



TARSUS
ÜNİVERSİTESİ

T.C.

TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK ODUN PLASTİK
KOMPOZİT MALZEMELERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ

AYSUNUR KUTUN KIZMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2023

T.C.
TARSUS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK ODUN PLASTİK KOMPOZİT
MALZEMELERİN TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

AYSUNUR KUTUN KIZMAZ

Danışman: Doç. Dr. SALİH HAKAN YETGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TARSUS - 2023

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma, jüri tarafından Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN
(Danışman)

Üye: Prof. Dr. Funda KAHRAMAN

Üye: Doç. Dr. Hüseyin ŞEVİK

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2023 tarih ve/.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim elemanlarına ait olduklarını onaylıyorum.

.../.../2023

Doç. Dr. Ayşe Ergin ÜNAL
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ETİK BEYANI

Tarsus Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim. 30 /11 / 2023

İMZA

Aysunur KUTUN KIZMAZ

ÖZET

OTOMOTİV SEKTÖRÜNE YÖNELİK ODUN PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELERİN TRIBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Aysunur KUTUN KIZMAZ

Yüksek Lisans Tezi, Otomotiv Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN

Aralık 2023, 59 sayfa

Bu çalışmada, kestane ve geven dolgulu polipropilen kompozit malzemelerin karakterizasyonu ve tribolojik özellikleri incelenerek otomotiv sektöründe tribolojik parçalarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında ağırlıkça % 5, % 10, % 15, % 20 oranlarında kestane ve ağırlıkça %10, %20, %30, %40 oranlarında geven katkılı polipropilen (PP) kompozit numuneler üretilerek pim-disk cihazında, kuru ortam şartları altında 10 N, 30 N ve 50 N yük ve 0,5 m/s, 1 m/s ve 1,5 m/s kayma hızlarında aşınma ve sürtünme deneyleri yapılmıştır.

Sertlik testleri sonucunda en yüksek sertlik değeri 77,4 ile %20 oranında kestane ilaveli PP/20Kestane kompozitinde elde edilmiştir. Çalışma sonucunda kayma hızı ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişki incelendiğinde, kayma hızı 0,5 m/sn' den 1,0 m/sn' ye artırıldığında, sürtünme katsayılarındaki artış PP polimerinde %7,39 oranında, PP/5Kestane kompozitinde %10,48 oranında, PP/10Kestane kompozitinde %9,45 oranında ve PP/15Kestane kompozitinde %7,17 oranında elde edilmiştir. PP/20Kestane kompozitinde ise bu değer %7,51 elde edilmiştir. Aynı şekilde kestane katkılı malzemeler olan PP/5Kestane, PP/10Kestane, PP/15Kestane ve PP/20Kestane için sırasıyla %12,28; %11,53; %10 ve %13,04 oranlarında elde edilmiştir. Sonuçlara göre kayma hızının artması sürtünme katsayısını da arttırmaktadır. Sürtünme katsayısının ayrıca yüke bağlı değişimi de gözlemlenmiş olup yük arttıkça katsayının arttığı sonucu ortaya çıkmıştır. Malzemelerin aşınma oranı üzerindeki etkisi incelendiğinde ise; 0,5 m/sn' den 1,0 m/sn' ye artırıldığında PP polimerinin aşınma oranı %16,39 artmış olup PP/10Geven, PP/20Geven, PP/30Geven ve PP/40Geven için sırasıyla %18,74; %14,28; %23,00 ve %7,96 oranlarında arttığı belirlenmiştir. PP/5Kestane, PP/10Kestane, PP/15Kestane ve PP/20Kestane için sırasıyla %12,28; %11,53; %10 ve %13,04 oranlarında elde edilmiştir. Aynı şekilde yüke bağlı değişim de incelenmiş olup aşınma direncinin yük arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kestane, Geven, Otomotiv, Sürtünme, Polipropilen (PP), Triboloji

ABSTRACT

INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF WOOD PLASTIC COMPOSITE MATERIALS FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

AYSUNUR KUTUN KIZMAZ

Master Thesis, Department of Automotive Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Salih Hakan YETGİN

December 2023, 59 pages

In this study, the characterization and tribological properties of polypropylene composite materials filled with chesnut and geven were investigated and their usability in tribological parts in the automotive industry was investigated. Within the scope of the thesis study, polypropylene (PP) composite samples with 5%, 10%, 15%, 20%, 15%, 20% by weight chesnut and 10%, 20%, 30%, 40% by weight geven additives were produced and wear and friction tests were carried out in pin-disc device under dry ambient conditions at 10 N, 30 N and 50 N loads and 0.5 m/s, 1 m/s and 1.5 m/s sliding speeds.

As a result of the hardness tests, the highest hardness value was obtained in PP/20 Chestnut composite with 77.4. As a result of the study, when the relationship between sliding speed and friction coefficient is examined, when the sliding speed is increased from 0.5 m/s to 1.0 m/s, the increase in friction coefficients is 7.39% in PP polymer and 10.48% in PP/5 Chestnut composite. ratio, 9.45% in PP/10 Chestnut composite and 7.17% in PP/15 Chestnut composite. In the PP/20 Chestnut composite, this value was obtained as 7.51%. Likewise, 12.28% for chestnut-added materials PP/5Chestnut, PP/10Chestnut, PP/15Chestnut and PP/20Chestnut, respectively; 11.53%; Rates of 10% and 13.04% were obtained. According to the results, increasing sliding speed also increases the friction coefficient. The variation of the friction coefficient depending on the load was also observed, and it was concluded that the coefficient increased as the load increased. When the effect of materials on the wear rate is examined; When increased from 0.5 m/s to 1.0 m/s, the wear rate of PP polymer increased by 16.39% and 18.74% for PP/10Geven, PP/20Geven, PP/30Geven and PP/40Geven, respectively; 14.28%; It was determined that it increased by 23.00% and 7.96%. 12.28% for PP/5Chestnut, PP/10Chestnut, PP/15Chestnut and PP/20Chestnut, respectively; 11.53%; Rates of 10% and 13.04% were obtained. Likewise, the change depending on the load was examined and it was observed that the wear resistance decreased as the load increased.

Keywords: Geven, Chesnut, Tribology, Automotive, Wear, Friction, Polypropolen (PP), Tribology

ÖNSÖZ

Bu çalışmada bana yardımcı olan maddi, manevi bilgi birikimini esirgemeyen ve her durumda desteğini benden esirgemeyen saygıdeğer danışmanım Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN' e teşekkür ederim.

Kestane numunelerin temin edilmesinde ve üretiminde desteğini esirgemeyen Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. Halil DEMİRER' e ve Geven numunelerin temin edilmesinde ve üretiminde desteğini esirgemeyen İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünden Prof. Dr. Nadir AYRILMIŞ' a teşekkür ederim. Tez çalışması kapsamında üretim aşamalarında desteğini esirgemeyen Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümünden Doç. Dr. Ferhat ÖZDEMİR' e teşekkür ederim.

Ayrıca, bugünlere gelmemde hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim kıymetli annem Havva KUTUN ve babam Ahmet KUTUN' a çok teşekkür ederim.

Son olarak, hayat yolculuğunda beni yalnız bırakmamayı seçen ve tez süresince desteğini benden esirgemeyen eşim Emre KIZMAZ ve hayatımın her aşamasında motivasyonumu hep diri tutan kız kardeşim Fatma Nisa KUTUN' a teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vi
TABLOLAR LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
GİRİŞ	1
LİTERATÜR TARAMASI.....	7

BÖLÜM I

KOMPOZİT MALZEMELER

1.1. Kompozit Malzemeler	11
1.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı Ve Sınıflandırılması	12
1.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	15

BÖLÜM II

ODUN PLASTİK KOMPOZİTLER

2.1. Odun Plastik Kompozit Malzemeler.....	22
2.2. Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Otomotiv Sektöründe Kullanım Alanı...	23

BÖLÜM III

MATERYAL VE METOD

3.1. PP/Geven/MAPP Kompozit Üretim Aşamaları.....	28
3.2. PP/Kestane Kompozit Üretim Aşamaları	29
3.3. Yoğunluk Testi	30
3.4. Sertlik Testi.....	31
3.5. Aşınma ve Sürtünme Deneyleri	31

BÖLÜM IV

DENEY SONUÇLARI

4.1.	Yoğunluk Testi Sonuçları	34
4.2.	Sertlik Testi Sonuçları	34
4.3.	Aşınma Ve Sürtünme Deney Sonuçları	36
	4.3.1. Sürtünme Katsayısı-Uygulanan Yük İlişkisi	36
	4.3.2. Sürtünme Katsayısı - Kayma Hızı İlişkisi	40
	4.3.3. Aşınma Oranı – Uygulanan Yük İlişkisi	42
	4.4.4. Aşınma Oranı – Kayma Hızı İlişkisi	45
4.4.	Optik Mikroskop Sonuçları	48
	SONUÇ VE ÖNERİLER	51
	KAYNAKÇA	52

KISALTMALAR

- Ar-Ge:** Araştırma Ve Geliştirme
CFRP: Karbon Fiber Takviyeli Kompozit
CNSD: Kestane Testere Tozu
CSF: Kestane Kabuğu Unu
EV: Elektirikli Araç
GCMT: Cam/karbon Mat Termoplastik
IHA: İnsansız Hava Aracı
iPP: İzotaktik Polipropilen
MAPP: Maleik Anhidrit Aşılı Homopolipropilen
MMK: Metal Matrisli Kompozit
MOR: Eğilme Mukavemeti
OPK: Odun Plastik Kompozit
PC: Polikarbonat
PET: Polietilen Tereftolat
PHA: Poli(hidroksialkanoat)
PMK: Polimer Matrisli Kompozit
PP: Polipropilen
PVC: Polivinil Klorür
SEBS: Stiren Etilen Bütadien Stiren
SMK: Seramik Matrisli Kompozit
TS: Kalınlık Şişmesi
WA: Su Testi

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Otomotiv Parçalarında Plastik Malzemelerin Kullanımı.....	5
Tablo 1. 1. Otomobiller İçin Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Özet Tablosu.....	20
Tablo 2. 1. Sürdürülebilir Kompozitlerin Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamaları	23
Tablo 3. 1. Üretilen PP/Geven/MAPP Kompozit Numuneler ve Numune Kodları.....	29
Tablo 3. 2. Aşınma-Sürtünme Deneyi Parametreleri	32
Tablo 4. 1. PP/Geven Kompozitlerin Yoğunlukları.....	34
Tablo 4. 2. PP/Kestane Kompozitlerin Yoğunlukları	34



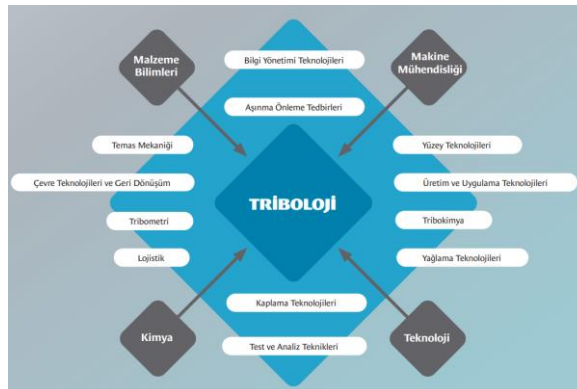
ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Triboloji Biliminin Etkileşimde Olduğu Alanlar	1
Şekil 2. Bir Otomobilin Temel Tribolojik Bileşenleri.....	2
Şekil 3. Otomotiv Polimerlerinin Özellikleri ve Uygulama Alanlarını Gösteren Piramit	4
Şekil 4. Otomotivde Plastik Kullanımı.....	4
Şekil 1. 1. Kompozit Malzemeler	13
Şekil 1. 2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanlarına Örnekler.....	16
Şekil 1. 3. Airbus Firmasının A-380 Modelinde Kompozit Kullanılan Parçalar	17
Şekil 1. 4. Boeing Yapı Malzemeleri	18
Şekil 1. 5. Bir Helikopter Pervane Kanadının Kompozit Yapısı.....	18
Şekil 1. 6. Mercedes Benz A-Class Arabada Cam Elyafın Yerini Almış Keten Elyaf- Polipropilen (PP) Kompozitler	19
Şekil 1. 7. Elektrikli Araçlarda Kompozit Kullanımına Örneklendirme	21
Şekil 2. 1. OPK Malzemelerin Kullanımının Yıllara Göre Büyüme Grafiği	25
Şekil 2. 2. OPK Malzemelerin Farklı Sektörlerdeki Uygulama Alanları.....	26
Şekil 3. 1. Geven Talaşlarının Üretim Aşamaları; (a) Wiley Değirmeni, (b) Sarsak Elek , (c) Kurutma Fırını	28
Şekil 3. 2. PP/Geven/MAPP Kompozit Üretimi.....	29
Şekil 3. 3. Yoğunluk Ölçüm Cihazı.....	31
Şekil 3. 4. Shore A Sertlik Test Cihazı.....	31
Şekil 3. 5. Ç1040 Deney Diskleri	32
Şekil 3. 6. Pim-Disk Aşınma Cihazı.....	33
Şekil 3. 7. Optik Mikroskop Cihazı.....	33
Şekil 4. 1. PP Polimeri ve PP/Geven Kompozitlerin Shore D Sertlik Sonuçları	35
Şekil 4. 2. PP Polimeri ve PP/Kestane Kompozitlerin Shore D Sertlik Sonuçları	35
Şekil 4. 3. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	37
Şekil 4. 4. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	39
Şekil 4. 5. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi.....	41

Şekil 4. 6. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi	42
Şekil 4. 7. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi	44
Şekil 4. 8. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi	45
Şekil 4. 9. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi.....	46
Şekil 4. 10. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi.....	47
Şekil 4. 11. Disk ve Pim'lerin Makro ve Optik Mikroskop Görüntüleri (Kayma hızı: 1,0 m/s –Yük: 30 N)	50

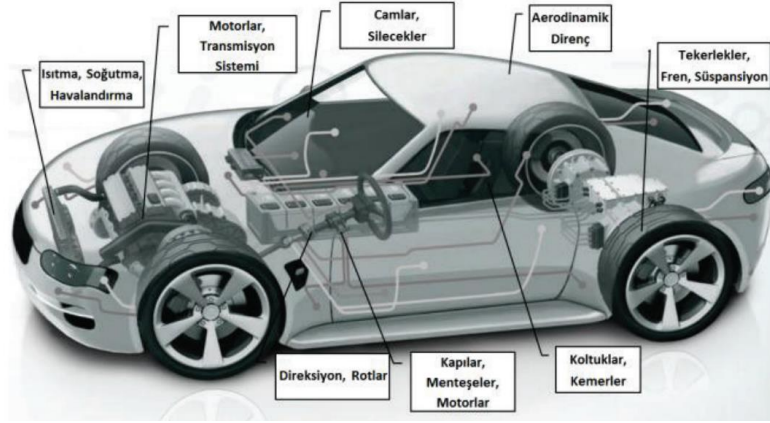
GİRİŞ

Triboloji, görece hareket hâlindeki etkileşimli yüzeylerin sürtünme, aşınma ve yağlama ilkelerini inceleyen bilim ve mühendislik alanıdır. (Baydemir,2021) Şekil 1.' de yer alan görselde triboloji biliminin etkileşimde olduğu alanlara dair bir görsel yer almaktadır. Sürtünme, yüzeyler arasında kayma kuvveti etkisiyle oluşan hareket esnasında yüzeyler arasında meydana gelen dirençtir. Sürtünme kuvvetleri, hareket kabiliyetini sınırlayabilir ve enerji kaybına sebep olabilir. Aşınma; malzeme yüzeylerinde oluşan sürtünme veya çevresel etkenler sebebiyle meydana gelen yıpranma ve deformasyonun bir sonucudur. Aşınmaya maruz kalan parçaların ömrü azalmakta ve performansı düşmektedir. Yağlama ise sürtünmeyi azaltmak, aşınmanın oluşmasını engellemek ve parçaların ömrünü uzatıp performansını olumlu yönde etkilemek amacıyla katı ve sıvı yağlayıcıların özellikleri ile ilgilenmektedir. Triboloji, üretim sistemlerinde ve otomotiv sektöründe oldukça önemli bir yer kaplamaktadır. Otomotiv sektöründe, tribolojik olarak büyük bir öneme sahip olan birçok parça bulunmaktadır. Bu parçalar, rulmanlar, miller, dişliler, frenler ve contalar gibi, yuvarlanma veya kayma hareketine maruz kalan bileşenleri içermektedir. Şekil 2.' de bir otomobilde tribolojik açıdan önemi bulunan parçalara dair örnek bir görsel yer almaktadır. Otomotiv tribolojisinde gerçekleştirilecek olan iyileştirmeler direkt olarak yakıt tasarrufu, parça ömrü, araç dinamiği gibi birçok parametreyi etkileyebilmektedir. Bu sebeple, bu ve bunun gibi sürtünmeye ve aşınma konuları bakımından kritik noktada olan parçaların iyileştirilebilmesi için araştırmacılar yeni malzemeler bulmak, sürtünmeyi azaltıcı yağlayıcılar kullanmak ya da parça tasarımlarında değişiklikler oluşturmak gibi çeşitli çalışmalar ve araştırmalar ile ilgilenmektedirler.



Şekil 1. Triboloji Biliminin Etkileşimde Olduğu Alanlar

Kaynak: (Baydemir,2021)



Şekil 2. Bir Otomobilin Temel Tribolojik Bileşenleri

Kaynak: (Soydan, 2016)

Ayrıca otomotivde üretim ile ilgili bölümlerde de tribolojik açıdan yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Üretim süreçlerinde metal işleme amacıyla kullanılan sıvılar ile ilgili yapılan çalışmaları kapsayan üretim tribolojisi alanında; ürünlerin ortaya çıkmasını sağlayan makine işlemlerinde soğutma ve yağlama amacıyla kullanılan sıvıları incelemek ve iyileştirmek üzerine çalışılmaktadır. Sürtünme ve aşınmayı azaltıcı çalışmalar, hükümetlerin kaynakları daha verimli kullanabilmek ve çevre kirliliğini azaltmak amacıyla yöneldiği hukuksal çalışmalar neticesinde daha çevre bilinci oluşmuş araç tasarımları yapmak da mecburi hale getirdiğinden otomotiv endüstrisi için oldukça mühim bir mesele olmaktadır. Otomotiv endüstrisinde karbondioksit oranını düşürmenin ve enerji verimliliğini arttırmanın bir yolu otomotiv parçalarının tribolojik değerlerini iyi duruma getirmektir. Bu hususta, Shah ve ark.(Shah,2021) yapmış oldukları çalışma incelendiğinde, içten yanmalı denilen benzin ve gaz gibi fosil yakıtların tüketimi ile faaliyet gösteren araç grubunun 2019'da 33,3 gigaton (enerji bazlı) olan karbondioksit emisyonunun, bazı parçalardaki sürtünmelerin azaltılmasıyla 2,6 - 3,6 gigaton karbondioksit tasarrufu sağlanarak karbon ayak izinin düşmesini sağladığı belirtilmektedir. Aşağıda yer alan maddeler bu çalışmaların otomotiv endüstrisinde yürütüldüğü alanlara örnek verilebilirler;

- **Motor ve Yakıt Verimliliği:** Motorlar, yüksek sıcaklık ve basınç koşullarında çalışırken motor parçalarında sürtünme ve aşınma meydana gelmektedir. Triboloji bilimi, motor içindeki hareketli parçaların yüzeylerini optimize etmekte ve daha az sürtünme ile çalışmasını sağlayarak enerji kaybını azaltmayı ve yakıt

verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Aynı zamanda parça ömrüne de olumlu katkı sağlamaktadır.

