

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MUZ LİFİ TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN ÜRETİMİ VE
TERMAL ANALİZİ

Nevzat ŞİFA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon Programı

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Temmuz, 2019

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MUZ LİFİ TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMENİN ÜRETİMİ VE
TERMAL ANALİZİ**

Nevzat ŞİFA tarafından hazırlanan tez çalışması 25.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Konstrüksiyon Program'ında **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU
TEMİZTAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ,
Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Burçak KARAGÜZEL KAYAOĞLU, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Birgöl AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Muz Lifi Takviyeli Kompozit Malzemenin Üretimi ve Termal Analizi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Nevzat ŞİFA

İmza



Aileme
ve
biricik eşime

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını yapabilmeme olanak sağlayan başta danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ'a, mentorluğu sayesinde Yıldız Teknik Üniversitesi'nin Malzeme Laboratuvarını kullanabilmeme olanak sağlayan Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER'e ve Doç. Dr. Bedri Onur KÜÇÜKYILDIRIM'a, Ar. Gör. Ali AVCI'ya, laboratuvardaki çalışma arkadaşlarıma, yıllardır eğitimimi destekleyen babam Ali ŞİFA'ya, annem Ayşe ŞİFA'ya, tez dönemimdeki zorlukları aşmamı sağlayan nişanlım Yüksek Mimar Macide TÜZÜN'e ve yeni aileme, muz liflerinin elde edilmesinde rolü olan babama, Onur GÜRBÜZ'e ve Alanya Belediyesi Kültür Müdürlüğü'nden Müdür Mimar Nimet Hacıkura'ya, Nilgün Akman'a, kalıp imalatını yapmamı sağlayan Saner AKARSU'ya teşekkürü borç bilirim.

Nevzat ŞİFA

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	ix
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ	xi
TABLO LİSTESİ	xiv
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.1.1 Tarihsel Gelişim.	1
1.1.2 Doğal Kompozitlerin Çevresel ve Ekonomik Etkileri	2
1.1.3 Sürdürülebilirlik Kavramı	3
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	5
2 Literatür Taraması	6
2.1 Dünya’da Tarım Ürünleri	6
2.1.1 Dünya’da Muz Üretimi.	6
2.1.2 Türkiye’de Muz Üretimi.	7
2.1.3 Ülkemizdeki Muz Çeşitleri.	8
2.1.4 Muz Bitkisi.	9

2.2	Muz Lifinden Üretilen Ürünler	11
2.3	Doğal Lifler ve Yapıları	12
2.4	Doğal Lif Çeşitleri	14
2.4.1	Bitkisel Lifler.	15
2.4.2	Mineral Lifler.	21
2.4.3	Hayvansal Lifler.	23
2.5	Doğal Lifler İle Üretilen Bazı Malzemeler	24
2.5.1	Doğal Liflerin Otomotiv Sanayiinde Kullanımı	25
2.6	Polimerler	27
2.6.1	Doğada Çözünebilen Polimerler	27
2.6.2	Polimerlerin Sınıflandırılması	27
2.6.3	Biyopolimerler	28
2.6.4	Nişasta Plastikleştirme	33
3	Metotlar	36
3.1	Isı İletim Katsayısı Ölçüm Metodları	36
3.1.1	Isı İletimi	36
3.1.2	Isı İletim Katsayısı..	36
3.1.3	Korumalı Sıcak Plaka	37
3.1.4	Lazer Parlama Metodu.	37
3.1.5	Geçici Düzlem Kaynak.	37
3.1.6	Modifiye Edilmiş Geçici Düzlem Kaynak.	37
3.2	Ses Yutum Katsayısı Ölçüm Metotları.	38
3.2.1	Ses.	38
3.2.2	Ses Yutma Katsayısı	38
3.2.3	Empedans Tüpü.	39
3.2.4	Çınlama Odası.	40
3.2.5	Anekoik Oda.	40

3.3	Muz Lifi Çıkarma Metotları.	40
3.3.1	Kimyasal Çıkarma.	40
3.3.2	Biyoeekstraksiyon.	41
3.3.3	Fiziksel Çıkarma.	41
3.4	Üretim Metotları	42
3.4.1	Enjeksiyon Kalıplama.	42
3.4.2	Kompresyon Kalıplama	43
3.5	Lif ve Matris Ara Yüzey Uyumlulaştırma Metotları.	44
3.5.1	Alkali Uygulaması.	44
3.5.2	Graft Kopolimerizasyon.	45
3.5.3	Asetilasyon.	45
3.5.4	Silan.	45
3.5.5	Polipropilen Maleat.	46
4	Literatürdeki Çalışmalar	47
4.1	Muz Lifi Özellikleri.	47
4.2	Doğal Liflerden Elde Edilen Kompozitler ve Özellikleri.	50
5	Deneyisel Çalışmalar	57
5.1	Numune Hazırlama.	57
5.1.1	Muz Liflerinin Elde Edilmesi.	57
5.1.2	Diğer Materyaller.	59
5.1.3	Liflerin Hazırlanması	60
5.1.4	Lif Çaplarının Belirlenmesi.	61
5.1.5	Matris Hazırlama.	62
5.1.6	Lifler ile Matrisin Karıştırılması.	63
5.1.7	Kompresyon Kalıplama.	65
5.2	Kompozit ve Matris Karakterizasyonu.	71
5.2.1	SEM ve Mikroskop.	71

5.2.2	Çekme Testi.	71
5.2.3	Isı İletkenlik Testi.	73
5.2.4	Ses Yutma Testi.	73
5.2.5	Doğada Çözünme Testi.	74
6	Teorik Çalışmalar	75
6.1	Ansys APDL ile Isı İletim Katsayısı Ölçümü.	75
6.2	Matematik Modeller ile Isı İletim Katsayısı Bulunması	79
6.2.1	Paralel ve Seri Modeller.	79
6.2.2	Geometrik Model.	79
6.2.3	Maxwell Metodu.	80
7	Analiz Sonuçları ve Karşılaştırmaları	81
7.1	Mikroskop ve SEM Görüntüleri.	81
7.2	Lif Çapları.	83
7.3	Çekme Testi.	85
7.4	Isı İletim Katsayısı.	87
7.4.1	Deneysel Ölçüm.	87
7.4.2	Ansys APDL.	88
7.4.3	Matematik Modeller.	93
7.4.4	Efektif Isı İletim Katsayıları Karşılaştırma	97
7.5	Ses Yutum Katsayısı.	99
7.5.1	Ses Yutum Katsayısı Karşılaştırma.	102
7.6	Doğada Çözünme	103
8	Sonuçlar ve Öneriler	106
	Kaynakça	108
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	113

SİMGE LİSTESİ

W	Watt
q	Isı Akışı
m	Metre
K	Kelvin
k	Isı İletim Katsayısı
A	Alan
T	<i>Sıcaklık</i>
f	<i>Frekans</i>
MPa	Mega Paskal
GPa	Giga Paskal
E_g	Gelen Ses Enerjisi
E_r	Yansıma Ses enerjisi
E_s	Soğurulan Ses Enerjisi
E_y	Yayılan Ses Enerjisi
$^{\circ}C$	Santigrat Derece

KISALTMA LİSTESİ

FRC	Lif Takviyeli Kompozit
GHP	Korumalı Sıcak Plaka
Hz	Hertz
MTPS	Modifiye Edilmiş Geçici Düzlem Kaynak
NFRC	Doğal Lif Takviyeli Kompozit
NRC	Gürültü Azaltma Katsayısı
PLA	Polilaktikasit
TPS	Termoplastik Nişasta
TPW	Geçici Düzlem Kaynak

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Dünya’da Muz Üretimi Yapılan Ülkelerin Haritası	7
Şekil 2.2 Muz Bitkisi.....	10
Şekil 2.3 Muz Liflerinden Tekstil Ürünleri.....	11
Şekil 2.4 Muz Liflerinden Aksesuarlar	11
Şekil 2.5 Muz Liflerinden Dekoratif Eşya, Duvar ve Tavan Kaplamaları.....	12
Şekil 2.6 Bitkisel Liflerin iç yapısı	13
Şekil 2.7 Hayvansal Liflerin İç Yapısı	13
Şekil 2.8 Liflerin Ömür Döngüsü	14
Şekil 2.9 Doğal Lif Çeşitleri	15
Şekil 2.10 Pamuk.....	16
Şekil 2.11 Sisal Bitkisi	17
Şekil 2.12 Ananas Bitkisi	17
Şekil 2.13 Keten Bitkisi.....	18
Şekil 2.14 Kenevir Bitkisi.....	19
Şekil 2.15 Kenaf Bitkisi.....	19
Şekil 2.16 Jüt Bitkisi	20
Şekil 2.17 Hindistan Cevizi.....	21
Şekil 2.18 Sırasıyla Kenevirden Çanta ve Keten-Karbon Hibrit Bisiklet	24
Şekil 2.19 Kenaf-PP’den Oyuncak ve Doğal Liflerden Sandalye	25
Şekil 2.20 Polimerlerin Sınıflandırılması	28
Şekil 2.21 Mısır Nişastası Üretim Prosesi.....	30
Şekil 2.22 Nişasta’nın Jelatinleşme ve Plastikleşme Süreci.....	34
Şekil 2.23 Jelatinizasyon ve Retrogradasyon	35
Şekil 3.1 Ses Enerjisi	39
Şekil 3.2 Muz Lifi Çıkarma Makinesi	41
Şekil 3.3 Muz Lifi Çıkarma Makinesi İç Aksamı.....	42
Şekil 3.4 Enjeksiyon Kalıplama Prosesi	43
Şekil 3.5 Kompresyon Kalıplama Prosesi	44
Şekil 4.1 Muz Bitkisi Gövdesinden Alınan Lif Çapları Dağılımı.....	47
Şekil 4.2 Bazı Bitkisel Liflerin Enine Kesitleri	48
Şekil 4.3 0,05 mm Çapındaki Fiberlerin SEM Görüntüleri.....	49

Şekil 4.4 Bazı Doğal Liflerin Çekme Mukavemetleri	50
Şekil 5.1 Muz Bitkisi.....	57
Şekil 5.2 Kılıflarına Ayrılmış Muz Gövdeleri	58
Şekil 5.3 Kılıfların Muz Liflerine Dönüştürülmesi.....	58
Şekil 5.4 Kurumaya Bırakılmış Muz Lifleri	59
Şekil 5.5 Deneysel Süreç	60
Şekil 5.6 Sırasıyla Liflerin Fırında Kurutulması ve İstenen Boyutlarda Kesilmesi	61
Şekil 5.7 Liflerin Mikroskop Altında Yerleşimi	62
Şekil 5.8 Isıticılı Manyetik Karıştırıcı	63
Şekil 5.9 Karıştırılmaya Hazır Tartılmış Muz Lifleri	64
Şekil 5.10 Mısır Nişastası ile Muz Lifinin Karıştırılması.....	64
Şekil 5.11 Numunenin Kalıba Yerleşimi	65
Şekil 5.12 Üst Kalıp Modeli	65
Şekil 5.13 Ara Kalıp Çerçevesi Modeli	66
Şekil 5.14 Alt Kalıp Modeli	66
Şekil 5.15 Kalıp Çizimi	67
Şekil 5.16 120x80x2 mm'lik Kalıp.....	68
Şekil 5.17 Ø40 mm'lik Silindirik Kalıp.....	68
Şekil 5.18 Dikdörtgen Numunelerin Preslenmesi.....	69
Şekil 5.19 %30-%40 ve %50 Oranlarındaki Kompozitler.....	69
Şekil 5.20 Saf TPS ve %60 Oranındaki Kompozit.....	70
Şekil 5.21 Farklı Oranlardaki Kompozitler.....	70
Şekil 5.22 Çekme Numunesi Boyutları.....	71
Şekil 5.23 Kesilmiş Çekme Numuneleri	72
Şekil 5.24 Çekme Testi.....	72
Şekil 5.25 MTPS Ölçüm Cihazı	73
Şekil 5.26 Empedans Tüpü.....	74
Şekil 5.27 Doğada Çözünme Test Numunesi Boyutu	74
Şekil 6.1 Ansys APDL Analiz Tanımlama.....	75
Şekil 6.2 Ansys APDL Eleman Tanımlama	76
Şekil 6.3 Ansys APDL Malzeme Özelliği Atama	76
Şekil 6.4 Ansys APDL Modeli.....	77
Şekil 6.5 Ansys APDL Mesh Örgüsü	77

Şekil 6.6 Ansys APDL Sıcaklık Tanımlanan Yüzeyler	78
Şekil 6.7 Ansys APDL Adyabatik Yüzeyler	78
Şekil 7.1 Çekme Testi Sonucu Kopmuş Liflerin Mikroskop Görüntüsü	81
Şekil 7.2 Termoplastik Nişasta Mikroskop Görüntüsü	82
Şekil 7.3 Çekme Testi Sonucu Kopmuş %30 Oranındaki Kompozit	82
Şekil 7.4 Çekme Testi Sonucu Kopmuş %40 Oranındaki Kompozit	83
Şekil 7.5 Çekme Testi Sonucu Kopmuş %50 Oranındaki Kompozit	83
Şekil 7.6 Liflerin SEM Görüntüsü	84
Şekil 7.7 Liflerin Mikroskop Altındaki Görüntüsü	84
Şekil 7.8 Kopmuş Numuneler	85
Şekil 7.9 Çekme Testi Grafiği	86
Şekil 7.10 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Grafiği	88
Şekil 7.11 Ansys APDL Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği	89
Şekil 7.12 %30 Takviye Oranına Sahip Modelin X Yönünde Isı Akış Grafiği	90
Şekil 7.13 %30 Takviye Oranına Sahip Modelin Sıcaklık Gradyanı	90
Şekil 7.14 %30 Takviye Oranına Sahip Modelin Isı Akışı	91
Şekil 7.15 %30 Takviye Oranına Sahip Modelde Belirlenen Patika Boyunca Isı Akışı	91
Şekil 7.16 %80 Takviye Oranına Sahip Modelin Mesh Örgüsü	92
Şekil 7.17 %80 Takviye Oranına Sahip Modelin Sıcaklık Gradyanı	92
Şekil 7.18 %80 Takviye Oranına Sahip Modelin Isı Akış Grafiği	93
Şekil 7.19 Paralel Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği	94
Şekil 7.20 Seri Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği	95
Şekil 7.21 Geometrik Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği	96
Şekil 7.22 Maxwell Modeli Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği	97
Şekil 7.23 Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Karşılaştırma Grafiği	97
Şekil 7.24 %60 Takviye Oranındaki Kompozitin Ses Yutum Grafiği	99
Şekil 7.25 %70 Takviye Oranındaki Kompozitin Ses Yutum Grafiği	100
Şekil 7.26 %80 Takviye Oranındaki Kompozitin Ses Yutum Grafiği	101
Şekil 7.27 Ses Yutum Katsayıları Karşılaştırma Grafiği	102
Şekil 7.28 ISO 11654 Standardına Göre Malzeme Sınıfları	102
Şekil 7.29 Doğada Çözünme Testine Tabi Tutulan Numuneler	104
Şekil 7.30 Doğada Çözünme Grafiği	104

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Dünya’da Tarım yoluyla En fazla Üretimi Yapılan Ürünler	6
Tablo 2.2 Dünya’da Muz Ekili Alan ve Üretim Miktarları	7
Tablo 2.3 Türkiye’nin Muz Ekili Alanı ve Üretim Miktarları.....	8
Tablo 2.4 Doğal Liflerin Otomotiv Alanında Kullanım Örnekleri.....	26
Tablo 4.1 Fiziksel ve Biyoekstraksiyon Yöntemleri İle Çıkarılmış Muz Liflerinin Mekanik Özellikleri.....	48
Tablo 7.1 İşlem Görmüş ve Görmemiş Liflerin Ortalama Çapları.....	85
Tablo 7.2 Takviye Oranı – Çekme Mukavemeti Tablosu	86
Tablo 7.3 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Değerleri.....	87
Tablo 7.4 Ansys APDL Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri	89
Tablo 7.5 Paralel Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri.....	93
Tablo 7.6 Seri Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri	94
Tablo 7.7 Geometrik Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri	95
Tablo 7.8 Maxwell Modeli Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri	96
Tablo 7.9 Ölçüm Metotları Karşılaştırma	98
Tablo 7.10 %60 Takviye Oranındaki Kompozitin 1/3 Oktav Bandındaki Ses Yutum Katsayıları	99
Tablo 7.11 %70 Takviye Oranındaki Kompozitin 1/3 Oktav Bandındaki Ses Yutum Katsayıları	100
Tablo 7.12 %80 Takviye Oranındaki Kompozitin 1/3 Oktav Bandındaki Ses Yutum Katsayıları	101
Tablo 7.13 Gürültü Azaltma Katsayıları.....	103

Muz Lifi Takviyeli Kompozit Malzemenin Üretimi ve Termal Analizi

Nevzat ŞİFA

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

Bu çalışmada; doğal malzeme kullanımının öneminin çok daha iyi anlaşıldığı ülkemizde ve dünyada tarım yoluyla en fazla üretilen ürünlerden mısır nişastası matrisli ve muz lifi takviyeli bir kompozitin üretimi ele alınmaktadır. Üretilen bu kompozitin mekanik, termal ve akustik özellikleri belirlenmiştir. Mısır nişastasından elde edilen termoplastik nişasta düşük mekanik özellikler gösterirken; muz lifi takviyesi sayesinde daha iyi mekanik özellikler gösteren bir kompozitin üretimi sağlanmıştır. %50 takviye oranındaki kompozitle, çekme mukavemeti değeri 3.7 MPa'dan 15.98 MPa'a yükseltilmiş ve bu durum %430'luk bir mukavemet artışı sağlamıştır. Termoplastik nişasta %30 gliserin ve %20 su muhtevası ile üretildiğinde ısı iletim katsayısı ölçümleri sonucu 0,72 W/m.K'lık bir değer elde etmiştir. %30 takviye oranında ısı iletim katsayısı 0,531 W/m.K iken oran %80'e çıkarıldığında değer 0,188 W/m.K'a gerilemektedir. %80 takviye oranlı kompozitin ısı iletim katsayısı, saf termoplastik nişastanın ısı iletim

katsayısının %26.1'i mertebesine düşmektedir. Deneysel ölçüm metodunun yanında nümerik ve analitik metotlar ile de ısı iletim katsayısı ölçülüp karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçlarına göre deneysel ölçüme en yakın değerlerin sırasıyla; Paralel model, Ansys APDL, Geometrik model, Maxwell modeli ve Seri model olduğu gösterilmiştir. Üretilen kompozitlerin ses yutum performans kriteri NRC değerine göre en yüksek değer %80 takviye oranındaki kompozitte görülmüş ve değer %10.5 olarak ölçülmüştür. Doğada çözünme testi sonuçlarına göre ise TPS dört hafta gibi bir sürede tamamen çözünürken muz lifi içeren kompozitler dört haftada %30 mertebesinde çözünmektedir. Bu kompozit gerek ısı iletimi değeri gerekse mikroorganizmalara duyarlılığından ötürü izolasyon malzemesi kriterlerini sağlayamazken sadece hava almayacak ortamlarda kullanılarak ısı ve ses yalıtımına katkı sağlayabilme potansiyeline sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Muz lifi, mısır nişastası, termal analiz

Production and Thermal Analysis of Banana Fiber Reinforced Composite

Nevzat ŞİFA

Department of Mechanical Engineering

Master's Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Birgül AŞÇIOĞLU TEMİZTAŞ

In this study, the importance of the use of natural materials is emphasized. Therefore a composite material containing corn starch and banana fiber which are the most produced agricultural products all around the world is analyzed. The mechanical, thermal and acoustic properties of this composite are determined. While the thermoplastic starch shows low mechanical properties through banana fiber reinforcement, it is possible to produce composite with better mechanical properties. A composite with 50% reinforcement increases the tensile strength value from 3.7 MPa to 15.98 MPa, resulting in an increase of 430%. When thermoplastic starch is produced with 30% glycerin and 20% water content, it obtains 0.72 W/m.K as a result of heat conduction coefficient measurements. While the thermal conductivity coefficient is 0.531 W/m.K at 30% reinforcement ratio, it decreases to 0.188 W/m.K value when the ratio is increased to 80%. The thermal conductivity coefficient of the composite with 80% reinforcement ratio decreases to 26.1% of the thermal conductivity coefficient of pure thermoplastic starch. In addition to experimental measurement method, thermal conductivity coefficient is

measured and compared with numerical and analytical methods. According to the results of the comparison, the values closest to the experimental measurement are as follows; Parallel model, Ansys APDL, Geometric model, Maxwell model and Serial model. In regard to the sound absorption performance criterion NRC value of the composites, the highest value is 10.5% in the composite with 80% reinforcement ratio. According to the results of the degradation rate test, TPS is completely dissolved in a period of 4 weeks, while 30% of the composites containing banana fiber dissolve in 4 weeks. This composite has the potential to contribute to heat and sound insulation by being used only in air-tight environments, while it cannot meet the insulation material criteria due to its thermal conductivity coefficient value and sensitivity to microorganisms.

Keywords: Banana fiber, corn starch, thermal analysis

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Tarihsel Gelişim

Geçmişimizde bitkisel ve hayvansal kaynaklardan elde edilen mevcut hammaddelerin kullanımına bolca şahit olmaktadır. Giysiler, el aletleri ve binalar gibi ürünler bunların en temel olanlarıdır. Bitkilerden ve hayvanlardan doğal lifler elde edilmekte ve birçok kullanım alanı bulmaktadır dolayısıyla biyolojik olarak parçalanabilen kompozitlerin insanlık için yeni olmadığını bilmek şaşırtıcı değildir.

Antik Mısırda mumyalama yapılırken öncelikle ceset nemden arındırılmakta ve iç organlar boşaltılmaktadır. Ardından keten lifleri ile sarılıp reçine ile kaplanmakta ve bu sayede nemli hava ile teması kesilmekte dolayısıyla çürümenin önüne geçilmektedir[1].

Çin Seddi'nin inşasında da (M.Ö 121) kilden yapılmış tuğlalar kullanılmış ve bu tuğlalar kızıl söğüt ağacının ince dalları ve çakıllarla takviyelendirilmiştir[2].

Milattan sonra 1200'de Moğollar tarafından çok güçlü bir yay imal edilmiştir. Bu yayın yapımında ahşap, kemik ve hayvansal kökenli zambak kullanılmış ardından preslenerek huş ağacının kabuklarıyla sarılmıştır. Bu yaylar barutun icadına kadar dünyadaki en güçlü silahlardan olmuş ve Moğollar'ın askeri egemenliğinin ardındaki güç olmuştur[3].

Doğal lifler ve bitkisel ve hayvansal tabanlı reçineler sentetik lif ve reçineler üretilene kadar kompozit sektöründe tek kaynak olmuşlardır. 1900'lü yılların başlarında polyester, polistren, vinil ve 1935 yılında ise Owens Corning tarafından fiberglas geliştirilmiştir. Fiberglas'ın plastik polimere eklenmesiyle de dayanımı yüksek ağırlığı düşük yapılar elde edilmiş ve bu durum fiber takviyeli polimer endüstrisinin başlangıcı olmuştur[4].

İkinci Dünya Savaşı kompozitler ve faydalarının keşfedildiği bir dönem olmuştur. Askeri uygulamalarda kompozitlerin hafif ve dayanımı yüksek malzemeler olarak kullanılmasının yanı sıra fiberglas'ın radyo dalgalarını geçiren yapısı sayesinde radar ekipmanlarının saklanabileceği yapılar oluşturulmuştur.

İkinci Dünya Savaşı sonrası ise askeri malzemelere olan talebin azalması ile kompozitleri diğer pazarlara sunmak gerekli idi. Tekneler fiberglass'ın en çok talep gördüğü sektör oldu ve ilk ticari tekne gövdesi 1946'da tanıtıldı. 'Kompozitlerin dedesi' olarak anılan Brandt Goldsworthy sporda devrim yaratan fiberglass sörf tahtasını ve yeni birçok ürünü geliştirdi. Ayrıca Goldsworthy, pultrüzyon ile imalat yöntemi ile çok daha güçlü fiberglass yapıların oluşumuna imkan veren bir üretim yöntemi keşfetmiştir.

1970'lere gelindiğinde ise bu sektör olgunlaşmış ve daha güçlü lifler ile daha iyi bağlayıcı reçineler üretilmiştir. DuPont şirketi aramid lifi keşfetmiştir. Kevlar olarak bilinmektedir ve yüksek çekme mukavemeti, yüksek yoğunluk ve düşük ağırlık özellikleri ile zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu süre zarfında karbon lifi de geliştirilmiş ve bazı uygulamalarda çeliğin yerini almaya başlamıştır.

Kompozitlerdeki gelecek araştırma eğilimi sentetik lif ve reçinelerin, doğal lif ve reçineler ile değiştirilmesi ile çevre dostu malzemelerin üretilme yolundadır[5].

1.1.2 Doğal Kompozitlerin Çevresel ve Ekonomik Etkileri

Son 20 yılda dünyanın çevre bilincinin artması, çevre dostu ve sürdürülebilir yeni kompozitler geliştirme girişimlerinin önünü açmıştır. 2009 yılı Birleşmiş Milletler tarafından 'Doğal Lifler Yılı' olarak tayin edilmiştir. Doğal lifler endüstrisi gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde milyonlar için büyük bir istihdam kaynağıdır. Doğal liflerin CO₂ nötr kaynağı olarak kullanımının daha yeşil bir gezegende yaşamamıza katkıda bulunduğu inanılmaktadır.

Sera gazı azaltma ve CO₂ nötr üretimi konusunda Kyoto protokollerinin bir sonucu olarak biyo-temelli ekonomiye ve sürdürülebilir gelişmelere geçiş, doğal lif pazarları için yüksek perspektifler sunmaktadır. Biyo-temelli bir ekonomiye geçiş şu anda bütün pazarı domine eden petrol ve mineral bazlı hammaddelerin yenilenebilir (bitki ve hayvan bazlı) ürünler ile değişimini gerektirmektedir. Gelecek nesiller için refah seviyesini koruyabilmenin kaynakları tüketmeden sağlanabilmesi köklü değişiklikler gerektirmektedir. Ekolojik gerekçelerden ötürü kullanılacak ürünler fotosentetik CO₂ fiksasyonunu destekleyen ürünler olmalıdır. Bu sürdürülebilir kaynakların yararı, ekosistemde yaşayan canlılara yan etkileri olmadan, öngörülebilir bir gelecekte yeniden kullanılıp düzenlenebilir olmasıdır. Bu sebeple yenilenebilir kaynaklardan geliştirilen ürünler mevcut petrokimyasal ürünlerle yarışabilecek düzeyde yüksek kaliteli, iyi teknik özellikler sunabilen ve çevreye daha az zararlı olacağı garanti edilmiş ürünler olmalıdırlar[6].

1.1.3 Sürdürülebilirlik Kavramı

Sürdürülebilirlik anlam olarak; üretkenliğin, farklılığın ve çeşitliliğin sürekliliği sağlanıyorken, kalıcı olabilme kabiliyetini koruma olarak tarif edilir. Halk küresel manada sürdürülebilirlik konsepti ile, Birleşmiş Milletler çatısında bulunan 'Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu' sayesinde tanışmıştır. Bu komisyon 1987 yılında 'Ortak Geleceğimiz' adından bir rapor yayımlamıştır. Bu raporda sürdürülebilirlik kavramı: 'İnsanlık; doğanın yeni nesillerin ihtiyaçlarını sağlayabilme özelliğini yok etmeden, her türlü gereksinimini sağlayarak, ilerlemeyi sürdürülebilir yapma özelliğine sahiptir' olarak tanımlanmıştır.

Komisyon tarafından yayımlanan bu raporda tanımlandığı üzere, sürdürülebilirlik konsepti ilk olarak çevreci bakışla meydana çıkmış bir kavramdır. Buradaki amaç çevremizi ve doğamızı sürdürülebilir kılarak, doğamıza olan sorumluluğumuzu en iyi şekilde yerine getirmek olarak tanımlanabilir. İnsanlık teknolojik açıdan bir çok gelişme katetse de doğamızın yaşamında vazgeçilmez olduğu kaçınılmazdır. Bununla birlikte doğamızın bize temin ettiği kaynakları da yaşamda en fazla tercih edilen kavramlarından olarak gözlenmektedir. Fakat bu kaynaklarımız yenilebilir kaynaklardan olmadığından kullanım boyunca dikkat edilmelidir.

Hiç kimse doğa yoluyla edindiği zenginliklerden mahrum olmak istememektedir. Bunun temel sebebi doğanın bu zenginliklerinin hiç bir şekilde tekrardan üretilmeyecek olması bu da ne kadar özel kavramlar olduğunu açıkça göstermektedir. Doğanın hiç bir kusuru olmadığı gibi doğaya zararlı ve onu yok etmeye yönelik ürünler üretilmemeli, teknoloji için doğaya herhangi bir zarar vermekten kaçınılmalıdır[7].

1.1.3.1 Sürdürülebilirlik Kavramının Ortaya Çıkışı

Sürdürülebilirlik konseptinin en yaygın kullanım alanı çevre olsa dahi bu konsept ile olan yaklaşım dünya üzerindeki diğer birçok alanda da kullanılabilir. Sürdürülebilirlik konseptinin çıkışı da tarihte çok eski değildir. Çevre ile ilgili hayata geçirilmesi beklenen uygulamalar ilk 70'li yıllarda uluslararası mecrada yapılmıştır. Amacı çevrenin geleceğe hazırlanması ve doğanın tehdit edilebileceği muhtemel hallerden uzak durulması olacaktır.

1972 senesinde çevresel anlamda ilk global faaliyetler raporu BM İnsan Çevresi Konferansı tarafından kabul edilerek yürürlüğe geçmesi için imzalanmıştır. Bu

bildirgenin imzalanması ile çevreyi koruma namına uygulamalar, zorunluluklar ilk kez uygulanmaya başlamıştır.

Sürdürülebilir gelişme kavramına da ilk kez 1987 senesinde Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nunca düzenlenen raporda yer verilmiştir. O seneden itibaren de bu sürdürülebilirlik konsepti çevreye yararlı hale gelmiş bir olgu olarak süregelmiştir.

Çevre adına meydana getirilmiş sürdürülebilirlik konseptinin temel hedefleri doğadaki yetersizliğin azaltılması, kaynaklar kullanılırken dünyaca eşitliğin sağlanması ve en önemlisi de çevreye dost teknolojilerin, gelişimlerin meydana getirilmesini kolaylaştırmaktır. Doğa adına sürdürülebilirlik konseptinin uygulamaya koyulmasını sağlamak olabildiğince gerekli görülmektedir.

BM'nin bildirgesindeki esas hedef insanlığın ilerlemesine doğanın azami katkıda bulunmasına fırsat vermektir. Uygulanan yeni teknolojilerde de çevreye zararı asgariye indirerek uygulanmasını gerçekleştirmek çok önem arz etmektedir. Sürdürülebilir projeler içinde yalnızca çevre ve insanlık arasında olanlar değil bir çok değişik projeler de mevcuttur. Bu çalışmalar yapıldıkça da sürdürülebilirliğe pek çok katkısı olmaktadır[8].

1.1.3.2 Sürdürülebilir Malzeme

Sürdürülebilirlik konsepti adından da anlaşılacağı üzere bir malzemenin, planın veya projenin kullanımına sorunsuz devam edilmesi anlamına gelmektedir. Süreklilik kelimesi günlük yaşantıda sıklıkla karşılaşılan bir kelimedir. Özetle malzemeler için sürdürülebilirlik özelliğini kaybetmeden uzun yıllar kullanılabilmesi demektir. Bu malzemeler ile bina inşaatı, binanın uzun yıllar görev yapabilmesine olanak sağlamaktadır. Malzemenin kalitesinin yanında, bakım maliyetleri yani işletme giderlerinin de az olması, bu malzemelerin kullanımının önemini arz etmektedir.

Sürdürülebilir malzemelerin kullanımını şu temel başlıklar altında toparlanabilir:

- Diğer malzemelere göre uygun maliyetli olmaları:

Asgari malzeme ve azami performans alınabilecek malzemeler işçilik maliyetlerini de azaltacaktır. Ek olarak ne kadar az malzeme kullanımı o kadar doğaya katkı manasına gelmektedir.

- Doğayı korur nitelikte olmaları:

Kullanılan malzemeler organik olduklarından karbon salınımına çok az etki etmektedir ve dolayısıyla doğaya en az zararı vermektedirler.

- Sağlık açısından zararsız olmaları:

Malzemeler doğal içerikli olduklarından kanserojen ve diğer zararlı kimyasalları barındırmayarak sağlık açısından bir tehdit oluşturmamaktadırlar. Evlerde kullanılan doğal malzemeler de nefes alabilen yapıları sayesinde rutubet konusunda hem bizi hem de evlerimizi korumaktadırlar.

- Geri dönüşüme katkıları:

Sürdürülebilir malzemelerin çoğunluğu geri dönüştürülmüş malzemeler aracılığıyla elde edilmektedirler. Bu hem fiyatların düşmesini hem de doğaya verilecek zararın azaltılmasını sağlamaktadır.

- Kullanıldıkları yapılara katma değer katarlar:

Gerek yapı sektöründe gerekse otomotiv sektörü gibi birçok sektörde sürdürülebilir malzeme kullanılması belirli sertifikalar kazanılmasına olanak sağlayarak kullanıldığı alanlara katma değer katarlar[9].

1.2 Tezin Amacı

Sürdürülebilirlik kavramının dünyamızı korumak adına ne kadar önemli olduğunun anlaşılması sebebiyle doğal malzemelerden bir kompozit üretmek ve o kompozitin özelliklerinin belirlenmesiyle doğal kompozitlere kullanım alanları kazandırmak hedeflenmektedir. Bu çalışmada ülkemizde üretilen muz bitkisi atıklarından elde edebileceğimiz lifler ile gene ülkemizde üretilen gıda maddelerinden biri olan mısır nişastası ile oluşturulacak doğal kompozitin termal özelliklerinin deneysel yöntem, analitik ve numerik modelleri ile karşılaştırılması, akustik özelliklerinin belirlenmesi amaç edinilmiştir.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada muz bitkisinin meyvesi alındıktan sonra toprağa çürümeye terkedilen lifler ve belirli aşamalardan geçiliren mısır nişastasından elde edilen kompozitlerin, yalıtım malzemesi olarak kullanılmaya uygun olması hedeflenerek karışım oranlarının ısı iletimine, çekme mukavemetine ve ses yutum katsayısına etkisi incelenmektedir.

2.1 Dünya’da Tarım Ürünleri

Dünya’da tarım bazlı ürün üretimi sürekli artış göstermektedir. Nüfus artışına paralel olarak gelecekte de mevcut talebe göre tarım ürünlerinde artış olacağı ön görülmektedir. Bu çalışmanın temel bileşenleri olan muz ve nişasta Tablo 2.1’de görüldüğü gibi dünyada tarım yoluyla en fazla üretimi yapılan ilk 9 gıda maddesi arasındadır[10].

Tablo 2.1 Dünya’da Tarım yoluyla En fazla Üretimi Yapılan Ürünler [9]

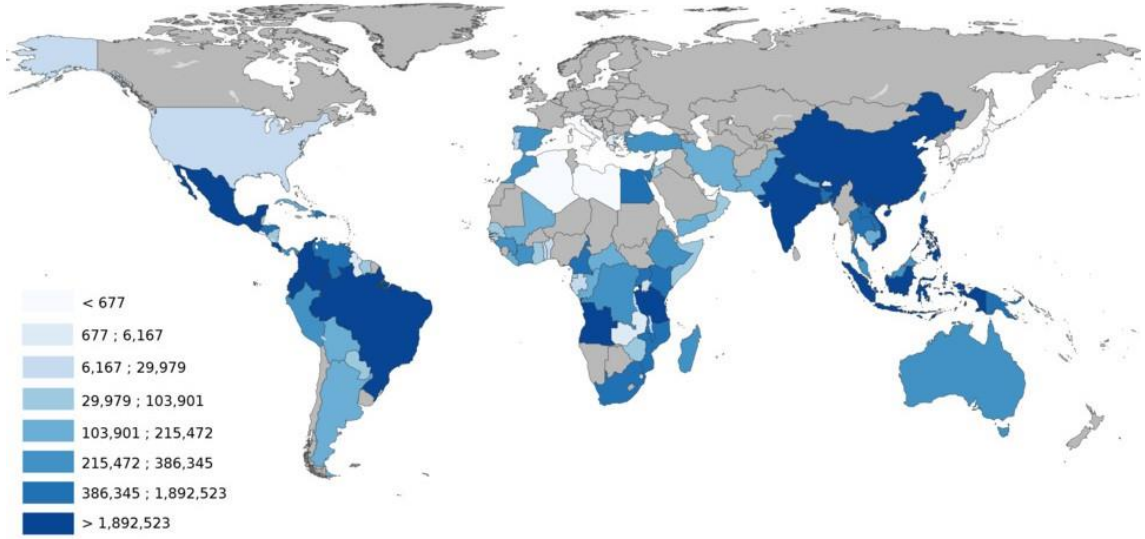
	Ürünler	Üretim Miktarı (Milyon ton)
1	Şeker Kamışı	1842
2	Mısır	872
3	Pirinç	738
4	Buğday	671
5	Patates	365
6	Nişasta	269
7	Soya Fasulyesi	241
8	Domates	161
9	Muz	113

2.1.1 Dünya’da Muz Üretimi

Yapılan araştırmalara göre muz yetiştirilen bölgeler genelde 20° Kuzey ve 20° Güney enlemleri arasında kalan alanda yoğunlaşmıştır. Muz bitkisinin anavatanı Güney Çin, Hindistan ve Hindistan ile Avustralya arasındaki adalardır[11].

Bu bölgeler harici dünyanın diğer yerlerinde gece saatlerinde ve kış aylarında ortaya çıkabilecek düşük sıcaklık muz bitkisinin gelişimine ve meyve vermesine engel olabilecek niteliktedir. Fakat dünya üzerinde bu bölgeler harici muz yetiştirilebilen bölgeler de mevcuttur. İsrail ve İspanya 20° ile 30° Kuzey enlemleri arasında muz yetiştirilen bazı ülkelerdendir.

Ülkemiz ise 36°-42° Kuzey enlemlerindeki konumu ile dünyada muz yetiştirilebilen en kuzey ülke olma özelliği taşımaktadır[12].



