



Sorghum halepense Liflerinin
Biyokompozit Üretiminde Kullanım
Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Biyokompozit Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Özen Eroğlu

ORCID 0000-0003-2084-6743

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihat Sami Çetin

Ocak 2022

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Özen Eroğlu** tarafından hazırlanan ***Sorghum halepense* Liflerinin Biyokompozit Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: **Prof. Dr. Nihat Sami Çetin**
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri: **Prof. Dr. Nihat Sami Çetin**
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Prof. Dr. Murat Ertuş
Bursa Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nasır Narhoğlu
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Savunma Tarihi: 20.12.2021

Yazarlık Beyanı

Ben, **Özen Eroğlu**, başlığı *Sorghum halepense* Liflerinin **Biyokompozit Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta buldum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

İmza:

Tarih:

20.12.2021

Sorghum halepense Liflerinin Biyokompozit Üretiminde Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

ÖZ

Biyokompozit üretiminde tercih edilen lignoselülozik maddeler genellikle bitkisel kökenli lif kaynaklarından elde edilmektedir. Bu amaçla değerlendirilen mevcut lif kaynaklarının sınırlı olmaları sebebiyle hızlı yetişen yeni bitkisel lif kaynaklarının arayışı ve önemi artmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında biyokompozit üretiminde alternatif lignoselülozik kaynak olarak *Sorghum halepense* (Kanyaş) liflerinin kullanılma potansiyelinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca lif örnekleri dört farklı ayda toplanarak bu toplanma zamanı farklılıklarının bitkinin kimyasal içeriğine olan etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan yaprak ve gövde liflerinin ekstraksiyonu, delignifikasyonu, α -selüloz ve kül tayini işlemleri sonrası kimyasal bileşenleri tespit edilmiştir. Tespit edilen bileşenlerin varlığı FTIR analizinden elde edilen spektrumlarla desteklenmiştir.

Sorghum halepense bitkisinin yaprak ve gövde lif unları, kompozit malzemenin ağırlıkça %10, %20 ve %30'unu oluşturacak şekilde yüksek hızlı termokinetik karıştırıcı (gelimat) vasıtasıyla GD-PP (Geri Dönüşüm Polipropilen) matris ile karıştırılmıştır. Elde edilen lif-polimer hamurundan sıcak pres kalıplama yöntemi kullanılarak ASTM standartlarına uygun kompozit levhalar üretilmiştir.

Levhalarından elde edilen test örneklerinin termal özelliklerini belirlemek amacıyla TGA ve DSC analizleri, mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla çekme ve eğilme testleri ve son olarak morfolojik özelliklerini belirlemek amacıyla SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

Örneklerin TGA analizleri incelendiğinde lif ilavesinin termal kararlılığı arttırdığı fakat kontrol grubuna göre kompozitlerin termal kararlığında düşüşlerin yaşandığı tespit edilmiştir. Ayrıca %50'lik kütle kayıplarının 280-460 °C arasında gerçekleştiği görülmüştür.

DSC analizleri sonucunda ilave edilen lif oranı arttıkça erime sıcaklıklarının belirgin bir değişim göstermediği fakat kompozitlerin erime entalpilerinde (ΔH_m) düşüşlerin olduğu saptanmıştır.

Sorghum halepense yaprak ve gövde lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin mekanik özelliklerinde ilave edilen lif oranı arttıkça kontrol grubuna göre düşüşlerin olduğu saptanmıştır. Mekanik test sonuçlarına göre yaprak ve gövde kompozitleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmazken en iyi çekme ve eğilme direnci değerleri %10 gövde lifi ilaveli kompozitlerde tespit edilmiştir.

Son olarak kompozitlerin morfolojik yapısı incelendiğinde *Sorghum halepense* yaprak ve gövde liflerinin GD-PP polimer matris ile homojen bir şekilde karıştığı tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: *Sorghum halepense*, biyokompozit, odun-plastik kompozit, doğal lif, termoplastik.

The Evaluation of Use of Potential of the *Sorghum halepense* Fibers on Biocomposite Production

Abstract

Plant-based fiber sources are generally preferred in biocomposite production. Due to the limited availability of fiber sources, the search for new fast-growing plant fiber sources and their importance have increased.

In this thesis, it is aimed to examine the potential of using *Sorghum halepense* (Johnsongrass) fibers as an alternative lignocellulosic source in the production of biocomposites. In addition, fiber samples were collected in four different months and the effect of these collection time differences on the chemical content of the plant was investigated. The chemical components of the prepared leaf and stem fibers were determined after extraction, delignification, determination of α -cellulose and ash. The presence of the detected components was supported by the spectra obtained from the FTIR analysis.

Leaf and stem fiber flours of the *Sorghum halepense* were mixed with the RPP (Recycled Polypropylene) matrix using a high speed thermokinetic mixer to form 10%, 20% and 30% by weight of the composite material. Composite plates were produced from fiber-polymer pulp using the hot press molding method in accordance with ASTM standards.

TGA and DSC analyzes were carried out to determine the thermal properties of the test samples obtained from these plates, tensile and bending tests to determine their mechanical and physical properties, and finally SEM analyzes to determine their morphological properties.

According to the results of TGA analysis of the samples, it was determined that the fiber addition increased the thermal stability. On the other hand, it was determined that there was a decrease in the thermal stability of the composites compared to the control group and 50% mass losses occurred between 280-460 °C.

As a result of the DSC analysis, it was determined that the melting temperatures did not show a significant change as the fiber content increased, but the melting enthalpies (ΔH_m) of the composites decreased.

When the mechanical properties of *Sorghum halepense* leaf and stem fiber added RPP composites were examined, it was determined that there was a decrease in mechanical properties compared to the control group as the added fiber ratio increased. According to the mechanical test results, no statistically significant difference was found between the leaf and stem composites. The best tensile and bending strength values were found in composites with 10% stem fiber addition.

Finally, when the morphological structure of the composites was examined, it was determined that the *Sorghum halepense* leaf and stem fibers were mixed homogeneously with the RPP polymer matrix.

Keywords: *Sorghum halepense*, biocomposite, wood-plastic composite, natural fiber, thermoplastic.



Kıymetli babam Hasan Eroğlu'na ve aileme...

Teşekkür

Yüksek lisans eğitim sürecimin her aşamasında engin bilgi birikimi ve deneyimleriyle her konuda bana destek olan kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Nihat Sami ÇETİN başta olmak üzere;

Kompozit levhaların basımı aşamasındaki katkılarından dolayı Arş. Gör. Metehan ATAGÜR'e, tez çalışmam boyunca sabır ve özverileriyle benden yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Nasır NARLIOĞLU, Arş. Gör. Mehmet DEMİR'e, eğitim sürecim boyunca nezaket ve sabırla desteğini gördüğüm Arş. Gör. Ayberk AYDOĞMUŞ' a, tez yazım aşamasında yardımlarını ve manevi desteğini her zaman aldığım kıymetli dostum Burcu Omuzbuken'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bu tez çalışmasına 2020-TYL-FEBE-0007 numaralı proje kapsamında destek olan İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve mekanik testlerimin yapımı sürecinde desteğini gördüğüm Dr. Öğr. Üyesi Nusret KAYA'ya da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca maddi ve manevi desteklerini gördüğüm ve her koşulda arkamda olan Prof. Dr. Lavinia Heisenberg'e, aileme ve tüm arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

İçindekiler

Yazarlık Beyanı	ii
Öz	iii
Abstract	v
Teşekkür	viii
Şekiller Listesi.....	xii
Tablolar Listesi.....	xv
Kısaltmalar Listesi	xvi
Semboller Listesi.....	xviii
1 Giriş	1
1.1 Doğal Lif Takviyeli Kompozitler.....	2
1.1.1 Odun Plastik Kompozitler.....	3
1.2 Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri.....	5
1.2.1 Enjeksiyon Kalıplama.....	7
1.2.2 Basınç Kalıplama	8
1.2.3 Ekstrüzyon.....	9
1.3 Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	11
1.3.1 Kullanılan Matris Elemanları	11
1.3.1.1 Termoplastikler.....	11
1.3.1.2 Termosetler	14
1.3.2 Kullanılan Doğal Takviye Elemanları.....	16
1.4 Doğal Liflerin Kimyasal Yapısı	22
1.4.1 Selüloz	22

1.4.2	Hemiselüloz	23
1.4.3	Lignin.....	24
1.5	<i>Sorghum halepense</i> (Kanyaş) Bitkisinin Genel Özellikleri.....	25
1.6	<i>Sorghum halepense</i> (Kanyaş) Bitkisinin Kimyasal Özellikleri.....	27
2	Literatür Özeti.....	30
3	Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri.....	36
4	Materyal-Metod.....	38
4.1	Materyal.....	38
4.1.1	<i>Sorghum halepense</i> Lifleri.....	38
4.1.2	Polimer hammaddeler.....	40
4.1.3	Kimyasal maddeler	40
4.2	Metod	40
4.2.1	<i>Sorghum halepense</i> Liflerinin Öğütülmesi.....	40
4.2.2	<i>Sorghum halepense</i> Liflerinin Kurutulması.....	41
4.2.3	<i>Sorghum halepense</i> Liflerinin Kimyasal Analiz Yöntemleri.....	41
4.2.3.1	Kül Tayini	41
4.2.3.2	Solvent Ekstraksiyonu	43
4.2.3.3	Holonselüloz Tayini.....	44
4.2.3.4	Alfaselüloz Tayini.....	45
4.2.4	Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Üretim Yöntemi	47
4.2.4.1	Gelimat Yöntemi.....	47
4.2.5	Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Üretimi.....	49
4.2.6	Üretilen Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Analizleri	50
4.2.6.1	Üretilen Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerinin Analizi.....	50
4.2.6.2	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizleri.....	52
4.2.6.3	Termo Gravimetrik Analiz (TGA) Yöntemi	52

4.2.6.4	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Yöntemi ve Kristalite Hesabı	53
4.2.6.5	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi	54
5	Bulgular ve Tartışma	55
5.1	<i>Sorghum halepense</i> Bitkisinin Kimyasal Analiz Sonuçları	55
5.2	FTIR Analizlerine Ait Bulgular	56
5.3	GD-PP Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular	58
5.3.1	GD-PP Kompozitlerin Çekme Direnci Özelliklerine Ait Bulgular	59
5.3.2	GD-PP Kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulgular	60
5.3.3	GD-PP Kompozitlerin Eğilme Direnci Özelliklerine Ait Bulgular	62
5.3.4	GD-PP Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulgular	63
5.4	Kompozitlerin Termal Özelliklerine Ait Bulgular	65
5.4.1	TGA Analizlerine Ait Bulgular	65
5.4.2	DSC Analizlerine Ait Bulgular	67
5.5	Kompozitlerin Morfolojik Özelliklerine Ait Bulgular	69
5.5.1	GD-PP Kompozitlerin SEM Analizlerine İlişkin Bulgular	69
6	Sonuçlar ve Öneriler	73
	Kaynaklar	76
	Ekler	86
	Ek A Tezden Üretilmiş Yayınlar	87
	Özgeçmiş	88

Şekiller Listesi

Şekil 1.1	Farklı alanlarda kullanılan doğal lif takviyeli kompozitlerin dağılımı	5
Şekil 1.2	Tipik bir enjeksiyon kalıplama makinesinin bölümleri	7
Şekil 1.3	Enjeksiyon kalıplama makinesi	8
Şekil 1.4	Basınç kalıplama makinesi (a) ve basınç kalıplama makinesiyle üretilen doğal lif takviyeli kompozitlerin laminasyon işlemi şeması (b)	9
Şekil 1.5	Ekstrüzyon makinesinin bölümleri	10
Şekil 1.6	Tipik bir termoset polimerinin yapısındaki çağraz bağlar	14
Şekil 1.7	Doğal lif takviyeli kompozitlerde kullanılan bitkisel doğal lifler.....	16
Şekil 1.8	Doğal liflerin lignoselülozik bileşenlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri.	17
Şekil 1.9	Hidrofilik bitkisel lif ile hidrofobik polimer matris arasındaki bağlayıcı ajanın çalışma mekanizması	21
Şekil 1.10	Selüloz zincirinin kimyasal yapısı	23
Şekil 1.11	Hemiselüloz birimleri	23
Şekil 1.12	Lignin zincirinin moleküler yapısı	25
Şekil 4.1	Farklı aylarda farklı örnekleme alanlarından toplanan <i>Sorghum halepense</i> örnekleri, a) Haziran, b) Temmuz c) Ağustos, d) Eylül	39
Şekil 4.2	<i>Sorghum halepense</i> bitkisinin kesilen gövde ve yaprak lifleri	40
Şekil 4.3	Bitki liflerinin öğütülmesinde kullanılan öğütücü	41
Şekil 4.4	Kül fırını	42
Şekil 4.5	Kül örneği	42
Şekil 4.6	Ekstraksiyon işleminde kullanılan sokslet düzeneği	43
Şekil 4.7	Ekstrakte edilmiş yaprak (solda) ve gövde (sağda) lif unu örnekleri	44
Şekil 4.8	Holoselüloz tayininin gerçekleştirildiği deney düzeneği.....	44
Şekil 4.9	Klorlama işleminden sonra gerçekleştirilen süzme işleminin deney düzeneği	45
Şekil 4.10	Alfa selüloz tayininde kullanılan örnekler	46

Şekil 4.11	Örneklerin alfa selüloz tayini sonrası yapılan süzme işlemi.....	46
Şekil 4.12	Yüksek hızlı termokinetik karıştırıcı (gelimat) cihazı	48
Şekil 4.13	Plaka üretiminde kullanılan sıcak pres cihazı.....	49
Şekil 4.14	Üretimi yapılan levha örnekleri	49
Şekil 4.15	Mekanik test örnekleri a) Çekme direnci test örnekleri, b) Eğilme direnci test örnekleri.....	50
Şekil 4.16	Mekanik test cihaz düzeneği a) Çekme direnci test düzeneği b) Eğilme direnci test düzeneği.....	51
Şekil 4.17	FTIR analizlerinin yapıldığı Shimadzu FTIR 8400s cihazı.....	52
Şekil 4.18	TA TGA Q600 cihazı	53
Şekil 4.19	Quorum Q150 Res kaplama cihazı	54
Şekil 4.20	Carl Zeiss 300 VP model Taramalı Elektron Mikroskobu	54
Şekil 5.1	<i>Sorghum halepense</i> yaprak unu FTIR spektrumları (Y: Yaprak, H: Haziran, T: Temmuz, A: Ağustos, E: Eylül).....	56
Şekil 5.2	<i>Sorghum halepense</i> gövde unu FTIR spektrumları (G: Gövde, H: Haziran, T: Temmuz, A: Ağustos, E: Eylül)	57
Şekil 5.3	<i>Sorghum halepense</i> gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin çekme direnci sonuçları (Y: Yaprak, G: Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP: Geri Dönüşüm Polipropilen)	59
Şekil 5.4	<i>Sorghum halepense</i> gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü sonuçları (Y: Yaprak, G: Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP: Geri Dönüşüm Polipropilen).....	61
Şekil 5.5	<i>Sorghum halepense</i> gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin eğilme direnci sonuçları (Y: Yaprak, G: Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP: Geri Dönüşüm Polipropilen)	63
Şekil 5.6	<i>Sorghum halepense</i> gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü sonuçları (Y: Yaprak, G: Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP: Geri dönüşüm Polipropilen)	64
Şekil 5.7	GD-PP kompozitlerin termogram eğrileri (Y: Yaprak, G: Gövde, GD-PP: Geri Dönüşüm PoliPropilen, PP: Saf PoliPropilen).....	66
Şekil 5.8	GD-PP kompozitlerin DSC eğrileri (Y: Yaprak, G: Gövde, GD-PP: Geri Dönüşüm PoliPropilen, PP: Saf PoliPropilen).....	69

Şekil 5.9 Çekme ve eğilme direncinde en iyi sonuçları gösteren %10 gövde lifi ilaveli kompozit malzemenin SEM görüntüsü.....	70
Şekil 5.10 Çekme ve eğilme direncinde en iyi sonuçları gösteren %10 gövde lifi ilaveli kompozit malzemenin SEM görüntüsü.....	70
Şekil 5.11 Eğilmede elastikiyet modülü değerinde en iyi sonucu veren %30 gövde lifi içeren kompozitin SEM görüntüsü.....	72
Şekil 5.12 Eğilmede elastikiyet modülü değerinde en iyi sonucu veren %30 gövde lifi içeren kompozitin SEM görüntüsü.....	72



Tablolar Listesi

Tablo 1.1 Doğal lif takviyeli kompozit üretiminde kullanılan bazı termoplastiklerin fiziksel özellikleri	12
Tablo 1.2 Doğal lif takviyeli kompozit üretiminde kullanılan bazı termosetlerin mekanik özellikleri	15
Tablo 1.3 Bitkisel doğal liflerin kimyasal bileşimi ve fiziko-mekanik özellikleri ..	18
Tablo 4.1 <i>Sorghum halepense</i> lifi takviyeli GD-PP kompozitlerinin karışım oranları.....	48
Tablo 5.1 <i>Sorghum halepense</i> bitkisinin kimyasal analiz sonuçları	55
Tablo 5.2 GD-PP kompozitlerin TGA değerleri	66
Tablo 5.3 GD-PP kompozitlerin DSC analiz değerleri	67

Kısaltmalar Listesi

PP	Polipropilen
PTFE	Politetrafloretillen
PE	Polietilen
PS	Polyester
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
OPK	Odun Plastik Kompozit
VARTM	Vakum Destekli Reçine Transfer Kalıplama
SMC	Sac Kalıplama
RTM	Reçine Transfer Kalıplama
PA	Poliamit
PVC	Polivinil Klorür
PET	Polietilen Tereftalat
PS	Polistiren
PC	Polikarbonat
PBT	Polibütillen Tereftalat
PMMA	Polimetil Metakrilat
PLA	Polilaktik Asit
LDPE	Alçak Yoğunluklu Polietilen
PHA	Polihidroksialkanoat
PCL	Poli (ϵ -kaprolakton)
EP	Epoksi
PU	Poliüretan

MF	Malamin Formaldehit
UF	Üre Formaldehit
Naylon 6	Poliamit 6
Naylon 12	Poliamit 12
PPgMA	Maleik Anhidrit graft Polipropilen
EPPO	Avrupa ve Akdeniz Bitki Koruma Örgütü
C ₄	Karbon Tutulumu Mekanizması
PSII	Fotosistem II
Shore-D	Shore Sertlik Değeri
PPE	Plazma Modifiye Edilmiş Polietilen
MAPP	Maleik Anhidritli Polipropilen
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
DL	Doğal Lif
TEOS	Tetraetil Orto Silikat
THF	Tetrahidrofuran
GDPP	Geri Dönüşüm Polipropilen
TGA	Termo Gravimetrik Analiz
DSC	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
DP	Depolarizasyon Derecesi

Semboller Listesi

MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
°C	Santigrat Derece
ΔH_m	Erime Entalpisi
α	Alfa
β	Beta
ϵ	Epsilon

Bölüm 1

Giriş

İçinde yaşadığımız modern dünyada var olan organizmaların ve özellikle insanların karşılaştığı en büyük sorunlar genellikle çevresel konularla ilgili olmuştur. İnsanoğlu gereksinimlerini karşılamak amacıyla yıllar boyunca hava, kara ve su üzerinde potansiyel tehlike oluşturan sentetik ürünler ve çeşitli malzemeler üretmiştir. Polipropilen (PP), politetrafloroetilen (PTFE), polietilen (PE), polyester (PS) ve epoksi gibi petrol bazlı sentetik polimerlerin üretimine olan bağımlılık yıllar içerisinde giderek artmış ve plastik olarak bilinen bu hidrokarbon türevi polimerler, üretildikleri malzemelere çok üstün fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikler kazandırmıştır. Fakat günümüzde bisiklet lastiğinden dokuma ürünlerine kadar geniş bir alanda kullanılabilen bu sentetiklerin aynı zamanda çok ciddi sorunlar yarattığı da bilinmektedir. Örneğin; plastik bir torbanın doğada parçalanabilmesinin 500 yıla kadar sürebileceği bilim insanları tarafından belirtilmektedir [1, 2].

Petrol kaynaklarının yenilenebilir olmayışı ve fiyatlarındaki sürekli artış çevresel ve ekonomik olarak istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca bu kaynakların bozunma ve yakılma işlemleri sırasında açığa çıkan karbondioksit gibi gazların emisyonu sera etkisine neden olarak küresel ısınma sorunu için büyük bir tehdit unsuru oluşturmaktadır. Petrol bazlı bu polimerlerin tüketici açısından toksisite oluşturması çevresel kaygıları arttırarak alternatif stratejilerin bilim insanları tarafından geliştirilmesi ve uygulanmasını gerekli kılmıştır. Son yıllarda bu ürünlerin kullanımını azaltmak amacıyla daha ucuz ve iyi performans özelliklerine sahip, yenilenebilir, doğal ve biyolojik olarak parçalanabilen doğal lif takviyeli kompozit malzemelere yönelim büyük bir artış göstermiştir [1-3].

Kompozitler, önemli ölçüde farklı özelliklere sahip iki veya daha fazla bileşenden veya fazdan oluşturulmuş yapısal malzemelerdir. Tipik olarak kompozit bir malzeme sürekli bir matris fazı ve bunun içerisine gömülü parçacık ya da lif halinde bir takviye fazından oluşmaktadır [4].

Kompozit malzemelerin üretiminde genellikle sentetik polimerler tercih edilmektedir. Bu polimer kompozitlerin üretiminde genellikle cam lifi, grafit, silika, karbon nanotüpler vb. parçalanamayan inorganik veya petrol kökenli malzemeler takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Ancak karşılaşılan zorluklar ve sürdürülebilir bir çevre mevzuatının gerekliliği olarak her iki fazında doğal kaynaklardan elde edildiği yenilenebilir kaynakların arayışına girilmiştir. Dolayısıyla parçalanabilir bir polimer fazı ile takviye edilmiş biyopolimerler içeren biyokompozitlerin geliştirilmesi önem kazanmıştır [1].

Biyokompozitler, doğal bir lif ile biyolojik olarak bozunabilen polimerlerden (PLA, PHA) veya petrol türevi biyobozunur olmayan polimerlerden (PP, PE) yapılmış kompozit malzemelerdir. Ayrıca bitkisel kaynaklı doğal bir lif (doğal fiber) ile ‘biyopolimer’ ya da ‘biyoplastik’ olarak adlandırılan biyolojik kökenli plastiklerden oluşturulan biyokompozitler ‘yeşil kompozitler’ olarak adlandırılmaktadır [5].

1.1 Doğal Lif Takviyeli Kompozitler

Artan çevre bilinciyle birlikte doğal kaynaklardan yüksek performanslı malzemelerin geliştirilmesi dünya genelinde giderek yaygınlaşmaktadır [6]. Doğal liflerin ilk kez 3000 yıl önce Eski Mısır’da duvar inşa etmek amacıyla kil ve saman karıştırılarak elde edilen kompozit sistemlerde kullanıldığı bilinmektedir. Son yıllarda ise dünyada çeşitli endüstrilerin ve akademik camianın ilgisini çekmeyi başarmış olan doğal lif takviyeli kompozitler, çok yönlü özelliklere sahip mühendislik malzemeleri haline gelmiştir. Doğal lif takviyeli kompozitlerde çok çeşitli lignoselülozik veya hayvansal kaynaklı doğal lifler kullanılmaktadır [3].

Keten, kenevir, kenaf, jüt, sisal ve rami en popüler lifler olarak bilinmekle birlikte kapsamlı olarak araştırılmışlardır. Ayrıca günümüzde ananas yaprağı, bambu, abaka, hindistan cevizi, prinç kabuğu, palmiye, bagas (şeker kamışı atığı), buğday samanı vb. doğal lifler, spesifik özellikleri ve kullanılabilirlikleri nedeniyle hem araştırmalarda

hem de uygulamalarda ilgi görmektedirler [7]. Düşük maliyet ve yoğunluğa sahip olmaları, üretimleri esnasındaki işleme kolaylığı, CO₂ nötr olmaları, biyolojik olarak parçalanabilmeleri ve geri dönüştürülebilirlik vb. özelliklerinden dolayı doğal lifler, kompozit malzemeler içinde önemli ölçüde değer kazanmışlardır [7]. Aynı zamanda iyi mekanik, akustik, termal özellikleri ve yüksek kırılma dirençleri sayesinde polimer kompozit ve biyo-esaslı kompozit malzeme üretiminde sentetik malzemelerin yerine tercih edilmeye başlanmışlardır [2].

Havacılık, otomotiv, demiryolu taşımacılığı, yapı ve inşaat endüstrileri, ambalaj, spor ve tüketim malzemeleri gibi geniş bir uygulama alanına sahip doğal lif takviyeli kompozitlerdeki doğal liflerin bazı özellikleri aynı zamanda bunların kompozit endüstrisindeki kullanımlarına engel olmaktadır. Kompozit üretim aşamalarında polimerlerin sertleşmesi veya eriyebilmesi için uygulanan sıcaklık, doğal liflerin bozunmasına sebebiyet verebilmekte ve bu durum sadece 200 °C'nin altında eriyebilen veya sertleşebilen polimer bir matris ile çalışma olanağı sağlamaktadır. Ayrıca doğal liflerin kimyasal yapısında bulunan selülozdaki hidroksil (OH) gruplarının su ile kolayca bağlanabilmesinden dolayı doğal liflerin yüksek nem emme (hidrofilik) kapasiteleri bulunmakta ve bu da doğal liflerin çürümeye ve mikrobiyal saldırılara duyarlı hale gelmesini kolaylaştırmaktadır. Polar olmayan polimer bir matris ile polar olan doğal bir lif arasındaki polarite farkı zayıf bir arayüzey bağlantısına sebebiyet vererek lif-matris yapışmasını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu zayıf yapışma sonucunda ise kompozit malzemedeki düşük direnç, düşük sertlik vb. mekanik özelliklerde gerileme gözlemlenmektedir.

Doğal lifler; güneş, toprak yapısı, hasat bölgesi ve mevsimi, lifin bitkiden çıkarıldığı kısım, lif boyutu, yağmur, sıcaklık ve nem gibi değişken durumlardan dolayı tutarlı fiziksel özellikler sergileyememektedirler [3, 8].

1.1.1 Odun Plastik Kompozitler

Ormanların hızla tükenmesine rağmen orman ürünlerine olan talep hızla artmakta ve çağlar boyunca odunun büyük ölçekli ve çoklu uygulamaları bu malzemenin aşırı sömürülmesine ve ekolojik sistemin bozulmasına sebebiyet vermektedir.

