

**SARIÇAM AĞAÇ MALZEME VE FARKLI FİBER
(FRP) KUMAŞLARI İLE ELDE EDİLEN
LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOBİLYA VE DEKORASYON**

Osman MISTAK

**SARIÇAM AĞAÇ MALZEME VE FARKLI FİBER KUMAŞLARI (FRP) İLE
ELDE EDİLEN LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Osman MISTAK


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

**KARABÜK
Haziran 2013**

Osman MISTAK tarafından hazırlanan “SARIÇAM AĞAÇ MALZEME VE FARKLI FİBER KUMAŞLARI(FRP) İLE ELDE EDİLEN LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/ 06/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Burhanettin UYSAL (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Sezayi YILMAZ (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Şeref KURT (KBÜ)


İmzası


...../...../2013

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

Prof. 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.”

Osman MISTAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SARIÇAM AĞAÇ MALZEME VE FARKLI FİBER KUMAŞLARI(FRP) İLE ELDE EDİLEN LAMİNE AĞAÇ MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Osman MISTAK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL

Haziran 2013, 66 sayfa

Bu çalışmada; sarıçam odunundan 6mm kalınlığında katmanlar üretilmiş; bu katmanlar karbon fiber kumaş (CFRP), cam fiber kumaş (GFRP) ve özel fiber kumaş yapıştırıcısı olan poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) ile ½ oranında eklenerek 3 kat üst üste yapıştırılmıştır. Bu yöntemle elde edilen lamine ağaç malzemelerin mekanik performanslarında meydana getirdiği değişim miktarının belirlenmesi ve ahşap malzemenin kullanım alanının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla; TS 2470 numaralı standart esas alınarak, sarıçam (*Pinus silvestris L.*) odunundan hazırlanan örnekler karbon fiber (CFRP) ve cam fiber (GFRP) takviyeli kumaş ile poliüretan esaslı epoksi reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak güçlendirme çalışması yapılmıştır. FRP ile güçlendirilen bu

örnekler, TS 2474 esaslarına göre statik eğilme direnci, TS 2477 esaslarına göre dinamik eğilme, şok direnci ve TS 2595 esaslarına göre liflere paralel ve liflere dik basınç direnci deneylerine tabi tutulmuştur.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; statik eğilme direncinde en yüksek artış miktarı, çift bileşenli poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) kullanılarak tek ve çift yönlü yapılan güçlendirme çalışmalarında ki bulunan değerler, sarıçamın kendi örneklerinde ki değerler ile karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak; statik eğilme, dinamik eğilme ve liflere dik basınç deneyinde en yüksek değer karbon fiber takviyeli sarıçam olarak saptanmıştır. Liflere paralel basınç direnci deneyinde ise herhangi bir artış bulgusu olmamıştır.

Anahtar Sözcükler : Ağaç malzeme, karbon fiber kumaş (CFRP), fiber takviyeli polimer (FRP), reçine transfer kalıplama (RTM), cam fiber kumaş (GFRP).

Bilim Kodu : 711.3.023

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SCOTCH PINE WOOD LAMINATED WOOD MATERIAL AND DIFFERENT FIBER FABRICS OBTAINED BY THE DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIALS

Osman MISTAK

Karabuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Furniture and Decoration Education

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL

June 2013, 66 pages

In this study, 6mm thick layers made of pine wood, these layers of carbon fiber fabric (CFRP), glass fiber cloth (GFRP) and a special polyurethane resin + L285-fiber fabric glue (resin) + H285 (curing agent) is affixed to the addition of ½ percent. This is obtained by way of the mechanical performance of laminated wood materials and wood material, determine the amount of change caused by an attempt to increase the area of use. For this purpose, on the basis of the standard on the TS 2470, Scotch pine (*Pinus silvestris* L.) samples were prepared from the wood of carbon fiber (CFRP) and glass fiber (GFRP) reinforced epoxy resin based on polyurethane with fabric + L285 (resin) + H285 (hardener) using adhesive strengthen the study was conducted. These examples are reinforced with FRP, in accordance with the static bending strength TS 2474, TS 2477 and TS 2595 in accordance with the principles of

shock resistance according to dynamic bending parallel and perpendicular fibers were subjected to compressive strength tests.

As a result of experimental studies, static bending resistance, the amount of the high-rise, two-component polyurethane resin + L285 (resin) + H285 (hardener) that works by using the values in single and bi-directional reinforcement, Scots pine forest that their samples were compared with the values.

As a result, static bending, dynamic bending and perpendicular pressure test has been identified as the highest value of carbon fiber-reinforced pine. Parallel fibers have not been evidence of any increase in the pressure strength tests.

Key word : Wood material, carbon fiber fabric (CFRP), fiber reinforced polymer (FRP), resin transfer moulding (RTM), glass fiber cloth (GFRP)

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 Doç. Dr. Suat ALTUN hocama çok teşekkür ederim.

Deneyisel çalışmaların yapılması sırasında desteklerinden dolayı kıymetli hocalarım, Doç. Dr. Fatih YAPICI, Yrd. Doç. Dr. Şeref KURT, Dr. Raşit ESEN ve Dr. Cemal ÖZCAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bugünlere gelmemde büyük emeği geçen, başta ailem olmak üzere bütün hocalarıma saygı ve hürmetlerimi sunarım. Son olarak; tez çalışmalarımda bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Bahar İKİZ ve Hamdullah SİZÜÇEN'e de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	7
AĞAÇ MALZEME.....	7
2.1. AĞAÇ MALZEMENİN ÜSTÜN ÖZELLİKLERİ.....	7
2.2. AĞAÇ MALZEMENİN İSTENMEYEN ÖZELLİKLERİ	8
2.3. AĞAÇ MALZEMENİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ.....	8
2.3.1. Ağaç – Su ilişkisi	8
2.3.2. Ağaç Malzemenin Rutubeti	10
2.3.3. Birim Hacim Ağırlık.....	11
2.3.4. Termik Özellikler.....	11
2.3.5. Elektriksel Özellikler	12
2.3.6. Akustik Özellikler.....	12
2.3.7. Estetik Özellikler	12
2.4. AĞAÇ MALZEMENİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	13
2.4.1. Selülöz	13
2.4.2. Hemiselülöz	13

	<u>Sayfa</u>
2.4.3.Lignin.....	13
2.5. AĞAÇ MALZEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ	13
BÖLÜM 3	15
FRP ÜRÜNLER	15
3.1. KARBON FİBER VE CAM FİBER ELYAF TAKVİYELİ POLİMERLER .	15
3.1.1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler	15
3.1.2.Takviye Malzemeleri(Elyaf lar)	16
3.1.3. Karbon Fiber Elyafı (CFRP).....	19
3.1.4. Cam Fiber Elyafı(GFRP).....	23
3.1.5. Termoset Matrisler.....	27
3.2. ELYAF (FRP) ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	28
3.2.1. El Yatırma Yöntemi.....	28
3.2.2. Püskürtme Yöntemi	29
3.2.3. Hazır Kalıplama Yöntemi.....	29
3.2.4. Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi / Reçine enjeksiyonu	31
3.2.5. Profil Çekme Yöntemi.....	32
3.2.6. Elyaf Sarma Yöntemi	32
3.2.7. Tabakalı Birleştirme Yöntemi	34
3.2.8. Vakum yapıştırma yöntemi	34
3.2.9. Otoklav yapıştırma yöntemi	35
3.3. KOMPOZİT MALZEME KULLANIM ALANLARI.....	35
3.4. AHŞAP MALZEMEDE KARBONFİBER VE CAM FİBER İLE LAMİNASYON VE GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI	37
BÖLÜM 4	39
MATERYAL	39
4.1. AĞAÇ MALZEME.....	39
4.2. YAPIŞTIRICILAR.....	39
4.3. FİBER KUMAŞLARI.....	41