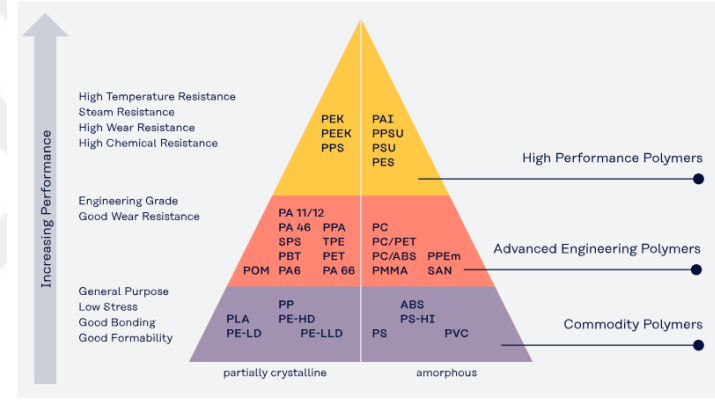
- Aşınma ve Hasar Azaltma: Motor parçaları, frenleme elemanları, süspansiyon sistemi gibi birçok otomotiv bileşeni otomotivde sürüş esnasında en çok kullanılan parçalar arasında yer almaktadır. Bu durumda bu parçaların daha çabuk aşınma ve yıpranmaya maruz kalması anlamına gelmektedir. Doğru malzeme seçimi ve yüzey kaplama teknolojileri gibi birtakım yöntemlerle bu aşınma ve hasarı azaltmaya yönelik çözümler bulunmaya çalışılmaktadır. Bu da Triboloji bilimi doğrudan etkileyen bir durumdur.
- Süspansiyon ve Dönüş Mekanizmaları: Otomobil süspansiyon sistemi, tekerleklerin yoldaki düzensizliklere uyum sağlamasını sağlamaktadır. Triboloji, bu mekanizmaların düzgün çalışmasını ve daha az sürtünmeyle daha iyi yol tutuşu ve sürüş konforunu sağlamayı hedeflemektedir.
- Fren Sistemleri: Frenler, otomobilin güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Triboloji, fren balataları ve disklerin yüzeyleri arasındaki sürtünmeyi en uygun koşula getirerek frenleme performansını artırmayı ve fren sırasında oluşan aşınma ve ısınmayı kontrol etmeyi amaçlamaktadır.
- Yağlama ve Soğutma: Motor ve diğer hareketli parçaların yağlanması, sürtünme ve aşınmayı azaltmak için önemlidir. Triboloji, doğru yağlama sistemlerinin kullanılmasını ve motorun soğutulması için uygun yöntemleri belirlemeyi içerir.

Çağımızda güncelliğinden söz ettirmeye başlayan elektrikli araçlar ile birlikte triboloji biliminin otomotiv sektöründeki süreci de etkilenmiştir. Bir araştırmaya göre, elektrikli araçların sağladığı enerjinin yaklaşık %57'si, sürtünme kaynaklı enerji kayıplarını aşmak için harcanmaktadır. Bu enerji kayıplarının %1'i elektrik motorunda, %3'ü şanzımanda, %41'i yuvarlanma direncinde ve %12'si fren sistemlerinde meydana gelmektedir. (Holmberg & Erdemir, 2019) Elektrikli araçlarda tribolojinin uygulama alanları arasında konfor ve güvenlik cihazları (klima sistemi, silecekler vb.), direksiyon sistemi, elektrik motoru, şanzıman, sabit hız mafsalı, süspansiyonlar, tekerlekler, tekerlek rulmanları ve kinematik enerji geri kazanım sistemleri bulunmaktadır. Bu alanlarda devam eden araştırmalar ve yazılmakta olan makaleler mevcuttur. (Baydemir,2021)

Triboloji araştırmalarında önemli bir rol oynayan materyaller arasında, kompozit malzemeler ve mühendislik plastikleri bulunmaktadır. Kompozit malzemelerin sektörde kendine bu kadar hızlı ve önemli yer edinmelerinde; hafif ve bununla birlikte mukavemet

olarak kabul edilebilir özelliklere sahip olmalarından dolayı ağırlık azaltma hedefine hitap edebilmesi, görsel iyileştirme çalışmalarında kullanılabilmesi ve çarpışmaya karşı dayanıklılığı aracın mevcut ağırlığına çok etki etmeksizin arttırabilmesi gibi nedenler bulunmaktadır. Gelişen malzeme bilimi ve üretim yöntemleri sayesinde çeşitli amaçlar ile birlikte otomotiv sektöründe farklı parçalar için de kendine kullanım alanı oluşturmuştur. Bu amaçlar doğrultusunda otomotiv parçalarının maruz kaldığı aşınma ve sürtünme gibi tribolojik etkenlerin parça üzerinde yarattığı olumsuz durumu en aza indirmek de yer almaktadır.

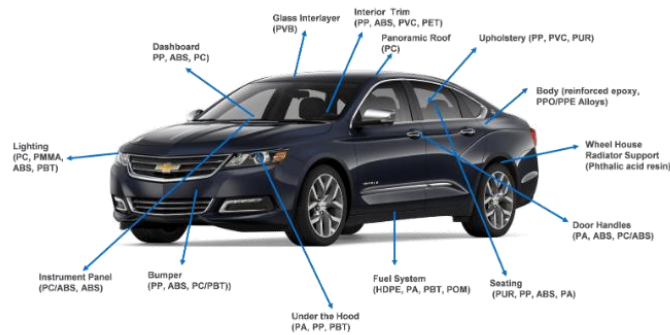
Şekil 3.' de yer alan görselde otomotivde kullanılan polimer malzeme çeşitlerinin özelliklerine göre şematik gösterimi yapılmıştır. Şekilde görüldüğü üzere sektörün her alanında kullanılabilecek özelliklere sahip polimer malzeme türleri yer almaktadır.



Şekil 3. Otomotiv Polimerlerinin Özellikleri ve Uygulama Alanlarını Gösteren Piramit

Kaynak: (Conrad)

Yine Şekil 4.' te ve Tablo 1.' de otomotiv sanayinde kullanılan plastik malzemelerin kullanım alanları ile ilgili çeşitli görseller sunulmaktadır.



Şekil 4. Otomotivde Plastik Kullanımı

Kaynak: (Khemka, 2020)

Tablo 1. Otomotiv Parçalarında Plastik Malzemelerin Kullanımı

Bileşen	Plastik türü	Ortalama ağırlık (kg)
Tamponlar	PS, ABS, PC/PBT	10
Oturma	PUR, PP, PVC, ABS, PA	13
Gösterge Paneli	PP, ABS, SMA, PPE, PC	7
Yakıt sistemi	HDPE, POM, PA, PP, PBT	6
Gövde(paneller dahil)	PP, PPE, UP	6
Kaput Altı Bileşenleri	PA, PP, PBT	9
İç döşeme	PP, ABS, PET, POM, PVC	20
Elektrik parçaları	PP, PE, PBT, PA, PVC	7
Dış kaplama	ABS, PA, PBT, POM, ASA, PP	4
Aydınlatma	PC, PBT, ABS, PMMA, UP	5
Döşeme	PVC, PUR, PP, PE	8
Sıvı rezervuarları	PP, PE, PA	1
Toplam		105

Kaynak: (Patil, Patel, & Purohit, 2017)

Kompozit malzemeler özelinde bu çalışmada odun plastik kompozitler üzerinde durulmaktadır. Odun plastik kompozit malzemeler otomotiv endüstrisinin ağırlık azaltma, yakıt tasarrufu, sürdürülebilirlik, enerji tasarrufu gibi konulardaki isteklerini karşılama konusunda ön plana çıkmaktadır. Odun plastik kompozit malzemelerin imalatında, tercih edilen termoplastik malzeme genellikle polipropilen (PP) olarak belirlenmektedir. PP, mukavemet değerlerin iyi olması sebebiyle lifli katkı maddeleriyle birleştirilerek kompozit malzeme oluşturulmasında uygulama açısından daha başarılı bir malzemedir. Ayrıca PP mevcut plastik türleri içindeki en az ağırlığa sahip plastiklerden biridir. Su geçirgenliği ve kimyasal olarak etkileşimi oldukça az olan bu malzeme, güneşin ultraviyole olarak bilinen zararlı ışınlarına yönelik de iyi değerlere sahiptir. Otomotiv tamponları, kablo izolasyonu, akü kutuları vb. birçok alanda kullanılmaktadır.

Bu bilgiler ışığında tez çalışmasında otomotiv sektörüne yönelik odun plastik kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri incelenecektir. Ağırlıkça oranları % 5, % 10, % 15, % 20 olan kestane ve ağırlıkça %10, %20, %30, %40 olan geven katkılı polipropilen (PP) kompozit numuneler üretilmiş olup fiziksel açıdan değerlendirebilmek için sertlik ve yoğunluk testleri uygulanmıştır. Buna ek olarak tribolojik özelliklerini belirlemek amacıyla da aşınma ve sürtünme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneyleri, 1000 m. kayma mesafesinde; 10N, 30N ve 50N olmak üzere üç farklı yük etkisinde ve 0.5 m/s, 1.0 m/s ve 1.5 m/s olmak üzere üç farklı kayma hızı koşullarında gerçekleştirilmiştir. Karşıt yüzey olarak kullanılmak üzere SAE 1040 çelik malzemeli 30 mm çapa sahip sekiz adet disk üretilmiştir. Deneyler sonucunda ortaya çıkan disk ve pim aşınma yüzeyleri optik mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Çalışmada, PP polimerine

eklenen takviye malzemelerin sürtünme ve aşınma katsayıları üzerindeki etkisi gözlemlenerek otomotiv sektörü için kullanılabilirliği araştırılmıştır.



LİTERATÜR TARAMASI

Andrzejewski ve ark.(Andrzejewski vd.,2023) yaptıkları çalışmada, ahşap atıklarla güçlendirilmiş PP matrisli sürdürülebilir kompozit malzemeler geliştirmişler ve bu malzemelerin çoklu işlemlere karşı hassasiyetlerini dinamik mekanik analiz, termal analiz gibi çeşitli mekanik ve yapısal testler ile incelemişlerdir. Çalışma sonucunda, kompozitlerin reolojik ve mekanik özellikleri üzerinde kayma gerilimi ve sıcaklığın tekrarlanan etkilerinden kaynaklanan bazı etkiler gözlemlenmiştir. Bunlardan ilki, altı kez işleme tabi tutulan OPK malzemenin akışkanlığındaki azalma ve PP matrisin bozunması nedeniyle ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama sırasında akış koşullarındaki değişim olarak verilirken, çıkan sonuçlar incelendiğinde kompozitlerin viskozitesinin değeri düştükçe, PP matrisin gerilme mukavemetinde ve diğer mekanik özelliklerinde bir azalma kaydedilmiştir. Öte yandan, gözlemlenen ikinci etki ise kompozitlerin işleme döngülerinin artmasıyla, OPK malzemelerin mekanik özelliklerinin iyileştiği sonucuna varılması olmuştur.

Kalin ve ark.(Kalin vd.,2023), yaptıkları bu çalışmada ahşap işleme endüstrisinden elde edilen odun unu dolgu maddeleri içeren PP kompozitlerinin tribolojik özelliklerini incelemişleridir. Belirlenen çekme testleri yapılmıştır. Bu sayede mekanik özellikler ortaya konmuştur. Ayrıca, sürtünme ve aşınma davranışları da araştırılmıştır. Ahşap dolgu maddelerinin eklenmesi, tribolojik performansta önemli bir iyileşme sağlamıştır. Sürtünme katsayısının azaldığını ve buna bağlı olarak aşınma direncinde de artış olduğu gözlemlenmiştir. Geri dönüştürülmüş polimerler, geri dönüştürülmemiş polimerlere göre daha zayıf özelliklere sahiptir, ancak ağırlıkça %40 ahşap dolgu maddesi eklenmesiyle sürtünme ve aşınma katsayılarında benzer seviyeler elde edilmiştir. Ayrıca, ağırlıkça %5 oranında ağaç lifi ilavesiyle bile aşınma direnci iyileştirilmiştir. Bu çalışma, sırasıyla %63 ve %43 oranında ahşap dolgu maddesi kullanımının polimer tribolojik performansını iyileştirmek için sürdürülebilir ve uygun maliyetli bir yol olabileceğini ve geri dönüştürülmüş malzemelerin normalde daha zayıf olan özelliklerini telafi edebileceğini göstermektedir.

Mysiukiewicz ve Tomasz Sterzyński (Mysiukiewicz & Sterzyński,2017), yapmış oldukları bu çalışmada odaklandıkları alan OPK malzemelerin tribolojik özellikleridir. PLA ve PP matris bazlı, bitkisel dolgu maddeleri ve kimyasal modifiye edicilerin dahil edildiği iki farklı türde kompozit oluşturmuşlardır. Polipropilen ve poli(laktik asit) bazlı

kompozitlerin değişken odun unu içeriği analiz edilmiş ve tribolojik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Ayrıca, kompozitlerin nem içeriğinin tribolojik ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisi de değerlendiren yazarlar araştırmaları sonucunda, lignoselülozik dolgu maddesinin PP VE PLA bazlı kompozitler üzerinde tribolojik açıdan iyileşmeler sağladığına ulaşmışlardır. Odun unu ile doldurulan polimerik kompozitlerin, saf reçinelere göre daha düşük sürtünme katsayısı sağlayabileceğine ulaşmışlardır.

Doddamani ve ark.(Doddamani vd.,2017) bu çalışmada, pim-disk aşınma testi makinasını kullanılarak kuru kayma aşınma davranışını incelemek için tarımsal yan ürün olan ceviz kabuğunun epoksi matris içinde takviye dolgu maddesi olarak kullanılmasını ele almışlardır. Deneylerde, kayma hızı, normal yük, kayma mesafesi ve dolgu içeriği değişkenleri incelenmiştir. Aşınma oranı, spesifik aşınma oranının yanı sıra sürtünme katsayısı değerleri de analiz edilmiştir. En düşük aşınma oranı değeri, 1,5 m/s kayma hızında ve %30 ağırlıkça dolgu içeriğinde kaydedilmiştir. Kayma mesafesinin Ws üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Daha yüksek ceviz kabuğu yüklemelerinde daha düşük değerlerde aşınma oranı katsayısı ve sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Ayrıca, kompozitlerdeki aşınma mekanizması taramalı elektron mikroskobu kullanılarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, ceviz kabuğunun aşınmaya eğilimli uygulamalarda kullanılabilirliğini desteklemektedir.

Akbulut ve ark. (Akbulut vd.,2015) , bu çalışmada, çam ve kayın ununun, PP, HIPS ve ahşap unu karışımları üzerindeki vicat değerleri değişimlerini incelemişlerdir. Oluşturulan odun plastik kompozitlerin termal, aşınma ve morfolojik özellikleri incelenmiştir. Yapılan deney çalışmaları, çam ve kayın unu katkısının PP' ye daha yüksek vicat değerleri sağladığını göstermiştir. Ancak, HIPS' e yapılan katkının vicat değerlerini düşürdüğü belirlenmiştir. PP/HIPS/ahşap unu kompozitlerinin vicat yumuşama noktasının, HIPS konsantrasyonu arttıkça azaldığı bulunmuştur. Tribolojik özellikleri değerlendirilen kompozitlerde, aşınma oranının uygulanan yük ile doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir.

Kaymakçı ve ark. (Kaymakçı & Ayrılmış, 2014), bu çalışmada, numune olarak kestane kabuğunun ağırlıkça %40, %50 ve %60 içeriğinde maleik anhidrit aşılı PP içeren ve içermeyen kestane kabuğu unu (CSF) kullanılmıştır. Polimerik malzeme olarak yoğunluğu 0,91 g/cm³ ve kristallik derecesi %53 olan PP kullanılmıştır. Kullanılan PP'nin eğilme modülü, çekme mukavemeti ve çekme modülü sırasıyla 1450, 35 ve 1250

Mpa olarak verilmiştir. Bağlayıcı madde olarak ise yoğunluğu 0,91 g/cm³ olan MAPP kullanılmıştır. Çalışmada ASTM D 570 standardına göre kalınlık şişmesi (TS) ve su emme (WA) testleri yapılmıştır. ASTM D 790'a göre eğilme mukavemeti (MOR) ve modülü (MOE) test edilmiştir. ASTM D 683'e göre de çekme testleri yapılmıştır. Yapılan test ve deneyler neticesinde, CSF'nin polipropilen kompozit malzemelerin imalatında yeni takviye edici dolgu maddesi olarak kullanılabilirliği ve kompozitin eğilme ve çekme dayanımlarının CSF katkısı ile azaltılabileceği ön görülmüştür. MAPP'nin eklenmesi ile numunelerin boyutsal stabilitesini ve mekanik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Dolgu içeriği arttıkça kompozitlerin eğilme ve çekme modülleri önemli ölçüde artarken, eğilme ve çekme dayanımları önemli ölçüde azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Akbaş ve ark.(Akbaş vd.,2013), yaptıkları çalışmada, polipropilen (PP) malzemeye atık fındık kabuklarından elde edilen unları farklı oranlarda ekleyerek ve ekstrüzyon, pres kalıplama vb. çeşitli üretim yöntemleri kullanılarak kompozit malzeme üretmişlerdir. Elde edilen kompozit malzemelerin; çekme dayanımı, eğilme direnci, darbe dayanıklılığı ve su emme özellikleri değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar, %30 oranında fındık kabuğu unu kullanılan kompozit malzemelerin en iyi sonucu verdiğini göstermiştir. Üretilen kompozitlerin eğilme direnci ve elastikiyet modülü değerleri, ASTM D6662 standardındaki kriterleri karşıladığını göstermiştir. Araştırma sonuçlarına göre, fındık kabuğu unu ve polimer içeren kompozit malzemelerin mekanik özellikleri, birçok farklı sektörde kullanılabilir nitelikte olduğu öngörülmektedir.

Wu ve ark. (Wu & Liao, 2013), yapmış oldukları bu çalışmada kestane kabuğu lifi (CSF) ve poli(hidroksialkanoat) (PHA) ile CSF ve glisidil metakrilat aşılansız PHA'dan (PHA-g-GMA) hazırlanan kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini değerlendirmişlerdir. PHA-g-GMA/CSF'den oluşturulan kompozitlerin, PHA/CSF'ye kıyasla fark edilir derecede üstün mekanik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmada kestane kabuğu lifi takviyeli PHA/CSF kompozitlerinde FB proliferasyonu ve kollajen üretiminin PHA-g-GMA/CSF kompozitlerinden daha iyi değerlere sahip olduğu bulunmuştur. Ek olarak, PHA/CSF ve PHA-g-GMA/CSF kompozitlerinin, saf PHA'dan biyolojik olarak daha parçalanabilir olduğu sonucuna varılarak çevreci özelliği vurgulanmıştır.

Asori (Ashori,2008), hazırladığı gözden geçirme raporunda, odun plastik kompozit (OPK) malzemelerin sürdürülebilirliği hakkında önemli bilgiler sunmuştur. Polimerler için dolgu ve takviye malzemesi olarak bitki liflerinin pazardaki büyüme hızının oldukça yüksek olduğunu vurguladığı çalışmasında birçok farklı sektörlerden örnekler sunarak, odun plastik kompozit malzemelerin sıklıkla tercih edildiğini ortaya koymuştur. Özellikle otomobil üreticileri için karbon salınımını azaltma ve sürdürülebilirlik önemli olduğundan, OPK malzemelerinin kullanımının önemi daha da artacaktır, bu da çalışmanın bir sonucudur.



BÖLÜM I

KOMPOZİT MALZEMELER

Bu bölümde, malzeme ve kompozit malzeme kavramları açıklanmakta olup, seramik, metal ve polimer matrisli kompozit malzemelere değinilmektedir.

