



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ENJEKSİYONLA KALIPLANMIŞ POLİMER KOMPOZİT
ÜRETİMİNDE DOLGU MADDESİ OLARAK KENEVİR
SAPLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE SANAYİ
ÖLÇEKLİ ÜRETİMDE MOBİLYA PARÇASI OLARAK
KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

İBRAHİM KILIÇ

DOKTORA TEZİ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2023

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENJEKSİYONLA KALIPLANMIŞ POLİMER
KOMPOZİT ÜRETİMİNDE DOLGU MADDESİ
OLARAK KENEVİR SAPLARININ
DEĞERLENDİRİLMESİ VE SANAYİ ÖLÇEKLİ
ÜRETİMDE MOBİLYA PARÇASI OLARAK
KULLANIM POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

İBRAHİM KILIÇ

DOKTORA TEZİ

Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı

KAHRAMANMARAŞ 2023

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

(İmza)

İbrahim KILIÇ

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 122O317

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**ENJEKSİYONLA KALIPLANMIŞ POLİMER KOMPOZİT ÜRETİMİNDE
DOLGU MADDESİ OLARAK KENEVİR SAPLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ
VE SANAYİ ÖLÇEKLİ ÜRETİMDE MOBİLYA PARÇASI OLARAK KULLANIM
POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ**

(DOKTORA TEZİ)

İbrahim KILIÇ

ÖZET

Bu çalışmada, dolgu maddesi olarak kenevir sapı (K) ve mobilya fabrikası atık talaşı (T) ile uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit aşılantısı polipropilen (MAPP) kullanımının polipropilen (PP) kompozitlerin bazı mekanik, fiziksel, morfolojik ve termal özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Farklı kombinasyonlarda üretilen test örneklerin seçilen bazı mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiş ve daha sonra sonuçlarının optimizasyonuna göre belirlenen bir grup prototip mobilya destek ayağı olarak üretilmiştir. Test numuneleri, ağırlıkça %10, 15, 20, 25, 30 ve % 35 oranında K veya T dolgu maddesi ile %0 veya %3 MAPP kullanılarak tek vidalı bir ekstruder ve enjeksiyonlu kalıplamanın bir kombinasyonu ile üretilmiştir. Sonuçlar, dolgu türünden bağımsız olarak dolgu maddesi ve MAPP içeren kompozitlerin saf PP'ye kıyasla önemli ölçüde iyileştirilmiş mekanik özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Dolgu miktarının artmasıyla eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekmede elastikiyet modülü, darbe direnci ve yoğunluk değerleri artmıştır. Çekme direnci dolgu miktarının artmasıyla azalırken, MAPP ilavesiyle çekme direncinde önemli artışlar gözlenmiştir. Artan dolgu oranının su absorpsiyonunu ve kalınlık artışlarını arttırdığı görülmüştür. MAPP ilavesinin polimer matris ve dolgu maddesi arasında daha iyi bir bağlanma gösterdiği SEM analizinde belirlenmiştir. Seçilen bazı mekanik ve fiziksel özelliklerin optimizasyon sonuçları, %20 oranında dolgu maddesi ve %3 oranında MAPP içeren formülasyonların prototip mobilya destek ayağı üretimi için en uygun olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Odun plastik kompozit, Polipropilen, Kenevir kompozit, Kenevir sapı, Lignoselülozik dolgu maddesi,

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
Ekim / 2023

Danışman: Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU
Sayfa sayısı: 135

**EVALUATION OF HEMP STALKS AS FILLER IN INJECTION MOLDED
POLYMER COMPOSITES PRODUCTION AND DETERMINATION OF ITS
POTENTIAL FOR USE AS FURNITURE MATERIALS IN INDUSTRIAL
PRODUCTION**

(PhD. THESIS)

İbrahim KILIÇ

ABSTRACT

In this study investigated the effects of the utilization of hemp stalks (HS) and furniture factory waste sawdust (FFWS) as filler and maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) as a coupling agent on some mechanical, physical, morphological, and thermal properties of polypropylene (PP) composites. Test specimens were manufactured using a combination of extrusion and injection molding processes. In the manufacturing of test samples were used, 10, 15, 20, 25, 30, and 35% by weight of HS and/or FFWS and 0% or 3% by weight of MAPP. The presence of fillers (H or T) and MAPP significantly improved mechanical properties compared to neat PP. The higher filler amount increased the flexural strength, flexural modulus, tensile modulus, impact resistance, and density. Tensile strength and elongation at break decreased with increasing filler amount, but the addition of MAPP caused a significant increase in tensile strength. Increasing the filler amount increased water absorption and unit thickness. The SEM analysis provided visual evidence that MAPP improved adhesion between the filler and the polymer matrix. Optimization results of selected mechanical and physical properties showed that formulation mixtures containing 20% filler and 3% MAPP fit best for prototype furniture legs manufacturing.

Keywords: Wood plastic composite, Polypropylene, Hemp composite, Hemp stalk, Lignocellulosic fillers

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute for Graduate Studies in Science and Technology
Department of Forest Industry Engineering,
October / 2023

Supervisor: Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU

Page number: 135

TEŞEKKÜR

TÜBİTAK tarafından desteklenen 122O317 proje nolu ve “Enjeksiyonla Kalıplanmış Polimer Kompozit Üretiminde Dolgu Maddesi Olarak Kenevir Saplarının Değerlendirilmesi ve Sanayi Ölçekli Üretimde Mobilya Parçası Olarak Kullanım Potansiyelinin Belirlenmesi” isimli bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümünde doktora tezi olarak hazırlanmıştır. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK’a teşekkür ederim.

Tez konusunun projelendirilmesi ve tezin hazırlanmasında, ilgi ve desteğini esirgemeyen ve çalışmalarımın her aşamasında yön gösteren, danışman ve öğrenci ilişkilerinde bir bilim adamı ve akademisyen olabilmenin temel niteliklerini bizlere kazandıran, bizleri ailesinin bir parçası olarak gören, saygıdeğer danışman hocam; Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU’na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde bulunmayı kabul eden ve hiçbir konuda yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Muhammet KÖSE, Prof. Dr. Deniz AYDEMİR, Doç. Dr. Kadir KARAKUŞ ve Doç. Dr. Alperen KAYMAKÇI’ya çok teşekkür ederim.

TÜBİTAK tarafından desteklenen bu çalışmanın proje ekibinde yer alan araştırmacılar Prof. Dr. Güngör YILMAZ, Doç. Dr. Nesrin KORKMAZ, Dr. Öğr. Üyesi İlkay ATAR ve Doktora Öğrencisi Büşra AVCI’ya çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince tecrübelerinden faydalandığım kıymetli arkadaşım Doç. Dr. Çağlar AKÇAY’a ve bilgilerinden faydalandığım Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Halil BAŞBOĞA hocama çok teşekkür ederim.

Prototip örneklerin üretilmesinde desteklerini esirgemeyen Modalife Plastik Mobilya İnşaat Sanayi ve Tic. Ltd .Şti. firmasına, fabrika müdürü Adem KARAPOLAT ve üretim sorumlusu Mustafa CESUR’a çok teşekkür ederim.

Endüstriyel Kenevirin ülkemizde farkındalığı noktasında katkısı olan ve Yozgat Bozok Üniversitesi’nin İhtisas Üniversitesi olmasına katkısı olan Prof. Dr. Ahmet KARADAĞ ve ekibine çok teşekkür ederim.

Son olarak her koşulda yanımda olup benden desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme, sevgili eşim Serpil KILIÇ’a, kızlarım Asel KILIÇ ve Almila KILIÇ’a şükranlarımı sunarım.

İbrahim KILIÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Odun Plastik Kompozitler Hakkında Genel Bilgiler	5
1.2 Mobilya Sektörü Hakkında Genel Bilgiler	14
1.3 Tez Kapsamında Kullanılan Hammaddeler Hakkında Genel Bilgiler	16
1.3.1 Kenevir	16
1.3.2 Mobilya fabrikası (M.F.) atık talaş	19
1.3.3 Polipropilen	19
1.3.4 Maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MAPP)	20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	40
3.1 Materyal	40
3.1.1 Lignoselülozik hammadde	40
3.1.2 Polimer matris	40
3.1.3 Katkı maddesi	41
3.2 Yöntem	41
3.2.1 Hammaddelerin hazırlanması	41
3.2.2 Lignoselülozik katkıli termoplastik kompozit örnek ve prototip ürün üretilmesi	45
3.2.3 Üretilen kompozit test örneklerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test ve analizler	52
3.2.3.1 Mekanik özelliklerin belirlenmesi	52
3.2.3.1.1 Çekme direnci testi	53
3.2.3.1.2 Çekmede elastikiyet modülü testi	54

3.2.3.1.3 Kopmada uzama değerleri testi	54
3.2.3.1.4 Eğilme direnci testi	54
3.2.3.1.5 Eğilmede elastikiyet modülü testi.....	55
3.2.3.1.6 Darbe direnci testi.....	56
3.2.3.2 Fiziksel özellikler	58
3.2.3.2.1 Yoğunluk belirleme testi.....	58
3.2.3.2.2 Su alma testi	59
3.2.3.2.3 Kalınlık artış testi.....	60
3.2.3.3 Termal özellikler	61
3.2.3.3.1 Termo-gravimetrik analiz (TGA)	61
3.2.3.3.2 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC).....	62
3.2.3.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi.....	63
3.2.3.5 Erime akış indeksi (MFI)	64
3.3 Verilerin Analizi	64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	65
4.1 Üretilen Kompozit Test Örneklerin Özelliklerinin Belirlenmesi	65
4.1.1 Mekanik özellikler	65
4.1.1.1 Çekme direnci.....	67
4.1.1.2 Çekmede elastikiyet modülü	70
4.1.1.3 Kopmada uzama	73
4.1.1.4 Eğilme direnci	75
4.1.1.5 Eğilmede elastikiyet modülü	78
4.1.1.6 Darbe direnci	80
4.1.2 Fiziksel özellikler.....	83
4.1.2.1 Yoğunluk	83
4.1.2.2 Su alma oranı.....	85
4.1.2.3 Kalınlık artış oranı.....	88
4.1.3 Termal özellikler	91
4.1.3.1 Termo-gravimetrik analiz (TGA).....	91
4.1.3.2 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)	94
4.1.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi.....	96
4.1.5 Erime akış indeksi (MFI)	99
4.2 Prototip Mobilya Destek Ayaklarının Üretilmesinde Grup Seçimi.....	100
4.2.1 Mobilya destek ayağında uygulanan testler	102

5. SONUÇ VE ÖNERİLER	106
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	117



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Polimerlerde güçlendirici ve dolgu maddesi olarak kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması	7
Şekil 1.2. OPK üretiminde içi boş kesitli profil görseli	9
Şekil 1.3. Kenevir bitkisinin kullanım alanları.....	17
Şekil 1.4. Kenevir sapı; a) sak lifi, b) odunsu kısım.....	18
Şekil 1.5. MAPP'ın lignoselülozik lif yüzeyinde hidroksil grubu ile reaksiyonu.....	20
Şekil 3.1. Doğal kurumaya bırakılmış kenevir sapları	42
Şekil 3.2. Öğütme makinesi.....	42
Şekil 3.4. Sarsak elek.....	43
Şekil 3.5. Eleme işleminde kenevir sak lifi topaklanma görüntüsü.....	44
Şekil 3.6. Mobilya fabrikası atık talaş içerik analizinde karışım içerisinde rastgele seçim işlemi	45
Şekil 3.7. Lignoselülozik katkılı polimer kompozit üretim iş akışı	48
Şekil 3.8. Test örnekleri a) Çekme test örneği, b) Eğilme test örneği ve c) Darbe test örneği.....	48
Şekil 3.9. Prototip mobilya destek ayağı görseli a) Dolgu maddesi atık talaş kullanılan ürün, b) Dolgu maddesi kenevir sapı kullanılan ürün ve c) Kanepede destek ayağı görüntüsü	49
Şekil 3.10. Rutubet ölçme makinesi	49
Şekil 3.11. Kompozit üretiminde kullanılan a) Karıştırıcı ve b) Kırıcı	50
Şekil 3.12. Ekstruder makinesi ve OPK üretimi.....	50
Şekil 3.13. Test örneklerinin üretildiği enjeksiyon kalıplama makinesi	51
Şekil 3.14. Prototip mobilya destek ayaklarının üretildiği enjeksiyon kalıplama makinesi.....	52
Şekil 3.15. Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi ve çekme deneyi testi.....	53
Şekil 3.16. Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi ve eğilme deneyi testi	55
Şekil 3.17. Polytest RayRan TM çentik açma cihazı	57
Şekil 3.18. Darbe direnci testi	57

Şekil 3.19. Yoğunluk belirleme aparatları.....	58
Şekil 3.20. Su alma testi	59
Şekil 3.21. Kalınlık artış testi	60
Şekil 3.22 a) IKA öğütücü, b) Exstar DTA/TG 6300 termogravimetrik analiz deney cihazı.....	61
Şekil 3.23. PerkinElmer DSC–8000 diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı.....	62
Şekil 3.24. a) SEM cihazı, b) SEM numune kaplama cihazı.....	63
Şekil 3.25. Ray-Ran marka MFI cihazı	64
Şekil 4.1. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekme direnci değerlerine ait etkileşim grafiği.....	68
Şekil 4.2. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekmede elastikiyet modülü değerlerine ait etkileşim grafiği.....	72
Şekil 4.3. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın kopmada uzama değerlerine ait etkileşim grafiği.....	74
Şekil 4.4. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilme direnci değerlerine ait etkileşim grafiği.....	77
Şekil 4.5. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait etkileşim grafiği.....	79
Şekil 4.6. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın darbe direnci değerlerine ait etkileşim grafiği.....	82
Şekil 4.7. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın yoğunluk değerlerine ait etkileşim grafiği.....	84
Şekil 4.8. a) K grupları, b) T grupları su alma oranları	87
Şekil 4.9. a) MAPP'sız K ve T grupları, b) MAPP'lı K ve T gruplar su alma oranları.....	88
Şekil 4.10. a) K grupları, b) T grupları kalınlık artış oranları	90
Şekil 4.11. a) MAPP'sız K ve T grupları, b) MAPP'lı K ve T gruplar kalınlık artış oranları.....	91
Şekil 4.12. Kompozitlerin Kompozit örneklerin a) TGA, b) DTGA eğrileri.....	92
Şekil 4.13. Kompozit örneklerin DSC eğrileri a) endotermik b) ekzotermik.....	95
Şekil 4.14. Kenevir sapı (K) dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri; K1=T1 (%100 PP), K7 (%20 K + %80 PP), K8 (%20 K + %77 PP + %3 MAPP), K13 (%35 K + %65 PP) ve K14 (%35 K + %62 PP + %3 MAPP)	97

Şekil 4.15. M.F. atık talaş (T) dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri; T ₁ =K ₁ (%100 PP), T ₇ (%20 T + % 80 PP), T ₈ (%20 K + %77 PP + %3 MAPP), T ₁₃ (%35 T + %65 PP) ve T ₁₄ (%35 T + %62 PP + %3 MAPP).....	98
Şekil 4.16. Kontrol grubu saf PP ile üretilen örneklerde MFI analiz görüntüsü	99
Şekil 4.17. Dolgu maddesi ilaveli örneklerde MFI analiz görüntüsü	100
Şekil 4.18. Mobilya destek ayağı üretimi için seçilen formülasyona ait değerler.....	101
Şekil 4.19. Üretilen mobilya destek ayağı görseli a) Atık talaş kullanılan ürün, b) Kenevir sapı kullanılan ürün ve c) Destek ayaklarının kanepedeki görüntüsü	102
Şekil 4.20. Üretilen prototip mobilya destek ayakları su alma değerlerine ait etkileşim grafiği.....	103
Şekil 4.21. Üretilen prototip mobilya destek ayakları kalınlık artış testine ait görüntü.....	103
Şekil 4.22. Üretilen prototip mobilya destek ayakları kalın artış değerlerine ait etkileşim grafiği.....	104
Şekil 4.23. Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi ve basma deneyi testi.....	105
Şekil 4.24. Üretilen prototip mobilya destek ayaklarına ait basma test sonuçları.....	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. MH 418 PP'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri.....	41
Çizelge 3.2. Katkı maddesi MAPP özellikleri.....	41
Çizelge 3.3. Kenevir elek analizi.....	44
Çizelge 3.4. M.F. atık talaş içerik analiz ve yüzdesi	45
Çizelge 3.5. Kompozit üretimlerine ait çalışma deseni	46
Çizelge 3.6. Optimizasyon için kriterlerden beklenen amaçlar (Kısıtlamalar)	52
Çizelge 4.1. Test örneklerine ait mekanik özellikler	66
Çizelge 4.2. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama değerleri ve standart Sapma.....	67
Çizelge 4.3. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekme direnci etkisine ait ANOVA sonuçları.....	68
Çizelge 4.4. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama değerleri ve standart sapma	70
Çizelge 4.5. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekmede elastikiyet modülü etkisine ait ANOVA sonuçları	71
Çizelge 4.6. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama ortalama değerleri ve standart sapma.....	73
Çizelge 4.7. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın kopmada uzama etkisine ait ANOVA sonuçları.....	74
Çizelge 4.8. Deney numune gruplarına ait eğilme direnci ortalama değerleri ve standart sapma.....	75
Çizelge 4.9. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilme direnci etkisine ait ANOVA sonuçları.....	76
Çizelge 4.10. Deney numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerleri ve standart sapma	78
Çizelge 4.11. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilmede elastikiyet modülü etkisine ait ANOVA sonuçları	79
Çizelge 4.12. Deney numune gruplarına ait darbe direnci ortalama değerleri ve standart sapma.....	80
Çizelge 4.13. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın darbe direnci etkisine ait ANOVA sonuçları.....	81

Çizelge 4.14. Deney numune gruplarına ait yoğunluk ortalama değerleri ve standart sapma.....	83
Çizelge 4.15. Dolgu maddesi oranı, dolgu maddesi türü ve MAPP'ın yoğunluk değerlerine ait ANOVA sonuçları	85
Çizelge 4.16. Deney numunelerine ait su alma oranları.....	86
Çizelge 4.17. Süre, dolgu maddesi miktarı, dolgu maddesi türü ve MAPP'ın su alma oranları etkisine ait ANOVA sonuçları.....	87
Çizelge 4.18. Deney numunelerine ait kalınlık artış oranları	89
Çizelge 4.19. Süre, dolgu maddesi miktarı, dolgu maddesi türü ve MAPP'ın kalınlık artış oranları etkisine ait ANOVA sonuçları	90
Çizelge 4.20. Kenevir ve M.F. atık talaş katkılı polipropilen (PP) kompozitlerin TGA verileri	92
Çizelge 4.21. Kompozit örneklerin DSC sonuçları ve kristallik değerleri.....	95
Çizelge 4.22. Optimizasyon İçin Belirlenen Kriterler ve Arzu Edilen Hedefler (Kısıtlamalar).....	101

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

OPK	: Odun-plastik kompozit
MAPP	: Maleik anhidritli polipropilen
PP	: Polipropilen
K	: Kenevirli gruplar
T	: Mobilya fabrikası atık talaşlı gruplar
MFI	: Erime akış indeksi
M.F.	: Mobilya fabrikası
TGA	: Termogravimetrik analiz
DSC	: Diferansiyel taramalı kalorimetre
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
ASTM	: American Society for Testing and Materials
δE	: Eğilme direnci
EM	: Eğilmede elastikiyet modülü
ÇD	: Çekme direnci
E	: Çekmede elastikiyet modülü
ϵ	: Kopmada uzama
DE	: Darbe direnci
YD	: Yoğunluk değeri
SA	: Su alma oranı
KA	: Kalınlık artış oranı
Xc	: Kristallik değeri
ΔH_m	: Erime entalpisi
ΔH_c	: 100 kristalli polipropilen formunun erime entalpisi
MPa	: Megapaskal
kJ/m²	: Kilojoule/metrekaare

N/mm² : Newton/milimetrekare

kg : Kilogram

°C : Santigrat derece

gr : Gram

cm : Santimetre

mm : Milimetre

µm : Mikron



1.GİRİŞ

Günümüzde artan çevre bilinci, petrol kaynaklarının tükenme endişesi, sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm gibi kavramlar daha çevreci malzemelerin üretilmesini teşvik etmektedir. Odun plastik kompozitlere olan ilgi de bu yeni paradigmanın bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Odun plastik kompozitler (OPK), odun ve/veya selülozik liflerin genellikle polietilen (PE), polipropilen (PP) polivinil klorür (PVC), polistiren (PS), akrilonitril bütadiyen stiren (ABS) ve polilaktik asit (PLA) gibi polimerlerin bir karışımından oluşur (Klyosov, 2007; Behraves ve ark., 2010; Kim ve Pal, 2010). Selülozik lif ya da odun ifadesi, iğne yapraklı ve yapraklı ağaç ürünleri (çam, kavak, kayın vb.) veya kereste parçacıklarının öğütülmesinden elde olunan odun unları, ağartılmış selüloz ve doğal lifler (kenevir, keten, kenaf vb) ile atıklar (buğday sapı, mısır sapı, kenevir sapı, fındık kabuğu, çay atıkları, mobilya fabrikası lignoselülozik atıkları vb.) şeklindeki lignoselülozik liflerdir (Klyosov, 2007; Kim ve Pal, 2010; Karakuş ve ark., 2017; Mengeloğlu ve Çavuş, 2020). Son yıllarda odun plastik kompozitlerin yaygınlaşmasıyla birçok lignoselülozik esaslı ürün kompozit malzeme üretimi için hammadde haline gelmiştir (Mantia ve Morreale, 2011). Bu ürünler birincil hammadde kaynaklarından elde edilebileceği gibi tarımsal ve orman ürünleri sektöründe oluşan lignoselülozik atıkların değerlendirilmesi şeklinde de olabilir (Özmen ve ark., 2014; Mengeloğlu ve ark., 2015).

Lignoselülozik malzemelerin işlenme kolaylığı, düşük yoğunluğu, düşük maliyeti ve yenilenebilir olması, plastiklerde dolgu maddesi olarak tercih edilmesini öne çıkarmaktadır (Mohanty ve ark., 2002; Karakuş ve ark., 2011; Karakuş ve ark., 2017; Mengeloğlu ve ark., 2015; Wu ve ark., 2020). Aynı zamanda biyobozunur, sürdürülebilir ve geri dönüştürülebilir malzemeler geliştirilmesine yönelik artan taleple beraber son yıllarda lignoselülozik materyallerin kompozit üretiminde değerlendirilmesi artmıştır (Mengeloğlu, 2006; Karakuş ve ark., 2011; Shahzad, 2011; Youssef vd., 2019). Odun plastik kompozitler farklı uygulama alanlarına sahip "çevreci kompozit" gibi değişik isimlerle adlandırılan kompozit malzemelerdir (Netravali and Chabba 2003; Mantia ve Morreale, 2011).

Kenevir sapları, bünyesinde selülozik ve odunsu lifler bulundurmaktadır. Sapların iç kısmında ligninleşmiş odunsu kısım bulunurken, bunları çevreleyen dış kısımda ise selülozca zengin sak lifleri bulunmaktadır. Odunsu kısım ve sak lifleri birbirinden farklı özelliklere sahip olduklarından farklı alanlarda kullanım potansiyelleri bulunmaktadır.

Fakat bu liflerin ayrı ayrı elde edilmesindeki zorluklar ve maliyetler göz önüne alındığında kenevir saplarının (odunsu kısım + sak lifi) tümünün birlikte kullanılabilecekleri kullanım alanlarının geliştirilmesi önem kazanmaktadır (Mengeloğlu, 2020). İncelenen literatür çalışmalarında genellikle polimer matrislerde dolgu maddesi olarak endüstriyel kenevirden elde edilen sak lifleri ve/veya odunsu kısımları ayrı ayrı olarak değerlendirilmiştir (Beckermann ve Pickering, 2008; Lopez ve ark., 2012; Beaugrand ve ark., 2014; Rey ve ark., 2017; Díaz ve ark., 2020; Wu ve ark., 2020; Burgada ve ark., 2021). Fakat kenevir saplarının tümünün bir arada kullanıldığı çalışmalar ise oldukça sınırlıdır. Bu tez çalışmasında, yapılmış diğer birçok çalışmadan farklı olarak kenevir sapları sak lifi ve odunsu kısım şeklinde ayrıştırılmadan bir bütün haliyle öğütülerek kullanılmıştır. Aynı zamanda 2016 yılı itibarıyla endüstriyel kenevir yetiştiriciliğinin 20 ilde izne bağlı olarak yetiştirilmesi ve 2020 yılında Yozgat Bozok Üniversitesinin bölgesel kalkınma odaklı “Endüstriyel Kenevir” alanında ihtisaslaşan üniversite olması kenevire yönelik çalışmaların yapılmasına teşvik edici olmuştur.

OPK üretimlerinde dolgu maddesi olarak kullanılan endüstriyel lignoselülozik atıkların en önemlilerinden biriside mobilya fabrikalarında oluşan atıklardır. Mobilya, günlük yaşamın her alanında kullanılan bir ürün olmanın yanında her geçen gün artan taleple karşılaşmaktadır. Mobilya endüstrisinde hammadde olarak kullanılan ahşap ve ahşap esaslı ürünlerin (MDF, yongalevha, yongalam, kontrplak vb.) kullanımları sonrasında atıklar meydana gelmektedir. Ortaya çıkan atıklar genellikle bertaraf edilmek ya da yakılmak üzere silolarda toplanmaktadır. Fakat üretim süreçlerinin tamamlanması sonucu ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi yerine geri dönüşüm ve geri kazanımının sağlanarak tekrar kullanıma sunulması sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Türkiye’de mobilya sektörünün her geçen gün gelişmesi ve kapasitelerinin artmasıyla ortaya çıkan lignoselülozik atıkların odun plastik kompozitlerinde hammadde olarak değerlendirilmesi potansiyeli dikkat çekmektedir.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de yeniden değerlendirilme imkanı olan atıkların çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirilerek ikincil hammaddeye dönüştürülmesi ve tekrar üretim sürecine dahil edilmesi sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. 2019 yılında Resmi Gazete’de yayınlanan “SIFIR ATIK” yönetmeliği çerçevesinde tüm kurum ve kuruluşlar atıkların azaltılması ve geri kazanılması çalışmalarına hız vermiştir. Bunun neticesinde üretim, tüketim ve hizmet süreçlerinin tamamlanması sonucu ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi yerine, geri dönüşüm ve geri

kazanımının sağlanarak tekrar kullanıma sunulması önem arz etmektedir. Atıkların, geri dönüşüm süreci içerisinde değerlendirilmeden bertarafı, hem maddi hem de enerji kayıplarına neden olduğundan geri kazanım süreçleri önemli görülmektedir. Aynı zamanda atıkların değerlendirilmesi yanında, doğal ve yenilenebilir (lignoselülozik) kaynakların üretim süreçlerinde yaygın kullanılması, daha çevrecil ürünlerin üretilmesi ve sürdürülebilirlik yönetimlerine katkı sunulması da önemli görülmektedir. Bunun yanında, 11. Kalkınma Planı'nda rekabetçi üretim ve verimlilik hedefleri çerçevesinde sunulan AR-GE ve yenilik konusunun amaçlarında, katma değerli üretim yapılması ve yenilikçi ürün geliştirilmesi vurgusu da bu çalışmanın oluşturulmasına katkı sunmuştur. Çalışmayla birlikte üretilen ürünlerde kenevir sapı ve mobilya fabrikasında ortaya çıkan lignoselülozik atıklarının kullanılacak olması, atıkların sürdürülebilirlikleri çerçevesinde yeniden kullanıma sunulması ve katma değerli ürünlere dönüştürülmesi yönünde olacağından çalışmayı önemli kılmaktadır. Çalışma sonucunda birincil hammadde kullanımının azaltılması yanında atık miktarlarının da azaltılmasına sağlanarak daha çevrecil bir yaşam sürülmesi yaklaşımına destek olunacağı düşünülmektedir.

OPK ürünleri: profiller, kaplamalar, zemin kaplaması, çatı kiremitleri ve pencere pervazları yaygın olarak ekstrüzyon işlemleriyle üretilir (Wechsler ve Hızıroğlu 2007). Bunun yanında, plastik ürün üreticileri birçok ürün imalatında enjeksiyon yöntemini kullanmasına rağmen OPK imalatındaki uygulamalar sınırlı kalmıştır. Çünkü, OPK granül matrisin erimiş halde işleme sırasında akmasının azalması, enjeksiyon kalıplarının doldurulmasındaki zorluk ve yüzey pürüzlüğü gibi çeşitli problemler enjeksiyon yöntemiyle karmaşık şekilli öğelere sahip ürünlerin üretilmesini zorlaştırabilmektedir. Bu durum, enjeksiyon yönteminin sunduğu ürün şekli ve çeşitliliğinin OPK üretiminde değerlendirilme potansiyelini güçleştirmektedir. Sınırlı sayıda yapılan ürün geliştirme çalışmaları, üretilebilecek ürünlerin kullanım alanlarının belirlenmemiş olması veya bu yöntemle üretilen ürünlerin kullanım alanlarına uygunluklarının yeterince bilinmemesi bu alandaki ilerlemeyi geciktirmektedir. Bu potansiyelin ortaya çıkarılması için bu alanda yapılan çalışmaların ve üretimlerin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Enjeksiyon kalıplı OPK ürün üretimi için hala büyük bir potansiyel olduğu açıktır. Bu tez çalışmasında enjeksiyon kalıplama yöntemiyle OPK örneklerin ve mobilya endüstrisinde kullanılan bir ürünün (prototip mobilya destek ayakları) üretilmesi gerçekleştirilmiştir.

Enjeksiyon yöntemiyle üretilen mobilya aksesuarları (koltuk, masa, dolap ve sandalye ayakları ile mobilya bağlantı elemanları vb.) ve bahçe mobilyası üretimlerinde

plastikler oldukça fazla kullanılmaktadır. Ancak, incelenen literatür taramasında lignoselülozik dolgu maddelerinin polimerler içerisine katılarak enjeksiyon yöntemiyle kompozitlerin üretimi ve bu alanlarda kullanımı oldukça yetersizdir. Bunda üreticilerin ağırlıklı olarak sadece plastikleri kullanarak üretimler yapması ve lignoselülozik dolgu maddelerinin bu alanda kullanımındaki bilgi ve deneyim eksikliklerinin olduğu söylenebilir. Lignoselülozik materyaller özelinde kenevir sapsarı ve mobilya fabrikası talaş atıklarının, mobilya sektöründeki enjeksiyon yöntemiyle üretilen ürünlerde dolgu maddesi olarak kullanılacak olması ve Türkiye mobilya sektörünün gelişmiş ve gelişmekte olan bir sektör olması bu çalışmayı önemli kılmaktadır.

Bu çalışmada, OPK örneklerin üretilmesi ve örnekler arasından seçilen bir formülasyon grubunun mobilya fabrikasının enjeksiyon prosesinde prototip ürün üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bir ayağının sanayi tipi üretime yönelik olması ve elde edilecek çıktılarının kullanımında sanayicinin kendi bünyesinde oluşturulan lignoselülozik atıkları değerlendirebilmesi açısından önemli görülmektedir. Ayrıca, kenevir sapsarını sak ve odunsu kısım şeklinde ayrıştırmadan bir bütün olarak kullanabilme potansiyeli, fabrikasyon üretimlerine geçişte kenevir sapsarının üretime hazır hale getirilmesindeki yatırım maliyetlerinde (öğütme, eleme vb.) önemli avantajlar sunabilecektir. Farklı üretim yöntemleri (ekstrüzyon, enjeksiyon, pres kalıplama vb.) üzerine yapılmış birçok çalışma mevcut iken sanayiye aktarılmış ve piyasada üretimleri gerçekleştirilen yöntemler ağırlık olarak ekstrüzyon yöntemiyle profil üretimleri ve kısmen pres kalıplama yöntemiyle levha üretimleri şeklindedir. Enjeksiyon yöntemiyle üretilen ürünlerin piyasaya sunulmasında yetersizlikler mevcuttur. Bunda enjeksiyon yöntemiyle üretimlerde kalıplama maliyetlerinin fazlalığı ve her bir çeşit ürün için farklı kalıp yaptırılması gerekliliği öne çıkmaktadır. Bu dezavantajın ortadan kaldırılması için hali hazırda birçok çeşit ürün yelpazesi ve kalıpları bulunan plastik mobilya ve aksesuar üreticisi firma “Modalife Plastik Mobilya İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi” bu çalışmada paydaş olarak yer almıştır.

Sonuç olarak bu çalışmada, kenevir sapsarı ve bir mobilya fabrikasında ortaya çıkan lignoselülozik atıkların PP bazlı odun plastik kompozit üretimlerindeki potansiyel kullanımı ve prototip ürüne dönüştürülebilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, OPK üretimleri test örnekleri ve prototip ürün üretimi (mobilya destek ayakları) olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada farklı kombinasyonlarda üretilen test örneklerinin seçilen bazı mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise bu özellikler optimize

edilmiş ve farklı kombinasyonlar arasından belirlenmiş olan bir formülasyon mobilya destek ayağı olarak üretilmiştir. Optimizasyonda hedeflenen ürünün özelliklerinin istenilen aralıkta kalmasına dikkat edilmiştir. Çalışmanın sanayi üretimine yönelik bir ön çalışma olması, üreticinin üretilecek prototipin aynısını %100 plastikten ürettiği olması ve mevcut kalıp tasarımları göz önüne alınarak çok yüksek oranda dolgu içeriğinin kullanımından kaçınacak bir yaklaşımla grup seçimine özen gösterilmiştir. Bu amaçla, farklı kombinasyonlar arasından elde edilen değerlerden seçim yapılırken maksimum, minimum ve aralık (var olan değerler arasında en uygun olanın seçilmesi) kısıtlamaları dikkate alınmıştır.

1.1 Odun Plastik Kompozitler Hakkında Genel Bilgiler

Kompozit malzemeler, tüketicilerin ve endüstrilerin yüksek performanslı malzeme ve yapılaraya yönelik artan talebinin bir sonucu olarak son yıllarda ortaya çıkan üstün spesifik özellikli malzemelerdir. Kompozit terimi, iki veya daha fazla sayıdaki farklı kimyasal özelliklere sahip malzemelerin bir araya getirilmesiyle yeni özelliklerin kazandırıldığı malzemeleri ifade eder (Güler, 2001; Kim ve Pal, 2010). Odun-plastik kompozit (OPK) terimi ise odun esaslı malzemeleri polimerlerle birleştiren bir kompozit şeklidir. Bir başka ifadeyle OPK'lar odun ve/veya odun dışı (doğal lif, lignoselülozik lif vb.) liflerin termoset veya termoplastiklerle birleştirildiği kompozit anlamına gelmektedir (Ashori, 2008; Gardner ve ark., 2015). Termosetler, belli bir sıcaklığın üzerinde kalıcı olarak sertleşen ve daha sonrasında geri dönüşümü olmayan plastiklerdir. Bunlar, orman ürünleri endüstrisinin en aşına olduğu epoksiler ve fenolikler gibi reçineleri içerir. Termoplastikler ise tekrar tekrar eritilebilen plastiklerdir. Termoplastiklerin bu özellikleri, odun ve/veya odun dışı liflerin kompozit bir ürün oluşturmak üzere plastiklerle karıştırabilmesini mümkün kılmaktadır (Ashori, 2008). OPK'lar odun ve/veya lignoselülozik dolgu maddelerinin çeşitli termoplastik ve katkı maddeleriyle karıştırılarak ekstrüzyon, pres kalıplama ve enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle üretildiği yenilikçi malzemelerdir (Gardner ve ark., 2015). Polimerlerde dolgu maddesi kullanımı iki amaçla yapılmaktadır. İlk olarak saf polimere benzer bir özellik sağlarken maliyeti düşürmek, ikinci olarak ise saf polimere kıyasla performans özelliklerini artırmayı amaçlamaktır (Kim ve Pal, 2010).

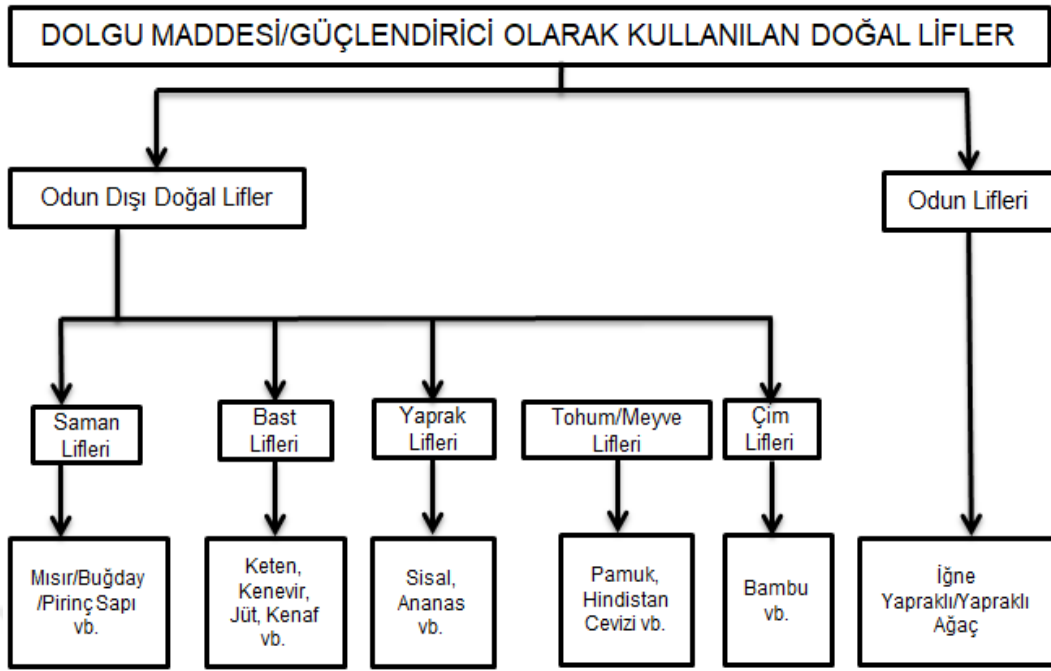
Gelişen teknolojiyle birlikte karbon, aramid ve cam gibi yapay liflerin yerine kenaf, keten, jüt, kenevir ve sisal gibi doğal liflerin otomotiv endüstrisi gibi bazı uygulama

alanlarında kullanımı son yıllarda dikkat çekmiştir. Doğal liflerin cam ve karbon gibi sentetik veya yapay liflere göre avantajları; düşük maliyet, düşük yoğunluk, kabul edilebilir özgül mukavemet özellikleri, karbon dioksit tutma ve biyolojik olarak parçalanabilirlik özellikleri sayılabilir (Mohanty ve ark., 2002).

OPK üretimlerinde dolgu maddesi veya güçlendirici olarak kullanılabilecek çeşitli sayıda farklı doğal lifler vardır. Lifli bitki hücrelerinin çoğu uzun ince lifler halinde birbirlerine yapışık olmasına karşın, uzunlukları bitkinin uzunluğuna bağlıdır. Lifler, hücre duvarlarının sertliğine ve kalınlığına, hücrelerin uzunluğuna ve kabalıklarına göre farklılık gösterebilirler (Bos, 2004). OPK’larda dolgu maddesi ve/veya güçlendirici olarak kullanılan birçok doğal lif vardır. OPK’larda kullanılan bu doğal lifler odun veya odun dışı liflerden elde edilebilir (Şekil 1.1) Bu doğal liflerden en önemlileri keten, kenevir, jüt, kenaf ve sisal lifleridir (Mohanty ve ark., 2002). Bu lifler ağırlıklı olarak selüloz ve ligninden oluşmakta ve bunlar lignoselülozik lifler olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak doğal lifleri uygulamada cazip kılan dört ana neden vardır.

Bunlar;

- 1) Kendine özgü özellikleri,
- 2) Fiyatları,
- 3) Sağlık açısından avantajları
- 4) Dönüştürülebilirlikleridir (Mohanty ve ark., 2001; Mohanty ve ark., 2002; Fotouh ve ark., 2014; Mengeloğlu ve ark., 2015; Wu ve ark., 2020).



Şekil 1.1. Polimerlerde güçlendirici ve dolgu maddesi olarak kullanılan doğal liflerin sınıflandırılması (Mohanty ve ark., 2002).

Odun-plastik kompozitlerin birtakım avantaj ve dezavantajları vardır (Balla et al., 2019; Gardner and Murdock, 2010; Faruk et al., 2012; Kılıç, 2012; Koronis et al., 2013; Mohanty et al., 2000; Mohanty et al., 2002).

Avantajları;

- Daha çevreci ve yenilenebilir ürünlerdir ve potansiyel olarak geri dönüşümleri mümkündür.
- Plastik matris içerisinde lignoselülozik esaslı dolgu maddelerinin kullanılması onları daha sert yapmakta ve maliyetlerini düşürmektedir.
- Doğal lifler ve lignoselülozik atıkların kullanımı ile daha az fosil kaynaklı ürünler kullanılır ve daha az enerji harcanır.
- Basınç özellikleri üstündür.
- Masif ahşap malzemeye göre bakım maliyeti daha düşüktür.
- Su emme kabiliyeti iyileşir ve biyolojik saldırılara dayanıklıdır.
- Boyutsal sabitliği masife ahşaba göre daha iyidir.
- Ahşap malzemelerde görülen kıvrıklık ve yamukluk OPK'larda bulunmaz.

Dezavantajları;

- Lignoselülozik esaslı maddelerden kaynaklanan nem alma isteği ve çürümesi bir nebze olsa problem olabilir.

- OPK'ların içerisinde bulunan lignoselülozik esaslı bölgelerin rutubet alması küf mantarlarının oluşumuna neden olabilir.
- Tarım politikaları sonucu oluşabilecek fiyat dalgalanmaları.
- Dekoratif açıdan masif ağaç malzeme kadar estetik değildir.
- Termoplastiklere lignoselülozik esaslı lifler eklendiğinde güneş ışınlarından kaynaklanan ağarma ve beyazlaşmalar olabilir.
- Ahşap malzemeye göre daha ağır ve daha az sert olması dezavantajları olarak sıralanabilir.

Odun-plastik kompozitlerin avantaj ve dezavantajları birlikte ele alındığında bu malzemelerin uygulamada kullanılması için birçok olumlu yönde avantajları bulunmaktadır.

OPK malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı en büyük sektörlerden birisi, dış (açık alan) ortam koşullarında kullanılan sekoya ve tik gibi normal ahşaplardan daha pahalı ve dayanıklı olan ahşap türlerinin ve/veya koruyucuyla işlenmiş ahşap malzemelerin yerine geçecek zemin kaplama malzemesi (deck) üretim sektörüdür (Gardner ve Murdock, 2010). Ayrıca oturma bankı, kamelya, çit ve dış cephe kaplama gibi birçok ürünün üretilmesinde de oldukça fazla yer almaktadır. Odun-plastik kompozitler farklı üretim metotları kullanılarak üretilir. Bu üretimlerde öncelikle kullanılan termoplastik ve lignoselülozik materyalin birbirine homojen bir şekilde karıştırılması gerekmektedir. Karıştırma işlemi ısıtmalı ya da ısıtmasız mikserler aracılığıyla yapılır. Isıtmalı mikserler kullanıldığında, kullanılan polimerin çeşidine göre değişmekle birlikte karışım belli bir sıcaklıkta yumuşamaya ya da erimeye başlar bu aşamadan sonra karışımlar mikserden dışarıya dökülerek soğutulup ve daha sonra küçük parçacıklara bölünerek kurutulur. Isıtmasız mikserler kullanıldığında ise mikserler sadece karıştırma görevini üstlenirler ve oluşturulan bu karışımlar ekstrüderlerde yumuşatılırlar ya da eritilirler. Ekstrüderlerin ucundaki kalıptan alınan çıktılar küçük parçacıklara bölünerek kurutulurlar. Her iki şekilde de elde edilen parçacıklara son şekilleri verilmek amacıyla ekstrüzyon kalıplama, presle kalıplama veya enjeksiyon kalıplama işlemi gerçekleştirilir (Mengeloğlu, 2006; Klyosov, 2007; Kim ve Pal, 2010; Çavuş, 2017; Kilic ve ark., 2023).