	<u>Sayfa</u>
4.4. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR	42
4.4.1. Ağaç Deneylerinin Hazırlanması.....	42
4.4.2. FRP Deney Örneklerinin Hazırlanması	42
4.4.3. Statik Eğilme Deneyi	43
4.4.4. Dinamik Eğilme Deneyi	45
4.4.5. Liflere Paralel Basınç Deneyi	47
4.4.6. Liflere Dik Basınç Deneyi	48
BÖLÜM 5.	49
DENEYSSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	49
5.1. STATİK EĞİLME DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR	49
5.2. DİNAMİK EĞİLME DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR.....	51
5.3. LİFLERE PARALEL BASINÇ DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR	53
5.4. LİFLERE DİK BASINÇ DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR.....	55
BÖLÜM 6	57
SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Fiber takviyeli kompozitlerin genel yapısı.	15
Şekil 3.2. Elyaf Dokuma Türleri	17
Şekil 3.3. Karbon Elyaf Örnekleri.....	19
Şekil 3.4. Karbon Fiber Lifi ve Kırpılmış Elyaf Örnekleri	20
Şekil 3.5. Karbon fiber elyafı üretim aşamaları	22
Şekil 3.6. Cam Fiber Lif ve Kırpılmış Elyaf Örnekleri	24
Şekil 3.7. Cam fiber elyaf Örnekleri	24
Şekil 3.8. Cam elyafı üretimi	25
Şekil 3.9. El yatırma düzeneği	28
Şekil 3.10. Püskürtme Yöntemi	29
Şekil 3.11. Hazır kalıplama düzeneği.	30
Şekil 3.12. Reçine transfer kalıplama düzeneği.	34
Şekil 3.13. Profil çekme düzeneği	32
Şekil 3.14. Elyaf sarma düzeneği.....	32
Şekil 3.15. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması.....	33
Şekil 3.16. Elyaf sarma makinesi.....	33
Şekil 3.17. Tabakalı birleştirme şeması	34
Şekil 3.18. Vakum bagging yöntemi.....	34
Şekil 3.19. Ahşap taşıyıcı sistemlerin CFRP'ler ile güçlendirilmesi.....	37
Şekil 3.20. CFRP'ler ile güçlendirilmiş kiriş deneyi	38
Şekil 4.1. MGS Laminasyon Epoksi Seti L285/H285-1,4kg SET A+B	40
Şekil 4.2. Fiber Kumaşları	41
Şekil 4.3. Fiber Kumaş Kaplama Seti	41
Şekil 4.4. Statik Eğilme Deneyi Örneği	43
Şekil 4.5. PU, CFRP GFRP ile Güçlendirilmiş Sarıçam Numuneleri	44
Şekil 4.6. Autograph universal test cihazı.....	44
Şekil 4.7. Dinamik Eğilme Deneyi Örneği	45

Sayfa

Şekil 4.8. PU, CFRP ve GFRP ile Güçlendirilmiş Sarıçam Numuneleri.....	46
Şekil 4.9. Pandüllü çekiç aleti	46
Şekil 4.10. Basınç Deneyi Örneği	47
Şekil 4.11. Pu, CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş basınç deneyi numuneleri	47
Şekil 4.12. Liflere Dik Basınç Direnci Deneyi Örneği	48
Şekil 4.13. Pu, CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş liflere dik basınç numuneleri.....	48

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri	10
Çizelge 3.1. Karbon fiber ve cam fiber kumaşlarının özgül ağırlıkları	18
Çizelge 3.2. Karbonuzasyon Isı Çizelgesi.....	21
Çizelge 5.1. Kontrol ve Lamine Ağaç Malzemelerin Statik Eğilme Değerleri(N/mm ²)	49
Çizelge 5.2. Statik Eğilme Tek Yönlü Anova Testi Sonucu.....	50
Çizelge 5.3. Lamine ağaç malzemenin statik eğilmeye etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.	50
Çizelge 5.4. Kontrol ve Lamine Ağaç Malzemelerin şok direnci değerleri (k/pm)...	51
Çizelge 5.5. Dinamik Eğilme (şok direnci) Tek Yönlü Anova Testi Sonucu.....	52
Çizelge 5.6. Lamine ağaç malzemenin dinamik eğilmeye etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.	52
Çizelge 5.7. Kontrol ve Lamine Ağaç Malzemelerin liflere paralel basınç direnci ortalama değerleri (N/mm ²)	53
Çizelge 5.8. Liflere Paralel Basınç Deneyi Tek Yönlü Anova Testi Sonucu	54
Çizelge 5.9. Lamine takviye malzemelerinin liflere paralel basınç direncine ilişkin ortama değerleri (N/mm ²).	54
Çizelge 5.10. Kontrol ve Lamine Ağaç Malzemelerin liflere dik basınç direnci ortalama değerleri (N/mm ²)	55
Çizelge 5.11. Liflere Paralel Basınç Deneyi Tek Yönlü Anova Testi Sonucu	56
Çizelge 5.12. Lamine ağaç malzemenin liflere dik basınç direncine etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.....	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
M ₀	: Tam Kuru Ağırlık
M _r	: Rutubetli Ağırlık
M _s	: Su Miktarı
R	: Rutubet Miktarı

KISALTMALAR

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

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ağaç malzemenin verimli kullanılabilmesi kusurlarından arındırılması ve eğri formulu imalatlarda diyagonalliği nedeniyle direnç özelliklerinin azalmaması için laminasyon tekniği kullanılması önerilmektedir. Bu çalışmada tabakalar arasında karbon lifi veya cam lifinin belli oranlarda ilave edilmesiyle oluşturulan katman, laminasyonun direnç özelliklerini artırması nedeniyle yapısal amaçlı kullanım yerleri için uygun bir kompozit malzeme yapısı oluşturacağı beklenmektedir.

Lamine ahşap malzeme TS EN 386 (1999)'da odun lamellerinin özellikle liflerin paralel olarak yapıştırılması ile elde edilen yapı elemanı olarak tanımlanmaktadır. Laminasyonda daha büyük boyutlu ahşap elemanlar kullanıldığında bunlar glulam olarak adlandırılır. Glulam, masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için uç uca yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır. Kavisli elemanlarda 2.54 cm kalınlıkta keresteler kullanılırken az kavisli ya da düz elemanlar için 5 cm kalınlıkta keresteler kullanılmaktadır. Bu tip yapı elemanlarının lif yönüne paralel düzenlenmesi zorunludur (Guller, 2001).

Masif ağaç malzeme büyük boyutlu ve kavisli elemanlarda tek parça olarak kullanılması gerek ekonomik ve gerekse teknolojik açıdan elverişli değildir. Büyük boyutlu taşıyıcı yapı elemanlarının ahşap malzeme tek parça olarak kullanımı sınırlıdır. Bunun nedeni, ağaç malzemedeki bulunan budak, çatlak, lif kırıklığı gibi kusurların tamamen giderilmesi mümkün değildir. Bu yüzden yapı malzemesinde direnç özellikleri olumsuz yönde etkilenir. Bu sakıncaların giderilmesi için laminasyon tekniği kullanılmaktadır (Keskin ve ark, 2003).