1.1. Kompozit Malzemeler

Karma malzemeler olarak da bilinen kompozitler, metal, seramik ve polimer gibi iki ya da daha fazla malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşan malzemelerdir. Bu malzemeler, biri matris, diğeri ise takviye malzemesi olarak adlandırılan en az iki farklı materyalden oluşur. Takviye edilmiş malzeme ise genellikle lifler veya parçacıklar içeren kompozit bir formdur. (Muhidin, 2021)

Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler çoğunlukla kendi özelliklerinden çok ödün vermemektedirler.(Rosato, 1997) Kompozit malzeme ile tasarımında bir malzemenin tek başına ortaya koyamayacağı özelliklere ve kendisini oluşturan malzemelerden daha iyi özelliklere sahip olan bir malzemenin üretilmesi amaçlanır. Bu sayede; hafif, dayanıklı ve yüksek mukavemete sahip yapı malzemeleri ile sert ve etkili darbelerle karşı dirençli malzemeler üretebilmek mümkün hale gelir. Kompozit malzemeleri üstün özellikleri yani avantajlı noktaları ve dezavantajları konusunda incelemek gerekirse kompozit malzemeler avantaj sağladıkları özellikler bakımından;

- Yüksek dayanıklılık değerleri,
- Yüksek katı davranış özelliği,
- Yüksek aşınma direnci,
- Korozyona karşı gösterilen ömür uzunluğu, dayanıklılık değerlerinin fazla olması,
- Sıcaklıkta yüksek değerlere karşı dayanıklı karakterizasyon,
- Kimyasal tepkimelere karşı dayanıklılık,
- Sert hava koşulları ve güneşin zararlı etkisine karşı dayanım sağlamak,
- Ağırlıkta diğeri malzemelere kıyasla daha hafif,
- Şekillendirilebilir bir yapısının olması,
- Isı ve elektrik iletkenliği,
- Titreşim sönümlenme gibi konularda üstün özelliklere sahiptir. (Deniz,2005)

Kompozit malzemelerin dezavantajları ise;

- Kompozit malzemelerin üretiminde belirli bir standartın olmaması, örneğin aynı kompozit malzeme için bile farklı mukavemet özelliklerinin görülebileceği bir olumsuzluk olarak kabul edilebilir.
- Üretim sürecinin hem maliyet hem de üretim süreci açısından zorlayıcı olması,
- Plastik türevli olmasından dolayı geri dönüşüm özelliğinin genelde bulunmaması, yani başka bir deyişle çevreci olmaması,
- Son olarak maliyetinin birçok farklı sebepten dolayı yüksek olması (Deniz,2005)

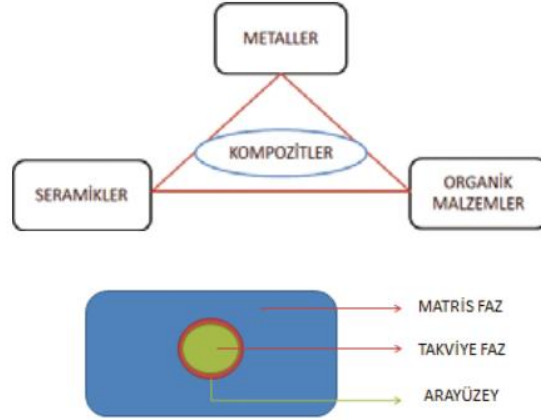
kompozit malzemelerin dezavantajları arasında yer almaktadır.

Kompozit malzemelerin, avantaj ve dezavantaj sağladığı özelliklerini otomotiv sektörü için incelemek gerekirse;

- Kompozit malzemelerin ağırlığı az olduğundan dolayı ürünün hafif olmasına yardımcı olur. Bu durum da sektörün ağırlık azaltma hedefine yardımcı olur.
- Ağırlıkça azaltılmış olması aynı zamanda karbon salınımına ait oranları da düşürür.
- Sektörde parça ömrünü düşüren ve istenmeyen bir durum olan titreşimi azaltıp, sönümleyebilir bir malzemedir.
- Titreşimdeki azalma aynı zamanda gürültü de azalma meydana gelmesini de sağlar. (Gülmez,2018)

1.2. Kompozit Malzemelerin Yapısı Ve Sınıflandırılması

Kompozit malzemeler, Şekil 1.1.'de görüldüğü üzere matris ana fazı ve bunun içine dağılmış takviye elemanlardan oluşur. Genellikle takviye ve ana malzeme olarak cam, seramik, plastik ve metaller tercih edilmektedir. Kompozit malzemeler uzun yılların verdiği araştırma ve geliştirmelerin sonucunda belirlenen çeşitli sınıflardan oluşmaktadırlar. Kompozit malzemeler, matris malzemesine göre ve takviye ediciye göre olmak üzere iki ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Matris malzemeler, kompozit malzemenin kullanım amacına ve üretim tekniğine göre metal, seramik veya polimer malzemelerden oluşabilir. (Kaya,2016)



Şekil 1. 1. Kompozit Malzemeler

Kaynak: (Kaya, 2016).

Metal matrisli kompozit malzemeler (MMK), birtakım isterleri karşılamak için en az biri metalden oluşan iki veya daha fazla farklı malzemenin belli bir sistem doğrultusunda bağ kurması sonucu oluşan yeni malzemelerdir. MMK' ler iki veya daha fazla bileşenli olmayan alaşımlarla elde edilemeyen birtakım özelliklerin, bir metal matris içinde sürekli veya kısa fiber veya partikül şeklinde takviye fazı eklenerek elde edilmesi amacıyla oluşturulan malzemelerdir. MMK' ler yoğunlukta düşük değerlere sahiptir. Özellikle darbe dayanımı konusunda yüksek dayanıklılık, yüksek yüzey sertliği ve bununla birlikte yüzey çatlaklarına karşı düşük hassasiyet, sıcaklık değerlerinin değişimine karşı hassas yapıya sahip veya başka bir deyişle ısı şoka karşı düşük hassasiyet, elektriksel ve ısı iletkenlikte bir adım önde olması gibi birçok açıdan avantajlı bir malzeme grubudur. MMK' ler metaller ile karşılaştırıldığında oransal olarak daha yüksek korozyon dayanımına ve daha fazla yoğunluğa sahiptirler. Yüksek sıcaklıklarda bile bozunmaya dayanıklı olmaları ve bunun gibi birçok özellik açısından daha avantajlıdır.(Gürbüz,2010) Metal matrisli kompozitlerde genellikle seramik temelli takviyeler kullanılmaktadır. Bu sayede malzemelerin kırılma dayanıklılığı artırılarak aşınma direnci iyileştirilmiş olur.(Taşkıran,2018)

Seramik matrisli kompozit (SMK) malzemeler; yüksek sıcaklığa karşı dayanıklı ve ağırlıkça hafif oldukları için son derece kullanışlıdır.(Kaya,2016). SMK' lar; yüksek dayanıklılık, sertlik ve sıcaklık stabilitesi gibi seramik özelliklerini, takviye fazının yapısına bağlı olarak, ki burada takviye yapısını etkileyen özellikler tokluk, işlevsellik

gibi özelliklerdir, birleştirir. SMK' lar özellikleri nedeniyle birçok sektörde kullanılmaktadır. Bu sektörlere başlıca örnekler olarak; nükleer enerji, havacılık, otomotiv ve inşaat endüstrileri verilebilir. Ayrıca, genellikle üretim proseslerinde kullanılan kesici takımlarda, sağlık sektöründe sıklıkla diş protezlerinde, termal bariyer kaplamaları gibi alanlarda kullanımda tercih edilmektedir.

Üretim süreçlerinde daha kullanışlı olması ve maliyetinin diğer malzemelere göre daha ekonomik olması nedeniyle Polimer Matrisli Kompozitler (PMK), genel endüstri içinde en sık tercih edilen kompozit türleridir. (Çağar,2021). Gerilme kuvveti, sertliği, kırılmalara direncinin fazlalığı, aşınmaya karşı dirençli olması yani aynı zamanda korozyona ve yorulmaya dayanıklılığı, ki bu aynı zamanda malzeme ömrünün uzun olması anlamına gelmektedir, gibi olumlu özellikleri bulunmaktadır. PMK' lerin dezavantajları ise ısı karşısında dayanıklılıklarının düşük ve termal genleşmelerinin yüksek olmasıdır. Kullanım alanları arasında uzay araçları ve uçak yapıları, otomotiv sektörü, elektronik paketleme malzemeleri gibi çeşitli örnekler bulunmaktadır. PMK' ler, termoset ve termoplastik matrisli kompozitler olmak üzere iki gruba ayrılır. Termoset matrisli kompozitleri, polimer moleküllerin güçlü kovalent bağlarla bağlı olması sebebiyle plastik deformasyona uğratmak kolay değildir. Polimer zincirlerinin düzenlenmesi herhangi bir simetriye uygun olmadığından, tüm termoset polimerler amorf yapıya sahiptir. Termosetler nitelikleri bakımından incelendiğinde, akışkanlığa karşı düşük dirence sahip sıvı reçine olmasından dolayı kompozit üretimi çok kolay olmaktadır. Bu üretim kolaylığını sağladığı için de sıklıkla sektörlerde tercih edilmektedir. Kimyasal açıdan direnci düşüktür, reaksiyona girmektedir. Termoplastik, sıcaklık verildiğinde homojen bir sıvı haline gelen ve sıcaklığının derecesi düşürüldükçe sertleşen, polimer reçinelerinden oluşturulan bir plastik türüdür. Camsı yapısını soğudukça elde eden termoplastikler aynı zamanda kırılma potansiyeli de bu sebepten oluşur. Termoplastikler bu özelliklerinin yanı sıra defalarca kez ısıtılma ve soğutulma işlemlerine maruz kalabilir, şekillendirilebilir ve hatta çok düşük derecelerde muhafaza dahi edilebilir. Bir başka deyişle, cam geçiş sıcaklığının üzerinde kalıplanabilen ve ısıyı düşüktükçe normal haline geri dönen, bir bakıma geri dönüştürülebilir plastiklerdir. Matris olarak en yaygın kullanılan mühendislik termoplastikleri maddeler halinde verilmektedir;

- Acetals
- Acrylics – PMMA

- Acrylonitrile-ButadieneStyrene – ABS
- Cellulosics
- Fluoropolymers - PTFE , Teflon
- Polyamides (PA) - Nylons, Kevlar
- Polysters – PET
- Polyethylene (PE) - HDPE, LDPE
- Polypropylene (PP)
- Polystyrene (PS)
- Polyvinyl chloride (PVC)

Termoplastik kullanımı ile daha baskın ve bek fakat bununla birlikte daha düşük tokluk elde edilir. Yani malzemenin süneklik ve kırılma davranışı değişir. Bu, polimerde elastik şekil değiştirme esnasında zincirdeki kovalent bağlar kopmaması ve zincirlerin birbiri üzerinde kayması anlamına gelir. Gerilme ortadan kalkar kalkmaz, şekil değiştirme de ortadan kalkar ve malzeme eski durumuna gelir. (Can, 2020) Camlaşma sıcaklığı adı verilen durumda zincir molekülleri belli bir sıcaklık değerinin üzerinde enerji kazanırlar. Bu sayede malzeme elastiklik özelliği kazanır ve bu da şekillenmesinin daha kolay olmasını sağlar. Malzeme yapısı termo-elastik duruma geçer ve malzeme sünekleşir.

1.3. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Kompozit malzemelerin özellikleri hakkında verilen bu bilgiler doğrultusunda otomotiv, denizcilik, petrol ve spor endüstrileri, havacılık ve uzay sanayisi gibi birçok farklı sektörde bu malzeme türü kullanım için öncelikli hale gelmeye başlamıştır. Kompozit malzemelerin günümüzde bu kadar farklı sektörde kendine yer edinmiş olmasının sebepleri arasında asırlar öncesine dayanan tarihi geçmişi de yer almaktadır. Kompozit malzemelerin 2. Dünya savaşından birkaç dönem önce yaygın şekilde kullanılmaya başladığı bilinmektedir. (Sönmez, 2009) Kompozit malzemeler bu tarihi sürecinde birçok konuda insanlığa yardımcı olabilmiş ve kullanım alanını süreç içerisinde genişletmiş malzemelerdendir. Eski zamanlarda kompozit malzemelerden evlerin yapımında faydalanılmıştır. Saman takviyeli kerpiç bloklar şeklinde kullanılarak evler

inşa edilmiştir. Günümüzde ise birçok malzemeden avantajlı olması nedenleri de göz önünde bulundurulduğunda geleneksel malzemelerin kullanımda yetersiz kaldığı noktalarda özel olarak tercih edilen malzemeler olmaktadır. 1930'lu yıllarda Amerika'da cam elyafın keşfi, modern kompozit üretimini başlatmış ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemeler dünya pazarında yer bulmuştur. Malzeme bilim açısından değerlendirildiğinde, kompozit malzemeler nispeten yeni ve ileri teknoloji ürünleri olarak kabul edilebilir. Bu malzemenin en belirgin özelliklerinden biri, homojenliğinin düşük seviyede olmasıdır.(Kaya, 2016)

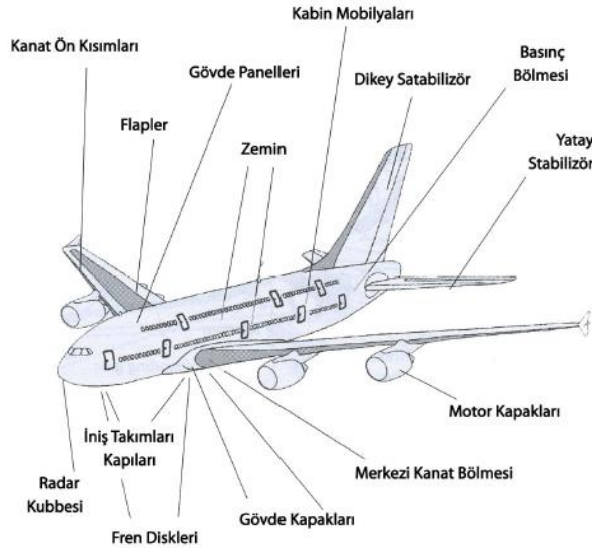
Kompozit malzemelerin özellikleri hakkında verilen bilgiler doğrultusunda hizmet sektörünün geniş olduğu görülmektedir. Otomotiv, savunma, havacılık, petrol ve spor endüstrileri, uzay sanayi gibi birçok farklı sektörde bu malzeme türü kullanım için öncelikli hale gelmeye başlamıştır. Bir bakıma sektör geliştirilmiş yenilikçi malzemeler aramaktadır. Şekil 1.2.' de kompozit malzemelerin farklı sektörlerde kullanım alanlarına dair görseller yer almaktadır.



Şekil 1. 2. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanlarına Örnekler

Kaynak: (Erdil, 2020)

Bilinçli bir şekilde kompozit malzeme üretimine odaklanma ve bilimsel metodlarla yeni malzemelerin geliştirilmesi, ancak 1940'larda cam elyaf takviyeli plastiklerin kullanılmasıyla başlamıştır. Bu dönemde radar kubbeleri, bu yeni malzemenin önemli ilk uygulamalarından biri olarak öne çıkmıştır. 1950'lerde ise uçak pervaneleri kompozit malzemelerden üretilmeye başlanmıştır.(Aran,1990)

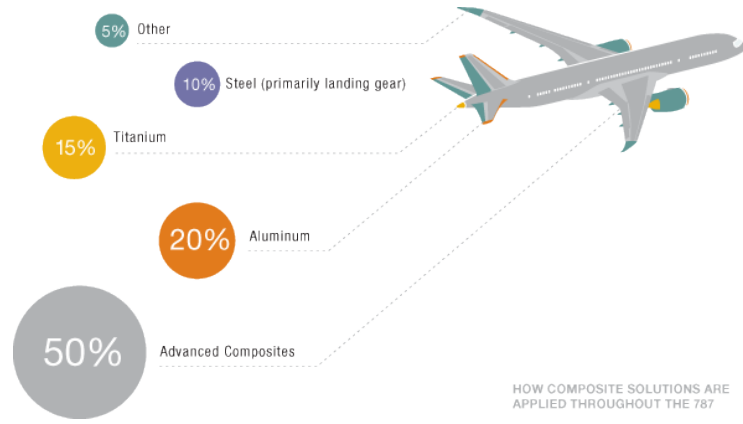


Şekil 1.3. Airbus Firmasının A-380 Modelinde Kompozit Kullanılan Parçalar

Kaynak: (Gay,2007)

Havacılık sektöründe, 1980'lerden itibaren Concorde adı verilen yolcu uçaklarında kompozit malzeme kullanımına başlanmıştır. Günümüzde Boeing 787 ve Airbus A350 uçaklarının %50'si kompozit malzemelerden üretilmektedir. Uzay araçlarında ve roketlerde ise kompozit malzemelerin kullanılması ile menziller önemli oranlarda artmıştır. Ayrıca savaş uçakları, helikopterler ve insansız hava araçları (İHA)'larda da kompozit malzemeler yoğun olarak tercih edilmektedir. Şekil 1.3.' de Airbus firmasının ürettiği A-380 modelinde kompozit malzemelerin kullanıldığı parçalara dair örnekler verilmektedir.

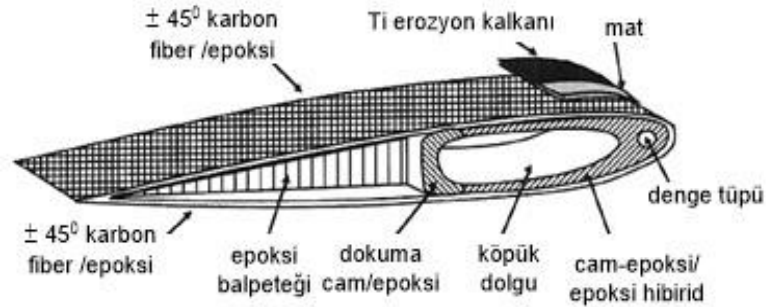
Şekil 1.4.' de dünya çapında havacılık konusunda kendini ispat etmiş Boeing firmasının ürettiği uçaklarda kullandığı malzeme dağılımına dair bilgiler sunulmaktadır. Şekil incelendiğinde çok büyük bir oranda geliştirilmiş kompozit kullanımının olduğu görülmektedir. Bu da havacılık endüstrisinde en çok kullanım oranına sahip malzemeler arasında kompozit malzemelerin olduğu varsayımının yapılması konusunda destek sunmaktadır.



Şekil 1. 4. Boeing Yapı Malzemeleri

Kaynak: (Hale, 2008)

Şekil 1.5.' de bir helikopter parçasına ait kompozit malzeme dağılımı gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde, kompozitlerin hafiflik ve dayanım özelliklerinin helikopter pervanesinde kompozit malzeme kullanımının ön plana çıkmasına yardımcı olduğu anlaşılabilir.



Şekil 1. 5. Bir Helikopter Pervane Kanadının Kompozit Yapısı

Kaynak: (Beşergil, 2018)

Kompozit malzemeler, avantajlı özelliklerinden dolayı sıklıkla tercih edilmekte ve geniş bir kullanım alanına sahip olmaktadır. Bu alanların başlıcalarından birisi de otomotiv sektörüdür. Şekil 1.6.' da Alman otomobil devlerinden olan Mercedes-Benz'in A-Class otomobil modelinde kullanılan kompozit malzemenin sektördeki yerine bir örnek sunulmaktadır.



