



T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL VEYA SENTETİK LİFLERLE DOKUNMUŞ  
KUMAŞLARIN GÜÇLENDİRİCİ OLARAK PP  
ESASLI ÇOK KATMANLI ODUN PLASTİK  
KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

**FURKAN KOCABAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KAHRAMANMARAŞ 2023**

T.C.  
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DOĞAL VEYA SENTETİK LİFLERLE DOKUNMUŞ  
KUMAŞLARIN GÜÇLENDİRİCİ OLARAK PP  
ESASLI ÇOK KATMANLI ODUN PLASTİK  
KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI**

**FURKAN KOCABAŞ**

**Bu tez,  
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS  
derecesi için hazırlanmıştır.**

**KAHRAMANMARAŞ 2023**

## TEZ BİLDİRİMİ

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

Furkan KOCABAŞ



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

**DOĞAL VEYA SENTETİK LİFLERLE DOKUNMUŞ KUMAŞLARIN  
GÜÇLENDİRİCİ OLARAK PP ESASLI ÇOK KATMANLI ODUN PLASTİK  
KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANIMI  
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**Furkan KOCABAŞ**

**ÖZET**

Lignoselülozik dolgu maddeleri sağladıkları işlenme kolaylığı, düşük yoğunluğu, düşük maliyeti, yenilenebilir kaynaklardan elde edilmesi ve geri dönüşüme uygunluğu dolayısıyla odun plastik kompozitlerin (OPK) üretiminde tercih edilmeye başlanmıştır. Sisal lifleri, buğday sapları, farklı ağaç türlerinden elde edilen odun unları/lifleri, kenaf, kenevir, jüt, pirinç sapları, kendir gibi çeşitli lignoselülozik liflerin OPK üretiminde kullanımları incelenmiştir. OPK üretiminde polipropilen (PP), polietilen (PE) ve polivinilklorit (PVC) gibi çeşitli polimerler kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı oranlarda lignoselülozik dolgu maddesi oranları kullanılarak çeşitli OPK'ler üretilmiştir. Daha fazla yük taşınması beklenen uygulamalar için ise farklı güçlendiriciler kullanılarak hibritOPK'ler üretilmeye başlanmıştır. Farklı kullanım alanlarında OPK levhalar üzerinde en fazla yük kaldırması gereken yerler levhanın basma (compression) ve çekme (tension) yüzeyleri olmaktadır. OPK'lerin üretiminde karışım halinde kesilmiş güçlendirici lifler kullanımı yerine ihtiyaç duyulan bölgelerde dokunmuş güçlendiricilerin kullanımı fikri ortaya atılmıştır. Bu tip üretimlerle ilgili yapılan çalışmalarda genelde kuru karışım ve pres kalıplama yöntemiyle üretimler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, öncelikle takviye elamanı olarak meşe odunu unu ve polimer matris olarak PP kullanılarak ekstrüzyon işlemi ile kompozit boncuklar üretilmiştir. Daha sonra üretilen boncuklar ve dokunmuş güçlendiriciler levha taslağını oluşturacak şekilde serilerek pres kalıplama yöntemiyle hibrit kompozitler üretilmiştir. Güçlendirici olarak ise dokunmuş cam elyafı ve jüt lifi kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerin mekanik, fiziksel, termal ve morfolojik özellikleri (SEM) incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen (PP), Odun unu, Dokunmuş güçlendirici lifler, Mekanik özellikleri, Fiziksel özellikler

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ocak / 2023

Danışman : Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU  
Sayfa sayısı : 72

**USE OF FABRICS WOVEN WITH NATURAL AND SYNTHETIC FIBERS AS  
REINFORCERS IN THE PRODUCTION OF PP-BASED MULTI-LAYERED  
WOOD PLASTIC COMPOSITE  
(MSc THESIS)**

**Furkan KOCABAŞ**

**ABSTRACT**

Lignocellulosic fillers have started to be preferred in the production of wood plastic composites (WPC) due to their ease of processing, low density, low cost, being obtained from renewable resources and being suitable for recycling. The use of various lignocellulosic fibers such as sisal fibers, wheat straw, wood flour /fibers obtained from different tree species, kenaf, hemp, jute, rice straw, hemp in the production of WPC were investigated. Various polymers such as polypropylene (PP), polyethylene (PE) and polyvinylchloride (PVC) have been used in the production of WPC. Various WPC's were produced by using different ratios of lignocellulosic fillers in the studies. For the applications that are expected to carry more loads, hybrid WPC's have started to be produced by using different reinforcements. In different usage areas, the places that need to lift the most load on WPC plates are the compression and tension surfaces of the plate. In the production of WPC's, the idea of using reinforcing fibers woven in the required areas instead of using reinforcing fibers cut into a mixture was put forward. In the studies on this type of production, productions were generally carried out by dry mix and press molding methods. In this study, firstly, composite beads were produced by extrusion process using oak flour as reinforcement and PP as polymer matrix. Then, the beads and woven reinforcements produced will be laid to form the sheet outline, and hybrid composites have been produced by press molding method. Woven glass fiber and jute fiber were used as reinforcement. The mechanical, physical, thermal and morphological properties (SEM) of the produced composites were investigated.

**KeyWords:** Polypropylene (PP), Wood flour, Woven reinforcing fibers, Mechanical properties, Physical properties.

Kahramanmaraş Sütçü İmam University  
Enstitute of Sciences  
Department of Forest Industrial Engineering, January / 2023

Supervisor : Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU  
Page Numbers: 72

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez çalışması süresince engin bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve çalışmamın her aşamasında bana sağladığı bilimsel katkılardan dolayı Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU'na, sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanmasında ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen doktora öğrencisi Yıldız BİRBİLEN'e teşekkür ediyorum.

Ayrıca tezimle ilgili çalışmalarda akademik bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen ve her fırsatta birikimlerinden yararlandığım tüm bölüm hocalarıma, tüm çalışmalarım süresince değerli görüş ve fikirlerini benimle paylaşan Dr. Öğr. Üyesi İlkay ATAR ve Arş.Gör.Dr. Ayşenur KILIÇ AK, Doktora Öğrencisi Mustafa Kadir YALMAN, Büşra AVCI ve tezimle ilgili yazım düzeltme çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Doktora Öğrencisi Muhammed Ziya KARATAŐ'a bana her konuda destek vermelerinden ötürü tüm içtenliklerimle teşekkür ederim.

Son olarak, beni bugünlere yetiştiren ve öğrenim süresince her türlü yardımlarını esirgemeyen çok anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım.

Furkan KOCABAŞ

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Odun Plastik Kompozitler .....	2
1.2. Odun Plastik Kompozitlerin Tarihi Gelişimi .....	2
1.3. Odun Plastik Kompozitlerin Kullanım Alanları .....	3
1.4. Odun Plastik Kompozitlerin Avantaj ve Dezavantajları .....	5
1.5. Odun Plastik Kompozitlerin Üretim Yöntemleri .....	6
1.5.1. Enjeksiyon kalıplama .....	6
1.5.2. Ekstrüzyon Yöntemi .....	7
1.5.3. Basma Kalıplama ve Transfer Yöntemi .....	9
1.5.4. Sonsuz Presleme .....	10
1.6. Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Malzemeler .....	10
1.6.1. Lignoselülozik malzemeler .....	11
1.6.2. Polimerler .....	11
1.6.2.1. Termosetler .....	12
1.6.2.2. Termoplastikler .....	13
1.6.3. Uyumlaştırıcı ajanlar .....	14
1.7. Odun Plastik Kompozitlerin Güçlendirilmesinde Kullanılan Malzemeler .....	16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	19
3. MATERYAL VE METOD .....	23
3.1. Materyal .....	23
3.1.1. Odun unu .....	23
3.1.2. Polipropilen .....	24
3.1.3. MAPP .....	25
3.1.4. Cam elyafı .....	25
3.1.5. Jüt lifi .....	26
3.2. Metod .....	27
3.2.1. Kullanılan ham maddenin hazırlanması .....	27
3.2.2. OPK karışımının hazırlanması .....	28
3.2.3. OPK levhalarının kalıplanması .....	30

3.2.4. Deney Örneklerinin Kesilmesi Ve Hazırlanması .....	31
3.2.5. OPK fiziksel özelliklerinin belirlenmesi .....	32
3.2.6. OPK mekanik özelliklerinin belirlenmesi .....	33
3.2.7. İstatistiksel analizler .....	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA .....	36
4.1. Üretilen OPK Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Bulguları.....	36
4.1.1. Yoğunluk .....	36
4.2. Üretilen OPK Mekanik Özelliklerinin Deneysel Bulguları .....	38
4.2.1. Çekme direnci.....	38
4.2.2. Çekmede elastikiyet modülü .....	41
4.2.3. Kopmada uzama .....	42
4.2.4. Eğilme direnci.....	44
4.2.5. Eğilmede elastikiyet modülü .....	46
4.2.6. Darbe direnci .....	48
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR .....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	60

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Bazı odun plastik kompozitlerin örnekleri .....	4
Şekil 1.2. Enjeksiyon kalıplama makinesi .....	7
Şekil 1.3. Ekstruder.....	8
Şekil 1.4. Basma kalıplama yöntemi.....	9
Şekil 1.5. Sonsuz Presleme Yöntemi ile OPK Üretimi.....	10
Şekil 1.6. Polimerler sınıflandırılması Polimerlerin gruplandırılması .....	12
Şekil 1.7. OPK üretimini üzerinde uyumlaştırıcı ajan etkisinin çalışma mekanizması .....	16
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan odun unu.....	23
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan polipropilen .....	24
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan MAPP .....	25
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan cam elyafı .....	26
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan jüt lifi.....	26
Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan ham maddeler .....	27
Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan malzemelerin ön hazırlık aşaması a) Sarsak Elek b) Etüv Fırını.....	27
Şekil 3.8. Kullanılacak ekipmanlar a) Mikser, b) Ekstruder makinesi c) Ekstruder çıkan ürün d) Kırıcı e) Kırılmış haldeki pelet ürün.....	29
Şekil 3.9. Opk kalıplanması a) Sıcak pres makinası b) Pres öncesi hazırlık c) Elde ettiğimiz son ürün .....	30
Şekil 3.10. Polipropilen esaslı çok katmanlı odun plastik kompozit üretimi.....	31
Şekil 3.11. Eğilme ve çekme test numuneleri .....	32
Şekil 3.12. Yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan deney düzeneğinin görüntüsü .....	32
Şekil 3.13. Zwick/Roell Z1.0 çekme deneyi test cihazı.....	33
Şekil 3.14. Zwick/Roell Z1.0 eğilme deneyi test cihazı .....	34
Şekil 3.15. Darbe direnci a) Çentik açma cihazı b) Darbe test cihazı .....	35
Şekil 4.1. MAPP kullanılmayan örneklerin yoğunluk değeri etkileşim grafiği .....	37
Şekil 4.2. MAPP kullanılan örneklerin yoğunluk değeri etkileşim grafiği.....	37

Şekil 4.3. MAPP kullanılmayan örneklerin çekme direnci değeri etkileşim grafiği .....	40
Şekil 4.4. MAPP kullanılan örneklerin çekme direnci değeri etkileşim grafiği.....	40
Şekil 4.5. MAPP kullanılmayan örneklerin çekmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği .....	41
Şekil 4.6. MAPP kullanılan örneklerin çekmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği .....	42
Şekil 4.7. MAPP kullanılmayan örneklerin kopmada uzama değeri etkileşim grafiği.....	43
Şekil 4.8. MAPP kullanılan örneklerin kopmada uzama değeri etkileşim grafiği .....	43
Şekil 4.9. MAPP kullanılmayan örneklerin eğilme direnci değeri etkileşim grafiği.....	45
Şekil 4.10. MAPP kullanılan örneklerin eğilme direnci değeri etkileşim grafiği .....	45
Şekil 4.11. MAPP kullanılmayan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği .....	46
Şekil 4.12. MAPP kullanılan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği .....	47
Şekil 4.13. MAPP kullanılmayan örneklerin darbe direnci değeri etkileşim grafiği.....	49
Şekil 4.14. MAPP kullanılan örneklerin darbe direnci değeri etkileşim grafiği .....	49

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Odun plastik kompozitlerin Pazar ve uygulama alanları.....	5
Çizelge 3.1. Polipropilen'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri (Anonim 2, 2022). ....	24
Çizelge 3.2. MAPP'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri .....	25
Çizelge 3.3. PP esaslı kompozitlerin üretim reçetesi. ....	28
Çizelge 4.1. Deney örneklerinin yoğunluk değerleri .....	36
Çizelge 4.2. Üretilen odun plastik kompozitlerin çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzamatest sonuçları .....	38
Çizelge 4.3. Üretilen odun plastik kompozitlerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları .....	44
Çizelge 4.4. Üretilen odun plastik kompozitlerin darbe direnci test sonuçları .....	48

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

OPK	: Odun plastik kompozitler
MAPP	: Maleik Anhidritli Polipropilen
MAPE	: Maleik Anhidritli Polietilen
PE	: Polietilen
PP	: Polipropilen
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinil klorür
PET	: Polietilen tereftalat
LDM	: Lignoselülozik dolgu maddesi,
ASTM	: American Society for Testing and Materials
TSE	: Türk Standart Enstitüsü
ED	: Eğilme direnci
EEM	: Eğilmede elastikiyet modülü
ÇD	: Çekme direnci
ÇEM	: Çekmede elastikiyet modülü
MPa	: Megapaskal
J/m	: Joule/metre
N	: Newton
Kg	: Kilogram
°C	: Santigrat derece
gr	: Gram
cm	: Santimetre
mm	: Milimetre
MMC	: Mobil Chemical Company
AERT	: Advanced Environmental Recycling Technologies

## 1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz yüzyılın başından itibaren karbon salınımı azaltılması ve çevre dostu malzeme başlıkları ciddi anlamda önem teşkil etmektedir. Bu sebepten günden güne odun ve odun esaslı ürünlerin kullanımı ve araştırılması artmaktadır (Gori vd.,2013). Bu ihtiyacı karşılamak için gelişmiş dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de odun ve plastik esaslı kompozitlerin üretimi oldukça önem kazanmıştır. Odun plastik kompozitlerle ilgili yapılan akademik çalışmalar özellikle üretim sürecini ve hammaddeyi iyileştirmeye yönelik olmalıdır. Bunun nedeni, bu sektörün nispeten yeni bir sektör olmasıdır (Rowell vd., 1997).

Günümüzde farklı üretim yöntemleri ile elde edilen plastik ürünler yaşamımızın birçok alanında yoğun olarak kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına bağlı olarak ürünlerden beklenen özellikleri sağlamak saf (katkısız) haldeki polimerlerle (plastikler) mümkün olmamaktadır. Polimerler üzerinde çeşitli malzemeler kullanılarak istenilen özellikte ürünler elde edilebilmektedir (Mengeloğlu, 2006). Bu şekilde iki veya daha fazla sayıdaki aynı ya da farklı malzemelerin, en iyi özelliklerini bir araya toplamak veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla, bu malzemelerin mikro-makro seviyede birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelere “kompozit malzeme” denilmektedir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Odun plastik kompozitler lignoselülozik malzeme (un veya lif halindeki) ve termoset veya termoplastik polimerlerin doğrudan veya isteğe bağlı olarak, uyumlaştırıcı ajanlar eklenerek, birbiriyle karıştırılarak, üretim süreci sonunda elde edilen malzemelere verilen genel bir addır (Matuana ve Heiden., 2004; Clemons., 2002; Kaymakçı, 2014).

OPK’ler plastik malzemelerle kıyaslandığında düşük üretim maliyeti, kolay hammadde temini ve doğada hızlı bozulması sayesinde çevre dostu bir malzeme olarak tanımlanabilmektedir. OPK’leri oluşturan bileşenler kendi karakteristik özelliklerini korurken diğer bir yandan yeni özelliklerde kazanım sağlamış olup, yüksek mekanik özellik, dış ortama dayanıklı ve yangına karşı dirençli gibi benzer özellikler odun plastik kompozitlere kazandırılır (Kim ve Pal, 2010).

OPK üretimi 1980’li yılların ortalarından itibaren endüstriyel amaçlı ABD’de, Avrupa’da ise 2000’li yıllardan sonra, tanınmaya başlamış ve üretim yapan az sayıda tesis bulunmaktadır. Daha sonra Endüstrinin büyümesine bağlı olarak kullanım çeşitliliğinde bir artış olmuş buna paralel olarak kullanım alanları da artmıştır. Bu süreç OPK’ların daha

fazla özelliği bünyesinde bulundurması sayesinde endüstrinin gelişmesine katkı sağlamıştır (Rowell vd., 1997).

Odun plastik kompozitlerin bileşenlerinden olan polimerler, polipropilen (PP), polietilen (PE) ve polivinilklorit (PVC) gibi çeşitli polimer türleri OPK üretiminde oldukça yaygın kullanılmaktadır. OPK üretiminde mekanik özelliklerin iyileştirilmesi maksadıyla birçok farklı güçlendiriciler kullanılmaktadır. OPK'lerin üretiminde karışım halinde kesilmiş güçlendirici lifler kullanımı yerine ihtiyaç duyulan bölgelerinde söz konusu bölgelerinde dokunmuş güçlendiricilerin kullanımı fikri ortaya atılmıştır. Özellikle dokunmuş veya dokunmamış karbon lifi, jüt lifi ve cam elyafı gibi iyi mekanik özelliklere sahip güçlendiricilerin takviyesi ile istenilen özelliklerinin karşılayabildiği çalışma konusuna geniş bir bakış açısı getirmiştir (Fu vd., 1999; Rezai vd., 2009; Durmaz, 2020).

### **1.1. Odun Plastik Kompozitler**

Odun plastik kompozitleri; birçok odun türü ve plastikler (termoset ya da termoplastikler) içeren kompozitleri ifade eder. Bunlardan termoset plastikler sertleştiğinde, tekrar ısıtılması ile yumuşamaz ve kullanılmaz örnek olarak; epoksi ve fenolik reçineler verilebilir. Termoplastikler ısıtıldığında tekrar kullanılabilir örnek olarak; polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polivinil klorür'ü (PVC) verebiliriz. Plastikler, yapı sektöründe, sağlık sektöründe ve tekstil sektörü gibi birçok alanda ticari ürün olarak kullanılmaktadır (Clemons, 2002; Hollaway, 1994).

Odun plastik kompozitler, odun lifli plastik kompozit veya geri dönüşümü mümkün olmasından dolayı da çevreci kompozit gibi değişik isimlerle de bilinmektedir. Odun plastik kompozitler, alternatif kompozitlerle ile karşılaştırıldığında yenilenebilir bir malzemedir (Clemons ve Ibach, 2004).

### **1.2. Odun Plastik Kompozitlerin Tarihi Gelişimi**

Odun plastik kompoziti ilk olarak 1907 yılında Belçikalı kimyacı Leo Beakeland tarafından fenol formaldehit ve odun tozundan üretilen ve Bakalit olarak isimlendirilen ürün olarak yapıldığı söylenilebilir. İlk ticari ürün ise 1916'da Rolls Royce tarafından vites kolu olarak kullanılmak amacıyla üretilmiştir. Termoplastikler ile odun parçacıklarını karıştırarak ekstrüzyon yöntemiyle OPK üretimi ise; 1920'li yıllarında İtalya'da olduğu patentlerle doğrulanmaktadır. Bu kompozitler dünya literatüründe Wood-Plastic Composites (WPC) olarak adlandırılmaktadır (Gordon, 1988).

Lignoselülozik malzemelerle termoplastik malzemeleri kullanarak kompozit elde etmek, mekanik açıdan gelişim sağlamak ve bu şekilde maliyeti azaltmak yeni bir şey değildir. Bu alanda çalışmalar makaleler, bildiriler, eski yıllara dayanan patentler bulunmaktadır. 1980 yılında artan plastik maliyetleri ve çevresel yönlere düşünülürken yenilenebilir malzemeler üretme isteği, bu malzemelere olan ilgiyi arttırmıştır (Rowell, 2006). Daha sonra duraklama dönemine giren sektör 1983 yılında tekrardan ABD'de aynı veya benzer amaçla yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanmıştır (Mengeloğlu, 2006).

1980'lerde AB ve ABD'deki PVC profil ve doğrama şirketleri ve araştırmacıları; Odun ve plastiğin tek başına kullanılması ile meydana gelen olumsuzlukları iyileştirmek, maliyeti düşürmek, sıcaklığın etkisiyle meydana gelen kimyasal yapıdaki bozulma oranını azaltmak, atıklara endüstriyel değer kazandırmak gibi amaçlarla plastik endüstrisinde lignoselülozik hammaddeler kullanmaya başlamışlardır.

1990'lı yıllardan itibaren, Mobil Chemical Company (MMC) ve Advanced Environmental Recycling Technologies (AERT)'nin bir kısmı polietilene yaklaşık %50 odun lifi ilave ederek dayanıklı OPK'nın üretimine başlamışlardır. 1996'da birçok Amerikan şirketi, odun veya diğer doğal lifler ile plastiği kullanarak yuvarlak boncuk şeklindeki pelletlerin üretimine başlamış ve kendi odunsu materyallerini öğütmeyi istemeyen üreticiler için karışım pelletlerini kullanıma sunmuşlardır. Strandex Corporation (SC), yüksek odun lifi içeren son ürün üretimleri için uygun bir teknolojinin patentini almıştır (Youngquist, 1995; Eckert, 2000; Clemons, 2002).

