



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AHŞAP H₂O KİRİŞLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

HAZIRLAYAN
FAHRETTİN YILMAZ

DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. SAADETTİN MURAT ONAT

BARTIN-2018



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AHŞAP H₂O KIRIŞLARIN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Fahrettin YILMAZ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT - Bartın Üniversitesi
Üye : Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ - Bartın Üniversitesi
Üye : Yrd. Doç. Dr. Hikmet YAZICI - Bülent Ecevit Üniversitesi

BARTIN-2018

KABUL VE ONAY

Fahrettin YILMAZ tarafından hazırlanan “AHŞAP H2O KİRİŞLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma, 26.01.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat (ONAT Danışman)

Üye : Doç. Dr. Gökhan GÜNDÜZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hikmet YAZICI

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT danışmanlığında hazırlamış olduğum “AHŞAP H₂O KİRİŞLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

İmza

26.01.2018

Fahrettin YILMAZ

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında bana yardımcı olan ve çalışma süresince beni yönlendiren tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT' a ve eğitim hayatım boyunca bana destek olan aileme teşekkür ederim.

Fahrettin YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AHŞAP H20 KİRİŞLERİN ÜRETİM PARAMETRELERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Fahrettin YILMAZ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Saadettin Murat ONAT

Bartın-2018, sayfa: XVII + 83

Bu çalışmada farklı tipte kompozit ahşap I-kiriş dizayn edilmiştir. Odun plastik kompozit (OPK), HDF ve yönlendirilmiş yonga levhası (OSB) gibi malzemelerden tasarlanan I-kiriş numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Fiziksel özellikleri incelemesinde; ham malzeme olan OPK (1.560 g/cm^3), HDF (0.663 g/cm^3), OSB (0.586 g/cm^3) ve sarıçamın (0.514 g/cm^3) yoğunluk değerleri bulunmuştur.

OPK, HDF ve OSB'den tasarlanan üç farklı kirişin birleşimlerinde poliüretan (PU) tutkal kullanılmıştır. Bu tasarlanan kirişlerde eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, eğilmede kayma miktarı ve basınç dirençleri araştırılmıştır. Kirişlerde kullanılan yapıştırıcı tipinin eğilme direnci, elastikiyet modülü, eğilmede kayma miktarı ve basınç direnci üzerindeki etkisini araştırmak için, PU tutkalı ve polivinil asetat (PVA) tutkalı kullanılarak OPK'dan tasarlanan kirişler karşılaştırılmıştır.

OPK (7.030 N/mm^2) ile OSB (6.886 N/mm^2)'den tasarlanan kirişlerde eğilme direnci değerleri birbirine yakın, HDF'den (8.770 N/mm^2) tasarlanan kirişin ise eğilme direncinin daha yüksek olduğu belirlendi. Tutkal tipinin etkisi incelemesine göre, PU tutkalın eğilme direncini %78 arttırdığı görülmüştür.

Elastikiyet modülü hesabına göre PU tutkal ile birleştirilen ve gövde elemanı olarak HDF'den tasarlanan kompozit I kirişlerin ortalama eğilmede elastikiyet modülü (339.061 N/mm^2) en düşük olduğu belirlendi. PVA tutkal kullanılarak dizayn edilen kompozit I kirişin elastikiyet modülü (505.598 N/mm^2) ise en yüksek değer olarak bulunmuştur.

Eğilmede kayma direnci miktarlarına bakıldığında OPK (1.025 N/mm^2) ve OSB (1.015 N/mm^2)'nin kullanıldığı kompozit I kirişlerin kayma direnci miktarları birbirine yakın çıkmıştır. HDF'den (1.307 N/mm^2) tasarlanan kompozit I kirişin ise diğerlerine göre eğilmede kayma direnci daha yüksek olduğu saptanmıştır. PU tutkal, PVA tutkal ile karşılaştırıldığında, eğilmede kayma direnç değerini %50 arttırdığı saptanmıştır.

Basınç direnci karşılaştırmasında en yüksek değer OPK (10.157 N/mm^2)'dan tasarlanan kirişlerde çıkmıştır. PU tutkal ve PVA tutkalın basınç direncine etkisi karşılaştırıldığında, birleşimlerde PU tutkal kullanmanın basınç direncine azda olsa etki ettiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Ahşap, I-Kiriş, Odun Plastik Kompozitler, HDF, OSB.

Bilim Kodu

502.15.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF PRODUCTION PARAMETERS ON WOOD H20 BEAMS

Fahrettin YILMAZ

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Forest Industry Engineering

Thesis Advisor: Assist. Prof. Saadettin Murat ONAT

Bartın-2018, pp: XVII + 83

In this study, different types of composite wood I-beams were designed. Physical and mechanical properties of I-beam specimens designed from materials such as wood plastic composite (OPK), HDF and oriented particle board (OSB) have been determined and compared.

According to the examination of physical properties; density values of OPK (1.560 g/cm^3), HDF (0.663 g/cm^3), OSB (0.586 g/cm^3) and seats pine (0.514 g/cm^3) were found.

Polyurethane (PU) glue has been used in combination of three different beams designed from OPK, HDF and OSB. In these designed beams, bending resistance, bending elasticity modulus, bending shear rate and pressure resistance were investigated. In order to investigate the bending strength, modulus of elasticity, shear rate and shear strength of the adhesive used in the beams, beams designed from OPK were compared using PU grafted and polyvinyl acetate (PVA) grafts.

It was determined that the beams with an OPK (7.030 N/mm^2) and an OSB (6.886 N/mm^2) beams had similar bending resistance values, while those with a contoured beam (8.770 N/mm^2) had a higher bending strength. According to the effect of the glue type, it was found

that the PU glue increased the bending resistance by 78%.

The average flexural modulus (339.061 N/mm^2) of the composite I beams joined with PU glue according to the elastic modulus calculation and contoured as trunk element was determined to be the lowest. The modulus (505.598 N/mm^2) of the composite I beam, which is designed using PVA adhesive, was found to be the highest value.

The shear resistance values of composite I beams using OPK (1.025 N/mm^2) and OSB (1.015 N/mm^2) were close to each other when the shear resistance values were evaluated. Composite I beams designed with a contour line (1.307 N/mm^2) were found to have higher slip resistance than the others. PU glue was found to increase the slip resistance value by 50% when compared to PVA glue.

The highest value in pressure resistance comparison was found in beams designed from OPK (10.157 N/mm^2). When the effect of PU glue and PVA glue on the pressure resistance was compared, it was found that using PU glue in the joints had less effect on the pressure resistance.

Key Words

Wood, I-Joists, Wood Plastic Composites, HDF, OSB.

Science Code

502.15.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ.....	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
KISALTMALAR	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 Genel Bilgiler.....	1
1.2 Ahşap I-Kirişler	2
BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1 Materyal	7
2.1.1 Odun Plastik Kompozitler	7
2.1.1.1 Odun Plastik Kompozitlerin Tarihi Gelişimi.....	8
2.1.1.2 Odun Plastik Kompozitlerinde Kullanılan Hammaddeler	9
2.1.1.3 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	10
2.1.1.4 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları.....	11
2.1.1.5 Odun Plastik Kompozit Üretim Teknolojisi	12
2.1.1.6 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Biyolojik Performans Özellikleri.....	18
2.1.2 Yüksek Yoğunlukta Lif Levha (HDF).....	18
2.1.3 Yönlendirilmiş Yonga Levha (Oriented Strand Board-OSB).....	20
2.1.3.1 OSB Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	22
2.1.3.2 OSB Üretim Teknolojisi	24
2.1.4 Sarıçam.....	27
2.1.5 Poliüretan Tutkalı (PU)	29

2.1.6 PVA Tutkal	30
2.2 Yöntem.....	31
2.2.1 Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	32
2.2.1.1 Yoğunluğun Belirlenmesi	32
2.2.2 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi.....	33
2.2.2.1 Eğilme Direnci	33
2.2.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü	37
2.2.2.3 Eğilmede Kayma Direnci Deneyi	38
2.2.2.4 Basınç Direnci.....	38
2.2.2.5 Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Testler	39
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	40
3.1 Fiziksel Özelliklerine Ait Bulgular	40
3.1.1 Yoğunluğa Ait Bulgular.....	40
3.2 Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular	42
3.2.1 Eğilme Direncine ait Bulgular	42
3.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülüne ait Bulgular.....	51
3.2.3 Eğilmede Kayma Deneyine ait Bulgular	55
3.2.4 Basınç Direncine ait Bulgular.....	63
BÖLÜM 4 SONUÇLAR	68
EKLER.....	70
KAYNAKLAR	78
ÖZ GEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1. Şekil 1: Ahşap I- kirişin genel görünümü.....	3
2. Şekil 2: I-Kiriş üretim aşamaları	3
3. Şekil 3: I-kiriş mekaniği; Moment uygulanması, moment kapasitesini belirlemede ortaya çıkan şekil değiştirmesi, gerilme dağılımları ve kuvvet dağılımları.	5
4. Şekil 4: I-kiriş mekaniği; Kesme kuvveti uygulanması, kesme kapasitesini belirlemede ortaya çıkan kesme şekil değiştirmesi, gerilme dağılımları ve kuvvet dağılımları.	5
5. Şekil 5: I-kiriş gövde-başlık arasındaki geometri.....	6
6. Şekil 6: Örnek odun plastik kompozit (OPK)	8
7. Şekil 7: Odun plastik kompozit malzemenin yer döşemesi olarak kullanımı	10
8. Şekil 8: Odun plastik kompozit malzemenin su ile temas halindeki alanlarda kullanım	11
9. Şekil 9: Ekstrüzyon yöntemi ile	13
10. Şekil 10: Tek vidaliekstruderin çalışma mekanizması	15
11. Şekil 11: İkiz vidalı vidalı ekstruderin çalışma mekanizması	15
12. Şekil 12: Enjeksiyon kalıplama prosesinin çalışma mekanizması	17
13. Şekil 13: Basınçlı kalıplama ile OPK üretimi	18
14. Şekil 14: HDF örnekleri.	19
15. Şekil 15: Lif levha üretimi (Kuru yöntem).....	20
16. Şekil 16: OSB örnekleri.....	21
17. Şekil 17: OSB üretim teknolojisi.....	24
18. Şekil 18: Sarıçam'ın Türkiye'deki yayılış alanı	27
19. Şekil 19: Sarıçamdan elde edilmiş keresteler	28
20. Şekil 20: Poliüretan (PU) Tutkalı	29
21. Şekil 21: PVA Tutkal	30
22. Şekil 22: Tasarlanan I kiriş Örnekleri.....	31
23. Şekil 23: I kiriş ebatları	32
24. Şekil 24: Yoğunluk deney örneği	32
25. Şekil 25: Kirişlerde Tahribatlı Deney Düzeneği	36
26. Şekil 26: Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numuneler	39
27. Şekil 27: İki noktadan yüklemeli eğilme direnci deney düzeneği.....	42
28. Şekil 28: Tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deney düzeneği	48
29. Şekil 29: I kiriş basınç direnci deney düzeneği	63

TABLolar DİZİNİ

Tablo No	Sayfa No
1. Tablo 1: OPK'ların yapımında kullanılan malzemenin bileşimi.....	8
2. Tablo 2: Sarıçamın fiziksel ve mekanik özellikleri.....	28
3. Tablo 3: PU Tutkalın Bileşenleri.....	29
4. Tablo 4: PU Tutkalın Teknik Özellikleri.....	30
5. Tablo 5: PVA Tutkalın Teknik Özellikleri.....	31
6. Tablo 6: OPK malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler.....	40
7. Tablo 7: HDF malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler.....	40
8. Tablo 8: OSB malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler.....	41
9. Tablo 9: Sarıçam malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler.....	41
10. Tablo 10: Ham malzemenin yoğunluğu, ağırlığı ile 1m boyunda tasarlanan kirişin ağırlığına ait bilgiler.....	41
11. Tablo 11: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit' in PVA tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	43
12. Tablo 12: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit' in PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	44
13. Tablo 13: Sarıçam ve OSB' nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	45
14. Tablo 14: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	46
15. Tablo 15: Elde edilen eğilme direnci sonuçlarının varyans analizi.....	47
16. Tablo 16: Örnek tipine bağlı olarak eğilme direnci değerlerine ait Duncan test sonuçları.....	47
17. Tablo 17: OPK tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	48
18. Tablo 18: OSB tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	49
19. Tablo 19: HDF tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	49
20. Tablo 20: Sarıçam tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular.....	50
21. Tablo 21: Elde edilen eğilme direnci sonuçlarının varyans analizi.....	50
22. Tablo 22: Örnek tipine bağlı olarak eğilme direnci değerlerine ait Duncan test sonuçları.....	51
23. Tablo 23: Sarıçam ve OPK' nın PVA tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular.....	51

24. Tablo 24: Sarıçam ve OPK' nın PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular	52
25. Tablo 25: Sarıçam ve OSB' nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular	52
26. Tablo 26: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular	53
27. Tablo 27: Elde edilen eğilmede elastikiyet sonuçlarının varyans analizi.....	54
28. Tablo 28: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede elastikiyet değerlerine ait Duncan test sonuçları.	54
29. Tablo 29: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit' in PVA tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular	55
30. Tablo 30: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit' in PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular.....	56
31. Tablo 31: Sarıçam ve OSB' nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular	57
32. Tablo 32: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular	58
33. Tablo 33: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.	59
34. Tablo 34: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma değerlerine ait Duncan test sonuçları.	59
35. Tablo 35: Ham OPK' nın tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular	60
36. Tablo 36: Ham OSB' nin tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular	60
37. Tablo 37: Ham HDF'nin tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular	61
38. Tablo 38: Ham sarıçamın tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular	61
39. Tablo 39: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi	62
40. Tablo 40: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma değerlerine ait Duncan test sonuçları.	62
41. Tablo 41: Sarıçam ve OPK' nın PVA tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular	63

42. Tablo 42: Sarıçam ve OPKnın PU tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular	64
43. Tablo 43: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular	65
44. Tablo 44: Sarıçam ve OSBnin PU tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular	65
45. Tablo 45: Elde edilen basınç direnci sonuçlarının varyans analizi.	66
46. Tablo 46: Örnek tipine bağlı olarak basınç direnci değerlerine ait Duncan test sonuçları	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

D_0	:	Tam Kuru Yoğunluk
D_{12}	:	Hava Kuru Yoğunluk
R	:	Hacim Ağırlık Değeri
β_r	:	Radyal Daralma Miktarı
β_v	:	Hacmen Daralma Miktarı
σ_B	:	Basınç Direnci
σ_E	:	Eğilme Direnci
$BS \perp$:	Liflere Dik Basınç Direnci
$BS //$:	Liflere Paralel Basınç Direnci
σ_M	:	Makaslama Direnci
$\sigma_{\checkmark} //$:	Liflere paralel Çekme Direnci
I	:	Atalet Momenti
\overline{M}_1	:	1. Eğilme Moment diyagramı
M_0	:	0. Eğilme Moment diyagramı
a	:	Dinamik Eğilme Direnci
E	:	Elastikiyet Modülü
δ	:	Sehim

KISALTMALAR

ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
AERT	:	Advanced Environmental Recycling Technologies
GLULAM	:	Yapıştırılmış Lamine Ahşap
HDF	:	Yüksek Yoğunlu Elyaf Levha
İYA	:	İğne Yapraklı Ağaçlar

LVL	:	Kaplama Tabakalı Kereste
MMC	:	Mobil Chemical Company
OPK	:	Odun Plastik Kompozit
OSB	:	Yönlendirilmiş Yonga Levha
PU	:	Poliüretan Tutkal
PVA	:	Polivinil Asetat
SC	:	Strandex Corporation
TS EN	:	Türk Standardları Enstitüsü
TTA	:	Tutkallı Tabakalanmış Ahşap
WPC	:	Wood-Plastic Composites

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Genel Bilgiler

Ahşap insanlığın kullandığı en eski ve mükemmel bir yapı malzemesidir. Anadolu’da binlerce yıllık bir geçmişe sahiptir. Ahşap; yaşayan, doğal, nefes alan yapısı ile insan doğasına en yakın malzemedir. Günümüz ve geleceğin çevre ve enerji sorununa yanıt veren doğal bir üründür. Ahşabın ağırlık ve taşıma gücü oranı, betonarme ve çelikten yüksektir. 1 kg. ahşap, 1 kg beton ya da çelikten daha fazla yük taşır. Ahşap ile 250 metreye kadar açıklıklar bile kolonsuz geçilebilmektedir. Bu tip yapılarda, ağır olması nedeni ile çelik kullanılmıyor. Hava şartlarına, kimyasallara dayanıklılık bakımından en ön sırada gene ahşap geliyor. Ahşap, fiziksel özelliklerini tarih sürecinde kanıtlamış bir yapı malzemesidir. Günümüz teknolojisinin ürettiği koruyucu maddeler ve yöntemlerle daha da üstün özellikler kazanmıştır. Depremde güvenilirlik bakımından en yüksek notu ahşap alıyor. Üstün ısı ve nem yalıtımı özellikleri ile ahşap yapılar, içinde yaşanacak en sağlıklı ortamı sunmaktadır. Ahşap, üretimi ve işlenmesi için en az enerji gerektiren yapı malzemesidir. Günümüzde, gelişen üretim teknolojileri ile tasarım gereksinimlerini daha iyi şekilde karşılayacak yeni işlenmiş ahşap ürünler üretilmeye başlanmıştır. Bu ürünler strüktürel uygulamalar için hazırlanmaktadır ve ahşap bileşikler olarak da adlandırılır; Yapısal Kontrplak, Yonga Levha, Tutkalı Tabakalanmış Ahşap, Kaplama Tabakalı Kereste.

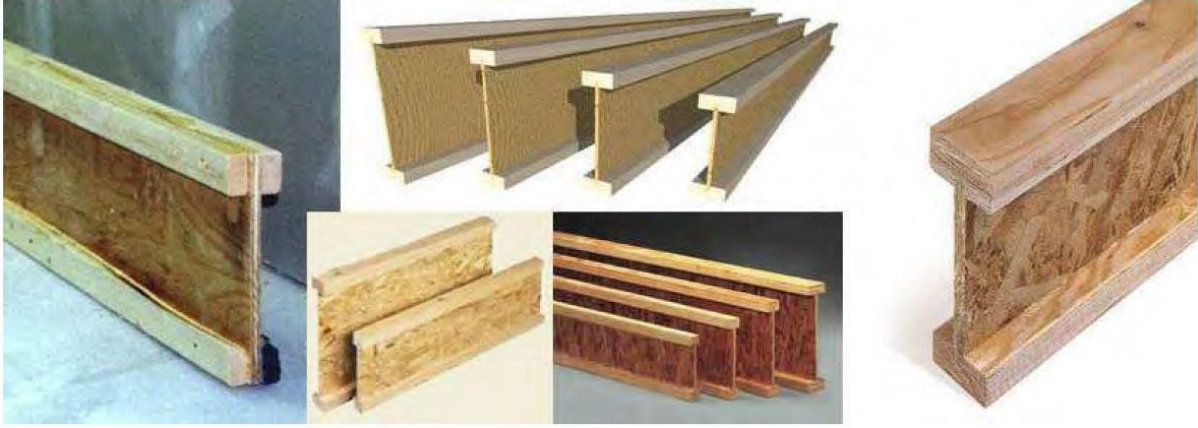
Kompozit I kirişler 1920’li yıllarda Kuzey Amerika’da uçak sanayisinde gövde ve kanat iskeletlerinde kullanılmıştır. Etkili performans göstermesi için en yüksek kalitede kaplama, kontrplak ve ahşap malzemeyi kullanmıştır. 1930’lu yıllarda ise kompozit I-kirişler Avrupa’da bina yapımında kullanılmaya başlanılmıştır. Kompozit şekillerin verimliliği üzerine Amerika’da Orman Ürünleri Laboratuvarında araştırmalar yapılmıştır (McNatt, 1980). Ticari olarak ilk I-kiriş Trus Joist firması tarafından 1968’de piyasaya sürülmüştür (Nelson, 1997). Günümüzde döşemeden çatı kirişlerine kadar bir çok kullanım alanı olan I-kirişler değişik malzemelerden çeşitli ebatlarda üretilmektedir.

İki ya da daha fazla materyalin bir araya getirilmesi ile oluşan ve çoğu zaman kendilerini oluşturan materyallerden daha faydalı özelliklere sahip olan malzemelere kompozit malzeme denmektedir (Mengeloğlu vd., 2002). Polimer kompozitlerde mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla, farklı özelliklere sahip “birçok değişik bitkisel ve mineral esaslı dolgu ve takviye maddeleri kullanılmaktadır. Bunlar doğada bulunabileceği gibi sentetik olarak da elde edilmektedir. Bunun en iyi örneklerini odun plastik kompozitleri (OPK) oluşturmaktadır. OPK’lerin plastik malzemelere göre üstünlükleri; maliyetinin düşük, hammadde teminin kolaylığı olması, doğada nispeten daha çabuk bozulduğu için çevre dostu olmasıdır. Ağaç malzemeye kıyasla üstünlükleri ise; yüksek boyutsal kararlılığa sahip olması, istenilen şekil, farklı renk ve dokuda üretilebilmeleri, fiziksel darbelere, mantar ve böcek tahribatına karşı daha dayanıklı olmaları, bakım ve yenileme masraflarının düşük olması, geri dönüşümlü malzemelerden üretilebilmeleri sayılabilir (Dönmez, 2011).

Bu çalışmada, kompozit ahşap I kiriş tasarlanmıştır. Sarıçam, OPK, HDF, OSB gibi malzemelerden tasarlanan I kiriş örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

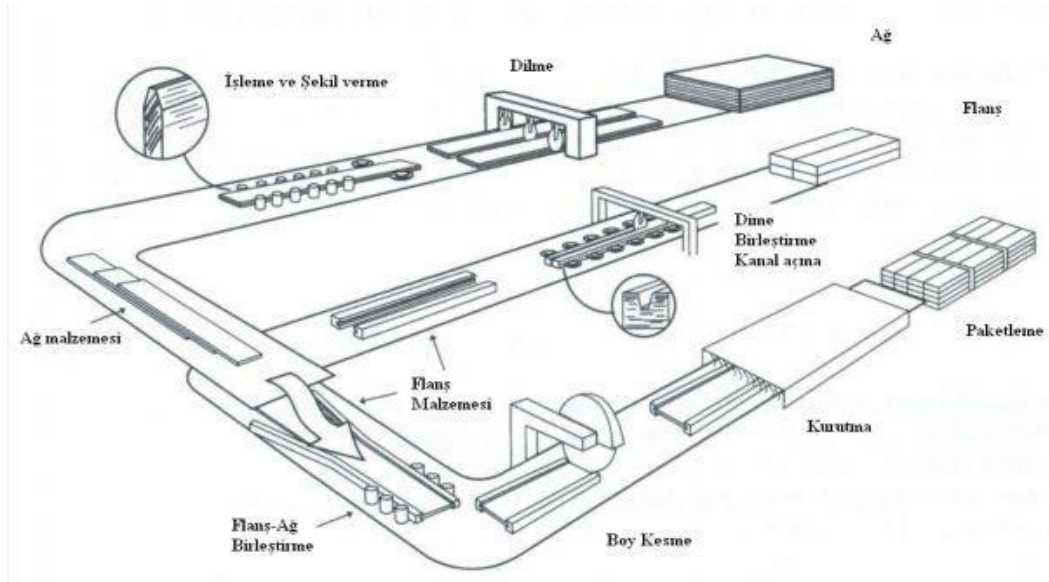
1.2 Ahşap I-Kirişler

1960’lı yılların sonundan beri özel uygulamalar için ahşap I-kirişler üretilmektedir. Çatı sistemlerinde ve yer döşemelerinde kullanılan ahşap I-kirişlerin kesitlerinin -I- şeklinde olmasından dolayı I-Kiriş olarak adlandırılmaktadır (Leichti vd., 1990). I kesitli olmasından dolayı yüksek derecede taşıma mukavemetine sahip bir malzemedir. Ahşap I-Kirişler; kereste, kontrplak veya OSB’den elde edilen ağ elemanlarının tutkalanması ile elde edilir. Performans özelliklerinin artırılmış olması, istenilen ebatlarda üretilebilmesi, hafif olması, yenilenebilir olması ve ucuz olması nedeniyle ahşap I kirişler yaygın olarak kullanılır (Gagne, 2000). Çeşitli ebatlarda üretilen ahşap I-Kirişler konut ve ticari yapılarda kullanılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1: Ahşap I- kirişin genel görünümü

Ahşap I-Kirişin üretimi ağ ve flanşların ölçülüp kesilmesiyle başlar. Flanşların kenarlarındaki kanallar biçimlendirilir. Biçimlendirmeden sonra flanşlar tutkallanır. Tutkallanan flanşlar ağ levhalarına yerleştirilerek birbirleriyle preslenir. Preslenmiş I-kirişler istenilen boyda kesilir. Tutkalın tam kuruması için fırınlara sokulur. Yapışma kalitesini ve ağ levhalarının birleştirmelerinin düzgünlüğünü belirlemek için kalite kontroller yapılır. Kalite kontrolden sonra depolama ve nakliye işlemleri yapılır (SBA, 2005) (Şekil 2).