Laminasyon tekniği ağaç malzemenin bir kısım kusurlarından arındırılarak kullanılmasına imkan sağlamakta ve üretilen malzemenin kalite özellikleri masif olarak üretilenden daha iyi olmaktadır. Aynı zamanda estetik bir görünüm de elde edilmektedir. (Örs ve Keskin, 2000).

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) faktörlerin oldukça büyük bir etkisi vardır (Usta, 1993; Uysal, 2005).

Plevris and triantafillou (1995), CFRP ile güçlendirilmiş ahşap malzemelerin 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 modelle

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.

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).

Karbon fiber takviyeli polimerler diğer fiber takviyeli polimerlere göre daha yüksek bir dayanıma sahiptir. Bu özelliği ile özellikle zarar görmüş kolonlarda, kirişlerde ve ahşap yapılarda uygulanarak yüksek mukavemet gücü sağlamaktadır. Bununla birlikte, karbon fiber takviyeli polimerlerde yapıştırıcı olarak kullanılan çift bileşenli epoksi macununun maliyeti diğer yapıştırıcılara göre daha hesaplıdır ve daha kolay uygulanmaktadır (Muratoğlu, 2011).

Kolay bükülebilen lamine ahşap malzeme karbon lifle (yüksek dirence sahip suni lif) güçlendirilirse büyük oranda eğilme direnci artırılabilirliği belirtilmektedir. İki tabakanın ayrılması hasarı (delamination) söz konusu olmayacağı belirtilmektedir. (Brunner and Schnueriger 2005).

Ahşap lamine elemanlar iki ya da daha fazla katın tutkalla yapıştırılması ve katların lif yönleri birbirine paralel ya da dik gelecek şekilde birleştirilmesi ile elde edilir. Lif yönlerinin paralel gelecek şekilde düzenlenmesi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer, üretilen ahşap lamine eleman kavisli ise katların lif yönlerinin paralel olarak uygulanması zorunluluğu vardır. Laminasyonda farklı ağaç türü, değişken kat sayısı, farklı boyut, şekil ve kat kalınlıkları uygulanabilmektedir (Kurtoğlu vd., 1979).

Ağaç malzeme hafif bir hammadde olmasına rağmen yüksek direnç özellikleri göstermektedir. Ses ve ısı yalıtımı konusunda sentetik yollarla üretilen pek çok materyale oranla yüksek özellikler gösteren ahşap; işlenme, çivi ve vida tutma vb. özellikleri bakımından da aranan bir materyaldir. Ayrıca doğada hazır biçimde bulunması ve hammadde anlamında ulaşımının kolay olması da artı özellikleri arasındadır. Ağaç malzemenin bu artılarına ilave olarak bazı fiziksel modifikasyonlar uygulanmaktadır. Bunların başında da laminasyon yöntemleri gelmektedir.

Bu çalışma; ağaç malzemenin günlük hayatta daha fazla yerde, daha uzun süre kullanılması, ekonomik ve ergonomik olması için yapılmıştır. Özellikle ağaç malzemenin taşıyıcı unsur olarak ön plana çıkartılmasında büyük rol oynamaktadır. Yapılarda bulunan ahşap yapı elemanları genellikle basınç, çekme ve eğilme kuvvetlerine maruz kalmaktadırlar. Bu çalışmada, ahşap taşıyıcı sistemlerin basınç, şok ve eğilme gerilmesine maruz kalan elemanlarının güçlendirilmesinde Karbon fiber (CFRP) ve cam fiber (GFRP) kullanılmıştır. Yapıştırıcı olarak ta epoksi reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) poliüretan esaslı (PU) yapıştırıcı kullanılmıştır.

Hazırlanan bu çalışma, genel itibarıyla literatür taraması ve deneysel çalışmalar olmak üzere iki kısım 6 bölümden oluşmaktadır.

Bunlardan birinci bölüm ‘‘Giriş’’ olup burada çalışmanın kısa zeti verilmiştir.

İkinci bölümde; bu çalışmada kullanılan ağaç malzeme hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde; karbon fiber kumaş ve cam fiber kumaş üretim yöntemleri, kullanım alanları ile yapıştırıcıların uygulanma metodu ve deneysel çalışmalar anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde; materyal, metot, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, deney örneklerinin hazırlanması, uygulanan testler ve testlerin uygulanış parametreleri tanıtılmıştır.

Beşinci bölümünde; lamine edilmiş numunelere uygulanan mekanik testlerden elde edilen veriler verilmiş, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular tablo ve çizelgelerle verilmiş, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

Altıncı ve son bölümde ise; deneysel çalışmaların nihai sonuçlarının açıklandığı, deneysel çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, deneysel çalışmanın amacına uygun bir biçimde yorumlanarak sonuçlandırılmıştır.

BÖLÜM 2

AĞAÇ 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. AĞAÇ MALZEMENİN ÜSTÜN ÖZELLİKLERİ

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

Diğer yapı malzemelerinden hafif olması, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve her ülkede az veya çok bulunabilmesi. Özgül ağırlığına göre, direncinin ve taşıma gücünün daha yüksek olması. Korozyona uğramaması. Titreşim emme özelliğine sahip sünek bir yapı malzemesi olması nedeniyle deprem etkisine karşı dayanıklı olması. Şok şeklindeki etkileri ve sesi absorbe etmesi nedeniyle çarpma esnasında az gürültü çıkarması. İyi bir ısı yalıtkanı olması, dokunulduğunda sıcak ve soğuk hissi vermemesi ve dokunulduğunda vücut ısısını düşürmemesi. Sıcaklık değişimlerinde kondensasyona (terleme) neden olmaması. Ardışık gerilmelere maruz kaldığında kristalleşmesi ve gevrek yapı kazanması. Plastikleştirilebilmesi ve bükülmesi. Elektrik direncinin yüksek bulunması. Bünyesinde statik elektriklenme olmaması, Kimyasal maddelere karşı dayanıklı olması. Yangına karşı direncinin yüksek bulunması, el aletleri ve makinelerde kolay işlenebilmesi, çivi ve vida tutma

kabiliyetinin yüksek olması, ahşap yapı malzemesi üretimi için daha az enerjiye gereksinim duyulması, doğal yapısı nedeniyle, estetik, rahat ve huzur verici bir özelliğinin olması, üretiminin ve taşınmasının kolay ve ekonomik olması, yaklaşık 20 000 çeşit renk ve görünüş seçeneğine sahip olması, üst yüzey işlemleri ile daha çok çeşit üretilebilmesi, kullanım süresinin artması ile daha zengin görünüm ve koyu renk kazanması, kusurlu kısımlarının kolayca değiştirilebilmesi, toz barındırmaması, kolay temizlenebilir ve sağlıklı olması, kansorejen bir madde olan radon gazı salgılamaması. Romatizma, astım, böbrek hastalıkları ve dolaşım bozuklukları üzerinde olumlu etkilerinin olması. Ortam ısı değişiminden az etkilenmesi. Yüksek bir taşıma gücüne sahip olması. Doğal bir malzeme olduğundan farklı iklim koşullarına karşı dayanıklı olması. Fizyolojik ve psikolojik yönden insana daha yakın ve sıcak olması gibi özellikleridir (Kurtoglu ve Sofuoğlu, 2007).