### **1.3. Odun Plastik Kompozitlerin Kullanım Alanları**

Dünya genelinde ilk kez 2001 yılında OPK pazarı raporu yayınlanmış olup bu rapora göre; 20 ülke genelinde 199 OPK üreticisi bulunmakta ve odun plastik kompozit malzemelere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır (Eder vd.,2007). Yayınlanmış rapora göre; Dünya genelinde OPK üretimi yıllık 1.5 milyon tonun üzerinde, 1 milyon tonluk üretim kapasitesiyle Kuzey Amerika birinci sırada yer alırken, 200 bin tonluk üretim kapasitesiyle Çin ikinci sırada ve 100 bin tonluk üretim kapasitesiyle Japonya 3 sırada yer almaktadır. Avrupa'da ise Almanya yaklaşık olarak 70 bin ton üretim ile Avrupa ülkeleri arasında lider konumdadır. Almanya'da OPK'ların kullanım alanları düşünüldüğünde; döşeme malzemeleri otomobil içi plastik parça malzemeleridir (Eder ve Carus, 2013).

2008 ve 2009 yıllarında meydana gelen küresel krizden bütün polimer sektörü olumsuz yönde etkilenirken, Avrupa'da polimer sektörü büyük bir yükseliş yaşamıştır.

Ancak OPK talebinde herhangi bir artış gözlenmemiştir. Japonya da ise 50/50 oranında odun unu/PVC den üretilen OPK'lar ve poliolefin esaslı OPK üretimi artmıştır. Çin'de ise OPK kullanım alanı çok daha geniş olup, son yıllarda %30'luk bir büyüme gözlenmiştir (Anonim 1, 2011).

Odun plastik kullanım yerlerini üretimde kullanılan malzemelerin oranına, birbirleriyle uyumuna, tasarımına ve kullanılacağı çevre şartlarına göre değişiklik göstermektedir. Bazı Odun plastik kompozit ürünlerine örnekler Şekil 1.1'te gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Bazı odun plastik kompozitlerin örnekleri

Odun plastik kompozitlere olan ilgi, yapıldığı malzemelere göre daha geliştirilmiş direnç özelliklerine sahip olmaları nedeniyle, bu ürünlerin kullanım alanlarını tüm dünyada gittikçe artmaya başlamıştır. Odun plastik kompozitler farklı uygulamalarda sürekli kullanılmakta olup iç mekânlarda; bina ve binanın zemin kaplaması, çöp kovaları, çiçek saksıları yapımı, merdiven korkulukları, balkonlar, spor aletleri yapımı, kapı ve pencere çerçeveleri, dış mekân uygulamalarında; emprenye edilmiş ağaç malzemenin yerine, inşaat sektöründe otomotiv iç panelleri, parke ve mobilya alternatifini olarak kullanılmaktadır (Hietala, 2013; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Odun plastik kompozit ürünlerinin endüstriyel ve diğer uygulama alanları ve son kullanma yerleri Çizelge 1.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Odun plastik kompozitlerin Pazar ve uygulama alanları

Odun Plastik Kompozitlerin Pazar ve Uygulama Alanları						
Sektör	İnşaat Uygulamaları	İç Mimari Uygulamaları	Otomotiv Uygulamaları	Bahçe ve Dış Mekan Uygulamaları	Endüstriyel Uygulamalar	Diğer Uygulamalar
Pazar Uygulamaları	Dış cephe kaplaması	Korkuluk	Kapı kaplamaları	Zemin kaplaması	Korkuluk	Siyah piyano tuşları
	Kapı kasaları	Perde ve panjurlar	Kablo kanalı	Çit uygulamaları	Endüstriyel ambalaj	Küvüt
	Sundurma	Kanal bağlantıları	İç panel	Bahçe mobilyaları	Deniz kazıkları ve bölmeleri	
	Tavan ürünleri	Zemin döşemesi	Raflar	Kulübe ve baraka	Palet ve kasa	
	Döşeme	Dekoratif profiller	Jant kapakları	Park bankları	Rıhtım / iskele döşemeleri	
	Merdiven	Laminat parke	Kamyon zeminleri	Çocuk oyun parkleri	Korkuluklar	
	Pencere çerçeveleri	Ses yalıtım kaplamaları		Park zemin döşemeleri	Tren traversleri	

#### 1.4. Odun Plastik Kompozitlerin Avantaj ve Dezavantajları

Odun plastik kompozit malzemelerin üretiminde, dolgu maddesi olarak kullanılan atık odunların hammadde olarak kullanılması, fiyatları artan odun plastik endüstrisinde azımsanmayacak faydalar sağlamaktadır (Mengeloğlu, vd; 2002; Mengeloğlu ve Matuana, 2003).

Odun plastik kompozitler içerisinde buldukları plastik ve odun malzemenin özellikleriyle karşılaştırıldıklarında kolay işlenebilirlik, saf plastiğe göre daha yüksek sertlik derecesi, oduna göre daha yüksek boyutsal stabilite, mineral dolgu maddelerine nazaran daha düşük özgül ağırlığa sahip olmaları odun plastik kompozitlerin en önemli avantajlarıdır (Karakuş, vd., 2014; Bledzki ve Sperber, 1999).

Bu sebeplerden dolayı odun plastik kompozitlerin üretiminin önemli ve gerekli olduğu düşünülmektedir. Kompozit malzemelerin odun esaslı ürünlere göre bazı avantaj ve dezavantajları vardır. Bunları başlıklar halinde bakılacak olursa;

Avantajları;

- Boyutsal olarak kararlı olup çalışmaları çok azdır,
- boyut ve Şekil almaları kolaydır,
- lif kalkması veya çatlama görülmez,
- Mantarlara karşı dayanıklılıkları daha yüksektir,
- Kullanım esnasında bakım gereksinimleri azdır,
- Atık malzemelerden retilbildiğinden geri dönüşüm mümkündür (Karakuş, 2008).

Dezavantajları;

- Plastik hammaddenin pahalı olması,
- Gevrek yapılı olduklarından kaynaklı kolay Şekilde zarar görebilir ve onarılmalarında yeni mali sorunlar oluşabilir,
- Uzun zamanda kurutma sağlanmaktadır,
- Plastik malzemelere kıyasla daha düşük darbe direncine sahiptir (Mengeloğlu ve Alma, 2002).

### **1.5. Odun Plastik Kompozitlerin retim Yöntemleri**

Odun plastik karışımından plaka üretiminde için birçok Őeenek mevcuttur, ya bölünerek yerine başka malzemeler ilave edilir ya da sürekli ekleme yapılarak karıştırılır. Ardından karıştırılan materyaller sonraki işlem olarak sıcak pres yardımıyla aniden preslenerek son ürün biçimlendirilmiş olur. Bazı retim tesislerinde imalatlar odun polimer kompozit üretimi için; soğuk kalıp içerisine malzeme enjekte edip güç kullanarak malzemeyi eritmek (tabaka veya profil ekstrüzyonu) veya iki eşit kalıba bölme yapılarak üretim yaparlar (Isı ile Őekillenen ve basınçlı kalıp yöntemi).

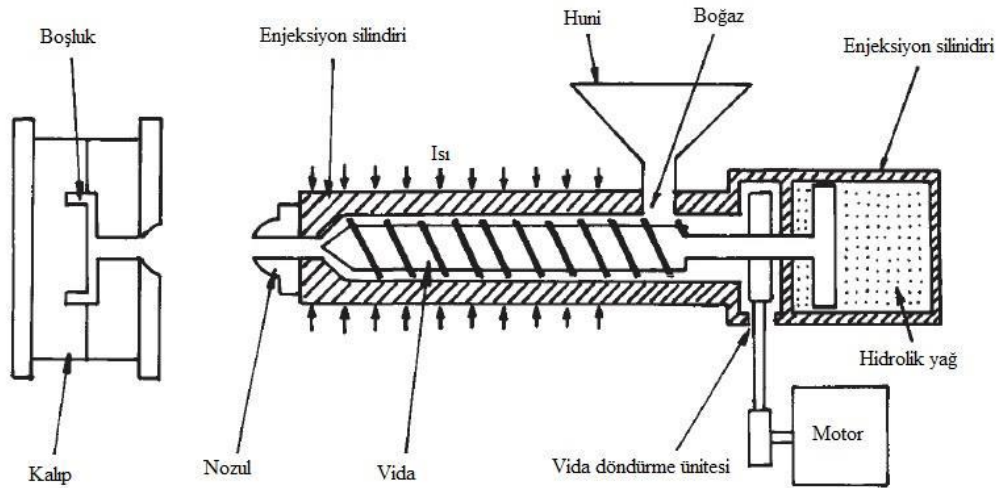
Aşağıda alt başlıklar Şeklinde termoplastikler kullanılarak elde edilen üretim yöntemleri, termosetler kullanılarak elde edilen üretim yöntemleri ve odun plastik karışımından plaka seklinde elde edilen üretim yöntemleri geniş bir Şekilde açıklanmıştır.

#### **1.5.1. Enjeksiyon kalıplama**

Termoplastikler kullanılarak elde edilen kompozitlerin yapımı birkaç farklı aşamada gerçekleştirilir. Var olan materyaller (hammaddeler) birleştirilir ve birleşmiş materyalden son rn Őekillendirilir. Bu Őekillendirmelerden ilki olan enjeksiyon kalıplama yöntemi OPK retiminde oldukça yaygın olan ve tercih edilen metotlardan bir tanesidir

(Mengeleoglu ve Karakuş, 2012). Enjeksiyon kalıplama makineleri sayesinde çok fazla üretim olanağı sağlamasının yanı sıra ürünlerin aynı ölçülerde elde edilmesine olanak sağlar. Bunun sebebi Enjeksiyon kalıplama makinelerinin otomatik çalışabilme olanağı olup çalışma alanları düşünüldüğünde bu metodun neden oldukça fazla kullanıldığını açıklar niteliktedir (Rosato ve Rosato, 2012).

Enjeksiyon kalıplamada; ilk olarak polimer, odun unu ve ihtiyaca yönelik katkı maddeleri huni kısmından sonsuz vidanın içine doğru hareket etmesi amacıyla hazneye eklenir. Mevcut karışım silindir çeperinde ısı sayesinde eritilmesi sağlanır. Isıtıcılar etkisi ve vidanın dönme hızı erimiş haldeki mevcut karışımı homojenleştirilir. Erimiş halde bulunan sıvı istenilen sıcaklığa ulaştınca vida yardımıyla itirilerek nozuldan çıkan mazeme soğutulur ve bu esnada basınç devam eder ürün soğuduktan serbest bırakılma işlemi uygulanır (Şekil 1.2.) (Rosato ve Rosato, 2012).



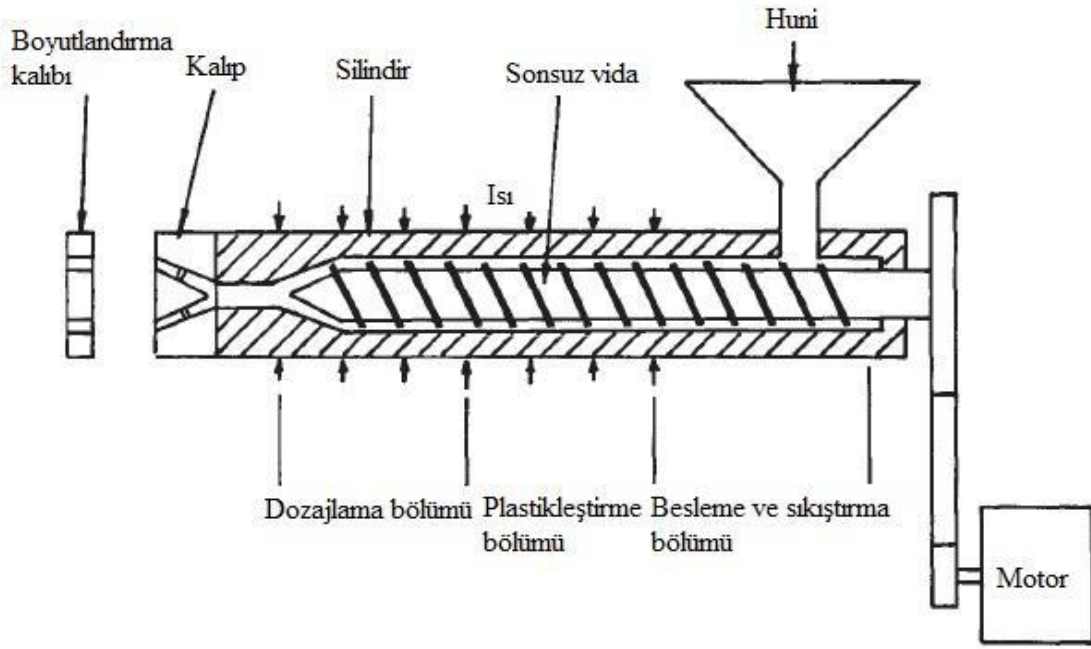
Şekil 1.2. Enjeksiyon kalıplama makinesi (Birley, 2012)

### 1.5.2. Ekstrüzyon Yöntemi

Odun plastik kompozitlerinin Ekstrüzyon Yöntemi ile kalıp içerisinde güç kullanılarak sürekli üretimi gerçekleştirilir. Bu açıdan ekonomik koşullar sağladığı söylenebilir. Hayatımızda kullanılan plastiklerin neredeyse yarıya yakını ekstrüzyon yöntemiyle şekillendirilmektedir. Ekstrüderden çıkan ürünler boşluklu veya boşluksuz yapıda olabilmektedir (Birley, 2012). Ekstrüzyon yöntemiyle üretilen malzemelerin şekilleri basit olup çok yönlü ürünler değildir. Gündelik hayatımızda oldukça yaygın

olarak kullanılanlara örnek verecek olursak; boru, levha, korniş ve yalıtım malzemesi gibi çok fazla ürün ekstrüzyon yöntemiyle üretilmektedir.

Bu yöntemle, üretim ekstruder sayesinde gerçekleştirilmekte olup en önemli çalışma kısmını sonsuz vida oluşturmaktadır. Ekstruder incelendiğinde besleme ve sıkıştırma bölümü, eritme bölümü ve dozajlama bölümü olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 1.3). Ekstruder bir, iki veya bazen 3 ayrı sonsuz vidadan oluşabilirken, diğer değişkenlerinde (motor gücü ve silindir çapı) ekstrüzyon yönteminde etkili bir parametre olduğu söylenebilir (Rosato ve Rosato, 2012).



Şekil 1.3. Ekstruder (Birley, 2012)

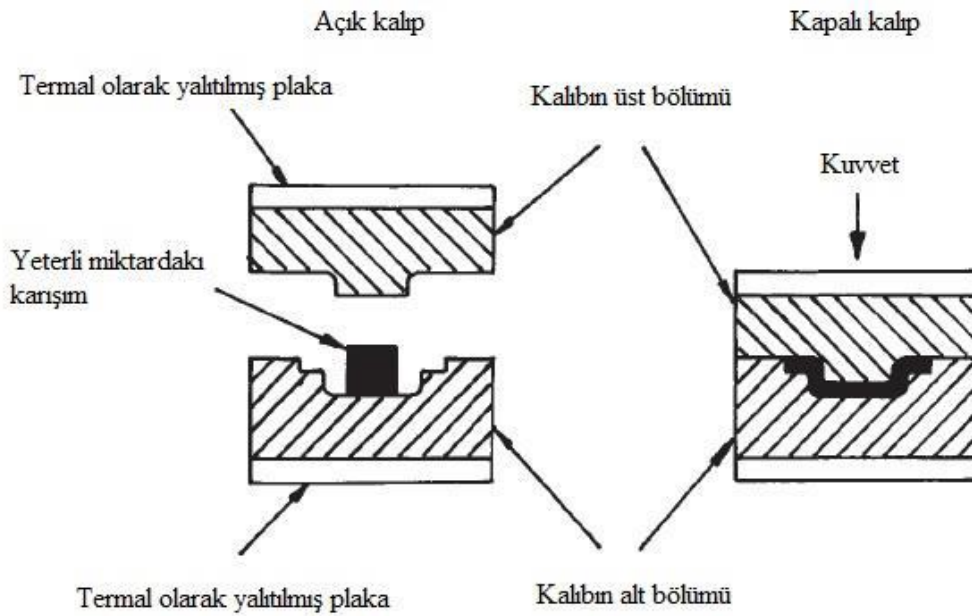
Hazırlanan karışım huni kısmına yerleştirilerek sonsuz vidanın bulunduğu kısma doğru gönderilerek sonsuz vidanın dönme hareketi sayesinde besleme ve sıkıştırma bölümüne taşınır. Bu kısımda karışımın sıkıştırılarak içerisinde var olan havanın dışarı atılması sağlanır. Sonsuz vidanın dönmesiyle silindir ve vida arasında kalan mevcut karışım ısınır ve homojen biçimde karışması sağlanır. Isıtma işlemi silindir çeperlerden aktarımı ile sağlanmaktadır. Son kısım olan dozajlama bölümüne eriyik biçimde gelen karışım, istenilen miktar ve yoğunlukta olan karışım ekstruder dışına çıkar. Karışım ekstruder dışına genel olarak kalıp şeklinde çıkar. Elde edilen kalıp şeklinde son ürün hava ile veya soğutma havuzlarında soğutulmaktadır (Şekil 1.3). (Rosato ve Rosato, 2012).

### 1.5.3. Basma Kalıplama ve Transfer Yöntemi

Basma kalıplama ve transfer yöntemi sayesinde kalıplama karışımı veya levha kalıplama karışımları biçimlendirilebilir. Üretim için gerekli olan yatay plakalara sahip dikey pres hidrolik silindirler yardımıyla elde edilmektedir.

İhtiyaç duyulan şekillerle sahip kalıplar 160-200 °C'ye kadar ısıtılır. Hazırlanan karışım (polimer-dolgu malzemesi-ihitiyaç halinde uyumlaştırıcı) yeterli miktarda kalıba yerleştirilir. Ardından kalıp kapatılır, sıcaklığın ve basıncın etkisiyle eriyik haline gelen karışım kalıbın şeklini alarak bütün boşlukları doldurulur.

Mevcut karışımın içerisinde buluna polimerin çapraz bağlanma süresi tamamlanmıca kadar kalıp bekletilir (Şekil 1.4). Biçimlendirme sırasında, eriyik halde bulunan karışım homojen dağılmaması son üründe istenmeyen hataların oluşmasına neden olmaktadır.



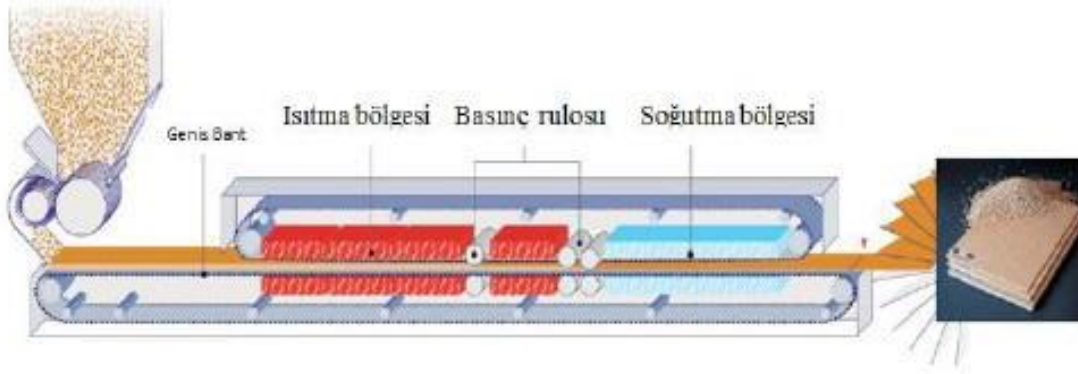
Şekil 1.4. Basma kalıplama yöntemi (Birley, 2012)

Basma kalıplama yönteminin bir çeşidi olan Transfer yönteminin kullanım alanı oldukça fazladır. Hazırlanmış sıvı reçine hazne içerisine yerleştirilir ve ardından aktarıcı elemanlar yardımıyla haznedeki kalıp içerisine aktarılır. Burada basınç altında sıcaklığın etkisiyle reçinenin son ürün halini alması sağlanmış olur.

#### 1.5.4. Sonsuz Presleme

Lif levha ve yonga levha üretimine benzer şekilde OPK üretiminin yapılabildiği üretim şeklidir. Bu üretim şeklinde ürün genişliği ve ürün boyutunun kontrol edilebilmesine olanak sağlaması mobilya sektörü gibi büyük boyutlarda hammaddeye ihtiyaç duyulan sektörlerde oldukça önem arz eden bir yöntemdir.

Bilinen levha üretimin yöntemlerinden farklı olarak pres sonrası soğutma bölümü bulunmaktadır. Taşıyıcı bantlar üzerine önceden pelet haline getirilen odun/plastik karışımı serilir. Ön presleme işlemi esnasında polimer türüne bağlı olarak uygun sıcaklık uygulanır. Daha sonra basınç etkisi altında sonsuz pres içerisinde presleme işlemi uygulanır (Şekil 2.12) (Avcı, 2012).



