

**RESTORASYONDA AHŞAP YAPI
ELEMENLARININ KARBON FİBER TAKVİYELİ
POLİMERLER (CFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

**2011
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON EĞİTİMİ**

Ahmet MURATOĞLU

**RESTORASYONDA AHŞAP YAPI
ELEMENLARININ KARBON FİBER TAKVİYELİ
POLİMERLER (CFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMESİ**

Ahmet MURATOĞLU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ocak 2011

Ahmet MURATOĞLU tarafından hazırlanan “RESTORASYONDA AHŞAP YAPI ELEMANLARININ KARBON FİBER TAKVİYELİ POLİMERLER (CFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL

Tez Danışmanı, Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/ 01/ 2011

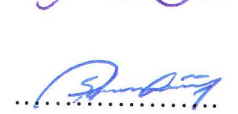
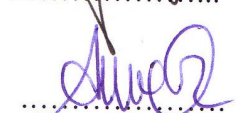

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Burhanettin UYSAL (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şenol GÜRİSOY (KBÜ)

İmzası

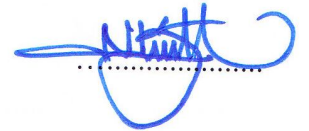


.01./03/2011

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ahmet MURATOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

RESTORASYONDA AHŞAP YAPI ELEMENLARININ KARBON FİBER TAKVİYELİ POLİMERLER (CFRP) İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Ahmet MURATOĞLU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL

Ocak 2011, 77 sayfa

Bu çalışmada; ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesinde kullanılan karbon fiber takviyeli polimer uygulamasının, ahşap yapı elemanlarının mekanik performanslarında meydana getirdiği değişim miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla; TS 2470 numaralı standart esas alınarak, doğu kayını (*Fagus orientalis L.*) ve sarıçam (*Pinus silvestris L.*) odunundan hazırlanan örnekler karbon fiber takviyeli şerit çubuk (CFRP) ile bond 200M epoksi macun ve poliüretan esaslı yapıştırıcı (PU) kullanılarak güçlendirme çalışması yapılmıştır. CFRP ile güçlendirilen bu örnekler, TS 2474 esaslarına göre statik eğilme direnci, TS 2475 esaslarına göre çekme gerilmesi ve TS 2595 esaslarına göre basınç direnci deneylerine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; statik eğilme direncinde en yüksek artış miktarı, çift bileşenli bond 200M epoksi macun kullanılarak tek yönlü yapılan güçlendirme çalışmasında sarıçam örneklerinde % 108 olarak gerçekleşmiştir. Sarıçam örneklerindeki artış miktarı daha yüksek olmasına rağmen güçlendirilmiş kayın örneklerinin eğilme dayanımı sarıçam örneklerinden daha yüksektir. Çekme gerilmesinde ve basınç direncinde, tek yönlü yapılan güçlendirme çalışmalarında her hangi bir artış bulgusuna rastlanılmamıştır.

Sonuç olarak; tarihi yapıların restorasyonunda yapılan güçlendirme çalışmalarında ahşap yapı elemanlarının, eğilmeye zorlanan bölgelerinde, bond 200M epoksi macun ve CFRP şerit çubuk kullanarak tek yönlü bir güçlendirme yapılabileceği, fakat çekme ve basınca zorlanan bölgelerinde CFRP şerit çubuk ile yapılan tek yönlü güçlendirmelerin yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Ahşap yapı elemanı, kompozit malzeme, CFRP, restorasyon, mekanik özellikler, sarıçam, kayın, epoksi, poliüretan

Bilim Kodu : 711.3.023

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

REINFORCEMENT OF WOOD BUILDING COMPONENTS WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMERS (CFRP) IN RESTORATION

Ahmet MURATOĞLU

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Furniture and Decoration Education

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL

January 2011, 77 pages

In this study, it was aimed to identify the amount of change in mechanical performances of wood building materials after they were reinforced with carbon fiber reinforced polymer (CFRP). Taking TS 2470 standart as basis, samples were prepared from Oriental Beech (*Fagus orientalis L.*) and Yellow Pine (*Pinus silvestris L.*) and they were reinforced with CFRP sheets using bond 200M epoxy and polyurethane adhesive. These samples then were subjected to parallel bending strenght (according to TS 2474 standards), parallel tensile strength (according to TS 2475 standards) and parallel pressure to fiber (according to TS 2595 standards) experiments.

In parallel bending strenght experiments, the amount of increase was 108 % in yellow pine samples in reinforcement study carried out by applying CFRP to one

surface using bond 200M epoxy. Bending strength of reinforced beech was higher than that of yellow pine, even though the amount of increase in the latter was higher. No significant increase was found in parallel tensile strength and parallel pressure to fiber experiments.

As a result, it was concluded that in reinforcement works performed for the restoration of historical buildings, it is possible to apply reinforcement to one surface using bond 200M epoxy and CFRP sheet where wood building material is forced to bend, but application of CFRP to one surface is not sufficient in areas where tensile and pressure loads are present.

Key word : Wood building material, composite material, CFRP, restoration, mechanical properties, pine, beech, epoxy, polyurethane

Science Code : 711.3.023

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren, danışman hocam Sayın Prof. Dr. Burhanettin UYSAL'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca, yönlendirme ve bilgilendirmeleri ile yardımlarını esirgemeyen, Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi bölüm başkanı, Sayın Prof. Dr. Ayhan ÖZÇİFÇİ hocama çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaların yapılması sırasında kıymetli desteklerinden dolayı, Yrd. Doç. Dr. Fatih YAPICI, Yrd. Doç. Dr. Şeref KURT, Öğr. Gör. Süleyman ÖZCAN, Öğr. Gör. Nuri YILDIRIM, Arş. Gör. Raşit ESEN ve Arş. Gör. Cemal ÖZCAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emeği geçen, başta ailem olmak üzere bütün hocalarıma saygı ve hürmetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xviii
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR ÖZETLERİ.....	2
BÖLÜM 2.	5
AHŞAP YAPI ELEMANLARI.....	5
2.1. AHŞAP MALZEME.....	5
2.1.1. Ahşap Malzemenin Üstün Özellikleri.....	5
2.1.2. Ahşap Malzemenin İstenmeyen Özellikleri	6
2.1.3. Ahşap Malzemenin Fiziksel Özellikleri.....	7
2.1.3.1. Ahşap – Su ilişkisi	7
2.1.3.2. Ahşap Malzemenin Rutubeti.....	8
2.1.3.3. Birim Hacim Ağırlık.....	9
2.1.3.4. Termik Özellikler	10
2.1.3.5. Elektriksel Özellikler	10
2.1.3.6. Akustik Özellikler.....	11
2.1.3.7. Estetik Özellikler	11
2.1.4. Ahşap Malzemenin Kimyasal Özellikleri	11
2.1.5. Ahşap Malzemenin Mekanik Özellikleri	12

2.2. AHŞAP YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER.....	13
2.2.1. Taşıyıcı Sistem Elemanları.....	13
2.2.1.1. Temeller	14
2.2.1.2. Merdivenler	14
2.2.1.3. Döşeme Taşıyıcı Elemanları	15
2.2.1.4. Duvar Taşıyıcı Elemanları	15
2.2.1.5. Çatı Taşıyıcı Elemanları.....	16
2.3. AHŞAP YAPILARDA RESTORASYON VE ÖNEMİ.....	16
2.3.1. Restorasyon Teknikleri.....	17
2.3.1.1. Sağlamaştırma	18
2.3.1.2. Bütünleme	18
2.3.1.3. Yenileme	18
2.3.1.4. Yeniden Yapım.....	19
2.3.1.5. Temizleme.....	19
2.3.1.6. Taşıma	19
BÖLÜM 3.	20
KARBON FİBER ELYAF TAKVİYELİ POLİMERLER (CFRP)	20
3.1. FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER.....	20
3.1.1. Karbon Fiber Elyafı.....	21
3.1.2. Termoset Matrisler	22
3.1.3. CFRP Üretim Yöntemleri.....	23
3.1.3.1. El Yatırma Yöntemi.....	23
3.1.3.2. Püskürtme Yöntemi	24
3.1.3.3. Hazır Kalıplama Yöntemi	24
3.1.3.4. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi	25
3.1.3.5. Profil Çekme Yöntemi	25
3.1.3.6. Elyaf Sarma Yöntemi.....	26
3.1.3.7. Tabakalı Birleştirme Yöntemi	27
3.2. AHŞAP RESTORASYONDA CFRP İLE GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI	27
BÖLÜM 4.	30
MATERYAL VE METOD	30

4.1. MATERYAL.....	31
4.1.1. Ahşap Malzeme	31
4.1.1.1. Sarıçam (Pinus Silvestris L.).....	31
4.1.1.2. Doğu Kayını (Fagus Orientalis L.)	34
4.1.2. Yapıştırıcılar	37
4.1.3. Karbon Fiber Takviyeli Polimerler	38
4.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	39
4.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması	40
4.2.1.1. Ahşap Deney Örneklerinin Hazırlanması	40
4.2.1.2. CFRP Deney Örneklerinin Hazırlanması.....	41
4.2.2. Statik Eğilme Deneyi	41
4.2.2.1. Masif Sarıçam Eğilme Deneyi	42
4.2.2.2. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Eğilme Deneyi	43
4.2.2.3. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Eğilme Deneyi.....	44
4.2.2.4. Masif Kayın Eğilme Deneyi.....	45
4.2.2.5. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Eğilme Deneyi.....	46
4.2.2.6. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Eğilme Deneyi	47
4.2.3. Çekme Deneyi.....	49
4.2.3.1. Masif Sarıçam Çekme Deneyi.....	50
4.2.3.2. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Çekme Deneyi.....	51
4.2.3.3. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Çekme Deneyi	52
4.2.3.4. Masif Kayın Çekme Deneyi.....	53
4.2.3.5. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Çekme Deneyi.....	53
4.2.3.6. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Çekme Deneyi	54
4.2.4. Basınç Deneyi	56
4.2.4.1. Masif Sarıçam Basınç Deneyi	57
4.2.4.2. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Basınç Deneyi	57
4.2.4.3. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Basınç Deneyi	58
4.2.4.4. Masif Kayın Basınç Deneyi	59
4.2.4.5. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Basınç Deneyi	60
4.2.4.6. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Basınç Deneyi.....	61
4.3. BULGULAR	63
4.3.1. Statik Eğilme Deneyine İlişkin Bulgular.....	63

4.3.2. Çekme Deneyine İlişkin Bulgular.....	67
4.3.3. Basınç Deneyine İlişkin Bulgular	69
BÖLÜM 5.	72
SONUÇ VE TARTIŞMA	72
ÖNERİLER	74
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Konya Alaaddin Camii sütun atkılarında yapılan restorasyon çalışması ...2	
Şekil 2.1. Ahşap döşeme elemanları (kafes giriş).....15	15
Şekil 2.2. Ahşap duvar elemanları.16	16
Şekil 2.3. Ahşap çatı elemanları.16	16
Şekil 3.1. Fiber takviyeli kompozitlerin genel yapısı20	20
Şekil 3.2. Karbon fiber elyafı üretim aşamaları22	22
Şekil 3.3. El yatırma düzeneği24	24
Şekil 3.4. Hazır kalıplama düzeneği25	25
Şekil 3.5. Reçine transfer kalıplama düzeneği25	25
Şekil 3.6. Profil çekme düzeneği26	26
Şekil 3.7. Elyaf sarma düzeneği26	26
Şekil 3.8. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması.....26	26
Şekil 3.9. Tabakalı birleştirme şeması27	27
Şekil 3.10. Ahşap taşıyıcı sistemlerin CFRP'ler ile güçlendirilmesi.....28	28
Şekil 3.11. CFRP'ler ile güçlendirilmiş giriş deneyi.29	29
Şekil 4.1. Sarıçam ağacının gövde ve sürgünlerinin görüntüsü31	31
Şekil 4.2. Sarıçam odunu mikroskopik görünüşü32	32
Şekil 4.3. Kayın ağacı gövde yaprak ve çiçek görüntüsü34	34
Şekil 4.4. Doğu kayının mikroskopik görünüşü35	35
Şekil 4.5. CFRP şerit çubuk38	38
Şekil 4.6. Autograph universal test cihazı.....39	39
Şekil 4.7. Masif sarıçam kontrol örnekleri eğilme direnci grafiği.....42	42
Şekil 4.8. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam eğilme direnci grafiği.43	43
Şekil 4.9. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam eğilme direnci grafiği. 44	44
Şekil 4.10. Masif kayın kontrol örnekleri eğilme direnci grafiği.46	46
Şekil 4.11. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın eğilme direnci grafiği.47	47
Şekil 4.12. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın eğilme direnci grafiği.....48	48
Şekil 4.13. Statik eğilme deneyi elastikiyet modülü karşılaştırma grafiği.....49	49

Şekil 4.14. Masif sarıçam kontrol örnekleri çekme direnci grafiği.	50
Şekil 4.15. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam çekme direnci grafiği.	51
Şekil 4.16. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam çekme direnci grafiği. .	52
Şekil 4.17. Masif kayın kontrol örnekleri çekme direnci grafiği.	53
Şekil 4.18. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın çekme direnci grafiği.	54
Şekil 4.19. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın çekme direnci grafiği.	55
Şekil 4.20. Çekme direnci karşılaştırma grafiği.	56
Şekil 4.21. Sarıçam kontrol örnekleri basınç direnci grafiği.....	57
Şekil 4.22. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam basınç direnci grafiği.....	58
Şekil 4.23. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam basınç direnci grafiği. .	59
Şekil 4.24. Kayın kontrol örnekleri basınç direnci grafiği.....	60
Şekil 4.25. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın basınç direnci grafiği.	61
Şekil 4.26. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın basınç direnci grafiği.	62
Şekil 4.27. Basınç direnci karşılaştırma grafiği.....	63
Şekil 4.28. Eğilme direnci ortalama grafiği.	65
Şekil 4.29. Elastikiyet modülü ortalama grafiği.....	67
Şekil 4.30. Çekme direnci ortalama grafiği.....	69
Şekil 4.31. Basınç direnci ortalama grafiği.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri	9
Çizelge 4.1. Sarıçam fiziksel özellikleri	32
Çizelge 4.2. Sarıçam mekanik özellikleri	33
Çizelge 4.3. Sarıçam kimyasal özellikleri	33
Çizelge 4.4. Doğu kayını fiziksel özellikleri	36
Çizelge 4.5. Doğu kayını mekanik özellikleri	36
Çizelge 4.6. Doğu kayını kimyasal özellikleri	37
Çizelge 4.7. Sarıçam kontrol örnekleri.	42
Çizelge 4.8. Pu ve CFRP sarıçam.	43
Çizelge 4.9. Epoksi ve CFRP sarıçam.	44
Çizelge 4.10. Kayın kontrol örnekleri.	45
Çizelge 4.11. Pu ve CFRP kayın.	46
Çizelge 4.12. Epoksi ve CFRP kayın.	47
Çizelge 4.13. Sarıçam kontrol örnekleri.	50
Çizelge 4.14. Pu ve CFRP sarıçam.	51
Çizelge 4.15. Epoksi ve CFRP sarıçam.	52
Çizelge 4.16. Kayın kontrol örnekleri.	53
Çizelge 4.17. Pu ve CFRP kayın.	54
Çizelge 4.18. Epoksi ve CFRP kayın.	55
Çizelge 4.19. Sarıçam kontrol örnekleri.	57
Çizelge 4.20. Pu ve CFRP sarıçam.	58
Çizelge 4.21. Epoksi ve CFRP sarıçam.	59
Çizelge 4.22. Kayın kontrol örnekleri.	60
Çizelge 4.23. Pu ve CFRP kayın.	61
Çizelge 4.24. Epoksi ve CFRP kayın.	62
Çizelge 4.25. Eğilme direnci ortalamaları.	64

Çizelge 4.26. Statik eğilme direncine göre varyans analizi.	64
Çizelge 4.27. Statik eğilme direnci duncan sonuçları.	64

Çizelge 4.28. Elastikiyet modülü ortalamaları.	65
Çizelge 4.29. Elastikiyet modülüne göre varyans analizi.	66
Çizelge 4.30. Elastikiyet modülü duncan sonuçları.	66
Çizelge 4.31. Çekme direnci ortalamaları.	67
Çizelge 4.32. Çekme direncine göre varyans analizi.	68
Çizelge 4.33. Çekme direnci duncan sonuçları.	68
Çizelge 4.34. Basınç direnci ortalamaları.	69
Çizelge 4.35. Basınç direncine göre varyans analizi.	70
Çizelge 4.36. Basınç direnci duncan sonuçları.	70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
H ₂	: Hidrojen
HCN	: Hidrojen Siyanit
N ₂	: Nitrojen
M ₀	: Tam Kuru Ağırlık
M _r	: Rutubetli Ağırlık
M _s	: Su Miktarı
R	: Rutubet Miktarı

KISALTMALAR

BHA	: Birim Hacim Ağırlık
CFRP	: Karbon Fiber Takviyeli Polimerler
FRP	: Fiber Takviyeli Polimerler
GFRP	: Cam Fiber Takviyeli Polimerler
LDN	: Lif Doygunluğu Noktası
MBC	: Mineral Tabanlı Kompozit
PU	: Poliüretan
PVA	: Polivinilasetat
TS	: Türk Standardı
vb	: Ve Benzeri
vd	: Ve Diğerleri

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ahşap malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerinin yanı sıra bazı istenilmeyen özellikleri de vardır. Bunlar; organik bir yapıya sahip olmasından dolayı mantar ve böcekler tarafından tahrip edilmesi, higroskopik özelliğinden dolayı atmosferdeki rutubet ve sıcaklığa bağlı olarak boyutlarını değiştirmesi ve yanabilen bir madde olmasıdır. Bundan dolayı, ahşabın doğal haldeki dayanıklılığı; başka bir deyişle, kullanım yerindeki değişik çevresel faktörlere karşı gösterdiği doğal dayanma süresi yeteri kadar uzun olamamaktadır. Bunda, ahşap malzemeyi tahrip ederek özelliğini bozan çeşitli biyotik (bitkisel, hayvansal) ve abiyotik (fiziksel, kimyasal, mekanik) zararlıların oldukça büyük bir etkisi vardır (Usta, 1993; Uysal, 2005).

Tarihi yapıların büyük kısmını oluşturan ahşap yapılar, tarihi süreç içerisinde doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan yıpranmalara maruz kalmaktadır. Kültür mirasımızın önemli bir parçası olan bu yapıların, gelecek nesillere sağlam bir şekilde aktarılması için ahşap yapı elemanlarının da gerekli yapısal onarımdan geçirilip güçlendirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu restorasyon çalışmalarının istenilen nitelikte olabilmesi için yeterli miktarda araştırma yapılmalı ve bilimsel bir yaklaşımla restorasyon yapılmalıdır (Günay, 2002; Öztürk, 2006).

Geleneksel restorasyon tekniklerinde, ahşap yapı elemanlarının büyük kuvvetlere maruz kalmaları halinde metal esaslı malzeme kullanılarak güçlendirme yapılması genellikle çözüm olarak düşünülmektedir. Bu yaklaşımla yapılan restorasyonda güçlendirilen bölgenin yapıya fazladan yük getirmesi, zamanla bakım gerektirmesi, görüntü kirliliği oluşturması ve yapının orijinalliğini bozması istenmeyen bir durumdur. Bu tür güçlendirmeye, Konya Alaaddin Camii sütun atkılarında yapılan çalışma örnek olarak gösterilebilir. Şekil 1.1'de metal esaslı malzeme kullanılarak yapılan güçlendirme görülmektedir (Günay, 2002).



Şekil 1.1. Konya Alaaddin Camii sütun atkılarında yapılan restorasyon çalışması.

Fiber takviyeli polimerler, hafiflik, korozyona uğramama ve esneklik gibi özelliklerinin yanı sıra ahşap görünümünü bozmadan uygulanabilmeleri, söz konusu sorunun çözümünde FRP'lerin tercih edilmesinin gerekli olduğunu ortaya koyan bilimsel bir gerçektir (Şahin, 2000).

Tarihi yapılarda bulunan ahşap yapı elemanları genellikle basınç, çekme ve eğilme kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bu çalışmada, ahşap taşıyıcı sistemlerin basınç, çekme ve eğilme gerilmesine maruz kalan elemanlarının güçlendirilmesinde CFRP kullanılmıştır. Karbon fiber takviyeli polimerin tercih edilmesinin sebebi diğer fiber takviyeli polimerlere göre daha yüksek dayanıma sahip olmasıdır. Yapıştırıcı olarak, çift bileşenli bond 200M epoksi macun ile maliyeti düşük, uygulaması kolay olan tek bileşenli poliüretan esaslı (PU) yapıştırıcı kullanılmıştır.

1.1. LİTERATÜR ÖZETLERİ

Plevris and Triantafillou (1995), FRP ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının sünme davranışı adlı çalışmalarında CFRP ile güçlendirilmiş ahşap kirişlerin sünme davranışlarının nasıl olduğunu tahmin etmek için geliştirdikleri analitik model ile deneysel çalışmaların karşılaştırmalarını yapmışlar ve analitik modelle uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

Ogawa (1999), yaptığı çalışmada, lamine ahşap kirişlerin çeşitli bölgelerine karbon fiber takviyeli elyaf şerit yapıştırmak suretiyle veya tüm kirişi belirli aralıklarla karbon fiber elyaf kumaşla sararak güçlendirmeler yapmış ve eğilme mukavemetlerini karşılaştırmıştır. Ayrıca aynı numuneleri yakma deneyine tabi tutarak güçlendirilmiş numunelerin sıcaklık altındaki davranışlarını gözlemlemiş ve % 300'lük performans artışı tespit etmiştir.