Ekstrüder, OPK üretim prosesinin en önemli aşamasıdır. Ekstrüderin temel amacı polimeri eritmek ve polimer ile odunu ve diğer katkı maddelerini karıştırmaktır. Bunun yanında ekstrüderler OPK karışımlarını bir kalıptan geçirerek nihai ürün şekli (deck vb.) de verebilmektedir. OPK üretmek için çeşitli ekstrüzyon işlemleri kullanılmaktadır ve bazı

Üreticiler ağırlığı ve malzeme maliyetlerini azaltmak için içi boş kesitli profillerin (Şekil 1.2) üretimini benimsemiştir. OPK üretiminde kullanılan polimerler arasında termoplastik reçineler, en önemlileri ise düşük ve yüksek yoğunluklu polietilen, polipropilen ve polivinil klorür yer almaktadır. OPK üretiminde kullanılan termoplastiklerin odunun termal bozunmasının (yaklaşık 225 °C) altında bir erime sıcaklığına sahip olması gerekir. Kullanılan termoplastikler hem saf polimerler hem de geri dönüştürölmüş polimerler olabilir. OPK üretiminde kullanılan odun unları genellikle 40 mesh veya daha düşük boyut formlarındadır. Odun ununun polimere oranı ise yaklaşık olarak %20 ile %60 arasında değişebilmektedir. Ayrıca kompozitlere katkı maddeleri olarak çeşitli proses destekleyicisi (yağlayıcılar, antioksidanlar, asit temizleyiciler) maddeler ve kompozitlerin özelliklerini arttırıcı (birleştirme ajanları, biyositler, yangın geciktiriciler, UV stabilizatörleri, inorganik dolgu maddeleri, renklendiriciler, vb.) maddeler ilave edilebilmektedir. Polimerle yeterli karışımın sağlanması ve maksimum ekstrüder çıkış hızının sağlanması için odun ununun veya lifinin kuru olması (< %1 rutubet içeriğı) gerekir. Kurutma işlemi sonrasında hammaddenin hemen kullanılması önerilmektedir. Çünkü uzun süreli saklama koşullarında odunsu lifler ortamdaki rutubet alma eğiliminde olacaktır. Odun unlarından rutubetin uzaklaştırılmasında kurutma fırınında ön bir kurutma işlemi, yüksek yoğunluklu karıştırıcılar veya ekstrüder beslemesinden önce ön ısıtıcıların kullanılması gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. Ekstrüder üretiminde dört temel ekstrüzyon sistemi vardır. Bunlar 1) tek vidalı, 2) aynı yönde dönen çift vidalı, 3) ters yönde dönen çift vidalı ve 4) Woodtruder™'dir (Gardner ve Murdock, 2010; Gardner ve ark., 2015).



Şekil 1.2. OPK üretiminde içi boş kesitli profil görseli

1) Tek Vidalı Ekstrüder

Tek vidalı ekstruder, OPK profiller üretmek için kullanılan en basit ekstrüzyon sistemidir. Tipik bir tek vidalı ekstrüderin kovan uzunluk/çap (L/D) oranı 34:1 dir. Eritme ve ölçüm olmak üzere iki aşama ve uçucu maddeleri uzaklaştırmak için bir havalandırma bölümü bulunur. Tek vidalı ekstrüderde kullanılacak hammaddeler (plastik, lignoselülozik dolgu maddesi, katkı maddeleri) önceden karıştırılırlar. Tek vidalı ekstrüderde üretimler öncesinde bir kurutucuya ihtiyaç duyulabilir. Eritme ve karıştırma işlemi kovan (ısıtma hattı) ısısı ve vida hızıdır. Tek vidalı ekstrüderin temel avantajları düşük sermaye gerektirmesidir. Dezavantajları ise, yüksek hammadde maliyeti, kurutma sisteminin gerekliliği, daha düşük çıktı oranları, polimer ve lignoselülozik lif birlikte eritildiğine lifin termal bozunma riski artar, vida ucunda yanma riskinin daha yüksek olduğu yüksek vida devri ve yüksek kafa basınçlarında erime sıcaklığının düşük tutulamaması sayılabilir (Gardner ve Murdock, 2010; Gardner ve ark., 2015).

2) Aynı Yönde Dönen Çift Vidalı ve Erimeyi Sağlayan Tek Vidalı OPK Sistemi

OPK profiller üretmek için aynı yönde dönen bir çift vida, sıcaklık uygulanan ve erimeyi sağlayan tek bir vidayla birlikte kullanılabilir. Bu durumda, paralel 40:1 L/D aynı yönde dönen çift vidalı ekstruder, sıcaklık uygulanan 10:1 L/D, tek vidalı ekstruder ile birleştirilir. Bu sistemde kullanılan hammadde odun unu ve/veya lignoselülozik lifler, polimerler ve katkı maddeleri %5 ile %8 rutubet içeriğinde ve doğal hallerinde olabilirler. Ön harmanlama işlemi açısından herhangi bir malzeme ve karışım hazırlığına gerek yoktur. Tercih edilen malzeme besleme sistemleri gravimetrik besleyiciler besleyicilerdir. Eritme/karıştırma mekanizması kovan ısısını, vida devrini ve vidalı karıştırmayı içerir. Rutubetin uzaklaştırılması atmosferik ve vakumlu havalandırma deliklerinin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu sistemin avantajı, ekstruderde kurutma ve ön harmanlama işlemlerinin ortadan kaldırılmasıyla malzemeyi (odun-lif ve polimer) ortam nem içeriğinde işleme yeteneği ve iyi bir lif/polimer karışımı sağlaması yer alır. Dezavantajları arasında ise çevresel besleme sistemlerine duyulan ihtiyaç, yüksek vida devri ve vida soğutmasının olmaması (daha yüksek yanma riski), daha yüksek kafa basınçlarıyla erime sıcaklığının düşük tutulamaması ve polimerin liflerle birlikte eritilmesi (yanma riski daha yüksektir, havalandırması daha zordur) yer alır (Gardner ve Murdock, 2010; Gardner ve ark., 2015).

3) Ters Yönde Dönen Çift Vidalı Ekstrüder

Ters yönde dönen çift vidalı ekstrüderler, sert PVC gibi ısıya duyarlı polimerlerin kullanıldığı uygulamalarda, lif ve köpükler için düşük sıcaklıkta ekstruzyona, toz karışımlar gibi bileşik olmayan malzemelere, beslemesi zor malzemelere ve gazdan arındırma gerektiren malzemelere üstünlük sağlar. Ters yönde dönen çift vida, paralel veya konik vida konfigürasyonlarına sahip olabilir. Lif/un ve polimer aynı boyutta ve genellikle 40 meshdir. Malzeme hazırlama, odun ununun kurutulmasını ve ardından polimer ve katkı maddeleri ile yüksek yoğunlukta harmanlanmasını içerir. Malzeme besleme yönteminde genellikle bir tıkayıcı besleyici kullanılır. Eritme/karıştırma mekanizması kovan ısısı ve vidalı karıştırma, vidalı uçuş kesikleri ve dişli karıştırıcılar aracılığıyla gerçekleştirilir. Rutubetin uzaklaştırılması vakumlu havalandırma yoluyla yapılır. Bu sistemin avantajları, düşük vida devri ve düşük kesmeli karıştırma sayılabilir. Dezavantajları ise, bir kurutma sisteminin gerekli olması, beslenen malzemeler için boyut küçültme sisteminin gerekli olabilmesi, bir ön karıştırma sisteminin gerekli olması ve malzeme taşınmasının karışım besleme oranlarını etkileyebilmesi sayılabilir. Kurutucu ihtiyacı nedeniyle ilave tesis alanı gerekir, enerji bakımı ve işçilik dahil olmak üzere daha yüksek işletme maliyetleri söz konusudur. Polimer liflerle birlikte eritilir ve lifin yanma riski artar (Gardner ve Murdock, 2010; Gardner ve ark., 2015).

4) Woodtruder™

Woodtruder™ paralel 28:1 L/D ters yönde dönen ikiz ve 75 mm tek vidalı ekstrüder, bir karıştırma ünitesi, bilgisayarlı bir karıştırıcı kontrol sistemi, bir kalıp işleme sistemi, hareketli silindirlere sahip bir spreylendirme tankı, bir gezici kesme testeresi ve bir çalışma masası içerir. İşleme başladığında, ortamın rutubet içeriğine sahip odun unu ünitenin lif besleyicisine konulur ve çift helezon içerisinde kurutulur. Bu sırada odun unundan ayrı olarak plastikler eritilir. Eritme/karıştırma mekanizması kovan ısısı ve vidalı karıştırma ile sağlanır. Odun ununu taşıma ve plastik eritmenin ayrılması, plastik eritme sırasında odun unlarının yanmamasını ve eriyen plastiğin odun unlarını tamamen içine almasını sağlar. Bu malzemeler daha sonra karıştırılır ve kalan rutubet veya uçucu maddeler vakumlu havalandırma ile giderilir. Malzeme besleme yöntemi olarak gravimetrik besleyiciler tercih edilmektedir. Woodtruder'in avantajları arasında odun unları ve katkı maddelerinin ortam rutubet içeriğinde (%5 ila %8) olması ve herhangi bir ön hazırlığa gerek duyulmadan işleyebilme yeteneği, polimerin ayrı erime işlemi, iyi polimer/odun unu karışımı, çift vidada vidalı soğutma, yüksek kafa basıncıyla düşük erime

sıcaklığını koruma yeteneği, üstün havalandırma, kurumanın ortadan kaldırılması, boyut küçültme ve ayrı ön karıştırma ekipmanı, malzeme besleme ve ekstruder ünitesi operasyonları için son derece esnek entegre proses kontrol sistemi bulunmaktadır (Gardner ve Murdock, 2010; Gardner ve ark., 2015).

Günümüzde OPK endüstrisinde en yaygın olarak ekstrüzyon yöntemi kullanılmakta ve üretilen kompozit ürünler özellikle dış mekan mobilyalarında zemin kaplama (deck), dış cephe kaplama, oturma bankı, park ve bahçe mobilyaları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Ancak, gelecek yıllarda daha karmaşık şekillere sahip ve enjeksiyonla kalıplamaya uygun OPK üretimlerinin de yaygınlaşacağı düşünülmektedir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi yüksek hacimli karmaşık plastik ürünlerin üretimi için yaygın olarak kullanılan bir işleme tekniğidir. İşleme koşulları ve malzeme özellikleri enjeksiyon kalıplamada temel parametrelerdir (Montanes ve ark., 2019). Temelde bu, birkaç aşamadan oluşan döngüsel bir işlemdir: 1) polimerik malzemenin ısıtılması ve eritilmesi, 2) eriyiğin karıştırılması ve kalıp boşluğuna iletilmesi, 3) malzemenin kalıp içinde soğutulması ve katılaştırılması ve 4) nihai parçanın çıkarılması şeklindedir (Smud ve ark., 1991). Lignoselülozik dolgulu polimerlerin enjeksiyonla kalıplanması, saf polimerlerden daha zordur. Bu durum, saf polimere göre dolgulu polimerlerin akışkanlığının azalmasından kaynaklanmaktadır (Montanes ve ark., 2019). OPK üretiminde enjeksiyon kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilen endüstri üretimlerin ve çalışmaların son derece sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durum enjeksiyon kalıplama yönteminin sunduğu ürün şekli ve çeşitliliğinin OPK üretiminde değerlendirilme potansiyelinin gerçekleşmesini güçleştirmektedir. Bu potansiyelin ortaya çıkarılması için bu alanda yapılan çalışmaların ve üretimlerin artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Sınırlı sayıda yapılan çalışmalar, üretilebilecek ürünlerin kullanım alanlarının belirlenmemiş olması veya bu yöntemle üretilen ürünlerin kullanım alanlarına uygunluklarının yeterince bilinmemesi bu alandaki ilerlemeyi geciktirmektedir. Yapılacak yeni çalışmalar ve endüstri uygulamasındaki denemeler ile enjeksiyon kalıplama ile OPK üretimlerinde ilerleme sağlanarak bu tip malzemelerin farklı alanlarda kullanımına katkılar sunulması beklenmektedir. Bu tez çalışmasında da sanayi uygulamasında OPK ürünlerin enjeksiyon kalıplama ile üretilerek prototip bir ürüne (mobilya destek ayağı) dönüştürülmesi çalışması yürütülmüştür. Elde edilen bilgi ve tecrübenin enjeksiyon kalıplama yöntemiyle sanayi uygulamasında ürünler üretilmesi noktasındaki diğer çalışmalara zemin oluşturacağı ve ışık tutacağı düşünülmektedir.

OPK üretimlerinde kullanılan yöntemlerden biriside basınçla kalıplama (pres kalıplama) yöntemidir. Bu yöntemle ürün üretimi ısıtma, şekillendirme ve soğutma olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir. Bu yöntemde üretimler öncesinde hammadde olarak kullanılacak odun unları, polimer matris ve katkı maddeleri ön hazırlık aşamasında eriyik olarak karıştırılarak granül üretilir. Elde edilen granüller kalıba dökülerek sıcaklık ve basınç altında şekillendirilir ve daha sonrasında kalıp içerisinde soğutularak kalıbın şeklinde ürün elde edilir. Basınçla kalıplama yönteminde OPK üretiminde her bir ürün şekli için ayrı bir kalıp gerektirmesi ve kalıp maliyetlerin yüksek olması dezavantajlardan birisidir (Çavuş, 2017).

OPK ürünlerin bazı mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek, üretim koşullarını iyileştirmek, estetik görünüm kazandırmak ve maliyet düşürmek için üretim reçetelerinde formülasyonlara bazı katkı maddeleri katılmaktadır. Bu amaçlarla OPK üretimlerinde, bağlayıcı maddeler, takviye maddeleri, renklendiriciler, yağlayıcı maddeler, stabilizatörler, ve şişirme ajanları gibi birçok katkı maddesi üretilecek ürünün kullanım yeri ve üründen beklenen özelliklere göre belirlenerek kullanılmaktadır (Klyosov, 2007; Ashori, 2008).

OPK üretimlerinde en temel sorunlardan birisi hidrofobik polimer matris ile hidrofilik odunun (lignoselülozik lifler) arasındaki zayıf yapışma gelmektedir. Polimer matris ve odun arasındaki arayüz zayıflığı OPK'ların birçok özelliklerini olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle mekanik dayanımlarda arayüz zayıflığından dolayı kuvvet uygulandığında iki faz arasındaki gerilimi optimum şekilde aktarmada başarısız olur (Klyosov, 2007). Bu uyumsuzluğu gidermek için organik, inorganik ve organik-inorganik maddeler kullanılmaktadır. Bunlar arasında organik maddeler, daha güçlü arayüzey yapışması nedeniyle inorganik maddelerden daha iyidir. İzosiyanatlar, anhidritler, silanlar ve anhidritle modifiye edilmiş kopolimer yaygın olarak kullanılan birleştirme maddeleridir. Bunlar genellikle "coupling agent" olarak geçmekte ve uyum sağlayıcı, bağlayıcı veya birleştirme maddeleri gibi değişik isimlerle adlandırılabilir. OPK üretimlerinde bağlayıcı maddeler (coupling agents), polar odun lifleri ile polar olmayan polimer matris arasındaki uyumluluğun ve yapışmanın iyileştirilmesinde önemli rol oynarlar. Bağlayıcı maddeler genellikle odun lifi, polimer veya her ikisinin yüzeyine bileşik, harmanlama, ısıtma, püskürtme veya başka yöntemlerle kaplanır. Odun lifi ve polimerin kaplama veya aşılama yoluyla ön işleme tabi tutulması, OPK'ların mekanik özelliklerini geliştirmek için tercih edilen bir yöntemdir (Lu ve ark., 2000). Bağlayıcı madde kullanımıyla daha iyi ara yüzey yapışması sağlanarak kompozitlerin performans özellikleri artırılmaktadır. OPK

üretimlerinde birçok bağlayıcı madde kullanılmaktadır ve bunlar kullanılan polimer matrisini türüne göre değişebilmektedir. Maleik anhidrit aşılantısı polipropilen (MAPP) yaygın olarak kullanılan bağlayıcı maddelerden birisidir (Çetin ve ark., 2000; Shahzad, 2011; Langhorst ve ark., 2018; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Çavuş, 2020; Han ve ark., 2021a). OPK üretim reçetelerinde bağlayıcı maddeler birçok literatür çalışmalarında %2-10 aralığında kullanıldığı ve %3-5 aralığında optimum özellikler verdiği gözlemlenmiştir (Çetin ve ark., 2000; Panthapulakkal ve Sain 2007; Langhorst ve ark., 2018; Maziero ve ark., 2019; Díaz ve ark., 2020; Başboğa ve ark., 2022; Vallejos ve ark., 2023). Bu tez çalışmasında da kompozit üretim reçetelerinde MAPP ağırlıkça %0 ile %3 oranında kullanılmıştır.

1.2 Mobilya Sektörü Hakkında Genel Bilgiler

Mobilya, günlük yaşamın her alanında kullanılan bir ürün olması dolayısıyla her geçen gün artan taleple karşılaşmaktadır. Son yıllarda kentleşmenin artmasıyla birlikte artan konut sayısı, tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve harcanabilir hane halkı gelirlerindeki artış sektörün büyümesine önemli katkılar sağlamıştır. Türkiye mobilya sektöründe 2001 öncesinde net ithalatçı iken günümüzde net ihracatçı durumuna geçmiştir. 2001 yılında 192 milyon dolar olan ihracat, 2020 yılında 3 milyar 422 milyon dolara çıkarak yaklaşık 18 kat artış göstermiştir. 2020 yılında yaşanan pandemi koşullarına rağmen ihracat bir önceki yıla göre %12 oranında artış göstermiştir. Mobilya sektörü, işletme sayısı ve oluşturduğu istihdam ile önemli bir sektör olmasına rağmen 2020 yılı Türkiye ihracatında %2 gibi küçük bir paya sahiptir. Bu oranların daha yukarılara taşınmasına mobilya sektöründeki ve ihracattaki gelişmeler katkı sunacaktır (Anonim, 2017; Anonim, 2021). Mobilya endüstrisinde ahşap ve ahşap esaslı ürünler (Kereste, MDF, yongalevha, kontrplak, masif panel vb.), tekstil ürünleri, metal parçalar ve aksesuarlar gibi birçok ara ürün kullanılmaktadır. Mobilya ürünlerinde kullanılan aksesuarlar, üreticilerin ürünlerini gösteriş açısından farklılaştıran önemli yan ürünlerden biridir. Mobilya aksesuarları seri üretim tekniklerine uygun olması, kolay şekillendirilebilmeleri ve üst yüzey işlemleri yapılabilmesi dolayısıyla genellikle plastik ve metal malzemelerden üretilmektedir. Plastik malzemeler olarak adlandırılan termoplastikler hafif olmaları, kimyasal maddelere ve rutubete karşı dayanıklı olmaları, paslanma ve çürüme gibi bozulmalara sahip olmamaları, kolay şekil verilebilmesi, gibi özelliklerinden dolayı mobilya aksesuarları endüstrisinde ciddi bir kullanıma sahiptirler (Tatlisu, 2015). Mobilya

sektörü üretim maliyetlerinin yaklaşık %91'ini hammadde oluşturmaktadır. Sektörde ara malı olarak kullanılan birçok ürün yurt içinde üretilmesine karşın, söz konusu ara mallarının üretimi için hammadde gereksiniminin bir kısmı ithalat yoluyla karşılanmaktadır (Anonim, 2017). Düşük teknolojik ürünlerin kullanım alanı bulduğu mobilya sektöründe firmaların rekabetçi avantajlarını maliyet, kalite ve tasarım gibi faktörler belirlemektedir. Maliyet konusu firmaların rekabetçilik konusunda öne çıkmasında en önemli parametrelerden biri olduğundan üreticiler ürün girdilerini en düşük maliyetle elde etmeye çalışmaktadır. Termoplastik ürünlerin petrol fiyatlarına doğrudan bağlı olması bu ürünlerin fiyatlarındaki artışı önemli derecede etkilemektedir.

Enjeksiyon yöntemiyle üretilen mobilya aksesuarları (koltuk, masa, dolap ve sandalye ayakları ile mobilya bağlantı elemanları vb.) ve bahçe mobilyası üretimlerinde termoplastik polimerler oldukça fazla kullanılmaktadır. Ancak, yapılan literatür taramasında lignoselülozik dolgu maddelerinin polimerler içerisine katılarak enjeksiyon yöntemiyle üretildiği kompozitlerin bu alanlarda kullanımı oldukça yetersizdir. Bunda üreticilerin ağırlıklı olarak saf plastik kullanarak üretimler yapması ve lignoselülozik dolgu maddelerinin bu alanda kullanımındaki bilgi ve deneyim eksikliklerinin olduğu söylenebilir. Lignoselülozik materyaller özelinde kenevir sapları ve mobilya fabrikası talaş atıklarının mobilya sektöründeki enjeksiyon yöntemiyle üretilen ürünlerde dolgu maddesi olarak kullanılacak olması ve Türkiye mobilya sektörünün gelişmiş ve gelişmekte olan bir sektör olması bu tez çalışmasının ortaya çıkmasına vesile olmuştur. Aynı zamanda 2016 yılı itibarıyla endüstriyel kenevir yetiştiriciliğinin 20 ilde izne bağlı olarak yetiştirilmesi ve 2020 yılında Yozgat Bozok Üniversitesinin bölgesel kalkınma odaklı “Endüstriyel Kenevir” alanında ihtisaslaşan üniversite olması kenevire yönelik çalışmaların yapılmasına teşvik edici olmuştur. Bu amaçla kenevir saplarından ve mobilya fabrikası (M.F.) atık talaşlardan üretilebilecek ürünler konusunda çalışmalar yapmak ve üretilecek ürünlerin sanayiye yönelik uygulama alanlarının belirlenebilmesi çalışmaları bu tezin ana amaçlarından birisi olmuştur. Çalışma kapsamında üretilecek ürünlerin enjeksiyon yöntemiyle yürütülecek olması, mobilya sektöründe kullanılan ve tamamen plastik olan ürünlere alternatifler sunabilme potansiyeli çalışmayı önemli ve özgün kılmaktadır.

Doğal lifler ve atık lignoselülozik hammaddelerin plastiklerde dolgu maddesi olarak kullanılabilmesi hem plastik kullanımını azaltmakta hem de yenilenebilir kaynakların bu sektörde hammadde olarak kullanılabilme potansiyelini ortaya çıkarmaktadır. Türkiye üretim sektörü içinde çok önemli bir yere sahip olan mobilya

sektörünün önünün açık olduğu ve bu alana yapılacak yatırımlar ve çalışmalarla sektörün daha ileriye gitme potansiyeli olduğu düşünülmektedir. Bu tez çalışmasında kenevir sapları ve M.F. talaş atıklarının polipropilen matraste dolgu maddesi olarak kullanılmasıyla OPK'ler üretilmiş ve üretilen OPK örneklerin optimizasyonu sonucunda belirlenen bir formülasyon reçetesi mobilya endüstrisinde koltuk, kanepeler vb. mobilya ürünlerinde destek ayakları olarak kullanılan bir ürün prototip ürüne dönüştürülmüştür.

1.3 Tez Kapsamında Kullanılan Hammaddeler Hakkında Genel Bilgiler

Bu tez çalışmasında OPK üretiminde lignoselülozik dolgu maddesi olarak kenevir sapı ve mobilya fabrikasında oluşan atık talaşlar kullanılmıştır. Mobilya fabrikasında oluşan atık talaşlar; kaplamalı ve kaplamasız yongalevha, kavak kontrplak, MDF ve PVC'den oluşmakta ve Bölüm 3.2 Yöntem ve Çizelge 3.4.'te detaylar verilmiştir. Polimer matris olarak günlük yaşamımızda yaygın kullanılan polipropilen (PP) ve bağlayıcı madde olarak maleik anhidrit aşılantısı polipropilen (MAPP) kullanılmıştır.

1.3.1 Kenevir

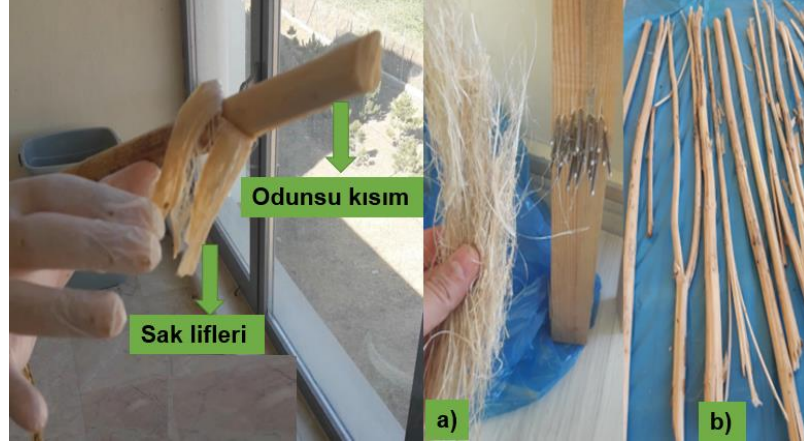
Kenevir bitkisi dünyanın birçok yerinde çok eskiden beri yetiştirilen ve ilk yayıldığı alan kesin olarak tespit edilmemiş olmakla beraber Asya bitkisi olarak kabul edilmektedir (Yılmaz ve ark., 2023). Kenevir'in Çin'in Yunnan Eyaletinde ortaya çıktığı ve faydacı formu olan *Cannabis sativa*'nın giderek dünyaya yayıldığı düşünülmektedir (Bouloc, 2013). Tek yıllık bir bitki olan kenevir, *Cannabaceae* familyasından olan ve kültürü yapılan bir bitkidir (Yılmaz ve Yazıcı, 2022). Kenevir (*Cannabis sativa* L.) bitkisi uzun yıllardır sapları ve lifleri için yetiştirilmekle birlikte son yıllarda tohumları, yaprakları, çiçekleri ve kökleri de farklı sektörlerde kullanılan ekonomik değeri yüksek bir bitki konumuna gelmiştir (Yılmaz ve Yazıcı, 2022; Yılmaz ve ark., 2023). Kenevir Türkiye gibi iklim koşullarına sahip ülkelerde genellikle İlkbahar'da ekilen ve sonbaharda hasat edilen, tür ve çeşitlerine göre de 50-70 cm'den 5-6 m'ye kadar boylanabilen bir bitkidir (Yılmaz ve Yazıcı, 2022). Kenevir bitkisinin kullanım alanları Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Kenevir bitkisinin kullanım alanları

Türkiye’de 2016 yılında yayınlanan Resmi Gazete’de endüstriyel kenevir yetiştiriciliğine 20 ilde izne bağlı olarak müsaade edilmiştir (Anonim, 2016). Resmi Gazete sonrasında endüstriyel kenevir ülkemizde daha fazla gündem olmaya başlamış ve çeşitli kurum ve kuruluşlar, çiftçiler ve sanayicilerin kenevire olan ilgisi artmaya başlamıştır. Kenevirin tüm biyokütlesi farklı üretim kollarında kullanılabilmesine rağmen endüstriyel kenevir esas olarak saplarından elde edilen lif ve ligninleşmiş iç odunsu kısım (kıtık/hurd) için kullanılmaktadır. Bu amaçla saplardan elde edilen kısımlar üç kısma ayrılırlar: (i) sapsarı çevreleyen vasküler dokuların dışında yer alan ve birincil meristemden türetilen birincil lifler; (ii) kambiyumdan türetilen ikincil ekstra ksilem lifleri ve (iii) kambiyal aktiviteden türetilen gövdenin merkezindeki odunsu liflerdir (Kurek, 2013).

Kenevir sapsarının iç kısmında ligninleşmiş odunsu kısım bulunurken, bunları çevreleyen dış kısımda ise selülozca zengin sak lifleri bulunmaktadır (Mengeloğlu, 2020). Şekil 1.4’te kenevir sapına ait odunsu (hurd/kıtık) ve sak lifleri gösterilmiştir. Kenevir sapı selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektin olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır. Sak lifin özelliklerini selüloz, hemiselüloz ve lignin belirlemektedir. Bunlar arasında selüloz en dayanıklı ve en sert olanıdır. Pektin, sak lifleri ile odunsu kısmı bir arada tutan tutkal görevi de görmektedir. Kenevir lifinde bulunan bileşenler farklı çalışmalardan elde edilen veriler incelendiğinde selüloz içeriği %55-78, hemiselüloz içeriği %2-18, Lignin içeriği %3-13, pektin içeriği %0,8-18 ve diğer bileşenler %0,8-7 şeklinde değişebilmektedir. Selüloz en yüksek orana sahip olan bileşen olarak görülmektedir (Kurek, 2013; Shahzad, 2011).



Şekil 1.4. Kenevir sapı; a) sak lifi, b) odunsu kısım

Kenevir bitki sapından lif elde etmek için havuzlama veya mekanizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Havuzlama yöntemi biyolojik havuzlama, fabrikasyon yöntemiyle havuzlama, durgun suda havuzlama, akarsuda havuzlama ve kimyasal havuzlama şeklinde yapılabilir. Havuzlama sisteminde temel amaç sak lifleri ile odunsu kısmı birbirine bağlayan dış pektini parçalayarak lif hüzmelerini odunsu kısımdan ayırmaktır. Lif soyma işleminde havuzlama işlemine maruz bırakılan saplar el ile veya makine ile soyma işlemine tabi tutulur. Makine ile lif soyma işleminde havuzlama işlemi yapılmadan da lif elde edilebilir. Bu nedenle, havuzlama yönteminde işçilik maliyetleri mekanizasyon yöntemine göre daha fazla olmaktadır (Gizlenci ve ark., 2019).

Kenevir sapında bulunan iç odunsu kısım ve sak lifleri birbirinden farklı özelliklere sahip olduklarından özellikle sak lifleri odun kısımdan farklı alanlarda (tekstil vb.) kullanım potansiyeli bulunmaktadır. Fakat sak liflerinin ayrı ayrı elde edilmesindeki zorluklar ve maliyetler düşünüldüğünde sapları bir bütün olarak kullanımına yönelik çalışmalarında yapılmasına ihtiyaç vardır. OPK üretimlerinde incelenen çalışmalarda daha çok sak lifleri ve odunsu kısımlar ayrı ayrı kullanılmıştır. Sapın bir bütün olarak kullanıldığı çalışmalar kısıtlı kaldığı görülmüştür. Bu tez çalışmasında da, kenevir sapları sak lifi ve odunsu kısım olarak ayrıştırılmadan bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Türkiye’de kenevir tarımı ve kenevir işleme sektörünün henüz yeni olması ve kenevir lifinin ayrı olarak elde edilerek işleme maliyetleri ve zorlukları düşünüldüğünde sapın bir bütün olarak değerlendirilmesi kenevire yönelik ilgisi olan sektörlerle ışık tutacağı düşünülmektedir.

1.3.2 Mobilya fabrikası (M.F.) atık talaş

Mobilya fabrikası atık talaşları Kırıkkale Türkiye’de üretim yapan Modalife mobilya fabrikasının üretimleri sonucunda ortaya çıkan lignoselülozik atıklardan oluşmaktadır. Modalife firması 1990’lı yıllarda Ankara’da bir atölyeden başlayarak günümüzde 150 bin metrekare kapalı alana sahip 3 adet fabrikada üretim yapan ve Türkiye genelinde 140’tan fazla şubesi ve 2000’nin üzerinde çalışanı bulunan Türkiye mobilya sektöründe önemli bir konuma sahiptir. Firmanın ürün gamında; oturma grubu, yatak odası, genç odası, yemek takımı, çok amaçlı dolaplar ve sehpa gibi birçok ürün bulunmaktadır (URL-1). Atık talaşlar fabrikanın atık toplama silolarından alınmıştır. Firma yetkililerinden alınan bilgiye göre mobilya üretimleri sonucunda ortaya çıkan lignoselülozik atıklar yılda yaklaşık 400 tondur.

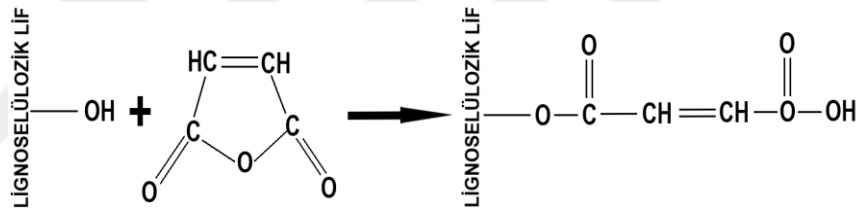
1.3.3 Polipropilen

Her bir plastik monomerlerden oluşmaktadır. Monomomer grupları bir tepkime ile polimer zinciri oluşturlar ve plastikler oluşur (Ekşi, 2007). Polipropilen (PP), adını Alman Karl Ziegler ve İtalyan Giulio Natta'dan alan Ziegler-Natta katalizörleri ile 11 Mart 1954'te İtalya'nın Milan kentinde bulunmuştur (Busico ve Cipullo, 2001). Günümüzde en yaygın kullanılan plastiklerden birisidir. Polipropilen, ergime noktası yaklaşık 175 °C olan yarı şeffaf, beyaz renkli ve oda sıcaklığında katı halde bulunan bir termoplastiktir (Çavuş, 2017). Günümüzde 150’den fazla üretilmiş polipropilen türü bulunmaktadır. Her bir polipropilen farklı özelliklere sahip olduğundan bunların birçok kullanım alanları geliştirilmiştir (Ekşi, 2007). Polipropilen tekstil (halat, halı, kıyafet vb.), ambalaj, plastik kaplar, otomotiv parçaları, laboratuvar ekipmanlar, otomotiv parçaları gibi birçok alanda kullanılan bir plastiktir (URL-2).

Polipropilen, asit ve bazlara, yorulmaya ve darbeye karşı dirençli bir polimerdir. Ayrıca sürtünme katsayısı düşük, iyi elektrik yalıtım özellikleri sağlayan ve düşük maliyetlidir. Polipropilenin dezavantajları olarak termal genleşmesinin yüksek, boyama ve kaplama işleminin zor, dış ortam koşullarına düşük dayanım, UV dayanımının zayıflığı ve oksitlenemeye açık olması sayılabilir. Polipropilen; ekstrüzyonla kalıplama, enjeksiyonla kalıplama, basınçla kalıplama ve thermoforming gibi çeşitli yöntemlerle ürün üretmeye uygundur (Çavuş, 2017).

1.3.4 Maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (MAPP)

Odun plastik kompozit üretimlerinde en önemli sorunlardan birisi, bileşenler arasındaki düşük yapışma olmasıdır. Bu sorunu ortadan kaldırmak veya iyileştirmek için araştırmacılar tarafından birçok farklı çalışmalar yapılmıştır. Literatür çalışmaları, kompozit bileşenler arasındaki yapışmayı iyileştirmeye yönelik en sık kullanılan yöntemin maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (MAPP) kullanmak olduğunu göstermiştir (Borysiak ve ark., 2011). Maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (MAPP), polimer matris ile odun lifleri arasında birleştirme maddesi olarak kullanılan bağ yapıcı bir maddedir. MAPP, polar olan lignoselülozik lif ve polar olmayan polimer matris arasındaki uyum ve yapışmayı iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu maddeler ara yüzey gerilimini azaltarak uyumluluğu artırmaktadır. Böylelikle daha iyi ara yüzey yapışması sağlanarak OPK'ların performans özellikleri artırılmaktadır (Çetin v ve ark., 2000; Shahzad, 2011; Çavuş ve Mengeloğlu, 2017; Narayana ve Rao, 2021). MAPP'ın lignoselülozik lif yüzeyindeki hidroksil grubu ile reaksiyonu şematik olarak Şekil 1.5'te gösterilmiştir



Şekil 1.5. MAPP'ın lignoselülozik lif yüzeyinde hidroksil grubu ile reaksiyonu (Mohanty ve ark., 2001)

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Odun-plastik kompozitlerin üretiminde polipropilen matraste dolgu maddesi olarak kullanılmış kenevir, atık talaş ve farklı lignoselülozik dolgu maddeleri üzerine yapılmış birçok literatür çalışmaları bulunmaktadır. İncelenen literatür çalışmalarından bazıları aşağıda verilmiştir. Literatür incelemelerinde sanayi tipi uygulamaya yönelik çalışmaların yetersiz olduğu ve yapılan çalışmaların daha çok laboratuvar ve akademik düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasındaki kompozit üretimlerinde ise hem laboratuvar ortamında test örneklerin üretimi hem de sanayi ölçeğinde mobilya destek ayağı üretiminde polipropilen matraste kenevir sapı ve mobilya fabrikasında oluşan lignoselülozik atık talaşların dolgu maddesi olarak kullanımı çalışılmıştır.

Vallejos ve ark., (2023), Polipropilen (PP) matraste dolgu maddesi olarak kenevir lifleri (KL) kullanarak odun-plastik kompozit (OPK) üretmiştir. Üretilen kompozit örnekler üzerine kenevir dolgu maddesinin darbe direnci ve su emme kapasitesi üzerine etkisini incelemiştir. Kompozit örneklerdeki çatlak oluşumu ve çatlak ilerlemesiyle numunelerin geometrisi izlenerek darbe testlerinin analizleri yapılmıştır. Kullanılan kenevir lifleri, kenevir sapının sak liflerinin (yaklaşık %25 civarında kenevir iç odunsu kısmı (kıtık) dahil) öğütülmesiyle elde edilmiştir. Üretim formülasyonlarında PP matraste ağırlıkça %10-20 ve 30 oranlarında kenevir lifleri ve uyum sağlayıcı ajan olarak ağırlıkça %0-2-4-6 ve 8 oranında MAPP (maleik anhidrit aşılınmış polipropilen) kullanmıştır. Formülasyon karışımları ısıtmalı bir rulo karıştırıcıda 180 ± 5 °C sıcaklıklarda yaklaşık 10 dakika 50 rpm hızda karıştırılmıştır. Eriyik haldeki karışımlar soğutulduktan sonra granül haline getirilerek enjeksiyon kalıplama yöntemiyle kompozit örnekler üretilmiştir. Üretilen kompozit örneklerin darbe direnci değerleri hem Charpy hem de Izod yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Charpy testinde örnekler çentikli ve çentiksiz test edilirken Izod yönteminde çentikli örnekler test edilmiştir. Kompozitlerin çentiksiz darbe mukavemeti, dolgu maddesi yüzdesi (KL) ve birleştirme maddesinden (MAPP) etkilenmiştir. Ağırlıkça %0, 6 ve %8 MAPP ilaveli kompozitler için darbe dayanımı ile kenevir lif içeriği arasında negatif bir korelasyon bulunmuştur. Bunun yerine, formülasyona ağırlıkça %2 ve %4 MAPP ilave edilmiş kompozitler için pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir. Bu etki, arayüzün gücü, lif dağılımı ve lif çekme mekanizmaları ile ilişkilendirilmiştir. En yüksek çentiksiz darbe direnci ağırlıkça %20 KL / %8MAPP, %30 KL / %8MAPP ve %40 KL / %4 MAPP ile üretilen örneklerde tespit edilmiştir. Çentikli numunelerde, ağırlıkça %30 ile

%40 arasında değişen dolgu maddesi ile üretilen örneklerde, dolgu maddesi miktarı ile darbe dayanımı arasında pozitif bir korelasyon bulunmuştur. Daha düşük dolgu maddesi içeriğinde negatif bir korelasyon tespit edilmiştir. Böylece, optimum dolgu maddesi içeriği %20'den yüksek çıkmıştır. Çentikli örneklerde liflerin darbe direncine olumlu katkısı olduğu söylenmiştir. Kompozitlerin su almasıyla ilgili olarak, PP matrise kenevir liflerinin ilave edilmesi, kompozitin her iki fazı arasındaki düşük uyumluluk nedeniyle su emme kapasitesini artırmıştır.

Han ve ark., (2021a), kenevir lifi katkılı polipropilen kompozitlerin suda şişme oranlarını deneysel ve sayısal simülasyonlarla analiz etmiştir. Üretilen kompozitlerin su kaynaklı şişmesini açıklığa kavuşturmak için kısa kenevir lifi takviyeli polipropilen (PP) kompozitler hazırlanmış ve nemli yaşlandırma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kompozit üretimlerinde kenevir lifi ve polipropilen oranı 30/70 oranında 170-185 °C karıştırıldıktan sonra elde edilen karışımlar enjeksiyon kalıplamada 170-185 °C ve 158 MPa basınçta üretilmiştir. Kenevir lifinin şişme yönü, oranı ve kuvveti ile ayrıca indüklenen kompozitin genişleme yönü ve oranı sırasıyla incelenmiştir. Ağırlık kazancı verilerinden lif ve takviyeli kompozitlerin şişme oranını tahmin etmek için sayısal bir simülasyon yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca, kenevir lifinin şişme kuvveti Flory-Rehner teorisine dayalı olarak hesaplanmış ve PP matrisinin ve/veya ara yüzey kuvvetinin lif şişmesine yönelik kısıtlaması da tartışılmıştır. Sonuçlar, lifin %12,5 ağırlık artışı ve %5.6 radyal şişme oranı ile bir doyma aşamasına ulaştığını göstermiştir. Bu lifin esas olarak kendi iç ağları tarafından belirlenen radyal yön boyunca şişmesi ile ifade edilmiştir. Lif/PP (30/70) kompozitleri, %3.6'lık bir ağırlık artışı ve yaklaşık %3.5'lik bir enine kesit genişlemesi denge durumu sergilemiştir. PP matrisin, lifin su absorpsiyonunu geciktirebildiğini, ancak absorbe edilen su miktarını azaltmada başarısız olduğu belirtilmiştir. Kompozitlerin genişlemesi sadece lif şişme oranı ve yönü ile değil, aynı zamanda lif fraksiyonu ve yönü ile de belirlenebileceği söylenmiştir. Lif şişme kuvveti, başlangıçta kompozitlerin veya PP matrisinin kısıtlama kuvvetinden çok daha yüksek olduğu ve maksimum şişme oranlarına ulaşana kadar asimptotik eğriler olarak sifıra düştüğü tespit edilmiştir. Kompozitlerin makro şekli veya polimer matrisi, lif şişmesi üzerinde daha az kısıtlamaya sahip olduğu, lif muamelesi veya modifikasyonu, güçlendirilmiş kompozitlerin boyutsal stabilitesini iyileştirmede daha etkili olabileceği ifade edilmiştir.