Şekil 2.1 Dünya’da Muz Üretimi Yapılan Ülkelerin Haritası [9]

Tablo 2.2 Dünya’da Muz Ekili Alan ve Üretim Miktarları [9]

Yıllar	Ekili Alan (Dekar)	Üretim (Ton)
2000	4555747	66025477
2001	4537233	67856043
2002	4624193	69282869
2003	4757046	71909867
2004	4785583	76146429
2005	4784533	80232937
2006	5042735	85712852
2007	5054346	80657418
2008	5167092	98245358
2009	5312347	100270870
2010	5398206	105828620
2011	5488448	106327936
2012	5316181	104885753
2013	5330860	105956705
2014	5347627	112799699
2015	5452831	115110163
2016	5376140	112599836
2017	5637508	113918763

2.1.2 Türkiye’de Muz Üretimi

Akdeniz Bölgesi Toros Dağları tarafından korunmakta dolayısıyla bu bölgede yani dağların eteklerinde mikro klima bölgeler mevcuttur. Bu da muz bitkisinin yetişmesine elverişli

bölgeler meydana getirmektedir. Buna rağmen bazı yıllar kış aylarının beklenenden soğuk geçmesi sebebi ile muz bitkisi zarar görmektedir. Bu soğuk hava şartları muz bitkisinin hem o yılki meyvesine hem de soyunu devam ettirmek için verdiği fidana zarar vermektedir. Soğuk havalara alınabilecek en iyi önlem şekli iklim kontrolünün kısmen sağlanabildiği örtü altı üretimdir[13].

Tablo 2.3 Türkiye'nin Muz Ekili Alanı ve Üretim Miktarları [9] [13]

Yıllar	Ekili Alan (Dekar)	Üretim (Ton)
2000	17250	64000
2001	18750	75000
2002	23850	95000
2003	25200	110000
2004	30000	130000
2005	36000	150000
2006	39168	178205
2007	44098	189107
2008	43258	201115
2009	43338	204517
2010	44279	210178
2011	45074	206501
2012	44923	207727
2013	46700	215472
2014	53497	251994
2015	58380	270500
2016	62250	305926
2017	68210	369009

2.1.3 Ülkemizdeki Muz Çeşitleri

Ülkemizde muz yetiştiriciliği 1937 senesinde 'Dwarf Cawendish' yani Bodur veya Cüce Cawendish muz klonuyla başlamış ve bu cinse halen yoğun olarak rastlanmaktadır. Muz bitkisi yetiştiricileri bahçelerinde genellikle dip sürgününden alınan fideleri ya da meristem kültürü metoduyla elde edilmiş fideleri kullanmaktadır. Muz bitkisi yetiştiricileri rekolteyi arttırmak adına dünyada daha verimli ürün alınan çeşitler ile bahçe tesis etmeye başlamışlardır. Fransa'dan getirilen ve Akdeniz Üniversitesi tarafından Mersin'in Bozyazı ilçesinde adaptasyon denemesi yapılan çeşitlerden 'Grand Nain, Williams ve Basrai' muz klonlarının Dwarf Cawendish'e verim ve kalite kriterleri açısından alternatif olabileceği keşfedilmiştir. Örtü altında Grand Nain ve Williams açıkta ise bunlara

ek olarak Basrai iyi sonuçlar vermiştir[14]. Bunlara ek olarak denenen tüm klonlarda örtü altı yetiştiriciliğinin açıkta üretime göre daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Türkiye'nin muz bitkisiyle tanışması 1750'lerde varlıklı bir aile tarafından süs bitkisi olarak Mısır'dan Alanya'ya getirilmesiyle olmuştur. Uzun yıllar sadece süs bitkisi olarak ekilmesinin ardından 1930'lu yıllarda bu bitkiden meyve alınabileceği anlaşılmış ve ticari olarak ekimine başlanmıştır. Anamur'a ise 1935 yılında getirilip ekilmiştir[11].

İlk önce açıkta üretim yapılmış fakat soğuk havanın negatif etkisinden ötürü özellikle Anamur ve Bozyazı ilçelerinde açık alanlar yerine naylon ve camekân seralarda yetiştirilmeye başlanmıştır[15].

Muz bitkisi ülkemizde genellikle Alanya, Gazipaşa, Anamur ve Bozyazı ilçelerinde yetiştirilmektedir. En yoğun üretimin olduğu ilçeler bunlar olsalar da, muz diğer tarım ürünlerine göre karlılık sunduğundan ötürü civar il ve ilçelerde –Silifke, Erdemli, Mersin, Manavgat ve Serik- örtü altı üretim başlamıştır. Seracılıkta daha iyi yetiştirme şartları sağlandığı zaman Adana, Hatay gibi illerin muhtelif ilçelerinde ekonomik getiri sağlama bakımından olağan gözükmemektedir[12].

2.1.4 Muz Bitkisi

Muz bitkisi otsu gövdesinden ötürü sıcaklık değişimlerine çok hassastır. Muz bitkisinin tropikal bölgelerde yetişmesinin temel nedenlerinden biri de gece gündüz sıcaklık farklarının az olmasıdır. Bitkinin otsu gövdesi 0°C'de gövdenin toprak altında kalan kısmı ise -4°C'de zarar görmektedir. Bitkinin gelişimine başlaması için 14°C, çiçeklenme başlangıcı için ise 22°C gereklidir. Fotosentezin en verimli yapıldığı sıcaklık 27°C'dir. Bu sıcaklıklardan sonra bitkiye zarar verebilecek sıcaklıklar su şeklinde sıralanır; 34°C bitkinin strese girme başlangıcı, 38°C gelişiminin durduğu, 40°C yapraklarda yanmanın gözlemlendiği, 47,5°C ise bitkide kurumaya başlama riski olan sıcaklıklardır.

Muz bitkisinin tropikal bölgeleri sevmesinin bir diğer temel nedeni de nem oranıdır. Tropik bölgelerde havanın bağıl nemi daima %60'tan yüksektir. Dolayısıyla muz bitkisinin de optimum yetiştirme şartları %60 ile %80 arasındaki bağıl nemde olmaktadır[16].



Şekil 2.2 Muz Bitkisi

Muz bitkisinin ekilme aralıkları açık bahçeler için 2,5x2m örtü altı üretimde 3x1,8m'dir. Dolayısıyla açık bahçeler için dekarda 200 bitki iken, örtü altı üretimde dekarda 185 bitkidir. 2016 yılındaki örtü altı ve açık bahçelerde ekili alan sırasıyla 40780 ve 21460 dekadır.[17] Basit bir hesaplama ile;

$$\text{Muz Bitkisi Sayısı} = \text{Ekim Alanı} * \text{Alana Düşen Bitki Sayısı} \quad (2.1)$$

$$\text{Açık bahçeler için} = 21460 * 200 = 4.292.000 \quad (2.2)$$

$$\text{Örtü altı üretim için} = 40780 * 185 = 7.544.300 \quad (2.3)$$

$$\text{Toplam muz bitkisi sayısı} = 4.292.000 + 7.544.300 = 11.836.300 \quad (2.4)$$

Lif çıkarma işlemlerinden elde edilen tecrübeye dayanarak yaklaşık olarak 10 ağaçtan 1 kg'a yakın lif elde edilmekte dolayısıyla her yıl 1.183.630 kg lif ülkemizde doğada çürümeye bırakılmaktadır.

2.2 Muz Lifinden Üretilen Ürünler

Ülkemizde ve dünyada muz lifi ile birçok ürün üretilmekte ve insanlığın kullanımına sunulmaktadır. Fakat üretilen ürünler genellikle tekstil bazındadır. Aşağıdaki Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5'te muz lifinden üretilen kıyafetler, aksesuarlar ve bazı dekoratif ürünleri göstermektedir.



Şekil 2.3 Muz Liflerinden Tekstil Ürünleri [18]



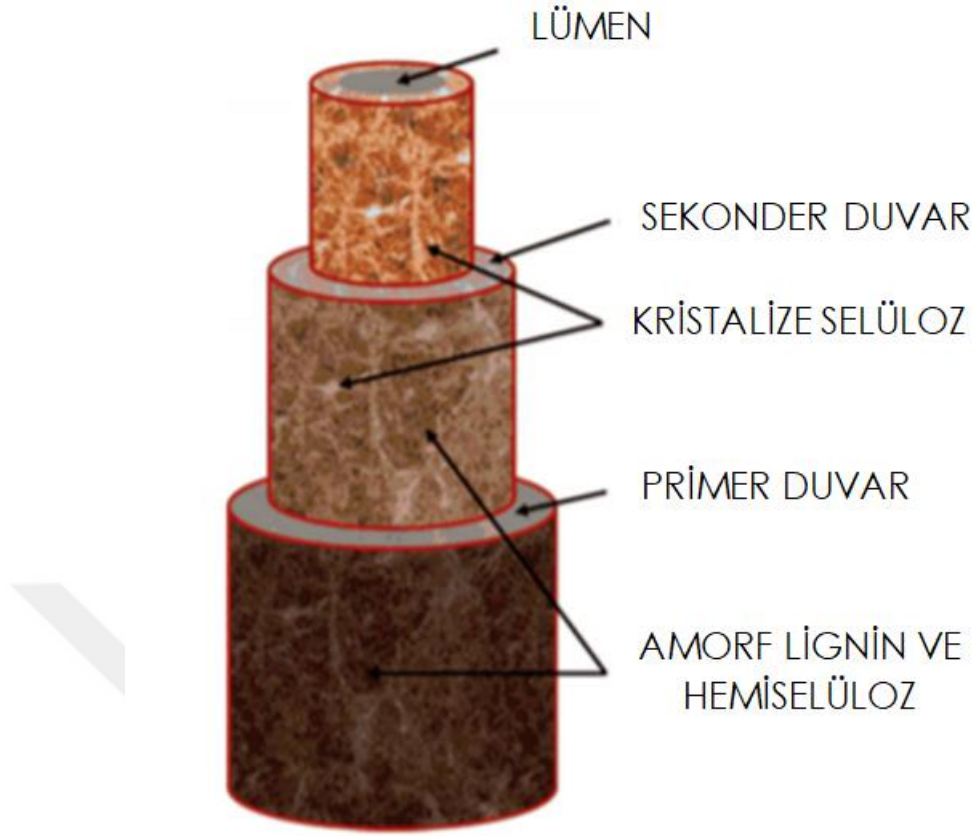
Şekil 2.4 Muz Liflerinden Aksesuarlar [18]



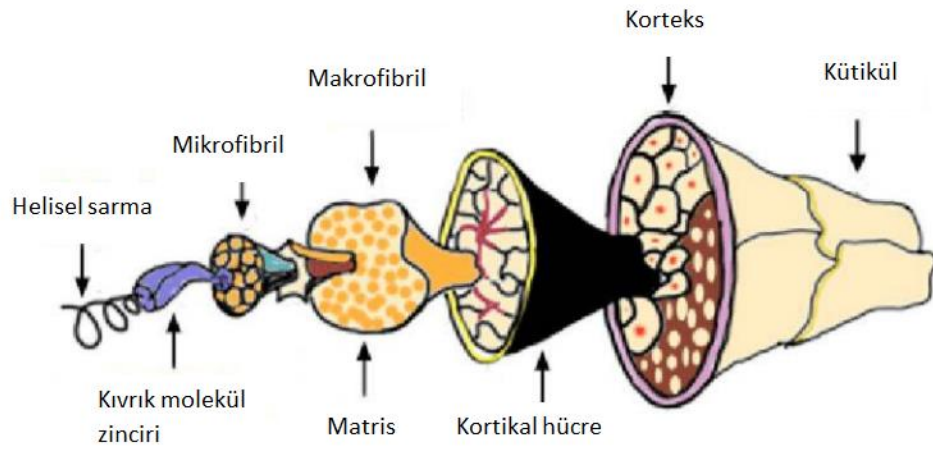
Şekil 2.5 Muz Liflerinden Dekoratif Eşya, Duvar ve Tavan Kaplamaları [19]

2.3 Doğal Lifler ve Yapıları

Doğal lifler bitkisel, hayvansal ve mineral olmak üzere 3'e ayrılırlar. Bitkisel liflerin bir diğer adı da lignoselüloz liflerdir çünkü içeriği çoğunlukla selüloz fibriller ve ligninden oluşmaktadır. Kompozit üretiminde bitkisel liflerden sisal, keten, kenevir, bambu ve jüt genellikle en çok kullanılan liflerdir. Mineral bazlı olan lifler ise asbest temellidir. Bu liflerin boyutları çoğunlukla bir santimetreden kısadır ve kristal yapıları onları bitkisel ve hayvansal liflerden ayırt eden en temel farklarıdır. Mineral bazlı lifler iyi mekanik özellikler ve yangına karşı geciktirici davranış gösteriyor olmalarına rağmen, sağlık açısından aşırı risk teşkil ettiklerinden ötürü çoğu alanda uygulamaları yasaklanmıştır. Hayvansal lifler ise protein bazlı olup temelde 2 gruba ayrılır: (alfa)-keratin lifler (saç, yün, tüy) ve fibroin lifler (ipek ve örümcek ağları). Protein bazlı liflerin yapısında bulunan fibriller iç içe geçmiştir ve birbirlerine sürtünen bu süreksiz lifler uzun bir lif üretimini sağlarlar. Hayvansal lifler bitkisel liflere göre maksimum kuvvette uzama ve ısıya karşı dirençleri bakımından oldukça üstündürler. Şekil 2.6 ve 2.7'de sırasıyla bitkisel ve hayvansal liflerin iç yapısı gösterilmiştir[20].



Şekil 2.6 Bitkisel Liflerin iç yapısı [20]



Şekil 2.7 Hayvansal Liflerin İç Yapısı [21]

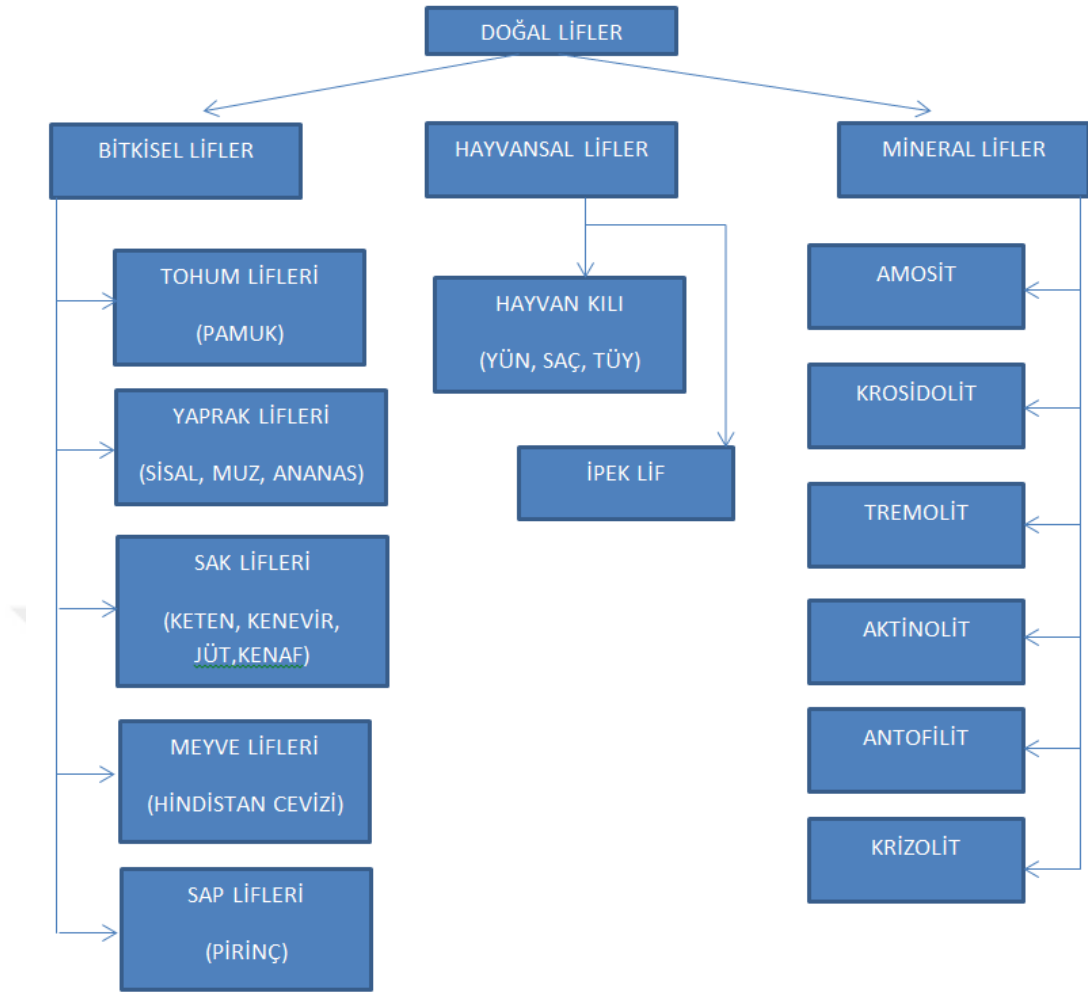


Şekil 2.8 Liflerin ömür döngüsü [20]

Bitkiler Şekil 2.8’de görüldüğü gibi mahsul verdikleri gibi endüstriyel alanlarda kullanabileceğimiz lifleri de barındırmaktadırlar. Ayrıca bitkisel lifleri kullanmanın diğer bir olumlu yanı da doğaya zarar vermeden geri dönüşüm yada doğada bozunabilme özelliklerine sahip olmalarıdır[20].

2.4 Doğal Lif Çeşitleri

Şekil 2.9’da doğal lif çeşitleri türlerine göre ayrılmaktadır.



Şekil 2.9 Doğal Lif Çeşitleri [20]

2.4.1 Bitkisel Lifler

Bitkisel lifler kendi içlerinde 5 farklı başlıkta sıralanmaktadır. Bunlar; tohum lifleri, yaprak lifleri, sak lifleri, meyve lifleri ve sap lifleridir.

2.4.1.1 Pamuk

Pamuk en çok kullanılan liflerden biridir. Hidrofilik yapısından ötürü lifleri su ile temasta büyük miktarda şişmektedir. Liflerin uzunluğu 5 cm'e kadardır. Alkalilere dayanıklı yapılarına rağmen asitler karşısında zayıftırlar. Mikroorganizmalara dirençleri az ve yanma eğilimi yüksek liflerdir. Yoğunluğu $1,55 \text{ g/cm}^3$, gerilme mukavemetleri 280-590 MPa ve modülleri de 5-12,5 GPa'dır.

Pamuk lifleri 3 duvarlı yapıya sahiptir. Üst tabaka wax ve pectin maddelerinden oluşur. Bu tabaka primer duvarı korumaktadır. İkinci duvar helisel fibriller içermekte ve son duvar

da lümeni çevrelemektedir. Dışa kabukta koruma özelliğine sahip mumsu bir madde mevcuttur. Bu madde life yapışkanlık özelliği sağlamaktadır. Lifin yapısında mevcut olan selülozun düzenlenişi, lifin kuvvet ve emicilik özelliklerini belirlemektedir[22].



Şekil 2.10 Pamuk [23]

2.4.1.2 Sisal

Sisal, Agavecae ailesinden elde edilen bir bitki türüdür. Elde edilen lifler kaliteli ve ticari anlamda en çok kullanılan yaprak liflerinden biridir. Afrika'nın doğusu ayrıca Endonezya ve Filipinlerde üretimi yapılmaktadır. Sisal bitkisi kaktüs bitkilerinde olduğu gibi yapısında su depolar ve kurak zamanlarda bu suyu kullanır. 2 m uzunluğa erişebilir ve dikenli uçlara sahiptir. Lifler yapraklarında boylamasına uzarlar dolayısıyla uzun lifler elde edilebilir. Sisal lifi kuvvetlidir ve boyca uzuması yüksektir fakat muz liflerine göre esnekliği düşüktür. Ayrıca tuzlu su oranının yüksek olduğu yerlerde de yaşayabilir. Birçok kullanım alanıyla birlikte sisal lifleri sıkıştırılarak dart tahtası yapımında kullanılır[22].



Şekil 2.11 Sisal Bitkisi [23]

2.4.1.3 Ananas

PALF olarak adlandırılan ananas yaprak lifleri ananas meyvesinin üretilip satılmasından sonra elde kalan yan ürün olduğundan ek maliyet olmadan elde edilebilmektedir. Pala tipinde olan yaprakları 1-2 m uzunluğa ve 2-5 cm genişliğe sahip bir bitkidir. Jütten ince fakat pamuktan kabadır[24].



Şekil 2.12 Ananas Bitkisi [23]

2.4.1.4 Keten

Tarihte bilinen en eski tekstil lifleri olan keten 3000 yıldan daha eskidir kullanımdadır. Bu bitkinin yetişmesi için ılık ve orta nemli bölgeler gerekmektedir; Belçika, Fransa ve İtalya gibi. 'Tow ve Line' sırasıyla kısa lifler ve uzun, iyi taranmış lifleri tanımlamaktadır. Islatılmasına bağlı olarak gri ve sarı arası renklere sahip olabilir. Pamuğa benzer şekilde %70 selüloz içermekte ancak molekül yapıları çok daha düzenli olduğundan pamuğa göre daha kuvvetlidir.

Keten lifleri bitkinin sak kısmından elde edilirler. Lif elde etmek için yapılan hasat bitkinin çiçek açıp tohumları oluşturmamasından 2 hafta sonra yapılmaktadır. Elle hasat liflerin yapısının bozulmaması için tercih edilmektedir.

Keten lifleri asitlere, alkalilere, solventlere ve sıcaklığa dayanıklıdır. Keten liflerinin uzunlukları 25 ile 120 cm arasındadır. Kullanım alanları çeşitlidir; giysiler, teknik ürünler, ev tekstili gibi[22].



Şekil 2.13 Keten Bitkisi [23]

2.4.1.5 Kenevir

Kenevir hem mikro hem de makro boyuttaki görüntüsü ketene benzemektedir fakat ketene göre daha iri ve sıklıdır. Bu farklılıklar işleme yöntemleri ile en aza indirilebilmektedir. Hasat edildiği bitkinin boyutlarına göre 100 ile 400 cm arasında lif boylarına sahip olabilmektedirler. Liflerin çıkarılma metoduna göre lif renkleri krem, kahve, yeşil ve siyah olabilmektedir. Kenevirden dıştan içe doğru 3 bölgeden farklı tipte lifler elde edilmektedir. En uzun ve kalite olanlar en dıştan alınan kabuk lifleridir. İç kısma doğru gidildikçe elde edilen lifler dokuma dışı uygulamalarda ve teknik alanlarda kullanılırlar.

Kenevir bitkisinin ilaçlama ihtiyacı yoktur ve çok hızlı büyürler. Kök yapıları sayesinde toprak erozyonuna engel olurlar. Bu bitkinin yaklaşık %30'u lifler. Aynı dönüm alanda pamuk ve ketene kıyasla sırasıyla 2,5 ve 6 kat daha verimlidir. Kenevir lifleri %74 selüloz içermekte ve UV ışınlarına ve küfe dirençlidirler. Başlıca üretimi Çin ve Filipinler karşılır fakat bazı avrupa ülkelerinde, Rusya'da ve Hindistan'da da hasat edilmektedir[22].

2.4.1.7 Jüt

Jüt lifi dünyadaki en uygun fiyatlı liflerden biridir. Lifler hasadın ardından belli bir süre beyaz renkli, parlak ve elastiktirler ardından renkleri kahve tonlarına döner, dayanımları azalır ve kırılganlıkları artmaktadır. Su ile teması bozulmasına sebebiyet verir ve güneşe karşı da dayanımları azdır. Jüt lifleri uzun boylarının verdiği avantajla kalın ve sağlam iplikler meydana getirilmesini kolaylaştırmaktadır. Bazı yönlerinden ötürü tekstil lif ve lignoselüloz lifleridir. Organizmalara karşı dayanıklı olması kullanım alanını genişletmektedir.

Jüt lifleri geotekstil alanında kullanım olanağı bulmuş ve bazı ev tekstili ürünlerinde de pamuk ve diğer lif karışımlarının yerini almaya başlamıştır. Ultraviyole ışıklardan koruma özelliği, düşük ses ve ısı iletimi ayrıca antistatik özellikleri mevcuttur. CO₂ filtrelemesi yapabilmektedir ve doğada kısa sürede çözünebildiğinden bazı teknik malzemelerle beraber kullanılabilir. Jüt, Asya genelinde ve çoğunlukla Hindistan'da yetiştirilerek çuval, ip, sicim ve halat yapımına o bölgelerde çoğunlukla rastlanmaktadır[22].



Şekil 2.16 Jüt Bitkisi [25]

2.4.1.8 Hindistan Cevizi

Coir lifleri olarak da bilinen bu lifler hindistan cevizi ile dış kabuğu arasındaki maddeden elde edilirler. Uzun ve sağlamdırlar fakat yumuşama özellikleri ve su emicilikleri zayıftır. Coir lifleri elde edildiği hindistan cevizinin tipine, hazırlanışına ve çıkarma yöntemine göre kahve ve beyazımsı renkte olmaktadır[22].



Şekil 2.17 Hindistan Cevizi [23]

2.4.2 Mineral Lifler (Asbestler)

Beyaz, kahverengi ve mavi asbest olarak tanımlanan ve doğada var olan asbestlerden biri serpantin grupta diğerleri ise amfibol grupta yer almaktadır. Asbestler teorik manada amfibol ve serpantin ihtiva eden başkalaşım kayalarının gerilmeye uğramış olanlarında rastlanabilmektedir[26].

- **Serpantin Asbestler:** Krizotil
- **Amfibol Asbestler:** Amosit, Krosidolit, Tremolit, Aktinolit, Antofilit.

2.4.2.1 Amosit

$(\text{Fe}^{2+})_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ bileşimine sahiptir. Bu mineral türü 900°C sıcaklığa kadar mevcut iç yapısını koruyabilmektedir. Tremolit mineralinin bozulmasıyla meydana gelmektedir. Amosit adı kısaltma olarak Güney Afrika Asbest Maden'i isminden türetilmiştir. Kopma mukavemeti yüksektir ve demetler halinde iplikçikler olarak bulunmaktadır. Boru yalıtımında ve yanmaya dayanıklı ürün çeşitlerinde kullanılmaktadır[26].

2.4.2.2 Krosidolit

$\text{Na}_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_3\text{Fe}^{3+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ bileşimine sahiptir. Mavi asbest olarak bilinmektedir. Bu renginin sebebi içeriğindeki yüksek soda oranı ve demir bileşiğidir. Çok ince liflerden meydana gelirler ve amositte daha yüksek değerlerde kopma dayanımına sahiptirler. Bu asbest yalıtım malzemeleri, conta ve filter gibi alanlarda kullanılmaktadır[26].

2.4.2.3 Tremolit

$\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ bileşimine sahiptir. Beyaz amfiboller sınıfındadır. Bu asbest minerali hem asbest hem de asbest olmayan şekilde meydana gelebilmektedir. Bu liflerin en boy oranı 3'ten küçüktür[26].

2.4.2.4 Aktinolit

$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ bileşimine sahiptir. Tremolitten farkı içeriğinde demir elementinin mevcut olmasıdır. Özellikleri tremolit ile benzerlik göstermektedir. Bu mineral dolomit ve talk gibi doğal maddelerden oluşmaktadır[26].

2.4.2.5 Antofilit

$\text{Mg}_7\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ bileşimine sahiptir. Antofilit minerallerinin kimyasal dirençlerinin yanında iyi termal ve elektrik yalıtımı özellikleri de mevcuttur. Bu özellikleri sayesinde yalıtım malzemesi, yapıştırıcı, plastik ve dolgu malzemeleri gibi alanlarda dahil olduğu malzemenin özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılırlar[26].

2.4.2.6 Krizotil

$\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ bileşimine sahiptir. Beyaz asbest diye de bilinen krizotil, serpantin grubu minerallerdendir. Her daim lif formunda olan krizotil kristal yapısından ötürü diğer amfibollerden farklıdır. Çok geniş kullanım alanına sahiptir. Diğer tür asbestlere göre daha esnek bir yapısı vardır. Kumaşla dokunarak kullanılabilirler. Ergime noktaları yüksektir dolayısıyla bu asbest türü yanmaya dayanıklı kıyafet yapımında sıkça kullanılır. Amfiboller çok yaygın bir şekilde hem magmadan oluşan kayalarda hem de başkalaşım kayalarda görülürler. Kristal yapılarıyla doğrudan alakalı olarak uzun ve prizması bir formda doğada bulunurlar[26].

2.4.2.7 Mineral Liflerin Sağlık Açısından Zararları

Mikroskobik boyuttaki asbest mineral lifler insan gözünün seçemeyeceği kadar küçüktürler. Kokuları ve tatları yoktur ayrıca asbeste maruz kalınması herhangi bir anlık belirtiye sebep olmamaktadır. Dolayısıyla kişinin asbest tozlarını soluması ve yutması oldukça basittir. Bu lifler vücuda yerleştiklerinde çözünmezler ve vücut bu lifleri atmakta büyük zorluklar çeker. Yıllar ilerledikçe biriken bu asbest lifleri, iltihaplanmalara, yara izlerine ve sonucunda da hücrelerde genetik değişimlere/hasarlara yol açma ihtimalleri yüksektir.

Asbeste dayalı hastalıkların ilerleyip meydana çıkması 20 ile 50 sene arasında sürmektedir. Tüm dünyada tanı koyulan hastaların çoğunluğunun, çağdaş sağlık düzenlemelerinin yürürlüğe sokulmasından daha evvel oluşan asbeste maruz kalınma halinden süregeldiği manasına gelmektedir. Mesleki manada maruz kalma asbeste dayalı sıkıntıların temel nedenidir. Bu maruziyeti bu kişilerle iletişimi olan kişilerde görülme oranı izler. Ayrıca kirli çevre şartlarında yaşayan ve asbestli ürünler tüketen kişilerde de görülmektedir[27].

2.4.3 Hayvansal Lifler

2.4.3.1 Yün

Koyunlardan sağlanan doğal saç/kıl protein bazlı liflerdir. Lifin özellikleri (kalınlığı ve yapısı) elde edildiği koyunun tipine ve cinsine bağlıdır. Yün lifleri görülmedik şekilde karmaşıktır. Yapısında çapraz bağlanmış 16 değişik aminoasitten meydana gelmiş bir protein cinsi olan keratin içermektedir. (Keratin'in içeriğinde yüksek oranda karbon, oksijen, hidrojen ve nitrojen mevcuttur.) Aminoasitlerin niceliği ve dizilişi yüne göre değişmektedir. Aşınma direnci orta olan yünün esnekliği yüksek fakat boyutsal stabilitesi düşüktür. Yün nem çeker özelliktedir ve alkali, ağartıcı ve asitlerden etkilenen bir yapıya sahiptir. Isıtılınca kırılır ve elektrik iletkenliği düşüktür. Yoğunluğu 1,31 gr/cm³ , ortalama lif boyu 2 ile 25 cm'dir ve lif çapı 15-45 mikron mertebesindedir[22].

2.4.3.2 İpek

İpek lifler eşsiz özellikleri sayesinde insan vücudunda yer alan maddelerden olmamasına rağmen biyomedikal uygulamalarında bolca kullanım alanı bulmuştur. Biyoyumumluluğunun yanında sentetik liflerle yani kevlar ve naylon lifleri gibi maddeler ile boy ölçüşecek mekanik özellikler göstermektedir. Bu da onu çok yönlü bir lif yapmaktadır. İpek lifinin yapısında bulunan proteinler birbirlerinden farklı yapılarına göre üst üste sıralanmışlardır ve bu durum lifin dayanım ve elastikiyetini sağlamaktadır. İpek lifi muhtelif eklembacaklılar tarafından üretilmektedir. Endüstriyel olarak üretimi yapılan evcilleştirilmiş ipek böceği türü Bombyx Mori'dir. Bu böcek tırtıl safhasından sonra pupal safhaya geçer ve kozada yaşamını sürdürür. Daha sonra kozaları bozmaması için gaz verilerek veya kaynar suya atılarak böcek öldürülmektedir. Sonrasında koza çözme işlemine geçerek ipek elde edilmektedir. 1 gram ipek lifi için 15 ipek böceği öldürülmektedir. Örümcek ipeği ise askeri ve tıbbi uygulamalarda kullanılmak üzere üretilmeye çalışılmış fakat 1 gram ipeği üretmek için gereken 1400 örümcek hem karlı

olmamakta hem de çok sayıdaki örümceği aynı yerde tutmak yamyamlık yapmalarına sebebiyet vermektedir[28].

2.5 Doğal Lifler İle Üretilen Bazı Malzemeler

Doğal lifler günümüzde revaçta olsalar dahi kullanımları bir asır öncesine dayanmaktadır. Modern manada ilk örnekler ile 20. yüzyılın başlarında otomotiv sektöründe karşılaşmıştır. Henry Ford 1942 yılında prototip olarak ürettiği otomobilde yakıt olarak kenevir ve etanol karışımı, kaportasında da kenevir bazlı bir kompozit kullanmıştır. 1950'li yıllardan sonra da Almanya'da pamuk ve polyester bazlı kompozitin kullanıldığı 'Trabant' model araç piyasaya çıkmıştır. Ardından doğal liflerin kullanım alanları otomotiv sanayinde yaygınlaşmış ve kapı panelleri, koltuk arkalıkları, tavan döşemesi, göğüs ve bagaj döşemelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Diğer sektörlerde kullanım alanları da şu şekildedir; elektrik elektronik alanında telefon ve bilgisayar kasaları, spor malzemelerinde tenis raketleri, bisikletler ve boardlar, yapı sektöründe de kapı panelleri, zemin döşemeleri, tirabzan ve cam çerçevelerindedir. Şekil 2.18 ve 2.19'da doğal lifli kompozitler ile üretilen bazı malzemeler görülmektedir[29].



Şekil 2.18 Sırasıyla Kenevirden Çanta ve Keten-Karbon Hibrit Bisiklet [30]



Şekil 2.19 Kenaf-PP'den Oyuncak ve Doğal Liflerden Sandalye [30]

2.5.1 Doğal Liflerin Otomotiv Sanayiinde Kullanımı

1996 -2001 yılları arasında üretilen Mercedes Benz'in E serisi olarak bilinen yani W210 kasa kodlu araçlarda epoksi ve jüt karışımıyla oluşturulan kompozitler kapı iç panellerinde kullanılmıştır. Audi'nin şuan üretimde olmayan otomobili A2'nin 2000 yılındaki modelinde keten ve sisal doğal lifleri ile güçlendirilmiş poliüretan matrisli kompoziti kapı panellerinde görülmektedir. Toyota 2003 ve sonrası yıllarda ürettiği mini aile otomobili olan Raum modelinde %100 bioplastik kullanılarak ürettiği kompozitleri yedek lastik için kapak olarak kullanmıştır. Bu kapağı şeker kamışı bazlı PLA ve kenaf liflerinden üretmiştir. Mitsubishi araç içi bazı parçalarında bambu takviyeli bitki bazlı polimer kullanmış ayrıca taban döşemesinde ise PLA ve naylon liflere yer vermiştir. Toyota kompakt araç sınıfındaki Matrix modelinde, SUV sınıfındaki RAV4 modelinde 2008 yılından itibaren koltuk süngeri olarak soya bazlı köpükleri kullanmıştır. Ford'un 7 koltuklu büyük SUV aracı olan Flex modelinde saklama gözleri ve kapaklarında buğday sapı takviyeli kompozitler yer almaktadır. Ayrıca Toyota Lexus markası adı altında ürettiği CT 200 isimli modelde şeker kamışıyla ürettiği plastiği kullanarak hibrit bir aracın ne kadar doğa dostu bir araç olabileceğini göstermiştir. Genellikle bu kompozitleri araç içerisinde görürken Mercedes Benz şirketi ürettikleri Travego model yolcu otobüslerinde kullanımı araç içerisinden kısmen dışa taşıyarak yeni bir kullanım alanı oluşturmuşlardır. Ürettikleri poliester matrisli keten takviyeli doğal kompoziti motor ve şanzıman muhafazalarında ses yalıtımı sağlamak amacı ile kullanmışlardır. Daimler AG bünyesinde bulunan Mercedes Benz 2002 yılında PP ve abaca liflerinden ürettikleri kompozitleri patentlemişlerdir. Ardından 2004 yılında Mercedes'in küçük sınıf otomobili olan A serisinin yedek lastik muhafazasında fiberglas yerine kullanmışlardır. İngiliz menşeli iken

ardından Proton'un satın aldığı Lotus şirketi efsanevi Elise modelinin konsept bir versiyonunun arka kanat ve bazı parçalarında kenevir takviyeli kompozitlere yer vermişlerdir. Mercedes Benz lüks sınıf lideri S serisi aracında 27 adet bileşenin ağırlıkları toplamı sadece 43 kilogramı geçmeyen doğal kompozitler kullanmışlardır. Ayrıca Tablo 2.4'de burada belirtilen otomobillere ek olarak diğer doğal lifler ile donatılmış otomobiller belirtilmiştir[29].

Tablo 2.4 Doğal Liflerin Otomotiv Alanında Kullanım Örnekleri [31]

Otomobil üreticisi	Model	Uygulama Tipleri
Audi	A2, A3, A4, A4 Avant, A6, A8	Koltuk arkası, yanı ve arka kapı paneli, fren balatası, şasi kaplaması, stepne kaplaması
BMW	3,5,7 serileri	Kapı panelleri, tavan döşemesi, fren balatası, koltuk arkası paneli
Mercedes Benz	A, C, E, S serileri	Kapı panelleri, otomobil ön gösterge paneli, akü kapağı
	A serisi ve Travego	Döşeme altındaki korucuyu
	M serisi	Gösterge paneli
Fiat	Punto, Brava, Marea	
Alfa Romeo	146,156	
Ford	Mondeo, Focus	Kapı panelleri, fren balatası, ön göğüs
Mitsubishi	Space star	Kapı panelleri
	Colt	Gösterge paneli
Peugeot	406	
Renault	Clio	
Rover	Rover 2000	Yalıtım, bagaj paneli

Saab	9-3	Kapı panelleri
Volkswagen	Golf, Passat, Passat Variant, Bora	Kapı panelleri, koltuk arkılığı, bagaj kapağı paneli, fren balatası
Volvo	C70, V70	

2002 senesinde Avrupa Komisyonu tarafından çıkarılan 'End of Life Vehicles' kanunuyla birlikte AB'de üretilen araçların 2005 yılından itibaren %85, 2015 yılından itibaren ise %95 oranında geri dönüştürülebilir ya da doğada bozunabilir olması gerekmektedir. Bu yasayla birlikte otomotiv sektöründeki üreticiler özellikle araçların iç parçalarında fiberglas takviyeli plastik malzemeler yerine doğal liflerle takviyelendirilmiş termoplastik ya da termoset kompozitlere yönelmişlerdir[32].