Şekil 2: I-Kiriş üretim aşamaları (Nelson, 1997)

Ahşap I-Kirişler; flanşları temel olarak alındığında TAK'dan ve keresteden yapılanlar olarak iki ana gruba ayrılırlar. Keresteden yapılmış flanşlar görsel olarak sınıflandırılabilir gibi makine ile de sınıflandırılabilirler. Ağ malzemesi ise ilk zamanlarda kontrplak ana malzeme

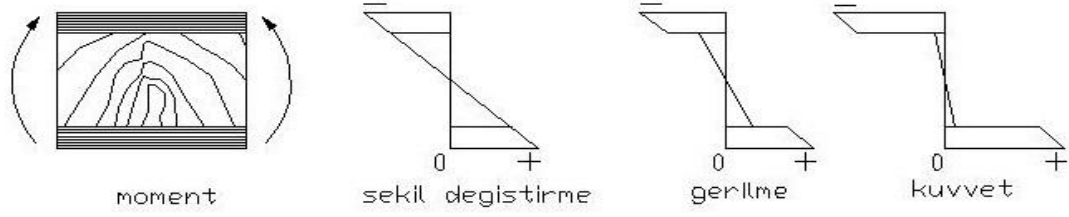
idi, daha sonraları ise OSB'nin ortaya çıkması ile büyük oranda kullanım bu malzemeye yönelmiştir. Ahşap I-Kirişlerin üretiminde daha çok özel sınıf OSB kullanılmaktadır (Spelter, 1997).

Ahşap I-Kirişlerin avantajları;

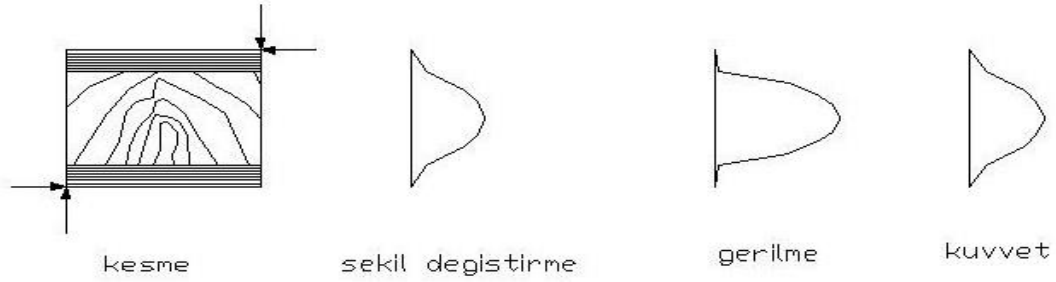
- Yüksek dayanıma ve elastikiyete sahiptir,
- Hafiftir
- Maliyeti düşüktür
- Çevreye zarar vermez
- İstenilen boyutta üretilebilir
- Kolay bulunur

Ahşap I-kiriş ile diğer ahşap kirişler birbirinin aynısı olarak kabul edilir. En önemli benzerlikleri tasarımlarında ağaç malzemeyi etkin şekilde kullanılmasıdır. Üreticiler ve mühendisler bu iki ürünü, tasarım ve montaj gereksinimlerini dikkate alarak ayırırlar (AFPA, 2006). Ahşap I-kirişlerin kalıplaşmış tasarım özelliklerinin olması, uç uca eklenerek istenilen ebatta üretilmesi ve prefabrik olarak üretilmesi diğer ahşap kirişlerden ayrılırlar.

I-kirişlerin tasarımının avantajlarından biride kullanılan malzemelerin malzeme özelliklerinin en iyi şekilde konumlandırılmasına izin vermesidir. Kereste, Kontrplağın veya OSB'nin " I " şeklinde kombine edilmesiyle yapısal verimlilik artmıştır. I-kirişlerde başlık elemanları momentleri taşır (Şekil 3), gövde elemanları ise kesme kuvvetlerini taşır (Şekil 4). Eğilme teorisi kullanılarak başlıkların enine kesit ölçüleri belirlenir. Gövde elemanlarının kapasiteleri ise deneysel olarak belirlenir. Eğilme ve kesme deformasyonları, ezilme ve burkulma kapasiteleri tasarımındaki önemli kriterlerdir.



Şekil 3: I-kiriş mekaniği; Moment uygulanması, moment kapasitesini belirlemede ortaya çıkan şekil değişimi, gerilme dağılımları ve kuvvet dağılımları.



Şekil 4: I-kiriş mekaniği; Kesme kuvveti uygulanması, kesme kapasitesini belirlemede ortaya çıkan kesme şekil değişimi, gerilme dağılımları ve kuvvet dağılımları.

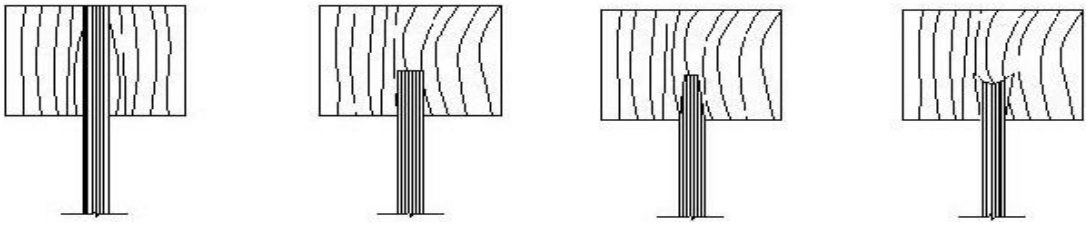
I-kirişlerde direnç ve deformasyon performansı malzeme özellikleri ve geometrisi, yükleme durumu gibi birçok faktörden etkilenir. I-kirişlerinde başlık elemanları eğilme gerilmelerini, gövde elemanları ise kesme gerilmelerinin büyük bir kısmını taşır. Başlık ile gövde arasında kullanılan tutkalda elemanlar arasındaki gerilmelerin aktarılmasını sağlar. Başlık elemanlarının malzeme özellikleri önemlidir. Çünkü çekme ve basınç gerilmeleri, gövde elemanlarının elastikiyet modülünün daha az olması nedeniyle başlık elemanlarında yoğunlaşmaktadır. Başlık elemanında 1:15 lif kıvrıklığı, I-kirişin direncini % 30 oranında düşürmüştür. Üst başlığın elastikiyet modülünün alt başlığın elastikiyet modülünden % 25 daha fazla olması nedeniyle performans artmıştır (Leichti vd., 1990).

Kontrplak, OSB, ve HDF gibi ahşap kompozit panellerin kesme modüllerinin ve kesme dirençlerinin yüksek olmasından dolayı genellikle gövde elemanı olarak kullanılmaktadır. Eğer düşük kesme modülüne sahip levhalar gövde elemanı olarak kullanılırsa kiriş deformasyonunun arttığı saptanılmıştır (Leichti, 1986).

Elektrik, ısıtma veya havalandırma tesisatı için, I-kirişlerin gövde elemanlarında boşluk bırakılması gerekebilir. Gövdede bırakılan dairesel boşlukların gövde yüksekliğinin % 70' i

oranında olsa bile I-kirişin eğilme direncini etkilemediği bulunmuştur (Leicht vd., 1990). Gövdede bırakılan kare kesitli boşluklar gerilim yoğunlaşmasına neden olur. Açıklıkların artması da kesme kapasitesini ve elastikiyeti düşürür.

I kirişlerde gövde elemanlarının sürekliliğinin sağlanması için genellikle lamba-zıvana birleştirme şekli kullanılmaktadır. Gövde ve başlıklar arasındaki birleştirme hattı kesmeye karşı tabaka olarak görev yapar. Seri üretimlerde bu hat sürekli bir tutkal tabakasından oluşmaktadır. Ticari firmalar tarafından en çok kullanılan gövde-başlık arasındaki geometri Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: I-kiriş gövde-başlık arasındaki geometri

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

Tasarlanan I kirişlerde materyal olarak OPK, HDF, OSB, kontraplak, sarıçam, PvA tutkal ve poliüretan tutkal kullanılmıştır.

2.1.1 Odun Plastik Kompozitler

Odun-plastik kompoziti (OPK) (Şekil 6) lignoselülozik malzeme ile plastiklerin karıştırılması sonucunda oluşan kompozitlere verilen genel bir isimdir. Buradaki “odun” kelimesi odun parçası gibi dar bir anlamda değil lifsel yapıya sahip bütün tarımsal atıklar ve odunsu materyali kapsamaktadır. OPK üretiminde lifler ya da un haline getirilmiş malzeme kullanılmaktadır.

OPK endüstrilerinin yapısı son yıllarda şaşırtıcı biçimde değişim göstermiştir. OPK ürünlerinin gelişimini etkileyen belirsizlikler; tecrübe kazanımı, odunsu materyallerin üretime hazır hale getirilmesi, üretim araçlarının geliştirilmesi, katkı maddelerinin belirlenmesi ve temin edilmesi, yeni pazarlara giriş için elverişli zamanın değerlendirilmesi ve özellikle geniş hacimli yapıların uygulama alanlarında kullanımıyla giderilebilmiştir.

Odun özellikleri türler arasında, aynı türe ait ağaçlar arasında ve aynı ağacın değişik kısımlarında farklılıklar gösterdiği için, masif odun özellikleri, prosesi kontrol edilerek özelliklerine müdahale edilebilen kompozit malzemelerin özelliklerinden farklıdır. Odun kökenli kompozitlerin özellikleri lif, yonga, kaplama vb. seviyesinde incelenir. Bu tür malzemelerin özellikleri üretim prosesindeki işlemlere müdahale edilerek değiştirilebilir (Forest Products Laboratory, 1999). I kiriş tasarımında gövdede kullanılan OPK malzemesinin teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 6: Örnek odun plastik kompozit (OPK)

Tablo 1: OPK'ların yapımında kullanılan malzemenin bileşimi

POLİMER POLYESTER	DOLGU VE TAKVİYE Odun Unu , Kalsit, Cam Elyaf Tozu	KATKILAR Pigment ve Diğer Katkılar
%30-40	%40-60	%0.1-2

2.1.1.1 Odun Plastik Kompozitlerin Tarihi Gelişimi

İlk odun-plastik kompozitinin (OPK) Belçikalı kimyacı Leo Beakeland tarafından 1907 yılında fenol formaldehit ve odun tozundan üretilen ve “Bakalit” olarak isimlendirilen ürün olduğu söylenilebilir. İlk ticari ürün vites kolu olarak 1916’da Rolls Royce tarafından gerçekleştirilmiştir (Gordon, 1988). Termoplastikler ile odun parçacıklarını karıştırarak ekstrüzyon yöntemiyle OPK üretimi ise; 1920’li yıllarda İtalya’da patentleşmiştir. Bu kompozitler dünya literatüründe Wood-Plastic Composites (WPC) olarak adlandırılmakta ve odun termoplastikleri olarak incelenmektedir (Clemons, 2002).

İlk üretim ve patentlerin Avrupa’da gerçekleşmesine karşın kitle üretimi açısından Amerika’da son zamanlarda büyük bir gelişme sağlanmıştır. AB ve ABD’deki PVC profil ve doğrama araştırmacıları ve şirketler 1980’lerde; Odun ve plastiğin tek başına kullanılmasıyla meydana gelen olumsuzlukları iyileştirmek, maliyeti düşürmek, sıcaklığın etkisiyle meydana gelen kimyasal yapıdaki bozulma oranını azaltmak, atıklara endüstriyel değer kazandırmak gibi amaçlarla plastik endüstrisinde lignoselülozik hammaddeler kullanmaya başlamışlardır. 1983 yılında Amerika’nın Woodstock şirketi, Lear Corpo’nun üretimini sürdüren Sheboygan birimi, Wisconsin’de İtalyan giydirme teknolojisinden yararlanarak, yaklaşık %50 odun tozu ve %50 propilen kullanılarak yatay kalıplara döküm yöntemiyle değişik biçimlerde şekillendirilebilen otomotiv içi donanım üretimini gerçekleştirmektedir (Schut, 1999).

1990'lı yıllardan itibaren OPK'ler özellikle yapı için kereste üreten önemli sektörlerden biri haline gelmiştir. Advanced Environmental Recycling Technologies (AERT) ve Trex, Mobil Chemical Company (MMC)'nin bir kısmı polietilene yaklaşık %50 odun lifi ilave ederek dayanıklı OPK'nın üretimine başlamışlardır. Strandex Corporation (SC), yüksek odun lifi içeren son ürün üretimleri için uygun bir teknolojinin patentini almıştır (Youngquist, 1995; Eckert, 2000; Clemons, 2002).

2.1.1.2. Odun Plastik Kompozitlerinde Kullanılan Hammaddeler

a) Odunsu Materyal

Odun plastik kompozitlerinde öncelikli olarak; çam, akçaağaç ve meşe olmak üzere pek çok ağaç türü kullanılmaktadır. Günümüzde ağaç türü seçimi sahip olduğu özelliklerden ziyade mevcudiyet durumuna göre belirlenmektedir.

OPK endüstrisinde selülöz esaslı dolgu malzemeleri tanecikler (odun tozu) ve lifsel malzemeler olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılabilir. Fazlar arası bağlanma yüksek ise toz partiküller dolgu ya da güçlendiriciler olarak kullanılmaktadırlar. Toz parçacıklar hemen hemen bütün yönlerde eşit boyutlara sahiptirler ve şekil verilebilir yapıdadırlar. Lifler ise güçlendirici olarak düşünülebilir. Çünkü lifsel maddeler uygulanan yükün çoğuna dayanmakta olup, uzunlukları genişliğinden çok daha büyüktür (Manson, 1976; Matthews ve Rawlings, 1994). Lif ve yongalar mekanik özellikleri artırmak için kullanılabilirler. Fakat daha çok polimer kullanımını azaltmak amacıyla hacim artırıcı olarak kullanılırlar. Ayrıca kompozitin sertlik ve direncini artırmak için de ilave edilirler. Bu küçük boyutlu malzemeler plastik endüstrisinde kullanılan üretim akışına entegre edilir (Gökalp, 2006).

b) Plastikler

Plastikler, normal sıcaklıkta genellikle katı halde bulunan, basınç ve ısı kullanılarak mekanik yöntemlerle şekillendirilebilen veya kalıplanabilen organik polimerik maddelerdir.

2.1.1.3 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

OPK kullanım alanları orman ürünleri sektörüne girdiği günden beri gelişim göstermiş, hızlı gelişen alanlardan bir tanesi haline gelmiş ve birçok kullanım alanı bulmuştur.

- İnşaat sektöründe; kapı, pencere, çatı, merdiven
- Bina içinde; dekoratif profiller, raf, yer kaplaması (Şekil 7), yürüyüş parkurları, ıslak zeminlerde yer döşemeleri (Şekil 8)
- Endüstriyel olarak ise ambalaj ve palet.



Şekil 7: Odun plastik kompozit malzemenin yer döşemesi olarak kullanımını (URL-1, 2014).



Şekil 8: Odun plastik kompozit malzemenin su ile temas halindeki alanlarda kullanımı (URL-2, 2014).

2.1.1.4 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları

OPK'nın sağlamış olduğu avantajlar:

- Yüksek boyutsal stabiliteye sahip olup çalması çok azdır,
- Rutubete karşı yüksek dirençlidir,
- Böcek ve mantarlara karşı dayanıklıdır,
- Üretiminde kullanılan artık malzemelerden dolayı doğa dostudur,
- İstenilen boyutlarda üretilebilir.

OPK'nın dezavantajları ise:

- Enerji giderleri yüksektir,
- Üretim kapasiteleri düşüktür,
- Odunsu materyale göre yoğunlukları yüksektir.

OPK üretiminde kullanılan odunsu materyallerin avantajları:

- Uygun fiyatlı

- Sağlıklı
- Yenilenebilir
- Ses izolasyonu sağlar
- Elektrik dirençlerinin iyi olması (John ve Thomas, 2007).

Kullanılan odunsu materyallerin dezavantajları:

- Düşük hacim yoğunluğundan dolayı depolama sorunu.
- Tarımsal atıkların içerdiği silika'dan dolayı üretim makinalarında sebep oldukları aşınma (Korucu ve Mengeloğlu, 2007).

Bu materyallerin tüm dezavantajlarına rağmen; dünya nüfusundaki hızlı artış, çevresel duyarlılığın artması, maliyet üzerindeki önemli etkileri gibi faktörlerden dolayı; plastik kompozit üretiminde kullanılan ve yenilenebilir olan odunsu materyaller odun plastik kompozitleri endüstrisi için göz ardı edilemeyecek öneme sahip kaynaklardır (Rowell vd., 1997).

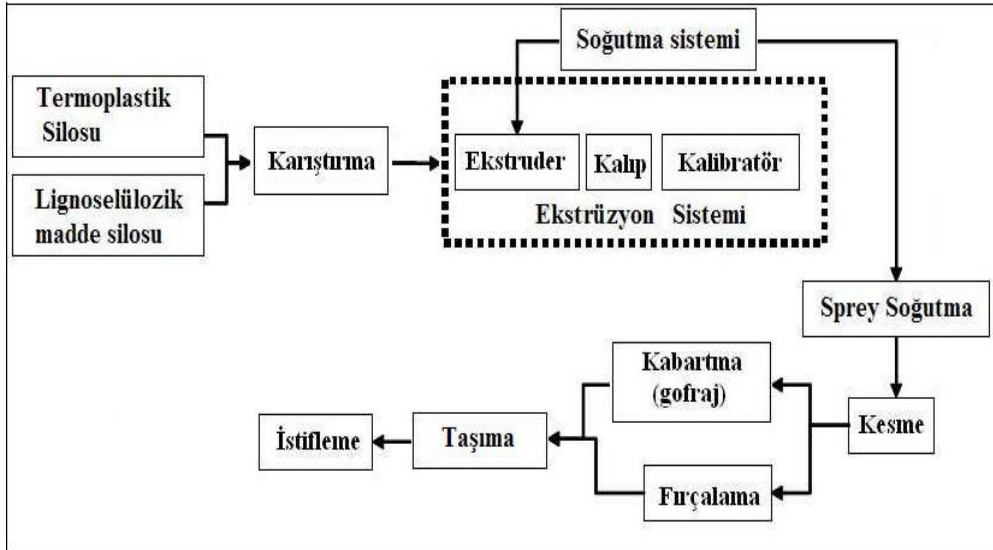
2.1.1.5 Odun Plastik Kompozit Üretim Teknolojisi

Lignoselülozik lif veya unların termoplastiklerin içerisinde kullanılması çeşitli fiziksel ve mekanik avantajları da beraberinde getirmiştir. Ancak bu dolgu maddelerinin termoplastik polimerlerin içerisinde homojen dağılımının sağlanabilmesi en yaygın sorundur. OPK üretiminde ürünün kalitesi karışımının kalitesine bağlıdır (Gramann ve Osswald, 1993; Wolcott ve Englund, 1999). Üretim sırasında karıştırma prosesini optimize etmek oldukça önemlidir. Zira yeterli karışım olmazsa odun ya da diğer lignoselülozik liflerin termoplastik matrisi içerisindeki dağılımı homojen olmayacak ve ikisi arasındaki bağlanmanın zayıf olmasına neden olacaktır. Haddinden fazla karışma olması halinde ise; liflerin zarar görmesine neden olacaktır. Her iki durumda da optimal koşullar ile karşılaştırıldığında mekanik özelliklerde bir azalma meydana geldiği belirtilmiştir (Yam vd., 1990). Termoplastik sanayi çeşitli ürünleri üretmek için farklı üretim teknikleri kullanmaktadır. Bunlardan ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama metodlarının her ikisinde de bir hareket mekanizması vardır. Sistem vida tarafından çalıştırılmaktadır (Turkovich ve Erwin, 1983; Stevens, 1985).

Odun plastik kompozit üretiminde de enjeksiyon, ekstrüzyon ve basınçlı kalıplama metotları kullanılmaktadır. Ayrıca OPK'lar önce pelet haline getirilip ardından enjeksiyon kalıplama ya da sıcak presleme ile levha halinde iki kademeli olarak ya da bu yöntemlerden biri ile direk olarak da üretilebilmektedir.

a) Ekstrüzyon Yöntemiyle OPK Üretimi

Ekstrüzyon yönteminde tek ve ikiz vidalı ekstruderler ile üretimler yapılmaktadır. OPK üretiminde lignoselülozik maddenin termoplastik matrisi içerisinde homojen dağılımını sağlamak açısından ikiz vidalı ekstruderler son zamanlarda daha fazla tercih edilmektedirler (Wolcott ve Englund, 1999). Genel olarak OPK üretimine ait iş akışı Şekil 9'da gösterilmiştir. Direk ekstrüzyon ve kademeli ekstrüzyon olarak iki farklı OPK üretim sistemi vardır. Direk ekstrüzyon OPK'nın granül haline getirilmeden, fiziksel karışımın tek aşamada ekstrüde edilip son ürünün elde edildiği üretim yöntemidir. Kademeli ekstrüzyonda odun ve plastik birinci ekstruder makinesinde granül haline getirilir. Sonra enjeksiyon veya ekstrüzyon makinesinden geçirilerek son ürün elde edilir.



Şekil 9: Ekstrüzyon yöntemi ile

Geleneksel ekstruderlerde üretim esnasında malzemede rutubet istenilmemektedir. Malzeme ön kuruluğa sahip olmalı, rutubet %1,5'un altında tutulmalı ve ekstruder bu rutubette beslenmelidir. Bu plastiği olduğu kadar lif malzemesini de kapsamaktadır. Plastik ekstruderlerin öğütülmüş yongaları işleyememesi nedeniyle odunsu materyal, çekiç değirmenler kullanılarak inceltme işlemine tabi tutulurlar. Kullanılacak lifler istenilen

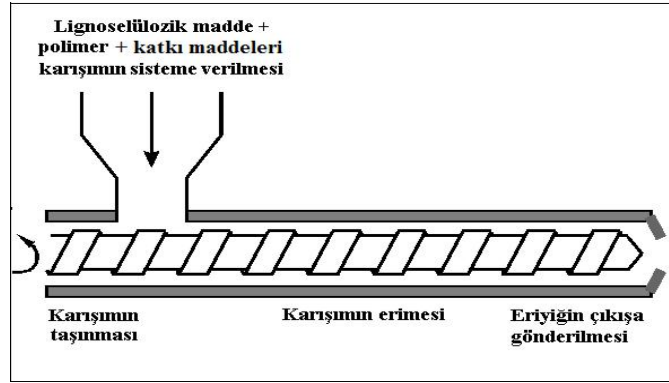
boyutlardaki gözeneklere sahip eleklerde elenmelidir. Bu işlemlerin ardından ikiz vidalı ekstruderlerin kuru lifleri ve plastik granülleri aynı anda kullanışlı hale getirilebilmesiyle teknik olarak birçok avantaj sağlamaktadır.

Son zamanlarda ise kademesiz olarak tasarlanmış konik yapıya sahip ekstruderler ile aynı zamanda çok rutubetli ve işlenmemiş taze testere talaşı, kaba lif özelliğindeki hammaddeler %50 rutubet içerse dahi işlenebilirler. Bu ekstruder ile rutubet serbest hale getirilerek ekstruder ve gövde içerisindeki buhar dışarı atılabilmektedir. Çıkan buhar daha çok ekstruder içindeki odun materyalinin ön ısıtılmasında kullanılmaktadır. Bu da enerji geri dönüşümü sağlamaktadır (Vilkki, 2006; Gökalp, 2006).

b) Tek Vidalı Ekstruderler

Modern ekstruderlerde hammaddeler vidalar yardımıyla taşınmaktadır. Vida, bir şaft etrafına sarılı helezon şeklinde metal paralel halkalar olarak tanımlanabilir. Vida hareketinin gerçekleştiği silindirik duvarlara sahip kanal ise vidanın devirsel hareketiyle makaslama ya da parçalanma etkisine maruz kalan alanı temsil eder. Silindirik duvarlarda meydana gelen sürtünme ve vida hareketi, malzemenin ileri doğru çekilmesini ve malzemenin vida ile birlikte aynı yolda ilerlemesini sağlar (Martelli, 1983). Malzemenin ileri doğru taşınma oranı vida yolu çap ve açısıyla, kanal derinliği ve vidanın dönme hızı ile orantılıdır (Wolcot ve Englund, 1999).

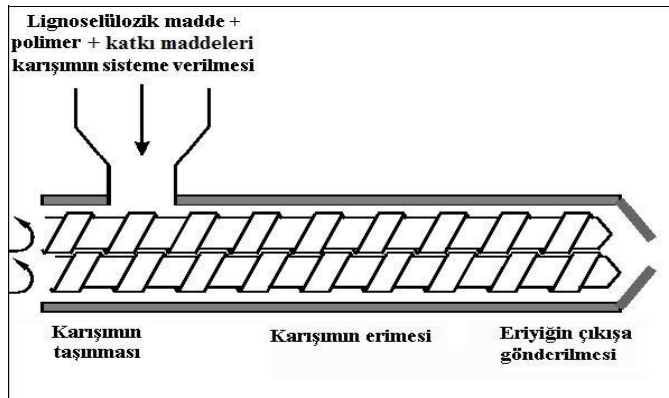
Tek vidalı ekstruderlar, bitmiş ürün veya yarımamül birçok üründe kullanılan termoplastikler için oldukça kullanışlıdır. Tek vidalı ekstruderlar öncelikli olarak sürükleyici ya da itici bir pompa gibidir. Ekstrüzyon işlemi esnasında sürüklenme yüzeyini arttırmak için vidanın hareket ettiği kanal uzunluğu artırılabilir. Kanal boyu ile vida çapı oranı tek vidalı ekstrüzyon işlemi için oldukça önemli bir veridir. Boy-çap oranının artması yüksek sürtünme meydana getirmekte ve bu nedenle benzer ekstrüzyon koşullarında çok daha fazla ileri doğru taşınım sayesinde kullanan hammaddeye ya da üretim profiline göre program yapabilir ve üretim bandının hızı ayarlanabilir. Üretim esnasında hammaddedeki fazla rutubet ve gazların neden olduğu hava kabarcıklarının ve lekelerin oluşması gaz alma ünitesi ile engellenir. Tek vidalı ekstruderlerde vidanın içine yerleştirildiği silindir çok bölgeli tasarlanır. Bu sayede farklı bölgelere farklı sıcaklıklar uygulanabilmektedir ve soğutma fanları ile sıcaklık istenildiği gibi ayarlanabilir (Stevens, 1985; Gökalp, 2006). Şekil 10'da tek vidalı ekstruderin çalışma sistemi gösterilmiştir.