Şekil 1.5. Sonsuz Presleme Yöntemi ile OPK Üretimi (Avcı, 2012)

#### 1.6. Odun Plastik Kompozitlerin Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Odun plastik kompozitlerinde farklı lignoselülozik malzemeler ve polimer çeşitleri (PE,PP,PVC ve PS) kullanılmaktadır. Genellikle lignoselülozik malzemeler maliyeti düşürmek ve istenilen özellikler elde etmek amacıyla dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. İlaveten hidrofobik yapıya plastik ve hidrofilik yapıya sahip odun birleşimi esnasında arasında oluşabilecek uyumsuzlukları gidermek amacıyla katkı maddeleri kullanılmaktadır (Avcı, 2012).

OPK üretimi %10 ile %70 arasında dolgu maddesi veya güçlendiriciler kullanılarak üretilmektedir. Yaygın olarak kullanılan ahşap dolgu maddesi odun unu olup ticari olarak yonga ve testere talaşı (10–80 mesh) gibi materyallerin öğütülerek elenmesi ile elde edilmektedir. Bir diğer dolgu maddesi odun lifi ise odun ununa kıyasla zor işlenmesine rağmen, daha üstün kompozit özellikleri vermekte olup, boyutsal olarak farklı olmasından dolayı güçlendirici olarak görev yapmaktadır.

ABD’de OPK üretiminde genellikle atık halde bulunan iğne yapraklı ve yapraklı ağaç odunlarından (çam, akçaağaç ve meşe türleri) elde edilen lifler kullanılabilir. Her iki dolgu maddesi de geri dönüşüm kaynaklarından elde edilebilir (Clemons, 2002).

### **1.6.1. Lignoselülozik malzemeler**

Ağaç; organik yapıya sahip doğal bir malzemedir. Yapısal olarak hücre çeperini oluşturan üç temel polimer (selüloz, hemiselüloz ve lignin) mevcut olup ilaveten karbon, hidrojen ve oksijenden meydana gelmiştir. Lignoselülozik maddelerin neredeyse yarısı selülozdan oluşmaktadır (Ganstörn, 2001).

OPK üretiminde ağaç malzeme çoğunlukla odun unu ve lif demetleri (Uzun lif ve kısa lif) halinde kullanılmaktadır. OPK üretiminde toplam hacmin en fazla % 70’ine kadar karışım içerisinde bulunabilir. Bunlar doğada bol miktarda bulunur ve ucuz selülozik lif kaynaklarıdır. Yapısından ötürü, kompozit kullanımında uygundur ve kağıt, tekstil gibi sektörlerde kullanılmaya uygundur (Rowell, 2012).

Genel olarak çam, kayın, meşe gibi ağaç türleri ve bunların atıkları OPK üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak son zamanlarda OPK üretiminde akçaağaç odun unları, buğday ve mısır sapları, kırmızı biber sapları, pirinç çeltiği unu, sisal ve kenaf lifleri gibi çeşitli lignoselülozik malzemelerin kullanıldığı çalışmalara rastlanmaktadır (Mengeloğlu vd., 2007; Karakuş vd., 2010)

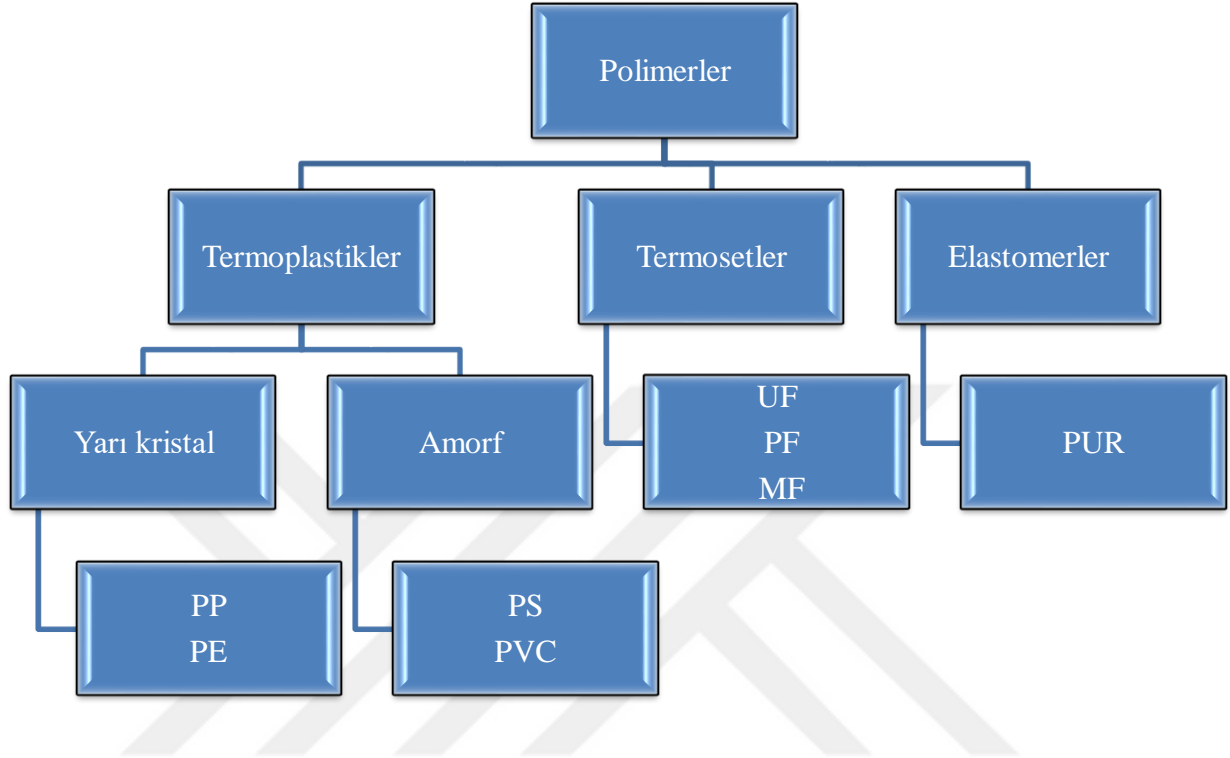
### **1.6.2. Polimerler**

Polimerler özellikleri bakımından birçok alt başlıklara ayrılır. Bunlar; en temel başlık altında termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir. Polimerlerin genel olarak sınıflandırılması Şekil 1.6’de gösterilmiştir.

Polimerler içerisinde termoplastikler diğer polimer türlerine fazla kullanılmaktadır. Genel olarak farklılık göstermekle beraber termal bozunmalar 190 °C’den sonra daha şiddetli olmaktadır. Bu nedenle üretim sıcaklığı polimer kullanımı yapan araştırmacılar ve tesislerde önemli bir parametre olarak üreticilerin karşısına çıkmaktadır. Diğer bir bileşen olan odunda termal bozunmaların 200 °C’de sınır değer olarak kabul edilip bu sıcaklığın altında şekillendirilen polimer çeşitleriyle OPK üretimi sorunsuz olarak yapılabilmektedir (Tabarsa vd., 2011).

Plastiklerin yaygın olarak petrolden elde edilmekte olup, dünya genelinde elde edilen petrolün %4’ü plastik üretiminde, geri kalan %96’sı ise araçlarda, enerji

santrallerinde ve fabrikalarda yakıt olarak kullanılmaktadır (Daniel, vd.,2005). OPK üretiminde yaygın olarak yarı kristal halde Polietilen (PE) ve Polipropilen (PP), amorf halde ise polivinilklorür (PVC) ve polistiren (PS) gibi plastikler kullanılmaktadır.



Şekil 1.6. Polimerler sınıflandırılması Polimerlerin gruplandırılması (Saçak, 2005).

### 1.6.2.1. Termosetler

Termosetler geri dönüştürülemeyen ve diğer bir ifadeyle tek kullanımlık plastiklerdir. Isıl işleme maruz kalan termosetlerin kimyasal yapısı bozunmaya uğradığından tekrar tekrar şekillendirmek mümkün olmamaktadır. (Baysal, 1981). Polimer zincirleri arasında oluşan kuvvetli bağlar sayesinde üç boyutlu ağ yapısı meydana gelmekte, buda termosetlerin geri dönüştürülemeyen polimerler olmasına sebep olur. Bu Polimer zincirleri arasında oluşan kuvvetli bağların reaksiyonların gerçekleşmesi için genel olarak sertleştirici veya hızlandırıcı ilave edilmesi gerekmektedir.

Termosetler, fazla sıcaklık ve mekanik açıdan en yüksek ihtiyaç gerektiren çalışmalarda kullanılır. Günümüzde termosetler; otomotiv sektöründe, işyerlerinde ve günlük hayatımızın her alanında düşük maliyeti olması sebebiyle vazgeçilemez malzemelerdir. Termoset plastiklere polyester, epoksi, amin, poliüretan, fenolikler ve üre formaldehitler örnek olarak verilebilir. Yonga levha ve lif levha malzeme üretiminde Fenolikler ve üre formaldehitler yaygın bir kullanıma sahiptir (Birbilen, 2014). Polyester

reçineler oldukça geniş alanda reçine sistemlerinde, bir kısmı ise denizcilik endüstrisinde kullanılmaktadır (Pizzi ve Mittal, 2003; Gökalp, 2006; Akkurt, 2007; Ratna, 2009).

### 1.6.2.2. Termoplastikler

Termoplastikler kelime anlamı olarak sıcak ısı anlamına gelen “Termos” ve şekil verilebilir, kalıplanabilir anlamına gelen “plastik” kelimelerinden türetilmiş olan bir tanımdır; Yapısında yer alan mollekülleri dallanmış zincirli veya düz makro molekülleri olan plastikler olarak bilinmektedir. Günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip olan plastik türü termoplastikler grubudur (Saçak, 1998; Goodman, 1986).

Termoplastikler ısı etkisi altında mekanik uygulama ile yumuşayan, eriyik hale geçebilen, biçimlendirilebilen ve soğutularak sertleşen, geri dönüşümü mümkün olan malzemelerdir. Genel olarak bu kimyasal işlem polimerizasyon adı verilmektedir (Biron, 2007). Eriyik haldeki termoplastikler soğutularak sertleşme safhasında molekül yapısının dayanıklı olmasından dolayı herhangi bir kimyasal bozunmaya uğramazlar(Saçak, 1998).

OPK üretiminde yaygın olarak kullanılan termoplastikler; polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinil klorit (PVC) ve polistrendir (PS) (Kylosov, 2007).

Polietilen (PE);

Polietilen; Yüksek basınç etkisi ile benzaldehitin var olduğu bir ortamda etilen polimerleşerek polietilene dönüşmektedir. Bu polimerler aşınma direnci oldukça yüksek, darbe dayanımı yüksek, kimyasallara karşı yüksek dayanım, düşük sürtünme katsayısı, geniş kapsamlı çalışma sıcaklığı aralığı, mekanik açıdan işleme kolaylığı olması, bakteri üretmemesi ve kolay temizlenebilme özellikleri bakımından birçok çalışma alanında kullanılmaktadır. Çalışma alanları düşünüldüğünde; makine sanayisinde, kömür ve maden sanayisinde, kağıt sanayisinde ve gıda ve ambalaj sanayi olmak üzere daha birçok alanda kullanılmaktadır (Ezdeşir vd., 1999).

Polietilen alt başlık altında yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ve alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) olmak üzere iki türü bulunmaktadır (DPT, 2008). Alçak yoğunluklu polietilenler gıda korumak için paketlemelerde, endüstriyel tüpler, elektrik kabloların yalıtkan tabakası, taşıma ve koruma amaçlı çuvallar vb. alanlarda kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu polietilenler ise çocuk oyuncaklarında, kapaklar, kanalizasyon sulama borusu, market poşetleri, su ve depolama bidonları, şişe ve kavanoz gibi günlük hayatımızda geniş yer kaplayan uygulamalarda kullanılmaktadır.

### Polipropilen (PP);

Polipropilen; yüksek saflığa sahip olan propilen gazının basınç etkisi altında katalizörler yardımıyla polimerizasyonu sayesinde elde edilir. Elde edilen polipropilenler Kristal bir yapıya sahip olup Yoğunluğu 0.90-0.91 g/cm<sup>3</sup> aralığında değişmektedir. Termoplastik polimerler arasında en hafif olan polimerdir. Maksimum kullanılabilme sıcaklığı 135 °C, Erime sıcaklığı 165-171 °C, Suda askıda kalan ancak köpük olmayan ve Kimyasal maddelere, ısıya ve aşırı yorulmaya dayanıklı bir plastiktir (Ezdeşir vd., 1999). Birçok defa bükülmeden sonra bile sertliğini korur, bakterilere ve mantarlara karşı dayanıklıdır. Orta sertlik ve parlaklığa sahip, Yarı şeffaf beyaz plastiklerdir (Ezdeşir vd., 1999).

### Polivinil klorür (PVC);

Polivinil klorür; mükemmel kimyasal dirence sahip, uzun süreli stabil kalma, oldukça iyi dış ortam dayanımı gösteren bir polimerdir. Polipropilenlerle aynı şekilde dallanmış zincire sahiptir. Polivinil klorür özellikleri ve kullanım alanları düşünüldüğünde rijit ve esnek olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Rijit olan Polivinil klorür, PP ve PE'den daha yüksek direnç özelliklerine sahip olup sert yapıdadır. Esnek yapıya sahip olan Polivinil klorürise kauçuksu davranış sergiler. Üretim maliyetlerini düşürmek, yüksek sertlikten dolayı montaj ve şekillendirmeyi kolaylaştırmak için PVC bazlı OPK'lar boşluklu yapıda üretilmektedir. Polivinil klorür diğer termoplastiklere nazaran oldukça yüksek yoğunluk değerlerine sahip olup bu değer aralığı 1.32- 1.44 gr/cm<sup>3</sup> değişmektedir (Pal ve Kim; 2010; Kylosov, 2007).

### Polistiren (PS);

Polistirenler; stiren monomerlerinin polimerzasyonu yoluyla elde edilirler. Amorf yapıya sahip polistirenin öne çıkan özellikleri, sertlik, kolay işlenebilme, berraklık ve çok iyi boyanma kabiliyetidir. Polistirenler eldesi aşamasında homopolimer ve kopolimer olarak iki farklı şekilde üretim sağlanır. Homopolimerler genel amaçlı; kopolimerler ise kristal berraklığında, cam ile kuvvetlendirilerek üretilirler (Akkurt, 2007).

### 1.6.3. Uyumlaştırıcı ajanlar

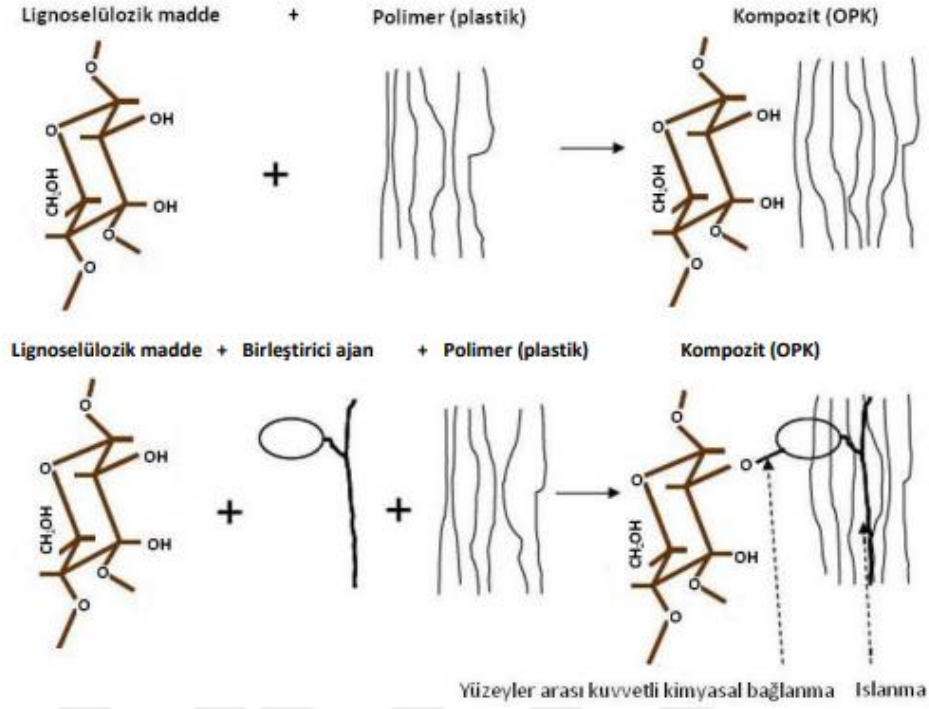
Uyumlaştırıcılar, bağlayıcı ajanlar (Binding agents) olarak da bilinirler. Bu ajanların ana görevleri benzer yapıya sahip olmayan malzemelerin homojen karışımına olanak sağlamaktır. Homojenlik sağlanamaması durumunda nihai üründe yeterli ölçüde

yapısal bakımdan mukavemet sağlanamaz. Dolayısıyla bağlayıcı ajanların kullanımı fiziksel özellikleri iyileştirmekte olup mekanik özellikleri üzerinde de iyileştirdiği özellikleri de vardır. Günümüzde kullanımı yaygın olan uyumlaştırıcı ajanlar veya Maleik Anhidrit Grafted Polietilen (MAPE) ve Maleik Anhidrit Grafted Polipropilen (MAPP)'dir. Bu konuda yapılan benzer araştırmalar, MA (grafted-aşılınmış) miktarının, katkı maddelerinin etkisini belirlemede önemli parametreler olduğunu belirtmektedir (Sanadi vd., 1992). MAPP'ın içinde mevcut bulunan MA, sadece polar etkileşim değil ayrıca lignoselülozik malzemelerin kimyasal yapısında yer alan hidroksil grupları ile aralarında yüksek bağ diye nitelendirilen kovalent bağlar yapmaktadır (Rowell, 2006).

Uyumlaştırıcı ajanlar, kompozitlerin mevcut özelliklerini geliştirmek amacıyla az oranlarda toplam karışıma ilave edilen malzemelerdir. OPK üretimi sadece lignoselülozik malzeme ve polimerden oluşmamakta olup üretilen malzemenin özelliklerini geliştirmek amacıyla az miktarda ilave 16 farklı uyumlaştırıcı malzeme eklenir. Bu ajanlar ekstrüzyon işleminden önce karışıma eklenmesi gerekmektedir. Bu uyumlaştırıcılardan yağlayıcı maddeler; yüzey görünümü iyileştirmek ve işlenmesini kolaylaştırmak, Maleik Anhidrit Grafted Polietilen (MAPE) ve Maleik Anhidrit Grafted Polipropilen (MAPP) ise; ahşap ile plastik arasındaki yapışmayı geliştirmek, diğer uyumlaştırıcı ajanlar ise; ışık stabilizatörleri, renklendiriciler, köpük oluşumu sağlayan, yanmayı geciktirici, geliştiren kimyasallardır (Rowell, 2006; Rowell, 2012).

Ancak OPK'ların ana sorunlarından birisi üretim aşamasında kullanılan malzemelerin tam olarak bütünleşememesidir. Bu durum hidrofobik yapıda plastik ve hidrofilik yapıda odun arasındaki etkileşimden oldukça zor olmasından kaynaklıdır. İki malzeme arasında oluşan zayıf bağ alternatif yükler uygulanması durumunda, aktarımın zayıf olacağından beklentilerin karşılamayarak olumsuz değerler elde edilmesine neden olur (Kylosov, 2007). Bu zayıf bağın güçlendirilmesi için kullanılacak olan Uyumlaştırma ajanları, üretim aşamasında oldukça önemli bir yere sahiptir (Pal ve Kim, 2010; Clegg ve Collyer, 1986).

Uyumlaştırma ajanlarının iki farklı mekanizma ile çalıştığı düşünülmektedir. Anhidrit hücre duvarında bulunan hidroksil (-OH) gruplarıyla tepkimeye girer ve ester bağları oluşur. Ardından polimer (polipropilen, polietilen) maleik anhidrit grafte polimerin üzerine bağlanır (Rowell, 2012). Ajanların malzemenin -OH grupları arasında kimyasal bağ yapma yeteneğine sayesinde ara yüz gerilimini azaltarak odun ve plastik arasındaki uyumu arttırmaktadır (Şekil 1.8) (Pal ve Kim, 2010).



Şekil 1.7. OPK üretimini üzerinde uyumlaştırıcı ajan etkisinin çalışma mekanizması (Yang vd., 2007)

Genel olarak bu ajanlar eğilme ve çekme direnci değerlerini iki katına, elastikiyet modülünü %40'a kadar arttırabilmektedir. Su absorpsiyonunu 2-4 kat kadar azaltılabilmektedir. Diğer bir yandan ise oksidasyona ve mikrobiyal bozunmaya karşı direnci arttırarak mantar ve bakteri oluşumunu önlemektedir (Kylosov, 2007).