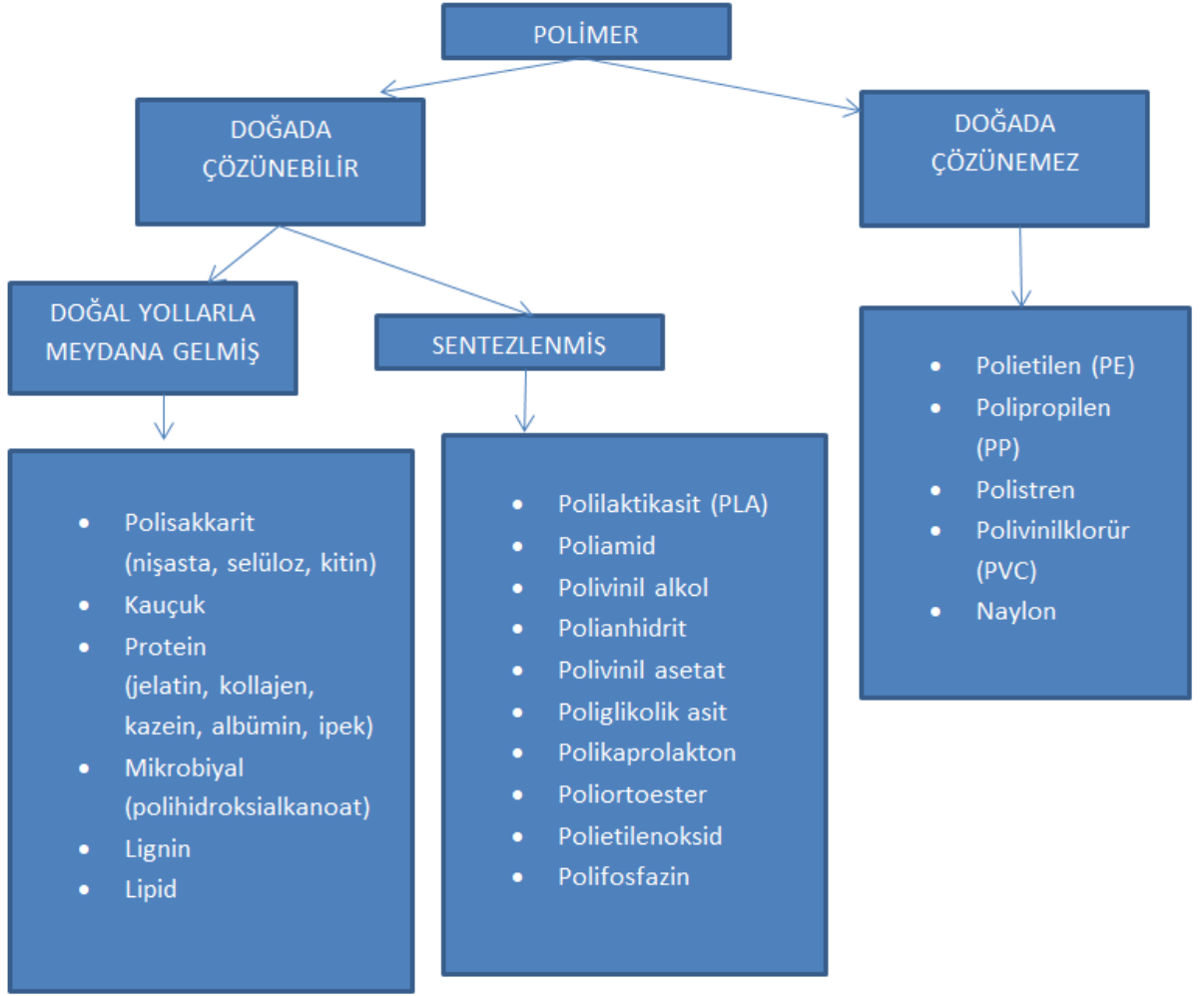
2.6 Polimerler

2.6.1 Doğada Çözünebilen Polimerler

Standartlardaki test yöntemlerine göre bazı süreçlerde ve bazı çevresel şartlarda malzemenin ağırlığında ve mekanik özelliklerinde önemli miktarda değişiklik, bozunma oluşuyorsa bu malzeme doğada çözünebilir olarak tanımlanabilir. Bu değişiklikler, bozunmalar malzemenin yapısında barınabilecek nitelikte olan mantar ve bakteri gibi organizmalardan kaynaklanmaktadır.

2.6.2 Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimer maddeler genel manada yenilenebilir ve yenilenemez petrol türevi kaynaklardan elde edilebilirler ve bu şekilde sınıflandırılabilirler. Küresel manada önem arz eden bir etmen haline gelen doğada çözünme davranışlarına bakarak Şekil 2.20'de görüldüğü gibi polimer maddeler, doğada çözünür ve doğada çözünemez olarak sınıflandırılabilirler[33].



Şekil 2.20 Polimerlerin Sınıflandırılması [34]

2.6.3 Biyopolimerler

2.6.3.1 Polisakkaritler

Polisakkaritler geçtiğimiz 30-40 yıldır endüstriyel anlamda önemi büyük polimerler olmuşlardır ve kullanım alanları çok genişlemiştir. Ticari manada önem taşıyan polimerler muhtelif mantar ve maya türlerinden elde edilmektedir.

Polisakkaritler iç yapılarında büyük enerji depolayan karbohidratlardır. Basit şekerlerin doğrudan veya dallanmış polimerleri olarak da tanımlanabilirler. Monosakkaritler arasında O-glikositik bağlar vardır. Monosakkaritin birleşimindeki değişiklikler, zincir şekilleri ve molekül kütlesi polisakkaritin fiziki özellikleri belirlemektedir.

En popüler polisakkaritler selüloz ve nişastadır. Nişasta ve selüloz sırasıyla glikoz monomerlerin kovalent alfa/beta bağları ile oluşturdukları çoklu zincirlerden meydana

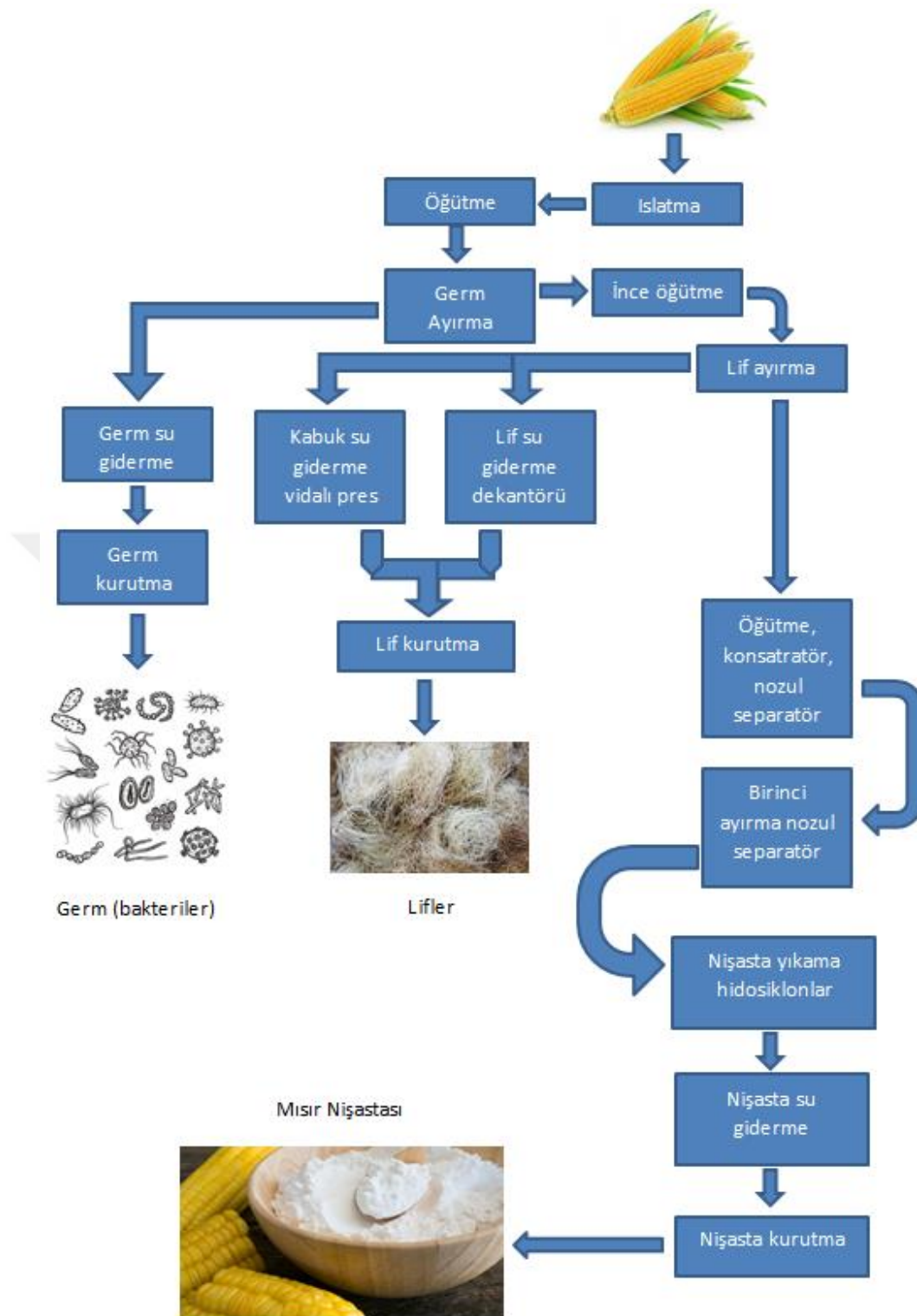
gelirler. İnsan sindirim sistemi yapısındaki enzimler nişastada bulunan alfa bağları parçalayabilir fakat beta bağları parçalayamamaktadır. Dolayısıyla insan nişastayı sindirebilirken selülozu sindirememektedir[22].

2.6.3.2 Nişasta

Nişasta, dünyada tarım yoluyla bolca üretilip insanlığın gıda ihtiyacını karşılayan örneğin mısır, patates, tapyoka, buğday, pirinç ve bezelye gibi bitkilerden elde edilen doğal bir karbonhidrattır. Ayrıca dünyada en çok bulunan polimerdir. Bu yeşil bitkilerden nişasta granül halde elde edilir. Bitkinin türüne göre boyutları ve bazı yönlerinden de biçimi farklı olabilir. Saf halinde nişasta kırık beyaz renkli, tadı ve kokusu olmayan toz yapıdadır. Çevre koşullarının uygun olmadığı durumlarda organizmalar nişasta ile beslenirler ve malzemede gözenekler meydana getirirerek dağılıp parçalanmasına sebebiyet verirler. Kalıplama tiplerinden enjeksiyon ve kompresyon ayrıca ekstrüzyon ile üretime uygun polimerizasyon özelliğine sahiptir. Granüllerde iki ana madde olan amiloz ve amilopektin ayrıca eser miktarda lipit ve proteinler mevcuttur. Fiyatı çok makul, yenilenebilir ve doğada çözünebilirdir. Fakat diğer polimerlere göre zayıf mekanik özellikler ve hidrofiliklik gösterirler.[35].

2.6.3.3 Mısır Nişastası

Tarım yoluyla en çok üretilen gıda maddelerinden olan mısır nişasta üretiminde de en büyük paya sahiptir. İçeriğinde karbonhidrat, su, protein, yağ ve mineraller içermektedir ve ağırlıkça sırasıyla %74, %10, %9, %5 ve %2'dir. Şekil 2.21'de mısır nişastası üretim prosesi görülmektedir[22].



Şekil 2.21 Mısır Nişastası Üretim Prosesi [22]

2.6.3.4 Buğday Nişastası

Buğdayın içeriğinde ağırlıkça %71 karbonhidrat, %12 protein, %13 su, %2 yağ ve %2 de mineral mevcuttur. Buğday nişastasının üretimi mısıra kıyasla az ve maliyetlidir. Amiloz ve amilopektin 1:2,5 oranındadır. Granülleri 1 mikron ile 40 mikron arası çaplarda değişkenlik göstermektedir. Jelatinleşme sıcaklığı 53°C ile 64°C arasındadır[22].

2.6.3.5 Pirinç Nişastası

Pirinç karbonhidrat bakımından diğerlerinden daha zengindir. %77 karbonhidrat, %8 protein, %10 su, %3 yağ ve %2'de mineral mevcuttur. Ortalama 5 mikron tanecik büyüklüklerine sahiptir ve jelatinleşme sıcaklığı 65°C ile 72°C arasındadır[22].

2.6.3.6 Patates Nişastası

Patates bitkisi içerisinde önemli miktarda su ihtiva eder. %17,5 karbonhidrat, %2 protein eser miktarda yağ ve %80 oranında su içerir. Beyaz patatesin tanecik büyüklüğü ortalama 33 mikron iken tatlı patatesten bu değer 25 ile 50 mikron arasındadır. Jelatinleşme sıcaklıkları da beyaz patates için 62°C-68°C, tatlı patates için 82°C -83°C mertebesinde[22].

2.6.3.7 Tapyoka Nişastası

Kasava bitkisinin köklerinden elde edilirler. Bu nişasta tapyoka ve manyok nişastaları olarak da bilinmektedir. Mısırın ardından dünya'daki en önemli 2. nişasta kaynağıdır. Endüstriyel olarak üretimi yapılırken patates nişastası kadar saf üretilebilmektedir. Granüllerin tanecik büyüklükleri ortalama 20 mikron iken jelatinleşme sıcaklığı ise 50°C-79°C arasındadır[22].

2.6.3.8 Selüloz

Selülozlar bir çeşit polisakkarittirler. Bitki hücre duvarlarını oluşturan ana yapı maddeleridir. Binlerce $\beta(1-4)$ şekilde bağlanmış D-glikoz ünitelerinin oluşturduğu düzgün polimer zincirlerdir. Bu selüloz zincirleri ard arda dizilirler ve aralarında hidrojen bağı oluşturarak güçlü bir yapıya sahip olurlar. Selülozun kristalin yapıya sahip olması hidrojen bağı ve güçlü moleküler arası kuvvetler ile sağlanmıştır[22].

2.6.3.9 Kitin

Kitin ve kitosan denizde yaşayan organizmalarda rastlanılan polisakkaritlerdir. Kabuklu deniz hayvanlarının (yengeç, karides, ıstakoz ve kerevit gibi) tüketilmesiyle oluşan

atıklarının hidrojen klorür ve sodyum hidroksit ile işleme tabi tutulmasının ardından kitin polisakkariti meydana getirilir.

Kitin doğada selülozun ardından en çok rastlanılan doğal polisakkarittir. Kimyasal ve fiziksel değişimlere olanak veren bir yapısı vardır. Biyomedikal ve farmasötik alanlarda kullanım bulan bir polimerdir[22].

2.6.3.10 Kauçuk

Kauçuk doğal yollarla veya petrol türevi olarak meydana getirilen elastik bir hidrokarbondur. Doğal kauçuk çoğunlukla Hevae ve Ficuss cinslerindeki ağaçların lateks özleri olan bitki sütlerinden elde edilirler. Hindistan kauçuğu, lastik isimleriyle de bilinen bir elastomerdir. Doğal kauçuk modern hayatta mühendislik ve sağlık gibi alanlarda çokça kullanılmaktadır. En çok bilinen kauçuk ürünler; otomobil lastikleri, eldivenler ve balonlardır[36].

2.6.3.11 Protein

Protein canlılardaki ana organik yapı taşlarıdır. Hayvanların vucütlerindeki yumuşak dokular protein temellidir. Protein ayrıca önemli bio malzemelerdendir. Kovalent bağ olmayan etkileşimler ile kararlı durumdaki özgün olmayan şekilleri ile üç boyutlu yapıdadırlar. Proteinlerin özellikleri heterojenliğe, ısı duyarlılığa ve hidrofilik davranışlarla bağlantılıdır[22].

2.6.3.12 Polihidroksialkanoat

PHA yani Poli-hidroksialkanoatlar alifatik poliesterlerdendir. İki yöntemle elde edilebilirler. İlk yöntem iki aşamalıdır. Yenilenebilir stokların fermantasyonu ile monomer ve bu monomerlerin polimerizasyonu ile de polihidroksialkanoatlar üretilir. İkinci yöntem ise mikroorganizmalardaki C'lu bileşiklerin fermantasyonu ile direk PHA üretilmesidir.

Hücrelerin stoplazmasında taneler halinde biriken PHA mikrobial enerji depolarıdır. Yarı kristalin yapıda ve kristallik dereceleri %40 ile %80'dir[22].

2.6.3.13 Lignin

Polifenoller olarak da bilinen lignin alifatik ve aromatik yapılar ihtiva eden karmaşık bir hidrokarbondur. Bitkilere sertliğini veren maddedir. Hidrofobik yapılı ve solventlerde çözünmezler. Hidroksiller, karboniller ve metoksiller içerir. Fenolik birimleri güçlü moleküller arası bağlar oluştururlar. Bu bağlar üç boyutlu yapılar meydana getirir. Örnek olarak, Fagus orientalis yani kayın ağacının yapısında bulunan polifenoller, fenilpropenol

ünitelerin birbirleri arasında olabildiğince kompleks bir şekilde bağlantı sağlamasıyla meydana getirilir.

Ligninler liflerde var olan ve karbonhidrat olmayıp, sistemsiz ve geniş kuramsal yapılarda fenolik polimerlerdir. Polifenoller suda çözünmezler ve hidrofobik bağlama yetisine sahiptirler[22].

2.6.3.14 Lipid

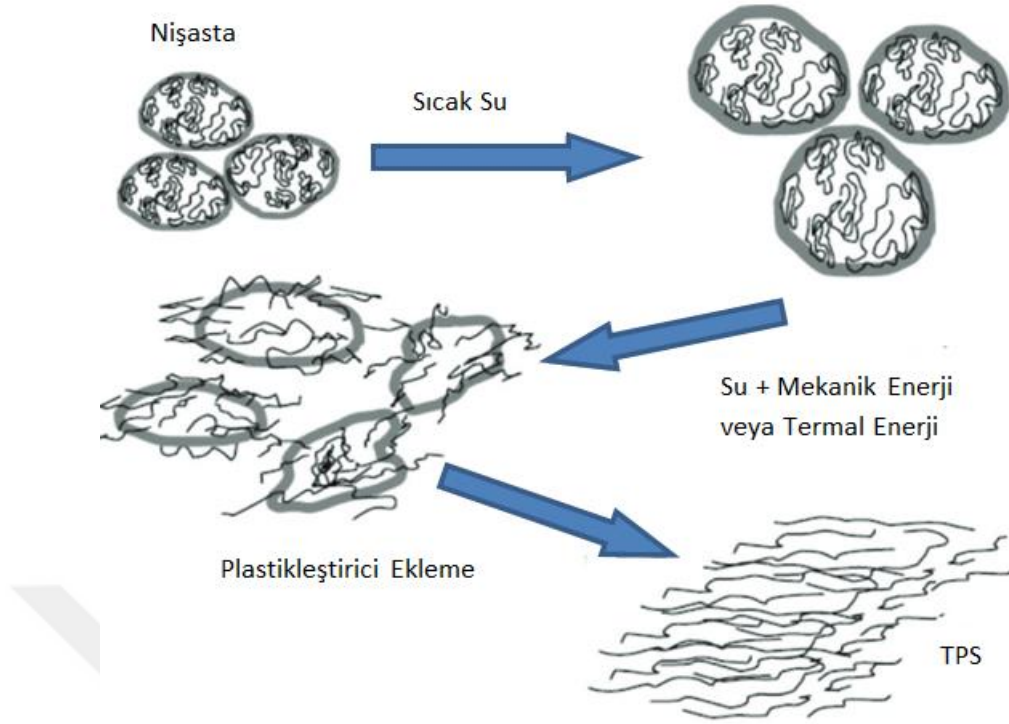
Biyoplastiklerden olan lipid mikroalgler vasıtasıyla üretilmektedir. Mikroalgler çok küçük boyutlu alglerdir ve marin sistemde yaşamaktadırlar. Ürettikleri lipid ağırlıklarının %85'ine kadar ulaşmaktadır. Mikroalgler C kaynağı olarak karbondioksit'i kullanmaktadırlar[22].

2.6.3.15 Polilaktikasit

PLA yani Poli-laktikasit alifatik poliestерlerdendir. Üretiminde kullanılan mısır, şeker kamışı gibi nişasta ihtiva eden gıda maddelerinden olduğu için doğada çözünebilir yapıli bir termoplastiktir. İnsan vücudunda emilebilir yapısından ötürü uzun yıllar yalnızca biyomedikal alanında kullanılmıştır. Son yıllarda insanların çevre duyarlılığının gelişmesiyle PLA üzerindeki çalışmalar arttırılmış ve daha dayanıklı PLA üretiminin maliyetleri düşürülmüştür. Dolayısıyla PLA gıda paketlenne, mutfak ürünleri, bebek ürünleri gibi çeşitli sektörlerde yer almaya başlamıştır[37].

2.6.4 Nişasta Plastikleştirme

Doğal polimerler genellikle kırılğan ve işlenebilirlikleri zor maddelerdir. Granül nişasta doğal formunda kısmen kristaldir. Nişasta granülleri ısıtıldığında ergime noktasına ulaşmadan termal olarak bozunmaya başlarlar. Dolayısıyla nişasta doğal formunda eriyik olarak işlenememektedir. Nişastanın ergimesi için moleküllerini bir arada tutan hidrojen bağları azaltılmalıdır. Nişasta hidrojen bağının azaltılması, su gibi bir çözücü varlığında gerçekleştirilebilir. Nişasta sulu bir ortamda ısıtıldığında, faz geçiş durumu, düzenli den düzensiz duruma dönüştürülür. Bu sürece jelatinleşme denir. Nişasta belirli bir sıcaklıkta bir çözücü ile karıştırıldığında, çözücü, nişasta molekülleri arasında hidroksil gruplarıyla etkileşime girerek, moleküllerin arasındaki hidrojen bağını azaltır. Bu fenomen bireysel zincirlerin birbirine nispeten serbestçe hareket etmesine izin verir, böylece nişastanın eriyik işlenmesine izin verir. Bu fenomenin meydana geldiği kritik sıcaklık, jelatinizasyon sıcaklığı olarak adlandırılır [38].

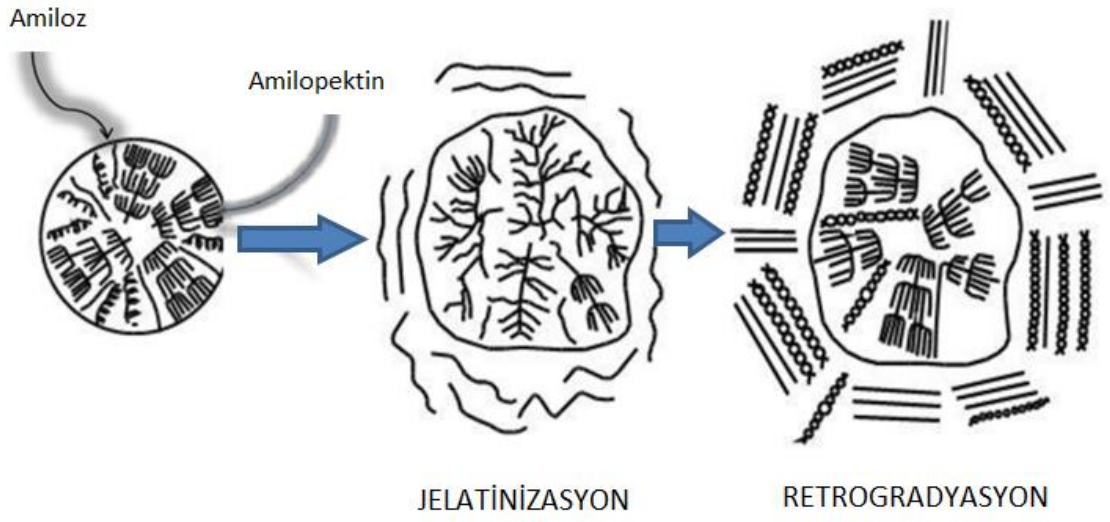


Şekil 2.22 Nişasta'nın Jelatinleşme ve Plastikleşme Süreci [39]

Plastikleştiricilerin eklenmesi ile -su ve gliserin- polimerin performansı geliştirebilmektedir. Su ve gliserin plastikleştiriciler arasında en etkili olanlardır çünkü camsı geçiş sıcaklığı (T_g) ve erime noktasını (T_e) düşürmektedirler. Su uçucu olduğundan ötürü yalnız başına kullanılmamakta ve gliserin ile daha iyi sonuçlar alınmaktadır[40] [41].

Nişasta granüllerinde su ve gliserinin etkisi büyük önem taşır, çünkü bu plastikleştiriciler polimer zincirlerinin hareketliliğini kolaylaştıran ve TPS ürünlerinin geri dönüşümünü (retrogradasyon) yavaşlatan bir kayganlaştırıcı işlevi görür. Ayrıca yapıdaki çapraz bağların (crosslink) sayılarını azaltırlar.[38]

Özet olarak nişastanın plastikleştirilmesinde su nişastayı jelatinleştirir, gliserin de işlenebilirliğini artırır ve işlem sonrası retrogradasyonu azaltarak kırılabilirliği engeller[42].



Şekil 2.23 Jelatinizasyon ve Retrogradasyon[43]

3.1 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Metodları

3.1.1 Isı iletimi

Maddelerde ısı akışının üç temel şekli vardır. Bunlar iletim, taşınım ve ışınlama ısı akışlarıdır. Isı iletimi ise şu şekilde tanımlanabilir; herhangi bir katı malzeme veya durağan akışkan içerisindeki sıcak alanda barınan enerjinin daha soğuk alana doğru geçmesi yani ısıyı aktarmasıdır. Bir katı madde içerisinde sıcaklık farkları mevcutsa yüksek sıcaklık alanından düşük sıcaklık alanına ısı geçişi iletim yolu ile olmaktadır. İletim ile ısı transferi deneysel çıkarımlara bağlı Fourier kanunu vasıtasıyla belirlenmektedir. Fourier kanunda herhangi bir yönde transfer edilen ısı toplamı, o yöndeki sıcaklık değişim miktarı $(\frac{dT}{dx})$ ve ısı transfer yönüne göre dik alan (A) ile orantılı olmaktadır. Fourier kanununu matematiksel olarak ifade etmek gerekirse;

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} [W] \quad (3.1)$$

şeklinde olmaktadır. Bu denklemden; Q_x , x doğrultusunda ve bu x doğrultusuna dik A alanından transfer edilen ısı toplamıdır. k sabiti ise, ısı iletim katsayısı olarak tanımlanmaktadır dolayısıyla maddelerin kendi özellikleridir. Denklem (1)'deki negatif (-) işareti ısı transfer istikametini belirlemektedir. Eğer sıcaklık x istikametinde azalıyorsa $(\frac{dT}{dx})$ negatiftir ve ısı transferi pozitif x istikametinde olmalıdır. Fakat $(\frac{dT}{dx})$ pozitifse Q_x negatif olmakta ve bu da ısı akışı negatif x istikametinde anlamına gelmektedir.

3.1.2 Isı İletim Katsayısı

Her malzemenin kendine has ısı iletim katsayısı değeri mevcuttur. Bu değer k sabiti ile olarak adlandırılır ve $W/m.K$ (watt/metre-Kelvin) birimi olarak gösterilir. Bir malzemenin $W/m.K$ değerinin '1' e eşit olduğu farzedilirse bu şu anlama gelmektedir; 1 m³'lük homojen bir malzemenin sıcaklığının 1°C artırılması ile karşılıklı yüzeyler arasından 1 Watt'lık bir ısı transferi olmaktadır. Bu değer ne kadar az ise ısı geçişi de o kadar az olmaktadır.

3.1.3 Korumalı Sıcak Plaka

GHP olarak bilinen korumalı sıcak plaka ile ölçüm metodunda iki plaka arasına yerleştirilen numune iyi işlemiş ve cihazın istediği boyutlarda olmalıdır. Plakalardan biri soğuk iken diğeri sıcaktır ve aralarına koyulan numune iki plakanın ortalama sıcaklığına erişmektedir. Ortalama sıcaklığa erişirken geçen süreye bağlı olarak elde edilen ısı transferi malzemenin ısı iletim katsayısını belirlemektedir. Bu metod ile ısı iletkenlik katsayıları çok düşük değerlerde olan vakumlu izolasyon paneli gibi (0.01 W/m.K) malzemeler kolaylıkla ölçülebilmekte fakat ölçüm süreleri çok uzun olmaktadır. Sıvılar ve yüksek ısı iletkenlikleri olan malzemeleri bu yöntem için uygun değildir. Ölçüm aralığı $0-2 \text{ W/m.K}$ ve -100°C ile 250°C arasındadır[44].

3.1.4 Lazer Parlama Metodu

Lazer parlama metodu havacılık sektöründe çok yüksek sıcaklıklar altında çalışacak malzemeler için geliştirilmiş bir metoddur. Ölçüm cihazları yüksek maliyetli ve komplekstir. Ölçüm yapılırken numune istenen boyutlarda disk şeklinde işlenmiş olmalıdır. Cihaz üzerinde bulunan lazer bir atış yapmaktadır ve numunenin arkasındaki kızılötesi sensor sıcaklık artışının zamana bağlı grafiğini çıkarmaktadır. Bulunan termal yayınlılık değeri malzemenin yoğunluğu ve özgül ısısı sayesinde eşitlikten yola çıkılarak ısı iletkenlik katsayısını vermektedir. Bu yöntem sıvılar için uygun değildir. Ölçüm aralığı $0-500 \text{ W/m.K}$ ve -150°C ile 2800°C arasındadır[45].

3.1.5 Geçici Düzlem Kaynak

TPS olarak bilinen geçici düzlem kaynak metodu farklı tip malzemeleri ölçmek için geliştirilmiştir. Üzerinde kapton bant olan düzey yüzeyle nikel bir sensör aynı numuneden ikisi arasına yerleştirilmektedir. Ardından sensöre verilen elektrik akımı ile sensörün sıcaklık artışının zamana göre grafiği elde edilmektedir. Bu eşitlikten de ısı iletkenlik katsayısı belirlenmektedir. Fakat bu metodun kullanılabilmesi için operatörün deneyimli olması gerekmektedir. Farklı malzemeler için farklı boyutlarda sensörler seçilmeli aksi takdirde alınacak sonuçlar hatalı olabilmektedir. Ölçüm aralığı $0-100 \text{ W/m.K}$ ve -100°C ile 500°C arasındadır[46].

3.1.6 Modifiye Edilmiş Geçici Düzlem Kaynak

Modifiye edilmiş geçici düzlem kaynak metodu TPS yöntemindeki zorluklarının aşılması için geliştirilmiştir. TPS yöntemindekine benzer şekilde ısıtma elemanının arkası izole

edilmiştir. Sensörün çevresi de koruma halkasıyla çevrilidir ve bu durum ısı akışının tek yönlü olmasını sağlamaktadır. Basit şekilde bu yöntemin TPS yönteminden farkı bir adet numune ve bir yüzeyin yeterli olmasıdır. Elektrik akımı ısıtıcıya gönderildiğinde cismin sıcaklığı artar ve üzerinde bulunan sensör tarafından mV-zaman grafiği çizilir. Bu yöntem ile korumalı sıcak plaka kadar kesin sonuçlar elde edilebilmektedir. Birçok numuneyi hızlı ve numuneye zarar vermeden ölçebilmektedir. Ölçüm aralığı $0-500 \text{ W/m.K}$ ve -50°C ile 500°C arasındadır[47].

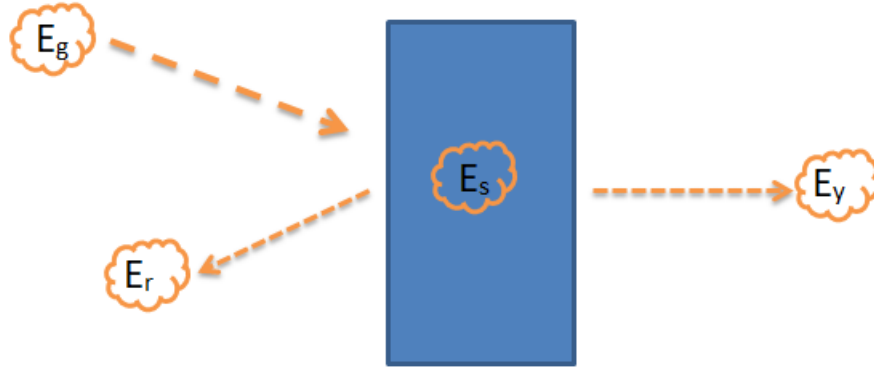
3.2 Ses Yutum Katsayısı Ölçüm Metotları

3.2.1 Ses

Ses, canlı varlıkların işitme organları vasıtasıyla idrak ettiği süreli basınç farklılıklarıdır. Ses enerjisinin yayılabilmesi için maddesel ortamda bulunma gereksinimi vardır. Bu yüzden sesin değişik ortamlarda nasıl yayılacağına bilinmesi, gürültüyü önleme konusunda büyük önem arz etmektedir. Sesin oluşumuna sebep olan dalgaların 1 saniye içindeki miktarına frekans (f) denmektedir. İnsan işitme organı 20 ile 20k Hertz arası titreşimleri duyabilmektedir. Kulağın en hassas olduğu titreşimler ise 1k-4k Hz aralığıdır. Gürültüden kaynaklı oluşabilecek işitme azalmaları ilk olarak bu aralıktan başlamaktadır. İnsanların konuşma frekansları 200 ile 10k Hz aralığındadır. Fakat konuşmaların anlaşılabilir olmaları için 500 ile 2k Hz aralığında bulunan titreşimler yeterli olmaktadır.

3.2.2 Ses Yutma Katsayısı

Ses enerjisi bir cisme çarparak 3 farklı enerjiye ayrılmaktadır. Gelen ses enerjisi (E_g), yansıma ses enerjisi (E_r), soğurulan ses enerjisi (E_s) ve yayılan ses enerjisi (E_y)'dir. Gelen enerji bu 3 enerjiye dönüşmektedir. Yutma katsayısı soğurulan ve yayılan enerjilerin toplamalarını yani yansımadan geriye kalan enerjinin oranını vermektedir.



Şekil 3.1 Ses Enerjisi

Ses yutma katsayısı ölçülen frekanslar aralığında 0 ile 1 arasında değişen değerler alabilmektedir. 0'dan 1'e doğru gidildikçe ses yutum performansı iyileşmektedir. Yani bir maddenin ses yutum katsayısı 0 ise bütün ses enerjisi yansıtılıyor, 1 ise bütün enerji soğuruluyor demektir. Bir malzeme kaynaktan gelen enerjinin %35'ini yutuyor %65'ini yansıtıyor ise bu malzemenin ses yutum katsayısı 0,35 değerini almaktadır. İnsan kulağının hassas olduğu frekanslar göz önüne alındığında malzemeler için bir NRC katsayısı belirlenmektedir. Bu NRC katsayısı 'gürültüyü azaltma katsayısı' anlamına gelmektedir. Gürültüyü azaltma katsayısı malzemelerin 4 ayrı frekanstaki -250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz- ses yutma katsayıları ortalaması ile belirlenmektedir[48].

$$NRC = \frac{\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}}{4} \quad (3.2)$$

3.2.3 Empedans Tüpü

Empedans tüpü malzemelerin akustik özelliklerini belirlemede kullanılır. Bu yöntemde sızdırmaz, düzgün ve rijit bir tüpün içerisine numune yerleştirilir. Tüpün içerisinde ses kaynağı ve mikrofonlar da mevcuttur. Ses kaynağı ve numuneler tüpün karşılıklı uçlarında, mikrofonlar da aralarında bulunmaktadır. Düzlemsel dalgalar bu hoparlörler tarafından gönderilir ve tüpün içerisinde oluşacak olan ses basıncı değeri [Pa] malzeme tarafına yakın olan mikrofonlar vasıtasıyla ölçülür. İki mikrofonun elde ettiği değerler bilgisayara gönderilerek yansıma değeri, empedans değeri ve ses yutma katsayısını yazılımlarla ölçülmektedir. Ölçüm yapılabilecek frekans aralığı empedans tüpünün çapı ve mikrofonlar arasında olan uzaklığa bağlı olarak değişmektedir. ISO 10534 ve ASTM E1050-98 standartları kullanılmaktadır[48].

3.2.4 Çınlama Odası

Yankılanma odaları akustik enerjinin düzgün dağılımı ve rastgele bir ses yönü ile dağınık bir insidans ses alanı yaratmak için tasarlanmıştır. Bu odalar mobil ses kaynaklarının ses gücü seviyelerinin belirlenmesinde ayrıca ASTM C423 ve ISO 354 standartlarına göre ses emme katsayısı da ölçülebilmektedir[48].

3.2.5 Anekoik Oda

Anekoik oda içerisindeki duvarların ses yutucu materyallerle kaplandığı yankısız yani duvardan gelebilecek ses yansımalarının ortadan kaldırıldığı bir odadır. Bu odalar birçok ölçüme elverişlidir çünkü açık hava akustiği ve kapalı ortam ses yalıtımını aynı alanda toplarlar. Anekoik odalar her frekans aralığında çalışmazlar dolayısıyla ölçüm yapılacak cismin boyutlarına ve frekanslarına göre tasarlanması gerekmektedir[48].

3.3 Muz Lifi Çıkarma Metotları

Muz lifleri bitki gövdesinden genellikle fiziksel ve kimyasal metotlar ile elde edilir. Fiziksel yani mekanik çıkarım sonucu liflerin üzerinde wax, hemiselüloz, lignin ve pektin gibi maddeler kalmaktadır. Bu maddelerin uzaklaştırılması için alkali işlemleri gibi kimyasal uygulamalara ihtiyaç vardır fakat bu yöntem bazikliğin giderilmesi için durulanma ihtiyacı doğurur ve bazı dezavantajları vardır. Geleneksel havuzlama işlemi ise nadir kullanılan bir fiber çıkarma yöntemidir ve lif kalitesini önemli miktarda etkileyen uzun zaman alan bir işlemdir. Bu işlemlerin uygulanmasında azami miktarda denemeler yapılarak fiberlere etkileri belirlenmiş ve yeni çalışmalar da bu çalışmalar ışığında yapılmaya devam etmektedir. Son yıllarda ise yeni bir yöntem olan biyoekstraksiyon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem daha temiz liflerin üretilmesini, proses suyunun geri dönüşümünü ve atıkların metan gazına çevrilmesini sağlamaktadır. Dahası muz ve diğer bitkilerin liflerini üretmeye uygundur[49].