Premrov et al. (2003), yaptıkları çalışmada; karbon fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının analizlerini incelemişler ve ahşap yapı elemanlarının 75 mm'lik CFRP ile güçlendirilmesi ile % 50 oranında daha yüksek bir dayanım elde etmişlerdir.

Steiger (2003), ahşap yapılarda yüksek performanslı karbon fiber takviyeli polimerlerin epoksi ile ahşaba yapıştırılması ve kullanılan epoksinin çekme dayanımına etkisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Optimum sıcaklıkta en iyi güçlendirme özelliklerini tespit etmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda CFRP ile epoksi reçinesinin ahşaba yapışma sıcaklığının optimum değerlerinin tutkal üreticilerinin verdiği değerler ile uyumlu olduğunu bildirmiştir.

Roberto et al. (2004), tamamen zarar görmüş ahşap kolonların FRP kompozit levhalarla güçlendirilmiş elemanların yapısal olarak sınıflandırılması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Yapılan eğilme testleri sonucu elde edilen verilerde, FRP kompozit levhalarla %60 oranında bir iyileşme olduğu tespit edilmiştir.

Borri et al. (2005), CFRP ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının yükler altındaki davranışları üzerine yaptıkları araştırmada mevcut ahşap yapı elemanlarının lineer olmayan modelleriyle tahmin edilen yük miktarının karşılaştırmasını yapmışlardır.

Micelli and Scialpi (2005), glulam tekniği ile elde edilmiş lamine kirişlerin boy birleştirme bölgelerine CFRP ile yapılan güçlendirme ile geleneksel çelik cıvata levhalar ile yapılan güçlendirmenin karşılaştırmasını yapmışlar ve sayısal modelleme yöntemiyle yaptıkları tahminin deneysel sonuçlarla uygunluğunu gözlemişlerdir.

Dempsey and Scott (2006), ahşap köprü yapı elemanlarının güçlendirilmesinde FRP şerit kullanarak eğilme dayanımlarını araştırmışlar ve ağaç malzemenin nem oranının büyük ölçüde ahşap yapı elemanlarının süneklik oranını etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Qingfeng and Lei (2007), kısmen zarar görmüş ahşap sütunların CFRP şeritler kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yaptıkları deneysel çalışmada sütunların basınç dayanımını, güçlendirme yönteminin nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmalarda iki farklı tür ahşap malzemeye 1, 2 ve 3 kat CFRP uygulayarak güçlendirme yapmışlar ve deney sonuçlarını yaptıkları analitik modellerle karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda analitik modelin en fazla % 8,65 hata payı ile deney sonuçları ile uyumlu olduğunu bildirmişlerdir.

HuiChuan et al. (2007), CFRP ile güçlendirilmiş ahşap yapı elemanlarının çekme dayanımlarını incelemişlerdir. Dört farklı ağaç türünden elde ettikleri numuneleri epoksi kullanarak CFRP ile güçlendirmişler ve hızlandırılmış yaşlanma testine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak çekme mukavemetinin 0.15-0.25 kg/m² arasında olduğunu ve ağaç yoğunluğu ile doğru orantılı artış gösterdiğini bildirmişlerdir.

Täljsten and Thomas (2007), beton kirişlerin güçlendirilmesinde yeni bir kompozit olan mineral tabanlı kompozit (MBC) kullanmışlar ve CFRP ile yapılan güçlendirilmelerle karşılaştırmışlardır. Yapıştırıcı olarak epoksinin betonla dayanıklı ve iyi bir bağ yaptığını ortaya koymuşlardır.

Yeou-Fong (2009), yaptığı çalışmada CFRP ile güçlendirilmiş kirişlerin eğilme performanslarını teorik analiz ile % 5.05 hata paylı olarak hesaplamıştır. Deneysel çalışmalarda CFRP ile güçlendirilmiş kirişlerin eğilme dayanımları % 44 artarken, teorik analiz ile % 39 aratacağı öngörülmüştür.

BÖLÜM 2

AHŞAP YAPI ELEMANLARI

2.1. AHŞAP MALZEME

Ahşap, canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilen lifli, heterojen ve anizotrop dokuya sahip organik esaslı bir yapı malzemesidir. Anatomik ve kimyasal yapısı ile fiziksel ve mekanik özellikleri çok değişik olan ahşap malzemenin 5000'den fazla kullanım yeri bulunmaktadır. Özgül ağırlığının düşük olmasına karşın direncinin yüksek olması, ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılmasında en önemli etkidir. Ayrıca yenilenebilir bir enerji kaynağı olan ahşap malzemenin, kolaylıkla işlenebilmesi ve doğal olarak yetiştirilebilmesi gibi birçok üstün özelliği vardır (Duman ve Ökten, 1988; Karakaş 1988).

2.1.1. Ahşap Malzemenin Üstün Özellikleri

Ahşap malzemenin üstün özellikleri denildiği zaman, diğer yapı malzemelerine göre üstün olan özellikleri anlaşılmaktadır. Bu üstün özellikler şöyle sıralanabilir:

- 1) Diğer yapı malzemelerinden hafif olması,
- 2) Yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve her ülkede az veya çok bulunabilmesi,
- 3) Özgül ağırlığına göre, direncinin ve taşıma gücünün daha yüksek olması,
- 4) Korozyona uğramaması,
- 5) Titreşim emme özelliğine sahip sünek bir yapı malzemesi olması nedeniyle deprem etkisine karşı dayanıklı olması,
- 6) Şok şeklindeki etkileri ve sesi absorbe etmesi nedeniyle çarpma esnasında az gürültü çıkarması,
- 7) İyi bir ısı yalıtkanı olması, dokunulduğunda sıcak ve soğuk hissi vermemesi ve dokunulduğunda vücut ısısını düşürmemesi,

- 8) Sıcaklık değişimlerinde kondensasyona (terleme) neden olmaması,
- 9) Ardişık gerilmelere maruz kaldığında kriştalleşmesi ve gevrek yapı kazanması,
- 10) Plastikleştirilebilmesi ve bükülmesi,
- 11) Elektrik direncinin yüksek bulunması,
- 12) Bünyesinde statik elektriklenme olmaması,
- 13) Kimyasal maddelere karşı dayanıklı olması,
- 14) Yangına karşı direncinin yüksek bulunması,
- 15) El aletleri ve makinelerde kolay işlenebilmesi,
- 16) Çivi ve vida tutma kabiliyetinin yüksek olması,
- 17) Ahşap yapı malzemesi üretimi için daha az enerjiye gereksinim duyulması,
- 18) Doğal yapısı nedeniyle, estetik, rahat ve huzur verici bir özelliğinin olması,
- 19) Üretim ve taşınmasının kolay ve ekonomik olması,
- 20) Yaklaşık 20 000 çeşit renk ve görünüş seçeneğine sahip olması,
- 21) Üst Yüzey işlemleri ile daha çok çeşit üretilebilmesi,
- 22) Kullanım süresinin artması ile daha zengin görünüm ve koyu renk kazanması,
- 23) Kusurlu kısımlarının kolayca değiştirilebilmesi,
- 24) Toz barındırmaması, kolay temizlenebilir ve sağlıklı olması,
- 25) Kansorejen bir madde olan Radon gazı salgılamaması,
- 26) Romatizma, astım, böbrek hastalıkları ve dolaşım bozuklukları üzerinde olumlu etkilerinin olması,
- 27) Ortam ısı değişiminden az etkilenmesi,
- 28) Yüksek bir taşıma gücüne sahip olması,
- 29) Doğal bir malzeme olduğundan farklı iklim koşullarına dayanıklı olması,
- 30) Fizyolojik ve Psikolojik yönden insana daha yakın ve sıcak olması gibi özellikleridir (Kurtoğlu ve Sofuoğlu, 2007).

2.1.2. Ahşap Malzemenin İstenmeyen Özellikleri

- 1) Organik bir malzeme olması; Bitkisel ve Hayvansal canlıların besin maddesidir (Böcekler, Mantarlar, Bakteriler, Midyeler ve Termitler gibi).
- 2) Higroskobik yapıya sahip olması; Atmosferik hava koşullarında bağıl nem ve sıcaklığın değişmesi ile rutubet alıp vererek boyutlarında daralma ve genişlemelerin ortaya çıkması (çalışması),

- 3) Yanabilen bir malzeme olması ve kimyasal maddeler ile tepkimeye girebilmesi,
- 4) Anizotrop bir malzeme olup, heterojen bir yapıya sahip olması,
- 5) Fiziksel ve mekanik kuvvetlerden etkilenmesi gibi özellikleri istenmeyen yönleridir (Uysal, 2005; Kurtoğlu ve Sofuoğlu, 2007).

2.1.3. Ahşap Malzemenin Fiziksel Özellikleri

2.1.3.1. Ahşap – Su ilişkisi

Ahşap malzeme, hücre çeperi içerisindeki miseller ve fibriller arası boşluklar ile hücre boşlukları (lümen) nedeniyle geniş ölçüde gözenekli bir cisimdir. Böylece higroskopik bir cisim olan ahşabın nem çekme özelliği iç yüzey alanı ile doğru orantılı olarak artar. Bu nedenle ahşap kurutma dolabı şartlarında tam kuru hale getirilmedikçe içerisinde su bulunur. Hücre çeperi içerisindeki boşluklarda tutulan suya hücre çeperine bağlı su, lümenlerde tutulan suya ise serbest su denir (Örs ve Keskin, 2001).

Uzunca bir zaman su içerisinde bırakılan ahşap malzeme içerisindeki bütün boşluklar su ile dolar. Bu hal ahşabın sun'i ve ekstrem bir durumu olup tam yaş hal denir. Diğer sun'i ve ekstrem durum ise bir kurutma dolabında 103 ± 2 °C'de ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar kurutularak içerisindeki suyun buharlaştırılmasıyla elde edilen tam kuru haldir (Örs ve Keskin, 2001).

Yaşayan ağaçlarda su miktarı, ksilemin toplam ağırlığının yarısını aşmaktadır. Ağaç kesilip tomruklandığında ya da tomruklar biçilip kereste, kaplama levha haline getirildiğinde ve yongalandığında çevresine rutubet vermeye başlar. Ancak, ağaç malzemedeki rutubet tamamen bitmez, hücre çeperlerinde daima bir miktar su kalır. Zamanla ve ortamın rutubet şartlarına bağlı olarak değişen bu su miktarı, ağaç malzemenin fiziksel özelliklerini, mekanik özelliklerini, biyolojik bozulmaya karşı gösterdiği direnci ve boyutsal dengesini etkilemektedir. Yaşayan bir ağacın hücre çeperindeki su miktarı esasen mevsimler itibarıyla sabit kalır. Ancak, lümendeki su miktarı değişir. Lümendeki su, inorganik maddelerle birlikte fotosentez için kullanılmakta ve besi suyu olarak isimlendirilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

Taze haldeki ağaç malzemedede su, hücre çeperi ile lümende bulunmakta ve bu rutubet miktarına göre ağaçlar dört sınıfa ayrılmaktadır.

Orta rutubetteki ağaçlar: Odun % 30-40 rutubette olup, 1 m³ odunda 100-200 kg su vardır. Örnek: Ladin, çam, melez ve göknar.

Rutubetli ağaçlar: Odun % 40-60 rutubette olup, 1 m³ odunda 200-400 kg su vardır. Örnek: Dişbudak, ceviz, yalancı akasya ve titrek kavak.

Yaş ağaçlar: Odun % 60-115 rutubette olup, 1 m³ odunda 400-550 kg su vardır. Örnek: Kayın, meşe, huş, akçağaç, kızılğaç, ihlamur ve söğüt.

Çok yaş ağaçlar: Odun % 115' den fazla rutubette olup, 1 m³ odunda 500 kg'dan fazla su vardır. Örnek: Karağaç, kavak ve kestane (Bozkurt ve Göker, 1987).

2.1.3.2. Ahşap Malzemenin Rutubeti

Ahşap malzemenin rutubeti (r); tam kuru haldeki ağırlığına (m_0) oranla içerisindeki su miktarı (m_s)'dir. Buna göre; $r = m_s/m_0$ olup, bu rutubette ağırlığı (m_r) bilindiği takdirde, içerisindeki su miktarı (m_s); $m_s = m_r - m_0$ kadar olacağından rutubet;

$$r = \frac{m_s}{m_0} = \frac{m_r - m_0}{m_0} = \frac{m_r}{m_0} - 1 \quad (2.1)$$

eşitliğinden hesaplanır. Buna göre rutubeti bilinen ahşap malzemenin rutubetli haldeki ağırlığı (m_r) yardımıyla tam kuru ağırlığı (m_0) ya da tam kuru haldeki ağırlığı bilinen ahşap malzemenin rutubetli haldeki ağırlığı için;

$$m_r = m_0(1 + r) \quad (2.2)$$

eşitliği yazılabilir (Örs ve Keskin, 2001).

Yeni kesilmiş bir ağaç odunu içerisindeki boşluklarda besi suyu ile bir miktar gaz vardır. Bu duruma taze hal denmekte olup ağaç türlerine göre taze hal rutubeti % 40-120 arasında değişir. Çizelge 2.1.'de Türkiye'de yetişen bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri.

AĞAÇ TÜRÜ		RUTUBET (%)	
		Diri Odun	Öz Odun
İğne Yapraklı Ağaçlar	Göknar	165	40
	Ladin	145	35
	Çam	130	50
	Sedir	120	40
Geniş Yapraklı Ağaçlar	Kavak	135	80
	Kayın	110	55
	Kestane	90	80
	Meşe	80	65
	Ihlamur	75	80
	Akçaağaç	75	65

Ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini nem oranı etkiler. Çünkü birim alana düşen lif miktarı, lifler arası su miktarıyla orantılıdır. Ahşap kururken hacim kaybına uğrar ve büzülür. Sertlik ve dayanımı artar ancak enerji tutma kapasitesi azalır.

Taze haldeki odun kurumaya bırakıldığında ilk önce serbest su buharlaşır. Serbest su tamamen buharlaşıp odunda yalnız hücre çeperine bağlı su kaldığı anda odunun rutubeti lif doygunluğu noktasındadır. LDN rutubeti ağaç türlerine göre % 20-35 arasında değerler alır. Ortalama bir değer olarak LDN = % 28 kabul edilebilir (Bozkurt ve Göker, 1987).

2.1.3.3. Birim Hacim Ağırlık

Ahşabın birim hacim ağırlığı ve nem birbirine bağlıdır, %15 neme karşılık gelen birim hacim ağırlığı ağaç türüne göre $0,1 \text{ t/m}^3$ ile $1,5 \text{ t/m}^3$ arasında değişir.

BHA'ı yüksek olan ahşapların mekanik özellikleri de yüksektir. Ancak bunların işlenmesi ve çalışılması zordur. Mantar, böcek gibi hayvanlara karşı dayanıklıdır. BHA'ı düşük olan ahşapların mekanik dayanımları düşüktür ancak işçilikleri kolaydır (Örs ve Keskin, 2001).

2.1.3.4. Termik Özellikler

Bilindiği gibi, sıcaklık değiştikçe birçok materyal büyüklük ve hacim olarak değişir. Sıcaklığın artmasıyla genişirler. Bu doğrusal ve hacimsel genişleme anlamına gelir. Genişleme malzemelerin gücünde azalmaya neden olur. Çelik inorganik ve alev almayan bir malzeme olması nedeniyle yanmaya karşı avantajlıdır. Ama binalarda kullanıldığında, ısıdaki artmanın bir sonucu olarak genişir ve göçer. Ahşap ısıya karşı genişemez. Tam tersine, ısının etkisiyle, kurur ve güç kazanır. Ahşap, sadece tam kurduğunda (ki bu sadece teorikte mümkündür) genişir. Pratikte, sıcaklığın en yüksek olduğu mevsimde, nem oranı %5'in altına düşmez (Bozkurt ve Erdin, 1997).

Ahşabın termik iletkenlik katsayısı çok düşüktür. Isıyı ahşaba göre, alüminyum 7000 kat, çelik 1650 kat, mermer 90 kat ve cam 23 kat daha hızlı iletir. Bu nedenle, kibritlerin, mekanik aksam donanımının saplarının, tavanların ve duvar süslemelerinin yapımında ahşap kullanılır. Ahşabın belirgin ısıya oldukça yüksektir. Bu bir kilogramlık ahşabın ısısının artırılması ve azaltılması için çok fazla enerjiye ihtiyaç duyulması anlamına gelir. Ahşap, taşlardan ve betonlardan neredeyse iki kat daha fazla ısı enerjisine; benzer bir şekilde, çeliği ısıtmak ve soğutmak için kullanılan ısı enerjisinin üç katına ihtiyaç duyar (Bozkurt ve Göker, 1987).

2.1.3.5. Elektriksel Özellikler

Tamamıyla kuru bir ahşabın elektrik akımına olan direnci fenol formaldehitin direnci ile aynıdır. Fırında kurutulmuş bir ahşap çok iyi bir elektrik yalıtkanıdır. Hava ile kurutulmuş ahşapta yalıtkanlık belirli ölçüde aynıdır. Ne yazık ki ahşaptaki elektriğe olan direnç rutubet miktarının artmasıyla düşer. Tam yaş haldeki ahşabın elektriğe olan direnci ise su ile aynıdır.

İnsan sağlığı için sakıncalı olan statik elektrik ahşapta bulunmamaktadır. Fakat

metal, plastik ve diğerk malzemelerde statik elektriklenme söz konusudur. Bu nedenle ahşap, diğerk yapı malzemelerine göre sağlıklı bir malzeme olarak önerilmektedir (Bozkurt ve Göker, 1987).

2.1.3.6. Akustik Özellikler

Ses yalıtımı yüzeyin kütlesini temel alır. Ahşap hafif bir malzeme olarak ses yalıtımı için çok mükemmel değildir. Fakat ses emilimi için idealdir. Ahşap ses dalgalarını emerek eko ve gürültü oluşumuna engel olur. Bu yüzden çoğunlukla konser salonlarında kullanılır. Ses iletimi hızı ahşapta gazlardan ve sıvılardan daha hızlıdır ve metallerdeki ses iletim hızına çok yakındır. Sürtünme neticesinde oluşan ses enerjisi kaybı da ahşapta hafifliği ve yapısıyla da ilintili olarak belirgin bir şekilde düşüktür. Buna benzer özellikler yüzünden ahşap çoğunlukla müzik enstrümanlarında kullanılır (Eraslan, 2009).

2.1.3.7. Estetik Özellikler

Ahşap estetik bir malzeme olarak ele alındığında dekoratif bir malzemedir. Her ağacın kendine has rengi, kokusu ve şekli vardır. Bir ağacın yapısı kesilme şekline göre değişir. Dizayn ve renk tercihine göre farklı ahşap malzemelerini bulmak mümkündür. Daha koyu renklere boyanabilir ya da verniklenebilir ve açık ya da koyu tonlar verilebilir (Şimşek, 2000).

2.1.4. Ahşap Malzemenin Kimyasal Özellikleri

Ahşap malzemenin kimyasal yapısı üç ana maddeden oluşur. Bunlar selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Bu ana bileşenlerinin yanında kimyasal özelliklerine etki eden; reçine, eteri yağlar, kül bileşikleri, albumin, tanen, mum ve bazı boya maddeleri gibi ekstraktif maddelerden oluşmaktadır (Asarcıklı, 2005).

2.1.4.1. Selüloz

Hücre duvarının ana katkı maddesidir ve % 50-60 oranında bulunur. Ahşabın fiziksel özelliklerinden eğilime ve çekmeye karşı mukavemet veren madde budur (Asarcıklı, 2005).

2.1.4.2. Hemiselüloz

Pentoz ve hektoz şekerlerinin kısa polimerleridir ve % 15-25 oranında bulunur. Hücre duvarını güçlendirir, depo madde görevi yapar, geçit zarlarını ayarlar. Su emicidir (Asarcıklı, 2005).

2.1.4.3. Lignin

Selüloz fibrilleri içinde yer alır ve % 14-23 oranında bulunur. Gevrek bir madde olup ağacın dik durmasını ve ahşap malzemenin basınca karşı mukavemetini sağlar. Bir fenol halkasının ana yapısına sahip amorf bir maddedir. Düşük oranda su emicidir. Rengi kahverengimsi beyazdır (Asarcıklı, 2005).

2.1.5. Ahşap Malzemenin Mekanik Özellikleri

Ahşap malzemenin dışarıdan yapılan kuvvetler ile biçimini değiştirmeye zorlayan kuvvetlere karşı koyma gücüne mekanik özellikleri denir. Bu özellikler; direnç, elastiklik ve teknolojik özellikleridir. Direnç özelliklerini, eğilme direnci, çekme direnci ve basınç dirençleri oluşturmaktadır (Örs ve Keskin, 2001).

Ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzeme olması nedeniyle mekanik özellikleri değişkendir. Elyaf yönündeki tüm özellikler, basınç, çekme ve eğilme dirençleri, enine yöndeki dayanımlarından yüksektir. Ahşap malzeme, zamanla ortamın rutubet şartlarına göre içeriğindeki su miktarının değişmesi sonucu; şişen, büzülen bir malzeme olduğundan mekanik özellikleri de değişen bir malzemedir (Bozkurt ve Erdin, 1997).