Şekil 10: Tek vidalı ekstruderin çalışma mekanizması (URL-3, 2011).

c) İkiz Vidalı Ekstruder

İkiz vidalı ekstruderler genellikle, basınç ve karıştırmaya ihtiyaç duyulan ve tek vidalı ekstruderlerin yetersiz kaldığı üretimlerde kullanılır. Şekil 11’de ikiz vidalı ekstruderin çalışma prensibi verilmiştir. Çift vidalı ekstruderler vida dişleri içi içe geçmiş vidalı gibi olanlar ve olmayanlar olarak ikiye ayrılır. İç içe geçmemiş vidalı ekstruderler, tek vidalı ekstruderlere benzer şekilde çalışırlar. Burada ileri doğru akış öncelikli olarak vida ve kanal arasında gelişen sürtünme ile sağlanır. İç içe geçmiş vidalı ekstruderler ise malzemenin vida adımlarının birinin üzerinden diğerine geçmesi sağlamaktadır. Bu sayede malzeme homojen bir şekilde karışmaktadır. İç içe geçmiş vidalara sahip ikiz vidalı ekstruderlerde malzeme sürtünme gücü olmaksızın ilerlemektedir. Çünkü malzeme bitişik vidalar arasındaki kanallarda taşınmaktadır.



Şekil 11: İkiz vidalı vidalı ekstruderin çalışma mekanizması (URL-3, 2011).

Vidalar, aynı yönde dönenler ve birbirine ters yönde dönenler olmak üzere sınıflandırılabilir. Aynı yönde dönen vidalar, aynı yönde ilerleme sağlarlarken ters yönde dönen vidalar farklı yönde hareket ederler (Martelli, 1983). Ters yönde dönen vidalı ekstruderler, özel profil

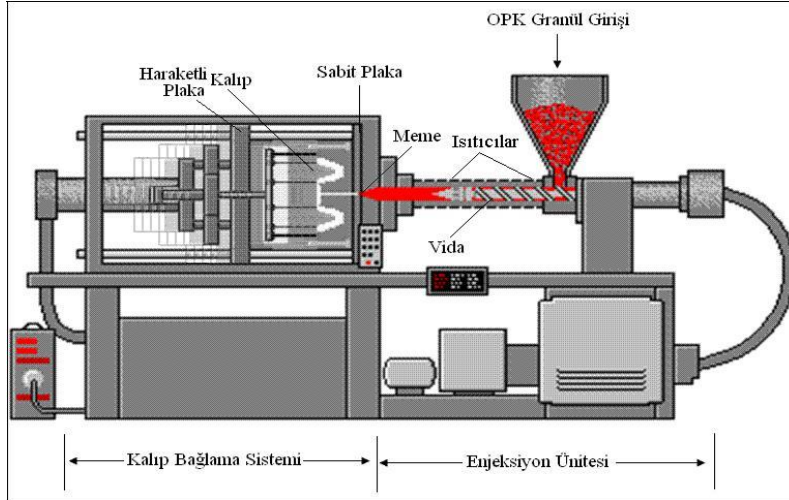
uygulamaları için gerekli olan yüksek basıncı üretme yeteneğine sahiptirler. Aynı yönde dönen vidalı ekstruderlar benzer yüksek basıncı sağlayamamakta, fakat sahip olduğu kusursuz vida dizaynı sayesinde çok iyi karıştırma ve kısa zamanlı bir üretim işlemi sağlamaktadır. Çok kısa üretim zamanı malzemelerin hepsinin aynı parçalanma enerjisi ve sıcaklığa maruz kalmasını sağlar (Rosen, 1993; Wolcot ve Englund, 1999).

İkiz vidalı ekstruderlerin tek vidalı ekstruderlere göre daha yüksek kapasitede, daha düşük hızda çalışabilme, daha iyi ısıl ve mekanik özellikte ürün eldesi gibi üstünlükleri vardır. İkiz vidalı ekstruderlar çok kararlı kalitelerde ürün sunması yanı sıra, çok zor malzemelerin ekstrude edilmesini sağlamakta ve tek vidalı ekstruder'a göre çok iyi bir karıştırma kapasitesi yanında üretim maliyetini düşürmektedir (Alavi vd., 2009; Wolcot ve Englund, 1999).

d) Enjeksiyon Kalıplama Yöntemi ile OPK Üretimi

Enjeksiyon kalıplama yöntemi seri üretimler için en uygun üretim yöntemidir. Genelde enjeksiyon yöntemiyle plastik veya OPK ürünleri 4 kademedede elde edilir (Şekil 12).

- OPK granülleri ya da karışım sıvıhale gelinceye kadar ısıtılır.
- Bir basınç uygulayarak sıvı polimer, meme denilen bir geçişten kalıp içine girmesi için zorlanır.
- Kalıp içindeki malzeme katılaşmaya kadar basınç altında tutulur ve soğuması sağlanır.
- Kalıp açılır ve pim biçimde olan iticilerle parça çıkarılır (Akkurt, 2007).



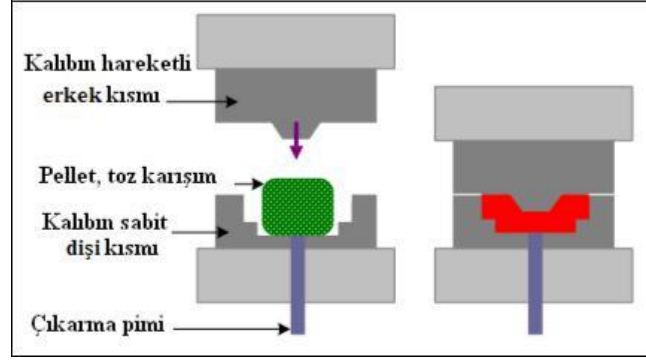
Şekil 12: Enjeksiyon kalıplama prosesinin çalışma mekanizması (URL-3, 2011).

Enjeksiyon prosesinin en önemli üstünlükleri; işlem süresinin çok kısa, atık ürün oluşumunun çok az ve tamamen otomasyona uygun yapıda olmasıdır (Englund, 2001; Akkurt, 2007). Ancak, OPK üretiminde lignoselülozik maddelerinin yüksek oranlarda kullanımı viskoziteyi arttıracığından enjeksiyon yani püskürtme aşamasında sıkıntılara yol açabilmektedir. Bu amaçla viskoziteyi düşürücü katkı maddeleri ile birlikte kullanılmalıdırlar (Fulmer, 1999). Enjeksiyon makineleri vidalı enjeksiyon makineleri ve pistonlu enjeksiyon makineleri olmak üzere iki çeşittir.

e) Basınçlı Kalıplama ile OPK Üretimi

Basınçlı kalıplama ile OPK üretiminde kalıplamadan önce karışımın hazırlanmasında büyük bir özen gösterilmelidir. Elde edilecek ürünün kalitesinin bozulmaması için karışıma havanın temas etmemesine dikkat edilmelidir. Düz preslerde levha şeklinde üretimler yapılabildiği gibi, aşağıdaki Şekil 13'te gösterildiği gibi şekilli presler kullanılarak üretimler gerçekleştirilebilir. Basınçlı kalıplama ile OPK üretimi 3 aşamada gerçekleşmektedir.

Toz halindeki karışım ya da pelletler kalıbın dişi kısmının boşluğuna doldurulur. Kalıbın erkek kısmı ile basınç uygulanır. Sıcaklığın etkisiyle eriyik hale gelen karışım basıncın etkisiyle kalıbın tüm boşluğunu doldurur. Kalıp içerisindeki malzeme tamamen katılaştıktan sonra kalıp açılır, parça itici pimlerin yardımı ile dışarı alınır (Akkurt, 2007).



Şekil 13: Basınçlı kalıplama ile OPK üretimi (URL-3, 2011).

Basınçlı kalıplama OPK üretiminde son zamanlarda yaygın bir kullanıma sahip değildir. En büyük dezavantajı ürünün her parçası için ayrı bir kalıp olması gerekmektedir bu yüzden seri üretime uygun değildir ve maliyeti oldukça yüksektir.

2.1.1.6 Odun Plastik Kompozit Malzemelerin Biyolojik Performans Özellikleri

Odun plastik kompozitlerde biyolojik bozunmasını etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Kompozitin prozite derecesi, kullanılan ağacın türü, materyalin yoğunluğu, odun lifinin partikül büyüklüğü, su absorpsiyonu ya da rutubet içeriği, biyosit ve katkı maddelerinin varlığı ya da yokluğu en önemli etkenlerdir (Chow vd., 2002; Verhey ve Laks, 2002; Silva, 2003; Klyosov, 2007; McDonald vd., 2009; Morrell vd., 2010).

Geçmişten günümüze bilinen en iyi odun koruma yöntemi odunu kuru tutmaktır. Rutubet mikrobiyolojik canlılar özellikle de *Basidiomycetes* mantarları için hayati önem taşımaktadır. Odun partikülleri rutubeti bünyesine bir kez aldığı anda malzemede odun bünyesine su alıp vermesiyle odun-plastik arayüzü yok olur, plastikte mikro çatlaklar oluşmaya başlar ve odun partikülleri parçalanarak kopmaya başlar (Morrell, 2010).

2.1.2 Yüksek Yoğunlukta Lif Levha (HDF)

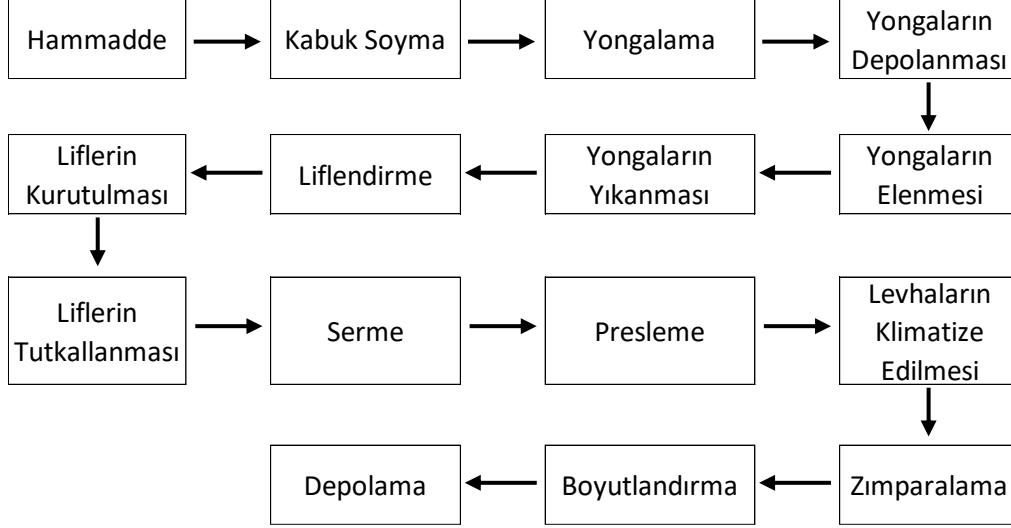
Yüksek yoğunlukta lif levhaların üretimi üç yöntem ile gerçekleştirilir. Bunlar; yaş, yarı-kuru ve kuru yöntemdir. Bu yöntemlerde yaş yöntem ile üretilen sert lif levhalarda kendi içinde ikiye ayrılır. Birincisi S1S (Smooth One Surface) yöntemidir ve levhanın bir yüzünde elek izi bulunur, ikincisi ise S2S (Smooth Two Surface) yöntemidir ve levhanın üzerinde elek izi bulunmaz. Yaş yöntem ile üretimde yaş-sıcak pres kullanılır. Ayrıca yaş yöntem ile üretimde

sulu ortam kullanılır. Kuru yöntemde kuru-sıcak pres teknolojisi kullanılır. Günümüzde sert lif levha üretimi bu yöntemlerden daha çok kuru yöntem tercih edilir (İstek, 2006).



Şekil 14: HDF örnekleri.

HDF üretiminde kullanılan kuru yöntemde taslak oluşumunda sulu ortam kullanılmaz, lifler kuru ortama serilir ve sıcaklık ile sertleşen (termoset) tutkal yardımıyla liflerin yapışması sağlanır. Bu yöntem ile üretilen levhaların her iki yüzeyi de düzgün olur ve bu en önemli özelliklerinden birisidir. Diğer bir özelliği ise iç mekânlarda kullanılmasıdır. Bu özelliği rutubete karşı dayanıklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kuru yöntemin aksine yaş yöntem ile levha üretiminde bazen tutkal yerine lignin kullanılarak yapıştırma işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem ligninin, sıcaklığın ve basıncın etkisi ile tutkal görevini görmektedir. Yaş yöntem ile levha üretiminde direncin artırılması için liflendirme ve suyun uzaklaştırılmasının kolay olması önemlidir. Tüp şekillendiricilerde veya uzun eleğin üzerinde taslak üretimi gerçekleştirilir ve su taslaktan uzaklaştırılır. Daha sonra presleme aşamasına geçilir. Pres sıcaklığı 210°C ve süresi 6 - 15 dk ve maksimum basınç 5 N/mm²'dir. Yaş yöntem ile üretilen levhaların eğilme direnci kuru yöntem ile üretilen levhalara göre daha yüksektir. HDF'ler otomotiv sektöründe, yapısal uygulamalarda ve mobilyacılık sektöründe kullanımı tercih edilmiştir. Ayrıca sert lif levhalar bazı özel işlemlerden geçerek dış mekânlarda da kullanılmaktadır (Güller, 2001). Şekil 15'de lif levha üretiminin kuru yöntem ile üretimi ele alınmıştır.



Şekil 15: Lif levha üretimi (Kuru yöntem) (Güller, 2001)

Uzun liflere sahip olan iğne yapraklı ağaç odunları teknik olarak lif levha endüstrisinde kullanımı tercih edilir. Uzun liflerinin verdiği avantaja rağmen iğne yapraklı ağaç lifleri hamur üretiminde bazı dezavantajlara sebep olur. Bu dezavantajlar; üretimde daha fazla enerjiye ve buharlaşma süresine ihtiyacın artmasıdır. İğne yapraklı ağaç liflerinin aksine yapraklı ağaç lifleri daha ucuzdur ve daha kolay elde edilmektedir. Buna ek olarak, pişirme süreleri kısadır ve yüksek yoğunluğa sahiptirler. Sert lif levhaların üretiminde odun türlerinin yani yapraklı ve iğne yapraklı ağaç liflerinin karıştırılarak kullanılmasında bir sakınca yoktur. Çünkü sert lif levhanın özelliklerinde fazla bir değişime neden olmamaktadır. Kayın, kavak, çam ve kızılğaç gibi odun türleri sert lif levha üretiminde kullanılmaktadır (Eroğlu ve Usta, 2000).

2.1.3 Yönlendirilmiş Yonga Levha (Oriented Strand Board-OSB)

Yönlendirilmiş yonga levha (OSB), strand adı verilen yongalara (Şekil 16) tutkal ilave edildikten sonra yönlendirilerek hazırlanan levha taslağının sıcaklık ve basınç altında preslenmesi ile üretilen levhalardır (Çehreli, 1981).

OSB üretim tekniğinin gelişmesini ve günümüzdeki düzeye ulaşmasını sağlayan ilk çalışmalar Amerika'da Almendorf'un ve Almanya'da W.Klauditz'in çalışmalarına dayanmaktadır. Elmendorf'un 1946 yılında Kaliforniya'da başlattığı araştırmalarda şerit halindeki yongaları

kullanarak çimento bağlantılı levha üretmiştir. W.Klauditz ve arkadaşları ise 1952 yılında başlattıkları çalışmalar sonucunda yönlendirilmiş yongalı levhalarla (OSB) ilgili ilk patenti 1954 yılında almışlardır (Çehreli, 1981).

OSB üretim teknolojisi; genelde küçük çaplı, yuvarlak odun hammaddesinin boyuna yönde yongalanması ile elde edilen yongaların tutkal ve vaks ilave edildikten sonra yönlendirilmesi sonucu elde edilen taslağın, belli basınç ve sıcaklık altında yapıştırılması esasına dayanmaktadır (Kalaycıoğlu, 2001).

OSB levhaları; boya ve vernik gibi maddeler ile renginin değiştirilebilir olması, kolay işlenebilmesi, çivi ve vida tutma gücünün iyi olması gibi birçok üstün özelliklere sahiptir. Bu gibi üstün özelliklerinden dolayı OSB kullanıcıya birçok avantajlar sunmaktadır. Bu nedenle, günümüzde OSB kendine birçok alanda kullanım yeri bulmuştur. OSB'nin başlıca kullanım alanları şunlardır;

- Özellikle deprem riski olan yerlerde inşa edilen binalarda,
- Çatılarda kiremit ve hafif çatı malzemeleri (shingle) altlarında,
- Prefabrik yapılarda,
- İnşaatlarda beton kalıplarında,
- Yat ve tekne dekorasyonunda,
- Dekoratif tavan yapımında ve mobilya endüstrisi gelmektedir (Ayla, 2001).



Şekil 16: OSB örnekleri

2.1.3.1 OSB Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

a) Odun Hammaddesi

Ahşap kompozit levha üretiminde çok çeşitli ağaç türleri kullanılmaktadır. Bunların başında iğne yapraklı ağaç türlerinden çam, ladin, göknar, geniş yapraklı ağaç türlerinden ise kavak, kızılçam, söğüt, kayın, huş yaygın olarak kullanılmaktadır (Güler, 2001). Levha yoğunluğunu ve levha özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerden birisi kullanılan hammaddenin yoğunluğu olup, OSB üretiminde genellikle düşük yoğunluklu ağaç türleri tercih edilir (Hse, 1975; Vital, 1980). İşleme ve taşıma maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı OSB üretiminde yüksek yoğunluğa sahip odun hammaddesi tercih edilmez (Baştürk, 1999). Uygun yonga boyutlarını elde etmede yuvarlak odundan başka; kapak tahtası, kereste endüstrisi artıkları, iri yongalar ve kontrplak fabrikası artıkları kullanılabileceği yapılan çalışmalar sonucu belirlenmiştir (Çehreli, 1981).

b) Yapıştırıcı Maddeler (Tutkallar)

Yapıştırıcı madde, malzemelerin yüzeylerini birleştirerek bir arada tutabilme yeteneğine sahip madde olarak tanımlanmaktadır (Vick, 1999). Yapıştırıcılar, yongalevha ve kontrplak gibi levha ürünlerinin üretiminde ve çeşitli konstrüksiyonların birleştirilmesinde oldukça önemlidir. Orman ürünleri sanayisinin gelişmesinde yapıştırıcıların büyük etkisi olmuştur (Aydın vd., 2002) Üretilen ahşap kompozit malzemelerin kalitesi ve tutkallı birleştirmelerin performansı oluşan tutkal bağına bağlıdır (Chen, 1970).

OSB üretiminde, dış hava koşullarına dayanıklı olması dolayısıyla genellikle fenol formaldehit tutkalı kullanılmaktadır (Avradimis ve Smith 1989). Bunun yanında izosiyanat tutkalı geniş kullanım alanına sahiptir. Ayrıca, melamin üre fenol formaldehit tutkalı da OSB üretiminde kullanılan tutkal türlerindedir (Skinner, 2000).

c) Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri, levhaların özelliklerini iyileştirmek için ilave edilen maddelerdir. Katkı maddelerinin başlıca görevleri şunlardır;

- Stabilite sağlanma,
- Asit kontrolü,
- Plastikleştirme,
- Tutkal sürme niteliklerinde reçinenin yapısal olarak iyileştirilme,
- Yanmayı geciktirme,
- Koku giderme,
- Renklenmeyi önlemek (Kalaycıoğlu, 1991).

d) Hidrofobik Maddeler

Hidrofobik maddeler, yonga ve lif levhanın boyutsal stabiltesini sağlamak, rutubetli bir ortamda veya su ile temas etmesi halinde levhanın çalışmasını azaltmak amacıyla kullanılır. Mumlar, nispeten düşük molekül ağırlığında, basit yapıda, kristalleri iğne şeklinde ve yassı olan maddelerdir. Hidrofobik etkileri, liflerin kılcal boşluklarına girerek su moleküllerinin bu boşluklara girmelerini engelleme şeklindedir (Eroğlu ve Usta, 2000).

e) Sertleştirici Maddeler

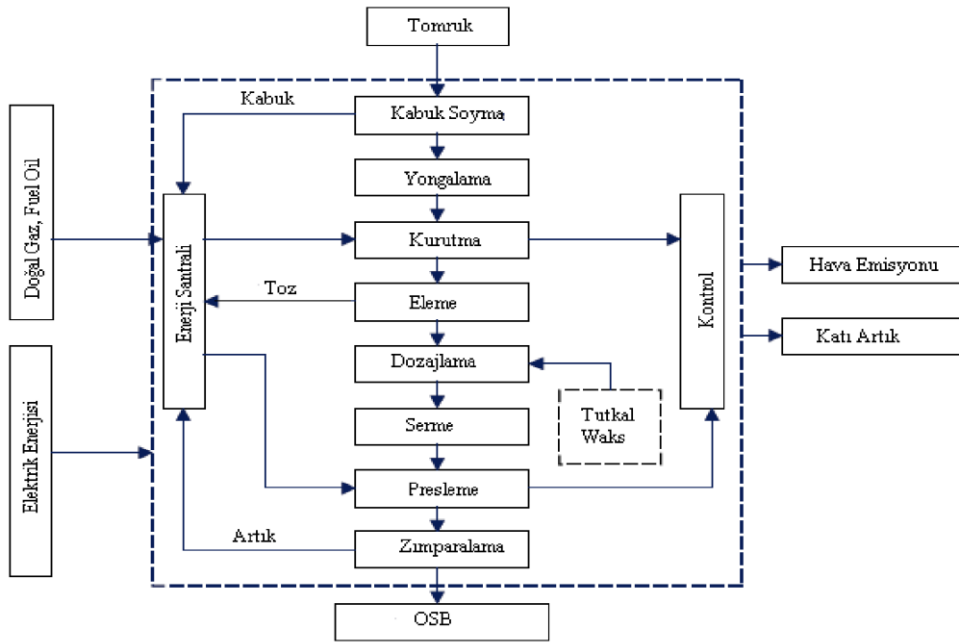
Ahşap levha endüstrisinde sertleştirici maddeler kullanılan tutkal türüne göre değişiklik göstermektedir. Sertleştiriciler bazı tutkallar için gerekli olmakla birlikte bazı tutkallar için ise gerekli değildir. Üre formaldehit tutkalının sertleşmesi için mutlaka bir sertleştirici gereklidir. Isı etkisi ile sertleşme hızlanmaktadır. Alkali fenol-formaldehit tutkalı, herhangi bir sertleştiriciye gerek kalmaksızın sadece ısının etkisiyle sertleşir (Ayrılmış, 2000).

f) Koruyucu Maddeler

Ahşap esaslı malzemelerin kullanım yerinde maruz kaldıkları biyolojik bozunmaya ve böceklere karşı, kimyasal maddeler ile muamele edilmesi oldukça önemlidir (Lei ve Wu, 2006). Bunun için, ahşap ve ahşap esaslı kompozit malzemeler çeşitli kimyasal bileşiklerle modifiye edilmektedir. OSB levhalarının kullanım süresini uzatmak için yongalar borlu bileşikler ile modifiye edilmektedir (Dönmez ve Kalaycıoğlu, 2005).

2.1.3.2 OSB Üretim Teknolojisi

OSB, kesme ile soyma arası işlem sonucu elde edilen ve strand adı verilen odun yongalarının kurutulmasından sonra tutkal ilave edilerek hazırlanan taslağın belirli süre, basınç ve sıcaklık altında preslenmesi ile oluşur. OSB için oluşturulmuş genel üretim teknolojisi diğer odun kökenli levhaların (yonga levha) üretim teknolojileri ile benzer olup, OSB üretim aşamaları Şekil 17’de gösterilmiştir (Kline, 2002).



