



**KESTANE KUPULASININ VE CRYPHONECTRIA PARASITICA’NIN ARIZ OLDUĞU
(KANSERLİ) ANADOLU KESTANE (CASTANEA SATIVA MILL.) ODUNUN ODUN-PLASTİK
KOMPOZİT (OPK) ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammed EĞİLMEZ

Kütahya - 2025

T.C.
KÜTAHYA DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**KESTANE KUPULASININ VE CRYPHONECTRIA
PARASITICA’NIN ARIZ OLDUĞU (KANSERLİ) ANADOLU
KESTANE (CASTANEA SATIVA MILL.) ODUNUN ODUN-
PLASTİK KOMPOZİT (OPK) ÜRETİMİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Danışman:
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YEŞİL
Ortak Danışman:
Doç. Dr. İbrahim Halil BAŞBOĞA

Hazırlayan:
Muhammed EĞİLMEZ

Kütahya - 2025

Kabul ve Onay

KÜTAHYA DÜMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında, 202485621002 öğrenci numaralı, Muhammed EĞİLMEZ'in hazırlamış olduğu “*KESTANE KUPULASININ VE CRYPHONECTRIA PARASITICA’NIN ARIZ OLDUĞU (KANSERLİ) ANADOLU KESTANE (CASTANEA SATIVA MILL.) ODUNUN ODUN-PLASTİK KOMPOZİT (OPK) ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ*” başlıklı yüksek lisans tez çalışması ile ilgili tez savunma sınavı jüri tarafından yapılmış ve adayın tezinin OY BİRLİĞİ ile kabul edilmesine karar verilmiştir.

30/06/2025

Tez Jürisi	İmza	
	Kabul	Ret
Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YEŞİL (Danışman) Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği		
Doç. Dr. İbrahim Halil BAŞBOĞA (Ortak Danışman) Bursa Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği		
Prof. Dr. Sait Dündar SOFUOĞLU Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği		
Doç. Dr. Abdurrahman KARAMAN Uşak Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği		
Dr. Öğr. Üyesi İlkay ATAR Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği		

Onay

Doç. Dr. Eray ACAR

Enstitü Müdürü

Bilimsel Etik Bildirimi

Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığım “*Kestane Kupulasının ve Cryphonectria Parasitica’nın Arız Olduğu (Kanserli) Anadolu Kestane (Castanea Sativa Mill) Odunun Odun-Plastik Kompozit (OPK) Üretiminde Değerlendirilmesi*” adlı çalışmanın öneri aşamasından sonuçlandığı aşamaya kadar geçen süreçte bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle uyduğumu, tez içindeki tüm bilgileri bilimsel ahlak ve gelenek çerçevesinde elde ettiğimi, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığımı, bu çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak yaptığım her türlü alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu beyan ederim.

30/06/2025

Muhammed EĞİLMEZ

Öz Geçmiş

Kütahya Gediz Lisesi'nden mezun olduktan sonra lisans eğitimini Çankırı Karatekin Üniversitesi Orman Mühendisliği bölümünde tamamladı. Lisans eğitiminin ardından, yüksek lisansını Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yaparak akademik gelişimini sürdürdü. Eğitim süresi boyunca doğaya, üretim süreçlerine ve endüstriyel uygulamalara ilgi duydu. İngilizce dilinde başlangıç (A1) seviyesinde bilgiye sahip.



ÖZET

KESTANE KUPULASININ VE CRYPHONECTRIA PARASITICA’NIN ARIZ OLDUĞU ARIZ OLDUĞU (KANSERLİ) ANADOLU KESTANE (CASTANEA SATIVA MILL.) ODUNUN ODUN-PLASTİK KOMPOZİT (OPK) ÜRETİMİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

EĞİLMEZ, Muhammed

Yüksek Lisans Tezi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YEŞİL

Ortak Danışman: Doç. Dr. İbrahim Halil BAŞBOĞA

Haziran, 2025, 59 sayfa

Bu çalışmada, kestane kupulasının ve Cryphonectria Parasitica’nın arız olduğu (kanserli) Anadolu Kestane (*Castanea Sativa* Mill) odununun odun-plastik kompozit (OPK) üretiminde kullanımının üretilecek olan Kompozitlerin bazı teknolojik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) polimer matris ve Kütahya Simav ilçesi çevresinde yetişen Anadolu Kestane ağacının kupulaları, sağlıklı ve kanserli odun unları lignoselülozik dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Uyumlaştırıcı olarak Maleik anhidrit aşılantı polietilen (MAPE) ve yağlayıcı olarak ise Parafin-wax kullanılmıştır. Üretilen OPK’ların mekanik ve fiziksel özellikleri ilgili standartlara göre belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara neticesinde, odun dışı orman ürünü olan kestane kupulasının OPK üretiminde tek başına lignoselülozik dolgu maddesi olarak kullanılması eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü (MOE), sertlik ve yoğunluk değerlerini kontrol grubuna kıyasla arttırmıştır. Bunun yanı sıra kupula kullanımı çekme direnci, kopmada uzama ve darbe direnci değerlerini ise azaltmıştır. Kanserli kestane odun unlarının kullanımı ise kupula kullanımı ile elde edilen sonuçlara benzerlik göstermiştir fakat çekme direnci özelliğinde ise kontrol örneklerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Genel olarak en iyi mekanik özellikler sadece sağlıklı kestane odununun kullanıldığı OPK gruplarından elde edilmiştir. Sonuç olarak kestane kupulasının, kanserli ve sağlıklı kestane odun unlarının OPK üretiminde değerlendirilme potansiyelinin olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Anadolu Kestanesi, Kestane Kanseri, Kestane Kupulası, OPK, Teknolojik Özellikler

ABSTRACT**UTILIZATION OF CHESTNUT CUPULA AND ANATOLIAN CHESTNUT (CANCEROUS) (CASTANEA SATIVA MILL.) WOOD ATTACKED BY THE CRYPHONECTRIA PARASITICA IN WOOD-PLASTIC COMPOSITE (WPC) MANUFACTURING****EĞİLMEZ, Muhammed****Master Thesis, Department of Industrial Wood Engineering****Thesis Advisor: Asst. Prof. Dr. Hüseyin YEŞİL****Thesis Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim Halil BAŞBOĞA****June, 2025, 59 pages**

In this study, the effects of using chestnut cupula and Anatolian Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) wood attacked by *Cryphonectria parasitica* (cancerous) as lignocellulosic fillers in wood-plastic composite (WPC) production on some technological properties were investigated. High-Density Polyethylene (HDPE) was used as the polymer matrix, and chestnut cupulas, healthy, and cancerous wood flours from Anatolian Chestnut trees grown around Simav/Kütahya were used as fillers. Maleic anhydride grafted polyethylene (MAPE) was used as a coupling agent, and paraffin-wax as a lubricant. Mechanical and physical properties of the produced WPCs were determined according to relevant standards. The use of chestnut cupula alone increased flexural strength, modulus of elasticity (MOE), hardness, and density compared to the control group, while reducing tensile strength, elongation at break, and impact strength. The use of cancerous wood flours gave similar results to cupula, except for tensile strength, which was comparable to the control. Overall, the best mechanical properties were obtained from WPCs produced with only healthy wood. Chestnut cupula and both cancerous and healthy wood flours show potential for use in WPC production.

Keywords: Anatolian Chestnut, Chestnut Cupula, Chestnut Blight, WPC, Technological Properties

ÖN SÖZ

Bu çalışmada bana yardımcı olan maddi, manevi ve akademik olarak engin bilgi birikimini paylaşan başta danışmanlarım Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin YEŞİL ve Doç. Dr. İbrahim Halil BAŞBOĞA'ya teşekkür ederim.

Yine tez çalışmamda yardımlarını esirgemeyen tüm laboratuvar imkanlarını bizlere sunan Sayın Prof. Dr. Fatih MENGELOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen doktora öğrencisi Büşra AVCI ve Dr. Öğr. Üyesi İlkay ATAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez jürimde yer alarak tezimin düzeltmelerinde yardımcı olmaları ve destekleri sebebi ile Sayın Prof. Dr. Sait Dündar SOFUOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Emine EĞİLMEZ'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
TABLolar LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
GÖRSELLER LİSTESİ	xii
KISALTMALAR	xiii
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLER	5
1.2. OPK SİSTEMLERİNİN İŞLEVSELLİĞİ VE SINIRLARI.....	6
1.2.1. Odun Plastik Kompozitin Özellikleri	7
1.2.2. OPK Üretiminde Kullanılan Odunsu Materyalin Sağladığı Temel Avantajlar	7
1.2.3. OPK'de Odunsu Materyal Kaynaklı Başlıca Dezavantajlar	7
1.3. OPK’NIN ÜLKEMİZDEKİ YERİ VE ÖNEMİ	8
1.4. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	9
1.4.1. Termoplastikler için Üretim Yöntemleri.....	9
1.4.1.1. Ektrüzyon (Ekstrüder) Yöntemi	9
1.4.1.2. Enjeksiyonlu Kalıp Yöntemi	9
1.4.1.3. Thermoforming (Sıcaklıkla Şekillenme)	10
1.4.1.4. Polistirene Dağılımlı Kalıp (EPS)	11
1.4.2. Termosetler için Üretim Yöntemleri	11
1.4.2.1. Reçine Transfer Kalıbı (RTM).....	12
1.4.2.2. Pultrüzyon.....	12
1.5. POLİMER ÇEŞİTLERİ	13
1.5.1. Termoplastikler	13
1.5.1.1. Polipropilen (PP)	14
1.5.1.2. Polietilen (PE).....	15
1.5.1.3. Polietilen Tereftalat (PET).....	15
1.5.1.4. Polikarbonat (PC)	15
1.5.1.5. Polistiren (PS).....	16
1.5.1.6. Polivinilklorür (PVC)	16
1.5.2. Termosetler	17
1.5.2.1. Epoksi Reçine (EP).....	17
1.5.2.2. Fenolik Reçine	17
1.5.2.3. Polyester (Termoset).....	18

1.6. KESTANE AĞACI (CASTANEA SATIVA MILL.) TANIMI	18
1.7. ANADOLU KESTANESİ TÜRÜNÜN BOTANİK ÖZELLİKLERİ	20
1.8. KESTANE TOHUMUN ÖZELLİKLERİ	21
1.9. KESTANE MEYVESİNİN ÖZELLİKLERİ	22
İKİNCİ BÖLÜM	
LİTERATÜR ÖZETİ	
2.1. OPK MALZEMELER ÜZERİNE ÜLKEMİZDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	24
2.1.1. OPK Üretiminde Çok Kullanılan Termoset Türleri	24
2.1.1.1. Epoksi reçine (EP)	24
2.1.1.2. Amino reçineler (Melamin, Üre)	25
2.1.2. OPK Üretiminde Sıklıkla Kullanılan Termoplastik Türleri	26
2.1.2.1. Polietilen (PE)	26
2.1.2.2. Polikarbonat (PC)	26
2.1.2.3. Polivinil Klorid (PVC)	27
2.1.2.4. Polipropilen (PP)	28
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM	
MATERYAL VE METOD	
3.1. MATERYAL	30
3.2. METOD	30
3.2.1. Üretilen OPK'ların Test Edilmesi	34
3.2.2. Verilerin İstatiksel Analizi	36
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM	
BULGULAR VE TARTIŞMALAR	
4.1. MALZEMELERİN YOĞUNLUK DEĞERLERİ	38
4.2. MALZEMELERİN ÇEKME DAYANIMI	40
4.3. MALZEMELERİN EĞİLME DİRENCİ VE ELASTİKİYET MODÜLÜ	44
4.4. MALZEMELERİN DARBE DAYANIMI DEĞERLERİ	46
SONUÇ	49
KAYNAKÇA	51
DİZİN	58

TABLÖLAR LİSTESİ**Sayfa**

Tablo 1.1: OPK Kullanım Alanları.....	7
Tablo 3.1: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Genel Özellikler	31
Tablo 3.2: Üretim Reçetesi.....	33
Tablo 4.1: HDPE Bazlı OPK'lara Ait Sonuçların Özeti.....	39



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Sektörlerin Kompozit Malzeme Kullanım Yüzdeleri.....	8
Şekil 4.1: Yoğunluk Etkileşim Grafiği	38
Şekil 4.2: Çekme Direnci Etkileşim Grafiği.....	40
Şekil 4.3: Çekmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafiği	42
Şekil 4.4: Kopmada Uzama Etkileşim Grafiği	43
Şekil 4.5: Eğilme Direnci Etkileşim Grafiği.....	44
Şekil 4.6: Eğilmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafiği	46
Şekil 4.7: Darbe Direnci Etkileşim Grafiği	47
Şekil 4.8: Sertlik Özellikleri Etkileşim Grafiği	48

GÖRSELLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Görsel 1.1: Kestane Kupulası.....	4
Görsel 1.2: Ekstrüder	9
Görsel 1.3: Enjeksiyon Makinası	10
Görsel 1.4: Thermoforming	11
Görsel 1.5: Polistirene Dağılımlı Kalıp	11
Görsel 1.6: Reçine Transfer Kalıbı.....	12
Görsel 1.7: Pultrüzyon Makinası.....	13
Görsel 1.8: Epoksi Reçine (EP).....	17
Görsel 1.9: Polyester (Termoset).....	18
Görsel 1.10: Kestane Ağacı (Cestanea Sativa Mill.).....	20
Görsel 3.1: Anadolu Kestanesi: Sağlıklı-Kanserli	31
Görsel 3.2: Anadolu Kestanesi Odunu ve Odun Parçacıkları	31
Görsel 3.3: Wiley Değirmeni	32
Görsel 3.4: Yüksek Devirli Karıştırıcı	33
Görsel 3.5: Laboratuvar Tipi Tek Burgulu Ekstruder	33
Görsel 3.6: Hassas Terazî (Precisa).....	34
Görsel 3.7: Universal Test Makineleri	35
Görsel 3.8: Durometer (ENPQIX EHS5D)	35

KISALTMALAR

ASTM	Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
CTP	Cam Takviyeli Plastik
ÇEM	Çekmede Elastikiyet Modülü
DOP	Dioktil Ftalat
EEM	Eğilmede Elastikiyet Modülü
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
MAPE	Maleatlı Polietilen
MAPP	Maleik Anhidrit Aşılınmış Polipropilen
MFI	Eriyik Akış İndeksi
OPK	Odun Plastik Kompozit
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PEEK	Polieter Eter Keton
PET	Polietilen Tereftalat
PP	Polipropilen
PS	Polistiren
PVC	Polivinil Klorür



TEZ METNİ

GİRİŞ

Daha önceki yıllarda, orman ürünleri endüstrisindeki araştırma ve bilgi yetersizliğinden dolayı odun hammaddesi çok büyük kayıplarla işlenmekteydi. Bundan dolayı günümüzde yapılan araştırma, çalışma ve bilgi aktarımıyla orman ürünleri endüstrisi iyi bir noktaya gelmiştir. Günümüzde yapılan çalışmalarla ağacın cinsine, türüne, yetiştirme ortamına ve karakteristik özelliklerine bakılarak en uygun nerede ve hangi amaca yönelik kullanılacağı belirlenmektedir (Oral, 2006).

Daha çok meyvesiyle anılan kestane ağacının (*Castanea sativa* Mill.) anatomik, fiziksel ve mekaniksel özelliklerinden dolayı kullanım alanı oldukça geniştir. Türkiye’de doğal yayılış gösteren önemli geniş yapraklı ağaç türlerinden biridir. Türün doğal dağılımı, doğuda Gürcistan sınırından başlayarak Karadeniz kıyı kuşağını takip eder ve batı doğrultusunda Belgrad Ormanı’na kadar ulaşır. Bunun yanı sıra, Marmara Bölgesi'nin belirli alanlarında özellikle Kapıdağ Yarımadası çevresinde ve Batı Anadolu'da lokal popülasyonlar hâlinde varlık göstermektedir.

Yükseklik dağılımı açısından, kestane türü Türkiye'deki yayılış alanlarında genellikle 800 ila 1000 metre rakımlar arasında bulunur. Karadeniz Bölgesi'ne özgü nemli sahil ormanlarında, Gürgen (*Carpinus betulus*), Kızılağaç (*Alnus glutinosa*) ve farklı *Quercus* (meşe) türleriyle birlikte hem saf hem de karışık meşcere tipleri oluşturur. Batı Anadolu'nun iç kesimlerinde, örneğin Kütahya yöresinde, Karaçam (*Pinus nigra*) ve Doğu Kayını (*Fagus orientalis*) ile birlikte orman formasyonlarına katıldığı gözlemlenmiştir. Bu tür birliktelikler, kestanenin ekolojik tolerans aralığının genişliğine ve çeşitli habitat koşullarına adaptasyon yeteneğine işaret etmektedir (Yazıcı, 1998).

Kestane ağacı (*Castanea sativa*), özellikle eğimli arazilerde erozyonun önlenmesi ve toprakta su tutulumunun sağlanması açısından ekolojik açıdan büyük önem arz etmektedir. Bu tür, sadece çevresel katkılarıyla değil, aynı zamanda çok yönlü kullanım potansiyeliyle de dikkat çeker.

Kestane ağacının koyu renkli ve yüksek dayanıklılığa sahip odunu; yapı sektörü, mobilya üretimi ve geleneksel el sanatları (örneğin çeyiz sandıkları) gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak değerlendirilmektedir. Genç sürgünleri ise esnek yapıları sayesinde sepet ve kefe yapımında kullanılmaktadır.

Söz konusu türün çürümeye karşı gösterdiği yüksek direnç, onu yapı işlerinde,

demiryolu traverslerinde, gemi inşaatında ve elektrik direği yapımında tercih edilen bir malzeme hâline getirmektedir. Ayrıca, kestane ağacının yaprak ve çiçekleri; farmasötik ürünlerin geliştirilmesi ile kozmetik sanayiinde katkı maddesi olarak değerlendirilmektedir. (Oral, 2006).

En az iki malzemenin istenilen özellikleri elde etmek amacıyla (matris ve dolgu malzemesi) ekstrüzyon kalıplama, pres kalıplama, enjeksiyon kalıplama, vb üretim yöntemleri ile bir araya getirilmesi ile kullanım yerine uygun ve istenilen performansı karşılayabilecek şekilde üretilen malzemelere kompozit malzemeler denilmektedir. Odununu veya diğer lignoselülozik malzemelerin farklı boyutlarda ve oranlarda eklenmesi ile polimermatrislerde dolgu maddesi olarak kullanıldığı malzemelere ise Odun Plastik Kompozitleri (OPK) denilmektedir. Lignoselülozik dolgulu termoplastik kompozitlerde lif maliyetinin düşük olması, malzeme yoğunluğunun düşüklüğü, üretim sırasında aşırı aşınmaya sebep olmaması, bol miktarda bulunması, yüksek direnç özelliklerine sahip olması, doğada kolayca bulunması ve çevre dostu olması gibi özellikleri termoplastik kompozit üretiminde bu malzemelerin kullanılması sonucu ilgi artmış yoğun talep olması nedeniyle cazip hale getirmiştir (Mengeloglu ve Karakus, 2008a).