Manaia ve Manaia, (2021), Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle kısa kenevir lifi (KL) takviyeli termoplastik kompozitler üretmiş ve üretilen kompozitlerin dış mekan

uygulamalarına uygunluğunu belirlemek için arayüz modifikasyonu, su emme davranışı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu amaçla polipropilen (PP) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) esaslı üretilen kompozitlerde maleik anhidrit (MA), stearik asit (SA) ve su adsorpsiyonun kompozitlerin fiziksel ve eğilme özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kompozit üretimlerinde ağırlıkça %20 ve %40 oranında kenevir lifi kullanılmıştır. Ayrıca üretimlerde ağırlıkça %3 MA ve % 3MA+%3 SA içerikli kompozit gruplar da üretilmiştir. Yapılan çalışmada; kompozit formülasyonların reolojik davranışının araştırılması, enjeksiyon kalıplama ile üretilen PP ve HDPE esaslı kompozitlerde kısa kenevir liflerinin mekanik özellikleri üzerine maleik anhidrit ve stearik asidin etkisinin yanı sıra farklı kenevir lifi ağırlık yüzdelerinin etkisinin araştırılması, su emiliminin kompozit malzemelerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini belirlenmesi, su emmenin eğilme özellikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi ve mekanik testlerin sonuçlarının morfolojik özelliklerle karşılaştırılması incelenmiştir. Kenevir lifinin polimer matrislere ilavesi ve lif içeriğinin artmasıyla su emme direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum kenevir liflerinin hidrofilik karakter olmasından dolayı beklenen bir durumdur. Ancak, MA ya da SA ilavesi kompozitlerin su emme direncini artırmıştır. Bunun yanında kompozit grupları içerisinde en iyi su emme direnci MA+SA'nın birlikte kullanıldığı gruplarda gözlemlenmiştir. MA + SA ilavesi nedeniyle kompozitlerin su emmeye karşı artan direnci, hem maleik anhidritin fonksiyonel grupları hem de SA'nın karboksil grupları kenevir lifinin hidroksil gruplarıyla reaksiyona girdiğinden, matris ve lif arasındaki ara yüzey yapışmasının arttığı şeklinde yorumlanmıştır. Eğilme testleri yaşlandırmadan önce (başlangıç durumu), ıslak örneklerle daldırma süresinin sonunda (1512 saat) ve ıslak örneklerin tekrardan kurutulduğu örnekler üzerinde yapılmıştır. Kompozitlerde hem kenevir lif içeriğinin artması hem de MA'nın ilavesi eğilme direnci üzerinde artış sağlamıştır. Ancak SA ilavesiyle direnç değerlerinde bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Eğilme testlerinde en yüksek direnç değerleri ilk kuru örneklerde tespit edilmiş ve suya daldırma sonucundaki örneklerin direnç değerlerinde azalma tespit edilmiştir. Su alan örneklerin tekrar kurutulması sonucunda elde edilen eğilme sonuçları ise başlangıç noktasındaki değerlere biraz yaklaştığı ama yine de başlangıçtaki örneklerden düşük çıktığı tespit edilmiştir. Su almayla birlikte kompozit örneklerin eğilme direncinde düşüşler ve yaşlanma sonrasında kalıcı hasarlara neden olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca, su emme nedeniyle kompozitin eğilme özelliklerinin bozulmasının yanı sıra, kısa zincirli hemiselüloz, lignin ve pektin gibi düşük molekül ağırlıklı çözünür polimerlerin kenevir lifinden çözünmesi, malzeme kaybına ve ayrıca yüzeyde renk/görünüm değişikliğine yol

açtığı gözlemlenmiştir. 1512 saat suya batırıldıktan sonra yeniden kurutulan örneklerde ağırlık kaybı olduğu ve lif içeriğinin artmasıyla ağırlık kaybının arttığı ve kalıcı renk solması gösterdiği görülmüştür. Doğal liflerle güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin renk değiştirmesi, dış mekan uygulamaları için bir dezavantajdır. Çünkü görünümdeki değişiklikler, malzemelerin estetik nitelikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğundan genellikle mekanik özelliklerdeki değişikliklerden önce geldiği ifade edilmiştir.

Wu ve ark., (2021), kenevir lifi polipropilen (PP) esaslı kompozitler üzerinde kenevir liflerinin kimyasal modifikasyonunun kompozit özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Kompozitlerin mekanik özelliklerini geliştirmek için kısa kenevir lifleri alkali işlem, γ -valerolakton işlemi ve dodesil bromür aşılama dahil olmak üzere üç kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Kompozitler modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş kenevir lifleri sabit lif içeriğinde %10 oranında kullanılarak enjeksiyon kalıplama ile üretilmiştir. Modifikasyonun kompozit özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kompozitlerin mekanik özelliği, kırılma özelliği, termal özelliği, kristal özelliği ve reoloji özellikleri incelenmiştir. Modifiye edilen kenevir liflerin FTIR spektrumları, fonksiyonel grupların kenevir lifleri üzerine kimyasal reaksiyonla aşılandığını göstermiştir. Dodesil bromür ile modifiye edilen kenevir lifli/PP kompozitler, modifiye edilmemiş kenevir lifi/PP kompozitler ile kıyaslandığında yaklaşık %18 artışlar en yüksek çekme direnci ve eğilme modülü göstermiştir. Bu, kimyasal işlem görmüş kenevir liflerin daha iyi arayüz uyumluluğuna sahip olmalarına ve kırık yüzey ve çekme-kırıklı yüzey SEM analizine göre kompozitlerde ana kuvvet taşıyıcısı olarak hareket etmelerine atfedilmiştir. Dodesil bromür ile modifiye edilen kenevir lifli/PP kompozitler, modifiye edilmemiş kenevir lifi/PP kompozitlerin maksimum bozunma sıcaklıklarına bakıldığında, modifiye liflerin kullanıldığı kompozitlerde yaklaşık 10 °C daha yüksek bozunma sıcaklığı gösterdiği tespit edilmiştir. Reoloji özelliği, erime harmanlama işleminde molekül zincir etkileşimi nedeniyle dodesil bromür ile muamele edilmiş kenevir lifi kompozitin ham kenevir lifi/PP kompozitinden daha yüksek bir depolama modülüne, kayıp modülüne ve kompleks viskoziteye sahip olduğunu göstermiştir.

Berzin ve ark., (2020), polimer matris olarak benzer viskoziteye sahip polar olmayan PP ve polar poli(bütlen süksinat) (PBS), uyumlaştırıcı olarak maleik anhidrit (PP-g-MA) ile aşılanmış PP ve doğal liflerden kenevir, keten ve sisal liflerini kullanarak çift vidalı ekstrüzyonla karışımlar elde etmiş ve matrisin polaritesinin kırılma mekanizması

üzerindeki rolü ve lignoselülozik lif esaslı kompozitlerin reolojik davranışı üzerine üretim koşullarının etkisini incelemiştir. Üretimlerde 9 bölgeden oluşan çift vidalı ekstruder kullanılarak matris (PP ve PP-g-MA peletlerinin veya PBS peletlerinin ön karışımı) 1.bölgeden beslenmiş ve 3.bölgeye gelen kadar eritildikten sonra 4.bölgede lifler ilave edilmiştir. Deneyler iki akış hızında (3 ve 6 kg/saat) ve iki vida hızında (100 ve 200 rpm) gerçekleştirilmiştir. Ekstruder çıkış sıcaklığı, PP için 180°C ve PBS için 140°C'de sabit tutulmuştur. Polar olmayan ve benzer viskoziteye sahip bir polar matris ile keten ve kenevir bazlı kompozitlerin aynı koşullar altında ekstrüde edilmesinde, kırılma üzerine (yani liflerin ve demetlerin uzunluk ve çapındaki azalmanın) polimer matrisin daha önemli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, PBS esaslı kompozitlerin karmaşık viskozitesi, en-boy oranları daha küçük olmasına rağmen, PP esaslı olanlardan sistematik olarak daha yüksek olduğu, PBS'nin elastikiyet modülünü, kenevir veya keten liflerinin ilavesinin PP/PP-g-MA'ninkinden daha fazla geliştirdiği belirlenmiştir. Bu sonuçlar ise lignoselülozik lifler ile PBS matrisi arasındaki daha iyi bir benzerlik olmasına atfedilmiştir. Bu varsayımı doğrulamak için nanokristal selüloz ile çeşitli yüzeyler (PP, PP/PP-g-MA, PBS) arasındaki yapışma özellikleri SMFS (AFM tabanlı tek molekül kuvvet spektroskopisi) ölçümleriyle karakterize edilmiş ve PBS'nin sırasıyla PP/PP-g-MA ve PP'den daha yüksek yapışma kuvvetleri verdiği tespit edilmiştir.

Çavuş (2020), Saf polipropilen (PP) ve geri dönüşümden elde edilen polipropilen (GPP) matrise dolgu maddesi olarak maun odun unu ilave ederek kompozit örnekler üretmiştir. Çalışmada, odun unu ve polimer matris arasında uyum sağlayıcı olarak kullanılan maleik anhidrit aşılansız polipropilenin (MAPP) kompozitlerin bazı özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Üretimlerde dolgu maddesi olarak ağırlıkça %0, %20 ve %40 oranında odun unu kullanılmıştır. MAPP ise ağırlıkça %0 ve %3 oranlarında kullanılmıştır. Ayrıca, üretilen her grupta yağlayıcı olarak ağırlıkça %1,5 oranında waks ve ağırlıkça %1,5 oranında çinko stearat (Zn) kullanılmıştır. Tüm numunelerin yoğunluk, eğilme, çekme, darbe ve sertlik özellikleri belirlenmiştir. Kompozitlerde dolgu maddesinin morfolojisini ve arayüzey uyumluluğunu incelemek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Kompozit örneklerde dolgu maddesi ilavesiyle yoğunluk değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Bu artışın lignoselülozik malzemelerin hücre duvarı yoğunluğunun polimer matristen daha yüksek olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Polimer matris türüne bakılmaksızın MAPP ilavesiz kompozitlerde dolgu maddesi ilavesiyle çekme direnci değerlerinde azalma görülmüştür. MAPP ile üretilen

kompozitlerin çekme direnci değerleri MAPP'sız kompozitlere nazaran önemli ölçüde yüksek çıkmıştır. PP kompozitler özellikle MAPP formülasyona dahil edildiğinde, GPP olanlardan daha iyi çekme direnci sağlamıştır. Polimer türü ve MAPP kullanımından bağımsız olarak artan odununu konsantrasyonu ile çekmede elastikiyet modülü artmıştır. Bu durum, odunun polimer matristen daha yüksek modüle sahip olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Eğilme direnci değerleri %20 odununu ilavesiyle bir miktar artmış fakat %40 dolgu maddesiyle de bir miktar düşmüştür. Ancak, MAPP ilavesiyle kompozit örneklerin eğilme direnci değerlerinde önemli artışlar gözlemlenmiştir. PP ve MAPP ile üretilen örnekler, GPP ve MAPP ile üretilen örneklerle kıyasla daha yüksek eğilme direnci sağlamıştır. Eğilmede elastikiyet modülü değerleri çekmede elastikiyet modüllerinde olduğu gibi polimer matris türü ve MAPP'dan bağımsız olarak odununu ilavesiyle artmıştır. Kompozit örneklerin sertlik değerleri üzerine dolgu maddesi oranı ve MAPP kullanımının etkili olduğu bulunmuştur. Dolgu maddesinin MAPP'a kıyasla sertlik değerleri üzerine etkisi daha belirgin olmuştur. Kompozitlerin darbe direnci değerlerinde farklılıklar tespit edilmiş ancak istatistiksel analiz bu farklılıkların polimer türü ($P = 0.2117$), dolgu maddesi miktarı ($P = 0.6242$) ve MAPP varlığı ($P = 0.7636$) faktörleri için anlamlı olmadığını göstermiştir. Kompozit örneklerin morfolojisi SEM görüntüleri ile incelendiğinde, MAPP içermeyen örneklerde çıkan ve duran liflerin neden olduğu daha fazla delik gözlemlenmiştir. GPP ile üretilen kompozit örnekler, PP ile üretilen kompozit örneklerden daha fazla deliğe sahip olduğu tespit edilmiştir. MAPP kullanılan örneklerde polimer matris ve dolgu maddesi arasındaki gelişmiş yapışma nedeniyle deliklerin ve duran liflerin sayısı önemli ölçüde azalmıştır. MAPP ilavesi kompozitlerde daha yüksek mekanik özellikler göstermiştir. Çünkü MAPP, farklı polar odununu ve polar olmayan polimer matrisi arasında mikro çatlak oluşumunu azaltmıştır.

Çavuş ve Mengeloğlu (2020), Odun-plastik kompozit (OPK) üretiminde dolgu maddesi boyutlarının kompozitlerin bazı özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. OPK üretimlerinde polimer matris olarak saf polipropilen PP ve geri dönüşümden elde edilmiş polipropilen (GPP), dolgu maddesi olarak maun odununu ve uyum sağlayıcı birleştirme ajanı olarak maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MAPP) kullanmıştır. Üretimlerde dolgu maddesini ağırlıkça %40 oranında, MAPP ise ağırlıkça %0 ve %3 oranlarında kullanılmıştır. Kullanılan odununu boyutları ise 0,074 - 0,149 mm, 0,177 - 0,250 mm ve 0,400 - 0,841 mm arasında değişmektedir. Kompozit üretimlerinde tek vidalı ekstruderden elde edilen eriyikler granül haline getirildikten sonra enjeksiyon kalıplama yöntemiyle test

örnekleri boyutlarında üretilmiştir. İstatistiksel analizde polimer türü ($P=0.0098$) ve parçacık boyutunun ($P=0.0002$) kompozit örneklerin yoğunluk değerleri üzerine etkili olduğu tespit edilmiştir. Buna karşılık, MAPP varlığının yoğunluk üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır ($P=0.2705$). Bununla birlikte, istatistiksel analizde odun unu boyutu ve MAPP ($P=0.0135$) ile polimer türü ve MAPP ($P < 0.001$) arasında anlamlı bir etkileşim tespit edilmiştir. MAPP, PP ile üretilen OPK'larda GPP ile üretilenlere kıyasla daha etkili olmuştur. Bunun yanında MAPP daha küçük boyutlu odun unu kullanımında yoğunluğun artmasına neden olmuştur. Kompozit örneklerin eğilme direnci değerleri 33.80 ile 41.86 MPa aralığında çıkmıştır. Eğilme direnci üzerine polimer türü, parçacık boyutu ve MAPP varlığının istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Polimer türünden bağımsız olarak MAPP'sız üretilen kompozit örneklerde en yüksek eğilme direnci değerlerini, 0.400 - 0.841mm partikül boyutlarındaki dolgu maddesi ile üretilen örnekler vermiştir. Fakat, MAPP ilave edilmesiyle üç partikül boyutlarında da benzer eğilme direnci değerleri vermiştir. Bu sonuç, MAPP varlığında dolgu maddesi ve polimer matris yüzeyleri arasındaki gelişmiş yapışma kuvveti ile açıklanmıştır. PP ile üretilen örneklerin MAPP varlığında GPP ile üretilen örneklerle göre daha yüksek eğilme direnci verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum ise polimerin geri dönüşüm süreçlerinde moleküler ağırlığının azalmasıyla açıklanmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü üzerinde istatistiksel olarak odun unu boyutlarının ve MAPP varlığının ($P < 0.0001$) etkili olduğu ancak polimer türünün etkili olmadığı ($P > 0.05$) tespit edilmiştir. Elastikiyet değerleri, artan odun unu boyutlarıyla birlikte önemli artış göstermiştir. MAPP'nin formülasyonlara eklenmesi ile eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde yaklaşık %10'luk bir artış gözlemlenmiştir. Kompozit örneklerin çekme direnci değerleri 18.7 ile 24.5 MPa aralığında çıkmıştır. Polimer türü ve odun unu boyutlarından bağımsız olarak MAPP ile üretilen örneklerin çekme direnci değerleri MAPP'sız örneklerden daha yüksek çıkmıştır. Bunun yanında, en yüksek çekme direnci değerleri, 0.400 - 0.841 mm boyutlarındaki odun unları ile üretilen örneklerde tespit edilmiştir. Eğilmede elastikiyet modülünde olduğu gibi çekmede elastikiyet modülü değerlerinde de dolgu maddesi ilavesiyle artış gözlemlenmiştir. Bu durum daha yüksek hücre duvarı yoğunluğuna sahip odun ununun polimer matrise ilavesiyle açıklanmıştır. Ayrıca, GPP esaslı kompozitler, PP esaslı kompozitlere kıyasla daha yüksek çekmede elastikiyet değerleri sağlamıştır. Bu durum ise, geri dönüşüm işlemi sırasında polimer zincir uzunluğunun azalması ve kristalliğin artmasıyla açıklanmıştır. Kompozit örneklerin kopmada uzama (EatB) değerleri dolgu maddesi ilavesiyle önemli ölçüde azalmıştır. Polimer türü EatB üzerinde önemli etkiye sahip olmuştur. GPP esaslı

kompozit örneklerin EatB değerleri PP esaslı kompozitlerden yaklaşık %80 daha yüksek çıkmıştır. Polimer türünden bağımsız olarak en yüksek EatB değerleri 0.074 ila 0.149 mm boyutlarında odun unu kullanıldığında elde edilmiştir. Kompozit örneklerden elde edilen darbe direnci ortalama değerleri 1.56 ila 2.02 kJ/ m² aralığında tespit edilmiştir. GPP esaslı kompozitler, PP esaslı kompozitlerden daha yüksek darbe direnci sağlamıştır. Ancak, MAPP kullanımı ile GPP ve PP esaslı kompozit örneklerin darbe direnci değerleri arasındaki fark azalmıştır.

Díaz ve ark., (2020), enjeksiyon kalıpla yöntemiyle kenevir lifi katkılı polipropilen esaslı kompozitler üretmiş ve üretilen kompozitlerde ara faz kuvveti üzerine uyum sağlayıcı ajan içeriklerinin ve kenevir lifi kullanımının etkisini incelemiştir. Üretimlerde kullanılan kenevir lifleri, başlangıç uzunlukları 200-300 mm olan kenevir ipliklerinden bir bıçaklı değirmende 10 mm uzunluklarında kesilerek elde edilmiştir. %20 ile %50 arasında değişen kenevir lifleri, %0 ile %8 arasında değişen MAPP içerikleri ile bir araya getirilerek kompozitler üretilmiş ve üretilen kompozitlerde çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Çekme mukavemeti ile ilgili olarak, MAPP ilavesinin açık bir etkisi olmuştur. Genel anlamda MAPP ilavesi ile çekme direnci değerlerinde artış görülmüş ve en iyi sonuçlar %20 kenevir lif içeriği olan kompozitlerde gözlemlenmiştir. Uyum sağlayıcı ajanın (MAPP) kompozitlerin elastikiyet modülü üzerinde etkisi düşük çıkmıştır. Elastikiyet modülü lif içeriğinin artması ile artmış, ancak MAPP yüzdeleri anlamlı değişiklikler sunmamıştır. Bu durum arayüzey gücünün elastikiyet modülü üzerinde çok az etkisi olmasıyla açıklanmıştır. Kenevir liflerinin kompozitlerdeki çekme direnci değerleri %6 MAPP ilavesine kadar artmış ve %8 MAPP içeriklerinde düşüşler görülmüştür. Liflerin arayüzey mukavemetinin ve içsel gerilme mukavemetine etkisini doğrulamak için bir mikromekanik analiz yapılmıştır. Kelly ve Tyson modifiye denklemi kullanılarak sonuçlar irdelenmiştir. Liflerin ortalama uzunluğunun etkili olduğu tespit edilmiştir. Bu uzunluklar, ağırlıkça %20 ile %50 takviye içerikleri için 670 µm'den 371 µm'ye düşmüştür. Bu tür lif kısalmasının, takviye içeriği ile artan yıpranma olayına bağlandığı bildirilmiştir. Kritik altı liflerin katkısı genellikle süper kritik liflerin katkısından daha düşük olduğu denklemlerle (Kelly ve Tyson) ortaya konmuştur. Sonuç olarak lif kısalmasının, takviyelerin güçlendirme kabiliyetlerinden yararlanmayı azalttığı söylenmiştir. Kompozit üretiminde liflerin karıştırma sırasındaki yıpranma nedeniyle de kısaltmalar yaşandığı tespit edilmiştir. Uzun liflerden geri kazanılan liflerin çoğunluğu 700 µm altında uzunluklar göstermiştir. Uzun liflerin varlığı büyük ölçüde azalmış ve kısa lif ağırlıklı karışımlar oluşmuştur. Liflerin

apı ise karıştırma işlemlerinden daha az etkilenmiş ve ortalama lif çapları 30,75 µm olarak tespit edilmiştir.

Vilaseca ve ark., (2020), Polipropilen (PP) esaslı termoplastik kompozitlerde dolgu maddesi olarak kenevir saplarından elde edilen ligninleşmiş i odunsu kısmı (kıtık) kullanarak kompozit üretimleri gerçekleştirmiştir. Kenevir sapları odunsu kısmı çevreleyen sak lifi (bast lifi) ve i odunsu kısım (kıtık)’dan oluşmaktadır. Bu çalışmada kenevir sapları sak liflerinden ayrıştırıldıktan sonra kalan kıtık kısım dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Çalışmada kenevir kıtık kısımlarında NaOH (sodyum hidroksit) işleminin PP esaslı kompozitlerin eğilme direnci ve kenevir liflerinin içsel eğilme direnci üzerine etkisi incelenmiştir. Kenevir kıtık kısımlarında lignin uzaklaştırılmasında (safsızlaştırma), işlemin lif performansını nasıl etkilediğini değerlendirmek için üç farklı NaOH (%5, %7.5 ve %10) konsantrasyonu kullanılmıştır. İlaveten işlem sırasında ligninin kimyasal bozunması sırasında katalizör görevi görmesi için her parti gruba lif içeriğine göre ağırlıkça %0.1 oranında antrakınon ilave edilmiştir. Safsızlaştırma işlemi 1:10 katı/sıvı oranlarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen lifler daha sonra deiyonize su ile bolca yıkanmıştır. Yıkanmış liflerden bireysel lifler elde etmek için kağıt hamuru mekanik defibratr kullanılmıştır. Son olarak lifler sabit ağırlıkça gelinceye kadar 80 C’lik fırında kurutulmuştur. Kenevir liflerinden lignin uzaklaştırılması işleminde, liflerin lignin içeriği ve morfolojisi, kappa sayısı, ortalama lif uzunluğu ve lif çapı ölçülerek belirlenmiştir. Lignin uzaklaştırılması en iyi %10 NaOH işlemi ile elde edilmiştir. Kompozit üretimleri için formülasyonlar ısıtılmalı bir karıştırıcıda eriyik hale gelinceye kadar karıştırılmış ve soğuduktan sonra enjeksiyon üretimleri için granül haline getirilmiştir. Enjeksiyon kalıplama ile eğilme ve çekme numuneleri üretilmiştir. Çekme numuneleri liflerin içsel eğilme dayanımının belirlenmesi için üretilmiştir. Kompozit üretimlerinde PP ve kenevir lifleri 90/10, 80/20, 70/30, 60/40 ve 50/50 (polimer/dolgu maddesi) ağırlık oranlarında kullanılmıştır. Ayrıca, kompozit üretimlerinde birleştirme ajanı olarak maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Kompozit üretimlerinde ne kadar MAPP kullanılacağı ağırlıkça %40 kenevir lifi ilaveli (%5, %7,5 ve %10 NaOH ile işlenmiş) kompozitlerde eğilme direnci değerleri üzerinden optimize edilmiştir. MAPP’sız örneklerin eğilme direnci değerleri saf PP örneklerin eğilme direnci değerlerine yakın çıkmıştır. Bu durum, polimer matris ile dolgu maddesi arasındaki çok az uyumdan kaynaklanmasıyla açıklanmıştır. MAPP ilavesinin ağırlıkça %6’ya kadar çıkarılmasıyla eğilme direnci değerleri maksimum değerlere ulaşmıştır. Daha yüksek MAPP içeriğinde,

eğilme direncinde azalmalar meydana gelmiştir. Bu, liflerin hidroksil gruplarının MAPP (%6) molekülleri ile doygunluğunu göstermesiyle açıklanmıştır. Daha fazla MAPP (>%6) ilavesiyle MAPP zincirlerinin kendi kendine karışması ve moleküllerin kaymasıyla sonuçlanmasının eğilme direnci değerlerinde azalmalara neden olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen optimizasyon sonrasında diğer üretimlerde (ağırlıkça %10-20-30-40 ve %10 kenevir lifi ilaveli) %6 MAPP kullanılmıştır. Kompozitlerin eğilme direnci değerleri lif işlemleri (%5, %7,5 ve %10 NaOH) doğrusal bir şekilde artmıştır. Eğilme direncindeki en yüksek artışlar, %10 NaOH ile işlenmiş gruplarda tespit edilmiştir. Bu durum, %5 ve %7.5 NaOH işlemine göre %10 NaOH işleminde liflerin daha iyi safsızlaştırma (lignin giderme) ile sonuçlanması başka bir ifadeyle %5 ve %7.5 işlenmiş liflere kıyasla daha düşük lignin içeriği ve daha büyük en-boy oranları nedeniyle beklenen bir sonuç olmuştur. Ağırlıkça %50 kenevir lifi içeren kompozitler saf matristen 2 ila 2.3 kat daha yüksek eğilme direnci göstermiştir. Çekme direnci değerleri lif hacim fraksiyonu ile doğrusal olarak gelişmiştir. Çekme direncinde de eğilme direncine benzer bir eğilim izlemiştir. Ağırlıkça % 50 kenevir içerikli (%5, %7,5 ve %10 NaOH işlem görmüş) örneklerde çekme direnci saf PP örneklerle kıyasla yaklaşık 1.8 ile 2 kat daha yüksek çıkmıştır. Hem eğilme direnci hem de çekme direnci değerlerinde en yüksek sonuçlar %10 NaOH ile işlem görmüş %50 kenevir lifi dolgu kompozitlerde elde edilmiştir. Bununla birlikte, eğilme direnci değerleri çekme direnci değerlerinden daha yüksek çıkmıştır. Bu, eğilme kuvvetlerine maruz kalan kompozitlerin, numunelerin enine kesit alanında basınç ve çekme yüklerinin bir kombinasyonuna maruz kalması gerçeğiyle açıklanmıştır. Ayrıca, liflerin anizotropisinin ve plastik içindeki yarı hizalanmalarının eğilme mukavemetine daha kapsamlı bir şekilde katkıda bulunabileceği de ifade edilmiştir. Dolgu maddesi ve polimer matrisin kompozitin mukavemetine katkısını hesaplamak için kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi modifiye edilmiş Karışım Kuralı'dır (mRoM). Model, polimer matris tarafından desteklenen mukavemeti ve takviye liflerine etkili bir şekilde aktarılan gerilimi dikkate alan doğrusal bir ilişki kurar. Bu model üzerinden çalışmada, eğilme ve çekme direnci değerleri üzerinden liflerin içsel çekme ve eğilme direnci değerleri tahmin edilmiştir. %5, %7.5 ve %10 NaOH konsantrasyonlarındaki işlemler için kenevir liflerin ortalama içsel eğilme mukavemeti sırasıyla 770, 849 ve 940 MPa bulunmuştur. Aynı işlemler için, kenevir liflerin ortalama iç direnci sırasıyla 448, 525 ve 586 MPa bulunmuştur. Liflerin eğilme ve çekme koşulları altında içsel mukavemetini, NaOH işleminin etkilediği tespit edilmiştir.

Wu ve ark., (2020), Modifiye edilmiş kenevir lifleri ve Tung yağı anhidriti (TOA) kullanarak polipropilen esaslı kompozitler üretmiştir. Üretilen kompozitlerin bazı özellikleri üzerine TOA'nın etkisini incelemiştir. TOA, modifiye kenevir lifi ve polipropilen matris ile hazırlanan üçlü karışımlar çift vidalı ekstrüzyonda eriyik halde karıştırılıp daha sonra elde edilen karışımlar enjeksiyon makinesinde üretilmiştir. Tüm karışımlarda kenevir lifi oranı %5 olarak sabit tutulmuş, TOA ise %5-20 aralığında kullanılmıştır. Karışımların FTIR spektrumları, işlevselleştirilmiş tung yağının kenevir lifleri ile reaksiyona girebileceğini ve kenevir liflerinin yüzeyinde bir tung yağı tabakası oluşturabileceğini ortaya koymuştur. PP/kenevir lifi/TOA karışımlarının darbe direnci ve kopmada uzama değerlerinin PP/kenevir lifi karışımlarından daha iyi çıktığı bulunmuştur. SEM analizi, kenevir lifi ve PP arasındaki arayüz uyumluluğunun TOA ile iyileştirildiğini göstermiştir. TGA ve DSC analizinde ise TOA ile karışımların termal stabilitesinin iyileştirildiği bulunmuştur. Sonuç olarak, tung yağı anhidriti, PP/kenevir lif kompozitlerinin tokluğunu ve termal stabilitesini geliştirmek için yardımcı olduğu tespit edilmiştir.

Rouway ve ark., (2020), polipropilen esaslı dört farklı doğal lif (Kenevir, Keten, Sisal ve Alfa) katkılı termoplastik kompozitler üretmiş ve üretilen kompozitlerin rüzgar türbini olarak kullanılabilmesinde kompozitlerin elastikiyet modüllerini iki yöntemle (Analitik Mori Tanaka teorisi ve sayısal Digimat MF) değerlendirmiştir. Doğal liflerin enine izotropiklerinin mekanik davranışlarının karşılaştırılmasında, kenevirin düşük yoğunluklarına göre yüksek Young ve kesme modülü ile iyi bir performansa sahip olmasıyla kenevir esaslı kompozitlerin kırsal ve izole alanlarda küçük rüzgar türbini kanatlarının üretimi için alternatif olabileceği öne sürülmüş ancak mekanik davranışın, üretim sürecindeki tek önemli parametre olmadığı ifade edilmiştir. Doğal lif kompozitlerin pratik uygulamalarından önce çeşitli davranışlarının tahminine uygun sayısal ve analitik modellerin geliştirilmesi için sürekli çaba gösterilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Panaitecu ve ark., (2019), Maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (MAPP) ve SEBS ile modifiye edilmiş bir polipropilen matrisini güçlendirmek için alkali ve alkali-silan muamelesiyle modifiye edilmiş kenevir lifleri kullanarak kompozit üretimleri gerçekleştirmiştir. Üretilen kompozitlerin, mekanik özellikleri, termogravimetrik analiz (TGA), diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri analiz edilerek, otomotiv endüstrisine yönelik kompozitlerin morfolojisi ve mekanik özellikleri üzerinde değiştiricilerin ve işlemlerin etkisini araştırmıştır. Alkali ve

alkali-silan işlemleri, hemiselülozların ve ligninin çoğunu keneyir lif yüzeyinden uzaklaştırmış ve termal kararlılıklarını artırdığı tespit edilmiştir. Saf PP/keneyir lifi ile üretilen kompozitlere kıyasla, MAPP ve SEBS ile modifiye edilmiş PP'ye keneyir lifi eklenmesi, çekme direnci, elastikiyet modülü ve darbe direncini artırdığını ve keneyir liflerinin ilave edilmesiyle üretilen kompozitlerin bozunma sıcaklığının da Saf PP'ye kıyasla yaklaşık 51 °C artırdığını tespit etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda otomotiv endüstrisinde enjeksiyonla kalıplanmış parçalar için MAPP ve SEBS ile modifiye edilmiş PP/Keneyir lifi kompozitlerin, PP/Cam lifi kompozitlerine uygun bir alternatif olarak kabul edilen gelişmiş mekanik ve termal özellikler gösterdiğini bildirmiştir.

Vilasecaa ve ark., (2018), keneyir lif üretiminden arta kalan odunsu çekirdek kısmını polipropilen kompozitlerin üretiminde dolgu maddesi olarak kullanmıştır. Keneyir odunsu kısmının yüksek lignin içeriği sebebiyle, lignin içeriğini ayarlamak için yumuşak bir alkali (NaOH) pişirme işlemi gerçekleştirmiştir. Keneyir odunsu kısmında NaOH muamalesinin elastikiyet modülü üzerine etkisini incelemiştir. Kompozit üretiminde, alkali işlem sonrası elde ettiği keneyir liflerini %20-50 oranında kullanarak enjeksiyon kalıplama yöntemiyle gerçekleştirmiştir. Pişirme işleminde %5, %7,5 ve %10 olarak üç farklı oranda NaOH kullanmış ve keneyir odunsu kısmını 160 °C'de 30 dakika boyunca bir termomekanik işleme tabi tutmuştur. Pişirme işlemleri sırasında NaOH içeriğinin artması, keneyir odunsu liflerinin bireyselleştirilmesini kolaylaştırmış, bireyselleştirme işlemi sırasında aşınmayı azaltmış ve daha uzun ortalama lif uzunluklarına sahip liflerin elde edilmesini sağlamıştır. Pişirme işleminde NaOH artışı kompozitlerin elastikiyet modülünde çok az bir gelişme göstermiştir. Yapılan çalışma sonucunda keneyir odunsu kısımlarının kullanılmasıyla üretilen kompozitlerin çekmede elastikiyet modüllerinin diğer doğal liflerle üretilen kompozitlerle benzerlik gösterdiğini bildirmiştir. Ayrıca polipropilen-keneyir odunsu lif takviyeli kompozitler, polipropilen-cam lif kompozitlerin ikamesi için gerçekçi bir potansiyel ortaya koyabileceğini ve keneyir odunsu kısımların kompozit üretimlerinde kullanılmasının çevre üzerinde olumlu etkilerinin olacağı ifade etmiştir. Ortaya koyduğu bu hipotezin desteklenmesi için bir yaşam döngüsü değerlendirmesinin yapılmasını da önermiştir.

Sullins ve ark., (2017), Keneyir lifi takviyeli polipropilen kompozitler üretimlerinde ağırlıkça lif oranı, liflere uygulanan alkali işlem sodyum hidroksit (NaOH) ve bağlayıcı madde maleik anhidritle graflanmış polipropilenin (MAPP) eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci ve çekmede elastikiyet modülü üzerine etkisini

incelemiştir. Kompozit üretimlerinde lif yüklemesi sırasıyla ağırlıkça %0, %15 ve %30, liflere uygulanan NaOH işlemi sırasıyla %0, %5 ve %10, uyum sağlayıcı ajan MAPP ise sırasıyla ağırlıkça %0 ve %5 oranlarında kullanılmıştır. Kenevir lifleri alkali işlemler öncesinde 50 saat süreyle 48 °C'de kurutulmuştur. Kurutulan lifler ortam sıcaklığında ağırlıkça %5 NaOH ve %10 NaOH oranlarındaki sulu çözelti içerisinde 1 saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra lifler su ile yıkanarak tekrardan 50 saat boyunca 48 °C'de kurutulmuştur. Üretimler için belirlenen formülasyonlara göre hazırlanan karışımlar çift vidalı ekstruderden çekilerek elde edilen eriyikler soğuduktan sonra kalıplama için granül haline getirilmiştir. Granüller test örnekleri şeklinde pres kalıplama yöntemiyle üretilmiştir. Alkali işlem görmüş ve işlem görmemiş kenevir lifleri SEM görüntüleriyle analiz edilmiştir. Alkali işlem görmeyen liflerin yüzeyinde eşit olmayan tortu safsızlıklar gözlemlenmiştir. Buna karşılık, alkali işlem görmüş liflerde yüzey safsızlığı ortadan kalkmış ve daha temiz yüzeyler elde edilmiştir. Ayrıca, alkali işlem görmüş ve görmemiş kenevir lifleri için FTIR spektrumları da incelenmiştir. Ağırlıkça %5 ve %10 NaOH ile muamele edilen kenevir lifleri neredeyse aynı spektrumları göstermiştir. Hidroksil grubunun neden olduğu alkali işlenmiş liflerin OH⁻ germe titreşimi, alkali işlem görmemiş liflere kıyasla daha yoğun olduğu tespit edilmiştir. Bu da, NaOH işleminin liflerin safsızlıklarını azalttığı ve hidroksil gruplarının yüzdesinin artmasını sağlamıştır. Ekstruder ve pres kalıplama öncesi ve sonrasında kenevir liflerinin uzunlukları incelenmiştir. PP esaslı kompozitlerde kenevir liflerini ayrıştırma işlemi için suda çözünebilen polivinil alkol (PVA) kullanılmıştır. Bu işlem için PVA ilaveli karışımlar 190 °C eritilmiştir. Bu sıcaklıklarda PVA daha yüksek viskoziteye sahip olduğundan daha sonra yıkama işlemi ile kenevir lifleri PVA içerisinden ayrıştırılmıştır. Ekstruder öncesinde lif uzunluğu 36.4 mm ve lif çapı 0.004 mm, ekstruder sonrasında ise 29.1 mm ve lif çapı 0.003 mm tespit edilmiştir. Kalıplama öncesinde lif uzunluğu 17.4 mm ve lif çapı 0.003 mm, kalıplama sonrasında lif uzunluğu 15.7 mm ve lif çapı 0.003 mm tespit edilmiştir. Lif uzunluklarının proses sürecince kısılması beklenen bir durum olup, kenevir lifi uzunluğu orijinal uzunluğunun %40'dan fazlasını korumuştur. NaOH ile alkali işlem görmüş kenevir lifleri ile üretilen kompozit örneklerin eğilme ve çekme özellikleri işlem görmemiş lifler ile üretilen örneklerden daha yüksek çıkmıştır. Alkali işlemin direnç değerleri üzerinde olumlu bir etkisi olmuştur. Ağırlıkça %30 kenevir lifi ilaveli kompozit örneklerin mekanik özellikleri saf PP ve ağırlıkça %15 oranında kenevir lifi ilaveli kompozitler kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Aynı zamanda, ağırlıkça %5 MAPP ilaveli kompozitlerin mekanik

özellikleri ağırlıkça aynı orandaki lif ilaveli ve alkali işlem görmüş kenevir lifleriyle üretilen örneklerle kıyasla daha yüksek çıkmıştır.

Özmen ve ark., (2014), Polimer matris olarak polipropilen (PP), dolgu maddesi olarak mobilya sektöründe ortaya çıkan lif levha atıkları (MDF) kullanarak odun plastik kompozitler üretmiştir. Aynı zamanda MDF ile odun unu karşılaştırması için çalışmada dolgu maddesi olarak sarıçam odun unu da kullanmıştır. Kompozit üretimlerinde dolgu maddesi olarak %10-20-30-40 ve %50 MDF ile %20 odun unu kullanmıştır. Uyum sağlayıcı ajan etkisini belirlemek için ise %20 MDF ile üretilen gruplarda MAPP (maleik anhidrit aşılınmış polipropilen) kullanmıştır. Kompozit üretimleri için hazırlanan formülasyonlar çift vidalı ekstrüderde eriyik hale getirildikten sonra granül üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen granüller pres kalıplama yöntemiyle levhalar halinde üretilmiştir. PP matrise MDF unlarının katılım oranlarının artmasına bağlı olarak çekme ve darbe direnci değerlerinde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. Aynı üretim koşullarında %20 oranında odun unu ile üretilen kompozit örneklerin çekme direnci değerleri %20 MDF unu ile üretilen kompozit örneklerle kıyasla yaklaşık %13 daha yüksek çıkmıştır. Ancak %20 MDF/ %5 MAPP ile üretilen kompozit örneklerin çekme direnci değerleri %20 odun unu ile üretilen örneklerden yüksek çıkmıştır. MAPP ilavesi çekme direnç değerleri üzerinde olumlu yönde etki yapmıştır. Bu etkinin, MAPP'in MDF unu ve PP matris yüzeyleri arasında adhezyon gücünü artırmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Bu durum, MAPP'lı örneklerden elde edilen SEM görüntülerinde MDF unlarının PP polimer matris içerisine gömülü olmasıyla da desteklenmiştir. PP matrise %10 MDF unu ilavesiyle eğilme direnci değeri saf PP'ye göre %19 azalış göstermiştir. MDF unu ağırlıkça %20 olduğunda eğilme direncinde bir miktar artış gözlemlenmiş, %30 ile %40' a olduğunda ise istatistiksel olarak saf PP örneklerle aynı eğilme direnci vermiştir. MDF unu katılımı %50'ye çıkarıldığında eğilme direncinde tekrar azalma görülmüştür. Ağırlıkça %10 MDF unu ile üretilen örneklerin darbe direnci değerleri saf PP ile üretilen örneklerden %6 daha düşük çıkmıştır. MDF katılım oranı %20 ve üzerine çıktığında ise darbe direnci değerinde önemli azalma görülmüştür. Ancak, %20 MDF / %5 MAPP ile üretilen örneklerin darbe direnci değerleri MAPP'sız örneklerle nazaran yaklaşık %14 daha yüksek çıkmıştır. Ağırlıkça %20 oranında odun unu ile üretilen örneklerin darbe direnci değerleri, ağırlıkça %20 MDF ile üretilen gruplardan %21 oranında daha yüksek çıkmıştır.

Yan ve ark., (2013), Polipropilen (PP) matrise tekstil ürünlerden elde edilen döküntü kenevir lifi (DKL) ve kenevir bitkisi sap kısımlarında elde edilen sak lifleri (SKL)

kullanarak kompozit örnekler üretmiştir. Üretilen kompozit örneklerin bazı mekanik, termal ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Üretimlerde uyum sağlayıcı ajan olarak maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (MAPP), katkı maddesi olarak antioksidan ve anti-UV ajanlar kullanılmıştır. Üretimler öncesinde hem SKL hem de DKL rutubetten arındırılması için 105 °C yaklaşık 8 saat kadar kurutulmuştur. 170-180 °C sıcaklıklarında bir karıştırıcıda PP matris içerisine antioksidan (%3) ve anti-UV (%3) katkı maddesi ilave edilip 15 dakika karıştırılıp eriyik reçine elde edilmiştir. Daha sonra ağırlıkça % 10-20-30-40 oranlarında lif ilavesiyle 15 dakika kadar daha karıştırılarak PP/DKL ve PP/SKL karışımları bir rulo karıştırıcı ile tabaka haline getirilmiştir. Levhalar daha sonra kırıcı vasıtasıyla 7mm boyutlarında granül haline getirilmiştir. Elde edilen PP/DKL ve PP/SKL karışım granülleri enjeksiyon kalıplama makinesiyle test numuneleri olarak üretilmiştir. Kompozit örneklerde MAPP ilavesinin morfolojik ve mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemek için %30 lif içeriğine sahip karışımlara MAPP (%1, % 2,5 ve %5) ilave edilmiştir. DKL, SKL'nin belli bir aşamalardan geçtikten sonra elde edildiği bir tekstil lifidir. DKL ve SKL için karakterizasyon yapılmıştır. DKL, ağırlıkça %91,9 selüloz ve ağırlıkça yaklaşık %7 lignin, hemiselüloz ve pektinden oluşan pürüzsüz beyaz renkli kenevir tekstil lifidir. SKL ise ağırlıkça %56,5 selüloz ve ağırlıkça yaklaşık %32,5 lignin, hemiselüloz ve pektinden oluşmaktadır. TGA sonuçlarına göre DKL ve SKL'nin 110 °C'nin altındaki ağırlık kaybı, rutubet salınımı nedeniyle yaklaşık %8 olmuştur. Artan sıcaklıkla lif bileşenlerinin termal bozunması meydana gelmiştir. DKL, SKL'den daha düşük bozunma hızına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, SKL'nin DKL'ye göre daha fazla hemiselüloz ve lignin içeriğine sahip olmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Çünkü hemiselüloz ve pektin, selüloz ve lignine göre nispeten daha düşük termal dirence sahip lif bileşenlerdir. Dolayısıyla DKL'de SKL'den daha düşük hemiselüloz ve pektin içeriği, DKL'nin SKL'den daha iyi termal direnç göstermesinin nedenidir. DKL ve SKL'nin bozunma hızı maksimum pikleri incelendiğinde birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. DKL en yüksek bozunma hızına 362 °C sıcaklıkta, SKL ise 358 °C ulaşmıştır. Sonuç olarak, DKL'nin karıştırma işleminde SKL'ye göre nispeten daha hafif termal bozunma gösterdiğini göstermiştir. Lif içeriğinin kompozit örneklerin mekanik özellikleri üzerine önemli etkisi olduğu bildirilmiştir. PP matrise lif yüklemesinin çekme direncini düşürdüğü tespit edilmiştir. Ancak, lif ilavesinin %10'dan %40 çıkarılması çekme direncinde çok fazla değişiklik göstermediği tespit edilmiştir. DKL ve SKL ilaveli kompozit örneklerin çekme direnci değerlerinde, lif içeriği ağırlıkça %10-40 aralığında değiştiğinde ortalama %0,4'lük bir farkla hemen hemen aynı çekme direnci değerlerini

vermiştir. Saf PP'deki 40 MPa'lık eğilme direnci, PP/SKL ile yaklaşık 48 MPa'ya (%30 lif içeriği) yükselmiştir. PP/DKL'deki eğilme mukavemeti, DKL miktarının ağırlıkça %10'dan %40'a çıkarılmasıyla neredeyse sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Lif içeriğinin artmasıyla (%10'dan %40'a) darbe direnci değerleri lif türünden bağımsız olarak düşmüştür. DKL ile üretilen kompozit örneklerin darbe direnci değerleri SKL ile üretilen kompozit örneklerle nispeten %11,7 farkla daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, DKL'nin SKL'den daha kısa boyutlu lif içeriğine sahip olmasından kaynaklanabileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmada %30'luk karışımlara MAPP ilave edilmiştir. Lif türünden bağımsız olarak MAPP ilavesinin kompozit örneklerin çekme direnci, eğilme direnci ve darbe direnci değerlerini artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum, hidrofilik DKL ve SKL lifleri ile hidrofobik PP arasındaki düşük yapışmanın MAPP ilavesiyle daha iyi bir bağlanma sağlamasıyla açıklanmıştır. SEM görüntüleri ile MAPP ilavesinin daha iyi bir yapışma sağladığı tespit edilmiştir.

