

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KAZ TÜYÜ VE ODUN LİFİ TAKVİYELİ POLİPROPİLEN
BİYOKOMPOZİTLERİN FİZİKSEL, MEKANİK, ISI TRANSFER VE
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan TÜRK

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyokompozit Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

HAZİRAN 2022

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KAZ TÜYÜ VE ODUN LİFİ TAKVİYELİ POLİPROPİLEN
BİYOKOMPOZİTLERİN FİZİKSEL, MEKANİK, ISI TRANSFER VE
MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Sinan TÜRK
(19278603010)**

Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı

Biyokompozit Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN

HAZİRAN 2022

BTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 19278603010 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Sinan TÜRK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KAZ TÜYÜ VE ODUN LİFİ TAKVİYELİ POLİPROPİLEN BİYOKOMPOZİTLERİN FİZİKSEL, MEKANİK, ISI TRANSFER VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Oktay GÖNÜLTAŞ**
Bursa Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fatih SÜVARİ
Bursa Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : .../...../.....
Savunma Tarihi : 28 Haziran 2022



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Sinan TÜRK

İmzası:

X X X X

ÖNSÖZ

“Kaz Tüyü ve Odun Lifi Takviyeli Polipropilen Biyokompozitlerin Fiziksel, Mekanik, Isı Transfer ve Morfolojik Özelliklerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi” isimli bu çalışma Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada katkı ve desteklerinden dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Mahmut Ali ERMEYDAN’a teşekkürlerimi borç bilirim. Ayrıca tez süresince ses yutum ölçümlerini gerçekleştiren Doç.Dr. Fatih SÜVARİ’ye, mekanik testlerin yürütülmesinde yardımcı olan Arş.Gör. Doğan MEMİŞ’e, TGA testlerinin yürütülmesinde yardımcı olan Arş.Gör. Naile ANGIN’a teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince desteklerini esirgemeyen ve tüm süreç boyunca yanımda olan aileme, değerli çalışma arkadaşlarım Cenani HACIOĞLU ve Onur AYKANAT’a teşekkürlerimi sunarım.

Ders dönemi ve tez çalışmam süresince maddi manevi desteklerinden dolayı görev aldığım Rekorpan Isı Cihazları A.Ş. yönetimine teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2022

Sinan TÜRK

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	x
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	1
1.2 Polipropilen (PP).....	2
1.2.1 PP'nin Özellikleri.....	3
1.2.2 PP'nin kullanım alanları.....	4
1.3 Kaz Tüyü Lifi ve Özellikleri	6
1.3.1 Kaz tüyü lifi üretimi	6
1.4 Odun Lifi	7
1.4.1 Karaçam ağacı.....	8
1.4.2 Ahşap plastik kompozitler	9
1.4.3 Ahşap plastik kompozitlerin kullanım alanları	9
1.5 Biyokompozit Malzemeler	10
1.6 İzolasyon Parametreleri.....	13
1.6.1 Isıl iletkenlik katsayısı	13
1.6.2 Ses yutum katsayısı	13
2. LİTERATÜR ÖZETİ	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1 Materyal	23
3.1.1 Polipropilen (PP).....	23
3.1.2 Takviye malzemeleri.....	24
3.2 Yöntem	24
3.2.1 Malzemelerin üretim prosesi için hazırlanması	24
3.2.1.1 Öğütme.....	24
3.2.1.2 Mekanik karıştırma işlemi	26
3.2.2 Biyokompozit malzemelerin üretilmesi	27
3.2.2.1 Biyokompozit malzemelerin üretimi.....	27
3.2.2.2 Biyokompozit malzemelerin ısıtma plakalı pres ile kalıplanması	28
3.2.2.3 Biyokompozit malzemelerin enjeksiyon ile üretimi	29
3.3 Biyokompozit Malzemelere Uygulanan Testler.....	30
3.3.1 Fiziksel testler	30
3.3.1.1 Yoğunluk.....	30
3.3.1.2 Kalınlık artışı.....	30

3.3.1.3 Su alma oranı.....	31
3.3.2 Mekanik testler.....	31
3.3.2.1 Çekme testi.....	31
3.3.2.2 Eğilme testi	32
3.3.2.3 İstatistiksel yöntemler	33
3.3.3 Termal özelliklerinin belirlenmesi	33
3.3.3.1 Termogravimetrik analiz (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTG).....	33
3.3.4 Biyokompozit malzemelerin izolasyon özelliklerinin belirlenmesi.....	34
3.3.4.1 Isıl iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi	34
3.3.4.2 Akustik özelliklerinin belirlenmesi	35
3.3.5 Biyokompozit malzemelerin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi.....	35
3.3.6 FTIR spektroskopik analizi	36
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1 Biyokompozit Malzemelerin Yoğunluk Analizine Ait Bulgular	37
4.2 Biyokompozit Malzemelerin Kalınlık Artış Oranı Analizlerine Ait Bulgular	39
4.3 Biyokompozit Malzemelerin Su Alma Oranı Analizlerine Ait Bulgular.....	40
4.4 Mekanik Testlere Ait Bulgular	42
4.5 TGA Analizine Ait Bulgular	43
4.6 Biyokompozit Malzemelerin Isıl İletkenlik Katsayısı Ölçüm Testine Ait Bulgular	47
4.7 Biyokompozit Malzemelerin Ses Yutum Katsayısı Ölçümü Analizine Ait Bulgular	48
4.8 FTIR Analizine Ait Bulgular.....	51
4.9 Biyokompozit Malzemelerin SEM Analizi	54
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ.....	64

KISALTMALAR

FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometre
TGA	: Termogravimetrik analiz
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
STL	: Ses iletim kaybı
KAO	: Kalınlık artış oranı
SAO	: Su alma oranı
ABS	: Akrilonitril bütadien stiren
PC	: Polikarbonat
PVC	: Polivinil klorür
PP	: Polipropilen
OL	: Odun lifi
KT	: Kaz tüyü lifi
PO	: Polipropilen/Odun unu biyokompoziti
PK	: Polipropilen/Kaz tüyü unu biyokompoziti
PKO	: Polipropilen/Kaz tüyü unu/Odun unu biyokompoziti
MAPE	: Maleik anhidrit ile muamele edilmiş polietilen
LLDPE	: Lineer düşük yoğunluklu polietilen

SEMBOLLER

d	: Yoğunluk
m	: Örneklerin kuru ağırlığı
v	: Hacim
m_y	: Suda bekletilen örneklerin kalınlığı (mm)
e_k	: Klimatize edilmiş durumdaki örneklerin kalınlığı (mm)
T_g	: Camsı geçiş sıcaklığı
T_m	: Erime sıcaklığı
v	: Hacim
w_r	: Örneklerin rutubetli ağırlığı
w₀	: Örneklerin kuru ağırlığı
α	: Ses yutuculuk katsayısı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Homopolimer PP ve kopolimer PP karşılaştırması.	4
Çizelge 1.2 : Otomobil üreticilerinin kullandığı biyokompozit malzemelerin marka, model ve parçalar olarak tablosu (Mohammed ve diğ, 2015; Koronis ve diğ, 2018; Mann ve diğ, 2020).	11
Çizelge 3.1 : Ekstrüder işlem sıcaklıkları.	27
Çizelge 3.2 : Biyokompozitlerin ağırlık oranları.	28
Çizelge 3.3 : Enjeksiyon işlem sıcaklıkları.....	30
Çizelge 4.1 : Biyokompozitlerin yoğunluk analizleri.....	37
Çizelge 4.2: Biyokompozitlerin teorik yoğunluk analizleri.	38
Çizelge 4.3 : PLA/OL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri.	42
Çizelge 4.4 : PP polimerinin FTIR analizi, ilgili işlevsel gruplar ve titreşim türleri için kullanılan tepe dalgaları. (Jabarin, Pages)	51
Çizelge 4.5 : PP ve OL için FTIR analizi, ilgili işlevsel gruplar ve titreşim türleri için kullanılan tepe dalgaları. (Li ve diğ, 2015, Ha ve diğ, 2016).....	52
Çizelge 4.6 : PP polimeri ve tüy lifi için FTIR absorpsiyon karakteristiği (Carrillo ve diğ, 2013).	53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Propilenin polimerizasyonu (Smith, 2006).	2
Şekil 1.2 : İzotaktik, sindioatik ve ataktik PP moleküler yapısı (Maier, 1998).	3
Şekil 1.3 : Kaporta altı otomotiv parçaları (Karian 2003).	5
Şekil 1.4 : Kaz tüylerinin boyuna görüntülenmiş SEM görüntüleri (Gao ve diğ, 2007).	6
Şekil 1.5 : Odunun şematik modeli (Yamamoto ve diğ, 2002).	7
Şekil 1.6 : Biyokompozitten üretilmiş otomobil parçaları (Lotfi ve diğ, 2021).	11
Şekil 1.7 : (a) Empedans tüpü cihazı, (b) Kullanılan cihazların ve empedans tüpünün şematik gösterimi (Ahmadi ve diğ, 2015).	14
Şekil 2.1 : (a) Tüy yapısı, (b) Tüy unu yapısı SEM görüntüleri (Aradoaiei ve diğ, 2020).	17
Şekil 2.2 : (a) %10 tüy unu takviyeli kompozit ve (b) %10 tüy unu/bağdaştırıcı takviyeli kompozitin SEM görüntüleri (Aradoaiei ve diğ, 2020).	17
Şekil 2.3 : (a) Saf geri dönüştürülmüş polipropilen, (b) %5 tavuk tüyü lifi takviyeli polipropilen kompoziti, (c) %10 tavuk tüyü lifi takviyeli polipropilen kompoziti ve (d) %15 tavuk tüyü lifi takviyeli polipropilen kompoziti SEM görüntüleri (Amieva ve diğ, 2015).	19
Şekil 2.4 : Örnekler için ses yutum katsayısı. (No.1) PP, (No.2) PP + ağırlıkça %40 kenevir lifi, (No.3) PP + ağırlıkça %40 uzun kenevir lifi (Markiewicz ve diğ, 2012).	21
Şekil 3.1 : Toz PP polimeri.	23
Şekil 3.2 : (a) Karaçam odun unu, (b) Öğütülmüş kaz tüyü.	24
Şekil 3.3 : Fritsch Pulverisette 19 öğütücü makinesi.	25
Şekil 3.4 : IKA Eurostar 20 mekanik karıştırıcı.	26
Şekil 3.5 : Gülnar Makine 40 L/D çift vidalı ekstrüder.	27
Şekil 3.6 : Carver ısıtmalı plakalı pres makinesi.	28
Şekil 3.7 : Preslenmiş akustik ve ısıl iletkenlik test numuneleri.	29
Şekil 3.8 : BOY 22A marka laboratuvar tipi enjeksiyon makinesi.	29
Şekil 3.9 : Shimadzu Universal test cihazı.	31
Şekil 3.10 : (a) Çekme testi, (b) Test numuneleri.	32
Şekil 3.11 : (a) Test numuneleri, (b) Eğilme testi.	32
Şekil 3.12 : Hitachi TGA cihazı.	33
Şekil 3.13 : Fox 314 laser comp. Isıl iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.	34
Şekil 3.14 : Isıl iletkenlik testi numune örnekler (ölçüler: 100x100x10 mm).	34
Şekil 3.15 : Ses iletim kaybı numune örnekleri (malzeme çapı: 29 mm).	35
Şekil 3.16 : Bruker Tensor 37 FTIR analiz cihazı.	36
Şekil 4.1 : PP matrisli OLve KT takviyeli biyokompozitlerin kalınlık artış oranı (%).	40
Şekil 4.2 : PP matrisli OLve KT takviyeli biyokompozitlerin su alma oranı (%).	41
Şekil 4.3 : PP matrisli OL takviyeli biyokompozitlerin TGA analiz grafiği.	44

Şekil 4.4 : PP matrisli KT takviyeli biyokompozitlerin TGA analiz grafiği.	45
Şekil 4.5 : PP matrisli OL ve KT takviyeli biyokompozitlerin TGA analiz grafiği. .	46
Şekil 4.6 : Isıl iletkenlik katsayısı grafiği.	47
Şekil 4.7 : Odun unu ve kaz tüyü unu takviyeli, PP matrisli biyokompozitlerin ses yutum katsayıları.	48
Şekil 4.8 : Ağırlıkça %5 takviye edici lif içeren kompozit varyasyonları.	49
Şekil 4.9 : Ağırlıkça %15 takviye edici lif içeren kompozit varyasyonları.	50
Şekil 4.10 : OL takviyeli biyokompozitlerin FTIR analiz grafiği.	51
Şekil 4.11 : KT katkılı biyokompozitlerin FTIR analiz grafiği.	52
Şekil 4.12 : OL/KT katkılı biyokompozitlerin FTIR analiz grafiği.	53
Şekil 4.13 : PO15 biyokompozitinin 50 x ve 100 x SEM görüntüleri.	54
Şekil 4.14 : PO15 biyokompozitinin 500 x ve 2000 x SEM görüntüleri.	55
Şekil 4.15 : PK15 biyokompozitinin 50 x ve 100 x SEM görüntüleri.	55
Şekil 4.16 : PK15 biyokompozitinin 500 x ve 2000 x SEM görüntüleri.	55



KAZ TÜYÜ VE ODUN LİFİ TAKVİYELİ POLİPROPİLEN BİYOKOMPOZİTLERİN FİZİKSEL, MEKANİK, ISI TRANSFER VE MORFOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

ÖZET

Polipropilen/polietilen gibi petrol türevi polimer malzemeler ve bu polimerler ile üretilen kompozitler günümüz endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir ancak petrol türevi polimerler ve doğal olmayan katkıların zararlı etkileri, sürdürülebilir olmayışı gibi etkenlerden ve çevresel bilincin arttığı son dönemde “biyokompozitler (biyomalzeme içeren kompozitler)” konusunda yürütülen bilimsel çalışmalar ve araştırmalar artmaktadır. Otomotiv endüstrisi, ambalaj ve izolasyon endüstrilerinde yoğun bir şekilde kullanılan bu polimerlerin kullanım sonrası oluşan atık problemleri gibi sebeplerden, malzeme kullanımının azaltılması ya da kullanım verimliliğinin artırılması günümüzde gerekli görülmektedir. Bir diğer yönden düşük ağırlıklı olmaları, iyi mekanik özellikleri, proses kolaylığı, yalıtım özellikleri, akustik özellikleri gibi nedenlerle biyokompozitler ev aletleri, otomotiv ve havacılık endüstrileri gibi bir çok alanda kullanılmakta ve doğal olmayan malzeme takviyeli kompozit malzemeler veya polimerler yerine tercih edilebilmektedirler. Bunların yanında iyi mekanik özellikler göstermeleri ve yaygın kullanım alanları sebebiyle, polipropilen (PP) ve doğal takviye malzemeleri ile üretilen biyokompozitler pek çok yaygın mühendislik malzemesine ve endüstride kullanılan bir çok polimer ürünlere alternatif olabilme kapasitesine sahiptir. Kaz tüyü yüksek doluluk ve iyi yalıtım özelliği sebebiyle tekstilde kullanım alanına sahip doğal bir malzemedir. Bu çalışmada PP matrisli, yüksek izolasyon özelliklerine sahip kaz tüyü ve karaçam odunu ile takviyelenmiş biyokompozitler üretilmiş ve mekanik özellikleri ile birlikte izolasyon özellikleri de incelenmiştir. Bu iki takviye edici ürünle oluşturulmuş biyokompozit malzemelerin üretimi ile daha iyi izolasyon özelliklerine sahip, kütle performansı geliştirilmiş ve endüstriyel alanda saf polimerlere alternatif bir malzeme geliştirilmesi amaçlanmıştır. Karaçam odunu ve kaz tüyü ile takviyelenmiş biyokompozitler farklı oranlarda işlenmiş ve birbirleri ile kıyaslanmıştır. Biyokompozit malzemeler 40 L/D çift vidalı ekstrüder ile üretilmiş, enjeksiyon ile test örnekleri hazırlanmıştır. Üretilen biyokompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin tespiti için çekme ve eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyokompozit malzemelerin fiziksel özelliklerini tespit etmek için yoğunluk, kalınlık artışı ve su alma oranı testleri, termal özelliklerini belirlemek için TGA analizi, kimyasal karakterizasyon için FTIR analizi, izolasyon özellikleri için ses yutum katsayısı ölçümü ve ısı iletkenlik katsayısı testleri yapılmıştır. Sonuç olarak, %5 odununu ile takviye edilmiş kompozitin çekme direnci dışında, %15'e kadar hem kaz tüyü hem de odununu kullanılan biyokompozitlerin eğilme ve çekme dayanımlarının kayda değer oranda arttığı bulunmuştur. Çekme modüllerinin ise hem odununu hem de kaz tüyü içeren varyasyonlarda takviyenin kullanımı ile birlikte arttığı tespit edilmiştir. Isı iletkenlik katsayısı ölçümü sonucunda odununu içeren örnekler PP ile karşılaştırıldığında benzer, kaz tüyü içeren örnekler ise PP ile karşılaştırıldığında düşük iletkenlik katsayısı gösterdiği, ses yutum katsayısı testindeyse hem odununu hem de kaz tüyü içeren örneklerin yüksek frekansta daha

yüksek ses yutum katsayısına sahip olduğu bulunmuştur. Bu bilgiler ile birlikte içeriğinde odun unu yer alan örnekler selülozik malzemenin higroskopik kimyasal yapısı nedeniyle su alma ve şişme oranlarının daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bu yapılan çalışma ile birlikte nispeten daha ucuz takviye edici malzemeler ile desteklenmiş , nispeten iyi izolasyon özellikleri gösteren çevreye duyarlı biyokompozit malzemeler üretilmiştir.

Anahtar kelimeler: odun lifi, kaz tüyü lifi, polipropilen, izolasyon özellikleri, biyokompozit



COMPARATIVE INVESTIGATION OF PHYSICAL, MECHANICAL, HEAT TRANSFER AND MORPOLOGICAL CHARACTERISTICS OF GOOSE FEATHER AND WOOD FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE BIOCOMPOSITES

SUMMARY

Petroleum-derived polymer materials such as polypropylene/polyethylene and composites produced with these polymers have a wide range of uses in today's industry, but the harmful effects of petroleum-derived polymers and unnatural additives, their unsustainability, and the recent increase in environmental awareness have resulted in "biocomposites (composites containing biomaterials)" scientific studies and researches on the subject are increasing. It is considered necessary to reduce the use of materials or increase the efficiency of use due to reasons such as waste problems after use of these polymers, which are used extensively in the automotive industry, packaging and insulation industries. On the other hand, due to their low weight, good mechanical properties, ease of processing, insulation properties, and acoustic properties, biocomposites are used in many areas such as household appliances, automotive and aerospace industries and can be preferred instead of non-natural material-reinforced composite materials or polymers. In addition, biocomposites produced with polypropylene (PP) and natural reinforcement materials have the capacity to be an alternative to many common engineering materials and many polymer products used in the industry, due to their good mechanical properties and common usage areas. Goose down is a natural material that is used in textiles due to its high filling and good insulation properties. In this study, biocomposites reinforced with PP matrix, goose down and larch wood with high insulating properties were produced and their mechanical properties and insulation properties were also investigated. With the production of biocomposite materials formed with these two reinforcing products, it is aimed to develop an alternative material with better insulation properties, improved mass performance and pure polymers in the industrial field. Biocomposites reinforced with larch wood and goose feathers were processed at different rates and compared with each other. Biocomposite materials were produced with a 40 L/D twin screw extruder, and test samples were prepared by injection. Tensile and bending tests were carried out to determine the mechanical properties of the produced biocomposite materials. Density, thickness increase and water uptake tests were performed to determine the physical properties of the produced biocomposite materials, TGA analysis to determine their thermal properties, FTIR analysis for chemical characterization, sound absorption coefficient measurement for insulation properties and thermal conductivity coefficient tests were performed. As a result, apart from the tensile strength of the composite reinforced with 5% wood flour, it was found that the flexural and tensile strengths of biocomposites using both goose down and wood flour increased significantly up to 15%. It was determined that the tensile modulus increased with the use of reinforcement in the variations containing both wood flour and goose down. As a result of the thermal

conductivity coefficient measurement, it was found that the samples containing wood were similar when compared with PP, the samples containing goose down showed a low conductivity coefficient compared to PP, and in the sound absorption coefficient test, the samples containing both wood flour and goose down had a higher sound absorption coefficient at high frequency. . With this information, it was observed that the water absorption and swelling rates of the samples containing wood flour were higher due to the hygroscopic chemical structure of the cellulosic material. With this study, environmentally friendly biocomposite materials with relatively good insulation properties, supported by relatively cheaper reinforcing materials, were produced.

Keywords: wood fiber, goose down fiber, polypropylene, insulation properties, biocomposite



1. GİRİŞ

1.1 Amaç

Bu tez polipropilen (PP) matrisli, kaz tüyü lifi ve/veya odun lifi ile takviye edilmiş biyokompozit malzemelerin üretilmesi ve öncelikli olarak izolasyon (yalıtım) özellikleri gelişmiş malzemeler elde edilmesi, akustik ve ısı iletkenlik testleri ile birlikte, gerekli mekanik test ve analizlerin gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır.

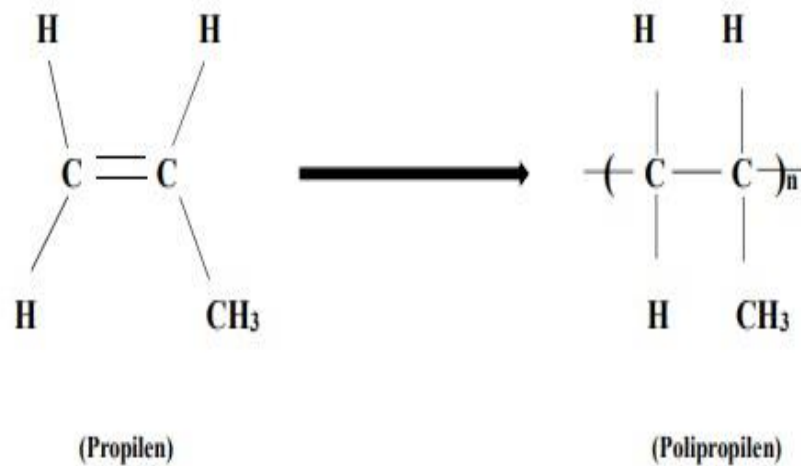
Doğal takviye edici malzemelerin kullanım amaçları, günümüzde çeşitli endüstrilerde yaygın olarak kullanılan petrol/doğalgaz türevi polimerlerin özelliklerinde tolerans dışı değişikliklere sebebiyet vermeden mevcut kullanım alanlarında ve/veya elde edilen sonuçlar çerçevesinde yeni kullanım alanlarında uygulanabilirliğini artırmak ve dolayısıyla mevcut polimer ihtiyaçlarını doğal takviye edici malzemeler ile düşürmektir. Bu katkı maddeleri de biyobozunur olmaları, kendi içerisinde değişik türevlerinin kullanılabilir olması ve petrol/doğalgaz türevi polimerlere takviye edici olarak kullanılarak yeni bir ekonomik kullanım alanı oluşturulması amacıyla seçilmişlerdir. Yöntem kısmında da belirtildiği gibi farklı oranlar ile kombine edilerek kullanılacak olan takviye malzemeleri saf PP polimeri ile kıyaslanarak hedeflenmiş iyileştirmeler ortaya konmuş olacaktır. Bir diğer yandan kaz tüyü ve karaçam odunu katkıları ile üretilmiş olan biyokompozit malzemeler etkileri bakımından kendi içlerinde de kıyaslanacaktır. Bu kıyaslamalar ile hangi takviye edici malzemenin izolasyon özelliklerine verimli katkıda bulunacağı, hangi takviye edici malzemenin PP ile adezyonunun iyi olduğu ve bu iki takviye edici malzemenin birlikte kullanımı sonucunda ortaya çıkan avantaj ve dezavantajlar gözönüne serilecektir.

Yapılan bu çalışma ile, PP matrisli, kaz tüyü/odun lifi doğal malzemeleri ile takviye edilmiş biyokompozitlerin üretilmesi ve mekanik testler uygulanarak analizlerinin gerçekleştirilmesi, kaz tüyü lifleri ve odun liflerinin yalıtım özelliklerinin oluşturulan biyokompozit malzeme meydana getirdiği etkilerin ve edinilen verilerin analizleri yapılarak, yaygın olarak kullanılan plastik malzeme matrisli kompozitlerin biyobazlı takviye ediciler ile alternatiflerinin geliştirilerek çevreye duyarlı malzemeler

üretilmesi, kaz tüyü-odun lifi kullanılarak kompozitlerin maliyetlerinin düşürülmesi, kompozit endüstrisinde ekonomik değeri olan malzemelerin kullanım alanlarının geliştirilmesi ile sürdürülebilirliğin sağlanarak ülke ekonomisine katkı sağlanması, doğa ve çevre bilincinin geliştiği günümüzde petrol/doğalgazı türevi polimerlerin tüketiminin azaltılması, PP matrisli kaz tüyü ve odun lifi ile takviyelenmiş kompozitlerinin üretilmesi ve karakterizasyonu sonucunda bu malzemelerin endüstriyel kullanılabilirliğine dair edinilecek veriler ile yapılacak muhtemel bilimsel çalışmalara ve literatüre katkı verilmesi amaçlanmaktadır.