2.2. AĞAÇ MALZEMENİN İSTENMEYEN ÖZELLİKLERİ

Organik bir malzeme olması; bitkisel ve hayvansal canlıların besin maddesidir (böcekler, mantarlar, bakteriler, midyeler ve termitler gibi). Higroskopik yapıya sahip olması; Atmosferik hava koşullarında bağıl nem ve sıcaklığın değişmesi ile rutubet alıp vererek boyutlarında daralma ve genişlemelerin ortaya çıkması (çalışması). Yanabilen bir malzeme olması ve kimyasal maddeler ile tepkimeye girebilmesi. Anizotrop bir malzeme olup, heterojen bir yapıya sahip olması. Fiziksel ve mekanik kuvvetlerden etkilenmesi gibi özellikleri istenmeyen yönleridir (Uysal, 2005; Kurtoglu ve Sofuoğlu, 2007).

2.3. AĞAÇ MALZEMENİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

2.3.1. Ağaç – Su ilişkisi

Ahşap malzeme, hücre çeperi içerisindeki miseller ve fibriller arası boşluklar ile hücre boşlukları 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. 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 kurutulmuş içerisindeki suyun buharlaştırılmasıyla elde edilen tam kuru haldir (Örs ve Keskin, 2001).

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

Taze haldeki ağaç malzemedeki su, hücre çeperi ile lümeninde bulunmakta ve bu rutubet miktarına göre ağaçlar dört sınıfa ayrılmaktadır. Orta rutubetteki ağaçlar: Odun % 30-40 rutubette olup, 1 m^3 odunda 100-200 kg su vardır. Örnek: Ladin, çam, melez ve köknar.

Rutubetli ağaçlar: Odun % 40-60 rutubette olup, 1 m^3 odunda 200-400 kg su vardır. Örnek: Dişbudak, ceviz, yalancı akasya ve titrek kavak.

Yaş ağaçlar: Odun % 60-115 rutubette olup, 1 m^3 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 m^3 odunda 500 kg'dan fazla su vardır. Örnek: Karağaç, kavak ve kestane (Bozkurt ve Göker, 1987).

2.3.2. Ağaç 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;

$$r = \frac{m_s}{m_0} = \frac{m_r - m_0}{m_0} = \frac{m_r}{m_0} - 1 \quad \text{eşitliğinden hesaplanır.}$$

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;

$$m_r = m_0(1+r) \quad \text{eşitliği yazılabilir (Örs ve Keskin, 2001).}$$

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. Bazı ağaç türlerinin taze haldeki rutubetleri Çizelge 2.1'de 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
Geniş Yapraklı Ağaçlar	Kavak	135	80
	Kayın	110	55
	Kestane	90	80
	Ihlamur	75	80

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).

2.3.3. Birim Hacim Ağırlık (BHA)

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 ağacın mekanik dayanımları düşük, işçilikleri kolaydır (Örs ve Keskin, 2001).

2.3.4. 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. Sadece tam kurduğunda 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 ısısı oldukça yüksektir.

Bu bir kilogramlık ahşabın ısıısının 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).

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

2.3.6. Akustik Özellikler

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).

2.3.7. Estetik Özellikler

Ahşap estetik ve 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).

2.4. AĞAÇ MALZEMENİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

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).

2.4.1. Selüloz

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

2.4.2. 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).

2.4.3. 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).

2.5. AĞAÇ MALZEMENİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

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).

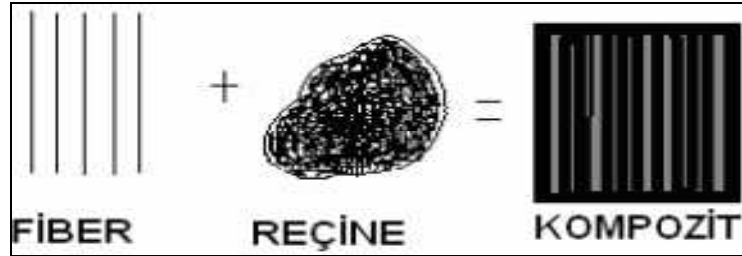
BÖLÜM 3

FRP ÜRÜNLER

3.1. KARBON FİBER VE CAM FİBER ELYAF TAKVİYELİ POLİMERLER

3.1.1. Fiber Takviyeli Kompozit Malzemeler

İki veya daha fazla saydaki, farklı özelliklere sahip malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni bir malzeme 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 (Şahin, 2000). Fiber takviyeli kompozitlerin genel yapısı Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Fiber takviyeli kompozitlerin genel yapısı (Kılınç, 2006).

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).

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

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

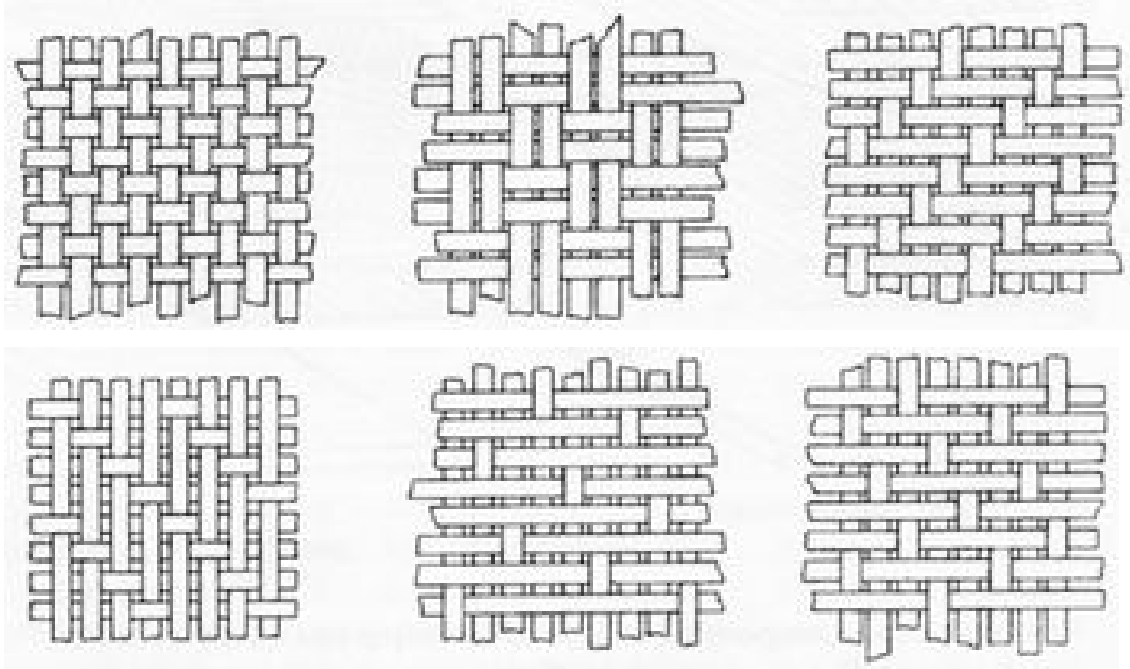
3.1.2. Takviye Malzemeleri (Elyaf lar)

Kompozit malzemelerde kullanılan elyafların fiziksel biçimleri, oluşturulan yeni malzemenin özellikleri üzerinde çok önemli bir faktördür. Takviyeler temel olarak 3 farklı biçimde bulunmaktadır; parçacıklar, süreksiz ve sürekli elyaflar. Parçacık genelde küresel bir biçimde olmamasına rağmen her yönde yaklaşık olarak eşit boyutlardadır. Çakıl, mikro balonlar ve reçine tozu parçacık takviyelerine örnekler arasında sayılabilir. Takviye malzemelerinin bir boyutu diğer boyutlarına göre daha fazla olduğunda elyaflar dan bahsetmeye başlarız. Süreksiz elyaflar (doğranmış elyaflar, öğütölmüş elyaflar veya whiskers-püsköl) birkaç milimetreden birkaç santimetreye kadar değişen ölçülerde olabilmektedir. Çoğu lifin çapı birkaç mikrometreyi geçmemektedir. Bu nedenle elyafların parçacık halden lif haline geçişi için çok fazla bir uzunluğa gerek yoktur.