Kakroodi ve ark., (2012), Farklı boyutlarda öğütülmüş kenevir lifleri kullanarak termoplastik kompozit üretimleri gerçekleştirmiştir. Kompozit üretimlerinde termoplastik matris olarak geri dönüşümden elde edilmiş polipropilen (GPP), dolgu maddesi olarak farklı boyutlarda kenevir lifleri (kaba lif olarak 300-710 µm ile ince lif olarak 45 ve 180 µm kullanılmıştır) ve uyumlaştırıcı olarak MAPP (maleik anhidrit aşılantısı polipropilen) kullanmıştır. Üretilen örneklerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine lif boyutu ve miktarı ile MAPP'ın etkisini incelemiştir. Üretimlerde kenevir lif miktarını ağırlıkça %10, %20 ve %30 kullanmıştır. Ayrıca kaba ve ince lifler kendi içerisinde farklı oranlarda kullanılmıştır. Kaba lif/İnce lif olarak 100/0, 80/20, 60/40, 33/67, 0/100 oranlarında kullanılmıştır. Bunun yanında %30 kenevir dolgulu karışımlarda ağırlıkça %3 ile %5 MAPP kullanılmıştır. MAPP etkisinin incelendiği gruplarda kaba lif ve ince lif 100/0 ve 0/100 oranlarında kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri incelendiğinde lif yüklemesi ile birlikte yoğunluk değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Lif boyutlarının ise yoğunluk değerleri üzerine etkisi olmamıştır. En yüksek yoğunluk değeri ağırlıkça %30 lif ilavesiyle elde edilmiştir. MAPP kullanımı ise yoğunluk değerlerini bir miktar daha artırmıştır. Bu durum, MAPP'ın kenevir lifleri ve polimer matris arasında daha iyi bir yapışma sağlamasından kaynaklanmasıyla açıklanmıştır. SEM görüntüleriyle MAPP'lı grupların MAP'sız gruplara kıyasla lifler ile daha iyi bir yapışma sağladığı belirlenmiştir. Her iki kenevir konsantrasyonunda da, %100 kaba kenevir lifi içeren numunelerin, %100 ince kenevir lifi içeren numunelere göre daha yüksek çekme direnci gösterdiği, ince lif

ilavesinden sonra ise farklı bir eğilim gösterdiği görülmüştür. Ağırlıkça %20 keneyir lif içeriğine sahip örnekler içerisinde kaba lif/ince lif oranı 80/20 olan grupların çekme direnci değeri en yüksek çıkmıştır. 80/20 içerikli örneklerin çekme direnci değerleri GPP ile üretilen örneklerden yaklaşık 1.13 kat daha yüksek çıkmıştır. Ağırlıkça %20 keneyir lif ve kaba lif/ince lif oranı 80/20 olan gruplar MAPP'sız üretilen tüm gruplar arasında en yüksek değerde çıkmıştır. Bağlayıcı madde ilavesinin %30 keneyir içeriğine sahip numunelerin çekme dayanımı üzerinde önemli bir etkisi olmuştur. En yüksek çekme direnci değerleri kaba lif (100/0) ve %5 MAPP ile üretilen gruplardan elde edilmiştir. MAPP oranı (%3 ve %5) dikkate alınmaksızın, MAPP ile üretilen örnekler MAPP'sız örneklerden daha yüksek çekme direnci değerleri sağlamıştır. Bu durum, MAPP'den gelen maleik anhidrit gruplarının keneyir liflerindeki selülozun hidroksil gruplarıyla bağlanması ve MAPP'nin hidrofobik kısmının GPP ile bağlanarak polimer matris ve dolgu maddesi arasında iyi bir bağlanma sağlamasıyla açıklanmıştır. Bu bağlanma ile polimer matristen keneyir liflerine gerilimin aktarılmasına olanak sağlanmış ve üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini artırmasıyla sonuçlanmıştır. Eğilme direnci değerlerindeki örnekler arasındaki değişimler çekme direnci değerlerindeki benzerlik göstermiştir. Eğilme direnci değerlerinde en iyi direnç değerleri kaba lif (100/0) ve %5 MAPP ile üretilen gruplardan elde edilmiştir. Darbe direnci değerlerine bakıldığında GPP polimer matrise lif ilavesiyle direnç değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. En iyi darbe direnci değerleri ağırlıkça %20 keneyir içerikli ve kaba lif/ince lif oranı 100/0 olan yani tamamen kaba lif ile üretilen örneklerde görülmüştür. Ayrıca, ağırlıkça %30 keneyir lifi içeren örnekler %3 MAPP ilavesiyle direnç değerlerinde artış, MAPP oranı %5 olduğunda ise azalmalar tespit edilmiştir.

Khoathane ve ark., (2008), keneyir lifi ile takviye edilmiş 1 penten/Polipropilen (PP) kopolimer kompozitleri enjeksiyon yöntemiyle üretmiş ve lif oranının kompozitler üzerindeki mekanik ve termal özelliklerini incelemiştir. Keneyir ve polimer matris arasındaki bağlanmayı iyileştirmek için üretimlerde %2 oranında polipropilen-aşılı-maleik anhidrit (MAPP) kullanmıştır. Kompozit üretimlerinde lif içeriğini ise %5, 10, 20 ve 30 olacak şekilde gerçekleştirmiştir. Keneyir lif içeriğinin mekanik özellikler üzerinde etkisi olduğu saptanmıştır. Kompozit içerisindeki lif miktarındaki artışla çekme dayanımı, elastik modülü ve eğilme dayanımı arttığı belirlenmiştir. Darbe dayanımının malzemeyi daha kırılğan hale getirmesinden dolayı düştüğü tespit edilmiştir. Kompozitlerin termal dayanımları ise kendisini oluşturan liflerin ve matrisin kendi başlarına olan

dayanımlarından yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Bu durum kompozitlerin MAPP uyumlaştırıcı ile işlenmesinden kaynaklanan geliştirilmiş kenevir lifi/matris yapışmasına atfedilmiştir.

Beckermann ve Pickering (2008), Kenevir saplarından elde edilen sak liflerini polipropilen matris içerisinde kullanarak kompozit üretimleri gerçekleştirmiştir. Sak liflerine uygulanan alkali işlemlerin ve polimer matris ile kenevir lifleri arasındaki bağlanmayı artırıcı maleik anhidrit aşılınmış polipropilen (MAPP)'ın kompozitlerin bazı özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Alkali işlem için iki farklı çözelti içerisinde kenevir lifleri safsızlaştırmaya tabi tutulmuştur. İlk işlem için ağırlıkça %10 NaOH (sodyum hidroksit), ikinci işlem için ise ağırlıkça %5 NaOH ve %2 Na₂SO₃ çözeltisi kullanılmıştır. NaOH ile işlem gören lifler 160 °C sıcaklıkta 45 dakika kadar bekletilmiştir. NaOH/Na₂SO₃ ile işlem gören lifler ise 120 °C sıcaklıkta 60 dakika kadar bekletilmiştir. İşlemlerden sonra lifler 10 dakika kadar yıkanmış ve daha sonra 80 °C sıcaklıkta 48 saat süreyle kurutulmuştur. İşlemlerden sonra NaOH işleminin %41.3'lük lif kuru kütle kayıplarına neden olduğu, NaOH/Na₂SO₃ işleminin ise %32.1'lik lif kuru kütle kayıplarına yol açtığı bulunmuştur. Alkali işlem görmemiş, NaOH ile muamele edilmiş ve NaOH/Na₂SO₃ ile muamele edilmiş liflerin lignin ölçümleri yapılmıştır. Alkali konsantrasyonu daha yüksek olan NaOH işleminin, ligninin kenevir lifinden uzaklaştırılmasında NaOH/Na₂SO₃ işlemine göre daha etkili olduğu görülmüştür. Kenevir lifleri içerisinde bulunan hemiselülozlar ve pektinler lignine göre daha fazla çözünür ve daha fazla termal bozunmaya sahip olduklarından alkali işlem sırasında bu iki bileşenin ligninden daha fazla uzaklaştığı varsayılmıştır. NaOH ile kenevir lif muamelesi sırasında yaşanan %41,3'lük ve NaOH/Na₂SO₃ ile kenevir lif muamelesi sırasında yaşanan %32,1'lik lif kütle kayıpları, lif muameleleri sırasında lignin dışındaki bağlayıcı malzemelerin çıkarıldığını doğrulamıştır. Alkali işlem görmemiş, NaOH ile muamele edilmiş ve NaOH/Na₂SO₃ ile muamele edilmiş kenevir liflerinin lif çapı, gerilme mukavemeti ve Young modülü belirlenmiştir. Her iki alkali işlemde de lif çapında azalmalar meydana gelmiştir. Bu durum, lif hücre duvarında çimento görevi (bağlayıcı) gören bileşenlerin (lignin, hemiselüloz, pektin gibi) alkali işlem ile uzaklaşmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. NaOH ile muamele edilmiş kenevir lifleri, NaOH/Na₂SO₃ ile muamele edilmiş kenevir liflerinden daha küçük çapta lif ile sonuçlanmıştır. Bu durum ise, NaOH konsantrasyonun daha fazla olmasıyla daha fazla bağlayıcı maddenin liften uzaklaşmasından kaynaklanmıştır. NaOH ile muamele edilen liflerin çekme direnci ve

young modüllüleri alkali işlem görmemiş liflerden düşük, NaOH/Na₂SO₃ ile muamele edilmiş liflerinki yüksek çıkmıştır. Ağırlıkça %40 oranında alkali işlem görmemiş, NaOH ve NaOH/Na₂SO₃ ile muamele edilmiş kenevir lifleri ağırlıkça %0, % 2, %3, %4 ve %5 oranında MAPP ile formüle edilerek kompozitler üretilmiştir. MAPP ilavesiyle tüm kompozit örneklerin çekme direnci değerlerinde artış görülmüştür. Bu, MAPP'ın lif yüzeyindeki mevcut OH gruplarına kimyasal olarak bağlanarak ve daha sonra moleküler zincir dolanması yoluyla matrise yapışarak lif ve matris arasındaki yapışmayı geliştirmesinden kaynaklandığı bildirilmiştir. Alkali işlem görmemiş lifler içeren kompozitler için MAPP içeriği ağırlıkça %2'den ağırlıkça %5'e çıkarıldığında çekme direnci değerlerin önemli bir artış olmamıştır. Bu durum, ağırlıkça %2 MAPP kullanımının işlem görmemiş liflerin yüzeyinde bulunan mevcut OH gruplarının çoğunu doyumak için yeterli olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmüştür. NaOH ile muamele edilmiş lifler içeren kompozitler, MAPP içeriği ağırlıkça % 0'dan ağırlıkça %4'e çıkarıldığında aşamalı bir çekme direnci artışı ve ağırlıkça %5MAPP'de hafif bir mukavemet düşüşü göstermiştir. Bu durum, ağırlıkça %4 MAPP içeriğinin NaOH ile muamele edilmiş lifler üzerinde bulunan OH gruplarının çoğunu doyumak için yeterli olmasından kaynaklanmasıyla açıklanmıştır. Alkali işlemlerin, lifleri birbirine bağlayan bağlayıcı maddeleri bozarak lif demetlerini bireysel olarak ayırdığı ve bu ayrılma ile lifin yüzeyinde daha fazla MAPP birleştirme ajanına bağlanacak OH grupları oluşturmalarının daha iyi yapışma ile sonuçlanması ve direnç değerinde artışa katkı sunduğu ifade edilmiştir. Aynı zamanda, NaOH/Na₂SO₃ ile muamele edilmiş lif ve ağırlıkça %4 MAPP içeren kompozitler, NaOH ile muamele edilmiş lif ve ağırlıkça %4 MAPP içeren kompozitlerden önemli ölçüde daha iyi çekme direnci vermiştir. Her iki alkali işlemle de liflerin muamele edilmesi yeterli seviyelerde lif ayrımı ve lif yüzey alanında artışlarla sonuçlansa da, kompozit örneklerin çekme direnci mukavemetinde fark, NaOH/Na₂SO₃ ile muamele edilmiş liflerin daha yüksek gerilme mukavemetine sahip olmasına bağlanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu kısım iki ana başlık altında değerlendirilmiş olup ilk kısımda proje kapsamında kullanılan dolgu maddeleri kenevir sapsları ve mobilya fabrikası (M.F.) atık talaşları, polimer matris olarak polipropilen ve uyum sağlayıcı ajan olarak ise MAPP tanıtılmıştır. İkinci kısımda ise laboratuvar ölçeğinde örnek üretimi, sanayi tipi uygulamada mobilya destek ayağı üretimi ve üretimler sonrasında elde edilen malzemelerin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test ve analiz yöntemleri anlatılmıştır.

3.1 Materyal

3.1.1 Lignoselülozik hammadde

Lignoselülozik dolgu maddesi olarak kenevir bitkisinden elde edilen sapslar ve mobilya fabrikası üretimler sonucu ortaya çıkan lignoselülozik atık talaşlar kullanılmıştır. Kenevir sapsları ve atık talaşlar satın alma yöntemiyle temin edilmiştir. Kenevir sapsları Burdur bölgesinde endüstriyel kenevir yetiştiricisi çiftçilerden temin edilmiştir. Mobilya fabrika atık talaşları ise Modalife Plastik Mob. İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti Kırıkkale fabrikasından temin edilmiştir.

3.1.2 Polimer matris

Bu çalışmanın bir ayağının sanayi üretiminde prototip ürün üretimi olması nedeniyle projede kullanılan polimer matris seçiminde prototip ürün üretiminin gerçekleştirileceği firmanın da kullanmış olduğu ve PETKİM tarafından üretilen MH 418 Kodlu polipropilen (PP) matris kullanılmıştır. Polipropilenler tedarikçilerinden satın alma yöntemiyle temin edilmiştir. MH 418 orta moleküler ağırlık dağılımına sahip homopolimer yapıda bir üründür. Çok amaçlı kullanıma uygun olarak orta erime akış hızında üretilmesi, hem enjeksiyon ile kalıplama yapan hem de ekstrüzyonla monofilament üretimi yapan imalatçıların kullanımına olanak sağlamaktadır (PETKİM, 2021). Petkim MH 418 Kodlu polipropilen beyaz pelletler şeklinde 25 kg'lık PE torbalarda satılmaktadır. Petkim MH 418 Kodlu PP'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. MH 418 PP'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri (Pektim, 2022).

Özellikler	Değer (*)	Birim	Test Metodu
Reçine Özellikleri			
Erime Akış Hızı (230°C/2.16 kg)	4.7	g/10 min	ASTM D1238
Yoğunluk	0.905	g/cm ³	ASTM D1505
Ergime Noktası (DSC, 2.ısıtma)	163	°C	ASTM D3418
Mekanik Özellikler (**)			
Akmada Gerilme Dayanımı	34	MPa	ASTM D638
Bükülme Modülü, 23°C	1450	MPa	TS EN ISO 178
Izod Darbe Dayanımı, 23°C (çentikli)	30	J/m	ASTM D256
Rockwell Sertliği	94	R-scale	ASTM D785
Termal Özellikler			
Deformasyon Sıcaklığı, 0.45 MPa	94	°C	ISO 75

(*) Tipik değerler sadece bilgi amaçlı verilmiştir, şartname çalışmalarında kullanılmamalıdır.

(**) Burada verilen değerler, basınçla kalıplanmış plakadan ölçülen değerlerdir.

3.1.3 Katkı maddesi

Katkı maddesi ve uyum sağlayıcı kimyasal olarak, Maleik Anhidrit Grafted Polipropilen (MAPP) kullanılmıştır. MAPP, Clariant firmasından Licocene® PP MA 7452 granülü olarak temin edilmiştir. MAPP'a ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Katkı maddesi MAPP özellikleri

No	Özellikleri	Licocene® PP MA 7452 (MAPP)	Test Metodu
1	Görünüş	Sarımsı toz	QM-AA-634
2	Yumuşama Noktası	155 – 161 °C	ASTM D 3104
3	Asit Değeri	39-46 mg KOH/g	QM-AA-351a
4	Viskozite	800 - 1400 mPa.s	QM-AA-158 at 170 °C
5	Yoğunluk (23 °C)	0,92 - 0,94 g/cm ³	ISO 1183

3.2 Yöntem

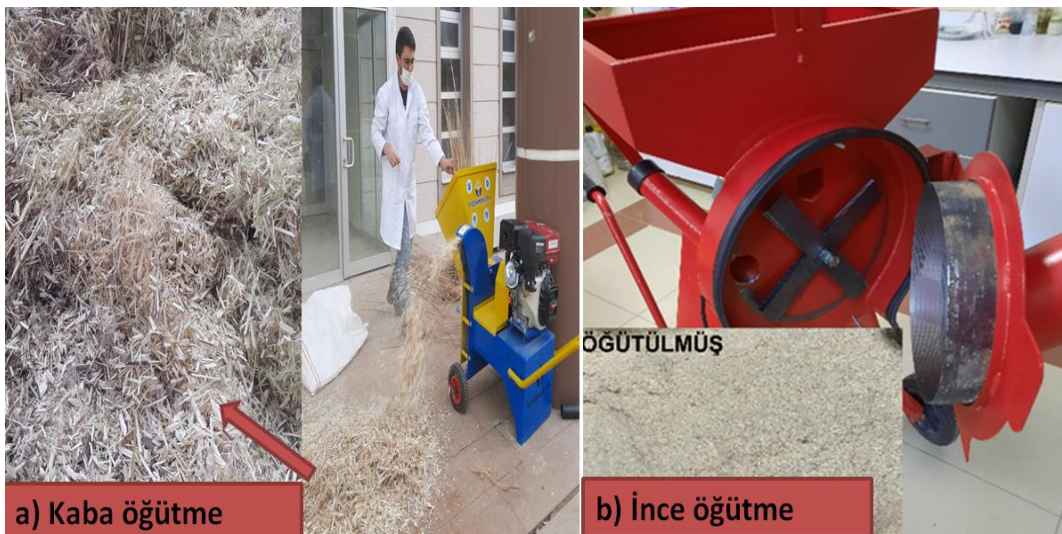
3.2.1 Hammaddelerin hazırlanması

Bu çalışmada kullanılacak polimer matris PP ve katkı maddesi MAPP satın alındığı şekilde kullanılmıştır. Dolgu maddesi olarak kullanılan kenevir sapları ve M.F. atık talaşları ise öğütme işlemi sonrası üretilmeye hazır hale getirilmiştir. Dikim alanlarından hasat edilen kenevir bitkilerinin tohumları alındıktan sonra kalan sapları Şekil 3.1'de gösterildiği şekliyle doğal kurumaya bırakılarak bir süre bekletilmiştir.



Şekil 3.1. Doğal kurumaya bırakılmış kenevir sapları

Kenevir saplarının temel bileşenleri selüloz, hemiselüloz, lignin ve pektinden oluşmaktadır. Sapların iç kısmında ligninleşmiş odunsu kısım bulunurken, bunları çevreleyen dış kısımda ise selülozca zengin sak lifleri bulunmaktadır (Şekil 1.4). Bu çalışmada kenevir sapları sak lifi ve odunsu kısım olarak ayrıştırılmadan bir bütün olarak öğütülerek kullanılmıştır. Kuruyan saplar Şekil 3.2’de gösterilen kaba öğütme ve ince öğütme makineleri yardımıyla un haline getirilmiştir. Dal öğütme makinesi yardımıyla uzun saplar küçük parçalar haline getirilmiş daha sonra ince öğütme makinesinde un haline gelecek şekilde öğütülmüştür. Fabrika talaş atıklarının öğütülmesi işleminde ise sadece ince öğütme makinesi kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Öğütme makinesi

Üretilecek olan kompozit örneklerin özellikleri üzerinde dolgu maddelerinin boyutlarının etkili olması sebebiyle öğütülen dolgu maddeleri boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu işlemin yapılabilmesi için 20–40–60–80–100 ve 200’lük mesh gruplarına sahip sarsak elek kullanılarak eleme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4). Ancak eleme işlemi sadece M.F. atık talaşlarına uygulanmıştır. 40 mesh’lik elekten geçip 60 mesh (0,250 mm) boyutundaki elek üzerinde atık talaş unları kullanılmıştır. Kenevir sapları sak liflerinden ayrıştırılmadan bir bütün olarak kullanıldığı için eleme işlemi denemelerinde sak liflerinden dolayı en üstteki elekte topaklanmalar olduğu ve bununda sağlıklı bir boyutlandırmanın önüne geçtiği tespit edilmiştir (Şekil 3.5). Sak liflerinin yaklaşık olarak %80-85 civarlarına kadar selüloz içeriğine sahip olduğu bilinen bir durumdur. Sak liflerinin selülozca zengin olması dolayısıyla eleme işleminde topaklanmaların meydana geldiği düşünülmektedir. Bu durumdan dolayı kenevir sapları öğütme makinesinden çıktığı şekliyle üretimlerde kullanılmıştır. Öğütme makinesinden çıkan kenevir sap unlarının elek analizi için yaklaşık 230 gr öğütülmüş kenevir sap unları kullanılarak elek analizi yapılmış ve yaklaşık değerler Çizelge 3.3’de verilmiştir. Fakat bu elek analizi işleminde de sak liflerindeki topaklanmalar dolayısıyla en üstteki elekte biriken kenevir unlarının bir alt eleğe geçmesinde zorluklar olduğundan yapılan elek analizinin tam olarak sağlıklı olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 3.4. Sarsak elek



Şekil 3.5. Eleme işleminde kenevir sak lifi topaklanma görüntüsü

Çizelge 3.3. Kenevir elek analizi

Mesh	gr	%
20	167	72,6
40	25	10,9
60	17	7,4
80	6	2,6
100	4	1,7
200	4	1,7
Elek altı ve kayıp	7	3,0

Üretimler öncesinde lignoselülozik dolgu maddeleri bünyesindeki suyun uzaklaştırılması için 24 saat süre ile 103 ± 2 °C sıcaklıkta kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Lignoselülozik esaslı dolgu maddeleri kullanılarak üretilen polimer kompozitlerde dolgu maddelerinin kurutulmuş olması son derece önemlidir. Dolgu maddesi bünyesindeki uzaklaştırılmamış su, üretim esnasında sıcaklık ile birlikte buhar oluşturmakta ve malzeme içerisinde istenmeyen boşluklar oluşturmaktadır. Bu durum ise üretilen kompozit malzemelerin direnç özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir.

Lignoselülozik dolgu maddesi olarak kullanılan M.F. atık talaşları Kırıkkale Türkiye’de üretim yapan Modalife mobilya fabrikasındaki atık toplama silolarından alınmıştır. Fabrika yetkililerinden alınan verilere göre üretimler sonucu yıllık ortalama 400 TON lignoselülozik atık oluşmaktadır. Lignoselülozik atıklar fabrika üretimlerinde kullanılan yaklaşık %90 kaplamalı ve kaplamasız yongalevha, %4 kavak kontrplak, %3 MDF ve %3 PVC kenar bantlarının işlenmesi sırasında olduğu fabrika yetkilileri tarafından bildirilmiştir. Talaşlar mobilya üretimleri sonucu silolara karışık gittiğinden içerik analiz tahmini yapılmıştır. Silolara giden karışımlar içerisinde; ham yonga-liflevha,

dekor kağıdı kaplanmış yonga-liflevha, pvc kenar bantları ve kontrplak parçaları bulunduğu gözlemlenmiştir. İçerik analiz işleminde öncelikle yaklaşık 20 kg paketler halinde fabrikadan temin edilmiş olan atık talaşlar her bir paketten bir miktar alınarak karıştırılmıştır. Daha sonra elde edilen karışımlar Şekil 3.6’ da gösterildiği gibi 4 defa kendi içerisinde 2’ye ayrılmış ve son kalan karışımda tartımlar yapılarak içerik tahmininde bulunulmuştur (Çizelge 3.4).



Şekil 3.6. M.F. atık talaş içerik analizinde karışım içerisinde rastgele seçim işlemi

Çizelge 3.4. M.F. atık talaş içerik analiz ve yüzdesi

İçerik Türü	Ağırlık (gr)	Karışım İçerisindeki Yüzdesi (%)
Yongalevha orta tabaka	0,683	38,44
Yongalevha üst tabaka	0,700	39,39
MEK’li yongalevha	0,269	15,14
Liflevha-MDF	0,100	5,63
PVC kenar bandı	0,025	1,41
Toplam	1,777	100

Çizelge 3.4 incelendiğinde atık talaş karışımının büyük bir çoğunluğunun yongalevha parçalarından oluştuğu görülmüştür. İçerik analizlerinin fabrika yetkilileri tarafından verilen talaş içerik bilgileri ile yaklaşık olarak örtüştüğü gözlemlenmiştir.

3.2.2 Lignoselülozik katkılı termoplastik kompozit örnek ve prototip ürün üretilmesi

Lignoselülozik katkılı polimer kompozitlerin üretimi; boncuk (granül) üretimi ve kompozit üretimi olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7’de lignoselülozik katkılı polimer kompozit üretim şeması verilmiştir. Boncuk üretimi tek burgulu ekstruder yardımıyla gerçekleştirilirken kompozit üretiminde ise iki aşamalı enjeksiyon kalıplama

yöntemi kullanılmıştır. İlk aşama standartlarda belirtilen test örnekleri şeklinde (Şekil 3.8) laboratuvar koşullarında örnekler üretilmiştir. İkinci aşamada ise belirlenen formülasyon karışımı, mobilya atıklarının olduğu Modalife mobilya fabrikasında prototip mobilya destek ayağı üretimi (Şekil 3.9) şeklinde gerçekleştirilmiştir.

Dolgu maddesi ve polimer matrisin etkileşimindeki zayıf bağlanma, hidrofobik organik polimer matris ile hidrofilik doğal lifler arasındaki zayıf ıslanma nedeniyle karşılaşılan ana dezavantajlardan biridir. Polar olan lignoselülozik lif ve polar olmayan polimer matris arasında uyum ve yapışmayı iyileştirmek için uyum sağlayıcı maddeler (coupling agent) kullanılmaktadır. Bu maddeler ara yüzey gerilimini azaltarak uyumluluğu sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Böylelikle daha iyi ara yüzey yapışması sağlanarak kompozitlerin performans özellikleri artırılmaktadır. Maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen (MAPP) bağ yapıcı olarak yaygın kullanılan uyumlaştırıcı maddelerden birisidir. Literatür verileri ve projenin yürütüleceği laboratuvarlarda daha önce yapılan çalışmalar dikkate alınarak uyum sağlayıcı ajan (MAPP) oranı ağırlıkça %3 olarak sabit tutulmuştur. Kompozitlere ait üretim reçetesi Çizelge 3.5'te verilmiştir.

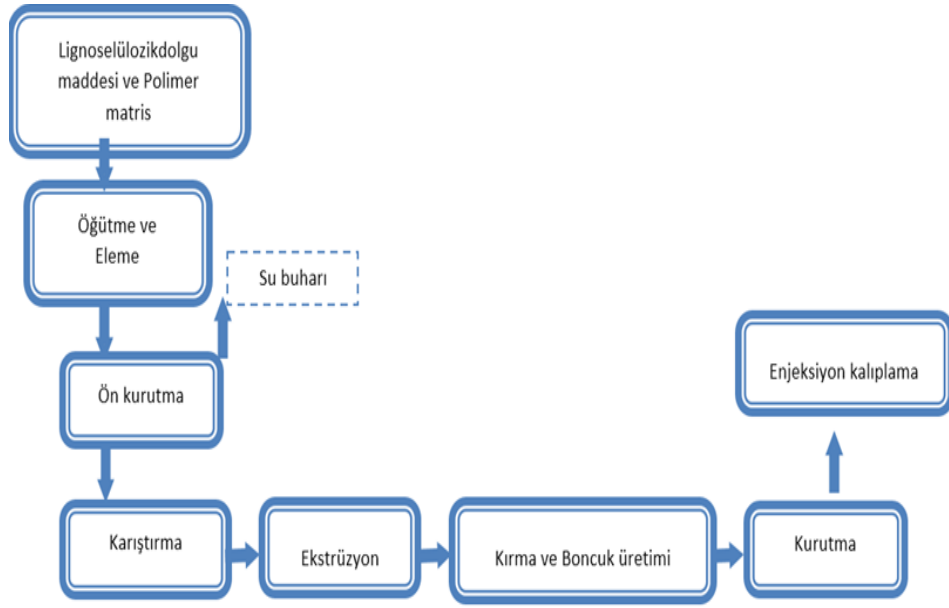
Çizelge 3.5. Kompozit üretimlerine ait çalışma deseni

Grup No	Polipropilen (PP)	Dolgu Maddesi (K/T)*	MAPP
K ₁ =T ₁	100	0	0
K ₂ =T ₂	97	0	3
K ₃ *, T ₃ **	90	10	0
K ₄ , T ₄	87	10	3
K ₅ , T ₅	85	15	0
K ₆ , T ₆	82	15	3
K ₇ , T ₇	80	20	0
K ₈ , T ₈	77	20	3
K ₉ , T ₉	75	25	0
K ₁₀ , T ₁₀	72	25	3
K ₁₁ , T ₁₁	70	30	0
K ₁₂ , T ₁₂	67	30	3
K ₁₃ , T ₁₃	65	35	0
K ₁₄ , T ₁₄	62	35	3

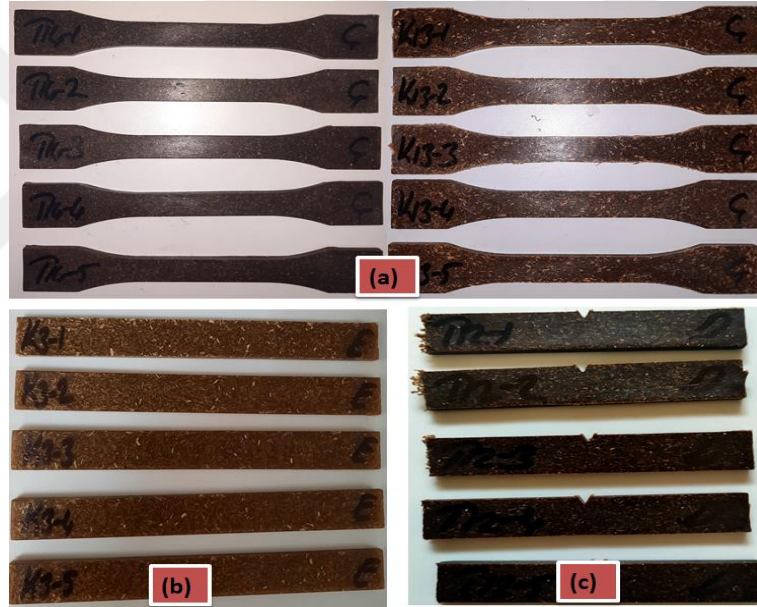
Bu reçete hem *K (Kenevir sapı) hem de **T (Talaş atıkları) grupları için ayrı ayrı yapılmıştır.

Lignoselülozik dolgu maddesi katkılı termoplastik kompozit üretimi 7 farklı aşama olarak düşünülebilir. Bunlar sırasıyla;

- 1) Lignoselülozik dolgu maddeleri öğütme ve boyutlandırma işlemlerinden sonra rutubeti 103 ± 2 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek tam kuru (%0) haline getirilmiştir. Daha sonra hava almayacak şekilde paketlenerek üretime kadar saklanmıştır. Rutubet miktarları %1'in altında olan lignoselülozik dolgu maddeleri üretimlerde kullanılmıştır (Şekil 3.10).
- 2) Üretim reçetesine bağlı olarak termoplastik matris (PP), lignoselülozik dolgu maddesi (kenevir ve atık talaş unları) ve uyum sağlayıcı (MAPP) ajan yüksek devirli (900-1000 devir/dak) (Şekil 3.11a) karıştırıcı kullanılarak homojen bir şekilde karıştırılmıştır.
- 3) Oluşturulan homojen karışım ekstruder ağzından beslenerek ve ekstruder içerisindeki sıcaklık ve sürtünmenin etkisiyle bu karışımın eritilmesi ve bünyesindeki fazla rutubetin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Üretim sırasında kullanılacak sıcaklık değerleri kullanılan polimerin erime sıcaklığından yüksek ve lignoselülozik dolgu maddesinin bozunma sıcaklığından düşük olacak şekilde belirlenmiştir. Ekstruder içerisinde 5 farklı ısıtma zonu bulunmaktadır ve besleme kısmından çıkış kısmına kadar sırasıyla 180, 185, 190, 195 ve 200 °C olarak ayarlanmıştır. Bu kısımlar plastiğin eritilmesi ve lignoselülozik lifin ve diğer katkı maddelerinin homojen karışım haline gelmesini sağlamıştır. Ekstruder içerisinde eritilmiş ve homojen karışım kalıba (die) doğru dakikada 50 dev/dk vida hızı ile itilerek çıkan karışım su banyosunda soğutulmuştur (Şekil 3.12).
- 4) Soğutulan ekstruder çıktısı kırıcı vasıtasıyla (Şekil 3.11b) küçük boyutlu granüller (boncuklar) haline dönüştürülmüştür.
- 5) Ekstrüzyon işlemi sonrasında soğutulan ve kırıcı yardımıyla boncuk haline getirilen karışımlar soğuma işlemi süresince almış olduğu rutubeti uzaklaştırmak amacıyla tekrar 103 ± 2 °C sıcaklıkta 24 saat bekletilerek tam kuru (%0) haline getirilmiştir.
- 6) Kurutulan boncuklar ilk aşamada laboratuvar ortamında enjeksiyon kalıplama yöntemiyle test örnekleri boyutlarında üretilmiştir.
- 7) Kurutulan boncuklar ikinci aşamada ise belirlenen formülasyon karışımı, atıkların olduğu Modalife mobilya fabrikasında prototip mobilya destek ayağı üretimi şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.7. Lignoselülozik katkılı polimer kompozit üretim iş akışı



Şekil 3.8. Test örnekleri a) Çekme test örneği, b) Eğilme test örneği ve c) Darbe test örneği



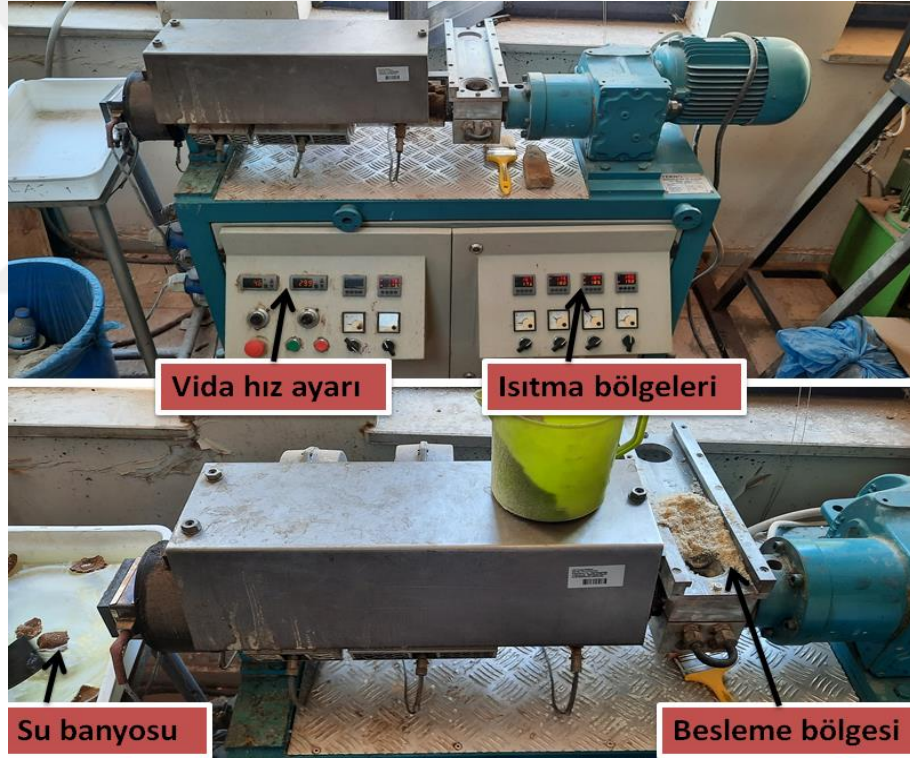
Şekil 3.9. Prototip mobilya destek ayağı görseli a) Dolgu maddesi atık talaş kullanılan ürün, b) Dolgu maddesi kenevir sapı kullanılan ürün ve c) Kanepede destek ayağı görüntüsü



Şekil 3.10. Rutubet ölçme makinesi



Şekil 3.11. Kompozit üretiminde kullanılan a) Karıştırıcı ve b) Kırıcı



Şekil 3.12. Ekstruder makinesi ve OPK üretimi

Test örnekleri üretimi için Şekil 3.13’de gösterilen enjeksiyon kalıplama makinesi HAIDAHDX-88 (Ningbo Haida Plastic Machinery Co., Ltd., Ningbo, China) kullanılmıştır. Enjeksiyon üretiminde makine sıcaklığı 185-195 °C, enjeksiyon hızı 80 mm/s, enjeksiyon basıncı 5-6 MPa ve soğutma süresi 40 sn olarak seçilmiştir.



Şekil 3.13. Test örneklerinin üretildiği enjeksiyon kalıplama makinesi

Bu çalışmada tüm gruplar arasından seçilen bir grup kanep-baza vb. mobilya ürünlerinde kullanılabilecek bir destek ayağı olarak üretilmiştir (Şekil 3.9). Üretilcek grubun seçiminde optimizasyona yönelik kullanılan yaklaşımlardan birisi olan arzu edilebilirlik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu yaklaşım, proses koşulları ve/veya hedeflenen ürün özellikleri için istenen aralıkta kalması gereken fonksiyonlara sahip karışımların optimizasyonunda tercih edilebilmektedir (Zolfaghari et al 2013). Çalışmanın sanayi üretimine yönelik bir ön çalışma olması, üreticinin hali hazırda bu ürünü %100 plastikten ürettiği olması ve mevcut kalıp tasarımları göz önüne alınarak çok yüksek oranda dolgu içeriğinin kullanımından kaçınacak şekilde bir yaklaşımla grup seçimine özen gösterilmiştir. Bu amaçla tüm gruplardan elde edilen mekanik ve fiziksel değerler üzerinde kompozit karışımların optimizasyonu Çizelge 3.6'daki kriter ve kısıtlamalara göre belirlenmiştir. Mobilya destek ayağı üretimi için MODALİFE (Kırıkkale, Türkiye) mobilya fabrikasındaki Şekil 3.14'de gösterilen enjeksiyon kalıplama makinesi (Haitian Marka, MA 4700 model) kullanılmıştır. Enjeksiyon üretiminde makine sıcaklığı 170-180-185-190-190 °C, enjeksiyon hızı 85 mm/s, enjeksiyon basıncı 9-10 MPa ve soğutma süresi 40 sn olarak seçilmiştir.

Çizelge 3.6. Optimizasyon için kriterlerden beklenen amaçlar (Kısıtlamalar)

Kriterler	Amaç (kısıtlama)
A:Lignoselülozik Dolgu Maddesi	Oran
B: MAPP	Oran
Çekme Direnci (MPa)	Maksimum
Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Oran
Kopmada Uzama (%)	Oran
Eğilme Direnci (MPa)	Maksimum
Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Minimum
Darbe Direnci (kJ/m ²)	Maksimum
Yoğunluk (g/cm ³)	Minimum



Şekil 3.14. Prototip mobilya destek ayaklarının üretildiği enjeksiyon kalıplama makinesi

3.2.3 Üretilen Kompozit Test Örneklerin Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Test ve Analizler

3.2.3.1 Mekanik özelliklerin belirlenmesi

Üretilen kompozit örneklerin mekanik özellikleri olarak çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci testleri yapılmıştır. Mekanik testlerin gerçekleştirilmesinde “Amerikan Standartları (ASTM)” referans alınmış ve testler buna uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.3.1.1 Çekme direnci testi

Üretilen kompozit örneklerin çekme direnci değerleri ASTM D 638 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir üretim grubu için 4 x 13 x 165 mm boyutlarında 5'er adet olmak üzere toplam 130 adet örnek test edilmiştir. Testler KSÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Tek. ABD laboratuvarlarındaki Zwick/Roell Z010 Universal test makinesinde 5.0 mm/dk hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.15). Deneyden önce, kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı 0,01 duyarlıkta (axb) dijital kumpas ile ölçülüp, örneklerin çekme dirençleri (ÇD) uygulanan maksimum kuvvet (Pmax) yardımıyla aşağıdaki denklemden (3.1) yararlanılarak hesaplanmıştır.