Şekil 17: OSB üretim teknolojisi

a) Tomrukların Depolanması

Yonga levha fabrikalarında kesintisiz bir şekilde üretim yapabilmesi için yeterli miktarda odun hammaddesi depo edilmelidir. Depoların zemini temiz olmalı ve uygun koruma koşulları sağlanmalıdır. Aksi halde ağaç malzemede çürüme, mantar ve böcek zararları, mavi renklenme ve hoş olmayan koku oluşabilir (Özen, 1979; Özen, 1980).

b) Kabuk Soyma

Kabuk düşük yoğunlukta, kısa lifli ve mukavemeti az olmasından dolayı levha üretiminde istenmemektedir. Üretimde kullanılacak tomruklar, kabukları ormanda kesimden sonra soyularak ya da nadiren de olsa ormanda yongalama yapılarak fabrikaya getirilebilir. Ancak,

genellikle odunlar fabrikaya kabuklu olarak geldiğinden kabuklarının soyulması gereklidir (Eroğlu, 1988; İstek, 1999).

c) Yongalama

Yongalama makinesine gelen tomruklar “flaker” veya “strander” olarak adlandırılan özel yongalama makinesinde kesme ile soyma arası bir hareketle yongalanmaktadır. Ağağ malzeme diskli yâda silindirli yongalama makinelerinde ya doğrudan flak” veya “strand” olarak yongalanır. Veya önce kaba yongalanma işlemine tabi tutulduktan sonra, halkalı tip Flakerlarda OSB üretimine uygun boyutlara getirilir (Dönmez, 2005).

d) Kurutma

Rutubetli yongalar tutkallanmadan önce kurutulmalıdır. Yüksek rutubet içeren levha taslağı presleme esnasında sorunlara neden olmaktadır. Üretimde tutkal çözelti halinde kullanılacak ise, yongalar %3 değerine kadar kurutulmalıdır (Sellers, 1985).

e) Eleme

Kuruma ünitesinden çıkan yongaların içinde çok büyük ya da çok küçük materyaller bulunabilir. Eleme normal boyuttaki yongaları aşırı boyutlu yongalardan ve çok ince materyallerden ayırmak için yapılır. Geniş yongalar yüzey tabakasında, daha küçük yongalar ise orta tabakada kullanılmak üzere sınıflandırılır. Yonga elekleri; döner silindirik, titreşimli veya sallantılı (sarsıntılı) tipte olabilir (Lamarche, 1969; Eroğlu ve Usta, 2000).

f) Tutkallama

Tutkallamanın homojen bir şekilde yapılması levhaların direnç özelliklerini artırmaktadır. Homojen bir şekilde tutkallama işlemi yapılabilmesi için değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en uygun olanı noktasal uygulama olup, bu yöntemle tutkal çözeltisi yonga üzerine eşit şekilde dağıtılmaktadır. Bu amaçla yüksek basınçlı, hava girdaplı enjektörler veya vantilatörler kullanılmaktadır. Tutkallamada, yüzey ve orta tabaka katmanları için farklı tutkal formülasyonları uygulanır. Bu nedenle silolardan gelen yongalar yüzey ve orta tabakalar için ayrı tutkallama makinesine gönderilir. Dış tabakalar için sıvı ya da güçlendirilmiş fenolik

reçineler, orta tabaka yongaları için fenolik reçineler yâda izosiyanat kullanılmaktadır. Ağaç malzemedede daha hızlı tepkime ve daha yüksek bir rutubet oranına imkân verdiği için sıvı fenolik reçineler tercih edilmektedir (Smulski, 1997; Kalaycıoğlu, 2001).

g) Serme

Kaliteli levha üretmek için homojen bir serme gereklidir. Özgül kütledeki değişmeler levhanın direnç özelliklerini de etkilemektedir. Bunun için yongalar serilirken hata yapılmamasına dikkat edilmeli, serme işlemi levhanın ortasından geçen yatay düzleme göre simetrik olmalıdır (Özen 1980).

h) Presleme

Presleme işlemi, OSB üretim sürecinin en önemli aşamalarından biridir. Presleme şartları, kullanılan tutkal tür ve miktarına, levha yoğunluk, kalınlık ve rutubet içeriğine bağlıdır. Levha taslağının levha halini alması için preslenmesi gerekir. Serme ile oluşturulan taslağın taşıma sırasında bozulmaması için sarsılmadan taşınması gerekir. Presleme safhası ön presleme ve sıcak presleme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ön pres, sıcak preslemede taslağın yapısının bozulmaması için gereklidir. OSB taslağı, levha özelliğini ancak sıcak preste kazanır.

i) Pres Sonrası İşlemler

Presleme ve pres önceki işlemlerin hatasız olarak yapılmış olması levhanın fiziksel ve mekanik özelliklerinin istenen değerde olması açısından oldukça önemlidir. Presten çıkan levhaların sıcaklığının 70°C'nin üzerinde üst üste istiflenmesi halinde üre formaldehit tutkalı rutubetin etkisiyle hidroliz olmakta ve direnç değerlerinde düşüş görülmektedir. Bu nedenle üre formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhalar 70°C altında sıcaklık değerlerine kadar soğutulduktan sonra üst üste istiflenmelidir. Fenol formaldehit tutkalı kullanılarak üretilen levhalarda sıcak istiflemeden dolayı bir sakınca oluşmamaktadır (Güler, 2001).

Levhaların soğutulma işlemi; soğutma kanalı ve daha çok soğutma yıldızları kullanılarak yapılır. Klimatize işlemi ile levhanın sıcaklığı ve rutubeti dengelenmekte ve tutkalın tam olarak sertleşmesi sağlanmaktadır. Yan alma işlemi levhaların soğutulmasından sonra yapılmalıdır.

Bu amaçla daire testereler kullanılmaktadır. Daha sonra düzgün yüzeyli levhalar elde etmek için levhaların alt ve üst yüzeyleri zımparalanmaktadır. Zımparalanan levhalar satış için depolara alınır (Güler, 2001).

2.1.4 Sarıçam

Mevcut çam türleri içerisinde en geniş coğrafi yayılımı olan Sarıçam, Avrupa ve Asya'da yaklaşık 3700km eninde ve 14700km uzunluğunda çok geniş bir yayılım alanına sahiptir. Sarıçam, 20-40m arasında boy yapmakta, ülkemizde saf ve karışık olarak bir milyon hektara yakın bir saha üzerinde yayılmıştır. Kuzey Doğu Anadolu, Ardahan, Oltu, Posof, Sarıkamış dolaylarında çoğunlukla saf, Yanlıçam Dağları'nda saf veya Ladin ve Gökmar gibi diğer ağaç taksonları ile karışık olarak geniş ormanlar kurar. Karadeniz Bölgesi'nde Of, Sürmene, Artvin, Rize, Gümüşhane, Giresun, Amasya, Sinop ve Abant çevresinde geniş bir yayılım gösteren Sarıçam Türkiye toplam orman alanının % 5,5'ini oluşturmaktadır (Yaltırık ve Efe, 1994). Türkiye'deki Sarıçam ağaçlarının yayılım alanı Şekil 18'de verilmiştir.



Şekil 18: Sarıçam'ın Türkiye'deki yayılım alanı

Sarıçam (Şekil 19) Gymnospermae sınıfından, Pinaceae familyasının Pinus cinsinin bir türüdür. Farklı iklim ve edafik koşullar altında yetişir. Birçok alttür, varyete ve formlara sahip olan çok kompleks bir türdür (Tosun, 2001).

Yetiştirme ortamlarına göre 20-40 m boy yapabilen, narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı, ya da dolgun ve düzgün gövdeli, yayvan tepeli ve kalın dallı her dem yeşil bir ağaçtır (Anşin ve Özkan, 1997).

Sarıçam önemli ve ekonomik değere sahip ağaç türlerinin başında gelmektedir. Bu önem, bu ağaç türünün saf halde ve diğer ağaç türleriyle karışık olarak geniş ormanlar oluşturmasından ve odununun çeşitli ve değerli kullanma yerlerine sahip bulunmasından ileri gelmektedir. Ayrıca, düzgün, dolgun ve boylu gövde yapma özelliği ve dolayısıyla odunundan tam olarak faydalanabilme imkânının mevcudiyeti sarıçamın ülke ekonomisi yönünden olan önemini artırmaktadır (Alemdağ, 1967).

Sarıçamın Fiziksel ve Mekanik özelliklerine ait bilgiler Tablo 2’de verildiği gibidir.

Tablo 2: Sarıçamın fiziksel ve mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 1989).

Fiziksel Özellikleri		Mekanik Özellikleri	
D0	0,490 gr/cm ³	σ_B	45 N/mm ²
D12	0,520 gr/cm ³	σ_E	80 N/mm ²
R	750-850 kg/m ³	E.mod	11000 N/mm ²
β_r	% 4,0	$\sigma_{\varphi} //$	100 N/mm ²
β_t	% 7,7	σ_M	10 N/mm ²
β_v	% 12,4	a	0,4- 0,7 kN/cm ²
		BS //	40 N/mm ²
		BS \perp	19 N/mm ²



Şekil 19: Sarıçamdan elde edilmiş keresteler

2.1.5 Poliüretan Tutkalı (PU)

Poliüretan tutkalı (Şekil 20) çift bağlı alkolden ve uygun isosiyanattan üretilir. PU tutkalın bileşenleri Tablo 3' te verilmiştir. Kohezyon ve adhezyon kuvvetleri çok güçlüdür. Asitlere, yağlara, kaynar suya ve mikroorganizmalara karşı dayanıklı bir tutkal türüdür. Oda sıcaklığında (20 °C) sertleşme süresi 60 dakikadır. Tutkal reaksiyonunu tamamladığında, hacminin yaklaşık yirmi katı oranında genişmekte ve tutkal katında çekme olmamaktadır. Sıcaklık artışı, sertleşme süresini kısaltmaktadır. 60 °C'ın üstündeki sıcaklıklarda preslenmesi tavsiye edilmemektedir. Çünkü bu sıcaklığın üzerine çıktığında, ortama insan sağlığına zararlı gazlar salgılamaktadır (Öktem, 1976). Bu tutkalın teknik özellikleri Tablo 4' te verilmiştir.

İyi bir yapıştırmanın yapılmasında ağaç malzeme yüzey yapısının önemli etkisi vardır. Tutkal sürülecek yüzeylerde makine izleri, herhangi bir darbeden dolayı ezilme, bıçakların kör olmasından dolayı yanma, dalgalı yüzey vb. gibi işleme kusurları olmamalıdır. Ayrıca tutkallama yüzeyinde bulunan ekstraktif maddeler, toz ve yağ gibi diğer artıklar yapışma dayanımını olumsuz etkileyebilir.



Şekil 20: Poliüretan (PU) Tutkalı

Tablo 3: PU Tutkalın Bileşenleri

Kimyasalın Adı	CAS No	EEC No	% İçerik	Tehlike İşareti	Risk İbareleri R	Güvenlik Durumları S
4- diphenylmethane- diisocyanate,	101-68-8	-----	18-20	Xn	20,36/37/38,42/43	2, 23,36/37,45
Tosyl isocyanate	4083- 64-1	-----	0,21- 0,28	Xn	14,36/37/38,42	2,26,28,30

Tablo 4: PU Tutkalın Teknik Özellikleri

ÖZELLİKLERİ	Birim	Değerler	Test Metodu
Viskozite, 25°C	cps	3500-5500	ASTM D 2186
Parlama Noktası	°C	> 200	ASTM D 93
Isocyanate Miktarı	%	15-17	ASTM D 2572
Yoğunluk	gr/cm ³	1,1-1,14	ASTM D 1475-98

2.1.6 PVA Tutkal

Su bazlı, polivinil asetat esaslı, kokusuz emülsiyon tutkalıdır. Ahşap malzemelerin yapıştırılmasında kullanılır. Bu tutkalın teknik özellikleri Tablo 5’ te verilmiştir. PVA tutkal uygulanmadan önce, uygulanacak yüzeyin temiz ve kuru olması sağlanmalıdır. Yapıştırılacak yüzeyler tutkal sürüldükten sonra birleştirilir ve sıkıştırma yöntemi ile kurumaya bırakılır. Taşan kısımları temizlemek için nemli bez kullanılmalıdır. Ilık su ve sabun ile kolayca temizlenir. Doğrudan güneş ışığı almayan, ağzı kapalı ambalajlarda, 5-35°C arasında depolanmalıdır. Kullanılmadığında ambalajının ağzı kapalı tutulmalıdır (Şekil 21). Donan korunmalıdır.



Şekil 21: PVA Tutkal

Tablo 5: PVA Tutkalın Teknik Özellikleri

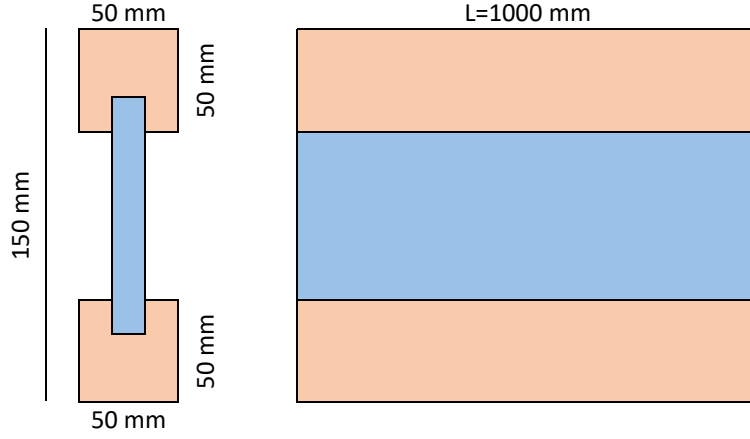
Ürün Özellikleri		Standart
Reçine Tipi	Polivinil asetat	-
Görünüş / Renk	Viskoz sıvı / Beyaz	-
Katı Madde % (ağırlıkça)	53 - 55	ISO 3233
Katı Madde % (hacimce)	43 - 45	ISO 3233
Viskozite (cPs, 25°C)	12000 - 15000	ASTM D5481
pH (25°C)	6.0 - 7.5	ASTM E 70
Kuruma Süresi (saat / 20°C)	0.5 - 2	-

2.2 Yöntem

Bu çalışmada sarıçam, OPK, HDF ve OSB malzemeleri kullanılarak ahşap kompozit I kiriş örnekleri hazırlanmıştır. I kirişin alt ve üst başlıklarında sarıçam kullanılmış, gövdede OPK, kontraplak veya OSB kullanılarak 3 çeşit I kiriş tasarlanmıştır (Şekil 22). Bu ham malzemeler PU tutkal birleştirilmiştir. Gövdede OPK kullanılan kirişlerde tutkal olarak PU tutkal ve PVA tutkal kullanılmıştır. Bu tasarımlarla PU tutkal ile PVA tutkalın karşılaştırılması yapılmıştır. Tasarlanan kirişlerin ebatları Şekil 23’de verilmiştir. Tasarlanan kiriş örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.



Şekil 22: Tasarlanan I kiriş Örnekleri



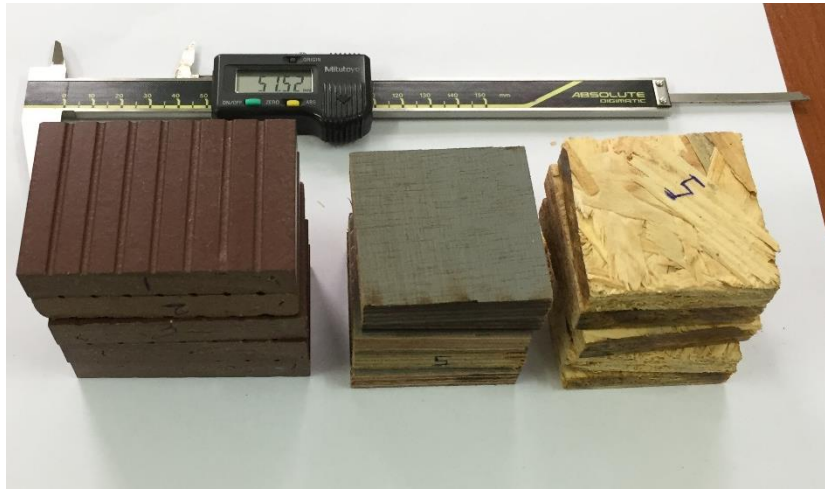
Şekil 23: I kiriş ebatları

2.2.1 Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Tasarlanan kirişlerde kullanılan ham malzemelerde yoğunluk belirlenmesi yapılmıştır.

2.2.1.1 Yoğunluğun Belirlenmesi

Yoğunluk tayininde, TS 2472 esaslarına göre 12x50x50 mm boyutlarındaki örnekler kullanılmıştır (Şekil 24). Buna göre; deney örnekleri $\pm 0.01g$ duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları $\pm 0.01mm$ duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri belirlendikten sonra ağırlık (M) ve hacim (V) değerine göre yoğunluk (D) aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.



Şekil 24: Yoğunluk deney örneği

$$D = M / V \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

M ; Örnek ağırlığı (g)

V ; Örnek hacmi (cm³)

D ; Yoğunluk anlamına gelmektedir.

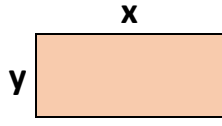
2.2.2 Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi

Tasarlanan kirişlerde ve ham malzemelerinde eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, eğilmede kayma direnci ve basınç direnci deneyleri yapılmıştır.

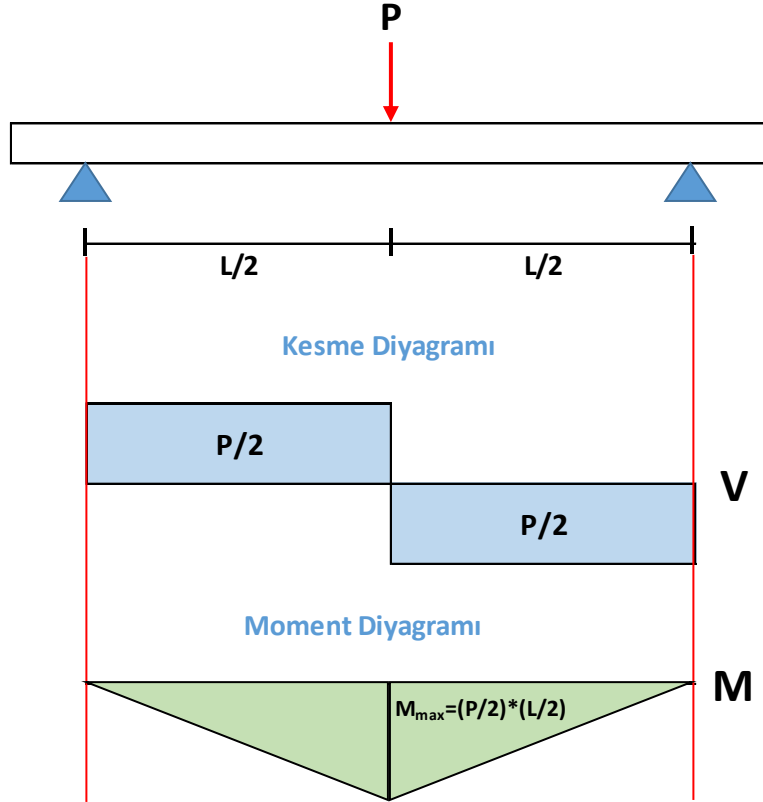
2.2.2.1 Eğilme Direnci

Ağaç malzemenin yapılarda kullanıldığı gibi büyük boyutlarda test edilmesi, budaklar, lif kıvrıklığı vb. kusurların mekanik özelliklerine etkisinin ortaya konulması bakımından son derece önemli testlerdir. Bu şekilde tespit edilen direnç değerleri, malzemenin kullanım yerinde sergileyeceği performansı daha iyi yansıtmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada, yapısal boyuttaki kerestelerin eğilme direnci test edilmiştir. Denemelerde TS 5497 EN 408 standardı esas alınmıştır. Bu standartta verilen “Global Eğilmede Esneklik Modülünün Tayini” başlığı altındaki yöntem uygulanarak, üç ve dört noktalı eğilme direnci tespit edilmiştir. Üç noktalı eğilme direncinde mesnetler arası mesafe 24 cm’ dir. Tam ortadan tek kuvvet uygulanmıştır. Dört noktalı eğilme direnci tespitinde ise mesnetler arasındaki mesafe 66 cm’dir. Mesnetler üzerine yerleştirilen kirişin üzerine, 22 cm mesafe olan iki yükleme başlığı tarafından kuvvet uygulanmıştır. Keresteler mesnetler üzerine yerleştirilirken budakların basınç gerilmeleri tarafında (üstte) kalmasına özen gösterilmiştir. Yükleme hızı, yükleme başlıklarının hareket hızı en fazla 0,003 h mm/sn olacak şekilde ayarlanmıştır. Kırılana kadar yük uygulanan numuneden elde edilen değerler aracılığı ile eğilme direnci değerleri elde edilmiştir

a) Tek noktadan yüklemeli eğilme direnci:



$$I_{\text{Diktörtgen}} = \frac{1}{12} * x * y^3 \quad (2)$$



$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad (3)$$

$$M = \frac{P * L}{4} \quad (4)$$

$$C = \left(\frac{e}{2} * b\right) \quad (5)$$

$$I = \left(\frac{1}{12} * a * b^3 + a * b * \left(\frac{e}{2} + \frac{b}{2}\right)^2\right) + \left(\frac{1}{12} * f * e^3\right) + \left(\frac{1}{12} * d * c^3 + d * c * \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2}\right)^2\right) \quad (6)$$

Bu eşitliklerde;

σ : Eğilme direnci (Newton/mm²)

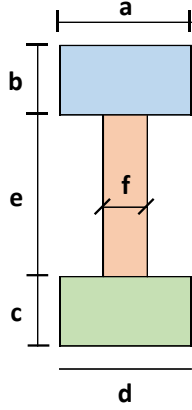
M: Eğilme Momenti (Newton*mm²)

P: Maksimum yük (Newton)

L: Mesnetler arası mesafe (mm)

C: I kesitin nötr eksen ile üst başlığın ucu arasındaki mesafe

b) İki noktadan yüklemeli eğilme direnci:

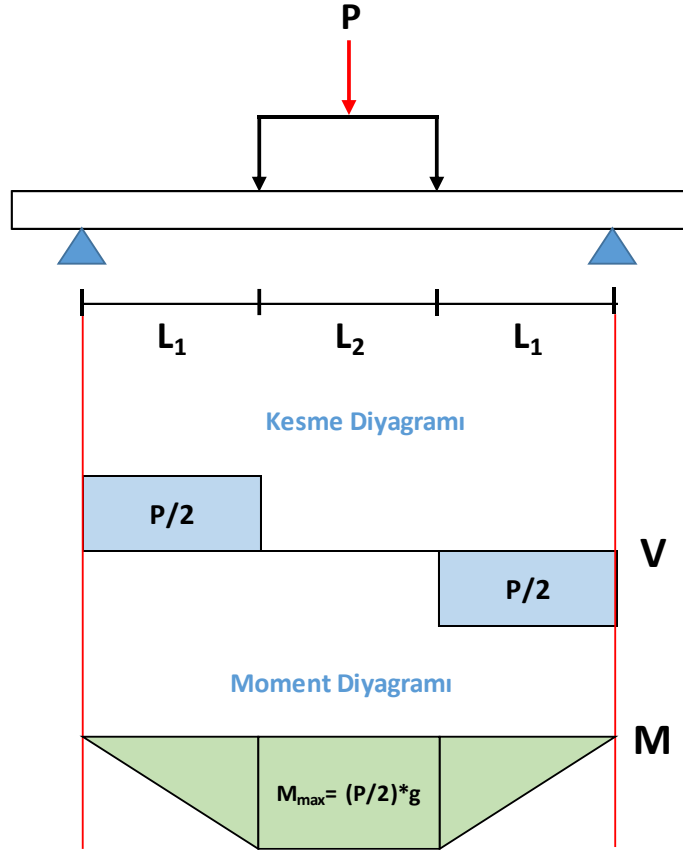


$$I = \sum_{i=1}^3 (I_i + A_i * d_i^2) = (I_1 + A_1 * d_1^2) + (I_2 + A_2 * d_2^2) + (I_3 + A_3 * d_3^2) \quad (7)$$

I = Toplam profilin atalet momenti

A_i = Farklı şekillerin kesit alanı

I_i = Farklı şekillerin atalet momenti



$$\sigma = \frac{M * C}{I}$$

(8)

$$M = \frac{P * L_1}{2} \quad (9)$$

$$C = \left(\frac{e}{2} * b\right) \quad (10)$$

$$I = \left(\frac{1}{12} * a * b^3 + a * b * \left(\frac{e}{2} + \frac{b}{2}\right)^2\right) + \left(\frac{1}{12} * f * e^3\right) + \left(\frac{1}{12} * d * c^3 + d * c * \left(\frac{e}{2} + \frac{c}{2}\right)^2\right) \quad (11)$$

Bu eşitliklerde;

σ : Eğilme direnci (Newton/mm²)

M: Eğilme Momenti (Newton*mm)

P: Maksimum yük (Newton)

a: Mesnet ile mesnede en yakın yükleme arasındaki mesafe (mm)

C: I kesitin nötr eksen ile üst başlığın ucu arasındaki mesafe

Deneyler “UTEST” firmasının “LS100 Plus” model üniversal test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 25’de görülmektedir.



Şekil 25: Kirişlerde Tahribatlı Deney Düzeneği

2.2.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilmede elastikiyet modülün belirlenmesinde eğilme direnci deney örneklerinden yararlanılmıştır. Tek noktadan yüklemeli eğilmede elastikiyet modülü hesabında Eşitlik 14, iki noktadan yüklemelisin de ise Eşitlik 16'ya göre hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{1}{E * I} \int_0^1 \overline{M}_1 * M_0 dx \quad (12)$$

$$\delta_1 = \frac{P * L^3}{48 * E_1 * I} \quad (13)$$

$$E_1 = \frac{P * L^3}{48 * \delta_1 * I} \quad (14)$$

$$\delta_2 = \frac{23 * P * L^3}{1296 * E_2 * I} \quad (15)$$

$$E_2 = \frac{23 * P * L^3}{1296 * \delta_2 * I} \quad (16)$$

Bu eşitliklerde;

\overline{M}_1 : 1. Eğilme Moment diyagramı

M_0 : 0. Eğilme Moment diyagramı

E: Numunenin elastikiyet modülü (Newton/mm²)

E₁: Tek noktadan yüklemeli eğilme hesabındaki elastikiyet modülü (Newton/mm²)

E₂: İki noktadan yüklemeli eğilme hesabındaki elastikiyet modülü (Newton/mm²)

δ : Sehim (mm)

δ_1 : Tek noktadan yüklemeli eğilme hesabındaki sehim miktarı (mm)

δ_2 : İki noktadan yüklemeli eğilme hesabındaki sehim miktarı (mm)

P: Yük (Newton)

L: Mesnetler arasındaki mesafe (mm)

2.2.2.3 Eğilmede Kayma Direnci Deneyi

Djoko (1996)'nın yapısal kerestelerde güç kesme yöntemleri incelemesinde ASTM D 198'e göre dikdörtgen kesitli numunenin tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma miktarlarında Eşitlik 17, I kesitli numunenin iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma miktarı ise Eşitlik 18'e göre hesaplanmıştır.

$$\tau_d = \frac{3 * P}{4 * A_d} \quad (17)$$

$$\tau_l = \frac{P}{2 * A_l} \quad (18)$$

Bu eşitlikte;

τ_d : Dikdörtgen kesitli numunenin tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma direnci miktarı (Newton/mm²)

τ_l : I kesitli numunenin iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma direnci miktarı (Newton/mm²)

A_d : Dikdörtgen kesitli numunenin kesit alanı (mm²)

A_l : I kesitli numunenin kesit alanı (mm²)

P: Yük (Newton)

2.2.2.4 Basınç Direnci

Basınç direncinin tespiti için TS 2595 (1976) esas alınmıştır. Basınç direncinin ölçülmesinde her malzeme türünden OPK, OSB, HDF, sarıçam panellerinden 10 adet örnek alınmıştır. Deneyden öncesinde, kuvvetin uygulanacağı enine kesit alanı (axb) ölçülüp, kırılma anındaki maksimum kuvvet (Pmax) belirlenerek, basınç direnci aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Bektaş, 1997).

$$\sigma_w = P_{max} / (a*b) \quad (N/mm^2) \quad (19)$$

eşitliğine göre hesaplanmıştır.