Şekil 1. 6. Mercedes Benz A-Class Arabada Cam Elyafın Yerini Almış Keten Elyaf-Polipropilen (PP) Kompozitler

Kaynak: (İşlek, 2020)

Kompozit malzemeler, otomotiv endüstrisinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bunun sebebi olarak kompozit malzemelerin diğer malzemeler ile kıyaslandığında daha hafif olması ve aynı zamanda dayanıklı olması gibi avantajlı özellikleri gösterilebilir. Otomotiv endüstrisi detaylı bir şekilde analiz edildiğinde, kompozit malzemelerin geniş çapta kullanıldığı gözlemlenmektedir. Özellikle karbon fiber takviyeli polimerler (CFRP) gibi yüksek dayanıklılığa ve düşük ağırlığa sahip materyaller, otomobil gövdeleri ve karoser parçalarının üretiminde kullanılır. Kaputlar ve tavan panelleri için otomotivde sıklıkla metal malzemelerin kullanıldığı görülür ancak bu malzemeler yerini kompozit malzemeler ile değiştirdiğinde aracın toplam kütlesinde bir azalma ve aerodinamik özelliklerinde iyileşme gözlemlenecektir. Kompozitler, otomotivde en önemli aşamalarda olan, aracın tabiri caizse konforunu belirleyen, titreşim sönümlenme sistemi olan süspansiyon sisteminin daha efektif ve ağırlıkça hafif olmasına destek sağlamak amacıyla süspansiyon parçalarında da kullanılmaktadırlar. Kompozit malzemeler, yüksek sıcaklıklarda sergiledikleri olumlu performans ve düşük ağırlığı dolayısıyla, fren diskleri ve fren balatalarında kullanımda tercih edilmektedir. Ayrıca, özellikleri sayesinde aracın frenleme kabiliyetine de olumlu katkıda bulunmaktadır. Otomobillerde alternatif yakıtların kullanılması için kompozit malzemelerle yapılan hafif ve güvenli yakıt depoları geliştirilmektedir. Kompozit malzemelerin belki de otomotiv sektöründe en çok kullanım alanı iç mekan tasarımı ve kaplama parçalarıdır diyebiliriz. Otomotiv de ağırlık azaltmaya yönelik yapılan çalışmalarda araç iç tasarımında kompozit malzemeler kullanılmakta ve daha çekici görüntüler elde edilebilmektedir. Tablo 1.1. incelendiğinde; Kumar ve ark. (Kumar.A, Belagali, & Bhaskar, 2014), yolcu güvenliği için otomotiv tamponu üzerinde yaptıkları

çalışmada tampon tasarımı malzemesi olarak köpük eklentili çelik ve bal peteği takviyesi kullanmışlardır. Bambach (Bambach, 2014), araç çatı yapısında karbon fiberlerin çeliğe bağlanması ile oluşturulan kompozit malzemeyi kullanarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda mukavemet/ağırlık oranında iki kat artış elde etmiştir. Hyoung ve ark. (Kim, Choi, & Kim, 2014) alt kol otomobil parçası üzerinde karbon kompozit malzeme kullanarak yaptıkları çalışma ile a sertlik ve burkulma mukavemetinde iki kat artış elde etmişlerdir. Peterson ve ark. (Pettersson, Motte, & Bjärnemo, 2014), otomobil parçasında karbon kompozit malzeme kullanarak yaptıkları çalışma sayesinde ağırlıkta %60 oranında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Kim ve ark. (Kim, Choi, & Kim, 2014), otomotiv alt kol parçasında karbon-epoksi kompozit malzeme kullanarak yaptıkları çalışma sonucunda Sertlik ve burkulma mukavemetinde iki kat artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Do-Hyoung Kim ve ark.'nın (Kim, Kim, & Kim, 2015), çarpma kirişlerinde yaptıkları çalışmada GCMT malzemesi kullanılmış ve deneyler sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde ağırlıkta %33 azalma oluşurken aynı zamanda daha iyi darbe gücüne ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Tablo 1.1.'deki referans alınan çalışmalar ışığında kompozit malzemeler ile üretilen ürünlerin ağırlık azalma ve mukavemet yönündeki güçlü etkileri neticesinde otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılacağı öngörülmektedir.

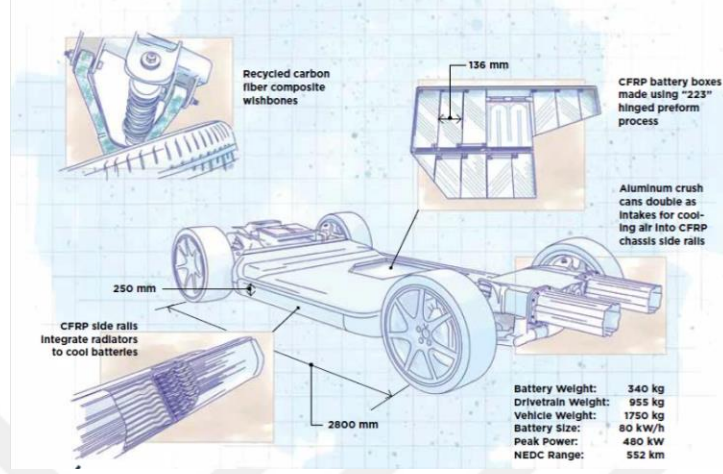
Tablo 1. 1. Otomobiller İçin Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Özet Tablosu

Yazarlar	Uygulama	Malzeme/ler	Sonuçlar
P.Kumar et al.(2014)	Otomobil tamponları	Köpük ve petek katkılı çelik	Üstün güç/ağırlık oranı
Bambach et al.(2014)	Çatı Konstrüksiyonu	Karbon fiberin çeliğe bağlanması	Güç/ağırlık oranında iki kat artış
Hyoung et al.(2014)	Alt salıncak	Karbon kompozit	Sertlik ve burkulma mukavemetinde iki kat artış ve %60 daha az ağırlık
Pettersson et al.(2013)	Otomobil bileşeni	Karbon kompozit	Sertlik ve burkulma mukavemetinde iki kat artış ve %60 daha az ağırlık
Kim et al.(2014)	Alt salıncak	Karbon-epoksi kompozit	Sertlik ve burkulma mukavemetinde iki kat artış
DoHyoung Kim et al.(2015)	Çarpma kirişi	Cam/karbon mat termoplastik	Ağırlıkta %33 azalma ve daha iyi darbe dayanımı

Kaynak: (Das, Wazeer, Abeykoon, Sinha, & Karmakar, 2023)

Sektörün şu an gözbebeği haline gelmiş olan elektrikli ve hibrit araçlarda ağırlığın azalması batarya ömrü açısından kritik öneme sahiptir. Bugün, elektrikli araçların (EV) birçoğu 400-640 km arasında bir menzile sahiptir. Şarj istasyonları her yerde yaygın olarak bulunmadığından dolayı bu araçların menzil konusunda ciddi sıkıntısı olmaktadır. Ayrıca, bataryalar oldukça ağırdır, bu durum hem araç aerodinamiğini hem de aracın

hızlanma ve yakıt tasarrufu performansını olumsuz etkilemektedir. Menzilde kazanç elde etmenin yolu bu durumda ağırlığı azaltmaktan geçmektedir. Şekil 1.7.' de görüleceği üzere elektrikli araçlarda kompozit malzemeler sıklıkla tercih edilmektedir.



Şekil 1. 7. Elektrikli Araçlarda Kompozit Kullanımına Örneklendirme

Kaynak: (Gardiner, 2018)

PSA Motor Şirketi, motor üretiminde alüminyum yerine polimer matrisli kompozit malzemeleri tercih etmeye başlamıştır. Ürettiği egzoz manifoldunun ağırlığında %50 oranında azaltma ve maliyetinde %20-30 oranında azaltma sağlayarak büyük kar elde etmeyi başarmıştır. (Gülmez,2018)

Kompozit malzeme kullanımının otomotiv endüstrisinde kapladığı alan oldukça büyüktür ve gelecekte bu alanın çeşitlendirilmiş malzemelerle daha da gelişeceği düşünülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında odun plastik kompozit malzemeler incelenmiştir.

BÖLÜM II

ODUN PLASTİK KOMPOZİTLER

2.1.Odun Plastik Kompozit Malzemeler

Odun Plastik Kompozit (OPK) malzemeler; ağaç lifleri, un ve termoplastiklerin, tipik olarak yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polipropilen (PP) veya polivinil klorürün (PVC) birlikteliği ile oluşturulan kompozit malzemelerdir. Yani başka bir deyişle; plastiklerin (termoplastik) odun lifi ya da odun unuyla karıştırılarak şekillendirilmesiyle elde edilen ürünler olarak da tanımlanabilir.(Südnanç,2017) Ahşap ve plastiğin birlikte kullanımı ile çok farklı uygulama alanlarına sahip çok yönlü bir malzeme türetilmektedir. Odun plastik kompozitler, atık bitki liflerinin termosetler veya termoplastik malzemeler ile karıştırılmasıyla üretilen bir tür fonksiyonel malzeme olmasına ek olarak plastik ve doğal elyafın ikili avantajları nedeniyle daha fazla dikkat çekmiştir. (Hyvärinen vd.,2019)

OPK malzemeleri tipik olarak talaş veya tarımsal artıklar gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilen ağaç liflerinden veya undan oluşur. OPK' lerin üretiminde sıklıkla, kereste atölye ve fabrikalarında, mobilya, kapı ve pencere imalatında yan ürün olarak açığa çıkan odun unları kullanılmaktadır.(Özmen vd.,2014) Bu ahşap parçacıklar, bir bağlayıcı madde görevi gören ve kompozite kohezyon ve durağanlık sağlayan termoplastik reçinelerle birleştirilir. OPK' nin üretim süreci, ağaç liflerinin ve termoplastik reçinelerin birlikte harmanlanmasını ve ardından çeşitli kompozit malzeme üretim teknikleriyle malzemenin istenen forma dönüştürülmesini içerir. Üretim aşamasında, kompozitin performansını ve dayanıklılığını artırmak için birleştirici maddeler ve dengeleyiciler gibi katkı maddeleri de dahil edilebilir. OPK malzemeleri, doğal ahşap benzeri bir görünüm sunarak çeşitli uygulamalar için görsel olarak çekici olmalarını sağlar. OPK malzemelerin hammadde kaynağı geri dönüştürülmüş veya işlenmemiş malzemeler olmasından dolayı çevre dostu malzemeler arasında yer almaktadır ve bu durum OPK' lerin kullanıldığı ürünlerin üretim maliyetlerini ve enerji tüketimini azaltmaktadır. (Hyvärinen vd.,2019) OPK malzemelerin avantajları arasında düşük yoğunluğa sahip olmaları, yüksek spesifik dirençlerinin olması, aşındırıcı olmamaları ve kolay bulunabilmeleri sayılabilmektedir. (Avcı, Çavdar, & Mengeloğlu,2022) Ahşap lifleri ve plastiğin kombinasyonu, doğal ahşap ile kıyaslandığında; eğilme, şişme veya çatlama Ahşap lifleri ve plastiğin

kombinasyonu, doğal ahşap ile kıyaslandığında; eğilme, şişme veya çatlama gibi fiziksel özelliklerde iyileşme sağlayarak boyutsal stabilite sağlar. 1997 senesinde bilim insanları Scheffer ve Morrell tarafından gerçekleştirilen çalışma sayesinde OPK'lerin haşere geçirmez özellikleri, termoplastik polimer matrisinin bir bariyer tabakası olarak hareket etme ve nem ve mantar istilasını dışlama kapasitesi olduğunu göstermiştir. (Scheffer & Morrell,1997).OPK malzemeleri, çürümeye ve böcek hasarına karşı dayanıklı olduklarından geleneksel ahşap ürünlere göre daha az bakım gerektirir. Bu da tercih edilmelerinde özellikle mobilya sektöründe kullanılmalarında önemli bir etkidir. OPK malzemeleri, çeşitli şekil ve boyutlarda kalıplanabilir, bu da onları çok çeşitli uygulamalar için uygun hale getirir.

2.2. Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Otomotiv Sektöründe Kullanım Alanı

Odun plastik kompozitler birçok sektörde kullanım alanına sahiptir. OPK' ler suya dayanıklılıkları, şekillendirmede sağladıkları kolaylık, sürdürülebilir ve çevre dostu olmaları sebebiyle bina, inşaat, mobilya, ambalaj ve otomotiv gibi pekçok farklı alanda sıklıkla kullanılmaktadır. (Väisänen, Das, & Tomppo, 2017) Avrupa'da yaklaşık 400.000 ton' a yakın OPK malzemenin her sene üretildiği bilinmektedir. Kullanılan sektör bazında en önemli pazarı otomobil iç mekanları için kullanılmak üzere otomotiv sektörüdür. (Partanen & Carus, 2016)

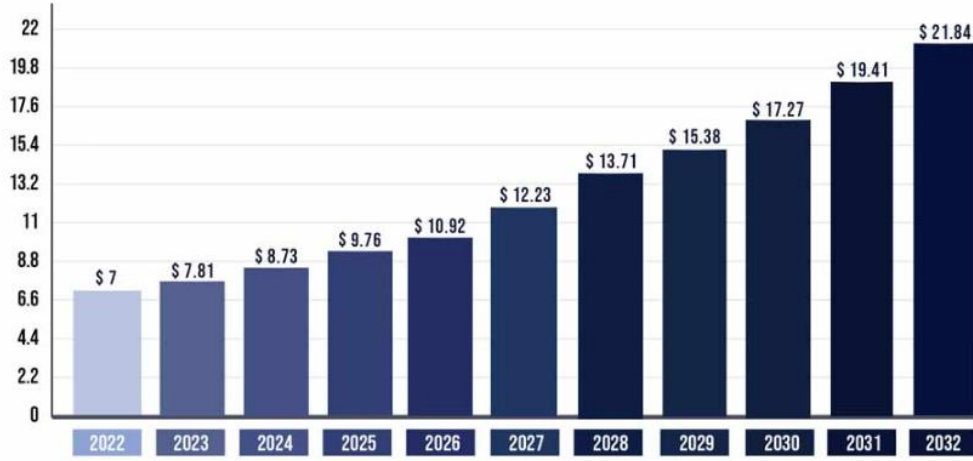
Tablo 2. 1. Sürdürülebilir Kompozitlerin Otomotiv Endüstrisindeki Uygulamaları

Firma	Model	Biyofiber	Matris	Uygulama
Audi	A2,A3,A4,A6,A8,Roadster,Coupe,Q7	Odun fiber, Sisal	PP,Epoxy PUR	Koltuk arkalıkları, yan ve arka kapı panelleri, bagaj kaplaması,Şapka Askısı,yedek lastik astarı
Bmw	3,5 ve 7 serisi	Kenaf, Keten, Endüstriyel Kenevir ve Odun Fiber	PP	Kapı kaplama panelleri, tavan paneli, bagaj kaplaması, koltuk arkalıkları, ses yalıtım panelleri, gösterge paneli
Citroen	C5	Odun Fiver, Keten	Epoxy	İç kapı kaplaması
Fiat	Punto, Brava, Marea, Alfa Romeo 146, 156	Keten, Sisal, Endüstriyel Kenevir, Pamuk, Kokonat Fiber	PP	Kapı kaplaması, koltuk arkılığı kaplamaları ve zemin panelleri, Koltuk altlıklar, sırt yastıkları ve koltuk başlıkları
Ford Motors	Ford Flex, Ford	Odun fiber, Buğday samanı, Hindistan cevizi	PP, PUR	İç saklama kutuları, yükleme zemini, köpüklü oturma yerleri, koltuk başlıkları,

	Focus Bev, Freest ar	soyası, Piriç samani		
General Motors	Cadillac DeVill e, Chevr olet Impala , GMC Envoy , Trail Blazer , Terria n, Opel Vectra	Odun, Kenaf, Keten, Pamuk	PP, Polyester	Koltuk arkalıkları, kaplamalar, arka raf, kargo zemini, kapı panelleri, paket tepsileri, akustik yalıtkan, tavan kaplaması
Honda	Pilot	Odun Fiber	PP	Zemin alanı parçaları
Land Rover	2000, others	Kenaf	PP	Yalıtım, arka saklama rafı/paneli Kapı panelleri, koltuk Arkası
Mercedes -Benz	A- Class, C- Class, E- Class, M- Class, R- Class, S- Class	Muz, Endüstriyel kenevir, Keten, Sisal, Jüt	PUR, PP, Epoxy	Kapı Panelleri, koltuk minderi, koltuk başlığı, gövde altı panelleri, koltuk arkalıkları, yedek lastik kapağı, motor ve şanzıman kapağı
Mitsubis hi	Conse pt Car	Bambu	PBS	İç Bileşenler
Renault	Clio, Twing o	Jüt, Hindistan cevizi	PUR, PP	Arka parsel rafı
Toyota	Prius, Raum	Kenaf, Banbu, Mısır, Nişasta	PET, Sorona EP, PP, PLA	Bagaj bölmesi, hoparlörler, paspaslar, Gösterge paneli, klima havalandırması, yedek lastik ver, raflar
Volvo	C70, V70	Keten	Polyester	Koltuk dolgusu, doğal köpükler
PP-Polipropilen, PUR-Poliüretan, PLA-Polilaktik asit , PBS- Fosfat Tamponlu Tuz Çözeltisi PET- Polietilen Tereftalat, Sorona® EP-Poli trimetilen				

Kaynak: (Strong, 2008)

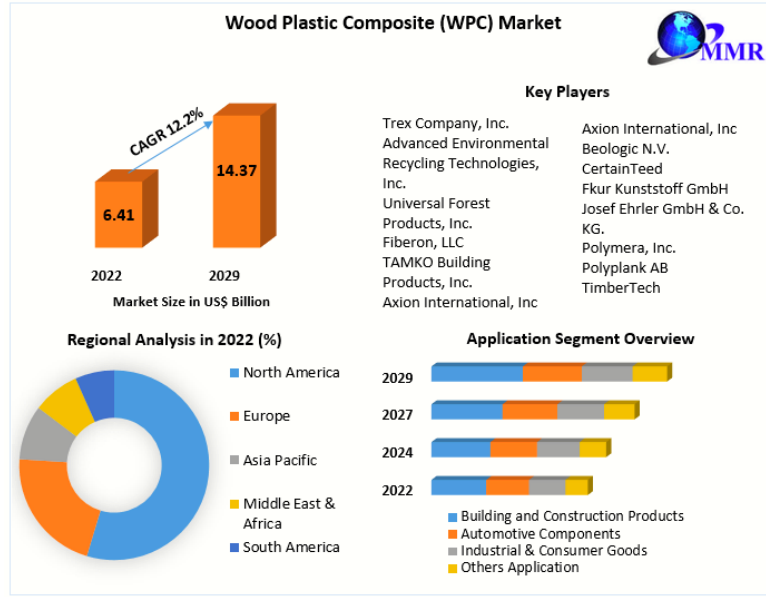
Tablo 2.1.'deki 2008 senesinde yapılmış olan çalışma incelendiğinde birçok önemli otomotiv markasının uygulamalarında odun plastik kompozit malzemelerin yer aldığı görülebilmektedir.



Şekil 2. 1. OPK Malzemelerin Kullanımının Yıllara Göre Büyüme Grafiği

Kaynak: (Kimyasal ve Malzeme - Ahşap Plastik Kompozit Pazarı, 2022)

Şekil 2.1.' de görüleceği üzere gelecek yıllarda küresel OPK pazarının sürekli bir büyüme göstermesi beklenmektedir. Bu büyüme özellikle Kuzey Amerika ve Avrupa'da inşaat sektöründeki artış ve otomotiv segmentindeki gelişmeler tetiklemektedir. Odun plastik kompozitlerin, araç ağırlığını azaltma amacıyla geniş bir şekilde kullanılması, bu sektördeki yeni gelişmelerin pazar üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olacağı öngörülmektedir. Ek olarak, geri dönüştürülebilir materyallerin kullanımı ve daha az riskli atık oluşumu, tüketicilerin bu sektöre çevre dostu bir seçenek olarak ilgi göstermelerine sebep olmuştur. Otomotiv sektöründe biyolojik olarak parçalanabilen veya geri dönüştürülebilen OPK malzemelerin kullanılması sayesinde akustik performansın ve mekanik mukavemetin artmasına aynı zamanda yakıt tüketimini ve malzeme ağırlığını azaltması ile yolcu güvenliğini iyileştirmesine fayda sağlaması beklenmektedir. (Kimyasal ve Malzeme - Ahşap Plastik Kompozit Pazarı, 2022)



Şekil 2. 2. OPK Malzemelerin Farklı Sektörlerdeki Uygulama Alanları

Kaynak: (Wood Plastic Composite (WPC) Market- Global Industry Analysis and forecast (2023 – 2029), 2022)

Şekil 2.2. 'de başka bir rapor olan, Maximize Market Research şirketinin küresel sektör analizi ve tahmini raporuna göre; OPK malzemelerin 2022 yılındaki Pazar büyüklüğü 6,41 Milyar ABD Doları iken 2023 senesinden 2029 senesine kadar yaklaşık %12,2 oranında artarak yaklaşık 14,37 Milyar ABD Dolarına ulaşması beklenmektedir. Şekil 2.8'deki görsel incelendiğinde 2022'den 2029'a kadar otomotiv sektöründe OPK malzeme uygulamalarının da artması beklenmektedir. (Wood Plastic Composite (WPC) Market- Global Industry Analysis and forecast (2023 – 2029), 2022)

Bitki lifleri içeren otomotiv bileşenleri şu anda Audi, Opel, Daimler-Chrysler, Fiat, Ford, Mercedes Benz, Peugeot, Renault, Volvo, Volkswagen ve BMW gibi birçok ana otomotiv üreticisi firma tarafından kullanılmaktadır. (Bismarck, Baltazar-Y-Jimenez, & Sarlkakis, 2006) Otomotiv endüstrisinde farklı uygulamalar için kullanılan tipik bitki lifi miktarları aşağıdaki maddelerde verildiği gibidir (Ellison & McNaught, 2000):

- Ön kapı gövdesi: 1,2–1,8 kg.
- Arka kapı gövdesi: 0,8–1,5 kg.
- Koltuk arkalıkları: 1,6–2,0 kg.
- Açılır tavan sürgüleri: 0,4 kg'a kadar.