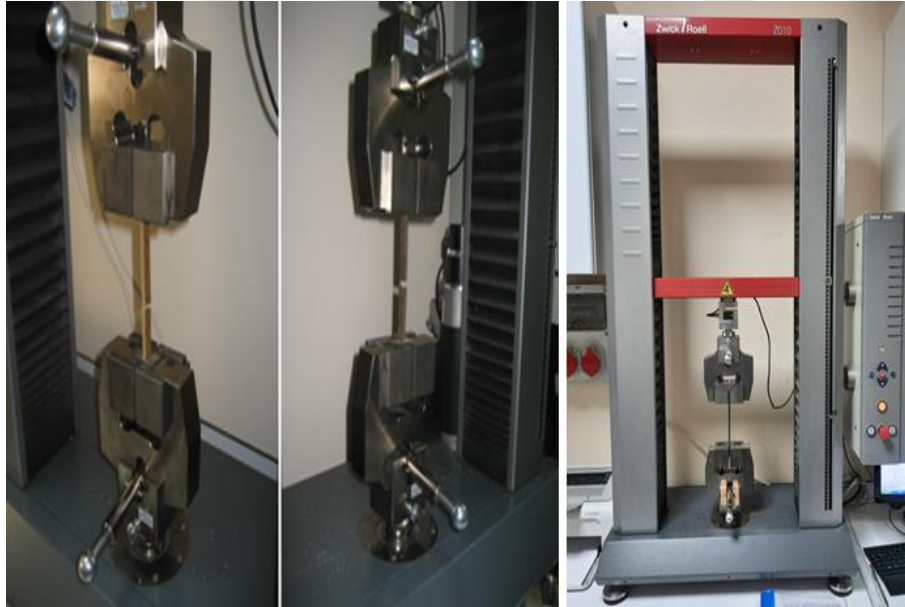
$$\text{ÇD} = \frac{P_{\max}}{a.b} \quad (3.1)$$

Burada;

ÇD: Çekme direnci (N/mm²)

Pmax = Maksimum yük (N)

a ve b = Deney parçasının en kesitsel boyutları (mm²)



Şekil 3.15. Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi ve çekme deneyi testi

3.2.3.1.2 Çekmede elastikiyet modülü testi

Üretilen kompozit örneklerin çekmede elastikiyet modülü değerleri ASTM D 638 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan test örneklerinden elastikiyet modülü değerleri gerilim-eğim eğrisi üzerinden %0,05 ve 0,2 eğim aralığından hesaplanmıştır. Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet ($\partial\sigma$) ve çekme deneyi kopma sırasında oluşan birim uzama (ε) yardımı ile elastiklik modülü (E), aşağıdaki denklemden (3.2) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$E = \frac{\partial\sigma}{\varepsilon} N / mm^2 \quad (3.2)$$

Burada:

E = Çekmede Elastikiyet Modülü (N / mm^2)

$\partial\sigma$ = Çekme Direnci (N / mm^2)

ε = Çekme deneyi kopma sırasında oluşan birim uzama.

3.2.3.1.3 Kopmada uzama değerleri testi

Üretilen kompozit örneklerin çekmede kopma uzama değerleri ASTM D 638 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çekme direncinin belirlenmesinde kullanılan test örnekleri üzerinden kopmada uzama değerleri belirlenmiştir. Birim uzama (ΔL) ve çekme deneyi örnek boyu (L_0) yardımı ile kopmada uzama değerleri (ε) aşağıdaki denklemden (3.3) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100(\%) \quad (3.3)$$

Burada:

ΔL = Birim uzama (mm)

L_0 = Örnek boyu (mm)

ε = Kopmada uzama miktarı (%)

3.2.3.1.4 Eğilme direnci testi

Üretilen kompozit örneklerin eğilme direnci değerleri ASTM D 790 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir üretim grubu için 4 x 13 x 165 mm boyutlarında 5'er adet olmak üzere toplam 130 adet örnek test edilmiştir. Testler KSÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Tek. ABD laboratuvarlarındaki Zwick/Roell Z010 Universal test makinesinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16). Örnek

boyutları 0,01 mm duyarlıkta dijital kumpasta ölçülerek belirlenmiştir. Örneklerin yerleştirildiği silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık 80 mm olarak ayarlanmıştır. 3 noktadan eğme testi olarak gerçekleştirilen deneyde yük test örneğinin yüzeyine değişmez bir hızla yeknesak olarak yüklenmiş ve test hızı 2 mm/dak olacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılma anındaki kuvvet (Pmax) okunup eğilme direnci (∂E) aşağıdaki denklemden (3.4) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$\partial E = \frac{3 * P_{\max} * L}{2 * b * h^2} \text{ N/mm}^2 \quad (3.4)$$

Burada,

∂E : Eğilme direnci (N/ mm²)

Pmax: kırılma anında uygulanan maksimum yük (N)

L: Silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık (mm)

b: Deney parçasının eni (mm)

h: Deney parçasının kalınlığı (mm)



Şekil 3.16. Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi ve eğilme deneyi testi

3.2.3.1.5 Eğilmede elastikiyet modülü testi

Üretilen kompozit örneklerin eğilmede elastikiyet modülü direnci değerleri ASTM D 790 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Odun plastik kompozitlere uygulanan düşük gerilmelerde meydana gelen şekil değişiminin, yük kaldırıldıktan sonra geri kazanılması ve şeklin başlangıç formuna gelmesini ortaya koyabilmek için elastikiyet

modülü belirlenmektedir. Elastiklik modülünün belirlenmesinde eğilme direnci test örnekleri kullanılmıştır. Elastik deformasyon bölgesinde uygulanan kuvvet farkı (ΔF) ve örnekteki sehimlere ait sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (Δf) kullanılarak, elastiklik modülü (EM), aşağıdaki denklemden (3.5) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$EM = \frac{\Delta F * L}{4 * b * h^3 * \Delta f} N / mm^2 \quad (3.5)$$

Burada,

EM: Elastikiyet modülü (N / mm^2)

ΔF : Elastik deformasyon bölgesinde yüklemenin alt ve üst limitlerinin aritmetik ortalamaları arasındaki farka eşit kuvvet (N)

L : Dayanak noktaları arasındaki açıklık (mm)

Δf : Net eğilme alanındaki sehim, yüklemenin alt ve üst limitlerinde ölçülen sehimlere ait sonuçların aritmetik ortalamaları arasındaki fark (mm)

b : Deney parçasının en kesit genişliği (mm)

h : Deney parçasının en kesit kalınlığı (mm)

3.2.3.1.6 Darbe direnci testi

Kompozit malzemeler bazı kullanım yerlerinde şok direnci şeklinde kuvvetlere maruz kalabilmektedir. Bu tür kuvvetlere karşı koyma direncini belirleyebilmek için darbe direnci testi uygulanmıştır. Üretilen kompozit örneklerin darbe direnci değerleri ASTM D 256 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test örnekleri 4 x 13 x 65 mm'lik ebatlarında boyutlandırılmıştır. Her bir üretim grubu için 5'er adet olmak üzere toplam 130 adet örnek test edilmiştir. Test öncesi örneklerin orta noktasından KSÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Tek. ABD laboratuvarlarında Şekil 3.17'de gösterilen Polytest RayRanTM cihazı yardımıyla çentik açılmıştır. Örneklerin boyutları (kuvvetin uygulandığı enine kesit alanı) deneye başlanılmadan 0,01 mm duyarlıktaki dijital kumpas ile ölçülerek belirlenmiştir. Çentik açılan deney numunelerinin darbe direnci aynı laboratuvarında bulunan ve şekil 3.18'de gösterilen Zwick/Roell HIT 5.5P makinesinde belirlenmiştir.

Hazırlanan deney numuneleri darbe direnci test makinesine yerleştirilerek deneye başlanmış ve numunenin kırılması için gerekli enerji (Q) belirlenmiştir. Dinamik eğilme (şok) direnci (DE), aşağıdaki denklemden (3.6) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$DE = \frac{Q}{b} (kJ / m^2) \quad (3.6)$$

Burada;

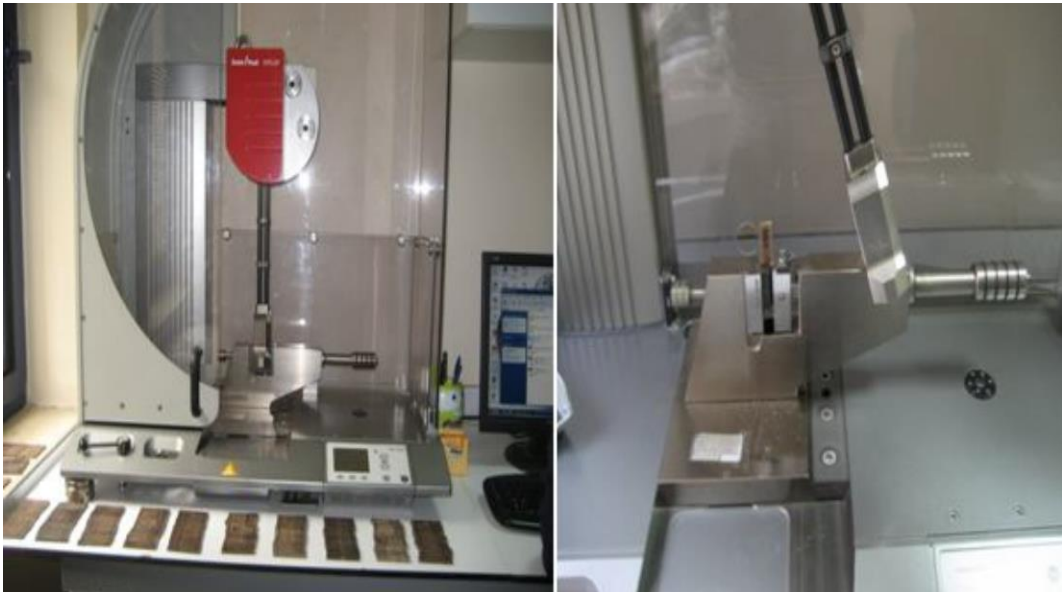
DE = Darbe direnci (kJ/m^2)

Q = Deney parçasının kırılması için gerekli enerji (kJ)

b = Deney parçasının radyal ve teğet yönlerdeki boyutları (m^2)



Şekil 3.17. Polytest RayRan™ çentik açma cihazı



Şekil 3.18. Darbe direnci testi

3.2.3.2 Fiziksel özellikler

Üretilen kompozit örneklerin fiziksel özelliklerinden yoğunluk, su alma ve kalınlık artış değerleri belirlenmiştir.

3.2.3.2.1 Yoğunluk belirleme testi

Üretilen kompozit örneklerin sudaki yoğunluk değerleri ASTM D 792 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Örneklerin boyutları yaklaşık 4x13x30 mm'dir. Her bir grup için 5 adet deney örneği kullanılmıştır. Örneklerin ağırlıkları 0,001g duyarlılıktaki analitik terazi ile belirlenmiştir. Örneklerin ağırlıkları kuru ve düzenek yardımıyla 23 °C damıtılmış suya batırıldıktan (Şekil 3.19) sonra belirlenmiş ve yoğunluk değeri (YD) aşağıdaki denklemden (3.7) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$YD = ds \times \frac{Mh}{Ms} (g / cm^3) \quad (3.7)$$

Burada:

YD: Yoğunluk değeri (g/cm³)

Mh = Örneğin havadaki ağırlığı(g),

Ms = Örneğin sudaki ağırlığı(g),

ds = Suyun yoğunluğu = (23 °C ± 0,10' ta 0,9975 g/ cm³).



Şekil 3.19. Yoğunluk belirleme aparatları

3.2.3.2.2 Su alma testi

Üretilen kompozit örneklerin su alma miktarlarının belirlenmesi için çekme test örneği için üretilen numunelerden yaklaşık olarak 5X20X20 mm ebatlarında kesilen örnekler kullanılmıştır. Her bir grup için 5 adet deney örneği kullanılmıştır. Deney örneklerin ağırlıkları 0.001 gr duyarlıklı analitik terazide tartıldıktan sonra, 20±1°C sıcaklığında destile su bulunan düzeneğin içerisine örnekler birbirine değmeyecek ve su yüzeyinden 25 mm aşağıda olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.20). Örneklerin 2, 24, 48, 168, 336, 504 ve 672 saatlik süreyle ilk bir aylık su alma ağırlıkları belirlenmiştir. Sudan çıkarılan her bir örnek üzerindeki su temiz bir bezle silinerek ağırlıkları 0.001 gr duyarlıklı analitik terazide belirlenmiştir. Örneklerin su alma miktarları aşağıdaki denklemden (3.8) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$SA = \frac{My - Mk}{Mk} \times 100 \quad (3.8)$$

Burada:

SA = Su alma oranı (%)

Mk = Örneğin ilk ağırlığı (g)

My = Örneğin suda bekletildikten sonraki ağırlığı (g)



Şekil 3.20. Su alma testi

3.2.3.2.3 Kalınlık artış testi

Üretilen kompozit örneklerin kalınlık artış oranının belirlenmesinde su alma deneyinde kullanılan örnekler kullanılmıştır. Her bir grup için 5 adet deney örneği kullanılmıştır. Deney örneklerin kalınlıkları tam orta noktadan 0.001 mm duyarlıklı dijital mikrometre ile ölçöldükten sonra, 20±1°C sıcaklığında destile su bulan an düzeneğin içerisine örnekler birbirine değmeyecek ve su yüzeyinden 25 mm aşağıda olacak şekilde yerleştirilmiştir (şekil 3.21). Kalınlık artış oranının belirlenmesinde kullanılan düzeneğin görüntüsü şekil 22’de verilmiştir. Örneklerin 2, 24, 48, 168, 336, 504 ve 672 saatlik süreyle ilk bir aylık kalınlık değerleri belirlenmiştir. Sudan ıkarılan her bir örnek üzerindeki su temiz bir bezle silinerek ağırlıkları 0.001 mm duyarlıklı mikrometre ile belirlenmiştir. Örneklerin su alma miktarları aşağıdaki denklemden (3.9) yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$KA = \frac{K2 - K1}{K1} \times 100 \quad (3.9)$$

Burada:

KA = Kalınlık artış oranı (%)

K1 = Örneğin ilk kalınlığı (mm)

K2 = Örneğin suda bekletildikten sonraki kalınlığı (mm)



şekil 3.21. Kalınlık artış testi

3.2.3.3 Termal analizler

Üretilen kompozit örneklerin termo-gravimetrik analizinde (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre analizleri (DSC) yapılmıştır.

3.2.3.3.1 Termo-gravimetrik analiz (TGA)

Üretilen kompozit örneklerin Termo-gravimetrik analizinde (TGA) enjeksiyon üretimleri sonrasında elde edilen deney numunelerinden yararlanılmıştır. Örnekler KSÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Tek. ABD laboratuvarlarında bulunan IKA marka öğütücüde 1 mm boyutuna kadar öğütülmüştür (Şekil 3.22a). Termo-gravimetrik analiz KSÜ ÜSKİM laboratuvarlarında bulunan EXSTAR SII TG/DTA 6300 cihazında yapılmıştır (Şekil 3.22b). TGA analizi, deney numunesinin ağırlığının zamana veya sıcaklığa göre değişiminin ölçülmesidir. TGA’da, örnekler azot atmosferinde sabit bir hız ile ısıtılır ve ağırlığındaki değişim, zamana veya sıcaklığa bağlı olarak kaydedilir. TGA analizde azot gazı akış hızı 20 mL/min., sıcaklık ise oda sıcaklığından başlayarak dakikada 10 °C sıcaklık artışıyla 800 °C olacak şekilde ayarlanmış ve analizler sırasında 9-13 mg örnek kullanılmıştır. Isıtma işleminden önce sistemden azot gazı geçirilerek ortamdaki havanın uzaklaştırılması sağlanmıştır.



Şekil 3.22. a) IKA öğütücü, b) Exstar DTA/TG 6300 termogravimetrik analiz deney cihazı

3.2.3.3.2 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Üretilen kompozit örneklerin Diferansiyel taramalı kalorimetre analizinde (DSC) enjeksiyon üretimleri sonrasında elde edilen deney numunelerinden yararlanılmıştır. Örnekler KSÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Tek. ABD laboratuvarlarında bulunan IKA marka öğütücüde 1 mm boyutuna kadar öğütülmüştür (Şekil 3.22a). DSC, malzemelerin ısı analizinde yaygın olarak kullanılan ve ısı karşısında malzemelerde meydana gelen fiziksel değişimleri gösteren bir yöntemdir. DSC ile malzemelerin camsı geçiş sıcaklığı ve erime noktaları ölçülür. DSC, biri referans diğeri ise deney numunesinin konduğu iki ısıtıcı, ısı kaybına uğramayan bir hücre ve ısı akışını kontrol eden bilgisayardan oluşmaktadır. DSC analizleri KSÜ ÜSKİM laboratuvarlarında bulunan PerkinElmer DSC-8000 cihazında yapılmıştır (Şekil 3.23). DSC analizinde sıcaklık, oda sıcaklığından başlayarak sıcaklık artışı dakikada 10 °C olacak şekilde 350 °C' ye ısıtılmış ve kullanılan azot gazının hızı 30 mL/min. olarak ayarlanmıştır. Kompozitlerin kristallik derecesi (% Xc) aşağıdaki denklem (3.10) kullanılarak erime entalpi değerlerinden belirlenmiştir. ΔH_c referans değeri 207 J/g olarak kullanılmıştır (Başboğa, 2023; Cavdar ve ark.,2023; Rivera-Armenta ve ark., 2022;)

$$X_c = \frac{\Delta H_m}{\Delta H_c * (1 - w)} * 100 \quad (3.10)$$

Burada:

X_c = Kristallik değeri (%)

ΔH_m = Numunelerin erime entalpisi (J/g)

ΔH_c = 100 kristalli polipropilen formunun erime entalpisi (J/g)

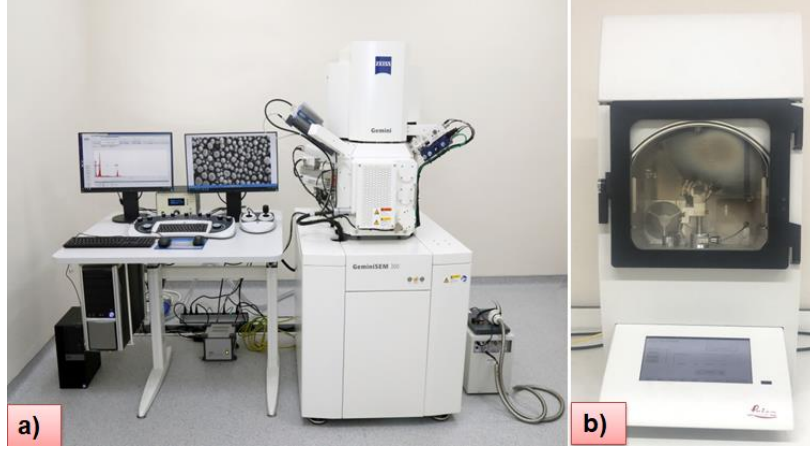
(1-w) = polimerin kompozit malzeme içindeki ağırlık oranı



Şekil 3.23. PerkinElmer DSC–8000 diferansiyel taramalı kalorimetre cihazı

3.2.3.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Üretilen kompozit örneklerin morfolojisi, Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Everhart-Thornley dedektörü (ETD) yardımıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM, Zeiss Gemini 300) kullanılarak karakterize edildi. SEM ile örnek yüzeyinin mikro yapısı ve morfolojisi kırık yüzeyden (fractured surface) yararlanılarak bir görüntü oluşturur. Analiz öncesinde, deney örnekleri sıvı azot içerisinde bir süre bekletildikten sonra sert bir cisim yardımıyla kırılarak temiz bir kırık yüzey (fractured surface) elde edilmiştir. Örnek yüzeyinden meydana gelebilecek yansımaları ortadan kaldırmak amacıyla kırık yüzeyler altın tozuyla 10 mA de 120 sn süreyle kaplama işlemine tabi tutulmuşlardır. SEM numune kaplama işlemi Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Leica marka ACE600 model cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.24b) Kaplama işleminden sonra taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.24. a) SEM cihazı, b) SEM numune kaplama cihazı

3.2.3.5 Erime akış indeksi (MFI)

Erime akış indeksi termoplastik polimerlerin akışkanlığını ölçmede kullanılan bir analizdir. Polietilen ve polipropilen gibi polimerlerin akışkanlığını ölçmede sıkça kullanılan bir yöntemdir. MFI ile malzemelerin belli bir sıcaklık ve yük altında kılcal bir borudan 10 dakika içerisinde aktığı miktar belirlenmektedir. Üretilen kompozit örneklerin akışkanlık indeksi MFI (Erime Akış İndeksleri) ASTM D 1238 de verilen yöntemlere göre gerçekleştirilmiştir. MFI testi KSÜ ÜSKİM laboratuvarlarında bulunan Ray-Ran marka cihaz ile yapılmıştır (Şekil 3.25). Testler 230 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmiş ve 10 dakikada akan polimer miktarı olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.25. Ray-Ran marka MFI cihazı

3.3 Verilerin Analizi

Tez çalışmasında üretilen kompozit gruplarına ait veri analizleri Desing Expert® Version 13.0.3. istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Faktörlerin etkilerini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmıştır. Kompozit örneklerde dolgu maddesi miktarı, dolgu maddesi türü ve MAPP'ın etkisine ait grafikler OriginPro® programı kullanılarak oluşturulmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular ve tartışmalar kısmı iki başlıkta incelenmiştir. İlk başlık altında üretilen kompozit örneklerin özellikleri belirlenmiştir. İkinci başlıkta ise test örneklerinden elde edilen bazı mekanik ve fiziksel özellikler değerlendirilerek prototip mobilya destek ayaklarının üretiminde kullanılacak grup seçimi gerçekleştirilmiştir.

4.1 Üretilen Kompozit Test Örneklerinin Özelliklerinin Belirlenmesi

Tez çalışması kapsamında polipropilen (PP) matris içerisinde farklı tür ve oranlarda dolgu maddesi (kenevir sapları ve mobilya fabrikası (M.F) atık talaşları) ve uyum sağlayıcı ajan (MAPP) kullanılarak kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin bazı özellikleri üzerine dolgu maddesi tipi ve dolgu maddesi oranı ile uyum sağlayıcı ajan (MAPP) etkisi incelenmiştir. Kenevir dolgu maddesi ile üretilen gruplar K harfi ile M.F. atık talaş ile üretilen gruplar ise T harfi ile gruplandırılmıştır.

4.1.1 Mekanik özellikler

Proje kapsamında laboratuvarda üretilen kompozit örneklerin çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama miktarı, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci değerleri belirlenmiştir. Tüm gruplara ait mekanik değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Test örneklerine ait mekanik özellikler

Grup***	Çekme Direnci (MPa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Kopmada Uzama (%)	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Darbe Direnci (kJ/m ²)
K ₁ =T ₁	28,80* (0,24)**	650,24 (13,80)	-	40,18 (0,67)	1188,37 (22,02)	2,59 (0,30)
K ₂ =T ₂	28,75 (0,51)	639,19 (11,768)	-	39,95 (1,68)	1199,80 (56,81)	2,69 (0,28)
K ₃	26,49 (0,53)	734,41 (12,24)	7,53 (0,66)	44,11 (0,97)	1611,37 (76,58)	3,29 (0,18)
T ₃	26,51 (0,88)	747,18 (30,38)	10,07 (1,34)	43,34 (1,42)	1557,72 (89,85)	3,20 (0,26)
K ₄	28,09 (0,75)	743,15 (14,27)	7,33 (0,32)	46,43 (1,47)	1622,36 (86,55)	2,91 (0,15)
T ₄	29,48 (0,37)	774,24 (20,25)	8,18 (0,27)	48,23 (1,59)	1672,65 (81,26)	2,83 (0,22)
K ₅	26,39 (0,27)	841,78 (22,42)	6,25 (0,58)	46,25 (1,18)	1837,46 (57,98)	3,83 (0,33)
T ₅	25,84 (0,47)	783,24 (8,60)	7,78 (0,67)	43,68 (1,23)	1662,63 (29,26)	3,36 (0,27)
K ₆	28,86 (0,39)	865,08 (13,57)	5,53 (0,16)	50,57 (0,67)	1955,34 (70,85)	3,23 (0,24)
T ₆	29,68 (0,34)	862,19 (26,90)	6,28 (0,29)	50,71 (1,47)	1854,62 (94,71)	3,01 (0,39)
K ₇	25,72 (0,34)	897,83 (38,04)	5,63 (0,24)	47,44 (0,55)	2058,17 (44,20)	4,05 (0,30)
T ₇	24,87 (0,45)	835,72 (16,61)	6,60 (0,53)	44,66 (1,12)	1821,38 (57,15)	3,81 (0,24)
K ₈	29,46 (0,68)	966,69 (30,92)	4,80 (0,50)	53,92 (0,38)	2224,17 (49,02)	3,66 (0,11)
T ₈	29,73 (0,34)	898,05 (21,40)	5,81 (0,34)	52,75 (1,53)	2003,43 (72,58)	3,65 (0,51)
K ₉	25,22 (0,80)	1034,81 (22,22)	4,19 (0,10)	49,68 (2,21)	2386,26 (42,89)	3,97 (0,37)
T ₉	24,17 (0,41)	899,51 (10,74)	5,55 (0,40)	44,79 (0,63)	1957,05 (44,07)	3,85 (0,30)
K ₁₀	30,38 (0,64)	1106,24 (31,51)	4,15 (0,15)	57,04 (1,55)	2610,98 (77,03)	3,79 (0,21)
T ₁₀	30,15 (0,39)	1006,91 (50,30)	4,75 (0,28)	54,72 (1,20)	2232,01 (87,68)	3,56 (0,47)
K ₁₁	24,76 (0,60)	1087,52 (22,75)	3,77 (0,27)	47,78 (0,51)	2539,88 (114,90)	4,15 (0,13)
T ₁₁	22,87 (0,22)	933,25 (23,41)	4,92 (0,46)	45,05 (0,59)	2189,54 (53,71)	3,79 (0,19)
K ₁₂	31,70 (0,45)	1213,33 (28,56)	3,68 (0,23)	57,28 (1,55)	2780,82 (122,24)	3,78 (0,34)
T ₁₂	30,91 (0,19)	1146,84 (37,69)	4,21 (0,17)	57,01 (1,13)	2636,87 (109,42)	3,71 (0,77)
K ₁₃	23,78 (0,53)	1098,62 (16,59)	3,58 (0,14)	47,04 (1,24)	2691,40 (93,17)	3,97 (0,15)
T ₁₃	22,48 (0,22)	962,18 (24,88)	4,33 (0,22)	44,96 (1,05)	2318,51 (50,31)	3,89 (0,29)
K ₁₄	32,16 (1,03)	1316,90 (11,18)	3,38 (0,11)	57,96 (0,39)	3070,31 (99,06)	3,77 (0,15)
T ₁₄	31,30 (0,36)	1229,01 (22,42)	3,85 (0,18)	57,51 (1,40)	2772,87 (57,46)	3,61 (0,27)

*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

4.1.1.1 Çekme direnci

Lignoselülozik dolgu maddesi olarak kenevir sapları ve M.F. atık talaşların, PP polimer matris içerisinde farklı oranlarda kullanılmasıyla üretilen deney numunelerinin çekme direnci değerleri belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen çekme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Deney numunelerinin çekme direnci ortalama değerleri 24,48 ile 32,16 MPa aralığında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek çekme direnci değerleri sırasıyla T_{13} ile K_{14} kodlu örneklerde gözlenmiştir.

Çizelge 4.2. Deney numune gruplarına ait çekme direnci ortalama değerleri ve standart sapma

Grup***	Çekme Direnci (MPa)	Grup	Çekme Direnci (MPa)
$K_1=T_1$	28,80* (0,24)**	$K_1=T_1$	28,80 (0,24)
$K_2=T_2$	28,75 (0,51)	$K_2=T_2$	28,75 (0,51)
K_3	26,49 (0,53)	T_3	26,51 (0,88)
K_4	28,09 (0,75)	T_4	29,48 (0,37)
K_5	26,39 (0,27)	T_5	25,84 (0,47)
K_6	28,86 (0,39)	T_6	29,68 (0,34)
K_7	25,72 (0,34)	T_7	24,87 (0,45)
K_8	29,46 (0,68)	T_8	29,73 (0,34)
K_9	25,22 (0,80)	T_9	24,17 (0,41)
K_{10}	30,38 (0,64)	T_{10}	30,15 (0,39)
K_{11}	24,76 (0,60)	T_{11}	22,87 (0,22)
K_{12}	31,70 (0,45)	T_{12}	30,91 (0,19)
K_{13}	23,78 (0,53)	T_{13}	22,48 (0,22)
K_{14}	32,16 (1,03)	T_{14}	31,30 (0,36)

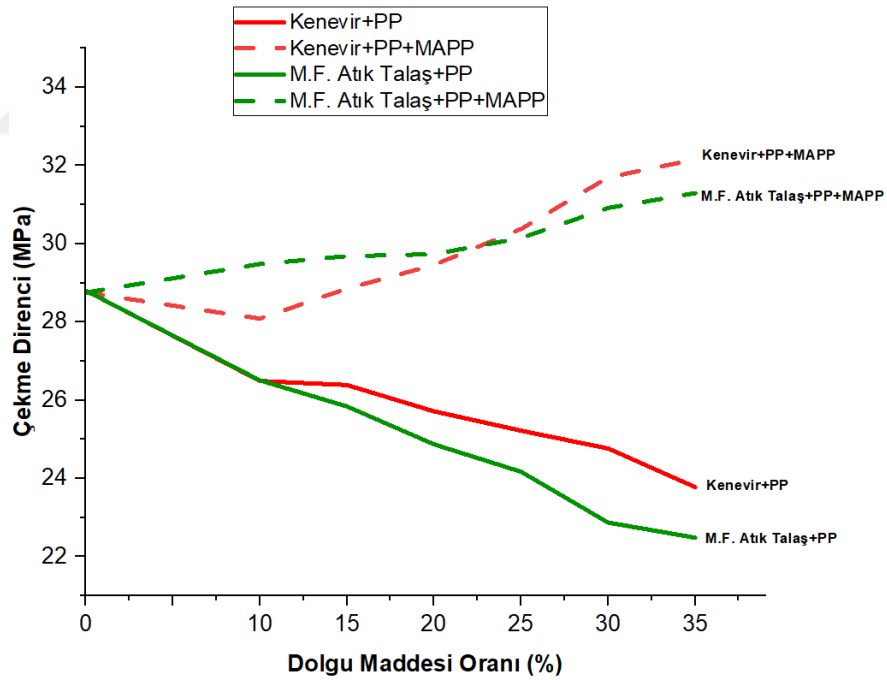
*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaşı (T) ve MAPP’ın deney numunelerinin çekme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.2 incelendiğinde dolgu maddesi türü, dolgu maddesi oranı ve MAPP’nin çekme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Çizelge 4.3. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekme direnci etkisine ait ANOVA sonuçları

Çekme Direnci					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	1029,76	27	38,14	144,56	< 0.0001 significant
A- Dolgu Maddesi Oranı	27,34	6	4,56	17,27	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Türü	4,46	1	4,46	16,92	< 0.0001
C- MAPP	702,11	1	702,11	2661,22	< 0.0001
AB	15,39	6	2,56	9,72	< 0.0001
AC	271,57	6	45,26	171,56	< 0.0001
BC	6,94	1	6,94	26,29	< 0.0001
ABC	1,97	6	0,3279	1,24	0,2899
Pure Error	29,55	112	0,2638		
Cor Total	1059,31	139			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin çekme direnci üzerine etkileşim grafikleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de kırmızı çizgiler kenevirli grupları, yeşil çizgiler M.F. atık talaşlı grupları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise MAPP'ın kullanıldığı grupları göstermektedir.



Şekil 4.1. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekme direnci değerlerine ait etkileşim grafiği

Şekil 4.1 incelendiğinde polipropilen (PP) matrisine dolgu maddesi (K ve T) ilavesinin artmasıyla çekme direnci değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Benzer sonuçlar daha önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Yang ve ark., 2004; Yang ve ark., 2007; Bledzki ve Faruk 2003; Yan ve ark. 2013; Maziero vd., 2019; Çavuş, 2020; Çavuş ve Mengeloğlu,

2020; Başboğa ve ark., 2022). Polimer matrisi ile lignoselülozik lifler arasında zayıf bir bağ olduğu ve dolgu maddesi katılma oranının artmasıyla homojen dağılımın azaldığı, dolayısıyla çekme değerlerinin düştüğü düşünülmektedir. Zayıf arayüz bağı, çekme gerilimi uygulandığında gerilim yayılmasını engelleyen dolgu maddesi ile polimer matris arasında mikro boşluklar oluşturduğu ve mukavemette azalmaya ve kırılabilirliğe neden olduğu bildirilmiştir (Yang ve ark., 2007; Maziero ve ark., 2019). Bu durumda, polar lignoselülozik lif ile polar olmayan polimer matris arasındaki adezyonu iyileştirmek ve daha iyi arayüz adezyonu sağlayabilmek için bağdaştırıcı maddeler kullanılmıştır (Çetin vd., 2000; Klyosov, 2007; Kim ve ark., 2007; Yuan ve ark., 2008; Narayana ve Rao, 2021; Han ve ark., 2021b; Wu ve ark., 2021; Çavuş, 2020).

Üretilen kompozit formülasyonlarında MAPP kullanımı çekme direnci değerlerini önemli ölçüde artırmıştır. Bu durum, lignoselülozik bir lifin hidroksil grupları üzerinde MAPP'nin önemli ölçüde bağlanması olduğunda ve MAPP, PP matrisi ile karışacak şekilde yeterince uzun bir zincir uzunluğu içerdiğinde, verimli stres transferi gerçekleşmesiyle açıklanmıştır (Langhorst ve ark., 2018; Maziero ve ark., 2019). En yüksek çekme direnci değerleri MAPP varlığında en yüksek dolgu maddesi ilaveli gruplarda gözlemlenmiştir. Bu, MAPP'ın dolgu maddesi ile polimer matris arasında iyi bir bağlanma sağlamasından kaynaklanmaktadır. Dolgu maddesi miktarının artmasıyla MAPP'den gelen maleik anhidrit gruplarının selülozik liflerin hidroksil gruplarıyla daha iyi bağlanma sağlaması ve polimer matris ile dolgu maddesi arasında iyi bir yapışma olmasıyla açıklanabilir (Beckermann ve Pickering 2008; Kakroodi ve ark., 2012). MAPP'sız gruplarda %10 ve üzerindeki dolgu maddesi yüklemelerinde kenevir saplarının kullanıldığı grupların M.F. atık talaşlarından üretilen gruplardan ortalama %4,79 daha yüksek çıktığı görülmüştür. MAPP'lı gruplarda ise %20'nin üzerindeki dolgu maddesi yüklemesiyle kenevir saplarının kullanıldığı grupların M.F. atık talaşlarından üretilen gruplardan ortalama %2 daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu durum kenevir sapı ve M.F. atık talaşın farklı karakteristik özelliklere sahip olmasından ve kompozit üretimlerindeki kullanılan K ve T dolgu maddesi boyut farklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Kenevir sapında bulunan bileşenler farklı çalışmalardan elde edilen veriler incelendiğinde selüloz içeriği %55-78, hemiselüloz içeriği %2-18, Lignin içeriği %3-13, pektin içeriği %0,8-18 ve diğer bileşenler %0,8-7 şeklinde değişebilmektedir. Selüloz en yüksek orana sahip olan bileşen olarak görülmektedir (Kurek, 2013; Shahzad, 2011). Kenevir saplarındaki selülozca zengin lif içeriğine karşı M.F. atık talaşlarının içerisinde farklı karışımlar (kaplamalı ve kaplamasız

yongalevha, kontrplak, MDF, PVC) bulunmaktadır. Bunların yanında, kenevir sapları sak liflerinden ayrıştırılmadan bir bütün olarak öğütüldükten sonra sak lifleri topaklanmaları dolayısıyla (Şekil 3.5) boyutlandırılmadan kullanılmıştır. Ancak boyutlandırma işlemi M.F. atık talaşlarında uygulanmış ve 60 mesh (0,250 mm) boyutundaki elek üzerinde M.F. atık talaş unları kullanılmıştır. Çavuş ve Mengeloğlu (2020), kompozit üretiminde dolgu maddesi boyutlarının direnç değerleri üzerine etkili olduğunu bildirmiştir. Ayrıca MAPP'dan gelen maleik anhidrit gruplarının daha fazla selülozik lif içeren kenevirli gruplarda daha iyi bir ara yüzey bağlanmasından da kaynaklanabileceği varsayılmaktadır. Bu durum SEM analizlerinde (Şekil 4.14) kenevirli gruplardaki liflerin polimer matris içerisine daha az boşluklu ve daha homojen gömülmesiyle de örtüştüğü gözlenmiştir.

4.1.1.2 Çekmede elastikiyet modülü

Deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir. Deney numunelerinin çekmede elastikiyet ortalama değerleri 639,19 ile 1316,90 MPa aralığında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek çekme direnci değerleri sırasıyla $K_2=T_2$ ile K_{14} kodlu örneklerde gözlenmiştir

Çizelge 4.4. Deney numune gruplarına ait çekmede elastikiyet modülü ortalama değerleri ve standart sapma

Grup***	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Grup	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)
$K_1=T_1$	650,24* (13,80)**	$K_1=T_1$	650,24* (13,80)**
$K_2=T_2$	639,19 (11,768)	$K_2=T_2$	639,19 (11,768)
K_3	734,41 (12,24)	T_3	747,18 (30,38)
K_4	743,15 (14,27)	T_4	774,24 (20,25)
K_5	841,78 (22,42)	T_5	783,24 (8,60)
K_6	865,08 (13,57)	T_6	862,19 (26,90)
K_7	897,83 (38,04)	T_7	835,72 (16,61)
K_8	966,69 (30,92)	T_8	898,05 (21,40)
K_9	1034,81 (22,22)	T_9	899,51 (10,74)
K_{10}	1106,24 (31,51)	T_{10}	1006,91 (50,30)
K_{11}	1087,52 (22,75)	T_{11}	933,25 (23,41)
K_{12}	1213,33 (28,56)	T_{12}	1146,84 (37,69)
K_{13}	1098,62 (16,59)	T_{13}	962,18 (24,88)
K_{14}	1316,90 (11,18)	T_{14}	1229,01 (22,42)

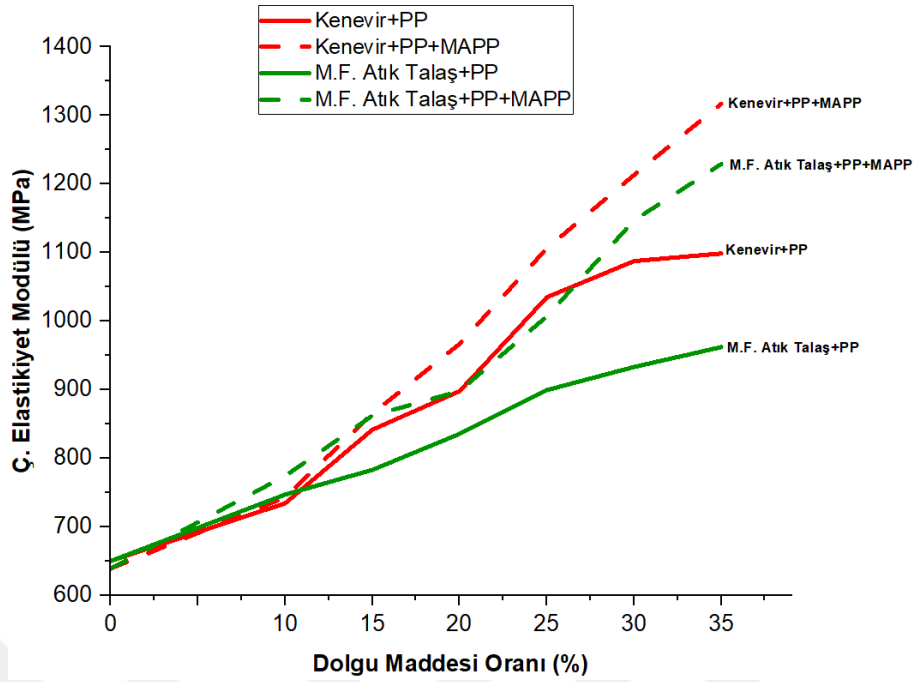
*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaşı (T) ve MAPP'ın deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.5'de verilmiştir. Çizelge 4.5 incelendiğinde dolgu maddesi türü, dolgu maddesi oranı ve MAPP'nin çekmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.5. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekmede elastikiyet modülü etkisine ait ANOVA sonuçları

Çekmede Elastikiyet Modülü					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	4,842E+06	27	1,793E+05	315,42	< 0.0001 significant
A- Dolgu Maddesi Oranı	4,087E+06	6	6,812E+05	1198,18	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Türü	1,224E+05	1	1,224E+05	215,35	< 0.0001
C- MAPP	2,792E+05	1	2,792E+05	491,11	< 0.0001
AB	98693,48	6	16448,91	28,93	< 0.0001
AC	2,357E+05	6	39283,26	69,09	< 0.0001
BC	10264,47	1	10264,47	18,05	< 0.0001
ABC	8274,10	6	1379,02	2,43	0,0305
Pure Error	63679,57	112	568,57		
Cor Total	4,906E+06	139			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin çekmede elastikiyet modülü üzerine etkileşim grafikleri Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekil 4.2'de kırmızı çizgiler kenevirli grupları, yeşil çizgiler M.F. atık talaşlı grupları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise MAPP'ın kullanıldığı grupları göstermektedir.



Şekil 4.2. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın çekmede elastikiyet modülü değerlerine ait etkileşim grafiği

Şekil 4.2 incelendiğinde PP matrise kenevir ve M.F. atık talaş dolgu maddelerinin ilavesiyle çekmede elastikiyet modülü değerleri artmıştır. Termoplastiklere dolgu maddesi eklenmesinin çekmede elastikiyet modülünü arttırdığı yaygın bir bilgidir ve bu, başka çalışmalarda bildirilmiştir (Zaini ve ark., 1996; Stark ve Berger 1997; Jayaraman ve Bhattacharyya, 2004; Yuan ve ark., 2008; Chaharmahali ve ark., 2008; Çavdar ve ark., 2011; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Başboğa vd., 2022). Bu durum, daha yüksek hücre duvarı yoğunluğuna ve daha yüksek elastikiyet modülü değerlerine sahip lignoselülozik bir lifin (kenevir sapı, atık talaş) polimer matrise katılmasıyla açıklanabilir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2012; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020). Dolgu maddesi olarak kenevirli gruplar atık talaşla üretilen gruplara nispeten ortalama %7,14 daha yüksek çekmede elastikiyet modülü değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Bu durum mobilya fabrikasındaki üretimlerden elde edilen atık talaşların heterojen (kaplamalı ve kaplamasız yongalevha, kontrplak, MDF, PVC) içeriğe sahip olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Ayrıca üretimlerde kullanılan kenevir dolgu maddesi boyutlarının atık talaşlara nispeten daha büyük boyutlarda olması da elastikiyet modülünü artırdığı düşünülmektedir. Benzer sonuçlar, odun plastik kompozitlerde dolgu maddesi boyutlarının çekmede elastikiyet modülü değerlerini artırdığı bildirilmiştir (Çavuş ve Mengeloğlu, 2020). MAPP ilavesinin de elastikiyet modülünde artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum ise MAPP ilavesinin polar lignoselülozik lif ile polar olmayan polimer matris arasındaki adezyonu iyileştirmesi

ve daha iyi bir bağlanma sağlamasından kaynaklandığı bildirilmiştir (Çetin vd., 2000; Çavuş, 2020).

4.1.1.3 Kopmada uzama

Deney numunelerinin kopmada uzama ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Kopmada uzama değerleri için, test makinesi çene mesafelerindeki sınırlar dolayısıyla %400’e kadar uzamayı ölçebilmiştir. $K_1=T_1$ ve $K_2=T_2$ grupları bu uzama limiti içinde kırılmamıştır. En düşük kopmada uzama değeri %3,38 ile K14 grubunda tespit edilmiştir.