OPK üretiminde, dolgu malzemesi olarak çoğunlukla orman endüstrisi atığı olan odunların unu tercih edilmektedir (Bledzki vd., 1998).

Türkiye için önemli bir orman ağacı olan çok amaçlı olarak kullanılan kestane; dayanıklı ve düzgün lifli bir ağaç malzemedir. Meşe odununa göre daha hafif olması ve daha iyi işlenebilir olması nedeniyle doğrama, mobilya, fiç, travers ve müzik aletlerinin imalatında, gemi yapımında ve sulu alanlardaki inşaat alanlarında kullanılmaktadır. (Erdin ve Köse, 2003; Atasoy ve Altıngöz, 2011; Erdin ve Bozkurt, 2013).



BİRİNCİ BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

Fagaceae familyasına ait olan “Anadolu Kestanesi” (*Castanea sativa* Mill) Ülkemiz’de doğal olarak yetişen tek türdür. Önemli bir orman ağacı olan bu cinsin dünyada 10-12 türü vardır (Kayacık,1989).

Bilimsel adı “castanea” olan kestane, yaprağını döken meyveler grubunda yer alır. Kuzey Yarım Küre’nin tüm ılıman bölgelerinde yetişir. Arkeobotanik bulgular ve tarihsel veriler ışığında, dünyada kestane ağacının (*Castanea* spp.) kültüre alınarak sistematik biçimde yetiştirilmeye başlanmasının yaklaşık 6.000 yıl öncesine, yani Neolitik döneme kadar uzandığı tahmin edilmektedir. Kestane yetiştirme kültürünün Anadolu’da başlayıp, M.Ö. 5. Yüzyılda Yunanistan’a ve buradan da İtalya’ya götürüldüğüne ilişkin tarihi kayıtlar vardır. Son yıllarda yapılan genetik araştırmalar, İtalyan kestane çeşitleri ile Batı Anadolu’daki çeşitlerin birbiriyle akraba olduğunu göstermekte, bu bakımdan tarihi kayıtların güvenilirliği ortaya çıkmaktadır. Kestanenin Karadeniz kıyılarından, özellikle de Kastamonu dolaylarından götürüldüğü düşünülmekte ve bu şehrin adıyla bağlantılı olarak *Castanea* cins (genus) adının buradan çıktığı bilinmektedir (Özçağırın, vd. 2007: 272-273; Soylu, 2004: 24; DPT, 2001: 398; Subaşı, 2004: 5)

Görsel 1.1: Kestane Kupulası



Kaynak: (OAE, 1985).

Görsel 1.1’de görülen kupula dökülme gerçekleştikten sonra toprağa karışarak organik madde ve humus katkısı sağlamak suretiyle toprak verimliliğine olumlu etkilerde bulunabilir. Ancak, kupulanın toprağa karışmadan yaprak yüzeyinde kalması durumunda çürüyerek toprağa olan faydası minimize olur. Bu durum, kestane kabuğunun yüksek asidik içeriği nedeniyle, mikroorganizmalar tarafından yeterince parçalanamaması ve bu

nedenle toprağın besin içeriğine katkı sağlamaması ile açıklanabilir. Kestane atığından faydalanması veya kestane atığının geri dönüşüm olarak kullanılması önemlidir. Ülkemizde odun hammadde kaynaklarının giderek azalması, bu kaynaklara alternatif çözümler geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda, atık odun unu ve liflerinin geri dönüştürülerek yeni ürünlere dönüştürülmesi, odun plastik kompozit (OPK) üretimine önemli katkılar sağlamaktadır (OAE, 1985).

OPK'ler (Odun Plastik Kompozitler), termoset veya termoplastik polimerlerin odun unu ya da lifleriyle karıştırılmasıyla üretilir. Bu malzemeler, yüksek mukavemetleri, boyutsal stabiliteleri, istenilen şekil ve özellikte üretilibilmeleri ve neme, mantara gibi dış etkenlere karşı dirençli olmaları sayesinde geleneksel ahşabın yerini alabilmektedir.

Odun kompozitleri, üretiminde kullanılan bağlayıcıya göre iki gruba ayrılır: termoset tutkal kullanılan odun kompozitleri ve termoplastik malzemelerle üretilen odun kompozitleridir.

Termoset malzemeler, odun unu gibi lifli doğal bileşenleri bir araya getirmek için presleme yöntemiyle kullanılır. Bu amaçla genellikle formaldehit türevleri, polivinil asetat, üre-formaldehit gibi termoset reçinelerden faydalanılır (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

Termoplastiklerde ise en çok polipropilen (PP), polietilen (PE), polistiren (PS), polietereterketon (PEEK), polikarbonat (PC) vb. kullanılmaktadır (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

1.1. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLER

Odun plastik kompozitler (OPK), günümüzde yaygın olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde üretilmekle birlikte, tarihsel olarak ilk olarak Avrupa'da geliştirilmiştir. OPK'ların geçmişi 1900'lü yıllardan öncesine kadar uzanmakta olup, bilinen ilk kompozit malzeme örneklerinden biri olan bakalit, odun unu ve formaldehitin kimyasal reaksiyonu yoluyla elde edilmiştir. Odun ve termoplastiklerin karıştırılmasıyla elde edilen kompozitlerin endüstriyel ölçekte üretimi ise özellikle 20. yüzyılda Amerika Birleşik Devletleri'nde yaygınlaşmıştır (Clemons, 2002). Bu gelişmeler, OPK'ların malzeme bilimi ve mühendislik uygulamaları açısından önemli bir yer edinmesini sağlamıştır.

1983 yılında ABD, İtalyanlara ait bir teknik olan ekstrüzyon yönteminden faydalanarak otomotivlerin iç trim (dekoratif iç parça) üretimine başlamıştır. Bu süreçte,

%50 oranında odun unu ve polipropilen (PP) kullanılarak elde edilen kompozit kalıplar sayesinde otomotiv iç dekorasyon parçalarının üretimi gerçekleştirilmiştir (Clemons, 2002).

1990 yılı öncesinde ABD’de bir firma, polietilene (PE) %50 oranında odun unu ilave ederek odun-plastik kompozit (OPK) üretimi gerçekleştirmiştir. Elde edilen bu kompozit malzeme; bahçe ve bahçe mobilyaları, masalar ve güverte tahtaları gibi çeşitli endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılmış ve bu ürünlerin satışı başarıyla yapılmıştır. Özellikle güverte uygulamaları, zamanla pazarda önemli bir büyüme göstermiştir (Clemons, 2002).

1993 yılında Fransa’da kapı üretiminde kullanılmak üzere PVC üretimine başlanmıştır. Aynı dönemde, odun ve PVC karışımından oluşan kompozit pencere malzemeleri geliştirilerek sektöre önemli katkılar sağlanmıştır. 1996 yılında ise birçok Amerikan firması, plastik ve odun karışımının gelişimi ve üretimi üzerine çalışmalar gerçekleştirmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, odun-polimer kompozit üretiminde kayda değer bir artış gözlenmiştir (Clemons, 2002).

1991 yılında uluslararası bir konferansta hem kompozit malzemeler hem de odun lifi ile ilgili konular kapsamında, araştırmacılar ve sektör temsilcileri odun polimer kompozitler üzerine görüş ve düşüncelerini paylaşmak üzere Madison, Wisconsin’de bir araya gelmişlerdir. Bu toplantılar, sektörün gelişimi açısından önemli bir başlangıç teşkil etmiş ve zamanla düzenli görüşmeler şeklinde devam etmiştir. Odun polimer kompozitler, farklı ölçeklerdeki pazar alanlarında hızla yaygınlaşarak tüketimi artmıştır (Clemons, 2002).

1.2. OPK SİSTEMLERİNİN İŞLEVSELLİĞİ VE SINIRLARI

Orman ürünlerinden yararlanılması, OPK’nın gelişimine katkı sağlamış; bu da bu alanın hızlıca büyümesine ve geniş uygulama alanlarına ulaşmasına neden olmuştur. (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

OPK’ların endüstriyel ve mimari uygulamalarda kullanım alanları şu şekilde kategorize edilebilir:

Tablo 1.1: OPK Kullanım Alanları

İnşaat Alanında	Bina İç Alanında	Otomotiv Sektöründe	Bahçe Alanında	Endüstride
Çatı	Profiller	Kapı	Mobilyalar	İskele Yapımı
Kapı	Raf	Paneller	Banklar	Ambalajlar
Havalandırma	Kaplama	Raf Bölümleri	Parklar	

Kaynak: (Tufan ve Mengeloğlu, 2010).

OPK üretiminde, odun dışında birden fazla odunsu yapıya sahip materyal dolgusu kullanılmaktadır. OPK'nın dayanıklılığı ve üstün direnç performansı, araştırmacılar tarafından büyük ilgi görmektedir (Aslan, 2008).

1.2.1. Odun Plastik Kompozitin Özellikleri

Avantajları:

- Rutubet direnci yüksektir.
- Üretim artıkları istenilen şekle getirilip değerlendirilebilir.
- Çok fazla bakım gerektirmez.
- Böcek ve Mantar zararlarına karşı yüksek direnç gösterir.

Dezavantajları:

- Üretimin az ve yetersiz olması
- Üretim maliyetinin yüksek olması gibi önemli dezavantajlar bulunmaktadır (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008; Karakuş 2008).

1.2.2. OPK Üretiminde Kullanılan Odunsu Materyalin Sağladığı Temel Avantajlar

- Malzemenin uygun fiyatta olması
- Kullanım alanlarında insan sağlığına zarar verebilecek madde veya bileşik oluşturmaması gerekmektedir
- Sürdürülebilirliği olması
- Üretimde maliyetin en aza indirilmesi ekonomik verimliliğin artırılması
- Elektriksel uygulamalarda güvenilirliği artıran önemli bir özelliktir (John & Thomas, 2008).

1.2.3. OPK'de Odunsu Materyal Kaynaklı Başlıca Dezavantajlar

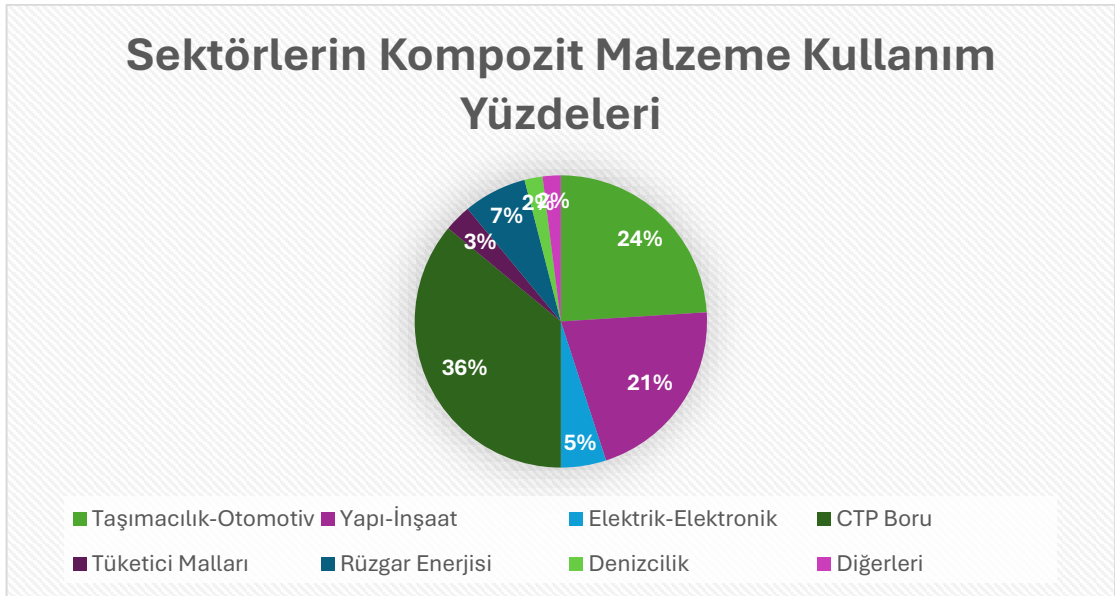
- Düşük hacim yoğunluğu nedeniyle depolama ve taşıma sırasında verimsizlik ve yer kaybı yaşanması.
- Depolama sürecinde odunsu materyalin biyolojik bozulmaya uğrama ve yangın riski oluşturma potansiyeli.
- Tarımsal atıklarda bulunan silika, bu atıkların işlendiği üretim makinelerinde aşınma problemlerine neden olmaktadır (Korucu ve Mengeloğlu, 2007).

1.3. OPK’NIN ÜLKEMİZDEKİ YERİ VE ÖNEMİ

Türkiye’de kompozit malzemelerin kullanımı 1960’lı yıllarda başlamıştır. İlk uygulamalardan biri, Anadolu marka otomobilin fiberglastan üretilen kaportasıdır. Aynı dönemde, kompozit malzemeler küvet ve su deposu imalatında da tercih edilmiştir. Zamanla teknolojinin gelişmesiyle birlikte, kompozit malzemelerin üretim kalitesi artmış ve bu malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde ise, sanayi sektörü kompozit malzemeleri özellikle havacılık sektöründe, hava araçlarının parça ve malzeme üretiminde yoğun olarak kullanmaktadır (Kocaoğlu, 2021).

Türkiye’de kompozit sektöründe üretim yapan şirketlerin yüzdelik olarak dağılımı şekilde görüldüğü gibidir (Kocaoğlu, 2021).

Şekil 1.1: Sektörlerin Kompozit Malzeme Kullanım Yüzdeleri



Kaynak: (Kocaoğlu, 2021).

1.4. ODUN PLASTİK KOMPOZİTLERİN ÜRETİM YÖNTEMLERİ

OPK üretim yöntemleri, kullanılan bağlayıcı türüne bağlı olarak termoplastik ve termoset esaslı olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Termoplastik kompozit üretiminde öncelikle ham maddeler bir araya getirilip karışım sağlanmalıdır. Daha sonra presleme işlemi uygulanmalıdır (Süinanç, 2007).

1.4.1. Termoplastikler için Üretim Yöntemleri

1.4.1.1. Ektrüzyon (Ekstrüder) Yöntemi

OPK'ların üretimi genellikle ekstrüder yöntemiyle gerçekleştirilir. Materyale belirli bir güç uygulanarak istenilen profilin şekillenmesi sağlanır. İşletmeciler, farklı kalıp stratejileri kullanmaktadır; bazıları birleşik parçacıkları kalıplara yerleştirip, son şeklin oluşumunu takip eder. Üretim hızı genellikle 3 m/dakika civarındadır. Ayrıca, odunun rutubet oranı kurutma dolaplarında bekletilerek azaltılmalıdır. Günümüzde, teknolojiye gelişmelerle birlikte bazı üreticiler farklı tip ekstrüder sistemleri kullanmaktadır (Clemons, 2002).

Görsel 1.2: Ekstrüder



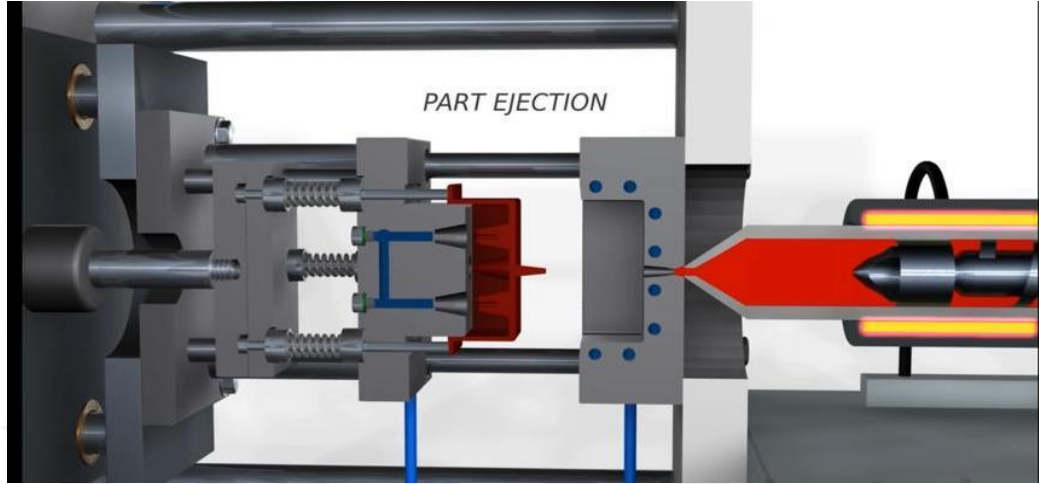
Kaynak: (Clemons, 2002).

1.4.1.2. Enjeksiyonlu Kalıp Yöntemi

Enjeksiyon kalıplama işleminde, ısıtılarak eriyik hale getirilen bileşikler, yapışkan kıvamda homojen bir sıvı oluşturur ve bu sıvı kalıplara enjekte edilir. Kalıplar soğutulurken şekil kazandırılır ve ardından dışarı atılır. Ancak eriyik malzeme yetersizse, kalıp tam olarak dolmaz ve ürün eksik çıkabilir. Bu durum genellikle viskozitesi yüksek

olan eriyiklerde görülür. Çözüm olarak, akış indeksinin (MFI) artırılması ya da odun lifli plastikli kompozit (OPK) oranının azaltılması gerekmektedir. OPK'lar genellikle enjeksiyon kalıplama yöntemi ile işlenmektedir (Killough, 1995).

Görsel 1.3: Enjeksiyon Makinası

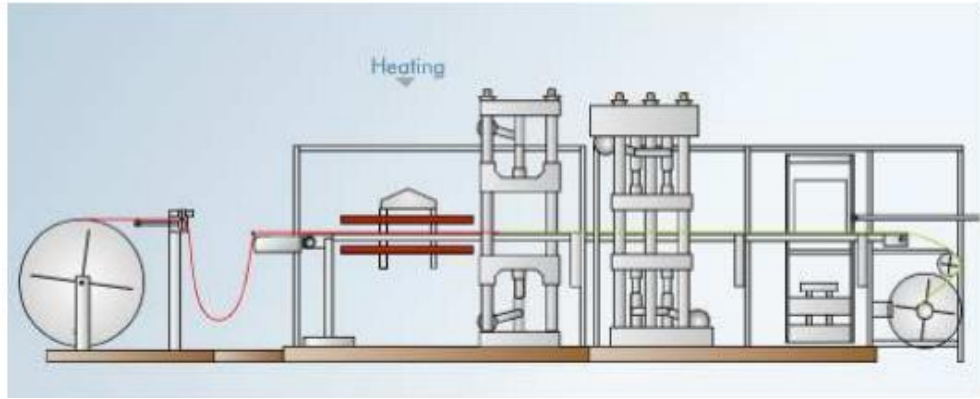


Kaynak: (Killough, 1995).