2.2. AHŞAP YAPILARDA TAŞIYICI SİSTEMLER

Türkiye’de ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapı üretimi yaklaşık 40 yıl öncesine kadar yaygın bir şekilde görülmesine rağmen, özellikle betonarme yapım tekniğinin ortaya çıkması ve gelişmesiyle yapı sahibi olmak isteyenler bu süre içinde genellikle tercihlerini betonarme yapılardan yana kullanmışlardır. İnsanların genel tercihleri betonarme ya da yığma türü binalardan yana olunca da ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapılar nadiren yapılmış ve bu yapılar unutulmaya yüz tutmuşlardır. Ancak ABD, Kanada, Japonya ve Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde ahşap yapılar için bu tür bir yol izlenmeyip teknolojinin verdiği imkânlardan da yararlanarak yeni detay ve teknikler geliştirilmiş ve bu ahşap yapılar inşa edilmeye devam edilmiştir. Bugün ABD’de ahşap yapılar genel olarak tüm yapıların %80-%90’ını oluşturmakta, Kaliforniya gibi deprem bölgesindeki yerleşim yerlerindeki konutlarda ise bu oran %99’a kadar çıkmaktadır (Çobancaoğlu, 1998).

Ülkemizde son yıllarda gerçekleşmiş en büyük afetlerden olan 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri, bazı teknik eleman ya da araştırmacıların dikkatlerinin geleneksel yapılar üzerine yoğunlaşmasını sağlamıştır. Bunun bir sonucu olarak da birçok araştırmacı ve gözlemci deprem sonrasında bu yapıların deprem performansları hakkında görüş bildirmişlerdir. Bu görüşler genelde geleneksel yapıların deprem performanslarının, betonarme yapıların performanslarına göre daha üstün olduğu şeklinde oluşmuştur. Oysa daha önceki depremlerde bu yapıların deprem performansları hakkında ya hiç görüş sunulmamış ya da çok kısıtlı bilgiler ve görüşler sunulmuştur. Araştırmacılar da geleneksel yapıların çeşitli yük ya da yük etkisindeki davranışları üzerinde çalışmalarına söz konusu depremlerden sonra başlamışlardır. (Çobancaoğlu, 1998).

2.2.1. Taşıyıcı Sistem Elemanları

Ahşap yapıların taşıyıcı sistem elemanları yük aktarımı açısından temeller, döşeme elemanları, duvar elemanları, çatı elemanları ve merdivenler olarak gruplandırılır.

2.2.1.1. Temeller

Ahşap yapıların temellerini genellikle kâgir bir zemin kat ya da zemin üst yüzeyinden itibaren belirli bir yükseklikte yapılan kâgir duvarlar oluşturmaktadır. Bazen dikmeler taş temellerle mesnetlenmektedir. Bu durumda düşey yükler etkisinde bir sorunla karşılaşılabilir. Ancak, özellikle deprem durumunda, ahşap elemanın mesnetlendiği temel taşının, zemin hareketi sonucunda yerinden oynaması ve dikmelerin ötelenmesi söz konusu olacağından, bu tür bir dikme-temel birleşim bölgesinden iyi bir performans beklenmemelidir (Doğangün vd., 2004).

Ahşap yapı temeli olarak ahşap elemanlar da kullanılmaktadır. Su altında kaldığı sürece sertliği artan ve uzun yıllar sonra bir tür taşlaşma özelliği gösteren kestane ağacı bu tür temeller için tercih edilmektedir.

Tüm yapılarda ahşap, betonarme ya da çelik taşıyıcı sistem elemanları genel olarak benzer yüklerin etkisinde kalmaktadır. Düşey yükler, yatay olarak düzenlenmiş döşeme-kiriş gibi elemanlara etkimekte, bu elemanlar taşıdığı yükleri kolon ve perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlara iletmekte, düşey elemanlar ise bu yükleri temellere aktarmaktadır. Bilindiği gibi temeller de bu yükleri, temel çeşidine bağlı olarak, mesnetlendikleri zemin ortamına iletmektedir. Deprem durumunda ise yapı ağırlık merkezine etkileyen deprem yükleri döşeme kiriş gibi elemanlar aracılığı ile eğilme rijitliklerine bağlı olarak düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmaktadır (Doğangün vd., 2004).

2.2.1.2. Merdivenler

Geleneksel ahşap yapılarda merdivenlerin çok farklı uygulamalarıyla karşılaşmak mümkündür. Bu yapılardaki merdivenler bazen kendileri bağımsız bir taşıyıcı sisteme sahip olarak yapılmışlar bazen de kat kirişlerine mesnetlenerek yapı taşıyıcı sisteminin bir parçası olmuştur (Akgül, 2007)

2.2.1.3. Döşeme Taşıyıcı Elemanları

Sabit ve hareketli yükler etkisinde kalan döşeme kaplamaları tali kirişlere, tali kirişler de ana kirişlere sabitlenmektedir. Türkiye'deki geleneksel yapılarda genellikle zemin kat üzerinde konsollar bulunmaktadır. Bu konsollar yapı ağırlık merkezini zeminden daha yükseğe taşıdığından ve yapının daha küçük bir alana oturmasına neden olduğundan deprem davranışı için istenmeyen bir durum meydana gelmektedir. Kafes kiriş olarak oluşturulmuş ahşap döşeme elemanları Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Doğangün vd., 2004).



Şekil 2.1. Ahşap döşeme elemanları (kafes kiriş).

2.2.1.4. Duvar Taşıyıcı Elemanları

Bu elemanlar, kullanılan ahşap yapı tekniğine bağlı olarak, yatay olarak düzenlenen ahşap elemanlar, düşey olarak düzenlenen dikmeler, eğik olarak düzenlenen payandalar, diyagonaller ve panel duvarlardan oluşmaktadır. Burada esas olarak bu elemanlar üzerinde durulmakta ve ahşap taşıyıcı sistemler bu elemanlara göre sınıflandırılmaktadır. Ahşap duvar elemanlarına bir örnek Şekil 2.2'de görülmektedir (Akgül, 2007).



Şekil 2.2. Ahşap duvar elemanları.

2.2.1.5. Çatı Taşıyıcı Elemanları

Genelde beşik ya da oturtma çatı olarak inşa edilen çatılarda taşıyıcı eleman olarak ahşap kirişler, dikmeler, gergi ve payandalar kullanılmaktadır. Örnek bir ahşap çatı taşıyıcıları Şekil 2.3’de görülmektedir (Akgül, 2007).



Şekil 2.3. Ahşap çatı elemanları.

2.3. AHŞAP YAPILARDA RESTORASYON VE ÖNEMİ

Bir sanat yapıtını ya da insanlık tarihine tanıklık eden herhangi bir nesneyi korumak ve gereğinde, olabildiğince ilk durumuna getirmek amacıyla, bu nesneyi sağlamlaştırmaya ve çürüme sürecini durdurmaya yönelik işlemlerin tümüne restorasyon denir (Uysal 2005).

Geleneksel tarihi yapılar, tarih ve medeniyetlerin canlı tanıklarındır. Kültürel, mistik ve folklorik özelliklerinden dolayı bu yapıtların varlığı insanlar için büyük önem taşımaktadır. Tarihi yapıların büyük kısmını oluşturan ahşap yapılar, tarihi süreç içerisinde doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan yıpranmalara maruz kalmaktadır. Kültür mirasımızın önemli bir parçası olan bu yapıların, gelecek nesillere sağlam bir şekilde aktarılması için ahşap yapı elemanlarının da gerekli yapısal onarımdan geçirilip güçlendirilmelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Uygun teknik ve koruma yöntemleriyle ahşap yapı elemanlarının ömrünü uzatmak mümkündür. Bu restorasyon çalışmalarının istenilen nitelikte olabilmesi için yeterli miktarda araştırma yapılmalı ve bilimsel bir yaklaşımla restorasyon yapılmalıdır (Günay, 2002; Uysal 2005).

2.3.1. Restorasyon Teknikleri

Bir eseri restore etmek, orijinal özellikleri ve görünümüne tekrar kavuşturmak anlamına gelir. Her bir restorasyon projesi, özel prensipler çerçevesinde gerçekleştirilir. Proje yürütücüsünün proje boyunca aklında tutması gerekenler ve onu yönlendirecek olan şeyler, problemlerin belirlenmesi ve tadilatın neler gerektirdiğinin bilinmesidir (Miró et al., 2006).

Tarihi nitelik taşıyan eserlerin restorasyonuna geçilmeden önce eserin mevcut durumu fotoğraf video... vb tekniklerle belirlenmeli. Restorasyonun tanımında da anlaşılacağı gibi olabildiğince ilk haline getirmeye yönelik çalışmanın yapılması için eserin tarihçesi, estetik değeri, teknik özellikleri ve yasal statüsü belirlenmeli bu bilgiler ışığında müdahaleler yapılmalıdır. Organik bir malzeme olan ahşap restore edilirken yapının kullanım yerinde maruz kalacağı bütün etkenler göz önüne alınarak ve bilimselliği kanıtlanmış çalışmalar ışında yapılmalı örneğin kolon ve kirişlerde kullanılacak malzemenin çekme, eğilme, basınç, yarıma, makaslama dirençlerin hesaplanması, ıslak hacimlerde ağaç malzemenin biyotik zararlara karşı etkili koruyucu kimyasallar, vernik... vb kullanılması ahşap malzemenin daha uzun ömürlü olmasını sağlayacaktır. Tarihi eserlerin restorasyonu oldukça maliyetli olmaktadır. Günümüzde temel yaklaşım eserlerin belirli aralıklarla bakımı yapılarak korunmasıdır.

Tarihi eserlerin onarımları yapılan araştırmalar neticesinde yapılacak müdahaleler belirlendikten sonra aşağıdaki tekniklerden yararlanılır eserin durumuna göre teknikler tek tek uygulanabileceği gibi bir arada da uygulanabilir (Uysal, 2005).

2.3.1.1. Sağlamlaştırma

Geleneksel Türk mimarisinde yapı elamanı ve i mekn donatım elemanı olarak yoğun kullanımı olan ahşap malzemeler değişik nedenlerle rmekte, mantar ve böceklerin etkisi ile mukavemetleri azalmaktadır. Ahşap yapı elemanlarında görülen bu bozuklukların giderilerek sağlamlaştırılması amacıyla değişik kimyasallarla mantar ve böceklerin etkisini kaldırarak yeniden üst düzey işlemlerinin yapılması gerekir (Uysal, 2005).

2.3.1.2. Bütünleme

Bir bölümü hasar görmüş yda yok olmuş ahşap eserlerin ilk tasarımıdaki bütünlüğe kavuşturacak biçimde geleneksel ya da ağdaş malzeme kullanarak tamamlama işlemi bütünleme denilmektedir. Btnlemeyi yönlendiren etmenler estetik, işlevsel yada strüktürel denge kaygıları olabilir. Kullanım süreci içinde fiziksel ve işlevsel nedenlerle eskimenin oluştuğu ve taşıma gücünün yetersiz hale geldiği elemanların veya taşıyıcı sistem bütününün onarım ve takviyesi mümkündür (Uysal, 2005).

2.3.1.3. Yenileme

Bir eserin yenilenmesi, görünümünün ve yapısının, zevk ve ihtiyaçlarımız doğrultusunda değiştirilip düzenlenmesi anlamına gelir. Restorasyon işleminin aksine, yenileme işleminde biçimsel veya malzemelerle ilgili kısıtlamalar yoktur. Projenin kapsamı sadece beceriler ve hayal gücüyle sınırlıdır (Mir et al., 2006).

Artan isteklere karşı işlevsel önemini kaybetmiş yapılar kullanılmadığından dolayı rmektedir. Bu tür yapıların harap olmasını önlemek için ilk yapılış amacına farklı olarak işlevsellik kazandırmak en etkili yöntemdir (Uysal, 2005).

2.3.1.4. Yeniden Yapım

Sağlamlaştırma, bütünleme, yenileme, temizleme ve taşıma gibi tekniklerle restorasyonu mümkün olmayan yok olmuş, harap durumda olan eserleri tarihi belgeler ışığında yeniden yapılmasıdır (Uysal, 2005).

2.3.1.5. Temizleme

Hücre çeperi ve hücreler arasına girerek odunlaşmayı sağlayan ligninin güneş ışığı karşısında, iç mekanlarda çeşitli faktörlerin (baca dumanı, su buharı.....vb) etkisiyle, dış ortamda ise ahşap malzeme yüzeyinde kil tabakasının oluşması sonucu renk koyulaşması oluşmaktadır. Renk açma işlemleri için bazı kimyasal maddeler kullanılabilir. Bunlar: sodyum hidroksit ve hidrojen peroksittir (Uysal, 2005).

2.3.1.6. Taşıma

Değişik nedenlerden dolayı tarihi eserleri bulunduğu yerde korunmasının mümkün olmayıp, önceden belirlenen uygun bir yere taşınarak orada kalmalarını sağlamaktır. Taşıma işlemi tarihi eserin boyutlarına, malzemesine ve yapım tekniğine göre çeşitli tekniklerle gerçekleştirilmektedir. Mümkünse tarihi eserin sökülmeden (küçük boyutlu ahşap eserlerde olduğu gibi), mümkün değilse eserin tüm elemanlarının numaralandırılarak sökülmesi başka bir yerde kurulmasıdır. Etnografya müzesine taşınan Ürgüp Damse Köyü, Taşkın Paşa Camii Mihrap ve Minberleri, Ahi Şerafeddin Sandukası, Ankara Karanlık Mescit kapısı vb. örnek olarak verilebilir (Uysal, 2005) .

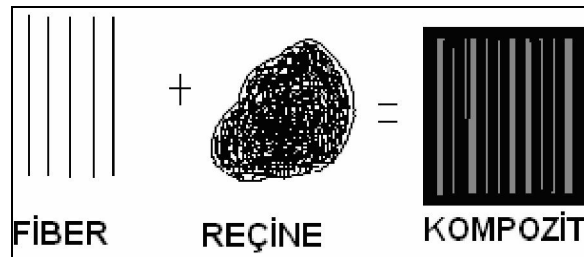
BÖLÜM 3

KARBON FİBER ELYAF TAKVİYELİ POLİMERLER (CFRP)

3.1. FİBER TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELER

İki veya daha fazla saydaki, farklı özelliklere sahip malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni bir malzemede toplamak amacıyla, makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilen malzemelere “kompozit malzeme” denir. Kompozit malzemeler genel olarak matris olarak adlandırılan ana yapı ve takviye elemanından oluşmaktadır. Genellikle takviye malzemesi fiber elyaflardan; karbon, cam veya aramid olurken matris malzemesi ise epoksi reçinesinden oluşmaktadır (Şekil 3.1) (Şahin, 2000).

Fiberler, basit olarak bir boyutu diğer boyutuna göre çok büyük olan malzeme olarak tanımlanabilir. Bir malzemenin fiber olabilmesi için en büyük genişliği 0,25 mm, en büyük kesit alanı $0,05 \text{ mm}^2$, kalınlık /uzunluk oranı en az 1/10 olmalıdır (Kılınç, 2006).



Şekil 3.1. Fiber takviyeli kompozitlerin genel yapısı

Bir kompozit malzemenin davranışını anlamak için kompozit malzemedeki fiberlerin ve matris malzemelerin görevlerinin bilinmesi gerekir. Fiber elyafların ve matris malzemelerin önemli görevleri şöyle sıralanabilir.

Bir kompozit malzemedeki fiber elyafların görevleri:

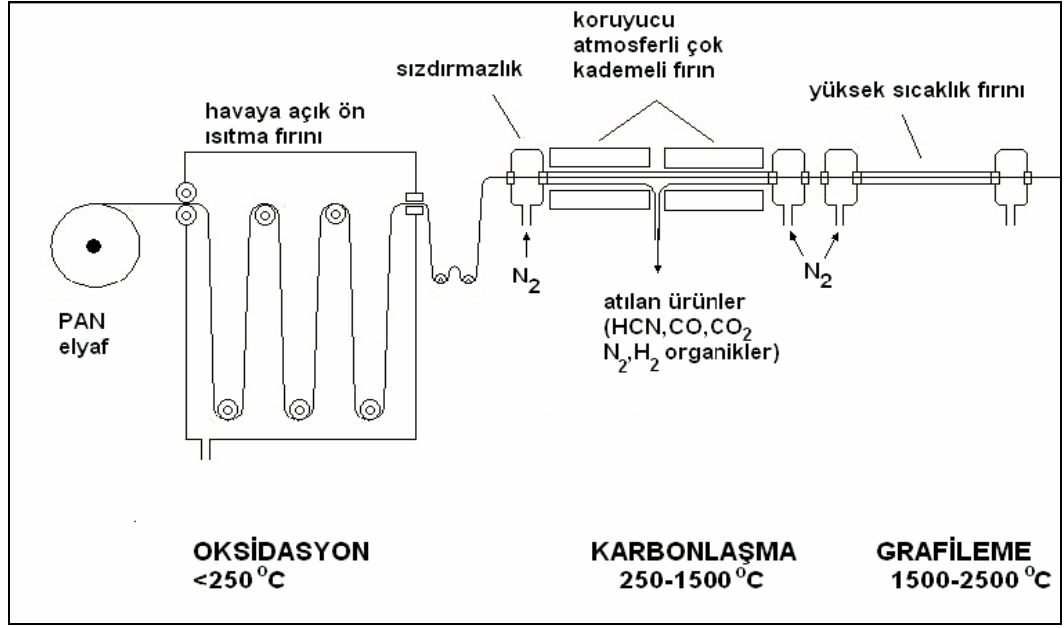
- 1) Bir kompozit malzemeye uygulanan kuvvetin çoğunu fiberler taşır. Yükün neredeyse %90 fiberler tarafından taşınır.
- 2) Fiber elyaflar, yüksek elastik modüle, sertliğe ve yüksek sıcaklıktaki dayanımları ve diğer yapısal özellikleriyle kompozit malzemeyi kararlı kılar.
- 3) Kompozit malzemenin elektrik iletkenliği ya da yalıtım özellikleri kullanılan fiber malzemelerin özelliğine bağlıdır (Şahin, 2000).

Bir kompozit malzemedeki matrislerin görevleri:

- 1) Matris malzeme fiberleri bir arada tutar, böylece fiberlerin bireysel hareket etmesine engel olur.
- 2) Matris malzeme kompozit malzemeye yüklenen yükü fiberlere transfer eder.
- 3) Matris malzeme kompozit malzemeye şekil verdiği gibi malzemenin katı durmasını sağlar.
- 4) Matris malzeme, çevresel faktörlerin vermiş olduğu kimyasal ve fiziksel zararlara karşı kompozit malzemeyi korur (Şahin, 2000).

3.1.1. Karbon Fiber Elyafı

Karbon lifleri metallere göre oldukça düşük yoğunluktadır. Çeliğe göre mukavemeti yüksek olup, aşırı katıdırlar. Lif takviyeli kompozitlerde kullanılan karbon lifleri düşük yoğunluktaki hafif reçineleri takviye etmede kullanılır. Genellikle epoksi reçineleri matris malzeme olarak kullanılmakla beraber, bazende polyester reçineleri kullanılmaktadır. Karbon liflerinin takviye elemanı olarak kullanılması grafit kristalinin karakteristik sonucudur. Karbon grafit kristali altıgen hegzagonal katlı bir yapıda olup, her köşedeki karbon atomları birbirlerine kovalent bağlarla bağlanmıştır. Katlar ise birbirlerine VanderWaals bağlarıyla bağlanmıştır. Grafit kristalinin anizotropik yapısından dolayı bu katların lif uzunluğunca olması istenir. Bu şekilde bir düzenleme yüksek elastisite modülüne sahip bir karbon lifi üretmek için gereklidir. Şekil 3.2'de karbon fiber üretim aşamaları verilmiştir (Kılıç, 2006).



Şekil 3.2. Karbon fiber elyafı üretim aşamaları (Tsai, et al., 2003).

Karbon liflerinde mukavemet/ağırlık ve modül/ağırlık oranları çok yüksektir. Isıya karşı boyutsal stabilite, yüksek yorulma mukavemeti, yüksek erime noktası ve yüksek katlıkları onların avantajlarıdır. Düşük ani darbe direnci, yüksek elektrik iletkenliği karbon liflerinin dezavantajlarıdır.

Karbon lifi takviyeli kompozit malzemeler genellikle; uçak sanayisinde, roket ve uydu yapımında, otomotiv sanayisinde ve birçok spor malzemelerinin yapımında kullanılır (Yıldızhan, 2008).

3.1.2. Termoset Matrisler

Polimer matrisli kompozitlerde, matris malzemesi için en çok kullanılan malzeme termoset esaslı malzemelerdir. Bu malzemelerin üretiminde bir defaya mahsus ısıtılıp biçim verilir, bundan sonra malzemeye tekrar ısı verilir şekil elde edilemezler. Bunun için bu malzemelerin geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Bunun nedeni termoset matrisli malzemelerin molekülleri birbirlerine çapraz bağlıdır. Böyle olunca bu moleküller ısıtıldığında atomlar birbirlerinin üzerine kaymazlar. Ayrıca bu malzemeler çözünmezler. Termoset plastikler mukavemeti ve sıcaklığa karşı dayanımları yönünden termoplastiklerden daha üstündür.

Termoset plastiklerden en çok kullanılanı epoksilerdir. Epoksiler; iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Viskoz ve açık renkli bir sıvı halindedirler (Kılıç, 2006).