Bu eşitlikte ;

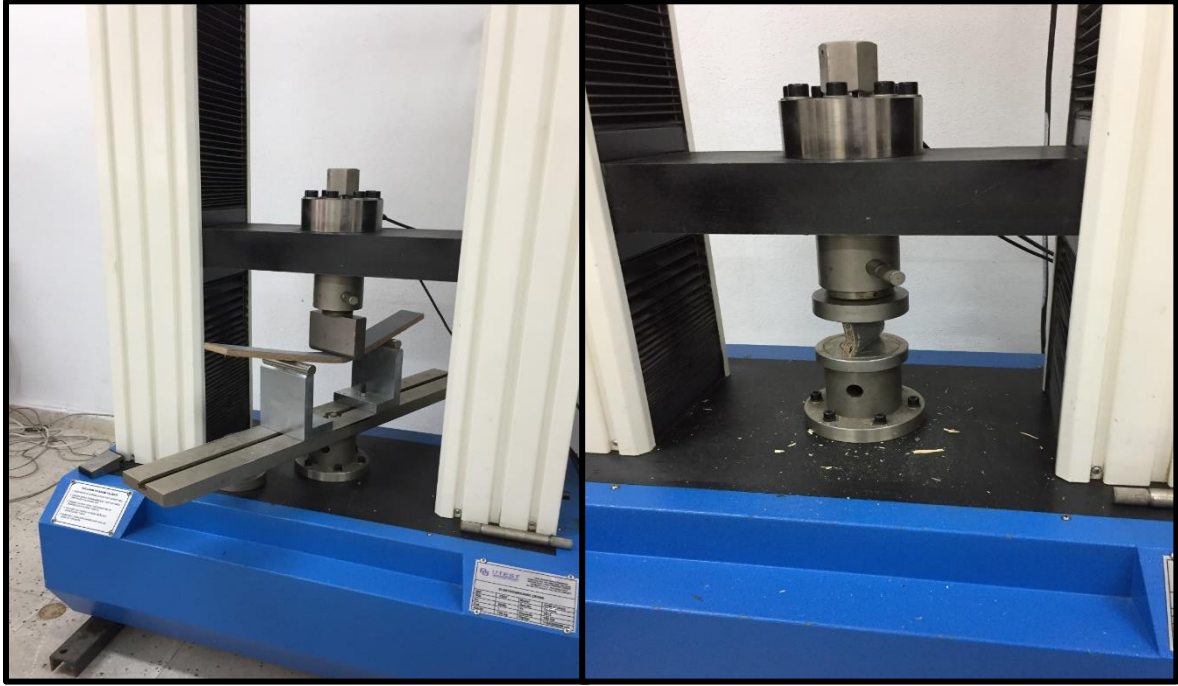
σ_w ; Basınç direnci (N/mm²)

Pmax ; En büyük yük (N)

a ve b ; Deney parçasının en kesitsel boyutları (mm²)'dir.

2.2.2.5 Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numunelerde Yapılan Testler

Küçük boyutlu ve kusursuz numunelerde yapılan testler, büyük boyutlu testler ve tahribatsız testlerden elde edilen değerler ile karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır. Özellikle bu örnekler kusur barındırmadığından, yapısal boyutta kusur içeren malzeme ile karşılaştırılarak, genel olarak kusurların eğilmede kayma, eğilme direnci deneyleri yapılmış ve elastikiyet modülü incelenmesinde kullanılmıştır (Şekil 26).



Şekil 26: Küçük Boyutlu ve Kusursuz Numuneler

BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 Fiziksel Özelliklerine Ait Bulgular

Tasarlanan kirişlerde kullanılan ham malzemelerde yoğunlukları belirlenmiştir.

3.1.1 Yoğunluğa Ait Bulgular

Her numuneden (OPK, HDF, OSB ve sarıçam) 5 adet alınmıştır. Her numune ± 0.01 g duyarlıklı analitik terazide tartılmış, boyutları ± 0.01 mm duyarlıklı kumpas ile ölçülerek hacimleri ile ağırlıkları belirlenmiştir. Ağırlığın hacmine oranı ile yoğunlukları hesaplanmıştır. Hesaplanan yoğunlukların ortalaması ham malzemenin yoğunluğu olarak kabul edilmiştir. Yoğunluk değerleri Tablo (6,7,8,9)'da verilmiştir.

Tablo 6: OPK malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler

OPK						
Numune No	En (cm)	Boy (cm)	Derinlik (cm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Yoğunluk (g/cm ³)
1	5,0	7,2	1,2	43,200	67,6	1,565
2	4,8	7,2	1,3	44,928	66,4	1,478
3	4,8	7,2	1,2	41,472	65,8	1,587
4	4,8	7,2	1,2	41,472	65,7	1,584
5	4,8	7,2	1,2	41,472	65,7	1,584
ORTALAMA						1,560

Tablo 7: HDF malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler

HDF						
Numune No	En (cm)	Boy (cm)	Derinlik (cm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Yoğunluk (g/cm ³)
1	5,1	5,1	1,1	28,611	19,0	0,664
2	5,1	5,1	1,1	28,611	18,9	0,661
3	5,1	5,1	1,1	28,611	19,4	0,678
4	5,1	5,1	1,1	28,611	19,6	0,685
5	5,1	5,2	1,1	29,172	18,3	0,627
ORTALAMA						0,663

Tablo 8: OSB malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler

OSB						
Numune No	En (cm)	Boy (cm)	Derinlik (cm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Yoğunluk (g/cm ³)
1	5,1	5,1	1,1	28,611	18,2	0,636
2	5,1	5,1	1,1	28,611	16,0	0,559
3	5,2	5,1	1,1	29,172	16,8	0,576
4	5,2	5,1	1,1	29,172	16,7	0,572
5	5,1	5,1	1,1	28,611	16,8	0,587
ORTALAMA						0,586

Tablo 9: Sarıçam malzemesinin yoğunluğuna ait bilgiler

SARIÇAM						
Numune No	En (cm)	Boy (cm)	Derinlik (cm)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Yoğunluk (g/cm ³)
1	5,2	5,2	5,1	137,904	69,9	0,507
2	5,1	5,1	5,1	132,651	67,8	0,511
3	5,1	5,2	5,1	135,252	68,8	0,509
4	5,1	5,1	5,1	132,651	69,7	0,525
5	5,2	5,1	5,1	135,252	69,9	0,517
ORTALAMA						0,514

Ham malzemenin yoğunluğu, ağırlığı ile 1m boyunda tasarlanan kirişin ağırlığı Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10: Ham malzemenin yoğunluğu, ağırlığı ile 1m boyunda tasarlanan kirişin ağırlığına ait bilgiler

I Kiriş Bölümü	Numune Cinsi	En Kesit Alanı (cm ²)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Ağırlık (gr)	1 metre I Kiriş Ağırlığı (kg)
Üst Başlık	Sarıçam	23,8	0,514	12,233	3,757
Gövde	OPK	8,4	1,560	13,104	
Alt Başlık	Sarıçam	23,8	0,514	12,233	
Üst Başlık	Sarıçam	23,8	0,514	12,233	3,004
Gövde	HDF	8,4	0,663	5,569	
Alt Başlık	Sarıçam	23,8	0,514	12,233	
Üst Başlık	Sarıçam	23,8	0,514	12,233	2,939
Gövde	OSB	8,4	0,586	4,922	
Alt Başlık	Sarıçam	23,8	0,514	12,233	

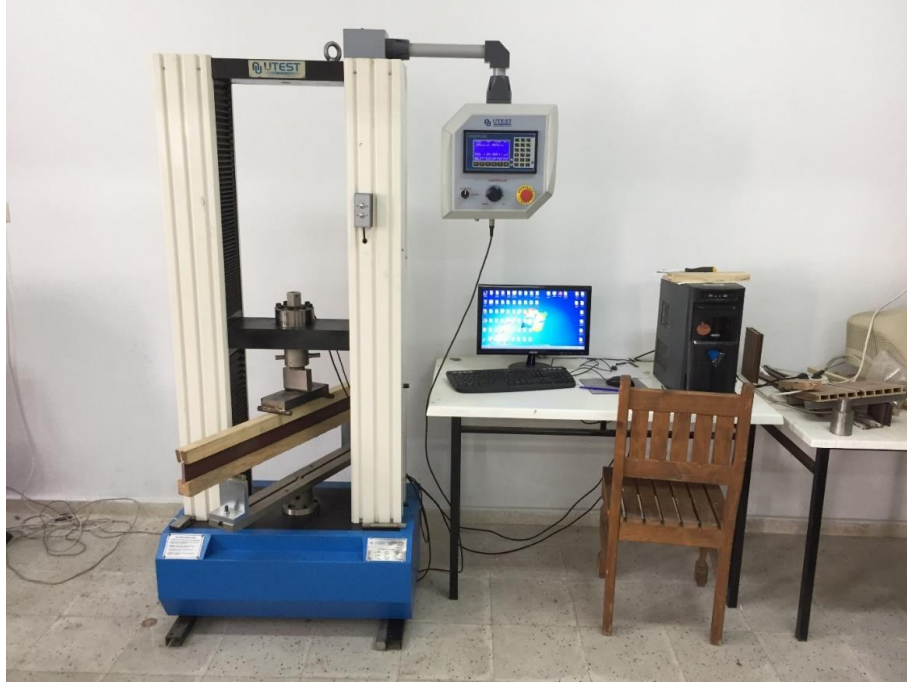
Ham malzemelerde yapılan yoğunluk deney sonuçlarına göre OPK malzemesinin yoğunluğu $1,56 \text{ gr/cm}^3$, HDF'nin $0,663 \text{ gr/cm}^3$, OSB'nin $0,586 \text{ gr/cm}^3$ ve sarıçamında yoğunluğu $0,514 \text{ gr/cm}^3$ bulunmuştur. Bu yoğunluk değerleri kullanılarak tasarlanan kirişlerin 1m uzunluğundaki ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu hesaplama göre üst ve alt başlık sarıçam gövde de OPK kullanılarak tasarlanan kirişin ağırlığı $3,757 \text{ kg}$, üst ve alt başlık sarıçam gövde de HDF kullanılarak tasarlanan kirişin ağırlığı $3,004 \text{ kg}$, üst ve alt başlık sarıçam gövde de OSB kullanılarak tasarlanan kirişin ağırlığı $2,939 \text{ kg}$ 'dır.

3.2 Mekanik Özelliklerine Ait Bulgular

Tasarlanan I kirişlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için eğilmede kayma deneyi, eğilme direnci, basınç direnci deneyleri yapılmış ve elastikiyet modülü belirlenmiştir.

3.2.1 Eğilme Direncine ait Bulgular

Tasarlanan I kirişlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için eğilme direnci deneyleri yapılmıştır (Şekil 27). Tasarlanan I kirişlerde İki noktadan yüklemeli eğilme direnci hesaplanarak aşağıdaki Tablo 11,12,13 ve 14'de verilmiştir.



Şekil 27: İki noktadan yüklemeli eğilme direnci deney düzeneği

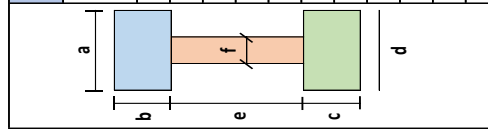
Tablo 11: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit'in PVA tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

Odun Plastik Kompozit (PVAc Tutkal)														
Numune No	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	L ₁ (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	L/150 (N)	L/200 (N)	L/300 (N)	L/400 (N)	F max (N)	Eğilme direnci (N/mm ²)
1	45	45	45	45	50	12	220	9.946.250,00	1810	2407	3449	4304	6038	4,674
2	46	50	45	48	50	12	220	11.592.166,67	2000	2503	3477	4359	7466	5,313
3	46	45	48	45	52	12	220	11.173.798,00	862	1638	3140	4275	5451	3,810
4	46	50	45	46	50	12	220	11.373.916,67	2270	2640	3789	4000	4079	2,959
5	50	46	45	46	55	12	220	11.961.829,17	1593	2184	3217	4132	6414	4,335
6	45	44	46	46	58	12	220	11.759.317,33	1100	1800	3020	3756	6181	4,221
7	46	42	44	48	57	12	220	10.929.944,00	491	1083	2347	3533	4958	3,518
8	49	45	44	43	51	12	220	10.159.132,42	1622	2108	3085	3863	5198	3,968
9	46	44	45	46	53	12	220	10.555.752,17	2062	2635	3677	4651	5125	3,765
10	47	50	40	43	56	12	220	11.458.562,67	2297	2843	3552	3978	4010	3,003
ORTALAMA														
									1611	2184	3275	4085	5492	3,957

Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK'dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PVA tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 3,957 N/mm² olarak bulunmuştur. Kiriş boyunun L/150, L/200, L/300, L/400 deki ortalama F kuvvetleri sırasıyla 1611 N, 2184 N, 3275 N ve 4085 N olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 5492 N'dur.

Tablo 12: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit'in PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

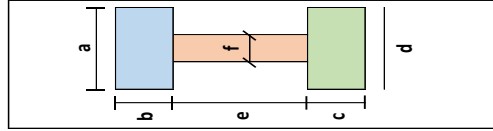
Odun Plastik Kompozit (Poliüretan Tutkal)														
Numune No	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	L ₁ (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	L/150 (N)	L/200 (N)	L/300 (N)	L/400 (N)	F max (N)	Eğilme direnci (N/mm ²)
1	49	48	44	46	55	12	220	12.141.895,67	1648	1959	2618	3274	6834	4,674
2	47	43	45	46	57	12	220	11.282.477,92	1498	2091	2820	3420	10305	7,184
3	46	45	45	45	56	12	220	11.309.921,00	2720	3327	4157	4850	13700	9,727
4	46	46	42	41	59	12	220	11.055.389,83	874	1269	2029	2462	12008	9,021
5	48	46	42	42	56	12	220	10.802.640,00	1200	2700	3300	4500	9485	7,147
6	50	48	43	45	54	12	220	11.710.419,00	2289	2885	4078	4832	10305	7,260
7	46	45	48	47	54	12	220	11.879.802,00	1717	1850	2461	3151	9600	6,400
8	45	45	43	44	54	12	220	10.202.921,67	2166	2774	3675	2910	11278	8,755
9	45	50	44	45	53	12	220	11.562.084,50	1193	1729	2790	3598	7546	5,492
10	47	43	45	46	58	12	220	11.500.039,67	1044	1868	3250	4450	6740	4,642
ORTALAMA									1635	2245	3118	3745	9780	7,030



Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK'dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde poliüretan tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 7,030 N/mm² olarak bulunmuştur. Kiriş boyunun L/150, L/200, L/300, L/400 deki ortalama P kuvvetleri sırasıyla 1635 N, 2245 N, 3118 N ve 3745 N olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 9780 N'dur.

Tablo 13: Sarıçam ve OSB'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

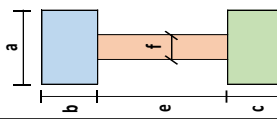
OSB (Poliüretan Tutkal)														
Numune No	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	L ₁ (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	L/150 (N)	L/200 (N)	L/300 (N)	L/400 (N)	F max (N)	Eğilme direnci (N/mm ²)
1	46	42	46	46	53	11	220	10.337.399,92	537	992	1940	2946	9367	6,828
2	47	44	42	45	55	11	220	10.276.847,25	1380	1854	2826	3487	8968	6,863
3	46	46	46	46	53	11	220	11.252.171,25	1739	2371	3195	4278	9631	6,826
4	43	42	50	46	53	11	220	11.056.081,75	1686	2050	2836	2970	7109	4,845
5	47	41	41	41	56	11	220	9.153.320,00	1556	3358	3943	4955	11709	9,709
6	45	44	48	45	54	11	220	11.250.642,00	1844	2458	3210	4269	9657	6,704
7	46	45	46	46	53	11	220	11.013.703,42	1785	2458	3018	4025	8968	6,404
8	46	45	46	47	53	11	220	11.134.526,25	1652	2244	3061	4158	9631	6,803
9	44	44	47	47	54	11	220	11.145.161,67	1739	2455	3225	4287	9876	6,921
10	48	45	44	48	54	11	220	11.213.030,00	1885	2255	3198	4331	9855	6,961
ORTALAMA									1580	2250	3045	3971	9477	6,886



Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OSB'den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde poliüretan tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 6,886 N/mm² olarak bulunmuştur. Kiriş boyunun L/150, L/200, L/300, L/400 deki ortalama P kuvvetleri sırasıyla 1580 N, 2250 N, 3045 N ve 3971 N olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 9477 N'dur.

Tablo 14: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

Numune No	HDF (Poliüretan Tutkal)											Eğilme direnci (N/mm ²)				
	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	L ₁ (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	L/150 (N)	L/200 (N)	L/300 (N)		L/400 (N)	F max (N)		
1	50	43	46	47	56	11	220	11.764.892,67	1466	2002	3138	3856	13280	8,816		
2	45	44	43	44	57	11	220	10.560.220,92	1581	2002	3032	3751	17748	13,403		
3	47	46	44	48	52	11	220	10.907.869,33	1715	2002	2937	3689	12939	9,395		
4	48	46	43	49	57	11	220	12.007.425,83	800	949	1830	2788	12731	8,689		
5	48	47	45	50	56	11	220	12.677.499,33	537	992	1940	2946	9367	6,096		
6	49	46	44	49	56	11	220	12.158.925,33	1222	1585	1896	2986	13544	9,067		
7	48	46	45	48	57	11	220	12.397.932,25	1111	1325	1958	2896	13658	9,028		
8	48	47	45	49	57	11	220	12.792.575,00	1255	1458	1830	2799	11730	7,615		
9	49	46	46	50	57	11	220	13.051.128,75	985	1025	1589	2596	10258	6,441		
10	48	48	44	48	56	11	220	12.454.101,33	1269	1368	1957	2896	13625	9,146		
ORTALAMA											1194	1471	2211	3120	12888	8,770



Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi HDF'den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde poliüretan tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 8,770 N/mm² olarak bulunmuştur. Kiriş boyunun L/150, L/200, L/300, L/400 deki ortalama P kuvvetleri sırasıyla 1194 N, 1471 N, 2211 N ve 3120 N olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 12888 N'dur.

Elde edilen eğilme direnci sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 15’de verilmiştir.

Tablo 15: Elde edilen eğilme direnci sonuçlarının varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	119,47	3	39,82	17,58	0,000
Gruplar İçinde	81,53	36	2,26		
Toplam	201,00	39			

*) p < 0,05

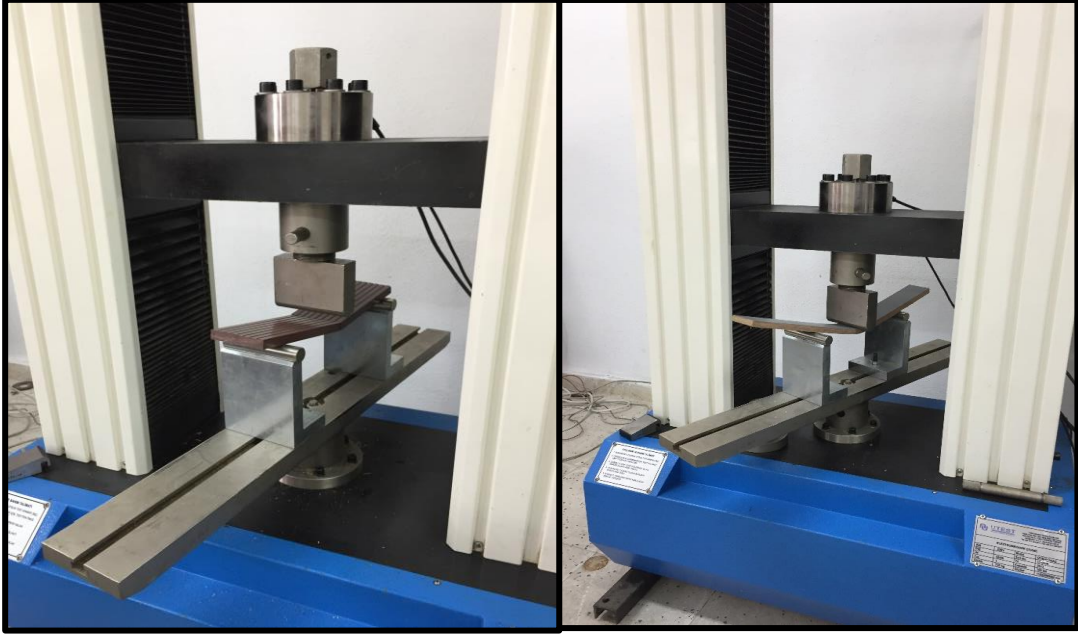
Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilme direnç değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 16’da verilmiştir.

Tablo 16: Örnek tipine bağlı olarak eğilme direnci değerlerine ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
OSB (PU Tutkal)	6,89	1,17	0,37	b
HDF (PU Tutkal)	8,77	2,00	0,63	c
OPK (PVA Tutkal)	3,96	0,72	0,23	a
OPK (PU Tutkal)	7,66	1,77	0,56	b

Elde edilen sonuçlara göre eğilme direnci miktarları en yüksek HDF elde edilmiştir. Tablo 16’da ortalama eğilme direnci değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilme direnci miktarlarının arasındaki farkın kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tasarlanan bu kompozit I kirişlerin ham malzemelerinde (sadece OPK, kontraplak, OSB ve sarıçam) tek noktadan yüklemeli eğilme dirençleri hesaplanarak aşağıdaki (Tablo 17,18,19,20) verilmiştir (Şekil 28).



Şekil 28: Tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deney düzeneği

Tablo 17: OPK tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

		Odun Plastik Kompozit						
		Numune No	x (mm)	y (mm)	Boy (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	F max (N)	Eğilme direnci (N/mm ²)
y	x	1	72,27	12,85	240	12778,69	1021	30,801
		2	72,24	12,82	240	12684,13	1052	31,898
		3	72,32	12,69	240	12315,78	1084	33,508
		4	72,45	12,71	240	12396,35	927	28,514
		5	72,20	12,70	240	12324,44	1035	31,996
		6	72,25	12,70	240	12332,97	1077	33,272
		7	72,26	12,68	240	12276,50	1011	31,327
		8	72,24	12,72	240	12389,62	1077	33,172
		9	72,26	12,69	240	12305,57	927	28,679
		10	72,53	13,64	240	15338,38	1043	27,825
		ORTALAMA				1025	31,099	

Ham OPK malzemesinde yapılan eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 31,099 N/mm² olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 1025 N'dur.

Tablo 18: OSB tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

		OSB						
		Numune No	x (mm)	y (mm)	Boy (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	F max (N)	Eğilme direnci (N/mm ²)
y	x	1	51,6	12,4	240	8198,48	427	19,375
		2	51,9	11,3	240	6240,53	343	18,633
		3	51,7	12,3	240	8017,24	364	16,753
		4	51,7	11,5	240	6552,44	246	12,952
		5	51,3	12,0	240	7387,20	225	10,965
		6	51,5	11,6	240	6698,85	211	10,961
		7	51,7	11,5	240	6552,44	285	15,006
		8	51,7	11,5	240	6552,44	296	15,585
		9	51,3	12,0	240	7387,20	211	10,283
		10	51,3	12,0	240	7387,20	198	9,649
ORTALAMA						281	14,016	

Ham OSB malzemesinde yapılan eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 14,016 N/mm² olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 281 N'dur.

Tablo 19: HDF tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

		HDF						
		Numune No	x (mm)	y (mm)	Boy (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	F max (N)	Eğilme direnci (N/mm ²)
y	x	1	51,5	10,7	240	5257,48	830	50,676
		2	51,6	10,8	240	5416,76	826	49,407
		3	51,5	10,8	240	5406,26	857	51,360
		4	51,5	10,8	240	5406,26	838	50,222
		5	51,5	10,7	240	5257,48	755	46,097
		6	51,5	10,8	240	5406,26	896	53,698
		7	51,5	10,8	240	5406,26	755	45,248
		8	51,5	10,8	240	5406,26	899	53,878
		9	51,5	10,8	240	5406,26	866	51,900
		10	51,5	10,8	240	5406,26	899	53,878
ORTALAMA						842	50,636	

Ham HDF malzemesinde yapılan eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 50,636 N/mm² olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 842 N'dur.

Tablo 20: Sarıçam tek noktadan yüklemeli eğilme direnci deneyine ait bulgular

		Sarıçam						
		Numune No	x (mm)	y (mm)	Boy (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	F max (N)	Eğilme direnci (N/mm ²)
y	x	1	20	20	360	13333,33	1265	85,388
		2	20	20	360	13333,33	1454	98,145
		3	20	20	360	13333,33	1356	91,530
		4	20	20	360	13333,33	1101	74,318
		5	20	20	360	13333,33	1254	84,645
		6	20	20	360	13333,33	1450	97,875
		7	20	20	360	13333,33	1544	104,220
		8	20	20	360	13333,33	1402	94,635
		9	20	20	360	13333,33	1258	84,915
		10	20	20	360	13333,33	1010	68,175
		ORTALAMA					1309	88,385

Ham HDF malzemesinde yapılan eğilme direnci testi sonucunda ortalama eğilme direnç değerleri 88,385 N/mm² olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 1309 N'dur.

Ham malzeme örneklerinde elde edilen eğilme direnci değerlerinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21: Elde edilen eğilme direnci sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	6782,43	3	2260,81	85,38	0,000
Gruplar İçinde	953,33	36	26,48		
Toplam	7735,76	39			

*) p < 0,05

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilme direnç değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 22'de verilmiştir.