- Tavan döşemeleri: ortalama 2,5 kg



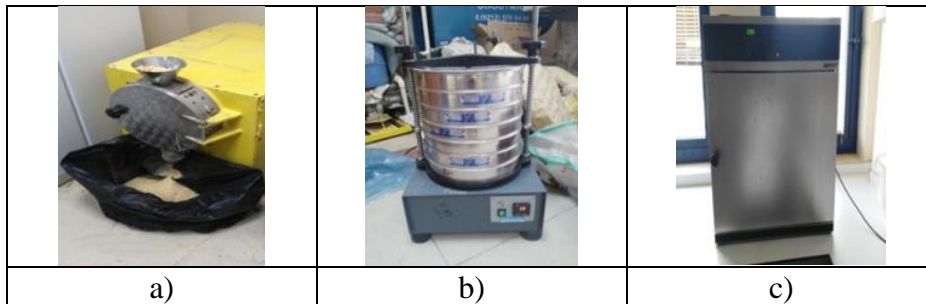
BÖLÜM III

MATERYAL VE METOD

Üretim aşamaları aşağıda verilen geven tozu katkılı PP (PP/Geven) ve kestane testere tozu katkılı PP (PP/Kestane) kompozitler üretim sonrası hazır olarak temin edilmiş ve bu numunelere yoğunluk ve Shore A sertlik testi ile aşınma ve sürtünme testleri uygulanmıştır.

3.1. PP/Geven/MAPP Kompozit Üretim Aşamaları

Bu çalışmada odun hammaddesi olarak 5-10 cm çapındaki geven ağaç gövdeleri Muğla şehrinden temin edilmiştir. PP granülleri Türkiye'deki yerel bir satıcıdan temin edilmiştir. Polipropilenin eriyik akış indeksi ve yoğunluğu sırasıyla 12 g/10 dakika (2,16 kg/230 °C) ve 0,90 g/cm³'tür. Bağlayıcı ajan olarak ise Pluss Polymer Pvt. Ltd. (Hindistan) firmasından temin edilen Optim P-425 kodlu 110 g/10dak. ergiyik akış indeksine (190 °C/2.16kg) ve 0.91 g/cm³ yoğunluğa sahip granül maleik anhidrit aşıllı homopolipropilen (MAPP) kullanılmıştır. Muğla ilinden temin edilen geven ağaç gövdeleri üç bıçaklı bir laboratuvar parçalayıcı tarafından küçük parçalara bölünmüştür. Ağaç talaşları önce normal atmosferik sıcaklıkta havayla daha sonra bir kurutucuda %2-3 nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kurutulan ağaç talaşları, Şekil 3.1-a'da gösterilen TAPPIT 11 M-45 standartlarına göre laboratuvar tipi Willey değirmeni yardımıyla un haline getirilmiştir. Deneylerde odun parçacıkları Şekil 3.1-b'de gösterilen sarsak elekte 10 dakika boyunca elenmiş ve 0,237 mm'lik elek açıklıklarından geçen odun unu kullanılmıştır. Elenen geven odun unu Şekil 3.1-c'de görülen kurutma fırınında (etüv) 100 °C'de 3 saat boyunca %1'in altındaki nem içeriğine kadar kurutulmuştur. Kurutulan geven odun unu daha sonra Tablo 3.1'de verilen oranlarda PP ve Maleik anhidrit Polipropilen (MAPP) ile karıştırılmıştır.

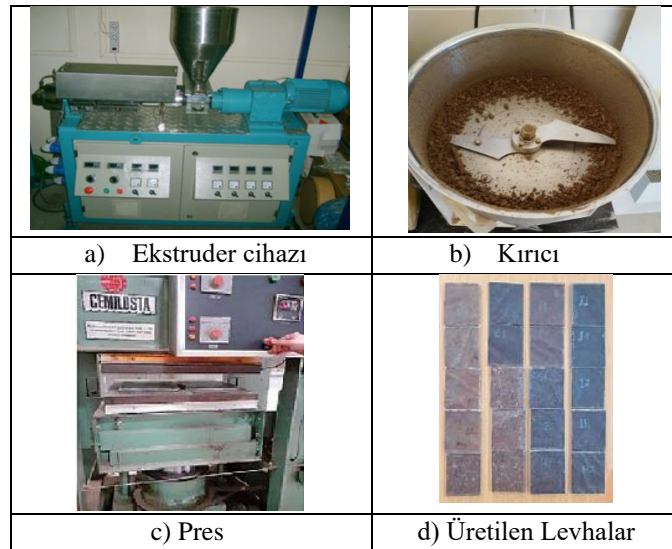


Şekil 3. 1. Geven Talaşlarının Üretim Aşamaları; (a) Wiley Değirmeni, (b) Sarsak Elek , (c) Kurutma Fırını

Tablo 3. 1. Üretilen PP/Geven/MAPP Kompozit Numuneler ve Numune Kodları

Numune Kodları	Geven Odun Unu (%)	PP (%)	MAPP (%)
PP	0	100	0
PP/10Geven	10	87	3
PP/20Geven	20	77	3
PP/30Geven	30	67	3
PP/40Geven	40	57	3

Hazırlanan karışımlar vida dönüş hızı; 40 rpm, polipropilen için sıcaklık ayarları; besleme bölgesi ile ekstruder kafası arasındaki sıcaklık dağılımı 170 °C-190 °C olacak şekilde çift vidalı ekstrüderden (Şekil 3.2-a) geçirilmiştir. Ekstrüzyon işlemi sonrası elde edilen filamentler soğutulma işlemi yapıldıktan sonra istenilen ebatlarda otomatik pelletizer (kırıcı) makinasında (Şekil 3.2-b) granül haline getirilmiştir. Granüller öncelikle metal çerçeveye yerleştirilmiş ve daha sonra sıcak prese taşınmıştır (Şekil 3.2-c). Paspasın metal kaplamalara yapışmaması için paspas ile metal kaplamalar arasında mumlu kağıt (Vaks) kullanılmıştır. Sıcak pres plakaları, peletleri 10 dakika eritmek için matın yüzeyine temas ettirilmiş ve ardından mata 130 bar, 190 ° C'de 15 dakika boyunca sıkıştırma uygulanmıştır. Elde edilen 200 mm x 200 mm x 4 mm boyutlarındaki odun plastik kompozit panelleri (Şekil 3.2-d) sıcak presten çıkarılmış ve ardından soğuması için hemen odun plastik kompozit panellerin üzerine metal ağırlıklar yerleştirilmiştir. Bu levhalar daha sonra yapılacak olan testler için standartlara uygun olarak farklı ölçülerde boyutlandırılmıştır.



Şekil 3. 2. PP/Geven/MAPP Kompozit Üretimi

3.2. PP/Kestane Kompozit Üretim Aşamaları

Matris malzemesi olarak izotaktik Polipropilen (iPP MH418) granülleri Petkim Petrokimya Holdin A.Ş.'den temin edilmiştir. Polipropilenin eriyik akış indeksi ve yoğunluğu sırasıyla 4-6 g/10 dakika ve 0,88 g/cm³'tür. Innospec Leuna tarafından üretilen polietilen balmumu (OX.PE WAX LE 262), işleme yardımcı maddesi olarak işlemeyi kolaylaştırmak amacıyla ERAL, Türkiye tarafından tedarik edilmiştir. IRGANOX 1010 antioksidanı (CibaGeigy Türkiye tarafından tedarik edilmiştir), ekstruderdeki karıştırma işlemi sırasında ve enjeksiyonlu kalıplama yoluyla numune üretimi sırasında olası oksidasyonu en aza indirmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada dolgu olarak kullanılan Chestnut (kestane) testere tozu Giresun bölgesindeki yerel marangozlardan temin edilmiştir. Kestane testere tozu, karıştırma işleminden önce sirkülasyonlu fırında 100 C'de 4 saat kurutulmuştur. iPP, 100 rpm vida hızında birbirine geçen çift vidalı bir ekstrüder (Thermo Prism, Haake, 16 mm vida çapı, L/D oranı 25) kullanılarak kurutulmuş Kestane testere tozu dolgusu ile birleştirilmiştir. Sıcaklık profili, besleme bölgesinden kalıba kadar 140, 210, 215, 220 ve 220°C'ye ayarlanmıştır. Karıştırma işleminden elde edilen şeritler suda soğutulmuş ve ardından pelet haline getirilmiştir. Peletler ayrıca 80°C'de bir fırında 48 saat süreyle kurutulmuş ve daha sonra test numunesi boşluklarına sahip standart bir kalıpla monte edilen geleneksel bir enjeksiyon kalıplama makinesi (Supermaster SM-60HC) kullanılarak kalıplanmıştır. Enjeksiyon kalıplama makinesinin sıcaklık profili 220°C'ye, kalıp sıcaklığı ise 40°C'ye ayarlanmış ve üretimler gerçekleştirilmiştir. Kestane testere tozu dolgusu %5, %10, %15 ve %20 oranlarında olacak şekilde iPP polimerine ilave edilmiştir.

3.3.Yoğunluk Testi

Katkısız PP polimeri ile PP/Geven ve PP/Kestane kompozitlerin yoğunluk deneyleri, ISO 1183 (ASTM D 792) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk testinde, Arşimet prensibi uygulanmıştır. Şekil 3.3.'te gösterilen, kapasitesi 220 g ve hassasiyeti 0,0001g olan Mettler Toledo marka terazi kullanılarak yoğunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 3. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

3.4.Sertlik Testi

Katkısız PP polimeri ile PP/Geven ve PP/Kestane kompozitlerin Shore A sertlik değerleri ISO 868 (ASTM D 2240) standartlarına uygun olarak BAREİSS marka durometer ile ölçülmüştür. Sertlik ölçümlerinde çekme numuneleri kullanılmıştır. Numunelere 5 tekrarlı olarak sertlik ölçümü yapılmış olup aritmetik ortalaması alınmıştır. Deneylerde kullanılan sertlik ölçüm cihazı ise Şekil 3.4.'te verilmektedir.



Şekil 3. 4. Shore A Sertlik Test Cihazı

3.5.Aşınma ve Sürtünme Deneyleri

PP polimeri ile PP/Geven ve PP/Kestane kompozitlerin aşınma-sürtünme deneyleri için çekme deney numuneleri kullanılmıştır. Deneylerde karşı disk olarak Ç1040 çeliği kullanılmıştır. Şekil 3.5.'te deneylerde kullanılan Ç1040 disklerine ait görsel yer almaktadır. Testler kuru kayma şartlarında yapılmıştır.



Şekil 3. 5. Ç1040 Deney Diskleri

Sürtünme katsayısı değeri, yanal kuvvetin uygulanan dik kuvvete oranlanması ile tespit edilmektedir. Bu değerin hesaplanmasında ise Eşitlik 3.1.'de belirtilen eşitlik kullanılmıştır.

$$\mu = FS / FN \quad (3.1.)$$

μ : Sürtünme katsayısı değeri,

FS: Yanal sürtünme kuvveti, N,

FN: Normal kuvvet, N, ifade eder.

Aşınma oranını test sonuçlarını elde edebilmek için, testlerden önce, disk ve pim yüzeyleri asetonla temizlenmiş ve yüzeyleri kurutulmuştur. Pimlerin test öncesi ağırlığı (m_1) ve test sonrası ağırlığı (m_2) ölçülmüştür. Test öncesi pim ağırlığından test sonrası pim ağırlığı değeri çıkartılarak aşınma miktarı (Δ_m) hesaplanmış ve Eşitlik 3.2.'deki eşitlikle aşınma spesifik oran değerleri (K_o) hesaplanmıştır.

$$K_o = \Delta_m / SpF \quad (3.2.)$$

K_o : Spesifik aşınma oranını, mm^3/Nm ,

Δ_m : Aşınma miktarını, g,

S: Kayma mesafesi, m,

ρ : Test numunesinin yoğunluğu, g/cm^3 ,

F: Uygulanan kuvvet, N, değerlerini ifade etmektedir.

Aşınma deneyleri için, çalışmada kullanılan kayma mesafesi, yük ve kayma hızı gibi test parametreleri Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3. 2. Aşınma-Sürtünme Deneyi Parametreleri

Parametreler	Değerler
Uygulanan yükler (N)	10, 30 ve 50

Kayma hızları (m/s)	0,5; 1,0 ve 1,5
Kayma mesafesi (m)	1000

Aşınma-sürtünme deneyleri, Şekil 3.6.'da resmi verilen Tarsus Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Malzeme Laboratuvarında bulunan pim-disk aşınma cihazında yapılmıştır.



Şekil 3. 6. Pim-Disk Aşınma Cihazı

3.6. Optik Mikroskop Analizi

PP ile PP/Geven ve PP/Kestane kompozitlerin aşınma testi sonucundaki disk ve pim yüzeyleri optik mikroskop kullanılarak analiz edilmiştir. Optik mikroskop analizleri Tarsus Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarında bulunan ve Şekil 3.7'de resmi verilen Tronic marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 7. Optik Mikroskop Cihazı

BÖLÜM IV

DENEY SONUÇLARI

4.1. Yoğunluk Testi Sonuçları

Katkısız PP polimeri ile PP/Geven ve PP/Kestane kompozitlerin yoğunluk sonuçları Tablo 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Katkısız PP polimerinin yoğunluğu 0,917 gr/cm³ olarak elde edilmiştir. Tablo 4.1’de verilen PP/Geven kompozitlerin yoğunluk sonuçları incelendiğinde artan Geven miktarına bağlı olarak yoğunlukların arttığı belirlenmiştir. PP/40Geven kompozitin yoğunluğu 0.9835 g/cm³ elde edilmiştir. Tablo 4.2’de verilen PP/Kestane kompozitlerde de benzer bir yaklaşım ile artan katkı miktarına bağlı olarak yoğunluk değerlerinin arttığı belirlenmiştir. PP/20Kestane kompozitin yoğunluğu 0.907 g/cm³ elde edilmiştir.

Tablo 4. 1. PP/Geven Kompozitlerin Yoğunlukları

Deney Numuneleri	Yoğunluk Değerleri (g/cm ³)
PP/10Geven	0,969
PP/20Geven	0,934
PP/30Geven	0,952
PP/40Geven	0,983

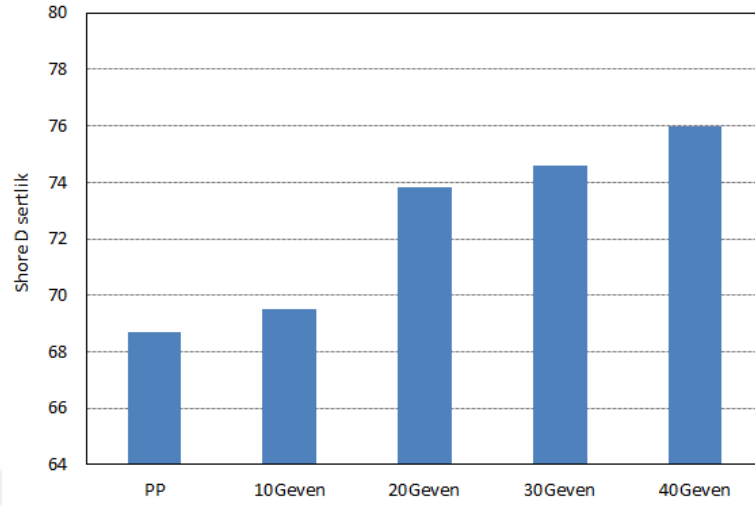
Tablo 4. 2. PP/Kestane Kompozitlerin Yoğunlukları

Deney Numuneleri	Yoğunluk Değerleri (g/cm ³)
PP/5Kestane	0,883
PP/10Kestane	1,753
PP/15Kestane	0,945
PP/20Kestane	0,907

4.2.Sertlik Testi Sonuçları

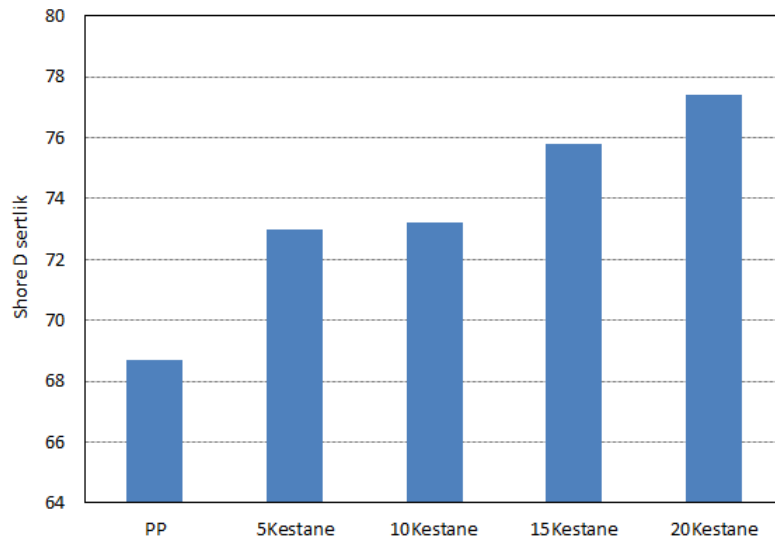
Katkısız PP polimeri ve PP/Geven ile PP/Kestane kompozitlerin Shore D sertlik testleri sonrası elde edilen deney sonuçlarının verildiği grafikler Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.1.’deki sertlik grafiği incelendiğinde Shore D sertlik değeri, katkısız PP polimeri için 68,7 olarak elde edilmiştir. Katkısız PP polimerine %10 ve %20 oranlarında Geven ilave edildiğinde Shore D değerlerinde artış olduğu gözlemlenmektedir. Bu artışlar PP/10Geven için %1,16 ve PP/20Geven için %7,42 oranlarında elde edilmiştir. PP polimerine %30 ve %40 oranlarında Geven eklendiğinde

ise kompozitlerin Shore D sertlik değerinin PP polimerine göre sırasıyla %8,58 ve %10,62 oranlarında artmıştır.



Şekil 4. 1. PP Polimeri ve PP/Geven Kompozitlerin Shore D Sertlik Sonuçları

Aynı şekilde katkısız PP ve PP/Kestane kompozitlerin Şekil 4.2.'deki Shore D sertlik sonuçları incelendiğinde katkısız PP polimerine %5 ve %10 oranlarında Kestane ilave edildiğinde Shore D değerlerinde, PP polimerine kıyasla artış olduğu gözlemlenmektedir. Bu artışlar PP/5Kestane kompoziti için %6,25, PP/10Kestane kompoziti için %6,55 oranlarında elde edilmiştir. PP polimerine %15 ve %20 oranlarında Kestane ilavesi ise kompozitlerin Shore D sertlik değerlerini PP polimerine göre sırasıyla %10,33 ve %12,66 oranlarında artırmıştır. Şekil 4.2.'deki grafik ve sonuçlara göre en yüksek sertlik oranına sahip olan malzemenin PP/20Kestane olduğu gözlenmiştir.