3.3.1 Kimyasal Çıkarma

Kimyasal lif çıkarma işlemi asitlerin, alkalilerin ve enzimlerin kullanıldığı bir yöntemdir. Selülozik liflerin çıkarılışında asit kullanımı lignin ve hemiselülozu kısa zincirli pentoz moleküllerine ayırmaktadır. Asit uygulaması reaktif grupların meydana gelmesi ve liflerin fibrilat oluşturup yüksek derecede kristallenmesine sebebiyet vermektedir. Alkali uygulaması ise lignoselülozik maddelerin çözünmesini sağlayarak lignin ve selülozu birbirinden ayırmaktadır. Bu durum hem yapışma yüzey alanını hem de polimerizasyon

derecesini arttırır fakat liflerin kopma mukavemetini azaltmaktadır. Enzim uygulamasında ise enzimleri liflerdeki lignoselülozik maddeyi degrede etmektedirler. Bunun sonucunda liflerde şişme miktarını arttırıp polimerizasyon derecesini düşürmektedir. Bu yolla elde edilen lifler yumuşak ve esnek olmaktadır[50].

3.3.2 Biyoeekstraksiyon

Biyoeekstraksiyon işlemi muz bitkisinin gövdesinin yani pseudostem'in aynı fiziksel ekstraksiyonda olduğu gibi parçalara ayrılarak anaerobik bir reaktör içerisinde bırakılması işlemidir. Lifler 6 ile 12 gün boyunca bu tanktaki anoksik suda bekletilir. Ardından tanktan çıkarılır, yıkanır ve kurutulurlar. *Anaerobik reaktör, mikroorganizmaların evsel, tarımsal ve endüstriyel atıkları metan, karbondiyoksit gibi organik maddelere dönüştürdüğü biyolojik bir prosestir[49].

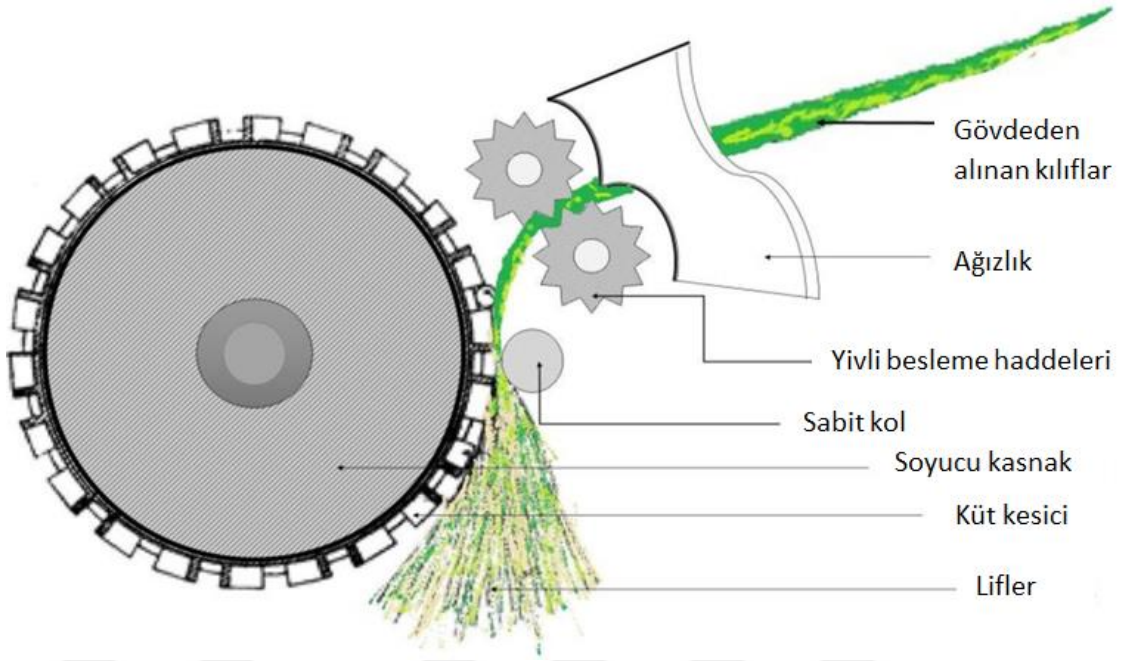
3.3.3 Fiziksel Çıkarma

Fiziksel çıkarma eski bir teknik olup önceleri insan gücü ve bıçaklar yardımıyla yapılan bir yöntemdir. Fakat bu durum çok işgücüne ihtiyaç duyduğu için artık makineler yardımıyla yapılmaktadır. Makine ile çıkarım yapılırken yaprak kılıfları yivli besleme haddelerinden geçirilerek dönen küt kesiciler sayesinde lifler ile yaprağın etli kısmı ayrılmaktadır. Ardından makineden geri çekilir ve geriye sadece lifli kısım kalmaktadır[50].

Muz bitkisinden alınan kılıflar 90-100 cm boyutlarında gövde parçalarıdır. Liflerine ayrılan kılıflar kurutulmak için güneşli bir ortama ya da rutubetten arındırılmış bir ortama bırakılır.



Şekil 3.2 Muz Lifi Çıkarma Makinesi



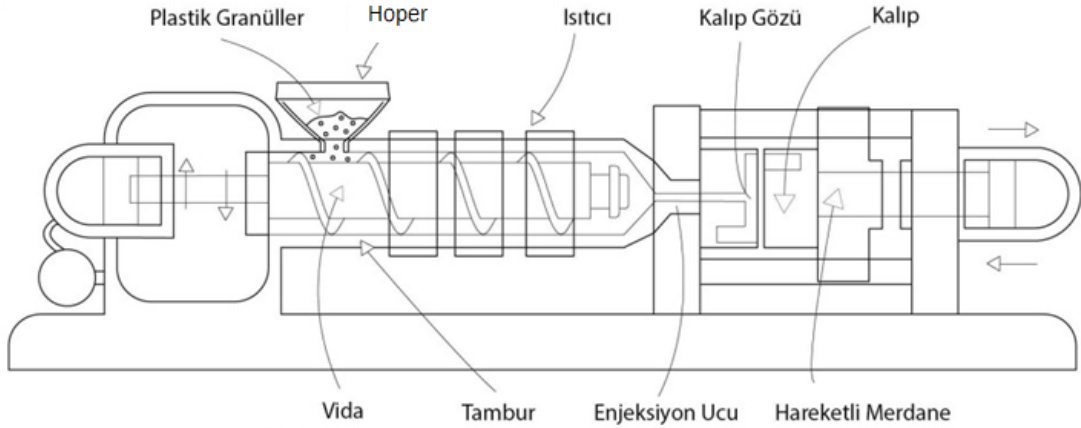
Şekil 3.3 Muz Lifi Çıkarma Makinesi İç Aksamı [50]

3.4 Üretim Metotları

3.4.1 Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon prosesinde termoplastik taneler veya toz şeklindeki malzemeler enjeksiyon kalıplama makinesinde bulunan hoper vasıtasıyla silindir içine gönderilerek süreç başlatılmış olur. Temelde bu kalıplama makinesi içerisinde arşimet vidası yani bir helezon bulunduran çelik bir silindirdir. Malzemeyi silindir boyunca öteleyerek kalıba göndermektedir. Silindir etrafında ısıtıcılar sarılıdır ve içerisinde ötelenen malzeme önceden belirlenen sıcaklıklar altında erir. Ergimiş malzeme kalıba enjekte edilir. Sistem çoğunlukla insan müdahalesine ihtiyaç duymadan üretimi sağlar.

Termoplastik enjeksiyon kalıplama ile kalıplanan parçalar, ortam sıcaklığı malzemenin eriyik olduğu sıcaklığın altına indirildiğinde şeklini korumaktadır. Bundan ötürü bu kalıplama sürecinde en kritik nokta matris malzemesinin mümkün olan en az sürede erime sıcaklığına ulaştırılması ve ardından kalıpta iken erime sıcaklığının aşağısına düşürülmesidir[22].



Şekil 3.4 Enjeksiyon Kalıplama Prosesi [51]

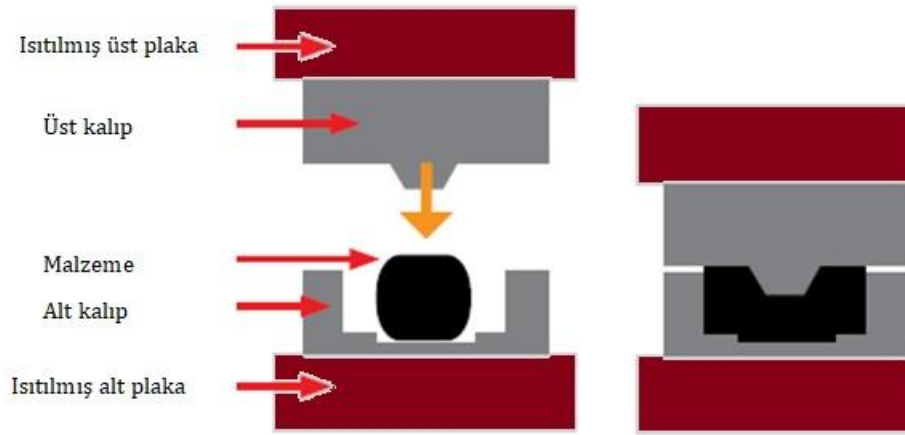
3.4.2 Kompresyon Kalıplama

Kompresyon kalıplama prosesi çoğunlukla termoplastik temelli Polimer Matris Kompozitler (PMC) için uygulanmaktadır. Fakat bazen termoset temelli kompozitler için de uygulanabilir olmaktadır.

Kompresyon kalıplama uygulaması malzemelerin tiplerinden müstakil bir süreçtir. Ticari manada çoğunlukla sıcak pres kalıplama hamuru (BMC), sıcak pres kalıplama pestili (SMC) ve preform sıvı malzemeler kullanılarak büyük boyutlu kompozitleri imal etmek için mantıklıdır.

Kompresyon kalıplamada örtüşmeli kalıplar kullanılmaktadır. Sabit bir alt ve hareketli bir üst kalıp kullanılabilir. Alt kalıba takviye malzemeleri ve matris malzemeleri konur. Üst kalıp hidrolik veya pnömatik kuvvetler yardımıyla sıcak veya soğuk şekilde kalıplama gerçekleştirilir. Bu metot ile üretilen kompozitler şekil ve boyut bakımından nettir.

Kompozit imalatında kompresyon kalıplama seçilmesinin iki ana nedeni vardır; ilki endüstriyel anlamda diğer yöntemlere göre uygun maliyetli ve erişilebilirliği daha kolay olması, ikincisi ise daha yüksek fiber oranlarıyla ve farklı uzunluktaki fiberlerle çalışabilme imkânı vermesidir[52].



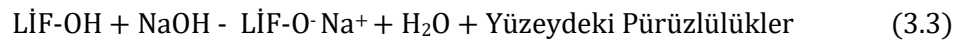
Şekil 3.5 Kompresyon Kalıplama Prosesi [53]

3.5 Lif ve Matris Ara Yüzey Uyumlulaştırma Metotları

Doğal lifler hidrofiliktirler ve yapılarında farklı kutupsal gruplar bulunur. Dahası, doğal lifler selüloz, hemiselüloz, pektin, lignin gibi maddeler içerirler. Bu nedenle sentetik lifler gibi saf halde değildirler. İstenmeyen maddeleri liften uzaklaştırmak için özel işlemler gerekmektedir. Birçok araştırmacı, ara yüzey birleşiminin, fiberlerin alkali muamelesi ve birleştirme ajanları ile muamele edilmesi yani yüzey modifikasyonu ile geliştirilebileceğini keşfetmişlerdir. Matrisin birkaç temel görevi vardır; lifleri istenen pozisyonunda tutmak, yönlendirmek ve kuvveti etkili bir şekilde liflere aktarmak ayrıca lifleri mekanik ve kimyasal etkilerden ve bu etkilerin zararlarından da korumaktır[54].

3.5.1 Alkali Uygulaması

Optimum olarak uygulanan NaOH uygulaması hem yüzey modifikasyonlarında çok etkilidir hem de doğal lifler için düşük maliyette bir uygulamadır. NaOH ile doğal liflerin reaksiyonunun aşağıdaki şekilde gerçekleştiği düşünülmektedir:



Alkali uygulaması belirli bir miktar lignin, wax gibi polimerleri lifin dış duvarından temizler, selüloz yapıyı depolimerize ederek kısa kristalit yapıyı ortaya çıkarır.

Alkali uygulaması sırasında hemiselülozlar uzaklaştırıldığında interfibriler bölge daha az yoğun ve daha az rijit olacağından fibriller kendilerini çekme doğrultusunda

yönlendirebilme yetisine sahip olacaklardır. Kristalleşmedeki değişim de alkali uygulamasının bir sonucu olarak belirlenmiştir. Yapışkan materyallerin uzaklaştırılması ile artan kristallenme dizini, selüloz zincirlerinin daha iyi sarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca NaOH bazı spiral açısında azalma sağlarken molekül diziliminde artışa yardımcı olmaktadır. Liflerin young modüllerinde molekül yerleşimine bağlı olarak artış beklenmektedir. Liflerin yüzeylerinde pürüzlülüğün artması ve fibril düzenlenişi daha iyi lif matris yapışmasını beraberinde getirir. Bu durum mekanik olarak iç içe geçmeyi artırır yani matrisin lif yüzeyine daha iyi işlemesi sağlanmış olur. NaOH yoğunluğu, uygulama süresi ve sıcaklığı en verimli yapışmanın belirlenebilmesi için en önemli etmenlerdir. Yüksek orandaki NaOH yoğunluğu selülozu depolimerize edip lifin yapısına fazlasıyla etkiyerek lifin mukavim yapısına ters etki edebilmektedir[55].

3.5.2 Graft Kopolimerizasyon

Graft kopolimerizasyon metodu etkili bir yüzey modifikasyon yöntemidir. Graft kopolimerizasyon işlemi mevcut polimer zincirlerine bir kopolimer aşılama işlemidir. Bu işlem dallanmalar yaparak vinil monomerler oluşturur. Birçok redoks başlatma işlemi vardır fakat $\text{CuSO}_4\text{-NaIO}_4(\text{Cu}^{2+}\text{-IO}_4^-)$ bunlardan en başarılı olanıdır çünkü bu işlemde asit kullanılmamaktadır. Asit kullanımı bilindiği üzere liflerin mekanik özelliklerini negatif yönde etkilemektedir. Optimize edilmiş vinil graftlı doğal lifler birçok reçine ile uyumlu şekilde birleşip doğal kompozitlerin üretiminde lif ve matris yüzeyinde iyi yapışma sağlanmaktadır[55].

3.5.3 Asetilasyon

Asetilasyon uygulaması, selülozik liflere plastikleşme özelliği kazandırmak için bilinen en iyi esterleşme yöntemidir. Asetilasyon uygulaması uzun yıllardır tekstil ürünlerinde kullanılırken doğal lifler ile kullanımı yeni bir gelişmedir. Asetilasyon, odun selülozuna çokça uygulanırken hem hücre duvarını sağlamlaştırırken hem de çevre etkilerini azaltmaktadır. Bu proses asit katalizörün hem mevcut hem de mevcut olmadığı durumlarda yapılabilir. Asetilasyon uygulamasında sıcak kalıba dökülen odun selülozundaki hidroksil gruplar ile dikarboksilik asit anhidriti tepkimeye girer. Bu işlem doğal lifleri plastikleştirerek ticari değer kazandırır[55].

3.5.4 Silan

Silan veya siloksan uygulaması doğal lifler ile polimer matrislerin ara yüzey bağlantılarını iyileştiren gelecek vaad eden ve çok yönlü bir uyumlulaştırıcı ajandır. Silan uygulama

reaksiyonun ilk aşaması silanın hidrolize uğramasıdır. Hidrolize uğramada ilk öncelik mevcut olan alkoksi gruplarıdır. Bu gruplar hidrolize uğrayarak reaktif silanol grupları oluştururlar. Ardından hidrolize olmuş silan doğal lifler ile karıştırılır. Kimyasal açıdan aktif olan silan moleküllerindeki silanol gruplar hidrojen bağları ile doğal liflerin yüzeyine bağlanırlar. Bu durum hidrofilik karakterli organik bileşenler ile uyumluluğu arttırarak ara yüzey bağlantısını güçlendirir ve mekanik özellikleri iyileştirir[56].

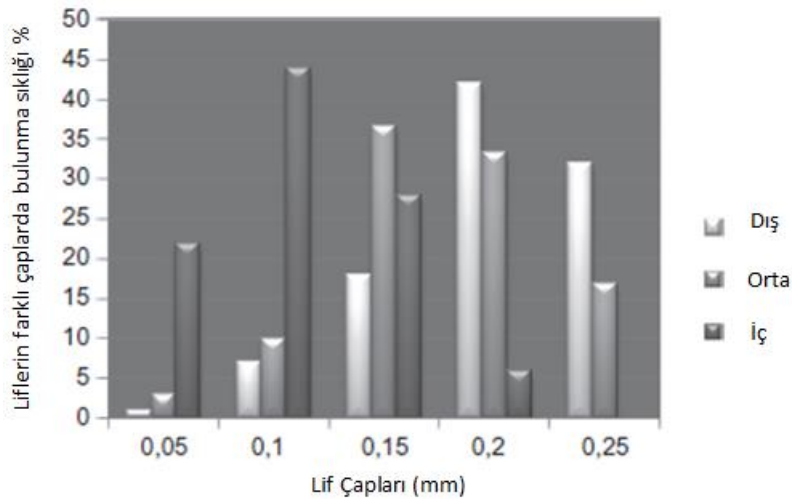
3.5.5 Polipropilen Maleat

Polipropilen maleat, maleik anhidrit graft polipropilen (MAPP) ve maleat birleştirme olarak adlandırılan bu uyumlulaştırıcı doğal lifli kompozitlerde çokca kullanılmaktadır. Diğer uyumlulaştırıcılardan farklı olarak bu uygulama hem lif yüzeylerini modifiye etmekte hem de polimerik matris olmasından ötürü lifle matrisin daha iyi yapışmasını sağlayarak mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Selülozik doğal liflerde MAPP uygulaması yüzeyler arasında kovalent bağları sağlamaktadır. Bu uygulama doğrultusunda liflerin yüzey enerjileri arttırılarak hem iyi ıslanma sağlanmakta hem de daha iyi yapışma gerçekleşmektedir[55].

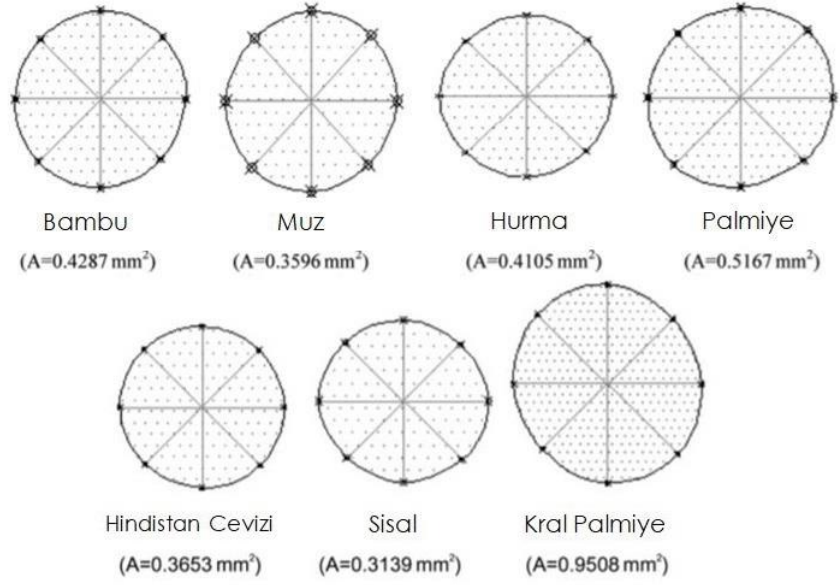
4.1 Muz Lifi Özellikleri

Muz pseudostemi, üst üste oluşmuş katmanlar şeklinde düzenlenen yapraksı yapı kılıflarından meydana gelmiştir. Pseudostem kılıflarının sayılarının aynı muz cinslerinde farklı olduğu belirlenmiştir. Tüm Nendran cinsi muz bitkilerinin gövdelerinde normal şartlar altında en az 13 kat kılıf bulunmaktadır. Buna ek olarak, muz bitkisinin büyüme şartlarına da bağlı olarak gövdede 13'ten fazla yaprak kılıfına da rastlanmaktadır. Gövdedeki dış 11 yaprak kılıfı, lif elde etmek için kullanılabilir iken ve içteki kılıflardan alınan lifler zayıf bir mukavemete sahiptirler. Bu iç kılıfların tam uzunlukta soyulması, zayıf mukavemet ve kırılmalıklarından ötürü zor olmaktadır.

Muz bitkisinin gövdesinden yani pseudostem'inden çıkarılan lifler beş farklı çapta gruplanmışlardır. Bu çaplar sırasıyla 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 ve 0.25 mm olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki figürde Nendran cinsinden alınan lifler bulunma sıklığına göre grafiğe dökülmüştür. İçteki 1 ve 4 arasındaki kılıflar, ortadaki 5 ve 9 arasındaki kılıflar, dıştaki ise 10 ve 13 arasındaki kılıflardan alınmıştır. Grafikten de anlaşılacağı üzere içten dışa doğru gittikçe çapı daha büyük liflere rastlama sıklığı artmaktadır[49].



Şekil 4.1 Muz Bitkisi Gövdesinden Alınan Lif Çapları Dağılımı [49]

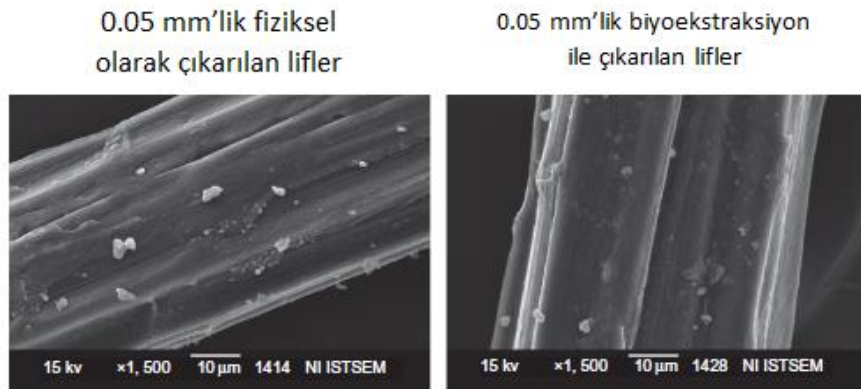


Şekil 4.2 Bazı Bitkisel Liflerin Enine Kesitleri [57]

Tablo 4.1 Fiziksel ve Biyoekstraksiyon Yöntemleri İle Çıkarılmış Muz Liflerinin Mekanik Özellikleri [49]

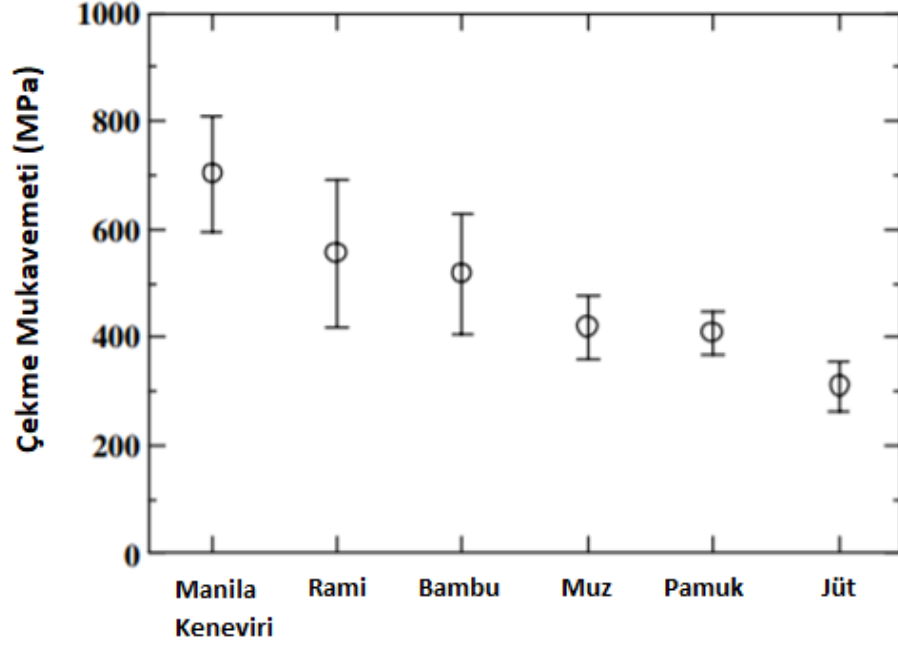
Lif Çapları (mm)	Çıkarma Metodu	Çekme Mukavemeti (MPa)	Azami Kuvvet (N)	Uzama (%)
0.05	1	631.74	1.24	1.24
	2	632.33	1.25	2.20
	3	611.20	1.18	1.42
0.1	1	343.05	2.69	2.04
	2	345.33	2.71	2.18
	3	323.60	2.54	1.47
0.15	1	337.32	5.96	2.12
	2	338.17	5.98	1.97
	3	128.20	2.26	1.44

0.2	1	244.03	7.67	2.21
	2	244.67	7.68	2.28
	3	196.70	6.18	2.03
0.25	1	182.33	8.9	2.1
	2	177.56	8.71	2.06
	3	163.20	7.9	2.11
1: Fiziksel çıkarılan lifler 2: 6 gün biyoelekstraksiyon uygulanan lifler 3: 12 gün biyoelekstraksiyon uygulanan lifler				



Şekil 4.3 0,05 mm Çapındaki Fiberlerin SEM Görüntüleri [49]

Tablodan anlaşıldığı üzere 6 gün biyoelekstraksiyon uygulamasına tabii tutulan lifler ile fiziksel olarak çıkarılmış lifler arasında mekanik olarak önemli bir fark görülmemektedir. Fakat 12 günlük biyoelekstraksiyon lifleri mekanik olarak zayıflatmıştır. SEM görüntülerinde ise fiziksel ve biyoelekstraksiyon sonucu liflerin yüzeylerinde kalan lignin, pektin gibi takviye ve matris elemanının arasındaki bağı azaltabilecek olan maddelerin varlığı görünmekte. Fiziksel ekstraksiyonda bu maddelerin daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 Bazı Doğal Liflerin Çekme Mukavemetleri [58]

4.2 Doğal Liflerden Elde Edilen Kompozitler ve Özellikleri

'S. M. Sapuan' ve arkadaşları tarafından örgü muz lifleri ve epoksiden oluşan bir kompozit imal edilmektedir (Musaceae/epoksi). Bu kompozitin çekme ve eğilme değerlerini bulmak için 3 farklı numune üretmektedir. Muz lifleri öncelikle kurutmuş ardından 10 ve 15 mm boyutlarında kesilip ördürülmektedir. Kullanılan epoksi ve sertleştiricileri de 3554A ve 3554B sırasıyla 4'e 1 oranında karıştırılmaktadır. Örgü lifler ve epoksinin kalıba dökülmesinin ardından 24 saat beklenmekte ve çekme, eğilme testleri yapılmaktadır. Bulunan sonuçlar x doğrultusunda 14 MPa iken y doğrultusunda 4 MPa olmaktadır. Young modülleri ise sırasıyla 0,976 Gpa ve 0,863 Gpa'dır. 3 nokta eğilme testinde de 36,25N uygulandığında 0,5 mm sehim gerçekleşmektedir[59].

'Shinji Ochi' tarafından manila keneviri ile doğada bozunabilen nişasta bazlı reçine kullanılarak yüksek mekanik özellikleri olan bir kompozit imal edilmektedir. Daha önceki çalışmalarda görülmektedir ki lif oranları %50'den az ve kalıplama sıcaklıkları 180-210°C aralığında olmaktadır. Bunların sonucu olarak hem çekme hem de eğilme değerlerinin 100 MPa'dan aşağıda kaldığını görülmektedir. Bu çalışmada çekme değeri olarak 365 MPa, eğilme için ise 223 MPa değeri bulunmaktadır.

Kompozit imal edilirken kalıp sıcaklığı 130°C'ye yükseltilip önceden karıştırılmış olan manila keneviri ve nişasta bazlı reçine malzemeyi 5 dakika boyunca kalıpta bekletip

ardından aynı sıcaklıkta 10 MPa basınca 10 dakika tutulmaktadır. Manila kenevirinin ağırlık oranları %30'dan %70'e kadar değişkenlik göstermektedir. %70 lif yoğunluğunun üzerine çıkınca bazı boşluklar ve liflerle matris malzemesinin arasındaki yüzey bağının iyi olmadığı keşfedilmiş bundan ötürü manila keneviri için bu değerin üzerine çıkmamak mekanik özellikleri için en iyisi olduğu düşünülmektedir[58].

'E. Naveen' ve arkadaşları tarafından alkali uygulamasının doğal lifler üzerindeki etkilerini araştırılmaktadır. Bu uygulamanın liflerin yüzey modifikasyonları arasında en basit ve en iyilerinden olduğu belirtilmektedir. Diğer araştırmacılar tarafından yapılan araştırmalarda liflerin yüzey işlemine tabi tutulması sırasında kullanılan NaOH çözeltisinin yoğunluğun %0,5 ile %28 aralığında olduğu belirtilmektedir. Ancak birçok araştırmacı tarafından %10 yoğunluğun altında kullanılmaktadır. Doğal liflerin işlem sıcaklığı ve süresi ise sırasıyla 20-180°C ve 15 dakika ile 48 saat arasında olmaktadır. Kurutulması için gereken sıcaklık da 24 ile 48 saat aralığında 80°C'nin altında olmaktadır. Bu çalışmada da PALF lifine alkali uygulaması farklı oranlarda ve sürelerde uygulanması incelenmektedir. PALF yani ananas meyvesinin yapraklarındaki lifler ve epoksi ile üretilen kompozitte lif oranı ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20'dir. NaOH uygulaması ise yüzde olarak sırasıyla 0,2 ve 4 oranlarında olmaktadır. En iyi sonuçların alındığı değerler %20 lif muhtevası ve %4'lük NaOH uygulaması olan kompozitlerdir. Çalışma sonuçlarına göre azami sertlik ve dayanım aynı anda elde edilememektedir. Optimizasyon ihtiyacı mevcuttur. %4'lük NaOH ve ağırlıkça %20'lik kompozitler için çekme dayanımı (28,73 MPa), çekme modülü (1233 MPa), eğilme dayanımı (37,96 MPa), eğilme modülü (4326 MPa) değerleri alkali uygulaması görmüş olan liflerde uygulama görmeyenlere oranla yüksek iken darbe dayanımı uygulama görmeyen lifler ile üretilen kompozitler için daha yüksek olmaktadır[54].

Kompozit hazırlama temelinde bir karıştırma sürecidir. Hem matris malzemesini oluşturmak için hem de oluşturulan matris ile liflerin birleştirilmesi için bir karıştırma sürecine ihtiyaç vardır. Farklı tipte mikserler kompresyon kalıplama veya enjeksiyon kalıplama öncesinde numune hazırlamak için kullanılmaktadır. 'N. Cañigüeral' ve arkadaşları tarafından takviye olarak keten lifi ve matris olarak nişasta bazlı biyopolimer 150°C'de 10 dakika boyunca karıştırılmakta ardından bıçaklı değirmen vasıtasıyla tanelere bölünüp enjeksiyon kalıplama ile üretimi yapılmaktadır[60].

'Guimarães' ve arkadaşları tarafından farklı oranlarda muz lifi ve şeker kamışı küspesi kullanarak doğal bir kompozit üretilmiştir. Hem ticari gliserol hem de kendileri tarafından imal edilen bir gliserin ile farklı oranlarda nişasta mikser ile karıştırılmıştır. Ardından bilyalı öğütücü ile belli bir süre öğüterek toz haline getirilmiştir. Doğal lifleri ise 3-5 mm

boyutlarında kesilmiştir. Kalıplama 120x120x25 mm'lik kalıpta yapılmıştır. Kalıplama yapılırken öncelikle 2 MPa ve 4.8 MPa basınç, sıcaklık olarak ise 110°C -170°C aralığı ardından 3 MPa ve 6.2 MPa basınç, 140°C- 190°C sıcaklık aralığı kullanılmıştır. Çekme testi sonuçlarına göre en yüksek değeri %25 muz lifi %30 gliserol ve %45 nişasta ile oluşturulan kompozit 4.34 MPa değeri ile elde etmektedir. En düşük değer ise %30 muz lifi %30 ham gliserin ve %40 nişasta içeriğine sahip kompozitte 1.73 MPa'dır[61].

'Hamdy Ibrahim' ve arkadaşları tarafından palmiye lifleri, keten lifleri ve mısır nişastası ile kompozit üretimi yapılmıştır. Termoplastik nişasta hazırlanırken çevresi ısıtıcı sarılmış bir kapta karışım yapılmıştır. Nişasta, gliserin ve su oranları ağırlıkça sırasıyla %100, %30 ve %20'dir. Gliserin eklenerek 10 dakika ardından saf su eklenerek 5 dakika karıştırılmıştır. Karışım sıcaklığı da 60°C- 80°C arasındadır. Palmiye lifleri 2 gün boyunca suda bekletilip yumuşatılması sağlanmıştır. Ardından yüzey temizleme için %5 NaOH solusyonunda 90°C sıcaklıkta 3 saat bekletilmiştir. Alkali işleminden sonra bazikliğin giderilmesi için %5'lik asetik asit solüsyonunda bekletilip yıkanmaktadır. Keten lifleri ise oda sıcaklığında %5 NaOH solusyonunda 3 saat bekletilmektedir. Ardından her iki lif çeşidi de 120°C'de 3 saat boyunca kurutulmaktadır. Palmiye ve keten lifleri 15-30 mm boyutlarında kesilmiştir. Kompozitlerindeki lif oranları %20'den %80'e kadar arttırılmıştır. Ayrıca hibrit kompozit yapılmış ve her iki lif türünden de ağırlıkça %25 oranında karışım yapılarak kompozitler oluşturulmuştur. Kompresyon kalıplama 160°C'de 30 dakika boyunca 5 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Çekme testi mukavemet değerlerinde %50 keten lifi ile imal edilen kompozitte 62 MPa ve %50 palmiye lifi ile imal edilen kompozitte 31 MPa en yüksek değerlerdir. %25 keten ve %25 palmiye liflerinden imal edilen hibritte ise çekme değeri 42 MPa'dır. Çekme modülleri ise keten ve palmiye liflerinde sırasıyla 4.5 GPa ve 2.8 GPa'dır. Doğada çözünme değerlerine göre ise saf TPS 4 hafta gibi bir sürede tamamen çözünmekte diğer oranlar ise 6 haftada %40 ağırlık kaybına uğramaktadırlar[62].

'Lamis R. Darwish' ve arkadaşları tarafından mısır nişastası ve ağırlıkça %30 gliserin ve ağırlıkça %20 saf su ile termoplastik nişasta hazırlanmaktadır. Takviye olarak kullanılan muz liflerine yüzey temizleme işlemi olarak 30 dakika boyunca %5 alkali uygulaması yapılmakta ve bazikliği giderilene kadar saf su ile yıkanmaktadır. Ardından termoplastik nişasta ve polikaprolakton sırasıyla %90-%10, %80-%20, %50-%50 oranlarında kloroform yardımıyla karıştırılmaktadır. Takviye malzemesi olarak ise ağırlıkça %50 muz lif eklenip kompresyon kalıplama yapılmaktadır. Kalıplama 5 MPa basınçta 160°C sıcaklıkta ve 30 dakikada yapılmaktadır. %10 PCL içeren kompozitin çekme mukavemeti 27 MPa iken %50 PCL içeren kompozitin değeri 16 MPa'dır. Modülleri ise sırasıyla 3.6 GPa

ve 2.7 Gpa'dır. 5 gün boyunca %100 nemli ortamda tutulan kompozitlerden %10 PCL içeren %30 oranında su emmiş iken %50 PCL içeren %25 su emmektedir[63].

'M. N. Prabhakar' ve arkadaşları tarafından 45 ml gliserin, 30 ml su ve 150 gr mısır nişastası 80°C'de karıştırılarak termoplastik nişastası elde edilmektedir. Ardından bilyeli öğütme makinesine vasıtasıyla öğütülerek toz haline getirilmektedir. Toz haline getirilmiş termoplastik nişasta ve keten lifleri ağırlıkça %9 oranında karıştırılmaktadır. Ardından içerisine farklı oranlarda amonyum polifosfat koyulmaktadır. 200x200x2 mm boyutlarında kalıplanmaktadır. Kalıplama işlemi 160°C sıcaklıkta 30 dakika boyunca 7 MPa basınçta gerçekleşmektedir. Karışım basınç sağlanmadan önce 10 dakika süre boyunca 140°C'de bekletilmektedir. Çekme testi sonuçlarına göre en yüksek değeri %6 oranında amonyum polifosfat içeren kompozit 18,19 MPa ile sağlamaktadır. Ardından %3 oranında içeren kompozit 17,7 MPa, en düşük değer ise 16,89 MPa ile %9 oranında amonyum polifosfat içeren kompozitidir. Çekme modüllerinde %9, %6 ve %3 sırasıyla 0,59, 0,55 ve 0,52 GPa değerindedir. Doğada çözünme hızları ise hızlıdan yavaşa doğru şu şekilde sıralanmaktadır: TPS>%9>%6>%3[42].

'Junjun Liu' ve arkadaşları tarafından mısır nişastası ve pirinç samanı ile kompozit üretilmektedir. Takviye malzemesi olan pirinç samanına NaOH ve sıcak su ile yüzey uyumlulaştırma işlemi yapılmaktadır. Ayrıca hiç yüzey işlemi yapılmayan bir pirinç samanı da kompozit oluşturulurken kullanılmaktadır. Mısır nişastası saf su ile ağırlıkça %10 oranında karıştırılmaktadır. Ardından oda sıcaklığında karışıma ağırlıkça %1,2 oranında sodyum thiosülfat katılmaktadır. Kalıplama boyutu 100x100x4,4 mm'dir ve kalıptaki durdurucu vasıtasıyla pres 4,4 mm kalınlığa erişince durmaktadır. İmal edilen kompozitin eğilme ve su emme özellikleri test edilmektedir. %10 nişasta ağırlık oranında en yüksek değeri 4 MPa ile sıcak su ile yüzey uyumlulaştırma işlemi gören kompozit elde etmektedir. En düşük değer ise %2 NaOH ile işlem gören kompozitte 3 MPa'dır. Su emme değerlerinde ise sıcak su ve NaOH ile işlem gören kompozit benzer değerlerde seyir edip 18 saat işlem süresi sonucunda ağırlığı azami %10 artmaktadır. Yüzey işlemi görmemiş lifler ile üretilen kompozit ise 18 saat işlem süresi sonrası su emme değeri %8 civarında sınırlanmaktadır[64].