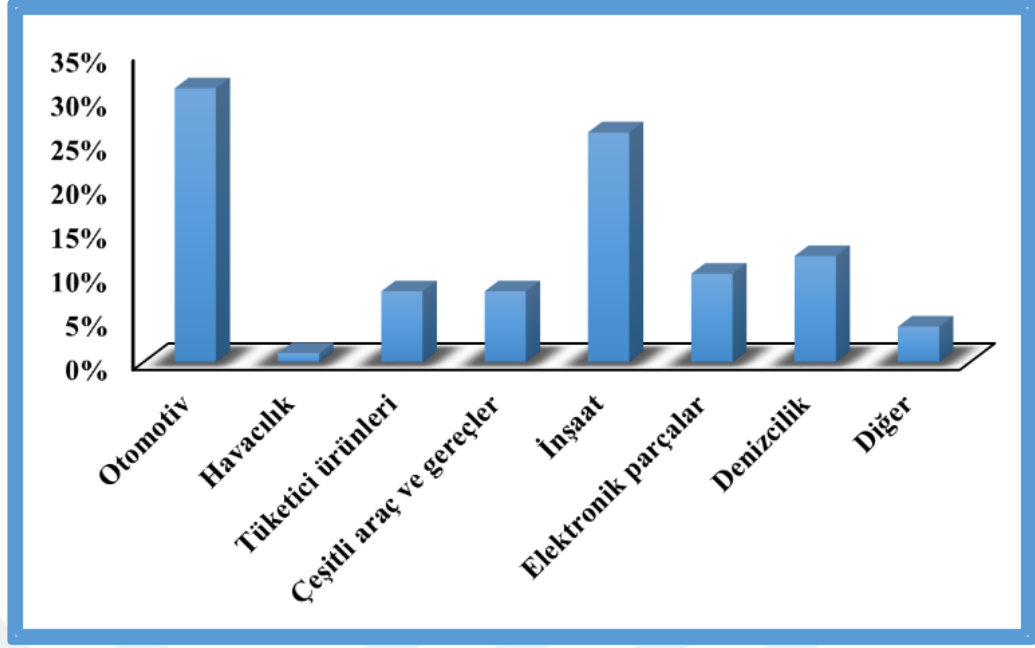
Gelişen yeşil teknoloji, odun yerine kullanılabilmesi amacıyla termitlere dayanıklı, düşük maliyetli ve iyileştirilmiş performans özelliklerine sahip polimer bir matris ile karıştırılmış ahşap malzemeler üzerinde durmaktadır. Genellikle odun unu/lifi takviyeli bu polimer kompozitler OPK (odun plastik kompozit) olarak bilinmektedirler. OPK'lar, odun unu veya tarımsal atıkların (bambu, saman, yer fıstığı gövdesi vb. selüloz esaslı lif dolgu maddeleri) dolgu maddesi olarak polivinil klorür (PVC) veya yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) gibi atık ya da saf haldeki plastik matrislere ilave edilmesiyle elde edilmektedirler [9].

Odun plastik kompozitleri, yıllık 220.000 tonluk mevcut pazarlarıyla (2010 yılında Avrupa) ve 20 yılın üzerindeki çalışmalarla nispeten yeni geliştirilmiş ürünlerdir. Son yıllarda odun plastik kompozitleri, çeşitli tüketici uygulamaları, otomotiv, mobilya ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılabilen ticari ürünler haline gelmişlerdir.

Odun plastik kompozitlerinin ticarileştirilmesi Kuzey Amerika'da özellikle inşaat sektörüne girişiyle başlamıştır. Mevcut OPK uygulamaları, pencere ve kapı doğramaları, çatı ve zemin kaplamaları, piknik masaları ve bankları, çardak ve verandalar, korkuluk, ve peyzaj keresteleri, otomobil parçaları ve park-bahçe (oyun alanı) ekipmanlarını içermektedir. Otomobil endüstrisindeki iç panel parçaları için OPK kullanımında Avrupa lider durumunda olmakla birlikte mobilya uygulamalarının geliştirilmesine de öncülük etmektedir.

Asya'daki üreticiler tarafından mobilya sektöründe kullanılan OPK'lar özellikle iç inşaat yapı malzemelerinde ve çeşitli dekoratif uygulamalarda ilgi görmektedir. Gelişmekte olan küresel pazarda enjeksiyon kalıplama ile üretilen OPK'lar, oyuncak ve kozmetik ambalajları gibi uygulamaları da içine alarak yaygın hale gelmektedirler.

Enjeksiyon kalıplama ile üretilen OPK'ların otomotiv uygulamalarındaki yeri Avrupa'da giderek gelişerek fan kutuları, ses sistemleri ve sabitleme kancaları gibi parçalarla geniş bir kullanım alanına yayılmaktadır. Şekil 1.1'de doğal liflerin çeşitli sektörlere göre dağılımı ve kullanım oranları gösterilmektedir [10].



Şekil 1.1: Farklı alanlarda kullanılan doğal lif takviyeli kompozitlerin dağılımı [10]

Selüloz, hemiselüloz ve lignin içerisindeki birçok hidroksil grubunun varlığı nedeniyle ahşabın polar veya hidrofilik (su seven) doğası, OPK'lardaki kullanımı için önemli bir endişe kaynağı oluşturmaktadır. Bunun nedeni odununun polimer tarafından zayıf bir şekilde ıslanmasına yol açan polar olmayan hidrofobik (su iten) polimer matrisleri ile düşük uyumluluk göstermesi ve dolgu maddesi ile polimer arasında zayıf bir yapışmanın gerçekleşmesidir. Bu uyumsuzluk OPK'ların dolgu maddesi ilave edilmemiş polimerlere göre daha düşük direnç özellikleri sergilemelerine sebebiyet vermektedir. Bu nedenle bileşenler arasındaki arayüzey yapışmasını geliştirmek ve kompozitlerden optimum direnç özellikleri elde etmek için ahşabın veya polimer matrisinin yüzey özelliklerinin artırılması önem taşımaktadır. Bu amaçla çeşitli kaplama ajanları veya birleştirici maddeler kullanılarak ahşap yüzeyinde gerçekleştirilen yüzey modifikasyonları önemli hale gelmiştir [11].

1.2 Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Doğal liflerin çeşitli yapısal özellikleri bu lifler kullanılarak elde edilen kompozit malzemelerin üretim aşamalarını zorlaştırabilmektedir. Jüt, kenaf, kenevir gibi doğal bir lif; cam, karbon, aramid gibi inorganik bir life göre çok farklı özelliklere sahip

olabilmektedir. Doğal liflerin higroskopik (su emen) davranışları ve matris olarak kullanılabilen reçine seçeneklerini sınırlayan yüksek sıcaklığa karşı düşük dirençlilikleri üretim aşamalarında dikkat edilmesi gereken hususlardandır [12].

Üretim tekniklerinde düşük stabiliteli doğal liflerin kullanılması kompozitlerin işlenmesinde zorluklar yaratmaktadır. Çünkü bu üretim teknikleri esas olarak sentetik lif takviyeli kompozitlere göre tasarlanıp geliştirilmektedir. Bu nedenle, doğal liflerin ön-muameleye (kimyasal/fiziksel) tabi tutulması üretim yöntemlerinin ayrılmaz bir parçası olmuştur. Liflerin ön işlemden geçirilmesi, lif-matris arayüzey etkileşimlerini geliştirmekte ve böylece doğal lif takviyeli kompozitlerin işlenebilirlikleri ve çeşitli özellikleri gelişmektedir [13]. Bununla birlikte doğal lif takviyeli kompozitleri oluşturma teknikleri ve ekipmanları, geleneksel inorganik lif takviyeli kompozitler için kullanılan tekniklere ve ekipmanlara benzemektedir. Bu benzerlik de endüstrilerin çeşitli uygulamalar için doğal lif takviyeli kompozitleri benimsemelerini kolaylaştırmaktadır [12].

Doğal lif takviyeli kompozitlerin üretim süreçleri kullanılan matris çeşidine bağlı olmakla birlikte üretim koşullarını daha çok kullanılan lif çeşidi belirlemektedir. Düşük ortam sıcaklıklarında kürlenebilen düşük vizkoziteli termoset reçineler, doğal lifleri kolayca emebilmeleri ve termal bozulmaya bağlı herhangi bir hasara neden olmamalarından dolayı polimer matris olarak üretim süreçlerinde kullanılmaktadırlar. Vakum destekli reçine transfer kalıplama (VARTM), sac kalıplama (SMC) ve reçine transfer kalıplama (RTM), doğal lif takviyeli termoset kompozitlerin üretiminde kullanılan yaygın yöntemlerdendir. Termoset kompozitlerin işlenmesindeki uzun döngü süreleri ve yüksek maliyet, araştırma çabalarının çoğunun matris olarak termoplastiklere yönelmesine sebebiyet vermiştir. Termoplastik reçine bazlı doğal kompozitler çok daha kısa döngü sürelerinde (dakikalar içinde) üretilebilmektedirler. Bu malzemeler, ısıtma işlemi ile kolayca şekillenebilirken soğutma işlemi sırasında kolayca katılaşabilmektedirler. Doğal lifler tipik olarak birleştirme işlemiyle termoplastik reçineler ile karıştırılabilmektedirler [12].

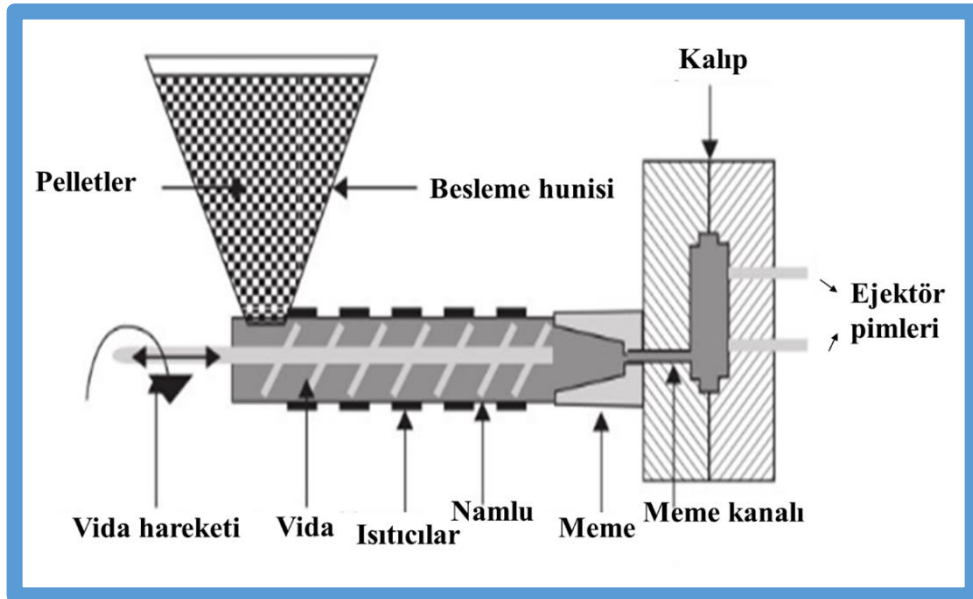
Enjeksiyon kalıplama, ekstrüzyon ve basınçlı kalıplama yaygın olarak kullanılan doğal lif takviyeli termoplastik kompozit üretim yöntemlerindendir [13].

1.2.1 Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon kalıplama yöntemi, çok kısa döngü sürelerinde farklı boyutlarda parçalar üretebilme avantajından dolayı kompozit imalat endüstrileri için vazgeçilmez bir üretim tekniği olmuştur. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen parçalar üretim sonrası daha az rötuş işlemlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu durum işçilik maliyetini ve sonuç olarak ürünün maliyetini azaltmaktadır [12].

Tipik bir enjeksiyon kalıplama işlemi Şekil 1.2’de gösterildiği gibi belirli şekillerdeki plastik pelletlerin bir besleme hunisi aracılığıyla taşınmasını kapsamaktadır. Besleme hunisinin Şekil 1.3’de gösterildiği gibi bir huni kurutucu ile donatılması sayesinde enjeksiyon işlemi boyunca pelletlerin kuru kalması sağlanmaktadır. Besleme hunisinden geçen plastik pelletler ve doğal lifler enjeksiyon bölümüne aktarılmakta ve burada bulunan vida hareketi ve sıcaklık etkisiyle eriyik hale gelmektedirler. Daha sonra eriyik haldeki doğal lif ve polimer karışımı vida sayesinde kalıp boşluğuna enjekte edilmektedir. Kalıba enjekte edildikten sonra pelletler soğumaya bırakılmakta ve kalıpların açılmasıyla malzemeler kullanıma hazır hale gelmektedirler [12].

Enjeksiyon kalıplama üretim yönteminde kısa lifler kullanılmakta ve lif uzunluğunu sınırlayan bu üretim yönteminde üretilen parçaların mekanik performansları basınç kalıplama tekniği ile üretilen malzemelerden düşük olmaktadır [12].



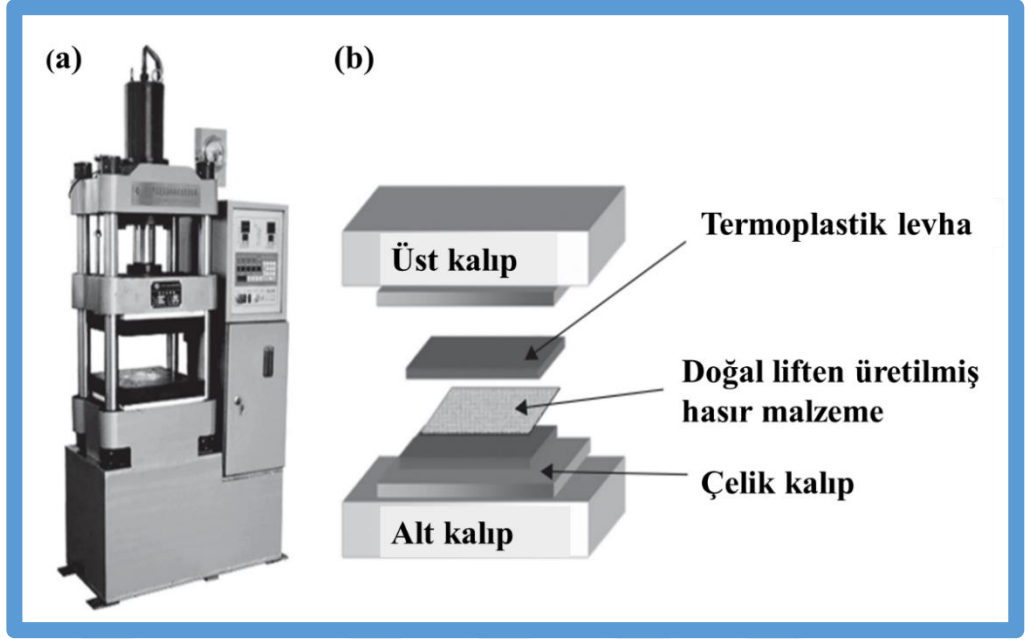
Şekil 1.2: Tipik bir enjeksiyon kalıplama makinesinin bölümleri [12]



Şekil 1.3: Enjeksiyon kalıplama makinesi [12]

1.2.2 Basınç Kalıplama

Şekil 1.4'de gösterilen tipik bir basınç kalıplama makinesi (a), belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılıp soğutulabilen üst ve alt kalıp parçalarını (b) içermektedir. Bu üretim tekniğinde istenilen süre ve sıcaklıkta kalıplara ön ısıtma işlemi yapılabilmekte ve termoplastik tabakalar arasında sandviç veya lamine formda doğal lifler kullanılabilir. Ön ısıtma işlemi sayesinde termoplastik reçinenin liflere homojen bir şekilde nüfuz etmesi sağlanmakta ve bu işlemi malzemelerin belirli bir basınçta sıkıştırılması takip etmektedir. Üst kalıp sayesinde uygulanan sıkıştırma aşamasındaki sıcaklık, basınç ve kalıplama süresi arasındaki denge, lifin ve reçinenin termal bozulmasını azaltmakta ve reçinenin liflere empenye edilmesini optimize etmektedir. Kalıplanan parça yeterince soğuyup katılaştıktan sonra kalıptan çıkarılmakta ve kalıpların yanlarındaki fazla reçine kırılarak düzeltilmektedir.

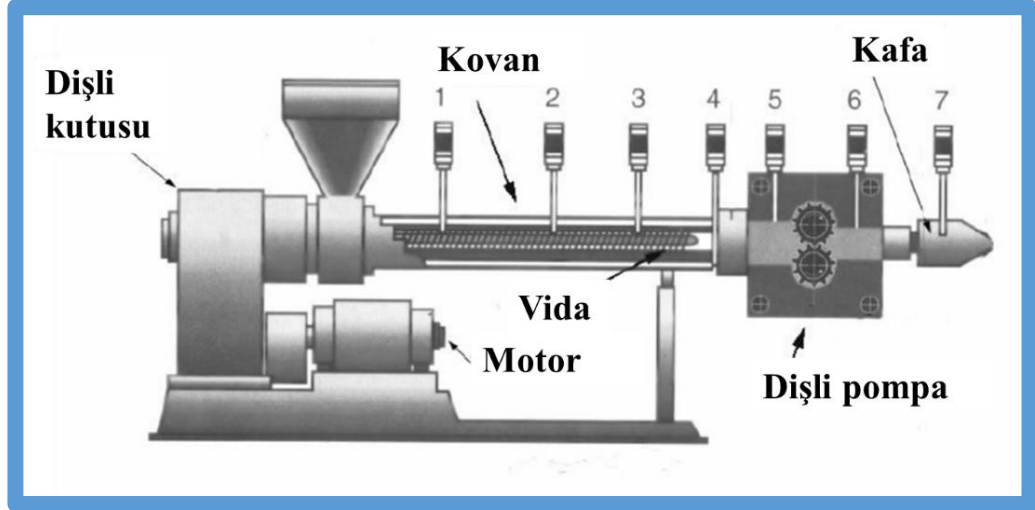


Şekil 1.4: Basınç kalıplama makinesi (a) ve basınç kalıplama makinesiyle üretilen doğal lif takviyeli kompozitlerin laminasyon işlemi şeması (b) [12]

Bu üretim yönteminde doğal liflerin iyice kurutulması önem taşımaktadır. Böylece nem içeriği ön ısıtma aşamasından önce ağırlıkça %3'ten az olmaktadır. Nem emme oranı doğal liflerde çok yüksek olduğundan lifin doğrudan çevre şartlarına en az maruziyetle kurutma fırınından sıkıştırma kalıbına aktarılması gerekmektedir. Ayrıca basınç kalıplama, birçok üretim yönteminin aksine herhangi bir formdaki lifin takviye elemanı olarak kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır [12].

1.2.3 Ekstrüzyon

Ekstrüzyon üretim yönteminde doğal lif takviyeli polimer matris granülleri ısıtılmış ekstrüdere konmaktadır. Daha sonra ısıtılan granüller bir vida yardımıyla homojen hale getirilmek için karıştırılarak uzun kompozit çubuklar, plakalar ve profiller üretmek üzere tanımlanmış enine kesitli bir kalıptan (Şekil 1.5) geçirilmektedir.



Şekil 1.5: Ekstrüzyon makinesinin bölümleri [13]

Çeşitli ekstrüderlerin kullanımda olmasına rağmen doğal lif takviyeli kompozitlerin üretiminde genellikle çift vidalı ekstrüderler tercih edilmektedir. Çift vidalı ekstrüderler iyi lif dağılımı sağlayarak malzemeye gelişmiş mekanik özellikler kazandırmakta ve enjeksiyon kalıplama tekniğinde kullanılabilecek ham madde kaynaklarını üretebilmektedir. Aynı zamanda ekstrüzyon işlemi, odun lifi/unu takviyeli kompozitlerin üretimi için yaygın olarak tercih edilmektedir. Çünkü bu kompozitler, bast veya yaprak elyafları gibi nispeten daha pahalı liflere göre inşaat sektörü vb. alanlar için ekstrüzyon profillerinin gerekli özelliklerini daha düşük maliyetlerle karşılamaktadır. Diğer üretim tekniklerinde olduğu gibi ekstrüzyon işleminden öncede doğal liflerin kurutulması (< %1 nem) gerekmektedir. Bu sebeple ekstrüzyon işleminden önce kompozitteki lif yüküne dikkat edilmesi önem taşımaktadır [14].

Ekstrüzyon ile üretim yönteminde genellikle odun lifleri kullanıldığından çalışma sıcaklıkları 140 °C ve 150 °C arasında (ahşap liflerinin kararma sıcaklığının altında) olmakta ve bu da kullanılabilecek matris tipini ve polimer matrisinin akışkanlığını kısıtlamaktadır. Ayrıca liflere verilen zararı en aza indirmek için ekstrüzyon vidasının kesme kuvvetlerinin kritik değerin altında olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Aşırı yüksek ekstrüzyon hızları; hava sıkışmasına, yüksek erime sıcaklıklarına ve lif hasarına neden olabilmektedir [14].

1.3 Doğal Lif Takviyeli Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

1.3.1 Kullanılan Matris Elemanları

1.3.1.1 Termoplastikler

Plastik tüketiminin yaklaşık %80'ini oluşturan termoplastikler, ısıtıldıklarında yumuşayan ve tekrar soğutulduklarında katılaştıran polimerler olarak tüm endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadırlar. [15]

Zincirleri arasında zayıf Van der Waals bağları bulunmakta ve ısıyla erime ve soğutulmayla katılma döngüleri defalarca süresiz olarak tekrarlanabilmektedir. Doğrusal ve uzun zincir moleküllerinden oluşan bu plastiklerin ısı altında eriyik hale gelmeleri birçok üretim yönteminde işleme kolaylığı sağlamaktadır. Moleküler yapıları nedeniyle termoplastiklerin özellikleri, tek tek polimer zincirlerinin uzunluklarından ve yan dallar içerip içermemelerinden büyük ölçüde etkilenmektedir [16].

Polipropilen (PP), poliamit (PA), polikarbonat (PC), polistiren (PS), polietilen (PE) ve etilen kopolimerleri, polivinil klorür (PVC), polietilen tereftalat (PET), ve polibutilen tereftalat (PBT) yaygın olarak kullanılan termoplastiklerdendir [15].

Termoplastik polimerlerin birçoğu doğal lif takviyeli kompozit veya odun plastik kompozitleri için uygun özelliklere sahiptir. Özellikle polivinil klorür, polipropilen, polistiren ve polietilen gibi termoplastikler 200 °C'nin altındaki erime noktalarıyla (Tablo 1.1) doğal lif takviyeli kompozit üretimi için uygun polimer matris sınıfını oluşturmaktadırlar. Bu sıcaklık önemli ölçüde bozulmaya yol açmadan doğal lif veya ahşabı işleme kolaylığı sağlamaktadır.

Tablo 1.1: Doğal lif takviyeli kompozit üretiminde kullanılan bazı termoplastiklerin fiziksel özellikleri [17]

Termoplastik Reçineler	Erime Sıcaklığı (°C)	Camsı Geçiş Sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (gr/cm³)
Polivinil klorür (PVC)	75-105	75-105	1.16-1.35
Polistiren (PS)	110-135	70-115	1.04
Polimetil metakrilat (PMMA)	160	85-105	1.16-1.19
Polipropilen (PP)	160-172	-15'den -18'e	0.905
Poliamit 6 (Naylon 6)	215-223	47	1.13
Poliamit 12 (Naylon 12)	180	-	1.01
Alçak Yoğunluklu Polietilen (LDPE)	98-115	-125	0.91-0.925
Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE)	120-138	-133'den 100'e	0.941-0.96

Üretim yöntemlerindeki gelişmeler naylon 6 ve PMMA (Polimetil metakrilat) gibi termoplastiklerin kullanımını da son yıllarda yaygınlaştırmıştır. Daha zorlu termal özelliklere sahip bu polimerlerin ekstrüder veya enjeksiyon kalıp içindeki kalış süreleri kısaltılarak üretim için uygun kullanıma sahip olmaları sağlanmıştır [17].

Düşük erime noktasına sahip başka bir termoplastik olan naylon 12, PP ve PE'den daha yüksek gerilme direncine sahiptir. Yapılan çalışmalar %60'a kadar odun unu ilaveli naylon 12 kompozitlerin eğilme ve çekme dirençlerinde artışlar olduğunu göstermiştir [17].

2014 yılında 'Evonik' firması tarafından 'Mydeck' ticari adıyla ilk PMMA matris OPK piyasaya sürülmüştür. Polistiren bazlı OPK'lar yeterince başarı gösteremezken,

HDPE, PS ve LDPE bazlı OPK'lar ticari olarak Avrupa pazarında iyi bir yere sahip olmuşlardır [17].

Doğal lif takviyeli termoplastik kompozitler; parçalanamayan fakat geri dönüştürülebilir sentetik termoplastiklere sahip kompozitler ve biyolojik olarak parçalanabilen termoplastiklere sahip 'yeşil kompozitler' olmak üzere iki gruba ayrılmaktadırlar. Bunlardan sentetik bir termoplastik ürün olan polipropilen; düşük maliyeti, düşük yoğunluğu, mükemmel işlenebilirliği, iyi mekanik özellikleri, yüksek sıcaklık dayanımı, mükemmel elektriksel özellikleri, iyi boyutsal kararlılığı ve iyi darbe dayanımı sayesinde en çok kullanılan termoplastik çeşididir. PLA (polilaktik asit) poliglikolik asit, poli-hidroksialkanoatlar ve poli (ϵ -kaprolakton) (PCL) ise yaygın olarak kullanılan ve biyolojik olarak parçalanabilen termoplastiklerdendir [18].

Doğal termoplastiklerin neredeyse tamamı biyolojik olarak parçalanabilmekte ve geri dönüştürülebilmektedir. Doğal lif takviyeli termoplastik kompozitler özellikle nakliye, ambalaj ve yapı endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Özellikle ambalaj endüstrisi spesifik özelliklere sahip ve kullanımdan sonra kolayca atılabilecek maddeler üzerinde durduğundan doğal bileşenlerden üretilen kompozitler bu uygulamalar için son derece uygun görülmektedir [19].

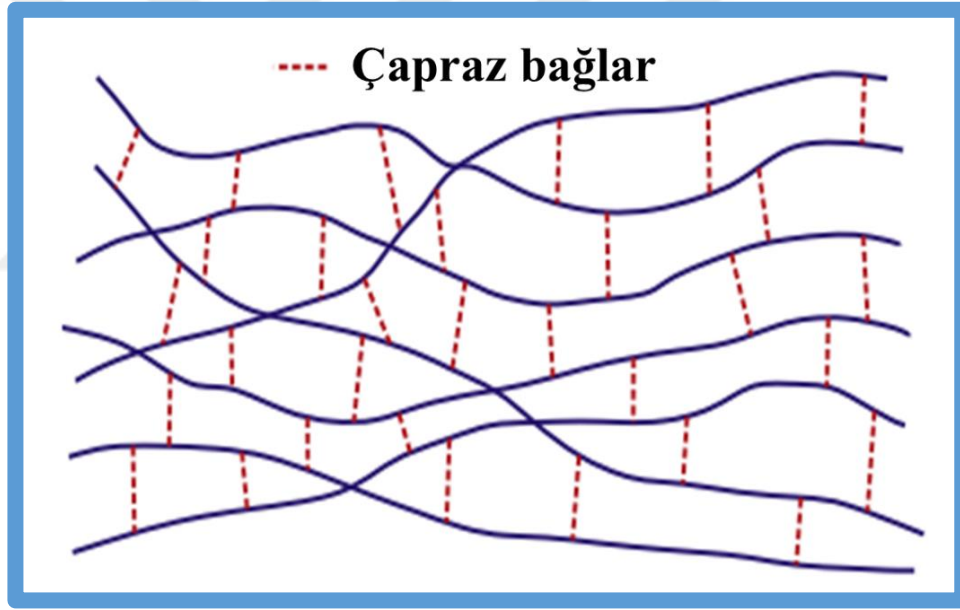
Ulaşım endüstrisi, özellikle otomotiv sektörü hizmet ömründen sonra tamamen geri dönüştürülebilir (veya basitçe bertaraf edilebilir), hafif, yüksek performanslı malzemelere ihtiyaç duymaktadır. Doğal lif takviyeli termoplastik kompozitler bu gereksinimlerin çoğunu potansiyel olarak karşılayabilmektedir. Bununla birlikte, günümüzde otomotiv endüstrisi doğal lif takviyeli termoplastik kompozitleri çoğunlukla çeşitli iç paneller (gösterge paneli, kapı panelleri) vb. yapısal olmayan uygulamalarda kullanmaktadır [19].

İnşaat sektöründe ise genellikle düşük maliyetli ve iyi yalıtım (termal ve akustik) özelliklerine sahip endüstriyel atıklar (odun unu) doğal lif takviyeli termoplastik kompozit üretiminde tercih edilmektedir [19].