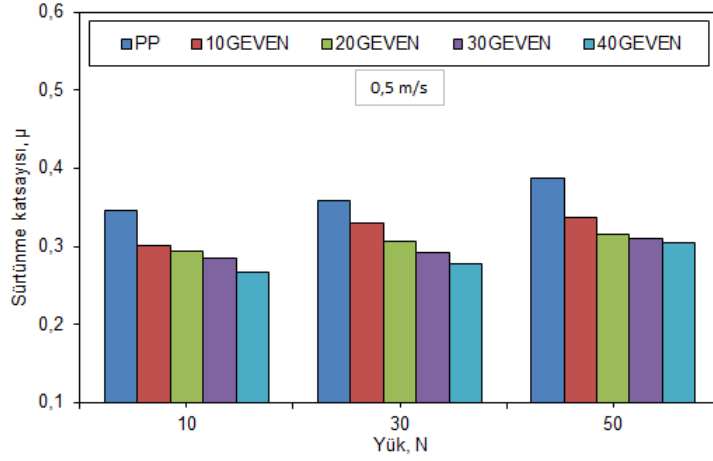
Şekil 4. 2. PP Polimeri ve PP/Kestane Kompozitlerin Shore D Sertlik Sonuçları

4.3.Aşınma Ve Sürtünme Deney Sonuçları

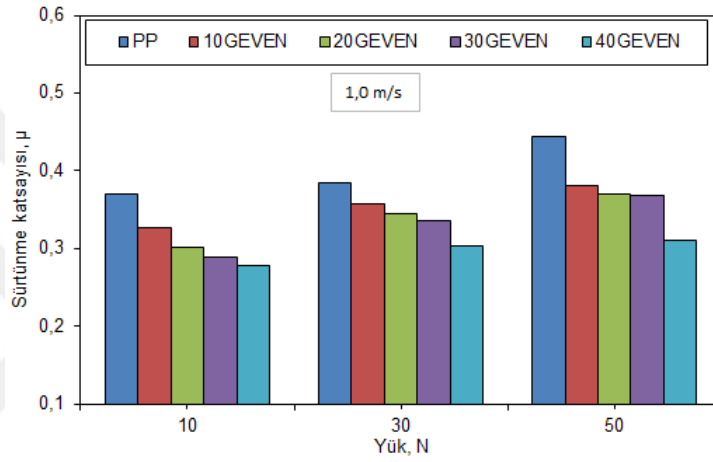
4.3.1. Sürtünme Katsayısı-Uygulanan Yük İlişkisi

Şekil 4.3.' te %10, %20, %30 ve %40 Geven katkılı PP polimer kompozit malzemelerin, sırasıyla 0,5; 1,0 ve 1,5 m/s kayma hızlarında 10N, 30N ve 50N yüklere karşı sürtünme katsayılarındaki değişim grafikleri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, PP polimerine ilave edilen farklı oranlardaki Geven katkısının sürtünme katsayısı değerlerini azalttığı gözlemlenmektedir. Şekil 4.3 (a) incelendiğinde, 0,5 m/s kayma hızı ve 10 N yük altında PP polimerinin sürtünme katsayısı 0,3583 μ iken %10 oranında Geven ilave edilmesi ile sürtünme katsayısı 0,3016 μ değerine azalmıştır. Sürtünme katsayısında meydana gelen bu azalma %15,82 oranındadır. PP/20Geven, PP/30Geven ve PP/40Geven kompozitlerin ise sürtünme katsayıları sırasıyla %17,80; %20,65 ve %25,36 oranlarında azalmıştır. PP polimerinin 0,5 m/s kayma hızında, 30 N yük uygulandığında sürtünme katsayısı 0,3583 μ iken, aynı kayma hızında 50 N yük altındaki sürtünme katsayısı %8,06 oranında artarak 0,3872 μ değerinde elde edilmektedir. %10, %20, %30 ve %40 oranlarında Geven katkılı kompozitlerin sürtünme katsayıları ise 0,5 m/s kayma hızında, uygulanan yük 30 N' dan 50 N' a çıkarılınca sırasıyla %2,15; %2,70; %5,99 ve %9,40 oranlarında arttığı belirlenmiştir.

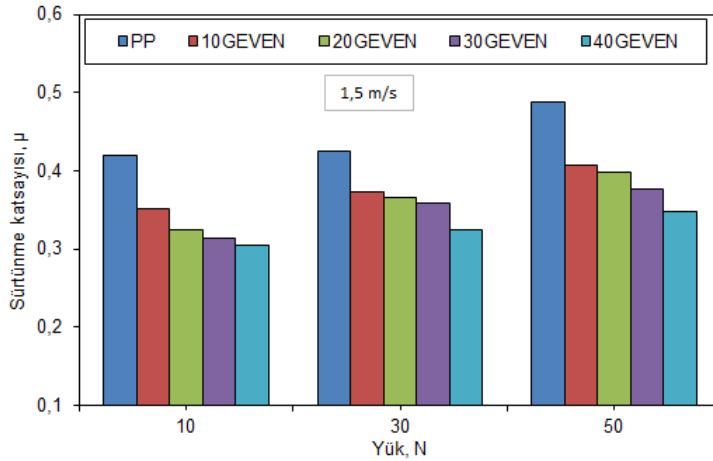
Şekil 4.3.(b)'de ise 1.0 m/s kayma hızında PP polimeri ve Geven katkılı PP kompozitlerin sürtünme katsayısı-yük ilişkisi verilmiştir. 1,0 m/s kayma hızında, yükün 10 N'dan 30 N'a artırılması ile sürtünme katsayısı 0,0147 μ 'den 0,0593 μ 'ye artmıştır. PP/10Geven kompozitinin sürtünme katsayısı uygulanan yükün 10 N'dan 50 N'a artırılması ile %11,63 oranında artarak 0,0351 μ değerinde, PP/20Geven kompoziti için %6,85 oranında artarak 0,0202 μ değerinde ve PP/30Geven kompoziti için %8,89 oranında artarak 0,0253 μ değerinde elde edilmiştir. PP/40Geven kompozitinin sürtünme katsayısındaki değişim ise %13,94 artarak 0,0373 μ değerinde elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

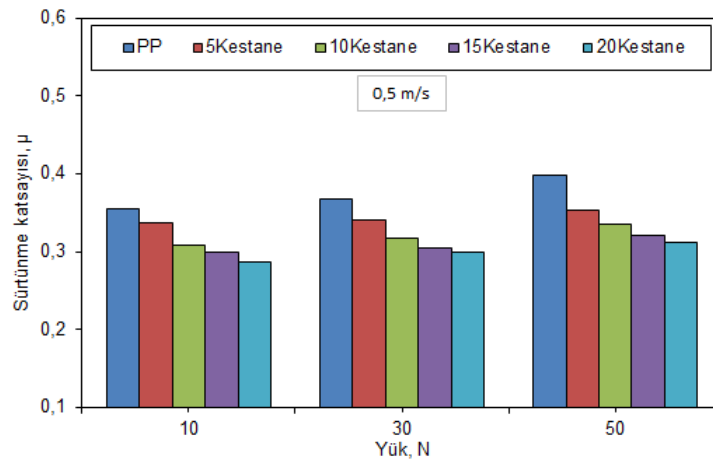
Şekil 4. 3. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 4.3. (c) incelendiğinde ise PP polimerinin sürtünme katsayısındaki değişim 1,5 m/s kayma hızında 10 N yükten 30 N yüke çıkartıldığında 0,0064 μ iken 0,0628 μ elde edilmiştir. PP/10Geven kompozitin sürtünme katsayısı uygulanan yükün artırılması ile %15,71 oranında artarak 0,0553 μ değerinde, PP/20Geven kompoziti için %22,33

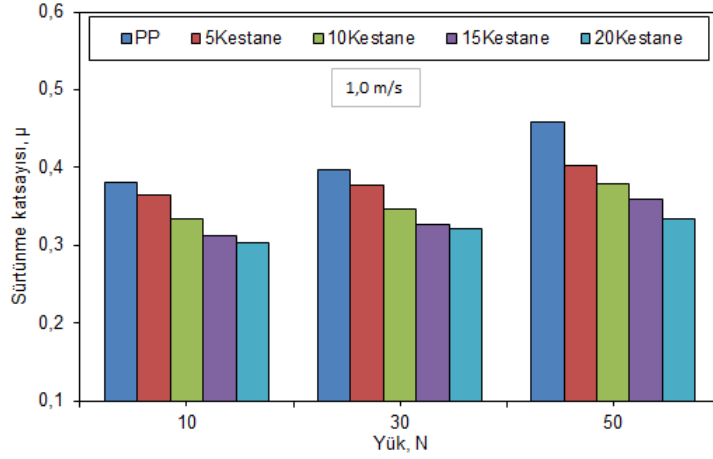
oranında artarak 0,0725 μ değerinde ve PP/30Geven kompoziti için %20,21 oranında artarak 0,0634 μ değerinde elde edilmiştir. PP/40Geven kompozitinin sürtünme katsayısındaki değişim ise %14,33 artarak 0,0436 μ değerinde elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda, uygulanan yük ve kayma hızı aralıklarında, PP polimerine ilave edilen Geven katkısının sürtünme katsayısının azalmasında etkili olduğu ortaya çıkmaktadır. Uygulanan tüm yüklerde PP polimerinin sürtünme katsayısının en yüksek değere sahip olduğu görülmektedir. PP polimerini takiben PP/10Geven, PP/20Geven, PP/30Geven ve PP/40Geven gelmektedir. Uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayısı değerlerinin de orantılı olacak şekilde arttığı belirlenmiştir.

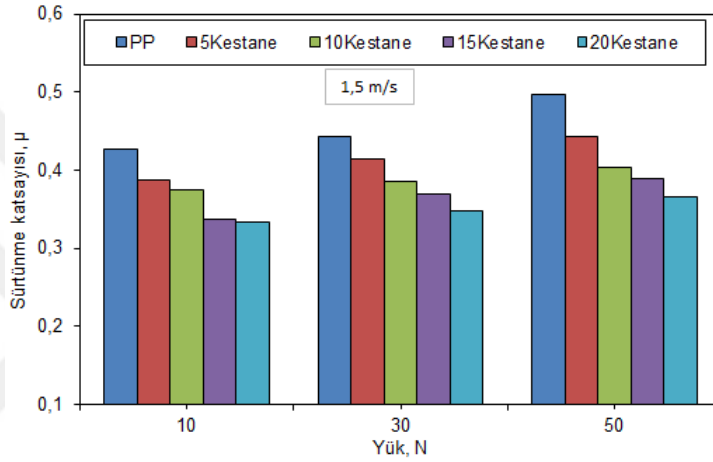
Şekil 4.4.'te %5, %10 ,%15 ve %20 kestane katkılı PP polimer kompozit malzemelerin, sırasıyla 0,5; 1,0 ve 1,5 m/s kayma hızlarında uygulanan yüke karşı sürtünme katsayılarındaki değişim grafikleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde, PP polimerine ilave edilen farklı oranlardaki Kestane katkısının sürtünme katsayısı değerlerini azalttığı gözlenmiştir. Şekil 4.4.(a) incelendiğinde, 0,5 m/s kayma hızı ve 10 N yük altında PP polimerinin sürtünme katsayısı 0,3546 μ iken %5 oranında kestane ilave edilmesi ile sürtünme katsayısı 0,3362 μ değerinde elde edilmiştir. Sürtünme katsayısındaki bu azalma %5,18 oranındadır. Uygulanan yükün 10 N'dan 30 N'a artırılması ile PP/5Kestane kompozitinin sürtünme katsayısındaki değişim değeri %1,54 oranında artarak 0,3414 μ değerinde, PP/10Kestane kompoziti %3,08 oranında artarak 0,3173 μ değerinde, PP/15Kestane kompoziti %1,83 oranında artarak 0,3052 μ değerine ulaşmıştır. PP/20Kestane kompozit malzemesinde ise sürtünme katsayısı %4,60 oranında artarak 0,2996 μ değerinde elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4. 4. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi

Şekil 4.4.(b)'de PP polimeri ve farklı oranlarda Kestane katkılarıyla üretilen kompozit malzemelerinin 1.0 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-yük ilişkisi verilmektedir. PP polimerinin 1,0 m/s kayma hızında, yükün 10 N'dan 30 N'a artırılması ile sürtünme katsayısı 0,016 μ 'den 0,062 μ 'ye artmıştır. PP/5Kestane kompozitinin sürtünme katsayısındaki değişim uygulanan yük 10 N'dan 50 N'a arttırılmasıyla % 10,27 oranında artarak 0,4026 μ değerinde, PP/10Kestane kompoziti ise %13,02 oranında artarak 0,3784 μ değerinde ve PP/15Kestane kompoziti % 15,24 oranında artarak 0,3599 μ değerinde elde edilmektedir. PP/20Kestane kompozitinde ise yükün 10 N'dan 50 N'a artırılmasıyla sürtünme katsayısındaki değişim %9,81 artarak 0,3335 μ değerinde elde edilmiştir.

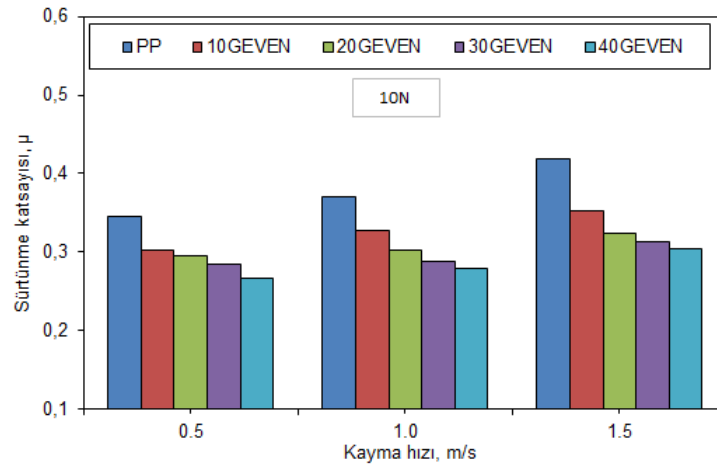
Şekil 4.4.(c)'de PP polimeri ve farklı oranlarda Kestane katkılarıyla üretilen kompozit malzemelerinin 1.5 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayısı-yük ilişkisi verilmektedir. PP polimerinin sürtünme katsayısındaki değişim değeri 1,5 m/s kayma

hızında, yükün 10 N'dan 30 N'a artırılması ile 0,0154 μ 'den 0,0537'ye artmıştır. PP/5Kestane kompozitinin sürtünme katsayısı yükün 10 N'dan 50 N'a artırılması ile %14,16 oranında artarak 0,0549 μ değerinde, PP/10Kestane kompoziti %7,52 oranında artarak 0,0282 μ değerinde, PP/15Kestane kompoziti %15,13 oranında artarak 0,0511 μ değerinde elde edilmiştir. PP/20Kestane kompozit malzemesinde ise sürtünme katsayısı %9,71 artarak 0,0323 μ değerinde elde edilmiştir.

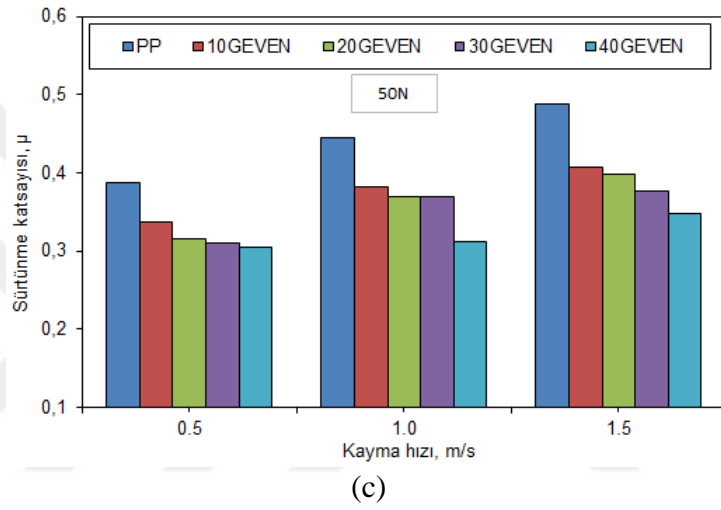
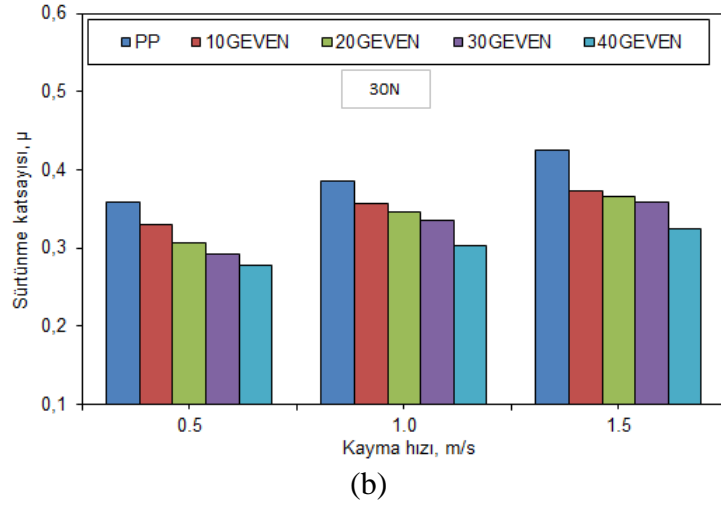
Sonuç olarak, PP polimerine ilave edilen Kestane katkısının sürtünme katsayısının azalmasında önemli bir etki göstermiştir. Uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayısının da arttığı gözlenmiştir.

4.3.2. Sürtünme Katsayısı - Kayma Hızı İlişkisi

Şekil 4.5' de farklı yükler altında PP polimeri ile Geven katkılı PP kompozitlerin kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayılarındaki değişim grafikleri verilmektedir. Şekiller incelendiğinde artan kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayısının arttığı gözlenmiştir. 30N yük altındaki sonuçlar incelendiğinde kayma hızı 0,5 m/sn' den 1,0 m/sn' ye arttırıldığında, sürtünme katsayılarındaki artış PP polimerinde %7,39 oranında, PP/10Geven kompozitinde %8,25 oranında, PP/20Geven kompozitinde %12,79 oranında ve PP/30Geven kompozitinde %14,75 oranında elde edilmiştir. PP/40Geven kompozitin de ise sürtünme katsayısındaki artış %8,97 elde edilmiştir.

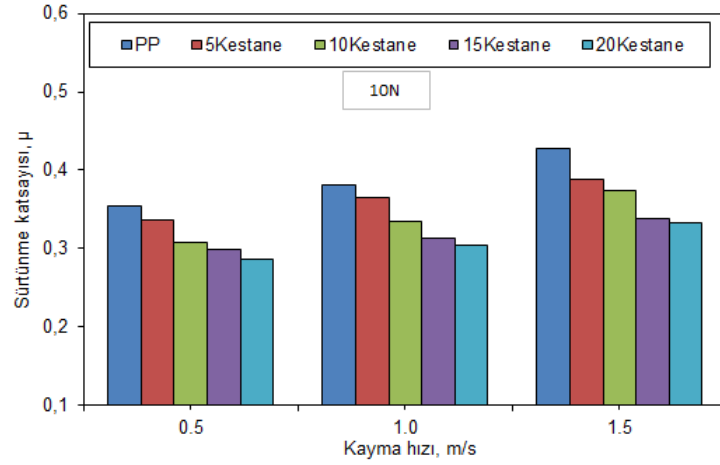


(a)

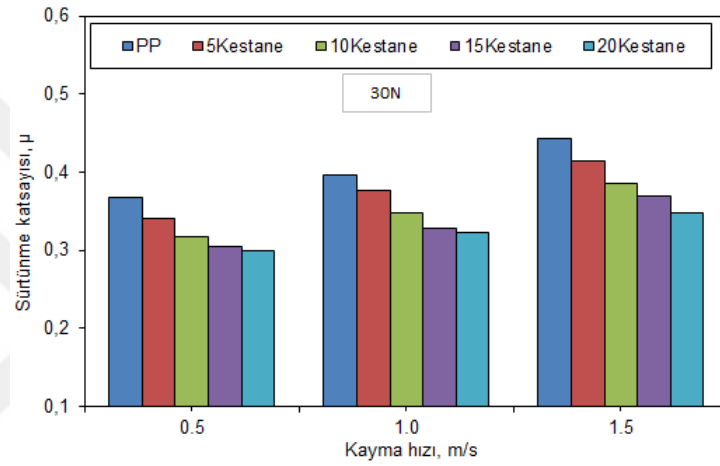


Şekil 4. 5. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi

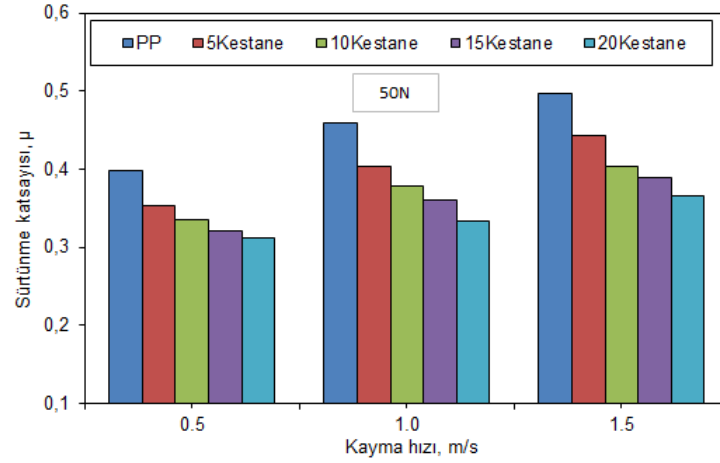
Şekil 4.6.'da %5, %10 ,%15 ve %20 kestane katkılı PP polimer kompozit malzemelerin, sırasıyla farklı yüklerdeki kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayılarındaki değişim grafikleri verilmektedir. PP polimerine ilave edilen farklı oranlardaki Kestane katkısının sürtünme katsayısı değerlerini değiştirdiği gözlemlenmektedir. Artan kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayısının arttığı gözlenmiştir. 30N yük altındaki sonuçlar incelendiğinde kayma hızı 0,5 m/sn' den 1,0 m/sn' ye arttırıldığında, sürtünme katsayılarındaki artış PP polimerinde %7,39 oranında, PP/5Kestane kompozitinde %10,48 oranında, PP/10Kestane kompozitinde %9,45 oranında ve PP/15Kestane kompozitinde %7,17 oranında elde edilmiştir. PP/20Kestane kompozitinde ise bu değer %7,51 elde edilmiştir.