### 1.7. Odun Plastik Kompozitlerin Güçlendirilmesinde Kullanılan Malzemeler

Termoplastik ve termoset polimerlerin güçlendirilmesi kapsamında sentetik lifler ile başta olmak üzere seramik ve metalik güçlendiricilerin kullanımı önemli hale gelmiştir. Bu sayede yalnızca polimer-matrisle elde edilen kompozitlere kıyasla daha ucuz kompozit malzeme elde edilebilmektedir. Kullanılan bu lifler yalnız başlarına çok kırılğan yapıda olmalarına karşın kompozit içerisinde yer aldıklarında dayanımlarını ve sertlikleri yüksek bir kompozit elde edilmekte olup termoplastiklerin üç temel zayıflığı iyileştirmektedir. Bunlar; Direnç, Sertlik, Sürünme direncidir (Clegg ve Colleyer, 1986). Aynı zamanda güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin elastikiyet modülleri, yük altı mekanik testleri, yangın dayanımını, sıcaklık ve dış ortam dayanımları, termal genişleme ve kalıp çekmesi de artmaktadır.

Opk'larda lif güçlendirmesi uygulamaları genel olarak kimyasal değişimden ziyade fiziksel bir değişimdir. Bu sebepten polimerlerin yeniden kimyasal işlemlerle muamele edilerek modifiye edilmesine göre daha düşük maliyetlidir (Clegg ve Colleyer, 1986).

Maliyetten düşünöldüğünde en fazla kullanılan malzeme olarak cam ve karbondur. Bu ikisi arasında da ise en uygun maliyet olanı cam lifleridir, bu sebepten genellikle tercih edilmektedir. Fakat karbon lifleri kullanımı sayesinde daha yüksek dirence ve sertliğe sahip kompozit edle edilmesi sayesinde birçok uygulama alanlarında orta uzun vadede daha mantıklı hale gelmektedir (Zoghi, 2013).

Karbon lifi ile güçlendirilmiş kompozit malzemeler mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1960'lı yıllarda karbon liflerinin keşfi sonra üretilen yeni kompozit malzemeler askeri hava araçlarında kullanılmaya başlamıştır (flap, rüzgarlık, dümen ve kapılar gibi) (Soutis, 2005).

Karbon lifleri, fiyatların düşmesiyle beraber, başta uzay endüstrisi olmak üzere, otomobil, denizcilik, spor, biyomedikal ve yapı sektörlerinde genişçe kullanım alanı bulmuştur (Chung, 1994). Karbon lifleri, kolay işleme, karmaşık şekilleri alabilme, geri dönüşüm gibi bazı avantajlara sahiptir (Li ve Cai, 2011). Ayrıca karbon lifi dayanım/yoğunluk oranına göre iyi mekanik, termal ve elektriksel özelliklere sahiptir (Karslı ve Aytaç, 2013). Bu özellikler karbon liflerini güçlendirici malzemeler arasında avantajlı hale getirmektedir.

Karbon lifleri kimyasal olarak inerttir ve düzgün bir yüzeye sahiptir. Ayrıca oksijen içeren fonksiyonel grupları azdır. Bu nedenle karbon lifleri ile güçlendirilmiş polimer kompozitlerin ara yüz bağlanmaları zayıftır (Li ve Cai, 2011). Karbon lifleri ile polimer arasında daha güçlü bir bağlanma sağlamak için karbon lif yüzeylerinin iyileştirilmesi kaçınılmaz olmaktadır. Bu amaçla oksidasyon muamelesi, bağlanma ajanları, ıslatma ajanları ve/veya yüzey kaplama gibi iyileştirmeler yapılmaktadır (Chung, 1994).

Odun plastik kompozit üretimde kullanılan en yaygın doğal lif türleri keten, kenevir, jüt, kenaf ve sisal olarak bilinir (Avcı, 2012). Jüt doğada %100 bozunur olduğu için geri dönüşümlü ve çevre dostudur. Jüt kendinden altın ve ipeksi bir parlaklığa sahiptir. ilaveten Jüt lifleri, çeşitli sektörlerde kullanımı olduğu bilinirken örnek verecek olursak kompozit üretim tesislerinde yaygın kullanım alanları bulunmaktadır. Aynı zamanda ekolojik olmaları nedeniyle yabancı ölkelerde paketleme materyali olarak polipropilen veya poliüretan yerine kullanılmaları tercih edilmektedir (Mutlu, 2012).

Jüt, birçok avantajı olan önemli bir elyafıdır. Jüt, düşük yoğunluk, daha az aşındırıcı davranış, iyi boyutsal kararlılık özelliklerine sahip olup Jüt düşük maliyetli ve çevre dostu olarak bilinmektedir. Dünyada bitkisel liflerden imalatı en ucuz olan ipliktir. Bu tür özelliklerinden dolayı dünyada üretim ve kullanılabilirlik açısından pamuktan sonra ikinci sırayı almaktadır (İlhan ve Feyzullohoğlu, 2019).

Jüt lifi maliyetinin uygun olması ve iyi fiziksel özelliklere sahip olması nedeniyle nonwoven teknolojisinde çok sık kullanılır. Kullanım alanları; katmanlı üretim yapılan kompozitlerde ara tabaka veya esas tabaka olarak, yer kaplamaları için temel malzeme olarak, döşemeliklerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır (Duran, 2016). Çevre dostu olan jüt, sadece tekstil sektöründe kullanılmayıp, birçok çalışma alanında kullanılmaktadır bunlar; polimer esaslı ambalaj, ayakkabı-çanta, kompozit plakalar, inşaat, denizcilik ve otomotiv gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Odun plastik kompozit malzeme üretiminde odun partikül ve liflerinin yanında tarımsal bitki atıkları, jüt, kenaf ve kenevir gibi doğal lifler de kullanılmaktadır (Kylosov, 2007).

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1990'lı yıllardan bu yana odun plastik kompozit üretimlerine olan talepler giderek artmıştır. Termoplastik polimerlerin içerisine çeşitli odun unları, lignoselülozik ve tarımsal atıkların ilavesi yenilenebilirlik, düşük maliyet, hafiflik, yüksek aşınma direnci gibi özellikler kazandırmıştır. Polipropilen, düşük fiyat ve yüksek spesifik özelliklerinden dolayı odun plastik kompozit üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir.

Çam odununu (Narlıoğlu vd., 2018; Mengeloğlu vd., 2007; Stark ve Rowlands, 2003), odun lifi (Bledzki vd., 2005), MDF ve yonga levha atıkları (Çavdar, 2011; Ongan, 2019) gibi çeşitli lignoselülozik malzemelerle PP esaslı odun plastik kompozit üzerine çalışmalar literatürde yer almaktadır. Ayrıca PP esaslı odun plastik kompozitler içerisine cam elyafı, keten, kenevir, sisal, bambu gibi çeşitli güçlendirici lifler ilave edilerek kompozitler elde edilmektedir.

Ferreira vd., (1999) çift yönlü olarak üretilen cam elyaf eklenmiş polipropilen bazlı kompozitler üretmişlerdir. Üç farklı tipte levha üretmişlerdir. Bu levhaların her birinde lifler, farklı açılarda yerleştirilmiştir. Kompozit levhalar, 190 C'de ısıtıldıktan sonra basınç altında birleştirilmiştir. Yerleştirme tasarımının ve yük koşullarının yorulma performansı üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Tüm yorulma testleri sırasında, numunelerin yüzeyindeki üç noktada sıcaklık artışı yapılarak ölçüldü. Örneklerin sıcaklıklarının yükselmesiyle sertlik kaybı yaşanmış olduğu belirlenmiştir.

Thwe ve arkadaşları (2002) PP ve kısa bambu lifleri ile pres kalıplama yöntemi kullanarak odun plastik kompozitler üretmiş ve bu kompozitlere cam elyafı ilave ederek kompozitlerin özellikleri üzerine cam elyafının etkisini araştırmışlardır. Termoplastik polimer matris ve lignoselülozik dolgu maddesi arasındaki uyumu iyileştirmek amacıyla maleik anhidrit graftlanmış polipropilen (MAPP) kullanılmış ve etkisi incelenmiştir. PP matrisli bambu elyaf içeriğindeki (kütlece) %40'a varan bir artış, çekmede elastikiyet modülünde %60'lık bir artışa neden olur. Ancak çekme direnci belirgin bir artış göstermemiştir. 1200 saat suda bekletildikten sonra, kısa bambu lifleri eklenmiş kompozitin çekme dayanımı ve modülündeki azalma, cam lifleri eklenmiş bambu lifleri katılmış kompozitlerden neredeyse iki kat daha azdır. Sonuçta mekanik özelliklerde iyileşme gözlemlenmiştir.

Arbelaiz vd., (2005) keten lifi ve cam elyafı kullanarak yaptıkları çalışmada, polipropilen esaslı kompozitler üretmişlerdir. Üretim yöntemi olarak iki farklı tipte üretim

yapılmıştır. Bunlar; enjeksiyon kalıplama yöntemi ve çift vidalı ekstrüderdir. Ayrıca liflere modifiye işlemi uygulanmıştır. Bu işlem yüzey bağı oluşturulmasını sağlamıştır. Sonuçta elde edilen kompozitlerin mekanik davranışları incelenmiştir. MAPP'ın birleştirme ajanı olarak kullanılmasının, kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini ve su alma oranının belirgin bir şekilde azaldığını gösterdi. Ancak, uzun süre suya daldırıldıktan sonra mekanik özellikler büyük ölçüde azaldı.

Mantia ve arkadaşları (2005) Organik dolgu maddeleri olan odun, kenaf ve hint irmiğini, inorganik bir dolgu maddesi olan kısa cam elyaflarıyla karşılaştırdı. Basınçlı kalıplama yöntemi kullanılarak termoplastik türü olan polipropileni güçlendirmişlerdir. Sonuçlarda polipropilen esaslı cam lifi eklenmiş kompozitlerin elastikiyet modülü değerlerinin en yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca elastikiyet modülü lif miktarının %0-60 arasında içeriğe konulmasına bağlı olarak da artmıştır. Tork parametrelerine bakıldığında, tork dolgu maddelerinin mevcudiyetinde ve artan dolgu maddesi ile artar. Torktaki ve ardından viskozitedeki en büyük artış, özellikle cam elyafı dolgulu malzemelerde gösterilmiştir.

Mengeloğlu ve arkadaşları (2007) odun plastik kompozitleri polietilen ve polipropilen ilavesiyle üretmişler ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Üretimleri tek vidalı ekstrüder ve çift vidalı ekstrüderde gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak MAPP ve MAPE gibi uyumlaştırıcı ajanlarının eklenmesiyle polietilen için kullanılan MAPE'nin eklenmesi eğilme direncini %28.69 oranında arttırmıştır. Ayrıca %20.16 artış oranı eğilmede elastikiyet modülünde meydana gelmiştir. Sonuçlar, polipropilen bazlı odun plastik kompozitlerin zemin kaplama levhalarının, polietilen bazlı odun plastik kompozitlerden zemin kaplama levhalarından daha yüksek çekme ve eğilme özellikleri sağladığını göstermiştir.

Wechsler ve Hızıroğlu (2007) matris malzemesi olarak termoplastik olan polipropilen ile odun lifleri ve odun parçacıklarını birleştirerek odun plastik kompozitleri üretmişlerdir. Odun olarak Radiata çamı kullanmışlardır. %60 ve %80 oranında radiata çamı unu ve lifi içeren numune ile 4 farklı polipropilen türü karıştırılmıştır. Sonuç olarak uyumlaştırıcı ajanlarının eklenmesiyle eğilme direncinde %58 oranında artış meydana gelmiştir. Ayrıca eğilmede elastikiyet modülünde %68 oranında artış meydana gelmiştir. Katkı maddeleri eklendiğinde numunelerin kalınlık şişmesi de iyileştirilmiştir.

Rezaei ve arkadaşları (2009) karbon liflerinin kısa halini kullanarak saf polipropilenle karıştırmışlardır. Pres işleminden önce pellet halinde olan polipropilen 5 dakika boyunca ısıtıldıktan karbon lifleri eklenerek preslenmiştir. Kompozitin termal kararlılığı incelenmiştir. Liflerin uzunluğundaki artışın kompozitlerinin termal stabilitesini artırabileceği ve sönümlenme özelliklerini de iyileştirebileceği görülmüştür. Çekme direnci %100'ün üzerinde artış sağlanmıştır. Çekmede elastikiyet modülünde de önemli oranda gelişme sağlanmıştır.

Valente ve arkadaşları (2011) odun plastik kompozitlerle cam liflerini birleştirerek güçlendirmişlerdir. Matris malzemesi olarak polipropilen ve polietilen kullanmışlardır. Odun unundan ve geri dönüştürülmüş cam liflerinden oluşturulan hibrit termoplastik kompozitler, bir kinetik karıştırıcı ve bir sıkıştırma kalıplama makinesini içeren iki aşamalı bir işlemle üretildi. Lignoselülozik malzemenin eklenme oranı arttıkça vida tutma oranının olumsuz yönde etkilendiği, diğer bir malzeme olan cam yününün vida tutma direncini artırdığı belirlenmiştir. Lignoselülozik malzemenin %35'e eklenmeye kadar herhangi bir değeri düşürdüğü görülmemiştir.

Liang ve arkadaşları (2012) epoksi matrisli kompozitleri cam elyaf kumaşları ve keten kumaşlarıyla güçlendirmişlerdir. Bu iki malzemenin yorulma dayanımlarına bakıp bu iki malzemeyi karşılaştırmışlardır. Katlar, ısıtma plakaları ile donatılmış bir hidrolik preste basınç altında istiflenmeden önce elle serildi. Elyaf yönlerini farklı açılarda ( $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  ve  $45^{\circ}$ ) konumlandırarak test etmişlerdir. Sonuç olarak  $90^{\circ}$  keten eklenmiş kompozitlerin cam elyafı eklenmiş kompozitlerden daha düşük yorulma dayanıklılığına sahip olduğunu, ancak  $45^{\circ}$  keten eklenmiş kompozitlerin daha iyi spesifik yorulma dayanıklılığı sunduğunu göstermektedir.

Leu ve arkadaşları (2012) geri dönüştürülmüş polipropilen ve lignoselülozik malzemeyi birleştirmişlerdir. Enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada kompozitin mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçlar, düşük mesh boyutunda ağaç unu kullanılmasının WPC'lerin çekme ve eğilme mukavemetini iyileştirebileceğini ve su adsorpsiyonundan kaynaklanan şişmeyi azaltabileceğini gösterdi. Sonuç olarak eğilme direncinin, odunu unu oranı arttıkça düşüş yaşadığı gözlemlenmiştir. Bu düşüş özellikle odun unu miktarının %30'dan %60'a çıkarıldığında yaşanmıştır. %30 oranında artış ise elastikiyet modülünde görülmüştür.

Russo ve arkadaşları (2013) güçlendirici lif olarak dokunmuş cam elyafı ile polipropilen kullanarak kompozit üretmişlerdir. Dokunmuş kumaş olarak cam elyaf ile güçlendirme işlemi yapılmıştır. Araştırmalar, bir bağdaştırıcı kullanılarak elde edilen güçlü

fiber/matris ara yüzünün bu tür kompozit sistemlerin mekanik performansını artırdığını göstermiştir. Eğilme direncinde bağlayıcı ajanın etkisiyle %500 oranında artış sağlanmıştır. Elastikiyet modülü de eğilme direncine benzer şekilde artmıştır. Bunun sebebi olarak bağlayıcı ajan, dokunmuş kumaşlar ve plastik malzeme arasındaki bağlanmayı arttırdığı söylenmiştir. Bu durum mekanik özellikleri önemli oranda artırmıştır.

Sorrentiona ve arkadaşları (2015) dokunmuş cam elyaflarıyla polipropileni birleştirerek kompozit üretmişlerdir. Polipropilen ve cam elyaf dokuma kumaşlar, film istifleme tekniği kullanılarak hazırlanmışlardır. Sonuçta mekanik özelliklerde gelişme gözlemlenmiş olup bağlayıcı ajanın etkilerinin olumlu olduğu gözlemlenmiştir. Eğilmede elastikiyet modülü  $17700 \text{ N/mm}^2$  artarken eğilme direnci de  $177 \text{ N/mm}^2$  artmıştır.

Durmaz ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada PVC ve çam odun ununu 1:1 oranlarında karıştırarak karışımı ağırlıkça %15-%70-%15 oranlarında üç parçaya bölmüşlerdir. Üç parçaya bölünen karışımın arasına dokunmuş cam elyafı ve dokunmuş karbon lifleri serilmiş ve pres kalıplama yöntemi ile kompozitler elde edilmiştir. Elde edilen kompozitlerin özellikleri üzerine güçlendirici liflerin etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre güçlendirici liflerin kompozitlerin özelliklerini artırdığı gözlemlenmiştir.

Durmaz (2020) odun plastik kompozitleri dokuma kumaşlar (cam ve karbon lifi) ile güçlendirerek özelliklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla tip olarak iki farklı dokuma kumaş tipi (cam ve karbon lifi) ve yoğunluk olarak iki farklı dokuma yoğunluğu ( $\sim 200 \text{ gr/m}^2$  ve  $\sim 400 \text{ gr/m}^2$ ) seçilmiştir. Bu çalışmada ayrıca üç farklı lignoselülozik madde oranı % 40, 50 ve 60 ve polipropilen ve polietilen olma üzere iki farklı polimer türü kullanılmıştır. Ayrıca standarda uygun şekilde %3 oranında MAPP ve MAPE kullanımının odun plastik kompozitlerine etkisi araştırılmıştır. Dokunmuş kumaşlar çekme direncini %1325 arttırırken eğilme direnci değerlerini %262 yükseltmiştir. Elastikiyet modülü %246 oranında değer artışı yaşamıştır.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Materyal

Bu çalışmada odun plastik kompozit üretiminde matris elemanı olarak termoplastik polimerlerden polipropilen, lignoselülozik dolgu maddesi olarak meşe odun unu ve polimer ile lignoselülozik dolgu maddesi arasındaki uyum sağlayıcı kimyasal olarak maleik anhidrit graflanmış polipropilen kullanıldı. Kompozit malzemenin güçlendirilmesi için doğal ve sentetik dokunmuş güçlendirici lifler kullanılmıştır. Bu amaçla doğal liflerden dokunmuş jüt lifi ve sentetik liflerden dokunmuş cam elyafı iki farklı lif tip olarak belirlenmiştir. Üretimler Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.1. Odun unu

Çalışma kapsamında odun plastik kompozit üretiminde yaygın olarak kullanılan meşe odun unu kullanılmıştır. Odun unu atık halde temin edilmiştir. Kompozit üretimi için elde edilen atık halde odun unu sarsak elek yardımıyla 60 mesh boyutuna getirilerek çalışmada kullanılacak odun unu hazırlanmıştır. Üretim için odun unu oranı %50 seçilmiş olup üretim esnasında kullanılan odun unu Şekil 3.1’de gösterilmektedir (Şekil3.1).



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan odun unu

### 3.1.2. Polipropilen

Bu çalışmada polimer olarak yüksek erime akış indeksine sahip EH 241 Kodlu Polipropilen kullanılmak üzere temin edilmiştir. Petkim'den temin edilen 25 kg'lık beyaz renkli PE torbalarda satın alınmıştır Şekil3.2'de görüldüğü haliyle direk kullanılmıştır (Şekil3.2).



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan polipropilen

Çalışmada tercih edilen EH 241 Kodlu Polipropilen'nin Fiziksel, Mekanik ve Termal Özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Polipropilen'nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri (Anonim 2, 2022).

No	Özellikler	Değer	Birim	Standart
1	MFI (230°C'de 2.16 Kg)	24	g/10 min.	ASTM D1238
2	Yoğunluk (23°C)	0.905	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D1505
3	Akmada gerilme dayanımı	39	Mpa	ASTM D638
4	Kopmada gerilme dayanımı	32	Mpa	ASTM D638
5	Renk b-değeri (10D65)	1,5	-	Hunter lab.
6	Erime noktası (DSC)	163	°C	ASTM D3417
7	Deformasyon sıcaklığı	114	°C	ASTM D648
8	İzod Çentikli Darbe (23°C'de)	14.7	J/m	ASTM D256
9	Rockwell sertliği	96	R-scale	ASTM D785
10	Bükülme modülü	1470	Mpa	TS EN ISO 178

### 3.1.3. MAPP

Bu çalışmada, uyum sağlayıcı kimyasal olarak lignoselülozik-polipropilen sistemleri için ideal ve verimli bir uyumlaştırıcı olarak bilinen Maleik anhidrit graftlanmış polipropilen (MAPP), Clariant firmasından, Licomont AR 504 isimli maleik anhidrit ile muamele edilmiş polipropilen (MAPP) temin edilerek kullanılmıştır (Şekil3.3).



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan MAPP

Kullanılan uyum sağlayıcı kimyasala ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.2’te verilmiştir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.2. MAPP’nin fiziksel, mekanik ve termal özellikleri

No	Özellikleri	Licomont AR 504 (MAPP)
1	Görünüş	Sarımsı toz
2	Yumuşama noktası	156°C
3	Asit değeri	41 mg KOH/g
4	23°C’de Yoğunluk	0.91g/cm <sup>3</sup>
5	140°C’de Vizkozite	800 mPa.s

### 3.1.4. Cam elyafı

Odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için levha arasına sentetik dokuma kumaş katmanları eklenmiştir. Bu amaçla cam lifinden üretilmiş dokuma elyafı kullanılmıştır. Kullanılan dokuma cam elyafı Kahramanmaraş’ta yer alan tedarikçi bir firma tarafından Şekil3.5’de görüldüğü gibi temin edilerek çalışma kapsamında kullanılmıştır (Şekil3.4).