1.3.1.2 Termosetler

Termoset polimerler, sertleştirici veya çapraz bağlama maddesi mevcudiyetinde ısı veya radyasyon enerjisi kullanılarak katalizörlü veya katalizörsüz bir şekilde termoset reçine veya prepolimerin sertleştirilmesi veya çapraz bağlanmasından (Şekil 1.6) elde edilen bir polimer sınıfıdır [20].

Kürleme işlemi sonrası faz değişimine uğrayan termosetlerin üç boyutlu çapraz bağları herhangi bir basınç ve ısı uygulandığında açılmamakta ve katı hale gelen termoset tekrar eritilip şekillendirilememektedir. Bu özellikleri sayesinde termosetler; çözücülere, ısıya ve mekanik deformasyonlara karşı dirençli hale gelmektedirler. Ayrıca yüksek boyutsal kararlılık, mükemmel gerilme direnci ve iyi mukavemet-modül gibi üstün mekanik özellikler sergilemektedirler [20]



Şekil 1.6: Tipik bir termoset polimerinin yapısındaki çapraz bağlar [16]

Epoksiler (EP), poliüretanlar (PU), fenolikler (örn. fenol formaldehit veya bakalit), melamin formaldehit (MF), amino plastikler (örn. üre formaldehit (UF), poliesterler, termoset poliamitler yaygın olarak bilinen termoset polimerlerdendir [16]. Tablo 1.2'de doğal lif takviyeli kompozitlerin üretiminde kullanılan bazı termoset polimerlerin mekanik özellikleri gösterilmiştir [21].

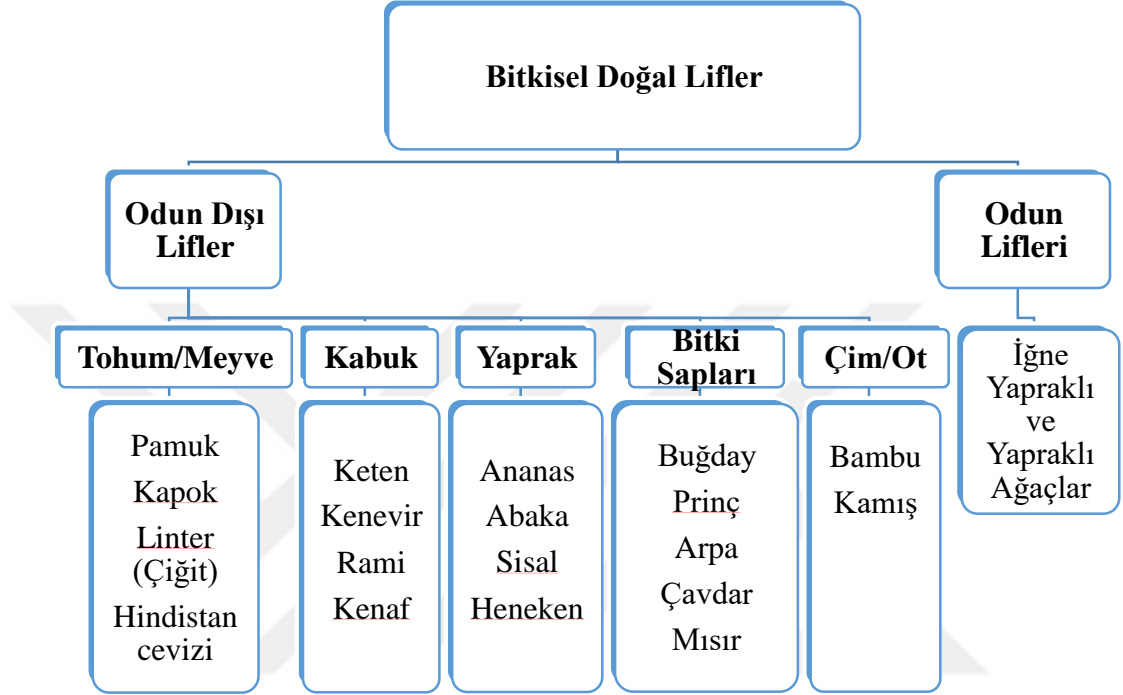
Tablo 1.2: Doğal lif takviyeli kompozit üretiminde kullanılan bazı termosetlerin mekanik özellikleri [21]

Termoset reçineler	Yoğunluk (g/cm³)	Çekme Direnci (MPa)	Elastikiyet Modülü (GPa)	Kopma Uzaması (%)
Epoksi	1.1-1.4	50-90	3	2-8
Vinilester	1.15	70-80	3.5	4-6
Silikon	2.33	-	-	-
Poliamit	1.42	70-150	2.5	8-70
Polyester	1.2	50-65	3	2-3
Fenol	1.2	40-50	3	1-2

Epoksi termoset polimeri, doğal lif takviyeli kompozitlerin araştırma çalışmalarında matris elemanı olarak yaygın olarak kullanılsa da, nispeten yüksek maliyetleri nedeniyle ticari doğal lif takviyeli kompozitlerin üretiminde tercih edilmemektedir. Bunun yerine polyester ve vinil ester gibi daha ucuz termoset polimerler yaygın olarak kullanılmaktadır. Fenolik reçineler ise iyi lif direncine sahipken işlenmesi daha zor bir termoset polimer sınıfını oluşturmaktadırlar [22]. Genel olarak her türlü doğal lif çeşidi termoset matrisli kompozitlerde kullanılabilir. Kürlenme ve kürlenme sonrası (başlangıç kürlenmesinden sonra reçinenin ısıtılması) kullanılan sıcaklıklar genellikle doğal liflerin ısı kaynaklı ayrışmasına neden olan sıcaklıkların çok altındadır. Bu nedenle tüm termoset reçineleri potansiyel olarak doğal lif takviyeli kompozitlerde kullanılabilir. Termoset matrislerin genelde sıvı formda olması bunların kumaş ve keçe gibi takviye elemanlarıyla kullanımını kolaylaştırmaktadır [22].

1.3.2 Kullanılan Doğal Takviye Elemanları

Doğal lif takviyeli kompozitlerde kullanılan bitkisel lifler odunsu ve odun dışı kaynaklar olarak iki grupta incelenmektedirler. Odun dışı lifler ise yaprak, tohum, meyve vb. kökenlerine göre sınıflara ayrılmaktadırlar [18].



Şekil 1.7: Doğal lif takviyeli kompozitlerde kullanılan bitkisel doğal lifler [23]

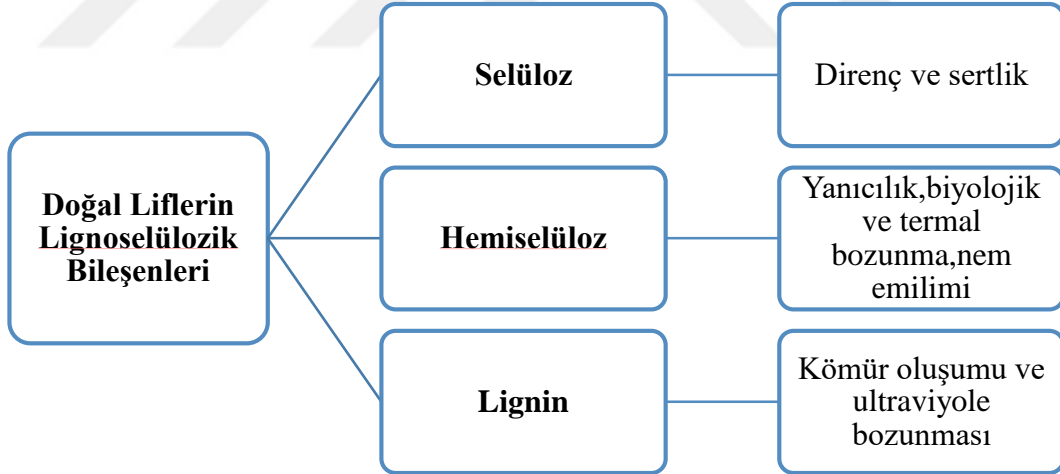
Doğal lifler selüloz, hemiselüloz, lignin, pektin ve vaks vb. maddelerden oluşmakla birlikte genellikle pektin ve vaks miktarı diğer bileşenlerden daha düşük olmaktadır. Ayrıca tüm bu bileşenlerin yüzdesi, yaşları ve türleri nedeniyle bir liften diğerine farklılık göstermekte ve bu yüzde aynı bitkinin farklı kısımlarında dahi değişebilmektedir [21].

Takviye elemanı olarak kullanılan doğal lifler, kompozit malzemelerle uyumlu olmaları için birkaç adımda işlenebilmekte ve kısa ya da uzun formda kullanılabilirler. Genel olarak lifler, elde edildikten hemen sonra uzun boyutta olmakta ve lifler kısa olarak kullanılacaksa istenen boyutlara getirilebilmektedirler [21].

Üç ana bileşenin geniş ölçüdeki farklı kimyaları ve fiziksel karakterleri elde edilen liflerin kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemektedir. Örneğin; en düşük molekül

ağırlığıyla en az çapraz bağlanma sergileyen hemiselüloz, sahip olduğu yüksek polar fonksiyonel gruplarıyla en az termal stabilite ve en yüksek hidrofilik özellik göstermektedir. Bu nedenle hemiselüloz içeriği yüksek olan doğal lifler daha erken sıcaklıklarda ayrırmakta ve yüksek nem emme kabiliyetine sahip olmaktadır. Benzer şekilde lineer selülozda molekül içi veya moleküller arası hidrojen bağları, doğal liflerin mekanik özelliklerini belirgin şekilde etkilemektedir. Ayrıca doğal liflerin mekanik direnci, selüloz yüzdesinin ve polimerizasyonunun artışı ve selüloz zincirlerinin lif eksenine göre mikrofibriler açısının azalışıyla gelişmektedir. Selüloz içeriğindeki artış gerilme direnci ve elastikiyet modülü değerlerini arttırmaktadır. [18].

Şekil 1.8’de lignoselülozik bileşenlerin doğal liflere sağladığı fiziksel ve mekanik avantajlar gösterilmiştir. Lif kimyasını oluşturan bu bileşenlerdeki farklılıklar liflerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin lif orjinine göre belirlenememesine sebebiyet vermektedir. Aynı zamanda hasat ve üretim koşulları da lif kalitesini etkileyerek lif özelliklerini belirlemektedir. Tablo 1.3’de her bir lif sınıfının ortak temsilcilerinin lignoselülozik bileşenleri ve fiziko-mekanik özellikleri gösterilmiştir [18].



Şekil 1.8: Doğal liflerin lignoselülozik bileşenlerinin mekanik ve fiziksel özellikleri [18]

Tablo 1.3: Bitkisel doğal liflerin kimyasal bileşimi ve fiziko-mekanik özellikleri [18]

Lif Adı	Kimyasal Bileşenler					Fiziko-Mekanik Özellikler			
	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Pektin (%)	Mumlar (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme Direnci (MPa)	Elastikiyet Modülü (GPa)	
Odun									
İğne yapraklı ağaçlar	43-47	25-35	16-24	-	-	-	-	-	-
Yapraklı ağaçlar	40-44	25-29	25-31	-	-	1.5	1000	40	
Odun Dışı									
Kabuk / Bast									
Keten	64.1-71.9	64.1-71.9	2-2.2	1.8-2.3	1.7	1.5	800-1500	27.6-80	
Kenevir	70.2-74.4	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	0.8	1.48	550-900	372-608	
Jüt	61-71.5	17.9-22.4	12-13	0.2	0.5	1.46	393-800	10-30	
Kenaf	45-57	8-13	21.5	0.6	0.8	1.45	930	53	
Rami	68.6-91	5-16.7	0.4-0.7	1.9	0.3	1.5	220938	44-128	
Yaprak									
Abaka	56-63	20-25	7-9	1.0	0.2-3	1.5	400	12	
Muz	63-64	10	5	-	-	1.35	529-914	27-32	

Tablo 1.3: Bitkisel doğal liflerin kimyasal bileşimi ve fiziko-mekanik özellikleri (devamı) [18]

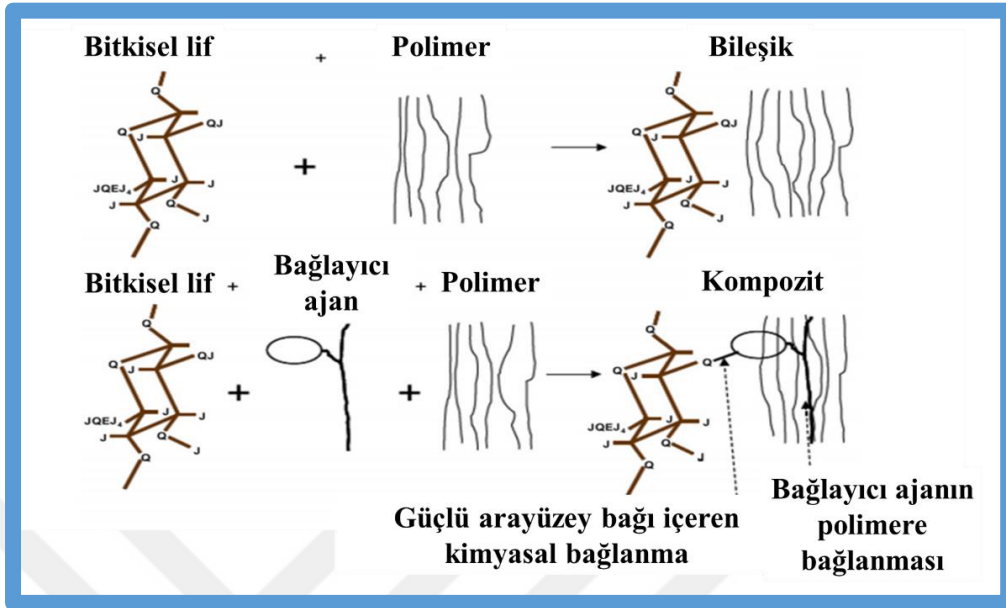
Sisal	67-78	10-14	8-11	10	2	1.45	530-640	9.4-22
Curaua	73.6	9.9	7.5	-	-	1.4	158-729	-
Ananas	70-83	15-20	5-12	2-4	4-7	1.5	170-1627	34.5-82.5
Tohum /meyve								
Hindistan cevizi	36-43	0.15-0.25	41-45	3-4	-	1.2	175	4-6
Pamuk	82.7-91	3-5.7	0.7-1.6	0-1	0.6	1.6	287-597	5.5-12.6
Çim/ot								
Bambu	26-43	20-25	7-9	-	3	1.1	500	35.91
Deniz yosunu	57	38	5	10	-	-	-	-
Bagas	55.2	25.3	1.8	-	-	1.25	290	17
Bitki sapları								
Buğday	39-45	15-31	13-20	-	-	-	-	-
Prinç	28-36	23-28	12-14	-	-	-	-	-
Mısır	38-57	28-33	7-21	-	8-38	-	-	-
Diğer								
Pirinç kabuğu	35-45	19-25	20	-	14-17	-	-	-

Takviye malzemesi olarak cam ve karbon lifler gibi sentetik lifler yaygın olarak kullanılsa da atık bertaraf sorunları, bu takviye malzemelerinin bitki lifleri ile değiştirilmesini gerekli kılmaktadır. Ayrıca bitki lifleri, bu sentetik liflerle eşit veya daha iyi performans özelliklerine sahip olabilmekte ve ürün ağırlığını yaklaşık %15 azaltarak çok reaktif yüzey kimyasına sahip olabilmektedirler. Ayrıca bitkisel liflerin kullanımını cam lifi vb. sentetik liflerin sebep olduğu cilt tahrişlerini ve solunum problemlerini önleyerek çevre dostu bir yaklaşımın oluşmasını sağlamaktadır [24].

Bitkisel liflerin geleneksel cam liflerine göre bir takım dezavantajları bulunmaktadır. Bitki liflerinin üretimleri esnasında yığılmaları (kümelenmeleri), düşük ısı kararlılıkları, neme karşı düşük direnç ve mevsimsel kalite değişimleri (aynı ekimdeki bitkiler arasında bile) vb. durumları polimerler için takviye olarak kullanılabilme potansiyellerini büyük ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca bitki liflerinin yüksek nem emme özellikleri malzemenin arayüzeyinde şişme ve boşlukların oluşmasına yol açmakta ve bu da zayıf mekanik özelliklere neden olarak kompozitlerin boyutsal kararlılığını azaltmaktadır. Bu durum bitki liflerinin hidrofobik kimyasallarla (örn; PPgMA) muamele edilmesi veya vinil monomerlerle modifikasyonu ile giderilebilmektedir [24].

Bitki liflerinin en büyük dezavantajlarından biri lifler ve polimerik matrisler arasında gözlenen zayıf uyumluluk özellikleridir. Liflerin matris içinde düzgün olmayan dağılımı mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Çoğu polimer, özellikle termoplastikler hidrofilik (su seven) lif ile uyumlu olmayan hidrofobik (su sevmeyen) maddelerdir ve bu nedenle kompozitlerde polimer ve lif arasında zayıf bir yapışma durumu ortaya çıkabilmektedir. İstenmeyen bu durumu gidermek amacıyla üretim esnasında lifler ve termoplastik matrisler arasındaki uyum ve yapışmayı arttırmak için kimyasal 'birleştirme' veya 'uyumlaştırıcı' ajanlar kullanılabilir. Kimyasal bağlayıcı ajanlar odun ve termoplastik gibi farklı yüzeyler arasında bağ (hidrojen bağı ve Van der Waals kuvvetleri gibi) oluşmasını sağlayan ve az miktarda kullanılabilen polimerlerdir. Bağlama ajanları kovalent bağlar, ikincil bağlar ve mekanik ara-kilitleme formları içermekte ve bu da bitki liflerinin modifiye edilmesinde çeşitli kimyasal işlemlerin ve malzemelerin kullanabileceğini göstermektedir. Sodyum hidroksit, silan, asetik asit, akrilik asit, izosiyanatlar, potasyum permanganat, peroksit vb. kaplama ajanları arayüzeyler arasında adhezyonu

sağlayarak yapışmayı arttırmaktadırlar. Şekil 1.9’da lif ve polimer arasında kullanılan bağlama ajanının çalışma mekanizması gösterilmektedir [24].



Şekil 1.9: Hidrofilik bitkisel lif ile hidrofobik polimer matris arasındaki bağlayıcı ajanın çalışma mekanizması [24]

Kompozitlerde bitkisel liflerin kullanılmasının bir dezavantajı da matris polimerlerinin seçimini kısıtlayan işlem sıcaklığıdır. Bitki lifleri çeşitli organik maddelerden (öncelikle selüloz, hemiselüloz ve lignin) oluşmakta ve bu nedenle termal işlemler liflerde çeşitli fiziksel ve kimyasal değişikliklere yol açmaktadır. Liflerin termal bozulması, koku ve renk gibi duyuşal özelliklerde değişime sebebiyet vererek mekanik özelliklerinin de olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır. Ayrıca 200 °C'nin üzerindeki işleme sıcaklıkları; yüksek porozite ve mekanik özelliklerin olumsuz etkilenmesine yol açabilecek gaz halindeki ürünlerin üretilmesine neden olarak istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Termal stabilitenin artırılması amacıyla liflerin monomerlerle kaplanması veya aşılması işlemleri yapılmaktadır [24].

Polimer kompozitlerde kullanılan ahşap elemanlar çok çeşitli şekillere sahip olmaktadır ve tek başlarına veya kombinasyonlar halinde kullanılabilirler. Nihai ürünün özellikleri, bitki liflerinin boyutları, şekilleri ve özellikleri ile belirlenmektedir. Yüzey kimyası (örneğin, mumlar ve silika gibi organik maddeler) ve özellikle lifin en/boy oranı ürün özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. En/boy oranı, türden türe değişen liflerin ortalama çaplarının ortalama uzunluklarına oranı

anlamına gelmektedir. Örneğin, iğne yapraklı ağaç lifleri (ladin), kavak veya huş ağacından (geniş yapraklı ağaçlar) elde edilen liflere kıyasla daha esnek olmaktadır. Ayrıca liflerin büyüklüğü, morfolojik yapıları, kimyasal bileşimleri, yoğunlukları, kalınlıkları, lif yüzdeleri veya varsa bağlayıcı maddelerin miktarı ve tipi gibi diğer faktörler doğal lif takviyeli (OPK) kompozitlerin direnç özellikleri üzerinde etkili olabilmektedir. Bitki liflerinin mekanik özellikleri aynı tür içinde dahi lifi hamur haline getirme işlemi sırasında değişkenlik gösterebilmektedir. Çok çeşitli bitkisel lifler, doğal lif hazırlama teknikleri ve lif yüzey modifikasyonu olanakları, bu tür kompozitleri belirli son ürün gereksinimlerine göre uyarlama fırsatları yaratmaktadır [24].

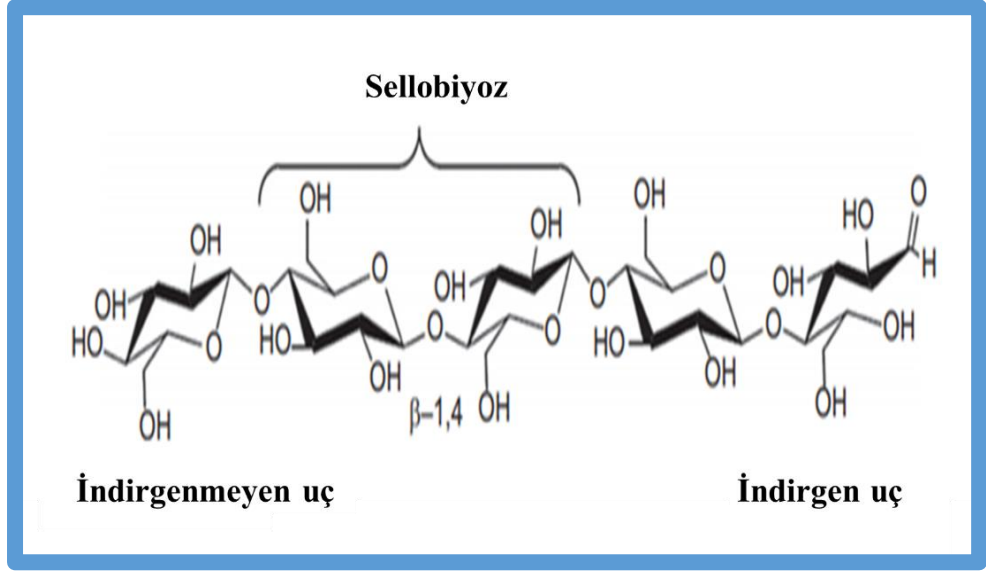
1.4 Doğal Liflerin Kimyasal Yapısı

1.4.1 Selüloz

Selüloz, yeryüzünde en bol bulunan biyomateryallerden biridir. Genellikle bitkiler tarafından sentezlenmektedir. Sert, lifli ve suda çözünmeyen bir polisakkarit olan selüloz, bitki hücre duvarlarının yapısını sabit tutmada önemli bir rol oynamaktadır [25].

Çoğu bitki lifinin ana bileşeni olan selüloz lineer ve organik bir bileşiktir. Tekrarlanan D-anhidroglukoz ünitelerinin birbirlerine β -1,4-glikosidik bağ (Şekil 1.10) ile bağlanmasıyla elde edilmektedirler. Selüloz zincirinde tekrar eden her ünite üç hidroksil grubu içermekte ve bu hidroksil grupları ve hidrojen bağlama yetenekleri, selülozun kristalite ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır [26, 27].

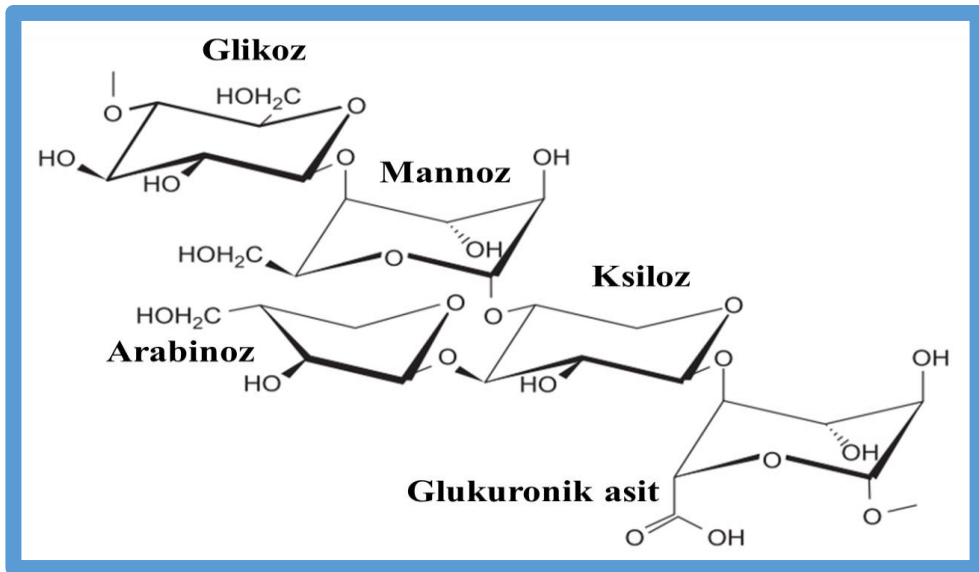
Selüloz zincirleri bitki hücre duvarını oluşturan fibriller (mikrofibril demetleri) şeklinde düzenlenmişlerdir. Bu düzenleme sadece bitki yapılarının stabilitesine yardımcı olmakla kalmamakta aynı zamanda selülozun yüksek kristallik, direnç ve elastikiyet, yüksek su emme ve tutma kapasitesi ve biyolojik olarak parçalanabilirlik gibi üstün fizikokimyasal ve mekanik özelliklere sahip bir biyopolimer olmasını sağlamaktadır [25, 28].



Şekil 1.10: Selüloz zincirinin kimyasal yapısı [21]

1.4.2 Hemiselüloz

Polyoz olarak da bilinen hemiselüloz odunsu ve otsu biyokütlenin en bol bulunan ikinci kimyasal bileşeni olmakla birlikte hemen hemen tüm karasal bitki hücre duvarlarında selülozla birlikte bulunmaktadır. Hemiselüloz, glikoz, galaktoz, mannoz, ksiloz, arabinoz, 4-O-metil glukuronik ve galakturonik asit dahil olmak üzere çeşitli şeker monomerlerinden oluşmaktadır [21, 29, 30]. Şekil 1.11’de bir hemiselüloz zincir molekülü yapısı gösterilmiştir.