Sürekli elyaflar ise tel sarma yöntemi gibi yöntemlerde kesilmeden ip şeklinde kullanılmaktadır. Elyaf lar en yüksek mekanik özelliklerini enlerinden daha çok boylarına gösterirler. Bu özellikler kompozit malzemelerin metallere rastlanmayan aşırı anisotropik malzeme özelliği göstermelerine neden olur. Bu nedenle tasarım

aşamasında elyafların reçine içindeki yerleşimleri ve geometrilerini göz önünde bulundurmamak çok önemlidir. Malzemenin anisotropik özelliği tasarım aşamasında ürünün uygun yerinde kullanılarak avantaja dönüşebilir.

Bazı durumlarda malzemenin dayanımı artırmak, tüm yönlerde eşit mukavemet elde etmek için elyaflar kumaş olarak dokunurlar. Sürekli liflerle hazırlanan dokuma elyaf kumaşlarının farklı amaçlar için geliştirilmiş türleri vardır. Bunlar elyaf dokuma türleri olarak Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Elyaf dokuma türleri

Cam elyafının günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafı kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır. Hava araçlarının iskeletlerinde ve spor araçlarında metallerin yerine kullanılmaktadır. Karbon elyafından daha güçlü ve aynı zamanda daha pahalı olan ise bor elyafıdır.

Kompozit malzemeler arasında karbon elyafı ve cam elyafı, polimer kompozitler olarak geçmektedir. Karbon elyafı ve cam elyafının özgül ağırlıkları çizelge 3.1’de verilmiştir (Ünal, 2010).

Çizelge 3.1. Karbon fiber ve cam fiber kumaşlarının özgül ağırlıkları (Ünal, 2010).

Malzeme	Özgül ağırlık gr / cm ³	Çekme mukavemeti N / mm ²	Elastikiyet modülü N / mm ²
Cam lifi	2,54	2410	70000
Karbon lifi	1,75	3100	220000

Polimerler matris olarak kullanılmalarının yansıra kompozitler için elyaf üretilmesinde de kullanılmaktadır. Kompozit malzemeye çok yüksek düzeyde sağlamlık katan ve sertlik kazandıran keklar (aramid) bir polimer elyafıdır. Hafiflik ve güvenilir konstrüksiyon amaçlanan ürünlerdeki kompozit malzemelerde aramid kullanılır. Malzemelerin anisotropik ve izotropik özellikleri uzun lifli elyaflar kullanıldığında liflerin yönlerini değiştirilerek farklı yönlerde farklı mekanik özellikler elde etmek mümkündür. Bu duruma anisotropik özellikler denir. Metal gibi bazı malzemeler her yönde aynı mekanik özellikleri gösterirler, bu duruma ise izotropik özellik denir. Kompozit malzemelerde kullanılan başlıca elyaf türleri;

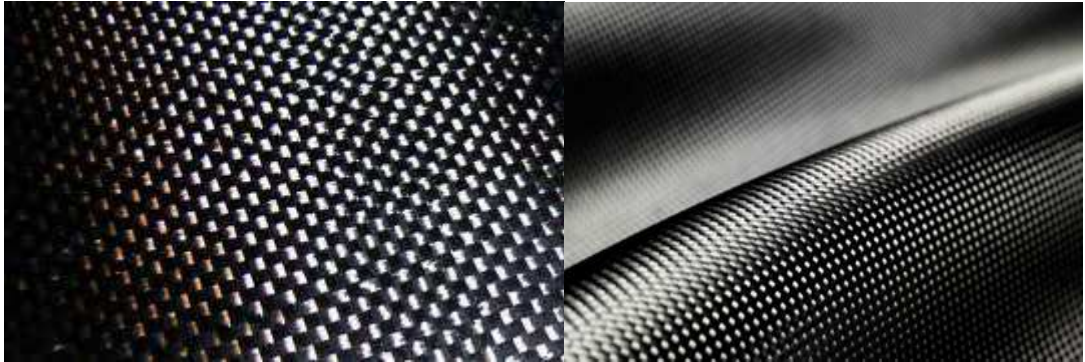
Cam elyafı, karbon (graphite) elyafı, (PAN -polyacrylonitrile- ve zift kökenli), aramid (aromatic polyamid) elyafı, (Ticari ismi; keklar-dupont), bor elyafı, oksit elyafı, yüksek yoğunluklu polyetilen elyafı, poliamid elyafı, polyester elyafı, doğal organik elyaflarıdır.

Bu elyaflar arasından en çok karbon, cam ve aramid elyafları kullanılmaktadır. Bu üç elyaf türü de güçlü, sert ve sürekli biçimde üretilebilmektedirler.

3.1.3. Karbon Fiber Elyafı (CFRP)

Karbon fiber veya karbon elyaf, teknoloji ürünü olan ipliksi türü bir maddedir. Ana bileşimleri Karbonlaşmış akrilik elyaftır (Orlon),katran ve naylondur. Karbon fiberin yapısı, çelikten 4,5 kat daha hafif olmasına rağmen 3 kat daha dayanıklıdır. Karbon fiber, naylon gibi esnek ve orlon gibi de orta derecede dayanıklı değildir. Daha sert ve çok daha dayanıklıdır (Ünal, 2010).

Karbon elyafları çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaflar tam anlamıyla karbonlaşırlar ve bu elyaflara grafit elyafı denir. Günümüzde ise bu fark ortadan kalkmaktadır. Artık karbon elyafıda grafit elyafı da aynı malzemeyi tanımlamaktadır. Karbon elyafı epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon fiber üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon elyaflarının çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon elyafının üretimi çok pahalı olduğu için ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerin yüksek değerli uygulamalarında kullanılmaktadır. Karbon Elyafı Örnekleri Şekil 3.3’de verilmiştir (Ünal, 2010).



Şekil 3.3. Karbon elyafı örnekleri (Ünal, 2010).

Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır: Sürekli Elyaflar – Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlarda ve prepreg’larda kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler. Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4. Karbon fiber lifi ve kırılmış elyaf örnekleri (Ünal, 2010).

Kırılmış elyaf - genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler.

Karbon, yoğunluğu 2.268 gr/cm^3 olan kristal yapıda bir malzemedir. Karbon elyaflar cam elyaflardan daha sonra gelişen ve çok yaygın olarak kullanılan bir elyaf grubudur. Karbon elyafların üretiminde üç adet hammadde mevcuttur. Bunlardan ilki rayondur (suni ipek). Bu hammadde bir atmosferde $1000 - 3000 \text{ }^\circ\text{C}$ civarına ısıtılır ve aynı zamanda çekme kuvveti uygulanır. Bu işlem mukavemet ve tokluk sağlar. Ancak yüksek maliyet nedeniyle rayon elyaflar uygun değildirler. Karbon elyaf imalatında genellikle rayonun yerine poliakrilonitril (PAN) kullanılır. PAN bazlı elyaflar 2413 ila 3102 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler ve maliyetleri düşüktür. Petrolün rafinesi ile elde edilen zift bazlı elyaflar ise 2069 MPa değerinde çekme mukavemetine sahiptirler. Mekanik özellikleri PAN bazlı elyaflar kadar iyi değildir ancak maliyetleri düşüktür (Ünal, 2010).

Karbon elyafı çoğunlukla iki malzemedен elde edilir; Zift ve PAN (Poliakrilonitril)'dir.