Epoksilerin olumlu yönleri şöyle sıralanabilir;

- 1) Kopma mukavemetleri yüksektir.
- 2) Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlar.
- 3) Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
- 4) Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- 5) Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler

Epoksilerin olumsuz yönleri ise; Polyesterle karşılaştırıldığında pahalıdır ve polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur (Yıldızhan, 2008).

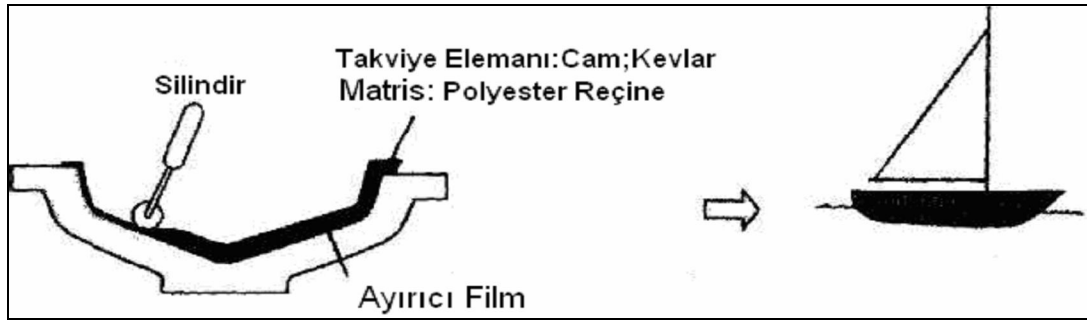
3.1.3. CFRP Üretim Yöntemleri

Termoset matrisli kompozitlerin birçok üretim yöntemleri vardır. Bu üretim yöntemlerinden bazıları aşağıda açıklanmıştır. Termoset matrisli kompozit malzemesinin üretiminde matris malzemesi genellikle epoksi, doymamış polyester ve vinil ester kullanılır (Kılıç, 2006).

3.1.3.1. El Yatırma Yöntemi

Kompoziti hazırlamak için kalıp gereklidir. Kalıbın iç yüzeyi silindikten sonra birinci ayırıcı olarak vaks ile temizlenir. Daha sonra ikinci ayırıcı PVA sürülür. Fırça ile viskozitesi yüksek reçine (jelkot) sürüldükten sonra fiberler kesilerek hazırlanır. Jelkot üzerine reçine sürülür ve keçe veya dokuma şeklindeki takviye elemanı yerleştirilir. Fırça darbeleriyle reçine iyice emdirilir. Rulo

kullanılarak hava kabarcıklarının kalmaması sağlanır. İstenilen kalınlık sağlanana kadar bu işleme devam edilir. Bu yöntemde en çok polyester ve epoksi reçine kullanılır. Sertleşme beklendikten sonra ürün kalıptan çıkarılır. Bu yöntem yoğun işçilik gerektiren bir yöntemdir ve az sayıda parça üretimi için uygundur. Şekil 3.3'de el yatırma yöntemi ve bu üretim yöntemine örnek bir kayak gösterilmiştir (Kılıç, 2006).



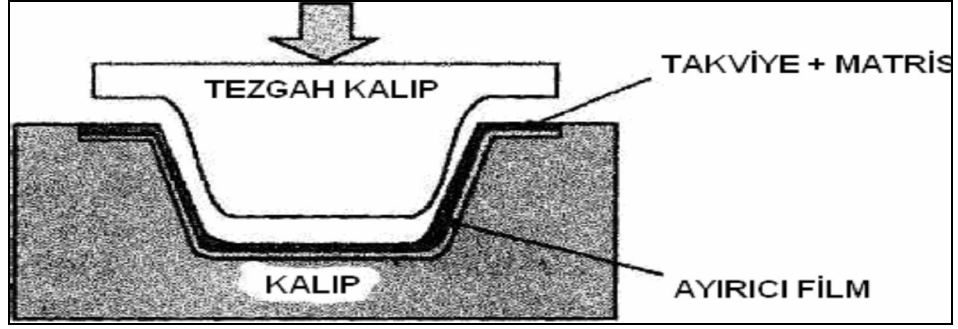
Şekil 3.3. El yatırma düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.1.3.2. Püskürtme Yöntemi

Püskürtme yöntemi elle yatırma yönteminin aletli şekli olarak kabul edilebilir. El yatırma yöntemine benzer açık kalıplama düşük ve orta hacimdeki tekneler ve kayıklar, tanklar, duş ünitesi ve daha büyük karmaşık şekilli ise bu teknik el yatırma tekniğinden daha iyidir. Bu tekniğin avantajı, basit, maliyeti düşük olması, taşınabilir aygıt ve parça boyutu sınırlamasının olmamasıdır (Şahin, 2000).

3.1.3.3. Hazır Kalıplama Yöntemi

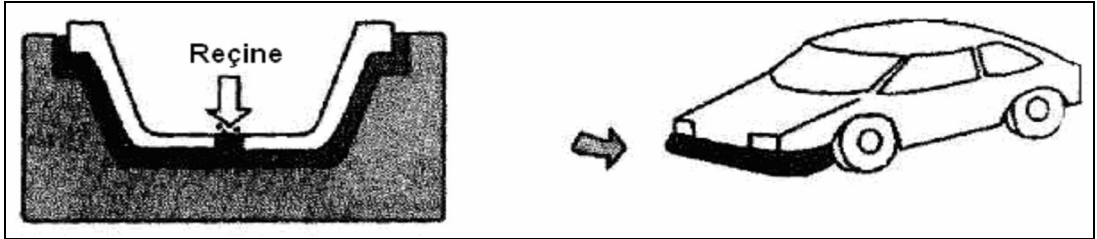
Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar bir çok ürün bu yöntemle üretilmektedir. Şekil 3.4'de hazır kalıplama şeması görülmektedir (Kılıç, 2006).



Şekil 3.4. Hazır kalıplama düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.1.3.4. Reçine Transfer Kalıplama Yöntemi

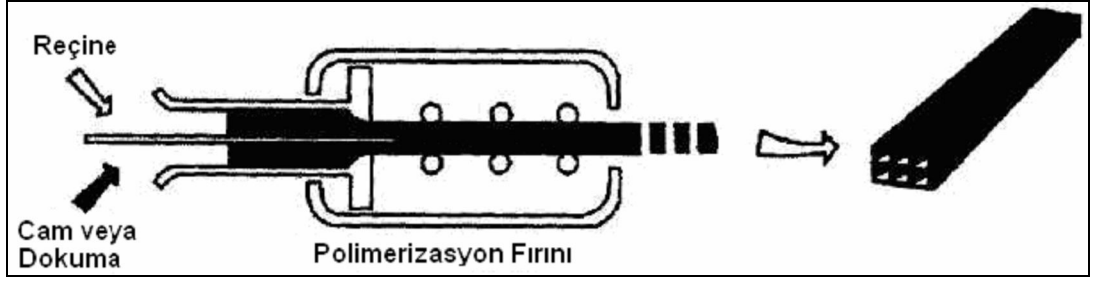
Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. F1 arabalarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır. Şekil 3.5’de reçine transfer kalıplama düzeneği ve bu yöntemle üretilebilecek parça görülmektedir (Yıldızhan, 2008).



Şekil 3.5. Reçine transfer kalıplama düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.1.3.5. Profil Çekme Yöntemi

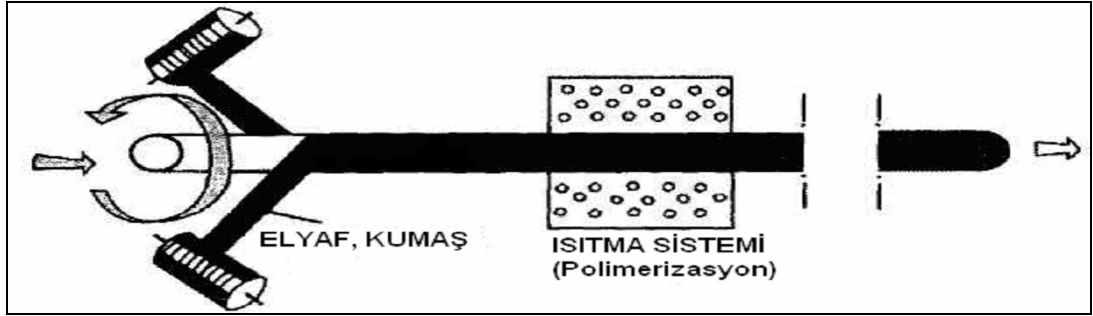
Profil çekme yöntemi Şekil 3.6’da şematik olarak verilmiştir. Bu yöntemde reçine malzemesi olarak genellikle polyester, vinil ester ve epoksi kullanılır. Takviye malzemesi olarakta sürekli fiber malzemesi kullanılır (Kılıç, 2006).



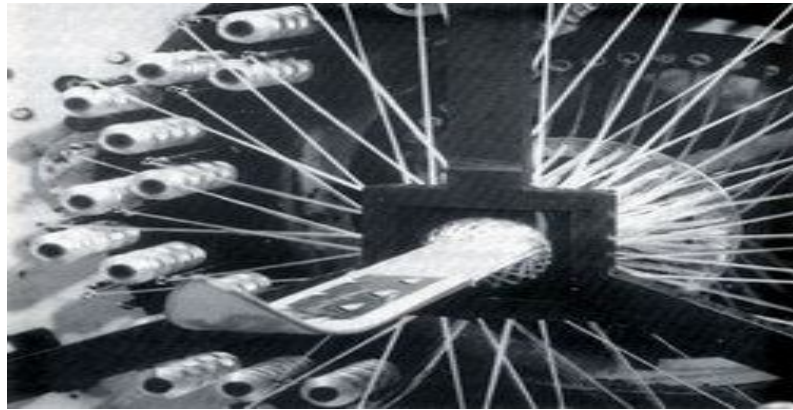
Şekil 3.6. Profil çekme düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.1.3.6. Elyaf Sarma Yöntemi

Bu yöntemle yapılan ürünler, füze boruları, petrol nakli için borular, yat direkleri, uçak, su tankları, spor aletleri vb. ürünlerdir. Şekil 3.7’de elyaf sarma şeması ve Şekil 3.8’de bu yöntemle elde edilen spor malzemesi görülmektedir (Yıldızhan, 2008).



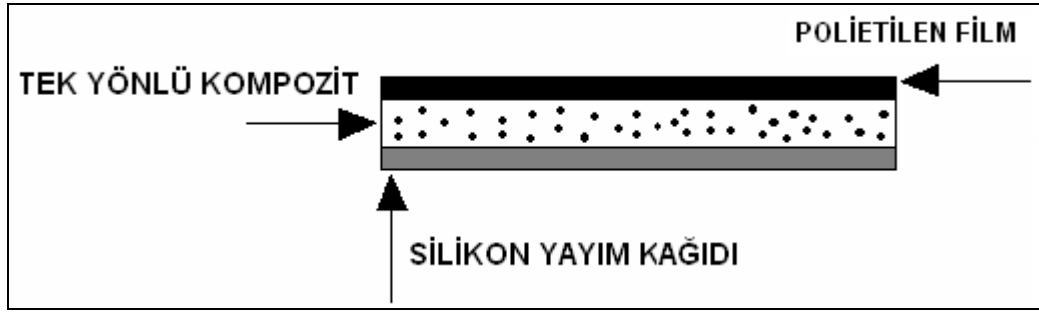
Şekil 3.7. Elyaf sarma düzeneği (Tsai, et al., 2003).



Şekil 3.8. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması.

3.1.3.7. Tabakalı Birleştirme Yöntemi

Açık yapılar şekillenmiş kalıp yüzeyi ile ısıtılmış zımba arasında sıcak presleme usulü ile uygun şekilde üretilir. Ön gömülmüş elyaf (prepreg)'lerin reçine ile doyurulması ile preslenir veya sarılarak üretilir. Üretim şeması Şekil 3.9'da verilmiştir (Kılıç, 2006).



Şekil 3.9. Tabakalı birleştirme şeması (Tsai, et al., 2003).

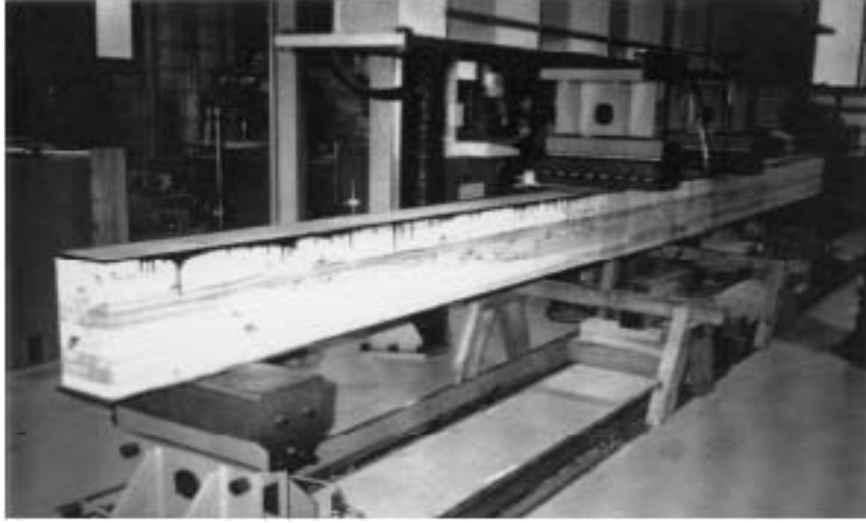
3.2. AHŞAP RESTORASYONDA CFRP İLE GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI

Günümüzde tarihi ahşap evlerin çoğu yıkılmış birçoğu da hasar görmüştür. Bu durum mevcut ahşap yapılarımızın güvenli ve hızlı bir şekilde onarım ihtiyacını doğurmuştur. Klasik restorasyon teknikleri tarihi dokuyu koruma, zaman maliyet ve güvenlik açısından geliştirilebilir. Ahşap yapıların taşıyıcı elemanlarının CFRP ile onarımının çok kısa sürede yapılması hem güvenlik hem de zaman ve görsellik açısından büyük önem taşımaktadır. Şekil 3.10'da CFRP'lerle güçlendirilmiş ahşap taşıyıcı sistemler görülmektedir (Akgül, 2007).



Şekil 3.10. Ahşap taşıyıcı sistemlerin CFRP'ler ile güçlendirilmesi (Steiger, 2003).

Şekil 3.11'de görüldüğü şekilde yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler incelendiğinde fiber takviyeli plastiklerle yapılan ahşap güçlendirmelerden olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Gerek onarım ve güçlendirmelerde gerekse yeni yapılan ahşap binaların birleşim bölgelerinde FRP'lerle güçlendirme yöntemleri elde edilen olumlu sonuçlar nedeniyle tercih sebebi olmuştur.



Şekil 3.11. CFRP'ler ile güçlendirilmiş kiriş deneyi (Ogawa, 1999).

Güçlendirme çalışmalarında kullanılan FRP'lerden genellikle üstün dayanım özelliklerinden dolayı CFRP tercih edilmektedir.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

Katı cisimlerin üzerine etki eden kuvvetler, cisimleri çekmeye, ezmeye ve kaydırmaya çalışır. Katı cisimlere uygulanan kuvvetler sonucu cisimde bazı şekil değişiklikleri meydana gelir. Bu şekil değişiklikleri kuvvetin ya da yükün miktarına bağlı olabileceği gibi, uygulama bölgesinin ısısına, cismin mikro yapısına da bağlıdır. İşte cisimlere etki eden bu kuvvetlere dış kuvvetler denir. Cisimlerin mikro yapılarında bulunan kristal yapı ve moleküller, uygulanan kuvvete tepki göstererek cismin şekil değiştirmesini önlemeye çalışır. Moleküllerin dış kuvvetlere karşı gösterdiği bu tepkiye iç kuvvetler denir. Katı bir cisim olan ahşap malzemenin mekanik özelliklerini iç kuvvetleri belirler. Bu mekanik özellikler de çeşitli deneysel yöntemlerle belirlenmektedir (Sarı vd., 2008).

Şekil değiştirmeler elastik veya plastik şekil değiştirme halindedir. Elastik bölgede malzemenin yük altındaki şekil değişimi kalıcı değildir, malzeme plastik bölge sınırına geldiğinde ise şekil değiştirme kalıcı hale gelir ve yük kaldırıldığında malzeme eski haline geri dönmez, üzerinde gözle görünebilecek düzeyde deformasyon oluşur (Sarı vd., 2008).

Bu çalışmada ahşap yapı elemanlarının dış yükler karşısında şekil değiştirmeye uğramaması için lif sürekliliğini sağlamak amacıyla CFRP kullanılarak güçlendirme çalışması yapılmış ve statik eğilme, çekme ve basınç dirençleri incelenmiştir.

4.1. MATERYAL

4.1.1. Ahşap Malzeme

4.1.1.1. Sarıçam (Pinus Silvestris L.)

Adını, levhalar halinde ayrılan gövde kabuğunun tilki sarısı renginden alır. Narin gövdeli, sivri tepeli ve ince dallı bir ağaçtır. Yetişkin bireylerinin boyu 40 metreyi aşar. Kendine özgü kabuk renginin dışında, ince yapraklarının kısalığı ve mavimsi yeşil rengi ilk bakışta diğer çam türlerinden ayırt edilebilecek özellikleridir.

Türkiye’de genellikle Kuzey Anadolu bölgesinde görülür. Bursa, Eskişehir, Kütahya, Akdağ Madeni, Kayseri-Maraş Arası, Ardahan, Oltu, Posof, Sarıkamış dolaylarında yetişmektedir. Ülkemizde yaklaşık 757400 hektarlık bir alanda sarıçam ormanları bulunmaktadır. Genel olarak 1000-2500 metreler arasında toplu halde bulunmaktadır. Şekil 4.1’de sarıçam gövde ve sürgün görüntüsü verilmiştir (http://web.ogm.gov.tr/Resimler/sanalkutuphane/agac_turleri.pdf, 2010).



Şekil 4.1. Sarıçam ağacının gövde ve sürgünlerinin görüntüsü (www.ogm.gov.tr).

Anatomik Özellikleri

Sarıçam; diri odunu geniş (yarıçapın üçte biri kadar), sarımsı veya kırmızımsı beyaz, öz odunu ise açık kırmızımsı kahve renklidir. Yıllık halka sınırları çok belirli ve hafif dalgalıdır. Radyal ve teğet kesitleri parlak, sık ve geniş reçine kanalları olan yumuşak odunlu bir ağaç türüdür. Öz ışınları tek sıralı, reçine kanalı bulunan öz ışınları ise 2-5 sıralı olarak dizilidir. Boyuna reçine kanalları tek tek ve genelde yaz odununda bulunur. Şekil 4.2’de sarıçam odunu mikroskopik görüntüleri verilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 2000).



Şekil 4.2. Sarıçam odunu mikroskopik görünüşü (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Fiziksel Özellikleri

Sarıçamın fiziksel özelliklerini belirleyen değerler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Sarıçam fiziksel özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Tam kuru yoğunluğu	0,496 gr/cm ³
Hava kurusu yoğunluğu	0,526 gr/cm ³
Hacim ağırlık değeri	0,426 gr/cm ³
Hacimce daralması	% 12,7
Radyal yöndeki daralması	% 4,3
Teğet yöndeki daralması	% 8,3

Mekanik Özellikleri

Sarıçamın mekanik özelliklerini belirleyen değerler Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sarıçam mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Liflere paralel yönde basınç direnci	54 N/mm ²
Liflere dik yönde basınç direnci	77 N/mm ²
Elastikiyet modülü	11700 N/mm ²
Eğilme direnci	98 N/mm ²
Çekme direnci	102 N/mm ²
Makaslama direnci	10 N/mm ²
Yarılma direnci radyal	0.91 N/mm ²
Yarılma direnci teğet	0.95 N/mm ²
Brinel sertlik liflere paralel	40 N/mm ²
Brinel sertlik liflere dik	19 N/mm ²

Kimyasal Özellikleri

Sarıçamın kimyasal özelliklerini belirleyen değerler Çizelge 4.3’de verilmiştir (<http://www.orman.istanbul.edu.tr/node/9611>, 2010).

Çizelge 4.3. Sarıçam kimyasal özellikleri (<http://www.orman.istanbul.edu.tr>, 2010).

Holoselüloz	% 72
Selüloz	% 56
Polyos	% 13,5
Pentozan	% 10
Lignin	% 25,83
Kül	% 0,31

Kullanım Alanları

Sarıçamın dar yıllık halkalı olanları doğramacılıkta, daha geniş yıllık halkalı olanları ise binaların karkas kısmında kullanılmaktadır. Bundan başka kontrplak imalatında, kesme kaplama levha üretiminde, tornacılıkta, kimyasal odun hamuru elde edilmesinde, emprenye edildiği takdirde travers olarak, tel direği, maden direği, bayrak direği ve su içi inşaatlarda kullanılmaktadır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

4.1.1.2. Doğu Kayını (*Fagus Orientalis* L.)

Genel coğrafi yayılışı Bulgaristan, Türkiye, Kafkasya ve İran'dır. Ülkemizde en geniş yayılışını ve en iyi gelişimini Karadeniz Bölgesinde yapar. Demirköy'den Hopa'ya kadar Karadeniz sahiline paralel uzanan dağların orta veya yüksek kısımlarında, kuzeye yönelik yamaçlarında saf ve karışık ormanlar kurar. Güney Anadolu'da Adana'nın Post ormanlarında, Amanos dağlarında ve Maraş-Andırın yöresinde lokal olarak bulunur. Ülkemizde en yaygın ormanlar kuran türü doğu kayınıdır. Kayınların orman sahamızdaki oranı %8,5'tir. 30-50 m kadar boylanabilen birinci sınıf orman ağaçlarıdır. Yaşlı gövdelerde bile kabuk çatlamadan, düz pürüzsüz kalabilmektedir. Şekil 4.3'de kayın ağacı görüntüleri verilmiştir. (http://web.ogm.gov.tr/Resimler/sanalkutuphane/agac_turleri.pdf, 2010).