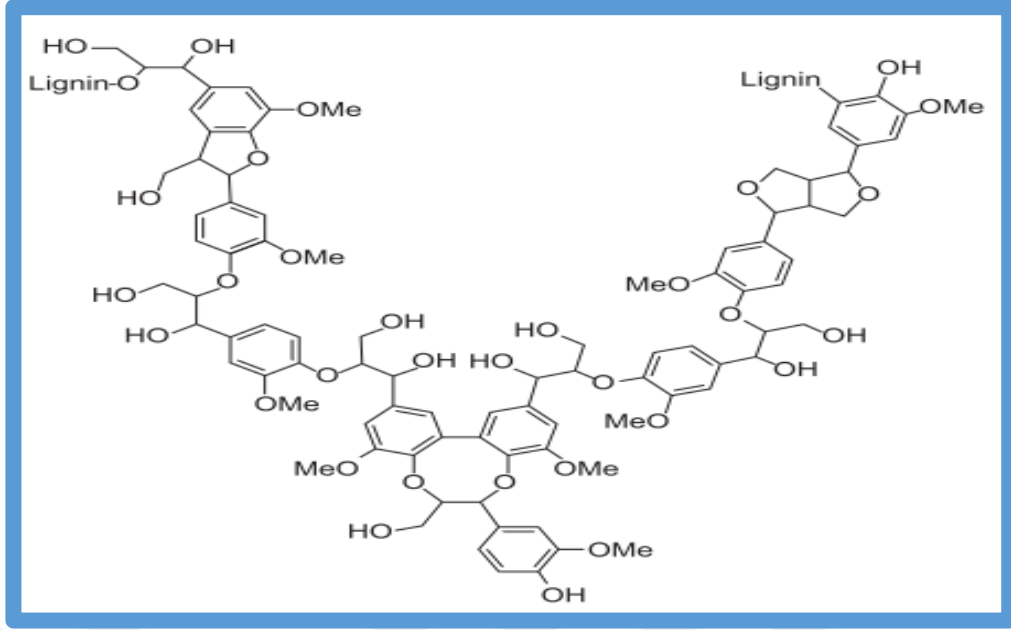
Şekil 1.11: Hemiselüloz birimleri [21]

Hemiselüloz, selülozdan daha düşük molekül ağırlığına sahip ve toplam kuru odun ağırlığının % 25-30'unu oluşturan bir polisakkarittir. Hemiselüloz molekülleri, 150 ile 200 arasında bir depolarizasyon derecesi (DP) ile selüloz moleküllerinden daha kısa ve daha az dallı olmakla birlikte farklı heteroglukan şeker birimlerinden oluşmaktadır. Hemiselüloz zincirini oluşturan şekerler, β -1,4- ve bazen de β -1,3-glikozidik bağlarıyla birbirine bağlanmaktadır.

Hemiselülozlar, asitlerle kolayca hidrolize olarak alkali çözeltilerce çözünmektedirler. Yüksek hidrofilik özellik gösteren bu bileşenler bir bitkiden diğerine farklılık göstermekte ve selüloz mikrofibrilleri için destekleyici matris görevi üstlenmektedirler. Ayrıca hemiselülozların yan zincirlerinden dolayı kristal olmayan bir doğaları bulunmaktadır. Hemiselülozun bileşimi, biyokütlenin özelliklerine, kökenine ve türlerine bağlı olarak değişirken iğne yapraklı ağaçlardaki hemiselüloz, başlıca monomerler olarak galaktoglukomannan ve mannozdan oluşurken yapraklı ağaçlardaki hemiselülozlar, başlıca monomerler olarak glukuronoksilan ve ksilozdan oluşmaktadır [21, 29, 30].

1.4.3 Lignin

Lignin, fenolik yapıya sahip üç boyutlu bir polimerdir. Bu bileşen, bitkileri patojenik organizmaların saldırısından korumakta ve hücre duvarlarının yapısal sertliğine katkıda bulunmaktadır. Doğal liflere kaba ve sert bir karakter kazandırmaktadır. Yapısal olarak, lignin amorf bir heteropolimerdir. Suda çözünür değildir ve optik olarak aktif değildir. Farklı tipte bağlantılarla birleştirilmiş fenilpropan birimlerinden oluşmuştur. Kimyası henüz tam olarak belirlenememiştir, ancak fonksiyonel gruplarının ve makromolekülün yapı birimlerinin çoğu tanımlanmıştır. Koniferil alkol (guayasil propanol), kumaril alkol (p-hidroksifenilpropanol) ve sinapil alkol (şiringil propanol)'ün dehidrasyonuyla sentezlenmektedirler. Koniferil alkol, iğne yapraklı odun ligninlerinin; guasil ve şiringil alkoller, yapraklı ağaç ligninlerinin ana bileşenlerini oluşturmaktadır. Lignin, hidroksil, metoksil ve karbonil grupları içermektedir. Ayrıca asitler tarafından hidrolize edilememekte ancak alkali içinde çözünmekte ve fenol ile kolayca yoğunlaştırabilmektedir [21, 27, 31]. Şekil 1.12'de lignin molekülü gösterilmiştir.



Şekil 1.12: Lignin zincirinin moleküler yapısı [21]

1.5 *Sorghum halepense* (Kanyaş) Bitkisinin Genel Özellikleri

Ilıman bölge tarım arazilerinde görülen ve dünyanın en tehlikeli ilk on yabancı otu arasında gösterilen *Sorghum halepense*. (Kanyaş) çok yıllık bir C₄ bitkisi (fotosentez sırasında 4 karbon üreten bitki) olarak bilinmektedir. *Poacea* familyasının bir üyesi olan bu bitki 0.5 ila 3 metre boyunda gelişebilmekte ve 1 cm çapında ve 2 cm uzunluğunda etli rizom ve tohumlarıyla geniş bir habitusda yayılım göstermektedir.

C₄ bitkisi olması sebebiyle de farklı iklim ve çevre şartlarında yaşamaya toleransı ve rekabet yeteneği yüksek olan bu bitki tarım arazilerinde mahsul verimini azaltarak böcek ve pestisitlere ev sahipliği yapmaktadır. Aynı zamanda EPPO (Avrupa Bitki Koruma Organizasyonu)'nun dünyadaki 50 farklı ülkede 30 farklı tarım mahsulü için istilacı türler sıralamasında 6. sırada yer alarak biyolojik çeşitliliği tehdit eden bir bitki türü olmuştur. Anavatanı Akdeniz kuşağı olan bu bitki Asya, Avrupa, Kuzey Amerika, Güney Amerika, ve Yeni Zelanda'ya kadar geniş bir yayılım göstermekte olup Türkiye'nin de hemen hemen her bölgesinde bulunan yerli bir bitki türü olarak dikkat çekmektedir [32-35].

Kozmopolit bir yayılım gösteren *Sorghum halepense* bitki başına 30.000'e yakın tohum üretebilecek olan geniş ve sürünen rizomlarıyla kontrol edilmesi zor bir bitki olmuştur. Rizomların apikal ve tohumların ise primer ve sekonder dormansi yetenekleri sayesinde *Sorghum halepense* tohumlarının %60-70'i toprak altında 25 yıla yakın bir süreyle uyku halinde kalabilmektedir. Bu etkili dormansi özelliği olumsuz büyüme döneminden sonra topraktaki tohum rezarvarı sayesinde yabancı bitkinin hayatta kalmasını sağlayarak bulunduğu bölgeyi istila etmesini kolaylaştırmaktadır [32, 34].

Tohum dormansisi, *Sorghum halepense*'nin ürün verimini ve sürekliliğini etkileyen kilit bir faktördür. Tohumlar üretildikleri mevsimde çimlenme yeteneğine sahip değildir ve 4-5 ay süren olgunlaşma süreleriyle birlikte sonraki mevsim sezonunda çimlenebilmektedirler. Tohumlar dağıldıklarında genelde dormansi (çimlenememe, durgunluk-uyku hali) halindedirler ve bu durum *Sorghum halepense*'nin farklı ekotiplerinde değişkenlik gösterebilmektedir. Tohum kabuklarında bulunan tanen bileşikleri su geçirgenliğini aza indirerek tohumların mekanik dormanside kalmasını sağlamaktadır. *Sorghum halepense* tohumlarının %20-40'ını kaplayan çenekler de tohum dormansisine neden olmaktadır. Bu çeneklerin ortadan kaldırılmasıyla tohumların %95'i dormansi durumundan çıkabilmektedir. Yaz aylarında tohumun yüksek sıcaklığa maruz kalması özellikle 30/20 °C ve ışık rejimleri, *Sorghum halepense* tohumunda uyku halinin kırılmasında etkili olmuştur [36].

Embriyonun içinde veya dışında bulunan ve tohum çimlenmesini engelleyen kimyasal maddeler nedeniyle *Sorghum halepense* 'de kimyasal dormanside gözlenmektedir [36].

Sorghum halepense 'nin belirgin ve açık renkli bir midribe (yaprak orta damarı) sahip, uzunluğu 20 ila 60 cm arasında değişen yaprakları bulunmaktadır. Yaprak ayası tüysüz ve ince dişliyken aynı zamanda çıkıntılı bir görünüme sahip yaprak kılıfları da belirgin haldedir. Bitkinin sap kısmı dik ve tüysüzken boğumlar yer yer tüye sahip olabilmektedir. Yakacık kısmı açık yeşil renkli ve yaklaşık 5 mm iken kulakçık kısmı ise bitkide bulunmamaktadır. Çiçekleri başak halinde kırmızımsı-morumsu tüylerle kaplı olup başakçıkları kısa saplı ve kısa kılıklıdır [34, 36].

Sorghum halepense, $2n=40$ kromozom sayısına sahip tetraploid hibrit bir bitkidir. Ayrıca bazı araştırmacılar tarafından tropikal ekotiplerinin diploid olduğu ($2n=20$)

rapor edilmiştir. Hibrit olan bu bitkinin atalarından birinin *Sorghum bicolor* olduğu bilinmekle birlikte diğer ataları hakkında kesin bir bilgi verilememektedir. *Sorghum propinquum*, *Sorghum virgatum* veya *Sorghum bicolor*'a ait farklı ırkların aynı zamanda bitkinin ataları arasında olduğu düşünülmektedir [37]. *Sorghum* türleriyle, özellikle *Sorghum bicolor* ile kolayca melezler oluşturabilen *Sorghum halepense*'nin farklı ekolojik, morfolojik, fizyolojik, fenolojik ve genetik özelliklere sahip ekotipleri, dünya çapında yaygın bir şekilde dağılım göstermektedir [36].

Sorghum halepense; ılık, nemli, yağmurla beslenen subtropik bölgelere ve tercihen yarı kurak ve nemli iklimlere iyi adapte olabilen bir bitkidir. Yeni ekotiplerin ortaya çıkmasıyla yaşam alanını tropikal ve ılıman iklimlerin 55° Kuzey– 45° Güney enlemleri arasında genişletebilmiştir. *Sorghum halepense* yağışlı mevsimde daha üretken olma eğiliminde bir bitki iken kurak dönemlerde de hayatta kalabilmektedir. İlıman bölgelerde yetişen türlerinin maksimum büyümesi 12 haftanın sonunda 32 °C'de gözlenebilirken minimum büyümesi 40 °C'de gerçekleşmektedir. Bitkinin optimum büyümesi için genellikle yıllık 500–700 mm yağış ve 27–32 °C gündüz sıcaklıkları gerekmekte ve bununla birlikte ortaya çıkan yeni *Sorghum halepense* ekotipleri, soğuk koşullara gittikçe daha toleranslı hale gelerek -10 °C'ye kadar düşük sıcaklıklarda hayatta kalma yeteneği gösterebilmektedir [36].

Çoğunlukla sulama kanalları, ekili alanlar, tarla kenarları, meyve bahçeleri ve meralar gibi nemli yerlerde gelişim gösterebilmekte ve çöl bölgelerinde dahi bulunabilmektedir. *Sorghum halepense*'nin çeşitli ekolojik habitatlarda hayatta kalma yeteneği, dünyadaki tarımsal ve bahçecilik bitkileri için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Toprak yüzeyindeki *Sorghum halepense* rizomları, 50 °C ila 60 °C arasındaki yüksek sıcaklıklarda üç günden fazla hayatta kalamazken hafif dokulu topraklara daha derinlemesine nüfuz edebilmektedir. Kumlu verimli topraklarda 7-12 cm'ye kadar, killi topraklarda ise 5-7 cm'ye kadar uzayabilmektedir [36].

1.6 *Sorghum halepense* (Kanyaş) Bitkisinin Kimyasal Özellikleri

Küresel olarak *invaziv allelopatik* (etrafındaki türlere ürettiği biyokimyasallarla zarar veren aşırı yayılmacı tür) bir tür olan *Sorghum halepense* işgal ettiği toprağın

biyojeokimyasını önemli ölçüde etkileyerek yüksek azot isteği ve güçlü allelopatik özelliğiyle kurulduğu bölgede yer değiştirmeye karşı yüksek direnç göstermektedir. Yerli türlere göre daha yüksek rekabet yeteneğine sahip bu bitkiler yoğun monokültürleri ve güçlü allelopatik özellikleriyle buldukları bölgedeki doğal bitki örtüsünün değişmesine sebebiyet vermektedirler. Yıl boyunca devam eden rizom büyümesi ve bahar aylarındaki ramet patlamasıyla yoğun klon monokültürler oluşturmaktadırlar. Türler, donma sıcaklığına maruz kaldıklarında yaşlanarak toprak yüzeyinde kalın ve yoğun bir tabaka halinde bir atık tabaka oluşturmaktadırlar. Bitki ayrışmaya başladığında ‘allelkimyasal’ olarak adlandırılan suda çözünmeyen fenolikler, bitkiden toprağa salınmakta ve suda çözünen kimyasalların ve besin maddelerinin çoğu, yüksek yağış alan bölgelerdeki çevre topraklara sızmaktadır. Ayrıca yapısında bulunana ‘durrin’ bileşiği siyanür toksisitesine neden olarak bitki büyümesini engellemektedir. Ayrıca mitokondriyal sitokrom oksidazı inhibe ederek elektron taşıma sistemi ve hücresel düzeyde oksijen metabolizmasının gerçekleşmesine engel olmaktadır. Buna ek olarak, çeşitli durrin türevleri (örneğin; p-hidroksi benzoik asit) de fitotoksik olarak tanımlanmıştır. *Sorghum halepense*’de ‘sorgoleone’ olarak adlandırılan bu kimyasallar aylarca toprakta kalarak diğer türlerin mitokondriyal solunumuna, fotosentezlerine ve enzim sentezlerine etki etmektedirler. Ayrıca bitkilerin çözünen madde ve besin alınımına engel olmaktadır [36].

Kuraklık ve don dönemlerinde yaygın olarak bir yem bitkisi olarak kullanılan *Sorghum halepense*’nin yapraklarında bulunan siyanür sebebiyle de otçular tarafından tüketimi bu canlılar için zehirlenme etkisi yaratmaktadır. Bitki geniş getiren otçular tarafından tüketildiğinde durrin glikoziti enzimler sayesinde parçalanmakta ve kandan hücresel oksijen alımını önleyen hidrokiyanik asitler (örn. prusik asit) serbest kalmaktadır. Yüksek azot ve düşük fosfor koşullarında büyüyen juvenil aşamadaki bitkiler daha yüksek toksisite seviyelerine sahip olmakla birlikte bu koşullar altında otlanan atlarda nöropati, teratogenez, ışığa duyarlılık, nitrat zehirlenmesi ve akut siyanür zehirlenmesi gibi büyük hayvan hastalıkları belirlemektedir [36].

Birçok araştırmacı, *Sorghum halepense* bitkisinin farklı kısımlarında, fotosistem II’yi (PSII) inhibe ederek önemli fitotoksik etkiler indükleyebilen fenolik bileşiklerin ve flavonoidlerin varlığını rapor etmiştir. Bitkinin yaprak ve rizom kısımları alifatik asit, klorojenik asit, durrin, prunasin, p-kumarik asit, p-hidroksibenzoik asit, p-

hidroksilbenzil alkol, p-hidroksibenzaldehid, floroglusinol, sorgoleone ve taksifilin allelokimyasallarını içermektedir. Ayrıca bitkinin her kısmında valinik asit, gallik asit, 4-hidroksi benzoik asit, sorgoleone ve dihidrosorgoleone gibi temel fitokimyasallar bulunmaktadır. P-hidroksibenzaldehid, trisin, p-hidroksibenzonik asit, (E)-p-hidroksisinnamik, luteolin, apigenin, salkolin A ve salkolin B gibi sekiz farklı allelopatik bileşik bitkinin toprak üstü kısımlarında bulunmakta ve bitki kökleri, birkaç bitkinin kök büyümesini kısıtlayan, "sorgoleone" adlı uzun zincirli zehirli bir hidrokinon salgılamaktadır. Yapılan birçok çalışma *Sorghum halepense* bitkisinin taze veya çürümüş yaprak ve rizom kısımlarının değişen miktarlarda suda çözünür allelokimyasallar içerdiğini ve bunların sayısız bitki türünün çimlenme ve fide gelişimine engel olduğunu göstermiştir [36].



Bölüm 2

Literatür Özeti

Sushma ve diğ. [38] koruyucu zırh üretiminde kullanılmak üzere sisal takviyeli doymamış polyester kompozit laminatlar üzerinde kapsamlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Lif oryantasyonu değiştirilerek ve farklı konsantrasyonlardaki sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile yapılan yüzey işlemleriyle üretilen kompozit laminatların mekanik özellikleri test edilmiştir. %10 NaOH (2-5 saat), %6 NaOH (5 saat) ve %2 NaOH (2 saat) ile muamele edilen liflerle üretilen kompozitlerin diğer NaOH konsantrasyon ve süreleriyle muamele edilenlere göre daha iyi çekme, eğilme ve darbe testi performansına sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca lif oryantasyonu yönlendirilmiş kompozitlerin rastgele yönlendirilmiş kompozitlere göre daha üstün gerilme ve eğilme direnci özellikleri sergiledikleri rapor edilmiştir.

Deepak ve diğ. [39] çalışmalarında farklı oranlarda lif takviyesinin kompozit malzeme üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Farklı yüzde oranlarında kenevir lifleri ile takviye edilmiş HDPE kompozitleri üretilmiş ve mekanik davranışları gözlenmiştir. Lifler ve HDPE arasındaki arayüzey yapışmasını arttırmak için liflerin kimyasal muamelesi NaOH ve maleik anhidrit yardımı ile gerçekleştirilmiştir. %20'lik kenevir içeriğine sahip kompozitin en iyi gerilme direnci özelliği sergilediği belirtilirken HDPE matrisindeki kenevir içeriğinin artırılmasıyla kompozitin gerilme direncinde bir düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada kenevir lif içeriğinin %10 ile %30 arasındaki artışının, kompozit malzemenin eğilme direncinde bir azalmaya sebebiyet verdiği belirtilmiştir.

Lu ve Vuure [40] çalışmalarında kurutulmamış (%50 ve %80 bağıl nem) veya kurutulmuş keten lifleri ve neme karşı düşük hassasiyetli reçineler kullanarak ürettikleri kompozitlerin su emme ve bükülme davranışlarını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda kurutulmamış keten lifleri içeren polyester/keten ve

epoksi/keten kompozitlerinin her iki tipinin de kurutulmuş keten lifleri içeren kompozitlere göre daha düşük nem emme ve daha iyi bükülme özellikleri sergiledikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak kuru olmayan elyaftan yapılmış ve neme karşı düşük hassasiyete sahip reçinelerden oluşan kompozitlerin, doğal lif takviyeli kompozitlerin suya dayanıklılığını arttırmak için kullanılabilceği tespit edilmiştir.

Verma ve Shukla [41] çalışmalarında lif yükleme oranının (ağırlıkça %10, %20, %30) gerilme ve eğilme özellikleri üzerindeki etkisini alkali ile muamele edilmiş veya işlem görmemiş kısa kenaf lifi takviyeli HDPE kompozitleri üzerinden incelemiştir. Ağırlıkça %10 kısa kenaf lifi içeren kompozitlerin maksimum gerilme direnci gösterirken ağırlıkça %30 kısa kenaf lifi içeren kompozitlerin ise maksimum bükülme direnci gösterdikleri belirtilmiştir. Artan lif takviyesi ile birlikte lif ve polimer matrisi arasındaki zayıf yük transfer kabiliyetinden dolayı HDPE'nin gerilme özelliklerinde düzelme olmadığı ancak doğal liflere alkali işlem uygulandığı takdirde yük taşıma özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu yüzden sönümlenme değerinin alkali işlem görmüş kısa kenaf lifi takviyeli kompozitlerde işlem görmemiş kompozitlere göre daha iyi olduğu belirtilerek alkali işlemin iyileştirilmiş bir lif matris arayüzeyi oluşturduğu ifade edilmiştir.

Gloria ve diğ. [42] çalışmalarında hacimce %30'a kadar ananas yaprak lifi içeren polyester kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. Ananas yaprak lifleri içeren polyester matris kompozitlerinde %30'a kadar ananas yaprak lifi ilavesinin kompozitlerin çekme dayanımı, gerilme direnci ve elastikiyet modülünü arttırdığı belirtilmiştir. Yapılan SEM analizleriyle zayıf fiber/matris arayüzüne rağmen ananas yaprak liflerinin kırılma polimer matris için etkili bir takviye elemanı olarak işlev gördüğü tespit edilmiştir.

Muktha ve Gowda [43] çalışmalarında herhangi bir kimyasal işleme tabi tutulmamış muz lifleriyle takviye edilmiş polyester kompozitlerinin su emme ve yangına dayanıklılık özelliklerini rapor etmişlerdir. 3 mm ve 5 mm kalınlığında ve lif hacmi fraksiyonu sırasıyla %5, %10, %15, %17.5 ve %20 olan kompozitlerin 3 mm kalınlığındaki numunelerinin hem su emme hem de yangına dayanıklılık kapasitelerinin 5 mm kalınlığındaki numunelere göre daha az olduğu tespit edilmiştir. İşlenmemiş muz lifi takviyeli polyester kompozit numunelerin kalınlığı arttıkça, kompozitlerin hem yangına dayanıklılık hem de su emme kapasitelerinin arttığı ve

artan fiber hacmi fraksiyonunun doğrusal yanma hızında azalmaya yol açtığı bulunmuştur.

Huang ve Young [44] çalışmalarında bambu lifi takviyeli epoksi reçineyle hazırladıkları kompozitlerdeki bambu lif oranını değiştirerek alkali işlem uygulanmış ve alkali işlem uygulanmamış bambu lifinin mekaniksel özelliklerini karşılaştırmışlardır. Bambu lifinin direncinin alkali işlem ile azaldığı belirtilerek alkali ile işlenmiş bambu lifi takviyeli epoksi kompozitlerinin, işlenmemiş bambu lifli olanlara göre daha iyi bir gerilme direnci elde ettiği tespit edilmiştir. Ayrıca bambu lifi ve epoksi reçinesi arasındaki arayüzey yapışmasının zayıf olduğu ve alkali işlemle geliştirilebileceği belirtilmiştir. Sabit bambu lif uzunluğu koşullarında, çekme direnci ve elastisite modülünün, bambu lif çapının azalmasıyla arttığı ifade edilerek bambu lifi kompozitlerinin nem emilimine karşı oldukça hassas olduğu ve higrotermal yaşlanmanın, bambu lifi kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerinde zararlı bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

Hosseinihashemi ve diğ. [45] odun plastik kompozitlerdeki odun yongalarına (*Fagus orientalis L.*) ısı işlem uygulanmasının kompozit malzemenin su emme davranışı üzerindeki etkisini ayrıntılı incelemişlerdir. Farklı sıcaklıklarda (120 °C, 150 °C veya 180 °C) 30 veya 120 dakika süreyle termal olarak işlemden geçirilen odun yongalarının su emiliminin ısı işlem süresi ve sıcaklık arttıkça önemli ölçüde arttığı belirtilmiştir. 120 dakika boyunca farklı sıcaklıklarda işlemden geçirilen ısı işlem görmüş odun parçacıkları ile üretilen odun plastik kompozitlerin su emiliminin farklı sıcaklıklarda 30 dakika boyunca işlemden geçirilen odun parçacıkları ile üretilen odun plastik kompozitlerinden ve kontrol numunelerinden daha düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca, 180 °C sıcaklıkta 120 dakika boyunca ısı işleme tabi tutulan odun parçacıklarıyla üretilen kompozitlerin en az su emilimi sergilediği belirtilmiştir.

Akash ve diğ. [46] sisal ve kenevir lifi takviyeli epoksi matrisli hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerini ve nem emme performanslarını araştırmışlardır. Farklı oranlarda sisal ve kenevir lifleri kullanılarak üretilen kompozitlerde lif yüzeyleri ve epoksi reçinesi arasındaki bağlanma özelliklerinin artırılması için %10'luk NaOH çözeltisi kullanılmıştır. Ağırlıkça %40 sisal/kenevir lifi takviyeli hibrit kompozitlerin maksimum eğilme ve basma direnci gösterdikleri tespit edilmiştir. Ayrıca hibrit

kompozitlerin Shore-D sertlik değeri ve su emiliminin lif yükününün artışıyla doğru orantılı olarak arttığı ifade edilmiştir.

Das ve diğ. [47] lif uzunluğunun ve içeriğinin doğal lif takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisini araştırmak amacıyla areka lifi takviyeli fenol formaldehit ve sisal lifi takviyeli fenol formaldehit kompozit malzemeleri ayrıntılı olarak testlere tabi tutmuşlardır. Değişen lif uzunluğu (5, 10 ve 15 mm) ve içeriğindeki (ağırlıkça %10, %20, %30, %40, %50) değişimin kompozitlerin mekanik performanslarına etkisini inceleyen araştırmacılar lif içeriğindeki ve uzunluğundaki artışla mekanik özelliklerin geliştiğini belirtmişlerdir. Kompozitlerin gerilme ve eğilme özelliklerinin, 10 mm lif uzunluğuna kadar arttığı ve bu uzunluktan fazlasının mekanik özelliklerde düşüşe sebebiyet verdiği gözlenmiştir. Sisal lifi takviyeli fenol formaldehit kompozitlerin, 10 mm lif uzunluğunda ve ağırlıkça %40 lif içeriğinde maksimum gerilme ve bükülme direnci değerlerine sahip olduğu rapor edilirken bu kompozitlere sisal ilavesinin kompozitin darbe direncini düşürdüğü belirtilmiştir. Areka lifi takviyeli fenol formaldehit kompozitler içinde maksimum eğilme, gerilme ve darbe direncinin 10 mm lif uzunluğunda ve ağırlıkça %40 lif içeriğinde olduğu tespit edilirken %40'ın üzerindeki ilavelerin bütün lif uzunluklarında olmak üzere mekanik özellikleri düşürdüğü belirlenmiştir.

Sari ve diğ. [48] plazma modifiye edilmiş polietilenin (PPE) hindistan cevizi takviyeli kompozitlerde bir matris olarak kullanım potansiyelini araştırmışlardır. Ayrıca lifler kimyasal işleme tabi tutularak PE/doğal elyaf, PE/ağartılmış doğal lif, PPE /doğal lif, PPE/ağartılmış doğal lif dahil olmak üzere dört farklı tipte arayüzey oluşturulmuştur. Taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri, PE matrisinin plazma modifikasyonu ile doğal lif ve polimer matrisi arasında güçlü bir arayüzey etkileşimi sağladığını gösterirken en iyi mekanik özelliklerin ve nem direncinin daha iyi lif/matris etkileşimi nedeniyle modifiye edilmiş plazma ve kimyasal işleme tabi tutulmuş liflerden üretilen kompozitlerde olduğu tespit edilmiştir.

El-Sabbagh [49] çalışmasında doğal lif (DL) takviyeli polipropilen kompozitlerde matrise maleik anhidrit (MAPP) bağlayıcı ajanının aşılanmasının malzeme üzerindeki mekanik ve termal etkilerini araştırmıştır. Granül ve toz halinde ve farklı moleküler ağırlığa sahip MAPP ve doğal lif tipleri (keten, kenevir, sisal) için araştırılan mekanik özelliklerin optimum değerinin her iki tipteki maleik anhidrit için de %6.7'lik

MAPP:DL oranı oluşu belirtilmiştir. MAPP:DL oran artışının kompozitin sertlik, darbe ve çekme direnci gibi özelliklerini geliştirdiği belirtilirken sertliği maksimuma çıkarmak için gereken MAPP: DF oranının, hem çekme direnci hem de darbe direnci özelliklerini maksimuma çıkarmak için gerekenden daha az olduğu ifade edilmiştir. MAPP artışının erime sıcaklığını düşürdüğü belirtilirken toz halindeki MAPP'lerin kullanılarak üretilen kompozitlerin termal stabilitesinin daha yüksek olmasının kullanılan MAPP tipinin yüksek moleküler ağırlığa sahip olmasından kaynaklandığı bulunmuştur.