(a)



(b)



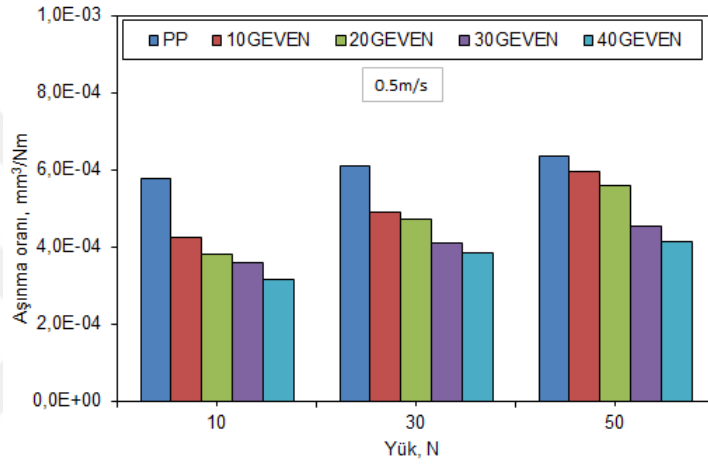
(c)

Şekil 4. 6. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Sürtünme Katsayısı Değişimi

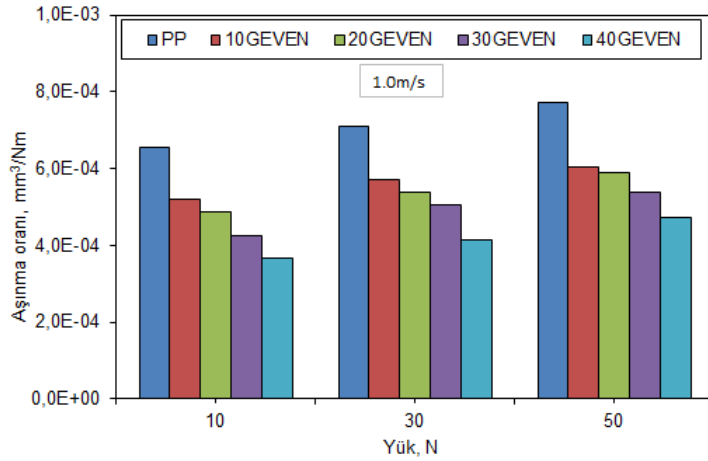
4.3.3. Aşınma Oranı – Uygulanan Yük İlişkisi

Şekil 4.7.'de katkısız PP polimeri ile %10, %20, %30 ve %40 oranlarında Geven katkılı PP polimer kompozit malzemelerin, farklı kayma hızlarında, uygulanan yüke karşı aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir. Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi, tüm malzemelerde

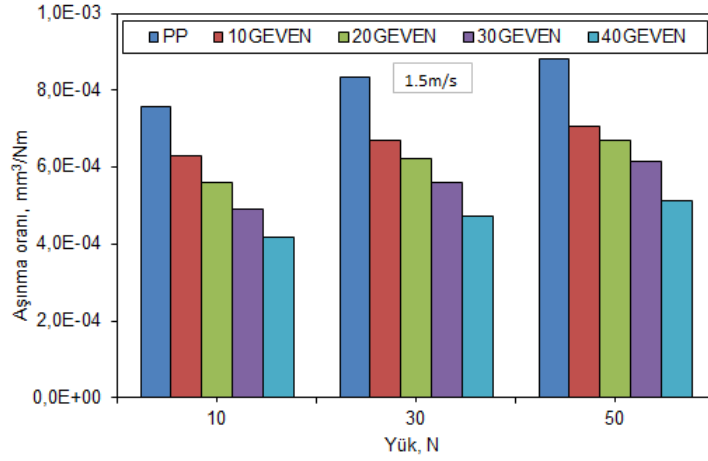
uygulanen yükün artmasıyla, aşınma oranının arttığı gözlenmiştir. 0,5 m/s hız 30 N yük altında, katkısız PP' nin aşınma oranı $6,11 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{N}$ iken; PP' ye %10 oranında Geven ilave edilmesiyle aşınma oranı %26,31 oranında azalarak $4,89 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{N}$ değerinde elde edilmiştir. 0,5 m/s kayma hızında, uygulanan yük 30N'dan 50N'a artırılması ile PP/10Geven için aşınma oranı %22,91 oranında artmıştır. Aşınma oranları PP/20Geven, PP/30Geven ve PP/40Geven kompozitleri için sırasıyla %17,02; %12,5 ve %7,89 oranlarında arttığı belirlenmiştir. Geven oranının artması ile aşınma oranının azaldığı ancak uygulanan yük miktarının aşınma oranını artırdığı gözlenmiştir.



(a)



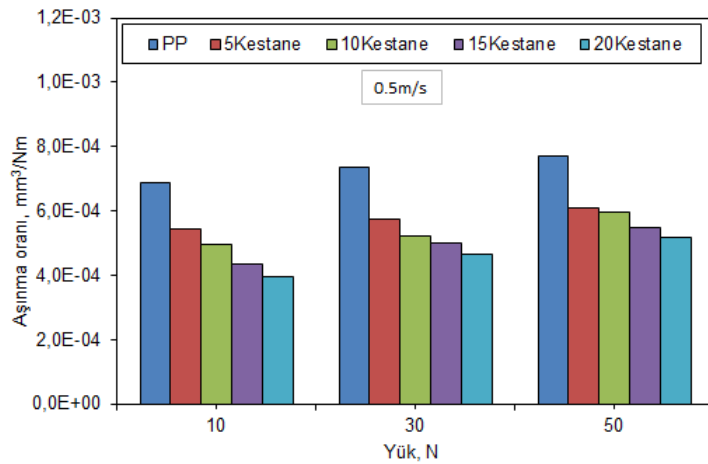
(b)



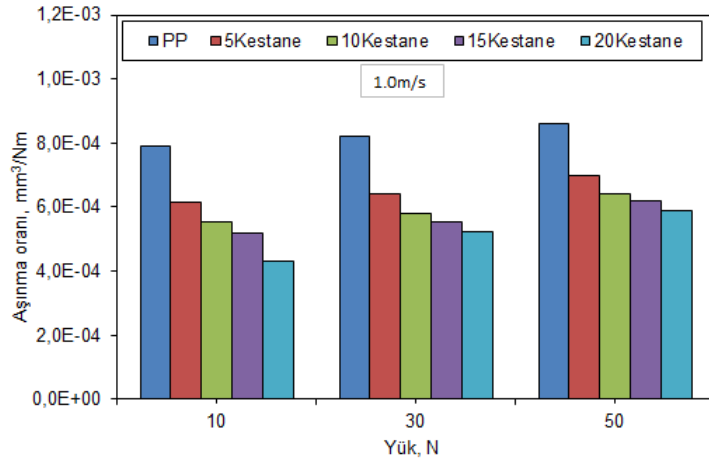
(c)

Şekil 4. 7. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi

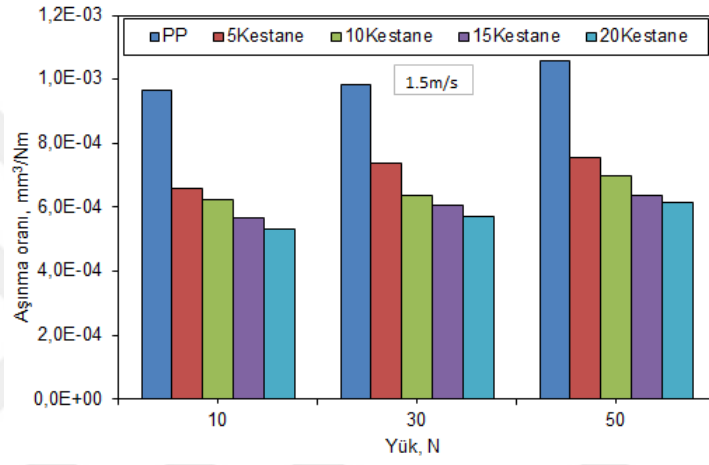
Şekil 4.8’de farklı oranlarda kestane katkılı PP kompozitlerin uygulanan yüke bağlı olarak aşınma oranlarındaki değişim verilmiştir. 0,5, 1,0 ve 1,5 m/s kayma hızlarında, uygulanan yükün artmasıyla, aşınma oranının arttığı gözlenmiştir. 0,5 m/s hız 30 N yük altında, katkısız PP’ nin aşınma oranı 0,00073 m²/N iken; PP’ ye %5 oranında Kestane ilave edilmesiyle aşınma oranının 0,00057 m²/N değerine yani %21,91 oranında azalmaktadır. Aynı kayma hızında uygulanan yük 30N’dan 50N’a çıkartıldığında PP/5Kestane için değerler %7,01 oranında artmaktadır. Bu değerler PP/10Kestane, PP/15Kestane ve PP/20Kestane için sırasıyla %13,46; %10 ve %10,86 oranlarında artan yönde olmaktadır. Sonuç olarak Kestane ilavesi ile katkısız PP polimerine kıyasla aşınma oranının azaldığı ancak uygulanan yük arttıkça aşınma oranının da artan yönde değiştiği yorumu yapılabilmektedir.



(a)



(b)

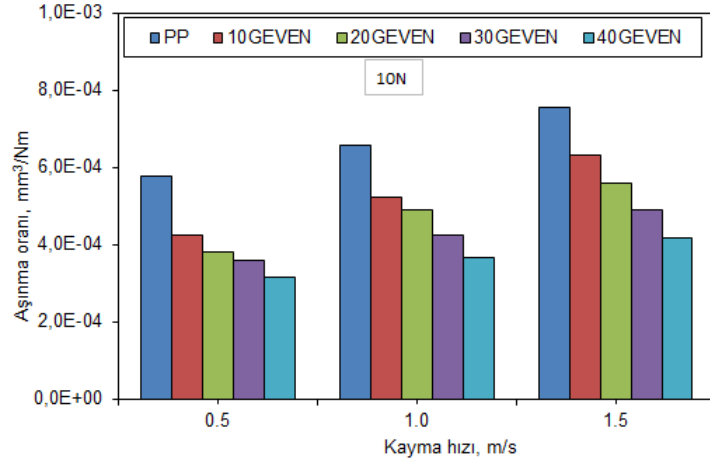


(c)

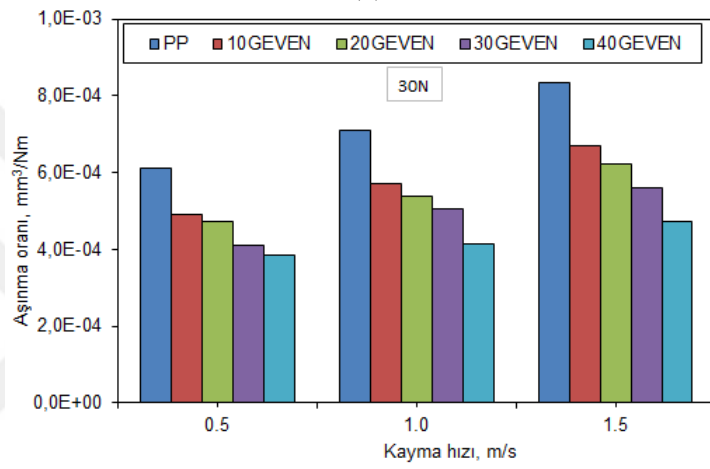
Şekil 4. 8. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Yüke Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi

4.4.4. Aşınma Oranı – Kayma Hızı İlişkisi

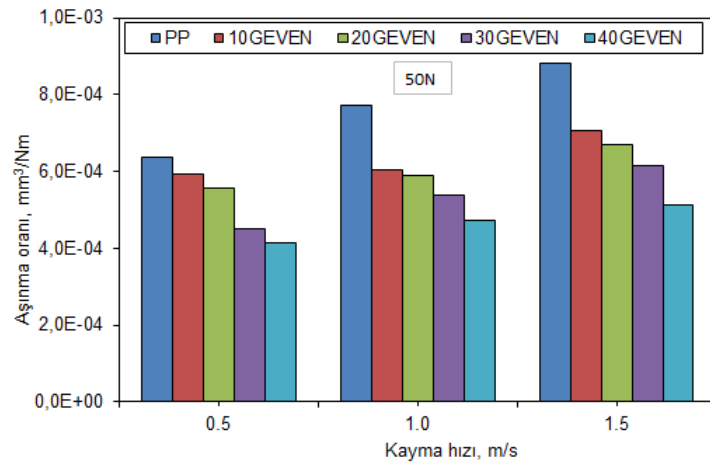
Şekil 4.9’ da katkısız PP polimeri ile %10, %20, %30 ve %40 oranlarında Geven katkılı PP polimer kompozit malzemelerin, farklı yükler altında, kayma hızına göre aşınma oranlarındaki değişim grafikleri verilmektedir. 30N yük sabit kalacak şekilde kayma hızı 0,5 m/sn’ den 1,0 m/sn’ ye artırıldığında PP polimerinin aşınma oranı %16,39 oranında artmıştır. Aşınma oranlarının, PP/10Geven, PP/20Geven, PP/30Geven ve PP/40Geven için sırasıyla %18,74; %14,28; %23,00 ve %7,96 oranlarında arttığı belirlenmiştir. PP polimerine ilave edilen Geven ve artan Geven miktarı ile aşınma oranı azalırken kayma hızının artması ile aşınma oranının arttığı belirlenmiştir.



(a)



(b)

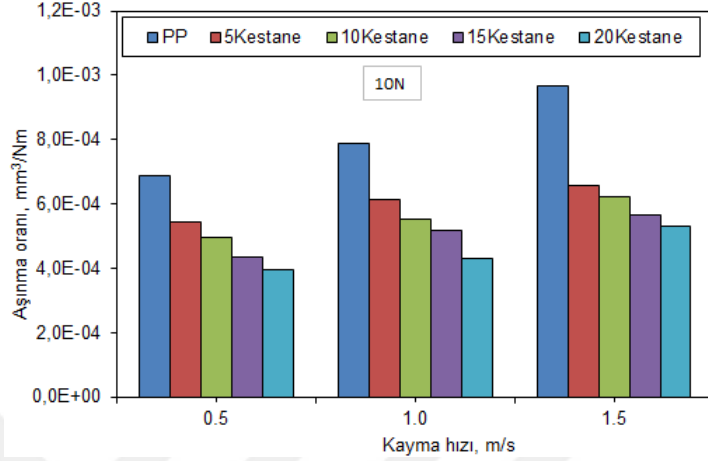


(c)

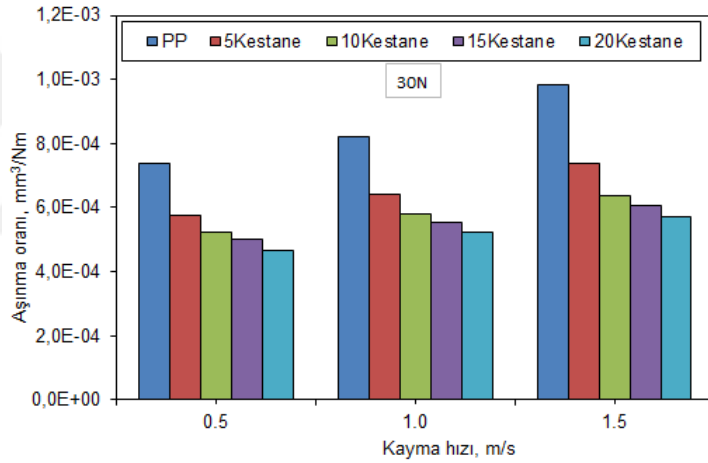
Şekil 4. 9. PP ve PP/Geven Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi

Şekil 4.10'da %5, %10,%15 ve %20 oranlarda kestane katkılı kompozitlerin kayma hızına bağlı olarak aşınma oranı grafikleri verilmiştir. 30N yük sabit kalacak şekilde kayma hızı 0,5 m/sn'den 1,0 m/sn' ye artırıldığında katkısız PP polimerinin aşınma oranı %12,32 artmıştır. Bu değerler, PP/5Kestane, PP/10Kestane, PP/15Kestane

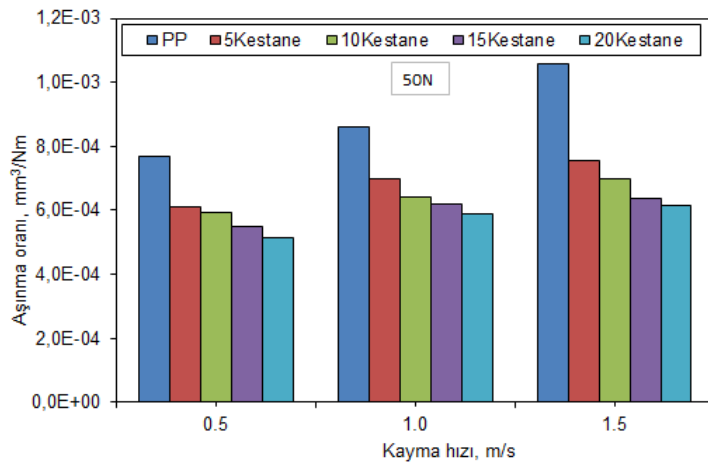
ve PP/20Kestane için sırasıyla %12,28; %11,53; %10 ve %13,04 oranlarında elde edilmiştir. Kestane katkısı ile PP polimerine kıyasla aşınma oranında azalan yönde değişim olmasına karşın, kayma hızının artması ile aşınma oranındaki aşınma oranlarının da arttığı gözlenmiştir.