Çizelge 4.6. Deney numune gruplarına ait kopmada uzama ortalama değerleri ve standart sapma

Grup***	Kopmada Uzama (%)	Grup	Kopmada Uzama (%)
$K_1=T_1$	-	$K_1=T_1$	-
$K_2=T_2$	-	$K_2=T_2$	-
K_3	7,53* (0,66)**	T_3	10,07 (1,34)
K_4	7,33 (0,32)	T_4	8,18 (0,27)
K_5	6,25 (0,58)	T_5	7,78 (0,67)
K_6	5,53 (0,16)	T_6	6,28 (0,29)
K_7	5,63 (0,24)	T_7	6,60 (0,53)
K_8	4,80 (0,50)	T_8	5,81 (0,34)
K_9	4,19 (0,10)	T_9	5,55 (0,40)
K_{10}	4,15 (0,15)	T_{10}	4,75 (0,28)
K_{11}	3,77 (0,27)	T_{11}	4,92 (0,46)
K_{12}	3,68 (0,23)	T_{12}	4,21 (0,17)
K_{13}	3,58 (0,14)	T_{13}	4,33 (0,22)
K_{14}	3,38 (0,11)	T_{14}	3,85 (0,18)

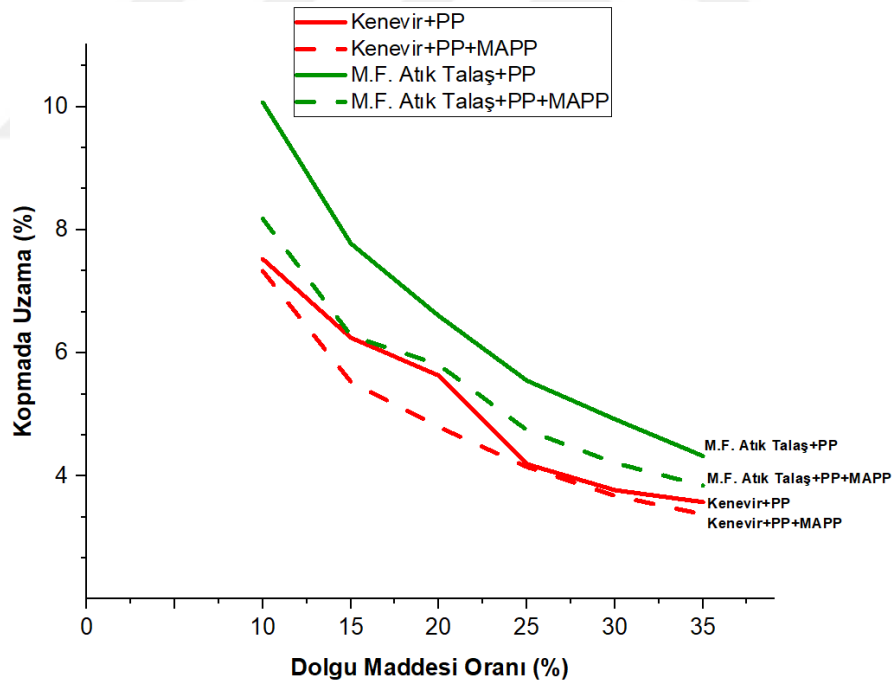
*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaşı (T) ve MAPP’ın deney numunelerinin kopmada uzama değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde dolgu maddesi türü, dolgu maddesi oranı ve MAPP’nin kopmada uzama değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Çizelge 4.7. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın kopmada uzama etkisine ait ANOVA sonuçları

Kopmada Uzama					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	2,668E+06	27	98822,38	5,810E+05	< 0.0001 significant
A- Dolgu Maddesi Oranı	2,668E+06	6	4,447E+05	2,615E+06	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Türü	27,91	1	27,91	164,10	< 0.0001
C- MAPP	12,18	1	12,18	71,60	< 0.0001
AB	8,04	6	1,34	7,87	< 0.0001
AC	4,98	6	0,8302	4,88	0,0002
BC	2,99	1	2,99	17,56	< 0.0001
ABC	2,65	6	0,4417	2,60	0,0215
Pure Error	19,05	112	0,1701		
Cor Total	2,668E+06	139			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin kopmada uzama değerleri üzerine etkileşim grafikleri Şekil 4.3'de gösterilmiştir. Şekil 4.3'de kırmızı çizgiler kenevirli grupları, yeşil çizgiler M.F. atık talaşlı grupları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise MAPP'ın kullanıldığı grupları göstermektedir.



Şekil 4.3. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın kopmada uzama değerlerine ait etkileşim grafiği

Kopmada uzama değerleri için, test makinesi %400'e kadar uzamayı ölçebilmiştir. Bu nedenle dolgu maddesi ilavesiz gruplar ($K_1=T_1$ ve $K_2=T_2$) bu uzama limiti içinde kırılmadığından istatistiksel analizi yapılamamıştır. Bu grupların kopmada uzama değerleri en yüksek değerler arasında olmakla beraber kopma uzamasının etkileşim grafiğinde

gösterilmemiştir. Etkileşim grafiğinde sadece dolgu maddesi içeren gruplar verilmiştir. Örneklerin kopmada uzama değerleri %3,38 ile %10,07 aralığında tespit edilmiştir. Şekil 4.6 incelendiğinde MAPP'dan bağımsız olarak artan dolgu maddesi yüklemesiyle kopmada uzama değerleri önemli ölçüde düşmüştür. Bu, hemen hemen tüm lignoselülozik dolgulu termoplastik kompozitlerde ortak bir gözlemdir (Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Başboğa vd., 2022). Zaini ve ark., (1996), uzamadaki azalmanın, dolgu maddesi ile polimer matris arasındaki rijit ara fazın deforme olabilirliğinin azalmasından kaynaklandığını bildirmiştir. Dolgu maddesi olarak M.F. atık talaşların kullanıldığı grupların kopmada uzama değerleri kenevirli gruplara nispeten ortalama %20,69 daha yüksek çıkmıştır. Bunda mobilya fabrikasından elde edilen atık talaşların heterojen bir karışımda olması ve içerisinde az miktarda olsa polimer matris barındırmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.1.1.4 Eğilme direnci

Kenevir sapları ve M.F. atık talaşların, PP polimer matris içerisinde farklı oranlarda kullanılmasıyla üretilen deney numunelerinin eğilme direnci değerleri belirlenmiştir. Deney numunelerinden elde edilen eğilme direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Eğilme direnci ortalama değerleri 39,95 ile 57,96 MPa aralığında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek çekme direnci değerleri sırasıyla $K_2=T_2$ ile K_{14} kodlu örneklerde gözlenmiştir.

Çizelge 4.8. Deney numune gruplarına ait eğilme direnci ortalama değerleri ve standart sapma

Grup***	Eğilme Direnci (MPa)	Grup	Eğilme Direnci (MPa)
$K_1=T_1$	40,18* (0,67)**	$K_1=T_1$	40,18* (0,67)**
$K_2=T_2$	39,95 (1,68)	$K_2=T_2$	39,95 (1,68)
K_3	44,11 (0,97)	T_3	43,34 (1,42)
K_4	46,43 (1,47)	T_4	48,23 (1,59)
K_5	46,25 (1,18)	T_5	43,68 (1,23)
K_6	50,57 (0,67)	T_6	50,71 (1,47)
K_7	47,44 (0,55)	T_7	44,66 (1,12)
K_8	53,92 (0,38)	T_8	52,75 (1,53)
K_9	49,68 (2,21)	T_9	44,79 (0,63)
K_{10}	57,04 (1,55)	T_{10}	54,72 (1,20)
K_{11}	47,78 (0,51)	T_{11}	45,05 (0,59)
K_{12}	57,28 (1,55)	T_{12}	57,01 (1,13)
K_{13}	47,04 (1,24)	T_{13}	44,96 (1,05)
K_{14}	57,96 (0,39)	T_{14}	57,51 (1,40)

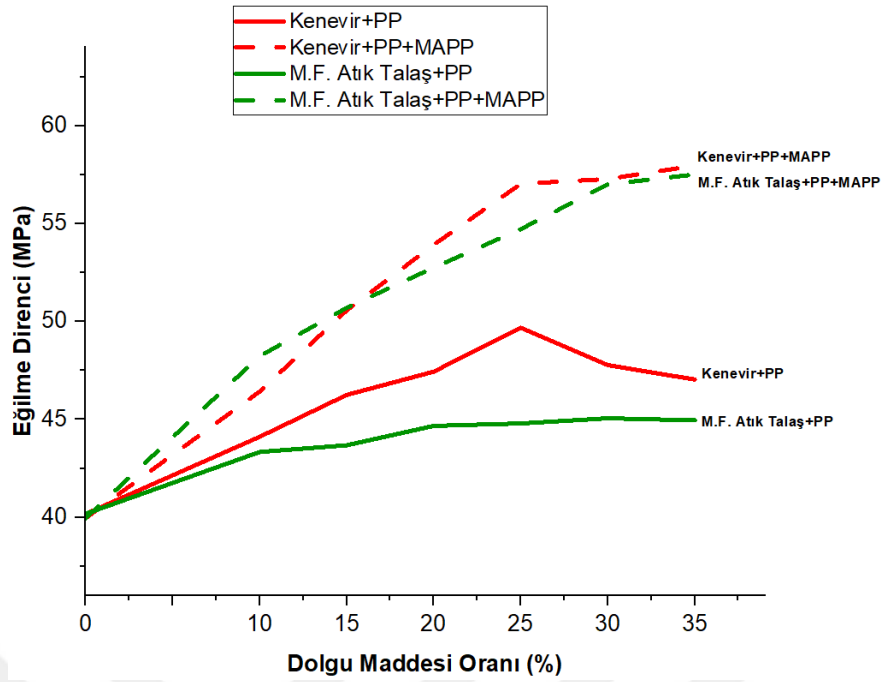
*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaşı (T) ve MAPP'ın deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.9'de verilmiştir. Çizelge 4.9 incelendiğinde dolgu maddesi türü, dolgu maddesi oranı ve MAPP'nin eğilme direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$).

Çizelge 4.9. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilme direnci etkisine ait ANOVA sonuçları

Eğilme Direnci					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	4545,09	27	168,34	112,40	< 0.0001 significant
A- Dolgu Maddesi Oranı	2262,99	6	377,16	251,84	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Türü	58,39	1	58,39	38,99	< 0.0001
C- MAPP	1608,28	1	1608,28	1073,89	< 0.0001
AB	53,91	6	8,99	6,00	< 0.0001
AC	521,65	6	86,94	58,05	< 0.0001
BC	32,82	1	32,82	21,92	< 0.0001
ABC	7,05	6	1,17	0,7841	0,5841
Pure Error	167,73	112	1,50		
Cor Total	4712,82	139			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin eğilme direnci değerleri üzerine etkileşim grafikleri Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Şekil 4.4'de kırmızı çizgiler kenevirli grupları, yeşil çizgiler M.F. atık talaşlı grupları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise MAPP'ın kullanıldığı grupları göstermektedir.



Şekil 4.4. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilme direnci değerlerine ait etkileşim grafiği

Şekil 4.4 incelendiğinde polipropilen matrise dolgu maddesi yüklenmesiyle eğilme direnci değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ancak, MAPP ilaveli kompozitlerde dolgu maddesi oranının artmasıyla eğilme direnci değerlerinde önemli artışlar görülmüştür. Benzer sonuçlar diğer çalışmalarda da bildirilmiştir (Kim ve ark., 2007; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Bledzki ve Faruk, 2003; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020). Bu durum MAPP'nin bağlama etkisinden dolayı, dolgu ve matris yüzeyleri arasındaki gelişmiş yapışma kuvveti ile açıklanabilir (Kada ve ark., 2016; Langhorst ve ark., 2018; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Vilaseca ve ark., 2020). MAPP içermeyen gruplarda kenevir dolgu maddesi ile üretilen örneklerin atık talaşlı gruplara nispeten ortalama %5,91 daha yüksek eğilme direnci değerleri verdiği tespit edilmiştir. Bu durum atık talaş içeriğindeki farklı bileşenlerden (kaplamalı ve kaplamasız yongalevha, kontrplak, MDF, PVC) ya da kenevir dolgu maddesi boyutlarının daha büyük olmasından kaynaklanabileceği varsayılmaktadır. Benzer sonuçlar, odun plastik kompozitlerde dolgu maddesi boyutlarının eğilme direncini artırdığı bildirilmiştir (Çavuş ve Mengeloğlu, 2020). Bunun yanında kenevir saplarının M.F. atık talaşlara nispeten daha fazla miktarda selülozik lif içerdiği düşünüldüğünde eğilme direnci değerlerinin atık talaşlı gruplara nispeten biraz daha yüksek çıktığı varsayılmaktadır.

4.1.1.5 Eğilmede elastikiyet modülü

Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Deney numunelerinin eğilmede elastikiyet ortalama değerleri 1188,37 ile 3070,31 MPa aralığında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri sırasıyla $K_1=T_1$ ile K_{14} kodlu örneklerde gözlenmiştir.

Çizelge 4.10. Deney numune gruplarına ait eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerleri ve standart sapma

Grup***	Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Grup	Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)
$K_1=T_1$	1188,37 (22,02)	$K_1=T_1$	1188,37 (22,02)
$K_2=T_2$	1199,80 (56,81)	$K_2=T_2$	1199,80 (56,81)
K_3	1611,37 (76,58)	T_3	1557,72 (89,85)
K_4	1622,36 (86,55)	T_4	1672,65 (81,26)
K_5	1837,46 (57,98)	T_5	1662,63 (29,26)
K_6	1955,34 (70,85)	T_6	1854,62 (94,71)
K_7	2058,17 (44,20)	T_7	1821,38 (57,15)
K_8	2224,17 (49,02)	T_8	2003,43 (72,58)
K_9	2386,26 (42,89)	T_9	1957,05 (44,07)
K_{10}	2610,98 (77,03)	T_{10}	2232,01 (87,68)
K_{11}	2539,88 (114,90)	T_{11}	2189,54 (53,71)
K_{12}	2780,82 (122,24)	T_{12}	2636,87 (109,42)
K_{13}	2691,40 (93,17)	T_{13}	2318,51 (50,31)
K_{14}	3070,31 (99,06)	T_{14}	2772,87 (57,46)

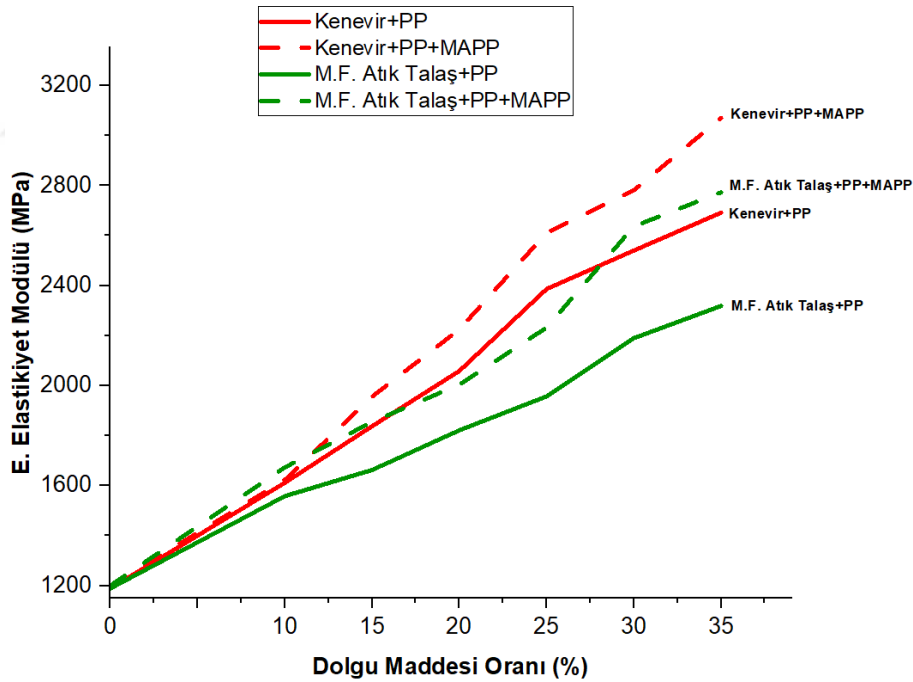
*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaşı (T) ve MAPP'ın deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.11'de gösterilmiştir. Çizelge 4.11 incelendiğinde dolgu maddesi türü, dolgu maddesi oranı ve MAPP'nin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

Çizelge 4.11. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilmede elastikiyet modülü etkisine ait ANOVA sonuçları

Eğilmede Elastikiyet Modülü					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	3,831E+07	27	1,419E+06	262,58	< 0.0001 significant
A- Dolgu Maddesi Oranı	3,412E+07	6	5,686E+06	1052,40	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Türü	1,311E+06	1	1,311E+06	242,58	< 0.0001
C- MAPP	1,428E+06	1	1,428E+06	264,31	< 0.0001
AB	7,294E+05	6	1,216E+05	22,50	< 0.0001
AC	6,360E+05	6	1,060E+05	19,62	< 0.0001
BC	49442,13	1	49442,13	9,15	0,0031
ABC	34769,99	6	5795,00	1,07	0,3833
Pure Error	6,052E+05	112	5403,15		
Cor Total	3,891E+07	139			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerleri üzerine etkileşim grafikleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Şekil 4.5'de kırmızı çizgiler kenevirli grupları, yeşil çizgiler M.F. atık talaşlı grupları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise MAPP'ın kullanıldığı grupları göstermektedir.



Şekil 4.5. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın eğilmede elastikiyet modülü değerlerine ait etkileşim grafiği

Şekil 4.5 incelendiğinde MAPP ilavesine bakılmaksızın, artan dolgu maddesi yüklemesiyle eğilmede elastikiyet modülü önemli ölçüde artmıştır. MAPP'nin formülasyonlara eklenmesiyle eğilmede elastikiyet modülü MAPP'sız gruplara nispeten bir miktar yüksek değerlerle sonuçlanmıştır. Lignoselülozik dolgu maddeleri ve polimer

matrisler birbirinden farklı elastisite modülüne sahiptir. Lignoselülozik dolgu maddeleri termoplastik polimerlerden daha yüksek eğilme modülü değerlerine sahiptirler. Bunun neticesinde ise lignoselülozik dolgu maddesi doldurulmuş kompozit malzemelerde saf polimere nazaran daha yüksek eğilme modülü elde edildiği bildirilmiştir (Mengeloğlu ve ark., 2015). Bu durum karışım kuralı ile açıklanmıştır (Mengeloğlu ve Çavuş 2020). Benzer sonuçlar diğer çalışmalarda da bildirilmiştir (Chaharmahali ve ark., 2008; Özmen ve ark., 2014; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Başboğa ve ark., 2022). Dolgu maddesi olarak kenevirli gruplar atık talaşla üretilen gruplara nispeten ortalama %10,63 daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri verdiği tespit edilmiştir. Bu durum, üretimlerde kullanılan kenevir dolgu maddesi boyutlarının atık talaşlara nispeten daha büyük boyutlarda olması elastikiyet modülünü artırdığı düşünülmektedir. Benzer sonuçlar, odun plastik kompozitlerde dolgu maddesi boyutlarının eğilmede elastikiyet modülü değerlerini artırdığı bildirilmiştir (Çavuş ve Mengeloğlu, 2020). Ayrıca, mobilya fabrikasındaki üretimlerden elde edilen atık talaşların bir miktar polimer matris (PVC, melamin emdirilmiş kağıt) dahil heterojen bir içeriğe sahip olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.1.1.6 Darbe direnci

Deney numunelerinin darbe direnci ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Deney numunelerinin darbe direnci ortalama değerleri 2,59 ile 4,15 kJ/m² aralığında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek darbe direnci değerleri sırasıyla K₁=T₁ ve K₁₄ kodlu örneklerde gözlenmiştir.

Çizelge 4.12. Deney numune gruplarına ait darbe direnci ortalama değerleri ve standart sapma

Grup***	Darbe Direnci (kJ/m ²)	Grup	Darbe Direnci (kJ/m ²)
K ₁ =T ₁	2,59 (0,30)	K ₁ =T ₁	2,59 (0,30)
K ₂ =T ₂	2,69 (0,28)	K ₂ =T ₂	2,69 (0,28)
K ₃	3,29 (0,18)	T ₃	3,20 (0,26)
K ₄	2,91 (0,15)	T ₄	2,83 (0,22)
K ₅	3,83 (0,33)	T ₅	3,36 (0,27)
K ₆	3,23 (0,24)	T ₆	3,01 (0,39)
K ₇	4,05 (0,30)	T ₇	3,81 (0,24)
K ₈	3,66 (0,11)	T ₈	3,65 (0,51)
K ₉	3,97 (0,37)	T ₉	3,85 (0,30)
K ₁₀	3,79 (0,21)	T ₁₀	3,56 (0,47)
K ₁₁	4,15 (0,13)	T ₁₁	3,79 (0,19)
K ₁₂	3,78 (0,34)	T ₁₂	3,71 (0,77)
K ₁₃	3,97 (0,15)	T ₁₃	3,89 (0,29)
K ₁₄	3,77 (0,15)	T ₁₄	3,61 (0,27)

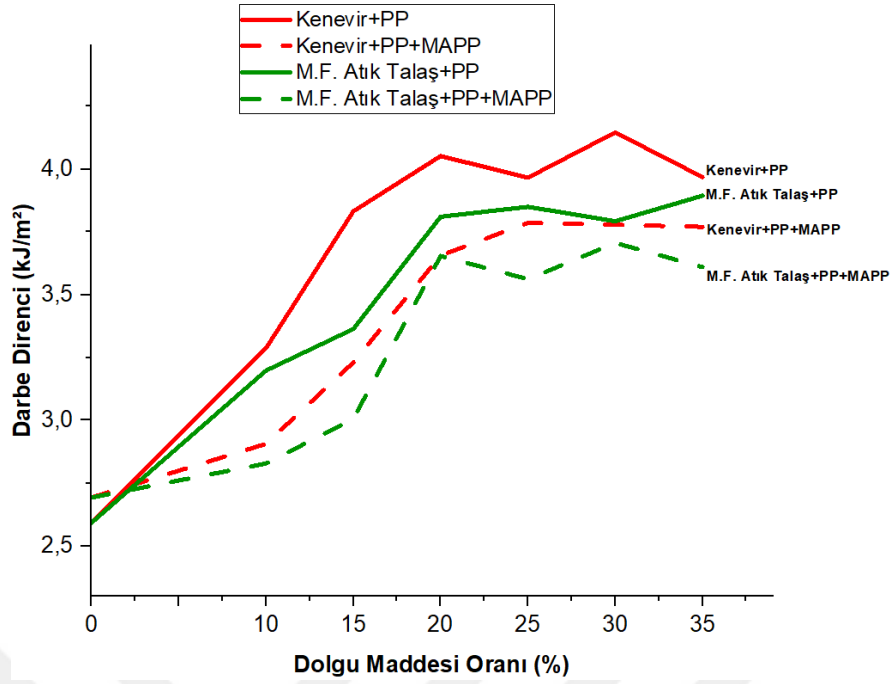
*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaşı (T) ve MAPP'ın deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.13'de verilmiştir. Çizelge 4.13 incelendiğinde hem dolgu maddesi oranı hem de MAPP'nin darbe direnci değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$). Dolgu maddesi türünün de istatistiksel olarak etkili olduğu belirlenmiştir ($P = 0.0057$).

Çizelge 4.13. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın darbe direnci etkisine ait ANOVA sonuçları

Darbe Direnci					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	31,38	27	1,16	11,68	< 0.0001 significant
A- Dolgu Maddesi Oranı	26,85	6	4,47	44,96	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Türü	0,7901	1	0,7901	7,94	0,0057
C- MAPP	2,15	1	2,15	21,56	< 0.0001
AB	0,3583	6	0,0597	0,6000	0,7298
AC	0,9628	6	0,1605	1,61	0,1502
BC	0,0608	1	0,0608	0,6107	0,4362
ABC	0,2093	6	0,0349	0,3504	0,9083
Pure Error	11,15	112	0,0995		
Cor Total	42,52	139			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin darbe direnci değerleri üzerine etkileşim grafikleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekil 4.6'da kırmızı çizgiler kenevirli grupları, yeşil çizgiler M.F. atık talaşlı grupları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise MAPP'ın kullanıldığı grupları göstermektedir.



Şekil 4.6. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın darbe direnci değerlerine ait etkileşim grafiği

Şekil 4.6 incelendiğinde MAPP ilavesinden bağımsız olarak polipropilen matrise dolgu maddesi ilavesiyle darbe direnci değerleri artmıştır. Bu durum lignoselülozik liflerin termoplastik matrinden enerjiyi çekerek dağıtma yeteneğine bağlanabileceğini bildirilmiştir (Burgada ve ark., 2021). Bir başka çalışmada, polimer matrise lignoselülozik lif ilavesiyle kırılma sırasında lifleri kırmak için daha fazla enerji gerektiğini ifade edilmiştir (Yuan ve ark., 2008). Panthapulakkal ve Sain (2007), darbe mukavemeti karşısında lignoselülozik liflerin, çatlak oluşumu ile etkileşime girdiğini ve stres aktarıcı görevi üstlendiklerinden polimer matrise lif ilavesiyle darbe direncinin arttığını bildirmiştir. Lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ile darbe direnci değerlerinde artışlar diğer çalışmalarda da bildirilmiştir (Yuan ve ark., 2008; Lu ve Oza 2013; Burgada ve ark., 2021; Başboğa, 2023; Vallejos ve ark., 2023;). Ancak, MAPP'lı kompozitler MAPP'sız kompozitlere nispeten ortalama % 10,79 daha düşük darbe direnci değerleri vermiştir. Uyumlaştırıcıların odun plastik kompozitlerde darbe değerlerini düşürdüğü diğer çalışmalarda da bildirilmiştir (Mengeloğlu ve Karakuş 2008; Langhorst ve ark., 2018). Dolgu maddesi olarak kenevirli gruplar atık talaşla üretilen gruplara nispeten ortalama %5 daha yüksek darbe direnci değerleri verdiği tespit edilmiştir.

4.1.2 Fiziksel Özellikler

Proje kapsamında laboratuvarda üretilen kompozit örneklerin yoğunluk, su alma ve kalınlık artış oranları belirlenmiştir.

4.1.2.1 Yoğunluk

Deney numunelerinin yoğunluk ortalama ve standart sapma değerleri Çizelge 4.14’de verilmiştir. Deney numunelerinin yoğunluk ortalama değerleri 0,879 ile 0,984 g/cm³ aralığında tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek yoğunluk değerleri sırasıyla K₂=T₂ ve K₁₄ kodlu örneklerde gözlenmiştir.

Çizelge 4.14. Deney numune gruplarına ait yoğunluk ortalama değerleri ve standart sapma

Grup***	Yoğunluk (g/cm3)	Grup	Yoğunluk (g/cm3)
K ₁ =T ₁	0,890* (0,002)**	K ₁ =T ₁	0,890* (0,002)**
K ₂ =T ₂	0,879 (0,012)	K ₂ =T ₂	0,879 (0,012)
K ₃	0,906 (0,010)	T ₃	0,909 (0,002)
K ₄	0,892 (0,010)	T ₄	0,909 (0,004)
K ₅	0,913 (0,007)	T ₅	0,923 (0,004)
K ₆	0,919 (0,009)	T ₆	0,917 (0,006)
K ₇	0,921 (0,008)	T ₇	0,924 (0,008)
K ₈	0,929 (0,006)	T ₈	0,932 (0,003)
K ₉	0,939 (0,004)	T ₉	0,937 (0,006)
K ₁₀	0,934 (0,011)	T ₁₀	0,944 (0,008)
K ₁₁	0,950 (0,004)	T ₁₁	0,956 (0,006)
K ₁₂	0,966 (0,009)	T ₁₂	0,969 (0,003)
K ₁₃	0,947 (0,021)	T ₁₃	0,949 (0,006)
K ₁₄	0,984 (0,003)	T ₁₄	0,975 (0,007)

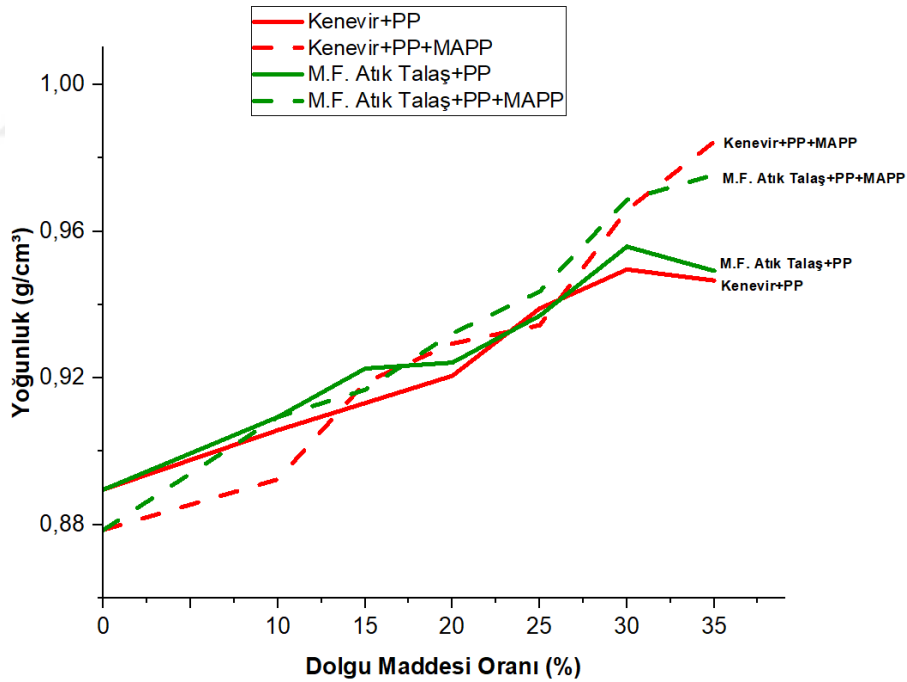
*ortalama değer, **standart sapma, *** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaşı (T) ve MAPP’ın deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.15’de gösterilmiştir. Çizelge 4.15 incelendiğinde hem dolgu maddesi oranı ve hem de MAPP’nin yoğunluk değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir (P<0.0001). Dolgu maddesi türünün de istatistiksel olarak etkili olduğu belirlenmiştir (P=0.0202).

Çizelge 4.15. Dolgu maddesi oranı, dolgu maddesi türü ve MAPP'ın yoğunluk değerlerine ait ANOVA sonuçları

Yoğunluk					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	0,1093	27	0,0040	64,40	< 0.0001 significant
A- Dolgu Maddesi Oranı	0,1003	6	0,0167	266,07	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Türü	0,0003	1	0,0003	5,56	0,0202
C- MAPP	0,0010	1	0,0010	16,49	< 0.0001
AB	0,0005	6	0,0001	1,38	0,2307
AC	0,0063	6	0,0011	16,76	< 0.0001
BC	1,226E-06	1	1,226E-06	0,0195	0,8892
ABC	0,0007	6	0,0001	1,93	0,0827
Pure Error	0,0070	112	0,0001		
Cor Total	0,1163	139			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin yoğunluk değerleri üzerine etkileşim grafikleri Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Şekil 4.7’de kırmızı çizgiler kenevirli grupları, yeşil çizgiler M.F. atık talaşlı grupları göstermektedir. Kesikli çizgiler ise MAPP’ın kullanıldığı grupları göstermektedir.



Şekil 4.7. K dolgu maddesi, T dolgu maddesi ve MAPP'ın yoğunluk değerlerine ait etkileşim grafiği

Şekil 4.7 incelendiğinde MAPP ilavesinden bağımsız olarak polipropilen matriste dolgu maddesi oranının artmasıyla yoğunluk değerleri artmıştır. Genel olarak, düşük lignoselülozik dolgulu numuneler daha düşük ortalama yoğunluk değerlerine sahipken, yüksek lignoselülozik dolgulu numuneler daha yüksek ortalama yoğunluk değerlerine

sahiptir. Bu artışın lignoselülozik malzemelerin daha yüksek hücre duvarı yoğunluğundan (yaklaşık $1,5 \text{ g/cm}^3$) kaynaklandığı düşünülmektedir (Matuana ve ark., 1998; Mengeloğlu ve Karakuş 2008; İslam ve ark., 2013; Mengeloğlu ve ark., 2015; Diestel ve Krause 2018; Mengeloğlu ve Çavuş 2019; Çavuş ve Mengeloğlu 2020; Çavuş 2020). Yüksek dolgu maddesi ilaveli kompozitlerde MAPP ilavesinin yoğunluk değerlerini bir miktar artırdığı gözlemlenmiştir. Bu durum MAPP'ın dolgu maddesi ve polimer matris arasındaki bağlanmayı artırmasından kaynaklanmaktadır. Benzer sonuçlar diğer çalışmalarda da bildirilmiştir (Kakroodi ve ark., 2012; Çavuş 2020).

4.1.2.2 Su alma oranı

Polipropilen matris içerisinde dolgu maddesi olarak kenevir sapları ve M.F. atık talaşları kullanılarak üretilen kompozit örneklerin suda bekletme sonucunda su alma oranları belirlenmiştir. Deney örneklerin ilk ağırlıkları belirlendikten sonra 2 saat, 24 saat, 48 saat, 72 saat, 168 saat, 336 saat, 504 saat ve 672 saatlik süreyle yaklaşık olarak 1 ay boyunca su içerisinde tutulup periyodik olarak ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Ölçümler her bir üretim parametresine ait 5 adet deney örneği üzerinden gerçekleştirilmiş ve bunların ortalama değerleri alınmıştır. Çizelge 4.16'da deney numunelerine ait ortalama su alma oranları verilmiştir. $K_1=T_1$ ve $K_2=T_2$ gruplarında dolgu maddesi olmadığından ve hidrofobik polimerin su almayacağı varsayıldığından bu gruplarda ağırlık değişimleri hesaplanmamıştır.

Çizelge 4.16. Deney numunelerine ait su alma oranları

Grup	Su Alma Oranı (%)								
	0. Saat	2. Saat	24. Saat	48. Saat	72. Saat	168. Saat	336. Saat	504. Saat	672. Saat
K ₃ **	0,00*	0,08	0,15	0,22	0,21	0,22	0,45	0,81	0,81
T ₃	0,00	0,07	0,31	0,20	0,29	0,40	0,41	0,59	0,94
K ₄	0,00	0,02	0,09	0,13	0,14	0,19	0,36	0,77	0,79
T ₄	0,00	0,13	0,34	0,25	0,29	0,42	0,37	0,58	0,61
K ₅	0,00	0,18	0,23	0,32	0,60	0,71	0,81	0,99	1,01
T ₅	0,00	0,18	0,26	0,22	0,34	0,38	0,39	0,58	0,77
K ₆	0,00	0,14	0,14	0,23	0,28	0,32	0,46	0,69	0,73
T ₆	0,00	0,15	0,32	0,33	0,32	0,36	0,36	0,57	0,69
K ₇	0,00	0,14	0,32	0,41	0,41	0,64	0,66	1,14	1,17
T ₇	0,00	0,28	0,35	0,40	0,58	0,76	0,76	0,97	1,16
K ₈	0,00	0,13	0,22	0,27	0,27	0,49	0,58	0,91	0,94
T ₈	0,00	0,19	0,20	0,34	0,33	0,47	0,50	0,55	0,69
K ₉	0,00	0,31	0,31	0,33	0,35	0,35	0,80	1,06	1,06
T ₉	0,00	0,17	0,10	0,34	0,56	0,75	0,78	1,02	1,39
K ₁₀	0,00	0,17	0,24	0,29	0,31	0,33	0,39	0,56	0,65
T ₁₀	0,00	0,20	0,24	0,23	0,41	0,58	0,61	0,88	1,12
K ₁₁	0,00	0,38	0,51	0,76	0,72	1,31	1,86	2,33	2,66
T ₁₁	0,00	0,35	0,70	0,72	0,75	1,02	1,38	1,92	2,39
K ₁₂	0,00	0,13	0,25	0,38	0,36	0,72	0,80	1,23	1,26
T ₁₂	0,00	0,25	0,41	0,49	0,59	0,65	0,84	1,19	1,49
K ₁₃	0,00	0,38	0,71	1,00	1,08	1,29	2,59	3,30	3,71
T ₁₃	0,00	0,35	0,57	0,90	1,00	1,39	2,10	2,96	3,52
K ₁₄	0,00	0,12	0,33	0,42	0,46	0,92	1,08	1,46	1,54
T ₁₄	0,00	0,14	0,28	0,44	0,49	0,78	0,88	1,59	1,72

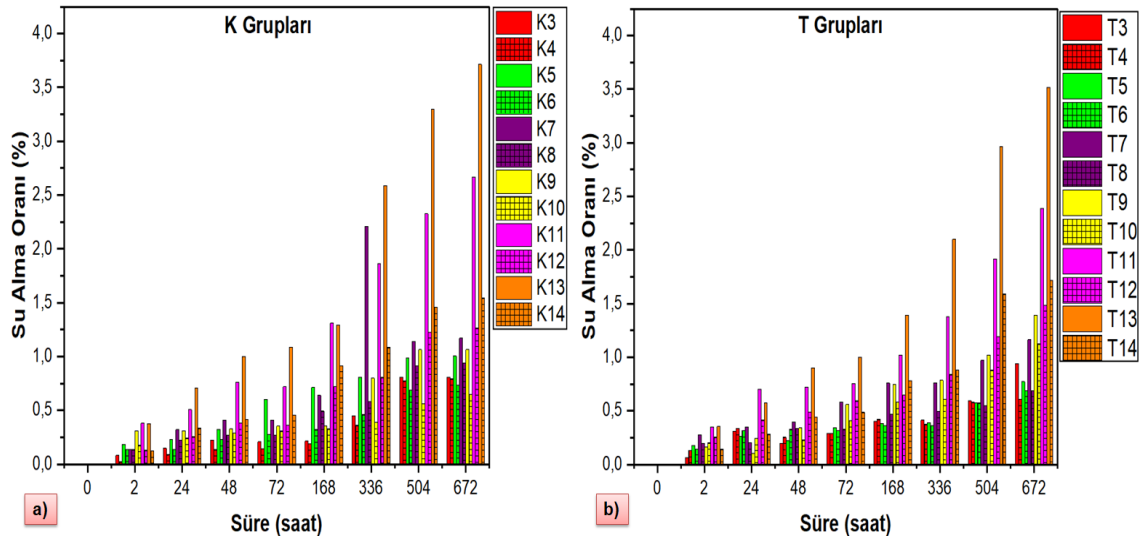
*Ortalama su alma oranı (%), ** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Süre, dolgu maddesi oranı, dolgu maddesi türü (kenevir ve atık talaş) ve MAPP'ın deney numunelerinin su alma oranları üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.17'de verilmiştir. Çizelge 4.17 incelendiğinde sürenin, dolgu maddesi miktarının ve MAPP'ın kompozit örneklerin su alma değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P < 0.0001$). Dolgu maddesi türünün ise istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir ($P = 0.6907$).

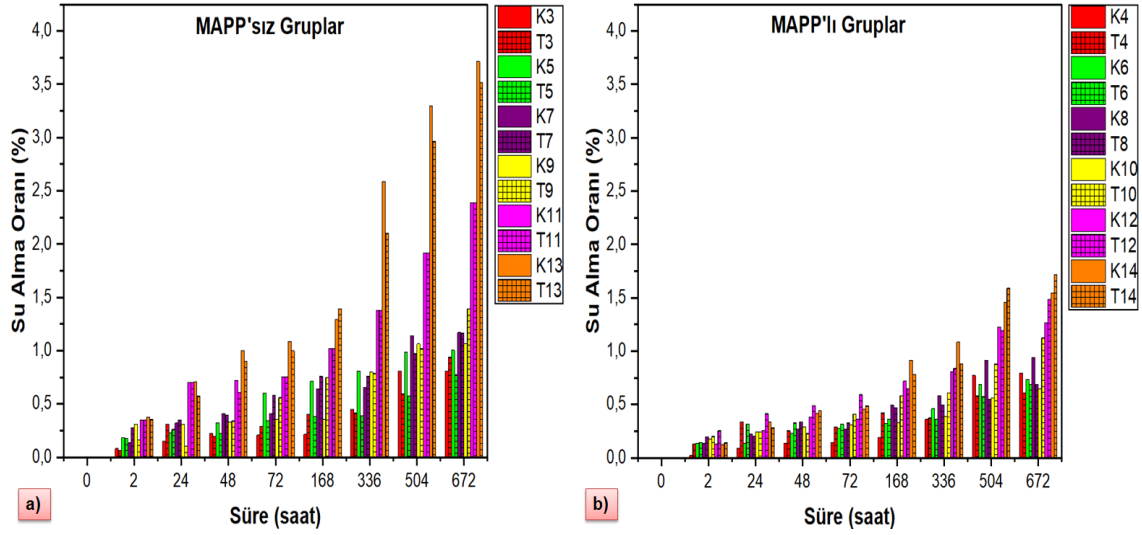
Çizelge 4.17. Süre, dolgu maddesi miktarı, dolgu maddesi türü ve MAPP'ın su alma oranları etkisine ait ANOVA sonuçları

Su Alma Oranı					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	80,10	82	0,9769	34,66	< 0.0001 significant
A-Süre	39,99	8	5,00	177,33	< 0.0001
B-Dolgu Maddesi Oranı	16,75	5	3,35	118,83	< 0.0001
C-MAPP	4,45	1	4,45	157,80	< 0.0001
D-Dolgu Maddesi Türü	0,0045	1	0,0045	0,1590	0,6907
AB	11,79	40	0,2948	10,46	< 0.0001
AC	2,68	8	0,3345	11,87	< 0.0001
AD	0,2778	8	0,0347	1,23	0,2851
BC	3,81	5	0,7620	27,03	< 0.0001
BD	0,2347	5	0,0469	1,67	0,1472
CD	0,1282	1	0,1282	4,55	0,0348
Residual	3,75	133	0,0282		
Cor Total	83,85	215			

Kenevir dolgu maddesi, M.F. atık talaş dolgu maddesi ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin su alma değerlerine ait grafikleri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.8'de K ve T gruplarının su alma oranları verilmiş ve içi taralı olan gruplar formülasyonlarda MAPP içeren gruplardır. Şekil 4.9'da K ve T grupları birlikte MAPP'lı ve MAPP'sız gruplar olarak verilmiş ve içi taralı gruplar T gruplarını göstermektedir.