1.2 Polipropilen (PP)

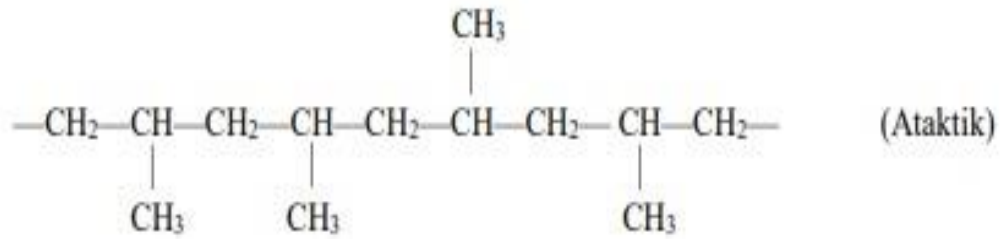
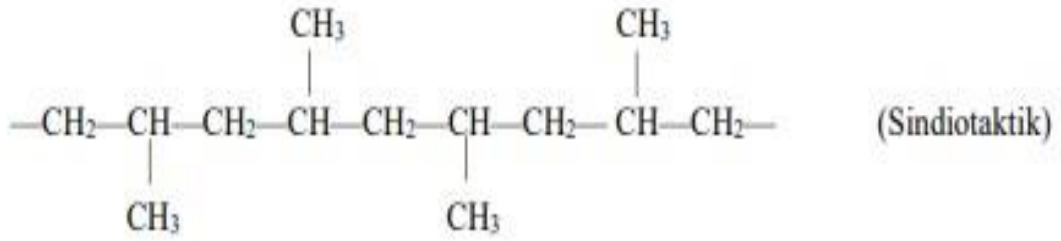
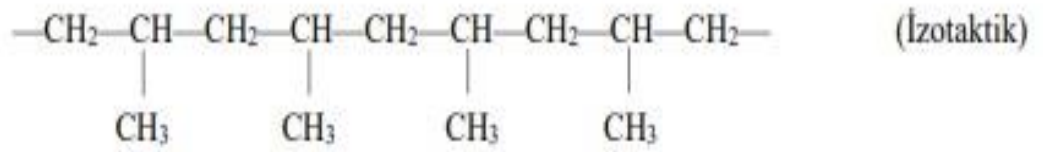
Polipropilen (PP), düşük ısı genleşme katsayısı, iyi mekanik özellikleri, düşük özgül ağırlığı, iyi kimyasal direnci ve kolay işlenebilirliği sebebiyle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Girijappa ve diğ., 2020). Ticari bir termoplastik olan PP ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3$) ortalama $0,90-0,91 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir ve yarı kristalin bir yapıya sahiptir. İlk olarak J. Paul Hogan ve Robert Banks isimli Phillips Petrol kimyagerleri 1951 yılında propilenin polimerizasyonunu gösterdiler. 1954'e gelindiğinde Karl Ziegler ve Giulio Natta tarafından stereoselektif olarak izotaktik PP elde edilmiştir. Ziegler-Natta katalizörleri ile gerçekleştirilen bu polimerizasyon ismini araştırmacılarından almıştır. TiCl_3 katalizörü sayesinde aralarındaki çift bağ ayrılır ve uçlara $-\text{CH}_3$ ve $-\text{H}$ radikalleri bağlanarak PP meydana gelir (Şekil 1.1) (Gümüş, 2014).



Şekil 1.1 : Propilenin polimerizasyonu (Smith, 2006).

1.2.1 PP'nin özellikleri

Polimerler, polimer zincirinde yer alan karbon atomlarının uzaysal konum dağılımlarını gösteren stereo düzenlerine göre üçe ayrılırlar. Polimerlerin zincir yapıları, polimerin kristalinitesini ve T_g 'yi (camsı geçiş sıcaklığı) etkilemektedir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi PP zincirinde bulunan metil grupların aynı yönde dizilimi ile "izotaktik PP", simetrik olarak dizilmeleri ile "sindiotaktik PP" ve rastgele dizilimleri ile "ataktik PP" oluşmaktadır (Yalım, 2010; Callister, 2014).



Şekil 1.2 : İzotaktik, sindioatik ve ataktik PP moleküler yapısı (Maier, 1998).

Polimerler, kimyasal yapıları dikkate alındığında homopolimer ve kopolimer olarak iki grupta sınıflandırılırlar. Aynı monomer biriminin sürekli tekrarı ile oluşan polimere homopolimer adı verilmektedir. Homopolimer PP (PP-H) yüksek camsı geçiş sıcaklığına (T_g) sahiptir ve daha rijit olmakla birlikte düşük sıcaklıklarda ise düşük

darbe mukavemetine sahiptirler. İki farklı monomerin bir araya gelmesi sonucunda meydana gelen polimerler ise kopolimer olarak adlandırılmaktadır. PP'ye çeşitli özellikler kazandırmak amacıyla kopolimerize işlemi yapılır (Turan, 2012; Kodal, 2009). Çizelge 1.1'de yer alan homopolimer ve kopolimer PP'nin özellikleri GRANTA-CES Selector yazılım programı kullanılarak elde edilmiştir.

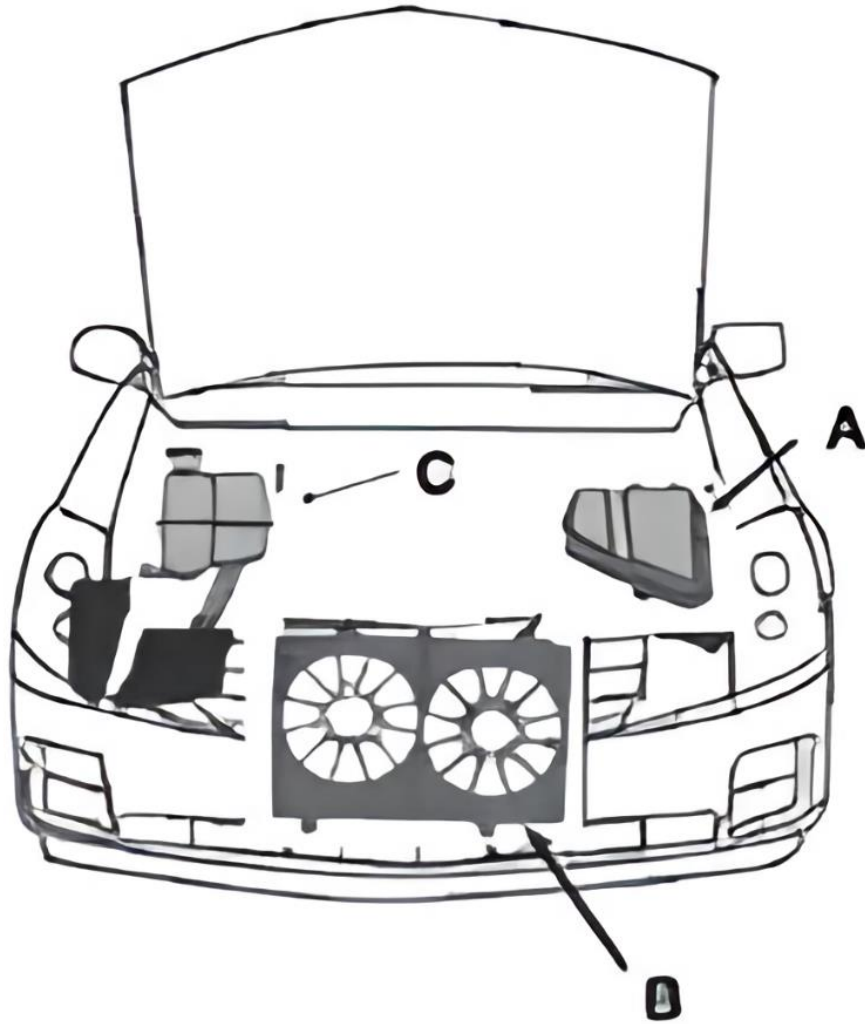
Çizelge 1.1 : Homopolimer PP ve kopolimer PP karşılaştırması.

	Homopolimer	Kopolimer
Ergime Sıcaklığı (°C)	160-170	140-150
Çekme Mukavemeti (MPa)	22,5-33,5	16,8-21,3
Elastik Modül (GPa)	1,37-1,58	0,824-1,02
Eğme Mukavemeti (MPa)	34,4-51,4	31,6-37,5
Eğme Modülü (GPa)	1,33-1,61	0,824-1,02
Yoğunluk (kg/m ³)	898-908	895-909
Sertlik (Shore D)	64,4-69,3	59,1-65,8

1.2.2 PP'nin kullanım alanları

Poliolefin grubunda bulunan Polipropilen (PP), oldukça yaygın kullanılan termoplastik polimerlerden biridir. Global olarak kullanılan PP'nin %50'den fazlası paketlenme ve ambalaj sektöründe kullanılmaktadır. Yaygın kullanıldığı diğer alanlar ise otomotiv uygulamaları (%11-12), elektrik ve elektronik (%10), tüketici ürünleri (%10) ve yapılar (%5) (Avcı ve diğ, 2019). Otomotiv sektöründe araçların hafifletilmesi, enerji tasarrufu ve emisyon azaltımında fazlasıyla önemlidir. Toplam ağırlığın %10 azaltılması ile yakıt tüketiminin %5-7 oranlarında azalması sağlanabilir. Bu sebeple otomobillerin hafifletilmesine yönelik çalışmalar ile üretim teknolojileri ve alternatif malzemeler öne çıkmaktadır. Performansı yüksek plastikler otomotiv endüstrisinde çok önemli bir komponenttir. Son yıllarda araçlarda polimerik malzemelerin kullanım oranının artma nedeni, genel olarak alternatiflerine oranla daha ekonomik olmaları, işlevsel oluşları, düşük yoğunlukta olmaları ve aynı zamanda bu sayede yakıt tüketiminin azalmasına yardımcı olmalarıdır (Wu ve diğ, 2018; Patil ve diğ, 2017). Polipropilen iki ana sebepten dolayı daha çok tercih edilen otomotiv iç

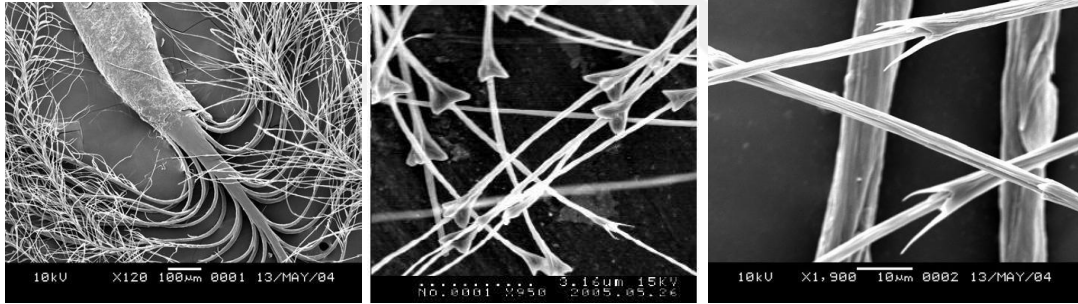
aksam malzemelerinden biridir. İlk olarak toplam malzeme maliyeti ABS ve PC'den daha düşüktür. Ayrıca UV stabilizasyonun kolaylığı sebebiyle polipropilen malzemeler diğer malzemelerden üretim kolaylığı açısından ekstra boyama işlemi gerektirmeyeceği için bileşen maliyetlerini büyük ölçüde azaltır ve daha iyi geri dönüştürülebilir özelliktedirler. Bu avantajlarından dolayı otomobil iç aksam panelleri genellikle renklendirilmiş polipropilen kopolimerinden üretilirler. Daha yapısal parçaların içeriğinde malzemenin ısı kapasitesini ve sertliğini geliştirmek için talk veya mineral katkıları kullanılmaktadır. Örneğin gösterge panelinin üst bileşen gövdesinde ağırlıkça %26 seviyelerinde talk dolgu kullanılmaktadır. Bununla birlikte Otomobil kaputu altında çeşitli hammaddesi polipropilen olan parçalar yer almaktadır, Şekil 1.3'te sigorta kutusu (A), radyatör veya fan kapağı (B), soğutucu sıvı haznesi (C) polipropilen ile üretilmiş parçalara örnektir (Karian 2003).



Şekil 1.3 : Kaporta altı otomotiv parçaları (Karian 2003).

1.3 Kaz Tüyü Lifi ve Özellikleri

Global kaz tüyü ticaretinin önde gelen ülkelerinden Çin %35,2 ile ihracatta başlıca kaz tüyü üreticilerindendir, başlıca ithalatçı ülke konumunda ise %27.7'lik oran ile ABD yer almaktadır (Aral ve Aydın, 2007; Buckland ve Guy, 2002). Kaz tüyleri, diğer su kuşları tüylerinden daha yumuşak ve büyüktür ve bu sebeple diğer tüylere oranla daha yüksek ekonomik değere sahiptir. Kazın kaba tüylerinin değerleri karın altı tüyleri ve yumuşak vücut tüylerine göre daha düşüktür. Yaklaşık 1 kg kuru tüy yetişkin 10 kaz palazından elde edilebilir (Ensminger, 1992; Taylor 1995). Tüyler mikrofibriller tarafından düzenli bir şekilde oluşturulmuş bir iç yapıya sahiptir. Kortekste bulunan mikrofibriller arasında büyük boşluklar bulunmamaktadır. Tüyler, içindeki kılcal suyu etkin bir şekilde azaltan kompakt bir yapıya sahiptirler. Yün ile karşılaştırıldığında, daha hidrofobik olan tüy yüzeyi nemli bir ortamda daha iyi ısı yalıtımına sahiptir. Tüy hacimli bir yapıdadır, deformasyona karşı yüksek geri dönüş sergilemektedir ve düşük termal iletkenliği sebebiyle iyi ısı yalıtım özelliklerine sahiptir. Şekil 1.4'te SEM görüntüleri bulunan tüy materyali yer almaktadır (Gao ve diğ, 2007).



Şekil 1.4 : Kaz tüylerinin boyuna görüntülenmiş SEM görüntüleri (Gao ve diğ, 2007).

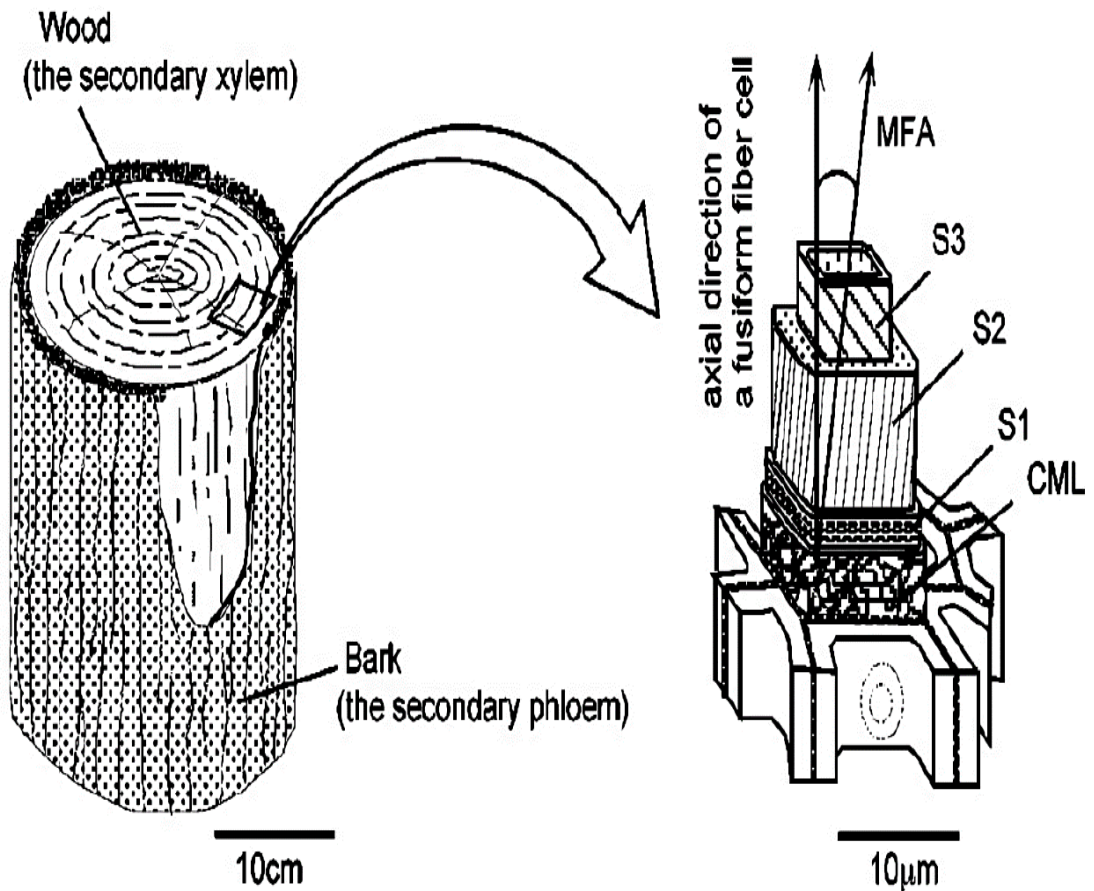
1.3.1 Kaz tüyü lifi üretimi

Kesim anında tüy elde etmek için öncelikle 60-68 °C sıcaklığındaki suda kazları 1-3 dakika bekletmek gerekmektedir. Bu işlem sonrasında tüyler elle veya yolma makinesi ile elde edilir ve bu işlem sonrasında büyük ticari kurutucularda kurutulur (Buckland ve Guy, 2002). Farklı yöntemler ile kaz tüyleri kullanıma hazır hale getirilebilmektedir. Tüylerin yolunmasından sonra yumuşak tüyler, kaba tüylerden ayrılır. Nemli olan tüyler az miktarda boraks, çamaşır sodası ve deterjan ilave edilerek ılık suda yıkanır. Çürümenin önüne geçmek için tüyler derhal durulanır ve birbirlerinden ayrılır. 3 cm kalınlığında tel ağlar üzerine serilerek kuruması sağlanır.

Tel ağılar üzerine serilmiş tüyler tümüyle kuruyuncaya dek her gün düzenli olarak yayılır, silkelenir ve karıştırılır. Tüyler nemli bir şekilde paketlenmemelidir, aksi halde istenmeyen çürüme gibi durumlar ile karşılaşılır. Tüyler yeteri kadar kuru değilse, çürümenin önüne geçmek amacıyla bir koruyucu madde uygulanabilir. Bu amaçla 500ml HCl, 6 kg tuz, 130 lt su 6 kg ıslak tüy için hazırlanır ve tüyler bu karışımda bir gece bırakılır (Oral ve Dirgar, 2017).

1.4 Odun Lifi

Bugün dünya çapında yaklaşık olarak yılda 1,5 milyon ton kadar ahşap plastik kompozit üretildiği bilinmektedir. Bu üretim payları 1 milyon ton Kuzey Amerika, 200 bin ton Çin, 100 bin ton Japonya ve 70 bin ton Almanya şeklindedir (Mehmood ve diğ., 2010). Odun, ağaçların ölmüş hücre çeperlerinin bir bütünü olarak bilinmektedir ve lignin-hemiselüloz (matriks) içinde yer alan selüloz liflerinden (takviye) doğal olarak oluşmuş bir kompozittir (Şekil 1.5) (Salmén ve Burgert, 2008).



Şekil 1.5 : Odunun şematik modeli (Yamamoto ve diğ., 2002).

Lignoselülozik malzemeler ve doğal liflerin plastik kompozitlerin üretiminde takviye edici malzemeler olarak kullanım tercihi son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Doğada bol miktarda bulunan bu malzemeler daha ekonomik olmaları yanında biyolojik olarak parçalanabilir özelliktedirler. Bağlayıcı veya uyumlaştırıcı madde ile birlikte kullanıldığında iyi bir takviye özelliği göstermektedirler. Odun lifleri, erişme kolaylığı, düşük yoğunluğu, yüksek spesifik dayanımı, iyi mukavemeti, düşük maliyeti ve diğer lignoselülozik dolgular ile kıyaslandığında homojen özellikleri sebebiyle plastik materyallerde takviye olarak kullanımı için önemli bir potansiyel sergilemektedir. Odun unu tutarlı bir materyaldir ve değişken tanecik boyutlarında öğütülmüş malzemedir. Çam veya benzeri iğne yapraklı ağaçlardan kısmen düşük kaliteli odun, geniş yapraklı ağaçlardan (meşe,tik) ise kaliteli odun elde edilmektedir. Genellikle belirli bir türden gelen ve kir, kabuk ve diğer yabancı maddelerden arındırılmış odun tercih edilmektedir. Odunun toz hale getirilmesi için gerçekleştirilen proses sonucunda, lif ve elyaf içeren parçacıkların karışımı elde edilir. Odun unu düşük termal dengesi sebebi ile plastikler ile kompozit oluşturma proseslerinde 200°C sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda uygulanan bir dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Kumar ve diğ, 2011).

1.4.1 Karaçam ağacı

Ülkemiz bitki türü bakımından 78 milyon hektar (ha) ile zengin bir çeşitliliğe sahiptir ve bu çeşitliliğin yaklaşık 23 milyon ha ile %28.6' lık kısmı ormanlık alanlardan meydana gelmektedir. Ormanlarımızın yaklaşık 20 milyon ha olan kısmı koru ormanı, yaklaşık 3 milyon ha olan kısmı ise baltalık ormanları olarak dağılım göstermekteyken, yaklaşık 14 milyon ha saf meşcere, yaklaşık 8.5 milyon ha ise karışık meşçeredir. Ülkemizde en fazla yer alan ağaç türü yaklaşık 6 milyon ha ile meşe türü, ardından yaklaşık 5.5 milyon ha ile kızılçam türü, yaklaşık 4.5 milyon ha ile karaçam türü bulunmaktadır (OGM, 2015). Dünya üzerinde geniş doğal yayılışa sahip olan karaçam ülkemizde Kızılçam'dan sonra, yaklaşık 1.5 milyon ha iyi koru, yaklaşık 1 milyon ha bozuk koru olmak üzere yaklaşık 2.5 milyon ha yayılım alanı ile en geniş doğal yayılım alanına sahip olan ikinci türdür. Anadolu karaçamı Türkiye içinde Kuzey, Batı ve Güney Anadolu ve Trakya'da ağırlıklı olarak yayılış göstermektedir. Tür ülkemizde; kuzeyde Tokat ile güneydoğuda Kahramanmaraş şehirleri arasından çizilmiş hattın batı kısmında geniş alanlarda bulunmakta, en geniş yayılımını ise Batı

Anadolu’da göstermektedir (Saatçioğlu, 1976; Alptekin, 1986). İğne yapraklı ağaçlardan elde edilen tomrukların son ürün haline getirilmesi işleminde genellikle %30-40 civarında kereste ve odun atığı meydana gelmektedir. Meydana gelen bu atıklar gelişmemiş veya gelişmekte olan ülkelerde ağırlıklı olarak ısınma amaçlı veya enerji üretimi amacıyla yakılıyorken, gelişmiş ülkelerde endüstriyel olarak işlenerek kağıt hamuru, lif ve yonga levha üretimlerinde kullanılmaktadır (Sofuoğlu ve Kurtoğlu, 2006).

1.4.2 Ahşap plastik kompozitler

Ahşap plastik kompozitler plastik hammaddenin lignoselülozik lifler veya odun unu kullanılarak karıştırılması ile elde edilmektedir. Kullanılan takviye edici malzemeler ve matrise oranla daha iyi özellikler gösterebilmesi sebebiyle ahşap plastik kompozitler geniş kullanım alanına sahiptir. Bu özelliklere ilaveten boyutsal stabilite, geri dönüşüm malzemeleri ile üretilebilmeleri, çevre dostu olması ve ekonomik olmaları tercih sebeplerinden bazılarıdır. Plastik kompozit malzemelerde takviye edici malzeme olarak organik ve inorganik malzemeler kullanılmaktadır. İnorganik dolgu malzemelerin tercihi organik dolgu malzemelerine oranla daha fazladır. Ancak talk, metal oksit, kalsiyum karbonat vb. gibi organik olmayan dolgu malzemeleri makine parçalarında neden oldukları aşınma ve maliyet olarak daha yüksek olması sebebiyle yerlerini selülozik lifler, odun lifleri vb. organik takviye edici malzemelere bırakmaktadırlar (Kaymakcı ve diğ, 2014).