Tablo 22: Örnek tipine bağlı olarak eğilme direnci değerlerine ait Duncan test sonuçları

Örnekler	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
OPK	31,10	2,10	0,66	b
OSB	14,02	3,55	1,12	a
HDF	50,64	3,05	0,96	c
Sarıçam	34,91	8,92	2,82	b

Elde edilen sonuçlara göre eğilme direnci miktarları en yüksek HDF elde edilmiştir. Tablo 22’de ortalama eğilme direnci değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilme direnci miktarlarının arasındaki farkın kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

3.2.2 Eğilmede Elastikiyet Modülüne ait Bulgular

Tasarlanan I kirişlerin eğilme direnci deneyinde yük-uzama miktarlarının grafiği çizilmiştir. Bu grafiklerden (EK A) yararlanılarak elastikiyet modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler aşağıdaki Tablo 23,24,25 ve 26’ da verilmiştir.

Tablo 23: Sarıçam ve OPK’ nın PVA tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular

Odun Plastik Kompozit (PVA Tutkal)					
Numune No	P (N)	L (mm)	δ_1 (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	E_1 (N/mm ²)
1	1000	660	1,10	9.946.250,00	466,340
2	1000	660	1,00	11.592.166,67	440,139
3	1000	660	0,80	11.173.798,00	570,774
4	1000	660	0,85	11.373.916,67	527,747
5	500	660	1,30	11.961.829,17	164,053
6	1000	660	0,80	11.759.317,33	542,354
7	1000	660	1,00	10.929.944,00	466,806
8	1000	660	1,00	10.159.132,42	502,225
9	1000	660	0,70	10.555.752,17	690,506
10	1000	660	0,65	11.458.562,67	685,032
ORTALAMA					505,598

Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK’ dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PU tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilmede elastikiyet modülü

hesaplanmıştır. Eğilmede elastikiyet modül değeri ortalama 505,598 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 24: Sarıçam ve OPK' nın PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular

Odun Plastik Kompozit (Poliüretan Tutkal)					
Numune No	P (N)	L (mm)	δ_1 (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	E ₁ (N/mm ²)
1	1500	660	0,70	12.141.895,67	900,454
2	1500	660	2,00	11.282.477,92	339,165
3	1500	660	1,10	11.309.921,00	615,168
4	1500	660	1,40	11.055.389,83	494,474
5	1500	660	1,20	10.802.640,00	590,384
6	1500	660	1,20	11.710.419,00	544,618
7	1500	660	1,30	11.879.802,00	495,557
8	1500	660	1,25	10.202.921,67	600,083
9	1500	660	1,50	11.562.084,50	441,284
10	1500	660	1,10	11.500.039,67	604,998
ORTALAMA					562,619

Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK' dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PU tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilmede elastikiyet modülü hesaplanmıştır. Eğilmede elastikiyet modül değeri ortalama 497,727 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 25: Sarıçam ve OSB' nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular

OSB (Poliüretan Tutkal)					
Numune No	P (N)	L (mm)	δ_1 (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	E ₁ (N/mm ²)
1	2000	660	2,4	10.337.399,92	411,303
2	2000	660	2,7	10.276.847,25	367,757
3	2000	660	2,45	11.252.171,25	370,154
4	2000	660	2,4	11.056.081,75	384,567
5	2000	660	1,2	9.153.320,00	929,019
6	2000	660	2,75	11.250.642,00	329,818
7	2000	660	2,45	11.013.703,42	378,168
8	4000	660	3,6	11.134.526,25	509,144
9	4000	660	3,65	11.145.161,67	501,690
10	2000	660	2,4	11.213.030,00	379,184
ORTALAMA					456,081

Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OSB' den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PU tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilmede elastikiyet modülü hesaplanmıştır. Eğilmede elastikiyet modül değeri ortalama 456,081 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 26: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, Eğilmede elastikiyet modülüne ait bulgular

HDF (Poliüretan Tutkal)					
Numune No	P (N)	L (mm)	δ_1 (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	E ₁ (N/mm ²)
1	2000	660	2,4	11.764.892,67	361,398
2	2000	660	2,45	10.560.220,92	394,408
3	2000	660	3,5	10.907.869,33	267,286
4	2000	660	2,4	12.007.425,83	354,098
5	2000	660	2,4	12.677.499,33	335,382
6	2000	660	2,45	12.158.925,33	342,550
7	2000	660	2,45	12.397.932,25	335,946
8	2000	660	2,4	12.792.575,00	332,365
9	2000	660	2,4	13.051.128,75	325,781
10	2000	660	2,4	12.454.101,33	341,398
ORTALAMA					339,061

Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi HDF'den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PU tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin eğilmede elastikiyet modülü hesaplanmıştır. Eğilmede elastikiyet modül değeri ortalama 339,061 N/mm² olarak bulunmuştur.

Kompozit I kirişlerden elde edilen eğilmede elastikiyet sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27: Elde edilen eğilmede elastikiyet sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	177127,89	3	59042,63	3,51	0,025
Gruplar İçinde	605540,16	36	16820,56		
Toplam	782668,05	39			

*) p < 0,05

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede elastikiyet değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 28’de verilmiştir.

Tablo 28: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede elastikiyet değerlerine ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
OSB (PU Tutkal)	456,08	176,00	55,66	a
HDF (PU Tutkal)	339,06	31,98	10,11	a
OPK (PVA Tutkal)	505,60	147,75	46,72	b
OPK (PU Tutkal)	497,73	115,98	36,68	b

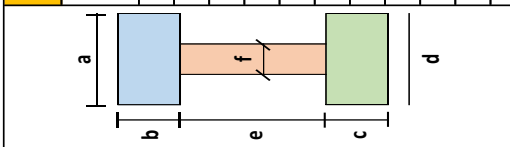
Elde edilen sonuçlara göre eğilmede elastikiyet miktarları en yüksek OPK (PU tutkal) elde edilmiştir. Tablo 28’de ortalama eğilmede elastikiyet değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede elastikiyet miktarlarının arasındaki farkın kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

3.2.3 Eğilmede Kayma Deneyine ait Bulgular

Dikdörtgen kesitli numunelerin tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma miktarında Eşitlik 17, I kesitli numunelerin iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma miktarında ise Eşitlik 18'e göre hesaplanmıştır. Hesap sonuçları tablo Tablo 29,30,31 ve 32'de verilmiştir.

Tablo 29: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit'in PVA tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

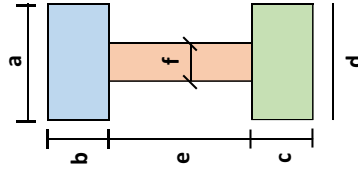
Odun Plastik Kompozit (Normal Tutkal)										
Numune No	P (N)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	A _i	T _i (N/mm ²)	
1	6038	45	45	45	45	50	12	4.650,00	0,649	
2	7466	46	50	45	48	50	12	5.060,00	0,738	
3	5451	46	45	48	45	52	12	4.854,00	0,561	
4	4079	46	50	45	46	50	12	4.970,00	0,410	
5	6414	50	46	45	46	55	12	5.030,00	0,638	
6	6181	45	44	46	46	58	12	4.792,00	0,645	
7	4958	46	42	44	48	57	12	4.728,00	0,524	
8	5198	49	45	44	43	51	12	4.709,00	0,552	
9	5125	46	44	45	46	53	12	4.730,00	0,542	
10	4010	47	50	40	43	56	12	4.742,00	0,423	
ORTALAMA										0,568



Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK'dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PVA tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine sonucunda ortalama kayma miktarı 0,568 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 30: Sarıçam ve Odun Plastik Kompozit'in PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

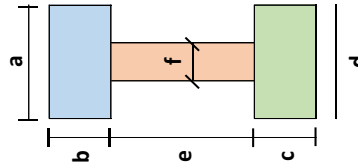
Odun Plastik Kompozit (Poliüretan Tutkal)										
Numune No	P (N)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	A _i	T _i (N/mm ²)	
1	6834	49	48	44	46	55	12	5.036,00	0,679	
2	10305	47	43	45	46	57	12	4.775,00	1,079	
3	13700	46	45	45	45	56	12	4.767,00	1,437	
4	12008	46	46	42	41	59	12	4.546,00	1,321	
5	9485	48	46	42	42	56	12	4.644,00	1,021	
6	10305	50	48	43	45	54	12	4.983,00	1,034	
7	9600	46	45	48	47	54	12	4.974,00	0,965	
8	11278	45	45	43	44	54	12	4.565,00	1,235	
9	7546	45	50	44	45	53	12	4.866,00	0,775	
10	6740	47	43	45	46	58	12	4.787,00	0,704	
ORTALAMA										1,025



Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK'dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PU tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine sonucunda ortalama kayma miktarı 1,025 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 31: Sarıçam ve OSB'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

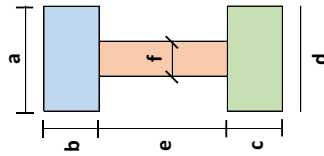
OSB (Poliüretan Tutkal)										
Numune No	P (N)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	A _i	T _i (N/mm ²)	
1	9367	46	42	46	46	53	11	4.631,00	1,011	
2	8968	47	44	42	45	55	11	4.563,00	0,983	
3	9631	46	46	46	46	53	11	4.815,00	1,000	
4	7109	43	42	50	46	53	11	4.689,00	0,758	
5	11709	47	41	41	41	56	11	4.224,00	1,386	
6	9657	45	44	48	45	54	11	4.734,00	1,020	
7	8968	46	45	46	46	53	11	4.769,00	0,940	
8	9631	46	45	46	47	53	11	4.815,00	1,000	
9	9876	44	44	47	47	54	11	4.739,00	1,042	
10	9855	48	45	44	48	54	11	4.866,00	1,013	
ORTALAMA										1,015



Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OSB'den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PU tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine sonucunda ortalama kayma miktarı $1,015 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

Tablo 32: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkalla birleştirilmesi ile tasarlanan I kirişin, iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

HDF (Poliüretan Tutkal)										
Numune No	P (N)	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e (mm)	f (mm)	A _i	T _i (N/mm ²)	
1	13280	50	43	46	47	56	11	4.928,00	1,347	
2	17748	45	44	43	44	57	11	4.499,00	1,972	
3	12939	47	46	44	48	52	11	4.846,00	1,335	
4	12731	48	46	43	49	57	11	4.942,00	1,288	
5	9367	48	47	45	50	56	11	5.122,00	0,914	
6	13544	49	46	44	49	56	11	5.026,00	1,347	
7	13658	48	46	45	48	57	11	4.995,00	1,367	
8	11730	48	47	45	49	57	11	5.088,00	1,153	
9	10258	49	46	46	50	57	11	5.181,00	0,990	
10	13625	48	48	44	48	56	11	5.032,00	1,354	
ORTALAMA										1,307



Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi HDF'den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PU tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin iki noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine sonucunda ortalama kayma miktarı $1,307 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur.

Kompozit I kirişlerden elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 33’de verilmiştir.

Tablo 33: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	2,80	3	0,93	20,56	0,000
Gruplar İçinde	1,64	36	0,05		
Toplam	4,44	39			

*) p < 0,05

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 34’de verilmiştir.

Tablo 34: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma değerlerine ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
OSB (PU Tutkal)	1,02	0,15	0,05	b
HDF (PU Tutkal)	1,31	0,29	0,09	c
OPK (PVA Tutkal)	0,57	0,10	0,03	a
OPK (PU Tutkal)	1,03	0,26	0,08	b

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek HDF (PU tutkal) elde edilmiştir. Tablo 34’de ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının arasındaki farkın kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tasarlanan bu kompozit I kirişlerin ham malzemelerinde (sadece OPK, kontraplak, OSB ve sarıçam) tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma dirençleri hesaplanarak aşağıdaki (Tablo 35,36,37,38) verilmiştir.

Tablo 35: Ham OPK'nın tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

		Odun Plastik Kompozit					
		Numune No	P (N)	x (mm)	y (mm)	A _d	T _d (N/mm ²)
Y	x	1	1021	72,27	12,85	928,67	0,825
		2	1052	72,24	12,82	926,12	0,852
		3	1084	72,32	12,69	917,74	0,886
		4	927	72,45	12,71	920,84	0,755
		5	1035	72,20	12,70	916,94	0,847
		6	1077	72,25	12,70	917,58	0,880
		7	1011	72,26	12,68	916,26	0,828
		8	1077	72,24	12,72	918,89	0,879
		9	927	72,26	12,69	916,98	0,758
		10	1043	72,53	13,64	989,31	0,791
ORTALAMA						0,830	

Ham OPK malzemesinde yapılan eğilmede kayma deneyi sonucunda ortalama kayma miktarı 0,830 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 36: Ham OSB'nin tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

		OSB					
		Numune No	P (N)	x (mm)	y (mm)	A _d	T _d (N/mm ²)
Y	x	1	427	51,6	12,4	639,84	0,501
		2	343	51,9	11,3	586,47	0,439
		3	364	51,7	12,3	635,91	0,429
		4	246	51,7	11,5	594,55	0,310
		5	225	51,3	12,0	615,60	0,274
		6	211	51,5	11,6	597,40	0,265
		7	285	51,7	11,5	594,55	0,360
		8	296	51,7	11,5	594,55	0,373
		9	211	51,3	12,0	615,60	0,257
		10	198	51,3	12,0	615,60	0,241
ORTALAMA						0,345	

Ham OSB malzemesinde yapılan eğilmede kayma deneyi sonucunda ortalama kayma miktarı 0,345 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 37: Ham HDF'nin tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

		HDF					
		Numune No	P (N)	x (mm)	y (mm)	A _d	T _d (N/mm ²)
y	x	1	830	51,5	10,7	551,05	1,130
		2	826	51,6	10,8	557,28	1,112
		3	857	51,5	10,8	556,20	1,156
		4	838	51,5	10,8	556,20	1,130
		5	755	51,5	10,7	551,05	1,028
		6	896	51,5	10,8	556,20	1,208
		7	755	51,5	10,8	556,20	1,018
		8	899	51,5	10,8	556,20	1,212
		9	866	51,5	10,8	556,20	1,168
		10	899	51,5	10,8	556,20	1,212
ORTALAMA						1,137	

Ham HDF malzemesinde yapılan eğilmede kayma deneyi sonucunda ortalama kayma miktarı 1,137 N/mm² olarak bulunmuştur.

Tablo 38: Ham sarıçamın tek noktadan yüklemeli eğilmede kayma deneyine ait bulgular

		Sarıçam					
		Numune No	P (N)	x (mm)	y (mm)	A _d	T _d (N/mm ²)
y	x	1	3634	45,1	42,5	1916,75	1,422
		2	12710	43,1	49,3	2124,83	4,486
		3	6219	46,5	43,4	2018,10	2,311
		4	5729	42,8	40,3	1724,84	2,491
		5	7171	42,1	42,9	1806,09	2,978
		6	6838	42,2	36,6	1544,52	3,320
		7	12758	42,8	51,6	2208,48	4,333
		8	11876	42,3	51,1	2161,53	4,121
		9	11585	42,8	51,6	2208,48	3,934
		10	8966	42,1	42,9	1806,09	3,723
ORTALAMA						3,312	

Ham HDF malzemesinde yapılan eğilmede kayma deneyi sonucunda ortalama kayma miktarı 3,312 N/mm² olarak bulunmuştur.

Ham malzeme örneklerinde elde edilen eğilmede kayma değerlerinin istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 39’da verilmiştir.

Tablo 39: Elde edilen eğilmede kayma sonuçlarının varyans analizi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	51,62	3	17,21	67,86	0,000
Gruplar İçinde	9,13	36	0,25		
Toplam	60,75	39			

*) p < 0,05

Yapılan varyans analizi, örneklerin eğilmede kayma değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 40’da verilmiştir.

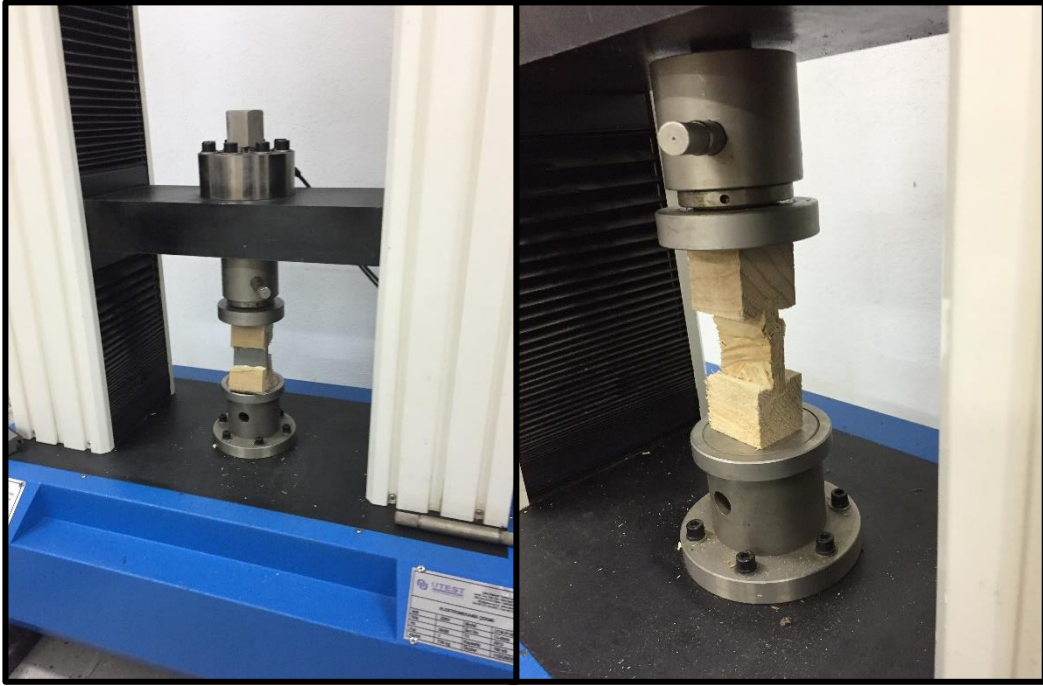
Tablo 40: Örnek tipine bağlı olarak eğilmede kayma değerlerine ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
OPK	0,83	0,05	0,02	b
OSB	0,35	0,10	0,03	a
HDF	1,14	0,07	0,02	b
Sarıçam	3,31	1,00	0,32	c

Elde edilen sonuçlara göre eğilmede kayma miktarları en yüksek sarıçam elde edilmiştir. Tablo 40’da ortalama eğilmede kayma değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre eğilmede kayma miktarlarının arasındaki farkın kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

3.2.4. Basınç Direncine ait Bulgular

Kompozit I kirişlerden alınan 50 mm uzunluğunda numunelerin ve ana malzemelerinden (sadece OPK, kontraplak, OSB ve sarıçam) alınan 50 mm uzunluğunda numunelerinde basınç direnci tespit edilmiştir. Basınç direnç sonuçları Tablo 41,42,43 ve 44’ de verilmiştir (Şekil 29).



Şekil 29: I kiriş basınç direnci deney düzeneği

Tablo 41: Sarıçam ve OPK’nın PVA tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular

		Odun Plastik Kompozit (PVA Tutkal)				
		Numune No	Genişlik a (mm)	Genişlik b (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	F max (N)
Genişlik a Genişlik b	1	51,5	51,6	589623,91	20186	7,596
	2	51,4	51,3	578274,40	21865	8,292
	3	42,3	51,6	484293,04	22555	10,334
	4	41,6	51,3	468019,75	20369	9,545
	5	51,6	51,7	594210,18	24862	9,320
	6	42,0	51,6	480858,34	21001	9,690
	7	41,3	52,1	486723,12	23365	10,859
	8	41,1	51,5	467823,75	20185	9,536
	9	41,3	51,4	467367,13	22465	10,583
	10	43,3	51,8	501528,86	19998	8,916
ORTALAMA					21685	9,467


Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK'dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde poliüretan tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin basınç direnci testi sonucunda ortalama basınç direnç değerleri $9,467 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 21685 N 'dur.

Tablo 42: Sarıçam ve OPK'nın PU tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular

		Odun Plastik Kompozit (Poliüretan Tutkal)					
		Numune No	Genişlik a (mm)	Genişlik b (mm)	Atalet Momenti (mm^4)	F max (N)	Basınç Direnci (N/mm^2)
Genişlik b	Genişlik a	1	51,5	51,6	589623,91	23421	8,814
		2	51,4	51,3	578274,40	24515	9,297
		3	42,3	51,6	484293,04	22546	10,330
		4	41,6	51,3	468019,75	22542	10,563
		5	51,6	51,7	594210,18	26401	9,896
		6	42,0	51,6	480858,34	19865	9,166
		7	41,3	52,1	486723,12	23512	10,927
		8	41,1	51,5	467823,75	24625	11,634
		9	41,3	51,4	467367,13	23485	11,063
		10	43,3	51,8	501528,86	22151	9,876
		ORTALAMA				23306	10,157


Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OPK'dan tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde PVA tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin basınç direnci testi sonucunda ortalama basınç direnç değerleri $10,157 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 23306 N 'dur.

Tablo 43: Sarıçam ve HDF'nin PU tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular

		HDF					
		Numune No	Genişlik a (mm)	Genişlik b (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	F max (N)	Basınç Direnci (N/mm ²)
Genişlik b	Genişlik a 	1	51,2	51,6	586189,21	4777	1,808
		2	47,4	51,2	530160,03	4426	1,824
		3	51,2	51,0	565977,60	6514	2,495
		4	46,6	51,5	530427,90	7484	3,118
		5	46,4	51,3	522022,03	10649	4,474
		6	46,1	51,3	518646,89	10076	4,261
		7	47,0	50,9	516499,56	5882	2,459
		8	46,6	51,3	524272,12	8116	3,395
		9	51,4	51,3	578274,40	7781	2,951
		10	51,2	51,0	565977,60	7361	2,819
ORTALAMA					7307	2,960	

Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi HDF'den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde poliüretan tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin basınç direnci testi sonucunda ortalama basınç direnç değerleri 2,960 N/mm² olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 7307 N'dur.

Tablo 44: Sarıçam ve OSB'nin PU tutkal ile birleşiminden oluşan I kirişin basınç deneyine ait bulgular

		OSB					
		Numune No	Genişlik a (mm)	Genişlik b (mm)	Atalet Momenti (mm ⁴)	F max (N)	Basınç Direnci (N/mm ²)
Genişlik b	Genişlik a 	1	51,5	51,6	589623,91	4197	1,579
		2	51,4	51,3	578274,40	3700	1,403
		3	42,3	51,6	484293,04	3915	1,794
		4	41,6	51,3	468019,75	3978	1,864
		5	51,6	51,7	594210,18	4120	1,544
		6	42,0	51,6	480858,34	5385	2,485
		7	41,3	52,1	486723,12	3672	1,707
		8	41,1	51,5	467823,75	4228	1,997
		9	41,3	51,4	467367,13	3665	1,726
		10	43,3	51,8	501528,86	5330	2,376
ORTALAMA					4219	1,848	

Üst ve alt başlıklarında sarıçam gövdesi OSB'den tasarlanan kirişin, ham malzemelerinin birleşiminde poliüretan tutkal kullanılmıştır. Bu tasarım kirişlerinin basınç direnci testi sonucunda ortalama basınç direnç değerleri 1,848 N/mm² olarak bulunmuştur. Ortalama maximum kuvvet ise 4219 N'dur.

Kompozit I kirişlerden alınan 50 mm uzunluğunda numunelerden elde edilen basınç direnci sonuçlarının istatistiksel olarak önemli olup olmadığı yapılan Basit Varyans Analizi ile irdelenmiştir. Buna göre yapılan Varyans Analizi Tablo 45'de verilmiştir.

Tablo 45: Elde edilen basınç direnci sonuçlarının varyans analizi.

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi (df)	Kareler ortalaması	F	Önem Seviyesi
Gruplar Arası	557,34	3	185,78	266,72	0,000
Gruplar İçinde	25,08	36	0,697		
Toplam	582,42	39			

*) p < 0,05

Yapılan varyans analizi, örneklerin basınç direnç değişiminin birbirlerine göre anlamlı olduğunu göstermiştir. Hangi örnekler arasında anlamlı farklılık olduğunu belirlemek için yapılan Duncan testi, değerlere ait ortalamalar, standart sapma ve varyasyon katsayıları Tablo 46'da verilmiştir.

Tablo 46: Örnek tipine bağlı olarak basınç direnci değerlerine ait Duncan test sonuçları.

Örnekler	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma (±)	Varyasyon Katsayısı (%)	Duncan Test
OSB (PU Tutkal)	1,85	0,35	0,11	a
HDF (PU Tutkal)	2,96	0,90	0,28	b
OPK (PVA Tutkal)	9,47	1,01	0,32	c
OPK (PU Tutkal)	10,16	0,91	0,29	c

Elde edilen sonuçlara göre basınç direnci miktarları en yüksek OPK (PU tutkal) elde edilmiştir. Tablo 46’da ortalama basınç direnci değerleri ve Duncan testi sonuçlarına göre basınç direnci miktarlarının arasındaki farkın kendi aralarında anlamlı olduğu belirlenmiştir.

BÖLÜM 4

SONUÇLAR

Yapılarda eğilmeye çalışan elemanlar olarak bilinen kirişler buldukları yer ve işlevleri bakımından hayati öneme sahiptir. Çünkü yapıya etki eden statik ve dinamik yüklerin kolonlara ve buradan da zemine aktarılması kirişler vasıtasıyla olmaktadır. Bu sebeple de kullanım yeri performansları mutlaka incelenmelidir. Bu çalışmada, kompozit ahşap I kiriş tasarlanmıştır. Sarıçam, OPK, HDF ve OSB gibi ham malzemelerden tasarlanan kompozit I kiriş örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

a) Tasarlanan kompozit ahşap I kirişlerin fiziksel özellikleri incelemesinde; Ham malzeme olan OPK ($1,560 \text{ g/cm}^3$), HDF ($0,663 \text{ g/cm}^3$), OSB ($0,586 \text{ g/cm}^3$) ve sarıçamın ($0,514 \text{ g/cm}^3$) yoğunluk değerleri bulunmuştur. Bu yoğunluk değerleri ile hesaplanan 1 m uzunluğunda tasarlanan kompozit kirişlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. En ağır kompozit kiriş, gövdesinde OPK'nın kullanılarak tasarlanan kiriştir. Ağırlığı 3,757 kg'dır. En hafif kompozit kiriş ise, gövdesinde OSB' nin kullanılarak tasarlanan kiriştir. Bu kirişinde ağırlığı 2,939 kg'dır.