'Xiaofei Ma' ve arkadaşları tarafından nişasta ile farklı tipte plastikleştiriciler karıştırılmakta, takviye malzemesi olarak da mikro pamuk lifleri kullanılmaktadır. Kullanılan plastikleştiriciler 3 adettir; gliserin, formamide, üre. Her bir plastikleştirici nişastanın ağırlığının %30 oranında kullanılmaktadır. Ayrıca iki plastikleştirici birlikte kullanılmak istendiğinde tek vidalı ekstrüder ile karıştırılarak kullanılmaktadır. Saf TPS

numuneye göre çekme mukavemeti 4 MPa'dan %20 lif yoğunluğunda 15 MPa değerine yükselmiş iken kopma uzaması ise %105'ten %19'a düşmektedir[65].

'Heri Hermansyah' ve arkadaşları tarafından bir biyoplastik üretilmektedir. Ultrasonik homojenizatör yardımıyla cam bir kap içerisinde muz lifleri, bakteriyel selüloz, gliserin ve saf su 50 dakika boyunca işlenmektedir. Gliserin ve saf su miktarları sırasıyla 1,25 gr ve 100 ml'dir. Ardından 5 gr nişasta eklenmektedir. Karışım 80- 85°C sıcaklıklarda jelatinizasyon prosesinin tamamlanması için ısıtılmaktadır. 200x200 mm'lik pleksiglas kalıba dökülüp 50°C'de 6 saat boyunca fırınlanmaktadır. En yüksek çekme değeri %25 muz lifleri ve %75 bakteriyel selülozun oluşturduğu biyoplastik için 4599 MPa'dır. Young modülü ise 174.1 MPa'dır. Muz lifinin eklenmesi mısır nişastasının 9 günde doğada çözünme değerini %6,9 değerinde azaltmaktadır[66].

'Hitoshi Takagi' ve arkadaşları tarafından nişasta ve selüloz nanofiberden bir kompozit üretimi yapılmaktadır. Bütün numunelerde nanofiber oranı %70'tir. Kompozit üretilirken basınç değerlerinin etkisi gözlenmektedir. Basınç değerleri 0, 10, 30 ve 50 MPa aralığında değiştirilmektedir. Çekme mukavemeti değerleri 0,10,30 ve 50 MPa basınçta kalıplandıktan sonra sırasıyla 13 MPa, 26 MPa, 45 MPa ve 51 MPa olarak değişmektedir. Eğilme mukavemetleri de 12 MPa, 28 MPa, 40 MPa ve 42 MPa olmaktadır[67].

'Sandhyarani Biswas' ve arkadaşları tarafından epoksi matrisli, muz ve jüt lifi takviyeli kompozit üretilmektedir. Ağırlıkça matris takviye oranı %0'dan %40'a kadar artmakta, muz ve jüt oranları da ikisinin toplamı %40 olacak şekilde değişmektedir. 250x250x4 mm'lik kalıba dökülmekte ve 48 saat boyunca 0,1 MPa basınç uygulanmaktadır. Kompozitlerin ısı iletim katsayısı korumalı sıcak plaka yöntemi ile ölçülmektedir. Ayrıca Ansys APDL ile ısı iletim katsayısı hibrit numune birim hücreler şeklinde modellenerek hesaplanmaktadır. Epoksi, jüt ve muzun ısı iletim katsayıları sırasıyla 0,363, 0,036, 0,118 W/m.K'dir. Epoksi içerisindeki lif ihtivasi azami yoğunluğunda ısı iletim katsayısını %34,98 düşürmekte ve 0,236 W/m.K değerini almaktadır[68].

'María Guadalupe Lomelí Ramírez ' ve arkadaşları tarafından matris olarak tapyoka ve mısır nişastası, takviye olarak ise hindistan cevizi lifleri karıştırılmaktadır. Hindistan cevizi lifleri 10 mm boylarında kesilmişler ve kurutulmuşlardır. Ağırlıkça %30'luk gliserin nişasta plastikleştirici olarak kullanılmaktadır. Hindistan cevizi lifleri ise ağırlıkça %0,%5, %10, %15 değerlerinde kullanılarak Ø17 mm olan kalıpta 8 tonluk basınç altında üretilmektedirler. TGDTA sonuçlarına göre 160°C'de büyük bir kütle kaybı yaşanmakta

çoğunlukla nem kaybından ötürü, 360°C'de hemiselüloz parçalanmakta ve 480°C'de ise lignin parçalanmaktadır[69].

'M. Boopalan' ve arkadaşları tarafından matris malzemesi olarak epoksi, takviye malzemesi olarak ise muz ve jüt kullanılarak kompozit üretilmektedir. Muz ve jüt ağırlık oranları sırasıyla 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 olarak değişmektedir. 210x210x40 mm boyutta kalıplama yapılmaktadır. 25 kg ağırlık altında 24 saat boyunca bekletilmektedir. En yüksek çekme ve eğilme değerleri 50:50 oranındaki kompozitte sırasıyla 18,96 MPa ve 58,94 MPa olarak elde edilmektedir. TGA sonuçlarına göre düşük sıcaklık kütle kaybı 200°C'de uçucu maddelerin uzaklaşmasıyla, 380°C'de ise büyük kütle kaybı ile gerçekleşmektedir[70].

'Sherely Annie Paul' ve arkadaşları tarafından lif yoğunluğu ve kimyasal yüzey uygulamaların termofiziksel etkileri araştırılmaktadır. Muz lifleri 6 mm boylarında kesilmekte ardından farklı yüzey işlemleri yapılmaktadır. Alkali uygulaması için %2'lik ve %10'luk NaOH çözeltisine 1 saat, benzol klorid uygulaması için öncelikle %2'lik NaOH çözeltisine yarım saat ardından da yarım saat boyunca benzol klorid'e, potasyum permanganat uygulaması için %0,5'lik çözeltiye yarım saat, silan uygulaması için ise %60 alkol %40 su karışımına silan eklenerek 1 buçuk saat maruz bırakılmaktadırlar. Kompozit üretimi için PP lifleri 1 mm boyutlarında kesilmekte ve 150x150x3 mm boyutlarında kalıpta muz lifleri ile karıştırılarak kalıplanmaktadır. Kalıplama sıcaklık olarak 170°C, basınç olarak 8 MPa, süre olarak ise 3 dakikadır. PP malzemenin ısı iletim katsayısı 0,24 W/m.K'dir. Yüzey uygulaması yapılmamış muz lifleri ve PP karışımının ısı iletim katsayısı ağırlıkça %10 ve %50 muz lifleri için sırasıyla 0,217 W/m.K ve 0,157 W/m.K'dir. Muz liflerinden benzol klorid, potasyum permanganat, %2 NaOH, %10 NaOH ve silan uygulanan kompozitler için ısı iletim katsayısı sırasıyla 0,182, 0,168, 0,163, 0,178, 0,16 W/m.K'dir[71].

'Fadhel Abbas Abdullah' tarafından izolasyon malzemesi olarak kullanımı için doğal liflerden jüt, siyah tüy, beyaz tüy ve yumurta kabuğu ile polyester reçine karıştırmaktadır. Bu kompozitlerin ısı iletim katsayıları teorik ve deneysel yöntemler ile belirlenmektedir. Deneysel olarak ölçüm Lee'nin disk yöntemi ile teorik hesaplama ise Maxwell yöntemi ile yapılmaktadır. Lee'nin disk yönteminde, 2 disk arasına sırasıyla numune, disk ve ısıtıcı yerleştirilmektedir. Her bir diskin sıcaklığı farklı termokupl ile ölçülmektedir. Farklı oranlarda kompozitler imal edilip her birinin ısı iletim katsayıları bu yöntem ile ölçülmektedir. Ayrıca çatıya kurulan bir düzenek ile bu numunelerin gerçek şartlardaki performansı da belirlenmektedir. %10 ile %60 arasında üretilen numunelerden yumurta

kabuğu ve polyester %60 oranında en yüksek ısı iletim katsayısına (0,62W/m.K) sahip olandır. Aynı oranda siyah tüy, beyaz tüy ve j t ile oluşturulan kompozitler sırasıyla 0,5, 0,35, 0,3 W/m.K değerlerine sahiptir. Çatıya kurulan düzenekte de en iyi ısı iletim değerlerini en düşük ısı iletim katsayısına sahip olan j t ve polyester bazlı kompozit vermektedir[72].

‘Elammaran Jayamani’ ve arkadaşları tarafından kenaf lifleri takviyeli polipropilen ve üre formaldehit matrisli kompozitler imal edilmektedir.4 ayrı kompozit 2’si üre formaldehit ve 2’si de polipropilen ile üretilmektedir. Farklı lif uzunluklarını içeren kompozitler %80 oranında 180⁰C ve 40 ton basınç altında kalıplanmaktadır. İki mikrofonlu empedans tüpü testine tabi tutulan 4 numunenin 800 Hz’deki değerleri sırasıyla 0,025, 0,028, 0,0285, 0,0284’dır. 300 ile 2200 Hz arası ölçümleri yapılan numunelerin en yüksek değerleri 0,07 civarında olmaktadır. Farklı lif uzunluklarındaki kenaf lifinin etkisi bu değer aralıklarında tam olarak anlaşılamamaktadır[73].

5.1 Numune Hazırlama

5.1.1 Muz Liflerinin Elde Edilmesi

Muz bitkisi gövdeleri Antalya'nın Alanya ilçesinde yerel bir üreticiden temin edilmiştir. Temin edilen muz gövdeleri meyvelerini vererek ömürlerini tamamlamışlardır. Ardından 90-100 cm boylarında kesilmişler ve kılıflarına ayrılarak fiziksel çıkarmaya uygun hale getirilmiştir.



Şekil 5.1 Muz Bitkisi [74]



Şekil 5.2 Kılıflarına Ayrılmış Muz Gövdeleri



Şekil 5.3 Kılıfların Muz Liflerine Dönüştürülmesi

Muz lifleri lif çıkarma makinesinden çıktıktan sonra kurumaları için 1 hafta boyunca kuru ve sıcak bir ortamda bekletilmişlerdir bunun sebebi muz bitkisinin içeriğindeki su miktarının çokluğudur.



Şekil 5.4 Kurumaya Bırakılmış Muz Lifleri

5.1.2 Diğer Materyaller

- **Ticari mısır nişastası**

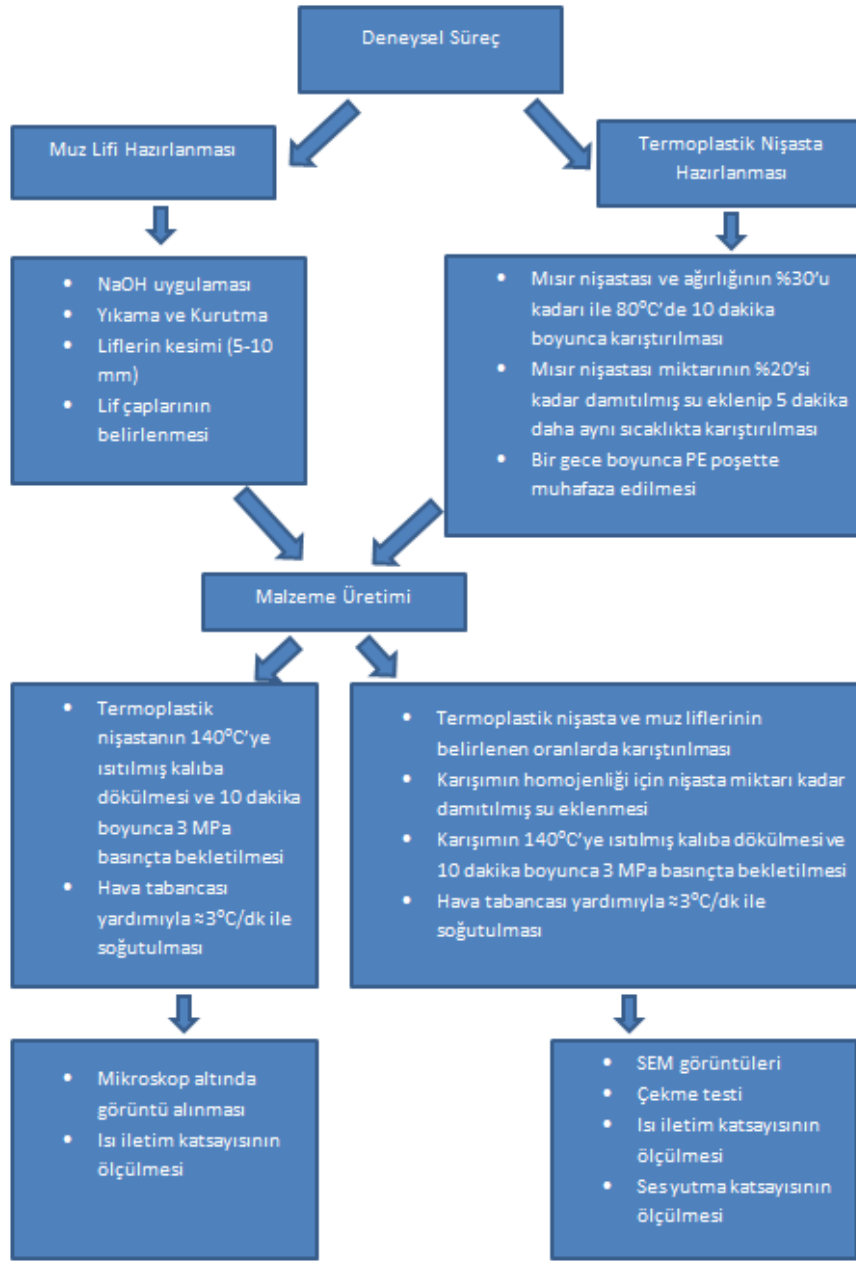
Ticari mısır nişastası toplu olarak tedarik edilmiştir. Satın alınan nişasta Sultanlar Grup bünyesindeki Kenton marka yerli üretim bir nişastadır.

- **Gliserin – Sodyum Hidroksit – Damıtılmış Su**

%99.7 saflıkta Evyap marka gliserin, molekül ağırlığı 40 gr/mol olan NaOH ve damıtılmış su kimyacıardan tedarik edilmiştir.

- **Kalıp Ayırıcı Sprey ve Wax**

Best kalıp ayırıcı silikon sprej ve Viky kalıp ayırıcı wax temin edilmiştir.



Şekil 5.5 Deneyisel Süreç

5.1.3 Liflerin Hazırlanması

Muz lifleri üzerlerindeki fiziksel çıkarmadan kalan hemiselüloz, wax ve lignin gibi polimerlerin arındırılması için alkali uygulamasına tabi tutulmuştur. Bu işlemden damıtılmış su içerisine %5 oranında NaOH eklenerek homojenlik sağlanana kadar karıştırılmıştır. Ardından lifler eklenip oda sıcaklığında yarım saat boyunca artık

maddelerinden arınmaları sağlanmıştır. Yarım saatin sonunda muz lifleri damıtılmış su ile baziklikleri giderilene kadar yıkanmışlardır[75].

Yıkanan ıslak liflerin kurutulması için 65°C sıcaklıktaki fırında 24 saat boyunca bekletilmişlerdir. Kurutulmuş olan lifler makas yardımıyla 5-10 mm boyutlarında kesilip kompozit üretimine hazır hale getirilmişlerdir[61].



Şekil 5.6 Sırasıyla Liflerin Fırında Kurutulması ve İstenen Boyutlarda Kesilmesi

5.1.4 Lif Çaplarının Belirlenmesi

Muz lifi özellikleri bölümünde Manilal V. B.'nin yaptığı çalışmada Nendran cinsi muz bitkisinin gövdesinden alınan kılıflardaki liflerin çaplarının dağılımı belirlenmiştir. Bu çalışmada ise diğer bir muz bitkisi türü olan Grand Nain'ın gövdesinden alınan liflerin çapları mikroskop altında belirlenmiştir. Liflerin çapları çok değişken olduğundan yani 0,03 mm ile 0,3 mm arasında değiştiği için yaklaşık 60 adet lif rastgele seçilmiş ve ortalama çapları hesaplanmıştır. Ayrıca NaOH yani alkali uygulamasının etkisinin görülmesi için hem uygulama yapılmış hem de uygulama yapılmamış lifler ayrı ayrı ölçülmüştür.

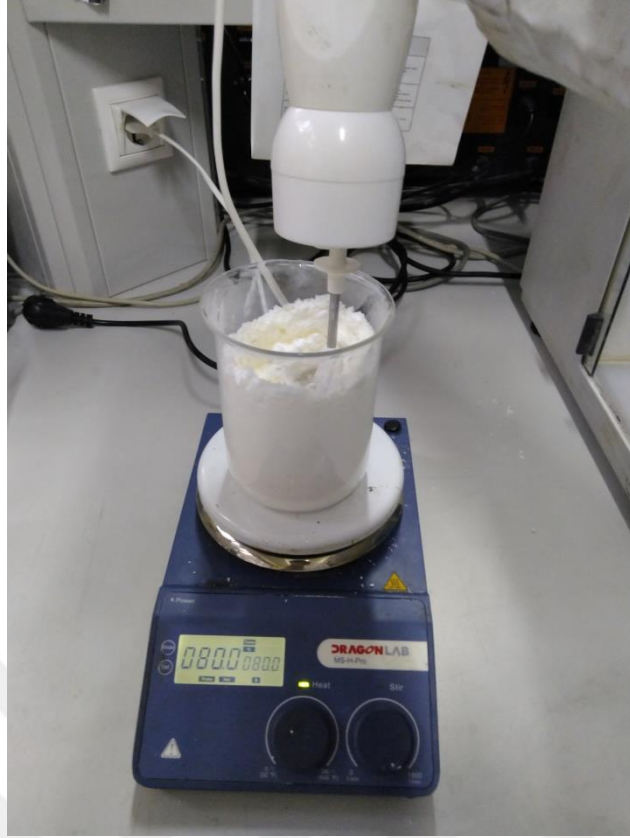


Şekil 5.7 Liflerin Mikroskop Altında Yerleşimi

5.1.5 Matris Hazırlama

Termoplastik nişasta hazırlanırken ev tipi bir mikser kullanılmıştır. Şekil 5.8’de görülen ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ısı kaynağı olarak kullanılmıştır. Öncelikle 10 dakika boyunca 80⁰C’de mısır nişastası ağırlıkça %30’u kadar gliserin ile mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Ardında tekrar 80⁰C’de 5 dakika boyunca mısır nişastasının ağırlıkça %20’si kadar su eklenip karıştırılmıştır. 80⁰C mısır nişastasının jelatinizasyon sıcaklığıdır[22].

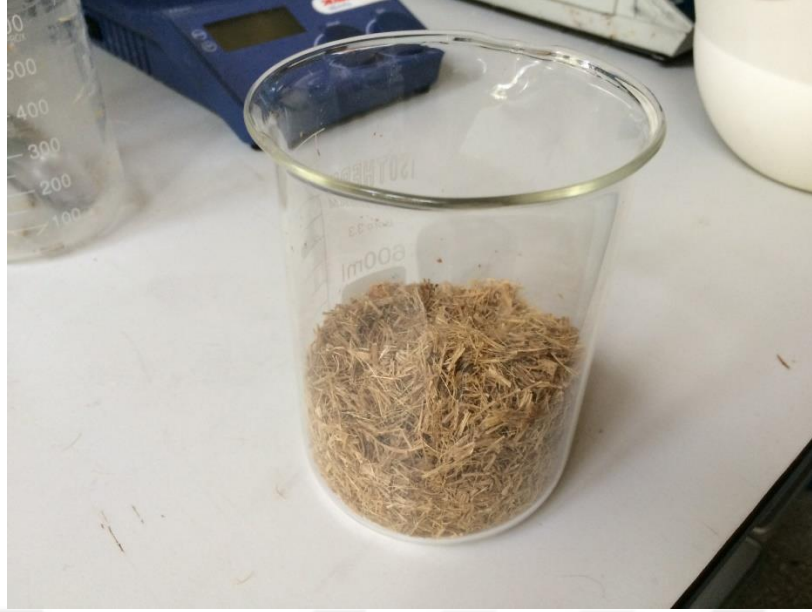
%30’luk gliserin içeriği literatürdeki gliserinin eksüdasyonu yani dışarıya sızımı olmadan çıkılan elde edilen en makul oran ve bu oran matris kuvveti ve kırılganlığı arasındaki optimum değerdir. [76] Su oranları mısır nişastası için çekme mukavemeti değerlerine pek etkimez iken %20’lik değer en yüksek sonuçların alındığı değerdir[77].



Şekil 5.8 Isıticılı Manyetik Karıştırıcı

5.1.6 Lifler ile Matrisin Karıştırılması

Lifleri ağırlıkça dikdörtgen kalıpta %30, %40, %50 ve %60, yuvarlak kalıpta ise %30, %40, %50, %60, %70 ve %80 oranlarında kalıplamak üzere matris malzemesiyle karıştırılmıştır. Homojen dağılımın sağlanması için karışımlardaki nişasta miktarı kadar su eklenmiş ve hem mikser yardımıyla hem de el ile karışım sağlanmıştır.



Şekil 5.9 Karıştırılmaya Hazır Tartılmış Muz Lifleri



Şekil 5.10 Mısır Nişastası ile Muz Lifinin Karıştırılması

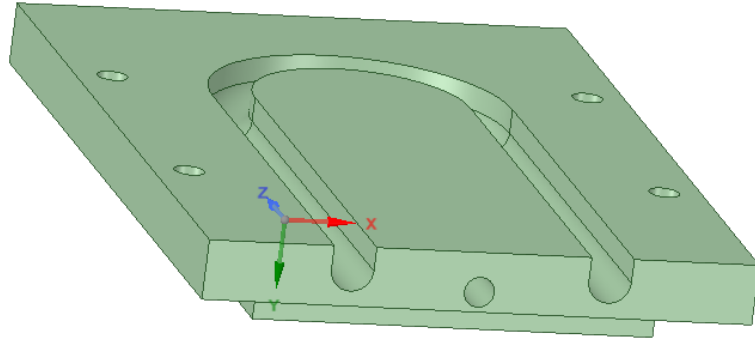
Homojen karışımın sağlanabilmesi için emülsiyon tekniği gibi birçok deneme yapıldıktan sonra karışımı kalıba dökmeden nişasta miktarı kadar su ekleme yöntemi ile homojenlik bir orana kadar sağlanabilmiştir[62].



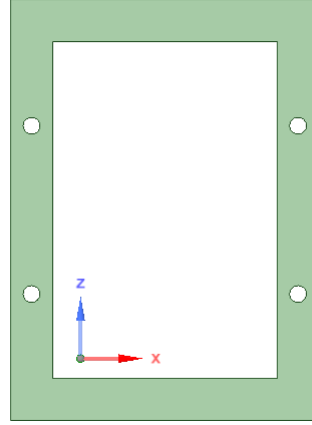
Şekil 5.11 Numunenin Kalıba Yerleşimi

5.1.7 Kompresyon Kalıplama

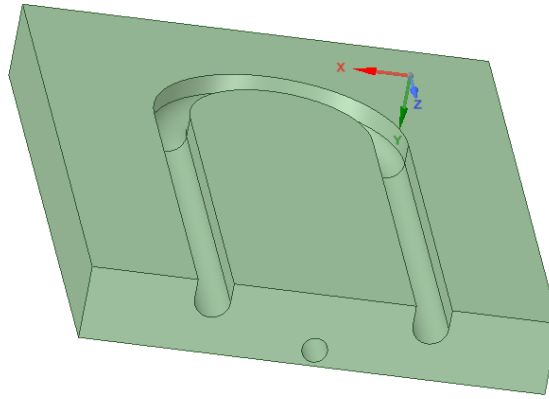
Kompresyon kalıplama ticari manada ulaşılabilir en uygun kalıplama yöntemidir. Dolayısıyla bu çalışma için pozitif tip ısıtıcı bir kalıp tasarlanmış ve soğuk çekme çelik malzemeden imal ettirilmiştir. Kalıbın iç boyutları 120x80x2 mm'dir. Ayrıca laboratuvarında mevcut olan iç çapı 40 mm olan bir kalıp da kullanılmıştır. Bu kalıp silindirik bir ısıtıcıya sahiptir ve üzerindeki delikten termokupl ağzı yerleştirilmiştir. Şekil 5.12, 5.13 ve 5.14 imal edilen kalıbın 3 boyutlu modelleridir.



Şekil 5.12 Üst Kalıp Modeli

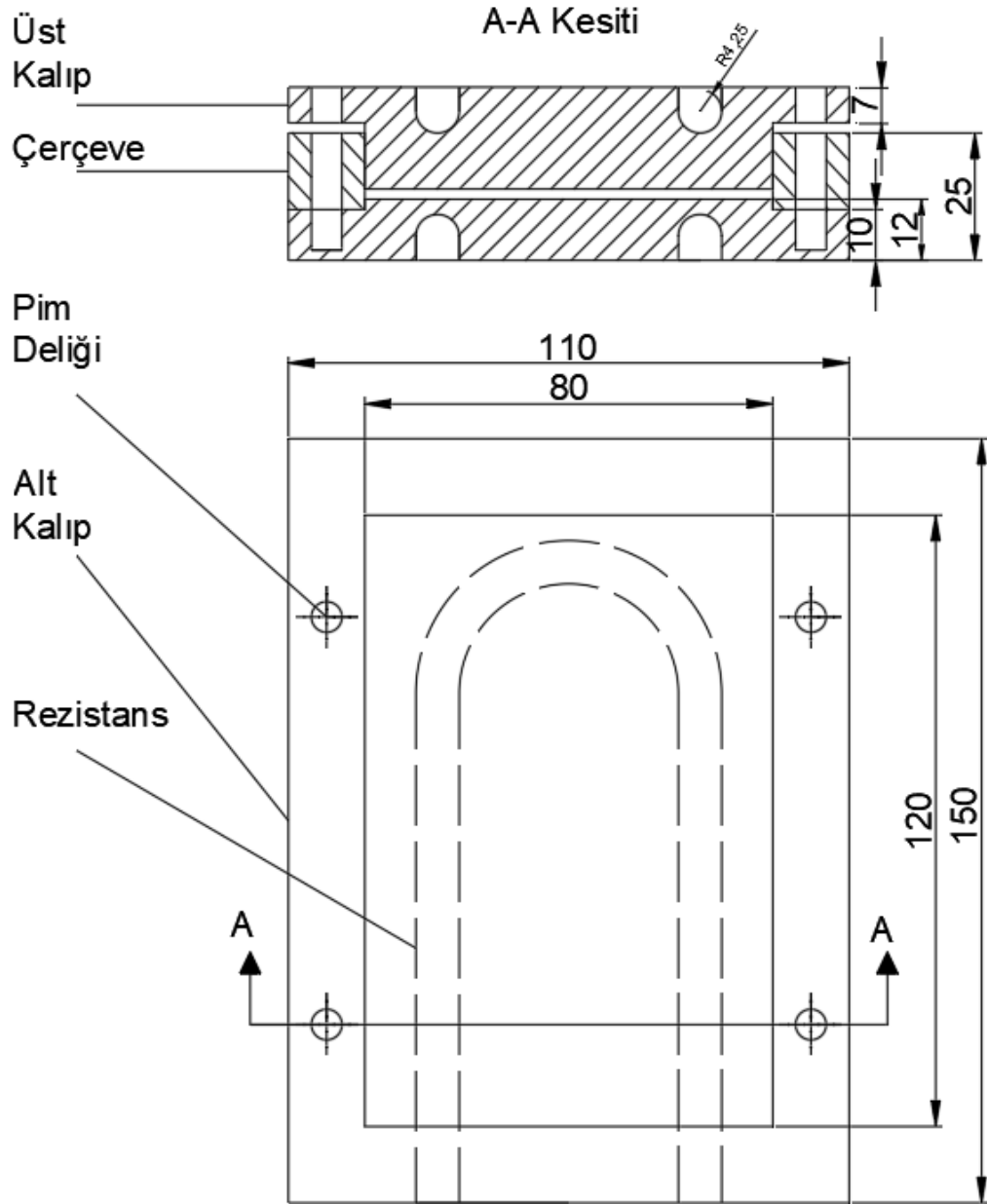


Şekil 5.13 Ara Kalıp Çerçevesi Modeli

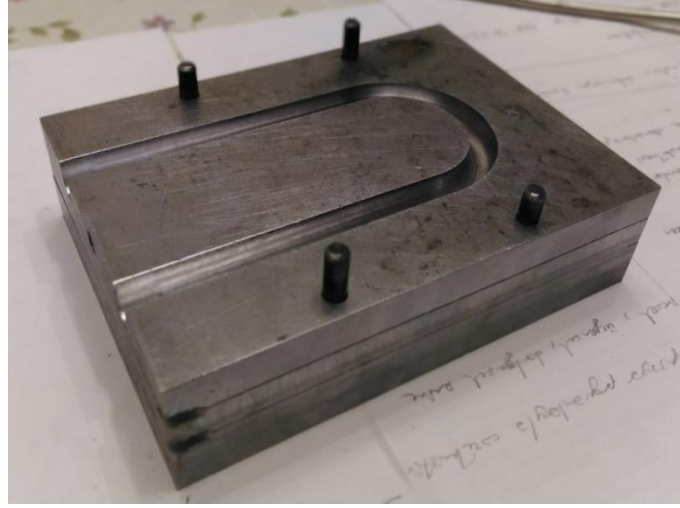


Şekil 5.14 Alt Kalıp Modeli

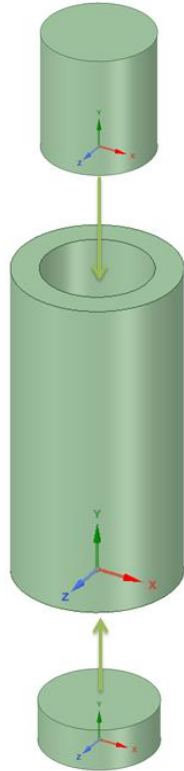
Kalıp tasarlanırken kompozit üretimi sırasında egzantriklik olmaması açısından üst, çerçeve ve alt kalıplara $\varnothing 6$ mm'lik pim delikleri bırakılmıştır. Bu pim delikleri kalıplar arası hizalama sağlamaktadır. Isıtma için $\varnothing 8.5$ mm'lik rezistans kanalları, sıcaklık ölçümü için $\varnothing 6$ mm'lik termokupl girişi tasarlanmıştır.



Şekil 5.15 Kalıp Çizimi



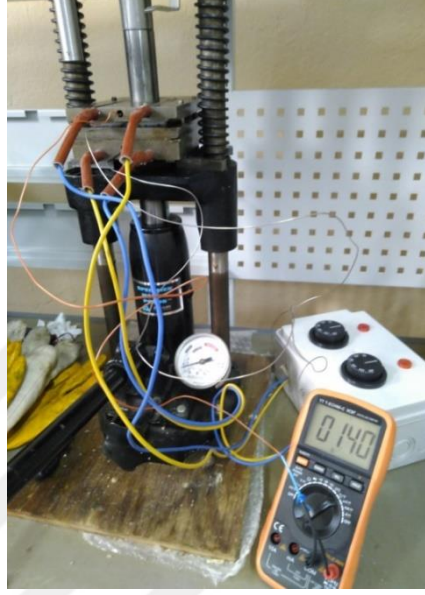
Şekil 5.16 120x80x2 mm'lik Kalıp



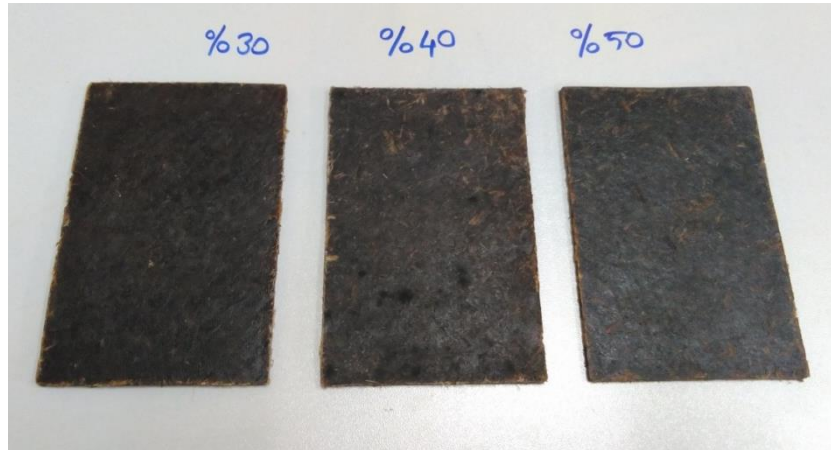
Şekil 5.17 Ø40 mm'lik Silindirik Kalıp

Sıcak kalıplamada en büyük problemlerden biri üretilen kompozitin kalıp yüzeylerine yapışması ve dolayısıyla ayrılırken kompozitin zarar görmesidir. Bu problem ile başa çıkılabilmesi için kalıp yüzeyleri kalıplar sıcak iken wax ile yağlanmıştır. Ardından sıcaklık istenen değere geldiğinde silikonlu kalıp ayırıcı sprey ile tekrardan yağlanmıştır.

Sıcaklık rezistanslar yardımıyla hem alt hem de üst kalıp 140°C'ye getirilmiş ardından silikonlu spreylenmiştir. Belirlenen oranlarda hazırlanan karışım alt kalıp ile çerçevenin içerisine hızlı ve homojen bir şekilde dağıtılmıştır. Ardından pimler yerlerine oturtulup üst kalıp ile birleşme sağlanmış akabinde presin altına yerleştirilmiştir. Kalıp 10 dakika boyunca 140°C ve 3 MPa basınç altında bekletilmiş. Sıcaklık termokupl yardımıyla ± 3 °C aralığında tutulmuştur. İşlem bittikten sonra kalıp hava tabancası ile soğutulmaya zorlanmış ve ≈ 3 °C/dk ile soğutma sağlanmıştır.



Şekil 5.18 Dikdörtgen Numunelerin Preslenmesi

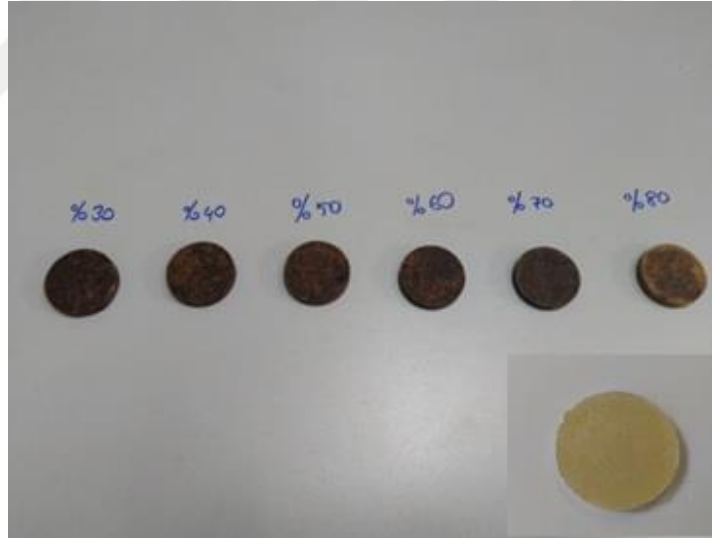


Şekil 5.19 %30-%40 ve %50 Oranlarındaki Kompozitler



Şekil 5.20 Saf TPS ve %60 Oranındaki Kompozit

Şekil 5.20’de görülen %60 oranındaki kompozit birçok denemeye rağmen dikdörtgen kalıpta yeterli homojenlik sağlanamamıştır.



Şekil 5.21 Farklı Oranlardaki Kompozitler

Şekil 5.21’te görülen Ø40 mm’lik kompozitler %30, %40, %50, %60, %70 ve %80 ve termoplastik nişastadan elde edilen polimerdir. Şekilden de anlaşılacağı üzere yuvarlak kalıpta da %80 oranına gelindiğinde homojenlik bir miktar kaybolmuştur.

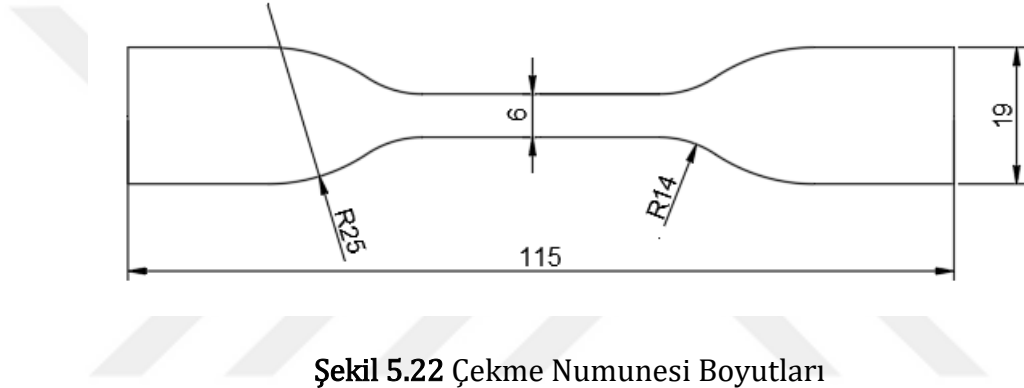
5.2 Kompozit ve Matris Karakterizasyonu

5.2.1 SEM ve Mikroskop

Numuneler üretildikten sonra çekme testi sonucu kırılan kompozitlerin taramalı elektron mikroskobu ile 15 kV akselerasyon voltajında görüntüleri alınmıştır. Ayrıca termoplastik nişasta numunelerin de iç yapıları mikroskop altında incelenmiştir.

5.2.2 Çekme testi

%30, %40 ve %50 oranlarına sahip dikdörtgen kompozit numuneler çekme testine tabi tutulmuştur. Her bir orandaki kompozitten en az 5 adet numune kesilmiştir. Şekil 5.22’de görülen çekme testi ASTM D638-14’te belirtilen numune tipi 4’e göre yapılmıştır.