Sun ve Wu [50] çalışmalarında sisal lifi takviyeli kompozitlerdeki sisal liflerinin iç mekanik özelliklerini değiştirmek amacıyla sisal liflerini sol jel metoduyla tetraetil ortosilikat (TEOS) ile modifiye etmişlerdir. Maleik anhidrit (MAPP) uyumlulaştırıcısı kullanılarak üretilen kompozitlerin kimyasal işlem görmemiş liflerle üretilen kompozitlere kıyasla çok daha yüksek bir arayüzey kesme direncine sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çekme direnci ve modülünün (ağırlıkça %20 lif yüklemesi) %21.72 ve %28.18, eğilme direnci ve modülünün %3.61 ve %16.02 oranlarında ve darbe dayanımının ise % 21.28 oranında artış gösterdiği belirlenmiştir.

Senthilraja ve diğ. [51] palmye lifi takviyeli vinil ester kompozitlerdeki liflerin şişme etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla kapsamlı asetilasyon çalışmaları yürütmüşlerdir. Asetillendirme işleminin %6 konsantrasyonuna kadar palmye lifi içeren örneklerde maksimum gerilme direnci sağladığı ve bu oranın üzerindeki lif konsantrasyonlarında gerilme direncinin gerileme gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca asetilasyon sürelerinin mekanik özellikleri etkilediği belirtilerek darbe direncinin; 33 saatlik ıslatma ve %6 lif oranı ile ve çekme direncinin ise yine %6 lif oranı ve artan ıslanma süreleriyle ile birlikte arttığı tespit edilmiştir.

Gunning ve diğ. [52] polihidroksibutirat (PHB) bazlı kompozitlerin mekanik özelliklerini ve biyodegradasyon performanslarını kısa uzunlukta kenevir, jüt ve rejenere selüloz lifi kullanarak incelemişlerdir. Her lif çeşidi için ayrı üretilen kompozitler kompost haline getirelerek haftalık kilo kayıpları ölçülmüş ve biyodegradasyon oranlarının lif yüklemesinin artışıyla yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca lif yüklenmesinin artışıyla bütün tipteki kompozitlerin bükülme direnci ve modülünün arttığı belirtilerek maksimum direncin kısa jüt lifi takviyeli kompozitlerde görüldüğü gözlenmiştir. Ayrıca liflerin işlenme aşamasında lif yıpranmasına bağlı

olarak gerilme ve darbe dirençlerinde düşüşler gözlemlense de bunların uzun lif takviyeli kompozitlere kıyasla daha iyi bükülme direncine sahip olduğu belirlenmiştir.

Çetin ve diğ. [53] kısa selüloz liflerinin yüzey asetilasyonu için vinil asetatın transesterifikasyonu yöntemini kullanarak vinil asetatın pamuk liflerinden elde edilen kısa liflerin hidroksil gruplarıyla reaksiyonunu potasyum karbonat katalizörü eşliğinde incelemişlerdir. Reaksiyonun ilk aşamasında liflerin yüzeyinde bir değişim gözlenirken lif boyutu ve kristalinitesinde bir değişim olmadığı belirtilmiştir. Selülozun asetilasyon derecesi, reaksiyon süresinin bir fonksiyonu olarak kolayca izlenerek ancak liflerin nano yapısının sadece kısa reaksiyon süreleri kullanıldığında (2 saatten az) korunduğu belirtilmiştir. Artan reaksiyon süreleri ile selüloz liflerinin asetilasyonunda bir yükseliş gözlenirken daha küçük boyutlar ve düşük kristalinite elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca düşük polariteli bir çözücü olan tetrahidrofuran (THF) çözeltisiyle birlikte modifiye edilmiş liflerden elde edilen süspansiyonların artan asetilasyon ile gelişmiş stabilite gösterdiği belirlenmiştir.

Özmen ve diğ. [54] çalışmalarında endüstriyel atık olarak değerlendirilen MDF (orta yoğunlukta lif levha) unlarının odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilme potansiyelini araştırmışlardır. Polipropilen matris ve MDF unları kullanılarak üretilen odun plastik kompozitlerinde artan MDF unu ilavesiyle birlikte kompozitlerin darbe ve çekme dirençlerinin gerilediği fakat elastikiyet modülü ve eğilme direnci değerlerinin istenenin üzerinde bir değere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Bölüm 3

Çalışmanın Amacı ve Özgün Değeri

Petrol kökenli sentetik polimer malzemelerin doğada uzun süre parçalanamaması ve maliyetlerinin yüksek olması sonucunda doğal kökenli biyopolimerlere olan ilgi artmıştır. Kompozit malzeme üretiminde özellikle bitkisel lif kaynakları kullanılarak ucuz, ekolojik, ve sürdürülebilir kaynaklarla yapılan üretimlerle biyokompozit kavramı önem kazanmıştır. Biyokompozit üretiminde tercih edilen lignoselülozik maddeler genellikle bitkisel kökenli lif kaynaklarından elde edilmektedir. Bitkisel kökenli lif kaynaklarının sınırlı olmaları ve genellikle farklı amaçlar için kullanılmaları hızlı yetişen alternatif bitkisel lif kaynaklarının arayışını doğurmuştur. Ayrıca orman kaynaklarındaki mevcut azalma ve çeşitli çevreci baskılar bu alternatif lif kaynaklarının odun yerine tercih edilmelerini sağlamıştır.

Bu çalışmada alternatif lif kaynağı olarak *Sorghum halepense* (Kanyaş) bitkisi ve polimer matris olarak geri dönüşüm polipropilen (GD-PP) kullanılarak termoplastik kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda *Sorghum halepense* bitkisinin lignoselülozik madde içeriklerinin kimyasal analizleri ayrıntılı olarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada lignoselülozik malzeme kaynağı olarak kullanılan *Sorghum halepense* bitkisi olumsuz iklim ve toprak koşullarına dayanabilen ve çok hızlı gelişen istilacı bir otdur. Tarla vb. alanlarda hızlıca çoğalarak mahsüle ve mahsülle beslenen hayvanlara zarar vermesi yönüyle de çiftçiler için zararlı bir bitki olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmayla birlikte tarım arazilerinde ‘zararlı ot’ veya ‘atık’ olarak değerlendirilen *Sorghum halepense* bitkisine katma değer kazandırılması hedeflenmiştir. *Sorghum halepense* bitkisinin lif kaynağı olarak kullanılabilmesi sayesinde çiftçiler için atık olarak değerlendirilen bu bitkiden kazanımlar sağlanmış ve dünyanın her yerinde hızlıca çoğalabilen bu bitkinin ekonomik ve ticari yönden çekici bir lif kaynağı olma potansiyeli belirlenmiştir. Ayrıca mekanik ve fiziksel

özelliklerde istenen sonuçların alınmasıyla da polimer matrisli biyokompozitler için yeni bir lif türü ikame edilmiştir. Dünyada geniş yayılım gösteren *Sorghum halepense* bitkisinin termoplastik kompozit malzeme içerisinde takviye elemanı olarak kullanımının daha önce kimse tarafından çalışılmaması ve bitkinin ayrıntılı lignoselülozik madde analizlerinin yapılmamış olunması bu çalışmayı bu zamana kadar yapılmış olan diğer çalışmalardan farklı kılmaktadır. Aynı zamanda çalışma kapsamında kullanılan polipropilen matrisin geri dönüştürülmüş olarak kullanılması polimer açısından da çevreci bir kullanımı doğurmuş ve malzeme ekolojik olarak büyük avantajlara sahip olmuştur.



Bölüm 4

Materyal-Metod

Bu çalışmada, doğal lif takviyeli kompozit üretiminde *Sorghum halepense* bitkisinin kimyasal analizleri yapılarak alternatif lif kaynağı olarak kullanılabilme potansiyeli incelenmiştir.

4.1 Materyal

4.1.1 *Sorghum halepense* Lifleri

Bu çalışmada, biyokompozit malzeme üretiminde lignoselülozik materyal olarak *Sorghum halepense* lifleri kullanılmıştır. *Sorghum halepense* lifleri İzmir'in Foça ve Çiğli ilçelerinden ve Balıkesir'in Ayvalık ilçesinden Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında farklı arazi tiplerinden toplanarak temin edilmiştir. Şekil 4.1 (a), (b), (c), (d)'de örneklerin toplandığı bölgeler gösterilmektedir. Daha sonra aylara göre tasnifleri yapılan örneklerin yaprak ve gövde kısımları birbirlerinden ayrılmış ve bitki lifleri 5-10 mm uzunluğunda olacak şekilde makas ile kesilmiştir. Şekil 4.1'de kesimi yapılan gövde ve yaprak bölümleri gösterilmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.1: Farklı aylarda farklı örnekleme alanlarından toplanan *Sorghum halepense* örnekleri, (a) Haziran, (b) Temmuz, (c) Ağustos, (d) Eylül



Şekil 4.2: *Sorghum halepense* bitkisinin kesilen gövde ve yaprak lifleri

4.1.2 Polimer hammaddeler

Bu çalışmada polimer matris olarak geri dönüşüm polipropilen (GD-PP) kullanılmıştır. GD-PP, Kocaeli'nin Gebze ilçesindeki Polipro (Polipro Plastik San. ve Dış Tic. A.Ş.), PP ise İzmir'in Aliğa ilçesindeki Petkim (Petrokimya Holding A.Ş.) firmasından temin edilmiştir.

4.1.3 Kimyasal maddeler

Bu çalışmada *Sorghum halepense* gövde ve yaprak lif unlarının ekstraksiyon işlemi için kullanılan toluen, aseton ve etanol kimyasalları Merck firmasından; holoselüloz ve alfa selüloz tayininde kullanılan sodyum hidroksit (NaOH) Merck firmasından, sodyum klorit (NaClO_2) ve asetik asit (CH_3COOH) ise Sigma firmasından temin edilmiştir.

4.2 Metod

4.2.1 *Sorghum halepense* Liflerinin Öğütülmesi

Kimyasal analiz işlemlerinden önce 5-10 mm boyutlarında kesilen gövde ve yaprak lifleri, LOYKA marka laboratuvar tipi öğütücü kullanılarak öğütülmüştür. Elde edilen lif unları sarsak elekde elenerek 60-80 mesh (177-250 μm) parçacık boyutundaki lif unları elde edilmiş ve kompozit malzeme üretim aşamasında kullanılmak üzere tasnif edilmiştir. Öğütme işleminde kullanılan cihaz Şekil 4.3'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Bitki liflerinin öğütülmesinde kullanılan öğütücü

4.2.2 *Sorghum halepense* Liflerinin Kurutulması

Öğütme işleminden sonra lif unu haline getirilen yaprak ve gövde lifleri yapılarındaki rutubetin uzaklaştırılması amacıyla 103 ± 2 °C sıcaklığa ayarlı fırında tam kuru ağırlıklarına ulaşana kadar bekletilmişlerdir. Kurutma işlemi biten örnekler desikatör içerisine konmuş ve oda sıcaklığına ulaşmaları sağlanmıştır. Oda sıcaklığına ulaşan lif unları, aylara göre tasnif edilerek ağız kapalı plastik torbalarda muhafaza edilmişlerdir.

4.2.3 *Sorghum halepense* Liflerinin Kimyasal Analiz Yöntemleri

4.2.3.1 Kül Tayini

Bu çalışmada *Sorghum halepense* bitkisinin içerisinde bulunan inorganik madde miktarının tespit edilmesi amacıyla TAPPI T 211 om-02 standartlarına (TAPPI,2004) uygun kül tayini gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.4’de kül tayini işleminde kullanılan Protherm marka kül fırını ve Şekil 4.5’de fırın sonrası elde edilen kül örneklerinden biri gösterilmektedir.



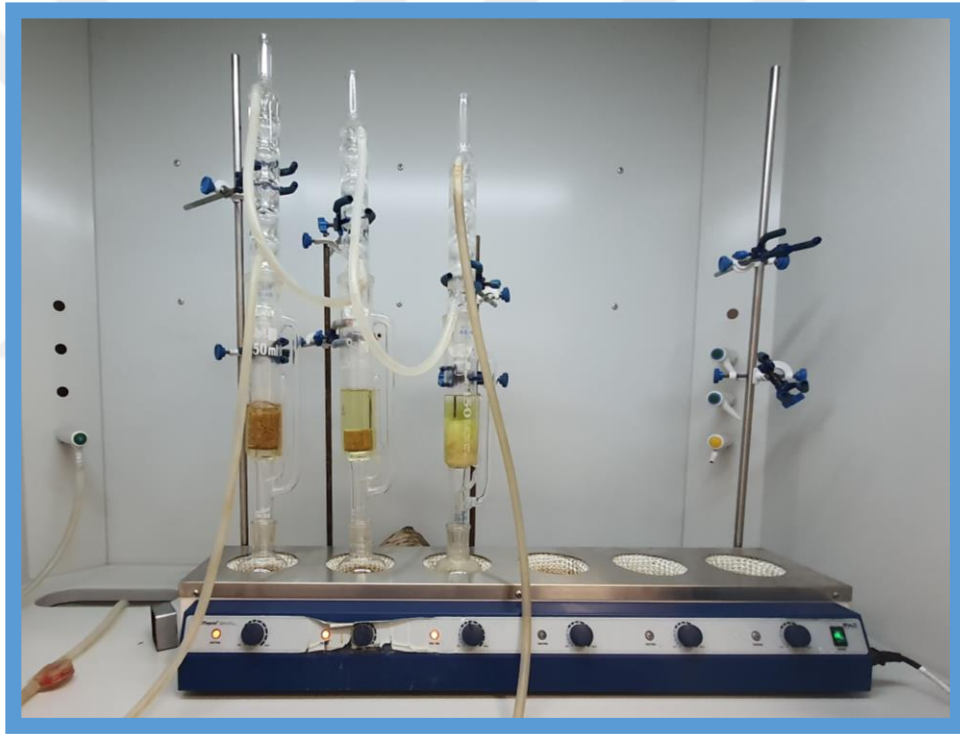
Şekil 4.4: Kül fırını



Şekil 4.5: Kül örneği

4.2.3.2 Solvent Ekstraksiyonu

Öğütme sonucu elde edilen gövde ve yaprak liflerinin ekstraktif madde miktarının belirlenerek uzaklaştırılması amacıyla örnekler sokslet düzeneği kullanılarak 4/1/1 oranındaki toluen/aseton/etanol çözeltisiyle 6 saat boyunca ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuşlardır. Şekil.4.6'da ekstraksiyon işleminde kullanılan sokslet düzeneği gösterilmiştir. Daha sonra ekstrakte edilen örnekler 103 ± 2 °C'deki fırında 24 saat boyunca tam kuru ağırlıklarına gelene kadar kurutulmuşlardır. Kurutma işlemi biten örneklerin tartılarak ağırlıkları belirlenmiş ve aşağıdaki formüller kullanılarak ekstraktif madde miktarları belirlenmiştir. Şekil 4.7'de ekstraksiyon işlemi sonrası elde edilen yaprak ve gövde lif unları gösterilmektedir.



Şekil 4.6: Ekstraksiyon işleminde kullanılan sokslet düzeneği

$$4-1-1 \text{ (toluen/aseton/etanol) çözünürlüğü} = [(W1-W2)/W1] \times 100$$

W1= İşlem öncesi tam kuru örnek ağırlığı

W2= İşlem sonrası tam kuru örnek ağırlığı



Şekil 4.7: Ekstrakte edilmiş yaprak (solda) ve gövde (sağda) lif unu örnekleri

4.2.3.3 Holoselüloz Tayini

Bu çalışmada hazırlanan lif örneklerinin holoselüloz miktarları Wise'nin klorit yöntemine göre tespit edilmiştir [55].

Ekstraktif maddeleri uzaklaştırılmış 2,5 gram lif unu örnekleri, saf su ilave edilerek erlenlere konulmuştur. Daha sonra erlenler 80 °C sıcaklıktaki su banyosunda tutulmuştur. Reaksiyon boyunca erlenler ara ara çalkalanmış ve 6 porsiyon halinde sodyum klorit ve asetik asit ilavesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.8'de holoselüloz tayininde kullanılan deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 4.8: Holoselüloz tayininin gerçekleştirildiği deney düzeneği

Delignifikasyon işlemi tamamlandıktan sonra soğumaya bırakılan örnekler, önceden tam kuru tartımı alınmış olan cam bir krozeden aseton ve destile su kullanılarak süzlmüştür. Şekil 4.9' da süzme işlemi gösterilmektedir. Süzme işlemi sonrası elde edilen kalıntı 103±2 °C'lik fırında kurutularak tam kuru ağırlığı tartılmış ve aşağıdaki formül kullanılarak yüzdesel olarak holoselüloz miktarı belirlenmiştir.



Şekil 4.9: Klorlama işleminden sonra gerçekleştirilen süzme işleminin deney düzeneği

$$\text{Holoselüloz Miktarı (\%)} = (W1/W2) \times 100$$

W1 = Tam kuru holoselüloz ağırlığı

W2 = Tam kuru örnek ağırlığı

4.2.3.4 Alfaselüloz Tayini

Bu çalışmada yaprak ve gövde liflerinin alfaselüloz miktarlarını tespit etmek amacıyla TAPPI T 203 standartları kullanılmıştır. %17,5'lik sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi ile muamele edilen 2 gram tam kuru holoselüloz örnekleri cam baget yardımıyla karıştırılmış ve bekletilmiştir (Şekil 4.10). Bekleme süresi sona erdikten sonra karışım %8,3'lük NaOH çözeltisi, %10'luk asetik asit (CH₃COOOH) ve 250 ml destile su ile yıkanarak cam bir krozeye süzlmüştür. Şekil 4.11'de süzme işlemi gösterilmektedir.



Şekil 4.10: Alfa selüloz tayininde kullanılan örnekler



Şekil 4.11: Örneklerin alfa selüloz tayini sonrası yapılan süzme işlemi

Süzme işlemi sonrası geri kalan kısım 103 ± 2 °C'lik fırında tam kuru hale gelene kadar bekletilmiştir. Kurutma işlemi sonrası alınan tartımla beraber aşağıdaki formüle göre alfa selüloz oranları yüzdesel olarak tespit edilmiştir.

$$\text{Alfa selüloz (\%)} = S1/S2 \times 100$$

S1 = İşlem öncesi tam kuru ağırlık

S2 = İşlem sonrası tam kuru ağırlık

4.2.4 Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Üretim Yöntemi

Bu çalışma kapsamında *Sorghum halepense* bitkisinin yaprak ve gövde kısımlarındaki lignoselülozik maddeler ayrı ayrı kullanılarak kompozit üretimi gerçekleştirilmiştir. Yaprak ve gövde kısımlarındaki lignoselülozikler toplam malzeme ağırlığının %10, %20 ve %30'unu oluşturacak şekilde GD-PP matrise ilave edilmiştir. Ayrıca kontrol örnekleri olarak sadece GD-PP ve saf PP kullanılarak levha üretimi de gerçekleştirilmiştir.

4.2.4.1 Gelimat Yöntemi

Bu çalışmada öğütülmüş ve ekstraksiyon işlemine tabi tutulmuş yaprak ve gövde lifleri polimer matris ile karıştırılmıştır. Tablo 4.1'de verilen karıştırma oranları kullanılarak Gülnar Makina marka yüksek hızlı termokinetik karıştırıcı (gelimat) yardımıyla lif/polimer hamuru elde edilmiştir. Şekil 4.12'de karıştırma işleminde kullanılan makine gösterilmektedir.

Tablo 4.1: *Sorghum halepense* lifli takviyeli GD-PP kompozitlerinin karışım oranları

Lif Adı	Lif Kodu	Lignoselülozik Madde (%)	Polimer (%)
Yaprak 1-10	Y1-10		
Gövde 1-10	G1-10	10	90
Yaprak 2-10	Y2-10		
Gövde 2-10	G2-10		
Yaprak 1-20	Y1-20		
Gövde 1-20	G1-20	20	80
Yaprak 2-20	Y2-20		
Gövde 2-20	G2-20		
Yaprak 1-30	Y1-30		
Gövde 1-30	G1-30	30	70
Yaprak 2-30	Y2-30		
Gövde 2-30	G2-30		

*Yaprak ve gövdeden ayrı ayrı her bir lif oranı için ikişer levha ayrıca saf PP ve GD-PP' den ikişer levha üretimi gerçekleştirilmiştir. (Y1: Yaprak 1. Levha, Y2: Yaprak 2.levha, G1: Gövde 1. Levha, G2: Gövde 2. Levha)



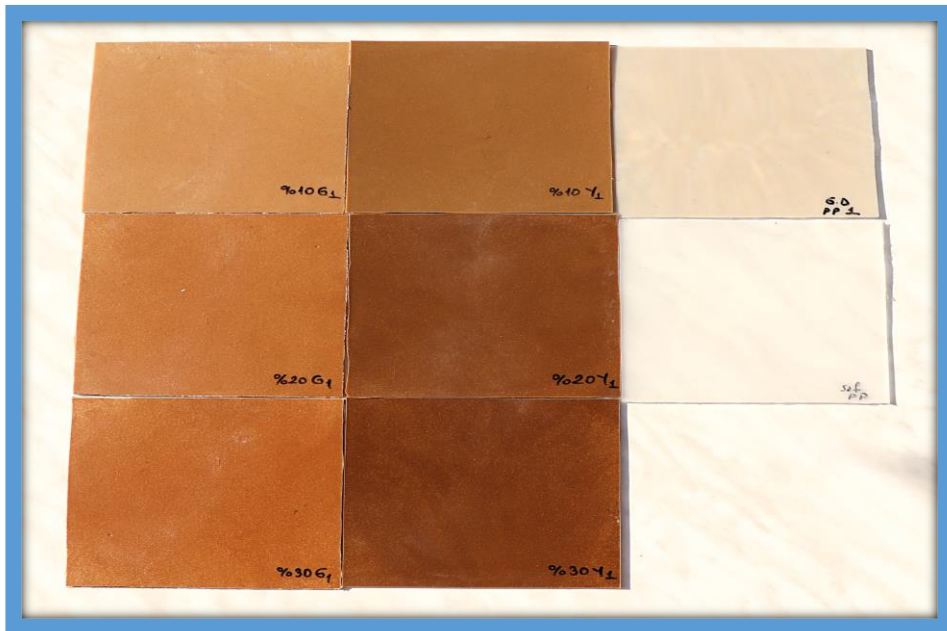
Şekil 4.12: Yüksek hızlı termokinetik karıştırıcı (gelimat) cihazı

4.2.5 Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Üretimi

Yüksek hızlı termokinetik karıştırıcı (gelimat) cihazında hamur haline getirilen lif/matris karışımları, hidrolik üniteli üç zamanlı (90 sn 40 bar,60 sn 70 bar,30 sn 120 bar) sıcak (180 °C) ve tek zamanlı (120 sn 120 bar) soğuk (10 °C) pres (Şekil 4.13) yardımı ile 15x15 cm boyutlarında levhalar haline getirilmiştir. Şekil 4.14’de üretilen levha örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 4.13: Plaka üretiminde kullanılan sıcak pres cihazı

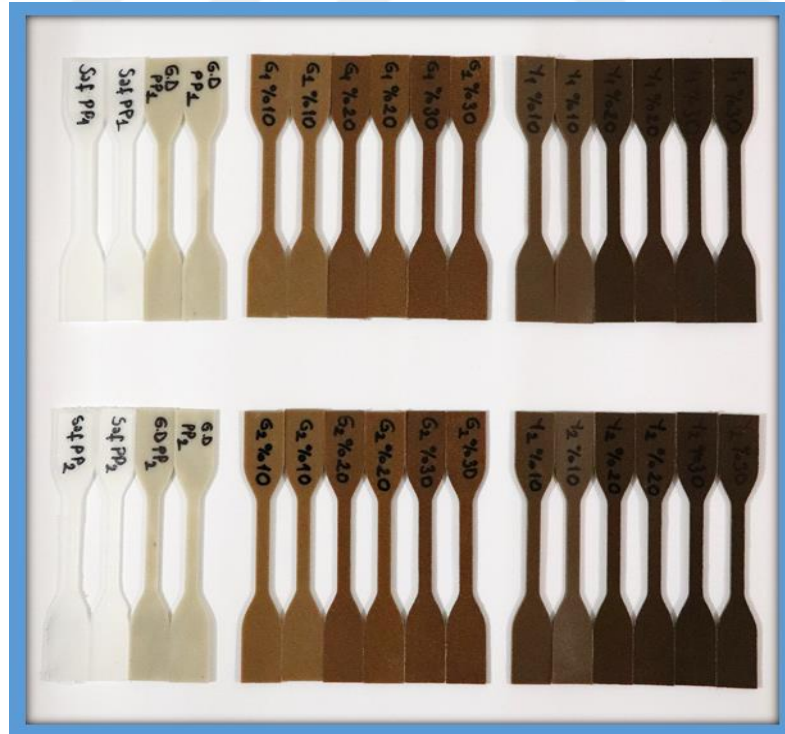


Şekil 4.14: Üretimi yapılan levha örnekleri

4.2.6 Üretilen Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Analizleri

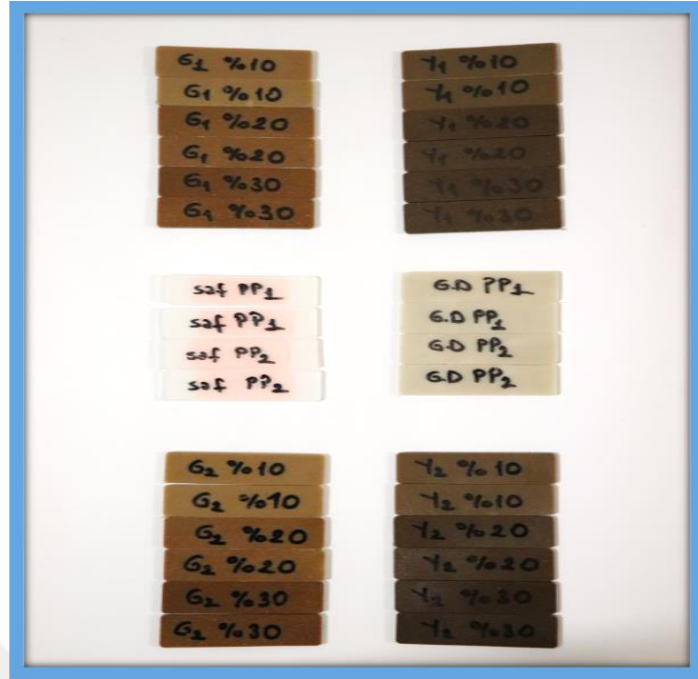
4.2.6.1 Üretilen Doğal Lif Takviyeli Kompozit Levhaların Mekanik Özelliklerinin Analizi

Bu çalışma kapsamında üretilen doğal lif takviyeli kompozitlerin mekanik özelliklerini tespit etmek amacıyla çekme ve eğilme direnci testleri yapılmıştır. Üretilen 2 mm kalınlığındaki kompozit levhalardan test örnekleri hazırlanmıştır. (Şekil 4.15) Çekme direnci testi ASTM D638 ve eğilme direnci testi ASTM D6109 standardına göre MTS CRITERION-C45.305 marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çekme direnci testi (Şekil 4.16 (a)), çekme çeneleri arası mesafe 58 mm olacak şekilde ve 5 mm/dk çekme hızında gerçekleştirilirken eğilme direnci testi (Şekil 4.16 (b)) ise destekler arası mesafe 32 mm olacak şekilde ve 1mm/dk basma hızında gerçekleştirilmiştir. Her çekme ve eğilme testi farklı örnek grubu için 4 kez tekrarlanarak ortalama direnç değerleri dirençleri olarak alınmıştır.