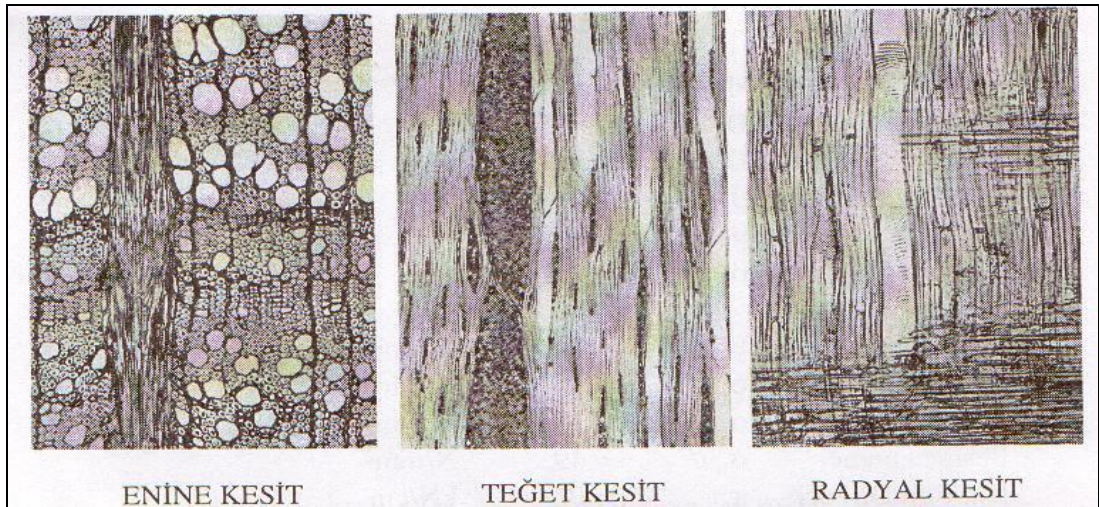
Şekil 4.3. Kayın ağacı gövde yaprak ve çiçek görüntüsü (www.ogm.gov.tr).

Bol yaz yağışı ister. Mineral maddesi ve kalkerli zengin toprakları sever. Kuraklıktan, durgun sudan zarar görür. Kayının en belirgin özelliği açık gri veya koyu gri renkli kabuklarının ağaçların hayatı boyunca çatlama dan düz ve pürüzsüz olarak kalmalarıdır. Kışın yaprağını döken orman ağaçlarıdır. İkinci önemli karakteristiği tomurcukların sürgünlere gürgenlerde olduğu gibi yatık değil onlarla açı yapacak şekilde dizilmiş olmasıdır. Budak yerlerinde Çin’li bıyığı teşekkülü karakteristik özelliğidir (http://web.ogm.gov.tr/Resimler/sanalkutuphane/agac_turleri.pdf, 2010).

Anatomik Özellikleri

Kayın, olgun odunlu ağaçlar gurubundadır. Odun tabii halde kırmızımsı beyaz, fırınlanmış halde tuğla kırmızısı renktedir. İleri yaşlarda meydana gelen kırmızımsı kahve renkli ve içlerinde daha koyu şeritler bulunan bir öz odun (kırmızı yürek) oluşur. Genellikle 80-100 yaşlarında oluşan bu yalancı öz odunu kusur sayılır. Kırmızı yürek odunun doğal güzelliğini bozar ve emprenye edilemez. Ayrıca gevrek yapıda olup asitli koku yayar.

Hücre yapısı dağınık treheli ve trahe çapları 60-80 µm aralığındadır. Basit perforasyon tablası görülmekle birlikte yaz odununda küçük çaplı trahelerde 20 bölmeye kadar merdivenimsi yapıdadır. Tül oluşumu görülür. Şekil 4.4’de sarıçam odunu mikroskopik görüntüleri verilmiştir (Bozkurt ve Erdin, 2000).



Şekil 4.4. Doğu kayının mikroskopik görünüşü (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Fiziksel Özellikleri

Fiziksel özelliklerini yoğunluk ve hacimce daralma miktarları belirlemektedir. Doğu kayınının fiziksel özelliklerini belirleyen değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Doğu kayını fiziksel özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Tam kuru yoğunluğu	0,68 gr/cm ³
Hava kurusu yoğunluğu	0,72 gr/cm ³
Hacimce daralma	% 17,9
Radyal yöndeki daralma	% 5,8
Teğet yöndeki daralma	% 11,8

Mekanik Özellikleri

Doğu kayınının mekanik özelliklerini belirleyen değerler Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Doğu kayını mekanik özellikleri (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Liflere paralel yönde Basınç direnci	60 N/mm ²
Eğilme direnci	120 N/mm ²
Elastikiyet modülü	15700 N/mm ²
Çekme direnci	132 N/mm ²
Dinamik eğilme direnci	0,92 kN/cm

Kimyasal Özellikleri

Doğu kayınının kimyasal özelliklerini belirleyen değerler Çizelge 4.6’da verilmiştir (<http://www.orman.istanbul.edu.tr/node/9611>, 2010).

Çizelge 4.6. Doğu kayını kimyasal özellikleri (<http://www.orman.istanbul.edu.tr>).

Holoselüloz	% 78,99
Selüloz	% 41.54
Pentozan	% 25,21
Lignin	% 22,57
Kül	% 0,61
Suda çözünen ekstraktif madde miktarı	% 1,92

Kullanım Alanları

Son yıllarda çok geniş kullanım yeri bulmuştur. Kontraplak, araba, parke, ayakkabı kalıbı, ambalaj sandığı, oyuncak, sandal ve fırın kürekleri, alet sapları, marangozluk tezgâhları, maden direği, yakacak odun, emprenye edildiği takdirde travers üretimi, lif ve yonga levha, ambalaj fiçileri, ayakkabı topuğu yapımında kullanılır. Özellikle masif mobilya, lambri, spor aletleri, bobin, tornacılık, müzik aletleri, dekoratif kaplama levha, fiçi sanayii, karoser yapımı, merdiven basamağı, döşeme, vagon, gemi yapımında yararlanır. Ayrıca kâğıt sanayinde nötral sülfite yarı kimyasal metodu ile değerlendirilebilmektedir. Bu metotla elde edilen selülozdan ambalaj kâğıdı, mukavva, yazı kâğıdı, yüzey kâğıdı ve özel kartonların yapımında kullanılmaktadır. Lif ve kâğıt odunu olarak, karoser yapımı, odun kömürü, odun katranı ve asetik asit elde edilmesinde de yararlanır (Bozkurt ve Erdin, 2000).

4.1.2. Yapıştırıcılar

CFRP kompozit malzemelerin ahşap yüzeylere yapıştırılmasında ince uygulamalar için özel olarak geliştirilmiş, çift bileşenli bond 200M tipi epoksi macun ile tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır.

Bond 200M epoksi macun; ince tip uygulamalarda, katı malzemelerin parlak yüzeylere yapıştırılmasında kullanılan, kimyasallara karşı dayanıklı, betona, ahşaba, çeliğe ve plastik malzemelere mükemmel yapışma sağlayan, istenen mekanik mukavemete çok hızlı ulaşan bir epoksidir (<http://www.kompozit.net>, 2010).

Çift bileşenli olarak üretilen bond 200M epoksi macun hazırlanırken, A ve B bileşeni, ağırlıkça 1/1 oranında homojen ve gri bir renk alana kadar birbirine karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım spatula ile yapıştırılacak yüzeye ince bir katman oluşturacak şekilde sürülmüştür. CFRP şerit çubuk ile yapıştırılarak hazırlanan örnekler, 10 kg/cm² basınç altında preste 7 gün bekletilerek deneye hazırlanmıştır.

Tek bileşenli Poliüretan esaslı yapıştırıcı uygulama kolaylığı ve maliyetinin düşük olmasından dolayı tercih edilmiştir. Poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan örnekler de 10 kg/cm² basınç altında preste 7 gün bekletilerek deneye hazırlanmıştır.

4.1.3. Karbon Fiber Takviyeli Polimerler

Bu çalışmada kullanılmak üzere, ülkemiz piyasasındaki CFRP kompozitleri incelenmiş ve yapılacak güçlendirme çalışmasına uygun ebat ve form olarak 1,2 mm kalınlığında CFRP şerit çubuk numuneleri, ülkemizde kompozit malzeme sağlayıcısı Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Şekil 4.5’de bu CFRP şerit çubuklar görülmektedir.



Şekil 4.5. CFRP şerit çubuk (<http://www.kompozit.net/catinfo.asp?cid=33>, 2010).

4.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan bu çalışmada, CFRP'lerin üstün dayanım özelliklerinden faydalanılarak ahşap yapı elemanlarının eğilmeye, çekme ve basınca zorlanan kısımlarında güçlendirme amacıyla kullanımı irdelenmiştir. Bu amaçla sarıçam ve kayın örneklerine, epoksi ve poliüretan yapıştırıcı ile CFRP güçlendirmesi yapılmış, hazırlanan örnekler liflere paralel doğrultuda, statik eğilme, çekme ve basınç tayini deneylerine tabi tutulmuştur. Deneyler Karabük Üniversitesi Safranbolu Meslek Yüksekokulu Ahşap Kültürünü Araştırma ve Uygulama Merkezinde, Japon Shimadzu şirketinin üretmiş olduğu maksimum 50 kN kuvvet uygulayabilen autograph universal test cihazında yapılmıştır. Şekil 4.6'da autograph universal test cihazı görülmektedir.



Şekil 4.6. Autograph universal test cihazı.

Bu çalışmada sırasıyla aşağıdaki deneyler yapılmış, elde edilen veriler bilgisayar ortamında değerlendirilmiş ve bulunan deney sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır.

- 1) Masif sarıçam eğilme deneyi
- 2) PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam eğilme deneyi

- 3) Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam eğilme deneyi
- 4) Masif kayın eğilme deneyi
- 5) PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın eğilme deneyi
- 6) Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın eğilme deneyi
- 7) Masif sarıçam çekme deneyi
- 8) PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam çekme deneyi
- 9) Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam çekme deneyi
- 10) Masif kayın çekme deneyi
- 11) PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın çekme deneyi
- 12) Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın çekme deneyi
- 13) Masif sarıçam basınç deneyi
- 14) PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam basınç deneyi
- 15) Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam basınç deneyi
- 16) Masif kayın basınç deneyi
- 17) PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın basınç deneyi
- 18) Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın basınç deneyi

4.2.1. Deney Örneklerinin Hazırlanması

4.2.1.1. Ahşap Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan Sarıçam ve Kayın, piyasadaki kereste işletmelerinden “Rastgele seçim” yöntemiyle temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak ahşap malzeme seçimi, TS 2470 esaslarına göre yapılmıştır. Bu standarda göre deney örneklerinin hazırlanmasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir.

- 1) Örnekler birinci sınıf çatlaksız ve budaksız keresteden alınmıştır.
- 2) Deney örnekleri, lif doğrultusuna paralel olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır.
- 3) Deney örnekleri kurutulmuş ahşaptan elde edilmiştir.
- 4) Deney örneklerinin rutubet miktarı % 10-12 aralığındadır.
- 5) Deney örneklerinin boyutları kumpasla tespit edilmiştir.
- 6) Deney örneklerinin boyutlarının her tarafında eşit olmasına özen gösterilmiştir.

- 7) Her deney grubu için 5 adet deney örneği hazırlanmıştır.
- 8) Tüm deney örnekleri aynı şartlar altında deneye tabi tutulmuştur.

Bu hususlar göz önünde bulundurularak her grup için 5 adet örnek hazırlanmış, 18 farklı deney grubu için toplam 90 adet deney örneği elde edilmiştir.

4.2.1.2. CFRP Deney Örneklerinin Hazırlanması

Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. firmasından temin edilmiş, tabakalı birleştirme yöntemiyle üretilmiş CFRP kompozit malzeme örnekleri her deney gurubu için 5 adet olmak üzere toplam 60 adet hazırlanmıştır.

Örneklerin hazırlanmasında CFRP'lerin eşit boyda olmasına ve liflerinde kopma meydana getirmeyecek şekilde düzgün kesim yapmaya dikkat edilmiştir. Güçlendirme elemanı olarak hazırlanan CFRP'lerin tüm yüzeylerine olabildiğince eşit miktarda yapıştırıcı sürmeye özen gösterilmiştir.

4.2.2. Statik Eğilme Deneyi

Statik eğilme deneyi, CFRP kullanılarak bond 200M epoksi macun ve poliüretan esaslı yapıştırıcı ile yapılan güçlendirme çalışmasının, sarıçam ve kayın örneklerindeki eğilme direnci değerlerini tespit etmek ve masif ahşap değerleriyle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, TS 2474 esaslarına uygun olarak, 20x20 mm boyutlarında 320 mm uzunluğunda hazırlanan deney örnekleri, universal test cihazında statik eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Bu standard baz alınarak deneyin yapılışında şu hususlara dikkat edilmiştir.

- 1) Deney parçasının orta yerinden olmak üzere, eni radyal yönde, kalınlığı teğetsel yönde 0,1 mm duyarlılıkta ölçülmüştür.
- 2) Deney parçasının universal test cihazında yerleştirildiği silindirik mesnetlerin merkezleri arasındaki uzaklık; deney parçası kalınlığının 10 katı olacak şekilde ayarlanmıştır. Yük, deney parçasının radyal yöndeki yüzüne ve silindirik mesnetler arasındaki açıklığın orta yerinden uygulanmıştır.

3) Ünlversal test cihazının yükleme hz, deney parasnn deneye baladktan 1-2 min sonra kırılacak Şekilde ayarlanmıştır.

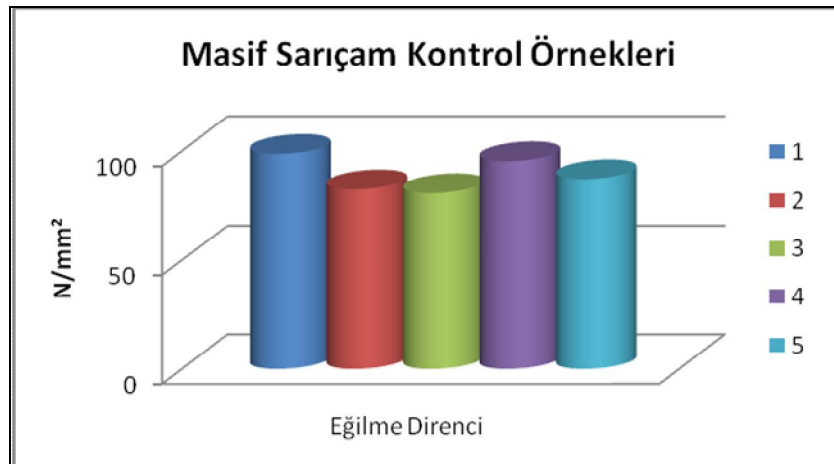
4) Deney parçalarına iki aşamalı sabit bir hızla yükleme yapılmıştır.

4.2.2.1. Masif Sarıçam Eğilme Deneyi

CFRP kompozit kullanılarak yapılan güçlendirmelerin kıyaslanabilmesi için kontrol gurubunu oluşturmak amacıyla her hangi bir güçlendirme çalışması yapılmamış sarıçam örneklerinin statik eğilme deneyidir. Kontrol gurubu için hazırlanan 5 adet masif sarıçam rneği, niversal test cihazında üç noktalı statik eğilme deneyine tabi tutulmuŐ ve deney sonucunda izelge 4.7'deki veriler kaydedilmiŐ ve Şekil 4.7'deki sarıçam kontrol örneklerinin eğilme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.7. Sarıçam kontrol rnekleri.

Deney rnekleri	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
1	98,725575	11710,3
2	82,555687	8033,6
3	80,820675	9482,7
4	95,391562	10334,4
5	87,218137	10246,0



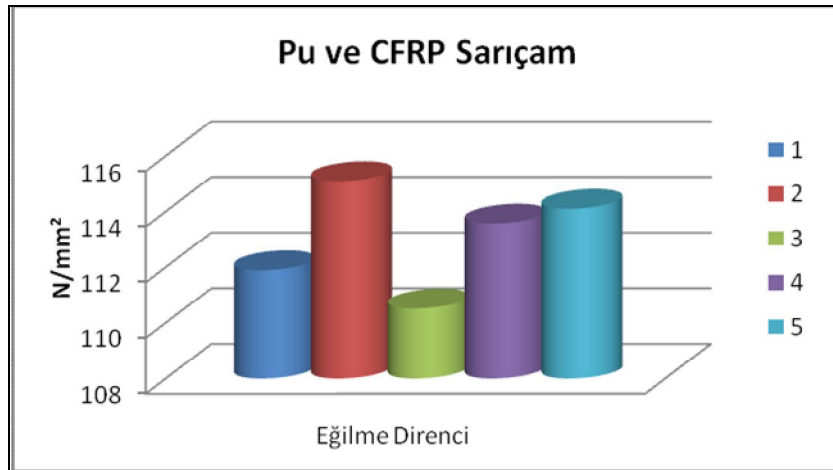
Şekil 4.7. Masif sarıçam kontrol örnekleri eğilme direnci grafiği.

4.2.2.2. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Eğilme Deneyi

Tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin statik eğilme direnci deneyidir. 20 mm kalınlığında 250 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve PU yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneyinin sonucunda poliüretan ve CFRP ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin Çizelge 4.8'deki verileri elde edilmiştir. Bu veriler baz alınarak Şekil 4.8'deki eğilme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.8. Pu ve CFRP sarıçam.

Deney Örnekleri	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
1	111,89636	16438,9
2	115,10156	14696,8
3	110,52551	14637,0
4	113,57238	18474,8
5	114,10571	17591,7



Şekil 4.8. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam eğilme direnci grafiği.

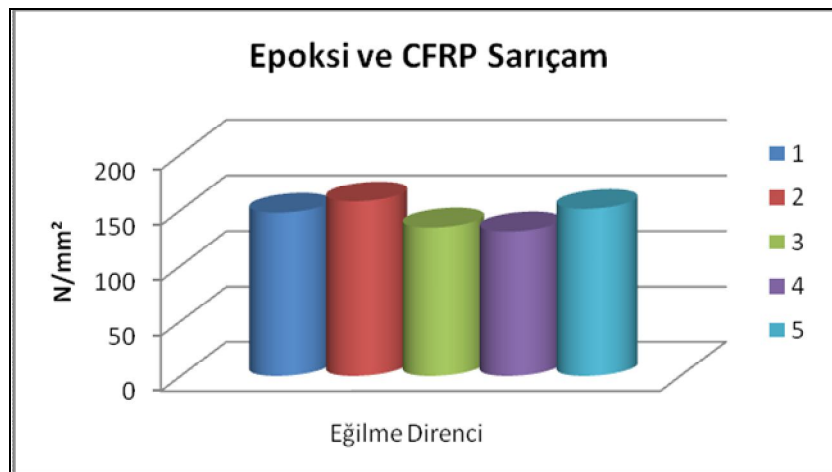
4.2.2.3. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Eğilme Deneyi

Çift bileşenli bond 200M epoksi macun kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin statik eğilme direnci deneyidir. 20 mm kalınlığında 250 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve epoksi macun kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Deney sonucunda Çizelge 4.9'daki veriler kaydedilerek, bond 200M epoksi macun ve CFRP şerit çubuk kullanılarak güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 17868,8 N/mm² olarak hesaplanmıştır ve Şekil 4.9'daki eğilme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.9. Epoksi ve CFRP sarıçam.

Deney Örnekleri	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
1	147,69738	17827,5
2	157,90417	19959,2
3	134,44323	15100,1
4	130,96093	19012,8
5	151,04895	17265,0



Şekil 4.9. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam eğilme direnci grafiği.

Bu sonuç masif sariçam örneği ile karşılaştırıldığı zaman epoksi ve CFRP şerit kullanılarak yapılan güçlendirmenin % 108.66 daha iyi statik eğilme direncine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu artışın sebebi olarak, CFRP'lerin ahşap malzemede uzamaya ve kopmaya zorlanan liflerin sürekliliğini sağlaması gösterilebilir.

4.2.2.4. Masif Kayın Eğilme Deneyi

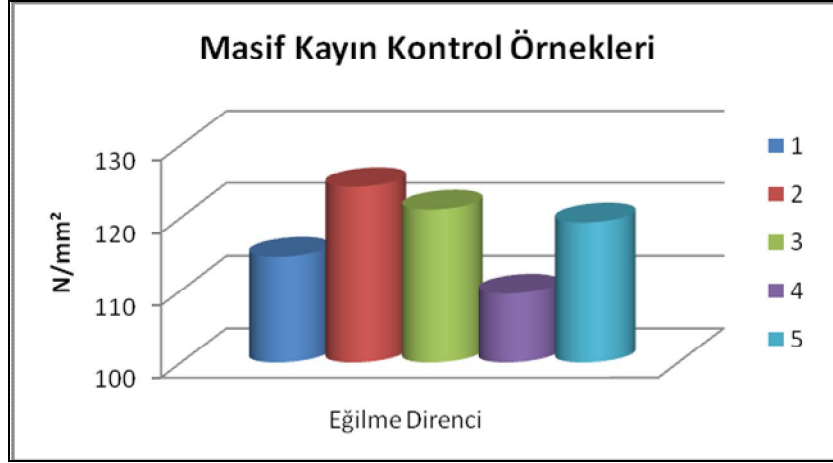
CFRP kompozit kullanılarak yapılan güçlendirmelerin kıyaslanabilmesi için kontrol gurubunu oluşturmak amacıyla her hangi bir güçlendirme uygulanmamış kayın örneklerinin statik eğilme deneyidir.