1.4.1.3. Thermoforming (Sıcaklıkla Şekillenme)

Vakumla şekillenme yöntemi, sıcaklıkla şekillenme yöntemi ile benzerlik gösterse de uygulama prensipleri açısından farklılıklar içermektedir. Vakumla şekillenme işleminde, yumuşatılmış termoplastik tabaka üzerine hava basıncı uygulanması ve tabakanın kalıp üzerine çekilerek şekillendirilmesi söz konusudur. Bu işlem, tabakanın kalıba tam oturması için vakum etkisi ile gerçekleştirilir ve tıkaçlama mekanizması ile hava sirkülasyonu kontrol altına alınır. Vakumla şekillenme yöntemi, sürekli ve otomatik olarak işleyebilme özelliğine sahip olup, sıcaklıkla şekillenmeye kıyasla daha fazla devir gerektirmektedir. Ancak bu yöntem yalnızca termoplastik malzemeler üzerinde uygulanabilir (Clemons, 2002).

Görsel 1.4: Thermoforming



Kaynak: (Clemons, 2002).

1.4.1.4. Polistirene Dağılımlı Kalıp (EPS)

Polistiren dağılımlı kalıplar, birçok uygulamada kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; elektronik ürünlerde kullanılan koruyucu dış ambalajlar ile diğer beyaz eşya ürünleridir (Santiago vd., 2012).

Görsel 1.5: Polistirene Dağılımlı Kalıp



Kaynak: (Santiago vd., 2012).

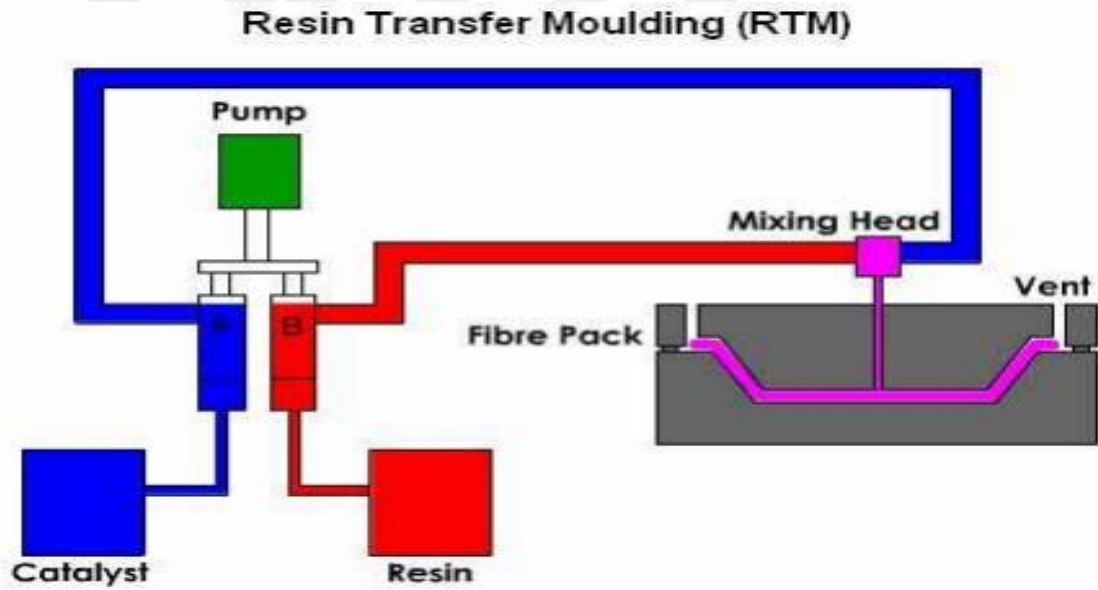
1.4.2. Termosetler için Üretim Yöntemleri

- Termosetler ısıyla kimyasal yapıları değişir ve bu değişim sonucunda eriyen ve çözünen bir yapıdan, erimeyen ve çözünmeyen bir yapıya dönüşürler. Bu özellikleri, termoplastik maddelerin tam tersidir.
- Termoset epoksi reçineleri, toz, sıvı veya pasta formunda kullanıldığında, çok güçlü yapıştırıcılar oluşturur.
- Bu yapıştırıcılar kopma ve kırılma gibi mekanik zorlamalara karşı yüksek direnç gösterir.
- Cam, seramik, ahşap, metal gibi çeşitli yapısal malzemelerin yapıştırılmasında tercih edilir (Santiago vd., 2012).

1.4.2.1. Reçine Transfer Kalıbı (RTM)

Reçine transfer kalıbı (RTM-Resin Transfer Molding) yöntemi, önceden şekil verilmiş ve kesilmiş lif takviyeli malzemelerin (genellikle kumaş veya keçe formunda) erkek ve dişi kalıp arasına yerleştirilmesiyle yapılır. Kalıp kapatıldıktan sonra, düşük viskoziteli reçine (genellikle epoksi veya polyester reçine) kalıp içine enjekte edilir. Reçine, liflerin arasına nüfuz eder ve sertleşerek kompozit parçayı oluşturur. Bu yöntemde sıvı reçine, ısıtılarak karıştırılır ve ardından erkek ve dişi kalıplar arasında keçe formunda yerleştirilmiş liflerin bulunduğu bölgeye enjekte edilir. Güçlendirilmiş lifler ve reçine çapraz bağlantı sağlanana kadar kalıp içinde tutulur. Sonraki aşamada kalıptan tek tek çıkartılırlar. Bu süre yaklaşık 15 dakika sürmektedir. Bu süreçte kalıbın dolma süresi ve liflerin ıslatılma işlemi oldukça dikkat edilmesi gereken husustur (Rowell, 2006).

Görsel 1.6: Reçine Transfer Kalıbı



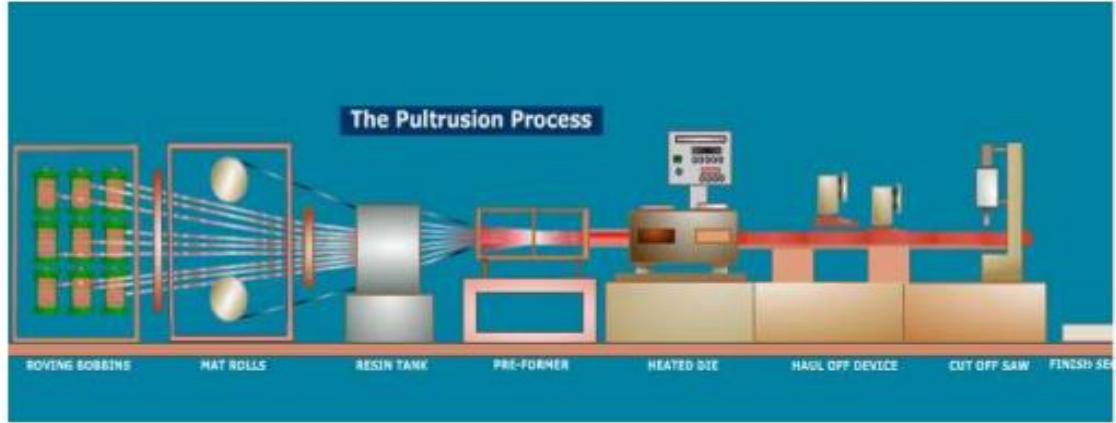
Kaynak: (Rowell, 2006).

1.4.2.2. Pultrüzyon

Pultrüzyon işlemi, sabit kesitli kompozit profil ürünlerin seri üretimini mümkün kılan bir yöntemdir. Bu üretim yöntemi sayesinde otomobil parçaları, dekoratif süs eşyaları, uçak bileşenleri ve inşaat yapı malzemeleri gibi farklı alanlarda kullanılan yüksek kaliteli kompozit profiller elde edilir. Şekil 1.8’de pultrüzyon işlemine ait kalıp yapısı gösterilmektedir. Pultrüzyon yöntemi özellikle imalat sanayisinde tercih edilmekte olup, sürekli ve tekrarlayan mekanik özelliklere sahip kompozit profillerin yüksek

kalitede üretilmesini sağlar. Bu yöntemde, ürünlerin yüksek performans gösteren liflerden tek başına veya farklı liflerin kombinasyonundan oluşması gereklidir (Leblebiciler ve Asi, 2022).

Görsel 1.7: Pultrüzyon Makinası



Kaynak: (Sarıbıyık, 2013).

1.5. POLİMER ÇEŞİTLERİ

Polimerler genel olarak üç temel sınıfa ayrılır: termoplastik, termoset ve elastomerler. Biz burada özellikle termoplastik ve termoset polimerleri inceleyeceğiz.

- Termoplastik polimerler, yapısal olarak amorf ya da kristal olabilirler. Bu polimerler genellikle düşük mukavemete sahiptir.
- Termoset polimerler ise genellikle amorf yapıya sahiptir ve ısı uygulandığında sertleşirler. Bu yapı nedeniyle genellikle güçlü ve sert olurlar, ancak kırılabilirlikleri da yüksektir (Ay, 2009).

1.5.1. Termoplastikler

Termoplastik polimerler, ısıtıldıklarında yumuşayan ve akışkan hale gelen, soğutulduklarında ise tekrar sertleşerek katılaşan malzemelerdir. Bu ısıya bağlı şekillendirme işlemi, polimerlerin kimyasal yapısında herhangi bir değişiklik olmadan, fiziksel olarak tekrar edilebilir niteliktedir. Termoplastik polimerlerin üretimi, polimerizasyon adı verilen kimyasal reaksiyonlarla gerçekleştirilir. Zincir yapısına sahip olan bu polimerlerde, moleküller arası bağlar yüksek sıcaklıklarda zayıflar ve bu sayede malzeme işlenebilir hale gelir. Genellikle doğrusal yapıya sahip olan termoplastik polimerler, bazı durumlarda dallanmış yapı da gösterebilirler (Ay, 2009). Bu yapısal

özellikler, termoplastiklerin mekanik dayanımı, erime sıcaklığı ve işlenebilirlik gibi fiziksel özelliklerini doğrudan etkiler.

Odun Plastik Kompozit (OPK) malzeme üretiminde kullanılan termoplastik türleri konusunda güzel bir liste oluşturmuşsunuz. Bu termoplastikler, OPK malzemelerin temel matrisi olarak işlev görür ve kompozitin mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirler. Kısaca bu termoplastiklerin özelliklerine de değinmek isterseniz, şöyle özetleyebiliriz:

- Polipropilen (PP): Hafif, kimyasal dirençli, iyi mekanik dayanımlı ve uygun maliyetli bir termoplastiktir. OPK'da sıkça tercih edilir.
- Polietilen (PE): Yüksek darbe dayanımı ve kimyasal direnci vardır. Farklı yoğunluklarda (HDPE, LDPE) olabilir.
- Polietilen tereftalat (PET): Yüksek mukavemet ve sertlik sağlar, iyi ısıl dayanım gösterir.
- Polikarbonat (PC): Çok dayanıklı ve şeffaf bir termoplastiktir, yüksek darbe direnciyle bilinir.
- Polistiren (PS): Sert ve kırılgan yapısı vardır, genellikle daha sert yüzeyler için kullanılır.
- Polivinil Klorür (PVC): Dayanıklı, kimyasal ve hava koşullarına dirençli, genellikle yapı ve dış mekân uygulamalarında kullanılır.

1.5.1.1. Polipropilen (PP)

Termoplastik bir polimer olan polipropilen; gıda ambalajları, otomotiv sanayi parçaları ve tekstil sektörü gibi geniş bir kullanım alanına sahiptir. Polipropilen, propilen monomerinin polimerleşmesiyle elde edilir ve asit ile baz gibi kimyasal solventlere karşı yüksek direnç gösterir (Polipropilen, 2021).

Polipropilen, yüksek darbe dayanımı ile mekanik şoklara karşı önemli bir direnç göstermektedir. Aynı zamanda, yorulma direnci açısından da üstün performans sergileyerek, tekrar eden yüklemelere karşı uzun süre dayanabilmektedir. Maliyet açısından ekonomik bir malzeme olan polipropilen, düşük sürtünme katsayısına sahip olması sebebiyle sürtünmenin kritik olduğu uygulamalarda avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, iyi bir elektrik yalıtkanı olması nedeniyle elektriksel izolasyon gerektiren alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır (Polipropilen, 2021).

1.5.1.2. Polietilen (PE)

Polietilen, termoplastik özellikte olup, çeşitli endüstriyel ürünlerin üretiminde yaygın şekilde kullanılan bir polimerdir. Kimyasal yapısı itibarıyla etilen monomerinin polimerizasyonu sonucu oluşan polietilen, plastik sektöründe kısaca PE olarak ifade edilmektedir. Küresel ölçekte polietilen reçinesinin yıllık üretimi 100 milyon tonun üzerine çıkmakta olup, bu miktar plastik üretim pazarının yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır (Polietilen, 2021). Polietilenin temel kullanım alanları arasında özellikle paketlenme sektörü önemli bir yer tutmaktadır.

Polietilen, yapısal ve fiziksel özelliklerine göre iki ana gruba ayrılmaktadır:

- 1) Düşük Yoğunluklu Polietilen (Low Density Polyethylene – LDPE)
- 2) Yüksek Yoğunluklu Polietilen (High Density Polyethylene – HDPE) (Polietilen, 2021).

1.5.1.3. Polietilen Tereftalat (PET)

Termoplastikler, polyester grubuna ait malzemelerdir. Sentetik fiber üretiminden meşrubat ve yemek kaplarına, içecek ambalajlarına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Piyasada, ısıl işlem uygulanarak amorf (şeffaf) ve yarı-kristal (opak ve beyaz) formlarda bulunabilirler. Geri dönüştürülebilme özellikleri en önemli avantajlarından biridir. Polimer zincirlerinin eski haline geri dönebilmesi, bu malzemeyi diğer plastiklerden ayıran temel özelliktir (Leblebiciler ve Asi, 2022).

PET malzemesi, katı ve yarı-katı yapıya sahip olup, kalınlığına bağlı olarak özellikleri değişkenlik gösterir. Oldukça hafif bir yapıya sahiptir. Nemden korunma amaçlı uygulamalarda yaygın şekilde kullanılır ve iyi bir gaz bariyeri özelliği sunar. Ayrıca sert ve darbelere karşı dayanıklıdır. Doğal halinde şeffaf ve renksizdir. PET'ler özellikle meşrubat sektöründe bariyer malzemesi olarak sıkça tercih edilmektedir (Leblebiciler ve Asi, 2022).

1.5.1.4. Polikarbonat (PC)

Polikarbonatlar, termoplastik grubunda yer alan önemli plastik türlerinden biridir. Isıtıldığında kolaylıkla şekillendirilebilir, işlenmesi ve kalıplanması oldukça rahattır. Bu özellikleri sayesinde imalat sanayisinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Kimyasal olarak, uzun moleküler zincirleri karbonat grupları (-O-CO-O-) ile birbirine

bağlanmış fonksiyonel yapılar içerdği için bu polimerler “polikarbonat” olarak adlandırılır (Sarıbıyık, 2013).

Polikarbonat, laboratuvarlar ve endüstri alanlarının yanı sıra ev eşyalarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Kırılmaya dayanıklı camlar ve ışığı yansıtan koruyucu camlar gibi güvenlik amaçlı uygulamalarda tercih edilmektedir. Polikarbonat malzemeden üretilen diğer ürünler arasında güneş gözlükleri, gözlük camları, CD ve DVD diskleri ile otomobil far camları bulunmaktadır.

Ayrıca, ultraviyole koruyucu kaplamaya sahip tek veya çift yüzeyli polikarbonat levhalar, yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu levhalar, tek cidarlı veya çok cidarlı yapıda, çeşitli özellik, ebat, kalınlık ve renk seçenekleriyle esnek ve kırılmaya dayanıklı kaplama malzemeleri olarak tercih edilir. Polikarbonat levhalar, izolasyon özellikleri sayesinde seralarda ve naylon malzemeye alternatif olarak farklı alanlarda da kullanılmaktadır (Sarıbıyık, 2013).

1.5.1.5. Polistiren (PS)

Polistiren (PS), monomer yapıdaki stiren bileşiğinin polimerizasyonu yoluyla elde edilen bir termoplastik polimerdir. Ham maddesi petrol kökenlidir ve plastik endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Oda sıcaklığı koşullarında katı formda bulunan polistiren, ekstrüzyon veya enjeksiyon gibi işleme yöntemleri sırasında yüksek sıcaklıklarda ergiyerek şekillendirilebilir. İşleme sıcaklığından oda sıcaklığına döndüğünde ise tekrar katı hale gelir (Santiago vd., 2012).

1.5.1.6. Polivinilklorür (PVC)

Polivinil klorür (PVC), oldukça geniş bir kullanım alanına sahip, kimya endüstrisinde önemli bir plastik türüdür. Dayanıklı, esnek ve ekonomik yapısı sayesinde özellikle yapı ve inşaat sektöründe yoğun olarak tercih edilmektedir. Günümüzde PVC kullanımının yarısından fazlası yapı sektörüne yöneliktir. PVC (Polivinil Klorür), günümüzde pek çok sektörde beton, ahşap ve kil gibi geleneksel malzemelerin yerini alarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle pencere ve kapı profilleri, tesisat malzemeleri, vinil cephe kaplamaları, borular, döşeme, hobi malzemeleri ve elektrik kabloları gibi alanlarda tercih edilmektedir. Ucuz, kullanışlı ve esnek yapısı sayesinde temiz su ve atık su sistemlerinde boru malzemesi olarak sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca, son dönemde sağlık sektöründe de PVC ürünlerine rastlanmaktadır. Ancak, PVC'nin

yaygın kullanımına rağmen çevre ve insan sağlığı üzerinde potansiyel olumsuz etkileri konusunda endişeler devam etmektedir (Polivinil Klorür, 2021).

1.5.2. Termosetler

Termosetler, ısı uygulandığında kalıcı olarak sertleşen ve soğuduklarında tekrar yumuşak hale dönüşmeyen polimerik malzemelerdir. Bu özellik, kaynamadan önce akışkan olan yumurtanın pişme sonrası rafadan hale gelmesi ve yeniden akışkan olamaması durumuna benzetilebilir. Termosetlerin bu yapısal değişimi, ısıtma sürecinde gerçekleşen kovalent çapraz bağlanmalar sayesinde ortaya çıkar. Polikondenzasyon yöntemiyle üretilen termosetlerde, ısı uygulanmasıyla polimer zincirleri arasında kalıcı kovalent bağlar oluşur. Bu bağlanmalar, malzemenin dönme, eğilme ve bağlanma hareketlerini engelleyerek, mekanik esnekliğinin kaybolmasına neden olur (Ay, 2009).

Termoset polimerlere örnek olarak alkid, fenolik, polyester, amino, epoksi reçine ve poliüretanlar verilebilir (Yaldızcı vd., 2015). Bu polimerler, çapraz bağlı yapıları nedeniyle ısıtıldıklarında erimezler ve yüksek mekanik dayanım ile kimyasal dirence sahiptirler (Yaldızcı vd., 2015).