1.4.3 Ahşap plastik kompozitlerin kullanım alanları

Plastik matrisli kompozitlerde doğal liflerin kullanılması yeni bir konu olmamakla birlikte 20.yy başlarında kağıt ve karton ile karıştırılan fenol formaldehit ve melamin formaldehit esaslı kompozitler elektrik yalıtımında, 1960’lı yıllarda odun unu ve hindistan cevizi lifleri ile PP kompozitlerinin otomotivde iç plastik ve koltuk aksamlarında, 1990’lı yıllarda doğal lifler ile takviyelenmiş polietilen kompozitlerin çit duvarları, endüstriyel kaplama ve yük taşıyıcı platformlarda ve 2000’li yıllarda PVC ile odun unu kompozitlerin pencere ve kapı çerçevesi olarak kullanımlarında çeşitli araştırma ve uygulamalar yer almaktadır. (Clemons, 2002). Ahşap plastik kompozitler çevresel sorunların çözümüne katkı sağlamaktadır. Balkon, bahçe mobilyaları, güverte, çit, mobilya, kapı ve pencere doğraması, çerçeve, mimari profiller, tekne gövdeleri, paletler, otomotiv iç aksamaları, çöp ve atık kovaları, müzik

ve spor aletleri yapımı vb. alanlarda kullanılmaktadır (Çavdar, 2011; Lei ve Wu, 2010). Plastik kompozitlerde daha düşük yoğunluğa sahip mikro ve nano selüloz temelli dolgu maddelerinin yüksek hacimli fonksiyonu, otomotivde talep edilen performansları sağlayabilecek hafif materyal arayışlarına cevap olabilecektir. Son yıllarda selüloz esaslı malzemelerin otomotiv endüstrisine uygunluğu ve bu malzemelerin şirket politikalarını karşılayabilecek olup olmadığı konusunda araştırmalar yapılmaktadır (Hill ve diğ, 2012). Ford biyomalzeme araştırma departmanı Amerikadaki en büyük kağıt ve odun üreticilerinden biri olan Weyerhaeuser ile odundan elde edilen selülozun kompozit malzeme üretiminde mineral katkısı veya fiberglasın yerine kullanımı üzerine ortak çalışmalar yürütmektedir. Fordun gerçekleştirdiği araştırmalar ile Weyerhaeuserin selüloz katkılı plastik kompozit malzemelerinin otomobil için sertlik ve dayanım açısından gerekli parametreleri ve uygun termal direnci sağladığı tespit edilmiştir. Tüm bu çalışmalara ek olarak selüloz katkılı malzemeler fiberglas katkılı malzemeler ile karşılaştırıldığında ekonomik enerji sarfiyatı ile %20-40 aralığında daha hızlı üretilmekte ve üretilen malzemenin ağırlığı yaklaşık %10 daha az olmaktadır (Kızıltaş ve diğ, 2013).

1.5 Biyokompozit Malzemeler

En az birbirinden farklı iki malzemenin bir araya gelmesi ile oluşan ve bu oluşum ile yeni özellikler gösteren malzemelere kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemeyi meydana getiren malzemelerden en az biri doğal malzeme ise bu kompozitlere biyokompozit malzeme adı verilir. Biyokompozit malzemelerin öne çıkmasını sağlayan özellikleri geri dönüştürülebilir olması, biyobozunur olması, iyi mekanik özellikler göstermesi ve en önemlisi yenilenebilir kaynaklardan elde ediliyor olmasıdır. Biyokompozit malzemelerin üretimindeki başlıca amaç petrol türevi plastik malzemelerin ve bu malzemeler ile oluşturulan çeşitli kompozitlerin sahip olduğu özellikleri gösterebilecek veya karşılayabilecek çevre dostu malzemeler meydana getirmektir (Peças ve diğ, 2018). Doğal liflerin sentetik liflere oranla daha düşük yoğunluğa sahip olması doğal lif takviyeli biyokompozitlerin geliştirilmesinin bir diğer nedenidir. Doğal lif malzemeler cam lif malzemelere göre çeşitli cilt sorunları veya solunum problemleri gibi sağlık sorunlarına sebebiyet vermezler. Aynı zamanda

doğal takviyeli kompozit malzemelere “yeşil kompozitler” ve “ekokompozitler” de denmektedir(Avcı ve diğ, 2021).



Şekil 1.6 : Biyokompozitten üretilmiş otomobil parçaları (Lotfi ve diğ, 2021).

Çizelge 1.2 : Otomobil üreticilerinin kullandığı biyokompozit malzemelerin marka, model ve parçalar olarak tablosu (Mohammed ve diğ, 2015; Koronis ve diğ, 2018; Mann ve diğ, 2020).

Firma	Modeller	Parçalar
Audi	Roadster, Coupe, A2, A3, A4, A6, A8 modelleri.	Şapka rafı, bagaj astarı, yedek lastik astarı, arka ve yan kapı panelleri, koltuk sırt kısımları.
BMW	BMW I serisi, 3 serisi, 5 serisi, 7 serisi ve diğer modeller.	Kapı iç panelleri, koltuk arkası, tavan döşeme paneli, ses izolasyon panelleri, bagaj kaplaması, kalıplanan ayak boşluğu kaplamaları.
Citroen	C5.	Kapı iç panelleri.
Chrysler	S-sınıfı ve A, C, E sınıfı modeller.	Gösterge paneli, kapı panelleri, direk kapak paneli.
Fiat	Alfa Romeo 146ve156 modelleri, Brava, Marea, Punto modelleri.	Kapı panelleri, kapı kaplamaları, koltuk arka kısım kaplamaları, koltuk başlıkları, sert minderler, koltuk altları.
Ford	Focus, Freestar, Mondeo CD 162 modelleri.	Sürgülü kapı ekleri, bagaj astarı, kapı panelleri.

Lotus	Eco Elise modeli.	Rüzgarlık, gövde panelleri, iç halılar, koltuklar.
MercedesBenz	Mercedes A, C ve S sınıfı araçlar, Trucks.	Kapı panelleri, iç motor ve tavan örtüsü, iç yalıtım, güneşlik, tekerlek kutusu, tampon (keten/sisal/epoksi reçineli/PP matrisli ahşap lifleri), gösterge paneli desteği, yalıtım (pamuk lifi), torpido (pamuk lifleri/ahşap kalıplı, keten/sisal), gövde paneli (PP / PET lifli pamuk) ve oturma yüzeyi, koltuk arkalıği paneli (pamuk lifi), sırtlık (hindistan cevizi lifi / doğal kauçuk), güneşlik, iç motor kapağı, motor yalıtımı, güneşlik, tampon, iç yalıtım, tavan kapağı ve tekerlek kutusu.
Opel	Vectra modeli.	Panel ekleri ve paketleme tepsileri.
Peugeot	406 modeli.	Koltuk arkalıkları ve arka raf.
Renault	Clio ve Twingo modelleri.	Arka bagaj rafı.
Rover	2000 modeli.	Arka bagaj rafı ve yalıtım.
Saab	9S modeli.	Kapı panelleri.
Seat	—	Kapı panelleri ve koltuk sırtlığı.
Saturn	L300s modeli.	Paketleme tepsileri ve kapı panel kaplamaları.
Toyota	Celsior, Brevis, Raum ve Harrier modelleri.	Koltuk arkalıkları, yedek lastik kılıfı ve döşeme panelleri.
Vauxhall	Astra, Vectra, Zafir ve Corsa modelleri.	Sütun kapak paneli, tavan paneli, gösterge paneli ve iç kapı panelleri.
Volkswagen	Bora, Passat ve Golf modelleri.	Koltuk arkalıği, kapı paneli, bagaj astarı ve bagaj kapağı kaplama paneli.
Volvo	C70, V70 modelleri.	Kargo zemin döşemesi, doğal köpükler ve koltuk dolgusu.

Avrupa Birliği tarafından CO₂ salınımının azaltılması amacıyla oluşturulan kısıtlamalar ve bazı Asya ülkelerinde faaliyet gösteren otomotiv endüstrisindeki benzer kısıtlamaları, araçların hafifletilmesini ve çevresel faktörlerin ön plana çıkmasını sağlamaktadır. Bu sebeple birçok araç üreticisi, kullanılan malzemelerde değişiklikler yaparak araçların ağırlığını azaltmayı hedeflemektedir. Bir aracın toplam ağırlığını yaklaşık olarak %25 azaltarak global petrol tüketiminin yaklaşık 250 milyon varil kadar azaltılabileceği düşünülmektedir (Taekama ve Karana, 2012). Avrupa Birliği (AB) Komisyonu tarafından yayınlanan (EC) 443/2009 (Climate Action, 2021) yönetmeliğinde, zorunlu salınım hedefleri üretilen yeni otomobiller için belirtilmiştir. Bu hedeflerin ilki 2015 yılından sonra binek otomobiller için ortalama gaz salınımı her

km’de 130-gram CO₂ eşdeğeri olup bu hedef gerçekleştirildi. 130 g CO₂ 100 km’de 5.6 l benzin veya 4.9 l litre dizel tüketimini göstermektedir. 2020 yılı itibariyle AB genelinde üretilecek olan yeni otomobiller için belirlenen ortalama salınım miktarı 95 g CO₂ km⁻¹ dir. 95 g CO₂ km⁻¹ salınım miktarı 100 km’de 3.6 l dizel veya 4.1 l benzin tüketimini göstermektedir.

1.6 İzolasyon Parametreleri

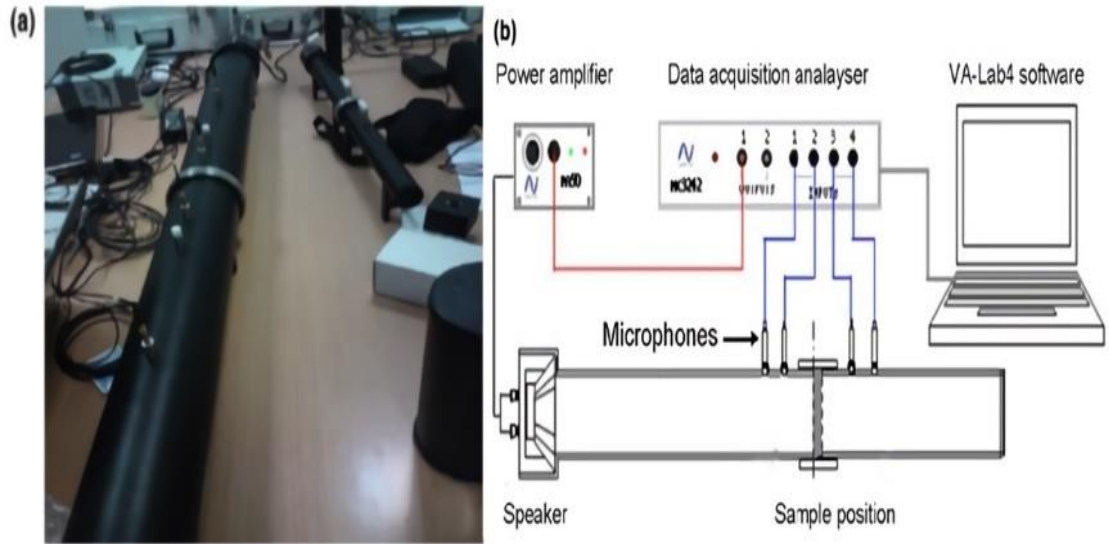
1.6.1 Isıl iletkenlik katsayısı

Isı transferinin gerçekleşmesi iletim, ışıınım ya da taşınım yoluyla olmaktadır. En temel bakış açısıyla ısı iletimi, bir parçanın vibrasyon enerjisinin, maddenin bir hareketi olmaksızın, spesifik olarak çarpışma yolu ile bir sonraki parçacıklara aktarılması şeklinde ifade edilebilir. Malzemenin yapısı ısı iletkenlik için oldukça önemlidir. Örnek olarak plastik malzemeler metal malzemelere oranla daha düşük ısı iletkenliğe sahiptirler. Boyut ve oranları ısı iletimi için oldukça önemli parametrelerdir. Malzeme kalınlığı arttıkça ısı enerjisinin karşı yüzeye iletilmesi zorlaşacaktır. Morfolojik özellikler de bu sistemde oldukça önemli bir yere sahiptir ve ısı iletkenliği daha iyi anlamak için birçok farklı değişken de dikkate alınmalıdır (Burger ve diğ, 2016). Isı yalıtım malzemelerinin istenilen yalıtım özelliklerini karşılayabilmeleri için yoğunluğu düşük, nem oranı az ve boşluk oranı fazla olmalıdır. (Vasiliev ve Morozov, 2001) Fibril yapılu organik malzemelerin birçoğu malzemenin ısı özelliklerini geliştirmektedir. Doğal inorganik malzemeler yüksek nem duyarlılığına ve yüksek öz ısı kapasitesine sahiptir. Doğal materyaller genel olarak su buharı geçirgenliğine sahiptir ve havadaki nemi barındırabilir, bu sebeple malzemenin ısı izolasyon özellikleri bozulur. Isıl iletkenlik katsayısı nemlilik oranı arttıkça genellikle artmaktadır (Korjenic ve diğ, 2011).

1.6.2 Ses yutum katsayısı

Gelişen teknoloji sonucu ortaya çıkan bir diğer endüstriyel kirlilik gürültüdür. Gürültünün azaltılması, amaca göre 2 farklı başlık ile sınıflandırılabilir. Bunlar izolasyon ve ses emilimidir. Gürültünün önlenmesinde yüksek ses emilim oranı ve ses kaynağının izolasyon verimi en önemli faktörlerdir. Ses malzemeleri sesin kontrol altına alınabilmesi amaçlanarak tasarlanan fiber, köpük vb. malzemelerdir. Kompozit malzemeler ve bu malzemelerin iç yapıları otomotiv endüstrisi gibi bir çok alanda

gelişmiş arge çalışmalarına sahiptir. Yapısal stabilite ve sürdürülebilir üretim, ses izolasyonu ve absorpsiyonu ile birlikte ses izolasyon malzemelerinin üretiminde önemli etkenlerdir (Lee ve diğ, 2010). Akustik yalıtım verimliliğini artırmak için aktarılan ses enerjisinin azaltılması gerekmektedir. Transfer edilen enerji, enerjinin yansıtılması ve enerji kaybının yükseltilmesi ile azaltılabilmektedir. Malzemenin izolasyon performansını iyileştiren metodlar içerisinde kullanılan malzemenin kalınlığını artırarak ses emilimindeki enerji kaybını sınırlamak yer almaktadır ancak izolasyon performansını iyileştiren en başarılı yöntem enerjinin yansıtılmasıdır. Malzemelerin akustik olarak yalıtım verimi malzemenin homojenliğine, yüzey yoğunluğuna ve elastik modülüne bağlı olmakla birlikte aynı zamanda frekansı ile de ilgilidir. Ses yutum katsayısı (α) malzeme yüzeyine gelen ses dalgalarının ne kadarlık kısmının absorbe edildiğini gösteren ses yutum özelliğidir. Her malzeme kendine özel bir ses yutum katsayısına sahiptir (Marmaralı ve diğ, 2014). Bir panelin ses izolasyon verimliliği, iletilen ses gücü ile gelen ses dalgasının gücü arasındaki farkı olarak tanımlanmakta olan ses iletim kaybı (STL) ile ölçülür (Ahmadi ve diğ, 2015). Şekil 1.7’de ses iletim kaybı ve ses yutum katsayısı ölçümünde kullanılan empedans tüpü cihazı gösterilmektedir.



Şekil 1.7 : (a) Empedans tüpü cihazı, (b) Kullanılan cihazların ve empedans tüpünün şematik gösterimi (Ahmadi ve diğ, 2015).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

PP matrisli ahşap plastik kompozitler hakkında bir çok akademik çalışma bulunmaktadır. Altuntaş ve diğ, (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kompozit malzemeye takviye edilmiş odun lifi artışı ile kompozit malzemelerin çekme dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Yapılan bu çalışmada saf PP polimerin çekme direnci değeri 33,56 MPa olarak belirlenmiştir ve polimer matrise takviye edilmiş odun unundaki artış ile kompozit malzemelerin çekme dayanımlarının düştüğü gözlenmiştir.

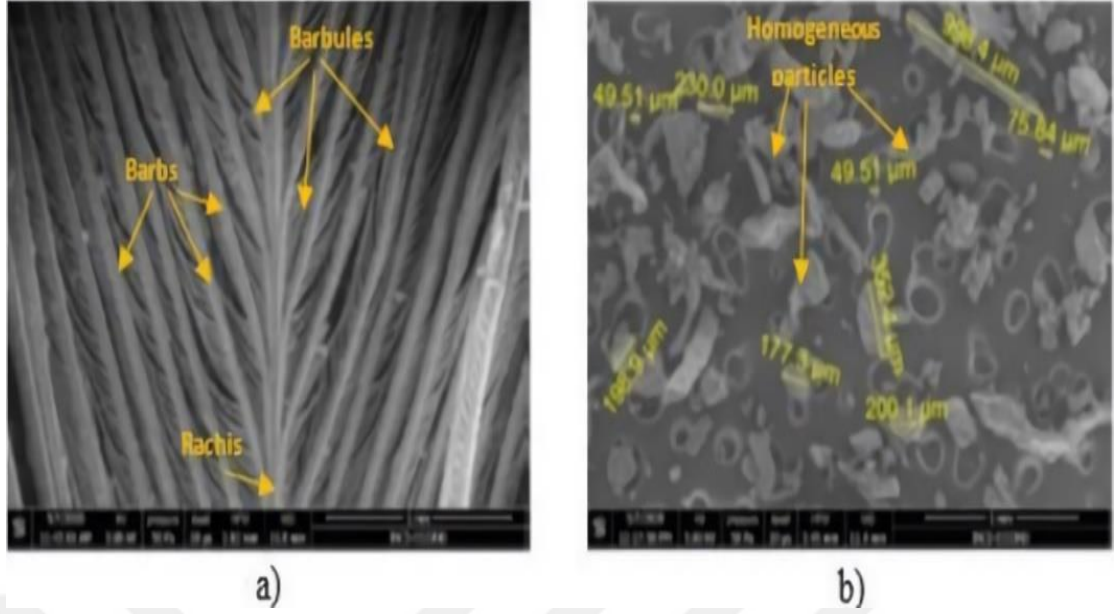
Narlıoğlu ve diğ, (2018) tarafından yapılmış olan çalışmada, karaçam testere talaşı ile takviye edilen polipropilen polimerinin mekanik özellikleri incelenmiştir. Saf polipropilen polimerin eğilme direnci değeri 37,42 MPa olarak belirlenirken, polipropilen (PP) polimerine takviye edilen odun unundaki artış ile kompozitlerin eğilme dayanımlarında artış gözlenmiştir. Karaçam odununu takviyeli polipropilen kompozitlerin eğilme dayanımı incelenirken, 37,42 MPa olarak tespit edilen saf polipropilen polimerine göre %40 ve %50 odununu katkılı kompozit örneklerinin eğilme dirençleri sırasıyla 42.29 MPa ve 42.53 MPa olarak tespit edilmiştir. %10 odununu ilaveli kompozit örneğinde 37.27 MPa olarak tespit edilen eğilme direnci saf polimerin eğilme direnci ile birbirine yakın değerler göstermiştir.

Hayvansal tüyler, tavuk vb. çalışmaları hakkında ise az sayıda akademik çalışma bulunmaktadır. Moechnig ve diğ, (2003) tarafından yapılmış olan çalışmada tüy lifi ve cam lifi ile takviye edilmiş polipropilen matrisli kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada %2.5 tüy lifi ve %2.5 cam lifi ile takviye edilmiş polipropilenin çekme dayanımı 29.5 MPa, eğilme direnci ise 50.0 MPa olarak tespit edilmiştir. %9.35 tüy lifi ve %1.65 cam lifi ile takviye edilmiş polipropilenin çekme dayanımı 26.3 MPa, eğilme direnci 56.9 MPa olarak tespit edilmiştir. Toplam takviye oranı sabit tutularak %1.65 tüy lifi ve %9.35 cam lifi ile takviye edilmiş polipropilenin çekme dayanımının 37.4 MPa, eğilme direncinin 73.2 MPa olduğu tespit edilmiştir. %25 tüy lifi ile takviye edilmiş polipropilenin çekme dayanımı 20.2 MPa, eğilme direnci 45.0 MPa olarak tespit edilmiştir. Toplam takviye oranı sabit tutularak %12.5 tüy lifi ve %12.5 cam lifi ile takviye edilmiş polipropilenin çekme dayanımı 33.6 MPa, eğilme direnci ise 68.8 MPa olarak tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile tüy lifi

takviye oranı arttıkça çekme direncinin azaldığı tespit edilmiştir, aynı zamanda belirli oranlarda çekme direnci düşmesine rağmen eğilme direnci kısmen artmıştır.

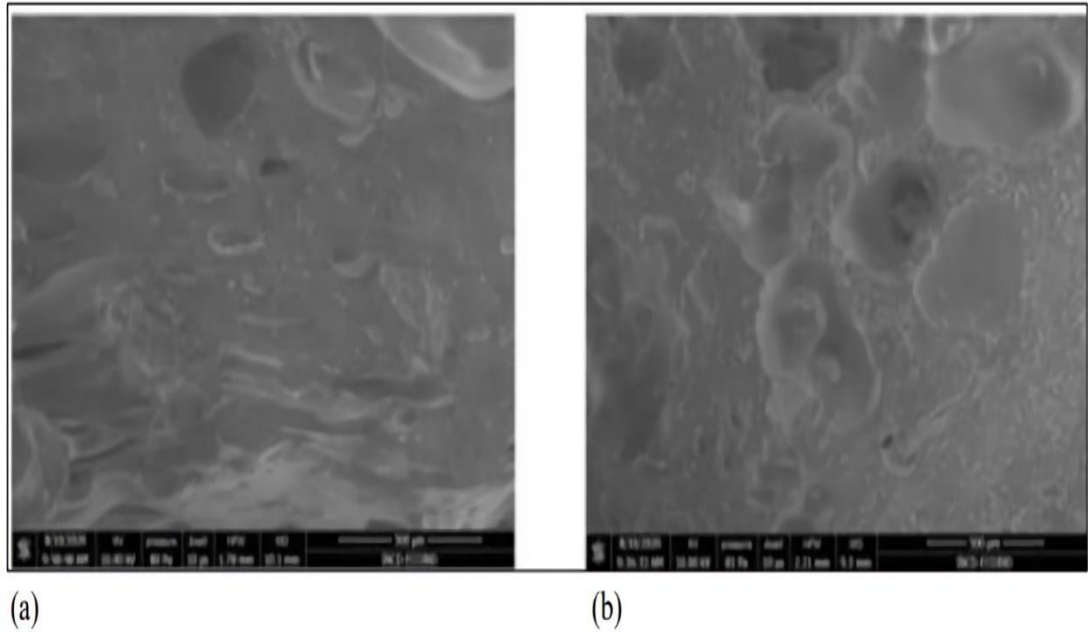
Constantine ve diğ, (2021) tarafından yapılmış olan çalışmada %10 ile %50 oranlarında tüy unu katkılı geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli kompozit malzemenin akustik özellikleri incelenmiştir. %10 tüy unu katkılı kompozitin maksimum ses absorpsiyon katsayısı $\alpha_{maks} = 0,62$, 1512 Hz frekansta tespit edilmiştir. En yüksek ses absorpsiyon katsayısı yapılan çalışmada %20 tüy unu katkılı kompozit malzeme için $\alpha_{maks} = 0,87$, 1552 Hz frekansta tespit edilmiştir. %50 tüy unu katkılı kompozit malzemenin ses absorpsiyon katsayısı $\alpha_{maks} = 0,45$, 1624 Hz frekansta tespit edilmiştir ve bu en küçük değerdir. %30 tüy unu katkılı kompozit malzeme için maksimum ses absorpsiyon katsayısı $\alpha_{maks} = 0,82$, 1260 Hz frekansta tespit edilmiştir. Bu çalışma ile tüy unu oranı %20'den %30'a çıkarıldığında ses absorpsiyon katsayısının düştüğü tespit edilmiştir ve bununla birlikte iyi bir ses absorpsiyon özelliklerine sahip olmak için malzeme içindeki gözeneklerin birbirine bağlanması gerektiği açıklanmıştır. Lineer düşük yoğunluklu polietilen (LLDPE), licowax PED dağıtıcı yardımcı, vistamax adhezyon ve esnekliği geliştirici, hostavin N30 dengeleyici, $CaCO_3$ dolgu maddesi ve tüy unu ile oluşturulmuş katkılı kompozitlerin de ses absorpsiyon katsayıları incelenmiştir. Katkılı kompozitler içinde en iyi ses absorpsiyon katsayısına sahip olan $\alpha_{maks} = 0,85$, 1556 Hz frekansta %58 polipropilen, %10 LLDPE, %2.25 licowax PED, %2.25 vistamax, %0.5 hostavin N30, %17 $CaCO_3$, %10 tüy unu katkılı kompozit malzemedir.

Aradoaiei ve diğ, (2020) tarafından yapılmış olan çalışmada tavuk tüyü unu takviyeli, geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli kompozitlerin fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Şekil 2.1'de yapılan çalışmada tavuk tüyünün SEM ile incelendiğinde tüylerde büyük esneklik ve direnç sağlayan tüy dizisinin tarak tipi olduğu görülmüştür. Tüy öğütüldükten sonra görüntülendiğinde farklı biçim ve boyutlarda homojen partiküller ve aynı zamanda çapları normal görülen porositeler tespit edilmiştir.