Tasarlanan I kirişlerin mekanik özellikleri incelemesinde eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü, eğilmede kayma ve basınç direnci değerleri bulunmuştur.

b) Eğilme direnci test sonuçlarına göre; Tasarlanan kompozit kirişlerde iki noktadan yüklemeli eğilme direnci test sonuçlarına göre PU tutkal ile birleştirilen gövde elemanı olarak OPK, HDF ve OSB'den tasarlanan üç ayrı kompozit I kiriş incelenmiştir. Eğilme direnç değerleri, gövde yapısında OPK ile HDF'den tasarlanan kirişlerde birbirine yakın çıkmıştır. OSB' den tasarlanan kirişte ise diğerlerine göre eğilme direnci daha düşük olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi gövdede kullanılan ham maddenin yoğunluğudur.

Kirişler de kullanılan tutkalın cinsinin eğilme direncine etkisinin araştırılması için PU tutkal birde PVA tutkal kullanılarak tasarlanan kirişler karşılaştırılmıştır. Bu kirişlerin tasarımda gövde elemanı olarak OPK malzemesi kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre PU tutkalın eğilme direncini, %78 arttırdığı görülmüştür. Başlıklarda ve gövdede kullanılan ham

malzemelerin tek noktadan yüklemeli eğilme direnci testi sonuçlarına göre; eğilme direnç değeri en yüksek HDF en düşük OSB malzemesidir.

c) Eğilmede elastikiyet modülü hesabına göre; Tasarlanan kompozit I kirişlerin eğilme direnci deneyinden elde edilen yük-uzama miktarlarının grafiği kullanılarak elastikiyet modülü hesaplanmıştır. Elastikiyet modülü hesabına göre PU tutkal ile birleştirilen gövde elemanı olarak OPK, HDF ve OSB'den tasarlanan üç ayrı kompozit I kiriş incelenmiştir. İncelemeler neticesinde gövdede HDF'den tasarlanan kompozit I kirişlerin ortalama eğilmede elastikiyet modülü ($339,061 \text{ N/mm}^2$) en düşük olmaktadır. Gövde elemanı olarak OPK kullanılan, birleşimi PVA tutkal kullanılarak dizayn edilen kompozit I kirişin elastikiyet modülü ($505,598 \text{ N/mm}^2$) ise en yüksek değer olarak bulunmuştur. Bu farkın nedeni ise kompozit yapının rijitliğidir. Rijitlik arttıkça elastiklik azalır. Bu sebeple sehim miktarında azalır.

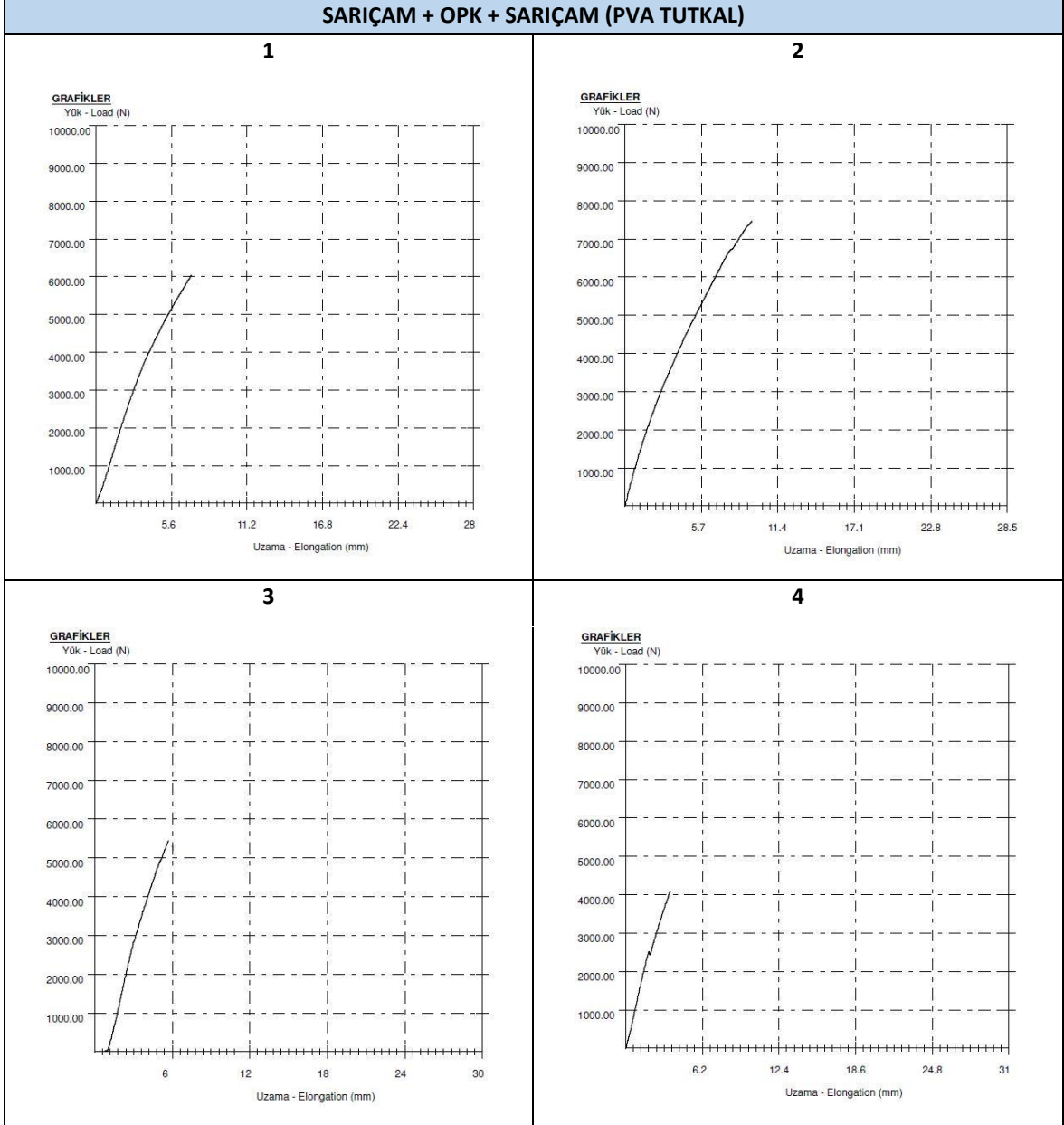
d) Eğilmede kayma deneyi sonuçlarına göre; Eğilmede kayma direnci miktarlarına bakıldığında PU tutkal ile birleştirilen, gövde elemanı olarak OPK, HDF ve OSB tasarlanan üç ayrı kompozit I kiriş incelenmiştir. OPK ve OSB'nin kullanıldığı kompozit I kirişlerin kayma direnci miktarları birbirine yakın çıkmıştır. HDF'den tasarlanan kompozit I kirişin ise diğerlerine göre eğilmede kayma direnci daha yüksek olduğu saptanmıştır.

PVA tutkal ile birleşimi sağlanan OPK ve sarıçamın birleşiminden dizayn edilen kompozit I kirişin eğilmede kayma direnci $0,568 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. PU tutkal kullanılarak tasarlanan kiriş ile karşılaştırıldığında kayma direnci miktarı neredeyse yarı yarıya azaldığı görülmüştür. Ham malzemelerin eğilmede kayma deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre eğilme direnç değeri en yüksek sarıçam, en düşük OSB malzemesidir.

e) Basınç direnci test sonuçlarına göre; PU tutkal ile birleştirilen, gövde elemanı olarak OPK, HDF ve OSB tasarlanan üç ayrı kompozit I kirişin basınç direnci karşılaştırmasında en yüksek değer OPK'dan tasarlanan kirişlerde çıkmıştır. PU tutkal ve PVA tutkalın basınç direncine etkisi karşılaştırıldığında, birleşimlerde PU tutkal kullanmanın basınç direncine azda olsa etki ettiği görülmüştür.

EKLER

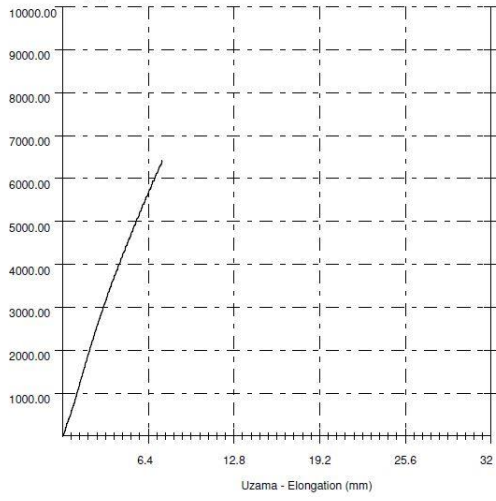
EK I: Yük-Uzama Grafikleri



SARIÇAM + OPK + SARIÇAM (PVA TUTKAL)

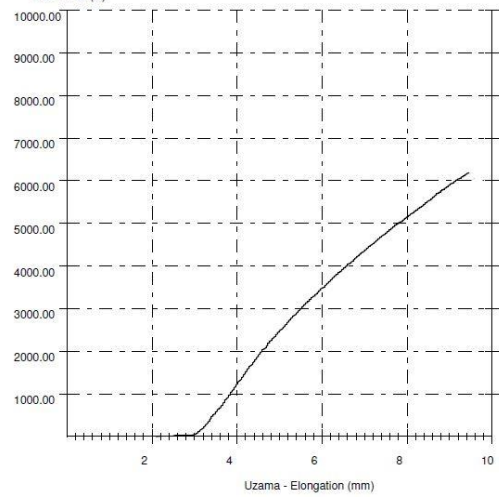
5

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



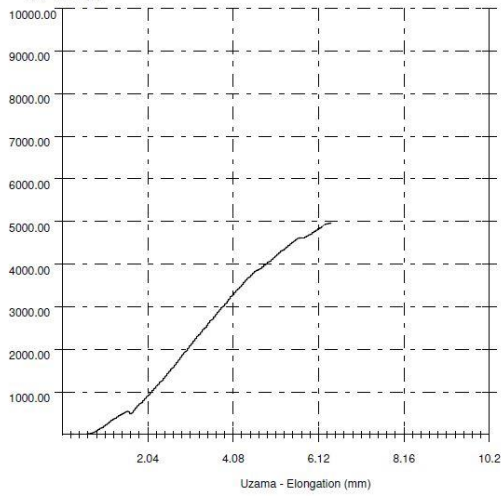
6

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



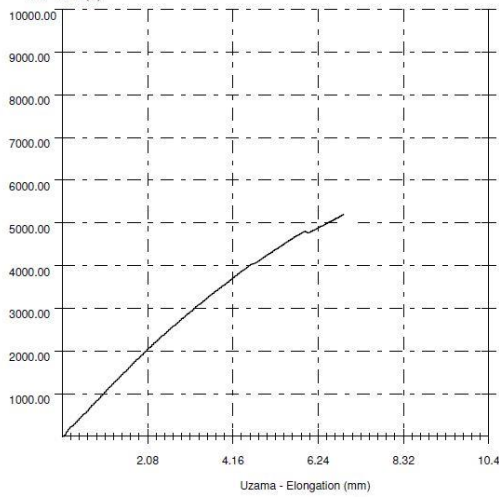
7

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



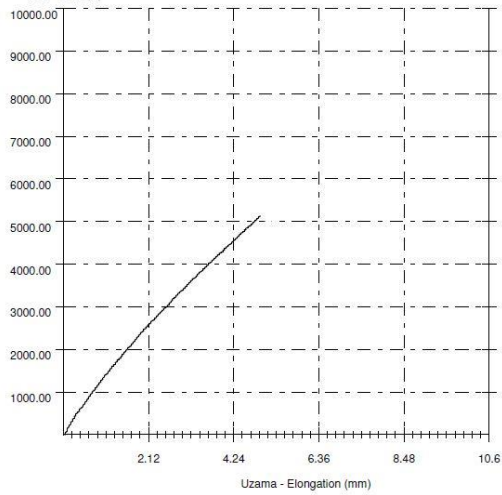
8

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



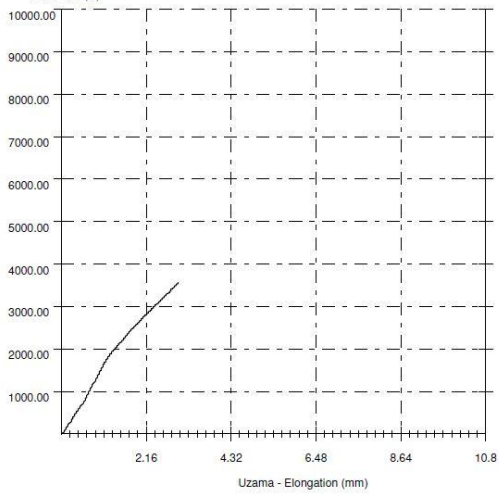
9

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



10

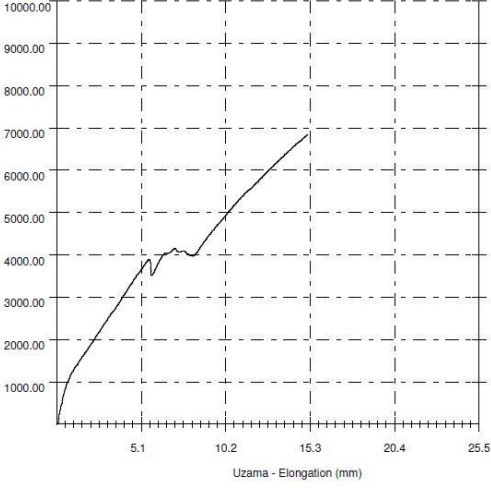
GRAFİKLER
Yük - Load (N)



SARIÇAM + OPK + SARIÇAM (PU TUTKAL)

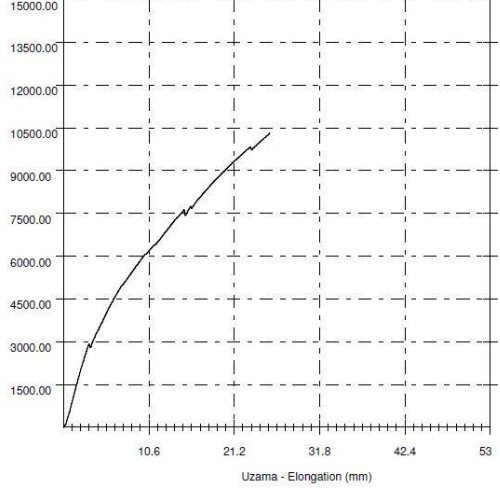
1

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



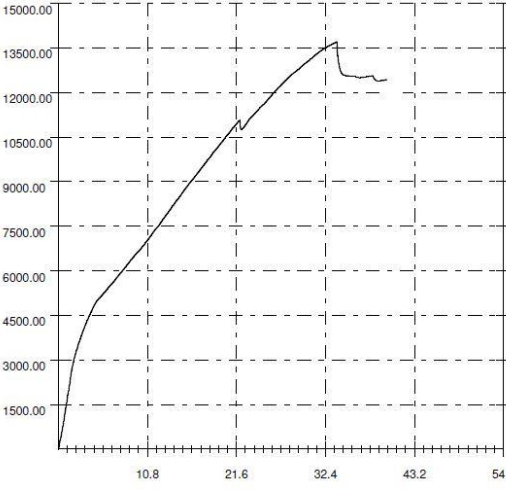
2

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



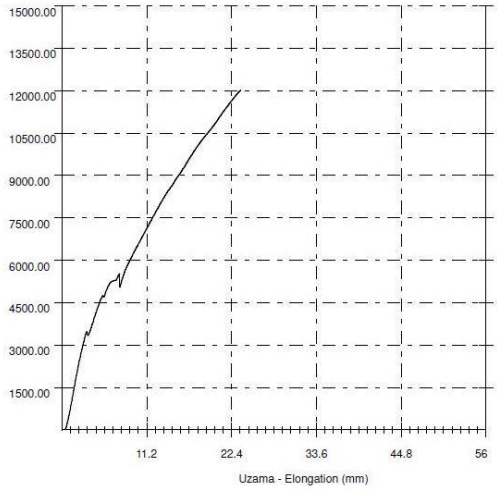
3

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



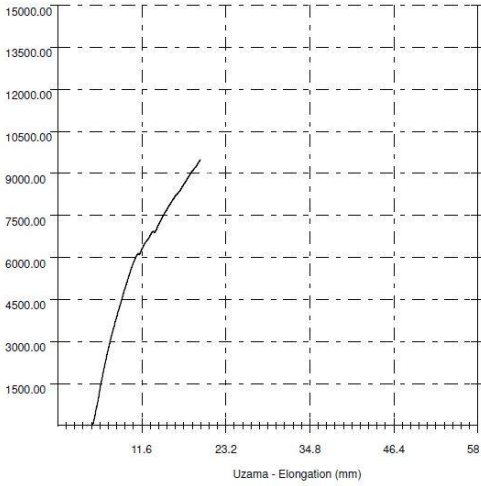
4

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



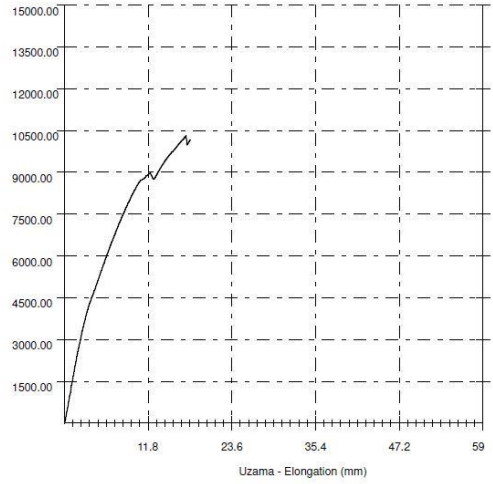
5

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



6

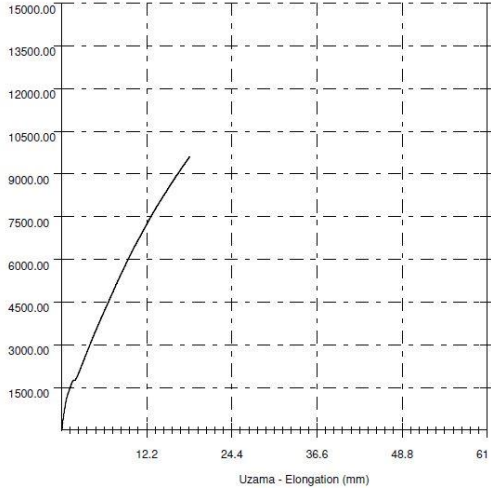
GRAFİKLER
Yük - Load (N)



SARIÇAM + OPK + SARIÇAM (PU TUTKAL)

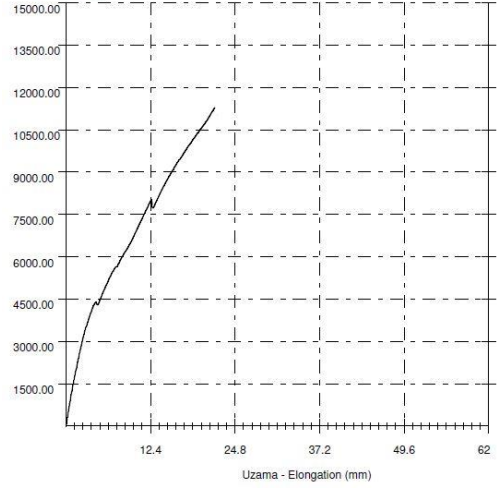
7

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



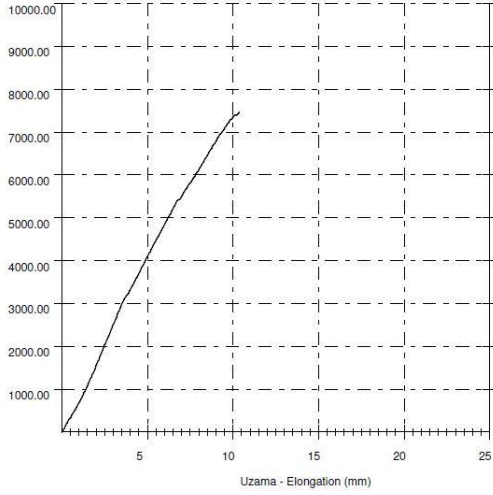
8

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



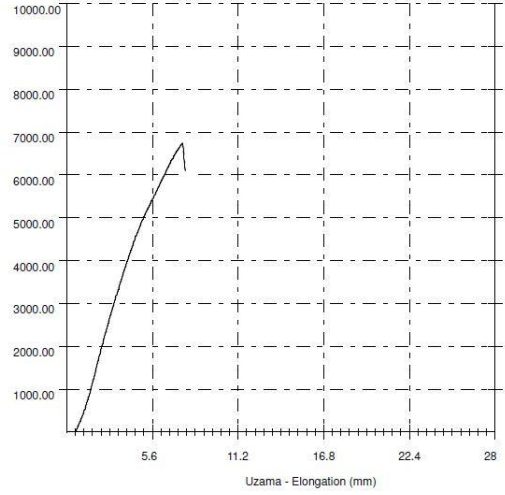
9

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



10

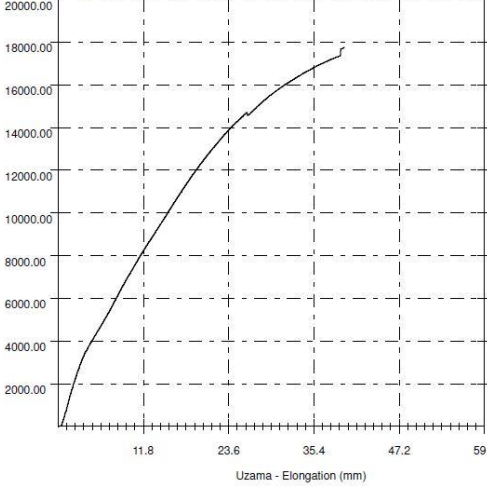
GRAFİKLER
Yük - Load (N)



SARIÇAM + HDF + SARIÇAM (PU TUTKAL)

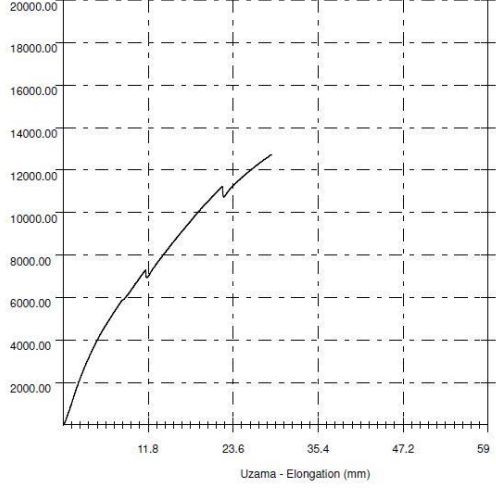
1

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



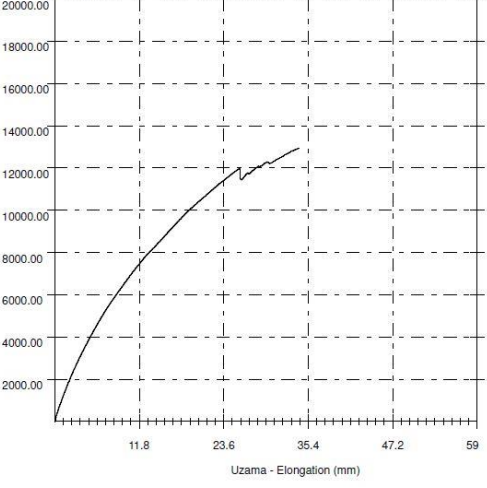
2

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



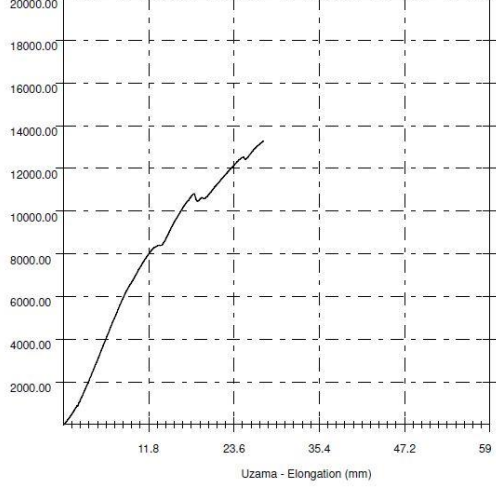
3

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



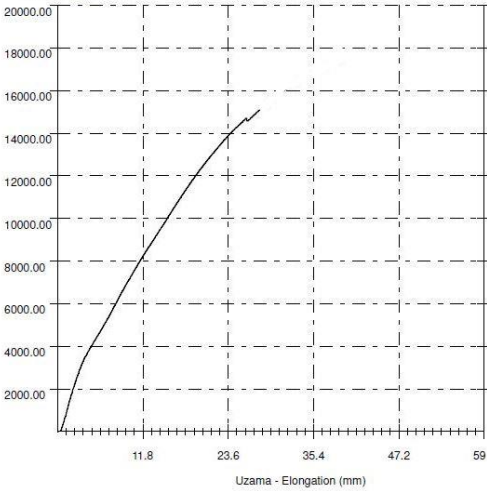
4

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



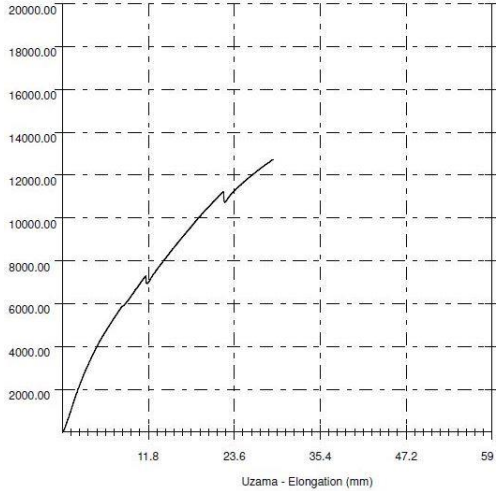
5

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



6

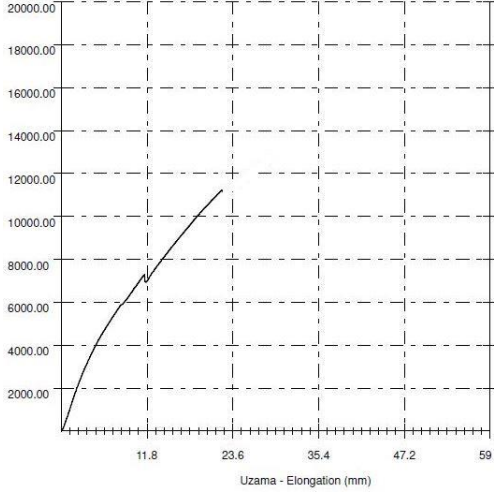
GRAFİKLER
Yük - Load (N)