1.5.2.1. Epoksi Reçine (EP)

Kimyasal mukavemetleri ve teknik özellikleri ile ön plana çıkan bu malzemeler, hava ortamında oldukça iyi bir dayanıklılık sergilemektedir. Ayrıca, lifli güçlendiricilerin kullanımıyla mukavemetleri önemli ölçüde artırılabilir (Ay, 2009).

Görsel 1.8: Epoksi Reçine (EP)



Kaynak: (Ay, 2009).

1.5.2.2. Fenolik Reçine

Darbelere karşı yüksek mukavemete sahip olan bu malzeme, aynı zamanda elektrik iletkenliği özelliği göstermektedir. Isıya dayanıklılığının yanı sıra, ısı ve neme karşı da önemli bir direnç sergilemektedir. Elektrik malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılan bu malzeme; elektrik parçaları, süpürge parçaları, pompa gövdeleri, düğme ve kaplama ile yapıştırma uygulamalarında tercih edilmektedir (Sarıbiyık, 2013).

1.5.2.3. Polyester (Termoset)

Cam elyafı takviyesiyle güçlendirilmiş reçineler, kompozit malzemeler arasında önemli bir yere sahiptir. Bu reçineler, kütle ve levha biçiminde kalıplama yöntemleriyle üretilmektedir. Mekanik özellikler açısından, bu tür reçineler takviye elemanlarına göre belirgin farklılıklar göstermektedir. CTP malzemeler, yüksek dayanıklılıkları ve hafiflikleri nedeniyle çeşitli endüstriyel uygulamalarda tercih edilmektedir. Özellikle tekne yapımı, su depoları, sandalye ve mobilya imalatı, mimari yapı elemanları ve atletizm ekipmanları üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Ay, 2009).

Görsel 1.9: Polyester (Termoset)



Kaynak: (Ay, 2009).

1.6. KESTANE AĞACI (*Castanea Sativa Mill.*) TANIMI

Kestane, Fagaceae familyasında yer alan *Castanea sativa* Mill. türüne ait bir ağaç olup, aynı zamanda bu ağaçların yenilebilir meyvelerini tanımlamak için de kullanılmaktadır (Bozkurt vd., 1982).

Bitkiler âleminin *Fagaceae* familyası (Kayıngiller) içerisinde meşe ve kayınla birlikte bulunan kestanenin en önemli 4 türü *Castanea sativa* L. (Avrupa Kestanesi), *Castanea mollissima* (Çin Kestanesi), *Castanea crenata* (Japon Kestanesi) ve *Castanea dentata* (Amerikan Kestanesi)'dir (Soylu, 2004; EPPO, 2005; OGM, 2013). Türkiye'deki kestaneler de Avrupa Kestanesi grubundadır. Avrupa Kestanesi kuzey yarım kürenin

Asya, Avrupa ve Amerika kıtalarında yayılış gösteren ve kısmen de Güney Amerika'da kültüre alınan bir bitki türüdür. Bu tür ağaç ve yapraklarıyla da yarar sağlamakla birlikte asıl meyveleriyle ekonomik önem kazanmıştır (Pearce ve Pearce, 2001).

Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde, özellikle Marmara ve Kuzey Anadolu bölgelerinde, meşe türleri (*Quercus* spp.) gibi yapraklı ağaç türleriyle karışık meşçereler oluşturulmaktadır. Bu türlerin, genellikle meşe, gürgen ve kayın gibi ağaç türleriyle birlikte yer aldığı ve bu türlerin orman ekosistemlerinde önemli bir yer tuttuğu görülmektedir. Özellikle Marmara ve Kuzey Anadolu bölgelerinde, bu türler doğal olarak yayılış gösterse de Ege ve Akdeniz bölgelerinde lokal olarak yayılışları gözlemlenmekle birlikte, bu alanlarda daha çok kültürel olarak yetiştirilmektedir (Yaltırık, 1993; Yılmaz, 2014).

Marmara Bölgesi'nin Anadolu kısmında, 400-500 metreye kadar uzanan makilikler, bu bölgenin düşük rakımlı bitki örtüsünü oluşturan ana elementlerden biridir. Ancak, bu makiliklerin hemen ardından, rakımın arttığı yerlerde yaprak döken ağaçların yer aldığı meşe (*Quercus* spp.) ve kayın (*Fagus sylvatica*) ormanları dikkat çeker. Bu türlerin ardından, kestane (*Castanea sativa*) ağaçları, 1000-1200 metreye kadar olan bölgelerde karışık ormanlar oluşturur ve bölgedeki bitki örtüsü içinde önemli bir yer tutar (Soylu, 1984).

Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan envanter çalışmalarına göre, kestane ağacının Türkiye'deki yayılış alanı toplamda 262.045 hektar olarak kaydedilmektedir (Soylu, 2004; Orman Genel Müdürlüğü, 2013a). Bu geniş yayılış alanı, kestanenin ülke ekosistemindeki önemli rolünü ve ekolojik dengeye katkısını vurgulamaktadır.

1.7. ANADOLU KESTANESİ TÜRÜNÜN BOTANİK ÖZELLİKLERİ

Kestane ağacı, *Castanea* cinsine ait, dik ve sağlam gövdesiyle bilinen, kırmızımtırak kabuğa sahip ve sert yapraklarıyla tanınan bir ağaç türüdür. Ekolojik ve coğrafi ortama bağlı olarak, kestane türleri farklılıklar gösterse de, genel olarak bu ağaçlar uzun ömürlü olup, 30-35 metreye kadar boylanabilirler. Kestane ağaçları, özellikle Fagaceae familyasında yer almakta olup, meşe (*Quercus*) ve kayın (*Fagus*) türleriyle benzer habitatlarda yetişir. Bu türler, birlikte bir ekosistem oluştururlar ve aynı çevresel koşulları gereksinim olarak kabul ederler.

Görsel 1.10: Kestane Ağacı (*Castanea sativa mill.*)



Kaynak: (Bitkimania, 2021).

Kestane ağacının bilimsel sınıflandırması, Fagales takımına, Fagaceae familyasına, *Castanea* cinsine ve *Castanea* spp. türlerine dayanmaktadır (Subaşı, 2004).

Kestane ağacı (*Castanea* spp.) özellikle orman ekosistemlerinde önemli bir yer tutan, 20-25 metreye kadar boylanabilen ve genellikle geniş tepeli bir yapıya sahip, kışın yaprağını döken bir ağaç türüdür. Kestane ağaçları, kalın ve kısa gövdelere sahip olup, tekil olarak da uzun yıllar boyunca, 1000 yıl ve daha uzun süre yaşayabilmektedirler. Ormanlarda sık koruluklar halinde yer alır ve genellikle bu şekilde yoğun gruplar halinde bulunurlar. Kestanenin ana kökü oldukça kuvvetli olup, çevresindeki ekosistemi etkileyen refakatçi bitkilerle birlikte yetişir. Bu bitkiler arasında eğrelti otu ve katırtırnağı gibi bitkiler yer alır (Yazıcı, 1998).

Bu bitkinin yaprakları, genişlik açısından 3 ile 6 cm arasında, uzunluk açısından ise 8 ile 18 cm arasında değişim göstermektedir. Yapraklar mızrak biçiminde, sivri uçlu olup, kenarları ise belirgin bir şekilde keskin ve kaba dişlidir. Yaprığın üst yüzeyi çoğunlukla parlak yeşil olup çıplaktır, alt yüzey ise başlangıçta gri tüylü iken zamanla soluk yeşil bir renge dönüşmektedir. Yaprığın orta damarının her iki yanına, birbirine paralel olarak düzenlenmiş 12 ila 20 çift yan damar yerleşmiştir (Yazıcı, 1998).

Kestane (*Castanea* spp.) ağaçları, biyolojik özellikleri ve ekolojik fonksiyonlarıyla dikkat çeken, uzun ömürlü ağaç türlerindendir. Kestane ağaçlarının

yaşam süreleri, çevresel koşullara bağlı olarak 200 ile 500 yıl arasında değişse de, bazı bireylerin 1000 yıl kadar hayatta kalabildiği gözlemlenmiştir (Atasoy ve Altıngöz 2012).

Işık isteği mutedildir. Işık ağaçlarının (sarıçam, karaçam) yan ve üst baskısında barınabilir. Büyümesi oldukça iyidir. Boy büyümesi, nispeten kısa bir zaman sonra en iyi yetişme 10 ortamı şartları altında 40-50 yaşlarında duraklar. Koru ormanında 20-25 m boyunda ağaçlar meydana getirebilir. Buna karşılık çap artımı uzun süre devam eder (Saatçioğlu, 1969).

1.8. KESTANE TOHUMUN ÖZELLİKLERİ

Kestane ağacının tomurcukları karışık tomurcuk tipindedir; bu tomurcuklardan hem sürgünler hem de bu sürgünler üzerinde çiçek püskülleri gelişir. Kestanelerde iki farklı çiçek püskülü tipi bulunur. Bunlardan ilki, yalnızca erkek çiçeklerden oluşan püsküllerdir. Bu püsküller, sürgünlerin alt, orta ve orta üst bölgelerinde, yaprak koltuklarında meydana gelir. Üzerlerinde yalnızca erkek çiçekler yer alır. İkinci tip ise karışık eşeyli püsküllerdir. Bu püsküllerde hem erkek hem de dişi çiçekler bulunur ve genellikle sürgünlerin uç ve uç altı bölgelerinde oluşurlar. Karışık eşeyli püsküllerde, daha alt kısımlarda dişi çiçekler, üst kısımlarda ise erkek çiçekler yer alır. Erkek çiçekler, püskül eksenini boyunca kümeler halinde dizilir.

Çiçeklenme döneminde, erkek çiçeklerin başçıkları (anterler) çiçek örtüsünün dışına çıkarak parlak sarı görünümleriyle dikkat çeker. Başçıkların patlamasıyla birlikte çiçek tozları çevreye yayılır ve tozlaşma gerçekleşir. Ancak bazı kestane çeşitlerinde, çiçeklenme döneminde başçıklar dışarı çıkmaz. Bu çeşitlerin bir kısmında başçıklar ya hiç oluşmaz ya da yapısal olarak anormal oldukları için çiçek örtüsünün dışına çıkamazlar. Bu durum, kısa staminli tipler olarak adlandırılır (Soylu, 1981).

Kestane (*Castanea spp.*) çiçekleri, eşeyli üreme organlarının belirgin şekilde ayrıldığı ve dişi ile erkek çiçeklerin farklı yerlerde bulunduğu bir yapıya sahiptir. Kestane bitkisinin çiçeklenmesi, genellikle haziran ayı içinde gerçekleşir (Soylu, 2004). Çiçekler, bir karışık eşeyli püskül üzerinde yer alır ve dişi çiçekler, üçlü kümeler halinde gruplar oluşturur. Bu kümeler, her bir dişi çiçeğin etrafını saran bir kapsül tarafından kuşatılmıştır. Kapsül, primer ve sekonder brakte yapraklarından oluşarak, olgunlaştıkça dikenli yumaklar (kirpiller) meydana getirir.

Dişı çiçeklerin her birinde, 6 ila 9 arasında karpel bulunur ve her karpelde 2 tohum taslağı yer alır. Bu yapı, kestanenin tohum üretme kapasitesini belirleyen ana unsurdur. Normal tozlaşma ve dölleme koşullarında, her 3 meyve, kapsül içinde gelişir. Ancak, döllememiş çiçekler tohum üretemez; bu çiçekler yalnızca meyve kabuğu (perikarp) şeklinde kalır. Dolayısıyla, kestane ağaçlarında verimli tohum üretimi için doğru tozlaşma ve dölleme koşullarının sağlanması kritik öneme sahiptir. Kestanelerde hasat çeşitlere göre değişerek genel olarak Eylül ayı ortalarından Ekim ayı sonlarına kadar devam etmektedir.

1.9. KESTANE MEYVESİNİN ÖZELLİKLERİ

Kestane, *Castanea* cinsine ait bir ağaç türünün meyvesidir ve bu meyve, dikenli ve sert bir kabuk içinde gelişir. Kestane ağaçları, genellikle Eylül ve Ekim aylarında olgunlaşan meyveler üretir. Olgunlaşma sürecinin sonunda, dikenli dış kabuklar çatlar ve içindeki tohumlar (kestaneler) kendiliğinden yere düşer. Bu tohumlar, hasat edilip kurutularak nemsiz bir ortamda muhafaza edilir (Hadjipanayiotou, 2002).

Sert kabuklu meyvelerde genellikle yağ oranı yüksek olmasına rağmen, kestanede karbonhidrat oranı daha fazladır. Kestane hem kimyasal ve besin bileşimi hem de nem oranı açısından diğer meyvelerden önemli ölçüde ayrılmaktadır. Kestane meyvesi, normal koşullarda yaklaşık olarak %40–45 nem, %5 protein, %5 yağ ve %40–45 oranında karbonhidrat içermektedir. Bu özellikleriyle kestane, eski çağlardan bu yana insan beslenmesinde önemli bir karbonhidrat kaynağı olarak yer almıştır. Ayrıca kestane meyvesi C ve A vitaminleri açısından da değerlidir. Örneğin, 100 gram kestane meyvesinde yaklaşık 50 miligram C vitamini bulunmaktadır (Soylu, 2004).



İKİNCİ BÖLÜM
LİTERATÜR ÖZETİ

Ülkemizde ve dünyanın birçok bölgesinde Odun-Plastik Kompozit (OPK) malzemelere duyulan ihtiyaç ve kullanım alanları zamanla artış göstermektedir. Bu artan talep, yeni ürünlerin geliştirilmesine yönelik ilgiyi artırmakta; geliştirilen bu ürünler, sağlık, tasarım ve çevresel faktörler gibi çeşitli açılardan değerlendirilerek kullanım alanlarına entegre edilmektedir. Bu bağlamda, OPK ürünlerinin çeşitlendirilmesi ve geliştirilmesi yönündeki çalışmalar sürekli olarak devam etmektedir.

Son yıllarda Türkiye'de OPK malzemelere olan ilgi ve talep kayda değer oranda artmış olup, üretim maliyetlerini azaltmaya yönelik olarak bu malzemelerin üretiminde kullanılan hammaddelere alternatif kaynakların araştırılması gerekli hale gelmiştir. Bu doğrultuda, tarım sektöründe hasat sonrası ortaya çıkan bitkisel atıklar ile orman endüstrisinden elde edilen artık malzemelerin OPK üretiminde değerlendirilmesi potansiyel bir çözüm olarak öngörülmektedir.

2.1. OPK MALZEMELERLE İLGİLİ ÜLKEMİZDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1.1. OPK Üretiminde Çok Kullanılan Termoset Türleri

2.1.1.1. Epoksi reçine (EP)

Bu malzemeler, kimyasal dayanımları ve teknik özellikleriyle öne çıkmaktadır. Atmosferik koşullara karşı yüksek direnç gösterirler. Ayrıca, lif takviyeli güçlendiriciler kullanılarak mekanik mukavemetleri önemli ölçüde artırılabilir. (Ay, 2009).

Koç ve Demirel (2019) tarafından yürütülen çalışmada, farklı oranlarda magnezyum oksit (MgO) ilavesiyle epoksi reçine esaslı kompozit malzemeler üretilmiştir. Kompozitler, hacimsel bazda belirlenen Epoksi/MgO oranlarında (1/1.5, 1/2.0 ve 1/2.5) hazırlanmış ve plastik kalıplara dökülerek oda sıcaklığında 24 saat süreyle kürlenmeye bırakılmıştır. Elde edilen kompozit malzemelerin aşınma davranışlarını belirlemek amacıyla kuru aşınma testi olarak bilinen "pin-on-disk" yöntemi uygulanmıştır. 10–30 N aralığında farklı yükler altında gerçekleştirilen testler sonucunda, MgO katkısının epoksi matrisin aşınma performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre, MgO içeriği arttıkça aşınma direncinin yükseldiği ve en iyi performansın 2.5/1 oranındaki MgO/epoksi içeren kompozitte elde edildiği görülmüştür. Ayrıca, yük miktarı arttıkça sürtünme katsayısında azalma meydana geldiği tespit edilmiştir.

2.1.1.2. Amino reçineler (Melamin, Üre)

Amino reçineler, oda sıcaklığında katı, sıvı veya modifiye (kuvvetlendirilmiş) formlarda bulunabilmektedir. Katalizör eşliğinde ve ısı uygulanmasıyla sertleşerek kalıcı bir şekil alırlar. Yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklılıkları oldukça yüksektir. Bu özellikleri nedeniyle özellikle kaplamalarda ve yapıştırıcı sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Ay, 2009).

Çakıroğlu vd., (2018), çalışmalarında, Avrupa, Baltık ülkeleri, Polonya, Belarus ve Rusya gibi bölgelerde kontrplak üretiminde yaygın olarak kullanılan huş (*Betula spp.*) odunu, ülkemizde sıklıkla tercih edilen kayın (*Fagus spp.*) odunu ile karşılaştırmıştır. Bu kapsamda, melamin üre formaldehit (MUF) ve üre formaldehit (UF) tutkalları kullanılarak, Türkiye menşeli kayın ve Ukrayna'dan ithal edilmiş huş tomruklarından elde edilen soyma kaplamalarla üretilen üç farklı türde kontrplak (kayın, huş ve huş-kayın kombinasyonu) imal edilmiştir. Üretilen kontrplak levhaların eğilme direnci ve yapışma performansı sırasıyla TS EN 310 ve TS EN 314-1 standartlarına göre değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, huş kaplamalardan üretilen kontrplakların mekanik özelliklerinin kayın kontrplaklara oldukça yakın olduğu ve ilgili standartların öngördüğü kriterleri büyük ölçüde sağladığı belirlenmiştir.

Başboğa ve arkadaşları (2018) tarafından yürütülen bu çalışmada, melamin emdirilmiş kâğıt (MEK) atıkları ile MEK tutkalları kullanılarak üretilen yonga levhaların fiziksel, mekanik ve formaldehit emisyon özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. MEK atıkları doğrudan kullanılmış, ilave tutkal eklenmemiştir. Çalışmada, %10 kavak ve %90 kızılçam yongalarından oluşan iki farklı tipte karışım kullanılmıştır. Toplamda sekiz farklı yonga levha grubu oluşturulmuş, her grup için üç tabakalı (bir orta tabaka ve iki yüzey tabaka) yapıdan oluşan levhalar, sıcak pres yöntemiyle üretilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, kullanılan tutkal miktarının yonga levhaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkiler yarattığı; ancak formaldehit emisyon düzeyinin tutkal miktarı arttıkça yükseldiği gözlemlenmiştir. En iyi performans, %25 oranında MEK atığı ve %13 oranında saf MEK içeren levha grubunda elde edilmiştir.