Zift tabanlı karbon elyafı göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. PAN tabanlı karbon elyafı kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir.

PAN'ın karbon elyafına dönüştürülmesinde birbirini takip eden iki aşama vardır.

Oksidasyon: Bu aşamada elyaf hava ortamında 300 derecede ısıtılır. Bu işlem, elyafın H'nin ayrılmasını daha ucucu olan O'nin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaf kesilerek graphite teknelerine konur. Polimer, merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafın rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyah olur.

Karbonizasyon: Elyafın yanıcı olmayan atmosferde 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşma sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafın sınıfını belirler. Karbonizasyon ısı çizelgesi çizelge 3.2'te verilmiştir.

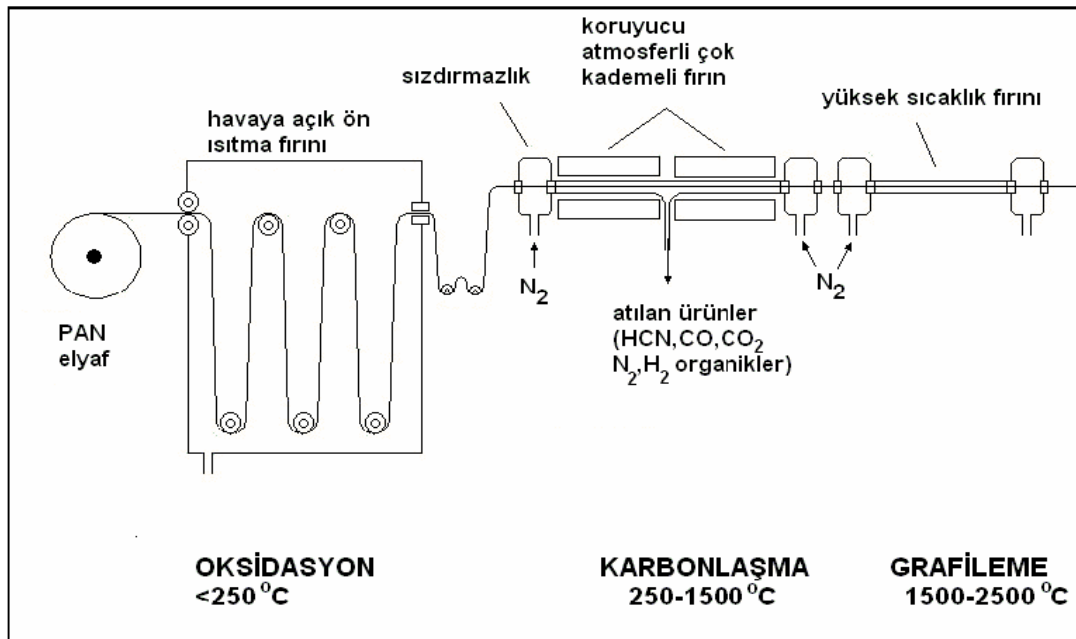
Çizelge 3.2. Karbonizasyon ısı çizelgesi

Karbon Elyafı Sınıfları (Grades)	4	3	2	1
Karbonizasyon Isısı (°C)	1000'e kadar	1000-1500	1500 – 2000	(Grafit) 2000 +
Karbon elyafı sınıfı	Düşük modülüs	Standart Modülüs	Orta modülüs	Yüksek modülüs
Elastic modülüs (GPa)	200'e kadar	200 - 250	250 – 325	325 +

Karbon elyafının en önemli özellikleri düşük yoğunluğun yanı sıra yüksek mukavemet ve tokluk değerleridir. Neden etkilenmezler ve sünme mukavemetleri çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri oldukça iyidir. Bu nedenle askeri

ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar (Ünal, 2010).

Karbon lifleri metallerle göre oldukça düşük yoğunluktadır. Çeliğe göre mukavemeti yüksek olup, aşırı katıdır. Lif takviyeli kompozitlerde kullanılan karbon lifleri düşük yoğunluktaki hafif reçineleri takviye etmede kullanılır. Genellikle epoksi reçineleri matris malzeme olarak kullanılmakla beraber, bazen de 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. Karbon fiber üretim aşamaları şekil 3.5'te verilmiştir (Kılıç, 2006).



Şekil 3.5. 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).

3.1.4. Cam Fiber Elyafı (GFRP)

Cam elyafı (fiberglas), silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Yalıtım ile dokuma ürünlerinde de yaygın olarak kullanılır. Ayrıca birçok plastik üründe güçlendirici olarak da kullanılır ve ortaya çıkan bileşik maddelere de (örneğin, GFRP "camla güçlendirilmiş plastik") halk arasında "cam elyafı" adı verilir.

Cam elyaflar, sıradan bir şişe camından yüksek saflıktaki kuartz camına kadar pek çok tipte imal edilirler. Cam amorf bir malzemedir ve polimerik yapıdadır. Üç boyutlu moleküler yapıda, bir silisyum atomu dört oksijen atomu ile çevrilmiştir. Silisyum metalik olmayan hafif bir malzemedir, doğada genellikle oksijenle birlikte silis (SiO_2) şeklinde bulunur. Cam eldesi için silis kumu, katkı malzemeleri ile birlikte kuru halde iken $1260\text{ }^\circ\text{C}$ civarına ısıtılır ve soğumaya bırakıldığında sert bir yapı elde edilir (Ünal, 2010).

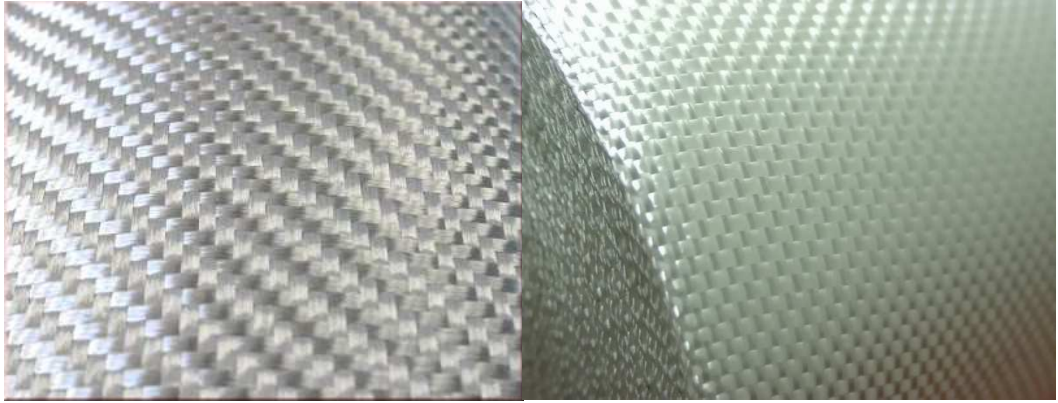
Cam elyafların bazı özellikleri şunlardır; Çekme mukavemeti yüksektir, birim ağırlık başına mukavemeti çeliğinkinden yüksektir. Isıl dirençleri düşüktür. Yanmazlar, ancak yüksek sıcaklıkta yumuşarlar. Kimyasal malzemelere karşı dirençlidirler. Nem absorbe etme özellikleri yoktur, ancak cam elyafı kompozitlerde matris ile cam elyaf arasında nemin etkisi ile bir çözülme olabilir. Özel elyaf kaplama işlemleri ile bu etki

ortadan kaldırılabilir. Elektriği iletmezler. Bu sayede elektriksel yalıtımının önem kazandığı durumlarda cam elyaflı kompozitlerin kullanılmasına imkân tanırırlar.