Şekil 4.8. a) K grupları, b) T grupları su alma oranları



Şekil 4.9. a) MAPP'sız K ve T grupları, b) MAPP'lı K ve T gruplar su alma oranları

Şekil 4.8 incelendiğinde dolgu maddesi türünden bağımsız olarak dolgu maddesi oranı ve suda kalma sürelerinin artmasıyla kompozit örneklerin su alma oranlarında artış görülmüştür. Bu beklenen bir durum olup lignoselülozik liflerin hidroksil gruplarına sahip hidrofil yapıda, polimer matrisin ise hidrofobik yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Benzer çalışmalarda da polimer matris içerisinde lignoselülozik lif oranının artması ve suda kalma süresiyle OPK'lerin su alma kapasitelerinin arttığı bildirilmiştir (Ortega ve ark., 2018; Vallejos ve ark., 2023). Şekil 4.9 incelendiğinde MAPP'lı grupların MAPP'sız gruplara nispeten daha az su alma oranlarına sahip olduğu gözlenmiştir. Bu durum, MAPP'ın dolgu maddesi ile polimer matris arasında iyi bir bağlanma sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Şekil 4.9a'da kenevir ve M.F. atık talaş ile üretilen grupların su alma oranları birbirine yakın olmakla birlikte kenevirli gruplar bir miktar daha fazla su alma ile sonuçlanmıştır. Bu durum, kullanılan atık talaşların heterojen ve lif dışı hammadde (yongalevha, MDF, kontrplak ve PVC kenar bantlarından oluşmaktadır) içeriğine sahip olmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Şekil 4.9b'de ise yüksek dolgulu (%30 ve %35) gruplar arasında kenevirli gruplar uzun süreli suda kalma süresinde daha az su alma ile sonuçlanmıştır. Bu durum ise kenevirin daha fazla selülozik lif içeriğine sahip olması ve MAPP'ın bu gruplarda daha iyi bağlanma sağlamasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.1.2.3 Kalınlık artış oranı

Polipropilen matris içerisinde dolgu maddesi olarak kenevir sapları ve M.F. atık talaşları kullanılarak üretilen kompozit örneklerin suda bekletme sonucunda kalınlık artış oranları belirlenmiştir. Deney örneklerin ilk kalınlıkları belirlendikten sonra 2 saat, 24 saat,

48 saat, 72 saat, 168 saat, 336 saat, 504 saat ve 672 saatlik süreyle yaklaşık olarak 1 ay boyunca su içerisinde tutulup periyodik olarak kalınlık değişimleri belirlenmiştir. Ölçümler her bir üretim parametresine ait 5 adet deney örneği üzerinden gerçekleştirilmiş ve bunların ortalama değerleri alınmıştır. Çizelge 4.18’de deney numunelerine ait ortalama kalınlık artış oranları verilmiştir.

Çizelge 4.18. Deney numunelerine ait kalınlık artış oranları

Grup	Kalınlık Artış Oranı (%)								
	0. Saat	2. Saat	24. Saat	48. Saat	72. Saat	168. Saat	336. Saat	504. Saat	672. Saat
K ₃ **	0,00*	1,406	1,406	1,500	1,781	1,921	2,015	2,015	2,343
T ₃	0,00	0,049	0,776	0,786	0,806	0,816	0,830	0,962	1,069
K ₄	0,00	1,504	1,504	1,504	1,645	1,692	1,739	1,786	2,773
T ₄	0,00	0,169	0,290	0,411	0,445	0,483	0,556	0,696	0,764
K ₅	0,00	1,301	1,639	1,783	2,072	2,169	2,313	2,554	2,651
T ₅	0,00	0,044	0,356	0,625	1,044	1,118	0,795	0,908	1,118
K ₆	0,00	1,297	1,297	1,394	1,922	2,114	2,259	2,451	2,403
T ₆	0,00	0,238	0,413	0,539	0,602	0,607	0,612	0,811	0,792
K ₇	0,00	1,556	1,751	2,091	2,140	2,140	2,189	2,286	2,432
T ₇	0,00	0,319	0,525	0,662	0,756	1,065	1,084	1,084	1,084
K ₈	0,00	1,527	1,527	1,527	1,765	2,147	2,147	2,242	2,242
T ₈	0,00	0,259	0,476	0,528	0,624	0,648	0,783	0,917	0,937
K ₉	0,00	1,138	1,185	1,233	1,517	1,517	1,802	1,991	2,039
T ₉	0,00	0,000	0,038	0,215	0,315	0,377	0,405	0,463	0,496
K ₁₀	0,00	0,711	0,758	0,806	0,806	1,043	1,327	1,422	1,943
T ₁₀	0,00	0,057	0,177	0,187	0,254	0,441	0,742	0,752	0,857
K ₁₁	0,00	0,758	1,280	1,422	2,370	2,374	2,559	2,749	2,938
T ₁₁	0,00	0,000	0,281	0,462	0,462	0,743	0,819	0,881	0,929
K ₁₂	0,00	1,222	1,363	1,551	1,551	1,787	1,787	1,693	2,069
T ₁₂	0,00	0,000	0,213	0,232	0,288	0,383	0,440	0,501	0,548
K ₁₃	0,00	1,321	1,652	2,029	2,737	3,681	3,492	3,492	3,823
T ₁₃	0,00	0,000	0,099	0,225	0,310	0,531	0,700	1,169	1,244
K ₁₄	0,00	0,948	1,327	1,422	2,227	2,227	2,275	2,322	2,370
T ₁₄	0,00	0,000	0,095	0,095	0,223	0,441	0,587	0,711	0,815

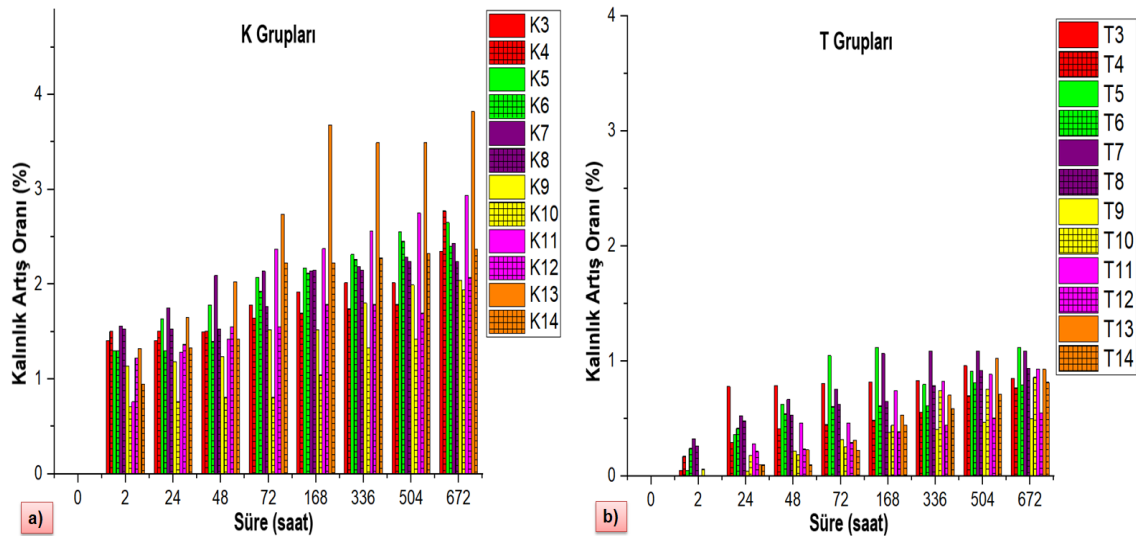
*Ortalama kalınlık artış oranı (%), ** her gruptan 5 deney numunesi test edilmiştir.

Süre, dolgu maddesi oranı, dolgu maddesi türü (kenevir ve atık talaş) ve MAPP’ın deney numunelerinin kalınlık artış oranları üzerine etkilerinin önem düzeyini belirlemek amacıyla ANOVA testi uygulanmış ve elde edilen değerler Çizelge 4.19’da verilmiştir. Çizelge 4.19 incelendiğinde sürenin, dolgu maddesi miktarının, dolgu maddesi türünün ve MAPP’ın kompozit örneklerin kalınlık artış değerleri üzerine istatistiksel olarak önemli düzeyde etkili olduğu belirlenmiştir ($P<0.0001$).

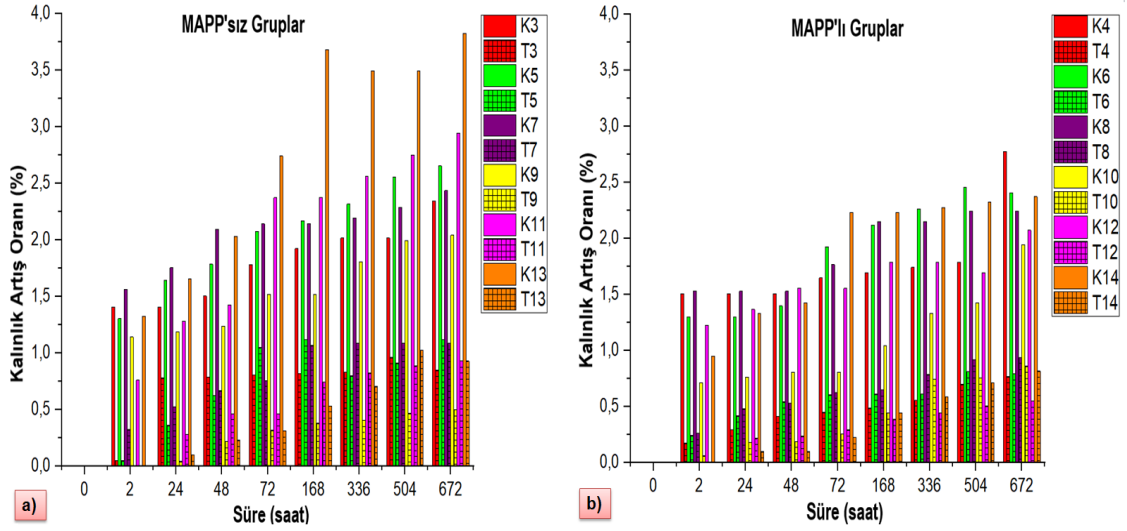
Çizelge 4.19. Süre, dolgu maddesi miktarı, dolgu maddesi türü ve MAPP'ın kalınlık artış oranları etkisine ait ANOVA sonuçları

Kalınlık Artış Oranı					
Kaynak	Kareler Top.	df	Kareler Ort.	F- değeri	p- değeri
Model	156,37	82	1,91	42,00	< 0.0001 significant
A- Süre	52,05	8	6,51	143,31	< 0.0001
B- Dolgu Maddesi Oranı	5,71	5	1,14	25,16	< 0.0001
C- MAPP	2,60	1	2,60	57,31	< 0.0001
D- Dolgu Maddesi Türü	76,00	1	76,00	1674,10	< 0.0001
AB	2,87	40	0,0717	1,58	0,0286
AC	0,9978	8	0,1247	2,75	0,0077
AD	11,31	8	1,41	31,15	< 0.0001
BC	0,7164	5	0,1433	3,16	0,0100
BD	3,58	5	0,7156	15,76	< 0.0001
CD	0,5278	1	0,5278	11,63	0,0009
Residual	6,04	133	0,0454		
Cor Total	162,40	215			

Kenevir dolgu maddesi (K), M.F. atık talaş dolgu maddesi (T) ve uyum sağlayıcı katkı maddesinin (MAPP) deney numunelerinin kalınlık artış oranlarına ait grafikleri Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekil 4.10'da K ve T gruplarının kalınlık artış oranları verilmiş ve içi taralı olan gruplar formülasyonlarda MAPP içeren gruplardır. Şekil 4.11'de K ve T grupları birlikte MAPP'lı ve MAPP'sız gruplar olarak verilmiş ve içi taralı gruplar T gruplarını göstermektedir.



Şekil 4.10. a) K grupları, b) T grupları kalınlık artış oranları



Şekil 4.11. a) MAPP'sız K ve T grupları, b) MAPP'lı K ve T gruplar kalınlık artış oranları

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11 incelendiğinde su alma oranlarında olduğu gibi benzer sonuçlar kalınlık artış oranlarında da gözlenmiştir. Dolgu maddesi türünden bağımsız olarak dolgu maddesi oranı ve suda kalma sürelerinin artmasıyla kompozit örneklerin kalınlık artış oranları artmıştır. Şekil 4.11 incelendiğinde MAPP'lı grupların MAPP'sız gruplara nispeten kalınlık artış oranları biraz daha düşük çıkmıştır. Aynı zamanda kenevirli gruplar M.F. atık talaşlı gruplara nispeten bir miktar daha fazla kalınlık artışı ile sonuçlanmıştır. Bu durum kenevirin daha fazla selülozik lif içermesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.1.3 Termal Özellikler

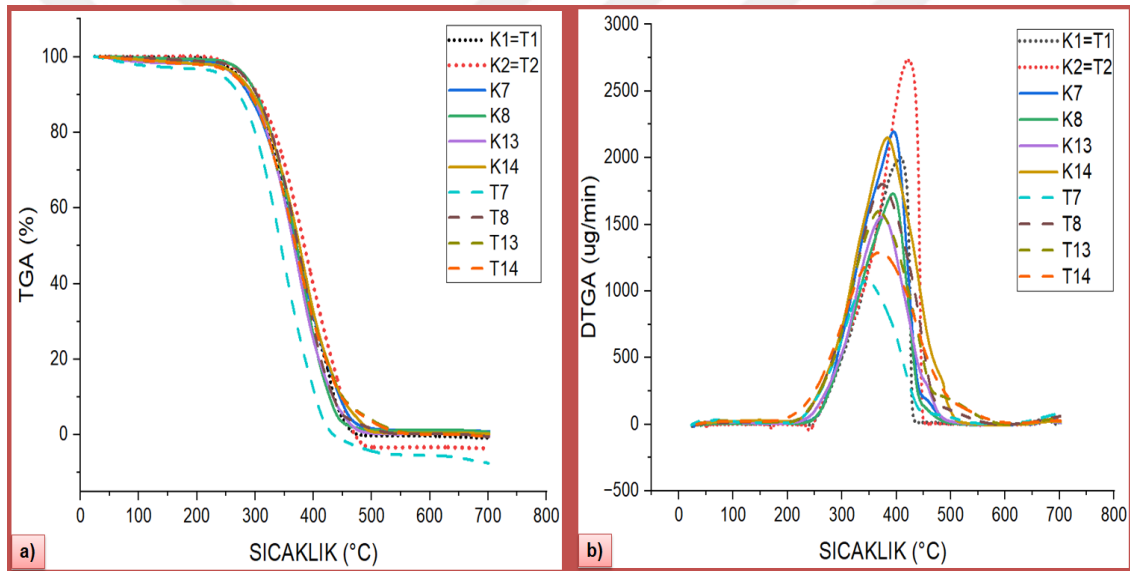
4.1.3.1 Termo-gravimetrik analiz (TGA)

Bu çalışmada, üretilen kompozitler arasından seçilen bazı gruplarda TGA ve DTGA analizleri yapılmıştır. Kontrol grubu olarak %100 polipropilen (PP) ile üretilen grup $K_1=T_1$ (%100 PP) ile $K_2=T_2$ (%97 PP + %3 MAPP), K_7 ve T_7 (%20 dolgu maddesi + %80 PP), K_8 ve T_8 (%20 dolgu maddesi + %77 PP + %3 MAPP), K_{13} ve T_{13} (%35 dolgu maddesi + %65 PP), K_{14} ve T_{14} (%35 dolgu maddesi + %62 PP + %3 MAPP) gruplarında analizler gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit örneklerin termal bozunmaları TGA ile tespit edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.20'de verilmiştir. Örneklerin termogravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel termogravimetrik analiz (DTGA) eğrilerine ait grafikler Şekil 4.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.20. Kenevir ve M.F. atık talaş katkılı polipropilen (PP) kompozitlerin TGA verileri

Grup	T_{Onset} (°C)'de ağırlık kaybı (%)	T_{Onset} (°C)	T_{endset} (°C)	$T_{onset} - T_{endset}$ 'teki Ağırlık Kaybı (%)	700 °C Kalıntı Miktarı (%)
$K_1=T_1$	0.5	216.2	479.1	99.5	0
$K_2=T_2$	0.3	225.4	471.1	99.2	0.1
K_7	1.2	215.8	503.0	97.2	1.6
T_7	4.5	200.9	462.8	95.3	0
K_8	1.5	251.2	481.9	96.9	1.6
T_8	1.1	199.8	545.3	98.6	0.3
K_{13}	2.4	235.7	494.4	97.0	0.6
T_{13}	1.9	202.5	626.2	97.8	0.3
K_{14}	2.4	238.2	503.8	96.7	0.8
T_{14}	2.0	199.3	627.0	97.8	0.2

K: Kenevirli gruplar, T: M.F. atık talaşlı gruplar



Şekil 4.12. Kompozit örneklerin a) TGA, b) DTGA eğrileri

Çizelge 4.12 TGA verileri incelendiğinde saf PP ile üretilen ($K_1=T_1$) örneğin bozunmaya başlama sıcaklığı 216.2 °C, bozunmanın bittiği sıcaklık ise 479.1 °C olarak tespit edilmiştir. $K_1=T_1$ grubunda bu sıcaklıklar arasında %99.5 oranında ağırlık kaybı meydana ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0 olarak ölçülmüştür. $K_2=T_2$ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 225.4 °C, bozunmanın bittiği sıcaklık ise 471.1 °C olarak tespit edilmiştir. $K_2=T_2$ grubunda bu sıcaklıklar arasında %99.2 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiş ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0 olarak ölçülmüştür. K_7 grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 215.8 °C, bozunmanın bittiği sıcaklık ise 503.0 °C olarak tespit edilmiştir. K_7 grubunda bu sıcaklıklar arasında %97.2 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiş ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı

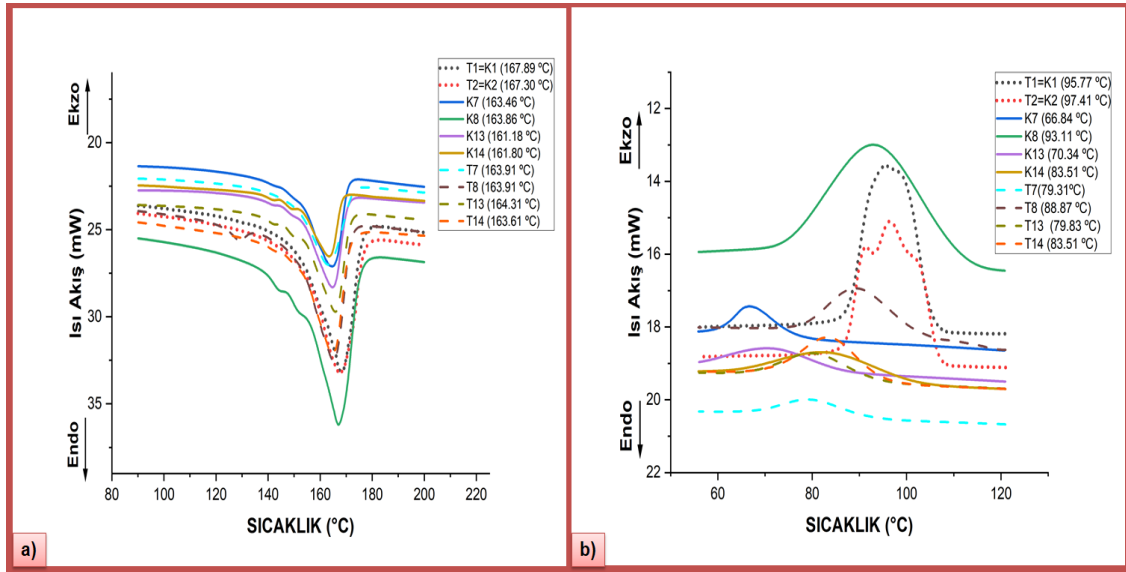
%1.6 olarak ölçülmüştür. T₇ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 200.9 °C, bozunmanın bittiği sıcaklık ise 462.8 °C olarak tespit edilmiştir. T₇ gurubunda bu sıcaklıklar arasında %95.3 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiş ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0 olarak ölçülmüştür. K₈ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 251.2 °C, bozunmanın bittiği sıcaklık ise 481.9 °C olarak tespit edilmiştir. K₈ gurubunda bu sıcaklıklar arasında %96.9 oranında ağırlık kaybı meydana ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %1.6 olarak ölçülmüştür. T₈ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 199.8 °C bozunmanın bittiği sıcaklık ise 545.3 °C olarak tespit edilmiştir. T₈ gurubunda bu sıcaklıklar arasında %98.6 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiş ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0.3 olarak ölçülmüştür. K₁₃ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 235.7 °C bozunmanın bittiği sıcaklık ise 494.4 °C olarak tespit edilmiştir. K₁₃ gurubunda bu sıcaklıklar arasında %97.0 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiştir ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0.6 olarak ölçülmüştür. T₁₃ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 202.5 °C bozunmanın bittiği sıcaklık ise 626.2 °C olarak tespit edilmiştir. T₁₃ gurubunda bu sıcaklıklar arasında %97.8 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiştir ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0.3 olarak ölçülmüştür. K₁₄ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 238.2 °C bozunmanın bittiği sıcaklık ise 503.8 °C olarak tespit edilmiştir. K₁₄ gurubunda bu sıcaklıklar arasında %96.7 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiş ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0.8 olarak ölçülmüştür. T₁₄ grubunda bozunmaya başlama sıcaklığı 199.3 °C bozunmanın bittiği sıcaklık ise 627 °C olarak tespit edilmiştir. T₁₄ gurubunda bu sıcaklıklar arasında %97.8 oranında ağırlık kaybı meydana gelmiş ve sıcaklık 700 °C geldiğinde ise kalıntı miktarı %0.2 olarak ölçülmüştür. Polipropilen matrise dolgu maddesi (K veya T) ilavesiyle 700 °C sıcaklıkta kompozitlerde kalıntı miktarı ortaya çıkmıştır. En fazla kalıntı miktarı kenevir sapı ile üretilen sırasıyla K₇ ve K₈ gruplarında gözlenmiştir. Şekil 4.12b DTGA eğrileri incelendiğinde maksimum ısı kütle kaybı sıcaklığı en yüksek K₂ grubunda, en düşük ise T₇ grubunda gözlenmiştir.

Üretilen kompozit örneklerin Şekil 4.12a TGA eğrileri ve Çizelge 4.20 TGA verileri incelendiğinde iki ağırlık kaybı aşaması görülmektedir. İlk aşama oda sıcaklığında başlayan ve yaklaşık 250 °C’de tamamlanan rutubet kaybıyla ilişkilidir. Bu genellikle kompozitlerdeki su kaybına atfedilir (Wu ve ark., 2020; Wu ve ark., 2021; Şeker ve ark. 2021; Silveira ve ark., 2023). İlk aşamadaki ağırlık kayıpları en düşük %0.3 (K₂=T₂) ile en yüksek %4.5 (T₇) aralığında gözlenmiştir. İkinci ağırlık kayıpları ise 199 °C ile 627 °C

arasında meydana gelmiştir. Bu bölge polimer matrisinin termal ayrışmasına bağlanabilir (Wu ve ark., 2020). Ayrıca, polipropilen matrise lignoselülozik dolgu maddesi (K ve T) ilave edilmesi OPK'lerin bozunma sıcaklıklarını artırdığı gözlenmiştir. Bu durum lignoselülozik dolgu maddesi bileşenlerinin yüksek bozunma sıcaklıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dolgu maddelerinin (K ve T) ana bileşenleri olan selülozun 250 °C ile 400 °C, hemiselülozun 190 °C ile 410 °C ve ligninin ise 105 °C ile 800 °C arasında termal bozunma sıcaklık aralıklarında olduğu bildirilmiştir (Başboğa, 2023). Üretilen OPK'larda genellikle T dolgu maddesi ile üretilen gruplar K dolgu maddesi ile üretilenlere kıyasla daha yüksek bozunma sıcaklık değerleri vermiştir. Bunda M.F. atık talaş dolgu maddesi içeriğinde farklı karışımlar (yongalevha, kontrplak, MDF, PVC vb.) olduğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.1.3.2 Diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC)

Bu çalışmada, üretilen kompozitler arasından seçilen bazı gruplarda DSC analizleri yapılmıştır. Kontrol grubu olarak %100 polipropilen (PP) ile üretilen grup $K_1=T_1$ (%100 PP) ile $K_2=T_2$ (%97 PP + %3 MAPP), K_7 ve T_7 (%20 dolgu maddesi + %80 PP), K_8 ve T_8 (%20 dolgu maddesi + %77 PP + %3 MAPP), K_{13} ve T_{13} (%35 dolgu maddesi + %65 PP), K_{14} ve T_{14} (%35 dolgu maddesi + %62 PP + %3 MAPP) gruplarında analizler gerçekleştirilmiştir. Kompozit örneklerin DSC eğrileri Şekil 4.13 de verilmiştir. Şekil 4.13a ikinci ısıtma döngüsü sırasında kompozitlerin termogramlarını gösterirken, Şekil 4.13b birinci soğutma döngüsü sırasındaki eğrileri göstermektedir. Kompozitlerin erime noktası (T_m) ve erime entalpisi (ΔH_m) ikinci ısıtma döngüsü eğrilerinden çıkarılmıştır (Şekil 4.13a). Termogramlardan ilk soğutma döngüsü sırasında kristalleşme sıcaklığı (T_c) belirlenmiştir (Şekil 4.13b). Kompozit örneklerin DSC sonuçları ve elde edilen kristallik değerleri Çizelge 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Kompozit örneklerin DSC eğrileri a) endotermik b) ekzotermik

Çizelge 4.21. Kompozit örneklerin DSC sonuçları ve kristallik değerleri

Grup	(1-w) (%)	T _m (°C)	T _c (°C)	ΔH_m (J/g)	ΔH_c (saf PP) (J/g)	X _c (%)
K ₁ =T ₁	100	167.89	95.77	140.5877	207	67.92
K ₂ =T ₂	97	167.30	97.41	137.0080	207	64.20
K ₇	80	163.46	66.84	67.8105	207	26,21
K ₈	77	163.86	93.11	130.9174	207	48.70
K ₁₃	65	161.18	70.34	67.2058	207	21.10
K ₁₄	62	161.80	83.51	108.6431	207	32.54
T ₇	80	163.91	79.31	70.9670	207	27.43
T ₈	77	163.91	88.87	122.3989	207	45.53
T ₁₃	65	164.31	79.83	81.6981	207	25.65
T ₁₄	62	163.61	83.51	106.2412	207	31.82

K: Kenevirli gruplar, T: M.F. atık talaşı gruplar, T_m= Erime noktası, T_c: Kristalleşme sıcaklığı (°C), (1-w) = polimerin kompozit malzeme içindeki ağırlık oranı, (%), ΔH_m = Numunelerin erime entalpisi (J/g), ΔH_c = 100 kristalli polipropilen formunun erime entalpisi (J/g), X_c = Kristallik değeri (%)

Şekil 4.13a incelendiğinde tüm gruplar yaklaşık 165 °C tepe sıcaklığıyla benzer endotermik pik eğrilerine sahiptir. Polimer matrise dolgu maddesi ve MAPP ilavesinin erime sıcaklıklarında (T_m) önemli farklılıklar oluşturmadığı gözlenmiştir. Şekil 4.13b kompozitlerin soğutma döngüsü kristalleşme sıcaklıkları incelendiğinde T₂=K₂ grubu en yüksek, K₇ grubu ise en düşük pik eğrisini vermiştir.

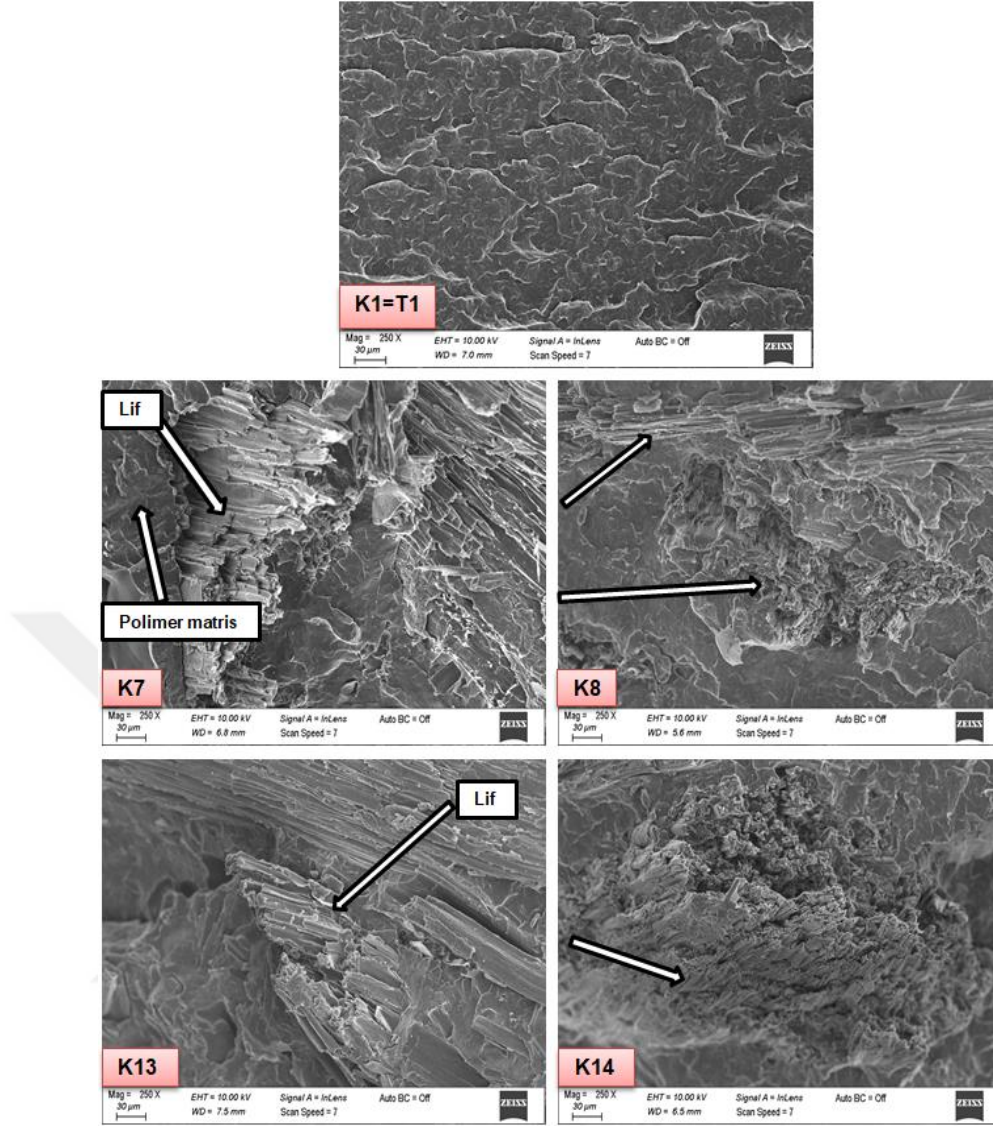
Çizelge 4.21 incelendiğinde dolgu maddesi türünden bağımsız olarak polipropilen matrise dolgu ilavesi kompozitlerin kristalleşme sıcaklıklarını (T_c) düşürmüştür. Ayrıca dolgu türünden bağımsız olarak kompozitlerin MAPP'lı gruplarında MAPP'sız gruplara kıyasla kristalleşme sıcaklıkları (T_c) artmıştır. Kompozitlerin kristallik değerleri (X_c) incelendiğinde dolgu türünden bağımsız olarak polipropilen matrise dolgu maddesi ilavesiyle kompozitlerin kristalitesi azalmıştır. MAPP'lı grupların kristalitesi ise MAPP'sız gruplardan daha yüksek çıkmıştır. Polimer matrise lignoselülozik dolgu maddesi ilavesinin

kristallik değerlerinin düşürdüğü benzer çalışmalarda da bildirilmiştir (Kim ve ark., 2007; Maziero ve ark., 2019; Başboğa, 2023; Silveira ve ark., 2023).

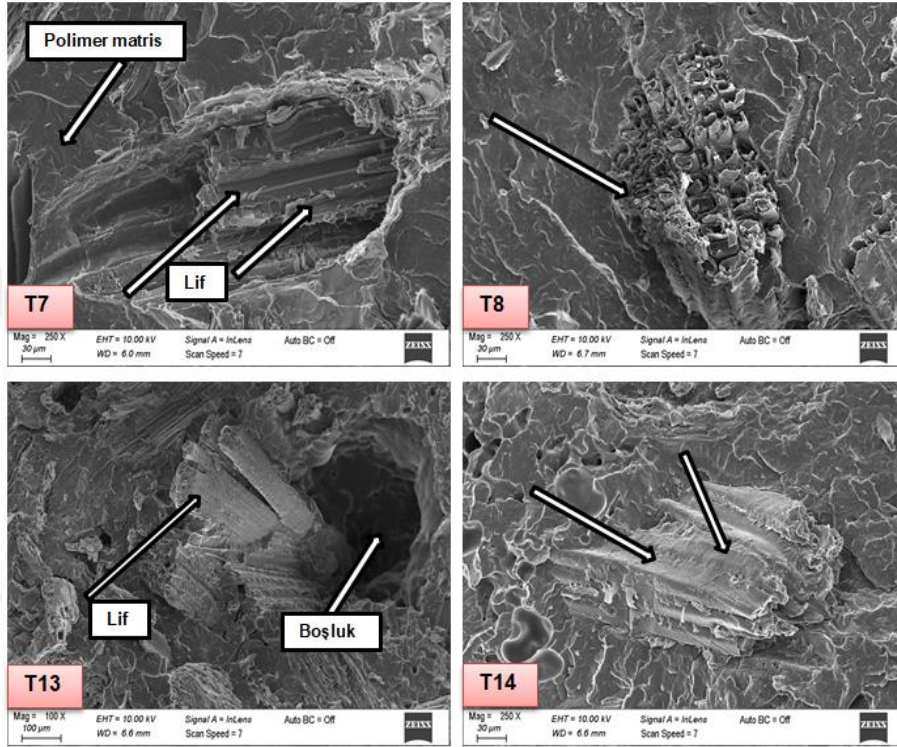
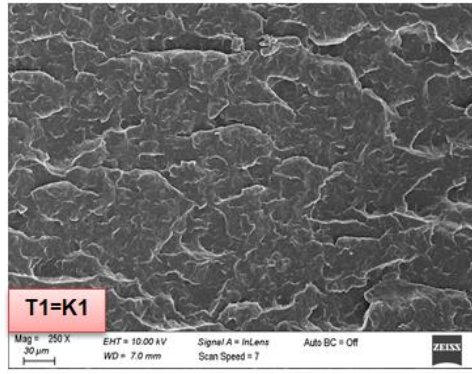
4.1.4 Taramalı elektron mikroskobu (SEM) analizi

Polipropilen matriste dolgu maddesi olarak kenevir sapları ve M.F. atık talaşları kullanılarak üretilen kompozit örneklerde polimer matris/lif ara yüzünün kalitesini değerlendirmek için darbe testinden sonra numunelerin kırılma yüzeylerinin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla belirlenmiştir. SEM analizleri $K_1=T_1$ (%100 PP), K_7 ve T_7 (%20 dolgu maddesi + %80 PP), K_8 ve T_8 (%20 dolgu maddesi + %77 PP + %3 MAPP), K_{13} ve T_{13} (%35 dolgu maddesi + %65 PP) ve K_{14} ve T_{14} (%35 dolgu maddesi + %62 PP + %3 MAPP) kodlu gruplarda yapılmıştır. Şekil 4.14’de kenevir sapının dolgu maddesi olarak kullanıldığı kompozitlere ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.15’de ise M.F. atık talaşlarının (T) dolgu maddesi olarak kullanıldığı kompozitlere ait SEM görüntüleri verilmiştir.

Şekil 4.14 incelendiğinde saf PP ile üretilen örneğin kırılma yüzeyi ($K_1=T_1$) pürüzlülük göstermektedir. Bu olay termoplastiğin plastik deformasyonu ile ilgili olduğu bildirilmiştir (Burgada ve ark., 2021). Polimer matris içerisine dolgu maddesi ilavesiyle lif çekilmeleri (K_7) görülmektedir. Bu durum dolgu maddesi ve polimer matrisinin etkileşimindeki zayıf bağlanma, hidrofobik organik polimer matrisi ve hidrofilik lifler arasındaki zayıf ıslanmadan kaynaklanmaktadır (Çetin ve ark., 2000; Shahzad, 2011; Langhorst ve ark., 2018; Çavuş ve Mengeloğlu 2020; Han ve ark., 2021a). Benzer sonuçlar başkaları tarafından da bildirilmiştir (Çavdar ve ark., 2011; Özmen ve ark., 2014; Çavuş, 2020). Polar lignoselülozik lif ile polar olmayan polimer matris arasındaki uyumluluğu ve yapışmayı geliştirmek için birleştirme ajanı olarak formülasyonlarda kullanılan MAPP ilavesinin (K_8 ve K_{14}) polimer matris ve dolgu maddesi arasında daha iyi bir bağlanma gösterdiği ve liflerin polimer matris içerisine daha iyi gömüldüğü oklar ile gösterilmiştir. MAPP ilavesinin daha iyi arayüzey yapışması sağladığı ve kompozitlerin performans özelliklerini artırdığı mekanik testlerdeki bazı sonuçlarla örneğin, MAPP ilavesinin çekme direnci değerlerini artırmasıyla gözlemlenmiştir. Başka çalışmalarda da MAPP ilavesinin polar lignoselülozik dolgu maddesi ile polar olmayan PP matrisi arasında mikro çatlak oluşumunu en aza indirmeye çalıştığı ifade edilmiştir (Özmen ve ark., 2014; Çavuş, 2020; Çavuş ve Mengeloğlu, 2020; Burgada ve ark., 2021).



Şekil 4.14. Kenevir sapı (K) dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri; K₁=T₁ (%100 PP), K₇ (%20 K + %80 PP), K₈ (%20 K + %77 PP + %3 MAPP), K₁₃ (%35 K + %65 PP) ve K₁₄ (%35 K + %62 PP + %3 MAPP)



Şekil 4.15. M.F. atık talaş (T) dolgulu PP kompozitlerin SEM görüntüleri; T₁=K₁ (%100 PP), T₇ (%20 T + %80 PP), T₈ (%20 K + %77 PP + %3 MAPP), T₁₃ (%35 T + %65 PP) ve T₁₄ (%35 T + %62 PP + %3 MAPP)

Şekil 4.15 incelendiğinde polimer matrise dolgu maddesi ilavesiyle (T₇ ve T₁₃) lif çekilmeleri gözlemlenmiştir. Formülasyonlara MAPP ilavesiyle de (T₈ ve T₁₄) liflerin polimer matris içerisine gömüldüğü ve daha iyi bir bağlanma sağlandığı gözlemlenmiştir. T₁₄ grubunda okla gösterilen kısım incelendiğinde MAPP'ın lifin yüzeyini kapladığı ve polimer matris ile lif arasında bir bağlanma sağladığı görülmektedir.

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 birlikte incelendiğinde kenevirli grupların M.F. atık talaşlı gruplara göre polimer matris içerisinde daha iyi gömüldüğü ve M.F. atık talaşlı gruplardaki boşlukların (T₇ ve T₁₃) kenevirli gruplarda daha az gözüktüğü görülmektedir. Bu durum mobilya fabrikasındaki üretimlerden elde edilen atık talaşların heterojen (kaplamalı ve kaplamasız yongalevha, kontrplak, MDF, PVC) içeriğe sahip olmasından

kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Aynı zamanda bu durum, kenevirli grupların M.F. atık talaşlı gruplara nispeten genellikle daha iyi bir mekanik özellikler (çekme direnci, eğilme direnci) vermesiyle de örtüşmektedir. Bunun yanında, kenevirin daha fazla selülozik lif içerdiği düşünüldüğünde MAPP'lı grupların (K_8 ve K_{14}), M.F. atık talaşlı (T_8 ve T_{14}) gruplara göre daha iyi bağlanma sağladığı ve liflerin polimer matris içerisine daha çok gömülü olduğu gözlenmiştir.

4.1.5 Erime akış indeksi (MFI)

Üretilen örnekler üzerinde erime akış indeksi (MFI) belirlenmesi için ağırlıkça %0, %10, %15 ve %20 oranlarında dolgu maddesi içeren örneklerde MFI analizleri gerçekleştirilmiştir. Dolgu maddesi içermeyen saf PP ile üretilen örneklerde akma meydana gelirken (5,93 g/10dk, Şekil 4.16), dolgu maddesi içeren örneklerde akma meydana gelmemiştir. Akışkanlık özelliği çok sınırlı olan lignoselülozik dolgu maddelerinin plastikler içerisine katılması plastiğin MFI'sını düşürdüğü bilinmektedir. Polipropilen içerisine dolgu maddesi katılmasıyla kompozit karışımlarının viskozitesi düştüğünden akma gerçekleşmemiştir. Dolgu maddesi ilaveli örnekler cihaz haznesine doldurulduktan sonra akma meydana gelmeyince manuel olarak bir kuvvet uygulanarak hazne içerisindeki karışımlar çıkartılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.16. Kontrol grubu saf PP ile üretilen örneklerde MFI analiz görüntüsü



Şekil 4.17. Dolgu maddesi ilaveli örneklerde MFI analiz görüntüsü

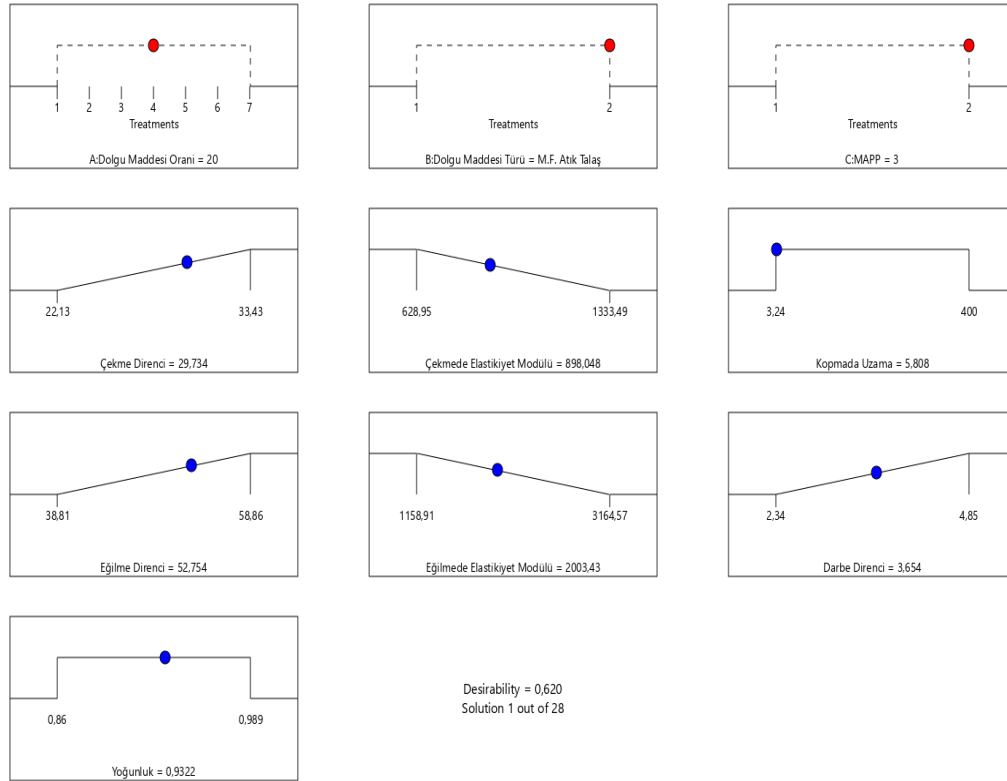
4.2 Prototip Mobilya Destek Ayaklarının Üretilmesinde Grup Seçimi

Bu tez çalışmasında polipropilen matriste dolgu maddesi olarak kenevir sapları ve M.F. atık talaşları ile uyum sağlayıcı ajan MAPP kullanılarak kompozit örnekler üretilmiştir. Üretilen kompozit örneklerin seçilen bazı özellikleri optimize edilerek gruplar arasından bir formülasyon seçilmiş ve mobilya destek ayağı olarak üretilmiştir. Üretilecek grubun seçiminde optimizasyona yönelik kullanılan yaklaşımlardan birisi olan arzu edirlilik fonksiyonu kullanılmıştır. Bu yaklaşım, proses koşulları ve/veya hedeflenen ürünün özelliklerinin belirlenmesinde ve arzu edilen özelliklerin istenilen aralıkta kalması gereken fonksiyonlara sahip karışımların optimizasyonunda tercih edilebilmektedir (Zolfaghari ve ark., 2013). Çalışmanın sanayi üretimine yönelik bir ön çalışma olması, üreticinin mevcut koşullarında bu ürünü %100 plastikten ürettiği olması ve kullanılan kalıp tasarımları göz önüne alındığında çok yüksek oranda dolgu içeriğinin kullanımından kaçınacak bir yaklaşımla grup seçimine özen gösterilmiştir. Bu amaçla tüm gruplardan elde edilen mekanik ve fiziksel değerler üzerinde kompozit karışımların optimizasyonu Çizelge 4.22'deki kriter ve hedeflere göre belirlenmiştir. Çizelge 4.22'deki üründen beklenen özelliklerin seçimi yapılırken maksimum, minimum ve aralık (değerler arasında en uygunun seçilmesi) kısıtlamaları dikkate alınmıştır.