2.1.2. OPK Üretiminde Sıklıkla Kullanılan Termoplastik Türleri

2.1.2.1. Polietilen (PE)

Polietilen, termoplastik özellik gösteren ve çok çeşitli endüstriyel ürünlerde kullanılabilen yaygın bir polimer türüdür. Polietilen reçinesinin yıllık küresel üretimi 100 milyon tonun üzerindedir ve bu miktar, dünya plastik pazarının yaklaşık %34'ünü oluşturmaktadır. Polietilenin başlıca kullanım alanı ise ambalaj sanayisidir (Sünanç, 2007).

Karakuş ve arkadaşları (2014) tarafından yürütülen bu çalışmanın amacı, %40 oranında kullanılan orman budama atıklarının termoplastik matrisle oluşturduğu kompozitlerin mekanik özellikler üzerindeki etkisini incelemektir. Termoplastik matris olarak düşük yoğunluklu polietilen (AYPE) ve polilaktik asit (PLA) kullanılmıştır. Üretim sürecinde enjeksiyon kalıplama ve ekstrüzyon yöntemlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen kompozitlerin eğilme, çekme ve darbe dayanımı gibi mekanik özellikleri ASTM standartlarına uygun şekilde Üniversal test cihazı ile belirlenmiş; ayrıca malzemenin morfolojik yapısı elektron mikroskobu ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, AYPE ve PLA bazlı kompozitlerin üretiminde dolgu malzemesi olarak orman atıklarının kullanılabilirliğini göstermektedir.

Atar ve arkadaşları (2016) tarafından yürütülen çalışmada, polimer malzeme olarak yüksek yoğunluklu polietilen (YYEP) kullanılmış; dolgu malzemesi olarak termoplastik nişasta (TPN) ve fazlar arası uyumu artırmak amacıyla maleik anhidrit ile modifiye edilmiş polietilen (MAPE) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar enjeksiyon kalıplama yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada çekme, eğilme, kopma, yoğunluk ve bu testlerdeki elastikiyet modülü gibi mekanik özellikler değerlendirilmiştir. YYEP matrisine TPN ilavesiyle birlikte, kopmada uzama, çekme ve darbe dayanımlarında azalma; buna karşılık yoğunluk, eğilme dayanımı ile çekme ve eğilme elastikiyet modülünde artış gözlenmiştir. Ayrıca, MAPE'nin karışıma eklenmesiyle birlikte kompozit malzemenin mekanik özelliklerinde belirgin iyileşmeler elde edilmiştir.

2.1.2.2. Polikarbonat (PC)

Polikarbonatlar, termoplastik polimerler grubunda yer alan önemli plastik malzemelerdir. Isı etkisiyle şekil verilebilmeleri, işlenebilirlik ve kalıplanabilirliklerinin yüksek olması nedeniyle imalat sanayisinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Polikarbonatlar; laboratuvar ekipmanlarından endüstriyel bileşenlere, hatta ev eşyalarına kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Özellikle darbelere karşı yüksek dayanım göstermeleri sebebiyle kırılmayan cam ve ışığı yansıtan koruyucu yüzeyler gibi güvenlik amacıyla kullanılan uygulamalarda tercih edilmektedir (Leblebiciler ve Asi, 2022).

Erdem ve Yatağan (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ele alınan çatı sistemlerinde kullanılan polikarbonat levhaların çeşitli uygulama örnekleri sunulmuş ve bu örnekler üzerinden polikarbonat malzemenin karakteristik özellikleri analiz edilmiştir. Çalışmada, söz konusu malzemenin çatı sistemlerinde kullanımına dair sağladığı avantajlar ve karşılaşılabilecek dezavantajlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca uygulamalar sonucunda çatı sistemlerinde ortaya çıkabilecek ya da gözlemlenebilecek hasarlar dikkate alınarak, polikarbonat malzemenin bu sistemlere uygunluğu değerlendirilmiştir. Çatı tasarımı sürecinde, ilgili bölgenin iklimsel özelliklerinin polikarbonat levhaların yapısal özellikleriyle uyumluluğu göz önünde bulundurulmalı; ayrıca taşıma, montaj ve depolama aşamalarında meydana gelebilecek olası hasarlar da tasarım sürecinde dikkate alınmalıdır.

2.1.2.3. Polivinil Klorür (PVC)

Polivinil klorür (PVC), geniş bir uygulama yelpazesine sahip sentetik bir polimerdir ve kimya endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. PVC'nin kullanımının büyük bir bölümü, dayanıklılığı, esnekliği ve ekonomik oluşu nedeniyle yapı ve inşaat sektöründe yoğunlaşmaktadır. Yapı malzemeleri başta olmak üzere, çeşitli endüstriyel alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir (Leblebiciler ve Asi, 2022).

Başboğa vd. (2017) çalışmalarında ele aldıkları projede iki değişik oranda plastikleştirici olan ve yüksek polimerin işlenmesinde kullanılan dioktil ftalat (DOP) ve farklı 3 odun unundan faydalanılmıştır. Her 100gr PVC için 30 gr ve 15 gr olacak şekilde DOP (0,15,30 gr odun unun) kullanımı sağlanmıştır. Enjeksiyon ve pres yardımı ile kompozit üretimi yapılmıştır. Darbe, eğilme, çekme dirençleri ve sertlik değerleriyle birlikte yoğunlukları da tespit edilmiştir. Mekanik özellikleri üzerinde DOP ve dolgu madde miktarının önemli etki yaptığı görülmüştür. PVC içerisinde DOP kullanımı esneklik ve yumuşaklık sağlamıştır. Üretilen malzemelerin kopmadaki uzama değerleri daha yüksekken darbe direnci ve sertlik değerleri düşüktür. Eğilme ve çekme değerlerinde de düşme görülmüştür. Üretimde kullanılan yöntemler değerlendirildiğinde enjeksiyon

pres kaplamaya göre daha iyi seviyede özellik göstermiştir. Enjeksiyon vidası sayesinde daha iyi karışım elde edilmiştir.

2.1.2.4. Polipropilen (PP)

Termoplastik bir polimer olan polipropilen, gıda ambalajlaması, otomotiv endüstrisi bileşenleri ve tekstil sektörü gibi birçok endüstriyel alanda geniş kullanım alanına sahiptir. Polipropilen, propilen monomerinin polimerizasyonu yoluyla elde edilmekte olup, kimyasal çözücülere (asit ve bazlar) karşı yüksek direnç göstermesiyle dikkat çeker (Polipropilen, 2021).

Başboğa vd. (2022) çalışmalarında profil çekmeden çıkan dahoma odunundan elde edilen unun dolgu maddesinde kullanılacak olan (PP) nin morfolojik ve mekaniksel yapısı ele almışlardır. Farklı oranlarda (%-0,15,30,45) 4 adet odun unu kullanılmıştır. Odun ununun boyut analizi yapılmıştır. Uyumlaştırıcı olarak %3 lük (MAPP) ve yağlama için parafin wax (%3) kullanılmıştır. Sonuç olarak odun ununun eklenmesi ile çekme ve darbe direnç değerinde az miktar da olsa iyileşme sağlanmıştır. Odun unu katılım oranının artması ile çekmede ve eğilmede elastikiyet modülü ile eğilme direnci özelliklerinde iyileşme sağlanmıştır. Kopmada uzama değerlerinde düşüş belirlenmiştir.

Başboğa vd. (2015) çalışmalarında, kızılçam odun ununun termoplastik esaslı kompozit üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır. Kızılçam odun atıklarının üretilen kompozitlerin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemiştir. Termoplastikte ise (HDPE) ve (PP) den faydalanılmıştır. Polimer ve kızılçam talaşı dolgu bazlı değerlendirilmiştir. Oluşturulan kompozit numuneler ekstrüzyon ve sıkıştırma kalıplama yöntemleri kullanılarak üretilip, malzemenin mekanik yönden darbe, eğilme ve çekme direnci ASTM standartlarında belirlenmiştir. Üretilen polimer kompozitler yeterli mekanik özelliklere sahiptir. Kızılçam odun kalıntısı olarak kullanılabilir. HDPE ve PP esaslı plastik kompozitler için dolgu maddesi için uygundur. Kızılçam odununun kullanımı plastik sektöründe artık unlar yeni bir gelir sağlayabilir.

Çalışmanın amacı: Bu yapılan çalışmalarda ülkemizde OPK üzerine yapılan çalışmaların önemini ve ne kadar değerli olduğunu görmekteyiz. Özetlemesini yaptığımız araştırmaların sunduğu ülkemizdeki OPK konusunda bugüne kadar yapılmış olan çalışmaların çoğunluğu, plastik malzemelerin atık odun unu ile karışımında oluşan OPK nın mekanik, fiziksel özellikleri incelendiği görülmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
MATERYAL VE METOD

3.1 MATERYAL

Çalışma kapsamında yüksek yoğunluk polietilen (HDPE) bazlı odun plastik kompozitleri (OPK) üretilmiştir. Kullanılan termoplastik polimer (HDPE) satın alma yöntemi ile Maron Petrokimya şirketinden (İran) temin edilmiştir. Kullanılan HDPE polimerine ait genel özellikler Tablo 3.1’de sunulmuştur. OPK’ların üretiminde üç farklı lignoselülozik dolgu malzemesi kullanılmıştır. Sağlıklı Anadolu Kestane (*Castanea Sativa* Mill) odun unları, kanserli (*Cryphonectria Parasitica*’nın arız olduğu) Anadolu Kestane odun unları ve Anadolu kestanesi kupulaları lignoselülozik dolgu maddesi olarak kullanılmıştır. Sağlıklı ve kanserli kestane ağaçları aynı bölgeden ve yaklaşık olarak 950 metre rakımdan kesilmiştir. Kütahya’nın Simav ilçesinde doğal olarak yayılış gösteren Anadolu Kestane ağaçları Simav Demirciköy Belediyesine bağlı Karacalar mahallesi sınırları içerisinde yer alan 7 nolu bölme kscd2-1 mescere sahası içerisinde kesilmiştir. Kesilen ağaçların çapları yaklaşık olarak 22-34 cm kuturundadır. Kestane kupulaları aynı bölgeden toplanmıştır.

Tablo 0.1: Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE) Genel Özellikler

Özellik		Standart
MFI (230°C - 2,16 Kg)	11 g/10 min.	ASTM D1238
Yoğunluk (23°C)	0,905 g/cm ³	ASTM D1505
Akmada gerilme dayanımı	35 MPa	ASTM D638
Erime noktası (DSC)	163 °C	ASTM D3417
Deformasyon sıcaklığı	113 °C	ASTM D648
İzod Çentikli Darbe (23 °C’de)	20 J/m	ASTM D256
Rockwell sertliği	96 R-scale	ASTM D785
Bükülme modülü	1450 MPa	TS EN ISO 178

Uyumlaştırıcı ajan olarak maleik anhidrit aşılantı polietilen (MAPE) (Licocene PE MA 4351 by Clariant) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan MAPE’nin yoğunluğu yaklaşık olarak 0.99 g/cm³ ve damlama noktası ise yaklaşık olarak 123 °C’dir. Aynı zamanda MAPE 43 mg KOH/g asit değerine ve yaklaşık 300 mPa s viskoziteye sahiptir. Yağlayıcı ajan olarak ise parafin-vaks (K.130.1000) kullanılmıştır.

3.2 METOD

Önceden belirlenmiş olan *Cryphonectria Parasitica*’nın arız olduğu (kanserli) Anadolu Kestane (*Castanea Sativa* Mill) ağaçları ve *Cryphonectria Parasitica*’nın arız olmadığı (sağlıklı) Anadolu Kestane ağaçları kesilerek ormandan çıkartılmıştır (Görsel 3.1). Ayrıca kestane ağaçlarının kesildiği aynı bölgede kestane ağaçlarına ait kestane kupulaları toplanmıştır. Kesilen kestane odunları, doğal kurutma amacıyla Kütahya

Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknoloji Fakültesi Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü atölyesinde bekletilmiştir.

Görsel 3.1: Anadolu Kestanesi: a) Sağlıklı- b) Kanserli



a-)



b-)

Doğal kurutmaya tabi tutulan kestane tomrukları yerel bir kereste fabrikasında arabalı şerit testere yardımıyla 10X10 cm enine kesitine sahip kalaslar şeklinde biçilmiştir. Biçilen kalaslar şerit testere yardımıyla ufak parçalara bölünmüş ve sonrasında keser yardımıyla öğütülmeye uygun boyutlarda odun parçacıklarına dönüştürülmüştür (Görsel 3.2).

Görsel 3.2 : Anadolu Kestanesi Odunu (a) ve Odun Parçacıkları (b)



a-)



b-)

Keser yardımıyla küçültülen kestane odunları Görsel 3.3'teki Wiley değirmeni yardımıyla un formuna dönüştürülmüş ve unlar sarsak elek yardımıyla boyut sınıflandırılmasına tabi tutulmuştur. 40, 60 ve 80 mesh elek üzerinde kalan unlar çalışma kapsamında kullanılmıştır. Üretim öncesi lignoselülozik dolgu maddeleri içerisindeki rutubet miktarı sıfır olacak şekilde 24 saat boyunca 103 °C'de kurutulmuştur.

Görsel 3.3: Wiley Değirmeni

Dolgu maddesi oranı sabit %40 olacak şekilde 3 farklı dolgu maddesinin farklı kombinasyonları kullanılmıştır. Toplam üretimin %3ü kadar uyumlaştırıcı ajan kullanılmıştır. Toplam üretime ilave olarak %3 yağlayıcı parafin wax kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan üretim reçetesi Tablo 3.2’de sunulmuştur.

Tablo 0.2: Üretim Reçetesi

Örnek Kodu	Polimer (%)	Sağlıklı Kestane Odun Unu (%)	Kanserli Kestane Odun Unu (%)	Atık Kupula Unu (%)	MAPE (%)	Wax (%)
C	97	--	--	--	3	3
S40	57	40	--	--	3	3
K40	57	--	40	--	3	3
Ku40	57	--	--	40	3	3
S20K20	57	20	20	--	3	3
S20Ku20	57	20	--	20	3	3
K20Ku20	57	--	20	20	3	3

Tablo 3.2’de verilen üretim çizelgesine bağlı olarak HDPE, lignoselozik dolgu maddesi veya maddeleri, MAPE ve parafin wax, homojen bir karışım oluşturmak üzere yüksek devirli bir karıştırıcıda kuru olarak karıştırılmıştır (Görsel 3.4).

Görsel 3.4: Yüksek Devirli Karıştırıcı



Kuru halde hazırlanan karışımlar, laboratuvar tipi tek burgulu bir ekstrüderde beslemeden çıkışa dorğu sırsıyla 195-195-190-185-180°C sıcaklıklarda ve 50 rpm vida hızında eriyik halde karıştırılmıştır (Görsel 3.5). Eriyik halde karıştırılan kompozit karışımı soğuk su havuzunda soğutulmuştur. Ekstrüzyona tabi tutulan ve soğutulan kompozit karışımları kırıcı yardımıyla granülize edilmiştir.

Görsel 3.5 : Laboratuvar Tipi Tek Burgulu Ekstruder



Kompozit granüller 80 °C de içerisinde rutubet kalmayıncaya kadar Etüv içerisinde kurutmaya tabi tutulmuştur. Kurutlan kompozit peletler ile HAIDA marka HDX-88 model plastik enjeksiyon kalıplama makinesi yardımıyla standartlara uygun test numuneleri basılmıştır. Enjeksiyon basıncı 100 bar, enjeksiyon hızı 80mm/s, vida hızı 40 rpm, soğutma süresi 30s olarak ayarlanmıştır. Üretilen örnekler iklimlendirme kabininde %65±5 bağıl nem ve 20±2°C sıcaklıkta klimatize edilmiştir.

3.2.1. Üretilen OPK'ların Test Edilmesi

Üretilen odun plastik kompozitleri klimatize edildikten sonra test edilmeye başlanmıştır. OPK örneklerin yoğunlukları ASTM D792 standardına göre suda yer değiştirme metodu ile test edilmiştir. Yoğunluk ölçümleri yapılırken yardımcı sıvı olarak distile (saf) su tercih edilmiştir. 20 mm × 20 mm × 4 mm boyutlarındaki test numunelerinin önce havadaki ağırlıkları, ardından yoğunluğu bilinen saf su içindeki ağırlıkları belirlenmiştir. Bu veriler, Denklem 3.1'de verilen formül kullanılarak hesaplanmış ve Görsel 3.6'da gösterilen hassas terazi (Precisa marka) ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

$$p = A / (A - B) \times (p_0 - p_L) + p_L \quad (3.1)$$

p: Numune yoğunluğu,

A: Numune havada ağırlık,

B: Numune yardımcı sıvıda ağırlık,

p₀: Yardımcı sıvı yoğunluğu,

p_L: Hava yoğunluğu

Görsel 3.6: Hassas Terazi (Precisa)



Şartlandırılan kompozitlerin mekanik özellikleri “Kompozit Malzemelerin Test Edilmesi için kullanılan Amerikan Standartları (ASTM)” na uygun olarak belirlenmiştir. Termoplastik kompozitlerin mekanik özellikleri, ilgili standartlara uygun şekilde belirlenmiştir. Çekme direnci, elastikiyet modülü ve kopmada uzama miktarı ASTM D 638 standardına göre değerlendirilirken, eğilme direnci ve elastikiyet modülü ASTM D

790 standardına göre ölçülmüştür. Çentikli darbe direnci ise ASTM D 256 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Eğilme direnci testlerinde, dayanaklar arasındaki mesafe standart gerekliliklere uygun olarak 80 mm ayarlanmıştır. Test hızı 2 mm/dak dır. Çekme direnci için 5 mm/dak test hızı belirlenmiştir. Malzemelerin eğilme ve çekme dirençleri, Zwick/Roell Z010 model universal test cihazı kullanılarak belirlenmiştir. (Görsel 3.7 a). Darbe direnci testlerinde kullanılan çentikler RayRan™ Polytest çentik kesici ile oluşturulmuştur (Görsel 3.7 b). Çentikli numunelerin darbe dirençleri Zwick™ HIT5,5P darbe testi cihazı ile ölçülmüştür (Görsel 3.7 c).

Görsel 3.7: Universal Mekanik Test Cihazları



a) Zwick/Roell Z010 Marka Universal test makinesi, b) Polytest notching cutter by RayRan™ c) Zwick™ HIT5,5P darbe direnci test cihazı,

Üretilen kompozitlerin sertlik değerleri Durometer (ENPQIX EHS5D - Shore D) cihazı kullanarak ASTM D2240 standardına uygun olarak belirlenmiştir (Görsel 3.8).

Görsel 3.8: Durometer (ENPQIX EHS5D)



3.2.2. Verilerin İstatiksel Analizi

Takviye elemanı olarak kullanılan lignoselülozik dolgu maddelerinin üretilen odun plastik kompozitlerin elde edilen teknolojik özellikleri üzerine etkilerinin belirlenmesi için çoklu ANOVA testi uygulanmıştır. Elde edilen veriler, Design-Expert® 7.0.3 sürümü kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir.