Cam elyafı genellikle polyester reçineleri veya vinil ester reçineler ile özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camın itilmesiyle üretilir. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir. Şekil 3.6 ve şekil 3.7’de verilmiştir.



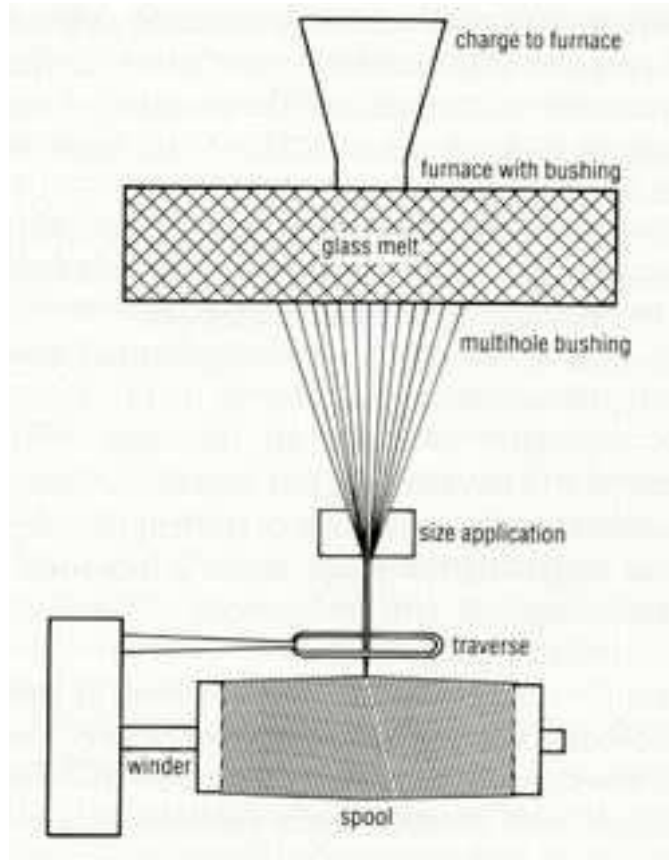
Şekil 3.6. Cam fiber lif ve kırılmış elyaf örnekleri



Şekil 3.7. Cam fiber elyaf örnekleri

Aynı zamanda bu lifler farklı yöntemlerle de işlenmektedir. (el yatırması, SMC, BMC, RTM, Fitol sarma, Reçine İnfüzyon gibi) takviye edilerek geleneksel kompozit CTP parçalar elde edilmektedir.

Elyaf lar işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaf larından daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Elyaf kumaşları genellikle sürekli cam elyafının lifleri ile üretilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı üretilmektedir. Cam elyafı üretim yöntemlerinden bir tanesi şekil 3.8'de verilmiştir (Phillips, 1989).



Şekil 3.8.Cam elyafı üretimi (Phillips, 1989)

Cam elyaf imalinde silis kumuna çeşitli katkı malzemeleri eklendiğinde yapı bu malzemelerin etkisi ile farklı özellikler kazanır. Dört farklı tipte cam elyaf mevcuttur.

A (Alkali) Camı - A camı yüksek oranda alkali içeren bir camdır. Bu nedenle elektriksel yalıtkanlık özelliği kötüdür. Kimyasal direnci yüksek, en yaygın cam

tipidir. Pencerelerde ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitlerde çok fazla kullanılmaz.

C (Korozyon) Camı - Yüksek kimyasal direnç gösterir. Yani kimyasal çözeltilere direnci çok yüksektir. Depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

E (Elektrik) Camı: Düşük alkali oranı nedeniyle elektriksel yalıtkanlığı diğer cam tiplerine göre çok iyidir. Mukavemeti oldukça yüksektir. Suya karşı direnci de oldukça iyidir. Nemli ortamlar için geliştirilen kompozitlerde genellikle E camı kullanılır. Türkiye’de Şişecam Grubuna bağlı olan Cam Elyaf Sanayii A.Ş. tarafından E camı elyafı üretilmektedir. Hem yurtiçine, hem yurt içine satış yapan firmadan doğrudan veya bayileri aracılığıyla ürün satın almak mümkündür. 1976’dan beri faaliyet gösteren firma Avrupa’nın önemli elyaf üreticilerinden biridir.

S + R (Mukavemet) Camı - Yüksek maliyetli ve yüksek performanslı bir malzemedir. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır. Elyaf içindeki tellerin çapları E Cam’ın yarısı kadardır, böylelikle elyaf sayısı fazlalaşır dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir. Yine çekme mukavemeti E camına oranla %33 daha yüksektir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda oldukça iyi bir yorulma direncine sahiptir. Bu özellikleri nedeniyle havacılıkta ve uzay endüstrisinde tercih edilir. Cam elyaflar genellikle plastik veya epoksi reçinelerle kullanılırlar (Ünal, 2010).

Cam elyafının kullanım amacına bağlı olarak elyaf sarma biçimleri farklı olabilir. Elyaf çapı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımın artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyafın kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Elyaf ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmamaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için elyaf kimyasallarla kaplanır. Isıl iletim katsayıları düşük olduğundan yalıtım malzemesi olarak kullanılırlar. Ayrıca yüksek mukavemet değerleri nedeniyle diğer malzemelerle

birleştirilerek kompozit malzeme üretiminde kullanılır. Bunun yanında mayın kasası yapımında bolca kullanılmaktadır. Bunda en önemli neden cam elyafından üretilen mayının metal tarama aygıtlarına yakalanmamasıdır. Bugün bildiğimiz cam elyafının geliştirilmesi 1930'lu yılların sonlarına doğru yapılabildiştir (Ünal, 2010).

3.1.5. 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 verilip şekil elde edilemezler. Onun için bu malzemelerin geri dönüşümü olmadığından tekrar kullanılamazlar. Bunun nedeni termoset matrisli malzemelerin molekülleri birbirlerine çapraz bağıdırlar. 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, iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar. Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Açık renkli bir sıvı halindedirler (Kılıç, 2006).

Epoksilerin olumlu yönleri şöyle sıralanabilir; kopma mukavemetleri yüksektir. Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlar. Yüksek aşınma direncine sahiptirler. Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir. Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler. Epoksilerin olumsuz yönleri ise; polyesterle karşılaştırıldığında pahalıdır ve polyestere oranla yüksek viskoziteye daha az uygundur (Yıldızhan, 2008).

Termoplastik reçineler malzemenin çekme ve eğilme dayanımlarının artırılması için kullanılırlar. Otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan termoplastikler uçak sanayisinde de yüksek performanslı malzeme çözümlerinde kullanılmaktadırlar. Çoğunlukla enjeksiyon ve ekstrüzyon kalıplama yöntemleri ile üretilen termoplastiklerin üretiminde GMT (glass mat reinforced thermoplastics / Preslenebilir Takviyeli Termoplastik) olarak ta üretilmektedir. Bu yöntemle

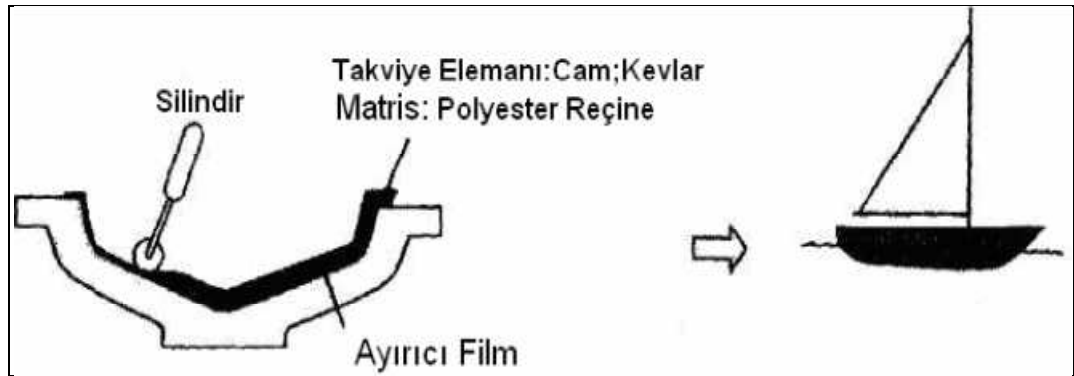
hazırlanan takviyeli termoplastikler soğuk plakaların preslenebilmesi ve geri dönüşüm sürecine uygunluğundan dolayı özellikle otomotiv sektöründe tercih edilmektedir (Ünal, 2010).