Üniversal test cihazında yapılan üç noktalı statik eğilme deneyi sonucunda Çizelge 4.10'daki veriler kaydedilmiştir.

Çizelge 4.10. Kayın kontrol örnekleri.

Deney Örnekleri	Eğilme Direnci (N/mm ²)	Elastikiyet Modülü (N/mm ²)
1	114,63855	10737,3
2	124,23645	11628,8
3	121,11352	11648,0
4	109,61145	10055,0
5	119,36145	11473,6

Çizelge 4.10'daki veriler kullanılarak masif kayın örneklerinin Şekil 4.10'daki eğilme direnci grafiği oluşturulmuş ve elastikiyet modülü ortalaması 11108,9 N/mm² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. Masif kayın kontrol örnekleri eğilme direnci grafiği.

4.2.2.5. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Eğilme Deneyi

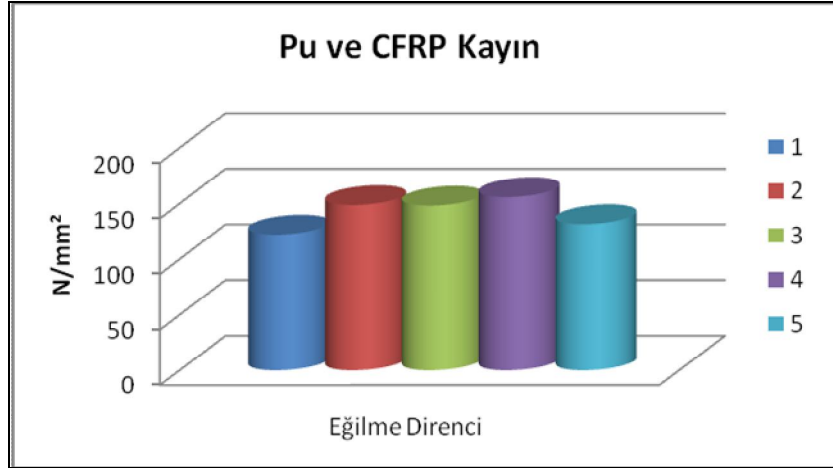
Tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin statik eğilme direnci deneyidir. 20 mm kalınlığında 250 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve PU yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneyinin sonucunda poliüretan ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerinin Çizelge 4.11'deki verileri elde edilmiştir.

Çizelge 4.11. Pu ve CFRP kayın.

Deney Örnekleri	Eğilme Direnci (N/mm²)	Elastikiyet Modülü (N/mm²)
1	122,17968	23004,5
2	148,68750	16368,6
3	148,15417	14949,5
4	155,82742	22961,0
5	131,54895	23569,0

Çizelge 4.11'deki veriler baz alınarak PU ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerinin Şekil 4.11'deki eğilme direnci grafiği oluşturulmuş ve ortalama elastikiyet modülü 17677 N/mm² olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuç masif kayın örneği ile karşılaştırıldığı zaman PU ve CFRP şerit kullanılarak yapılan güçlendirmenin % 59,13 daha iyi statik eğilme direncine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



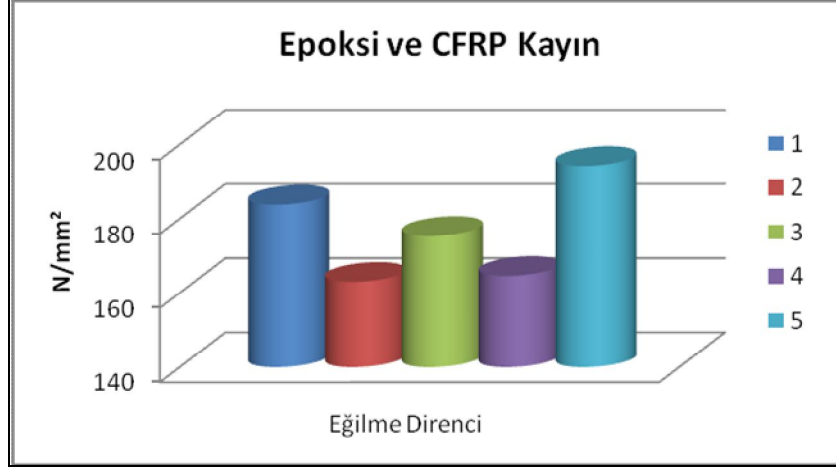
Şekil 4.11. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın eğilme direnci grafiği.

4.2.2.6. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Eğilme Deneyi

Çift bileşenli bond 200M epoksi macun kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin statik eğilme direnci deneyidir. 20 mm kalınlığında 250 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve epoksi macun kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneyinin sonucunda epoksi ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerinin Çizelge 4.12'deki verileri elde edilmiş ve bu veriler kullanılarak Şekil 4.12'deki eğilme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4. 12. Epoksi ve CFRP kayın.

Deney Örneği	Eğilme Direnci (N/mm²)	Elastikiyet Modülü (N/mm²)
1	163,00781	18097,9
2	175,34741	21444,0
3	164,60730	22196,2
4	183,80261	18402,1
5	194,23852	20569,7

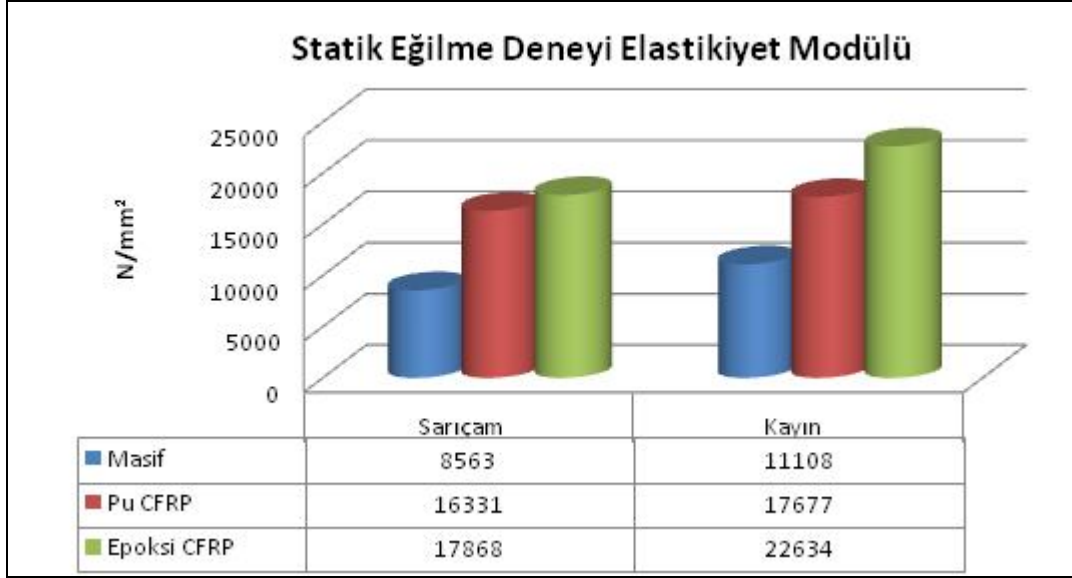


Şekil 4.12. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın eğilme direnci grafiği.

Deney sonucunda bond 200M epoksi macun ve CFRP şerit çubuk kullanılarak güçlendirilmiş kayın örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 22634 N/mm² olarak hesaplanmıştır.

Bu sonuç masif kayın örneği ile karşılaştırıldığı zaman epoksi ve CFRP şerit kullanılarak yapılan güçlendirmenin % 103.76 daha iyi statik eğilme direncine sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Statik eğilme deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait ortalama elastikiyet modülü karşılaştırma grafiği Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Statik eğilme deneyi elastikiyet modülü karşılaştırma grafiği.

4.2.3. Çekme Deneyi

Çekme deneyi, CFRP kullanılarak bond 200M epoksi macun ve poliüretan esaslı yapıştırıcı ile yapılan güçlendirme çalışmasının, sarıçam ve kayın örneklerindeki çekme direnci değerlerini tespit etmek ve masif ahşap değerleriyle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, TS 2475 esaslarına uygun olarak, 8x10 mm boyutlarında 320 mm uzunluğunda ve asıl deneme bölgesi 85 mm olarak hazırlanan deney örnekleri, üniversal test cihazında çekme deneyine tabi tutulmuştur. TS 2475 numaralı standard göz önünde bulundurularak deneyin yapılışında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir.

- 1) Deney parçalarının asıl deneme bölgesi en kesit boyutları 0,1 mm duyarlılıkta ölçülmüştür.
- 2) Deney parçası başları, asıl deneme bölgesinden sonraki 20 mm'lik kısımdan itibaren kavrama çeneleri arasına sıkıştırılmıştır.
- 3) Deney parçasına iki aşamalı sabit bir yük uygulanmıştır. Deney hızı, deney parçası yük uygulanmaya başladıktan 1-2 min sonra kopma olacak şekilde ayarlanmıştır.
- 4) Asıl deneme bölgesinin dışında bir yerden kırılma olan deney parçalarına ait sonuçlar değerlendirmeye alınmamıştır.

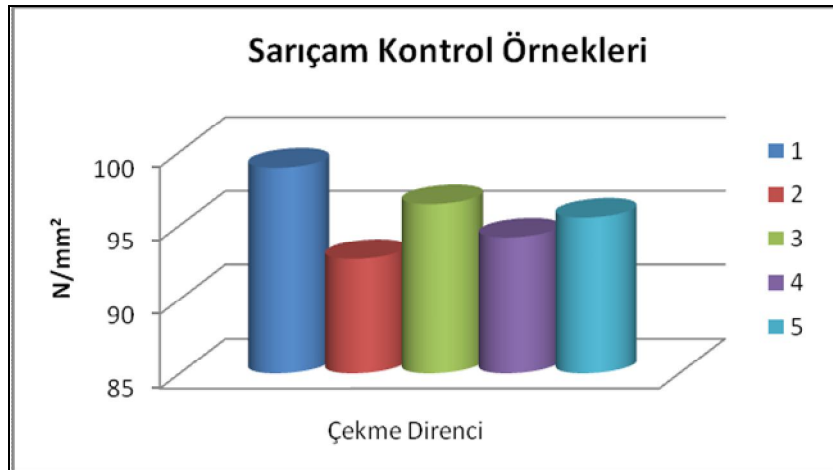
4.2.3.1. Masif Sarıçam Çekme Deneyi

CFRP kompozit kullanılarak yapılan güçlendirmelerin kıyaslanabilmesi için kontrol grubunu oluşturmak amacıyla her hangi bir güçlendirme çalışması yapılmamış sarıçam örneklerinin çekme deneyidir.

Üniversal test cihazında yapılan çekme deneyi sonucunda sarıçam kontrol örneklerinin Çizelge 4.13'deki verileri elde edilmiştir ve Şekil 4.14'deki çekme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.13. Sarıçam kontrol örnekleri.

Deney Örnekleri	Çekme Direnci (N/mm ²)
1	98,93213
2	92,72313
3	96,44538
4	94,18750
5	95,53588
Ortalama	95,56480



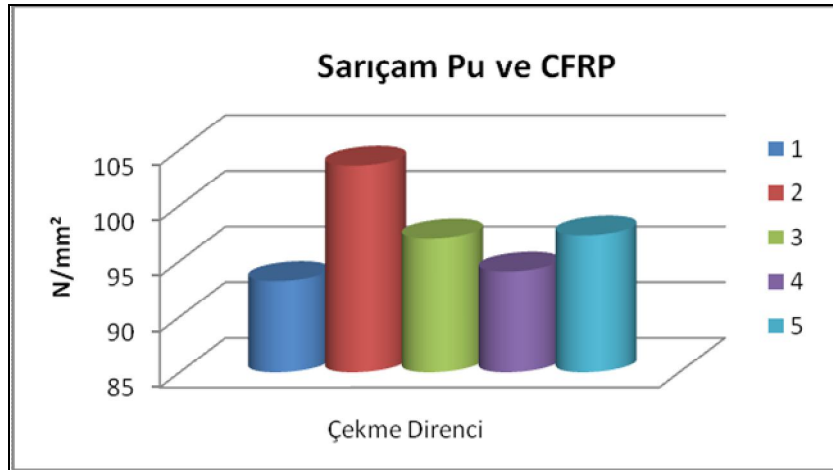
Şekil 4.14. Masif sarıçam kontrol örnekleri çekme direnci grafiği.

4.2.3.2. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Çekme Deneyi

Tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin çekme direnci deneyidir. 10 mm genişliğinde 125 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve PU yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çekme deneyinin sonucunda poliüretan ve CFRP ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin Çizelge 4.14'deki verileri elde edilmiştir ve Şekil 4.15'deki çekme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.14. Pu ve CFRP sarıçam.

Deney Örnekleri	Çekme Direnci (N/mm ²)
1	93,22262
2	103,5938
3	97,07038
4	94,06250
5	97,34375
Ortalama	97,05861



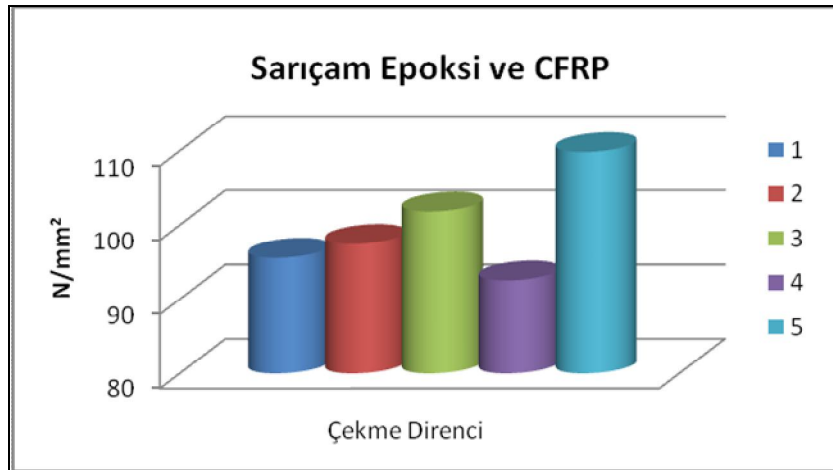
Şekil 4.15. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam çekme direnci grafiği.

4.2.3.3. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Çekme Deneyi

Çift bileşenli bond 200M epoksi macun kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin çekme direnci deneyidir. 10 mm genişliğinde 125 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve epoksi macun kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çekme deneyinin sonucunda epoksi ve CFRP ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin Çizelge 4.15'deki verileri elde edilmiştir ve Şekil 4.16'daki çekme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.15. Epoksi ve CFRP sarıçam.

Deney Örnekleri	Çekme Direnci (N/mm ²)
1	95,6055
2	97,4805
3	101,8358
4	92,5586
5	109,8437
Ortalama	99,4648



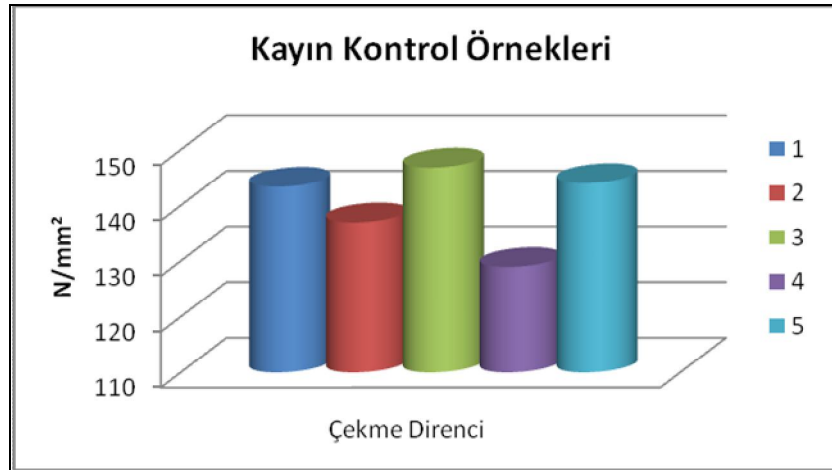
Şekil 4.16. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam çekme direnci grafiği.

4.2.3.4. Masif Kayın Çekme Deneyi

CFRP kompozit kullanılarak yapılan güçlendirmelerin kıyaslanabilmesi için kontrol grubunu oluşturmak amacıyla her hangi bir güçlendirme çalışması yapılmamış kayın örneklerinin çekme deneyidir. Yapılan çekme deneyi sonucunda kayın örneklerinin Çizelge 4.16'daki verileri elde edilmiştir ve Şekil 4.17'deki çekme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.16. Kayın kontrol örnekleri.

Deney Örnekleri	Çekme Direnci (N/mm ²)
1	143,3987
2	136,9725
3	146,8362
4	128,9450
5	144,0425
Ortalama	140,0389



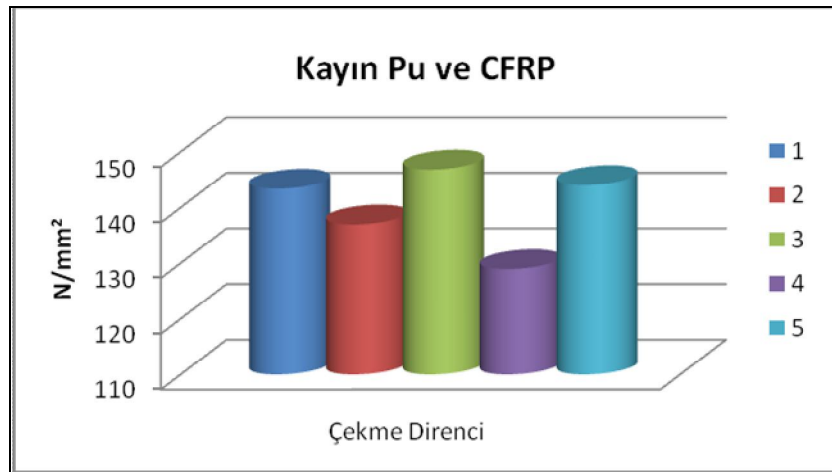
Şekil 4.17. Masif kayın kontrol örnekleri çekme direnci grafiği.

4.2.3.5. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Çekme Deneyi

Tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin çekme direnci deneyidir. 10 mm kalınlığında 125 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve PU yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çekme deneyinin sonucunda poliüretan ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerinin Çizelge 4.17'deki verileri elde edilmiştir ve Şekil 4.18'deki çekme direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.17. Pu ve CFRP kayın.

Deney Örnekleri	Çekme Direnci (N/mm ²)
1	133,2225
2	152,8125
3	149,6675
4	144,5700
5	138,5937
Ortalama	143,7732



Şekil 4.18. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın çekme direnci grafiği.

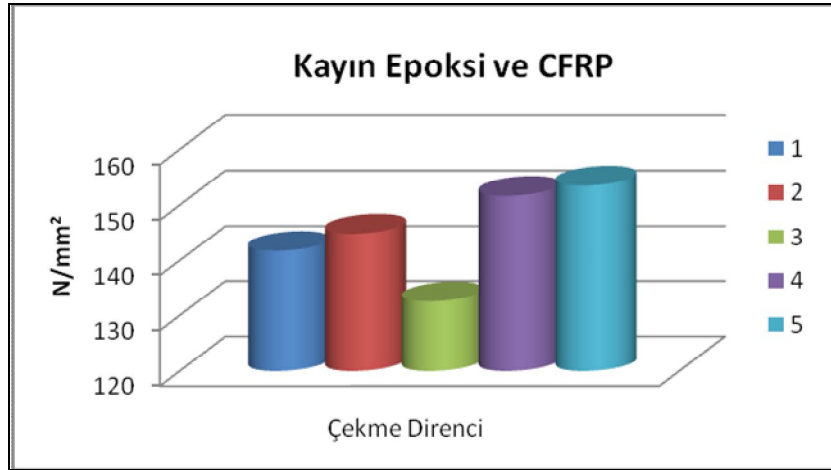
4.2.3.6. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Çekme Deneyi

Çift bileşenli bond 200M epoksi macun kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin çekme direnci deneyidir. 10 mm genişliğinde 125 mm uzunluğunda

hazırlanan CFRP şerit çubuk ve epoksi macun kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Çekme deneyinin sonucunda epoksi ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerinin Çizelge 4.18'deki verileri ve Şekil 4.19'daki çekme direnci grafiği elde edilmiştir.