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan cam elyafı

### 3.1.5. Jüt lifi

Odun plastik kompozitlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için levha arasına doğal dokuma kumaş katmanları eklenmiştir. Bu amaçla jüt lifinden üretilmiş dokunmuş jüt kullanılmıştır. Kullanılan dokunmuş jüt lifi Kahramanmaraş'ta yer alan tedarikçi bir firma tarafından Şekil3.5'de görüldüğü gibi temin edilerek çalışma kapsamında kullanılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Çalışmada kullanılan jüt lifi

## 3.2. Metod

### 3.2.1. Kullanılan ham maddenin hazırlanması

Bu çalışmada hammadde olarak, polipropilen, meşe odunu ve uyumsuzluk giderici olarak MAPP kullanılmıştır. Kullanılan hammaddeler çalışma kapsamında belirli oranlarda karıştırılmıştır (Şekil3.6).



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan ham maddeler

Kullanılan uyumsuzluk giderici ajan ve polimer satın alındığı şekilde kullanıldıkları için sadece ham maddelerden lignoselülozik dolgu maddesinin hazırlanışı aşağıda Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan malzemelerin ön hazırlık aşaması a) Sarsak Elek b) Etüv Fırını

Üretilecek olan kompozit örneklerin performansları üzerinde dolgu maddelerinin boyutlarının etkili olması sebebiyle un halindeki meşe atığı takviye maddeleri boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Bu işlemin yapılabilmesi için Şekil 3.7’de gösterilen 20/40/60/80/100 ve 200’lük mesh gruplarına sahip sarsak elek kullanılarak eleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada 80 mesh’den geçip 60 mesh’de kalan odun unu kullanılmıştır (Şekil 3.7a).

Odun plastik kompozit üretiminde lignoselülozik dolgu maddelerinin kurutulmasının önemli bir yeri vardır. Bu sebepten Elenen meşe odun unu Şekil 3.7b’te gösterilen Nüve K400 marka etüvde sıcaklık değerleri  $103\pm 2$  °C olacak şekilde ayarlanarak 24 saatlik kurutma işlemine tabi tutulmuştur (Şekil3.7b). Dolgu maddesi bünyesindeki fazla su bulunması üretim esnasında kabarcıkların oluşmasına ve üretilen levhalarda boşluklar oluşmasına sebep olur.

### 3.2.2. OPK karışımının hazırlanması

Odun plastik kompozitlerin üretimi ile ilgili üretilecek olan polipropilen esaslı kompozit malzemeler Çizelge 3.3’de verilen üretim reçetesine göre gerçekleştirilecektir.

Çizelge 3.3. PP esaslı kompozitlerin üretim reçetesi.

Örnek Kodu	Polimer Tipi	Odun Unu Tipi	Bağlayıcı Madde
OPK-MAPP BULUNMAYAN	PP	MEŞE	MAPP
	Polimer Miktarı (%) 50	Odun Unu Miktarı (%) 50	MAPP Miktarı (%) 0
OPK-MAPP BULUNAN	PP	MEŞE	MAPP
	Polimer Miktarı (%) 47	Odun Unu Miktarı (%) 50	MAPP Miktarı (%) 3

Odun plastik kompozit üretiminde ağırlıkça 1:1 oranında matris malzeme olarak PP, dolgu maddesi olarak ise meşe odun unu, polimer ve lignoselülozik dolgu maddesi arasındaki uyumu arttırmak için maleik anhidrit graflanmış polipropilen yüksek devirli karıştırma makinası yardımıyla Karışımın homojen olması için 2 dakika boyunca (900–1000 dev/dak.) karıştırılmıştır (Şekil 3.8a).

Üretime başlanmadan önce, ekstruderin çalışma sıcaklığı kademe olarak 175 °C sıcaklıktan başlayıp, 180, 180, 185 ve 190°C olacak şekilde ayarlanmıştır. Üretimde kullanılan tek vidalı ekstruder dönme hızı 40 dev/dak. olacak şekilde ayarlanmıştır. Pellet

üretimi için homojen şekilde karışımı yapılan odun unu, polimer(PP) ve bağlayıcı besleme haznesine yerleştirilerek üretime başlanmıştır. Üretimde aşamasında yer alan ekstruderin görünümü Şekil 3.8b’de gösterilmiştir (Şekil 3.8b).

Besleme ağzından ekstruder içine dolan karışım, erimiş halde ekstruderin çıkış ağzında bir kesici yardımıyla ekstruder önünde bulunan oda sıcaklığındaki su banyosuna düşmesi sağlanarak soğuması ve sertleşmesi sağlanmıştır (Şekil 3.8c). Su banyosuna dökülen ve sertleşen malzemeler, kuruma işlemine bırakılmıştır. Oda sıcaklığında kurutulan malzemeler Şekil 3.8d’de gösterilen laboratuvar tipi kırıcıda kırılarak çalışmada kullanılacak hale getirilmiştir.



Şekil 3.8. Kullanılacak ekipmanlar a) Mikser, b) Ekstruder makinesi c) Ekstruder çıkan ürün d) Kırıcı e) Kırılmış haldeki pelet ürün

Elde edilen pelletler, su banyosunda ıslandıkları için alüminyum kaseler içerisine konularak  $103\pm 2$  °C sıcaklıktaki etüv içerisinde bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan pelletlerin bünyesinde yer alan su uzaklaştırılınca çalışma çerçevesinde %1’in altında rutubet derecesine sahip olanlar kullanılmıştır (Şekil 3.8e).

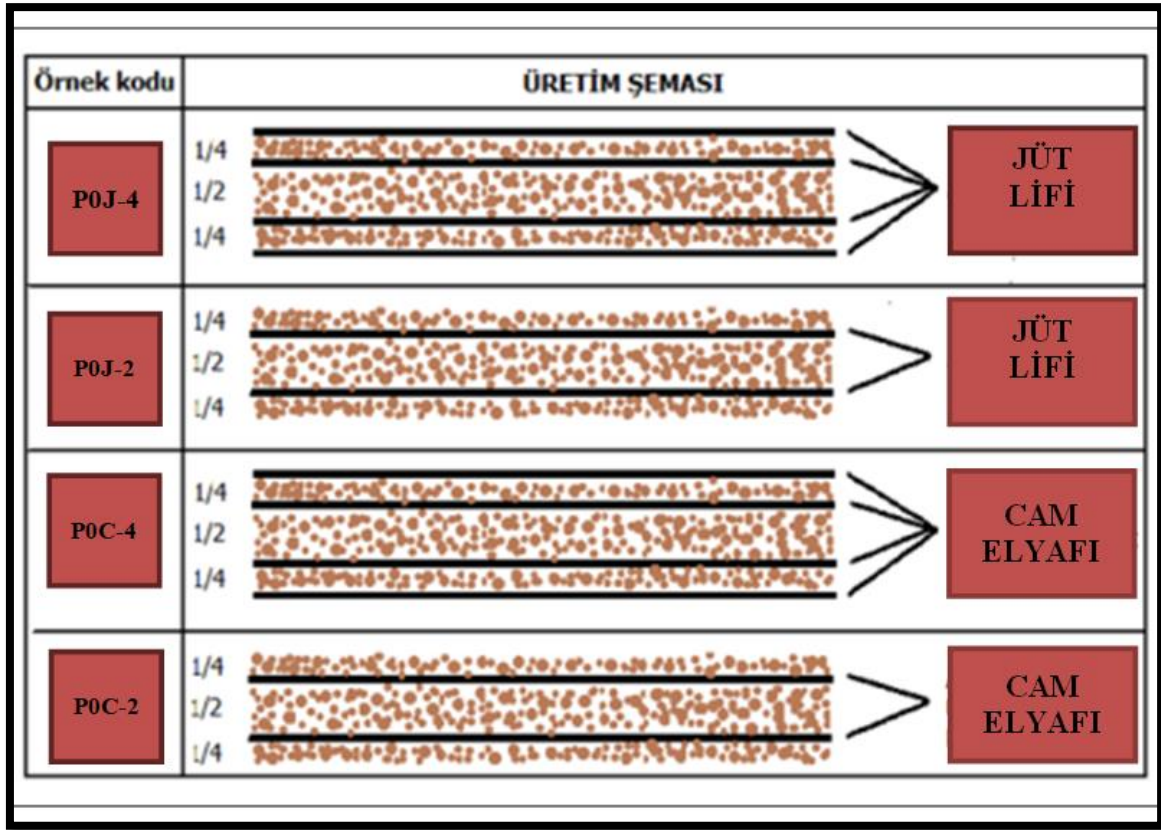
### 3.2.3. OPK levhalarının kalıplanması

Sıcak presleme işlemleri, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi Odun Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Ektruderden çıkan homojen karışımı kırıcı yardımı ile pellet haline getirdikten sonra 300x300x6 mm boyutlarındaki çerçeveye konup 10 dakikalık ön ısıtma sonrasında 10 dakika presleme işlemi 200 °C sıcaklıkta 80 bar basınçta yapılmıştır. Presleme işleminde Şekil 3.9a'da gösterilen pres makinası kullanılmıştır. Presleme aşamasında güçlendirici olarak cam elyafı ve jüt lifi arasına önceden hazırlanan pp esaslı odun plastik kompozitler yerleştirilerek iki katmanlı ve dört katmanlı olarak üretilmiştir (Şekil 3.9b). Presleme sonrasında elde ettiğimiz 400x300x6 mm boyutundaki test levhası Şekil 3.9c'da gösterildiği gibidir.



Şekil 3.9. Opk kalıplanması a) Sıcak pres makinası b) Pres öncesi hazırlık c) Elde ettiğimiz son ürün

PP esaslı çok katmanlı odun plastik kompozit malzemeler Şekil 3.10b'de gösterilen üretim şemasına göre 2 katmanlı ve 4 katmanlı olacak şekilde pres kalıplama yöntemi kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3.10).

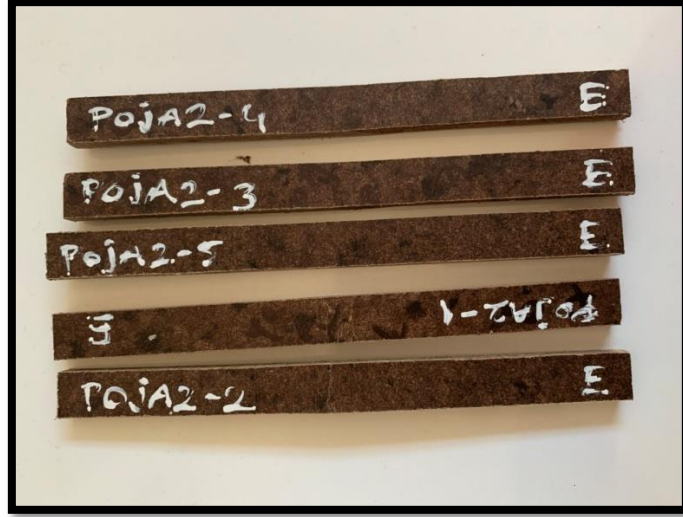


Şekil 3.10. Polipropilen esaslı çok katmanlı odun plastik kompozit üretimi

### 3.2.4. Deney Örneklerinin Kesilmesi Ve Hazırlanması

Üretilen OPK levhalardan planlanan ölçülerde Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesinde Şekil 3.11’de görüldüğü üzere levhalar hazırlanmıştır. Daha sonra levhaların standartta istenilen ölçülere getirilmesi işlemi Kahramanmaraş’ta yer alan Kocabaş Ahşap atölyesinde yapılmıştır.

Elde edilen kompozitler daire testere yardımıyla ASTM standartlarına uygun bir şekilde boyutlandırılarak, yoğunluk testleri için grup başına 8’er tane 50x50x6 mm, eğilme ve çekme testleri içinde grup başına 8’er tane 160x14x6 mm ve darbe testleri için ise 10’ar tane 6,3x14x6 mm ebatlarında örnekler kesilip hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler 20°C sıcaklık ve %65 bağıl nem koşullarındaki iklimlendirme kabininde şartlandırılmıştır. Şekil 3.11’de eğilme ve çekme test örnekleri gösterilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Eğilme ve çekme test numuneleri

### 3.2.5. OPK fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Yoğunluk;

ASTM D 792 göre 50x50 mm ebatında 6 mm kalınlığında kare olmak üzere her bir gruptan en az 10 adet olmak üzere yoğunluk örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan örnekler ASTM D 618'de belirtilen esaslara göre sıcaklığı  $20^{\circ}\pm 2$  C ve  $\%65\pm 5$  bağıl nemde denge rutubetine ulaşmaya kadar kondisyonlanmıştır. Yoğunluk değerleri TS EN 323'de (1999) belirlenen esaslara göre Şekil 3.12'de gösterilen test cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Yoğunluğun belirlenmesinde kullanılan deney düzeneğinin görüntüsü

### 3.2.6. OPK mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Deney numunelerin mekanik özelliklerin belirlenmesinde, çekme direnci (ÇD), çekmede elastikiyet modülü (ÇEM), kopmada uzama (KU), eğilme direnci (ED), eğilmede elastikiyet modülü (EEM) ve darbe direnci (DD) denemeleri yapılmıştır. Mekanik özelliklerin belirlenmesinde üretilen OPK levhalarda Testler Amerikan standartlarına (ASTM) uygun olarak yapılmıştır.

Çekme Direnci ve çekmede elastikiyet modülü;

Test örnekleri üzerinde çekme dirençlerinin belirlenmesi için, ASTM D 638'de yer alan standartlara uyulmuştur. Her bir takım içinde yer alan gruplar için 8'ar adet örnek hazırlanmıştır. Elde edilen test örnekleri ASTM D 618'de belirtilen esaslara içeriğine göre şartlandırılmıştır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi için kalınlığı 6 mm, genişliği 14 mm ve uzunluğu da 160 mm örnekler hazırlanmıştır. Çekme test sonuçlarının belirlenmesinde Şekil 3.13'da görülen Zwick/Roell Z10 universal marka test cihazı kullanılmıştır. Çekme test hızı 5 mm/dk olarak ayarlanarak testler yapılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Zwick/Roell Z1.0 çekme deneyi test cihazı

Kopmada Uzama;

Odun plastik kompozitlerin çekmede kopmada uzama miktarının belirlenmesinde ASTM D 638 standardında belirlenen esaslara uyulmuştur. Kopmada uzama miktarının belirlenmesi, çekme direncinin belirlenmesi esnasında yapılan test içerisinde değer olarak alınmaktadır. Diğer bir ifadeyle çekme direnci test yapılması esnasında değer olarak okunan bir parametredir.

Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü;

Test örnekleri üzerinde eğilme dirençlerinin belirlenmesi için, ASTM D 790'da yer alan standartlara uyulmuştur. Her bir takım içinde yer alan gruplar için 8'ar adet örnek hazırlanmıştır. Elde edilen test örnekleri ASTM D 618'de belirtilen esaslara içeriğine göre şartlandırılmıştır. Eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin belirlenmesi için kalınlığı 6 mm, genişliği 14 mm ve uzunluğunda 160 mm örnekler hazırlanmıştır. Eğilme direnci ve elastikiyet modülü sonuçlarının belirlenmesinde Şekil 3.14'da görülen Zwick/Roell Z10 üniversal marka test cihazı kullanılmıştır. Eğilme test hızı 4 mm/dk olarak ayarlanarak testler yapılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Zwick/Roell Z1.0 eğilme deneyi test cihazı

Darbe Direnci;

Test örnekleri üzerinde darbe dirençlerinin belirlenmesi için, ASTM D 256 'da yer alan standartlara uyulmuştur. Standartta belirlenen esaslara göre kalınlığı 6 mm, genişliği 14 mm ve uzunluğu da 63 mm ölçülerine ait örnekler hazırlanmıştır. Toplamda her grup

için varyans değerlerini minimize etmek amaçlı değişken parametresi için 8 adet örnek üzerinde test yapılmıştır. Toplam 10 grup ve her grup içinde 8'er tekrar olmak üzere 80 adet toplam deney numunesi hazırlanmıştır.

Deney numunelerine, ilk olarak Polytest Rayran çentik açma makinesi yardımıyla ile tam orta kısmından çentik açılmıştır (Şekil 3.15). Ardından Çentik açılarak hazırlanmış olan örnekler darbe direnci test cihazına yerleştirilerek, örneklerin kırılması için gerekli enerji (Q) tespit edilmiştir. Deney senasında örnekler test cihazına dik biçimde yerleştirilir, serbest salınım yapan çekiç düzeneği sayesinde test örneğine çarpar ve örneğin kırılmasına neden olmaktadır. Bu kırılma esnasında test cihazı malzemenin sönümleyebileceği maksimum enerjiyi göstermekte olup bilgisayar programında j/m cinsinden otomatik olarak hesaplanmıştır. Darbe direnci test sonuçlarının belirlenmesi, Zwick/Roell HIT 5.5P makinesi sayesinde tespit edilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Darbe direnci a) Çentik açma cihazı b) Darbe test cihazı

### 3.2.7. İstatistiksel analizler

Üretilen odun plastik kompozit malzemelerin veri analizleri Design Expert®Version 7.0.3. istatistik paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında üretilen kompozitler üzerinde fiziksel özelliklerin belirlenmesi maksatlı yoğunluk testi, mekanik özelliklerin belirlenmesi maksatlı ise çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve darbe direnci incelenmiş olup test sonuçları istatistik programı yardımıyla analiz edilmiştir.

### 4.1. Üretilen OPK Fiziksel Özelliklerinin Deneysel Bulguları

#### 4.1.1. Yoğunluk

Üretilen deney numunelerinin yoğunlukları standartta istenilen ebatlarda ayarlanarak testler yapılmıştır. Elde edilen yoğunluk değerleri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

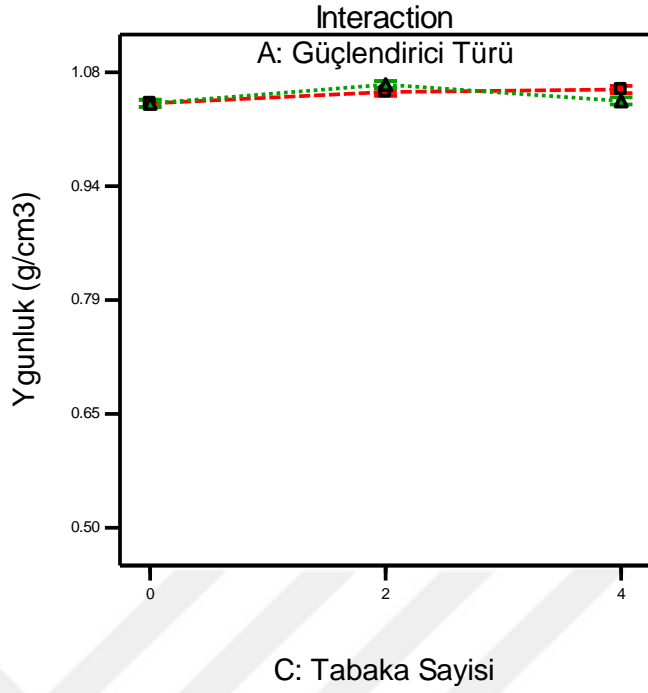
Çizelge 4.1. Deney örneklerinin yoğunluk değerleri

Örnek no	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )
OPK	1,04 (0,007)*
OPK-J-2	1,06 (0,004)*
OPK-J-4	1,06 (0,005)*
OPK-C-2	1,07 (0,012)*
OPK-C-4	1,05 (0,010)*
OPK-M	1,04 (0,006)*
OPK-M-J-2	1,05 (0,008)*
OPK-M-J-4	1,07 (0,010)*
OPK-M-C-2	1,06 (0,020)*
OPK-M-C-4	1,06 (0,005)*

\* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

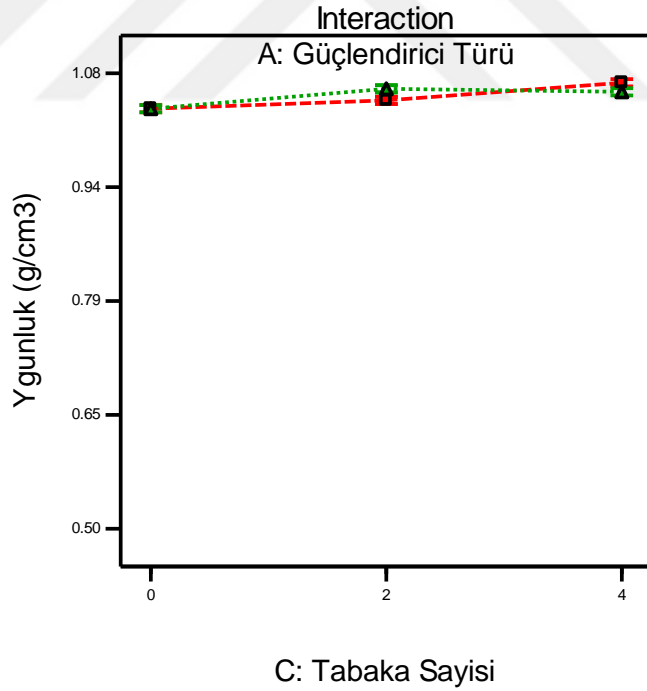
Çizelge 4.1’de örneklerin yoğunluk değerleri incelendiğinde, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de yoğunluk değeri üzerine güçlendirici türü, MAPP kullanımı ve tabaka sayısının etkisini gösteren etkileşim grafikleri verilmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı) ve MAPP kullanımının yoğunluk değeri üzerine önemli oranda etkili olmadığı görülmüştür. Ancak tabaka sayısının yoğunluk değeri üzerine önemli oranda etkili olduğu tespit edilmiştir ( $P < 0,05$ ).