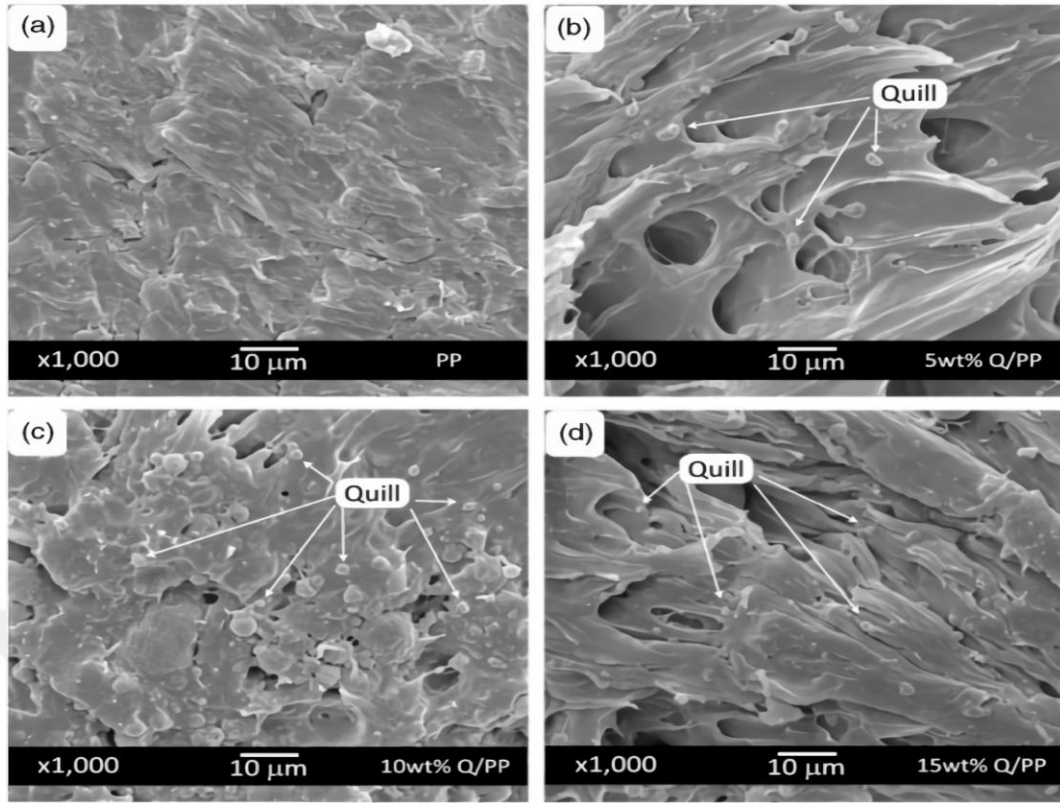
Şekil 2.1 : (a) Tüy yapısı, (b) Tüy unu yapısı SEM görüntüleri (Aradoaiei ve diğ, 2020).

Şekil 2.2’de %10 tüy unu ve %10 tüy unu/bağdaştırıcı içeren kompozitlerin SEM görüntüleri görülmektedir. Tüy unu ile PP polimer matrisi arasında iyi bir arayüzey adhezyonu görülmüş, malzemelerin birbiriyle uyumlu olduğu ve çevresinde boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Ayrıca uyumlaştırıcı maddelerin kullanımı ile PP matrisindeki tüy unu dağılımındaki değişiklik gözlenmiştir.



Şekil 2.2 : (a) %10 tüy unu takviyeli kompozit ve (b) %10 tüy unu/bağdaştırıcı takviyeli kompozitin SEM görüntüleri (Aradoaiei ve diğ, 2020).

Amieva ve diğ, (2015) tarafından yapılmış olan çalışmada tavuk tüyü lifleri ile güçlendirilmiş geri dönüştürülmüş polipropilen matrisli biyokompozitin termal, termo mekanik, morfolojik özellikleri incelenmiş ve tavuk tüyü lifinin yoğunluk üzerindeki etkileri çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma ile tüy lifi takviyeli polipropilen kompozitlerin yoğunluklarında azalma tespit edilmiştir. Geri dönüştürülmüş polipropilen matrisin yoğunluk değeri $0,9 \text{ g/cm}^3$ iken ağırlıkça %5 oranda tüy ilave edildiğinde $0,75 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa kadar 0,01 standart sapma değeri ile azalma tespit edilmiştir. Tüy yoğunluğu ağırlıkça %10'dan %15'e yükseltildiğinde yoğunluğun neredeyse sabit kaldığı ve polipropilen matris ile tüy liflerinin daha iyi etkileşimde bulunduğu tespit edilmiştir. Yapılan dinamik analiz sonucunda saf PP dinamik modülünün tüm tüy lifi katkılı PP kompozitlerden daha düşük olduğu görülmüştür. Saf PP dinamik modülü 965 MPa ile karşılaştırıldığında ağırlıkça %5 tüy lifi katkılı PP kompozitin dinamik modülü 1451 MPa ile maksimum değere ulaştığı tespit edilmiştir. Tüy lifi hidrofilik doğası sebebiyle, yapılan SEM ve dinamik analiz çalışmaları ile de doğrulandığı üzere PP matrisine iyi dağılım ve empenye olduğu tespit edilmiştir. Tüy lifi içeriklerinin ağırlıkça %5'in üzerinde olması durumu aşırı matris yüklemesine yol açarak yapılan dinamik analizde de görüldüğü gibi uygun yük transferini azalttığı tespit edilmiştir. Yapılan TGA analizleri ile tüy lifi katkısının PP matrisindeki termal davranışı değiştirdiğini, sadece %10 tüy lifi katkılı PP matrisli kompozitinde termal stabilitenin iyileştiği tespit edilmiştir. Şekil 2.3 (a)'da saf geri dönüştürülmüş polipropilen ve Şekil 2.3 (b)-(d)'de kompozit malzemenin kırılmış yüzeylerin SEM mikrografileri görülmektedir. Bu görüntüde doğru bir arayüz yansıtan her iki malzeme arasında iyi bir uyum gözlemlendiğinden tüy partiküllerinin PP matrisine iyi bir şekilde dağıldığı söylenebilir. Yükü her iki yüz arasında taşımak için iyi bir dağılım gerekmektedir.



Şekil 2.3 : (a) Saf geri dönüştürülmüş polipropilen, (b) %5 tavuk tüyü lifi takviyeli polipropilen kompoziti, (c) %10 tavuk tüyü lifi takviyeli polipropilen kompoziti ve (d) %15 tavuk tüyü lifi takviyeli polipropilen kompoziti SEM görüntüleri (Amieva ve diğ, 2015).

Farotti ve Natalini (2018) tarafından yapılmış çalışmada enjeksiyon ile kalıplama prosesinin PP polimerinin mekanik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda PP polimerinin ISO 527-2 standardında yapılan testte ortalama çekme direnci 32,11 MPa olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada proses, standart polimerik numuneler için oluşturulan, basınç ve sıcaklık sensörleri ile donatılmış bir kalıp sayesinde, DoE tekniği kullanılarak araştırılmıştır. Erime sıcaklığının, kalıp sıcaklığının, salmastra basıncının ve soğutma süresinin etkileri, mekanik parça özellikleri üzerinde analiz edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kalıp sıcaklığının, salmastra basıncıyla birlikte polimerin mekanik özelliklerinde belirleyici bir faktör olduğu görülmüştür. Bununla beraber yüksek değerlerin parçanın aşırı paketlenmesine veya kırılma davranışına yol açabildiği görülmüştür.

Güllü ve diğ, (2006) tarafından yapılan çalışmada cam elyaf fiberinin PP polimerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. PP polimeri ve takviyeli kompozitler için 5 mm/dk hızında ISO 527 standardında çekme testi uygulanmıştır.

Takviyesiz PP polimeri çekme direnci 26,26 MPa olarak tespit edilmiş olup sırasıyla ağırlıkça %15 ve %30 cam elyaf fiber ile takviye edilmiş kompozitlerin çekme dirençleri 60,04 MPa ve 78,61 MPa olarak ölçülmüştür.

Çakır (2021) tarafından yapılan çalışmada kimyasal köpük yapıcı katkı malzemesi ile takviye edilen PP polimerinin özellikleri incelenmiştir. Yapılan çekme testi sonucunda katkısız PP polimerinin çekme direnci 22 MPa olarak ölçülmüştür.

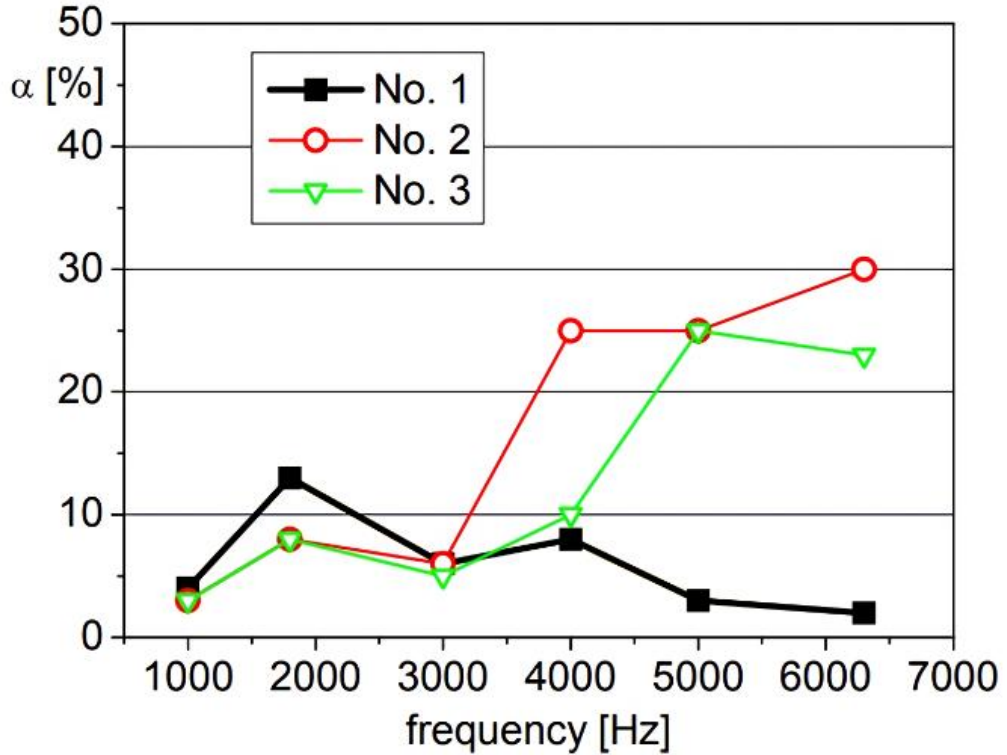
Şen ve diğ, (2020) tarafından yapılan çalışmada geri dönüştürülmüş PP polimerinin mekanik ve termal özellikleri incelenmiştir. Plastik enjeksiyon makinesi ile malzemenin üretimi yapıldıktan sonra parçalanarak tekrar granül hale getirilmesi ve ardından yeniden plastik enjeksiyon makinesi ile üretimi işlemleri gerçekleştirilerek geri dönüşüm işlemi sonucunda malzemede meydana gelen değişiklikler çeşitli testler ile incelenmiştir. Geri dönüştürme işlemi enjeksiyondan çıkan malzemelerin 3 kez üretimi ve kırma makinesi ile 3 kez kırılması işlemlerinden geçirilerek yapılmıştır. Çekme testi sonucunda geri dönüştürülme işlemi öncesinde çekme direnci 30,2 MPa olarak ölçülen PP polimerinin, geri dönüştürme işlemi sonrasında çekme direnci 23 MPa olarak ölçülmüştür. Yapılan bu çalışma sonucunda PP polimerinin geri dönüştürülmüş ürünlerinde tüm mekanik özelliklerinde düşüşler gözlenmiş ve darbe dayanımındaki değer kaybının %50'den fazla olduğu görülmüştür.

Mudu (2010) tarafından yapılan çalışmada doğal ve doğal olmayan takviyeli polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada Petkim marka PETOPLN isimli PP MH 418 koduna sahip polimeri kullanılmıştır. Kullanılan bu PP polimerine ait verilen mekanik özelliklerde çekme direnci 31 MPa olduğu belirtilmiş ve ISO 527 standardında uygulanan çekme testi sonucunda saf PP polimerinin çekme direnci 30,82 MPa olarak ölçülmüştür.

Zaccone ve diğ, (2021) tarafından yapılan çalışmada PP polimerinin karbon esaslı takviye edicilerle elde edilen nanokompozitlerin termal iletkenliği incelenmiştir. Katkısız PP polimerinin termal iletim katsayısı 0,2 W/m.K olarak görülmüştür.

Krause ve diğ, (2016) tarafından yapılan çalışmada karbon takviyeli PP polimeri ile elde edilen kompozitlerin elektrik ve termal iletkenliği incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile saf PP polimerinin ısı iletkenlik katsayısı 0,26 W/m.K olarak tespit edilmiştir.

Markiewicz ve diğ, (2012) tarafından yapılan çalışmada lignoselülozik takviye ediciler ile hazırlanmış polipropilen matrisli kompozitlerin akustik ve dielektrik özellikleri incelenmiştir. Homojen olmayan ortamdan yayılan ses dalgası, matristen yoğunluk, sıkıştırılabilirlik ve termofizik parametreler bakımından farklılık gösteren çok sayıda partikül ile etkileşime girdiğinden kompozitlerde akustik enerji kaybının matrise kıyasla daha fazla olacağı belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada polipropilen ses emiliminde görece zayıf bir madde olarak tanımlanmıştır. Saf PP polimerinin ses yutum katsayı değeri %2 ile %13 arasında değiştiği ve sıklık arttıkça azalma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Yapılan %40 kenevir takviyesi ile ses yutum katsayısının arttığı ve bu etkinin yüksek frekans aralığında daha baskın olduğu gözlenmiştir. 3000 Hz frekansından başlayarak katsayı değerinin 6300 Hz'e kadar %25'e yükseldiği görülmüştür (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : Örnekler için ses yutum katsayısı. (No.1) PP, (No.2) PP + ağırlıkça %40 kenevir lifi, (No.3) PP + ağırlıkça %40 uzun kenevir lifi (Markiewicz ve diğ, 2012).

Huda ve Yang, (2009) tarafından yapılan çalışmada tavuk tüyü liflerinin düşük ağırlıklı kompozitlerdeki akustik özellikleri incelenmiştir. Yapılan bu çalışma ile ağırlıkça %30 ve %40 tüy lifi takviyeli kompozitlerin 1,5 kHz'e kadar benzer ses sönümlleme özellikleri gösterdiği, ancak ağırlıkça %30 tüy lifi barındıran kompozitin

biraz daha iyi ses sönümleme özelliğine sahip olduğu görülmüştür. 2.3 kHz'in üzerinde ise %40 tûy lifi takviyeli kompozit malzemenin ses sönümlemesinde keskin bir artış olduğu görülmüştür. Ağırlıkça %50 tûy lifi barındıran kompozitin ses sönümleme özelliğinin 1,3 kHz seviyesinde ciddi bir artış gösterdiği görülmüştür.

Pehlivanlı, (2016) tarafından yapılan çalışmada H_3BO_3 takviyeli PP matrisli kompozitlerin ısı iletim katsayıları ISO 8301 standardına göre yapılan testler ile incelenmiştir. Bu çalışmada takviye edilmemiş PP malzemenin ısı iletim değeri 0,1 W/m.K seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. H_3BO_3 ile takviye edilmiş kompozitlerin ısı iletim katsayılarında doğrusal düşüş görülmüştür.

Özdemir ve diğ, (2018) tarafından yapılan çalışmada odun plastik kompozit malzemelerin termal ve ısı iletim özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada ağırlıkça %30 oranda odun unu ile takviye edilmiş PP matrisli kompozitin ısı iletim katsayısı 0,3628 W/m.K olarak tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılmış olan materyaller tanıtılmaktadır. Kompozit malzemelerin üretim prosesleri ve üretilen kompozitlerin özelliklerinin tespiti için yapılan analiz ve testler anlatılmaktadır.

3.1 Materyal

3.1.1 Polipropilen (PP)

Yapılan bu çalışma ile üretilen kompozit malzemelerde matris malzemesi olarak PP kullanılmıştır. Kullanılan PP, Uçar Plastik firmasından A⁺ Plus Polimer marka olarak satın alınmıştır (Şekil 3.1). PP'nin yoğunluğu 0,905 g/cm³, ergime noktası 163 °C olan toz PP hammadde kullanılmıştır. Toz PP kullanılarak daha homojen biyokompozit ürünler elde etmek ve oluşabilecek olumsuz mekanik özellik düşüşlerinin önüne geçmek amaçlanmıştır.



Şekil 3.1 : Toz PP polimeri.

3.1.2 Takviye malzemeleri

Takviye edici olarak karaçam ağacından elde edilen odun unu ve kaz tüyü kullanılmıştır. Kaz tüyü Vivense isimli firmadan temin edilmiş doğal kaz tüyü yastığında yer alan %15 gıdık tüyü, %85 sırt tüyü içeriğine sahiptir. Karaçam odunu Bilecik/Gölpazarı bölgesinden orman atığı olarak temin edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : (a) Karaçam odun unu, (b) Öğütülmüş kaz tüyü.

3.2 Yöntem

3.2.1 Malzemelerin üretim prosesi için hazırlanması

Malzemelerin kompozit üretimi öncesinde ekstrüder makinesi ile üretimi ve homojen olarak karıştırılması için gerçekleştirilen öğütme ve mekanik karıştırma işlemleri anlatılmıştır. Çalışma için belirlenen boyutlarda hazırlanan malzemeler mekanik karıştırma işlemi ardından etüvde bekletilmek suretiyle içeriğindeki nem alınmış malzemeler Gülnar Makine markalı 16 mm çift vidalı ekstrüder makinesi (Şekil 3.5) yardımıyla Çizelge 3.1’de gösterilen sıcaklık değerleri ile ortalama 80 rpm hızda üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilmiş kompozit malzemelerin ağırlıkça oranları Çizelge 3.2’de yer almaktadır.

3.2.1.1 Öğütme

Kompozit malzeme üretiminde kullanılan takviye edici malzemeler ile içeriği homojen dağılmış bir karışım elde etmek ve üretim aşamalarını kolaylaştırmak için takviye edici

malzemelerin öğütme işlemi Fritsch Pulverisette 19 (Şekil 3.3) markalı makine ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu işlemde kaz tüyü ve karaçam odun parçalarının öğütülmesinde 0,5 mm'lik elekler kullanılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.3 : Fritsch Pulverisette 19 öğütücü makinesi.

3.2.1.2 Mekanik karıştırma işlemi

IKA Eurostar 20 markalı mekanik karıştırıcı (Şekil 3.4) kullanılarak toz haldeki malzemeler 900 rpm hızda 5 dk süre ile karıştırılmıştır. Mekanik karıştırma işlemi sonrasında meydana gelen karışımlar içeriğindeki nemi uzaklaştırmak amacıyla 100°C sıcaklıkta 8 saat süre ile etüvde bekletilmiştir.



Şekil 3.4 : IKA Eurostar 20 mekanik karıştırıcı.

3.2.2 Biyokompozit malzemelerin üretilmesi

Biyokompozit malzemelerin üretimi 2 aşama ile sağlanmıştır ve bu aşamalar sırası ile malzemenin ekstrüder ile üretilmesi ardından malzemenin pres ve enjeksiyon ile kalıplanmasıdır.

3.2.2.1 Biyokompozit malzemelerin üretimi

Yapılan mekanik karıştırma işlemi sonrasında etüvde bekletilmek suretiyle nemi alınmış malzemeler Gülnar Makine markalı 16 mm çift vidalı ekstrüder (Şekil 3.5) vasıtasıyla Çizelge 3.1’de yer alan sıcaklıklarda ortalama 80 rpm hızda üretilmiştir. Üretilmiş olan kompozit malzemelerin ağırlık oranları Çizelge 3.2’de yer almaktadır.



Şekil 3.5 : Gülnar Makine 40 L/D çift vidalı ekstrüder.

Çizelge 3.1 : Ekstrüder işlem sıcaklıkları.

Kafa	7	6	5	4	3	2	1	Besleme
70°C	175°C	190°C	190°C	190°C	190°C	175°C	165°C	25°C

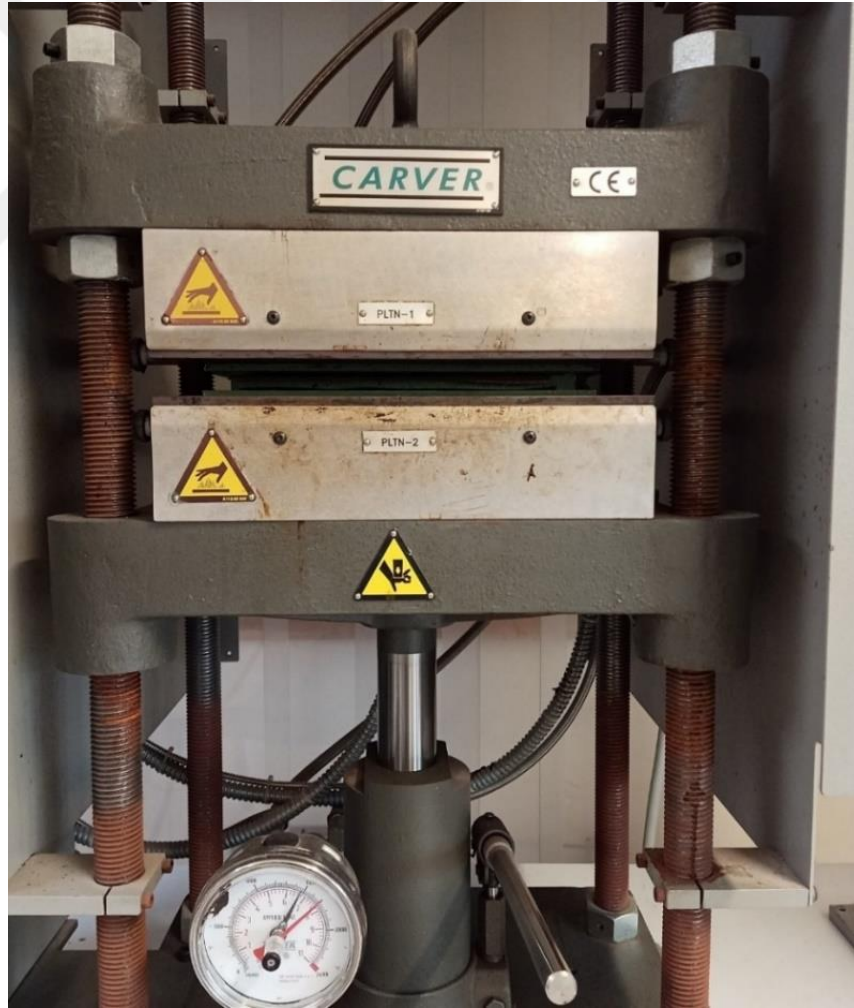
Çizelge 3.2 : Biyokompozitlerin ağırlık oranları.

Numune	Kontrol	1	2
PP: OL Biyokompozit	100:0	95:5 (PO5)	85:15 (PO15)
PP: KT Biyokompozit	100:0	95:5 (PK5)	85:15 (PK15)
PP: OL: KT Biyokompozit	100:0	95:2,5:2,5 (PKO2,5)	85:7,5:7,5 (PKO7,5)

OL: odun lifi; KT: kaz tüyü

3.2.2.2 Biyokompozit malzemelerin ısıtma plakalı presi ile kalıplanması

Ekstrüder ile elde edilen kompozit malzemeler 8 saat 100°C’de etüvde bekletildikten sonra ısıtma plakalı pres ile akustik özelliklerin inceleneceği test numuneleri ve ısıl iletkenlik özellikleri incelenecek test numuneleri kalıplanmıştır (Şekil 3.6)



Şekil 3.6 : Carver ısıtmalı plakalı pres makinesi.



Şekil 3.7 : Preslenmiş akustik ve ısı iletkenlik test numuneleri.

3.2.2.3 Biyokompozit malzemelerin enjeksiyon ile üretimi

Ekstrüder makinesi ile elde edilen malzemeler laboratuvar tipi enjeksiyon makinesi ile uygulanacak testlerdeki standartları karşılayacak olan kalıpla kalıplanmıştır. Bu işlemde Boy 22A markalı enjeksiyon makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.7). Laboratuvar tipi enjeksiyon makinesinin işlem sıcaklıkları Çizelge 3.3’te yer almaktadır.



Şekil 3.8 : BOY 22A marka laboratuvar tipi enjeksiyon makinesi.

Çizelge 3.3 : Enjeksiyon işlem sıcaklıkları.

5	4	3	2	1
175°C	180°C	180°C	180°C	175°C

3.3 Biyokompozit Malzemelere Uygulanan Testler

3.3.1 Fiziksel testler

Bu kısımda üretilen biyokompozit malzemelere uygulanan yoğunluk, kalınlık artış oranı ve su alma oranı testlerinin analizleri yer almaktadır.

3.3.1.1 Yoğunluk

Elde edilen malzemelerin yoğunluklarını tespit etmek için deney numunelerinin kuru ağırlıkları ölçülmüş sonrasında numunelerin boyutları ölçülerek hacmi hesaplanmıştır ve 3.1'deki formül ile yoğunlukları tespit edilmiştir.

$$d = m/v \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'de gösterilmekte olan d yoğunluğu (g/cm³), m ağırlığı (g), v hacmi (cm³) göstermektedir.