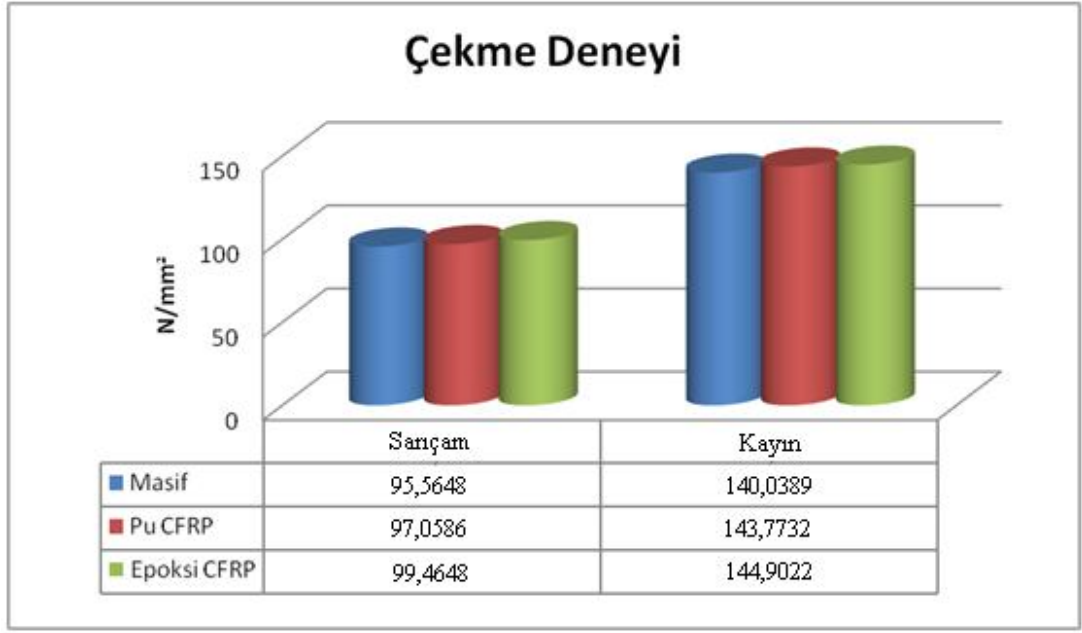
Çizelge 4.18. Epoksi ve CFRP kayın.

Deney Örnekleri	Çekme Direnci (N/mm ²)
1	141,7975
2	144,9025
3	132,5775
4	151,6987
5	153,5350
Ortalama	144,9022



Şekil 4.19. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın çekme direnci grafiği.

Çekme deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait ortalama çekme direnci değerlerinin daha rahat karşılaştırılabilmesi için Şekil 4.20'deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.20. Çekme direnci karşılaştırma grafiği.

4.2.4. Basınç Deneyi

Basınç direnci deneyi, CFRP kullanılarak bond 200M epoksi macun ve poliüretan esaslı yapıştırıcı ile yapılan güçlendirme çalışmasının, sarıçam ve kayın örneklerindeki basınç direnci değerlerini tespit etmek ve masif ahşap değerleriyle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, TS 2595 esaslarına uygun olarak, 20x20 mm boyutlarında 50 mm uzunluğunda hazırlanan deney örnekleri, universal test cihazında basınç deneyine tabi tutulmuştur. TS 2595 numaralı standard baz alınarak deneyin yapılışında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir.

- 1) Deney parçalarının en kesit boyutları, uzunluk ekseninin ortasında 0,1 mm duyarlılıkta ölçülmüştür.
- 2) Deney parçasının uçlarına homojen ve eşit miktarda yük düşecek şekilde yükleme yapılmıştır.
- 3) Deney hızı, deney parçası yük uygulanmaya başladıktan 1,5-2 min sonra kırılacak şekilde ayarlanmıştır.

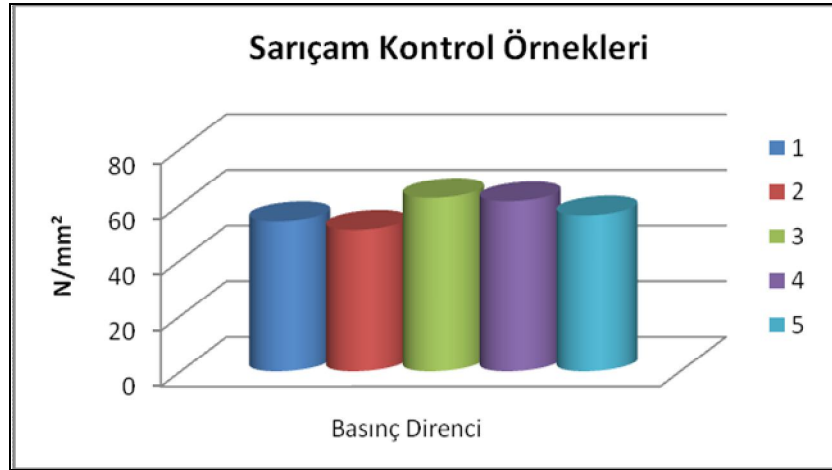
4.2.4.1. Masif Sarıçam Basınç Deneyi

CFRP kompozit malzeme kullanılarak yapılan güçlendirmelerin kıyaslanabilmesi için kontrol gurubunu oluşturmak amacıyla her hangi bir güçlendirme çalışması yapılmamış sarıçam örneklerinin basınç deneyidir.

Yapılan basınç deneyi sonucunda sarıçam örneklerine ait Çizelge 4.19'daki veriler elde edilmiştir ve Şekil 4.21'deki basınç direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.19. Sarıçam kontrol örnekleri.

Deney Örnekleri	Basınç Direnci (N/mm ²)
1	54,0117
2	50,9570
3	62,4062
4	61,1747
5	56,0820
Ortalama	56,9263



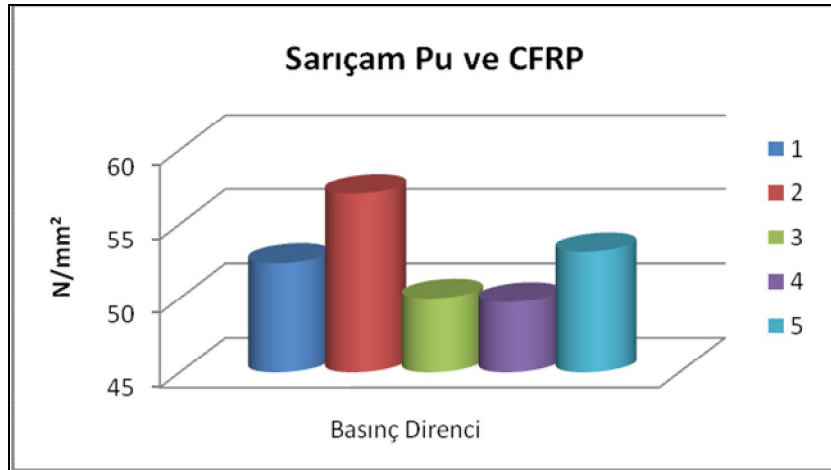
Şekil 4.21. Sarıçam kontrol örnekleri basınç direnci grafiği.

4.2.4.2. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Basınç Deneyi

Tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin basınç direnci deneyidir. 20x20 mm kalınlığında 50 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve PU yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Basınç deneyinin sonucunda poliüretan ve CFRP ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerine ait Çizelge 4.20'deki veriler elde edilmiştir ve Şekil 4.22'deki basınç direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.20. Pu ve CFRP sarıçam.

Deney Örnekleri	Basınç Direnci (N/mm ²)
1	52,363
2	57,054
3	49,996
4	49,757
5	53,125
Ortalama	52,4593



Şekil 4.22. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam basınç direnci grafiği.

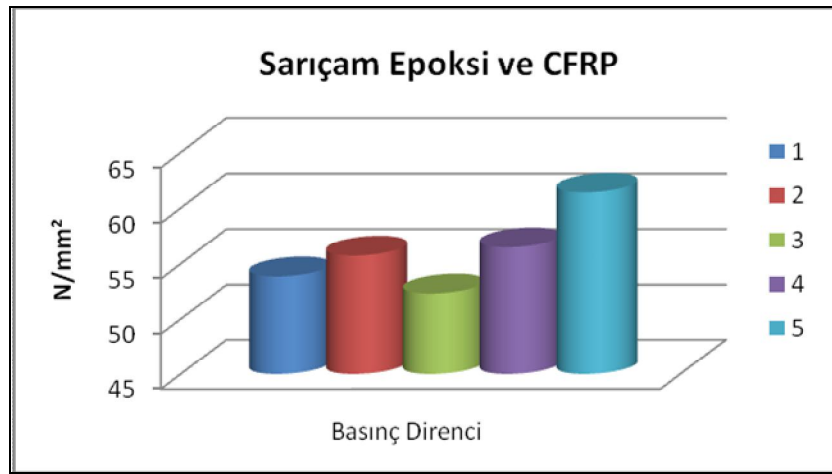
4.2.4.3. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Sarıçam Basınç Deneyi

Çift bileşenli bond 200M epoksi macun kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin basınç direnci deneyidir. 20x20 mm kalınlığında 50 mm uzunluğunda

hazırlanan CFRP şerit çubuk ve epoksi macun kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Yapılan basınç deneyinin sonucunda epoksi ve CFRP ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerine ait Çizelge 4.21'deki veriler elde edilmiştir ve Şekil 4.23'deki basınç direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.21. Epoksi ve CFRP sarıçam.

Deney Örnekleri	Basınç Direnci (N/mm ²)
1	53,875
2	55,746
3	52,351
4	56,496
5	61,414
Ortalama	55,9764



Şekil 4.23. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş sarıçam basınç direnci grafiği.

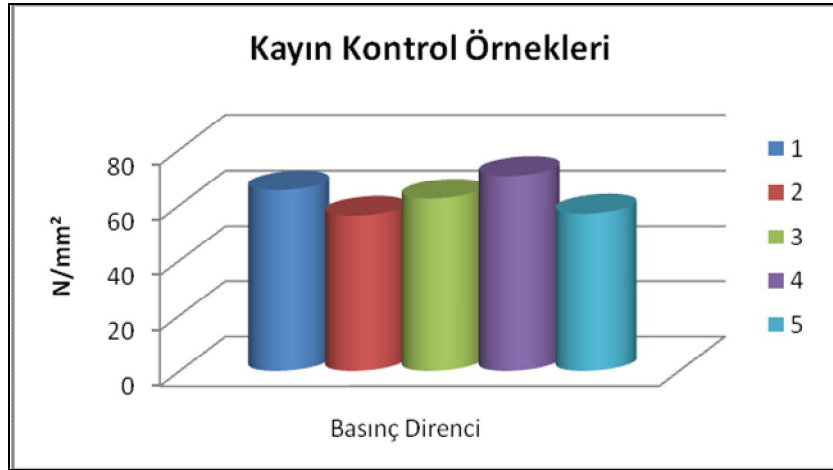
4.2.4.4. Masif Kayın Basınç Deneyi

CFRP kompozit kullanılarak yapılan güçlendirmelerin kıyaslanabilmesi için kontrol gurubunu oluşturmak amacıyla her hangi bir güçlendirme çalışması yapılmamış kayın örneklerinin basınç deneyidir.

Yapılan basınç deneyi sonucunda masif kayın kontrol örneklerine ait Çizelge 4.22'deki veriler elde edilmiştir ve Şekil 4.24'deki basınç direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.22. Kayın kontrol örnekleri.

Deney Örnekleri	Basınç Direnci (N/mm ²)
1	65,371
2	56,195
3	62,367
4	70,550
5	56,961
Ortalama	62,2888



Şekil 4.24. Kayın kontrol örnekleri basınç direnci grafiği.

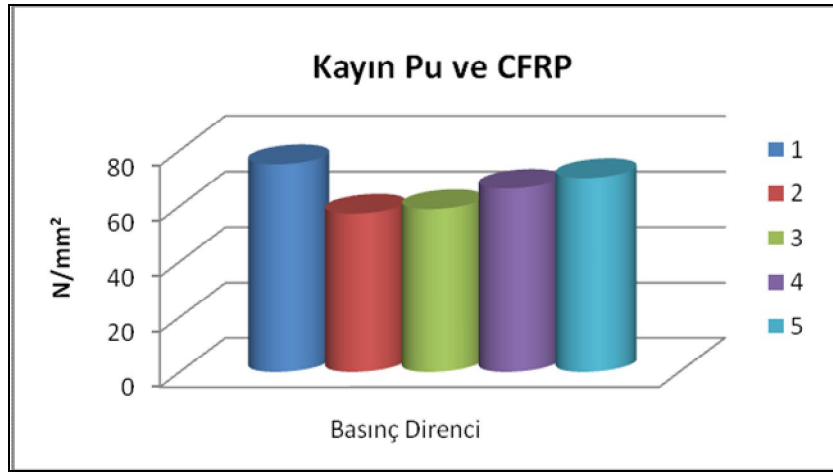
4.2.4.5. PU ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Basınç Deneyi

Tek bileşenli poliüretan esaslı yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin basınç direnci deneyidir. 20x20 mm kalınlığında 50 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve PU yapıştırıcı kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Basınç deneyinin sonucunda poliüretan ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerine

ait Çizelge 4.23'deki veriler elde edilmiştir ve Şekil 4.25'deki basınç direnci grafiği oluşturulmuştur.

Çizelge 4.23. Pu ve CFRP kayın.

Deney Örnekleri	Basınç Direnci (N/mm ²)
1	75,074
2	57,281
3	58,902
4	66,312
5	70,132
Ortalama	65,5406



Şekil 4.25. PU ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın basınç direnci grafiği.

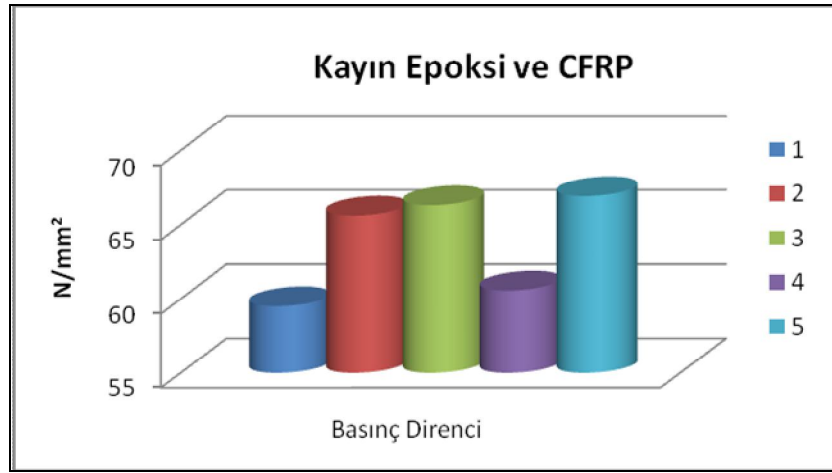
4.2.4.6. Epoksi ve CFRP Şerit ile Güçlendirilmiş Kayın Basınç Deneyi

Çift bileşenli bond 200M epoksi macun kullanılarak CFRP şerit ile güçlendirilmiş örneklerin basınç direnci deneyidir. 20x20 mm boyutlarında 50 mm uzunluğunda hazırlanan CFRP şerit çubuk ve epoksi macun kullanılarak hazırlanan örnekler, deney düzeneğine sadece ahşap yüzeye kuvvet gelecek şekilde yerleştirilmiştir.

Yapılan basınç deneyinin sonucunda epoksi ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerine ait Çizelge 4.24'deki veriler elde edilmiştir ve Şekil 4.26'daki basınç direnci grafiği oluşturulmuştur.

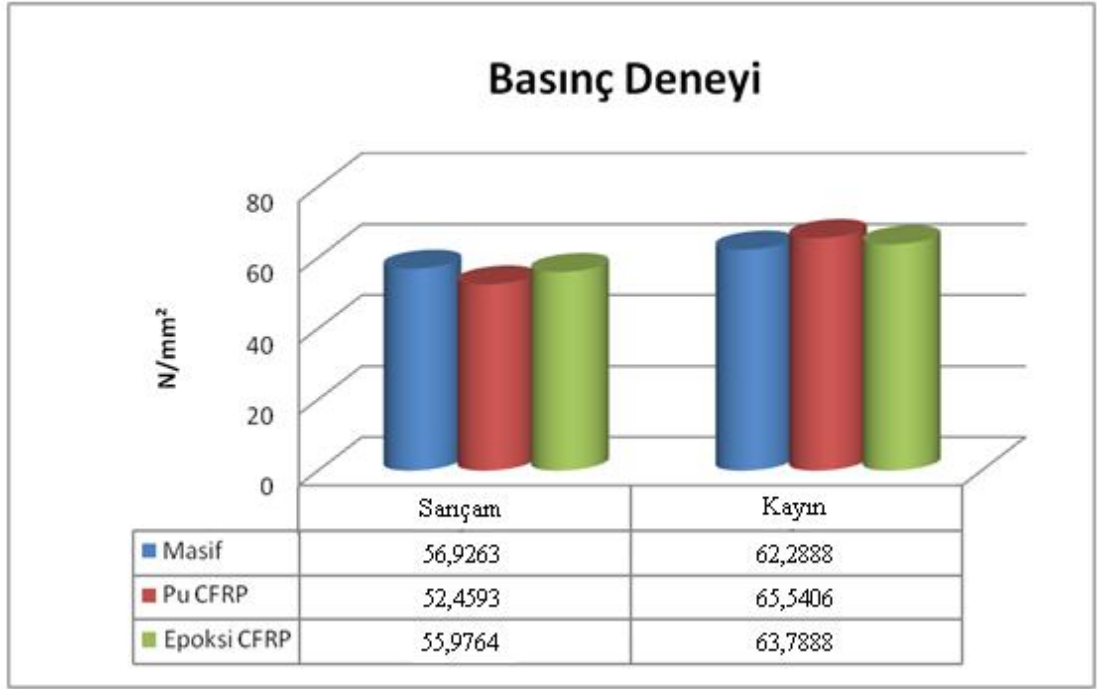
Çizelge 4.24. Epoksi ve CFRP kayın.

Deney Örnekleri	Basınç Direnci (N/mm ²)
1	59,515
2	65,616
3	66,312
4	60,574
5	66,925
Ortalama	63,7888



Şekil 4.26. Epoksi ve CFRP şerit ile güçlendirilmiş kayın basınç direnci grafiği.

Basınç deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait ortalama basınç direnci değerlerinin daha kolay karşılaştırılabilmesi için Şekil 4.27'deki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.27. Basınç direnci karşılaştırma grafiği.

4.3. BULGULAR

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda örneklere ait verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programdan faydalanılmıştır. Çalışmadaki faktörlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı olup olmadığını belirleyebilmek için varyans analizlerine başvurulmuştur. Anlamlı bulunan faktörler üzerinde, farklılığın boyutunu belirleyebilmek için Duncan testleri yapılmıştır. Ayrıca ortalama ve istatistiksel analizler için tanımlayıcı istatistiklerden faydalanılmıştır.

4.3.1. Statik Eğilme Deneyine İlişkin Bulgular

Statik eğilme deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait eğilme direnci ortalamaları Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Eğilme direnci ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	88,9423	117,7922
Pu CFRP	113,0403	141,2795
Epoksi CFRP	144,4109	176,2007

Statik eğilme direnci ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. Statik eğilme direncine göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	22221,080(a)	5	4444,216	35,963	0,000
Sabit Terim	510471,881	1	510471,881	4130,791	0,000
AGAÇ	6435,598	1	6435,598	52,078	0,000
TUTKALLI	15693,356	2	7846,678	63,496	0,000
AGAÇ * TUTKALLI	92,126	2	46,063	0,373	0,693
Hata	2965,854	24	123,577		
Toplam	535658,816	30			
Düzeltilmiş Toplam	25186,934	29			

R = 0,882

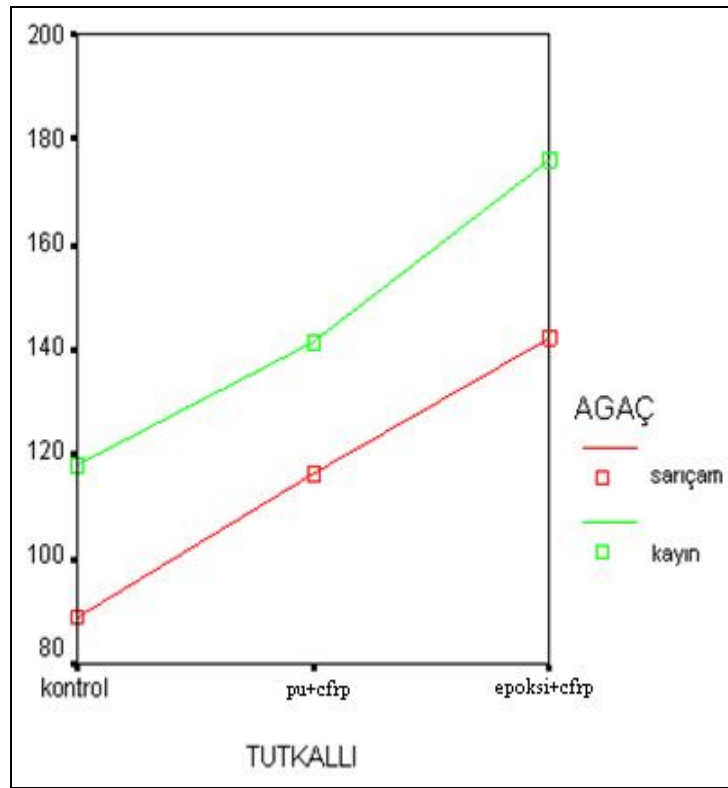
Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, statik eğilme direnci değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Statik eğilme direncine göre duncan sonuçları Çizelge 4.27'de verilmiştir.

Çizelge 4.27. Statik eğilme direnci duncan sonuçları.