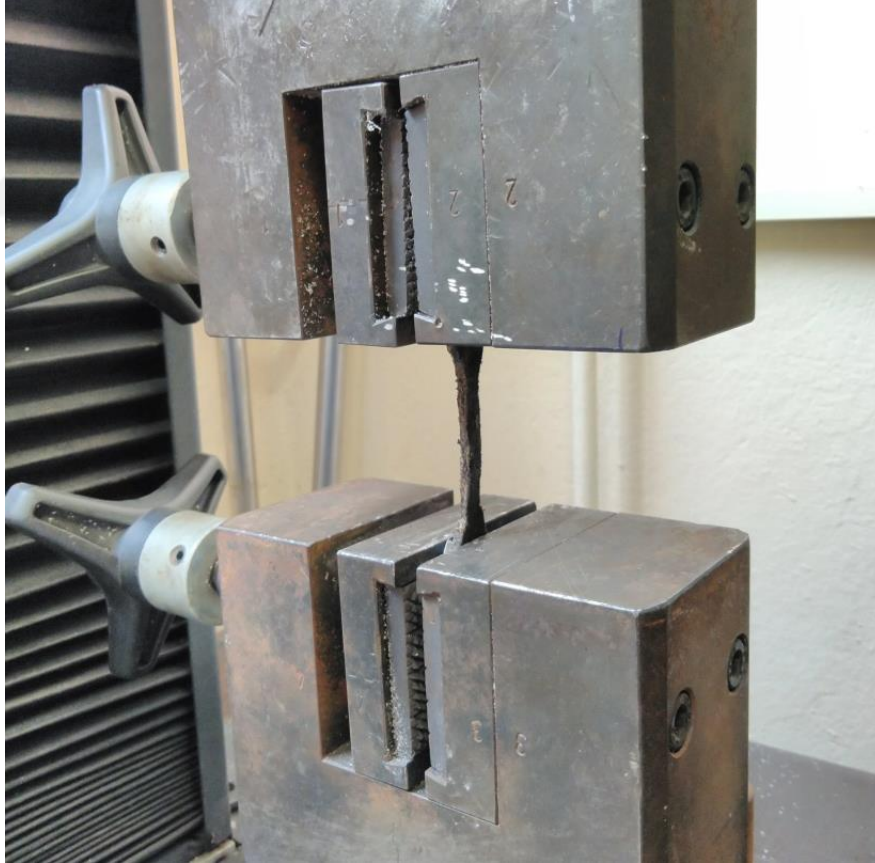


Şekil 5.22 Çekme Numunesi Boyutları

Kalıp iç boyutlarımıza göre elde edilebilecek standarttaki en uygun numune boyutu tip 4'ün sahip olduğu boyutlardır. Kalıp iç uzunluğu 120 mm iken numune boyu 115 mm'dir.



Şekil 5.23 Kesilmiş Çekme Numuneleri



Şekil 5.24 Çekme Testi

5.2.3 Isı iletkenlik testi

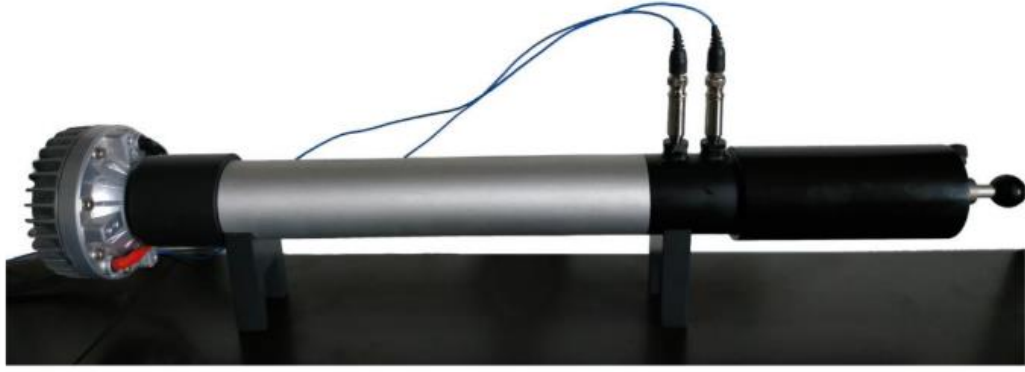
Bütün oranlardaki numuneler (%30, %40, %50, %60, %70 ve %80) ısı iletkenlik testlerine tabi tutulmuştur. Bu testlerde seçilen metod MTPS olarak tanımlanan Modifiye Edilmiş Geçici Düzlem Kaynak'dır. Test cihazı C-therm TCi ısı iletim katsayısı analizördür ve ASTM D7984 standardına göre çalışmaktadır. Şekil XX'te görülen sensör numuneye ısı enerjisi göndermektedir. Üzerindeki numune gönderilen bu ısı enerjisinin belli bir miktarını absorbe etmekte ve absorbe edilmeyen ısı cihazdaki sensörün sıcaklık artışına sebep olarak mV cinsinden akımlar göndermektedir. Absorbe edilemeyen ısı enerjisi ne kadar yüksek ise malzemenin ısı iletim katsayısı o kadar düşük manasına gelmektedir.



Şekil 5.25 MTPS Ölçüm Cihazı [78]

5.2.4 Ses Yutma testi

3 farklı oran için (%60, %70 ve %80) ses yutma katsayısı tayini testi yapılmıştır. Çınlama odasına göre empedans tüpünde daha küçük boyutta numuneler istendiği için ses yutum katsayısı çift mikrofona 150 ile 5700 Hertz arası çalışan empedans tüpünde yapılmıştır. Bu testler hem ISO 10534-2 Empedans Tüplerinde malzemelerin akustik kararlılığı ve hem de ASTM E1050-98 İki mikrofona standart empedans tüplerinde ses yutum katsayısı tayinine uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

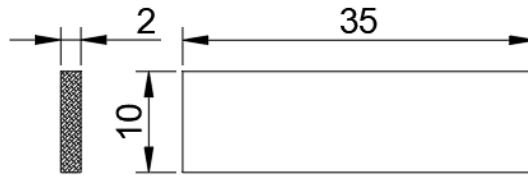


Şekil 5.26 Empedans Tüpü

5.2.5 Doğada Çözünme Testi

Bu testler malzemenin doğal ortama atıldıklarında veya geri dönüşümü için bırakıldıklarında ne kadar sürede toprağa karışıp çözünebileceklerini tayin etmek için yapılmıştır. 4 farklı oranda (0, %30, %40 ve %50) 35x10x2 mm boyutlarında numuneler kesilmiştir. Test, altlarında küçük delikler olan plastik bardaklar ile yapılmıştır. Bardakların içerisine toprak koyulmuş ve numuneler toprağın içerisinde 10 cm kadar derinliğe gömülmüşlerdir. Ortam sıcaklığı $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de tutulmuş ve bir kaç günde bir 50 ml su verilerek toprağın nemli kalması sağlanmıştır. Haftalık olarak topraktan çıkartılıp temizlenmiş ardından nemin alınması için 2 saat boyunca 60°C 'lik fırında bekletilmiştir. Kurutulmanın ardından tartılıp tekrardan toprağa gömülmüşlerdir.

$$\text{Kütle kaybı \%} = \frac{M_i - M_s}{M_i} \times 100 \quad (5.1)$$



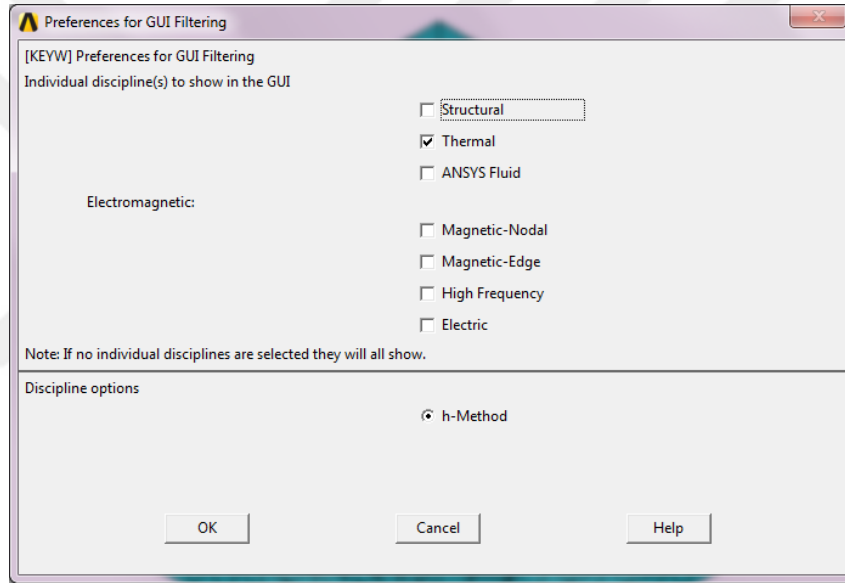
Şekil 5.27 Doğada Çözünme Test Numunesi Boyutu

6.1 Ansys APDL ile Isı İletim Katsayısı Ölçümü

Isı iletim katsayısının tayini için kullanılan bir diğer metot ANSYS versiyon 18.2 akademik paket programının APDL modülüdür. Bu modül kompozit malzemelerin efektif ısı iletim katsayısının hesaplanması için gereken verileri sağlamaktadır.

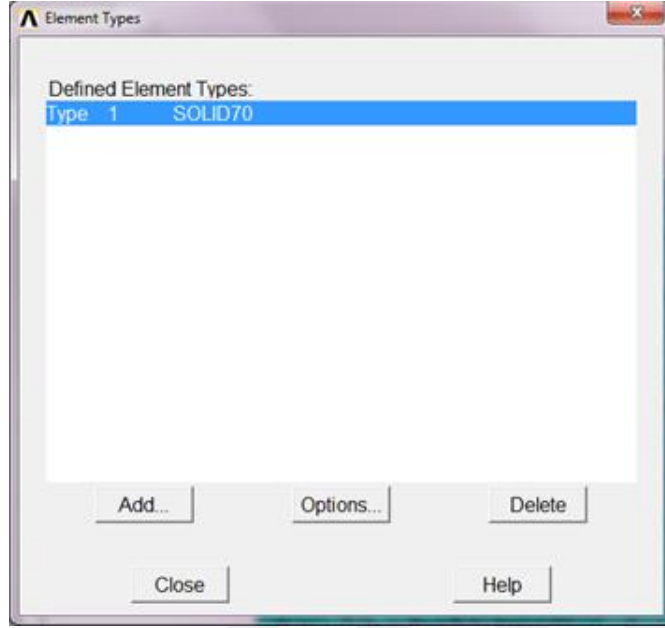
Ansys APDL üzerinden modelleme aşamaları aşağıdaki gibidir;

1. Ansys APDL üzerinden yapılacak olan analizin tipi belirlenmiştir.



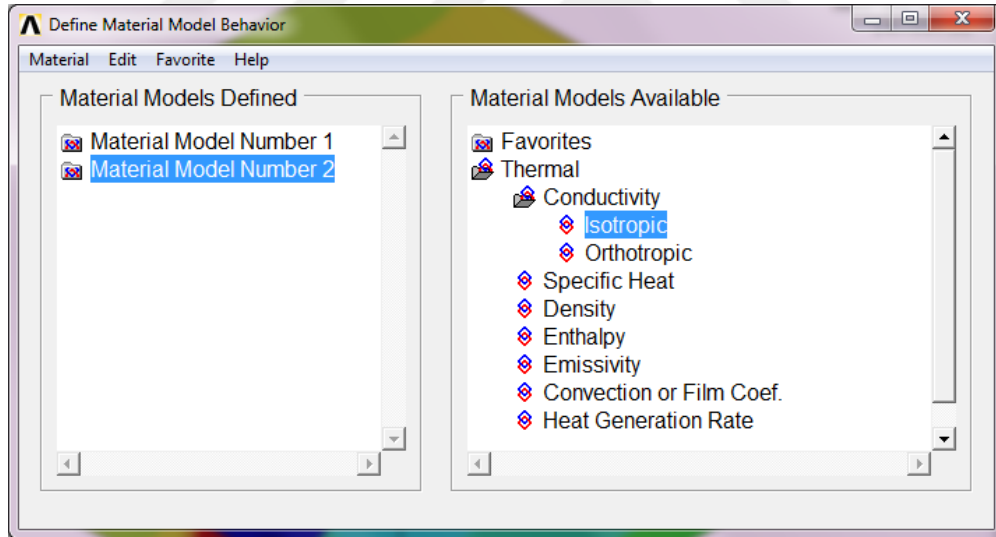
Şekil 6.1 Ansys APDL Analiz Tanımlama

2. Termal analizler için uygun olan SOLID70 eleman tipi seçilmiştir.



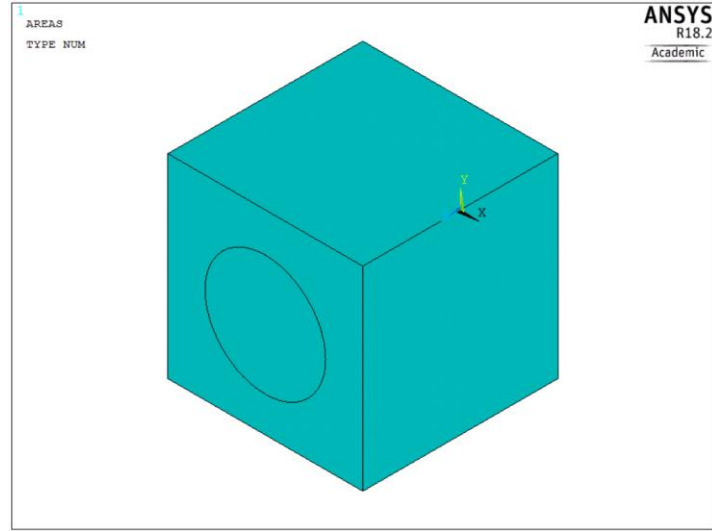
Şekil 6.2 Ansys APDL Eleman Tanımlama

3. Materyal özelliklerinden her iki materyali için ısı iletim katsayısı değerleri girilmiştir.



Şekil 6.3 Ansys APDL Malzeme Özelliği Atama

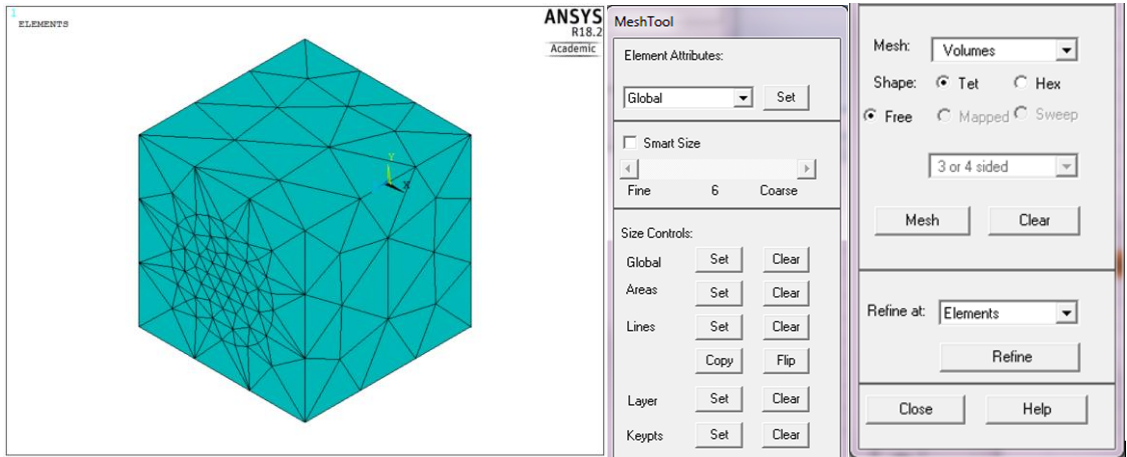
4. Modelleme kısmından hacim seçilip daha önceden belirlediğimiz 10x10x10 mm boyutlarında bir küp ve içerisine ise atanacak diğer malzemeyi tanımlayacak bir silindir oluşturulacaktır.



Şekil 6.4 Ansys APDL Modeli

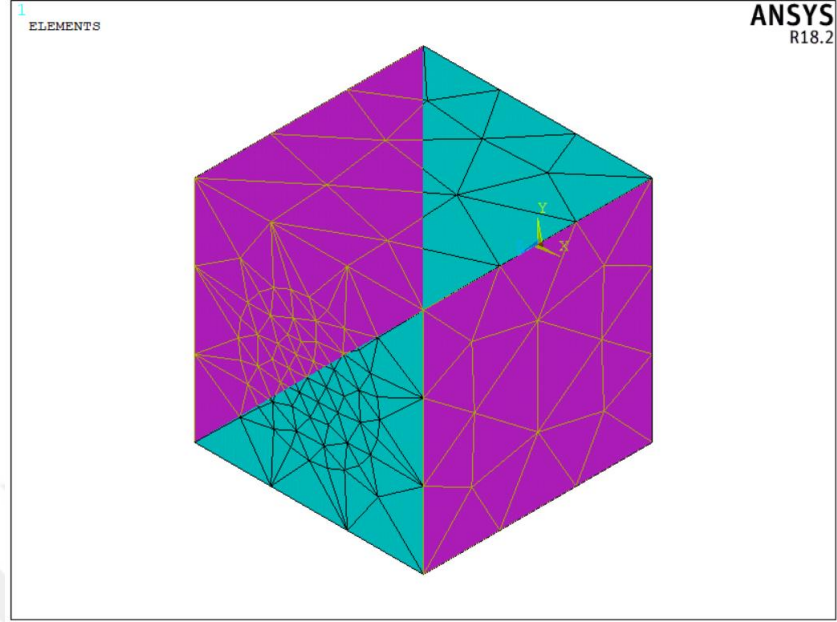
Boyutlandırma yapılırken mevcut lif oranları hesaba katılmış ve ona bağlı olarak lif ve TPS hacim oranları bu modelde gösterilmiştir.

5. Isı akışının sağlanabilmesi için modelleme kısmında oluşturulan hacimlerin birbirine yapıştırılması gerekmektedir.
6. Mesh örgüsü atılırken seçilen hacme göre daha önceden tanımlanan malzemeler atanmaktadır.
7. Mesh örgüsü atılırken mesh araçlarından mesh tipleri seçilir. Bu çalışmada tet mesh kullanılmıştır.



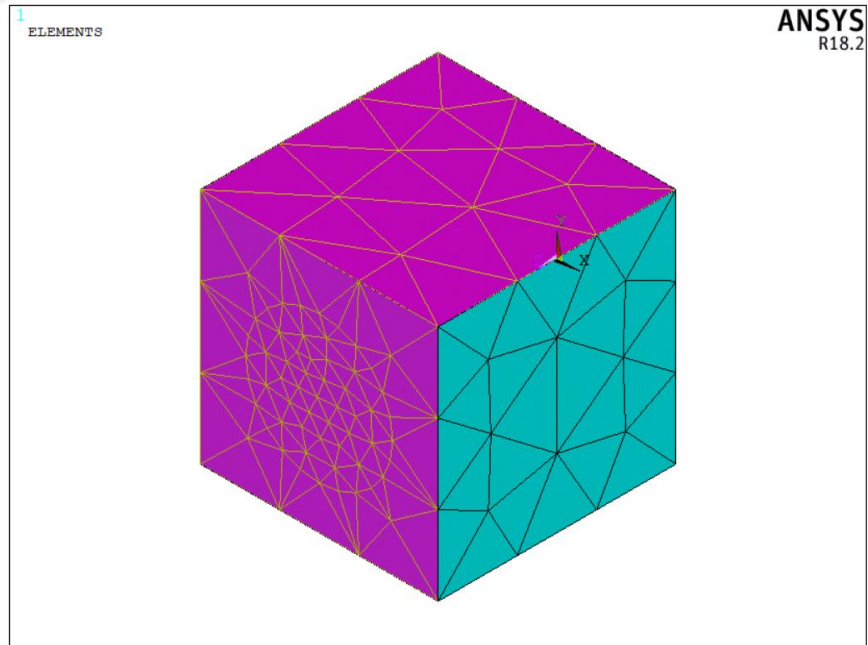
Şekil 6.5 Ansys APDL Mesh Örgüsü

8. Kompozitin karşılıklı iki yüzeyine Çözümler bölümünün sıcaklık kısmından sırasıyla 10°C ve 100°C ısı enerjisi kaynakları tanımlanır.



Şekil 6.6 Ansys APDL Sıcaklık Tanımlanan Yüzeyler

9. Geriye kalan 4 adet yüzey ise ısı akışı bölümünden seçilerek sıfır olarak belirlenir. Bu durum adyabatik yüzey tanımlaması anlamına gelmektedir.



Şekil 6.7 Ansys APDL Adyabatik Yüzeyler

6.2 Matematik Modeller ile Isı İletim Katsayısı Bulunması

Boşluklu yapıların efektif ısı iletkenliğini yaklaşık olarak hesaplamakta kullanılan birçok matematiksel model mevcuttur. Bu matematiksel modellerin birçoğu malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ve hacimlerinin oranlarını hesaba katarak tahmin bulunmaktadır. Bazı matematiksel modeller bunlara ek olarak yapıda mevcut olan bileşenlerin şekilleri, boyutları, sıralamaları ve temas tipleri gibi değişkenler de kullanmaktadır.

6.2.1 Paralel ve Seri Modeller

Paralel ve seri modeller, İki bileşenden oluşmuş kompozit malzemeler için belirlenmiş olan en basit ısı iletimi hesaplama şekilleridir. İletim ile ısı transferi göz önüne alınarak bu modeller oluşturulmuştur. Bu modellerde elde edilen sonuçlar herhangi bir çift fazlı malzemenin asgari ve azami ısı iletim katsayısı sınırlardır. Yani malzemenin efektif değeri bu sınırlar arasında bir değer almaktadır. Paralel model aritmetik ortalama, seri model ise harmonik ortalama.

$$k_{e(paralel)} = (V_d \times k_d) + (\varepsilon \times k_s) \quad (6.1)$$

$$k_{e(seri)} = [(V_d \div k_d) + (\varepsilon \div k_s)]^{-1} \quad (6.2)$$

Bu ve diğer bütün denklemlerde k_s matris fazının ısı iletkenlik katsayısı, k_d takviye fazının ısı iletkenlik katsayısı, ε ise matris fazının hacim oranıdır.

6.2.2 Geometrik model

İki bileşene sahip boşluklu malzemelerde efektif ısı iletim katsayısı, bileşenlerinin ısı iletim katsayılarına ve hacimlerinin oranına göre geometric ortalamaları ile bulunmaktadır. Efektif ısı iletim katsayısı;

$$k_e = (k_s)^\varepsilon \times k_d^{(1-\varepsilon)} \quad (6.3)$$

Ayrıca ideal olarak birden fazla fazın karıştığı durumlarda ısı iletkenlik katsayısı tekrar bu fazların geometrik ortalamalarıyla belirlenir;

$$k_e = \prod_{i=k,s,\dots} k_i^{V_i} \quad (6.4)$$

Bu eşitliklerde k_e efektif ısı iletim katsayısı k_i ve V_i ise diğer fazların ısı iletkenlikleri ve hacimleri oranıdır.

6.2.3 Maxwell metodu

Bu model yaklaşımında malzeme içerisinde dağınık halde bulunan fazların birbirleri arasında bir temas olmadığı varsayılmaktadır. Yani dağınık halde olan fazların sürekli iletim yolları oluşturmamaktadır. Maxwell yaklaşımı, sıklığı az olan fazlar için bir ortalama alan yaklaşımından ileri gelmektedir. Potansiyel teorisinin kullanıldığı bu yaklaşımda rastgele dağılmış homojen parçacıkların efektif ısı iletkenlik katsayıları için sade bir bağlantı elde edilmiştir.

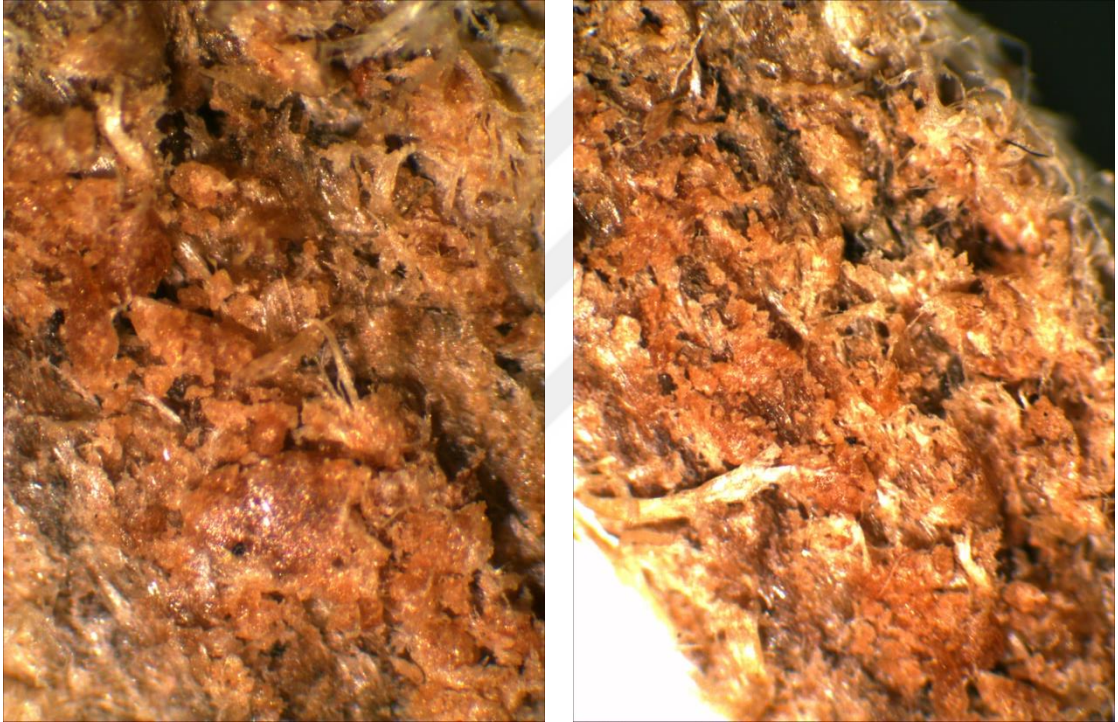
$$k_e = k_s \left[\frac{2k_s + k_d - 2(k_s - k_d) \times V_d}{2k_s + k_d + (k_s - k_d) \times V_d} \right] \quad (6.5)$$

Bu model takviye fazının düşük oranlarda malzemeye katıldığı durumlarda daha iyi sonuçlar vermektedir. Çünkü yüksek oranlarda takviye ihtiva eden durumlarda ısı transferi doğrultusunda iletim zincirleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu modelde bileşenlerden herhangi birinin gözenekliliğinin 0,25'i ve bileşenlerin ısı iletim katsayılarının oranının 10 değerini aşmadığında daha makul sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Maxwell yaklaşımının bir modifiyesi olarak Maxwell-Eucken eşitliği mevcuttur. Bu denklem malzemenin efektif ısı iletim katsayısı değerinin izotropik malzemeler için üst sınır değeridir;

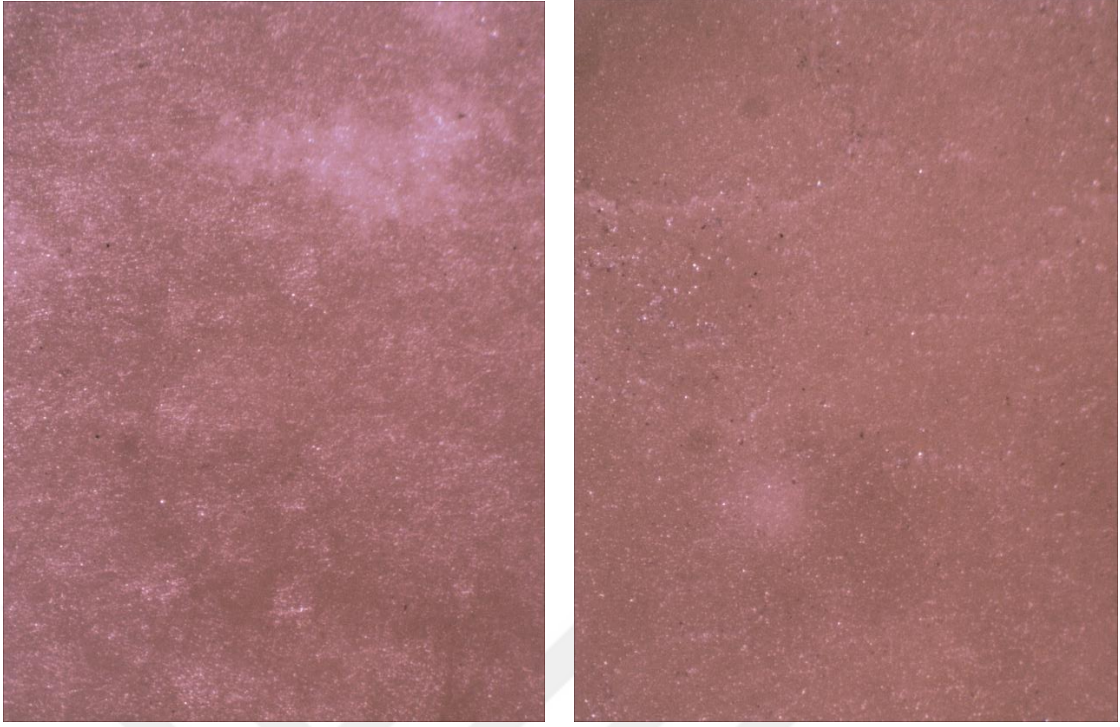
$$k_e = k_d \left[\frac{2k_d + k_s - 2(k_d - k_s) \times \varepsilon}{2k_s + k_d + (k_s - k_d) \times V_d} \right] \quad (6.6)$$

7.1 Mikroskop ve SEM Görüntüleri

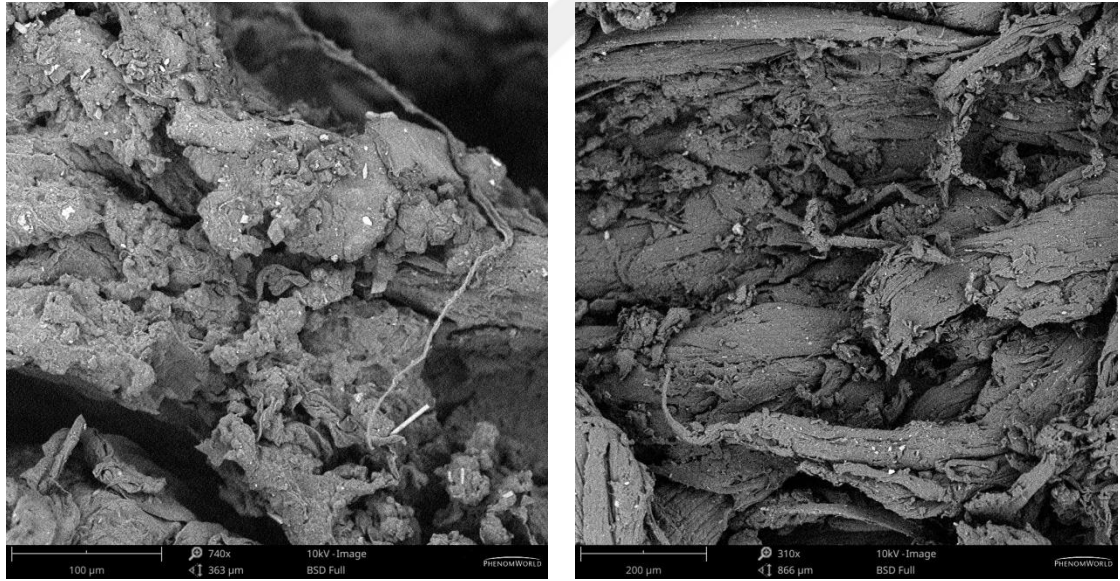
Üretilen kompozitler ve termoplastik nişastanın iç yapıları hem SEM hem de mikroskop altında incelenmiştir. Mikroskop altındaki görüntüler 4,5 kat yakınlaştırılmış ve hem alt hem de üstten ışık verilmiştir. SEM'deki görüntüler ise 10 kV akselasyon voltajında 310 kat ve 3200 kat arasında yakınlaştırılarak alınmıştır.



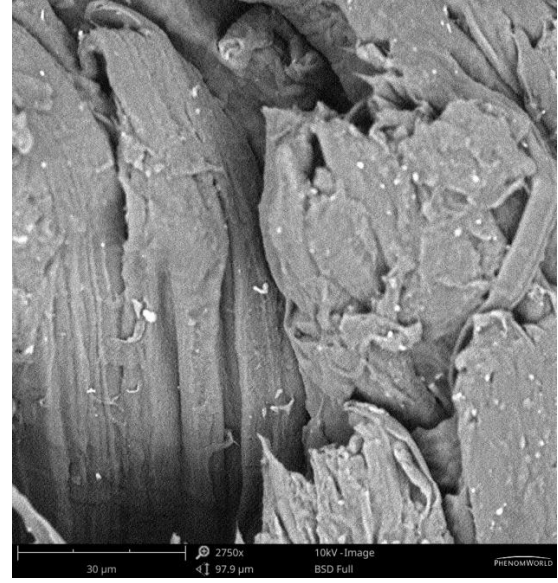
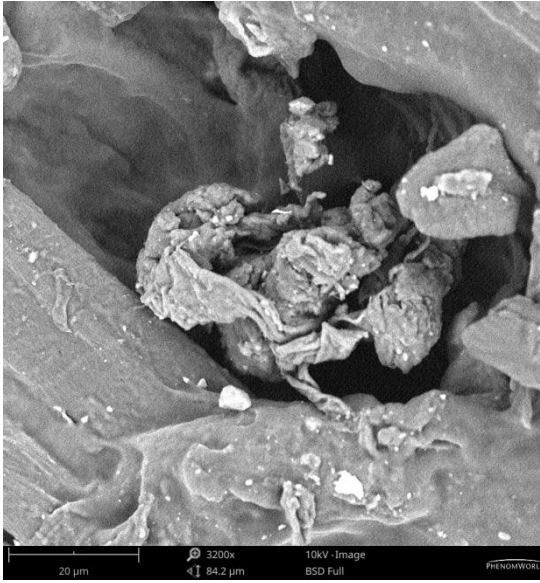
Şekil 7.1 Çekme Testi Sonucu Kopmuş Liflerin Mikroskop Görüntüsü



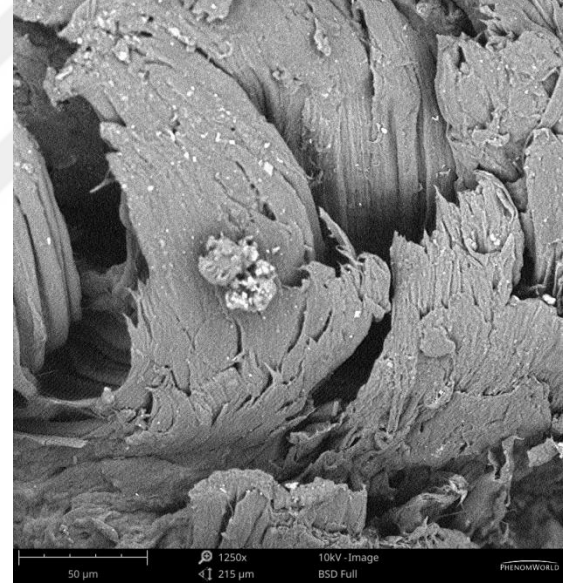
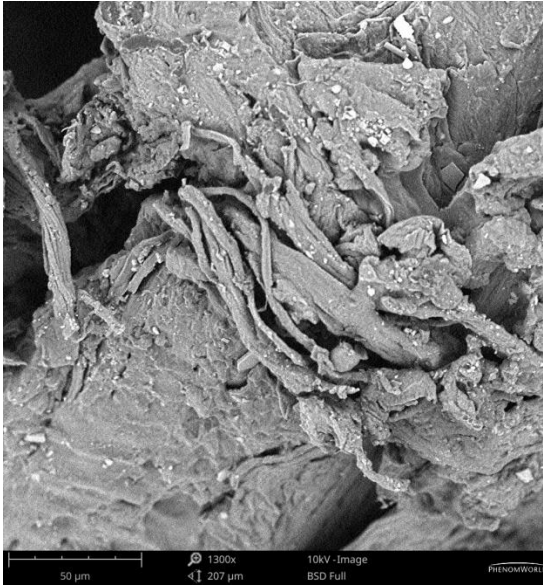
Şekil 7.2 Termoplastik Nişasta Mikroskop Görüntüsü



Şekil 7.3 Çekme Testi Sonucu Kopmuş %30 Oranındaki Kompozit



Şekil 7.4 Çekme Testi Sonucu Kopmuş %40 Oranındaki Kompozit

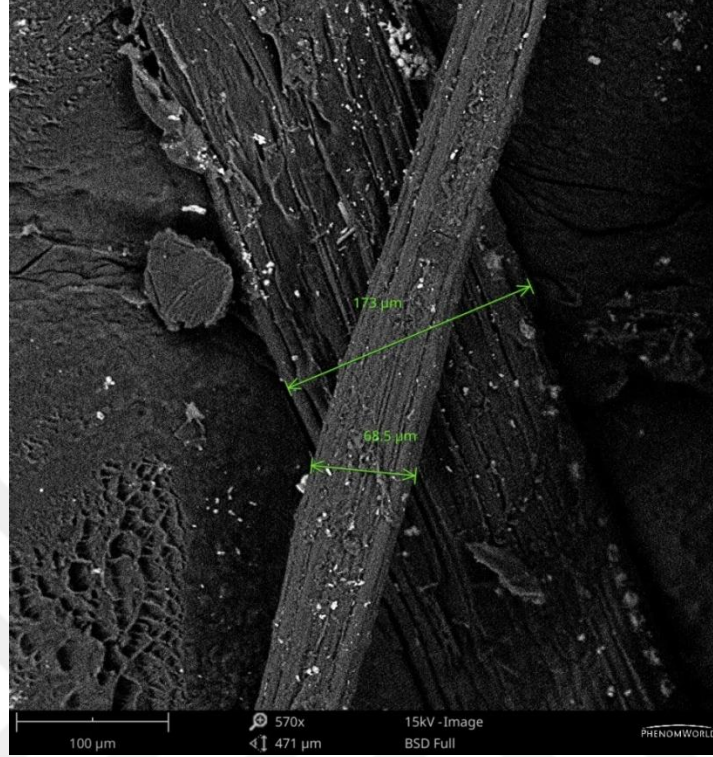


Şekil 7.5 Çekme Testi Sonucu Kopmuş %50 Oranındaki Kompozit

7.2 Lif Çapları

Lif çapları belirlenirken taramalı elektron mikroskobu ve mikroskop kullanılmıştır. Alkali ile yüzey temizleme işlemini lifler ile matrisin yapışmasında büyük rol oynamaktadır. Fakat bu uygulama lif çaplarında farklılıklar yaratmaktadır. Uygulamanın etkisini görebilmek adına lifler hem uygulamadan önce hem de sonrasında incelenmiştir. En büyük ve en küçük lif çaplarını da içerecek şekilde çap ortalaması bulunmuştur. 60 adet

lifin ortalamaları uygulama görmüş lifler için 0,113 mm iken uygulama görmemiş lifler için 0,212 mm olarak değişmiştir.