DÖRDÜNCÜ BÖLÜM
BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Kestane odun ve kupula unları takviyeli HDPE bazlı OPK üretimleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş ve üretilen numunelerin mekanik (çekme direnci, çekmede elastikiyet modülü, kopmada uzama, eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, darbe direnci) ve fiziksel (yoğunluk, sertlik) özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.1’de özetlenmiştir.

Tablo 4.1: HDPE Bazlı OPK’lara Ait Sonuçların Özeti

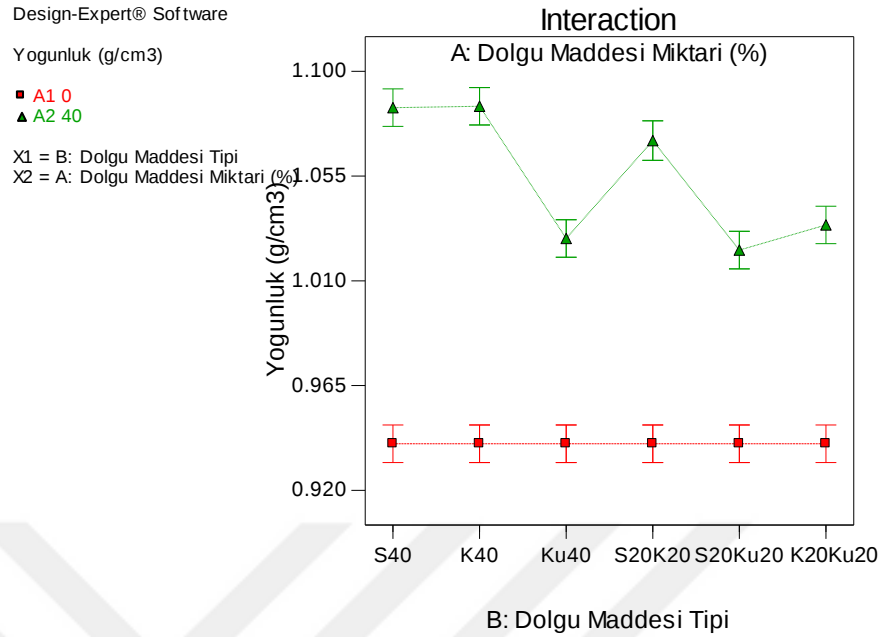
Örnek Kodu	Çekme Direnci (MPa)	Çekmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Kopmada Uzama (%)	Eğilme Direnci (MPa)	Eğilmede Elastikiyet Modülü (MPa)	Darbe Direnci (kJ/m ²)	Sertlik (Shore D)	Yoğunluk (g/cm ³)
Kontrol	19,66 (0,56)*	6,36 (1,67)	40,61 (3,72)	22,19 (0,70)	6,89 (0,16)	23,86 (4,72)	54,84 (3,22)	0,940 (0,012)
S40	25,41 (0,52)	951,94 (36,88)	4,42 (0,23)	41,15 (3,74)	1736,65 (164,48)	6,45 (0,56)	65,48 (1,14)	1,084 (0,015)
K40	19,71 (1,64)	794,13 (28,0)	4,43 (0,28)	35,99 (2,14)	1523,01 (81,54)	5,43 (0,11)	63,36 (080)	1,085 (0,002)
Ku40	17,61 (1,6)	732,96 (101,18)	5,14 (1,59)	35,96 (0,96)	1624,87 (51,35)	6,87 (0,39)	66,02 (1,54)	1,028 (0,011)
S20K20	22,25 (0,15)	821,73 (24,97)	4,59 (0,27)	38,99 (1,33)	1903,57 (157,34)	6,15 (0,45)	63,86 (1,59)	1,058 (0,029)
S20Ku20	21,52 (1,83)	932,1 (83,07)	4,06 (0,28)	41,77 (2,67)	2125,99 (213,69)	7,29 (1,88)	66,14 (1,88)	1,023 (0,027)
K20Ku20	18,57 (58,42)	808,27 (58,42)	4,38 (0,23)	36,84 (2,19)	1855,36 (100,68)	6,64 (0,4)	63,06 (1,24)	1,034 (0,009)

*Parantez içerisindeki değerler standart sapma değerleridir.

4.1. MALZEMELERİN YOĞUNLUK DEĞERLERİ

Lignoselülozik dolgu maddelerinin OPK’ların yoğunluk değerleri üzerine etkilerinin görüldüğü etkileşim grafiği Şekil 4.1’de sunulmuştur.

Şekil 4.1: Yoğunluk Etkileşim Grafiği



Yoğunluk değerlerine ait etkileşim grafiği incelendiğinde lignoselülozik dolgu maddelerinin matris içerisine eklenmesi ile yoğunluk değerlerinin önemli derece etkilendiği ve artış gösterdiği görülmektedir. Yapılan istatistik analizler sonucunda dolgu maddesi tipinin ve miktarının üretilen OPK'ların yoğunluk değerleri üzerinde istatistiki olarak önemli derecede etkisini olduğu belirlenmiştir ($P < 0,0001$). Lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanımı ile üretilen kompozitlerin yoğunluk değerleri belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Bunun sebebi olarak da kullanılan lignoselülozik dolgu malzemelerinin yoğunluklarının matris polimeri olan HDPE den yüksektir ve dolayısıyla üretilen odun plastik kompozitlerin yoğunluğunun artmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Daha önceki yapılan literatür çalışmalarında da benzer olarak lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımı ile üretilen OPK'ların yoğunluk değerlerinin arttığı raporlanmıştır (Steckel vd., 2009; Özdemir vd., 2013; Kakroodi vd., 2013; Şahin ve Başboğa, 2023). Etkileşim grafiğinden sadece kanserli ve sağlıklı odun unlarının kullanıldığı grupların yoğunluk değerlerinin birbirine çok yakın olduğu, kupula kullanılan gruplarda ise yoğunluk değerleri odun unları kullanılan gruplara göre daha düşük fakat kontrol gruplarına göre daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Sağlıklı ve kanserli odun ununun birlikte kullanıldığı gruplarda yoğunluk değerleri tek başlarına kullanılan gruplara istinaden hafif bir azalma göstermiştir fakat kupulanın diğer odun unları ile birlikte kullanıldığı gruplarda ise kupulanın tek başına kullanıldığı grubun yoğunluk değerlerine yakın sonuçlar sergilediği görülmüştür.

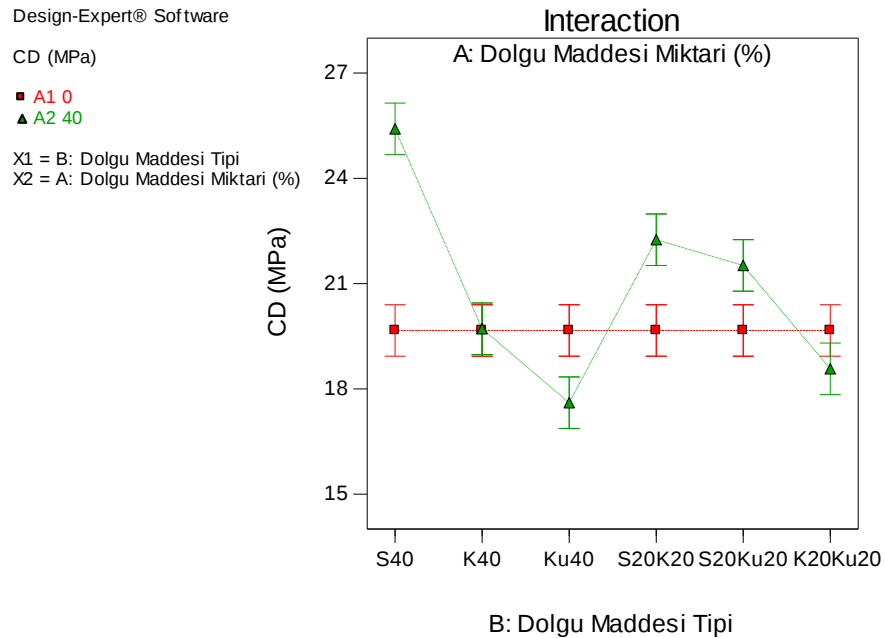
İçerisinde dolgu maddesi içermeyen saf HDPE (Kontrol) örneklerinin ortalama yoğunluk değerleri 0,940 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, kontrol örneklerine kıyasla sırasıyla S40-%15,31, K40-%15,42, Ku40-%9,36, S20K20-%7,96, S20-%12,55, Ku20-%8,82, K20Ku20-%10, luk artışlar meydana gelmiştir. En yüksek ortalama yoğunluk değerleri tek başına kestane odun unlarının (sağlıklı veya kanserli) dolgu maddesi olarak kullanıldığı S40 ve K40 grubunda sırasıyla 1,084 ve 1,085 g/cm³ olarak belirlenmiştir.

Ayrıca sadece kupula kullanılan örneklerin yoğunluk değerlerinde kontrol örneklerine göre %9.36 lık artışla en az artış tespit edilmiştir. Diğer kupulalı karışımlarda da yoğunluk değerlerinin kupulasızlara göre düşük olduğu görülmektedir. Buradan yola çıkılarak kullanılan kupula unlarının kestane odunlarından daha düşük yoğunluk değerlerine sahip olduğu söylenebilmektedir..

4.2. MALZEMELERİN ÇEKME DAYANIMI

Üretilen OPK'ların çekme direnci özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 4.2'de sunulmuştur.

Şekil 4.2: Çekme Direnci Etkileşim Grafiği



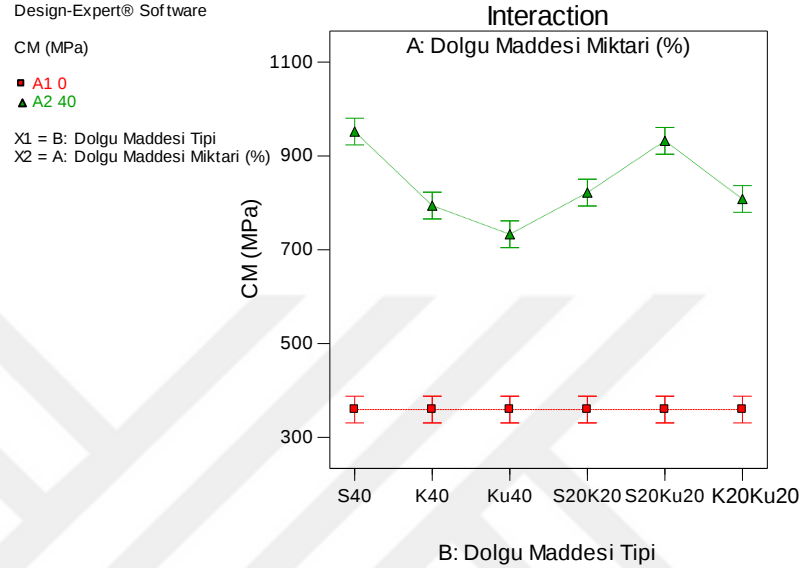
Sadece sağlıklı kestane odun unlarının dolgu maddesi olarak kullanıldığı S40 grubu örneklerinin çekme direnci değerleri kontrol grubu örneklere nazaran belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Bunun yanı sıra kanserli kestane odun unlarının tek takviye

elemanı olarak kullanıldığı K40 grubunda ise kontrol grubu örneklerinin çekme direnci özelliklerine benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bunun aksine sadece kupula unlarının kullanıldığı kompozit örneklerde ise saf HDPE grubuna göre daha düşük bir ortalama çekme direnci değeri elde edilmiştir. Gerçekleştirilen istatistik analiz sonucuna göre kullanılan dolgu maddesi tipinin ($P<0,0001$) ve dolgu maddesi kullanım miktarının ($P=0,0002$) kompozitlerin çekme direnci özellikleri üzerinde önemli bir etkisinin olduğu görülmüştür. Kanserli odun unlarının sağlıklı odun unları ile birlikte kullanıldığı S20K20 grubu örneklerinde S40 grubuna nazaran daha düşük bir ortalama çekme direnci değeri elde edilmiş olsa da kontrol grubuna kıyasla daha yüksek değerler elde edilmiştir. Benzer olarak kupula unlarının sağlıklı odun unları ile birlikte kullanılması ile çekme direnci değerlerinde düşme trendi devam etmiştir. En düşük ortalama çekme direnci değeri kupula unların tek başına kullanıldığı Ku40 grubunda 17,61 MPa olarak belirlenirken en yüksek ortalama çekme direnci değeri ise S40 grubunda 25,41 MPa olarak elde edilmiştir. Kupulanın HDPE esaslı kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak kullanıldığı benzer çalışmalarda kupulanın kullanılması ve kullanım miktarının artması ile birlikte çekme direnci değerlerinin azaldığı raporlanmıştır (Torun, 2019a;Torun, 2019b). Termoplastik esaslı kompozitlerin üretiminde kayın odun unlarının dolgu maddesinin kullanımının çekme direnci değerlerini artırdığı, fakat kayın kupulalarının kayın odun unları ile birlikte ya da tek başına kullanımı ile çekme direnci değerlerinin azaldığı çeşitli çalışmalarla da desteklenmektedir (Şahin ve Başboğa 2023). Bunların yanı sıra, Gündüz ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları çalışmada *Cryphonectria parasitica* 'nın kendi kolonilerini geliştirmek için selüloz ve hemiselülozları karbon kaynağı olarak kullandığını ve sağlıklı Anadolu Kestane odunlarında kanserli olan odun unlarına nazaran daha yüksek oranda selüloz ve hemiselülozun bulunduğunu belirtmişlerdir. Buradan yola çıkarak *Cryphonectria parasitica* 'nın kestane odunlarının selüloz ve hemiselüloz hücrelerine zarar verdiği ve buna istinaden de odun özelliklerinin azaldığı düşünülmektedir. Literatürde, sağlıklı ve kanserli Anadolu kestane odunlarının mekanik özelliklerinin karşılaştırılarak gerçekleştirilen ve kanserli odunların sağlıklı odunlara nazaran daha düşük mekanik özellikler sergilediğini bildiren benzer çalışma bulunmaktadır (Başboğa vd., 2023). Bu bilgiler ışığında daha düşük mekanik özellikler gösteren kanserli odunlar ile kompozit üretiminde de sağlıklı odunlar ile üretilen kompozitlere istinaden daha düşük sonuçlar gösterdiği düşünülmektedir. Ayrıca, yapılan önce ki bir çalışmada sağlıklı Anadolu kestanesi odunlarının lif ve trahe uzunluklarının kanserli odunlarına göre daha uzun olduğu ve dolayısıyla daha iyi mekanik ve fiziksel özellikler sergileyebileceği

belirtilmiştir (Oral, 2006). Elde edilen sonuçlar literatür ile benzerlik göstermektedir.

Üretilen OPK'ların çekmede elastikiyet modülü özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 4.3'te verilmiştir.

Şekil 4.3: Çekmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafiği

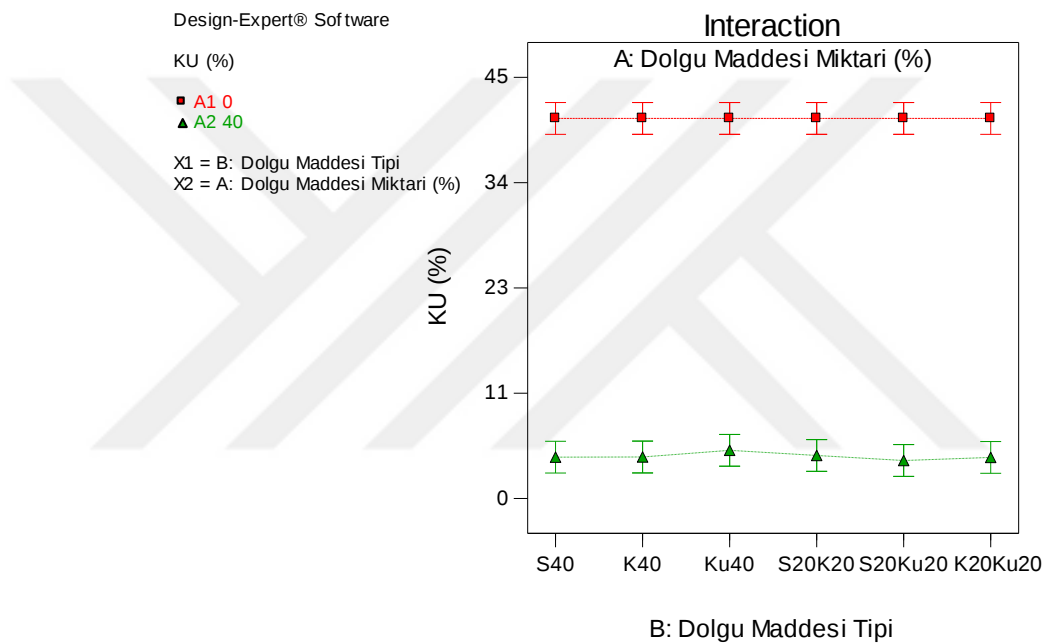


Şekil 4.3'deki OPK'ların çekmede elastikiyet modülü (ÇM) etkileşim grafiği incelendiğinde lignoselülozik dolgu maddelerinin kullanımı ile saf kontrol grubu örneklerine nazaran ÇM değerlerinin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Yapılan Anova analizi sonucunda dolgu maddesi miktarının OPK'ların ÇM özellikleri üzerine önemli derecede etkisinin olduğu belirlenmiştir ($P < 0,0001$). En iyi ortalama ÇM sonuçları (951,94 MPa) sağlıklı kestane odun unlarının tek başına kullanıldığı kompozit grubunda elde edilmiştir. Dolgu maddelerinin karıştırılmadan kullanıldığı gruplarda sırasıyla en yüksek ortalama ÇM değerlerini K40 (794,13 MPa) ve Ku40 (732,96 MPa) grupları göstermiştir. Yapılan istatistik analiz sonucunda dolgu maddesi tipinin OPKların ÇM özellikleri üzerine önemli derecede etkisinin olduğu görülmüştür ($P < 0,0001$). Benzer sonuçlar, diğer lignoselülozik unların dolgu maddesi olarak kullanıldığı polimer kompozit sistemleri için de literatürde rapor edilmiştir (Wang vd., 2003; Qiu vd., 2004; Mengeloğlu vd., 2007; Santiago vd., 2012; Kakroodi vd., 2013; Pang ve İsmail, 2014; Şahin ve Başboğa, 2023). Lignoselülozik dolgu maddeleri, genellikle polimer matrislere kıyasla daha yüksek elastikiyet modülüne sahiptir. Bu özellik, söz konusu dolgu maddelerinin kompozit sistemlerde sertlik ve rijitlik gibi mekanik özellikleri artırma potansiyelini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, lignoselülozik dolgu katkısı ile üretilen

OPK'ların, saf polimerlere göre daha yüksek elastikiyet modülüne sahip olduğu bildirilmektedir (Mengeloğlu ve Karakuş, 2008). Bu durum, literatürde “karışım kuramı” (mixture theory) çerçevesinde açıklanmakta olup, dolgu maddesi ve matris fazı arasındaki modül farklarının kompozit performansı üzerindeki etkisini vurgulamaktadır (Matuana ve Balatinecz, 1998; Mengeloğlu ve Karakuş, 2008).