3.3.1.2 Kalınlık artışı

Kalınlık artış oranında enjeksiyon ile üretilmiş olan 4x10x80 (mm) boyutlarındaki örneklerin boyutları 0.01 mm duyarlı mikrometre ile ölçülmüş ve sonrasında örnekler 20°C sıcaklığında saf su içerisinde deney süresince bekletilmiştir. Ölçümler, 24, 168, 336 ve 672 saat sürelerde düzenli olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süreleri sonunda sudan çıkarılan numunelerin üzerindeki fazla su bir bez ile silindikten sonra ilk ölçüm yapılan noktadan malzeme kalınlıkları yeniden ölçülmüştür ve aşağıda yer alan formül vasıtasıyla kalınlık artış oranları hesaplanmıştır.

$$KAO = ((m_y - e_k) / e_k) \times 100 \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'de gösterildiği üzere KAO kalınlık artış oranı (%), m_y sude bekletilmiş olan numunelerin kalınlığı (mm), e_k klimatize edilmiş durumdaki deney numunelerinin kalınlığı (mm) göstermektedir.

3.3.1.3 Su alma oranı

Su alma oranında enjeksiyon ile üretilmiş olan 4x10x80 (mm) boyutlarındaki numunelerin ağırlığı ± 0.001 g hassasiyete sahip analitik terazide tartılmış ve sonrasında numuneler 20°C sıcaklığındaki saf suda deney süresince bekletilmiştir. Ölçümler, 24, 168, 336 ve 672 saat sürelerde düzenli olarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm süreleri ardından sudan çıkarılmış olan numunelerin üzerindeki fazla su bir bez ile silindikten sonra ± 0.001 g hassasiyete sahip tartı ile tartılmıştır ve aşağıda verilen formül vasıtasıyla su alma oranları tespit edilmiştir.

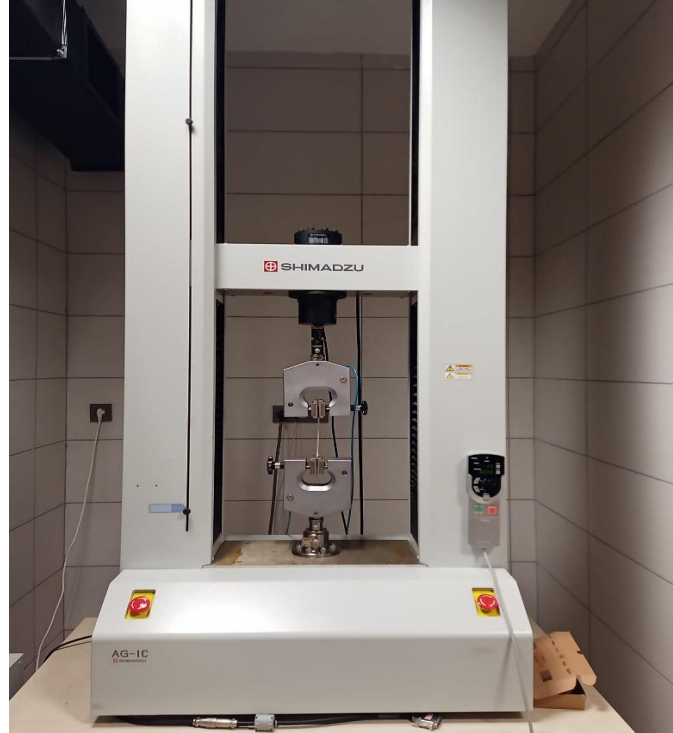
$$SAO = ((w_r - w_0)/w_0) \times 100 \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te gösterildiği üzere SAO su alma oranı (%), w_r nemli ağırlığı, w_0 ise kuru ağırlığı göstermektedir.

3.3.2 Mekanik testler

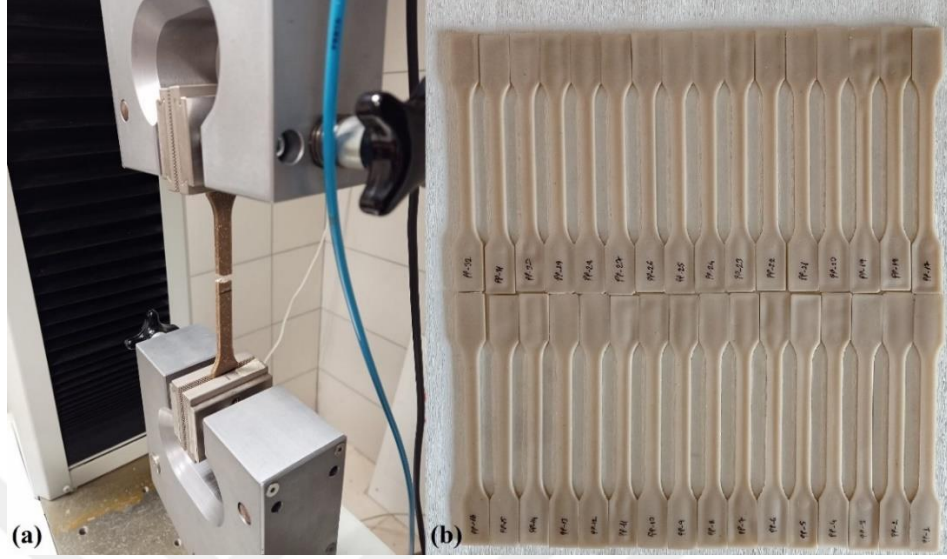
3.3.2.1 Çekme testi

Çekme testinde ISO 527-2 standartlarında üretilen 170x10x4 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Bu test için Shimadzu marka çekme cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 : Shimadzu Universal test cihazı.

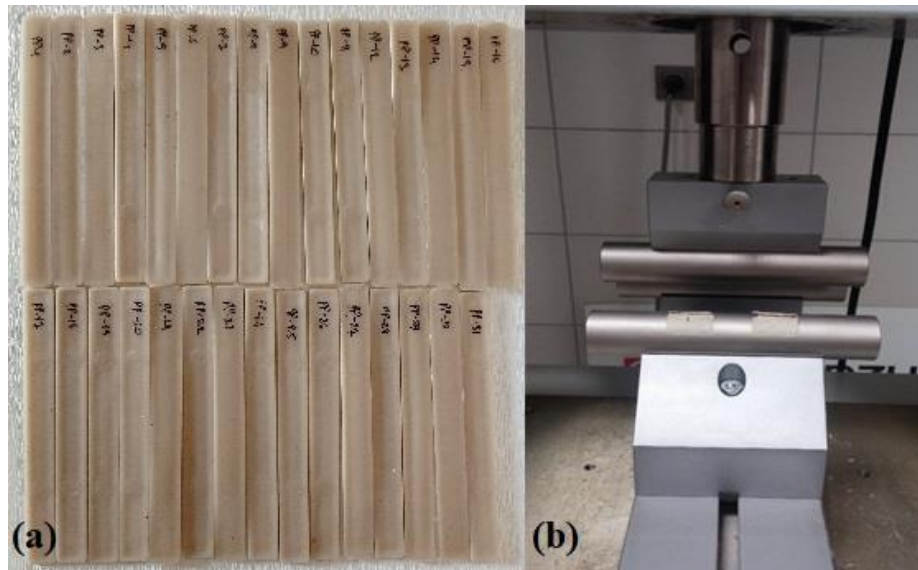
Test numuneleri $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%50\pm 5$ nem ortam şartlarında 96 saat süresince bekletilerek teste hazır hale getirilmiştir. Çekme testi 5 mm/dk test hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 : (a) Çekme testi, (b) Test numuneleri.

3.3.2.2 Eğilme testi

Eğilme testi ASTM D790 standardına uygun olarak $127\times 12,7\times 3$ mm boyutlarında parçalar hazırlanmıştır . Eğilme testi Shimadzu marka test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Test numuneleri $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%50\pm 5$ nem ortam şartlarında 48 saat süresince bekletilerek teste hazır hale getirilmiştir. Eğilme testi 10 mm/dk test hızında yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 : (a) Test numuneleri, (b) Eğilme testi.

3.3.2.3 İstatistiksel yöntemler

Mekanik test gerçekleştirilen örneklere SPSS 18.0 istatistik paket programı kullanılarak %95 güven düzeyi temel alınarak istatistik analiz gerçekleştirilmiştir. Çekme ve eğilme testlerinden elde edilen sonuçlardan modül ve direnç değerleri, kompozit numuneleri ve saf PP numunelerinin arasındaki istatistiksel farklılık basit varyans analizi (BVA) ile tespit edilmiştir. Etkilemenin anlamlı çıkması durumunda ortalama değerler ‘‘Duncan’’ homojenik grupları ile kıyaslanmıştır.

3.3.3 Termal özelliklerinin belirlenmesi

3.3.3.1 Termogravimetrik analiz (TGA) ve türev termogravimetrik analiz (DTG)

Kompozit malzemelerin ısı kararlılığı, bozunma sıcaklığı ve mekanizmasını belirlemek amacıyla TGA analizi gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri TAPPI T 11 os-75 standartlarına göre laboratuvar tipi Willey marka değirmende öğütülmüş ve 50 mesh ölçülü eleklerde elenmiştir. Yaklaşık olarak 4-11 mg örnek Hitachi Hi-Tech STA7200 marka termogravimetrik analiz cihazında oda sıcaklığında 800°C sıcaklığına kadar 10°C/dk ısıtma hızıyla azot atmosferinde (20 ml/dk) ısıtılmıştır (Şekil 3.12). Numunelerin sıcaklık ve buna bağlı olarak kütle kaybı (%) bilgisayar programı aracılığı ile alınmış, türev termogravimetrik analizi yapılarak bozunma sıcaklıkları tespit edilmiştir.



Şekil 3.12 : Hitachi TGA cihazı.

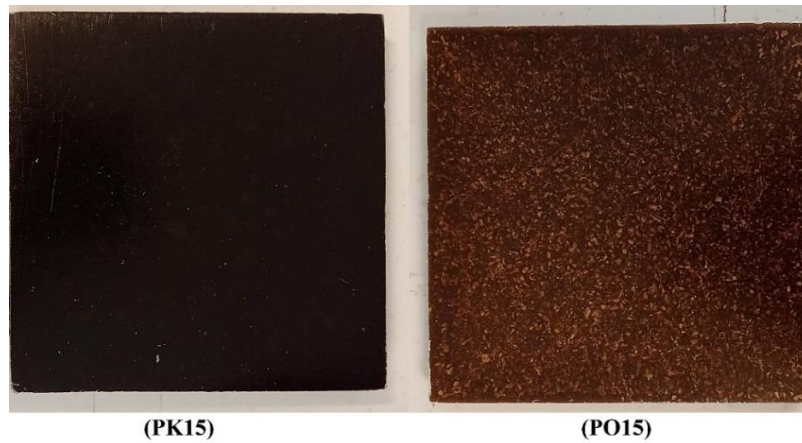
3.3.4 Biyokompozit malzemelerin izolasyon özelliklerinin belirlenmesi

3.3.4.1 Isıl iletkenlik özelliklerinin belirlenmesi

Isıl iletkenlik testi numuneleri ASTM C-518 standardına uygun olarak 100x100x10 mm boyutlarında 190°C sıcaklıkta 10 dk süre ile kalıplanarak üretilmiştir. Test FOX 314 Laser Comp marka ısıl iletkenlik ölçüm cihazıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13-3.14). Test, cihazın üst plaka sıcaklığı 30°C, alt plaka sıcaklığı 10°C sıcaklığında ve test numuneleri 30x30 cm boyutlarında bir straforun merkezinde olacak şekilde yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13-3.14).



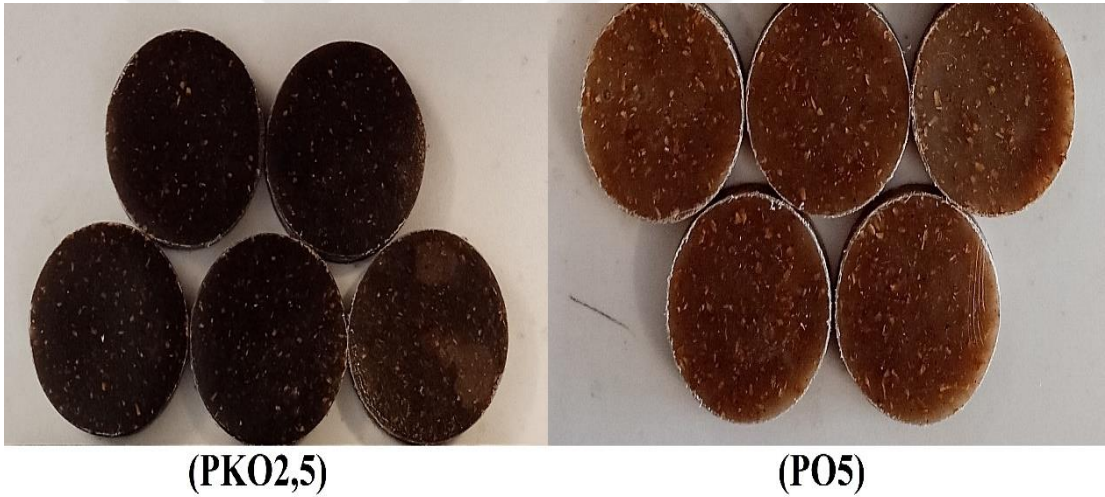
Şekil 3.13 : Fox 314 laser comp. Isıl iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı.



Şekil 3.14 : Isıl iletkenlik testi numune örnekler (ölçüler: 100x100x10 mm).

3.3.4.2 Akustik özelliklerinin belirlenmesi

Akustik test numuneleri ASTM E-1050 standartlarına uygun olarak 29mm çapta 190°C sıcaklıkta 10 dk süre ile kalıplanarak üretilmiştir. Üretilen malzemelerin akustik özelliklerinin tespit edilmesi için empedans tüpü ölçüm yöntemi uygulanmıştır. Uygulanan yöntem örnek boyutlarının küçük oluşu, test sürelerinin kısa oluşu ve örneklerin kolay üretilmesi bakımından kullanışlı bir yöntemdir. Empedans tüpü ile ölçüm yöntemi, test numunelerinin yüzeyinde meydana gelen akustik empendansın yansıyan ve etkiyen ses dalgalarının ölçülmesi ile bulunması ve elde edilen yüzey empendansı değerinden ses yutum katsayısının hesaplanması şeklinde çalışır. Ses iletim kaybı testi ASTM E-1050 standardına uygun olarak çapı 29 mm olan test numuneleri ile 24°C sıcaklıkta 2 Hz çözünürlükte 1000-6100 Hz aralığında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.15 : Ses iletim kaybı numune örnekleri (malzeme çapı: 29 mm).

3.3.5 Biyokompozit malzemelerin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi

Çekme testi numunelerinin kırılma yüzeyinin SEM görüntüleri Everhart Thornley Dedektörü (ETD) ile, 8-10 mm örnek dedektör mesafesi ile 5 kV’da Zeiss-Gemini 300 ile kaydedilmiştir. Örnek yüzeyleri ölçümden önce Au/Pd ile kaplanmıştır.

3.3.6 FTIR spektroskopik analizi

FTIR spektroskopisi ile kompozit malzemelerin kimyasal yapısı ve değişimleri incelenmiştir. FTIR spektrumları için universal ATR aksesuarı olan Bruker marka Tensor 37 model cihaz kullanılmıştır. Ölçümler $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ çözünürlükte gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.16)



Şekil 3.16 : Bruker Tensor 37 FTIR analiz cihazı.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda biyokompozit malzemelere yapılmış olan çekme ve eğilme testlerinden, yoğunluk, su alma, kalınlık artışı testlerinden, kimyasal bağ gerilimleri için FTIR spektroskopisinden, termal özelliklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen TGA analizinden, ses absorpsiyonu ve ısı iletkenlik testlerinden elde edilen bulgular anlatılmıştır.

4.1 Biyokompozit Malzemelerin Yoğunluk Analizine Ait Bulgular

Çizelge 4.1 : Biyokompozitlerin yoğunluk analizleri.

Numune	Katkı maddesi (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Standart Sapma
PP	0	0,816 ±0,001	0,0131
PO5	5	0,832 ±0,001	0,0094
PO15	15	0,867 ±0,001	0,0109
PK5	5	0,812 ±0,001	0,0103
PK15	15	0,803 ±0,001	0,0139
PKO2,5	2,5-2,5	0,824 ±0,001	0,0089
PKO7,5	7,5-7,5	0,838 ±0,001	0,0020

Yoğunluk analizi 4x10x80 mm ölçülerinde her bir varyasyonda 3 ad numune ile gerçekleştirilmiştir. Analiz standart yoğunluk formülü ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1'e göre aynı proseslerden geçmiş katkısız PP'nin yoğunluğu 0,898 g/cm³'tür. Odununu takviyeli biyokompozitlerinde saf PP'ye göre yoğunluğun azaldığı görülmüştür. Odununu takviyeli varyasyonlarda takviye edici olarak kullanılan karaçam odununu miktarı arttıkça biyokompozit malzemelerin yoğunluğunun arttığı görülmüştür. Kaz tüyü odununu takviyeli biyokompozitlerde de saf PP'ye göre yoğunluk artışı gözlenmiştir. Aynı oranlarda kaz tüyü odununu takviyeli biyokompozitlerin odununu takviyeli biyokompozitlere oranla yoğunluğunun daha yüksek olduğu görülmüştür. Ağırlıkça

%2,5 odun unu ve %2,5 kaz tüyü unu takviyeli biyokompozitlerin yoğunluk değerlerinin saf PP'ye göre bir miktar azaldığı görülmüştür. En yüksek yoğunluk değerine sahip biyokompozit %15 kaz tüyü unu takviyeli varyasyondur ve yoğunluğu 0,912 g/cm³ olarak tespit edilmiştir. Uçar Plastik isimli firmadan temin edilen toz haldeki saf PP polimerinin verilen yoğunluk değeri 0,905 g/cm³'tür. Del Hoyo ve diğ, (1992) yoğunlukları bakımından bazı doğal elyaflar arasında yaptığı kıyaslamada, t y n yoğunluğu 0.8 g/cm³, bitkisel elyafların yoğunluğunu yaklaşık 1,3 g/cm³, y n elyafının ise 1,5 g/cm³ olarak belirtmişlerdir. Bu değerler ışığında yapılan teorik yoğunluk hesaplamaları için kullanılan formül Denklem 4.1'de gösterilmektedir (Salman ve Leman, 2018).

$$d_{teorik} = \frac{1}{\left(\frac{W_{pp}}{d_{pp}} + \frac{W_{ol}}{d_{ol}} + \frac{W_{kt}}{d_{kt}}\right)} \quad (4.1)$$

Denklem 4.1'de belirtilen d_{teorik} kompozitin teorik yoğunluğunu (g/cm³), d_{pp} , d_{ol} ve d_{kt} komponentlerin teorik yoğunluğunu (g/cm³), W_{pp} , W_{ol} ve W_{kt} komponentlerin ağırlıkça oranını göstermektedir.

Çizelge 4.2: Biyokompozitlerin teorik yoğunluk analizleri.

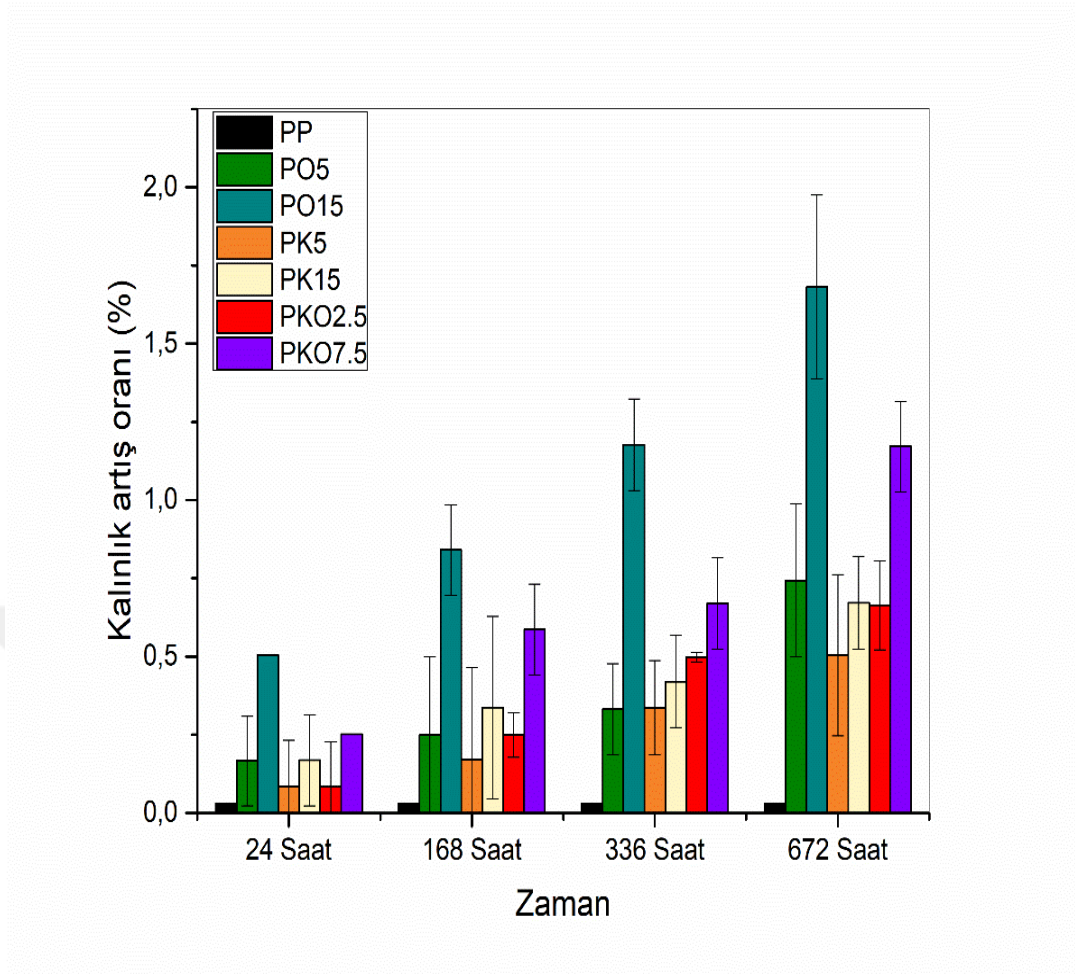
Numune	Katkı maddesi (%)	Yoğunluk (g/cm ³)
PP	0	0,905
OL	0	1,3
KT	0	0,8
PO5	5	0,924 ±0,001
PO15	15	0,964 ±0,001
PK5	5	0,899 ±0,001
PK15	15	0,889 ±0,001
PKO2,5	2,5-2,5	0,912 ±0,001
PKO7,5	7,5-7,5	0,926 ±0,001

Çizelge 4.2’de hesaplanan teorik yoğunluklarda kaz tüyü unu takviyeli biyokompozitlerin odun unu takviyeli biyokompozit malzemelere göre daha düşük yoğunluğa sahip olması gerektiği görülmektedir. Tüyün yoğunluğu PP polimerinin yoğunluğuna yakın olması sebebiyle takviye oranı artmasına rağmen biyokompozitin yoğunluğu önemli ölçüde düşmemektedir. Yapılan teorik yoğunluk analizinde odun unu ile takviye edilen biyokompozitlerde takviye malzeme miktarı arttıkça yoğunluğun arttığı görülmektedir.

4.2 Biyokompozit Malzemelerin Kalınlık Artış Oranı Analizlerine Ait Bulgular

Kalınlık artışı saf su içerisinde bekletilmiş olan enjeksiyon ile kalıplanmış numunelerin orta noktaları işaretlenerek 24, 168, 336 ve 672 saat sürelerinde kumpas yardımıyla ölçülmüştür.

Şekil 4.1’e göre PP 1 aylık süreçte kalınlık artışı göstermemiştir. PP/OL biyokompozitlerini inceleyecek olursak, ağırlıkça %5 oranda odun unu ile takviye edilmiş PO5 biyokompozit malzeme 1 aylık süre sonunda % 0,74, ağırlıkça %15 odun unu ile takviye edilmiş PO15 biyokompozit malzeme 1 aylık süre sonunda %1,68 kalınlık artışı göstermiştir. PP/KT biyokompozitlerinde ise, ağırlıkça %5 oranda kaz tüyü unu ile takviye edilmiş PK5 biyokompozit malzeme 1 aylık süre sonunda %0,50, ağırlıkça %15 kaz tüyü unu ile takviye edilmiş PK15 biyokompozit malzeme %0,67 kalınlık artışı göstermiştir. PP/OL/KT biyokompozitlerini inceleyecek olursak, ağırlıkça %2.5 odun unu ve %2.5 kaz tüyü unu içeren PKO2.5 biyokompozit malzeme 1 aylık süreç sonunda %0,66, ağırlıkça %7.5 odun unu ve %7.5 kaz tüyü unu içeren PKO7.5 biyokompozit malzeme 1 aylık süreç sonunda %1.17 kalınlık artış oranı göstermiştir. Biyokompozitlerde odun unu oranı arttıkça kalınlık artış oranının arttığı gözlenmiştir. En yüksek kalınlık artışı gösteren biyokompozit ağırlıkça %15 odun unu takviyeli PO15 biyokompozit malzemesi olmuştur. Kaz tüyü unu ile takviye edilmiş biyokompozitlerin odun unu ile takviye edilmiş biyokompozitlere oranla daha az kalınlık artışı göstermesinin sebebi kaz tüyü lifinin odun lifine göre daha az su alması olduğu düşünülmektedir. Odun unu ve kaz tüyü unu ile takviye edilmiş olan biyokompozitlerde her iki doğal takviye edici malzeme için de geçerli olarak, takviye oranı arttıkça kalınlık artışının yükselme eğiliminde olduğu düşünülmektedir.