Şekil 7.6 Liflerin SEM Görüntüsü



Şekil 7.7 Liflerin Mikroskop Altındaki Görüntüsü

Tablo 7.1 İşlem Görmüş ve Görmemiş Liflerin Ortalama Çapları

Lif Tipi	Azami Lif Çapı (mm)	Asgari Lif Çapı (mm)	Ortalama Lif Çapı (mm)
Saf Lifler	0,355	0,045	0,212
Alkali Uygulanmış Lifler	0,305	0,025	0,113

7.3 Çekme Testi

Çekme testi sonrası muz lifi takviyeli termoplastik nişastanın %30, %40 ve %50 oranlardaki değerleri elde edilmiştir. Termoplastik nişastanın saf haldeki değeri literatürden alınmıştır. %60 takviye oranına sahip kompozit homojen karışım sağlanamadığı için teste tabi tutulamamıştır. Şekil 7.8’de çekme testi sonucu kopan numunelerin kopma yerleri görülmektedir.



Şekil 7.8 Kopmuş Numuneler

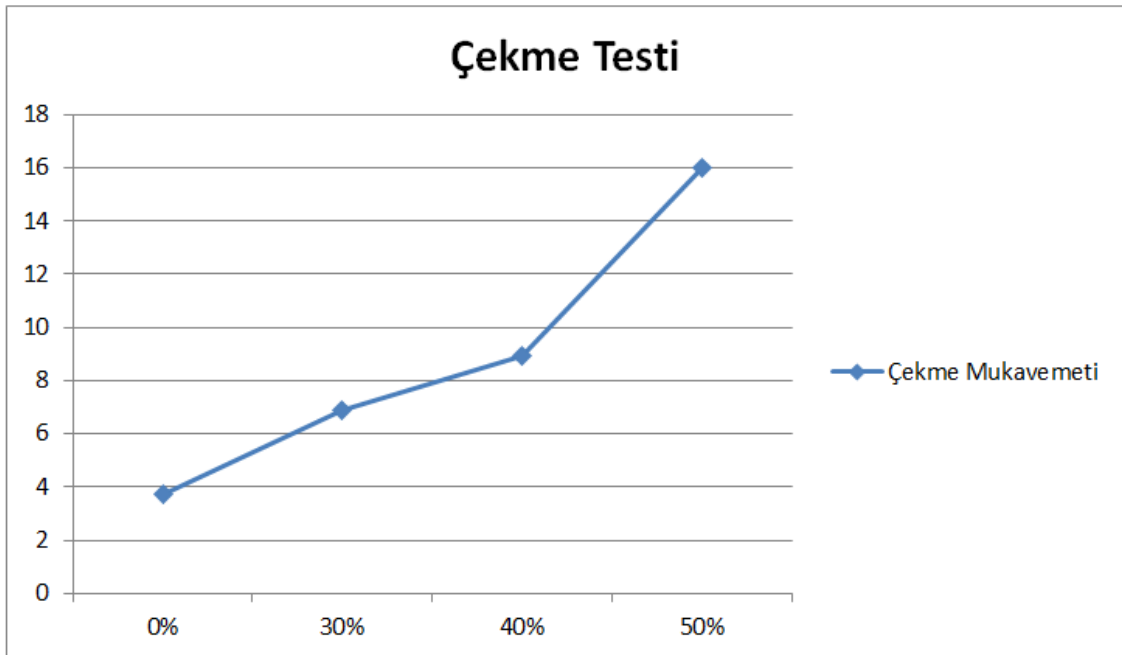
Takviye oranı artışı ile çekme mukavemeti değeri de artış göstermiştir. Değerler TPS için 3.7 MPa'dan %50 takviyeli kompozit için 15,98 MPa'a kadar yükselmiştir.

Tablo 7.2 Takviye Oranı – Çekme Mukavemeti Tablosu

Takviye Oranı	Çekme Mukavemeti (MPa)
%0	3.7
%30	6,89
%40	8,94
%50	15,98

Değerlerin artış oranları;

- %0 ile %30 arasında %86,
- %30 ile %40 arasında %30,
- %40 ile %50 arasında ise %78'dir.



Şekil 7.9 Çekme Testi Grafiği

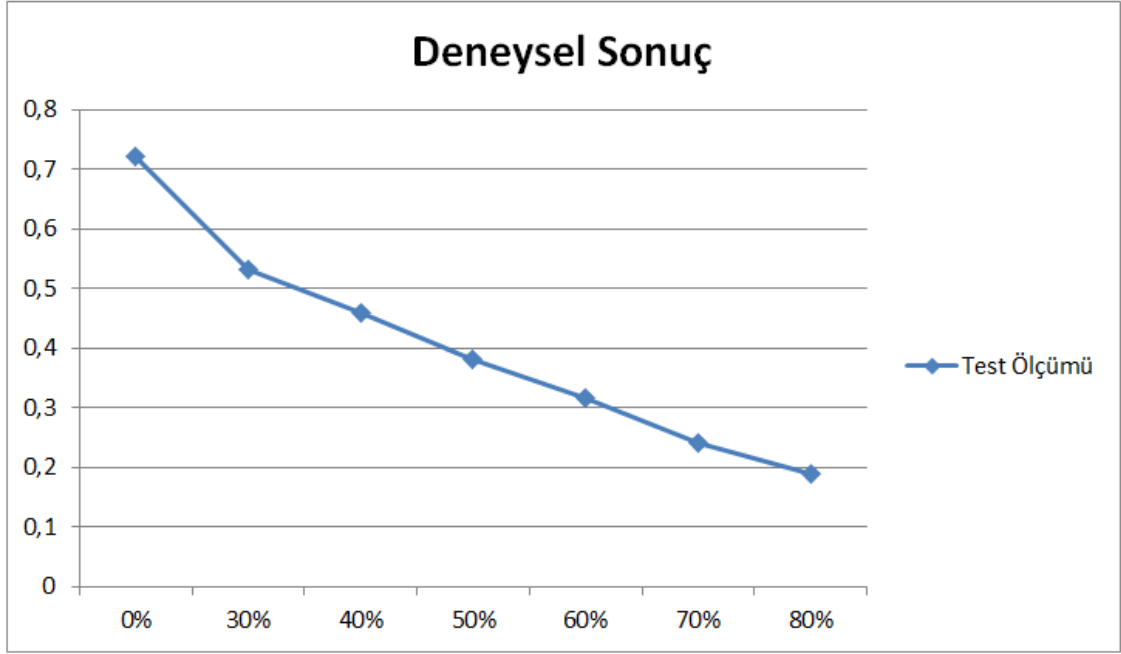
7.4 Isı İletim Katsayısı

7.4.1 Deneysel Ölçüm

Mısır nişastasından elde edilen termoplastik nişastanın (%30 gliserin, %20 su) ısı iletim katsayısı literatürde mevcut olmadığı için üretilen TPS diğer kompozitlerle beraber teste tabi tutulmuştur. Ölçümü yapılan kompozitler silindirik kalıpta imal edilmiş Ø40 mm ve kalınlığı 5 mm olan numunelerdir. %0, %30, %40, %50, %60, %70 ve %80 numunelerin ısı iletim katsayısı C-Therm TCi MTPS cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm yapılırken cihazda iletken olarak saf su kullanılmıştır. Termal macun ve köpük kullanılarak yapılan ölçümlerde makul olmayan sonuçlar mevcuttur.

Tablo 7.3 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Değerleri

Takviye Oranı (%)	Efektif Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
%0	0,72
%30	0,531
%40	0,458
%50	0,38
%60	0,317
%70	0,24
%80	0,188



Şekil 7.10 Isı İletim Katsayısı Ölçüm Grafiği

7.4.2 Ansys APDL

Isı iletim katsayısının Ansys APDL ile ölçümü yapılırken bu modülden alınan değerler kullanılmaktadır. Oluşturulan patika üzerinden geçen toplam ısı akışı aşağıdaki eşitlikte kullanılıp k değeri bulunmaktadır.

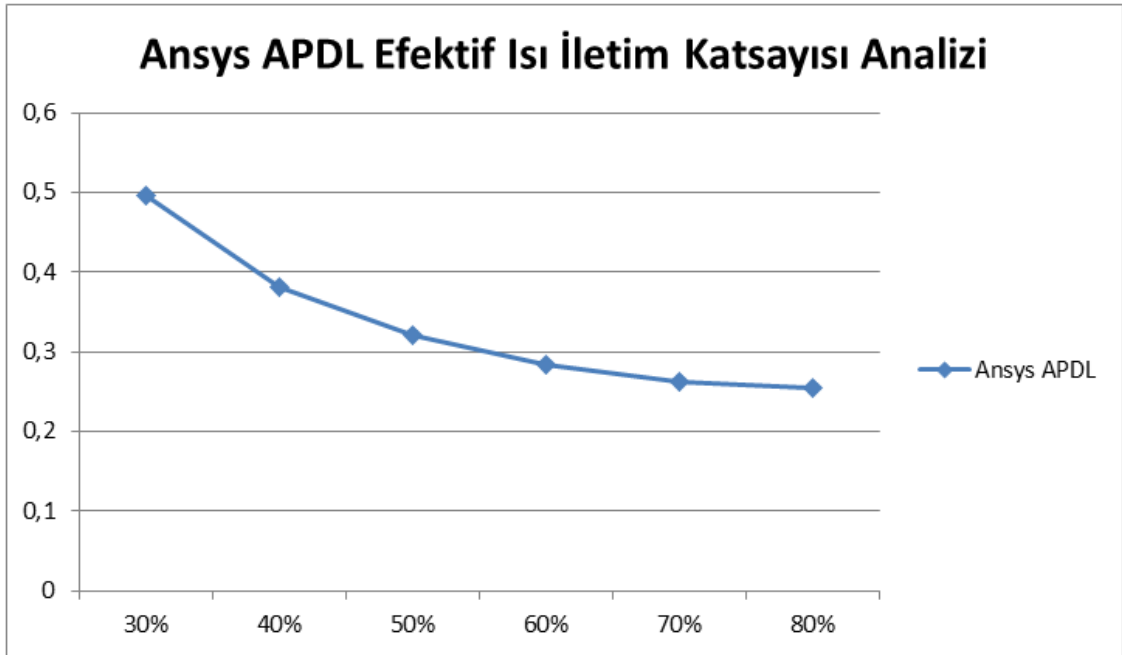
$$k = q \times \frac{L}{A} \times (T_2 - T_1) \quad (7.1)$$

Bu eşitlikte k ısı iletim katsayısı, q toplam ısı akışı, L ısı akışının ilerlediği yol boyu, A ısı akışına dik alan, T_2 çıkış sıcaklığı ve T_1 ise giriş sıcaklığıdır.

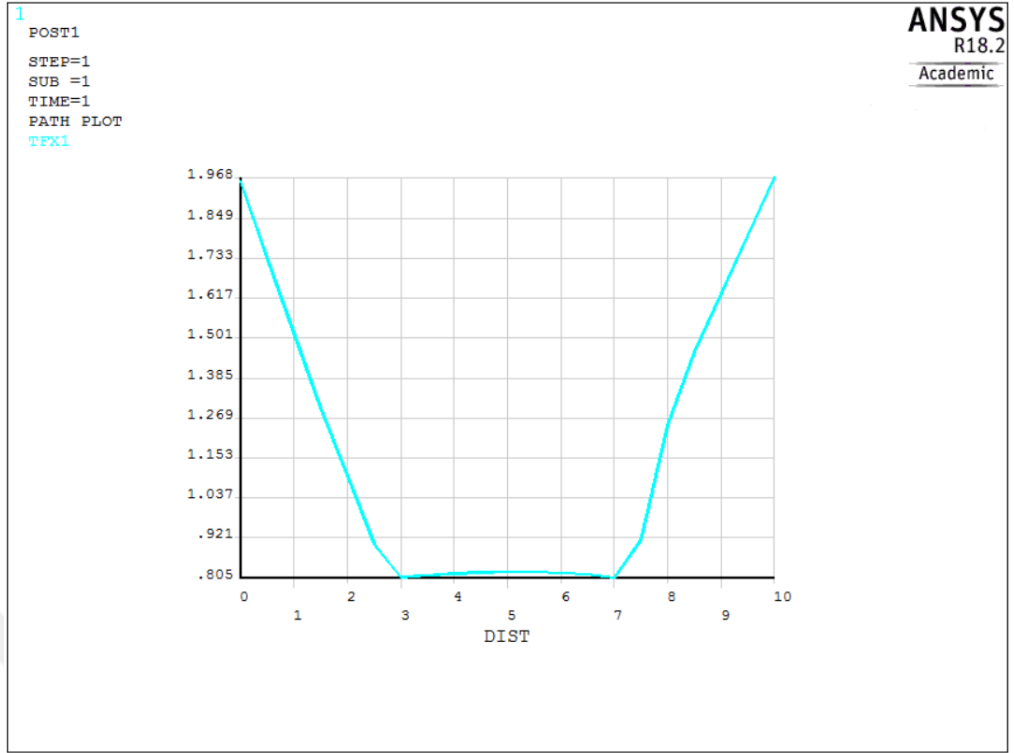
Ansys APDL modeli ile hesaplanan ısı iletim katsayıları sonuçları 0,497 (W/m.K) ile 0,255 (W/m.K) arasında değişmektedir.

Tablo 7.4 Ansys APDL Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri

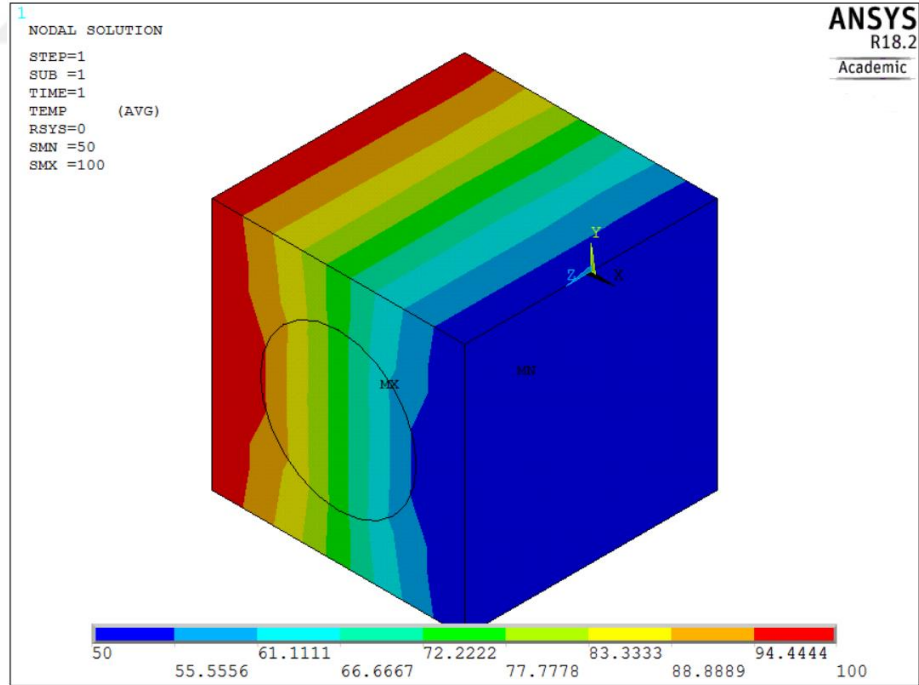
Takviye Oranı (%)	Efektif Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
%30	0,497
%40	0,382
%50	0,321
%60	0,284
%70	0,262
%80	0,255



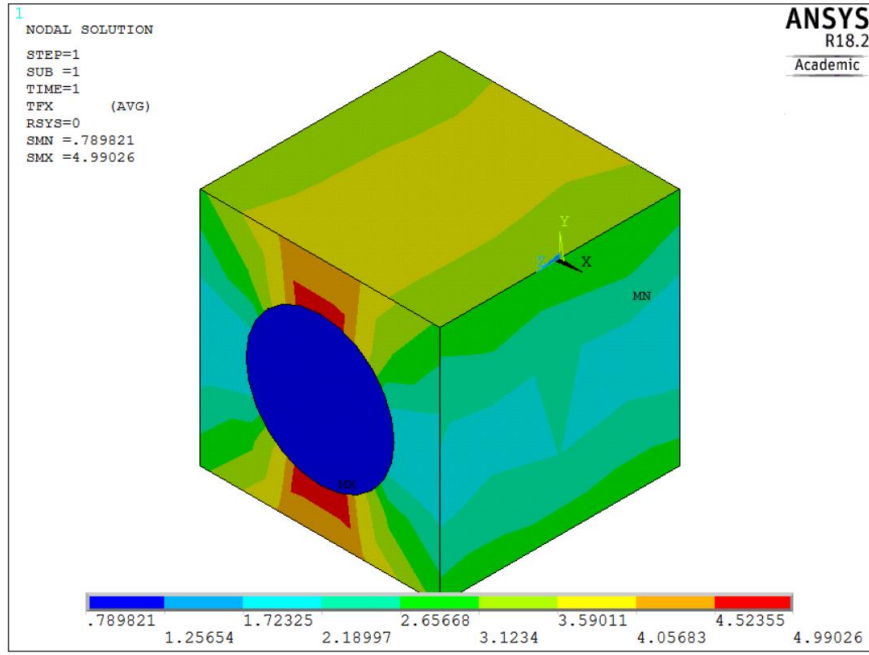
Şekil 7.11 Ansys APDL Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği



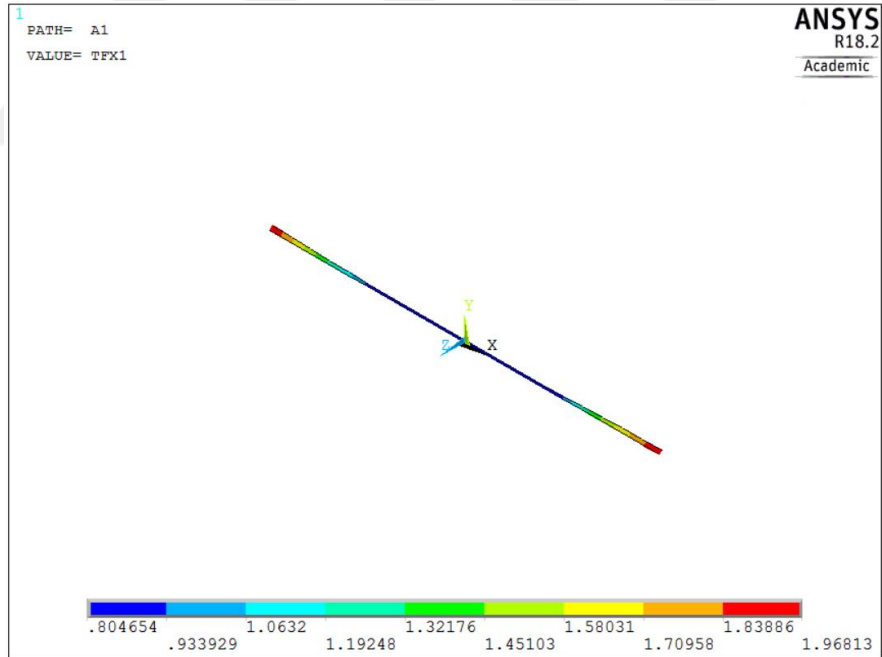
Şekil 7.12 %30 Takviye Oranına Sahip Modelin X Yönünde Isı Akış Grafiği



Şekil 7.13 %30 Takviye Oranına Sahip Modelin Sıcaklık Gradyanı

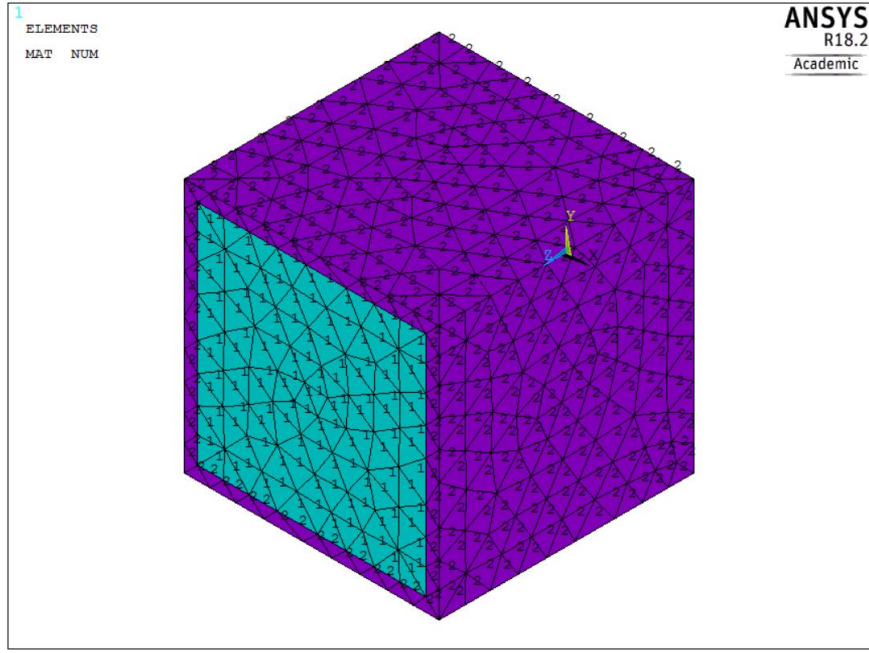


Şekil 7.14 %30 Takviye Oranına Sahip Modelin Isı Akışı

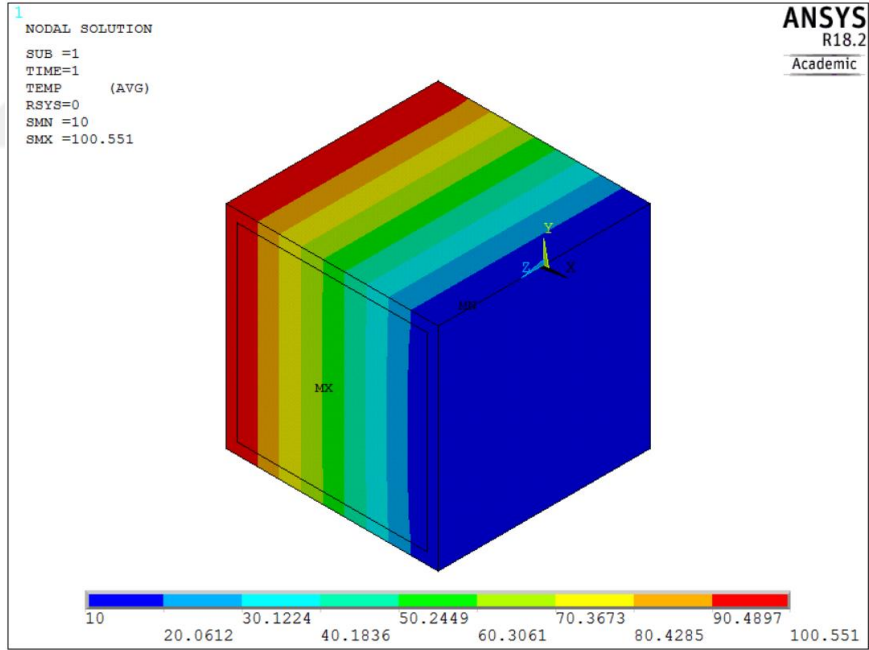


Şekil 7.15 %30 Takviye Oranına Sahip Modelde Belirlenen Patika Boyunca Isı Akışı

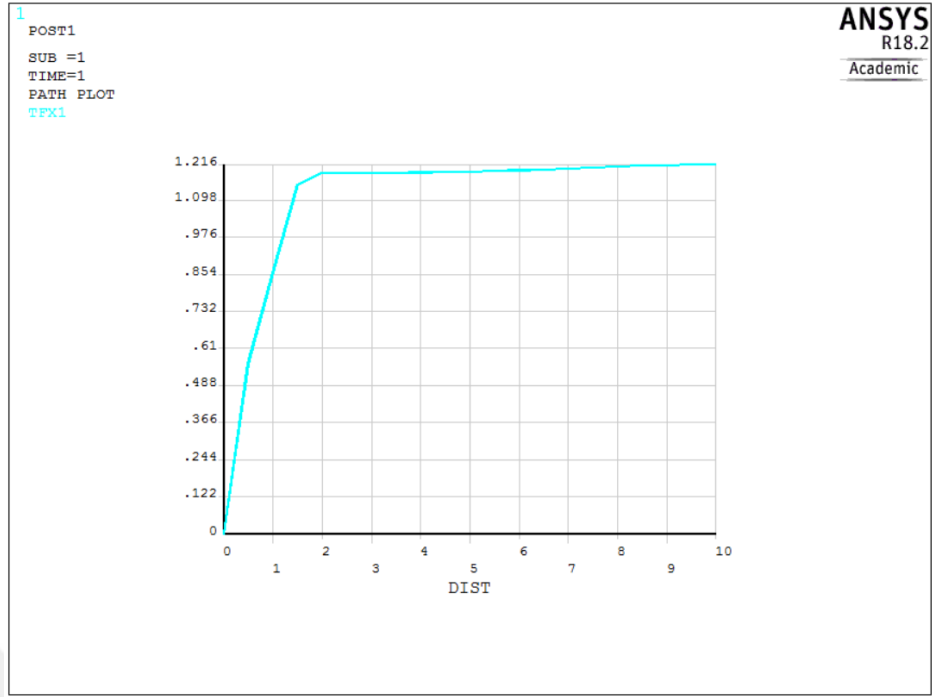
Modelleme yapılırken %80 takviyeye oranına sahip modelde lifi ifade eden silindir çap olarak matrisi ifade eden küp'ün içerisine sığmamaktadır. Bu modellemeyi yapabilmek için lifi ifade eden silindir yerine küp model koyulması tercih edilmiştir. Bir tek bu model için diğerlerinden farklı olarak hem tet hem de hex mesh örgüsü kullanılmıştır.



Şekil 7.16 %80 Takviye Oranına Sahip Modelin Mesh Örgüsü



Şekil 7.17 %80 Takviye Oranına Sahip Modelin Sıcaklık Gradyanı



Şekil 7.18 %80 Takviye Oranına Sahip Modelin Isı Akış Grafiği

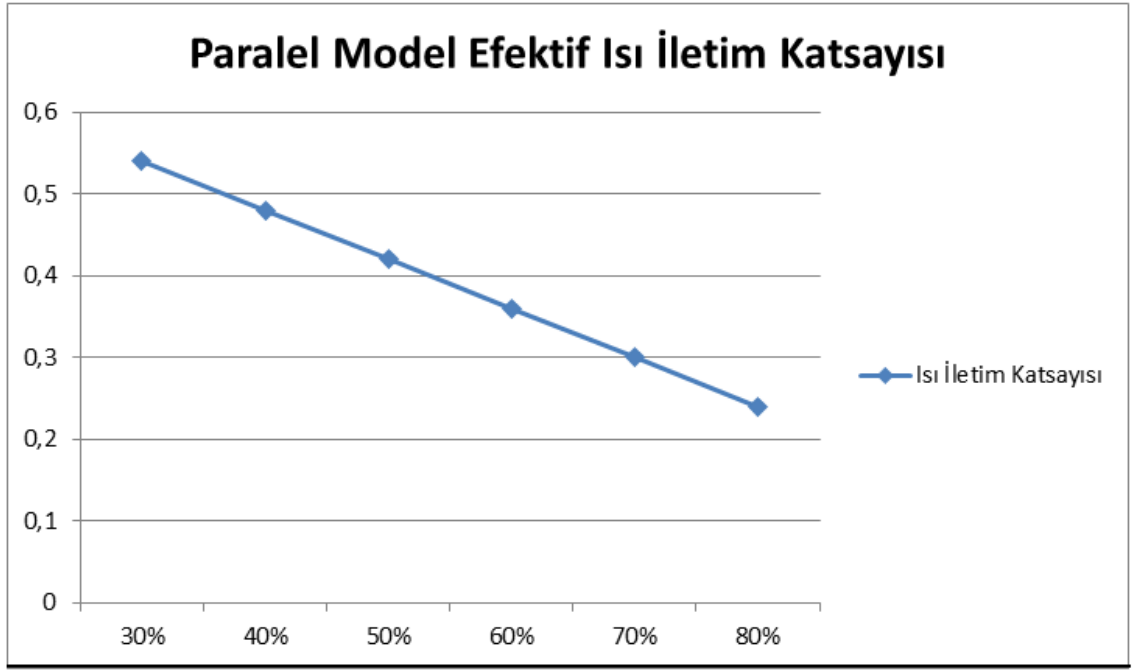
7.4.3 Matematik Modeller

7.4.3.1 Paralel Model

Paralel matematik modeli ile hesaplanan ısı iletim katsayıları sonuçları 0,54 (W/m.K) ile 0,24 (W/m.K) arasında değişmektedir.

Tablo 7.5 Paralel Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri

Takviye Oranı (%)	Efektif Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
%30	0,54
%40	0,48
%50	0,42
%60	0,36
%70	0,30
%80	0,24



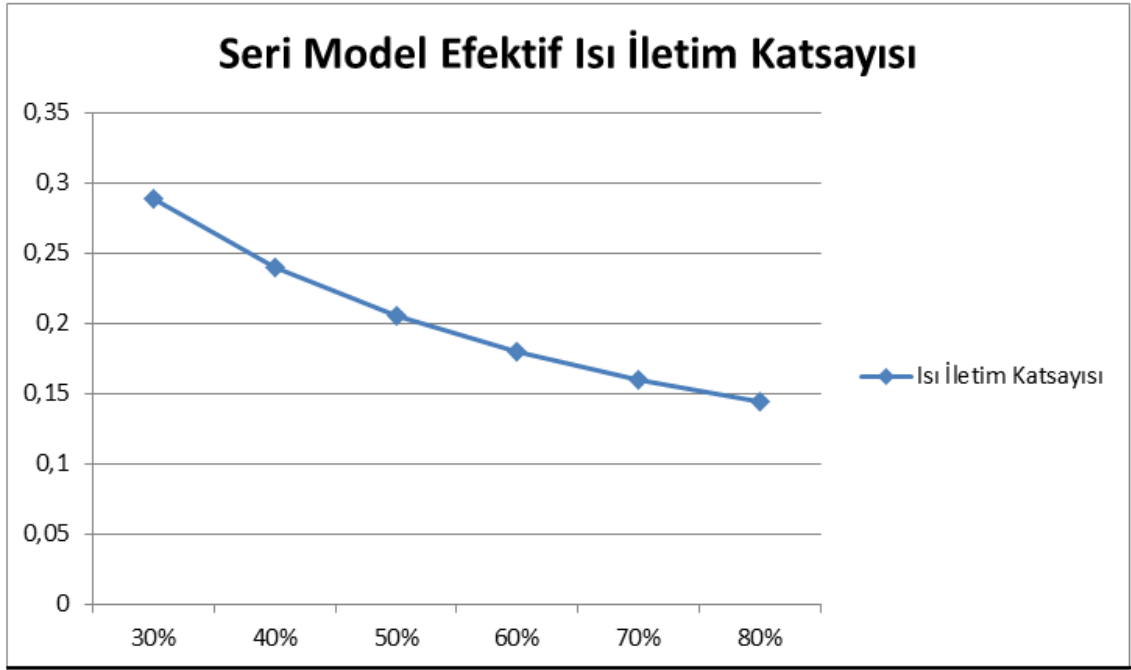
Şekil 7.19 Paralel Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği

7.4.3.2 Seri Model

Seri matematik model ile hesaplanan ısı iletim katsayıları sonuçları 0,288 (W/m.K) ile 0,144 (W/m.K) arasında değişmektedir.

Tablo 7.6 Seri Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri

Takviye Oranı (%)	Efektif Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
%30	0,288
%40	0,24
%50	0,205
%60	0,18
%70	0,16
%80	0,144



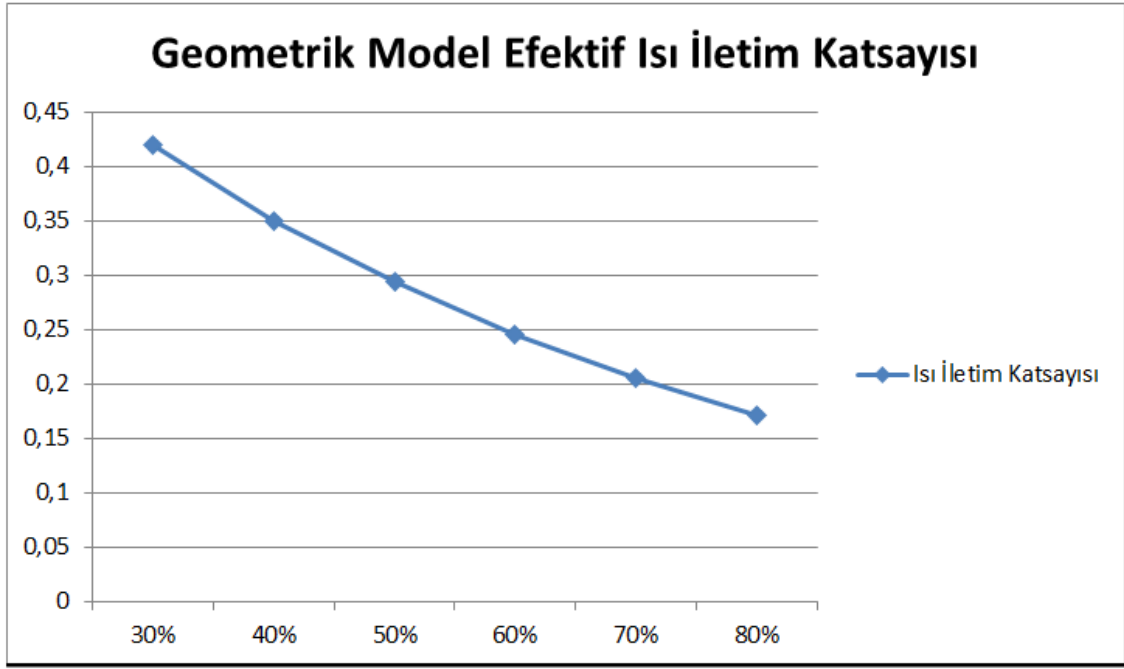
Şekil 7.20 Seri Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği

7.4.3.3 Geometrik Model

Geometrik matematik model ile hesaplanan ısı iletim katsayıları sonuçları 0,42 (W/m.K) ile 0,171 (W/m.K) arasında değişmektedir.

Tablo 7.7 Geometrik Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri

Takviye Oranı (%)	Efektif Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
%30	0,42
%40	0,35
%50	0,294
%60	0,245
%70	0,205
%80	0,171



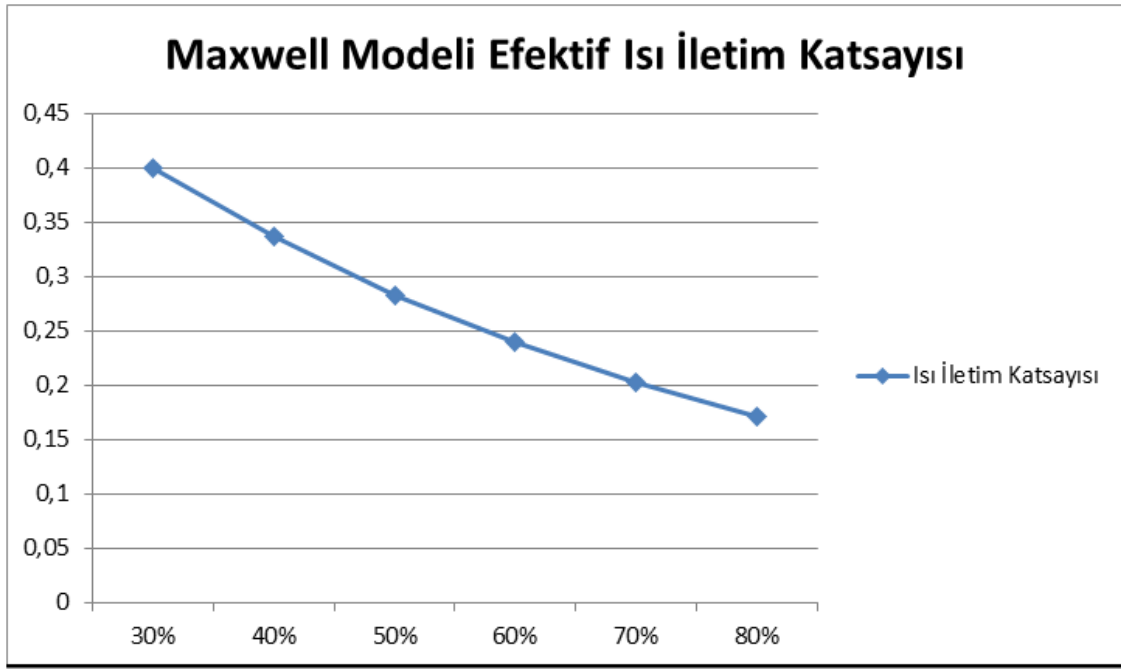
Şekil 7.21 Geometrik Model Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği

7.4.3.4 Maxwell Modeli

Maxwell matematik modeli ile hesaplanan ısı iletim katsayıları sonuçları 0,4 (W/m.K) ile 0,171 (W/m.K) arasında değişmektedir.