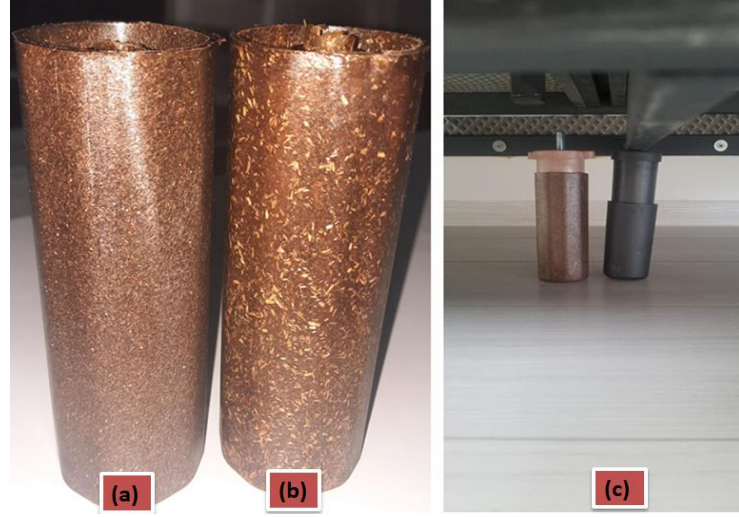
Çizelge 4.22. Optimizasyon İçin Belirlenen Kriterler ve Arzu Edilen Hedefler (Kısıtlamalar)

Kriterler	Hedef
A: Dolgu maddesi oranı (%)	Aralık
B: Dolgu maddesi türü	Aralık
C: MAPP (%)	Aralık
Çekme direnci (MPa)	Maksimum
Çekmede elastikiyet modülü (MPa)	Minimum
Kopmada uzama (%)	Aralık
Eğilme direnci (MPa)	Maksimum
Eğilmede elastikiyet modülü (MPa)	Minimum
Darbe direnci (kJ/m ²)	Maksimum
Yoğunluk (g/cm ³)	Aralık

Çizelge 4.22’deki kriterler referans alınarak prototip mobilya destek ayaklarının üretiminde kullanılacak formülasyon seçiminde, optimizasyon sonuçlarına göre %20 oranında M.F. atık talaş dolgu maddesi ve %3 MAPP’lı (T₈) grubun en uygun olduğu verilmiştir. Üretilen tüm kompozit örnekler arasında en uygun olan formülasyona ait değerler Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Üretim sonuçları ve optimizasyona göre M.F. atık talaşlı grup (T₈) prototip ürün üretiminde belirlenmiş olmasına rağmen, aynı içeriklere sahip kenevirli grup (K₈) içinde prototip ürün (mobilya deste ayağı) üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.19).



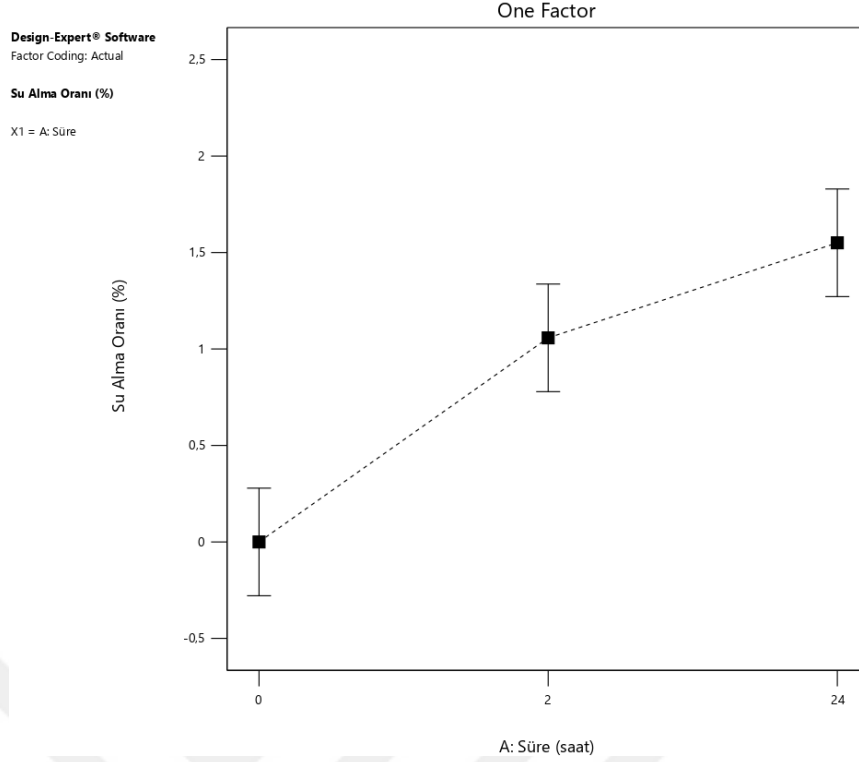
Şekil 4.18. Mobilya destek ayağı üretimi için seçilen formülasyona ait değerler



Şekil 4.19. Üretilen mobilya destek ayağı görseli a) Atık talaş kullanılan ürün, b) Kenevir sapı kullanılan ürün ve c) Destek ayaklarının kanepedeki görüntüsü

4.2.1 Mobilya destek ayağında uygulanan testler

T₈ grubu için üretilen mobilya destek ayaklarında su alma kapasitesi, kalınlık artış oranı ve basma testi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Su alma kapasitesi için deney örneklerin ilk ağırlıkları belirlendikten sonra 2 saat ve 24 süreyle su içerisinde tutulup ağırlık değişimleri belirlenmiştir. Ölçümler 5 adet deney örneği üzerinden gerçekleştirilmiş ve bunların ortalama değerleri alınmıştır. Su alma kapasitelerine ilişkin etkileşim grafiği Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Şekil 4.20 incelendiğinde örneklerin 24 saat sonunda yaklaşık %1,5 oranında su aldığı görülmüştür.

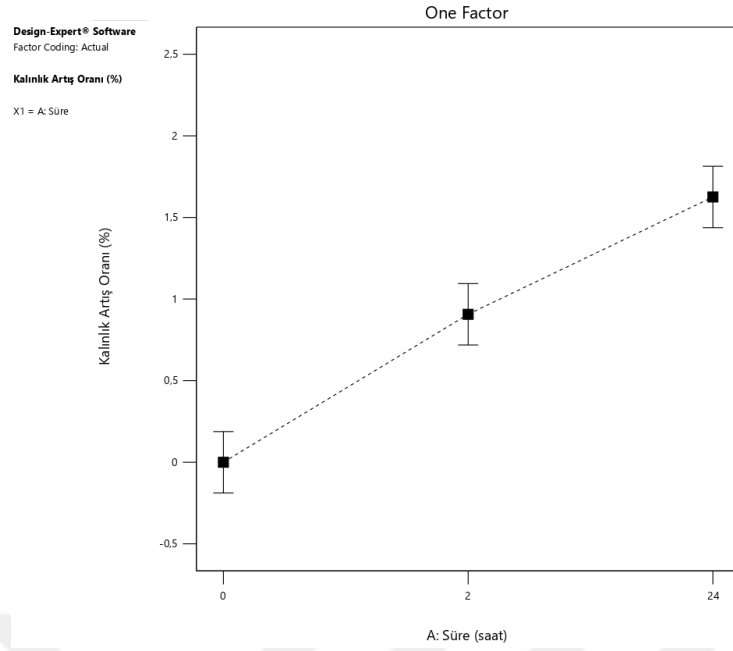


Şekil 4.20. Üretilen prototip mobilya destek ayakları su alma değerlerine ait etkileşim grafiği

Kalınlık artış oranı için deney örneklerin ilk kalınlıkları belirlendikten sonra 2 saat ve 24 süreyle su içerisinde tutulup kalınlık değişimleri belirlenmiştir. Ölçümler örnekler üzerinde 3 noktadan ve 5 adet deney örneği üzerinden gerçekleştirilmiş ve bunların ortalama değerleri alınmıştır (Şekil 4.21). Kalınlık artış oranlarına ilişkin etkileşim grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde örneklerde 24 saat sonunda yaklaşık %1,5 oranında kalınlık artışı görülmüştür.



Şekil 4.21. Üretilen prototip mobilya destek ayakları kalınlık artış testine ait görüntü



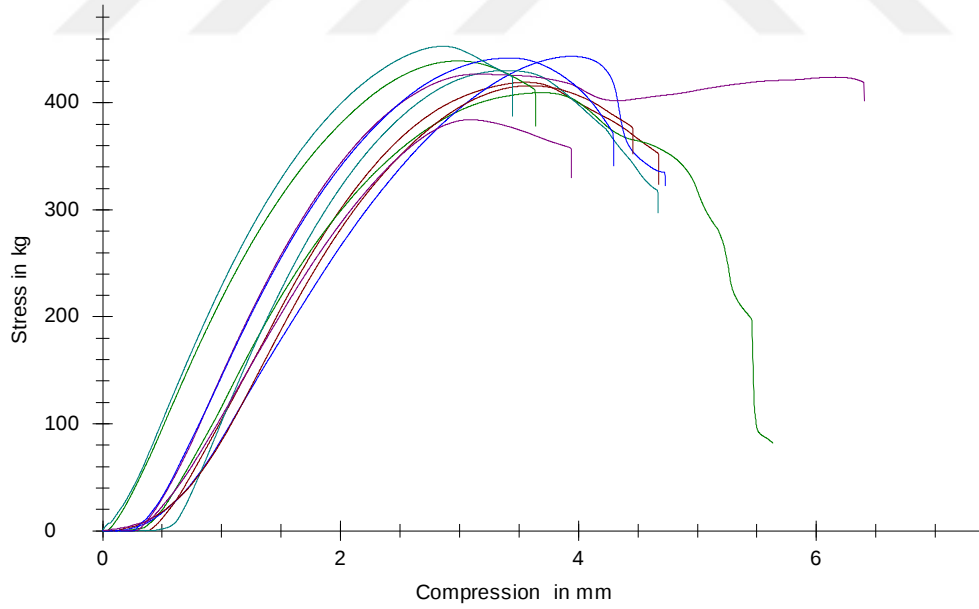
Şekil 4.22. Üretilen prototip mobilya destek ayakları kalın artış değerlerine ait etkileşim grafiği

Üretilen prototip mobilya destek ayaklarında basma testleri KSÜ Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Odun Mekaniği ve Tek. ABD laboratuvarlarındaki Zwick/Roell Z010 Universal test makinesinde 10.0 mm/dk hızında gerçekleştirilmiştir. Test 10 örnek üzerinden gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.23). Basma testi işlemi, mobilya destek ayaklarına koltuk, kanepeler vb. ürünlere ayakların bağlantı sağladığı aparat takılarak testler gerçekleştirilmiştir. Mobilya destek ayakları, mobilya ürünlerinde kullanılırken hem destek sağlama hem de diğer sabit ayaklara göre ayarlama görevi görmektedirler (Şekil 3.9c). Aparat takılmadan gerçekleştirilen testlerde makine kapasitesinde ayaklarda ezilme veya kırılmalar görülmemiştir.



Şekil 4.23. Zwick/Roell Z010 Universal Test Makinesi ve basma deneyi testi

Şekil 4.24’de prototip mobilya destek ayaklarına ait basma test sonuçları verilmiştir. Örnekler yaklaşık olarak 380-400 kg kuvvete karşı koyabilmektedir. 400 kg kuvvetin üstünde bağlantı aparatı destek ayak boşluğu içine gömüldüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 4.24. Üretilen prototip mobilya destek ayaklarına ait basma test sonuçları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, plastik mobilya aksesuar vb. ürünlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan polipropilen (PP) matris içerisine kenevir sapları ve mobilya fabrikasında üretimler sonrasında ortaya çıkan lignoselülozik atık talaşlar katılarak enjeksiyon yöntemiyle kompozitler üretilmiştir. Kompozit üretimleri iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada farklı kombinasyonlarda üretilen test örneklerinin seçilen bazı mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. İkinci aşamada ise gruplar arasında optimizasyon sonuçlarına göre belirlenen bir grup mobilya fabrikası prosesindeki enjeksiyon kalıplama ile mobilya destek ayağı olarak üretilmiştir. İlk aşamada üretilen test numuneleri, ağırlıkça %10, 15, 20, 25, 30 ve %35 oranında K veya T dolgu maddesi ile %0 veya %3 maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MAPP) kullanılarak tek vidalı bir ekstruder ve enjeksiyonlu kalıplamanın bir kombinasyonu ile üretilmiştir. Mekanik özelliklerden eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopma uzaması ve darbe direnci değerleri belirlenmiştir. Fiziksel özelliklerden yoğunluk, su alma kapasitesi ve kalınlık artış oranları belirlenmiştir. Kompozitlerde dolgu maddesinin morfolojisini ve arayüzey uyumluluğunu incelemek için SEM analizleri yapılmıştır. Termal özelliklerden Termo-Gravimetrik Analiz (TGA) ve Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) analizleri gerçekleştirilmiştir. Reolojik özelliklerinden Erime Akış İndeksi (MFI-Melt Flow Index) testi gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- 1) Türü fark etmeksizin PP matrise dolgu maddesi eklenmesi, üretilen kompozit malzemenin mekanik özelliklerini PP'ye kıyasla artırmıştır.
- 2) Dolgu miktarının artmasıyla eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekmede elastikiyet modülü, darbe direnci ve yoğunluk değerleri artmıştır.
- 3) Çekme direnci dolgu miktarının artmasıyla azalırken, MAPP ilavesiyle çekme direncinde önemli artışlar gözlenmiştir.
- 4) MAPP içeren kompozitlerin eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve yoğunluk değerleri MAPP içermeyen kompozitlere göre daha yüksek değerlerde bulunmuştur.
- 5) Darbe dayanımı ve kopmada uzaması MAPP ilavesiyle bir miktar azalmıştır.
- 6) Artan dolgu miktarı su alma oranı ve kalınlık artışlarını arttırdığı görülmüştür.

- 7) Dolgu maddesi türünden bağımsız olarak örneklerin suda kalma sürelerinin su alma oranı ve kalınlık artışlarını arttırdığı görülmüştür.
- 8) MAPP'sız gruplarda %10 ve üzerindeki dolgu maddesi yüklemelerinde kenevir saplarının kullanıldığı grupların M.F. atık talaşlarından üretilen gruplardan ortalama %4,79 daha yüksek çıktığı görülmüştür. MAPP'lı gruplarda ise %20'nin üzerindeki dolgu maddesi yüklemesiyle kenevir saplarının kullanıldığı grupların M.F. atık talaşlarından üretilen gruplardan ortalama %2 daha yüksek çıktığı görülmüştür.
- 9) Dolgu maddesi olarak kenevirli gruplar M.F. atık talaşla üretilen gruplara nispeten ortalama %7,14 daha yüksek çekmede elastikiyet modülü değerleri verdiği gözlemlenmiştir.
- 10) Dolgu maddesi olarak M.F. atık talaşların kullanıldığı grupların kopmada uzama değerleri kenevirli gruplara nispeten ortalama %20,69 daha yüksek çıkmıştır.
- 11) MAPP içermeyen gruplarda kenevir dolgu maddesi ile üretilen örneklerin M.F. atık talaşlı gruplara nispeten ortalama %5,91 daha yüksek eğilme direnci değerleri verdiği tespit edilmiştir.
- 12) Dolgu maddesi olarak kenevirli gruplar M.F. atık talaşla üretilen gruplara nispeten ortalama %10,63 daha yüksek eğilmede elastikiyet modülü değerleri verdiği tespit edilmiştir.
- 13) Dolgu maddesi olarak kenevirli gruplar atık talaşla üretilen gruplara nispeten ortalama %5 daha yüksek darbe direnci değerleri verdiği tespit edilmiştir.
- 14) Üretilen kompozit örneklerin bazı mekanik ve fiziksel özelliklerinin optimizasyon sonuçlarına göre, %20 oranında dolgu maddesi ve %3 oranında MAPP içeren formülasyonun (T₈) prototip mobilya destek ayağı üretimi için en uygun olduğu belirlenmiştir.
- 15) Üretilen kompozitler arasından seçilen bazı gruplarda TGA ve DTGA analizleri yapılmıştır. İlk aşamadaki ağırlık kayıpları K₁=T₁, K₂=T₂, K₇, T₇, K₈, T₈, K₁₃, T₁₃, K₁₄ ve T₁₄ kodlu gruplarda sırasıyla %0.5, %0.3, %1.2, %4.5, %1.5, %1.1, %2.4, %1.9, %2.4 ve %2 olarak gözlenmiştir. İkinci ağırlık kayıpları ise 199 °C ile 627 °C arasında meydana gelmiştir.

- 16) Üretilen kompozitler arasından seçilen bazı gruplarda DSC analizleri yapılmıştır. Tüm gruplar yaklaşık 165 °C tepe sıcaklığıyla benzer endotermik pik eğrilerine sahiptir. DSC sonuçları incelendiğinde kompozitlerin erime sıcaklıkları arasında belirgin farklar görülmemiştir. Dolgu maddesi türünden bağımsız olarak polipropilen matrise dolgu ilavesi kompozitlerin kristalleşme sıcaklıklarını (T_c) düşürmüştür. Kompozitlerin kristallik değerleri incelendiğinde dolgu türünden bağımsız olarak polipropilen matrise dolgu maddesi ilavesiyle kompozitlerin kristalitesi genellikle (K_{14} hariç) azalmıştır.
- 17) Kompozit üretimlerinde uyum sağlayıcı ajan (MAPP) ilavesinin polimer matris ve dolgu maddesi arasında daha iyi bir bağlanma gösterdiği SEM analizinde belirlenmiştir. MAPP ilavesinin daha iyi arayüzey yapışması sağladığı ve kompozitlerin performans özelliklerini artırdığı mekanik özelliklerdeki bazı sonuçlarla (çekme direnci, eğilme direnci) teyit edilmiştir.
- 18) Üretilen örnekler üzerinde erime akış indeksi (MFI) belirlenmesi için ağırlıkça %0, %10, %15 ve %20 oranlarında dolgu maddesi içeren örneklerde MFI analizleri gerçekleştirilmiştir. Dolgu maddesi içermeyen (saf PP) örneklerde akma meydana gelirken (5,93 g/10dk, Şekil 4.41), kenevir sapı ve M.F. atık talaş dolgu maddesi içeren örneklerde akma meydana gelmemiştir. Dolgu maddesi ilaveli örnekler cihaz haznesine doldurulduktan sonra akma meydana gelmeyince manuel olarak bir kuvvet uygulanarak hazne içerisindeki karışımlar çıkartılmıştır (Şekil 4.26).

İki aşamalı bu çalışmada kompozit test örneklerin üretimi ve mobilya destek ayakları üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bir mobilya fabrikasında oluşan lignoselülozik atıkların yine aynı fabrika üretim hatlarında mevcutta kullanıla gelen ve %100 plastikten üretilen (mobilya destek ayağı) bir ürüne dönüştürülmesi sanayicinin dikkatini çekmiştir. Üretimler sonrası alınan olumlu sonuçlara rağmen lignoselülozik katkılı termoplastik kompozitlerin enjeksiyon kalıplama ile üretim yapan üreticiler tarafından hemen kabul görmesini beklemek iyimser bir yaklaşım olabilir. Enjeksiyon kalıplamadaki seri üretim beklentileri ve lignoselülozik dolgulu plastiklerin kalıplanmasındaki bazı sorunlar (akışkanlık, yüzey pürüzlülüğü vb.) bu tarz kompozit üretim çalışmalarının daha derinlikli yapılmasını zorunlu kılmaktadır. Termoplastik matrislere lignoselülozik dolgu maddelerin katılmasıyla üretilen kompozitlerin kullanım alanları ve piyasa taleplerine yönelik araştırmaların akademik ve sanayi işbirlikleri alanında daha fazla desteklenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2016. Resmi Gazete, Kenevir Yetiştiriciliği ve Kontrolü Hakkında Yönetmelik.
- Anonim, 2017. Kayseri Mobilya Sektörü Stratejik Eylem Planı 2017-2023.
- Anonim, 2021. Türkiye Cumhuriyeti Ticaret Bakanlığı, Türkiye Mobilya Sektör Raporu.
- Ashori A., (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries. *Biosource Technology*, 99, 4661–4667.
- ASTM D256 (2010). Standard test for determining the izod pendulum impact resistance of plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D638 (2010). Standard test for tensile properties of plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D790 (2010). Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D792 (2008). “Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D1238 (2013). Standard Test Method for Melt Flow Rates of Thermoplastics by Extrusion Plastometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- Balla, V. K., Kate, K.H., Satyavolu, J., Singh, P., Tadimeti, J. G. D. (2019). Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects. *Composites Part B*, 174, 106956.
- Başboğa, H.İ., Kılıç, İ., Atar, İ., Mengeloğlu, F. (2022). The usage of wood of dahoma (*Piptadeniastrum africanum*), a tropic tree, in the production of wood plastic composite. *Turkish Journal of Forestry Research*, 9, 271-280.
- Başboğa, H.İ., (2023). Polypropylene-based composites reinforced with waste tropic wood flours: Determination of accelerated weathering resistance, tribological, and thermal properties, *BioResources*, 18(4), 7251-7294.
- Beaugranda, J., Nottez, M., Konnerth, J., Bourmaud, A. (2014). Multi-scale analysis of the structure and mechanical performance of woody hemp core and the dependence on the sampling location. *Industrial Crops and Products*, 60, 193-204
- Beckermann, G.W., Pickering, K.L., (2008). Engineering and evaluation of hemp fibre reinforced polypropylene composites: Fibre treatment and matrix modification. *Composites: Part A*, 39, 979-988.
- Behraves, A. H., Shakouri, E., Zolfaghari, A., Golzar, M. (2010). Theoretical and experimental study on die pressure prediction in extrusion of wood-plastic composite. *Journal of Composite Materials*, 44 (11), 1293-1304.

- Berzin, F., Lemkhanter, L., Marcuello, C., Chabbert, B., Béghin, V.A., Molinari, M., Castellani, R., Vergnes, B., (2020). Influence of the polarity of the matrix on the breakage mechanisms of lignocellulosic fibers during twin-screw extrusion. *Polymer Composite*, 41, 1106-1117.
- Bledzki, A., and Faruk, O. (2003). Wood fibre reinforced polypropylene composites: Effect of fibre geometry and coupling agent on physico-mechanical properties, *Applied Composite Materials*, 10, 365-379.
- Bouloc, P., (2013). *Hemp: A Plant with a Worldwide Distribution* (Editörler: Bouloc, P., Allegret, S., Arnaud, L., West, D.P.). CABI Publishing, Wallingfort, UK. s.1-3.
- Bos, H.L. 2004. *The Potential of Flax Fibres as Reinforcement for Composite Materials*, Doktora Tezi. Technische Universiteit Eindhoven s.209.
- Burgada, F., Fages, E., Carrillo, L.Q., Lascano, D., Martinez, J.I., Arrieta, M.P., Fenollar, O. (2021). Upgrading Recycled Polypropylene from Textile Wastes in Wood Plastic Composites with Short Hemp Fiber. *Polymers*, 13 (1248), 1-22.
- Borysiak, S., Pauksza, D., Batkowska, P., Mankowski, J., (2011). *The Structure, Morphology, and Mechanical Properties of Thermoplastic Composites with Lignocellulosic Fiber* (Editor: Kalia, S., Kaith, B.S., Kaur, I). Springer Heidelberg Dordrecht London New York. s263-290.
- Busico, V., Cipullo, R., (2001). Microstructure of polypropylene. *Progress in Polymer Science*. 26, 443-533.
- Chaharmahali, M., Tajvidi. M., Najafi, S. K., (2008). Mechanical properties of wood plastic composite panels made from waste fiberboard and particleboard, *Polymer Composites*, 29(6), 606-610.
- Cavdar, A.D., Kalaycıoğlu, H., Mengeloğlu, F. (2011). Tea mill waste fibers filled thermoplastic composites: the effects of plastic type and fiber loading, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(10,) 833-844.
- Cavdar, A.D., Peşman, E., Torun, S.B. (2023). “Effect of waste toner powder on the performance of microcrystalline cellulose-talc reinforced polypropylene hybrid composites,” *Polymer Composites*, 1-12.
- Çavuş, V., (2017). *Farklı Erime Akış İndeksine Sahip Polipropilen Esaslı Ahşap Polimer Kompozitlerin Özelliklerinin Belirlenmesi*. Doktora Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 368s.
- Çavuş, V., Mengeloğlu, F., (2017). The effect of lignocellulosic filler types and concentrations on the mechanical properties of wood plastic composites produced with polypropylene having various melt flowing index (MFI). *Pamukkale University Journal of Engineering*, 23(8), 994-999.
- Çavuş, V., (2020). Selected Properties of Mahogany Wood Flour Filled Polypropylene Composites: The Effect of Maleic Anhydride-Grafted Polypropylene (MAPP). *BioResources*, 15(2), 2227-2236.

- Çavuş, V., Mengeloğlu, F. (2020). Effect of Wood Particle Size on Selected Properties of Neat and Recycled Wood Polypropylene Composites. *BioResources*, 15(2), 3427-3442.
- Çetin, N.S., Alma, M.H., Baştürk, M.A. (2000). “Chemical Agents and Methods Providing Compatibility Between Ligno-Cellulosic Fibers and Synthetic Polymer to Obtain New Composites,” *KSÜ Journal of Science and Engineering*, 3 (2), 58-68.
- Dicker, M. P. M., Duckworth, P. F., Baker, A. B., Francois, G., Hazzard, M. K., Weaver, P. M. (2014). Green composites: a review of material attributes and complementary applications. *Composite Part A*, 56, 280-289.
- Diestel, S., Krause, A. (2018). Wood-based composites with thermoplastic polyurethane as matrix polymer, *Journal of Applied Polymer Science*, 135(25), 46344.
- Díaz, D.H., Ribera, R.V., Julián, F., Tarrés, Q., Espinach, F.X., Aguilar, M.D., (2020). Topography of the Interfacial Shear Strength and the Mean Intrinsic Tensile Strength of Hemp Fibers as a Reinforcement of Polypropylene. *Materials*, 13(1012), 1-16.
- Ekşi, O., (2007). *Plastik Esaslı Malzemelerin Isıl Şekil Verme Özelliklerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Edirne. 147s.
- Feng, J., Li, S., Peng, R., Sun, T., Xie, X., Shi, Q., (2021). Effects of fungal decay on properties of mechanical, chemical, and water absorption of wood plastic composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 138:e50022.
- Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H-P., Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science* 37, 1552-1596.
- Fotouh, A., Wolodko J.D., Lipsett, M.G. (2014). Fatigue of natural fiber thermoplastic composites. *Composites: Part B*, 62, 175-182.
- Gardner, D.J., Murdock D. (2010). Extrusion of Wood Plastic Composites. <http://www.entwoodllc.com/PDF/Extrusion%20Paper%2010-11-02.pdf> (Erişim tarihi: 05.06.2023).
- Gardner, D.J., Han, Y., Wang, L., (2015) Wood–Plastic Composite Technology, *Current Forestry Reports*, 1,139-150.
- Gizlenci, Ş., Acar, M., Yiğen, Ç., Aytaç, S., (2019). Kenevir Tarımı. TAGEM, Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü. Samsun
- Güler, B. (2001). Odun Kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 135-160.
- Han, H.C., Gong, X.L., Li, C., Kang, F., Yang, H.B., Zhou, M., (2021a). A study of water-induced elementary hemp fiber swelling and the reinforced polypropylene composite expansion. *Polymer Composites*. 42, 5101-5110.

- Han, H.C., Gong, X.L., Zhou, M., Li, C., Yang, H.B. (2021b). A study about silane modification and interfacial ultraviolet aging of hemp fiber reinforced polypropylene composites. *Polymer Composites*, 42, 2544–2555.
- Islam, M.R.i Mohammad, D.H.B., Gupta, A., (2013). Characterization of Laccase-Treated Kenaf Fibre Reinforced Recycled Polypropylene Composites, *BioResources*, 8(3), 3753-3770.
- Jayaraman, K., Bhattacharyya, D., (2004). Mechanical performance of woodfibre–waste plastic composite materials, *Resources, Conservation and Recycling*, 41, 307-319.
- Kada, D., Migneault, S., Tabak, G., Koubaa, A. (2016). Physical and Mechanical Properties of PolypropyleneWood-Carbon Fiber Hybrid Composites, *BioResources*, 11(1), 1393-1406.
- Kakroodi, A.R., Leduc, S., Rodrigue, D., (2012). Effect of Hybridization and Compatibilization on the Mechanical Properties of Recycled Polypropylene-Hemp Composites. *Journal of Applied Polymer Science*, 124, 2494-2500.
- Karakuş, K., Şeker, B., Kılıç, İ., Ciobanu, R.C., Mengeloğlu, F. (2011). Lignoselülozik Esaslı Atıkların Termoplastik Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. *I. National Mediterranean Forest and Environment Symposium* 26-28 Ekim. Kahramanmaraş, Türkiye. s.645-650.
- Karakuş, K., Başboğa, H.İ., Atar, İ., Mengeloğlu, F. (2017). Utilization of Hazelnut Shells as Filler in LDPE/PP Based Polymer Composites. *PROLİGNO*, 13(4), 264-268.
- Khoathane , M.C., Vorster, O. C., Sadiku, E. R., (2008). Hemp Fiber-Reinforced 1-Pentene/Polypropylene Copolymer: The Effect of Fiber Loading on the Mechanical and Thermal Characteristics of the Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27(4), 1533-1544.
- Klyosov, A.A., (2007). *Wood-plastic composites*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, ISBN: 978-0-470-14891-4, New Jersey, 720s.
- Kilic, İ.,(2012). *Doğal Lif Katkılı Polistiren Kompozitlerin Üretilmesi ve Mikro Hücre Yöntemiyle Köpüklendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 95s.
- Kilic, İ., Avcı, B., Atar, İ., Korkmaz, N., Yılmaz, G., Mengeloğlu, F., (2023). Using Furniture Factory Waste Sawdust in Wood Plastic Composite Production and Prototype Sample Production. *BioResources*, 18(4), 7212-7229.
- Kim, H-S., Le, B-H., Choi, S-W., Kim, S., Kim, H-J., (2007). The effect of types of maleic anhydride-grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites, *Composites: Part A*, 38, 1473-1482.
- Kim, J.K., Pal, K. (2010). *Recent Advances in the Processing of Wood–Plastic Composites*. Springer-Verlag Berlin, ISBN 978-3-642-14876-7, 185s.

- Koronis, G., Silva, G, Fontul, M. (2013). Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites: Part B* 44, 120-127.
- Kurek, B. (2013). *Physiology and Botany of Industrial Hemp* (Editörler: Bouloc, P., Allegret, S., Arnaud, L., West, D.P.). CABI Publishing, Wallingfort, UK. s.27-47.
- Langhorst, A.E., Burkholder, J., Long, J., Thomas, R., Kiziltas, A., Mielewski, D. (2018). Blue-Agave Fiber-Reinforced Polypropylene Composites for Automotive Applications. *BioResources* 13(1), 820-835.
- Lopez, J.P., Vilaseca, F., Barberà, L., Bayer, R.J., Pèlach, M.A., Mutjé, P. (2012). Processing and properties of biodegradable composites based on Mater-Bi® and hemp core fibres. *Resources, Conservation and Recycling*, 59, 38-42.
- Lu, N., Oza, S. (2013). A comparative study of the mechanical properties of hemp fiber with virgin and recycled high density polyethylene matrix, *Composites: Part B*, 45, 1651-1656.
- Lu, J.Z., Wu, Q., McNabb, H.S., (2000). Chemical Coupling In Wood Fiber and Polymer Composites: A Review of Coupling Agents and Treatments. *Wood and Fiber Science*, 32(1), 88-104.
- Manaia, J. P., Manaia, A., (2021). Interface Modification, Water Absorption Behaviour and Mechanical Properties of Injection Moulded Short Hemp Fiber-Reinforced Thermoplastic Composites. *Polymers*, 13, 1638.
- Mantia, F.P.L., Morreale, M. (2011). Green composites: A brief review. *Composites: Part A* 42, 579-588.
- Matuana, L. M., Park, C. P., and Balatinecz, J. J. (1998). Cell morphology and property relationships of microcellular foamed PVC/wood-fiber composites, *Polymer Engineering Science*, 38(1), 1862-1872.
- Maziero, R., Soares, K., Filho, A.I., Franco, A.R., Rubio, J.C.C. (2019). Maleated Polypropylene as Coupling Agent for Polypropylene Composites Reinforced with Eucalyptus and Pinus Particles. *BioResources*, 14(2), 4774-4791.
- Mengeloğlu, F., (2006). Odun Termoplastik Kompozitler. *I. POLİMERİK KOMPOZİTLER SEMPOZYUMU VE SERGİSİ*, 17-19 Kasım, İzmir, Türkiye. S.471-480.
- Mengeloğlu, F., Başboğa, H.İ., Aslan, T. (2015). Selected Properties of Furniture Plant Wasted Filled Thermoplastic Composites. *PROLİGNO*, 11(4), 199-206.
- Mengeloğlu, F. (2020). *Kenevirin Kompozit Sanayisinde ve Kağıt Üretiminde Kullanımı: Kenevir (Cannabis sativa L.)*. (Editörler: Onay, A., Yıldırım, H., Ekinci, R.) Palme yayınevi, Ankara, Türkiye s.275-299.
- Mengeloğlu, F., Çavuş, V., (2020). Preparation of Thermoplastic Polyurethane-based Biocomposites through Injection Molding: Effect of the Filler Type and Content. *BioResources* 15(3), 5749-5763.

- Mohanty, A. K., Misra, M., Hinrichsen, G. (2000). Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276/277, 1-24.
- Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T., (2001). Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Composite Interfaces*, 8(5), 313–343.
- Mohanty, A. K., Misra, M., Drzal, L. T., (2002). Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World, *Journal of Polymers and the Environment*, 10, 19-26.
- Montanes, N., Carrillo, L. Q., Ferrandiz, S., Fenollar, O., Boronat, T., (2019). Effects of Lignocellulosic Fillers from Waste Thyme on Melt Flow Behavior and Processability of Wood Plastic Composites (WPC) with Biobased Poly(ethylene) by Injection Molding. *Journal of Polymers and the Environment*, 27, 747-756.
- Narayana, V.L., Rao, L.B. (2021). A brief review on the effect of alkali treatment on mechanical properties of various natural lif reinforced polymer composites. *Materials Today: Proceedings* 44 (1), 1988-1994.
- Netravali, A.N., Chabba, S. (2003). Composites get greener. *Materials Today*, 6(4), 22-29.
- Ortega, H.O., Méndez, J.A., Espinach, F.X., Tarrés, Q., Ardanuy, M., Mutjé, P., (2018). Impact Strength and Water Uptake Behaviors of Fully Bio-Based PA11-SGW Composites, *Polymers*, 10, 717.
- Özmen, N., Çetin, N.S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., Altuntaş, E., (2014). MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 15, 65-71.
- Panaiteescu, D.M.P., Vuluga, Z., Sanporean, C.G., Nicolae, C.A., Gabor, A.R., Trusca, R., (2019). High flow polypropylene/SEBS composites reinforced with differently treated hemp fibers for injection molded parts. *Composites Part B*, 174, 107062.
- Panthapulakkal, S., Sain, M., (2007). Injection-Molded Short Hemp Fiber/Glass Fiber Reinforced Polypropylene Hybrid Composites-Mechanical, Water Absorption and Thermal Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 103, 2432–2441.
- Petkim, 2022. PETOPLN MH418, Polipropilen (PP), <https://app.petkim.com.tr/QDMSFiles/File.ashx?fn=PPU-CST-TDS-0061&l=tr&fl=urunler> (Erişim Tarihi: 04.04.2023)
- Rey, R.D., Serrat, R., Alba, J., Perez, I., Mutje, P., Espinach, F.X. (2017). Effect of Sodium Hydroxide Treatments on the Tensile Strength and the Interphase Quality of Hemp Core Fiber-Reinforced Polypropylene Composites. *Polymers*, 9 (377), 1-15.
- Rouway, M., Nachtane, M., Tarfaoui, M., Chakhchaoui, N., Omari, L.H., Fraija, F., Cherkaoui, O., (2020). Prediction of Mechanical Performance of Natural Fibers Polypropylene Composites: a Comparison Study. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 948 012031.

- Rivera-Armenta, JL, Salazar-Cruz, BA, Espindola-Flores, AC, Villarreal-Lucio, DS, De León-Almazán, CM ve Estrada-Martinez, J. (2022). Polipropilen-tohum kabuk parçacıkları kompozitlerinin termal ve termomekanik karakterizasyonu, *Applied Sciences*, 12(16), 8336.
- Shahzad, A. (2011). Hemp fiber and its composites. *Journal of Composite Materials* *Journal of Composite Materials*, 46(8), 973-986.
- Stark, N., Berger, MJ., (1997). Effect of species and particle size on properties of wood-flour-filled polypropylene composites, *In: Symposium of Functional Fillers for Thermoplastics and Thermosets*, San Diego, California. pp.1–20.
- Silveira, P.H.P.M., Santos, M.C.C., Chaves, Y.S., Ribeiro, M.P., Marchi, B.Z., Monteiro, S.N., Gomes, A.V., Tapanes, N.L.C, Pereira, P.S.C., (2023). Characterization of Thermo-Mechanical and Chemical Properties of Polypropylene/Hemp Fiber Biocomposites: Impact of Maleic Anhydride Compatibilizer and Fiber Content, *Polymers*, 15, 3271.
- Smud, A.M., Harper, D.O., Deshpande, P.B., (1991). Advanced Process Control for Injection Molding. *Polymer Engineering and Science*, 31(15), 1081-1085.
- Summerscales, J., Dissanayake, P. J., Virk, A.S., Hall, W. (2010).A review of bast fibres and their composites. Part 1- Fibres as reinforcements. *Composites: Part A* 41,1329-1335.
- Sullins, T., Pillay, S., Komus, A., Ning, H., (2017). Hemp fiber reinforced polypropylene composites: The effects of material treatments. *Composites Part B*, 114, 15-22.
- Şeker H.B., Yörür, H., Mengeloğlu, F. (2021). Effects of filler type and content on the mechanical, morphological, and thermal properties of waste casting polyamide 6 (W-PA6G)-based wood plastic composites, *BioResources*, 16(1), 655-668.
- Tatlısu, E. (2015). *Türkiye Ev Mobilya Sektöründe Faaliyet Gösteren Mobilya ve Aksesuar Üreticisi Firmaların Yeni Ürün Geliştirme Süreçlerindeki İlişkilerin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 149s.
- URL-1. 2023. <https://www.modalife.com/sayfa/modalife-kurumsal-bilgiler-hakkimizda> (Erişim Tarihi: 13.09.2023)
- URL-2. 2023. <https://pagev.org/polipropilen> (Erişim Tarihi: 13.09.2023)
- Vallejos, M.E., Vilaseca, F., Méndez, J.A., Espinach, F.X., Aguado, R.J., Aguilar, M.D., Mutjé, P., (2023). Response of Polypropylene Composites Reinforced with Natural Fibers: Impact Strength and Water-Uptake Behaviors. *Polymers*, 15, 900.
- Vilasecaa, F., Reyb, R.D., Serratc, R., Albab, J., Mutjec, P., Espinach, F.X., (2018). Macro and micro-mechanics behavior of stiffness in alkaline treated hemp core fibres polypropylene-based composites. *Composites Part B*, 144, 118-125.
- Vilaseca, F., Parareda, S.P, Espinosa, E., Rodríguez, A., Mutjé, P., Aguilar, M.D., (2020). Valorization of Hemp Core Residues: Impact of NaOH Treatment on the Flexural

Strength of PP Composites and Intrinsic Flexural Strength of Hemp Core Fibers. *Biomolecules*, 10, 823.

- Yan, Z.L., Wang, H., Lau, K.T., Pather, S., Zhang, J.C., Lin, G., and Ding, Y., (2013b). Reinforcement of polypropylene with hemp fibres. *Composites: Part B*, 46, 221-226.
- Yang, H-S., Kim, H-J., Son, J., Park, HJ., Lee, BJ., Hwang, TS. (2004). Rice-husk flour filled polypropylene composites; mechanical and morphological study, *Composite Structures*, 63, 305-312.
- Yang, H. S., Kim, H. J., Park, H. J., Lee, B. J., Hwang, T. S. (2007). Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites, *Composite Structures*, 77, 45-55.
- Yılmaz, G., Yazıcı, L., Yıldırım, C., Koçer, T., Uskutoğlu, T., (2023). Avrupa Tescilli Bazı Kenevir (*Cannabis sativa* L.) Çeşitlerinin Verim Kriterleri Yönünden Performansı. *MAS JAPS*, 8(1), 7-15.
- Yılmaz, G., Yazıcı, L., (2022). Dünya’da Yükselen Değer; Endüstriyel Kenevir (*Cannabis sativa* L.). *Bozok Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(1), 54-61.
- Youssef, A. M., Hasanin, M. S., El-Aziz, M. A., Darwesh, O. M. (2019). Green, economic, and partially biodegradable wood plastic composites via enzymatic surface modification of lignocellulosic fibers. *Heliyon* 5(3), 2-19.
- Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., and Bateman, S. (2008). Wood Fiber Reinforced Polyethylene and Polypropylene Composites with High Modulus and Impact Strength, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 21, 195-208.
- Zaini, M. J., Fuad, M. Y. A., Ismail, Z., Mansor, M. S., aMustafah, J. (1996). The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene/oil palm wood flour composites, *Polymer International*, 40, 51-55.
- Zolfaghari, A., Behraves, A.H., Adli, A. (2013). Continuous glass fiber reinforced wood plastic composite in extrusion process: Mechanical properties, *Materials and Design*, 51, 701-708.
- Wechsler, A., Hiziroglu, S. (2007). Some of the properties of wood–plastic composites. *Building and Environment* 42(7), 2637-2644.
- Wu, H., Xu, D., Zhou, Y., Gao, C., Guo, J., He, W., He, Y., Qin, S. (2020). Tung Oil Anhydride Modified Hemp Fiber/Polypropylene Composites: The Improved Toughness, Thermal Stability and Rheological Property. *Fibers and Polymers*, 21(9), 2084-2091.
- Wu, H., Xu, D., Zhou, Y., Guo, J., He, W., He, Y., Yi, Y., Qin, S., (2021). The Improved Mechanical and Thermal Properties of Hemp Lifs Reinforced Polypropylene Composites with Dodecyl Bromide Modification. *Fibers and Polymers*, 22(10), 2869-2877.