Üretilen OPK'ların kopmada uzama özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 4.4'te verilmiştir.

Şekil 4.4: Kopmada Uzama Etkileşim Grafiği



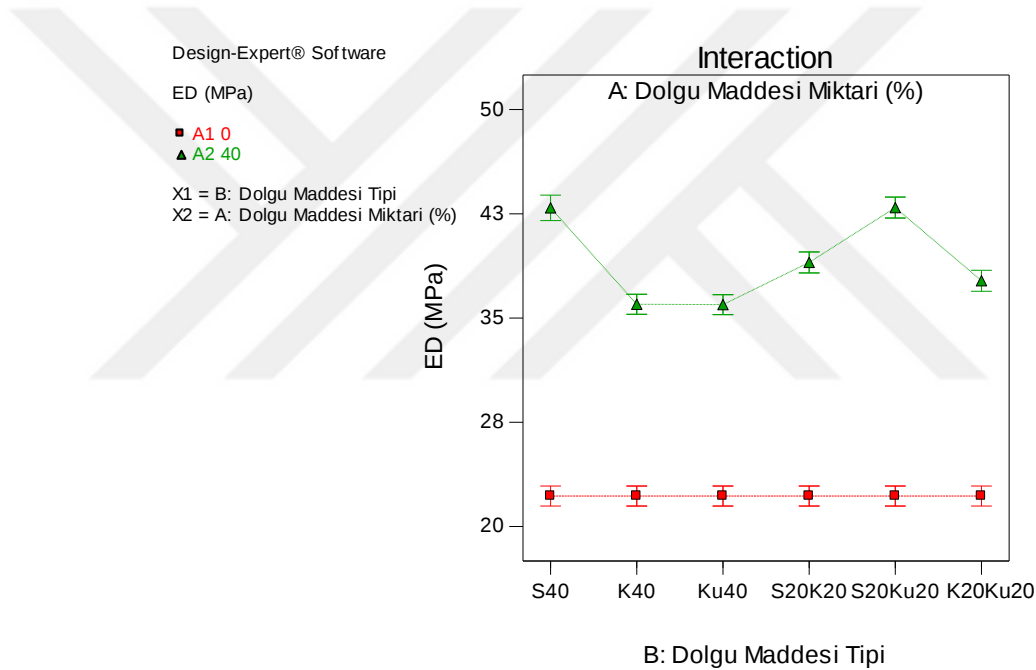
Şekil 4.4'teki kopmada uzama etkileşim grafikleri ele alındığında lignoselülozik dolgu maddesinin HDPE matris içerisinde kullanımı ile kopmada uzama değerleri belirgin bir şekilde düşmüştür. Dolgu maddesinin kullanımının üretilen OPK'ların kopmada uzama özellikleri üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu görülmüştür ($P < 0,0001$). HDPE gibi plastiklere lignoselülozik dolgu maddesi ilavesi ile matrisin sünekliğini ve yumuşaklığını belirgin şekilde azaltmıştır. Bu durum, matrisin mekanik davranışlarında sertlik yönünde bir değişime yol açmıştır. Yani, daha sert ama daha kırılğan bir yapı elde edilmiştir. Nitekim, lignoselülozik içeriği artan kompozit sistemlerde elastikiyet modülünün yükseldiği, buna karşılık kopmada uzama değerlerinin azaldığı literatürde sıklıkla rapor edilmiştir (Sain ve Panthapulakkal, 2006). Bu durum, kompozitin daha rijit fakat daha az deformasyona uğrayabilir bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, doğaya daha uyumlu malzemeler geliştirilirken karşılaşılan

temel denge sorunlarından biridir. Bunun yanı sıra, farklı dolgu maddeleri ve bunların karışımlarının kullanılması ile elde edilen kompozit grupların kopmada uzama değerleri birbirlerine yakın aralıklarda gözlemlenmiştir. Yapılan Anova analizi sonucunda dolgu maddesi tipinin kopmada uzama özellikleri üzerinde önemli derecede etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir ($P=0.9988$).

4.3. MALZEMELERİN EĞİLME DİRENCİ VE ELASTİKİYET MODÜLÜ

Üretilen OPK'ların eğilme direnci özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 4.5'te verilmiştir.

Şekil 4.5: Eğilme Direnci Etkileşim Grafiği

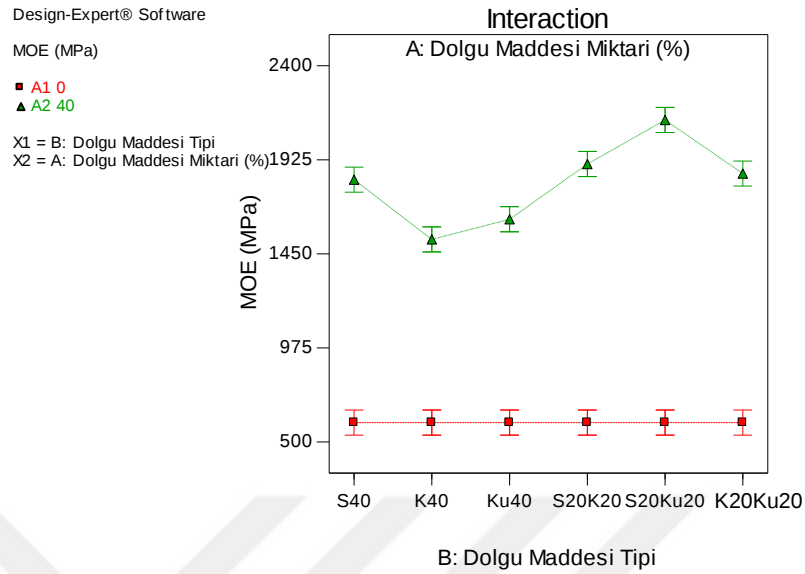


Şekil 4.5'deki Eğilme direnci etkileşim grafiği incelendiğinde lignoselülozik dolgu matrisinin kullanımı ile ED değerlerin gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. Dolgu maddesi miktarının (kullanımının) OPK'ların ED özellikleri üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu görülmektedir ($P<0,0001$). En iyi ED değerleri sağlık kestane odun unlarının tek başına kullanımı (S40 grubunda 41,15 MPa) ve kupula ile birlikte kullanımı (S20Ku20 grubunda 41,77 MPa) ile üretilen OPK gruplarından elde edilmiştir. Üç farklı dolgu maddesinin tek başına kullanıldığı gruplarda en iyi sonuç S40 grubu örneklerden elde edilirken K40 (35,99 MPa) ve Ku40 (35,96 MPa) gruplarında birbirlerine çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kanserli odun unlarının ve kupula unlarının sağlıklı odun unları ile birlikte kullanımı ile tek başlarına kullanımlarına nazaran

daha iyi ED değerleri elde edilmiştir. Burada çekme direnci özelliklerine benzer olarak *Cryphonectria parasitica* 'nın kestane odununun yapı taşları olan selüloz ve hemiselülozlara zarar verdiği ve dolayısıyla daha zayıf mekanik özelliklere sahip olan kanserli odun unlarının OPK'lar içerisinde de daha zayıf dayanım göstererek sağlıklı olan odun unlarına nazaran daha düşük ED özellikleri sergilediği düşünülmektedir. Literatürde, sağlıklı ve kanserli Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odunlarının mekanik özelliklerinin karşılaştırıldığı ve kanserli odunların, sağlıklı örneklerle kıyasla daha düşük mekanik performans sergilediğini ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Başboğa vd., 2023). Bu bağlamda, kompozit üretiminde kullanılan kanserli odun hammaddesinin, sağlıklı odunlara kıyasla daha düşük mekanik değerlere sahip kompozitler oluşturduğu düşünülmektedir. Nitekim, daha önce yapılan bir çalışmada da sağlıklı Anadolu kestanesi odunlarının lif ve trake uzunluklarının, kanserli odunlara göre daha fazla olduğu ve bu yapısal farkın, sağlıklı odunlardan elde edilen kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumlu yönde etkileyebileceği belirtilmiştir (Oral, 2006). Bu çalışmadan elde edilen bulguların, literatürdeki verilerle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen ANOVA analizi sonuçlarına göre, dolgu maddesi tipi, OPK'ların ED özellikleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkiye sahiptir ($P = 0,0004$). Bu sonuç, farklı dolgu malzemelerinin kompozitlerin mekanik performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Önceki çalışmalarda, çeşitli doğal liflerin polimer kompozitlerin belirli mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve lignoselülozik dolgu oranının artışıyla birlikte kompozitlerin eğilme direnci değerlerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir (Yang vd., 2007; Karmarkar vd., 2007; Yuan vd., 2008). Bu çalışmadan elde edilen veriler, literatürde bildirilen bulgularla uyum göstermektedir. Poliolefin esaslı plastik kereste döşeme elemanları için geçerli olan ASTM D6662 standardı, minimum eğilme direnci değerini 6,9 MPa olarak belirlemektedir. Bu çalışma kapsamında üretilen tüm kompozit numuneler, bu standart değer oldukça üzerinde eğilme dayanımı sergilemiş ve 35,96 MPa ile 41,77 MPa arasında değişen sonuçlar elde edilmiştir.

Üretilen OPK'ların eğilmede elastikiyet modülü özelliklerine ait etkileşim grafikleri Şekil 4.6'da sunulmuştur.

Şekil 4.6: Eğilmede Elastikiyet Modülü Etkileşim Grafiği

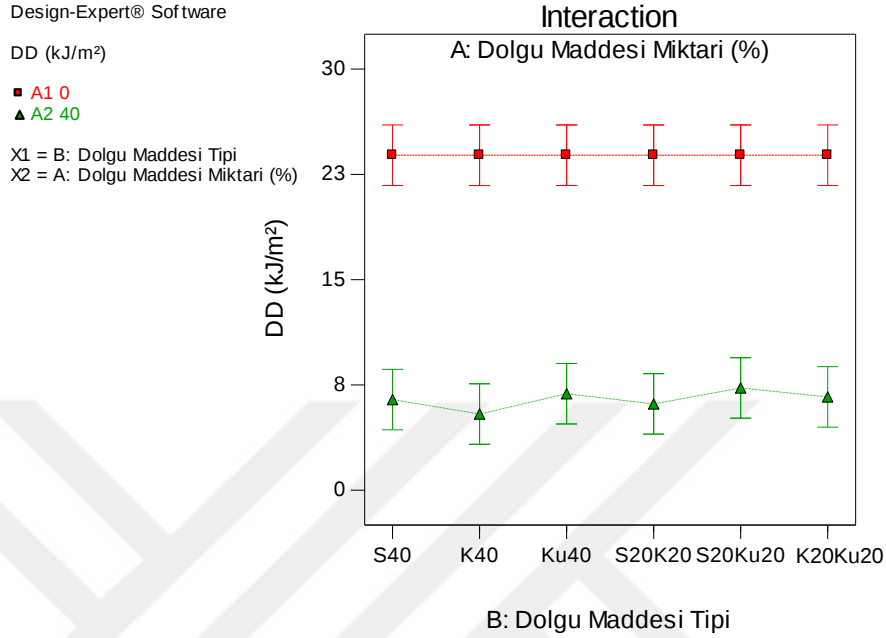


Etkileşim grafiği incelendiğinde OPK'ların MOE özelliklerinin ED özellikleri ile paralel sonuçlar gösterdikleri gözlenmektedir. Lignoselülozik dolgu maddelerinin matris içerisinde kullanımı ile MOE değerlerinin kontrol grubuna göre çok daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan istatistik analiz sonucunda dolgu maddesi miktarının ve tipinin MOE özellikleri üzerinde önemli derecede etkisinin olduğu belirlenmiştir ($P < 0,0001$). Poliolefin esaslı plastik kereste döşeme ürünleri için ASTM D6662 standardına göre minimum MOE değeri 340 MPa (50.000 psi) olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında üretilen tüm kompozit gruplarında ise, söz konusu standardın gerekliliklerinin çok üzerinde MOE değerleri elde edilmiştir. Elde edilen MOE değerleri 1523,01 MPa (K40) ile 2125,99 MPa (S20Ku20) arasında değişmektedir. Bu sonuçlar, kompozitlerin yüksek rijitlik ve mekanik performans sergilediğini göstermektedir.

4.4. MALZEMELERİN DARBE DAYANIMI DEĞERLERİ

Üretilen OPK'ların darbe direnci özelliklerine ait etkileşim grafiği Şekil 4.7'de sunulmuştur.

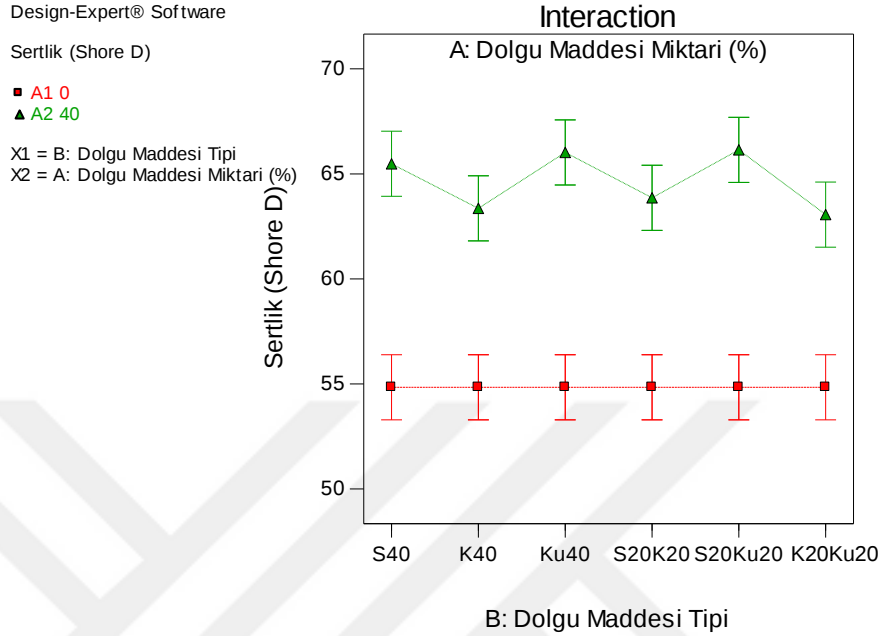
Şekil 4.7: Darbe Direnci Etkileşim Grafiği



Lignoselülozik dolgu maddelerinin OPK'ların darbe direnci (DD) değerlerine etkisini ortaya koyan etkileşim grafiği verilmiştir. Darbe direnci özelliklerine ilişkin etkileşim grafiği incelendiğinde, dolgu maddesi kullanımının darbe dayanımı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin bulunduğu tespit edilmiştir ($P < 0,0001$). Ancak, kullanılan dolgu maddesinin türü açısından anlamlı bir farklılık gözlenmemiştir ($P = 0,9936$). Lignoselülozik dolgu maddesinin ilavesi, kompozitlerin darbe direnci değerlerinde belirgin bir azalmaya neden olmuştur. Bu durum, lignoselülozik dolgunun darbe emici özellikleri olumsuz yönde etkileyebileceğini göstermektedir. OPK'ların sertlik özellikleri dikkate alındığında, bu durumun darbe dayanımı (DD) sonuçlarıyla tutarlı olduğu görülmektedir. Lignoselülozik dolgu maddelerinin farklı oran ve kombinasyonlarda polimer matrisine dahil edilmesi, kompozitlerin daha sert ve rijit bir yapıya kavuşmasına neden olmuştur. Ancak bu artan rijitlik, malzemelerin kırılganlığını da artırmış; dolayısıyla darbe dayanımı üzerinde olumsuz bir etki oluşturarak bu özelliğin azalmasına yol açmıştır.

Üretilen OPK'ların sertlik değerlerine ait etkileşim grafiği Şekil 4.8'de sunulmuştur.

Şekil 4.8: Sertlik Özellikleri Etkileşim Grafiği



Sertlik değerlerine ait etkileşim grafiği incelendiğinde polimer matris içerisine lignoselülozik dolgu maddesinin eklenmesi ile kompozit malzemelerin sertlik değerlerinin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. Kontrol grubu örneklerinin ortalama sertlik değerleri 54,84 gözlemlenirken, lignoselülozik dolgu maddesi ile katkılanan OPKların en düşük ortalama sertlik değeri 63,06 (K20Ku20) belirlenirken en yüksek 66,14 (S20Ku20) olarak belirlenmiştir. Şekil 4'teki etkileşim grafiği irdelendiğinde lignoselülozik dolgu maddesinin kullanıldığı kompozitlerin sertlik değerlerinin kontrol grubuna nazaran daha yüksek olduğu fakat katkılı kompozitler kendi içerisinde bakıldığında ise sertlik değerlerinin birbirine yakın aralıklarda olduğu görülmektedir. Yapılan Anava analizinde lignoselülozik dolgu maddesinin kullanımının sertlik değerleri üzerine önemli derecede etkisinin olduğu ($P < 0,0001$), fakat kullanılan lignoselülozik dolgu maddesi tipinin ise önemli derecede sertlik değerleri üzerinde etkisinin olmadığı ($P = 0,5501$) belirlenmiştir. Literatürde, lignoselülozik dolgu maddesi kullanılarak üretilen termoplastik bazlı kompozitlerde sertlik değerlerinin arttığını bildiren benzer çalışmalar bulunmaktadır (Çavuş ve Mengeloğlu, 2017; Başboğa vd., 2020; Şahin ve Başboğa, 2023).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, *Cryphonectria parasitica* enfeksiyonu nedeniyle kanserli hale gelmiş Anadolu kestanesi (*Castanea sativa* Mill.) odun unları ile kestane kupulalarının, yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) esaslı odun plastik kompozitlerinde (OPK) dolgu maddesi olarak kullanımının, elde edilen kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Karşılaştırmalı analiz yapılabilmesi amacıyla, katkısız saf HDPE ile sağlıklı Anadolu kestanesi odun unu içeren kompozit örnekleri de kontrol grubu olarak üretilmiştir. Tüm OPK örneklerinin üretimi başarıyla tamamlanmış; mekanik ve fiziksel karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

1. ASTM D 6662 (2001) standardı, poliolefin bazlı plastik kereste döşeme tahtaları için minimum 6,9 MPa (1.000 psi) eğilme direnci ve 340 MPa (50.000 psi) MOE değeri istenmektedir. Bu çalışmada üretilen tüm kompozitler standardın gerektirdiğinin üzerinde eğilme mukavemeti (35,96 ile 41,77 MPa) ve MOE (1523,01 ile 2125,99 MPa) değerleri sağlamıştır.

2. Genel değerlendirme sonucunda, yalnızca sağlıklı Anadolu kestanesi odununun dolgu maddesi olarak kullanıldığı kompozit gruplarının, mekanik özellikler bakımından en yüksek performansı sergilediği belirlenmiştir.