(a)

Şekil 4.15: Mekanik test örnekleri, (a) Çekme direnci test örnekleri, (b) Eğilme direnci test örnekleri



(b)

Şekil 4.15 (devamı)



(a)

(b)

Şekil 4.16: Mekanik test cihaz düzeni, (a) Çekme direnci test düzeni, (b) Eğilme direnci test düzeni

4.2.6.2 Fourier Dönüştümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizleri

Bu çalışmada öğütülmüş fırın kurusu lif örnekleri ve bu örneklerden üretilmiş olan kompozit malzemeler 100/1 (KBr/örnek) oranıyla bir havanda karıştırılmış ve özel bir pres kullanılarak KBr/örnek pelletleri basılmıştır. Oluşturulan pelletlerin FTIR analizleri Şekil 4.17’de gösterilen Shimadzu FTIR 8400s cihazı ile 400-4000 cm^{-1} aralığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.17: FTIR analizlerinin yapıldığı Shimadzu FTIR 8400s cihazı

4.2.6.3 Termo Gravimetrik Analiz (TGA) Yöntemi

Bu çalışmada TGA analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla doğal lif takviyeli kompozit plakalardan uygun boyutlarda kesitler alınmıştır. Alınan örneklerin analizi, TA Q600 marka TGA cihazı (Şekil 4.18) kullanılarak akış hızı 50mL/dk olacak şekilde azot gazı ortamında ve 10 $^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ 'lık ısıtma hızı artışıyla 25-800 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar arasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.18: TA TGA Q600 cihazı

4.2.6.4 Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Analiz Yöntemi ve Kristalite Hesabı

Bu çalışma kapsamında DSC analizlerini gerçekleştirmek amacıyla doğal lif takviyeli kompozit plakalardan uygun boyutlarda kesitler alınmıştır. Alınan örneklerin analizi; ısıtma, soğutma ve tekrar ısıtma olarak 3 aşamada TA Q2000 marka DSC cihazı ile 25-300°C sıcaklıklar arasında 10 °C/dk ısıtma hızı artışıyla ve akış hızı 50 mL/dk olan azot gazı ortamında gerçekleştirilmiştir. Analiz sonrası elde edilen entalpi ve erime sıcaklığı değerleri aşağıdaki formülde kullanılarak kristalite hesapları yapılmıştır.

$$KM = \Delta H_m / \Delta H_m^\circ (1 - m_f) \times 100 \quad [56].$$

KM= Kristalinite miktarı (%)

ΔH_m = Erime sıcaklığındaki entalpi değişimi (J/g)

ΔH_m° = Saf PP kristalinin erime entalpisi (PP; 207 J/g)

m_f = Kompozit karışımındaki lignoselülozik madde miktarı

4.2.6.5 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizi

Bu çalışmada kompozit plakalardan alınan örneklerin SEM analizi Carl Zeiss 300VP marka SEM cihazı (Şekil 4.20) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. SEM analizi öncesinde örnekler Quorum Q150 Res kaplama cihazı (Şekil 4.19) ile homojen bir şekilde altın ile kaplanarak incelenmiştir.



Şekil 4.19: Quorum Q150 Res kaplama cihazı



Şekil 4.20: Carl Zeiss 300 VP model Taramalı Elektron Mikroskobu

Bölüm 5

Bulgular ve Tartışma

5.1 *Sorghum halepense* Bitkisinin Kimyasal Analiz

Sonuçları

Bu çalışmada lignoselülozik materyal olarak kullanılan *Sorghum halepense* liflerinin kimyasal içerikleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

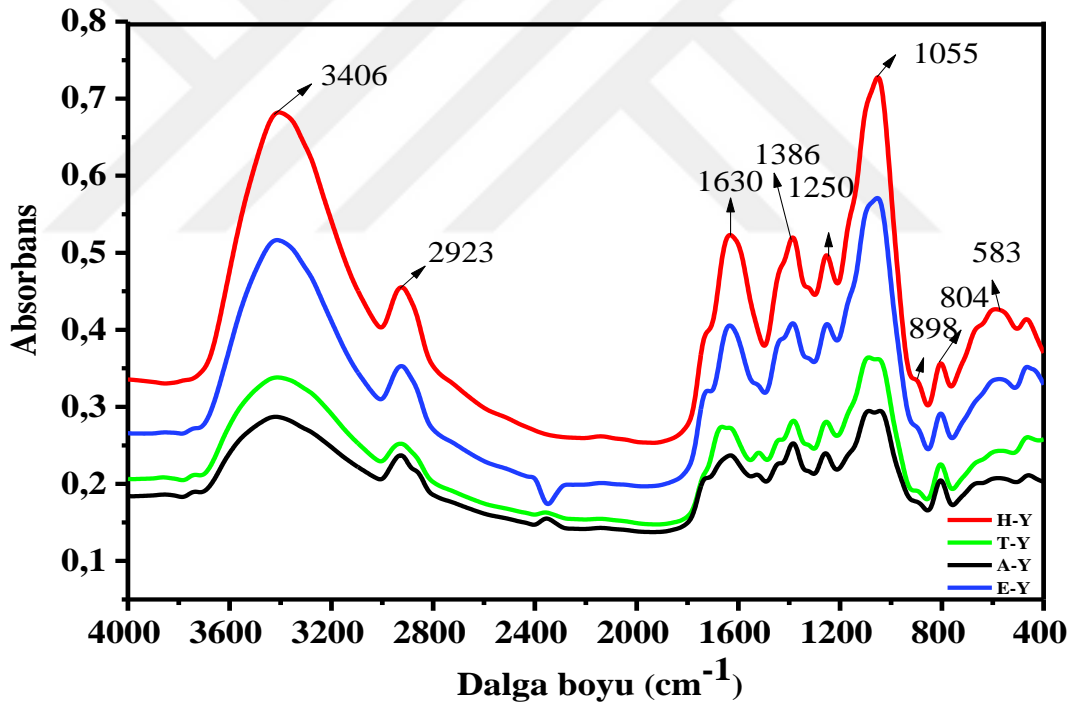
Tablo 5.1: *Sorghum halepense* bitkisinin kimyasal analiz sonuçları

Aylar	Holoselüloz (%)	α -selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)	Ekstraktif (%)	Kül (%)
Yaprak						
Haziran	62,71	32,02	30,69	24,44	1,31	11,54
Temmuz	63,27	33,96	29,31	21,54	1,45	13,74
Ağustos	69,60	33,05	36,55	16,57	1,43	12,40
Eylül	63,06	31,87	31,19	22,25	1,65	13,04
Gövde						
Haziran	63,82	35,80	28,02	29,07	1,08	6,03
Temmuz	66,40	38,05	28,35	26,06	1,28	6,26
Ağustos	68,37	33,74	34,63	24,96	1,20	5,47
Eylül	62,11	35,09	27,02	31,15	1,47	5,27

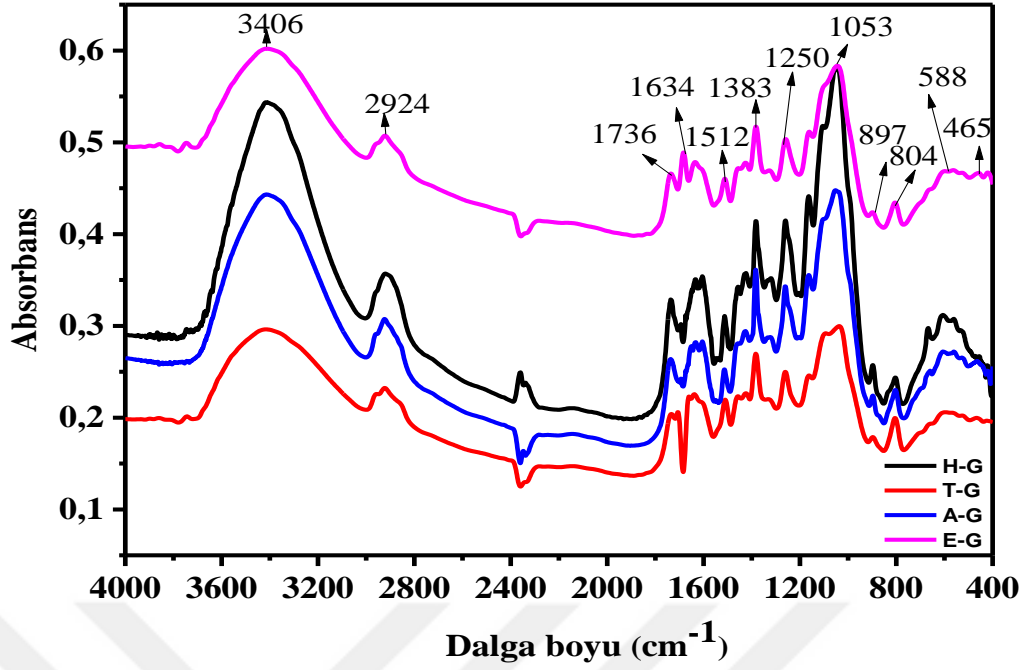
Sorghum halepense bitkisinin farklı aylarda toplanan yaprak ve gövde örneklerinin kimyasal analizleri sonucunda, gövde selüloz oranlarının yaprak selüloz oranlarından yüksek olduğu belirlenmiştir. En yüksek selüloz oranı bitkinin yaprak kısmı için %33,96, gövde kısmı için ise %38,05 ile temmuz ayında toplanan örneklerde tespit edilmiştir. En yüksek hemiselüloz oranı %36,55 ile ağustos ayında toplanan yaprak örneklerinde tespit edilirken en yüksek lignin oranına ise %31,15 ile eylül ayında toplanan gövde örneklerinde tespit edilmiştir. En yüksek kül oranı ise %13,74 ile bitkinin temmuz ayı yaprak örneklerinde tespit edilmiştir.

5.2 FTIR Analizlerine Ait Bulgular

Bu çalışmada ekstraktif maddeleri ayrıştırılan *Sorghum halepense* bitkisinin yaprak ve gövde lif unlarının FTIR spektrumları Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1: *Sorghum halepense* yaprak unu FTIR spektrumları, (Y: Yaprak, H: Haziran, T: Temmuz, A: Ağustos, E: Eylül)



Şekil 5.2: *Sorghum halepense* gövde unu FTIR spektrumları (G: Gövde, H: Haziran, T: Temmuz, A: Ağustos, E: Eylül)

FTIR spekturumunda 3406 cm^{-1} dalga boyunda tespit edilen pik selülozun hidroksil kümelerindeki O-H gerilmesi ve H-bağ titreşiminin varlığını göstermektedir. $3100\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$ bandı arasında gözlenen bu O-H gerilmeleri, doğal lifin yapısındaki nem ve fonksiyonel alkol gruplarının varlığından kaynaklanmaktadır [57]. Tepe noktası yaprak lifi için 2923 cm^{-1} ve gövde lifi için 2924 cm^{-1} olan pikler ise selüloz ve hemiselülozdaki CH (CH_2 ve CH_3) titreşimlerini ve fonksiyonel alkil gruplarının periyodik hareketlerini göstermektedir [58].

Gövde lifi FTIR spekturumunda 1736 cm^{-1} tepe noktasında gözlenen pik C=O gerilme titreşimine bağlı olarak oluşmakta ve bu pik hemiselülozun yapısında bulunan alifatik asit, keton ve ester gruplarının varlığını belirtmektedir [59].

Yaprak lifi için 1630 cm^{-1} ve gövde lifi için 1634 cm^{-1} dalga boyunda tespit edilen güçlü pikler ise lignindeki alfa keto karboksilik asidin C=O gerilme titreşimine veya hemiselülozdaki ester gruplarının varlığına dayandırılabilir [60].

Yaprak lifi için 1386 cm^{-1} ve gövde lifi için 1383 cm^{-1} dalga boylarındaki tepe noktaları lignin ve hemiselülozdaki asetil gruplarının C-O gerilme titreşimini desteklemektedir [60].

Yaprak ve gövde lifi için 1250 cm^{-1} dalga boyunda tespit edilen pikler ise ligninin yapısındaki asetil gruplarındaki C-O gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır [61].

Yaprak lifi için 1055 cm^{-1} ve gövde lifi için 1053 cm^{-1} dalga boyunda tespit edilen belirgin pik ise selülozun yapısını oluşturan polisakkarit birimlerindeki C-O gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır [62].

Yaprak lifi için 898 cm^{-1} ve gövde lifi için 897 cm^{-1} dalga boyunda tespit edilen pikler selülozun yapısında bulunan şekerleri (monosakkaritleri) birbirine bağlayan β glikosidik bağları ve C-O gerilme titreşiminin varlığından kaynaklanmaktadır [58]. Ayrıca moleküller arası hidrojen bağları ile bir arada bulunan O-H grubunun düzlem dışı bükülme titreşimi de bu pikin oluşmasına sebebiyet vermektedir [57].

Yaprak lifi için 583 cm^{-1} ve gövde lifi için 588 cm^{-1} dalga boylarında tespit edilen pikler ise C-OH molekülünün düzlem dışı eğilme titreşiminden kaynaklanmaktadır [58].

Sorghum halepense lifinin FTIR spekturumu analizleri genel olarak değerlendirildiğinde bu lifin yapısında ester, alkol, karbonil ve asit gibi temel grupların yer aldığı sonucu çıkmaktadır.

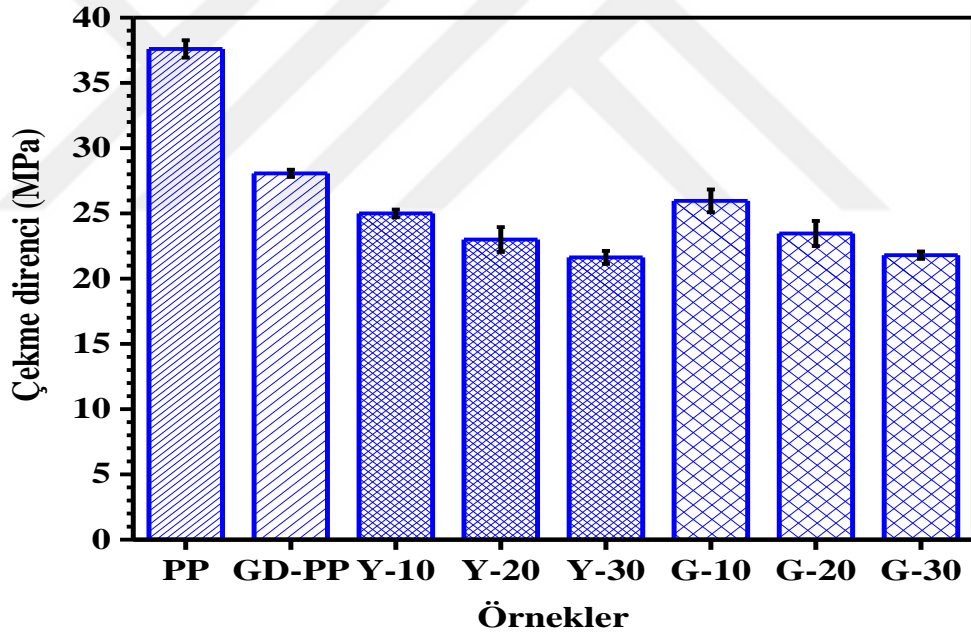
5.3 GD-PP Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Ait

Bulgular

Bu çalışma kapsamında üretimi gerçekleştirilmiş olan saf PP ve GD-PP ve *Sorghum halepense* lifi takviyeli GD-PP kompozit örneklerinin çekme ve eğilme direnci testleri yapılmıştır. Mekanik test sonuçlarına ait bulgular aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

5.3.1 GD-PP Kompozitlerin Çekme Direnci Özelliklerine Ait Bulgular

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda GD-PP kompozitinin çekme direnci 28,07 MPa olarak tespit edilmiştir. *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin çekme direncine ait Anova varyans (F-TESTİ) analizi sonuçlarına göre, *Sorghum halepense* lifi yüzde katılım oranları arttıkça çekme direnci değerlerinde ($\alpha < 0,05$ seviyesine göre) anlamlı bir azalmanın olduğu görülmüştür. Tukey testi sonuçları *Sorghum halepense*'nin yaprak ve gövde kısmı kullanılarak üretilen kompozitlerin çekme dirençleri arasında istatistiksel olarak ($\alpha > 0,05$) anlamlı bir farkın olmadığını göstermiştir. En iyi çekme direnci sonucunu 25,96 MPa ile %10 gövde lifi ilaveli kompozit malzeme vermiştir. *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozit örneklerinin çekme direnci sonuçları Şekil 5.3'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3: *Sorghum halepense* gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin çekme direnci sonuçları (Y: Yaprak, G: Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP: Geri Dönüşüm Polipropilen)

Doğal lif takviyeli kompozit malzemelerde kullanılan lif hacminin artırılmasıyla birlikte hidrofilik özellikteki lif ile hidrofobik özellikteki matris polimeri arasında zayıf bir arayüzey bağlantısı oluşmaktadır. Hidrofilik lifler yüksek su emilimine yol açarak neme karşı zayıf direnç göstermektedirler. Bu durum doğal lif takviyeli

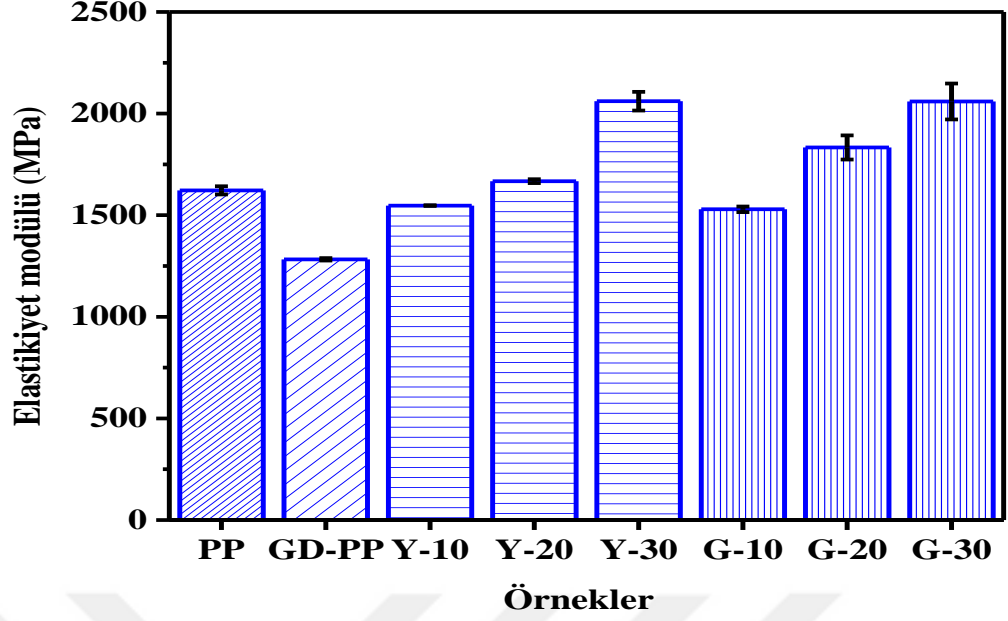
kompozit malzemelerin çekme dirençlerinde düşüşlerin yaşanmasına sebebiyet vermektedir. Lif yüzeylerinde hemiselüloz, lignin ve pektin gibi mumlar ve diğer selülozik olmayan maddeler lif yüzeyi pürüzlülüğünü azaltarak çekme direnci değerlerini olumsuz etkilemektedir.

Malzemede kullanılan lif hacmi arttırıldıkça lif-lif etkileşimleri ve gözeneklilik artmakta bu da lif ve matris arasında etkisiz bir stres transferinin gerçekleşmesine sebebiyet vermektedir. Bu etkisiz stres transferi lif eksenine paralel düzlemler boyunca artan kesme gerilmeleri nedeniyle kompozitin erken bozulmasına sebebiyet vermektedir. Bu durum lif ve matris polimeri arasındaki bağlanma gücünü iyileştirmek amacıyla MAPP vb. çeşitli bağlama maddelerine ve lif yüzeyi kimyasal modifikasyonlarına ihtiyacı arttırmaktadır. Bununla birlikte, genel olarak kompozitler yeterli bir arayüzey sağlandıktan sonra, ağırlıkça %55-65 ve ağırlıkça %40-50 lif içeriğine kadar maksimum sertlik ve dirence sahip olmaktadır [63-65].

5.3.2 GD-PP Kompozitlerin Çekmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulgular

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda GD-PP çekmede elastikiyet modülü 1282,79 MPa olarak tespit edilmiştir.

Sorghum halepense lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin çekmede elastikiyet modülüne ait Anova varyans (F-TESTİ) analizi sonuçlarına göre, *Sorghum halepense* lifi yüzde katılım oranları arttıkça çekmede elastikiyet modülü değerlerinde ($\alpha < 0,05$ seviyesine göre) anlamlı bir artış gözlemlenmiştir. Tukey testi sonuçları *Sorghum halepense* yaprak ve gövde kısmı kullanılarak üretilen kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü değerleri arasında istatistiksel olarak ($\alpha > 0,05$) anlamlı bir farkın olmadığını göstermiştir. En iyi elastikiyet modülü değerini 2061,24 MPa ile %30 yaprak lifi ilaveli kompozit malzeme vermiştir. *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozit örneklerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri Şekil 5.4'de gösterilmektedir.



Şekil 5.4: *Sorghum halepense* gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin çekmede elastikiyet modülü sonuçları (Y: Yaprak, G: Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP: Geri Dönüşüm Polipropilen)

Çekme modülü değerleri lif ve matris modülünden, lif içeriği ve oryantasyonundan ve daha az derecede lif uzunluğundan etkilenmektedir. Üretim metodlarına bağlı olarak lifin kompozit malzeme içindeki sıkıştırılma durumu lif yoğunluğunu artırarak malzemenin elastikiyet modülü değerlerini yükseltmektedir. Çap genişliği küçük olan lifler büyük olan liflere göre daha yüksek çekme modülü değerlerine sahipken lif ve matris arasında güçlü bir arayüzey yapışmasının olması da yüksek elastikiyet modülü değerlerinin oluşmasını sağlamaktadır [66, 67].

Yapılan bir çalışmada doğal lif takviyeli GD-PP kompozitlerde lif hacminin artırılmasıyla birlikte örneklerin mekanik özelliklerinde daha iyi sonuçlar elde edildiği tespit bildirilmiştir. Çekmede elastikiyet modülü değerlerinin en iyi %40 oranında doğal lif ilaveli GD-PP kompozitlerde görüldüğü ve elde edilen modül değerinin saf PP ve saf GD-PP kompozitlerden yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca elastikiyet modülündeki bu artışın lifin sert yapısından kaynaklandığı belirtilmiştir [68]. Bu çalışmada da benzer bir şekilde *Sorghum halepense* lifinin GD-PP matrise artan ilavesiyle birlikte kompozit malzemenin elastikiyet modülü değerlerinin yükseldiği ve saf GD-PP kompozitlerden oluşan kontrol gruplarına göre %62.26'lık bir artışın gerçekleştiği tespit edilmiştir.

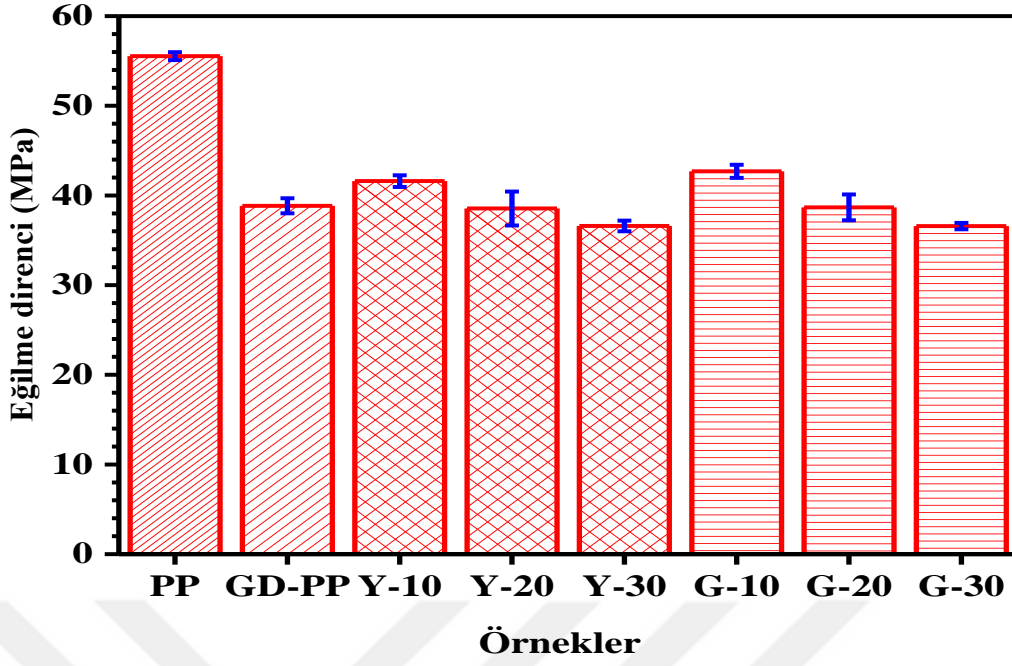
5.3.3 GD-PP Kompozitlerin Eğilme Direnci Özelliklerine Ait Bulgular

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda GD-PP'nin eğilme direnci 38,84 MPa olarak tespit edilmiştir.

Sorghum halepense lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin eğilme direncine ait Anova varyans (F-TESTİ) analizi sonuçlarına göre, eğilme direnci değerlerinde ($\alpha < 0,05$ seviyesine göre) %10 lif ilavesine kadar anlamlı bir artışın olduğu ve daha yüksek lif oranlarındaki ilavelerin anlamlı bir azalmaya neden olduğu görülmüştür. Tukey testi sonuçları *Sorghum halepense*'nin yaprak ve gövde kısmı kullanılarak üretilen kompozitlerin eğilme dirençleri arasında istatistiksel olarak ($\alpha > 0,05$) anlamlı bir farkın olmadığını göstermiştir. Ayrıca Tukey testi sonuçlarına göre kontrol grubu ile %20 oranında *Sorghum halepense* lifi ekli kompozit örnekleri aynı istatistiksel grup içerisinde yer almıştır.

Sorghum halepense lifi ilaveli GD-PP kompozitlerde , %10 lif ilaveli örneklerin eğilme direnci değerlerinin kontrol grubuna göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. %20 ile %30 lif ilaveli örneklerin eğilme direnci değerlerinin ise kontrol grubuna göre daha düşük olduğu belirlenmiştir.

En iyi eğilme direnci sonucunu 42,69 MPa ile %10 gövde lifi ilaveli kompozit malzeme vermiştir. *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozit örneklerinin eğilme direnci sonuçları Şekil 5.5'de gösterilmektedir.