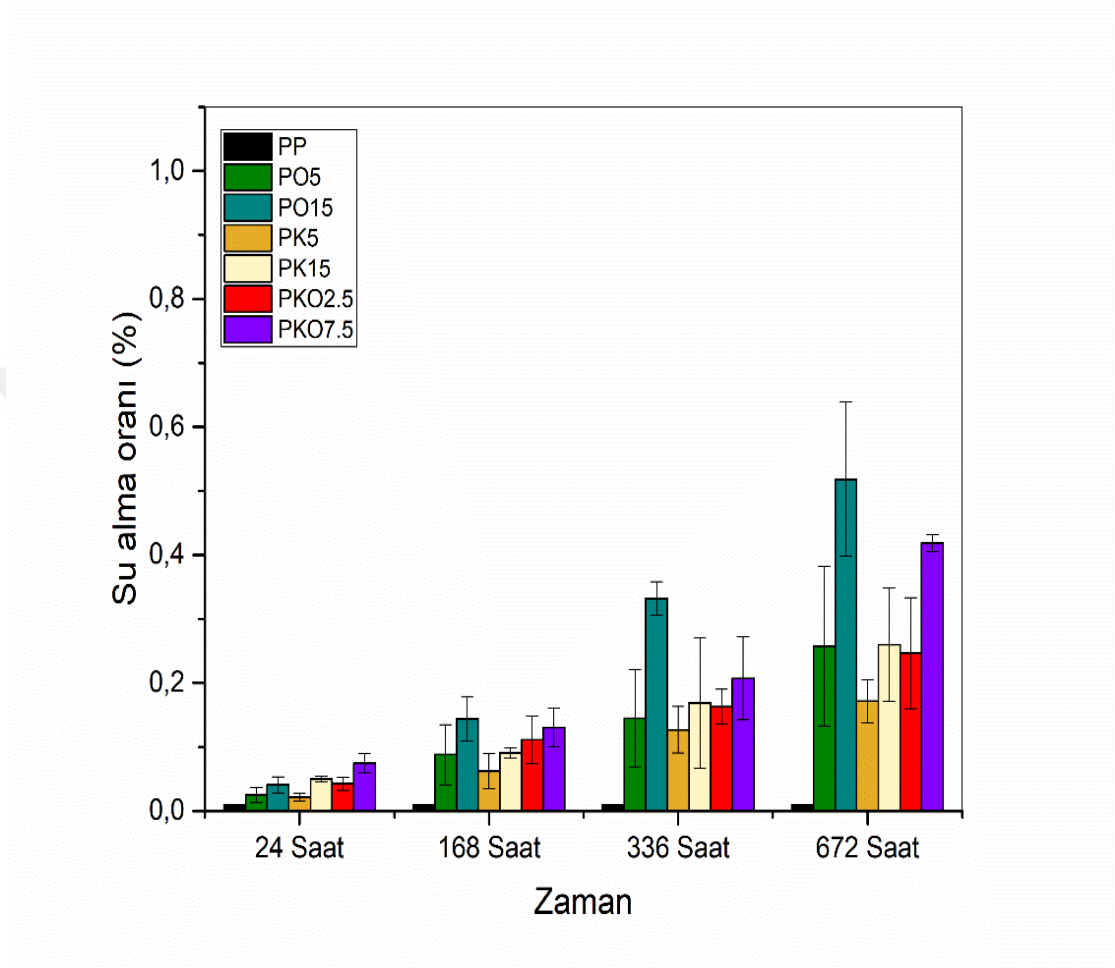


Şekil 4.1 : PP matrisli OLve KT takviyeli biyokompozitlerin kalınlık artış oranı (%).

4.3 Biyokompozit Malzemelerin Su Alma Oranı Analizlerine Ait Bulgular

Şekil 4.2'ye göre işlem görmemiş PP 1 aylık süreç sonunda su almamıştır. PP/OL biyokompozitlerini inceleyecek olursak, ağırlıkça %5 oranda odun unu ile takviye edilmiş PO5 biyokompozit malzeme 1 aylık süre sonunda % 0,25, ağırlıkça %15 odun unu ile takviye edilmiş PO15 biyokompozit malzeme 1 aylık süre sonunda %0,51 su alma oranı ölçülmüştür. PP/KT biyokompozitlerinde ise, ağırlıkça %5 oranda kaz tüyü unu ile takviye edilmiş PK5 biyokompozit malzeme 1 aylık süre sonunda %0,17, ağırlıkça %15 kaz tüyü unu ile takviye edilmiş PK15 biyokompozit malzeme %0,25 su alma oranı göstermiştir. PP/OL/KT biyokompozitlerini inceleyecek olursak, ağırlıkça %2.5 odun unu ve %2.5 kaz tüyü unu içeren PKO2.5 biyokompozit malzeme 1 aylık süreç sonunda %0,24, ağırlıkça %7.5 odu unu ve %7.5 kaz tüyü unu içeren PKO7.5 biyokompozit malzeme 1 aylık süreç sonunda %0,41 su alma oranı

göstermiştir. En yüksek su alma oranı gösteren biyokompozit ağırlıkça %15 odun unu takviyeli PO15 biyokompozit malzemesi olmuştur. PO, PK ve her iki takviye edici malzemeyi de barındıran PKO biyokompozitlerinde takviye oranı arttıkça su alma oranının yükselme eğiliminde olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.2 : PP matrisli OLve KT takviyeli biyokompozitlerin su alma oranı (%).

4.4 Mekanik Testlere Ait Bulgular

EN ISO 527-2 standartlarına göre yapılan çekme testi ve ASTM D-790 standartları çerçevesinde gerçekleştirilen eğilme testi sonuçları değerlendirilmiştir. Çekme ve eğilme testleri 10 numune ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3 : PLA/OL biyokompozitlerinin mekanik özellikleri.

Numune	Çekme dayanımı (MPa)	Çekme modülü (MPa)	Gerinim (%)	Eğilme dayanımı (MPa)	Eğilme modülü (MPa)
PP	22,02BB* ±0,41	703,81AA ±157,90	10,15EE ±0,50	21,38AA ±0,75	765,24AA ±45,86
PO5	20,96AA ±0,39	782,34AA ±106,00	6,84CC ±0,44	24,28BB ±2,31	942,50BB ±132,68
PO15	22,72CC ±0,52	1071,24BB ±190,91	4,92AA ±0,21	37,82CC ±2,71	1696,08DD ±189,70
PK5	27,28FF ±0,70	959,82BB ±185,12	7,22DD ±0,35	36,90CC ±1,98	1401,78CC ±115,77
PK15	26,66EE ±0,37	1144,41BB ±274,13	4,71AA ±0,33	43,68DD ±2,35	1760,17DD ±144,86
PKO2,5	29,31GG ±0,13	1021,78BB ±183,84	6,38BB ±0,07	43,72DD ±0,93	1765,44DD ±48,58
PKO7,5	25,74DD ±0,24	1140,85BB ±181,68	4,98AA ±0,14	42,38DD ±0,25	1841,07DD ±53,80

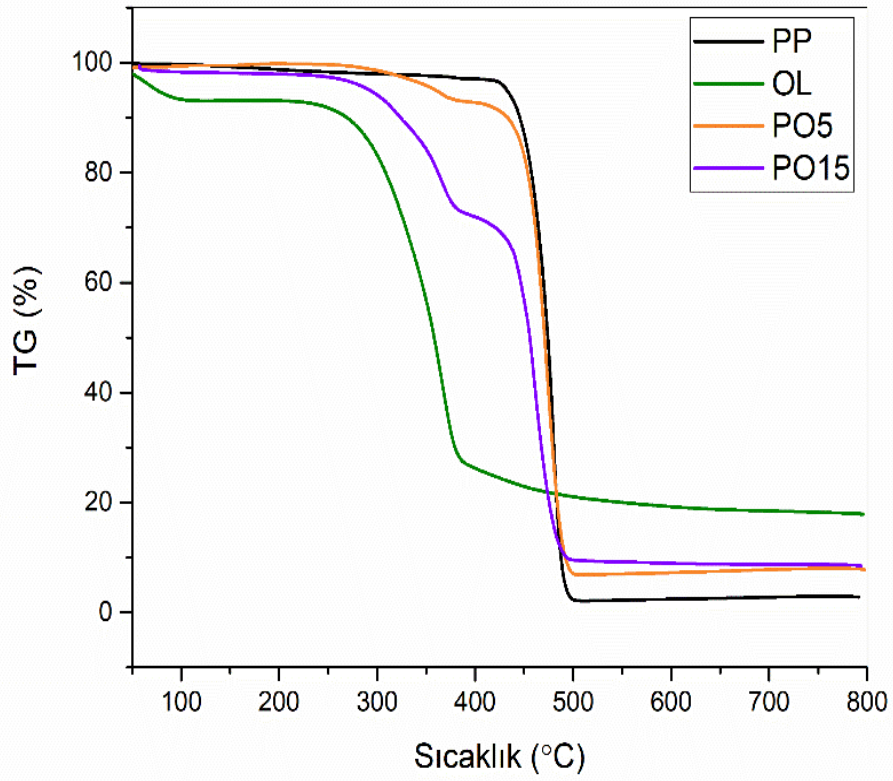
*Homojenlik grupları, harf sırasına göre en yüksek ortalamadan en düşüğe doğru sıralanmıştır.

Çizelge 4.3’de PP matrisli odun unu ve kaz tüyü unu ile takviye edilmiş kompozitlerin çekme ve eğilme dayanımları gösterilmiştir. Yapılan bu çalışmada ağırlıkça %5 oranda odun unu katkılı varyasyon dışında çekme dayanımında bir miktar artış görülmüştür. Geri dönüştürülmüş PP kontrol numunesinde en düşük çekme modülü görülmesine karşın en yüksek % gerinim görülmüştür. Bu çalışmada varyasyonlar içerisinde en yüksek çekme dayanımı 29,31 MPa ile ağırlıkça %2,5 kaz tüyü onu ve %2,5 odun unu ile takviye edilmiş biyokompozit malzemeden görülmüştür. En yüksek çekme modülü

değerleri ise 1144,41 MPa ve 1140,85 MPa ile sırasıyla ağırlıkça %15 kaz tüyü unu ile takviye edilmiş ve ağırlıkça %7,5 kaz tüyü unu, %7,5 odun unu ile takviye edilmiş biyokompozit malzemelerde görülmüştür. Geri dönüştürülmüş PP kontrol numunesi dışında en yüksek % gerinim değeri ise % 7,22 değeri ile ağırlıkça %5 kaz tüyü unu ile takviye edilmiş biyokompozit malzemede görülmüştür. Eğilme dayanımı ve eğilme modülü değerleri biyokompozit malzemelerde, geri dönüştürülmüş PP kontrol numunesine göre artış göstermiştir. En yüksek eğilme dayanımı değerleri 43,68 MPa ve 43,72 MPa olarak sırasıyla ağırlıkça %15 kaz tüyü unu ile takviye edilmiş ve ağırlıkça %2,5 kaz tüyü unu, %2,5 odun unu ile takviye edilmiş biyokompozit malzemelerde görülmüştür. En yüksek eğilme modülü değeri ise 1841,07 MPa ile ağırlıkça %7,5 kaz tüyü unu ve %7,5 odun unu ile takviye edilmiş biyokompozit malzemede görülmüştür.

4.5 TGA Analizine Ait Bulgular

Şekil 4.3'e göre saf PP 420°C'de ayrışmanın başlamasıyla kütle kaybı hızı artmıştır. En yüksek kütle kaybı 476°C sıcaklığında meydana gelmiştir. 505°C sıcaklıkta saf PP tamamen bozunmaya uğrayarak kütle kaybını sonlandırmıştır. Saf OL'de 100°C sıcaklıkta meydana gelen kütle kaybı su kaybından dolayı olduğu düşünülmektedir ve 254°C'de ayrışmaya başlamasıyla kütle kaybı hızı artmıştır. Ağırlıkça %5 karaçam odun unu takviye edilmiş PO5 varyasyonunda termal ayrışma 372-428°C sıcaklığı arasında başlamış ve 428°C sonrasında kütle kaybı hızı artmıştır. En yüksek kütle kaybı 473°C sıcaklığında meydana gelmiştir. 506°C sıcaklığında tamamen bozunmaya uğrayarak kütle kaybını sonlandırmıştır. Ağırlıkça %15 karaçam odun unu ile takviye edilmiş PO15 varyasyonunda ilk termal ayrışma 245-419°C sıcaklıkları arasında başlamış ve 432°C sonrasında kütle kaybı hızı artmıştır. En yüksek kütle kaybı 465°C sıcaklığında meydana gelmiştir. 504°C sıcaklığında tamamen bozunmaya uğrayarak kütle kaybını sonlandırmıştır.

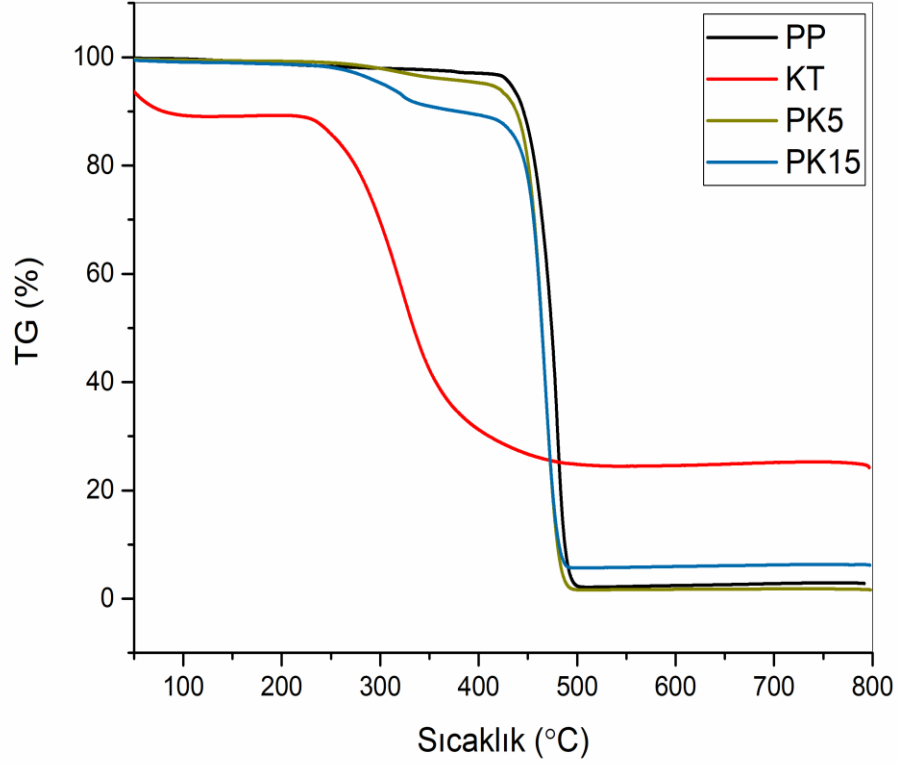


Şekil 4.3 : PP matrisli OL takviyeli biyokompozitlerin TGA analiz grafiği.

Ağırlıkça %30 kızılçam odun unu ve %70 PP ile oluşturulmuş kontrol numunesi ile gerçekleştirilen TGA analiz sonuçlarına göre 1. Bozunma sıcaklığı 288.3°C, 2. Bozunma sıcaklığı 448.7°C, ağırlık kaybı %92.8 ve kül miktarı ise %7.2 olarak bulunmuştur (Özdemir ve diğ, 2018).

Şekil 4.4'e göre KT malzemesinde ilk ağırlık kaybı 28-110°C sıcaklıkları arasında gerçekleşen kütle kaybı su kaybından olduğu düşünülmektedir. Saf KT malzemesindeki termal ayrışma 220°C sıcaklığında başlamasıyla kütle kaybı hızla artmaktadır ve bu süreç 220-445°C sıcaklığı arasında %12-74 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. Ağırlıkça %5 kaz tüyü unu ile takviye edilmiş PK5 biyokompozit varyasyonunda ilk termal ayrışma 297-440°C sıcaklıkları arasında %3-12 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. 440-490°C ile ikinci termal ayrışma hızı yüksek oranda artmış ve %12-98 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. Ağırlıkça %15 kaz tüyü unu ile takviye edilmiş PK15 biyokompozit varyasyonunda ilk termal ayrışma 254-408°C sıcaklıkları

arasında %3-12 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. İkinci termal ayrışma prosesi 440-490°C sıcaklıkları arasında %16-95 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir.

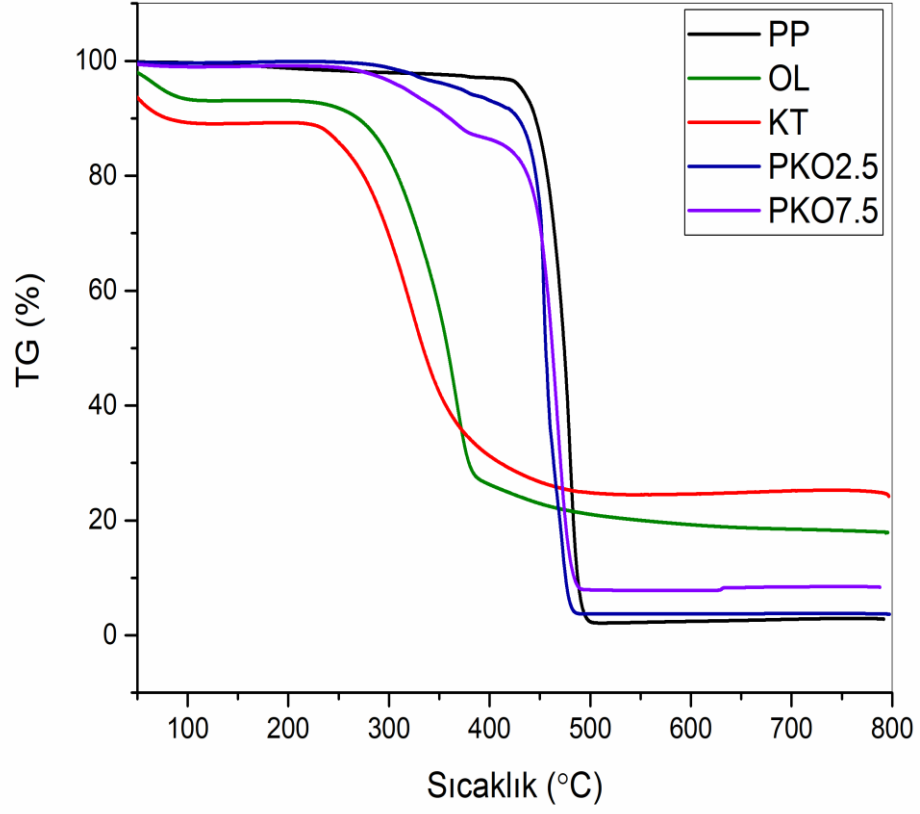


Şekil 4.4 : PP matrisli KT takviyeli biyokompozitlerin TGA analiz grafiği.

PP ve tavuk tüyü fiberi ile oluşturulmuş biyokompozit malzemelerin TGA analizinde elde edilen veriler saf tüy malzemesinde ilk kütle kaybı prosesi 30-116°C aralığında %8 oranında meydana gelmiştir ve muhtemel su kaybı ile açıklanmıştır. İkinci kütle kaybı prosesi 216-411°C sıcaklıkları arasında %10-75 arası bir kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. Saf geri dönüştürülmüş PP malzeme tek adımlı termal ayrışma göstermektedir ve 300-465°C sıcaklıkları arasında meydana gelmektedir (Amieva ve diğ, 2015).

Şekil 4.5'e göre ağırlıkça %2.5 kaz tüyü unu, %2.5 karaçam odun unu ile takviye edilmiş PKO2.5 biyokompozit varyasyonunda ilk termal ayrışma 295-428°C sıcaklıkları arasında %2-10 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. İkinci termal ayrışma prosesi 436-485°C sıcaklıkları arasında %13-96 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. Ağırlıkça %7.5 kaz tüyü unu ve %7.5 karaçam odun unu ile takviye edilmiş PKO7.5

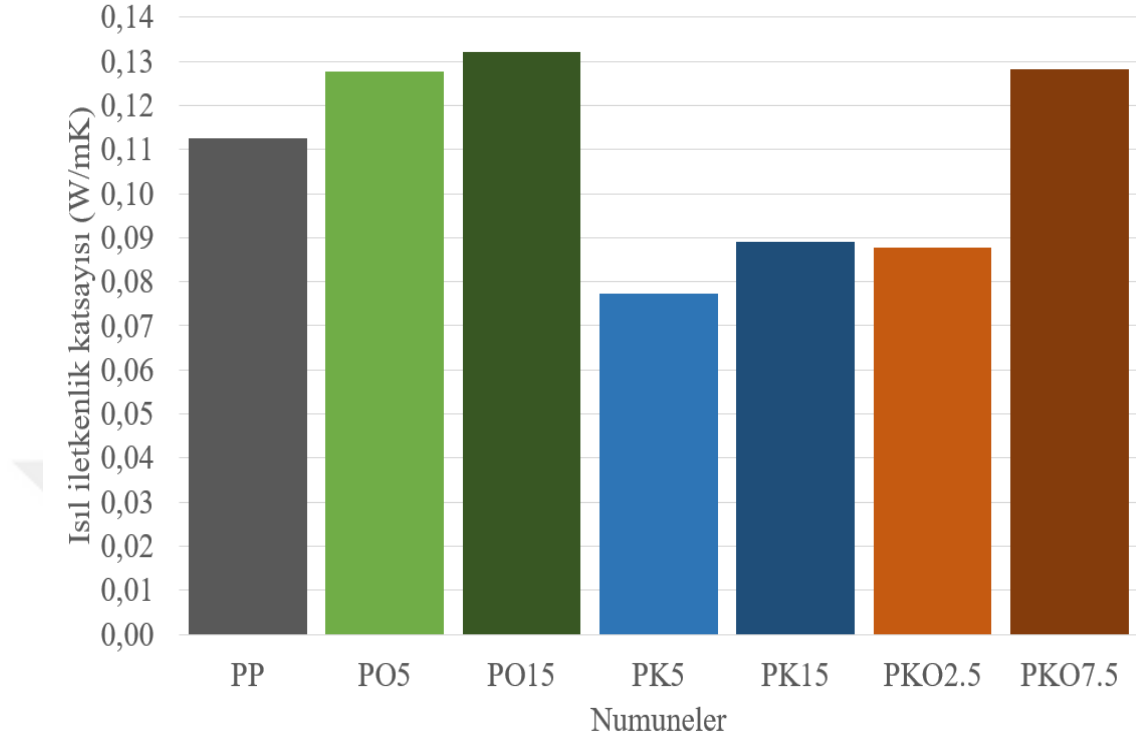
biyokompozit varyasyonunda 265-423°C sıcaklıkları arasında %3-16 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir. İkinci termal ayrışma prosesi 435-491°C sıcaklıkları arasında %19-92 kütle kaybı ile gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5 : PP matrisli OL ve KT takviyeli biyokompozitlerin TGA analiz grafiği.

4.6 Biyokompozit Malzemelerin ısl iletkenlik Katsayısı lm Testine Ait

Bulgular



Şekil 4.6 : ısl iletkenlik katsayısı grafiği.

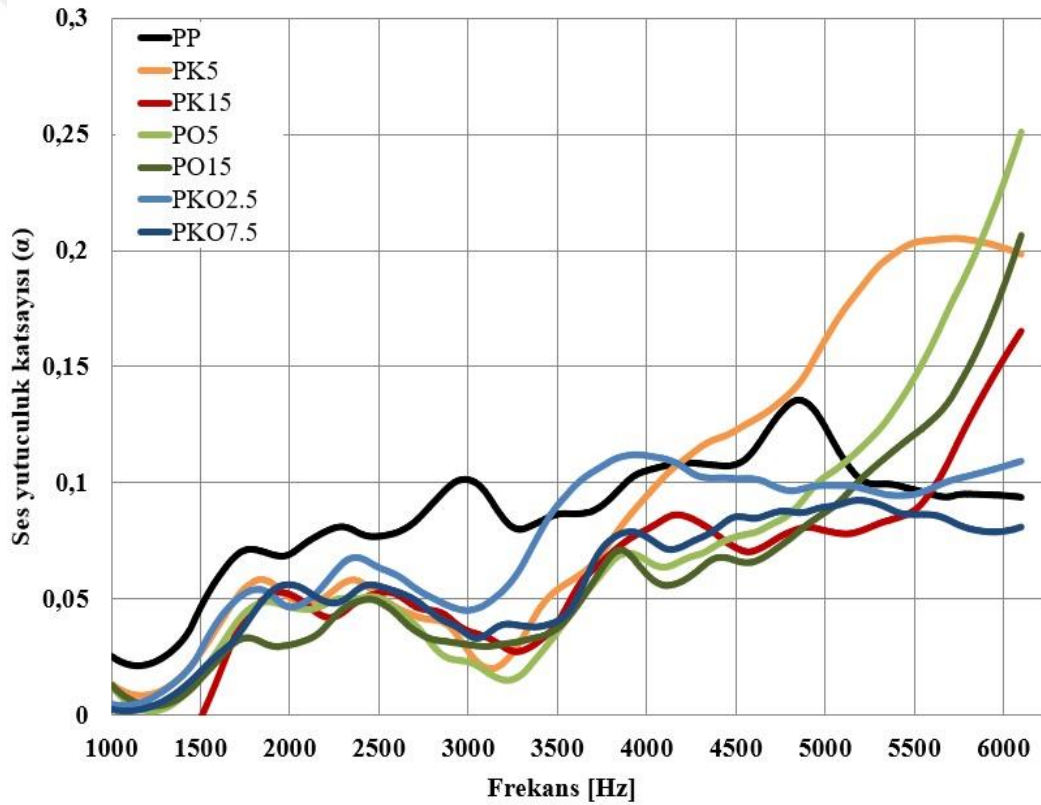
Şekil 4.6'da biyokompozitlerin ısl iletkenlerini göstermekte olan grafik verilmiştir. İçeriğinde takviye edici malzeme bulunmayan, biyokompozitlerin üretim proseslerinin tümünden geçmiş saf PP polimerinin ısl iletkenliği 0,1125 W/m.K olarak ölçülmüştür. En düşük ısl iletkenlik katsayısına sahip olan varyasyonun ağırlıkça %5 oranında kaz tüyü unu ile takviye edilmiş olan varyasyon olarak tespit edilmiş ve ısl iletkenlik katsayısı 0,07728 W/m.K olarak ölçülmüştür. Yapılan bu çalışmada karaçam odun unu ile takviye edilen biyokompozitlerin ısl iletkenlik katsayılarının saf PP polimerine göre arttığı gözlenmiştir. Ağırlıkça %2,5 oranında odun unu ve %2,5 oranında kaz tüyü unu ile takviye edilen varyasyonda ısl iletim katsayısı saf PP polimerine göre düşüş göstermesine karşın takviye edici malzemelerin oranında yapılan artışla ısl iletkenlik katsayısının da arttığı gözlenmiştir.