(a)



(b)








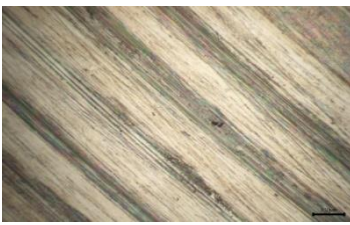





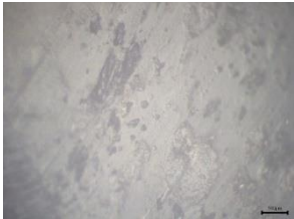

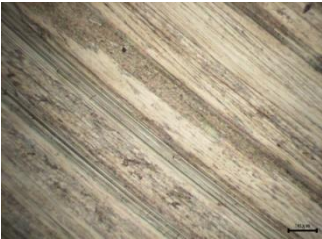
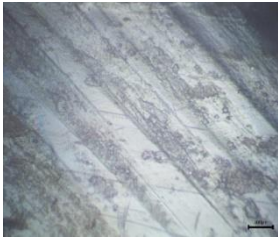








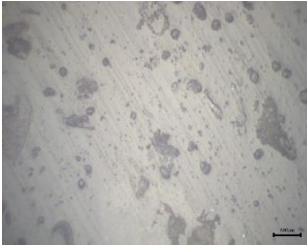
(c)

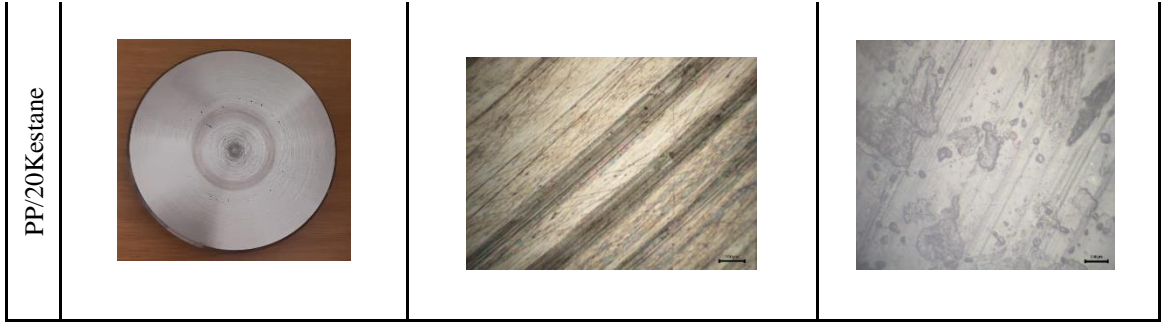
Şekil 4. 10. PP ve PP/Kestane Kompozitlerin Kayma Hızına Bağlı Olarak Aşınma Oranı Değişimi

4.4. Optik Mikroskop Sonuçları

Şekil 4.11’de aşınma test cihazında 1,0 m/s kayma hızında, 30 N yük altında aşınma testleri sonucunda elde edilen pimlerin ve disklerin makro-disk ve optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Makro disk ve mikro-disk resimleri incelendiğinde tüm numunelerinin yüzeylerinde transfer film tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Oluşan bu transfer film tabakası ve bu tabakanın malzeme üzerindeki yoğunluğu PP kompozitlerin aşınma ve sürtünme davranışlarını doğrudan etkilemiştir. Pim resimleri incelendiğinde ise katkısız PP polimerinin yüzeylerinde sayıca fazla ve derin yüzey oyukları gözlenirken, PP polimerine ilave edilen kestane ve geven katkıları ile bu yüzey kusurlarında azalma meydana gelmiş olup daha yumuşak bir yüzey elde edilmiştir.

	MAKRO DİSK	MİKRO DİSK	MİKRO PİM
PP			
PP/10Geven			
PP/20Geven			

PP/15Kestane			
PP/10Kestane			
PP/5Kestane			
PP/40Geven			
PP/30Geven			



Şekil 4. 11. Disk ve Pim'lerin Makro ve Optik Mikroskop Görüntüleri (Kayma hızı:1,0 m/s –Yük: 30 N)



SONUÇ VE ÖNERİLER

PP polimeri ve bu polimerin içerisine ilave edilen ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 olan geven ile %5, %10, %15 ve %20 olan kestane katkılı PP kompozit malzemelerin Shore D ve tribolojik özelliklerinin incelendiği çalışma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

PP polimerine ilave edilen geven ve kestane katkıları ile Shore D sertlik değerleri artmıştır. En yüksek sertlik değeri 77,4 ile PP/20Kestane kompozitinde elde edilmiştir.

- PP polimerine ilave edilen geven ve kestane katkıları ile sürtünme katsayıları ve aşınma oranları azalmıştır.
- Artan yük ve kayma hızına bağlı olarak sürtünme katsayıları ve aşınma oranları artmıştır.
- En yüksek sürtünme katsayısı ve aşınma oranı 1,5 m/s kayma hızı ve 50 N yük altında katkısız PP polimerinde elde edilirken en düşük sürtünme katsayısı 0,5 m/s kayma hızı ve 10N yük altında PP/40Geven kompozitinde elde edilmiştir.

Çalışma sonucunda öneri olarak, PP polimeri ile kestane ve geven katkıları arasındaki uyumu artırmak için maleik anhidrit aşılı PP (PP-g-MA) uyumlaştırıcı ajanı ilave edilerek mekanik ve tribolojik sonuçlar karşılaştırılabilir.

KAYNAKÇA

- Akbaş, S., Güleç, T., Tufan, M., Taşçıoğlu, C., & Peker, H. (2013). Fındık Kabuklarının Polipropilen Esaslı Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 50-56.
- Akbulut, T., Ayrılmış, N., & Taşdemir, M. (2015). Effect of wood flour on the properties of PP/HIPS wood plastic composites. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 31-37.
- Akyüz, Ö. F. (2001). *Plastikler ve Plastik Enjeksiyon Teknolojisine Giriş*. İstanbul: PAGEV Yayınları.
- Andrzejewski, J., Rydzkowski, T., Barczewski, M., Czarnecka-Komorowska, D., Thakur, V., & Gawdzińska, K. (2023). Manufacturing and characterization of sustainable and recyclable wood-polypropylene biocomposites: Multiprocessing-properties-structure relationships. *Industrial Crops & Products*. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117710
- Aran, A. (1990). Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemeler. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mk-475 Ders Notları*. içinde <http://www2.isikun.edu.tr/personel/ahmet.aran/etkm.pdf> adresinden alındı
- Ashori, A. (2008). Wood-plastic composites as promising green-composites for automotive industries! *Bioresource Technology*, 4661-4667.
- Avcı, A., Eker, A. A., & Bodur, M. S. (2021). Yeşil Kompozit Malzemelerin Performans Özellikleri ve Otomotiv Endüstrisinde Kullanımı. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3035-3054. doi:10.1177/0892705712461648
- Avcı, B., Çavdar, A. D., & Mengeloğlu, F. (2022). Odun polimer kompozitlerin doğal ve yapay (suni) yaşlandırma sonrası özelliklerinde meydana gelen değişiklikler. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 264-270. doi: <https://doi.org/10.17568/ogmoad.1091198>
- Bambach, M. (2014, Ocak). Fibre composite strengthening of thin steel passenger vehicle roof structures. *Thin-Walled Structures*, 1-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.tws.2013.09.018
- Baydemir, D. T. (2021). Triboloji. *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*. <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/triboloji.pdf> adresinden alındı
- Baydemir, D. T. (2021, Aralık). Triboloji Enerji ve Doğal Kaynakları Daha Verimli Kullanmanın yolu Mu ? . *TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi*, 36-49. <https://bilimteknik.tubitak.gov.tr/system/files/makale/triboloji.pdf> adresinden alındı
- Baysal, B. (1981). *Polimer kimyası*. . Ankara: Ortadoğu Üniversitesi Yayınevi.
- Bergeret, A., Bourmaud, A., Perrin, D., Benezet, J.-C., & Soccalingame, L. (2015). Reprocessing Of Flour Reinforced Polypropylene Composites: Impact Of Particle Size And Coupling Agent On Composite And Particle Properties . *Polymer*

Degradation and Stability, 13, 72-85.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.020>

- Beşergil, P. D. (2018). *Kompozitler; Geçmişi (composites; history)*. BilsenBeşergil: http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/1_59.html adresinden alındı
- Beşergil, P. D. (tarih yok). *Fazlı Kompozitler (phase composites)*. Prof. Dr. Bilsen Beşergil: http://bilsenbesergil.blogspot.com/p/blog-page_47.html adresinden alındı
- Bilinmiyor. (2000). *Daimler Chrysler turns to natural fibres*. Reinf Plast. adresinden alındı
- Bilinmiyor. (2007). *Bioplastics in automotive applications*. bioplasticsmagazine.com: <https://www.bioplasticsmagazine.com/en/index.php> adresinden alındı
- Bilinmiyor. (2008). *North America enviromental report, report recycling use*. Toyota.com: http://www.toyota.com/about/enviroreport2008/pdfs/2008Report_Recycling_Use.pdf. adresinden alındı
- Bilinmiyor. (2015). *WOOD PLASTIC / NATURAL FIBRE COMPOSITES*. PlastEurope: https://www.plasteurope.com/news/WOOD_PLASTIC_NATURAL_FIBRE_COMPOSITES_t231427/ adresinden alındı
- Bismarck, A., Baltazar-Y-Jimenez, A., & Sarlkakis, K. (2006). Green composites as Panacea? Socio-economic aspects of green materials. *Development and Sustainability*, 445–463.
- Can, P. D. (2020). *TASARIMCI MÜHENDİSLER İÇİN MALZEME BİLGİSİ*.
- Chand, N., & Dwivedi, U. (2006). Effect Of Coupling Agent On Abrasive Wear Behaviour Of Chopped Jute Fibre-Reinforced Polypropylene Composites. *Wear*, 1057-1063.
- Clemons, C. (2002). Wood-Plastic Composites In United States: The Interfacing Of Two Industries. *Forest Products Journal*, 52(6), 10-18.
- Conrad, R. (tarih yok). *Automotive polymers*. Kuraray: <https://www.elastomer.kuraray.com/us/applications/automotive-polymers/#polymers> adresinden alındı
- Çağar, P. K. (2021). Endüstriyel Ürünlerin Tasarımında Yaygın Yer Edinen Polimer Matrisli Kompozit Malzemelerin Özellikleri. *TJFDM*, 3(2), 79-88.
- Çavdar, A. D., & Boran, S. (2016). Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 253-263. doi:<https://doi.org/10.17475/kujff.36865>
- Das, A., Wazeer, A., Abeykoon, C., Sinha, A., & Karmakar, A. (2023). Composites for electric vehicles and automotive sector: A review. *Green Energy and Intelligent Transportation*, 2(1). doi:<https://doi.org/10.1016/j.geits.2022.100043>

- Deniz, M. E. (2005). Kompozit Malzemelerin Üretim Yöntemleri Ve Isıl İşleme Presleme Tekniğini Kullanarak Kompozit Malzeme Üretecek Bir Düzenegin Tasarım Ve İmalatı. *Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* .
- Doddamani, M., Parande, G., Manakari, V., Siddhalingeswar, I. G., Gaitonde, V. N., & Gupta, N. (2017). Wear Response of Walnut-Shell-Reinforced Epoxy Composites. *Materials Performance and Characterization*, 55–79. doi:<http://dx.doi.org/10.1520/MPC20160113>. ISSN 2165-3992
- Ellison, G., & McNaught, R. (2000). The use of natural fibres in nonwoven structures for applications as automotive component substrates. *Ministry of Agriculture Fisheries and Food*.
- Erdil, A. (2020, eylül 120). *Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri ve Kullanımı*. TekYaz Blog: <https://blog.tekyaz.com/kompozit-malzemelerin-genel-ozellikleri-ve-kullanimi/> adresinden alındı
- Fantuzzi, N., Baccocchi, M., Benedetti, D., & Agnelli, J. (2021). The use of sustainable composites for the manufacturing of electric cars. *Composites Part C: Open Access*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100096>
- Ferdinand, M., Várdai, R., Faludi, G., Gahleitner, M., Lummerstorfer, T., Pretschuh, C., . . . Jerabek, M. (2023). Impact modification of wood flour reinforced PP composites: Problems, analysis, solution. *Composites Part A*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2023.107445>
- Gardiner, G. (2018). *Pushing EVs forward*. CompositesWorld: <https://www.compositesworld.com/articles/pushing-evs-forward> adresinden alındı
- Ge, S., Xiao, R., Yu, Q., Ye, H., Shi, Y., Sheng, Y., . . . Nourani, P. (2023). Visual design of high-density polyethylene into wood plastic composite with multiple desirable features: A promising strategy for plastic waste valorization. *Journal of Building Engineering*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105445>
- Gülmez, S. (2018). Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Polimer Matrisli Malzemeler. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Gülmez, S., & Bektaş, N. B. (2018, Ocak). Otomotiv endüstrisinde kullanılan polimer matrisli kompozit malzemeler. <https://hdl.handle.net/11499/2527> adresinden alındı
- Gürbüz, D. D. (2010). Mukavemet Arttırıcı Sistemler ve Mikroyapı Tasarımı. *metal matrisli kompozitler*. ondokuz mayıs üniversitesi mühendislik fakültesi.
- Hale, J. (2008). *Boeing 787 From The Ground Up*. Boeing.com: https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/qtr_4_06/article_04_2.html adresinden alındı
- Hollaway, L. (1993). *Polymer Composites for Civil and Structural Engineering* . SPRINGER-SCIENCE+BUSINESS MEDIA, B.V.

- Holmberg, K., & Erdemir, A. (2019). The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars. *Tribology International*, 389-396. doi:<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.024>
- Hyvärinen, M., Ronkanen, M., & Kärki, T. (2019). The effect of the use of construction and demolition waste on the mechanical and moisture properties of a wood-plastic composite. *Composite Structures*, 321–326. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2018.11.063>
- Ismail, S. O., Akpan, E., & Dhakal, H. N. (2022, 03 10). Review on natural plant fibres and their hybrid composites for structural applications: Recent trends and future perspectives. *Composites Part C: Open Access*.
- İşlek, H. İ. (2020). *Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları*. Kompozit Hayalleri : <http://kompozithayalleri.com/kompozit-malzemelerin-kullanim-alanlari/> adresinden alındı
- Kalin, M., Jan, P., Matkovic, S., Bek, M., & Per̄se, L. S. (2023). Tribological behaviour of green wood-based unrecycled and recycled polypropylene composites. *Wear*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wear.2023.204826>
- Kaya, A. İ. (2016). Kompozit Malzemeler Ve Özellikleri. *Putech & Composites*, 38-45. https://www.researchgate.net/publication/312332966_Kompozit_Malzemeler_ve_Ozellikleri adresinden alındı
- Kaymakçı, A., & Ayrılmış, N. (2014). Waste Chestnut Shell As A Source Of Reinforcing Fillers For Polypropylene Composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(8), 1054–1064. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.11.006>
- Khemka, P. (2020). *New Trends In Plastics Consumption In The Automotive Industry – Which Materials Will Be The Winners And Losers?* ADAPT: <http://adapt.mx/plastics-in-the-automotive-industry-which-materials-will-be-the-winners-and-losers/> adresinden alındı
- Kim, D.-H., Choi, D.-H., & Kim, H.-S. (2014, mart). Design optimization of a carbon fiber reinforced composite automotive lower arm. *Composites Part B: Engineering*, 400-407. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.10.067>
- Kim, D.-H., Kim, H.-G., & Kim, H.-S. (2015). Design optimization and manufacture of hybrid glass/carbon fiber reinforced composite bumper beam for automobile vehicle. *Composite Structures*, 742-752. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2015.06.028>
- Kimyasal ve Malzeme - Ahşap Plastik Kompozit Pazarı*. (2022). Precedence research: <https://www.precedenceresearch.com/insightimg/Wood-Plastic-Composite-Market-Size.jpg> adresinden alındı
- Koronis, G., Silva, A., & Fontul, M. (2013). Green composites: A review of adequate materials for automotive applications. *Composites: Part B*, 120-127. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.07.004>

- Kumar, A. P., Belagali, S., & Bhaskar. (2014). Comparative study of automotive bumper with different material for passenger and pedestrian safety. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(4), 60-64.
- Kurnaz, U. (2019). Çok Katlı Poliamid Kompozit Borunun Ekstrüzyon İle Üretiminde Alev Uygulamasının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Lewin, M. (2006). *Handbook of Fiber Chemistry*. CRC Pres. doi:<https://doi.org/10.1201/9781420015270>
- Maassoumi, A. A. (1998). Astragalus in the Old World.
- Malnati, P. (2009). *ECO Elise concept: Lean, speedy and green*. Compositesworld.com: <https://www.compositesworld.com/articles/eco-elise-concept-lean-speedy-and-green> adresinden alındı
- Mekonnen, T., Jubinville, D., Esmizadeh, E., & Tzoganakis, C. (2021). Thermo-mechanical recycling of polypropylene for the facile and scalable fabrication of highly loaded wood plastic composites. *Composites Part B*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108873>
- Misra, M., Singh, M. K., & Mohanty, A. K. (2023). Upcycling of waste polyolefins in natural fiber and sustainable filler-based biocomposites: A study on recent developments and future perspectives. *Composites Part B*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110852>
- Muhidin, A. A. (2021). The Investigation of the environmental effects on composite materials.
- Mysiukiewicz, O., & Sterzyński, T. (2017). Influence of Water on Tribological Properties of Wood-Polymer Composites. *Archives of Mechanical Technology and Materials*, 79-84.
- Özmen, N., Çetin, N. S., Narlıoğlu, N., Çavuş, V., & Altuntaş, E. (2014). MDF atıklarının odun plastik kompozitlerin üretiminde değerlendirilmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi*, 65-71.
- Partanen, A., & Carus, M. (2016). Wood and natural fiber composites current trend in consumer goods and automotive parts. *Reinforced Plastics*, 170-173. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.repl.2016.01.004>
- Patil, A., Patel, A., & Purohit, R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. *Materials Today: Proceedings*, 3807–3815. doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.278>
- Petersson, H., Motte, D., & Bjärnemo, R. (2014). Carbon Fiber Composite Materials in Modern Day Automotive Production Lines: A Case Study. *ASME 2013 International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. doi:<https://doi.org/10.1115/IMECE2013-62272>
- Rosato, D. V. (1997). *Designing With Reinforced Composites: Hanser Gardner Publications*.

- Roy, P., Defersha, F., Rodriguez-Uribe, A., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2020). Evaluation of the life cycle of an automotive component produced from biocomposite. *Journal of Cleaner Production*.
- Scheffer, T., & Morrell, J. (1997). Ability of polyethylene boots to protect the belowground portion of small stakes against decay. *Forest Products J.*, 42-44.
- Shah, R. W. (2021). Tribology meets sustainability. *Industrial Lubrication and Tribology*, 430-435. doi:DOI:10.1108/ILT-09-2020-0356
- Soydan, Y. (2016). Elektrikli ve konvansiyonel otomobil tribolojisi: Yeni eğilimler ve uygulamalar. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, 7(3), 527-536. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/302816> adresinden alındı
- Sönmez, M. (2009). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi Ve Geleceği: Türkiye'den Dört Firma Üzerinde Bir İnceleme. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimi Enstitüsü*.
- Sönmez, M. (2009, 11 18). Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği; Türkiye'den Dört Örnek Firma Üzerinde İnceleme. *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Stewart, R. (2010). Automotive Composites Offer Lighter Solutions. *Reinforced Plastics*, 54(2), 22-28. doi:10.1016/S0034-3617(10)70061-8
- Strong, A. (2008). Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications. *Society of manufacturing engineers*.
- Suddell, B., & Evans, W. (2005). Natural Fiber Composites In Automotive Applications. A. K. Mohanty, M. Misra, & L. T. Drzal içinde, *Natural fibers, Biopolymers, And Biocomposites*. doi:<https://doi.org/10.1201/9780203508206>
- Südnanç, Ö. F. (2017, mayıs). Odun Plastik Kompozitlerin üretimi, Özellikleri ve Kullanım Yerleri Üzerine Araştırmalar.
- Taşkıran, M. (2018). Karbon Elyaf, PTFE Ve Yağ Katkılı PA6 Polimer Kompozitlerinin Mekanik ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi . *Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* .
- Teknikurunler.com. (2020). *Shore Sertliği Nedir*. Medium: <https://teknikurunler.medium.com/shore-sertli%C4%9Fi-nedir-385bfb084dbf> adresinden alındı
- Turgut, D. (2012). Farklı Tür Sıvı Ortamlarda Tutulan Kestamid Malzemelerde Darbe Dayanımının Deneysel İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ulçay, Y., Akyol, M., & Gemci, R. (2002). Polimer esaslı lif takviyeli kompozit malzemelerin arabirim mukavemeti üzerine farklı kür metotlarının etkisinin incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, 7(1), s. 93-116.

- Ulçay, Y., Akyol, M., & Gemci, R. (2002). Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin Arabirim Mukavemeti Üzerine Farklı Kür Metaotlarının Etkisinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, 7(1).
- Väisänen, T., Das, O., & Tomppo, L. (2017). A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites. *Journal of Cleaner Production*, 582-596. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.132>
- Wood Plastic Composite (WPC) Market- Global Industry Analysis and forecast (2023 – 2029)*. (2022). maximizemarketresearch: <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-wood-plastic-composite-wpc-market/76219/> adresinden alındı
- Wu, C.-S., & Liao, H.-T. (2013). The mechanical properties, biocompatibility and biodegradability of chestnut shell fibre and polyhydroxyalkanoate composites. *Polymer Degradation and Stability*, 274-282. doi:<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.10.019>
- Yang, W., & Li, Y. (2012). Sound absorption performance of natural fibers and their composites. *Science China Technological Sciences*, 55(8). doi:10.1007/s11431-012-4943-1