ETKİLEŞİMLER	Örnek	Homojenlik Grubu
--------------	-------	------------------

	Sayısı	2	3	4	1
Sarıçam kontrol	5	88,9423			
Sarıçam pu+cfzp	5		116,0403		
Kayın kontrol	5		117,7923		
Kayın pu+cfzp	5			141,2795	
Sarıçam epoksi+cfzp	5			142,4109	
Kayın epoksi+cfzp	5				176,2007
Güven Düzeyi		1,000	0,805	0,874	1,000

Statik eğilme deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre eğilme direnci ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. Eğilme direnci ortalama grafiği.

Statik eğilme deneyleri sonucunda elastikiyet modülü ortalamaları Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4. 28. Elastikiyet modülü ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	8563	11108

Pu CFRP	16331	17677
Epoksi CFRP	17868	22634

Elastikiyet modülü ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. Elastikiyet modülüne göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	492030198,396(a)	5	98406039,679	20,188	0,000
Sabit Terim	7613459636,030	1	7613459636,030	1561,920	0,000
AGAÇ	492030198,396	5	98406039,679	20,188	0,000
TUTKALLI	116986171,912	24	4874423,830		
AGAÇ * TUTKALLI	8222476006,337	30			
Hata	609016370,308	29			
Toplam	492030198,396(a)	5	98406039,679	20,188	0,000
Düzeltilmiş Toplam	7613459636,030	1	7613459636,030	1561,920	0,000

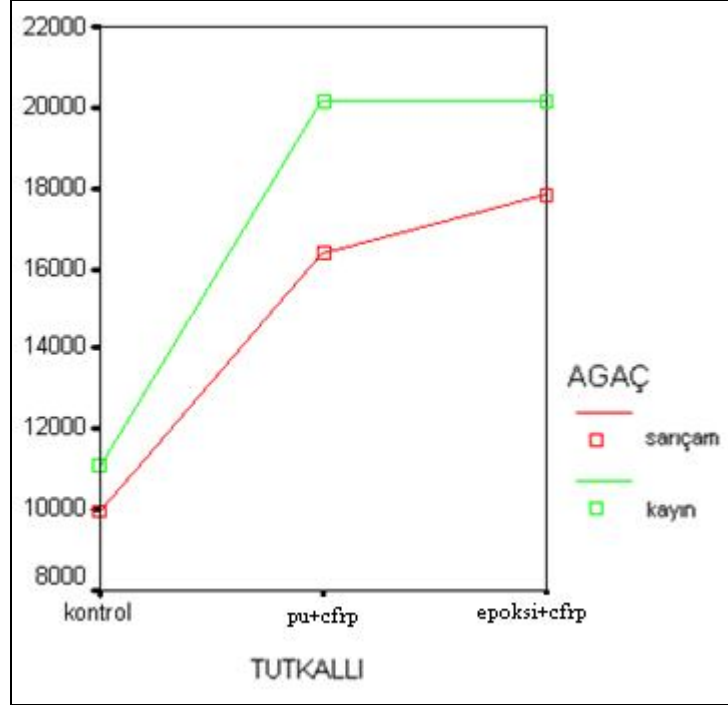
R = 0,808

Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, elastikiyet modülü değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur. Elastikiyet modülüne göre duncan sonuçları Çizelge 4.30'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Elastikiyet modülü duncan sonuçları.

ETKİLEŞİMLER	Örnek Sayısı	Homojenlik Grubu		
		2	3	1
Sarıçam kontrol	5	9961,4180		
Kayın kontrol	5	11108,5400		
Sarıçam pu+cfRP	5		16367,8400	
Sarıçam epoksi+cfRP	5		17832,9200	17832,9200
Kayın epoksi+cfRP	5			20141,9800
Kayın pu+cfRP	5			20170,5200
Güven Düzeyi		0,419	0,305	0,126

Statik eğilme deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre elastikiyet modülü ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.29’da verilmiştir.



Şekil 4.29. Elastikiyet modülü ortalama grafiği.

4.3.2. Çekme Deneyine İlişkin Bulgular

Çekme deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait çekme direnci ortalama değerleri Çizelge 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Çekme direnci ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	95,5648	140,0389
Pu CFRP	97,0586	143,7732
Epoksi CFRP	99,4648	144,9022

Çekme direnci ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Çekme direncine göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	15168,434(a)	5	3033,687	52,140	0,000
Sabit Terim	435972,376	1	435972,376	7493,101	0,000
AGAÇ	14991,545	1	14991,545	257,661	0,000
TUTKALLI	158,848	2	79,424	1,365	0,274
AGAÇ * TUTKALLI	18,040	2	9,020	0,155	0,857
Hata	1396,396	24	58,183		
Toplam	452537,205	30			
Düzeltilmiş Toplam	16564,830	29			

R = 0,916

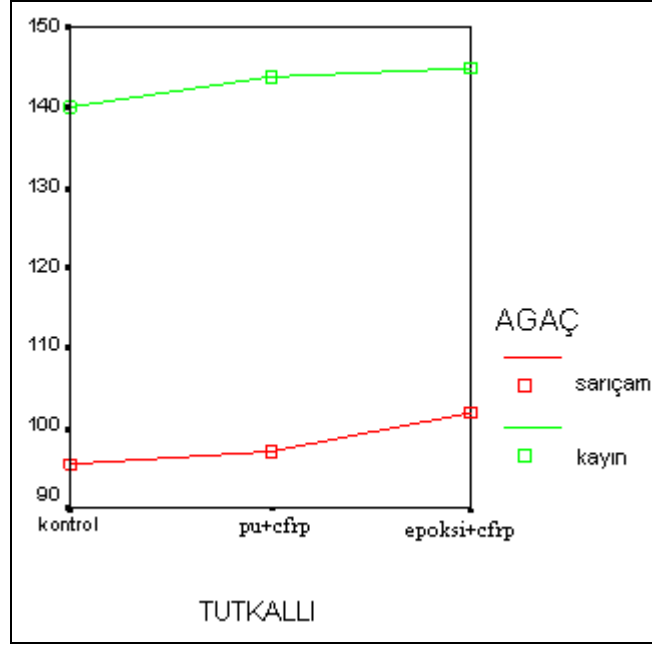
Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, çekme direnci değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Çekme direncine göre duncan sonuçları Çizelge 4.33’de verilmiştir.

Çizelge 4.33. Çekme direnci duncan sonuçları.

ETKİLEŞİMLER	Örnek Sayısı	Homojenlik Grubu	
		2	1
Sarıçam kontrol	5	95,5648	
Sarıçam pu+cfRP	5	97,0586	
Sarıçam epoksi+cfRP	5	101,9648	
Kayın kontrol	5		140,0390
Kayın pu+cfRP	5		143,7733
Kayın epoksi+cfRP	5		144,9023
Güven Düzeyi		0,222	0,351

Çekme deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre çekme direnci ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.30’da verilmiştir.



Şekil 4.30. Çekme direnci ortalama grafiği.

4.3.3. Basınç Deneyine İlişkin Bulgular

Basınç deneyleri sonucunda sarıçam ve kayın örneklerine ait basınç direnci ortalama değerleri Çizelge 4.34’de verilmiştir.

Çizelge 4. 34. Basınç direnci ortalamaları.

	Sarıçam	Kayın
Masif	56,9263	62,2888
Pu CFRP	52,4593	65,5406
Epoksi CFRP	55,9764	63,7888

Basınç direnci ortalama değerlerine uygulanan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.35’de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Basınç direncine göre varyans analizi.

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem Düzeyi
Düzeltilmiş Model	656,356(a)	5	131,271	5,326	0,002
Sabit Terim	106196,017	1	106196,017	4308,248	0,000
AGAÇ	574,494	1	574,494	23,307	0,000
TUTKALLI	4,080	2	2,040	0,083	0,921
AGAÇ * TUTKALLI	77,782	2	38,891	1,578	0,227
Hata	591,587	24	24,649		
Toplam	107443,961	30			
Düzeltilmiş Toplam	1247,944	29			

R = 0,526

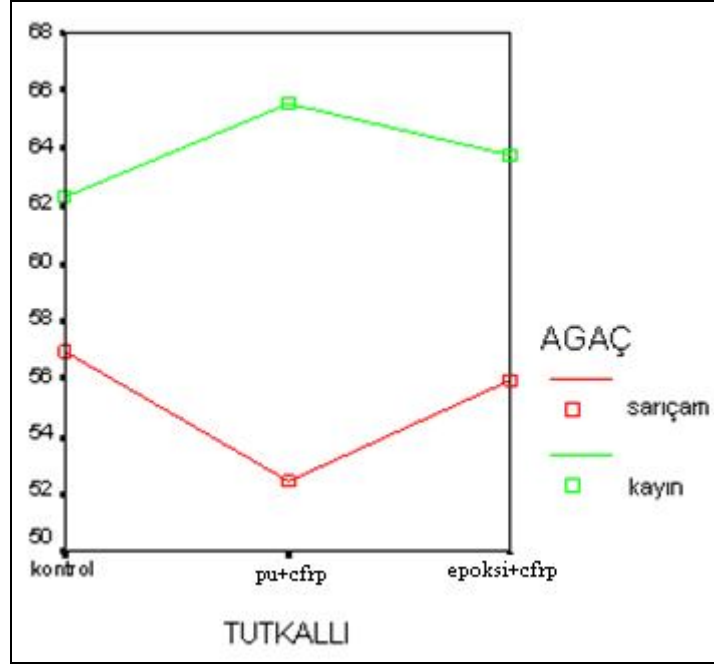
Varyans analizi sonuçlarına göre, CFRP ile yapılan güçlendirmede kullanılan yapıştırıcı açısından, basınç direnci değerleri % 95 güven düzeyinde anlamlı bulunmuştur.

Basınç direncine göre duncan sonuçları Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Çizelge 4.36. Basınç direnci duncan sonuçları.

ETKİLEŞİMLER	Örnek Sayısı	Homojenlik Grubu		
		2	3	1
Sarıçam pu+cfrp	5	52,4594		
Sarıçam epoksi+cfrp	5	55,9765	55,9765	
Sarıçam kontrol	5	56,9264	56,9264	
Kayın kontrol	5		62,2891	62,2891
Kayın epoksi+cfrp	5			63,7889
Kayın pu+cfrp	5			65,5406
Güven Düzeyi		0,191	0,068	0,338

Basınç deneyinde kullanılan ağaç cinsi ve yapıştırıcı türüne göre basınç direnci ortalama değerleri karşılaştırma grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Basınç direnci ortalama grafiği.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ilk olarak güçlendirme yapılmamış sarıçam ve kayın odunundan elde edilmiş masif ahşap örneklerinin gerilme değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler, PU ve bond 200M epoksi yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit çubuk ile yapılan güçlendirilmiş örneklerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Statik eğilme deneyi sonucunda;

- 1) Kontrol guruplarından masif sarıçam örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 8563 N/mm^2 , masif kayın örneklerinin ortalama elastikiyet modülü ise 11108 N/mm^2 olarak bulunmuştur.
- 2) PU esaslı yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit çubuk ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 16331 N/mm^2 , PU ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 17677 N/mm^2 olarak tespit edilmiştir.
- 3) Bond 200M epoksi yapıştırıcı kullanılarak CFRP şerit çubuk ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 17868 N/mm^2 , epoksi ve CFRP ile güçlendirilmiş kayın örneklerinin ortalama elastikiyet modülü 22634 N/mm^2 olarak bulunmuştur.

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, PU esaslı yapıştırıcı ile yapılan CFRP güçlendirilmesinde, sarıçam örneklerinde % 90,71, kayın örneklerinde % 59,13 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bond 200M epoksi ile yapılan

CFRP güçlendirmesinde, sarıçam örneklerinde % 108,66 kayın örneklerinde ise % 103,76 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sarıçam örneklerindeki artış miktarı daha yüksek olmasına rağmen kayın örneklerinin eğilme dayanımı sarıçam örneklerinden daha yüksektir. Ogawa (1999) ve Roberto et al. (2003) yaptıkları çalışmalar göz önünde bulundurulduğunda bu sonuçların literatürle uyumluluğu olduğu anlaşılmıştır.

Çekme gerilmesinde ve basınç direncinde, tek yönlü yapılan güçlendirme çalışmalarında herhangi bir artış bulgusuna rastlanılmamıştır. Çekme gerilmesinde ve basınç direncinde her hangi bir artış olmamasının sebebi olarak, tek bir yüzeyden yapılan güçlendirmenin, ahşap malzemeye liflere paralel doğrultuda basınç kuvveti uygulandığı zaman liflerin birbirinden ayrılmasını engellemediği için yapılan güçlendirmenin yeterliği olmağı sonucuna varılmıştır.

ÖNERİLER

Günümüzde geniş kullanım alanı olan fiber takviyeli kompozitlerin ahşap restorasyonda da güçlendirme uygulamaları giderek yaygınlaşmaktadır. CFRP'lerin mekanik dayanımı ahşap malzemedeki daha yüksek olduğu için güçlendirme çalışmasında CFRP kullanımı uygun bulunmuştur.

Ahşap restorasyon çalışmalarında CFRP ve epoksi kullanılarak bölgesel güçlendirme yapılabilir. CFRP ile yapılan güçlendirme çalışmalarında ahşap görünümü korunarak restorasyon yapılabilir.

Daha küçük malzeme kesiti ile istenilen dayanımda ahşap yapılar tasarlanabilir. CFRP ile güçlendirme yapılan ahşap yapı elemanları ile daha büyük açıklıklar kolonsuz geçebilir.

Geleneksel restorasyon yöntemlerinde kullanılan metal esaslı malzemeler yerine CFRP ile güçlendirilmiş, estetik ve hafif olarak tasarlanmış yapı malzemeleri kullanılabilir.

Bu çalışma ahşap numunelerinin karbon fiber takviyeli kompozit malzeme ile güçlendirmesini kapsamaktadır. Aynı şekilde diğer kompozit malzeme çeşitleri kullanılarak güçlendirme çalışmaları yapılabilir. Ayrıca yapılan deneyler bire bir örneklere de uygulanarak, numunelerle yapılan deneylerin güvenilirliği karşılaştırılabilir. Bunun yanında yapılan güçlendirmelerin nümerik modellemesi yapılarak farklı çalışmalarda pratik uygulama kolaylığı sağlanabilir.

Özetle, tarihi binaların restorasyonunda ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesi çalışmalarında, güçlendirme malzemesi olarak CFRP şerit çubuk ile yapıştırıcı olarak bond 200M epoksi macunun tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Akgül, T., “Ahşapların ve birleşim noktalarının fiber takviyeli polimerlerle güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 13-42 (2007).

Asarcıklı, M., ve Keskin, H., “Ahşap süsleme teknikleri”, Ders Kitabı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 1-3 (2005).

Borri, A., and Corradi, M., “A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials”, *Composites Part B: Engineering, Science Direct Journals*, 36 (2): 143-153 (2005).

Bozkurt, A.Y., Erdin, N., “Ağaç teknolojisi”, Ders Kitabı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 1-6, 225-237, 334-342 (1997).

Bozkurt, A.Y., ve Erdin, N., “Odun anatomisi”, Ders Kitabı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 268-287 (2000).

Bozkurt, A.Y., ve Göker, Y., “Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi”, Ders Kitabı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 14-48,150-218 (1987).

Çobancaoğlu, T., “Türkiye’de ahşap evin bölgelere göre yapısal olarak incelenmesi ve restorasyonlarında yöntem önerileri”, Doktora tezi, *MSÜ Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, 38-52 (1998).

Dempsey, D.D., and Scott, D.W., “Wood members strengthened with mechanically fastened FRP strips”, *Journal of Composites for Construction*, 10 (5): 392-398 (2006).

Doğangün, A., Tuluk, Ö.İ., Acar, R., ve Livaoglu, L., “Geçmişten günümüze ahşap yapılarda taşıyıcı sistemler”, Ahşap-Yapı Malzemeleri Sektör Dergisi, *Marka Yayınları*, Trabzon, 4 (22): 57-61 (2004).

Duman, N., ve Ökten, S., “Ahşap yapı dersleri 1”, *Yapı Endüstri Merkezi Yayın Bölümü*, İstanbul, 1-3 (1988).

Eraslan, Z., “Safranbolu evlerinde kullanılan yapı malzemelerinin ses iletkenliğinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 19-23 (2009).

Günay, R., “Geleneksel ahşap yapılar sorunları ve çözüm yolları”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 43-64 (2002).

HuiChuan, C., Xie, Y.M., Li, Y.F., Lin, L.D., and Tsai, M.J., “Study on the accelerated aging of CFRP-wood composites”, *Forest Products Industries, Ebsco Host*, 24: 237-246 (2007).

İnternet: Orman Genel Müdürlüğü “Ormanlarımızda yayılış gösteren asli ağaç türleri”, http://web.ogm.gov.tr/Resimler/sanalkutuphane/agac_turleri.pdf (2010).

İnternet: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi “Ağaç malzeme bilgi sistemi”, <http://www.orman.istanbul.edu.tr/node/9611> (2010).

İnternet: Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. “Kompozit ürünler”, <http://www.kompozit.net> (2010).

Karakaş, M., “Ahşap malzemenin korunması”, *Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları*, Ankara, 34 (1988).

Kılıç, E., “Kompozit malzemedan yapılan yaprak yayların analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 3-15 (2006).

Kurtoğlu, A., ve Sofuoğlu, S.D., “Mobilya ve ağaç işlerinde kullanılan ahşap malzemeler”, *Mobilya Sektöründe Ağaç Malzeme Seçimi ve Kullanımı Semineri*, İzmir, 85-97 (2007).

Micelli, F., Scialpi, V., and Lategola, A., “Flexural reinforcement of glulam timber beams and joints with CFRP rods”, *Journal of Composites for Construction*, 9 (4): 337-347 (2005).

Miró, E.P., Coll, M.P., and Vilorio, A.R.C., “Mobilya restorasyonu ve yenilemesi”, Çeviri, Feza Altuniç, *İnkılap Kitabevi Yayın Sanayi*, İstanbul, 10-11 (2006).

Ogawa H., “Architectural application of carbon fibers, development of new carbon fiber reinforced glulam”, *Toho R. Co. Ltd.*, Tokyo, Japan, 1-9 (1999).

Örs, Y., ve Keskin H., “Ağaç malzeme bilgisi” Ders Kitabı, *Atlas Yayınları*, İstanbul, 52-102, 157-162 (2001).

Öztürk B., R., “Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 5 (2): 25-36 (2006).

Plevris, N., Triantafillou, T.C., “Creep behavior of FRP-reinforced wood members”, *Journal of Structural Engineering*, 121 (2): 174-186 (1995).

Premrov, M., Dobrila, P., and Bedenik, B.S., “Analysis of timberframed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards”, *Faculty of Civil Engineering, University of Maribor*, Maribor, Slovenia, 1-12 (2003).

Qingfeng, W., and Lei, Z., “An experimental study on partially-damaged wood columns repaired and strengthened with CFRP”, *Civil Engineering Journal, Compendex*, 40 (8): 41-46 (2007).

Roberto L.A., Michael A.P., and Sandford T.C., “Fiber reinforced polymer composite–wood pile interface characterization by push-out tests” *Journal of Composites for Construction*, 8 (4): 360-368 (2004).

Sarı, İ., Büyüктаş, K., ve Yılmaz, Ş., “Teknolojinin bilimsel ilkeleri”, Ders Kitabı, *Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş.*, Ankara, 293 (2008)

Steiger R., “Fiber reinforced plastics (FRP) in timber structures”, *Wood Department EMPA*, Dübendorf, Switzerland, 1-9 (2003).

Şahin, Y., “Kompozit malzemelere giriş”, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 2-33 (2000).

Şimşek, O., “Yapı malzemesi 2”, *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara, 11-23 (2000).

Täljsten, B., and Blanksvärd, T., “Mineral-based bonding of carbon FRP to strengthen concrete structures”, *Journal of Composites for Construction*, 11(2): 120-128 (2007).

TS 2470, “Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-5 (1976).

TS 2474, “Odunun statik eğilme dayanımının tayini”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1976).

TS 2475, “Odunda liflere paralel doğrultuda çekme gerilmesinin tayini”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1976).

TS 2595, “Odunda liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini”, *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1977).

Tsai W., S., Hoa, S.V., and Gay, D., “Composite materials design and applications”, Textbook, *CRC Press LLC*, Paris, 28-33 (2003).

Usta, İ., “Türkiye ağaç malzeme emprenye edndüstrisinin bugünkü durumu ve geliştirilmesine ilişkin öneriler”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 139 (1993).

Uysal, B., “Ağaç malzeme ders notları”, *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 17-20 (2005).

Yeou-Fong L., Xie, Y.M., and Tsai, M.J., “Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets”, *Construction and Building Materials, Science Direct Journals*, 23 (1): 411-420 (2009).

Yıldızhan, H., “Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 3-22 (2008).

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet MURATOĞLU 1981'de Antalya'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini Korkuteli'nde tamamladıktan sonra 2000 yılında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya Dekorasyon Eğitimi Bölümü'nde başlamış olduğu lisans eğitimini 2004 yılında tamamladı. Uşak ilinde faaliyet gösteren özel bir firmada üç yıl çalıştı. Vatani görevini İzmir Narlıdere İstihkâm okulunda 311. kısa dönem erbaş olarak yaptı. 2008 yılında Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat Meslek Yüksekokulu Mobilya ve Dekorasyon programına öğretim görevlisi olarak atandı. 2008 yılında başlamış olduğu yüksek lisans eğitimini Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı'nda tamamladı. Yabancı dili İngilizcedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Tokat Meslek Yüksekokulu
Taşlıçiftlik Yerleşkesi/ TOKAT

Tel : (541) 365 5769

E-posta : ahmetmuratoglu@gop.edu.tr