Şekil 5.5: *Sorghum halepense* gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin eğilme direnci sonuçları (Y:Yaprak, G:Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP:Geri Dönüşüm Polipropilen)

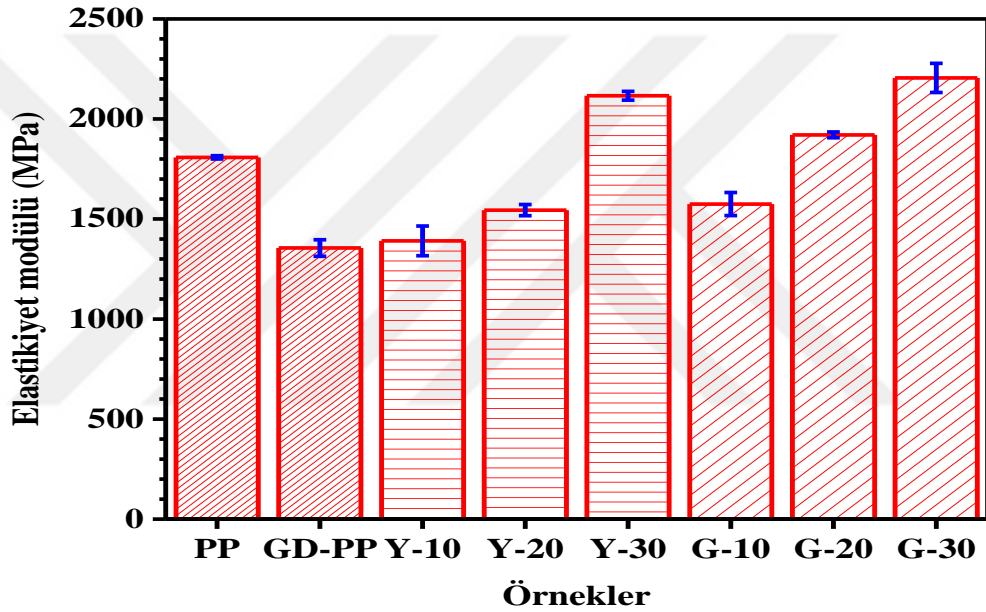
Doğal lif takviyeli PP kompozitlerde yüksek lif yüklenmesiyle birlikte malzemenin eğilme direnci değerlerinde düşüşler gerçekleşebilmektedir. Bu düşüş genellikle matris içindeki lif uyumsuzluğuyla gerçekleşen matris lif arayüzey mikro çatlak oluşumundan ve matrisdeki lif yığılımının düzgün olmayan stres transferi gerçekleştirmesinden kaynaklanmaktadır [69]. Bu çalışmada da artan lif katılım oranıyla birlikte malzemelerin eğilme direnci değerlerinde düşüşler gözlemlense de bu değerler arasında belirgin bir fark tespit edilmeyip kontrol grubuna göre daha iyi eğilme direnci sergiledikleri saptanmıştır.

5.3.4 GD-PP Kompozitlerin Eğilmede Elastikiyet Modülü Değerlerine Ait Bulgular

Bu çalışma kapsamında yapılan analizler sonucunda GD-PP'nin eğilmede elastikiyet modülü 1355 MPa olarak tespit edilmiştir. *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülüne ait Anova varyans (F-TESTİ) analizi sonuçlarına göre, *Sorghum halepense* lifi yüzde katılım oranları arttıkça eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde ($\alpha < 0,05$ seviyesine göre) anlamlı bir artışın olduğu

görülmüştür. Tukey testi sonuçlarına göre yaprak ilaveli kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde gövde ilaveli kompozitlere göre istatistiksel olarak ($\alpha < 0,05$) anlamlı bir farkın olduğu belirlenmiştir.

Sorghum halepense bitkisinin gövde ve yaprak lifleri kullanılarak üretilen GD-PP kompozitlerin tüm gruplarında gövde lifi ilaveli kompozitler yaprak ilaveli kompozitlere göre daha yüksek elastikiyet modülü değerleri sergilemişlerdir. En iyi elastikiyet modülü değerini 2205 MPa ile %30 gövde lifi ilaveli kompozit malzeme vermiştir. *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozit örneklerinin eğilmede elastikiyet modülü sonuçları Şekil 5.6'da gösterilmektedir



Şekil 5.6: *Sorghum halepense* gövde ve yaprak lifi ilaveli GD_PP kompozitlerin eğilmede elastikiyet modülü sonuçları (Y: Yaprak, G: Gövde, PP: Saf Polipropilen, GD-PP: Geri dönüşüm Polipropilen)

Yapılan bir çalışmada sisal lifi ilavesiyle üretilen PP kompozitlerde herhangi bir matris veya lif iyileştirme işlemi olmamasına rağmen artan lif oranıyla birlikte eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde kontrol gruplarına göre bir artışın gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu artışın sebebinin matris lif arayüzeyinde daha yüksek stres transferine izin veren artan lif oranı olduğu belirtilmiştir [69].

Doğal lif takviyeli GD-PP kompozitlerin mekanik özellikleri, lif sertliğine, boyutlarına ve lif modül değerlerinin polimer matris modül değerleriyle karşılaştırılmasına bağlı olarak değişmektedir. 70-100 mesh parçacık boyutunda (≥ 150 ile $< 212 \mu\text{m}$) lif unu

eklenen GD-PP kompozitlerin eğilme modülü değerlerinin 40-70 mesh (≥ 212 ile < 425 μm) parçacık boyutunda lif unu içerenlere göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir [70]. Bu çalışmada da 80 mesh ve üstü parçacık boyutundaki *Sorghum halepense* liflerinin GD-PP'ye artan oranlarla ilavesiyle kontrol grubuna göre çok daha yüksek elastikiyet modülü değerleri sergilediği tespit edilmiştir

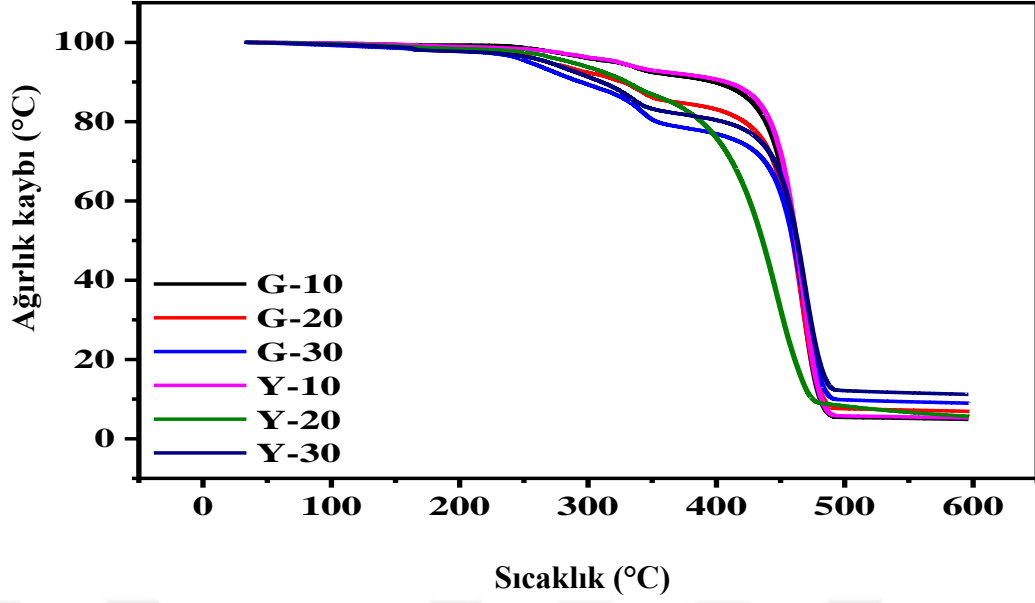
5.4 Kompozitlerin Termal Özelliklerine Ait Bulgular

5.4.1 TGA Analizlerine Ait Bulgular

Bu çalışma kapsamında yapılan *Sorghum halepense* gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP ve kontrol kompozitlerinin TGA analizleri sonucunda ortaya çıkan termogram eğrileri Şekil 5.7'de verilmiştir. 1. aşama bozunma eğrileri *Sorghum halepense* gövde ve yaprak liflerinin, 2. aşama bozunma eğrileri ise GD-PP polimer matrisinin termal özelliklerini yansıtmaktadır. Şekilde verilen termogram eğrilerine göre *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin kontrol kompozit örneği olan saf GD-PP kompozit örneğine göre termal kararlılığında düşüş görülmüştür.

Lif ilaveli kompozitler kendi aralarında kıyaslandığında lif ilavesi arttıkça 1. aşama bozunma sıcaklıkları ve %20 yaprak lifi ilaveli örnek hariç 2. ortalama bozunma sıcaklıklarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca yaprak lifi ilaveli kompozitlerin gövde lifi ilaveli kompozitlerden önce bozunduğu görülmektedir. GD-PP kompozitlerin TGA değerleri Tablo 5.2'de gösterilmektedir.

Doğal liflerin kimyasal bileşenlerinde 400 °C altında bozulmalar gerçekleşmektedir. Selülozun 275-350 °C, hemiselülozun 150-350 °C ve ligninin ise 350-500 °C arasında yapılarının bozdukları bilinmektedir [71].



Şekil 5.7: GD-PP kompozitlerin termogram eğrileri (Y: Yaprak, G: Gövde)

* %20 Yaprak lifi ilaveli kompozitlerin TGA analizleri iki farklı levhadan 3 tekrarla aynı sonuçları vermiştir.

Tablo 5.2: GD-PP kompozitlerin TGA değerleri

Kompozit Örnekler	1. Aşama Ortalama Bozunma Sıcaklığı (°C)	2. Aşama Ortalama Bozunma Sıcaklığı (°C)
PP	376,38	443,11
GD-PP	366,58	440,15
Y-10	318,27	446,99
Y-20	320,15	417,05
Y-30	321,92	450,17
G-10	319,96	446,64
G-20	328,68	447,28
G-30	329,73	447,80

5.4.2 DSC Analizlerine Ait Bulgular

Odun unu ilaveli polimer matrisle üretilen kompozit malzemelerde artan lif oranı ile birlikte malzemenin erime entalpilerinde düşüşler gözlenebilmektedir. Polimer matris miktarının azalmasıyla birlikte malzemeyi eritmek için daha az bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Başka bir deyişle daha az bir polimer matrisi eritmek için daha az bir ısı gerekmektedir [72]. Bu çalışmada da benzer bir şekilde ilave edilen lif oranı arttıkça kompozit malzemelerin erime entalpilerinde belirgin bir düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin DSC analizi değerleri Tablo 5.3’de gösterilmektedir. Bu değerlere göre kontrol kompozit örneği olan GD-PP’nin saf PP’ye göre daha düşük bir erime entalpisine sahip olduğu ve yaprak ve gövde lifi ilaveli kompozitlerin erime sıcaklıkları arasında belirgin bir fark olmadığı görülmüştür. Gövde lifi ilaveli kompozitlerin erime entalpilerinin yaprak lifi ilaveli kompozitlerinkinden çok az bir farkla daha yüksek olduğu saptanmıştır. En yüksek erime entalpi 46.47 J/g ile %10 gövde lifi ilaveli GD-PP kompozitinde tespit edilmiştir. Ayrıca kompozit örneklerinin erime sıcaklığı değerlerinin birbirine yakın derecelerde olduğu saptanmıştır.

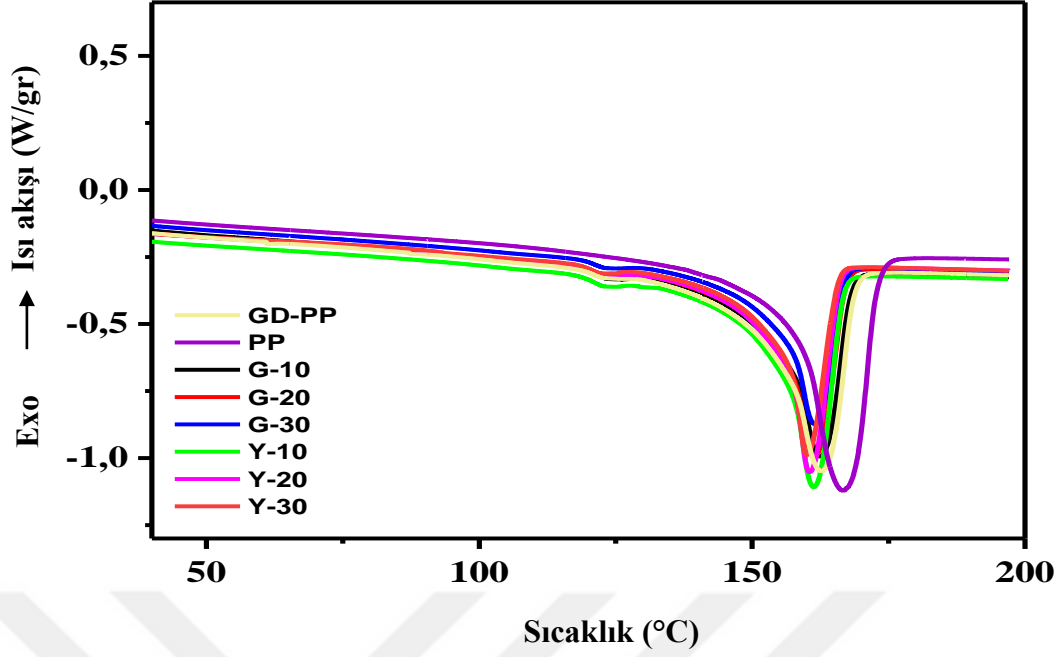
Tablo 5.3: GD-PP kompozitlerin DSC analiz değerleri

Örnekler	Erime Entalpi (J/g)	Erime Sıcaklığı (°C)	Kristalite (%)
PP	57.54	166.92	27,79
GD-PP	52.56	162.74	25,39
G-10	46.47	162.59	24,94
G-20	44.90	161.39	27,11
G-30	42,15	161,43	29,08
Y-10	45.84	161.39	24,60
Y-20	43.14	160.57	26,05
Y-30	41.53	160.05	28,66

Örneklerin kristalite yüzdeleri incelendiğinde *Sorghum halepense* lifi ilavesi arttıkça kompozit malzemelerin kristalite yüzdelerinin arttığı ve en yüksek kristalite yüzdesinin %30 gövde lifi ilaveli GD-PP kompozitinde gözlemlendiği tespit edilmiştir. En düşük kristalite yüzdesi ise %10 yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozit örneklerinde saptanmıştır. Aynı zamanda kristalite yüzdeleri açısından gövde ve yaprak lifi ilaveli kompozitlerin arasında belirgin bir fark saptanmazken gövde lifi ilaveli kompozitlerin kristalite yüzdelerinin az bir farkla yaprak lifi ilaveli kompozitlerden yüksek olduğu tespit edilmiştir. Saf PP kompozitin erime sıcaklığı, entalpi ve kristalite değerlerinin kontrol grubu olan GD-PP kompozite göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bir çalışmada ağırlıkça %25 oranında yer fıstığı kabuk tozu içeren GD-PP kompozitlerin lif ilavesiz kontrol örneklerine göre kristalite yüzde değerlerinin %5.5 oranında bir artış sergilediği rapor edilmiştir. GD-PP'nin kristalite oranı %30.11 iken ağırlıkça %25 oranında lif unu içeren örneklerin kristalite yüzdesinin %31.89 olduğu belirlenmiştir. Kristalizasyon yüzdelerindeki bu artışın doğal liflerin geri dönüştürülmüş polipropilende kristalizasyon için iyi çekirdekleştirici ajanlar olarak hareket etme eğiliminde olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Küçük partikül boyutlarındaki lif unlarının (0–420 µm) kümeleşme eğilimleri sonucu oluşan büyük lif kümeleri polimer zincirlerine karışarak kristalite gelişimini desteklemiştir. Selüloz polimer kristalizasyonu için iyi bir nükleus ajanı olmakla beraber partikül boyutu, lif dağılımı ve lifin polimer matrisle arayüzey yapışması kristalite değerlerini önemli ölçüde etkilemektedir [73]. Bu çalışmada da benzer bir şekilde 80 mesh ve üstü (177-250 µm) partikül boyutlarındaki *Sorghum halepense* liflerinin iyi dağılımı ve artan ilavesi ile birlikte GD-PP kompozitlerin kristalite yüzde değerlerinde belirgin bir artışın gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Sorghum halepense lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin DSC eğrileri Şekil 5.8'de verilmiştir. Şekilde verilen değerlere göre kontrol grubu olan GD-PP kompozitlerinin erime pikinin derinliğinin *Sorghum halepense* lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin erime piki derinliğinden fazla olduğu ve lif oranı arttıkça erime piki derinliğinde düşüşlerin sergilendiği görülmüştür.

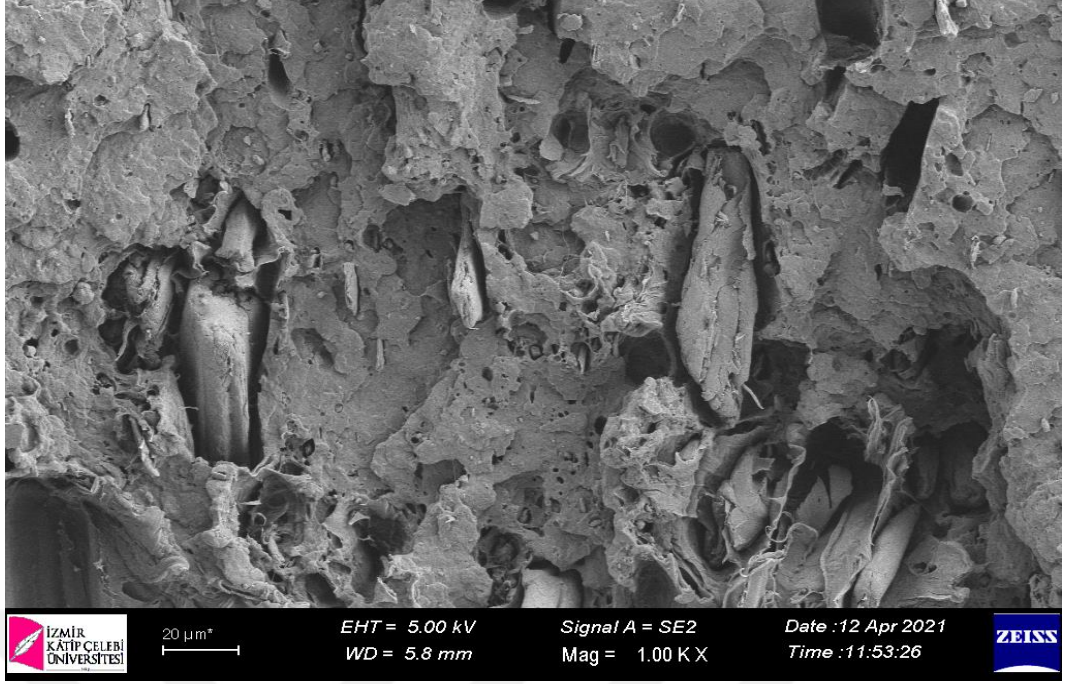


Şekil 5.8: GD-PP kompozitlerin DSC eğrileri (Y: Yaprak, G: Gövde, GD-PP: Geri Dönüşüm PoliPropilen, PP: Saf PoliPropilen)

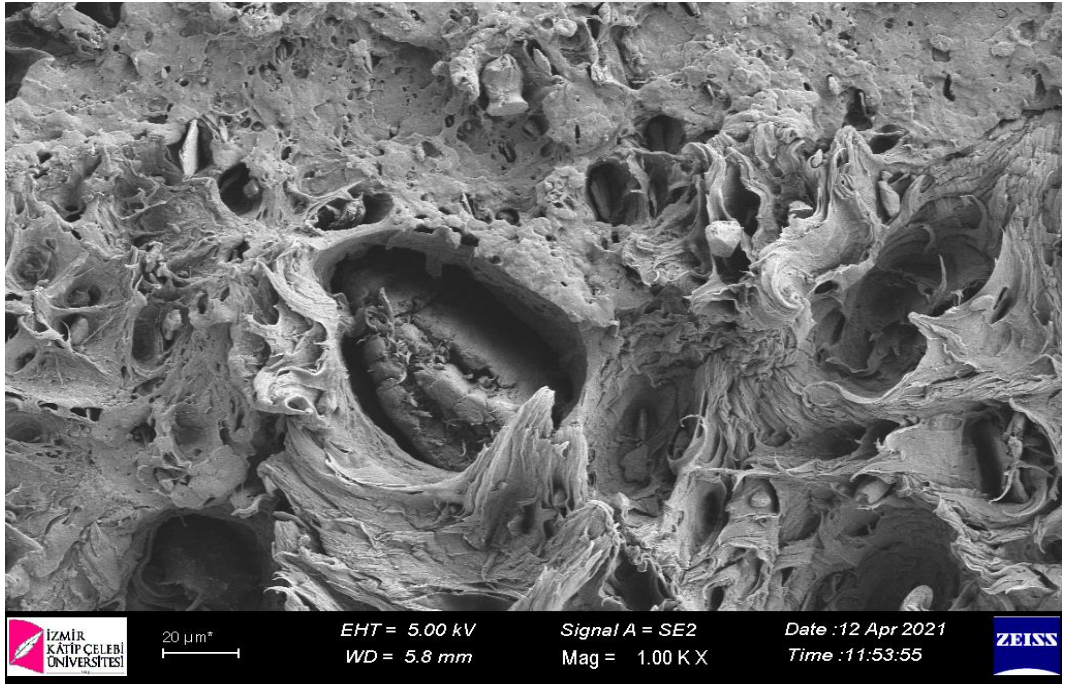
5.5 Kompozitlerin Morfolojik Özelliklerine Ait Bulgular

5.5.1 GD-PP Kompozitlerin SEM Analizlerine İlişkin Bulgular

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da GD-PP kompozitler arasında eğilme ve çekme direncinde en iyi sonuçları gösteren %10 gövde lifi ilaveli kompozit malzemenin SEM görüntüleri verilmiştir. *Sorghum halepense* liflerinin çok fazla kümeleşme göstermemesi, polimerin iplik formunda uzantılı yapılar sergilemesi ve boşluklu yapının fazla olmaması lif ve polimer matrisin homojen karıştığına ve bunun sonucunda lif ve matrisin daha iyi bağ yaptığına kanıt oluşturmaktadır.



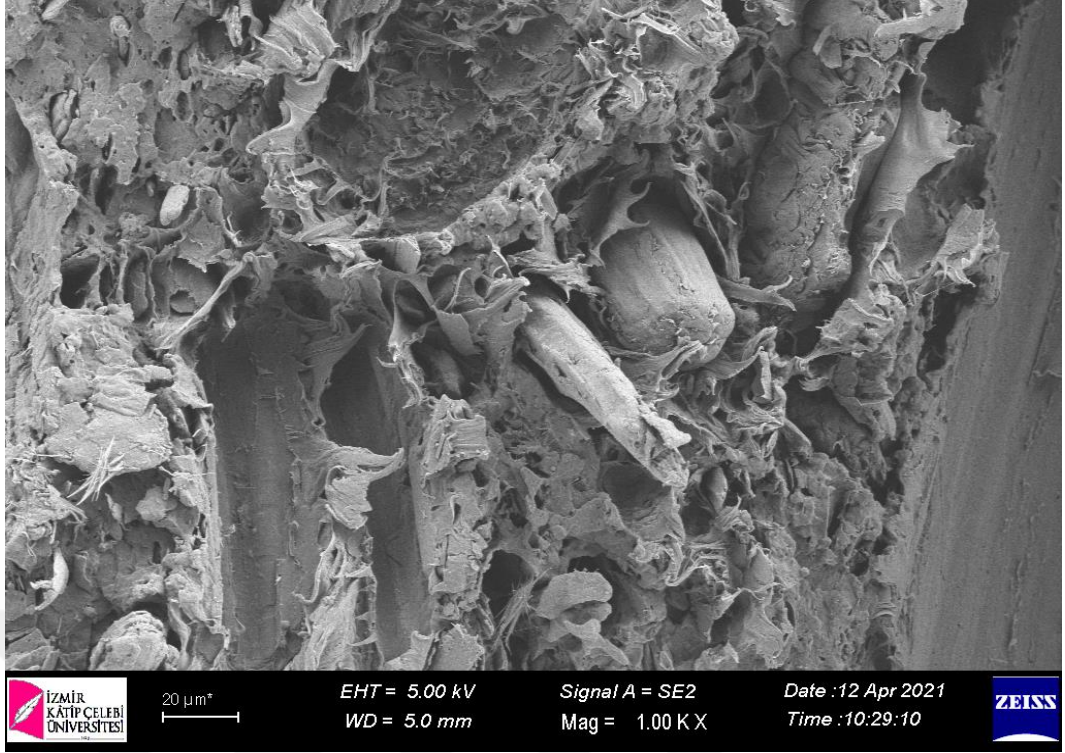
Şekil 5.9: Çekme ve eğilme direncinde en iyi sonuçları gösteren %10 gövde lifi ilaveli kompozit malzemenin SEM görüntüsü



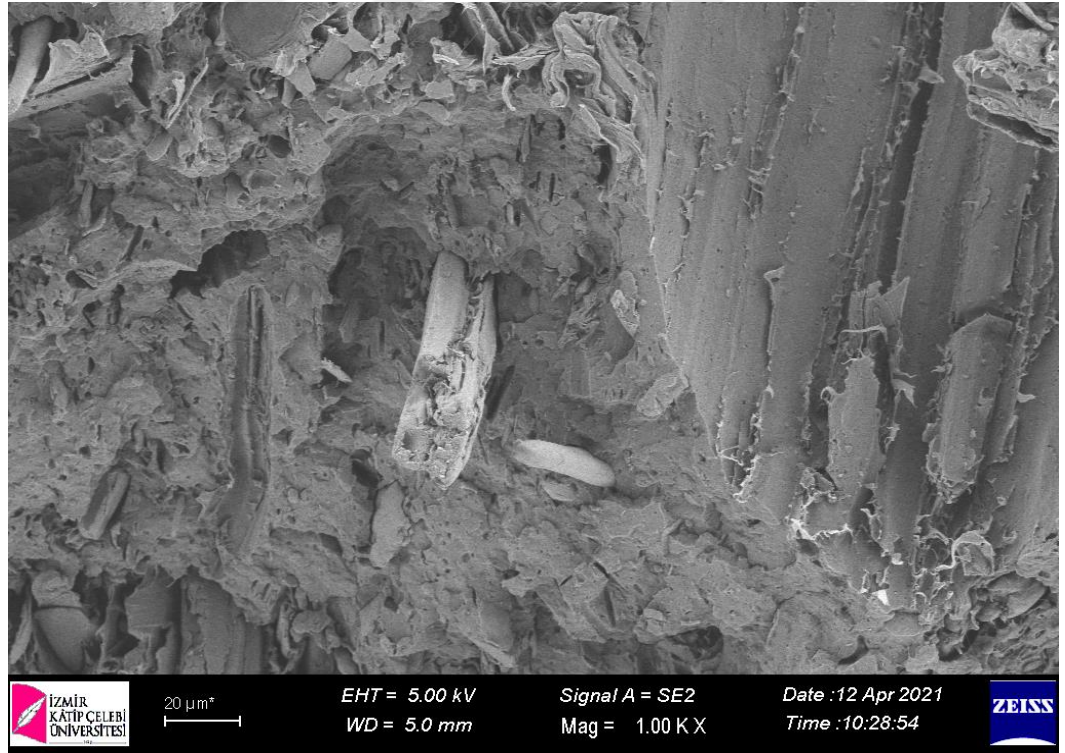
Şekil 5.10: Çekme ve eğilme direncinde en iyi sonuçları gösteren %10 gövde lifi ilaveli kompozit malzemenin SEM görüntüsü

Doğal lif takviyeli kompozit malzemelere herhangi bir stres veya gerinim uygulandığında istenen mekanik direnç özelliklerinin alınabilmesi için iyi bir lif-polimer karışımının olması gerekmektedir. Malzeme karışımında bulunan boşluklar kompozitlerin stres aktarma verimliliğini azaltmakta ve ayrıca mekanik özellikleri düşürmektedir [74].

Yapılan bir çalışmada ağırlıkça %10 kenaf lifi içeren GD-PP kompozitlerde lifin polimer karışımının tüm boş alanlarını işgal etmede yeterli olmadığı ve işleme sırasında kenaf lifinden salınan nemin polimer matris tarafından emildiği rapor edilmiştir. Ağırlıkça %20 ve %30 kenaf lifi içeren GD-PP kompozitlerde lif oranı arttıkça boş alanların azaldığı ve kenaf lifinin %30 olduğu kompozitlerde liflerin daha geniş bir yayılım göstererek boşlukları doldurduğu tespit edilmiştir. İyi bir dağılım gösteren lif yoğunluğu ile birlikte işgal edilen polimer matrisin daha az nem aldığı ve malzemelerin daha iyi mekanik sonuçlar sergilediği tespit edilmiştir [74]. Bu çalışmada da benzer şekilde %30 oranında gövde lifi içeren GD-PP kompozit örneği eğilmede elastikiyet modülü değerinde en iyi sonucu sergilemiştir. *Sorghum halepense* lifi ve GD-PP polimer matrisi iyi bir karışma göstererek malzemedeki boşluklu yapılar lif oranının en fazla olduğu oranla birlikte en aza indirilmiştir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de %30 gövde lifi içeren GD-PP kompozitlerin SEM görüntüleri verilmektedir.