3. Tüm dolgu türlerinin kullanıldığı kompozit gruplarının mekanik performansı, çekme dayanımı, kopmada uzama ve darbe direnci hariç olmak üzere, katkısız kontrol grubu örneklerine kıyasla daha üstün bulunmuştur. Özellikle kupula içeren kompozit grubu hariç tutulduğunda, tüm grupların çekme dayanımı açısından ya kontrol grubu ile benzer sonuçlar verdiği ya da bu değerlerin üzerine çıktığı gözlemlenmiştir.

Sonuçlar doğrultusunda, kupula, kanserli ve sağlıklı kestane odun unlarının yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) esaslı kompozit üretiminde dolgu maddesi olarak başarıyla kullanılabilirdiği belirlenmiştir. Ancak, kupulanın tek başına kullanıldığı kompozitlerde bazı mekanik özelliklerde düşüşler gözlemlenmiştir. Kompozit malzemeler genel olarak, kullanım amacına ve performans gereksinimlerine uygun özelliklerin kazandırıldığı mühendislik ürünleri olarak tanımlanır. Bu bağlamda, yüksek mekanik performans gerektirmeyen, maliyetin ön planda olduğu uygulamalarda; kupula, kanserli ve sağlıklı kestane odun unlarının belirli oranlarda birlikte kullanımı

uygun bir strateji olabilir. Dolayısıyla kompozit tasarımında temel unsur, kullanım amacı ve hedef performans kriterlerinin net olarak tanımlanmış olmasıdır.



KAYNAKÇA

- Aslan, M. (2008). Odun plastik kompozitlerinde geri dönüşüm ve atık malzeme kullanımı. In Y.S. Gültekin & M. Aydoğdu (Eds.), *Ulusal Orman Fakülteleri Öğrencileri Kongresi Bildiriler Kitabı* (pp. 63–68). Tubitak. <https://www.researchgate.net/publication/311308135>
- Atasoy, E., & Altıngöz, Y. (2013). Dünya ve Türkiye’de kestanenin önemi ve üretimi. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, 1(22), 1–13.
- American Society for Testing and Materials. (2001). Standard specification for polyolefin-based plastic lumber decking boards. (Publication No: D6662-22). West Conshohocken, PA, USA. (ASTM D6662).
- American Society for Testing and Materials. (2008). Standard test methods for density and specific gravity (relative density) of plastics by displacement. (Publication No: D792-20). West Conshohocken, PA, USA. (ASTM D792).
- American Society for Testing and Materials. (2010a). Standard test for determining the izod pendulum impact resistance of plastics. (Publication No: D256-10R18). West Conshohocken, PA, USA. (ASTM D256).
- American Society for Testing and Materials. (2010b). Standard test for tensile properties of plastics. (Publication No: D638-19). West Conshohocken, PA, USA. (ASTM D638).
- American Society for Testing and Materials. (2017). Standard test method for rubber property-durometer hardness. (Publication No: D2240-15R21). West Conshohocken, PA, USA. (ASTM D2240).
- Atar, İ., Başboğa, İ. H., Karakuş, K. & Mengeloğlu, F. (2016). The effect of the thermoplastik starch on the mechanical properties of High Density Polyethylene (HDPE) Based Polymer. *Composite European Journal of Echnique (EJT)*, 6(2), 131–137.
- Ay, İ. (2025, 01 Haziran). *Termoplastik ve termoset plastikler*. Balıkesir Üniversitesi. Erişim adresi: <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/pm/plastikte.mek2.pdf>

- Başboğa, İ. H. (2015). Utilization of red pine wood residue in the manufacture of thermoplastic based polymer composites. *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 14(2), 1005–1015.
- Başboğa, İ. H., Karakuş, K., Atar, İ., Bozkurt, F. & Mengeloğlu, F. (2017). Effects of processing methods, dop amount and filler content on the mechanical properties of recycled polyvinyl chloride (pvc) composites. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(2), 9–15.
- Başboğa, İ. H., Kılıç, İ., Atar, İ. & Mengeloğlu, F. (2022). Tropik ağaç türü olan dahoma (*Piptadeniastrum africanum*) odununun odun plastik kompozit üretiminde kullanımı. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, 9(Özel Sayı), 271–280.
- Başboğa, İ. H., İlkay, A. T. A. R., Karakuş, K., Özcan, Y. Ü. C. E. & Mengeloğlu, F. (2018). Effectiveness of melamine impregnated paper (MIP) waste as an adhesive in particleboard manufacturing. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 18(3), 292–303.
- Başboğa, İ. H., Atar, İ., Karakuş, K. & Mengeloğlu, F. (2020). Determination of some technological properties of injection molded pulverized-HDPE based composites reinforced with micronized waste tire powder and red pine wood wastes. *Journal of Polymers and the Environment*, 28, 1776–1794.
- Bitkimanıa. (2025, 25 Haziran). *Kestane Ağacı*. [Fotoğraf]. Erişim adresi: <https://www.bitkimanıa.com/wp-content/uploads/2021/01/Kestane-Ag%CC%86aci-768x510.jpeg>
- Bledzki, A. K., Reihmane, S., & Gassan, J. (1998). Thermoplastic reinforced with wood fillers: A literature review. *Polymer Plastic Technology and Engineering*, 37(5–6), 451–468.
- Bozkurt, Y., Yaltırık, F., & Özdönmez, M. (1982). *Türkiye’de orman yan ürünleri* (1. Baskı). İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.
- Clemons, C. (2002). Wood-plastic composites in the United States : the interfacing of two industries. *Forest Product Journal*, 52(6), 10–18.
- Çakıroğlu, E. O., Aydın, İ. & Demir, A. (2018). Karadeniz’e kıyısı olan ülkelerden ithal edilen huş ve yerli kayın tomruklarından üretilen kontrplakların mekanik

- özelliklerinin karşılaştırılması. *Karadeniz Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, 4(6), 353–359.
- Çavuş, V. (2017). *Farklı erime akış indeksine sahip polipropilen esaslı ahşap polimer kompozitlerin özelliklerinin belirlenmesi*. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Çavuş, V. & Mengeloğlu, F. (2017). The effect of lignocellulosic filler types and concentrations on the mechanical properties of wood plastic composites produced with polypropylene having various melt flowing index (MFI). *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(8), 994–999.
- Erdem, S. & Yatağan, S. (2014, Nisan). *Çatıda kullanılan polikarbonat levhaların analizi*. 7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Beşiktaş, İstanbul. <https://www.b2bmedya.com/ekitap/pdf/7nci-ulusal-cati-ve-cephe-sempozyumu-bildiriler-kitabi-2014.pdf>
- Erdin, N., & Köse, C. (2003). *Cryphonectria parasitica* (Murr.) Barr. ve hipovirulent ırk. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri B*, 52–53(2), 23–40
- Erdin, N., & Bozkurt, A. Y. (2013). *Odun anatomisi* (İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No. 5145/506). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). (2005). *Dryocosmus kuriphilus*. In Data sheets on quarantine pests. *EPPO Bulletin*, 35(3), 422–424. Retrieved from: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2338.2005.00849.x>
- Hadjipanayiotou, N. (2002). *Post-harvest handling and storage of chestnuts*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 174. Retrieved from: <https://www.fao.org/3/ac645e/ac645e.pdf>
- John, M. J., & Thomas, S. (2008). Biofibres and biocomposites. *Carbohydrate polymers*, 71(3), 343–364.
- Karakuş, K. (2008). *Üniversitemizdeki polietilen ve polipropilen atıkların polimer kompozit üretiminde değerlendirilmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karakuş, K., Başboğa, H. İ., & Mengeloğlu, F. (2014, Ekim). *Termoplastik esaslı polimer kompozitlerin üretilmesinde orman budama atıklarının değerlendirilmesi*. II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 801–807, Isparta, Türkiye.

- Karmarkar, A., Chauhan, S. S., Modak, J. M., & Chanda, M. (2007). Mechanical properties of wood–fiber reinforced polypropylene composites: Effect of a novel compatibilizer with isocyanate functional group. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(1), 227–233.
- Killough, M. J. (1995, May 1-3). The plastics side of the equation. In *Proceedings of Woodfiber–Plastic Composites Conference*, 7293, 7–15, Madison, WI, USA.
- Kocaoğlu, İ. (2021, Mart 24). *Kompozit malzemeler sektörü ve Türkiye'nin durumu*. Erişim Adresi: <https://kalkinmaguncesi.izka.org.tr/index.php/2021/03/24/kompozit-malzemeler-sektoru-ve-turkiyenin-durumu>
- Koç, V., & Demirel, M. (2019). Epoksi reçine-MgO polimer matrisli kompozit malzemelerin üretilmesi ve pin on disk abrasiv aşınma özelliklerinin incelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(1), 1–10.
- Korucu, T., & Mengeloglu, F. (2007). Potentials of agricultural residues as raw materials and their alternative usage possibilities in Turkey. In *Proceedings of the 24th National Agricultural Mechanization Congress*, Kahramanmaraş, Türkiye.
- Leblebici, B., & Asi, O. (2022). Pultrüzyon yöntemi ile üretilen kompozit malzemelerin sıcaklık şoku testi sonucunda mekaniksel özelliklerinin incelenmesi. *Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1–10.
- Matuana, L. M., & Balatinecz, J. J. (1998). Effect of Surface properties on the Adhesion between PVC and Wood Veneer Laminates, *Polymer Engineering & Science*, 38(5), 765–773.
- Matuana, L. M., & Mengeloğlu, F. (2002). Manufacture of rigid PVC/wood-flour composite foams using moisture in wood as foaming agent, *Journal of Vinyls and Additive Technology*, 8(4), 264–270.
- Mengeloğlu, F., & Karakuş, K. (2008). Some properties of eucalyptus wood flour filled recycled high density polyethylene polymer composites. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32, 537–546.
- Mengeloğlu, F., & Çavuş, V. (2020). Effect of wood particle size on selected properties of neat and recycled wood polypropylene composites. *BioResources*, 15(2), 3427–3442.
- Odun Araştırma Enstitüsü. (1985). *Odun plastik kompozit (OPK) üretimi*, Odun Araştırma

Enstitüsü Yayınları.

Oral, M. A. (2006). *Anadolu kestanesinin sağlıklı ve hastalıklı odunlarının bazı anatomik ve fiziksel özellikleri* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Orman Genel Müdürlüğü. (2013). *Kestane Acil Eylem Planı 2013–2017* (1. Baskı). Ankara: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.

Özçağırın, R. (2007). *Ilıman İklim Meyve Türleri: Sert Kabuklu Meyveler*. İzmir: Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları.

Özdemir, F., Serin, Z. O., & Mengeloğlu, F. (2013). Utilization of red pepper fruit stem as reinforcing filler in plastic composites. *BioResources*, 8(4), 5299–5308.

Pang, A. L., & Ismail, H. (2014). Influence of kenaf form and loading on the properties of kenaf-filled polypropylene/waste tire dust composites: A comparison study. *Journal of Applied Polymer Science*, 131(1), 2–7.

Pearce, D. W., & Pearce, C. G. T. (2001). *The value of forest ecosystems*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Retrieved from: <https://www.fao.org/3/x8955e/x8955e00.htm>

Polietilen (2021, Ekim 11). Erişim Adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polietilen>.

Polipropilen (2021, Nisan 21). Erişim Adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polipropilen>.

Polistiren (2020, Nisan 24). Erişim Adresi: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Polistiren>.

Polivinil Klorür (2022, Kasım 10). Erişim Adresi: <http://www.berpaltd.com/tr/teknik-bilgi/polivinil-klorur-pvc>.

Qiu, W., Endo, T., & Hirotsu, T. (2004). Interfacial interactions of a novel mechanochemical composite of cellulose with maleated polypropylene. *Journal of Applied Polymer Science*, 94(3), 1326–1335.

Kakroodi, A., Kazemi, Y., & Rodrigue, D. (2013). Mechanical, rheological, morphological and water absorption properties of maleated polyethylene/hemp composites: Effect of ground tire rubber addition. *Composites Part B: Engineering* 51, 337–344.

Rowell, R. M. (2006). Advances and challenges of wood polymer composites. In Mohd N. M. Yusoff, K. M. Poh. M. D. Jantan, W. A. Ibrahim, M. Saleh, R. Rusli, R.

- Hashim, J. Kasim, P. M. Tahir, (Eds.) *Proceedings of the 8th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium* (pp. 2–11). Forest Research Institute Malaysia.
- Saatçioğlu, F. (1969). *Silvikültür I: Silvikültürün biyolojik esasları ve prensipleri* (İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No. 1429; Fakülte Yayın No. 138). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Sain, M. & Panthapulakkal, S. (2006). Bioprocess preparation of wheat straw fibers and their characterization. *Industrial Crops and Products*. 23(1), 1–8.
- Santiago, R., Ismail, H. & Hussin, K. (2012). Effects of acetic anhydride on the properties of polypropylene (PP)/recycled acrylonitrile butadiene (NBRr)/rice husk powder (RHP) composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 51(14), 1505–1512.
- Sarıbıyık, M. (2013). Hafif yapı tasarımında pultrüzyon metodu ile üretilen cam elyaf takviyeli plastiklerin kullanılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1), 199–207.
- Soylu, A. (1981). *Marmara Bölgesinde yetiştirilmekte olan bazı önemli kestane çeşitlerinin çiçek yapıları ve meyve tutmaları üzerine araştırmalar* (Yayınlanmamış doktora tezi). Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü.
- Soylu, A. (1984). *Kestane yetiştiriciliği ve özellikleri* (Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü Yayın No. 59). Yalova: Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Araştırma Enstitüsü.
- Soylu, A. (2004). *Kestane yetiştiriciliği ve özellikleri* (2. Baskı). İstanbul: Hasad Yayıncılık.
- Steckel, V., Clemons, C. M., & Thoemen, H. (2009). Effects of material parameters on the diffusion and sorption properties of wood four/polypropylene composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 113(1), 752–763.
- Subaşı, B. (2004). *Kestane sektör profili*. İstanbul: İstanbul Ticaret Odası Etüt ve Araştırma Şubesi. Erişim Adresi: <https://www.ito.org.tr/Dokuman/Sektor/1-55.pdf>
- Süinanç, Ö. F. (2007). *Odun plastik kompozitlerin üretimi, özellikleri ve kullanım yerleri üzerine araştırmalar*. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Tufan, M. & Mengeloğlu, F. (2010). Odun plastik kompozitleri ve ülkemizde odun plastik kompozit üretiminde kullanılabilecek hammaddeler üzerine genel bir değerlendirme. *III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi*, 4, (1658–1664). Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi.
- Wang, Y., Yeh, F. C., Lai, S. M., Chan, H.C. & Shen, H.F. (2003). Effectiveness of functionalized polyolefins as compatibilizers for polyethylene/wood flour composites. *Polym Eng Sci.* 43, 933–945.
- Yaldızcı, E. Ş., Avcı, B., Bağış, C., Bozkurt, F., Başboğa, İ. H., & Mengeloğlu, F. (2015). Polyester esaslı kompozit malzeme üretilmesinde kumaş atıklarının değerlendirilmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 14(2), 555–560.
- Yaltırık, F. (1993). *Dendroloji Ders Kitabı II: Angiospermae (Kapalı Tohumlular)* (1. Baskı). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi.
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D.H., & Zheng, C. (2007). Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. *Fuel*. 86(12-13), 1781–1788.
- Yang, H. S., Wolcott, M. P., Kim, H. S., Kim, S., & Kim, H. J. (2007). Effect of different compatibilizing agents on the mechanical properties of lignocellulosic material filled polyethylene bio-composites. *Compos Struct.* 79, 369–375.
- Yazıcı, H. (1998). *Ahşap tekne yapımında kullanılan ve doğal olarak eğri büyümüş kestane (Castanea sativa Mill.) ağaçlarının bazı fiziksel ve mekaniksel özellikleri* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yılmaz, H. (2014). Morphological and molecular comparison of selected chestnut (*Castanea sativa* Mill.) genotypes from Black Sea Region of Turkey. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(1), 54–62.
- Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., & Bateman, S. (2008). Wood fiber reinforced polyethylene and polypropylene composites with high modulus and impact strength. *Journal of Thermoplast Compos Mater.* 21(3), 195–208.

DİZİN

-A-

Anadolu kestanesi.....4, 5, 12, 30, 31,
42, 45, 49, 54

-Ç-

çekme direnci.....5, 12, 28, 38, 40, 41,
45, 58

çekmede elastikiyet modülü..... 38, 42,
58

-D-

darbe direnci... 14, 27, 35, 38, 46, 47, 49

-E-

Eğilme direnci...., 5, 12, 25, 28, 34, 35,
38, 45, 49, 58

Ekstrüder 9, 12

Epoksi Reçine..... 11, 17, 24, 54

-F-

Fenolik Reçine 8, 18

-K-

Kayınv, ,1, 18, 19, 20, 25, 41

Kestanev,1, 2, 3, 4, 8, 9, 12, 19, 20, 21,
22, 30, 31, 32, 40, 41, 42, 44, 45, 49, 50,
52, 56

kestane kupulası.....1, 2, 3, 4, 5

kestane odunu.....5, 45

kompozitv,2, 3, 6, 7,8, 9 11, 17, 23, 25,
26, 27, 29, 31, 33, 48, 49, 50

kopmada uzamav,....5 ,12, 26, 28, 34,
38, 43, 44, 49

kupulav,.... 4, 30, 32, 38, 39, 40, 41, 45,
49, 50

kupula unlarıv,..... 38, 40, 41, 45

lignoselülozikv,.....2, 30, 31, 36, 38,
39, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48,

-M-

MAPP28

-O-

OPKv, 1, 2, 3, 6, 7, 10, 14, 24, 25, 28, 30,
34, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47
,48, 49, 54

-P-

PC.....5, 6, 14, 15, 26

PE4, 12, 24

PEEK.....5

PE.....1, 14, 15, 16, 21, 30

polietereterketon.....5

Polietilen.....5, 6, 14, 15, 25, 26, 30, 49

Polietilen Tereftalat 14, 15

Polikarbonat5, 14, 15, 16, 26, 27

Polipropilen5, 6, 14, 28

Polistiren.....5, 11, 16

Polivinilklörür 16

Polyester 12, 15, 17, 18

polymer.....6

PPv,..... 4, 6, 14, 18, 19, 20, 21, 25, 28

PS.....5, 6, 11, 14, 16, 22, 25, 30,
31, 32, 45, 46, 49

pultruzyon..... 12, 13

PVC 6, 14, 16, 17, 27

-R-

Reçine transfer kalıbı 12

-T-

Termoplastik 2, 5, 9, 10, 11, 13, 14,
15, 25, 26, 28, 30, 34, 41, 48

Termoset 5, 9, 11, 13, 17, 18, 24

Thermoforming 10

-Y-

yoğunluk ve sertlik v