H₃BO₃ takviyeli PP matrisli kompozitlerin ısı iletim katsayıları ISO 8301 standardına göre yapılan testler ile incelenmiştir. Bu çalışmada takviye edilmemiş PP malzemenin ısı iletim değeri 0,1 W/m.K seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. H₃BO₃ ile takviye

edilmiş kompozitlerin ısı iletim katsayılarında doğrusal düşüş görülmüştür (Pehlivanlı, 2016).

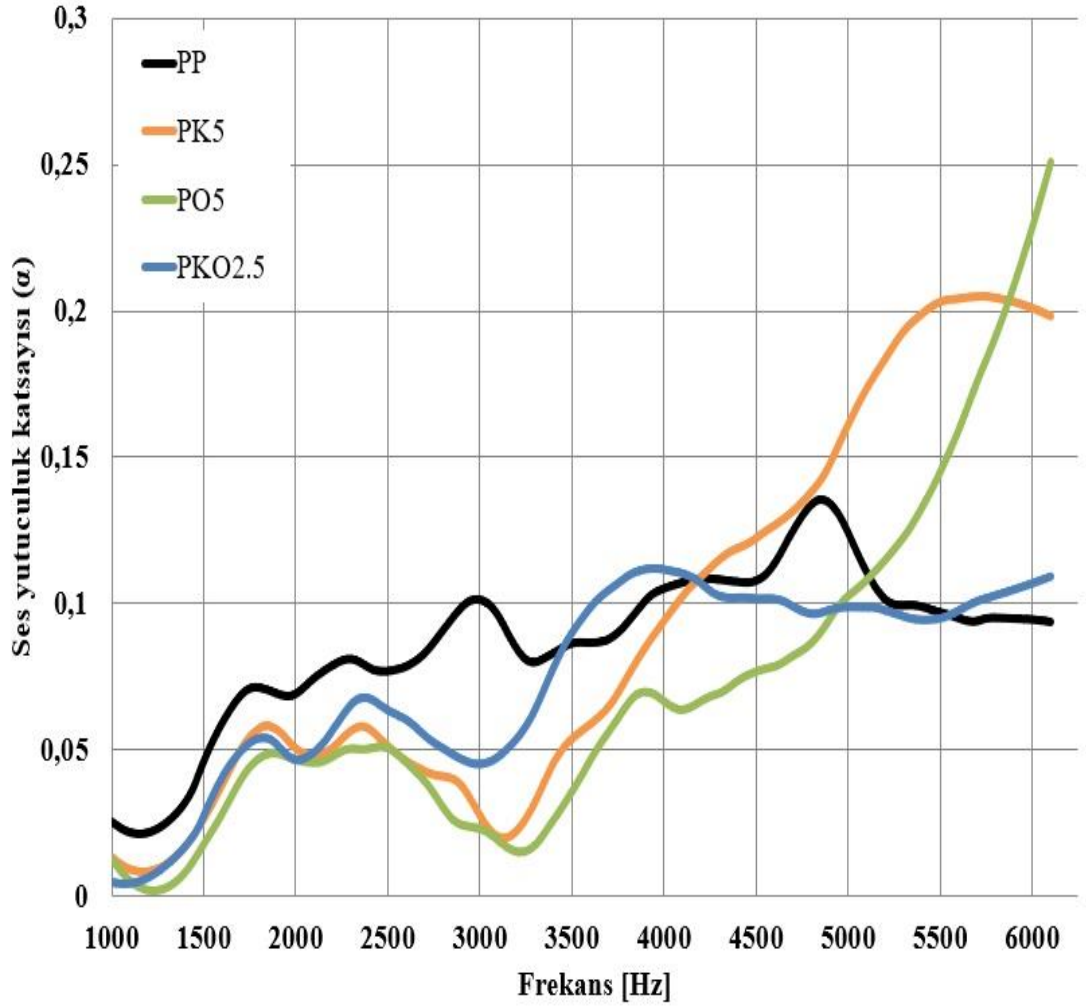
4.7 Biyokompozit Malzemelerin Ses Yutum Katsayısı Ölçümü Analizine Ait Bulgular

ASTM E-1050 standardında yapılmış olan empedans tüpü ile akustik absorpsiyon katsayısı ölçüm test sonuçları değerlendirilmiştir. Akustik absorpsiyon katsayısı ölçüm testi 5 numuneden yapılmıştır. Ses yutum katsayısı teorik olarak gelen ses enerjisinin ısı enerjisine dönüştürölme oranıdır. Teorik olarak ‘ α ’ ile gösterilir ve değeri 0-1 arasında değışir. Yüksek α değeri ne sahip olan malzemeler ses yutucu, düşük α değeri ne sahip malzemeler ses yansıtıcı özelliğe sahiptir (İzoder, 2013).



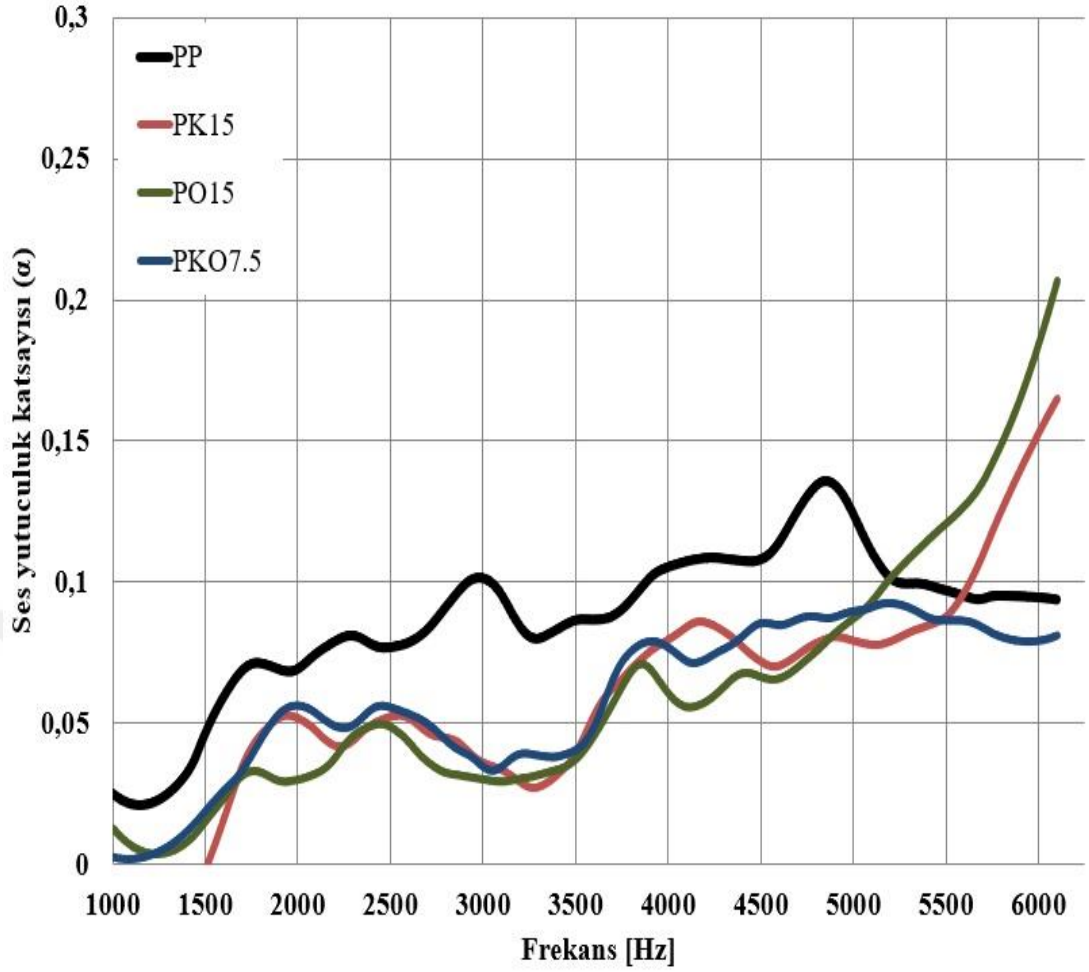
Şekil 4.7 : Odun unu ve kaz tüyü unu takviyeli, PP matrisli biyokompozitlerin ses yutum katsayıları.

Şekil 4.7’de tüm varyasyonların ses yutum katsayıları değışik frekanslarda yer almaktadır. Maksimum ses absorpsiyonu odun unu katkı ılı kompozitlerde 6000 Hz frekanstan sonra elde edilmiştir.



Şekil 4.8 : Ağırlıkça %5 takviye edici lif içeren kompozit varyasyonları.

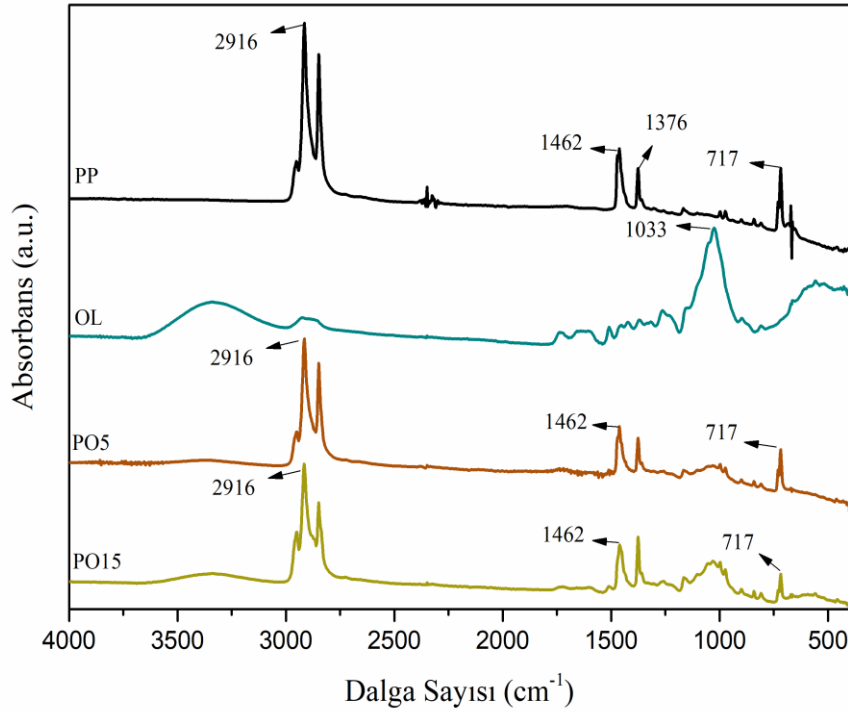
Şekil 4.8’de ağırlıkça %5 oranda odun unu, kaz tüyü ve %2,5 oranında hem kaz tüyü unu, hem odun unu içeren kompozitlerin ses yutum katsayı grafiği yer almaktadır. Ağırlıkça %5 oranda kaz tüyü unu ile takviye edilmiş PP matrisli kompozitin ses yutum katsayısı 3200 Hz frekansı geçtikten sonra önemli ölçüde artmaktadır. Benzer artış ağırlıkça %5 odun unu takviyeli kompozit malzemede de görülmektedir. Ağırlıkça %2,5 odun unu, %2,5 kaz tüyü unu takviyeli kompozitin ses yutum katsayısı kontrol numunesi olan PP polimerine göre önemli bir farklılık göstermemektedir. Ağırlıkça %5 takviyeli kompozitlerde elde edilen en yüksek ses yutum katsayısı değerleri 0,25 ve 0,21 ile sırasıyla, odun unu ve kaz tüyü unu ile takviye edilen kompozitlere aittir.



Şekil 4.9 : Ağırlıkça %15 takviye edici lif içeren kompozit varyasyonları.

Şekil 4.9’da ağırlıkça %15 oranda odun unu, kaz tüyü ve %7,5 oranında hem kaz tüyü unu, hem odun unu içeren kompozitlerin ses yutum katsayı grafiği yer almaktadır. Ağırlıkça %15 oranda odun unu takviyeli, PP matrisli kompozitin ses yutum katsayısı da ağırlıkça %5 oranda odun unu takviyeli kompozit ile benzer bir artış göstermiştir. Ağırlıkça %15 oranda kaz tüyü unu takviyeli, PP matrisli kompozitin ses yutum katsayısı da ağırlıkça %5 oranda kaz tüyü unu takviyeli kompozit ile benzer bir artış göstermiştir. Ağırlıkça %7,5 odun unu, %7,5 kaz tüyü unu içeren kompozitler kontrol numunesi olan PP polimerine göre önemli bir farklılık göstermemekle birlikte ses yutum katsayısı olarak bir miktar düşük özellikler göstermektedirler. Ağırlıkça %15 takviyeli kompozitlerde elde edilen en yüksek ses yutum katsayısı değerleri 0,21 ve 0,17 ile sırasıyla, odun unu takviyeli ve kaz tüyü unu takviyeli kompozitlere aittir.

4.8 FTIR Analizine Ait Bulgular



Şekil 4.10 : OL takviyeli biyokompozitlerin FTIR analiz grafiği.

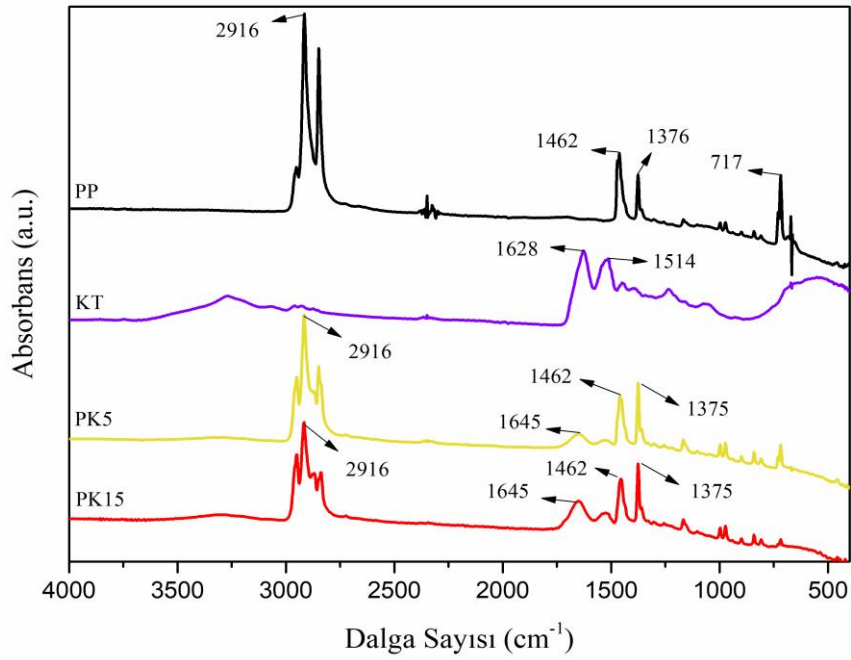
Şekil 4.10'da gösterildiği gibi PP'nin karakteristik gerilme frekansları -CH₂ (C-H titreşimi, amorf), -CH₂ (C-H gerilimi, amorf) ve -CH₂ (C-H gerilimi) sırasıyla 717, 1462 ve 2916 cm⁻¹ bandında gösterilmektedir (Çizelge 4.4) (Jabarin, 1994; Page's 1996).

Çizelge 4.4 : PP polimerinin FTIR analizi, ilgili işlevsel gruplar ve titreşim türleri için kullanılan tepe dalgaları. (Jabarin, Pages)

Dalga Sayısı cm ⁻¹	Fonksiyonel Grup	Titreşim Tipi
2912	-CH ₂ -	C-H gerilimi
1464	-CH ₂ -	C-H gerilimi, amorf
720	-CH ₂ -	C-H titreşimi, amorf

Testere talaşından elde edilmiş odun ununun spektrumunda 3396 cm⁻¹'de güçlü bir tepe noktası görülmüştür (selüloz, hemiselüloz ve lignin varlığı nedeniyle) (Fakhrul ve diğ, 2013). Odun lifinde 1033 cm⁻¹ de (selüloz C-O streç) spesifik bir absorbsiyon

bandı vardır. Ancak bu grup PP spektrumunda görünmemektedir. Bunun yerine PP polimerinde 2916 cm^{-1} 'de (asimetrik CH_2 bandı) güçlü bir absorpsiyon bandı görülmektedir (Lee ve diğ, 2010). Saf PP polimerinin ana spektrumları 973 cm^{-1} ile 2950 cm^{-1} aralığındadır. 1462 cm^{-1} ve 1376 cm^{-1} tepeleri polipropilenin sırasıyla $-\text{CH}_2$ ve $-\text{CH}_3$ bükülme titreşimlerini gösterir (Sagitova ve diğ, 2017).

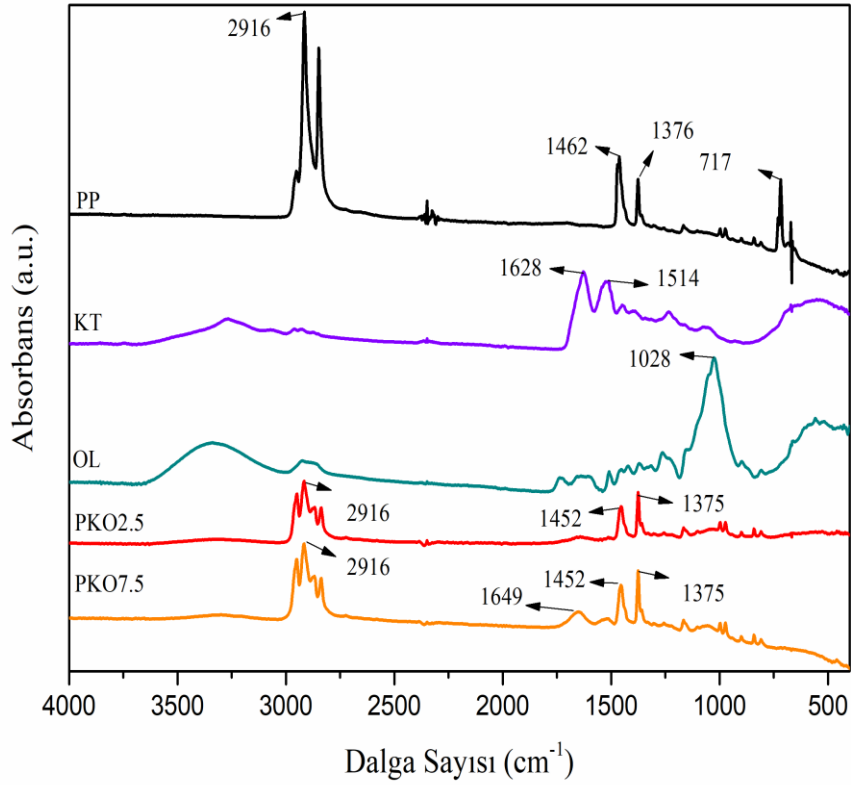


Şekil 4.11 : KT katkılı biyokompozitlerin FTIR analiz grafiği.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de PP polimeri ve tüy unu ile elde edilen kompozit malzemenin FTIR spektrumunda 1375 cm^{-1} görülen tepe noktası kompozit bileşenin etkileşimi ile oluşmuştur ve PP'nin $-\text{CH}_3$ ve $-\text{CH}_2-$ gruplarını etkileyen yapısal değişikliklerinden kaynaklanır (Carrillo ve diğ, 2013). 1043 cm^{-1} bandında hemiselüloz $\text{C}=\text{C}$ gerilmesi ve selüloz zincirlerindeki karbonhidratların $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ ve $\text{C}-\text{O}$ esnemesi anlamına gelmektedir (Çizelge 4.5) (Li ve diğ, 2015; Ha ve diğ, 2016).

Çizelge 4.5 : PP ve OL için FTIR analizi, ilgili işlevsel gruplar ve titreşim türleri için kullanılan tepe dalgaları (Li ve diğ, 2015, Ha ve diğ, 2016).

Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Grup	Titreşim Tipi
2950-2839		C-H gerilimi PP için
1457-1376	$-\text{CH}_2-$	C-H bükülümü, amorf
1043	C-O-C ve C-O grubu	Selüloz ve lignin



Şekil 4.12 : OL/KT katkılı biyokompozitlerin FTIR analiz grafiği.

Çizelge 4.6’da tavuk tüyü unu ve PP polimeri ile elde edilen biyokompozitin çeşitli frekansları yer almaktadır.

Çizelge 4.6 : PP polimeri ve tüy lifi için FTIR absorpsiyon karakteristiği (Carrillo ve diğ, 2013).

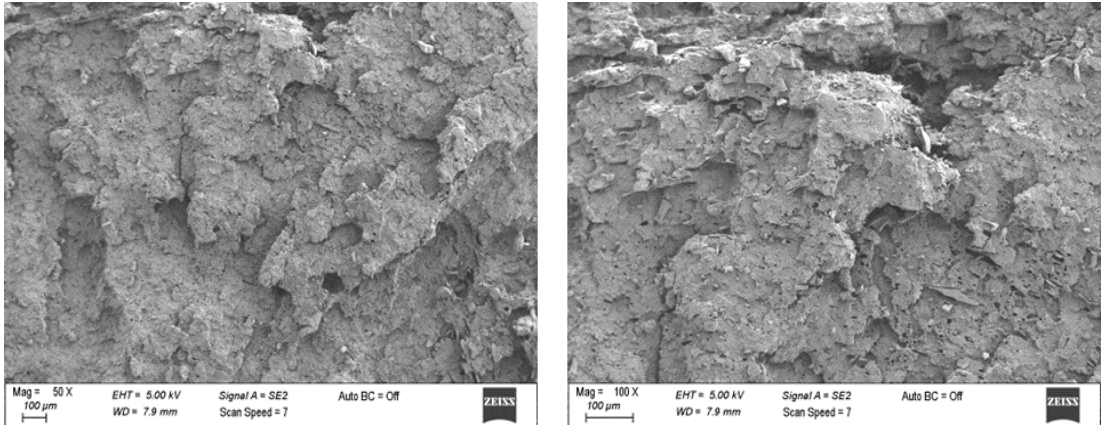
Dalga Sayısı cm^{-1}	Fonksiyonel Grup	Titreşim Tipi
1645	C=O, NH	Tavuk tüyü
1378	-CH ₃	PP
1460	-CH ₂	PP
1358	-CH ₃	PP kompozit

1167 cm^{-1} , 998 cm^{-1} ve 973 cm^{-1} tepe noktaları sırasıyla -CH₃ deformasyon titreşimi ve -CH₃ sallanma titreşimini göstermektedir. 3300 cm^{-1} tepe değeri, işlem görmemiş odun lifi ve ısıtılmış odun lifi takviyeli kompozitlerde -OH selüloz ve lignin grupları anlamına gelmektedir (Aydemir ve diğ, 2019). Saf PP polimerinin spektrumundaki majör tepe noktaları 2922 cm^{-1} , 1458 cm^{-1} ve $1377,3 \text{ cm}^{-1}$ sırasıyla sp^3 C-H esnemesi, CH₂ bükülümü ve CH₃ bükülümüne karşılık gelir. 2917 cm^{-1} ve

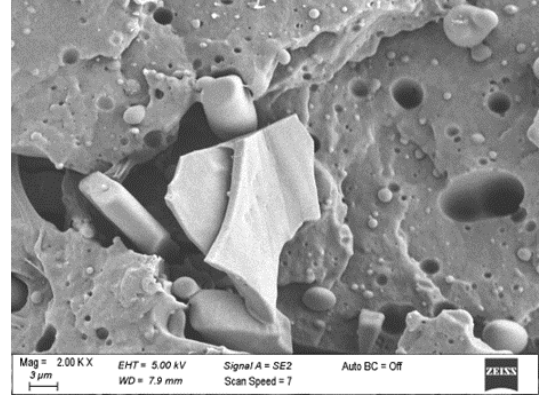
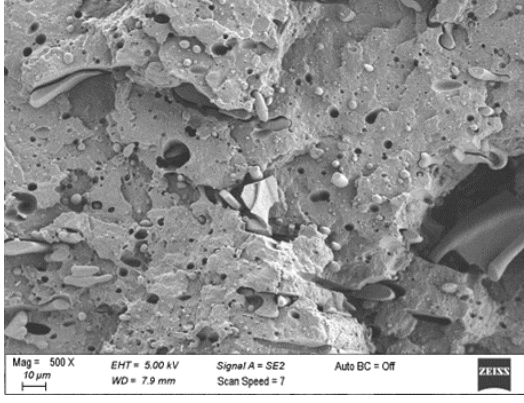
2849 cm^{-1} 'deki tepe değerleri C-H gerilme vibrasyonuna karşılık gelir. 1054 cm^{-1} ve 1032 cm^{-1} 'deki absorbsiyon bantları C-O (ester) bağ vibrasyonlarına karşılık gelir. (Fakhrul ve diğ, 2013).