Şekil 5.11: Eğilmeye elastikiyet modülü değeri en iyi sonucu veren %30 gövde lifi içeren kompozitin SEM görüntüsü



Şekil 5.12: Eğilmeye elastikiyet modülü değeri en iyi sonucu veren %30 gövde lifi içeren kompozitin SEM görüntüsü

Bölüm 6

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma kapsamında biyokompozit üretiminde kullanılacak alternatif bir lignoselülozik bitki kaynağı olan *Sorghum halepense* bitkisinin kimyasal yapısı incelenmiş ve bu bitkinin yaprak ve gövde lifleri %10, %20 ve %30 oranlarında kullanılarak biyokompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiştir. *Sorghum halepense* bitkisi haziran, temmuz, ağustos ve eylül gibi farklı aylarda toplanarak bu toplanma zamanının bitkinin kimyasal içeriğine ve malzeme kalitesine etkisi irdelenmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında polimer matris olarak GD-PP kullanılarak çevresel ve ekonomik kazanımların sağlanması hedeflenmiştir.

Çalışmanın birinci aşamasında bitkinin dört farklı ayda toplanan yaprak ve gövde örnekleri öğütülerek lif unu haline getirilmiş ve sokslet ekstraksiyonu yöntemiyle ekstraktif maddelerinden arındırılmıştır. Ardından delignifikasyon, alfa selüloz ve kül tayini işlemleri yapılarak bitkinin kimyasal içeriği tespit edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda genel olarak bitkinin gövde kısmının selüloz içeriğinin yaprak kısmından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En yüksek selüloz oranına sahip ay, bitkinin yaprak ve gövde kısmı için %38,05 ile temmuz ayı olarak belirlenmiştir. En yüksek hemiselüloz oranı %36,55 ile ağustos ayında toplanan yaprak örneklerinde ve en yüksek lignin oranı ise %31,15 ile eylül ayında toplanan gövde örneklerinde tespit edilmiştir.

Kül tayini analizleri incelendiğinde ise bitkinin yaprak kısmı kül oranının büyük bir farkla gövde kısmı kül oranından yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. En yüksek kül oranı %13,74 ile bitkinin temmuz ayı yaprak örneklerinde tespit edilmiştir. Bu farklılık yapraklarda bitkinin geri kalanından daha fazla mineral depolandığını göstermektedir. *Sorghum halepense* bitkisinin kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde lignoselülozik madde bileşiminin bitkinin kullanılan kısmına, hasat zamanına ve toplandığı yere bağlı

olarak değiştiği sonucu çıkarılabilmektedir. Aynı zamanda bütün kimyasal analiz sonuçları FTIR spektrometresi ile desteklenmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise *Sorghum halepense* bitkisinin yaprak ve gövde lifleri kompozit malzemenin ağırlıkça %10, %20 ve %30'unu oluşturacak şekilde GD-PP matris ile karıştırılmış ve gelimat makinesi kullanılarak kompozit levhaların üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca mekanik zelliklerinin GD-PP ile kıyaslanması amacıyla saf PP levha üretimi de gerçekleştirilmiştir.

Sorghum halepense lifi ilaveli GD-PP kompozitler arasında en iyi ekme (25,96 MPa) ve eğilme (42,69 MPa) direnci %10 gövde lifi ilaveli GD-PP kompozit örneğinde tespit edilmiştir. Yüzde katılım oranları arttıa gövde ve yaprak lifi takviyeli kompozit örneklerin çekme ve eğilme dirençlerinde belirgin bir düşüş yaşandığı tespit edilmiştir. Bu düşüşün sebebi hidrofilik karakterdeki *Sorghum halepense* liflerinin yapısındaki lignoselülozik malzemelerin, lif yüzeyindeki pürüzlülüğü azaltarak hidrofobik karakterdeki GD-PP matris ile zayıf bir ara yüzey bağlantısının oluşmasına sebebiyet vermesidir. Ayrıca eğilme direnci özellikleri incelendiğinde %20 oranında yaprak ve gövde lifi içeren kompozitlerinin kontrol grubu olan GD-PP kompozitleri ile aynı mekanik performansı sergilediği belirlenmiştir.

Üretilen kompozitlerin çekme ve eğilme direnci özelliklerinin bitkinin yaprak ve gövde kısmı için istatikselsel olarak aynı olması bitkinin kullanılacak kısmının mekanik özellikler açısından pek bir fark yaratmadığı sonucunu doğurmaktadır.

Sorghum halepense gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin DSC sonuçları incelendiğinde %10 gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitler hariç bütün kompozitlerin kristalite değerlerinin kontrol grubu olan GD-PP ile saf PP kompozitlerden yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca lif ilavesi arttıa yaprak ve gövde gruplarının kristalite değerlerinde %16,5'e varan bir artışın gerçekleştiği tespit edilmiştir.

retimi yapılan kompozitlerin termal zellikleri Termo Gravimetrik Analiz (TGA) cihazı ile tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde *Sorghum halepense* lifi ilaveli kompozitlerin 1. ortalama bozunma sıcaklıkları kontrol kompozitlerine kıyasla %13'e varan düşüşler sergilerken bu durum 2. ortalama bozunma sıcaklıklarında (%20 yaprak lifi ilaveli örnek hariç) %2'lik artışla sonuçlanmıştır. Lifli gruplar kendi aralarında

değerlendirildiğinde lif ilavesi arttıkça kompozitlerin termal kararlılığının arttığı tespit edilmiştir.

Sorghum halepense gövde ve yaprak lifi ilaveli GD-PP kompozitlerin morfolojik yapılarının incelenmesi amacıyla çekilen SEM görüntülerinde lif ve polimerin homojen bir şekilde karıştığı gözlenmiştir. SEM görüntülerinde ipliksi formda polimer uzantılarının varlığı görülürken lif kümeleşmelerinin ve boşluklu yapının fazla olmadığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak yapılan bütün analizlerin sonucunda aşağıdaki önerilerin dikkate alınabileceği düşünülmektedir:

Bu çalışmada kompozit üretim metodu olarak kullanılan gelimat yönteminden farklı olarak ekstrüzyon işlemi ile kompozit malzemelerin üretimi gerçekleştirilebilir ve üretim yöntemi değişiminin malzemelerin özelliklerine olan etkisi incelenebilir.

Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda lif ve polimer matris yüzeyine fiziksel ve kimyasal modifikasyonlar yapılabilir ve bu modifikasyonların kompozit malzemenin özelliklerindeki değişime etkisi incelenebilir. Ayrıca GD-PP matrise alternatif olabilecek başka bir polimer matris kullanılarak kompozitin fiziksel, kimyasal ve morfolojik özelliklerinde oluşabilecek farklılıklar belirlenebilir.

Sorghum halepense bitkisinin yetiştirilmesinin kolay olması ve istilacı bir tür olması sebebiyle seri üretime ihtiyaç duyulan sanayi kolları için üreticilerin tercih edebileceği ve faydalanabileceği bir lif kaynağı olabileceği tespit edilmiştir. Yüksek selüloz oranlarından dolayı kağıt endüstrisinde kullanılabilir ve çiftçiler için tarım arazilerinde ‘zararlı ot’ veya ‘atık’ olarak değerlendirilen bu bitkiye katma değer kazandırılarak çevresel ve ekonomik olarak fayda sağlanabilir.

Bu çalışma sonucunda üretilen biyokompozitler, ideal mekanik, morfolojik, fiziksel ve termal özellikleri doğrultusunda inşaat, otomotiv, mobilya-dekorasyon, çeşitli ev araç gereçleri vb. alanlarda üretim yapan endüstriler için alternatif olabilir.

Kaynaklar

- [1] Nagalakshmaiah M, Afrin S, Malladi RP, Elkoun S, Robert M, Ansari MA, ve diğ. Biocomposites: Present trends and challenges for the future. Ed.: Koronis G, Silva A. Green Composites for Automotive Applications 2018. 197–215. doi.org/10.1016/B978-0-08-102177-4.00009-4
- [2] Vinod A, Sanjay M R, Suchart S, Jyotishkumar P. Renewable and sustainable biobased materials: An assessment on biofibers, biofilms, biopolymers and biocomposites. Journal of Cleaner Production 2020; 258: 120978 doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120978
- [3] Rohit K, Dixit S. A review - future aspect of natural fiber reinforced composite. Polymers from Renewable Resources 2016; 7(2), 43–60. doi.org/10.1177/204124791600700202
- [4] Coelho CMM, Bellato C de M, Santos JCP, Ortega EMM, Tsai SM. Effect of phytate and storage conditions on the development of the ‘ hard-to-cook .’ Journal of the Science of Food and Agriculture 2007; 87(7) :1237–1243. doi.org/10.1002/jsfa
- [5] John MJ, Thomas S. Biofibres and biocomposites. Carbohydrate Polymers 2008;71(3):343–364. doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.040
- [6] Faruk O, Bledzki AK, Fink HP, Sain M. Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010. Progress in Polymer Science 2012; 37(11): 1552–1596. doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003
- [7] Faruk O, Bledzki A K, Fink HP, Sain M. Progress report on natural fiber reinforced composites. Macromolecular Materials and Engineering 2014; 299(1): 9–26. doi.org/10.1002/mame.201300008

- [8] Christian S J. Nonconventional and Vernacular Construction Materials, 2nd ed. Elsevier Ltd; 2020. doi.org/10.1016/b978-0-08-102704-2.00008-1
- [9] Chand N, Fahim M. (Ed.) Tribology of Natural Fiber Polymer Composites, 1st ed. Woodhead Publishing; 2008. doi.org/10.1533/9781845695057.180
- [10] Verma D, Senal I. Natural fiber-reinforced polymer composites: Feasibility study for sustainable automotive industries. Ed.: Verma D, Fortunati E, Jain S, Zhang X. Biomass, Biopolymer-Based Materials, and Bioenergy: Construction, Biomedical, and other Industrial Applications. Woodhead Publishing; 2019. 103-122. doi.org/10.1016/B978-0-08-102426-3.00006-0
- [11] Matuana LM, Stark NM. The use of wood fibers as reinforcements in composites. Ed.: Faruk O, Sain M. Biofiber Reinforcements in Composite Materials. Woodhead Publishing; 2015. 648-688. doi.org/10.1533/9781782421276.5.648
- [12] Leong, YW, Thitithanasarn S, Yamada K, Hamada H. Compression and injection molding techniques for natural fiber composites. Ed.: Hodzic A, Shanks R. Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Applications. Woodhead Publishing; 2013. 216-232. doi.org/10.1533/9780857099228.2.216
- [13] Ocak G, Baba E, Terlemezoğlu A, Güleç C. Masaüstü plastik ekstrüzyon makinesi tasarımı ve imalatı (MM-406 bitirme projesi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi; 2018.
- [14] Balla VK, Kate KH, Satyavolu J, Singh P, Tadimeteti JGD. Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. Composites Part B: Engineering 2019; 174: 106956. doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.106956
- [15] Scaffaro R, Botta L. Nanofilled Thermoplastic-Thermoplastic Polymer Blends. Ed.: Thomas S, Shanks R, Chandrasekharakurup S. Nanostructured Polymer Blends. William Andrew Publishing; 2013. 133-160. doi.org/10.1016/B978-1-4557-3159-6.00005-5

- [16] Crawford RJ, Martin P J. *Plastics Engineering*, 4th ed. Butterworth-Heinemann; 2020. doi.org/10.1016/b978-0-08-100709-9.00001-7
- [17] Spear MJ, Eder A, Carus M. *Wood polymer composites*. Ed.: Ansell MP. Wood Composites. Elsevier Ltd; 2015. 195-249. doi.org/10.1016/B978-1-78242-454-3.00010-X
- [18] Panthapulakkal, S, Raghunanan L, Sain M, Kc B, Tjong J. *Natural fiber and hybrid fiber thermoplastic composites: Advancements in lightweighting applications*. Ed.: Baillie C, Jayasinghe R. *Green Composites: Waste and Nature-based Materials for a Sustainable Future: Second Edition*. Woodhead Publishing; 2017. 39-72. doi.org/10.1016/B978-0-08-100783-9.00003-4
- [19] Joffe R, Andersons J. *Mechanical performance of thermoplastic matrix natural-fibre composites*. Ed.: Pickering KL. *Properties and Performance of Natural-Fibre Composites*. Woodhead Publishing; 2008. 402-459. doi.org/10.1533/9781845694593.3.402
- [20] Vengatesan M R, Varghese A M, Mittal V. *Thermal properties of thermoset polymers*. Ed.: Guo Q. *Thermosets: Structure, Properties, and Applications: Second Edition (2nd ed.)*. Elsevier Ltd; 2018. 69-114. doi.org/10.1016/B978-0-08-101021-1.00003-4
- [21] Ouarhim W, Zari N, Bouhfid R, Qaiss AEK. *Mechanical performance of natural fibers-based thermosetting composites*. Ed.: Jawaid M, Thariq M, Saba N. *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*. Woodhead Publishing; 2019. 43-60. doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00003-5
- [22] Crosky A, Soatthiyanon N, Ruys D, Meatherall S, Potter S. *Thermoset matrix natural fibre-reinforced composites*. Ed.: Hodzic A, Shanks R. *Natural Fibre Composites: Materials, Processes and Applications*. Woodhead Publishing Limited; 2013. 233-270. doi.org/10.1533/9780857099228.2.233

- [23] Djafari Petroudy SR. Physical and mechanical properties of natural fibers. Ed.: Fan M, Fu F. *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*. Woodhead Publishing; 2017.59-83. doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00003-0
- [24] Ashori A. Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries! *Bioresource Technology* 2008; 99(11): 4661–4667. doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.043
- [25] Brigham C. Biopolymers: Biodegradable Alternatives to Traditional Plastics. Ed.: Török B, Dransfield T. *Green Chemistry: An Inclusive Approach*. Elsevier Inc; 2017.753-770 doi.org/10.1016/B978-0-12-809270-5.00027-3
- [26] Yousuf A, Pirozzi D, Sannino F. *Fundamentals of lignocellulosic biomass*. Ed.: Yousuf A, Pirozzi D, Sannino F. *Lignocellulosic Biomass to Liquid Biofuels*. Academic Press; 2020.1-15. doi.org/10.1016/b978-0-12-815936-1.00001-0
- [27] Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. (Ed.) *Natural fibers, biopolymers, and biocomposites*, 1st ed. CRC Press; 2015. doi.org/10.1201/9780203508206.ch1
- [28] Miyata Y. *Biodegradable Plastics*. *Nippon Nogeikagaku Kaishi* 1994; 68(9) : 1318-1320. doi.org/10.1271/nogeikagaku1924.68.1318
- [29] Li L, Rowbotham J S, Christopher Greenwell H, Dyer PW. *An Introduction to Pyrolysis and Catalytic Pyrolysis: Versatile Techniques for Biomass Conversion*. Ed.: Suib S. *New and Future Developments in Catalysis: Catalytic Biomass Conversion*. Elsevier; 2013. 173-208. doi.org/10.1016/B978-0-444-53878-9.00009-6
- [30] Ahmad N, Zakaria MR. *Oligosaccharide from hemicellulose*. Ed.: Ariffin H, Sapuan SM, Hassan MA. *Lignocellulose for Future Bioeconomy*. Elsevier; 2019. 135-152. doi.org/10.1016/B978-0-12-816354-2.00008-6
- [31] Pérez J, Muñoz-Dorado J, De La Rubia T, Martínez J. *Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: An overview*. *International Microbiology* 2002; 5(2): 53–63. doi.org/10.1007/s10123-002-0062-3

- [32] Baličević R, Ravlić M, Balić A. Dormantnost i klijavost sjemena divljug sirka (*Sorghum halepense* (L.) Pers.). *Journal of Central European Agriculture* 2016; 17(3): 725–733. doi.org/10.5513/JCEA01/17.3.1769
- [33] United States Department of Agriculture; Animal and Plant Health Inspection Service. Weed Risk Assessment for *Sorghum halepense* (L.) Pers. (Poaceae)-Johnsongrass; 2015 [erişim tarihi 12.08.2015] https://www.aphis.usda.gov/plant_health/plant_pest_info/weeds/downloads/wra/sorghumhalepense.pdf
- [34] Yazlık A, Üremiş İ. Kanyaş [(*Sorghum halepense* (L.) Pers.)]'ın tohum ve rizom biyolojisine yönelik çalışmalar. *Derim* 2015; 32(1): 11. doi.org/10.16882/derim.2015.57662ns
- [35] Monaghan N. The biology of Johnson grass (*Sorghum halepense*). *Weed Research* 1979; 19(4), 261–267. doi.org/10.1111/j.1365-3180.1979.tb01536.x
- [36] Peerzada AM, Ali H.H, Hanif Z, Bajwa AA, Kebaso L, Frimpong D ve diğ. Eco-biology, impact, and management of *Sorghum halepense* (L.) Pers. *Biological Invasions* 2017. doi.org/10.1007/s10530-017-1410-8
- [37] Sezen U U, Barney J N, Atwater D Z, Pederson GA, Pederson J F, Chandler JM, ve diğ. Multi-phase US spread and habitat switching of a post-columbian invasive, *Sorghum halepense*. *PLoS ONE* 2016 ; 11(10): 1–14. doi.org/10.1371/journal.pone.0164584
- [38] Phani Sushma IS, Vasundhar B, Jagadeesh Varma N V. Fabrication and experimental evaluation of properties with reinforcement of polyester resin with sisal fibre. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(13): 27081–27087. doi.org/10.1016/j.matpr.2018.09.013
- [39] Deepak D, Goyal N, Rana P, Gupta V K. Effect of varying reinforcement content on the mechanical properties of hemp-recycled HDPE composites. In: Singh SK, Davim JP, Kumar K, editors. *ICMPC-2019: 9th International Conference of Materials Processing and Characterization*; 2019 Mar 8-10; India. Elsevier Ltd.; 2019. 5286-5291. doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.552

- [40] Lu MM, Van Vuure A W. Effects of water immersion ageing on composites made of non-dry flax fibres. In: Figueiro R, Ferreira D, editors. ICNF 2019: 4th International Conference on Natural Fibers – Smart Sustainable Materials; 2019 Jul 1-3; Portugal. Elsevier Ltd.;2019. S206-S208.
- [41] Verma R, Shukla M. Characterization of Mechanical Properties of Short Kenaf Fiber-HDPE Green Composites. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(2): 3257–3264. doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.567
- [42] Glória G O, Teles MC A, Lopes FP D, Vieira C M F, Margem F M, Gomes M. de A,ve diğ. Tensile strength of polyester composites reinforced with PALF. *Journal of Materials Research and Technology* 2017; 6(4): 401–405. doi.org/10.1016/j.jmrt.2017.08.006
- [43] Muktha K, Keerthi Gowda B S. Investigation of Water Absorption and Fire Resistance of Untreated Banana Fibre Reinforced Polyester Composites. *Materials Today: Proceedings* 2017; 4(8): 8307–8312. doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.173
- [44] Huang J K, Young WB. The mechanical, hygral, and interfacial strength of continuous bamboo fiber reinforced epoxy composites. *Composites Part B: Engineering* 2019; 166(November 2018): 272–283. doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.12.013
- [45] Hosseinihashemi S K, Arwinfar F, Najafi, A, Nemli G, Ayrilmis N. Long-term water absorption behavior of thermoplastic composites produced with thermally treated wood. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation* 2016; 86: 202–208. doi.org/10.1016/j.measurement.2016.02.058
- [46] Akash, Venkatesha Gupta N S, Sreenivas Rao KV. An Experimental Study on Sisal/Hemp Fiber Reinforced Hybrid Composites. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(2): 7383–7387. doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.408

- [47] Chrispin Das M, Athijayamani A, Arun Vasantha Geethan K, Santhosh D, Prathap Singh S. Effects of length and content of natural cellulose fiber on the mechanical behaviors of phenol formaldehyde composites. Ed.: Kumaresan G. *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd; 2020. 516-521. doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.111
- [48] Sari P S, Thomas S, Spatenka P, Ghanam Z, Jenikova Z. Effect of plasma modification of polyethylene on natural fibre composites prepared via rotational moulding. *Composites Part B: Engineering* 2019; 177(March): 107344. doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107344
- [49] El-Sabbagh A. Effect of coupling agent on natural fibre in natural fibre/polypropylene composites on mechanical and thermal behaviour. *Composites Part B: Engineering* 2014; 57: 126–135. doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.09.047
- [50] Sun Z, Mingming W. Effects of sol-gel modification on the interfacial and mechanical properties of sisal fiber reinforced polypropylene composites. *Industrial Crops and Products* 2019 ; 137(April): 89–97. doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.05.021
- [51] Senthilraja R, Sarala R, Godwin Antony A, Seshadhri. Effect of acetylation technique on mechanical behavior and durability of palm fibre vinyl-ester composites. In: Vijayan V, Sejoon L, editors. *ICONEEEE-2K19: International Conference on Recent Trends in Nanomaterials for Energy, Environmental and Engineering Applications*; 2019 Mar 14-15; India. Elsevier Ltd.; 2019. 634-637. doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.729
- [52] Gunning M A, Geever LM, Killion J A, Lyons JG, Higginbotham C L. Mechanical and biodegradation performance of short natural fibre polyhydroxybutyrate composites. *Polymer Testing* 2013; 32(8): 1603–1611. doi.org/10.1016/j.polymertesting.2013.10.011

- [53] Çetin N S, Tingaut P, Özmen N, Henry N, Harper D, Dadmun M, ve diğ. Acetylation of cellulose nanowhiskers with vinyl acetate under moderate conditions. *Macromolecular Bioscience* 2009; 9(10): 997–1003. doi.org/10.1002/mabi.200900073
- [54] Özmen N, Çetin NS, Narlıoğlu N, Çavuş V, Altuntaş E. MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Forestry/Türkiye Ormancılık Dergisi* 2014 ; 15(1): 65. doi.org/10.18182/tjf.64025
- [55] Libby CE.(Ed.) *Pulp and Paper Science and Technology* 1st. ed. McGraw Hill-Book Co; 1962
- [56] Spiridon I, Paduraru OM, Rudowski M, Kozłowski M, Darie RN. Assessment of changes due to accelerated weathering of low-density polyethylene/feather composites. *Industrial and Engineering Chemistry Research* 2012; 51(21): 7279-7286.
- [57] Manimekalai G, Kavitha S, Divya D, Indran S, Binoj JS. Characterization of enzyme treated cellulosic stem fiber from *Cissus quadrangularis* plant: An exploratory investigation. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry* 2021; 4: 100162. doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100162
- [58] Ilaiya Perumal C, Sarala R. Characterization of a new natural cellulosic fiber extracted from *Derris scandens* stem. *International Journal of Biological Macromolecules* 2020; 165: 2303–2313. doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.086
- [59] Apaydin-Varol E, Pütün E, Pütün AE. Slow pyrolysis of pistachio shell. *Fuel* 2007; 86(12–13): 1892–1899. doi.org/10.1016/j.fuel.2006.11.041
- [60] Sathishkumar TP, Navaneethakrishnan P, Shankar S, Rajasekar R. Characterization of new cellulose *sansevieria ehrenbergii* fibers for polymer composites. *Composite Interfaces* 2013; 20(8): 575–593. doi.org/10.1080/15685543.2013.816652

- [61] Khalili P, Tshai KY, Kong I. Comparative Thermal and Physical Investigation of Chemically Treated and Untreated Oil Palm EFB Fiber. *Materials Today: Proceedings* 2018; 5(1): 3185–3192. doi.org/10.1016/j.matpr.2018.01.127
- [62] Liu D, Han G, Huang, J, Zhang Y. (2009). Composition and structure study of natural *Nelumbo nucifera* fiber. *Carbohydrate Polymers* 2009; 75(1): 39–43. doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.06.003
- [63] Ashori A, Nourbakhsh A. Characteristics of wood-fiber plastic composites made of recycled materials. *Waste Management* 2009; 29(4): 1291–1295. doi.org/10.1016/j.wasman.2008.09.012
- [64] Ku H, Wang H, Pattarachaiyakoop N, Trada M. A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering* 2011; 42(4): 856–873. doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.010
- [65] Rahman MZ. (2021). Mechanical and damping performances of flax fibre composites – A review. *Composites Part C: Open Access* 2021; 4: 100081. doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100081
- [66] Thomason JL. The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection moulded long and short fibre PP. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2002; 33(12): 1641–1652. doi.org/10.1016/S1359-835X(02)00179-3
- [67] Shibata S, Cao Y, Fukumoto I. Study of the flexural modulus of natural fiber/polypropylene composites by injection molding. *Journal of Applied Polymer Science* 2006; 100(2): 911–917. doi.org/10.1002/app.22609
- [68] Izzati Zulkifli N, Samat N, Anuar H, Zainuddin N. (2015). Mechanical properties and failure modes of recycled polypropylene/microcrystalline cellulose composites. *Materials and Design* 2015; 69: 114–123. doi.org/10.1016/j.matdes.2014.12.053
- [69] Mohanty S, Verma SK, Nayak SK, Tripathy SS. Influence of fiber treatment on the performance of sisal-polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science* 2004; 94(3): 1336–1345. doi.org/10.1002/app.21161

- [70] Ratanawilai T, Nakawirok K, Deachsrijan, A, Homkhiew C. Influence of wood species and particle size on mechanical and thermal properties of wood polypropylene composites. *Fibers and Polymers* 2014; 15(10): 2160–2168. doi.org/10.1007/s12221-014-2160-1
- [71] Narlıoğlu, N. Kimyasal olarak modifiye edilmiş lignoselüloziklerden termoplastik kompozit üretimi (doktora tezi). Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi; 2018
- [72] Lee SY, Kang IA, Park BS, Doh GH, Park BD. Effects of Filler and Coupling Agent on the Properties of Bamboo Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2009; 28(21): 2589–2604. doi.org/10.1177/0731684408094070
- [73] Usman MA, Momohjimoh I, Usman AO. Mechanical, physical and biodegradability performances of treated and untreated groundnut shell powder recycled polypropylene composites. *Materials Research Express* 2020; 7(3): 035302. doi.org/10.1088/2053-1591/ab750e
- [74] Arsad A, Suradi NL, Rahmat AR, Danlami JM. The influence of kenaf fiber as reinforcement on recycled polypropylene/recycled polyamide-6 composites. *International Journal of Plastics Technology* 2013; 17(2): 149–162. doi.org/10.1007/s12588-013-9055-7



Ekler

Ek A

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Konferans Bildirileri

1. Kanyaş (Sorghum halepense (L) Pers.) otunun kimyasal bileşiminin tespit edilmesi.4.Uluslararası Marmara Fen bilimleri Kongresi (IMASCON),(pp. 101,102)

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Özen Eroğlu

Eğitim:

2009–2013 Ege Üniversitesi, Biyoloji Bölümü, Lisans

2015 Dokuz Eylül Üni. Buca Eğitim Fakóltesi, Pedagojik Formasyon

2018–2021 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Biyokompozit Müh., Tezli Yüksek Lisans

İş Deneyimi:

2011 – 2013 Ege Üniversitesi Hastahanesi Patoloji Labaratuvarı

2015 Stajyer- Hoca Ahmet Yesevi Anadolu İmam Hatip Lisesi

2016-2018 Özel Tek Ada Temel Lisesi

2018-2019 Limit Eğitim Kurumları