Design-Expert® Software  
Ygunluk (g/cm3)  
■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam elyafi  
X1 = C: Tabaka Sayisi  
X2 = A: Güçlendirici Türü  
Actual Factor  
B: MAPP = %0



Şekil 4.1. MAPP kullanılmayan örneklerin yoğunluk değeri etkileşim grafiği

Design-Expert® Software  
Ygunluk (g/cm3)  
■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam elyafi  
X1 = C: Tabaka Sayisi  
X2 = A: Güçlendirici Türü  
Actual Factor  
B: MAPP = %3



Şekil 4.2. MAPP kullanılan örneklerin yoğunluk değeri etkileşim grafiği

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi 2 tabakalı odun plastik kompozitlerde cam elyafi eklenmiş OPK'lar  $1,07 \text{ g/cm}^3$  değer ile  $1,06 \text{ g/cm}^3$  değerdeki jüt lifi eklenmiş OPK'lardan daha yüksek iken, fakat 4 tabakalıda bunun tam tersi olarak jüt lifi eklenmiş OPK'lar  $1,06$

g/cm<sup>3</sup> değerle 1,05 g/cm<sup>3</sup> değere sahip cam elyafından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. 2 katmanlı kompozit malzemelerde cam elyafı kullanımı ile daha yüksek yoğunluğa ulaşılırken 4 katmanlı kompozit malzemelerde jüt lifi kullanımı ile daha yüksek yoğunluk değeri elde edilmiştir.

Şekil 4.1’de görülen maleik anhidrit graflanmış polipropilen (MAPP) eklenmemiş örneklerin grafikleri ile Şekil 4.2’de MAPP eklenmiş örneklerin grafiklerle benzer doğrultuda olduğu gözlenmektedir. Doğal ve sentetik dokunmuş güçlendirici liflerle güçlendirilmiş polipropilen esaslı odun plastik kompozitlerin deney numunelerinin istatistik analizleri sonucunda, MAPP kullanım oranı yoğunluk değerleri üzerinde az miktarda etkili olduğu görülmüştür. Şekil 4.2’deyum sağlayıcı kimyasal madde MAPP’ın kullanılmasının yoğunluk üzerine etkileşim grafiği verilmiştir.

## 4.2. Üretilen OPK Mekanik Özelliklerinin Deneysel Bulguları

### 4.2.1. Çekme direnci

Kompozit örneklerin, mekanik özelliklerden çekme, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzama testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerden elde edilen sonuçları ve standart sapmaları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Üretilen odun plastik kompozitlerin çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü ve kopmada uzamatest sonuçları

Örnek No	Çekme Direnci (MPA)	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPA)	Kopmada Uzama (%)
OPK	14,69 (0,28)*	769,43 (37,47)*	2,67 (0,19)*
OPK-J-2	17,48 (0,46)*	830,99 (5,61)*	3,01 (0,19)*
OPK-J-4	18,39(2,01)*	782,72 (68,68)*	3,31 (0,64)*
OPK-C-2	21,98 (2,37)*	765,25 (77,73)*	4,17 (0,22)*
OPK-C-4	38,51 (2,59)*	873,00 (24,63)*	5,92 (0,23)*
OPK-M	23,99 (0,29)*	968,42 (7,05)*	2,99 (0,11)*
OPK-M-J-2	25,17 (0,60)*	1004,65 (9,05)*	3,17 (0,09)*
OPK-M-J-4	26,46 (0,30)*	1000,03 (8,34)*	3,69 (0,12)*
OPK-M-C-2	23,69 (2,65)*	960,43 (34,32)*	3,06 (0,23)*
OPK-M-C-4	36,00 (3,68)*	987,74 (62,73)*	4,93 (0,33)*

\* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

Güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), tabaka sayısı ve MAPP kullanımının çekme direnci üzerindeki etkisinin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla çekme testinden elde edilen değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Çekme direnci testi istatistik grafikleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de örneklerin çekme direnci değerleri incelendiğinde, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de çekme direnci değeri üzerine güçlendirici türü, MAPP kullanımı ve tabaka sayısının etkisini gösteren etkileşim grafikleri verilmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), MAPP kullanımının ve tabaka sayısının çekme direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu görülmüştür.

MAPP kullanılmayan örneklerde cam elyafı eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 21,98 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 38,51 MPA olduğu gözlenmiştir. Jüt lifi eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 17,48 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 18,39 MPA olduğu gözlenmiştir. (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.3).

MAPP kullanılan grafiklerde ise 2 katmanlı cam elyafı eklenmiş OPK’lar jüt elyaf eklenmiş OPK’lardan daha düşük iken 4 tabakalı olanlarda ise bu durum tam tersi olarak gözlenmiştir. MAPP kullanılan cam elyafı eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 23,69 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 36,00 MPA olduğu gözlenirken Jüt lifi eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 25,17 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 26,46 MPA olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4).

MAPP kullanımı sayesinde çekme direncinde cam elyafı eklenmiş OPK’larda kayda değer boyutta çekme direncinde artış sağlandığı görülmekte olup özellikle 2 tabakalıya kıyasla 4 tabakalı olanlarda yüzde olarak önemli bir artış olduğu gözlenmektedir.

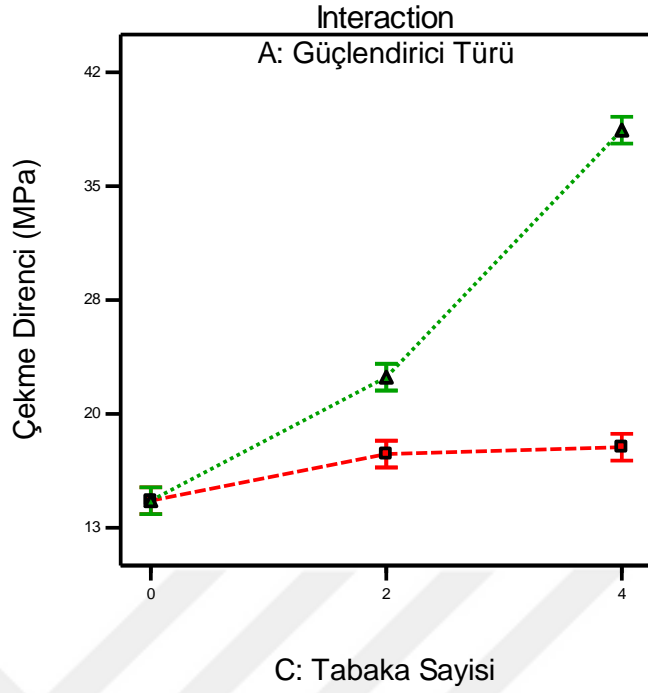
Design-Expert® Software

Çekme Direnci (MPa)

■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam elyafı

X1 = C: Tabaka Sayısı  
X2 = A: Güçlendirici Türü

Actual Factor  
B: MAPP = %0



Şekil 4.3. MAPP kullanılmayan örneklerin çekme direnci değeri etkileşim grafiği

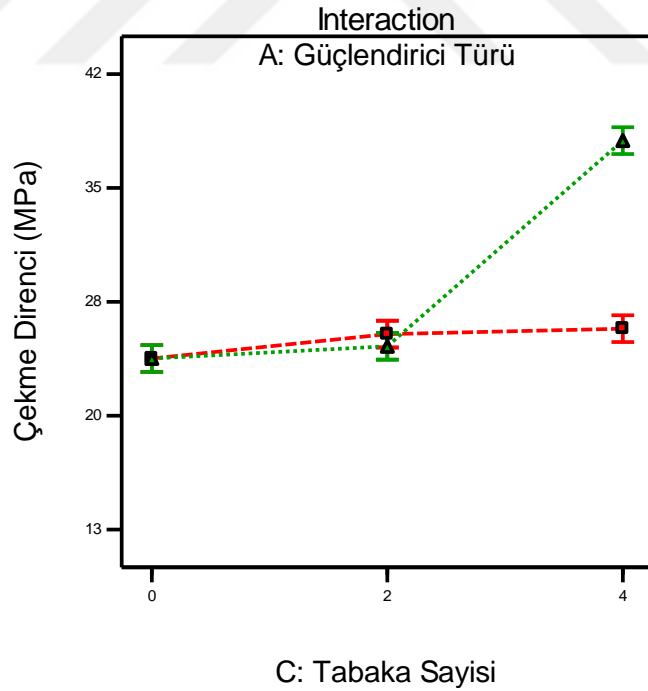
Design-Expert® Software

Çekme Direnci (MPa)

■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam elyafı

X1 = C: Tabaka Sayısı  
X2 = A: Güçlendirici Türü

Actual Factor  
B: MAPP = %3

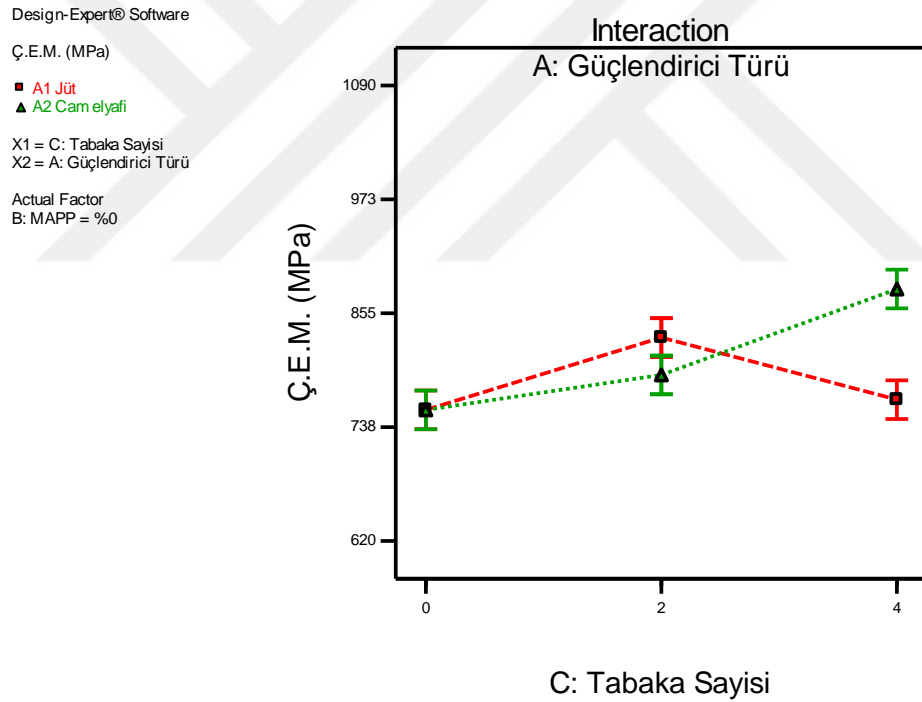


Şekil 4.4. MAPP kullanılan örneklerin çekme direnci değeri etkileşim grafiği

#### 4.2.2. Çekmede elastikiyet modülü

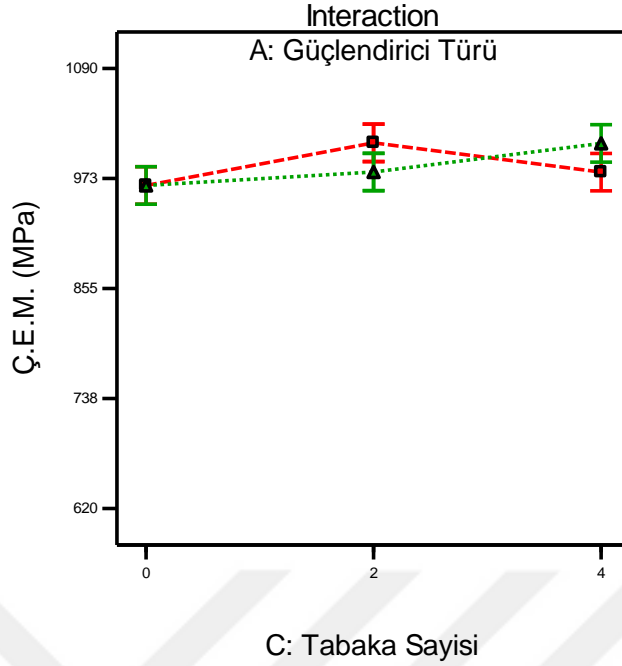
Güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), tabaka sayısı ve MAPP kullanımının eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisinin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla elde edilen değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü testi istatistik grafikleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de örneklerin değerleri incelendiğinde, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerine güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı) etkili olmazken, MAPP kullanımının ve tabaka sayısının eğilmede elastikiyet modülü üzerine önemli oranda etkili olduğu görülmüştür.

MAPP kullanılan ve kullanılmayan örneklerde görüldüğü üzere cam elyafı eklenmiş OPK’larda çekme elastikiyet modülü üzerine önemli oranda etki sağladığı gözlenirken; jüt lifi eklenmiş OPK’larda tabakasız ve 4 tabakalı OPK’ların sayısal olarak aynı değerde iken 2 tabakalıda daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).



Şekil 4.5. MAPP kullanılmayan örneklerin çekmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği

Design-Expert® Software  
Ç.E.M. (MPa)  
■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam elyafı  
X1 = C: Tabaka Sayısı  
X2 = A: Güçlendirici Türü  
Actual Factor  
B: MAPP = %3



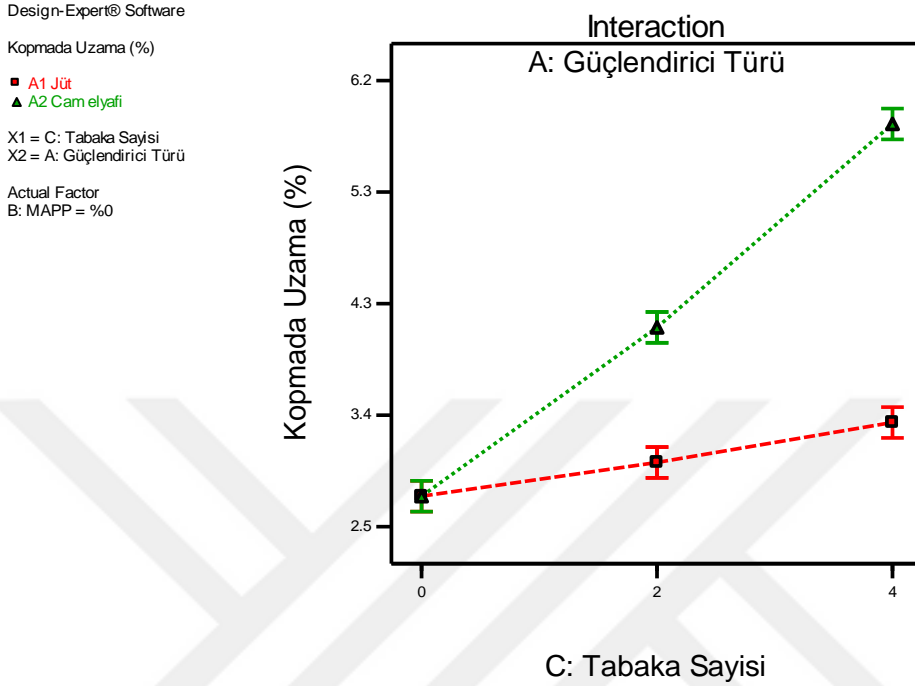
Şekil 4.6. MAPP kullanılan örneklerin çekmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği

#### 4.2.3. Kopmada uzama

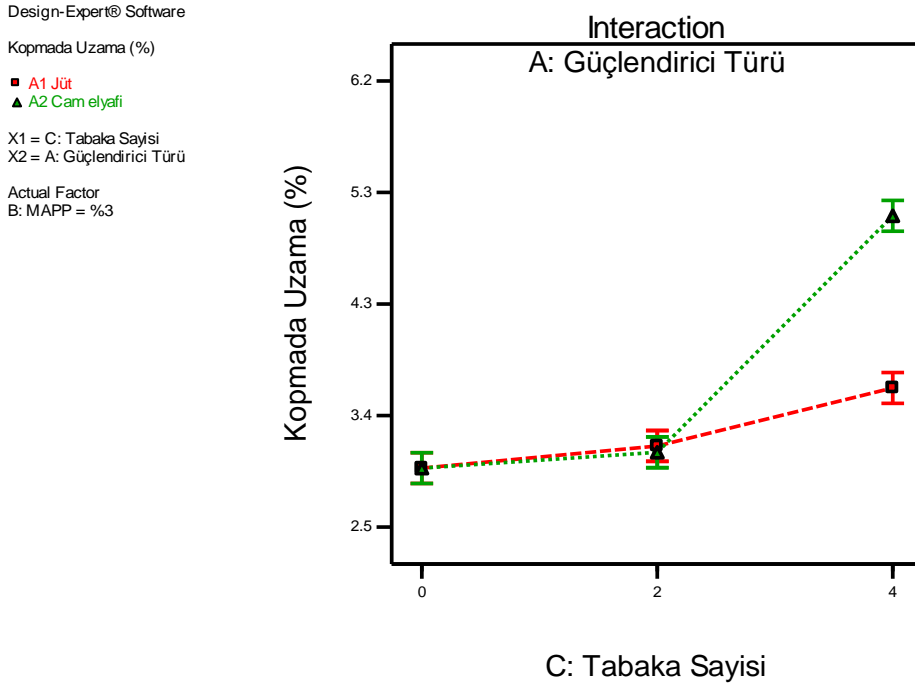
Güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), tabaka sayısı ve MAPP kullanımının kopmada uzama üzerindeki etkisinin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla elde edilen değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Eğilmede elastikiyet modülü testi istatistik grafikleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de örneklerin değerleri incelendiğinde, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de kopmada uzama değeri üzerine MAPP kullanımının etkili olmazken, güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı) ve tabaka sayısının kopmada uzama üzerine önemli oranda etkili olduğu görülmüştür.

MAPP kullanılmayan örneklerde Şekil 4.7’de kopmada uzama değerleri incelendiğinde, tabaka sayısı arttıkça kopmada uzama değerlerinde artış gözlenmiş olup jüt lifi eklenmiş OPK’larda tabaka sırasıyla; %3.01 ve %3,31 iken cam elyaf eklenmiş OPK’larda sırasıyla; %4.17 ve %5.92 olduğu gözlenmektedir. Başka bir ifadeyle jüt lifi eklenmiş OPK’lara nazaran cam elyafı eklenmiş OPK’lar tabaka sayısı arttıkça kopmada uzama değerlerinde doğrusal olarak artış olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.2, Şekil 4.7). MAPP kullanılan örneklerde Şekil 4.8’de kopmada uzama değerleri incelendiğinde, jüt lifi eklenmiş OPK’larda tabaka sırasıyla; %3.17 ve %3,69 iken cam elyaf eklenmiş OPK’larda sırasıyla; %3.06 ve %4,93 olduğu gözlenmektedir (Çizelge 4.2, Şekil 4.7). Kopmada uzama değerleri incelendiğinde, cam elyafı eklenmiş OPK’lardan 2 tabakalı olanlarda jüt

lifi eklenmiş OPK'lardan daha düşük olduğu dikkat çeken bir değer olarak gözlenmektedir. Jüt lifi eklenmiş OPK'lar ise tabaka sayısı arttıkça doğrusal olarak artmaktadır (Çizelge 4.2, Şekil 4.8).



Şekil 4.7. MAPP kullanılmayan örneklerin kopmada uzama değeri etkileşim grafiği



Şekil 4.8. MAPP kullanılan örneklerin kopmada uzama değeri etkileşim grafiği

#### 4.2.4. Eğilme direnci

Kompozit örneklerin, mekanik özelliklerden eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerden elde edilen sonuçları ve standart sapmaları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Üretilen odun plastik kompozitlerin eğilme direnci ve eğilmede elastikiyet modülü test sonuçları

Örnek No	Eğilme Direnci (MPA)	Eğilmede Elastikiyet modülü (MPA)
OPK	29,95 (1,17)*	1572,67 (42,26)*
OPK-J-2	36,17 (2,25)*	1995,83 (58,23)*
OPK-J-4	41,37 (3,15)*	2064,69 (94,20)*
OPK-C-2	47,92 (6,57)*	2195,54 (101,65)*
OPK-C-4	71,22 (8,69)*	2380,47 (119,05)*
OPK-M	40,89 (0,91)*	2509,17 (31,02)*
OPK-M-J-2	44,26 (3,95)*	2875,03 (87,92)*
OPK-M-J-4	54,81 (5,49)*	2907,92 (244,88)*
OPK-M-C-2	44,05 (1,83)*	2927,45 (56,73)*
OPK-M-C-4	78,67 (3,51)*	3340,65 (98,32)*

\* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

Güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), tabaka sayısı ve MAPP kullanımının eğilme direnci üzerindeki etkisinin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla eğilme testinden elde edilen değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Eğilme direnci testi istatistik grafikleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’de verilmiştir. Çizelge 4.3’de örneklerin eğilme direnci değerleri incelendiğinde, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’de eğilme direnci değeri üzerine istatistiksel analizler incelendiğinde güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), MAPP kullanımının ve tabaka sayısının eğilme direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu görülmüştür.