SARIÇAM + HDF + SARIÇAM (PVA TUTKAL)

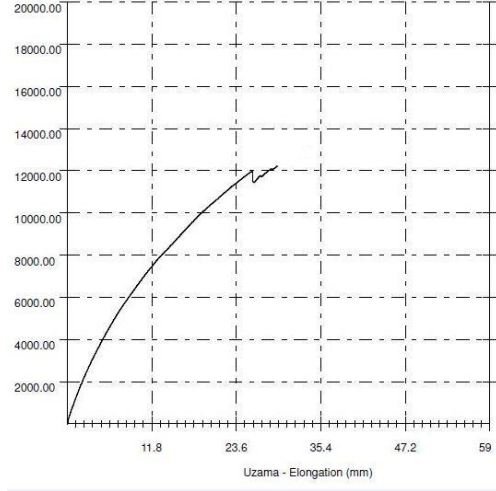
7

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



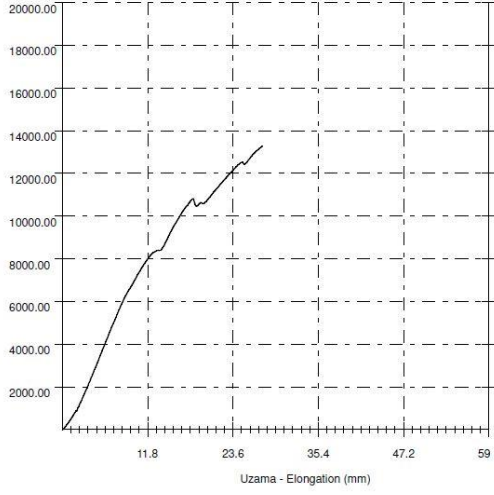
8

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



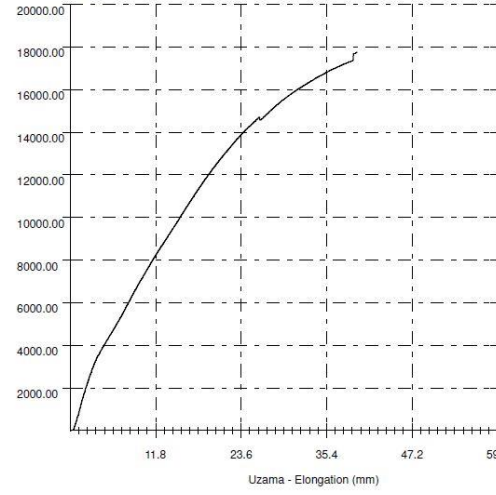
9

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



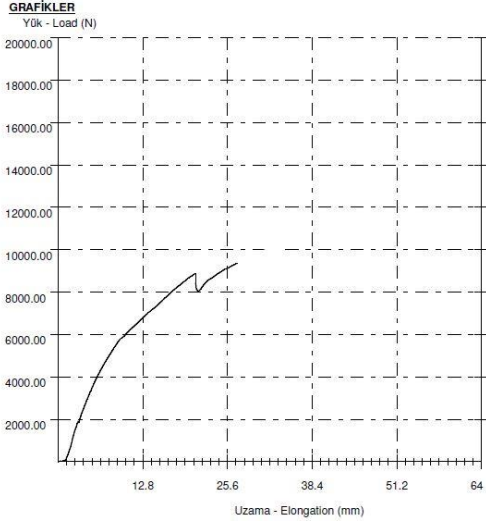
10

GRAFİKLER
Yük - Load (N)

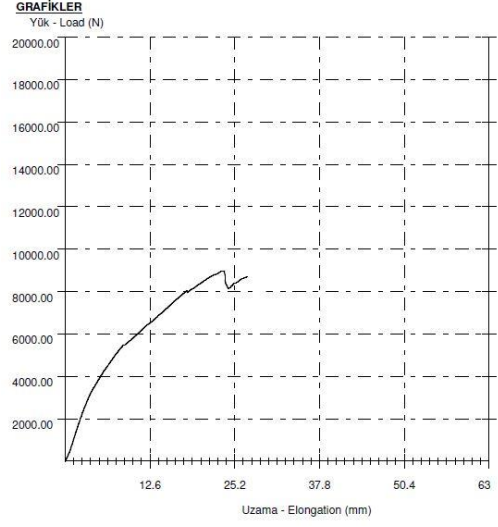


SARIÇAM + OSB + SARIÇAM (PU TUTKAL)

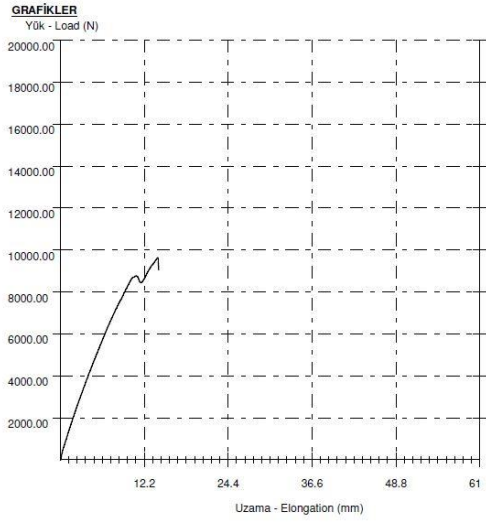
1



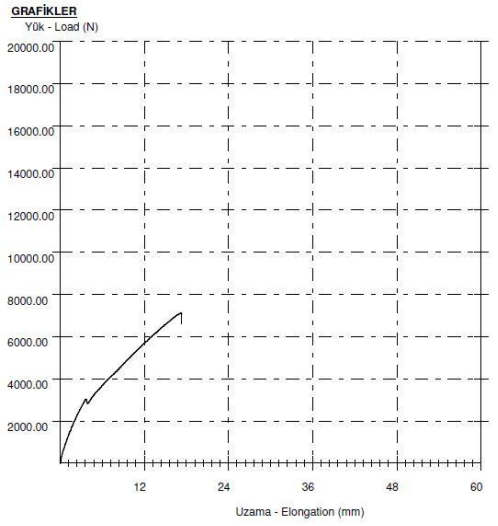
2



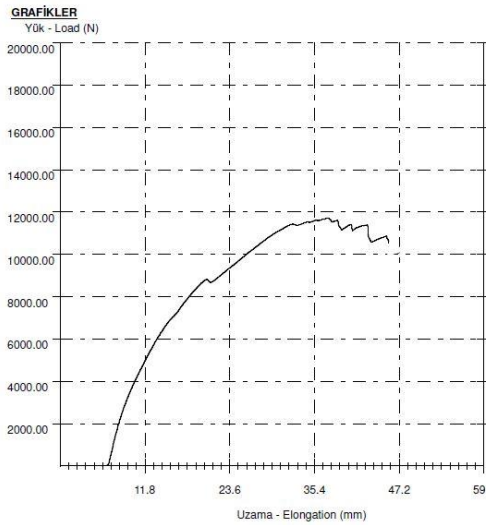
3



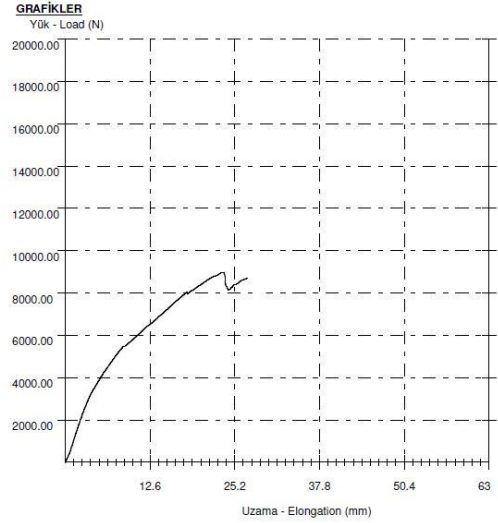
4



5



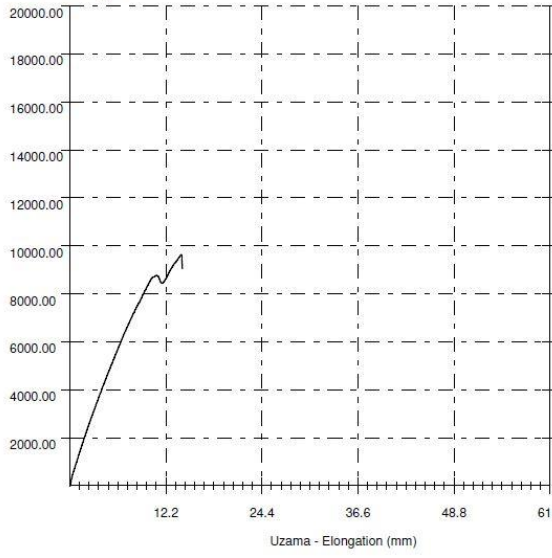
6



SARIÇAM + OSB + SARIÇAM (PU TUTKAL)

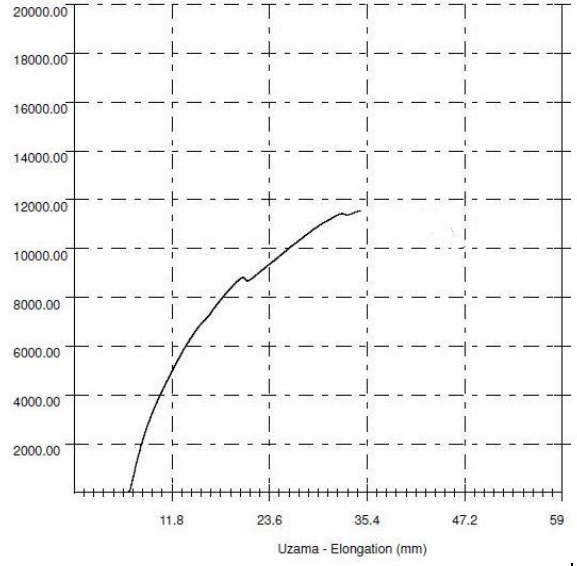
7

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



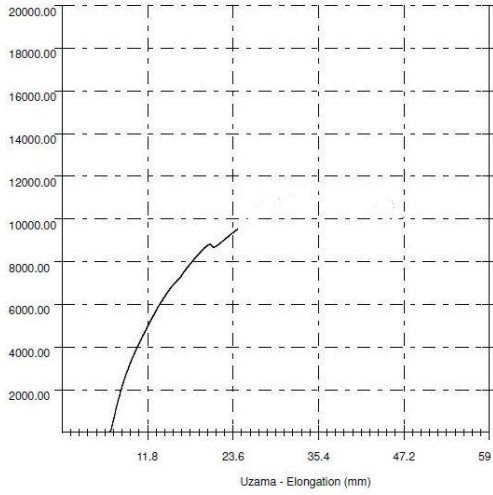
8

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



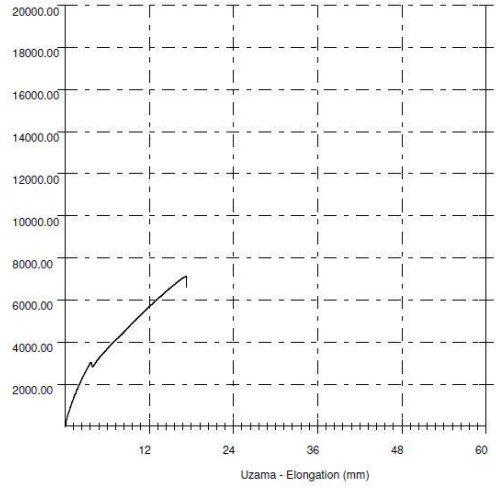
9

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



10

GRAFİKLER
Yük - Load (N)



KAYNAKLAR

- AFPA, (2006). *Wood I-joist awarness guide*. American Forest & Paper Association, Washington, DC.
- Akkurt, S. (2007). *Plastik Malzeme Bilimi Teknolojisi ve Kalıp Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 552.
- Alavi, S. A. R., Angaji, M. T. ve Gholami, Z. (2009). Twin-Screw Extruder and Effective Parameters on the HDPE Extrusion Process, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49, 204-207.
- Alemdağ, Ş. (1967). Türkiye'deki Sarıçam Ormanlarının Kuruluşu, Verim Gücü ve Bu Ormanların İşletilmesinde Takip Edilecek Hususlar, Ormançılık Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Seri No:20, Ankara.1-2 s.
- Anşin, R. ve Özkan, Z.C. (1997). *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*. Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi,167/19, 2. baskı Trabzon, 512 s.
- Avramidis S., and Smith L. A. (1989). The effect of resin content and face-to-core ratio on some properties of OSB. *Holzforschung*. 43(2): 131-133.
- Aydın İ., Çolakoğlu G., Akbulut T. (2002). Ağaç malzemenin Yapıştırılmasında Adhezyon Teorisi, İ.Ü. *Orman Fakültesi Dergisi*, (13)-51-2, sayfa 91-99.
- Ayla C. (2001). OSB Üretim Teknolojisi, *Laminart Dergisi*, Sayı:12, Şubat-Mart, İstanbul.
- Ayrılmış N. (2000). MDF'nin Teknolojik Özellikleri Üzerine Ağaç Türünün Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baştürk M. A. (1999). Improvements of The Oriented Strand Board With Chitosan Treatments of The Strands, Doktora Tezi, Syracuse, New York, USA.
- Bozkurt, A.Y. ve Erdin, N. (1989). *Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar*, D.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, D.Ü. Yayın No:3572, O.F. Yayın No:4 istanbul,180-182 s.
- Chen C. M. (1970). Effect of Extractive Removal on Adhesion and wettability of some Tropical woods, *Forest Prod. S.*, 20,1 (36-41).
- Chow, P., Nakayama, F. S., Youngquist, J. A., Muehl, J.H. and Krzysik, A.M. (2002). Durability of wood/plastic composites made from Parthenium species. *33rd IRG Conference*, IRG/WP 02-40225, Stockholm, Sweden.
- Clemons, C. (2002). Wood-plastic Composites in the United States: The Interfacing of Two Industries, *Forest Products Journal*, 52, 6, 10-18.
- Çehreli H. T. (1981). Yönlendirilmiş Yonga Levhaların (Oriented Strand Board:OSB) Üretimi, Teknolojik Özellikleri ve Kullanım Yerleri, *KTÜ Orman Fakültesi Dergisi*, Cilt 4, Sayı 1, Trabzon, Sayfa 98-121,

- Djoko, S. R. (1996). Comparative Test Methods For Evaluating Shear Strength of Structural Lumber. Master's Thesis. Corvallis, Oregon, USA. 84p.
- Dönmez Ç. A. (2011). Farklı Lignoselülozik Ve Termoplastik Maddelerle Üretilen Odun-Plastik Kompozitlerin Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Trabzon. 2011.
- Dönmez ve Kalaycıoğlu (2005). *Fenol Formaldehit Tutkalı Kullanılan Yönlendirilmiş Yonga levhalarda (OSB) Çinko Borat Kullanımı*, I. Ulusal Bor Çalıştayı Bildiriler Kitabı, Ankara. s 27-31
- Eckert, C. (2000). *Opportunities for Natural Fibers in Plastic Composites In: Proc. Progress in Woodfibre-Plastic Composites*, Toronto, ON.
- Eroğlu H. (1988). "Lif Levha Endüstrisi" , KTÜ Orman Fakültesi, Ders Notları, Yayın No:304, Trabzon.
- Eroğlu H, Usta M. (2000). *Lif levha Üretim Teknolojisi*, KTÜ Orman Fakültesi, Fakülte yayın No:30
- Forest Products Laboratory, Wood Handbook, Madison,WI: U.S.Department of Agriculture, *Forest Service*, 1999 [www.fpl.fs.fed.us(2000)].
- Fulmer, M.S. (1999). Compounding and Processing Additives for Woodfiber-Plastic Composites, *5th International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*, May, Madison, WI.
- Gagne, S. (2000). Fiber reinforced plastic joist for the construction industry, A feasibility study. thesis Master of Science Civil and Environmental Engineering, University of Wisconsin, Madison.
- Gordon, J.E. (1988). *The New Science of Strong Materials (or Why You Don't Fall Through the Floor)*, 2nd edition, Princeton University Press, Princeton, NJ, 179.
- Gökalp, E. (2006). Odunsu Materyal Kullanımının Polyester Esaslı(Mermerit) Levhaların Bazı Teknolojik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Gramann, P.J. ve Osswald, T.A. (1993). Simulation of the Melt Mixing Process of Natural Fiber-filled Polyolefin Composites: A Boundary Element Approach. In: Proc. Wood fiber-polymer Composites, Process, and Material Options. Ed. Wolcott, E.D., *Forest Product Society*, Madison, WI. 25-32.
- Güler, C. (2001). Pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) Saplarından Yongalevha Üretimi Olanaklarının Araştırılması, ZKÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, sayfa:18-19, Bartın.
- Güller, B. (2001). Odun kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2), 135-160.

- Hse, C. Y. (1975). Properties of flakeboards from hardwoods growing on southern pine sites. *Forest Prod. J.* 25(3), 48-53.
- İstek, A. (1999). Buğday Saplarından (*Triticum aestivum* L.) Orta Yoğunlukta Lif Levha (MDF) Üretimi. Doktora Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 3s.
- İstek, A. (2006). Sert lif levhaların fiziksel ve mekanik özelliklerine sıcaklık ve basıncın etkisi. *Zonguldak Karadeniz Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(10), 29-35.
- John, M.J. ve Thomas, S. (2007). *Biofibres and Biocomposites, Carbohydrate Polymers*, 71: 343-364.
- Kalaycıoğlu, H. (1991). Sahil Çamı (*Pinus pinaster* Ait.) Odunlarının Yonga levha Üretiminde Kullanılması İmkanları, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Kalaycıoğlu, H. (2001). Neden OSB, *Laminart Dergisi*, Sayı:12, Şubat- Mart, İstanbul.
- Kline, E. (2002). Corrım: Phase I Interim Report ,Appendix E, Oriented Strandboard – Southeast, *Forest Products*, Virginia Tech University, USA.
- Klyosov, A. A. (2007). *Wood-Plastic Composites*, Wiley-Interscience A John Wiley and Sons, Inc., Publication, 13: 416.
- Lei, Y., Wu Q. (2006). Cure Kinetics of Aqueous Phenol-Formaldehyde Resin Used for Oriented Strandboard Manufacturing: Effect of Zinc Borate, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol.101, pp.3886-3894.
- Leichti, R. J. (1986). Assessing the reliability of wood composite I-beams. PhD. Dissertation, Alabama.
- Leichti, R.J. Falk, R.H. and Laufenberg, T.H. (1990). Prefabricated wood composite I-beams: A literature Auburn University review. *Wood and Fiber Science*, 22(1): 62-79.
- Manson, J.A. ve Sperling L.H. (1976). *Polymer Blends and Composites*, Plenum Pres, New York, NY.
- Martelli, F.G. (1983). *Twin-screw Extruders: A Basic Understanding*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY., 137.
- Matthews, F.L. ve Rawlings, R.D. (1994). *Composite Materials: Engineering and Science*, Chapman and Hall, New York, NY.
- McDonald, A.G., Fabiyi, J.S., Morrell, J.J. and Freitag, C. (2009). Effect of wood species on the weathering and soil performance of wood plastic composites. *In: Proceeding of the 10th International Conference on Wood and Biofiber-Plastic Composites*, Madison, Wisconsin. 84–89.

- McNatt, J.D. (1980). Hardboard-webbed beams: Research and application. *Forest Products Journal*, 30(10): 57-64.
- Morrell, J. J. (2010). Occurrence of Preservative-Treated Wood in a Wood Recovery Center in Western Oregon, *Forest Products Journal*, 60(1): 23-26.
- Nelson, S. (1997). Wood I-joists, *Chapter 4, p: 91-122 in Engineered Wood Products: A Guide for specifiers, designers and users*. Smulski, S. Editor. PFS Research Foundation, Madison, Wisconsin.
- Nelson, S. (1997). Wood I-Joist. In: *Engineered Wood Products: A guide for specifiers, designers and users*, PFS Research Foundation, Madison, s:4:191-122.
- Öktem, E. (1976). Bazı Ağaç Türlerimiz Odunlarının Yapışma Özellikleri Üzerine Araştırmalar, Orman Araştırma Enstitüsü Yayını, Teknik Bülten, No: 81, Ankara, s. 23-25.
- Özen R. (1979). *Kaplama ve Tabakalı Ağaç Malzeme Ders Kitabı*, KTÜ, Orman Fakültesi Yayınları, Trabzon
- Özen R. (1980). *Yongalevha Endüstrisi Ders Notları*, KTÜ Orman Fakültesi Ders Notları Yayın No: 30, Trabzon
- Rosen, S.L. (1993). *Fundamental Principles of Polymeric Materials*, John Wiley and Sons, Inc., New York, NY.,444.
- Rowell, A.M., Sanadi A.R., Caulfield D.F., Jacobson R.E. (1997). *Utilization of Naturel Fibers in Plastic Composites: Problem and Opportunities*. Lignocellulosic-Plastics Composites, s:23-51.
- SBA, (2005). *OSB Performance by design*, Oriented strand board in wood frame construction. Structural Board Association.
- Schut, J. (1999). *For Compounding, Sheet & Profile: Wood is Good*. *Plastics Technology*, 46-52.
- Sellers, T. J. (1985). *Playwood and Adhesive Technology*, Marcel dekker, p.661, New York.
- Silva Guzman, J.A. (2003). Development of an Accelerated Method for Assessing Decay of Wood Plastic Composites (WPCs). Ph.D. Dissertation submitted to Oregon State University.
- Skinner, C. (2000). “*Status of release technology of orientated strand board bonded with MDI based binders*”, *Wood Adhesives 2000*, Lake Tahoe, Nevada, June 22-23.
- Smulski, S., (1997). *Engineered Wood Products: a guide for specifiers, designers and users*. *PFS Research Foundation*.

- Spelter, H. McKeever, D. Durbak, I., (1997). *Review of wood-based panel sector in United States and Canada*. Forest Products Laboratory General Technical Report FPL–GTR–99. United States Department of Agriculture Forest Service.
- Stevens, M.J., (1985). *Extruder Principles and Operation*, Elsevier Applied Science Publisher, New York, NY., 339.
- Tosun, S. (2001). *Sarıçamın Botanik Özellikleri*, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları El Kitabı Dizisi:7, s.19.
- Turkovich, R. ve Erwin, L. (1983). Fiber Fracture in Reinforced Thermoplastic Processing, *Polymer Engineering and Science*, 23, 13, 743-749.
- URL-1 (2014). *Pycnopus coccineus*, <http://genome.jgipsf.org/Pycco1/Pycco1.home.html>, [Ziyaret tarihi: 22 Kasım 2014].
- URL- 2 (2014). Resim, http://www.bombayharbor.com /productImage/0000365001251782034/Wpc_Flooring.JPG.
- URL-3 (2011).Resim, http://www.appropedia.org/Wood-Plastic_Composite_Fabrication. 20.08.2011.
- Verhey, S. A. and Lacks, P. E. (2002). Wood particle size effects the decay resistance of wood fiber/thermoplastic composites, *Forest products journal*, 52 (11/12), 78-81.
- Vick, C. B. (1999). *Adhesive Bonding of wood materials, in wood Handbook-wood as An Engineering material chapter 9*. FPC-5TR-113, Madison.
- Vilki, M. (2006). WPC Processing-Products-Applications, *The Finnish-Swedish Wood Material Science and Engineering Research Programme's Annual Seminar*, Helsinki.
- Wolcott, M.P. ve Englund, K. (1999). A Technology Review of Wood-plastic Composite, *Proceeding of 33rd International Particleboard/ Composite Materials Symposium*, Washington, USA, 103-111.
- Yaltırık ve Efe (1994). *Dendroloji Ders Kitabı, Gymnospermae-Angiospermae*, İÜ, Yayın No:3836, Fakülte Yayın No:431, ISBN 975-404-369-9, İstanbul.
- Yam, K.L., Gogoi, B.K., Lai, C.C. ve Selke, S.E. (1990). Composites from Compounding Wood Fibers Recycled High-density Polyethylene, *Polymer Engineering and Science*, 30,11, 693-699.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Fahrettin Yılmaz
Doğum Yeri ve Tarihi : Devrek 13.01.1991

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Müh. Fak. İnşaat Müh. Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : S. M. Onat, F. Yılmaz, A. İstek, (2017). The Feasibility
of Using Wood Plastic Composites in Composite I Joist
Manufacture. *International Conference on Engineering
Technologies, ICENTE'17*, 07-09 December, 2017,
Konya, TURKEY.

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Alagözler Şirketler Grubu. Çelikler Holding.

İletişim

E-Posta Adresi : f.y.67@hotmail.com

Tarih : 26/01/2018 (Tez sınav tarihi)