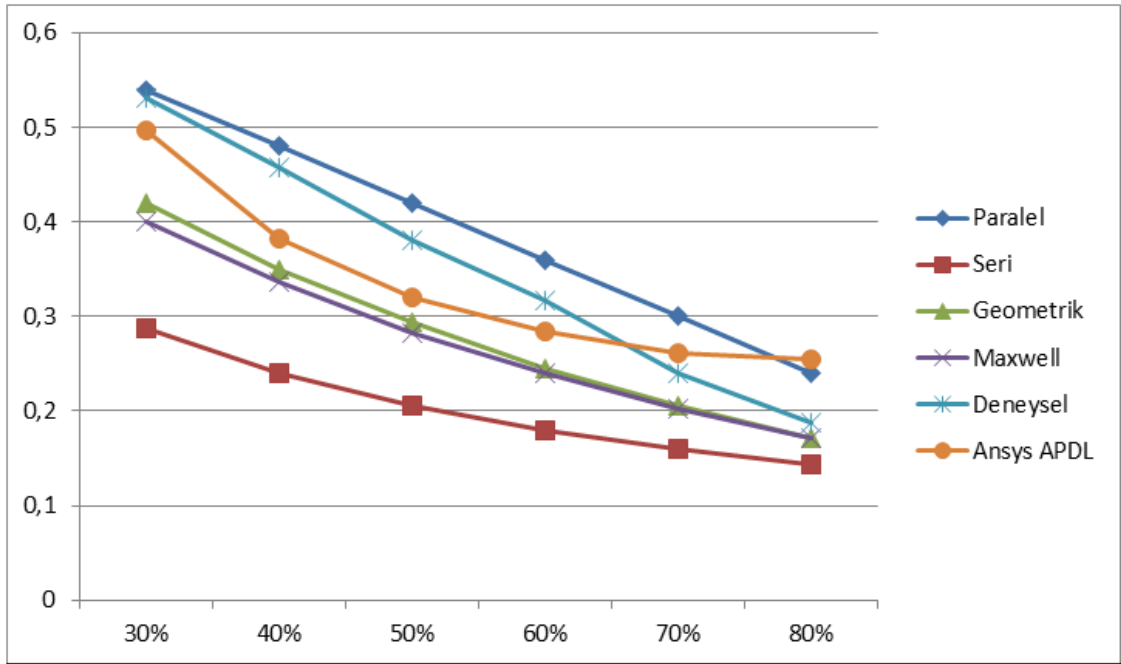
Tablo 7.8 Maxwell Modeli Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri

Takviye Oranı (%)	Efektif Isı İletim Katsayısı (W/m.K)
%30	0,4
%40	0,336
%50	0,283
%60	0,24
%70	0,203
%80	0,171



Şekil 7.22 Maxwell Modeli Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Grafiği

7.4.4 Efektif Isı İletim Katsayıları Karşılaştırma



Şekil 7.23 Efektif Isı İletim Katsayısı Değerleri Karşılaştırma Grafiği

Tablo 7.9 Ölçüm Metotları Karşılaştırma

Ölçüm Metodu	Ansys	Paralel	Seri	Geometrik	Maxwell	Deneysel
Takviye Oranı (%)						
%30	0,497	0,54	0,288	0,42	0,4	0,531
%40	0,382	0,48	0,24	0,35	0,336	0,458
%50	0,321	0,42	0,205	0,294	0,283	0,38
%60	0,284	0,36	0,18	0,245	0,24	0,317
%70	0,262	0,30	0,16	0,205	0,203	0,24
%80	0,255	0,24	0,144	0,171	0,171	0,188
Ortalama Doğruluk Payı	%84,79	%88,47	%30,84	%76,37	%72,82	%100

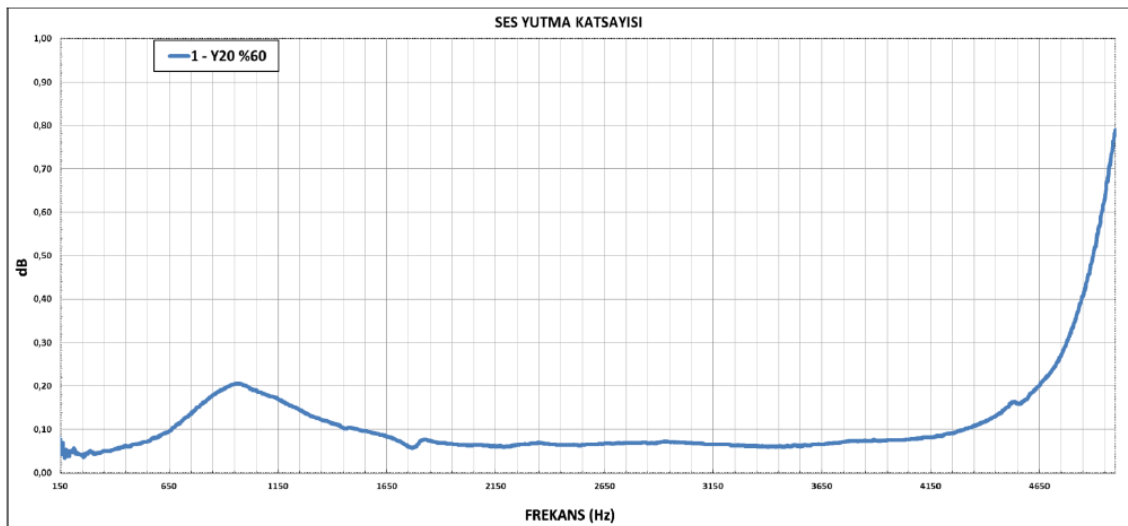
Elde edilen efektif ısı iletim katsayısı değerlerine bakılarak deneysel sonuçlara en yakın değerler sırasıyla Paralel Model, Ansys APDL, Geometrik Model, Maxwell Modeli ve Seri Model olarak sıralanmaktadır. Ortalama doğruluk payı en yüksek olan değer Paralel Model ile %88,47, en düşük değer ise Seri Model ile %30,84 değerini almaktadır. Ansys APDL %60 ve %70 takviye oranlarının hesaplanmasında deneysel sonuçlara en yakın değeri vermektedir. Paralel Model ise düşük takviye oranlarında -%30 ve %40- değerlerinde en yakın değeri vermektedir. Geometrik Model ile Maxwell Modeli birbirine çok yakın değerler elde etmekte ve %80 takviye oranında deneysel sonuca en yakın sonucu vermektedirler.

7.5 Ses Yutum Katsayısı

- %60 Takviye Oranındaki Numune

Tablo 7.10 %60 Takviye Oranındaki Kompozitin 1/3 Oktav Bandındaki Ses Yutum Katsayıları

Frekans (Hz)	Oktav Band(1/3)	Frekans (Hz)	Oktav Band(1/3)
160	0,06	1000	0,19
200	0,04	1250	0,14
250	0,04	1600	0,09
315	0,05	2000	0,07
400	0,05	2500	0,07
500	0,07	3150	0,07
630	0,09	4000	0,08
800	0,16	5000	0,33

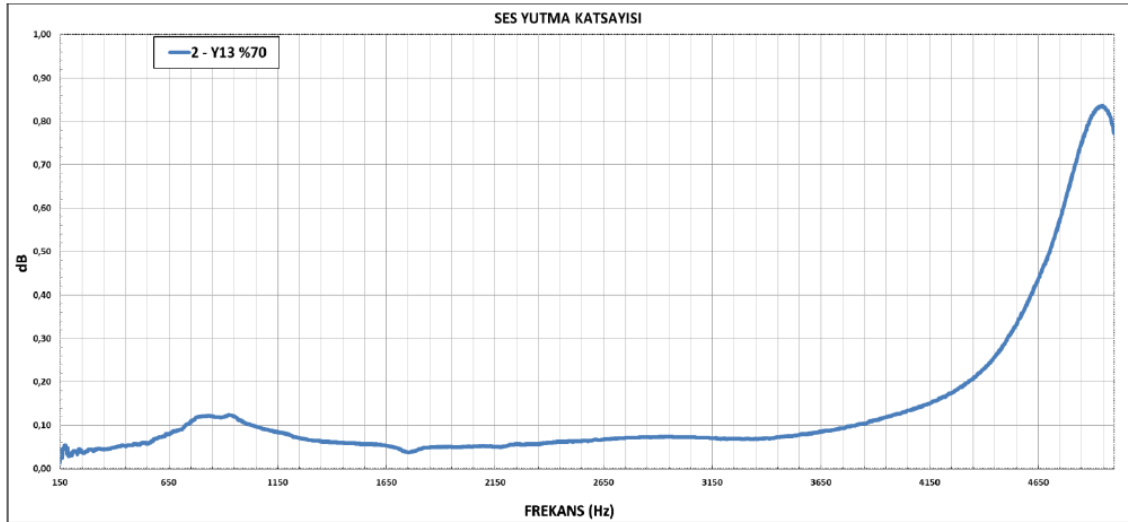


Şekil 7.24 %60 Takviye Oranındaki Kompozitin Ses Yutum Grafiği

- %70 Takviye Oranındaki Numune

Tablo 7.11 %70 Takviye Oranındaki Kompozitin 1/3 Oktav Bandındaki Ses Yutum Katsayıları

Frekans (Hz)	Oktav Band(1/3)	Frekans (Hz)	Oktav Band(1/3)
160	0,04	1000	0,11
200	0,04	1250	0,07
250	0,04	1600	0,05
315	0,04	2000	0,05
400	0,05	2500	0,06
500	0,06	3150	0,07
630	0,08	4000	0,14
800	0,11	5000	0,57

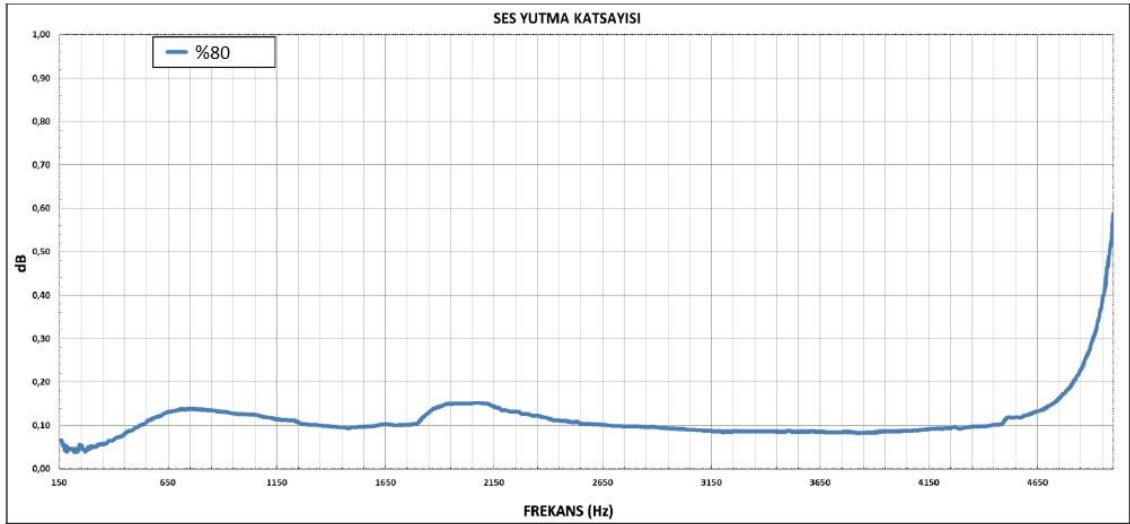


Şekil 7.25 %70 Takviye Oranındaki Kompozitin Ses Yutum Grafiği

- %80 Takviye Oranındaki Numune

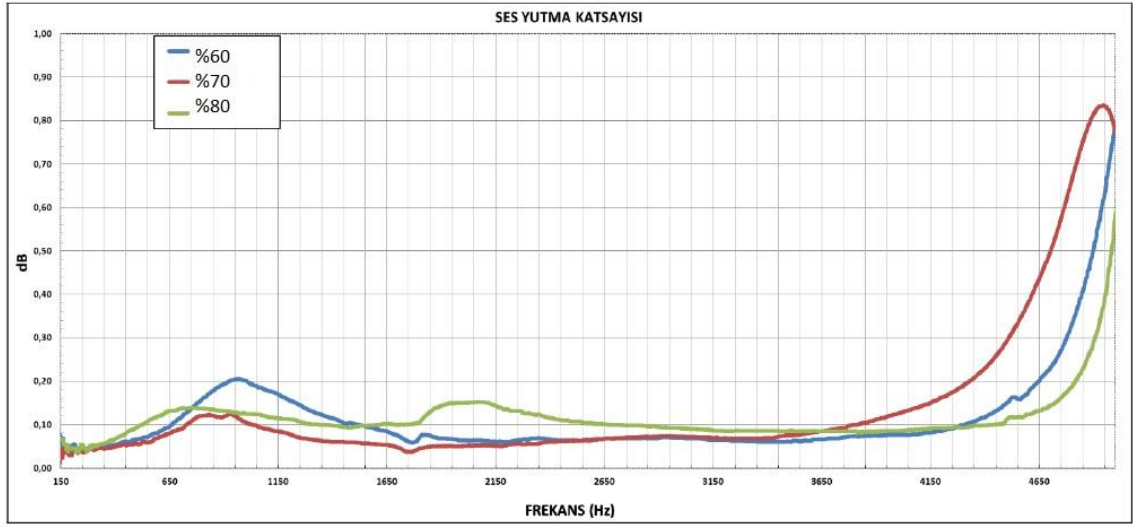
Tablo 7.12 %80 Takviye Oranındaki Kompozitin 1/3 Oktav Bandındaki Ses Yutum Katsayıları

Frekans (Hz)	Oktav Band(1/3)	Frekans (Hz)	Oktav Band(1/3)
160	0,06	1000	0,13
200	0,05	1250	0,11
250	0,05	1600	0,10
315	0,05	2000	0,14
400	0,07	2500	0,11
500	0,10	3150	0,09
630	0,13	4000	0,09
800	0,14	5000	0,21



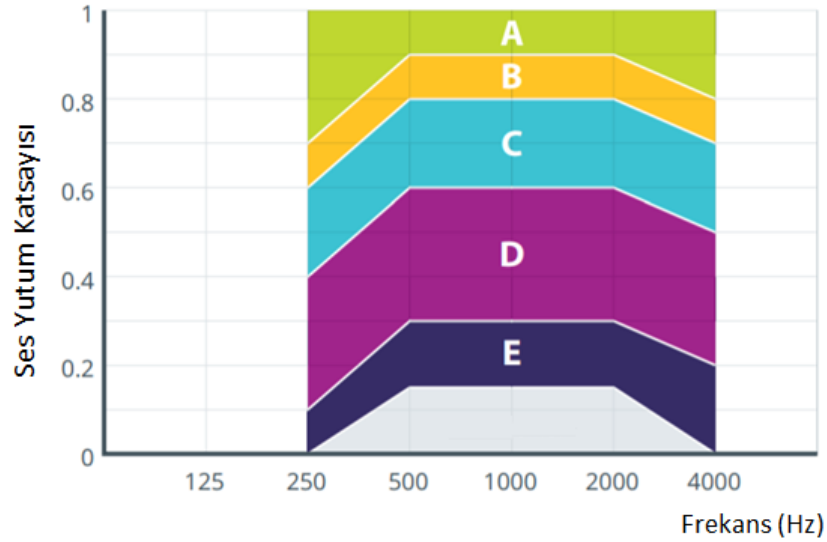
Şekil 7.26 %80 Takviye Oranındaki Kompozitin Ses Yutum Grafiği

7.5.1 Ses Yutum Katsayısı Karşılaştırma



Şekil 7.27 Ses Yutum Katsayıları Karşılaştırma Grafiği

%60 takviye oranındaki doğal kompozit malzeme 150 Hz - 5000 Hz aralığındaki ölçümde bu diyagrama göre düşük frekanslarda 1 kHz civarında en yüksek ses yutum katsayısı değerine sahiptir. Bu diyagrama göre orta frekanslarda yani 2 kHz civarında ise %80 takviye oranına sahip kompozit en iyi değerleri göstermiştir. %70 takviye oranındaki kompozit ise diyagramın sağ ucunda 5 kHz civarında diğer kompozit oranlarında da artış olmasına rağmen en yüksek değeri sağlamıştır.



Şekil 7.28 ISO 11654 Standardına Göre Malzeme Sınıfları

ISO 11654 standardına göre imal edilen kompozitlerin 3'ü de E sınıfı malzemedir. Bu standarda göre malzemelerin ses yutum özellikleri E'den A'ya gidildikçe iyileşmektedir.

7.5.1.1 NRC Değerleri

Gürültü azaltma katsayısı değerleri %60, %70, %80 takviye oranlarına göre sırasıyla 0,0925, 0,065, 0,105'dir.

Tablo 7.13 Gürültü Azaltma Katsayıları

Takviye Oranı (%)	%60	%70	%80
Frekans (Hz)			
$\alpha 250$	0,04	0,04	0,05
$\alpha 500$	0,07	0,06	0,10
$\alpha 1000$	0,19	0,11	0,13
$\alpha 2000$	0,07	0,05	0,14
NRC	0,0925	0,065	0,105

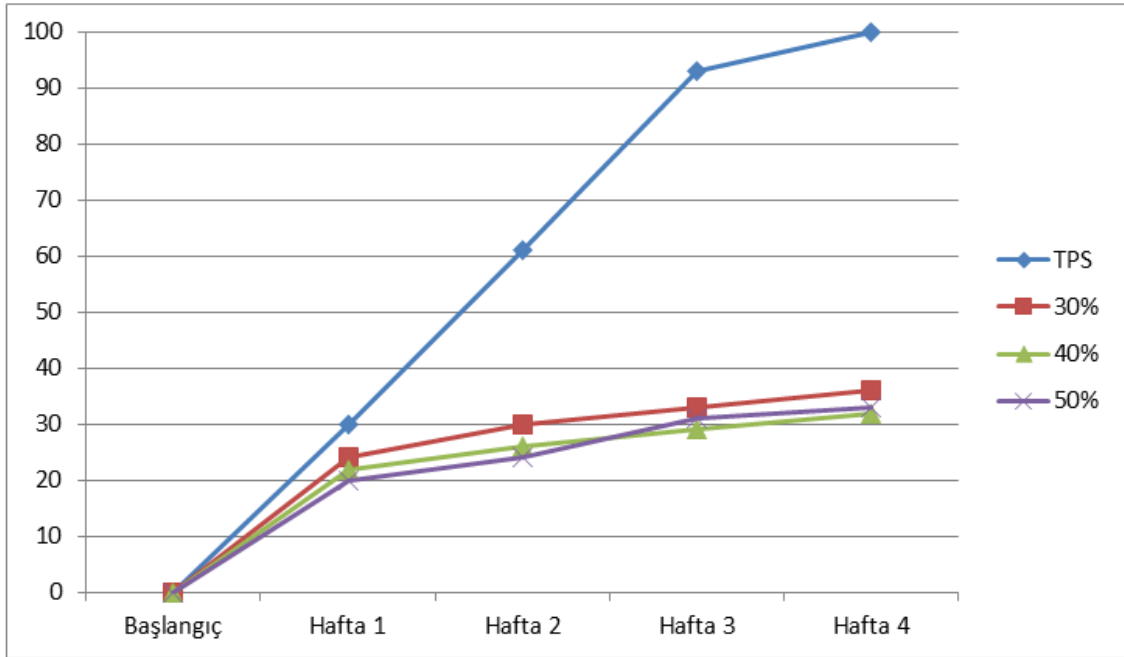
Tablo 7.13'den anlaşılacağı üzere üretilen doğal kompozit malzemelerin insan kulağının hassas olduğu aralıklarda gösterdiği değerler yetersiz kalmaktadır. Bu değerlerin iyileştirilebilmesi için gözenekli malzeme üretimi yapılması gerekmektedir.

7.6 Doğada Çözünme

Doğada çözünme testine tabi tutulan numunelerin ilk haftadan sonraki görüntüleri Şekil 7.29'daki gibidir.



Şekil 7.29 Doğada Çözünme Testine Tabi Tutulan Numuneler



Şekil 7.30 Doğada Çözünme Grafiği

Mısır nişasta, gliserin ve saf sudan oluşan termoplastik nişasta doğada çözünme testine tabi tutulduğunda grafikte görüldüğü üzere 4 haftadan daha kısa bir sürede tamamen mikroorganizmalar tarafından bertaraf edilmektedir. Muz lifi takviyeli olan kompozitlerin

ise ilk hafta dış yüzeylerindeki termoplastik nişasta bölgelerinin çözündüğü bundan ötürü hızlı bir şekilde ağırlık kaybı yaşadığı belirlenmiştir. Diğer haftalarda kompozit daha yüksek oranlarda muz lifi ihtiva ettiği için çözünme yavaşlamıştır. Bu grafiğe bakılarak 4 ay dolmadan muz lifi içeren kompozitlerin de doğada bertaraf olacağı anlaşılmaktadır.



1. Mısır nişastası ile matris malzemesi hazırlanırken elde edilen toz halindeki karışım 1 gün bekletilip üretim yapılıncaya esnek ve sünek, bir kaç günden fazla süre bekletilip kompozit oluşturulmak istenirse çıkan ürün gevrek bir yapıda olmaktadır.
2. Üretilen numunelerin 1 ay süre boyunca bekletilmelerinin ardından yüzeylerine yerleşen mikroorganizmaların renk değişimine ve koku oluşumuna sebebiyet verdikleri belirlenmiştir.
3. Saf TPS üretimi yapılırken 140°C 'den fazla ve 10 dakikadan uzun süren kalıplama işlemlerinde çıkan numunede yanık izleri belirlenmektedir.
4. Kalıbın numune içerisindeyken ısıtılmaya başlanıp istenen kalıplama sıcaklığına getirilmesi numune yüzeyinde hava kabarcıklarından ötürü boşluklar meydana gelmesine sebebiyet vermektedir.
5. Kompozitlerdeki takviye muz lifi oranının artışı homojenliği sağlamakta zorluklar meydana getirmektedir.
6. Mısır nişastası düşük mekanik özelliklere sahip olduğundan elde edilen çekme değerleri diğer biyobozunur olmayan polimerlerle yapılan kompozitlere göre daha düşük sonuçlar vermekte fakat liflere farklı yüzey uygulamaları yapılarak değerler iyileştirilebilecektir.
7. Matematik modeller arasında en iyi sonuç Paralel model ile %88,47 oranında doğruluk payı ile elde edilirken, bilgisayar modeli olan ANSYS APDL modeli ile %84,79 gibi yüksek bir oran elde edilmektedir. Bu modellerin ardından Geometrik model, Maxwell modeli ve Seri model sırasıyla %76.37, %72.82 ve %30.84 doğruluk paylarına sahiptir.
8. $0,12 \text{ W/m.K}$ ısı iletim katsayısına sahip muz lifleri ile $0,72 \text{ W/m.K}$ ısı iletim katsayısına sahip mısır nişastası yerine daha düşük ısı iletim katsayısına sahip başka bir polimer kullanılarak daha düşük takviye oranlarında daha düşük ısı iletim katsayıları elde etmek mümkün olacaktır.
9. Isı iletim katsayısı ölçülürken kullanılan modifiye edilmiş geçici kaynak metodunda doğru sonuçlar alabilmek için operator tecrübesi gerekmektedir.

10. %60 takviye oranına sahip kompozit düşük frekanslarda, %70 takviye oranına sahip kompozit yüksek frekanslarda ve %80 takviye oranına sahip kompozit ise orta frekanslarda en yüksek ses yutum katsayısı değerlerini elde etmektedir.

11. Ses yutum katsayısı gözeneksiz malzemeler için grafiğin yüksek frekanslarında -bu çalışmada üretilen kompozitler gibi- iyi sonuçlar vermektedir. Üretilen kompozitler gözenekli olarak imal edilir veya talaşlı işlemeye tabi tutulur ise grafiğin orta frekanslarında daha iyi sonuçlar alınarak gürültü azaltma katsayısı (NRC) değeri iyileştirilebilmektedir.

12. Üretilen kompozitler hava ve nemden uzak ortamlarda örneğin şap altı, asma tavan üstleri ve çift duvar arasında kullanılarak ısı yalıtım malzemesi kriterlerinden 0,065 W/m.K ısı iletim katsayısı değerinden yüksek olmasına ve mikroorganizmalara duyarlılığına rağmen, ısı ve ses yalıtımına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu durumda %100 doğal bir malzeme kullanılarak sürdürülebilirlik kavramı yerine getirilmiş olacaktır.

13. Ülkemizde halihazırda her yıl 1 milyon kilogram mertebesinde meydana getirilebilecek potansiyele sahip ve her yıl da artarak devam eden muz liflerini değerlendirmekle, bunun üzerine çalışmalar yapmakla doğaya ve ekonomiye katkılar sağlamak mümkün olabilmektedir.

-
- [1] <https://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/mumyalama-nasil-yapilir>, erişim tarihi: 1 Ocak 2019
- [2] <https://www.history.com/topics/ancient-china/great-wall-of-china>, erişim tarihi: 6 Şubat 2019
- [3] <https://archeryhistorian.com/mongol-bow>, erişim tarihi: 10 Şubat 2019
- [4] <https://www.owenscorning.com/composites>, erişim tarihi: 19 Şubat 2019
- [5] <https://www.thoughtco.com/history-of-composites-820404>, erişim tarihi: 19 Şubat 2019
- [6] Jan E. G., Environmental Benefits of Natural Fibre Production and Use, Proceedings of the Symposium on Natural Fibres, Wageningen Üniversitesi, Hollanda, 2009.
- [7] <https://ekolojist.net/tarih-boyu-surdurulebilirlik-kavrami-aciklamalari>, erişim tarihi: 2 Mart 2019
- [8] <https://insaathesabi.com/surdurulebilir-malzemeler-nedir-kullanmanin-onemleri-nedir>, erişim tarihi: 3 Mart 2019
- [9] <https://www.fao.org/faostat/en/#data>, erişim tarihi: 10 Mart 2019
- [10] Mendilcioğlu, K., Karaçalı, İ., Muz Yardımcı Ders Kitabı, E.Ü.Z.F. Yayınları, İzmir, 1980.
- [11] Kozak, B., Muz Yetiştiriciliği. Türkiye Ziraat Odaları Birliği Yayınları, Ankara, 2003.
- [12] Pınar H., Canan I., Türkiye’de Muz Yetiştiriciliği, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Alatarım, vol. 2, pp. 15-20, 2007.
- [13] www.resmiistatistik.gov.tr, erişim tarihi: 5 Mart 2019
- [14] Gübbük, H., Pekmezci, M., Erkan, M., Meristem Kültürü ile Çoğaltılan Değişik Muz Klonlarının Açıkta ve Örtü Altında Yetiştirme Olanakları Üzerinde Araştırma, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Dergisi, vol. 2, pp.10-13, 2003.
- [15] Gübbük, H., 1990, Cam Serada Yetiştirilen Cavendish ve Basrai Muz Klonlarının Beslenmesi, Muhafazası ve Olgunlaştırılması Üzerinde Araştırmalar, Master Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Adana.
- [16] Türkay, C., Öztürk, H., Anamur Yöresindeki Muz Seralarında Doğal Havalandırma Etkinliği ve Havalandırma Açıklığı Alanının Belirlenmesi, Tarım Makinaları Bilim Dergisi, vol. 5, pp. 1-10, 2009.
- [17] Gübbük H., Altinkaya L., Balkıç R., Banana: A Very Profitable Tropical Crop For Turkey, XXX. International Hogricultural Congress, İstanbul, Türkiye, Ağustos 2018.

- [18] <https://www.alanya.bel.tr>, erişim tarihi: 5 Mart 2019
- [19] <https://www.fibandco.com>, erişim tarihi: 12 Mart 2019
- [20] Bhattacharyya D., Subasinghe A., Kim N. K., Natural fibers: Their composites and flammability characterizations, Multifunctionality of Polymer Composites, vol. 5, pp. 102-143, 2015.
- [21] https://www.sciencelearn.org.nz/image_maps/61-wool-fibre-structure-and-properties, erişim tarihi: 15 Mart 2019
- [22] Beşergil, B., Kompozitler Temel İlkeler, Gazi Kitapevi, Ankara, 2016.
- [23] <https://www.wikipedia.org>, erişim tarihi: 10 Nisan 2019
- [24] Bozacı, E., Öktem T., Seventekin N., Ananas Yaprak Lifi, Tekstil ve Konfeksiyon, Vol.2, pp. 167–169, 2007.
- [25] <https://www.hakanfoods.com.tr/tr/jut-urunleri>, erişim tarihi: 15 Nisan 2019
- [26] Catherine H., Skinner W., Mineralogy of Asbestos Minerals, Indoor and Built Environment, pp. 385-389, 2003.
- [27] <https://www.asbestos.com>, erişim tarihi: 16 Nisan 2019
- [28] Bassas-Galia, M., Follonier, S., Pusnik, M., Zinn, M., Natural Polymers: A Source of Inspiration, Bioresorbable Polymers for Biomedical Applications, pp. 31-64, 2017.
- [29] Dönmez Çavdar, A., Boran, S., Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı, Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, vol. 16, pp. 253–26, 2016.
- [30] Aart van V., Natural Fibers Composites; Recent Development, Bruges: Innovation for Sustainable Production, 2008.
- [31] Bledzki A., K., Faruk, O., Sperber, V. E., Cars from Bio-fibers, Macromolecular Materials and Engineering, vol. 291, pp. 449-457, 2006.
- [32] The European Parliament and the Council of the European Union, 2000, Directive 2000/53/EC of the European Parliament and the Council of End-of-Life Vehicles.
- [33] Environmental and Plastics Industry Council, 2000, Biodegradable Polymers; A Review.
- [34] John M. J., Thomas S., Biofibres and Biocomposites, Carbohydrate Polymers, vol. 71, no. 3, pp. 343–364, 2008.
- [35] Rodriguez-Gonzalez, F. J., Ramsay, B. A., Favis, B. D., High Performance LDPE/thermoplastic Starch Blends: A Sustainable Alternative to Pure Polyethylene, Polymer, vol. 44, pp. 1517–1526, 2003.

- [36] Hager, T., Macarthur, A., Mcintre, D., Seeger, R., Chemistry and Structure of Natural Rubbers, Rubber Chemistry and Technology, vol. 52, pp. 693-709, 1979.
- [37] Oksman, K., Skrifvars, M., Selin J., Natural Fibres as Reinforcement in Polylactic Acid (PLA) Composites, Composites Science and Technology, vol. 63, pp. 1317-1324, 2003.
- [38] Nafchi, A. M., Moradpour, M., Saeidi, M., Alias, A. K., Thermoplastic Starches: Properties, Challenges, and Prospects, Starch/Staerke, vol. 65, no. 2, pp. 61-72, 2013.
- [39] Méndez-Hernández, M., Rivera-Armenta, J., Sandoval-Arellano, Z., Salazar-Cruz, B. A., Chavez-Cinco, M. Y., Evaluation of Styrene Content over Physical and Chemical Properties of Elastomer/TPS-EVOH/Chicken Feather Composites, Applications of Modified Starches, pp. 24-38, 2018.
- [40] Satyanarayana, K. G., Gregorio, G. C., Arizaga Wypych, F., Biodegradable Composites Based On Lignocellulosic Fibers-An Overview, Progress in Polymer Science, vol. 34, no. 9, pp. 982-1021, 2009.
- [41] Dufresne, A., Vignon, M. R., Improvement Of Starch Film Performances Using Cellulose Microfibrils, Macromolecules, vol. 31, pp. 2693-2696, 1998.
- [42] Prabhakar, M. N., Rehman Shah, A., Song, J., Improved Flame-Retardant And Tensile Properties Of Thermoplastic Starch/Flax Fabric Green Composites Carbohydrate Polymers, vol. 168, pp. 201-211, 2017.
- [43] Mora-escobedo, R., Ramírez, M., Flores-Morales, A., Maize Cultivation, Health Benefits, vol. 2, pp. 20-25, 2012.
- [44] Hammerschmidt, U., Guarded Hot-Plate (GHP) Method, International Journal of Thermophysics, vol. 23, No. 6, pp. 1551-1570, 2002.
- [45] Nunes, W., Mummery P., Wallwork, A., Thermal Diffusivity of Polymers by The Laser Flash Technique, Polymer Testing, vol. 10, pp. 628-634, 2005.
- [46] Gustafsson, S. E., Transient Plane Source Techniques For Thermal Conductivity And Thermal Diffusivity Measurements Of Solid Materials, Review of Scientific Instruments, vol. 62, no. 3, pp. 797-804, 1991.
- [47] Harris, A., Kazachenko, S., Emanuel M., Measuring The Thermal Conductivity Of Heat Transfer Fluids Via The Modified Transient Plane Source (MTPS), J Therm Anal Calorim, pp. 1309-1314, 2014.
- [48] Qiu, X., Acoustic testing and evaluation of textiles for buildings and office environments, Performance Testing of Textiles, vol. 5, pp. 103-128, 2016.
- [49] Jayaprabha, J. S., Brahmakumar, M., Manilal, V. B., Banana Pseudostem Characterization And Its Fiber Property Evaluation On Physical And Bioextraction', Journal of Natural Fibers, vol.8, no.3, pp. 149-160, 2011.

- [50] Hulle, A., Kadole, P., Katkar, P., Agave Americana Leaf Fibers, *Fibers*, vol. 3, pp 64-75, 2015.
- [51] <https://www.idmaterial.com>, erişim tarihi: 25 Nisan 2019
- [52] Michael, K., Sven, O., Christian, G., Cezar, P., Use Of Natural Fibres in Composites For The German Automotive Production From 1999 to 2005, Hurth: Nova-Institut, 2006.
- [53] <https://www.rpmindinc.com>, erişim tarihi: 30 Nisan 2019
- [54] Naveen, E., Venkatachalam, N., Maheswaran, N., Alkalichemical Treatment on the Surface of Natural Fiber, *Trends in Automotive Parts Systems and Applications*, vol. 20, pp. 172-178, 2015.
- [55] Mohanty, A. K., Misra M., Dreal, L. T., Surface Modifications Of Natural Fibres and Performance Of The Resulting Biocomposite – An Overview. *Composite Interfaces*, vol. 8, no. 5, pp. 313–343, 2001.
- [56] Ferreira, D. P., Cruz, J., Fangueiro, R., Surface Modification Of Natural Fibers In Polymer Composites, *Green Composites for Automotive Applications*, pp. 3–41, 2019.
- [57] Rao, K. M. M., Rao, K. M., Extraction and Tensile Properties Of Natural Fibers: Vakka, Date and Bamboo, *Composite Structures*, vol. 77, pp. 288–295, 2005.
- [58] Ochi, S., Development of High Strength Biodegradable Composites Using Manila Hemp Fiber and Starch-Based Biodegradable Resin, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 37, no. 11, pp. 1879–1883, 2006.
- [59] Sapuan, S. M., Leenie, A., Harimi, M., Beng, Y. K., Mechanical Properties Of Woven Banana Fibre Reinforced Epoxy Composites, *Materials and Design*, vol. 27, no. 8, pp. 689–693, 2006.
- [60] Cañigueral, N., Vilaseca, F., Méndez, J. A., López, J. P., Barberà, L., Puig, J., Mutjé, P., Behavior Of Biocomposite Materials From Flax Strands And Starch-Based Biopolymer, *Chemical Engineering Science* 64, pp. 2651-2658, 2009.
- [61] Satyanarayana, K. G., Saul, C. K., Wypych, F., Guimarães, J. L., Ramos, L. P., Studies Of The Processing And Characterization Of Corn Starch And Its Composites With Banana and Sugarcane Fibers From Brazil, *Carbohydrate Polymers*, vol. 80, no. 1, pp. 130–138, 2009.
- [62] Ibrahim, H., Farag, M., Megahed, H., Mehanny, S., Characteristics Of Starch-Based Biodegradable Composites Reinforced With Date Palm And Flax Fibers *Carbohydrate Polymers*, vol. 101, pp. 11–19, 2014.
- [63] Darwish, L. R., Farag, M., El-wakad, M. T., Improving the Properties of Cornstarch Based Green Composites Reinforced With Banana Fibers by Incorporating Polycaprolactone for Maxillofacial Bone Plates Fabrication, *Applications of Information Systems in Engineering and Bioscience*, pp. 193–201, 2015.
- [64] Liu, J., Jia, C., He, C., Rice Straw and Cornstarch Biodegradable Composites, *AASRI Procedia*, vol. 3, pp. 83–88, 2013.

- [65] Ma, X., Yu, J., Kennedy, J. F., Studies On The Properties Of Natural Fibers-Reinforced Thermoplastic Starch Composites, *Carbohydrate Polymers*, vol. 62, pp. 19–24, 2005.
- [66] Hermansyah, H., Carissa, R., Faiz, M. B., Deni, P., Food Grade Bioplastic Based on Corn Starch with Banana Pseudostem Fibre/Bacterial Cellulose Hybrid Filler, *Advanced Materials Research*, vol. 997, pp. 158–168, 2014.
- [67] Takagi, H., Asano, A., Effects Of Processing Conditions On Flexural Properties Of Cellulose Nanofiber Reinforced “Green” Composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 39, pp. 685–689, 2008.
- [68] Devireddy, S. B. R., Biswas, S., Physical And Thermal Properties Of Unidirectional Banana-Jute Hybrid Fiber-Reinforced Epoxy Composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 15, pp. 1157–1172, 2016.
- [69] Lomelí Ramírez, M. G., De Muniz, G. I. B., Satyanarayana, K. G., Tanobe V., Iwakiri S., Preparation And Characterization Of Biodegradable Composites Based On Brazilian Cassava Starch, Corn Starch And Green Coconut Fibers, 1st TMS/ABM International Materials Congress, Brezilya, Haziran 2010.
- [70] Boopalan, M., Niranjanaa, M., Umapathy, M. J., Study On The Mechanical Properties And Thermal Properties Of Jute And Banana Fiber Reinforced Epoxy Hybrid Composites, *Composites Part B: Engineering*, vol. 51, pp. 54–57, 2013.
- [71] Annie Paul, S., Boudenne, A., Ibos, L., Candau, Y., Joseph, K., Thomas, S., Effect Of Fiber Loading And Chemical Treatments On Thermophysical Properties Of Banana Fiber/Polypropylene Commingled Composite Materials, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 9, pp. 1582–1588, 2008.
- [72] Abdullah, F. A., Theoretical And Experimental Investigation Of Natural Composite Materials As Thermal Insulation, *Al-Qadisiya Journal For Engineering Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 26-36, 2011.
- [73] Jayamani, E., Hamdan, S., Sound Absorption Coefficients Natural Fibre Reinforced Composites, *Composites and Developments*, vol. 22, pp. 56-60, 2014.
- [74] <http://www.promusa.org/Morphology+of+banana+plant>, erişim tarihi: 2 Mayıs 2019
- [75] Susheel, K., Kaith, B. S., Inderjeet, K., Pretreatments Of Natural Fibers And Their Application As Reinforcing Material In Polymer Composite – A Review’, *Polymer Engineering And Science*, pp. 1254-1272, 2009.
- [76] Janssen, L., Influence of Process Conditions on the Physical Properties of TPS, *Thermoplastic Starch: A Green Material for Various Industries*, pp.45-65, 2009.
- [77] Hulleman, H. D., Janssen, F. H. P., Feii H., The Role Of Water During Plasticization Starches, *Polymer*, vol. 39, no. 10, pp. 2043–2048, 1998.
- [78] Tempel, L., Temperature Solution for Transient Heat conduction in a Thin Bilayer Between Semi-Infinite Media in Thermal Effusivity Measurement, *Journal of Heat Transfer*, vol.15, pp. 1-37, 2015.

İletişim Bilgisi: sifanevzat@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. B. Ascioglu Temiztaş, N. Sifa, "Mısır Nişastası Bazlı Muz Lifi Takviyeli Doğal Kompozitin İmalatı ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi," INSAC-Ereğli International Science and Academic Congress, 2019, pp. 64-72.