MAPP kullanılmayan cam elyafı eklenmiş OPK’larda eğilme direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu görülürken; cam elyafı eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 47,92 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 71,22 MPA olduğu gözlenmiş olup, jüt lifi eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 36,17 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 41,37 MPA olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.10).

MAPP kullanılan cam elyafı eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 44,05 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 78,67 MPA olduğu gözlenmiş olup jüt lifi eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 44,26 MPA iken 4 tabakalılarda ise bu değer 54,81 MPA olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.11).

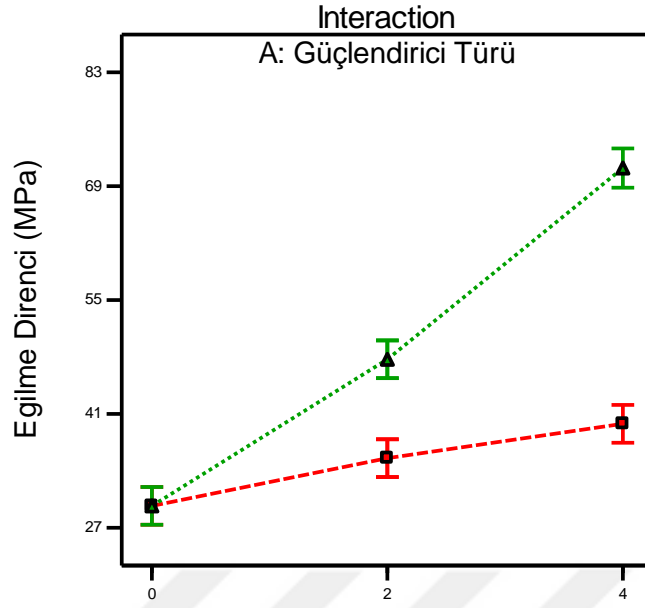
Design-Expert® Software

Eğilme Direnci (MPa)

■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam Elyafi

X1 = C: Tabaka Sayısı  
X2 = A: Güçlendirici Türü

Actual Factor  
B: MAPP = %0



C: Tabaka Sayısı

Şekil 4.9. MAPP kullanılmayan örneklerin eğilme direnci değeri etkileşim grafiği

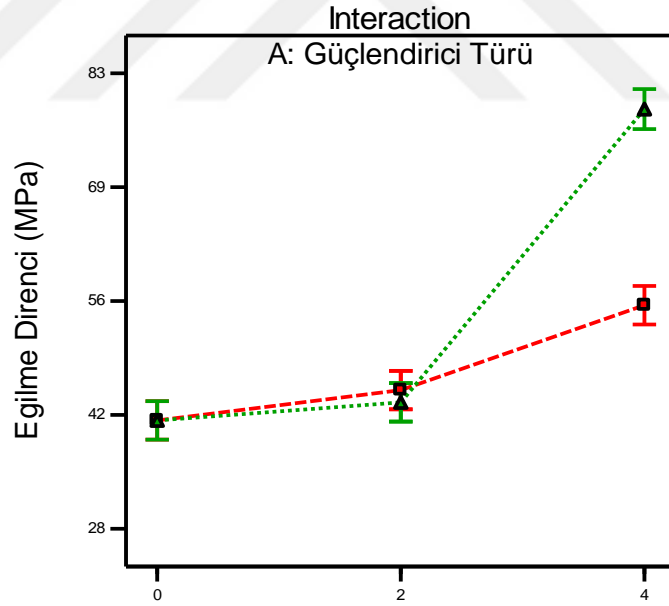
Design-Expert® Software

Eğilme Direnci (MPa)

■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam Elyafi

X1 = C: Tabaka Sayısı  
X2 = A: Güçlendirici Türü

Actual Factor  
B: MAPP = %3



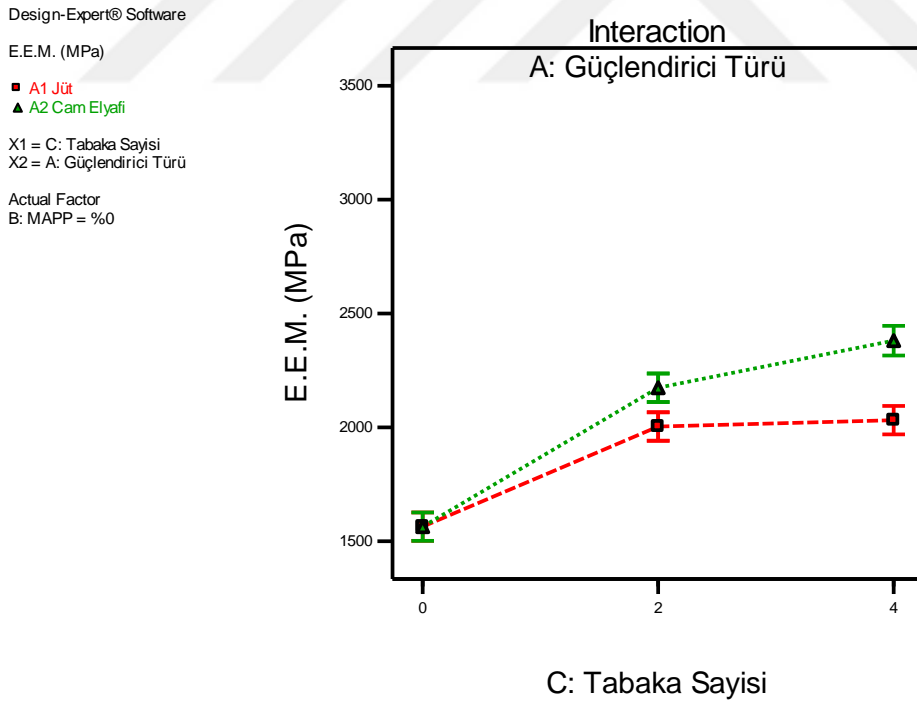
C: Tabaka Sayısı

Şekil 4.10. MAPP kullanılan örneklerin eğilme direnci değeri etkileşim grafiği

MAPP kullanılan cam elyafı eklenmiş OPK’larda tabaka sayısı arttıkça bir artış olduğu gözlenmekte ancak tabakasız OPK ile 2 tabakalı OPK arasındaki yüzdeler artış; 2 tabakalı OPK ile 4 tabakalı OPK arasındaki olan yüzdeler artış oranına kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak 4 tabakalı OPK’ların son tabakada yer alan güçlendirici etkisi olduğunu söylemek mümkündür.

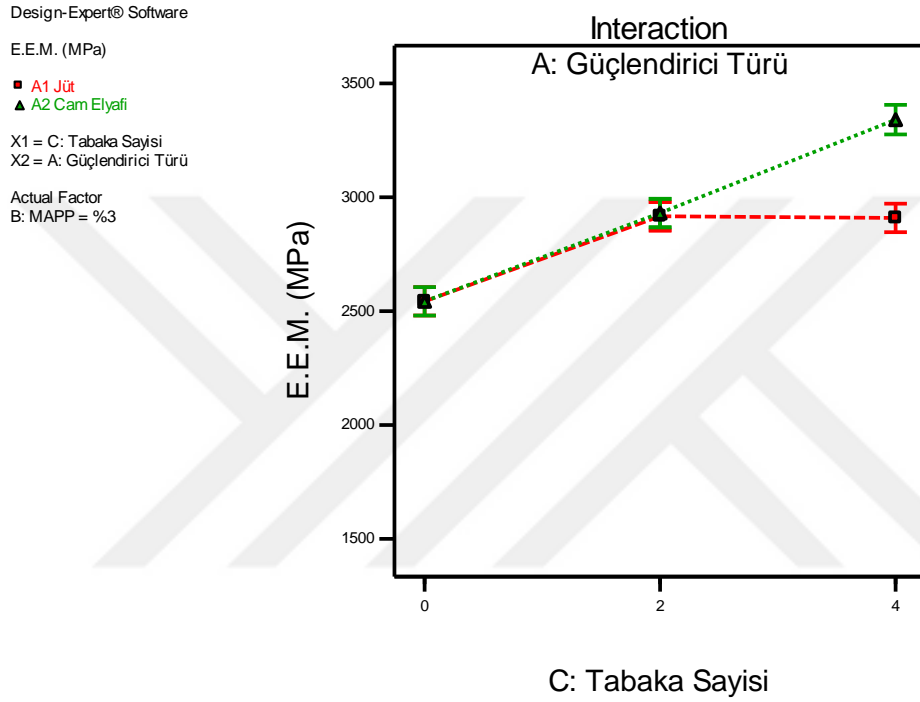
#### 4.2.5. Eğilmede elastikiyet modülü

Güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), tabaka sayısı ve MAPP kullanımının eğilmede elastikiyet modülü üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi amacıyla eğilme testinden elde edilen değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Eğilme direnci testi istatistik grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Çizelge 4.3’de örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değerleri incelendiğinde, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de eğilmede elastikiyet modülü değeri üzerine istatistiksel analizler incelendiğinde güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), MAPP kullanımının ve tabaka sayısının eğilme direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3).



Şekil 4.11. MAPP kullanılmayan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği

MAPP kullanılmayan örneklerde görüldüğü üzere cam elyafı eklenmiş OPK'lar ve jüt lifi eklenmiş OPK'lar paralel olarak aynı doğrultuda olup eğilmede elastikiyet modülü üzerine artış sağladığı gözlenmektedir. MAPP kullanılan örneklerde ise cam elyafı eklenmiş OPK'lar doğrusal olarak artış gösterirken, jüt lifi eklenmiş OPK'lar 2 tabakadan sonra 4 tabakalı olduğu halde eğilmede elastikiyet değerlerinde bir artış olmadığı görülmekte olup hatta bir miktar düşmektedir (Şekil 4.11 ve Şekil 4.12).



Şekil 4.12. MAPP kullanılan örneklerin eğilmede elastikiyet modülü değeri etkileşim grafiği

#### 4.2.6. Darbe direnci

Kompozit örneklerin, mekanik özelliklerden darbe direnci testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerden elde edilen sonuçları ve standart sapmaları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Üretilen odun plastik kompozitlerin darbe direnci test sonuçları

Örnek No	Darbe Direnci (KJ/m <sup>2</sup> )
OPK	2,26 (0,17)*
OPK-J-2	3,97 (0,99)*
OPK-J-4	7,03 (4,52)*
OPK-C-2	14,99 (3,98)*
OPK-C-4	51,44 (7,09)*
OPK-M	1,83 (0,47)*
OPK-M-J-2	2,87 (0,35)*
OPK-M-J-4	4,12 (0,72)*
OPK-M-C-2	14,43 (2,40)*
OPK-M-C-4	37,20 (3,28)*

\* standart sapma değerleri parantez içinde gösterilmiştir.

Güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), tabaka sayısı ve MAPP kullanımının darbe direnci üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi amacıyla eğilme testinden elde edilen değerlerin istatistiksel analizi yapılmıştır. Darbe direnci testi istatistik grafikleri Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmiştir. Çizelge 4.3’de örneklerin darbe direnci değerleri incelendiğinde, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de darbe direnci değeri üzerine istatistiksel analizler incelendiğinde güçlendirici türü (jüt lifi ve cam elyafı), MAPP kullanımının ve tabaka sayısının eğilme direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu görülmüştür (Çizelge 4.3).

MAPP kullanılmayan cam elyafı eklenmiş OPK’larda darbe direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu görülürken; cam elyafı eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 14,99 kJ/m<sup>2</sup> iken 4 tabakalılarda ise bu değer 51,44 kJ/m<sup>2</sup> olduğu gözlenmiş olup jüt lifi eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 3,97 kJ/m<sup>2</sup> iken 4 tabakalılarda ise bu değer 7,03 kJ/m<sup>2</sup> olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.13).MAPP kullanılan cam elyafı eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 14,43kJ/m<sup>2</sup> iken 4 tabakalılarda ise bu değer 37,20kJ/m<sup>2</sup> olduğu gözlenmiş olup jüt lifi eklenmiş OPK’larda 2 tabakalıda değer 2,87kJ/m<sup>2</sup> iken 4 tabakalılarda ise bu değer 4,12kJ/m<sup>2</sup> olduğu gözlenmiştir (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.14).

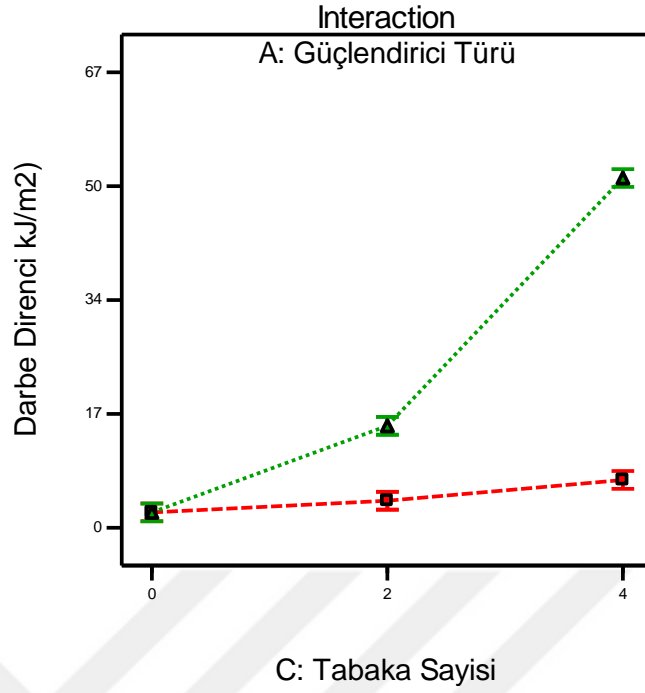
Design-Expert® Software

Darbe Direnci kJ/m<sup>2</sup>)

■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam Elyafi

X1 = C: Tabaka Sayisi  
X2 = A: Güçlendirici Türü

Actual Factor  
B: MAPP = %0



Şekil 4.13. MAPP kullanılmayan örneklerin darbe direnci değeri etkileşim grafiği

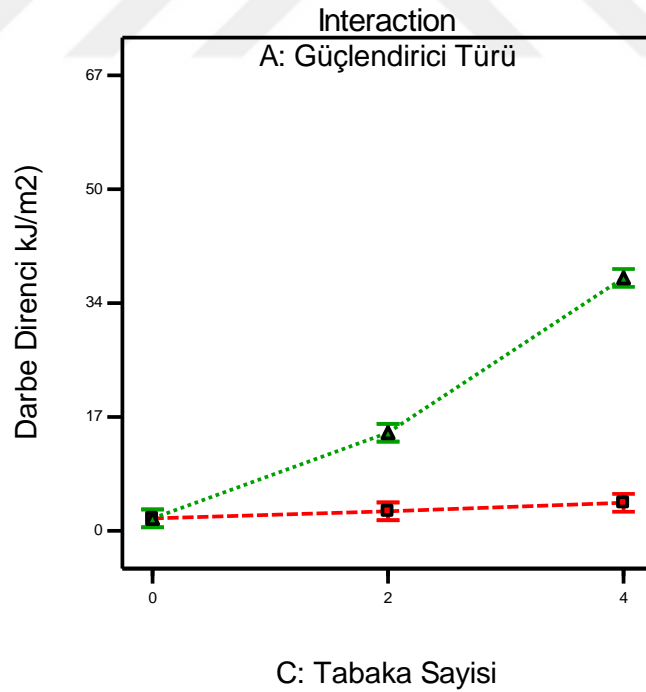
Design-Expert® Software

Darbe Direnci kJ/m<sup>2</sup>)

■ A1 Jüt  
▲ A2 Cam Elyafi

X1 = C: Tabaka Sayisi  
X2 = A: Güçlendirici Türü

Actual Factor  
B: MAPP = %3



Şekil 4.14. MAPP kullanılan örneklerin darbe direnci değeri etkileşim grafiği

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında yapılan fiziksel ve mekanik testler neticesinde aşağıda sıralanan sonuçlar elde edilmiştir;

- Güçlendirici kullanılarak elde edilen çok katmanlı odun plastik kompozit malzemelerin yoğunluğu üzerinde cam elyafı ve jüt lifi takviye elemanının olumlu bir etkisi olduğu belirlenmiştir. MAPP kullanılan ve kullanılmayan grafikler incelenmesi sonucunda 2 katmanlı OPK'larda cam elyafı eklenmiş OPK'lar daha yüksek yoğunluğa sahipken 4 katmanlılarda jüt lifi eklenmiş OPK'lar yüksek olduğu gözlenmiştir. Diğer bir değişken olan MAPP kullanım oranı yoğunluk değerleri üzerinde az miktarda etkili olduğu görülmüştür.
- MAPP kullanılmayan örneklerde cam elyafı eklenmiş OPK'larda çekme direnci üzerine önemli oranda artış sağladığı görülürken jüt lifi eklenmiş OPK'larda çekme direnci az miktarda artış olduğu görülmüştür. MAPP kullanılan örneklerde 2 katmanlı cam elyafı eklenmiş OPK'lar jüt elyaf eklenmiş OPK'lardan daha düşük iken 4 tabakalı olanlarda ise bu durum tam tersi olarak gözlemiş olup; bunun etkisi olarak liflerin yapısal ve dokusal farklılıklarından kaynaklı olarak olduğu düşünülmektedir. Çekme direncinde MAPP etkisi düşünülmezsizin her iki durumda da tabaka sayısı arttıkça jüt lifi eklenmiş OPK'larda çokça bir etki gözlenmezken, cam elyafı eklenmiş OPK'larda kayda değer boyutta çekme direncinde artış sağlandığı görülmektedir. Uyumlaştırıcı kimyasalın (MAPP) etkisi tabakalı tabakasız olmak üzere çekme direncinde artma gözlenmekte olup bir miktar iyileştirdiği tespit edilmiştir.
- MAPP kullanılan örneklerden elde edilen çekmede elastikiyet modülü değerleri MAPP kullanılmayan örneklerden elde edilen çekmede elastikiyet modülü değerlerine kıyasla artış olduğu görülmektedir. MAPP kullanılan ve kullanılmayan örneklerde görüldüğü üzere cam elyafı eklenmiş OPK'larda çekme elastikiyet modülü üzerine etki sağladığı gözlenirken; jüt lifi eklenmiş OPK'larda tabakasız ve 4 tabakalı OPK'ların sayısal olarak aynı değerde iken 2 tabakalıda daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak katman sayısı arttıkça esneklik özelliklerinde azalma meydana gelmekte olup en ideal elastikiyet modülü değerini çift katmanlı olanda olduğu görülmektedir.
- MAPP kullanılmayan örneklerde jüt lifi eklenmiş OPK'lara nazaran cam elyafı eklenmiş OPK'lar tabaka sayısı arttıkça kopmada uzama değerlerinde doğrusal olarak

artış olduğu gözlenmektedir. MAPP kullanılan örnekler üzerinde Kopmada uzama değerleri incelendiğinde, cam elyafı eklenmiş OPK'lardan 2 tabakalı olanlarda jüt lifi eklenmiş OPK'lardan daha düşük olduğu dikkat çeken bir değer olarak gözlenmektedir. Genel olarak Kopmada uzama değerleri bakıldığında; jüt lifi eklenmiş OPK'lar grafiksel olarak bir artış göstermesine karşın bu değerler sayısal olarak dikkate değer ölçüde etkili olmadığı söylenebilir. Buna karşın cam elyaf eklenmiş OPK'larda görüldüğü üzere oldukça kayda değer artışlar olduğu görülmektedir. Uyumlaştırıcı kimyasalın (MAPP) etkisi tabakalı tabakasız olmak üzere kopmada uzama üzerine negatif bir etkisi gözlenmektedir.

- MAPP kullanılmayan OPK'larda güçlendirici türü dikkate alınmaksızın her ikisinde de tabaka sayısı arttıkça eğilme direncinde bir artış olduğu gözlenmiş olup Cam elyaf eklenmiş olan OPK'ların jüt lifi eklenmiş OPK'lara kıyasla yüzde olarak daha fazla eğilme direnci sağladığı görülmüştür. MAPP kullanılan cam elyafı eklenmiş OPK'larda tabaka sayısı arttıkça bir artış olduğu gözlenmekte ancak tabakasız OPK ile 2 tabakalı OPK arasındaki yüzdeler artışı; 2 tabakalı OPK ile 4 tabakalı OPK arasındaki olan yüzdeler artışı oranına kıyasla daha düşük olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak 4 tabakalı OPK'ların son tabakada yer alan güçlendirici etkisi olduğunu söylemek mümkündür.
- MAPP kullanılan örneklerden elde edilen eğilme elastikiyet modülü değerleri MAPP kullanılmayan örneklerden elde edilen eğilme elastikiyet modülü değerlerine kıyasla artış olduğu görülmektedir. MAPP kullanılan örneklerde ise cam elyafı eklenmiş OPK'lar doğrusal olarak artış gösterirken, jüt lifi eklenmiş OPK'lar 2 tabakadan sonra 4 tabakalı olduğu halde eğilmede elastikiyet değerlerinde bir artış olmadığı görülmekte olup hatta bir miktar düşmektedir.
- MAPP kullanılmayan ve MAPP kullanılan cam elyafı eklenmiş OPK'larda darbe direnci üzerine önemli oranda etkili olduğu görülürken, Jüt lifi eklenmiş OPK'larda darbe direnci üzerinde grafiksel olarak bir artış göstermesine karşılık sayısal olarak neredeyse yok denecek bir artış var olduğu görülmektedir. Uyumsuzluğu gidermek amacıyla katılan MAPP'nin ise kompozit malzemelerin darbe direnci üzerine olumsuz etki yaptığı görülmüştür.