4.9 Biyokompozit Malzemelerin SEM Analizi

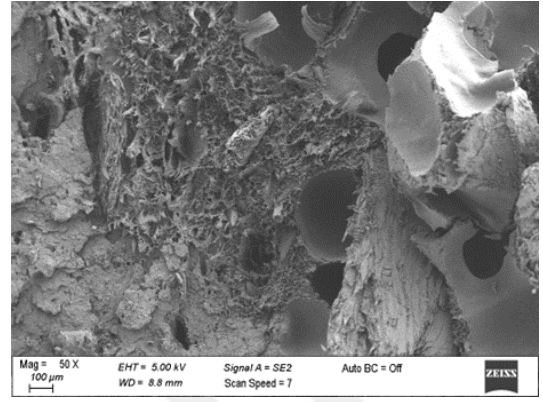
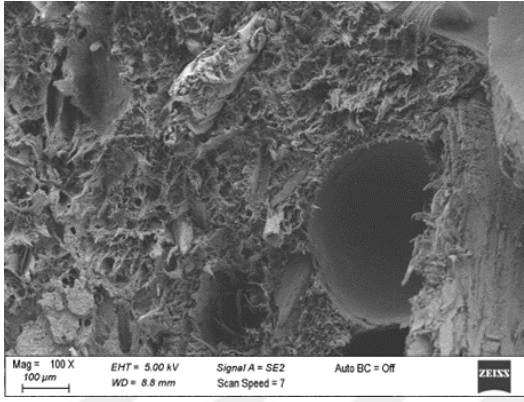
şekil 4.13'te matris malzemesi olarak kullanılan %15 odun unu katkılı PP matrisli biyokompozitin SEM görüntüleri yer almaktadır. PO15 numunesinin SEM görüntüsünden odun ununun PP matris içerisinde iyi dağıldığı şekil 4.14'te gösterilmiştir. şekil 4.14'te anlaşıldığı üzere odun unu liflerinin yüzeyinin temiz olduğu ve matris, fiber yüzeyi arasında adezyon sorunu yaşandığı anlaşılmaktadır. şekil 4.15 ve 4.16'dan anlaşıldığı üzere kaz tüyü liflerinin PP matris içerisinde iyi dağıldığı ve adezyonunun iyi olduğu görölmektedir. Bu bulgular mekanik testlere örtüşmektedir. Constantine ve diğ, (2021) tarafından yapılan çalışmada tüy unu ile takviye edilmiş PP polimer matrisli biyokompozitlerin arasında iyi bir arayüzey adhezyonu görölmüş, malzemelerin birbiriyle uyumlu olduğu ve çevresinde boşluk bulunmadığı tespit edilmiştir. Mengeloğlu ve Çavu, (2019) tarafından yapılan çalışmada odun unu ile takviye edilmiş PP matrisli biyokompozitlerin SEM görüntüleri incelendiğinde odun ununun polimer matris içerisinde iyi bir dağılım göstermediğı bunun nedeninin ise lignoselülozik malzemenin termoplastik malzeme ile arasındaki uyumsuzluktan dolayı meydana geldiğı ifade edilmiştir.



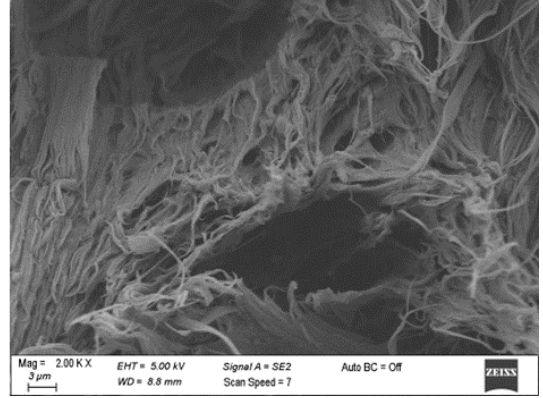
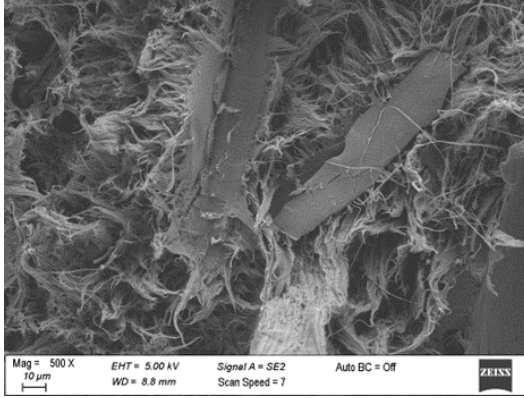
şekil 4.13 : PO15 biyokompozitinin 50 x ve 100 x SEM görüntüleri.



Şekil 4.14 : PO15 biyokompozitinin 500 x ve 2000 x SEM görüntüleri.



Şekil 4.15 : PK15 biyokompozitinin 50 x ve 100 x SEM görüntüleri.



Şekil 4.16 : PK15 biyokompozitinin 500 x ve 2000 x SEM görüntüleri.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

PP matrisli, karaçam ağacından elde edilen odun unu ve kaz tüyü unu takviyeli biyokompozitler çift vidalı ekstrüder, ısıtma plakalı pres ve enjeksiyon ile kalıplama prosesleri ile üretilmiştir. Üretilen biyokompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinin tayini için su alma, kalınlık artış oranı ve yoğunluk testleri uygulanmıştır. Kimyasal bağ gerilimlerinin tespiti amacıyla FTIR analizi ve termal özelliklerinin tespiti için TGA analizleri yapılmıştır. Üretilen biyokompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin tayini için çekme ve eğilme testleri gerçekleştirilmiş, ses yutum katsayısı tespiti ve ısı iletkenlik katsayısı ölçümü yapılarak izolasyon özellikleri incelenmiştir.

Biyokompozit malzemelerin mekanik özelliklerinde kontrol numunesi olan geri dönüştürülmüş PP' ye göre çekme dayanımı, çekme modülü, eğilme dayanımı ve eğilme modülü genel olarak artmıştır. Doğal lifler ile takviye edilmiş biyokompozitlerin % gerinim değerleri geri dönüştürülmüş PP kontrol numunesine göre gözle görülür oranda azalmıştır. Bunun başlıca sebebi kompozit malzeme içerisinde bulunan doğal liflerin polimer malzeme ile adezyonunun düşük olmasıdır.

Odun unu ve hem odun unu hem kaz tüyü unu takviyeli biyokompozit malzemelerde yoğunluğun referans PP polimerine göre artış gösterdiği görülmüştür. Ancak sadece kaz tüyü unu ile takviye edilmiş kompozitlerin yoğunluk değerinin, referans PP polimerine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Biyokompozitlerin ısı iletkenlik katsayısı referans PP polimerine göre dikkate değer bir değişim göstermemiştir. Takviye malzemelerinin ağırlıkça oranının düşük olması bu duruma sebep olarak gösterilebilir. Odun unu ile takviye edilmiş kompozit malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları ortalama %15'lik bir artış göstermişlerdir. Varyasyonlar içerisinde ağırlıkça %5 ve %15 doğal lif takviyeli kompozitlerden takviye oranı yüksek olan varyasyonların tümü daha yüksek ısı iletkenlik katsayısına sahiptir. Dikkate değer bir ısı izolasyon özelliği elde etmek için daha yüksek ağırlıkça oranda takviye malzemesi kullanılabilir.

Biyokompozitlerin ses yutum katsayısı analizinde referans polimeri PP ile benzer ses yutum katsayı grafiği elde edilmiş dikkate değer bir değişim görülmemiştir. Sadece odun unu ve sadece kaz tüyü unu ile takviye edilmiş biyokompozitlerin 5500-6000 Hz aralığında PP'den daha iyi ses yutum özelliği gösterdiği anlaşılmıştır.

PP polimeri petrol türevi bir polimer olması sebebiyle doğal lif takviyeleri kullanılarak PP kullanımı azaltılabilir ve daha çevre dostu malzemeler oluşturulabilir. Bu doğal lif ile takviye edilmiş polimer matrisli kompozitler, geri dönüştürülmüş polimerler ile benzer ve bir çok alanda daha iyi özellikler göstermesi sebebi ile endüstriyel kullanımı mümkün olabileceği ve elde edilen verilerin yapılacak yeni çalışmalar ile daha da geliştirilebileceği öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- Alptekin, C. Ü.** (1986). Anadolu Karaçamı (*Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe)'nın coğrafik varyasyonları varaiabilite geograohique de *Pinus nigra* Arn. ssp. *pallasiana* Lamb. Holmboe. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*.
- Altuntaş, E., Yılmaz, E., Salan, T.** (2017). Yüksek oranda lif dolgu maddesi kullanımının odun plastik kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerine etkisinin araştırılması. *Turkish Journal of Forestry*, 18(3), 258-263.
- Amieva, E. J. C., Velasco-Santos, C., Martínez-Hernández, A. L., Rivera-Armenta, J. L., Mendoza-Martínez, A. M., Castaño, V. M.** (2015). Composites from chicken feathers quill and recycled polypropylene. *Journal of Composite Materials*, 49(3), 275-283.
- Aradoaiei, S., Bahrin, V., Aradoaiei, M., Constantin, M. A., Constantin, L. A., Ionescu, I.** (2020). Analysis of the physical and chemical properties of biocomposite materials obtained from feather flour and polypropylene.
- Avcı A., Akdoğan Eker A., Bodur M.S.** (2021). Yeşil Kompozit Malzemelerin Performans Özellikleri ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(4): 3035-3054.
- Avcı, H., Erdem ÜREYEN, M., Kiliç, A., Erdal SAĞLAM, A., & Demir, A.** (2019). Güç Tutuşur Polipropilen Polimeri ve Lif Uygulamalarında Son Gelişmeler ve Gelecek Beklentileri. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 24(2), 609-632.
- Aral, Y., Aydın, E.** (2007). *Veteriner Hekimler Derneği Dergisi*, 78(3) 31-38.
- Aydemir, D., Alsan, M., Can, A., Altuntas, E., Sivrikaya, H.** (2019). Accelerated weathering and decay resistance of heat-treated wood reinforced polypropylene composites. *Drvna industrija*, 70(3), 279-285.
- Bal, B. C., Ayata, Ü.** (2020). Karaçam ve karakavak odunlarının bazı mekanik özellikleri üzerine karşılaştırmalı bir çalışma. *Turkish Journal of Forestry*, 21(4), 461-467.
- Buckland, R., Guy, G.** (2002). FAO Animal Production and Health Paper, Food & Agriculture Org, No:154, Chapter 9-11, 45-62.
- Burger, N., Laachachi, A., Ferriol, M., Lutz, M., Toniazzo, V., Ruch, D.** (2016). Review of thermal conductivity in composites: Mechanisms, parameters and theory, *Progress in Polymer Science* 61, 1-28.
- Callister, W.D.** (2014). *Rethwisch, D.G., Polimer yapılar. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, 8. Baskıdan Çeviri.* Ankara.: Nobel Yayıncılık.

- Carrillo, F., Rahhali, A., Canavate, J., Colom, X.** (2013). Biocomposites using waste whole chicken feathers and thermoplastic matrices. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 32(19), 1419-1429.
- Clemons, C.** (2002). Wood-plastic composites in The United States: The interfacing of two industries. *Forest Products Journal*, 2, 10-18.
- Constantin, M. A., Constantin, L. A., Aradoaei, S., Aradoaei, M., Bratu, M., Vasile, O.** (2021). Acoustic Properties of a New Composite Material Obtained from Feather Flour and Recycled Polypropylene. *Materiale Plastice*, 58(4), 84-93.
- Çakır, S.** (2021). *Otomotiv sektöründe kullanılan polipropilen esaslı iç trim parçalarının kimyasal köpük yapıcı katkı kullanılarak enjeksiyon kalıplama yöntemi ile üretilmesi ve özelliklerinin belirlenmesi.* (Yüksek Lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Çavdar, A. D.** (2011). Farklı lignoselülozik ve termoplastik maddelerle üretilen odun-plastik kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi, (Doktora tezi). K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J.** (1992). Handbook of the Birds of the World. Vol. 1. Lynx Edicions, Barcelona.
- Ensminger, M.E.** (1992). *The Poultry Industry.* In: M.E. Ensminger (eds), *Poultry Science, Interstate Publishers, Inc.*, No:122 (1992) 1–22.
- EU Climate Action and the European Green Deal** | Climate Action. https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climateaction_en (Erişim Tarihi: 28.05.2021).
- Fakhrul, T., Mahbub, R., Islam, M. A.** (2013). Properties of wood sawdust and wheat Flour Reinforced Polypropylene Composites. *J. Mod. Sci. Technol*, 1, 135-148.
- Farotti, E. ve Natalini, M.** (2018). Injection molding. Influence of process parameters on mechanical properties of polypropylene polymer. A first study. *Procedia Structural Integrity*, 8, 256-264.
- Gao, J., Yu, W., Pan, N.** (2007). Structures and properties of the goose down as a material for thermal insulation. *Textile Research Journal*, 77(8), 617-626.
- Girijappa, Y.G., Ayyappan, V., Puttegowda, M., Rangappa, S.M., Parameswaranpillai, J., & Siengchin, S.** (2020). Plastics in automotive applications. *Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers*, 1-11.
- Güllü, A., Özdemir, A., Özdemir, E.** (2006). Experimental investigation of the effect of glass fibres on the mechanical properties of polypropylene (PP) and polyamide 6 (PA6) plastics. *Materials & design*, 27(4), 316-323.
- Gümüş, E.** (2014). *Poli (etilen tereftalat)-polipropilen harmanlarının kristalizasyon özelliklerinin incelenmesi.* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ha, H. A.T., Son, L.T., Viet, N. T.B.** (2016). Oil Sorbents Based on Methacrylic Acid – Grafted Polypropylene Fibers: Synthesis and Characterization.

Journal of Chemical Engineering and Process Technology. 7 (2): 1-7.
<https://doi.org/10.4172/2157-7048.1000290>.

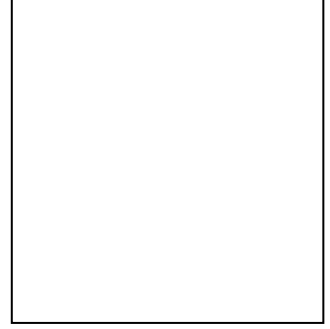
- Hill, K., Swiecki, B., Cregger, J.** (2012). The Bio-Based Materials Automotive Value Chain, Washington, DC 20585, Center for Automotive Research.
- Huda, S. ve Yang, Y.** (2009). Feather fiber reinforced light-weight composites with good acoustic properties. *Journal of Polymers and the Environment*, 17(2), 131-142.
- İzoder İnşaat teknolojisi, Ses yalıtımı** (2013). Erişim: 21 Mart 2022, <https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Bina-ve-Tesisatta-Ses-Yalitimi.pdf>
- Jabarin SA, Lofgren E.A.** (1994). Photooxidative effects of properties and structure of high-density polyethylene. *J Appl Polym Sci* 1994;53(4):411–23.
- Karian, H. (Ed.).** (2003). *Handbook of polypropylene and polypropylene composites, revised and expanded*. CRC press. (2nd. Ed., pp.580) New York, NY.
- Kaymakcı, A., Ayrılmış, N., Akbulut, T.** (2014). Dış cephe kaplamalarına ekolojik bir yaklaşım: Ahşap plastik kompozitler, *7.Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, (ss.3-4). İstanbul: Y.T.Ü, Nisan 3-4.
- Kızıltaş, A., Kızıltaş, E.E., Boran, S., Gardner, D.J.** (2013). Micro-and nanocellulose for the automotive applications, micro and nanocellulose for the automotive applications, SPE automotive composites (11-13 September 2013), Conferences&Exhibition (ACCE), USA
- Kodal, M.** (2009). *Polipropilen ve dolgu maddeleri ile hazırlanan karışımların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Korjenic, A., Petranek, V., Zach, J., Hroudova, J.** (2011). Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources, *Energy and Buildings* 43, 2518-2523.
- Koronis G., Silva A.** (2018). Green Composites for Automotive Applications. Woodhead Publishing, Michigan, USA.
- Krause, B. ve Pötschke, P.** (2016). Electrical and thermal conductivity of polypropylene filled with combinations of carbon fillers. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1779, No. 1, p. 040003). AIP Publishing LLC.
- Kumar, V., Tyagi, L., Sinha, S.** (2011). Wood flour-reinforced plastic composites: a review, *Reviews in Chemical Engineering*, 27, (5-6), 253-264.
- Lee, C. H., Wu, T. L., Chen, Y. L., Wu, J. H.** (2010). Characteristics and discrimination of five types of wood-plastic composites by FTIR spectroscopy combined with principal component analysis.
- Lee, J.W., Lee, J.C., Pandey, J., Ahn, S.H., June, Y.** (2010). Mechanical properties and sound insulation effect of ABS/Carbon- black composites, *Journal of Composite Materials*, 44 (14), 1701-1716.
- Lei, Y., Wu, Q.** (2010). Wood plastic composites based on microfibrillar blends of high density polyethylene/poly(ethylene terephthalate), *Bioresource Technology*, 101(10), 3665-3671

- Li, G., Lao, W., Qin, T.** (2015). Rapid determination of biomass and polypropylene in three types of wood plastic composites (WPCs) using FTIR spectroscopy and partial least squares regression (PLSR). *Holzforschung*, 69 (4): 399-404. <https://doi.org/10.1515/hf-2014-0157>.
- Lotfi A., Li H., Dao D.V., Prusty G.** (2021). Natural Fiber–Reinforced Composites: A Review on Material, Manufacturing, and Machinability. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 34(2): 238–84.
- Maier C.** (1998). Calafut, T., Polypropylene. The Definitive User's Guide and Databook, Plastics Design Library, 3-9.
- Mann G.S., Singh L.P., Kumar P., Singh S.** (2020). Green Composites: A Review of Processing Technologies and Recent Applications. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 33(8): 1145–71.
- Markiewicz, E., Paukszta, D., Borysiak, S.** (2012). Acoustic and dielectric properties of polypropylene-lignocellulosic materials composites. *Polypropylene InTech*, 193-217.
- Marmaralı, A., Ertekin, G., Çay, A.** (2014). Çeşitli Kumaş Parametrelerinin Yuvarlak Örme Sandviç Kumaşların Ses Yutum Özelliklerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(7), 281-286.
- Mehmood, S., Khaliq, A., Ranjha, S.A.** (2010). The use of post consumer plastic waste for the production of wood plastic composites: A Review, *Third International Symposium on Energy from Biomass and Waste Venice*. Venice, Italy, November 8-11.
- Mengeloğlu, F., Çavuş, V.** (2019). Titanyumdioksit'in (nm ve µm TiO₂) odun plastik kompozitlerin bazı mekanik özelliklerine. *Proceeding Book*, 53-63.
- Moechnig, S., Bullions, T., Caba, A., Loos, A.** (2003). Mechanical properties of feather fiber/glass fiber/polypropylene composites. *Proceedings of ANTEC, Society of Plastics Engineers, Nashville*, 2132.
- Mohammed L., Ansari M.N.M., Pua G., Jawaid M., Islam M.S.** (2015). A Review on Natural Fiber Reinforced Polymer Composite and Its Applications. *International Journal of Polymer Science*, 2015(1):1-15.
- Mudu, M.** (2010). *Organik-İnorganik Hibrid Takviyeli Polipropilen Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Narlıoğlu, N., Çetin, N. S., Alma, M. H.** (2018). Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 38-45.
- OGM.** (2015). Türkiye Orman Varlığı–2015. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Orman Genel Müdürlüğü, Orman İdaresi ve Planlama Dairesi Başkanlığı, 32 s., Ankara.
- Oral, O., Dirgar, E.** (2017). Dolgu malzemesi olarak kaz tüyünün kullanım alanları ve özellikleri. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(1), 10-14.

- Özdemir, F., Çot, A., Alma, H.** (2018). Odun plastik kompozit malzemelerin termal ve ısı iletkenliği özellikleri üzerine sepiolit mineralinin etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(2), 205-209.
- Pehlivanlı, Z. O.** (2016). H3BO3/PP Kompozitlerinin Isı İletim Katsayılarının İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 4(3), 91-96.
- Page's P, Carrasco F, Saurina J, Colom X.** (1996). FTIR and DSC study of HDPE structural changes and mechanical properties variation when exposed to weathering aging during Canadian winter. *J Appl Polym Sci* 1996;60(2):153-9
- Patil, A., Patel, A., Purohit, R.** (2017) An overview of polymeric materials for automotive applications. *Materials Today: Proceedings*, 4, 3807-3815.
- Saatçioğlu, F.** (1976). Silvikültür I. silvikültürün biyolojik esasları ve prensipleri. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, 222.
- Salman, S. D., Leman, Z. B.** (2018). Physical, mechanical and ballistic properties of kenaf fiber reinforced poly vinyl butyral and its hybrid composites. In *Natural fibre reinforced vinyl ester and vinyl polymer composites* (pp. 249-263). Woodhead Publishing.
- Salmén, L., Burgert, I.** (2008). Cell wall features with regard to mechanical performance. A review COST Action E35 2004-2008: Wood machining – micromechanics and fracture. *Holzforschung*, 63 (2), 121-129.
- Smith, W.F.** (2006). *Polimer malzemeler. Malzeme Bilimi ve Mühendisliği, 3. Baskıdan Çeviri*. İstanbul.: Literatür Yayıncılık.
- Sofuoğlu, S.D., Kurtoğlu, A.** (2006). Masif ağaç malzemenin işlenmesinde fire oranları. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11: 189-204.
- Sagitova, E.A., Donfack, P., Nikolaeva, G.Y., Prokhorov, K.A., Pashinin, P.P., Nedorezova, P.M., Materny, A.** (2017). New insights into the structure of polypropylene polymorphs and propylene copolymers probed by lowfrequency Raman spectroscopy. *Journal of Physics: Conference Series* (vol. 826, no. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- Şen. N., Şengül, Ö., Uygur, İ.** (2020). Geri Dönüşümü Yapılmış PP ve ABS Prototip Malzemelerin Bazı Mekanik ve Termal Özelliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(1), 246-257.
- Taekema J., Karana E.** (2012). Creating Awareness on Natural Fibre Composites in Design. *Proceedings of International Design Conference*, 12th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia, pp: 1141-50
- Taylor, R.E.** (1995). *Scientific Farm Animal Production*, Fifth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Turan, U.** (2012). *Kolemanit katkılı polipropilen malzemelerin kırılma davranışı*. (Yüksek Lisans tezi). Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

- Vasiliev, V. V., Morozov, E.** (2001). Mechanics and analysis of composite materials: *Elsevier Publ.*
- Wu, H., Zhao, G., Wang, G., Zhang, W., Li, Y.** (2018). A new core-back foam injection molding method with chemical blowing agents. *Materials and Design*, 144, 331–342.
- Yalım, N.** (2010). *Polipropilen (PP)/etilen-propilen-dien-monomer (epdm) termoplastik vulkanizatlarının hazırlanması ve karakterizasyonu.* (Yüksek Lisans tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yamamoto, H., Kojima, Y., Okuyama, T., Abasolo, W.P., Gril, J.** (2002). Origin of the biomechanical properties of wood related to the fine structure of the multi-layered cell wall, *Journal Biomechanical Engineering*, 124 (4), 432-440.
- Zacccone, M., Frache, A., Torre, L., Armentano, I., Monti, M.** (2021). Effect of Filler Morphology on the Electrical and Thermal Conductivity of PP/Carbon-Based Nanocomposites. *Journal of Composites Science*, 5(8), 196.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Sinan TÜRK

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2019-Halen, Bursa Teknik Üniversitesi, Biyokompozit Mühendisliği Anabilim Dalı, Biyokompozit Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **10.2020 – Halen** **Rekorpan Isı Cihazları A.Ş.** Bursa
Makine Mühendisi – Teknik Servis Müdürü
- **09.2015 - 06.2018** **Rekorpan Isı Cihazları A.Ş.** Bursa
Makine Mühendisi - Teknik Servis Müdürü
- **08.2013 - 09.2013** **Pakkens Valf A.Ş.** Bursa
Stajyer Mühendis
- **07.2012 - 08.2012** **Emay Mühendislik** Bursa
Stajyer Mühendis