Çalışmanın sonuçları dikkate alındığında;

Ülkemizde, orman ve plastik endüstrilerinin karşılaştığı hammadde problemlerinin çözümü için alternatif bir hammadde kaynağı odun atıkları odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilir. Dünya genelinde ve ülkemiz Lignoselülozik maddelerin atıkları kullanımı oldukça yaygın olduğundan bundan ortaya çıkan atıklarda oldukça fazladır. Bu atıklar çoğunlukla yakacak olarak tüketilmektedir. Lignoselülozik maddelerin atıkları odun plastik kompozit üretiminde kullanılması ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır. Bu kullanıma paralel olarak, lignoselülozik malzemelerin atıkları için yeni bir pazar oluşturabilecektir. İlaveten geri dönüşüm lignoselülozik maddelerin kullanılması ile doğal çevre üzerinde oluşan baskı azalacaktır.

Bu çalışmada, dolgu malzemesi olarak lignoselülozik madde olarak meşe odunu atığı ve polimer olarak polipropilen kullanılmıştır. Bu nedenle, meşe odunu, polipropilen ve uyum sağlayıcı ajan, bunların çeşitli oranlardaki karışımları kullanılarak odun plastik kompozitlerin üretimleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Deney sonuçları, meşe odunu atıklarının odun plastik kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesini göstermiştir. Bu çalışmada %50 oranlarında kullanılan meşe odunu ticari reçetelerde rahatlıkla kullanılabilmesi söylenebilir.

Güçlendirme işlemleri için dokunmuş lif türleri önemlidir. Bu çalışmada kullanılan güçlendirmiş lif türleri piyasada yaygın olarak bulunan cam elyafı ve jüt lifi seçilmiştir. Ayrıca bu çalışmada lif yüzeylerine harici bir uygulama yapılmamıştır. Çalışmada cam elyafı ve jüt lifi kullanılarak çok katmanlı odun plastik kompozitlerin üretimleri başarıyla gerçekleştirilmiştir.

Cam elyafı ve jüt lifleri yüksek mekanik özelliklere sahip olmasıyla bilinmektedir. Çalışma içerisinde mekanik özellikleri düşünüldüğünde cam elyaf eklenmiş odun plastik kompozitlerden elde edilen sonuçlar daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çalışmanın Sonuçları Dikkate Alındığında Öneriler;

- Meşe kullanımı esnasında ortaya çıkan maddi değeri yok denilecek kadar az olan ve genellikle yakılarak ısınma amaçlı kullanılan bu atıkların, ekonomik açıdan yüksek katma değere sahip ürünlere dönüştürülmesi sağlanabilir. Bu sayede odun plastik kompozitler üretiminde bir dolgu malzemesi olarak kullanılarak hem ülke ekonomiyeye katkı sağlanabilecek, hem de atık halde bulunan bu meşe odunu için yeni bir pazar oluşmuş olacaktır.

- Lignoselülozik atık madde kullanımıyla elde edilen OPK'lar kullanım sonrası hizmet ömrü bitince, saf plastik ile üretilen malzemelere kıyasla daha az atık oluşması OPK'ları çevreci bir materyal yapmaktadır. Bu nedenle, atık çevreye olan zararlı etkileri de azaltılabilir ve çevre problemlerinin çözümüne yardımcı olunabilir.
- Odun plastik kompozitlerin büyük çoğunluğu kullanım amacına bağlı olarak pelet ve son hazır ürün olarak ithal edilmektedir. Bu durum ülkemizin ekonomik bakımdan dışa bağı bir ülke haline getirmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan atık polimer kullanılması ve üretilmesi sayesinde ülke ekonomisine katkı sağlayacaktır.
- Bu alanda çalışma yapan araştırmacılar ve bilim insanları, tezde yer alan lignoselülozik dolgu maddeleri, polimer ve farklı güçlendiriciler kullanarak, farklı kombinasyonlar ve oranlarda elde edebilecekleri kompozitlerin mekanik ve fiziksel açıdan birçok özelliklerini araştırıp geliştirebilirler.
- Bu sonuçlar doğrultusunda tezde yer alan çok katmanlı odun plastik kompozitler akademik alanda ve sanayi alanında desteklenmesi gereken bir çalışma alanıdır. Bu bilgiler doğrultusunda sanayi ve üniversite birlikteliği OPK'lar için oldukça önem teşkil etmektedir. Bu birliktelik çalışma olanağı ve nitelikli ürün eldesi için dikkate alınması gereken bir konu olarak dikkat çekmelidir.
- İleride çalışma yapacak bilim insanlarına ve araştırmacılara yüksek lisans çalışma konum olan “doğal ve sentetik dokunmuş güçlendirici lifler kullanılarak polipropilen esaslı çok katmanlı odun plastik kompozitlerin üretimi” başlıklı tezim daha sonraki çalışmalarda bir altlık görevi görerek detaylı olarak araştırılmasına katkı sağlayabilir.

## KAYNAKLAR

- Akkurt, S., (2007). Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 552.
- Anonim 1, <http://www.plastemart.com/Plastic-Technical-Article.asp?LiteratureID=1581>, 20.08.2011.
- Anonim 2, <https://app.petkim.com.tr/QDMSFiles/File.ashx?fn=PPU-CST-TDS-0054&l=tr&fl=urunler>
- Arbelaiz, A., Fernandez, B., Ramos, J. A., Retegi, A., Llano-Ponte, R., Mondragon, I. (2005). Kısa keten lif demeti/polipropilen kompozitlerin mekanik özellikleri: Matris/elyaf modifikasyonunun etkisi, lif içeriği, su alımı ve geri dönüşümü. *Kompozitler bilimi ve teknolojisi*, 65(10), 1582-1592.
- ASTM D 256., (2002). Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–19s
- ASTM D 618., (2004). Standard Conditioning plastics and electrical insulating materials for testing , ASTM International,
- ASTM D 638., (2004). Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–24s.
- ASTM D 790., (2004). Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, ASTM International, West Conshohocken, Philadelphia, PA. 1–9s.
- ASTM D 792., (2004). Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement, ASTM International, West Conshohocken, PA. 1–11s.
- Avcı, E., (2012). *Ahşap Plastik Kompozitlerin Kullanım Performansları Üzerine Araştırmalar*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 298s.
- Berger, M.J., Stark, N.M., (1997). Investigations of species effects in an injectionmolding-grade, wood-filled polypropylene, In The fourth international conference on woodfiber-plastic composites, 12-14 May, Madison, Wisconsin 19-25.
- Birbilen, Y., (2014). Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) Kullanılarak Şeker Pancarı Atığı Katkılı Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE) Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisi Ana Bilim Dalı, Kahramanmaraş.
- Birley, A.W., (2012). *Plastics materials: properties and applications*, Springer Scienceand Business Media, New York, 206s.
- Biron, M., (2007). Thermoplastics and Thermoplastic Composites: Technical Information for Plastics Users, Publisher: Elsevier Science Ltd, 944.

- Bledzki, A. K., Sperber, V. E., (1999). Recent developments in wood-plastic: United States, Japan, and Europe. In *The Fifth International Conference on Woodfiber-Plastic Composites* (pp. 187-192).
- Bledzki, A.K., Letman, M., Viksne, A., Rence, L., (2005). Ağaç lifi için bileşik proseslerin ve ahşap tipinin karşılaştırılması—PP kompozitleri. *Kompozitler Bölüm A: uygulamalı bilim ve imalat*, 36(6), 789-797.
- Chung, D., (1994). *Carbon fiber composites*, Butterworth-Heinemann, Newton, 213s.
- Clegg, D.W. and Collyer, A.A. (1986) *Mechanical properties of reinforced thermoplastics*, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York, 330s.
- Clemons CM, Ibach RE., (2004). Effects of processing method and moisture history on laboratory fungal resistance of wood HDPE composites. *Forest Prod J.54* (4): 507s.
- Clemons, C., (2002). Wood–plasticcomposites in the united States: The interfacing of two industries, *Forest Products Journal*, 52, 6, 10–18.
- D. P. Teşkilatı, (2008). TC 60. Hükümet Programı Eylem Planı.
- Daniel, F.C. Craig, C. Rodney, E.J., Roger, M.R., (2005). Wood Thermoplastic Composites, Handbook of wood chemistry and wood composites, CRC Press, 378s.
- Duran, D., (2016). A research on thermal insulation properties of nonwovens produced with recycled jute and wool fibres. *Textile and Apparel*, 26 (1), 22-30.
- Durmaz, S., (2020). Karbon Ve Cam Yünü Dokuma Kumaşları İle Odun Plastik Kompozitlerinin Teknik Özelliklerinin Geliştirilmesi. Doktora tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç işleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı.
- Durmaz, S., Özgenç, Ö., Avcı, E., Hakki Boyacı, İ., (2019). Weathering performance of waterborne acrylic coating systems on flat-pressed wood–plastic composites”, *J Appl Polym Sci*, 48518.
- Eckert, C., (2000). Opportunities for Natural Fibers in Plastic Composites In: Proc. Progress in Woodfibre-Plastic Composites, Toronto, ON.
- Eder, A., Carus, M., (2013). Global Trends in Wood-Plastic Composites (WPC). *Bioplastics Magazine* 8s.
- Eder, A., Strobl, S., Schwarzbauer, P., (2007). Worldwide Market Report on Wood-Plastic Composites, Revised Edition.
- Ezdeşir, A., Erbay, E., Taşkıran, İ., Yağcı, M.A., Cöbek, M., Bilgiç, T., (1999). PAGEV. Polimerler I. İstanbul, s185.
- Ferreira, J.A.M., Costa, J.D.M., Reis, P.N.B., Richardson, M.O.W., (1999). Analysis of fatigue and damage in glass-fibre-reinforced polypropylene composite materials. *Composites science and technology*, 59(10), 1461-1467.

- Fu, S.Y., Lauke, B., Mäder, E., Hu, X. ve Yue, C.Y. (1999). Fracture Resistance of short-glass-fiber-reinforced and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene under Charpy Impact load and its Dependence on processing. *J Mater Process Tech*, 89: 501-507.
- Goodman, S.H., (1986). Handbook of thermoset plastics. *Noyes Publications, Mill Rd. at Grand Ave, Park Ridge, New Jersey 07656, USA, 1986. 421.*
- Gordon, J.E., (1988). The New Science of Strong Materials. New Jersey: Princeton University Press.
- Gori, Y., Wehrens, R., Greule, M., Keppler, F., Ziller, L., La Porta, N. ve Camin, F., (2013). Carbon, hydrogen and oxygen stable isotopes of whole wood, cellulose and lignin methoxyl groups of Picea abies as climate proxies, *Rapid Commun Mass Sp*, 27 (1): 265-275.
- Gökalp, E., (2006). *Odunsu materyal kullanımının polyester esaslı (mermerit) levhaların bazı teknolojik özelliklerine etkisi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Granström, T., Ojamo, H., Leisola, M., (2001). Chemostat study of xylitol production by *Candida guilliermondii*. *Applied microbiology and biotechnology*, 55(1), 36-42.
- Hietala, M., (2013). Extrusion Processing of Wood-Based Biocomposites Luleå University of Technology Sweden Doctoral Thesis. Department of Engineering Sciences and Mathematics Division of Wood and Bionano composites. s1-7.
- Hietala, M., (2013). Extrusion Processing of Wood-Based Biocomposites. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology. 97s.
- Hollaway, L.C., (1994). *Handbook of polymer composites for engineers*, Wood head Publishing Limited, Cambridge, England, 336s.
- İlhan, R., Feyzulloğlu, E., (2019). Cam elyaf takviyeli polyester (ctp) kompozit malzemelerde kullanılan doğal elyaflar ve dolgu maddeleri. *El-Cezeri*, 6(2), 355-381.
- Karakuş K., (2008). Üniversitemizdeki Polietilen ve Polipropilen atıkların Polimer Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 68s.
- Karakuş, K., Başboğa, H.İ., Mengeloğlu, F., (2014). Termoplastik Esaslı Polimer Kompozitlerin Üretiminde Orman Budama Atıklarının Değerlendirilmesi II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre 22-24 Ekim 2014 Isparta 801-807s.
- Karakuş, K., Güleç, T., Kaymakçı, A., Aksu, T., Kırıt, A., Özder, M. E., & Mengeloğlu, F., (2010). Ekstrüzyon Yöntemi ile Farklı Dolgu Maddeleri Kullanılarak Üretilen Polimer Kompozitlerin Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi. *Ulusal Polimer Bilim ve Teknolojisi Kongresi ve Sergisi*, 75.
- Karşlı, N.G., Aytac, A., (2013). Tensile and thermo mechanical properties of short carbon fiber reinforced polyamide 6 composites, *Compo Part B-Eng*, 51: 270-275.

- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., (2014). Waste chest nutshell as a source of reinforcing fillers for polypropylene composites. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 27(8), 1054-1064.
- Kaymakçı, A., Ayrılmış, N., Akbulut, T., (2014). Dış Cephe Kaplamalarına Ekolojik bir Yaklaşım: Ahşap Polimer Kompozitler 7. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 3– 4 Nisan 2014 Yıldız Teknik Üniversitesi Beşiktaş – İstanbul. 199–209s.
- Kim, J.K., Pal, K., (2010). *Recent advances in the processing of wood-plastic composites*, Springer Science and Business Media, London-New York, 184s.
- Kylosov, A.A., (2007). *Wood Plastic Composites*, John Wiley&Sons, Inc., NJ, USA, 698.
- Leu, S.Y., Yang, T.H., Lo, S.F., Yang, T.H., (2012). Optimized material composition to improve the physical and mechanical properties of extruded wood–plastic composites (WPCs), *Constr Build Mater*, 29: 120-127.
- Li, J., Cai, C.L., (2011). The carbon fiber surface treatment and addition of PA6 on tensile properties of ABS composites, *CurrApplPhys*, 11 (1): 50-54.
- Liang, S., Gning, P.B., Guillaumat, L., (2012). A comparative study of fatigue behaviour of flax/epoxy and glass/epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 72(5), 535-543.
- Mantia, F.L., Morreale, M., Ishak, Z.M., (2005). Processing and mechanical properties of organic filler–polypropylene composites, *J Appl Polym Sci*, 96 (5): 1906- 1913.
- Matuana, L.M., Heiden, P.A., (2004). *Wood Composites*, *Encyclopedia of Polymer Scienceand Technology*, 12, 521-546.
- Mengelöglü, F., (2006). *Wood/Thermoplastic Composites. I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi*. TBMOB Kimya Mühendisleri Odası, İzmir, 471-480.
- Mengelöglü, F., Matuana, L.M., (2003). Mechanical Properties of Extrusion Foamed Rigid PVC/Wood-flour Composites, *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 9, 1, 26-31
- Mengelöglü, F., Karakuş, K., Şeker, B., Kılıç, İ., Ciobanu, R. C., (2007). Lignoselülozik Esaslı Atıkların Termoplastik Kompozit Üretiminde Değerlendirilmesi.
- Mengelöglü, F., Alma, M.H., (2002). Buğday saplarının kompozit levha üretiminde kullanılması. *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 37-48.
- Mengelöglü, F., Alma, M.H., Çetin, N.S., (2002). Plastik endüstrisinde buğday sapının kullanılabilirliği. *Gazi Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2(2), 57-65.
- Mengelöglü, F., Karakuş, K., (2008). Thermal Degradation Mechanical Properties and Morphology of Wheat Straw Flour Filled Recycled Thermoplastic Composites. *Sensors*. ISSN 1 4224-8820p.

- Mengeloğlu, F., Karakuş, K., (2012). Mechanical properties of injection-molded foamed wheat straw filled HDPE biocomposites: The effects of filler loading and coupling agent contents, *BioResources*, 7 (3): 3293-3305.
- Mengeloğlu, F., Kurt, R., Gardner, D.J., (2007). Mechanical properties of extruded high density polyethylene and polypropylene wood flour decking boards, *Iran Polym J*, 16 (7): 477-487.
- Mutlu, S., (2012). Jüt lifi ve tekstil-hazır giyim sektöründe kullanım alanları. *Akdeniz Sanat*, 4(8). Avcı, A. (2022). *Otomotiv sektöründe kullanılmak üzere çevre dostu yeni nesil doğal lif takviyeli kompozit malzemelerin geliştirilmesi* (Doctoral dissertation).
- Narlıoğlu, N., Çetin, N.S., Alma, M.H., (2018). Karaçam testere talaşının polipropilen kompozitlerin mekanik özelliklerine etkisi. *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 38-45.
- Pizzi, A., Mittal, K.L., (2003). *Handbook of Adhesive Technology*, Second Edition Revised and Expanded Publisher: CRC Press, 1024.
- Ratna, D., (2009). *Handbook of Thermoset Resins*, A Smithers Group Company, UK, 410.
- Saçak, M., 2005, *Polimer Teknolojisi*, Gazi Kitabevi, ISBN: 9758895826,9789758895823
- Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N.A., (2009). Effect of fiber length on thermo mechanical properties of shortcarbon fiber reinforced polypropylen ecomposites, *Materials and Design*, 30 (2): 260-263.
- Rezaei, F., Yunus, R., Ibrahim, N.A., (2009). Effect of fiber length on thermomechanical properties of short carbon fiber reinforced polypropylene composites, *Materials and Design*, 30 (2): 260-263.
- Rosato, D.V., Rosato, M.G., (2012). *Injection molding handbook*, Springer Scienceand Business Media, New York, 1481s.
- Rowell, R. M., Sandi, A.R., Caulfield, D.F., Jacobson, R.E., (1997). The Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problem and Opportunities, In: Leao, A. L., Carvalho, F. X. And Frollini, E. (eds.), *Lignocellulosic Plastic Composites*, Brazil, 23-51.
- Rowell, R.M., (2006). Advances and Challenges of Wood Polymer Composites. *Proceedings of the 8th Pacific RimBio-Based Composites Symposium* s1–10.
- Rowell, R.M., (2012). *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, CRC press, USA, 473s.
- Rowell, R.M., Young, R.A., Rowell, J.K., (1997). *Paperand Composites from Agro Based Resources*, CRC Press, Inc., 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida, USA, 6s.

- Russo, P., Acierno, D., Simeoli, G., Iannace, S., Sorrentino, L., (2013). Flexural and impact response of woven glass fiber fabric/polypropylene composites, *Compos Part B-Eng*, 54: 415-421.
- Saçak, M., (1998). *Polimer Kimyasına Giriş. AÜ FF Döner Sermaye İşletmesi Yayınları*, 50.
- Sanadi, A.M., Rowell, R.M., Young, R.A., (1992). Estimation of fiber-matrix interfacial shear strength in lignocellulosic-thermoplastic composites. *Materials interactions relevant to recycling of wood-based materials (Vol. 266)*, Eds. Rowell, R. M., Laufenberg, T. L. And Rowell, J. K. 81-92s.
- Sorrentino, L., Simeoli, G., Iannace, S. ve Russo, P. (2015) Mechanical performance optimization through interface strength gradation in PP/glass fibre reinforced composites, *Compos Part B-Eng*, 76: 201-208.
- Soutis, C., (2005). Fibre reinforced composites in aircraft construction, *Prog AerospSci*, 41 (2): 143-151.
- Stark, N.M., Rowlands, R.E., (2003). Effects of wood fiber characteristics on mechanical properties of wood/polypropylene composites. *Wood and fiber science. Vol. 35, no. 2 (2003): Pages 167-174.*
- Tabarsa, T., Khanjanzadeh, H., Pirayesh, H., (2011). Manufacturing of Wood-Plastic Composite from Completely Recycled Materials, *In Key Engineering Materials*, 471: 62-66.
- Thwe, M. M., Liao, K., (2002). Çevresel yaşlanmanın bambu-cam elyaf takviyeli polimer matris hibrid kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkileri. *Kompozitler Bölüm A: Uygulamalı Bilim ve İmalat*, 33(1), 43-52.
- TS EN 323, (1993). This standard BS EN 323:1993 Wood-based panels. Determination of density is classified in these ICS categories:
- Valente, M., Sarasini, F., Marra, F., Tirillò, J., Pulci, G., (2011). Hybrid recycled glass fiber/wood flour thermoplastic composites: Manufacturing and mechanical characterization, *Compos Part A-Appl S*, 42 (6): 649-657.
- Wechsler, A., Hızıroğlu, S., (2007). Some of the properties of wood-plastic composites, *Build Environ*, 42 (7): 2637-2644.
- Youngquist, J.A., (1995). Unlikely Partners?, The Marriage of Wood and Nonwood Materials, *Forest Products Journal*, 45, 10, 25-30.
- Zoghi, M., (2013). *The international handbook of FRP composites in civil engineering*, CRC Press, Boca Raton, 692s.