3.2. ELYAF (FRP) ÜRETİM YÖNTEMLERİ

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).

3.2.1. El Yatırma Yöntemi

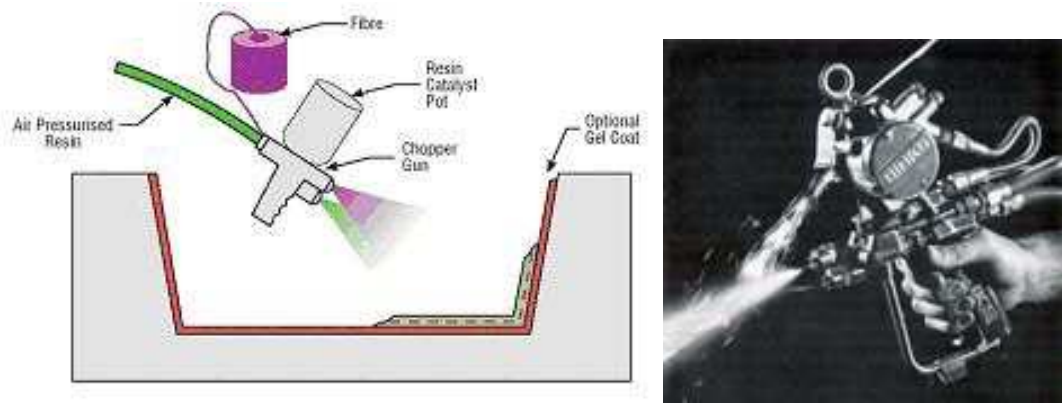
Kompoziti hazırlamak için kalıp gereklidir. Kalıbın iç yüzeyi silindikten sonra birinci ayırıcı olarak vaks, ikinci ayırıcı olarak PVA sürülür. Fırça ile viskozitesi yüksek reçine (jelkot) sürüldükten sonra fiberler kesilerek hazırlanır. Jelkot üzerine reçine sürülür ve keçe veya dokuma şeklindeki takviye elemanı yerleştirilir. Fırça darbeleriyle reçine iyice emdirilir. Rulo kullanılarak hava kabarcıklarının kalmaması sağlanır. İstenilen kalınlık sağlanana kadar bu işleme devam edilir. Bu yöntem de en çok polyester ve epoksi reçine kullanılır. Sertleşme beklendikten sonra ürün kalıptan çıkarılır. Bu yöntem için yoğun işçilik gerektirmektedir. Az sayıda parça üretimi için uygundur. El yatırma yöntemi ve bu üretim yöntemine örnek bir kayak şekil 3.9’da verilmiştir (Kılıç, 2006).



Şekil 3.9. El yatırma düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.2.2. 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. Püskürtme yöntemi şekil 3.10'da verilmiştir (Şahin, 2000).



Şekil 3.10. Püskürtme yöntemi (Şahin, 2000).

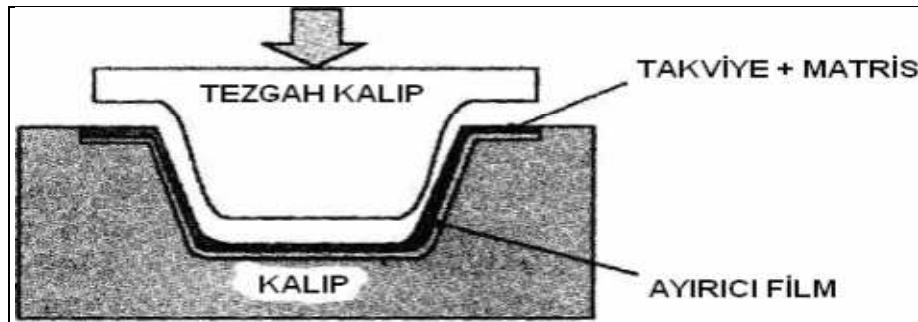
3.2.3. Hazır Kalıplama Yöntemi

Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Hazır kalıplama bünyesinde cam elyafı, reçine, katkı ve dolgu malzemeleri içeren kalıplamaya hazır, hazır kalıplama bileşimleri olarak adlandırılan kompozit malzemelerin (SMC, BMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülmesidir. Karmaşık şekillerin üretilebilmesi, metal parçaların bünye içine gömülebilmesi, farklı cidar kalınlıkları gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca ürünün iki yüzü de kalıp ile şekillenmektedir. Diğer kompozit malzeme üretim tekniklerinin olanak vermediği delik gibi komplike şekiller elde edilebilmektedir. Iskarta oranı düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları kalıplama bileşimlerinin buzdolaplarında saklanmaları gerekliliği, kalıpların metal olmasından dolayı diğer kalıplardan daha maliyetli olması ve büyük parçaların üretimi için büyük ve pahalı preslere ihtiyaç olmasıdır.

Hazır kalıplama yönteminde kullanılan bileşimler içeriklerine göre çeşitlilik göstermekle beraber en çok iki tür hazır kalıplama bileşimi kullanılmaktadır;

1. Hazır kalıplama pestili / SMC (sheet moulding composites); SMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ile dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan pestil biçiminde malzemedir. Sürekli lifler, 25-50 mm kırılmış olarak ve kompozitin toplam ağırlığının %25-30 oranında kullanılır. Genellikle 1m genişliğinde ve 3mm. kalınlığında üretilir.
2. Hazır kalıplama hamuru / BMC (bulk moulding composites); BMC takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde malzemedir.

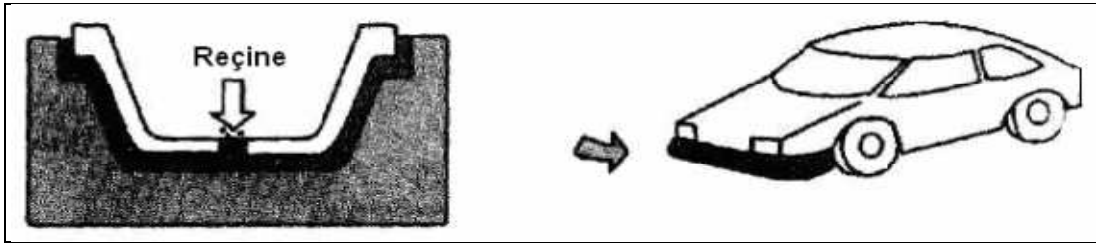
Hazır kalıplama bileşimlerinin avantajları; Çok geniş tasarım esnekliği, Düzgün yüzey, Kolayca boyanabilme ve kalıp içinde yüzeyin kaplanabilmesi, Geri dönüştürülebilme, Metal gömme parçaların yerleştirilmesi ile montaj kolaylığı, Yüksek alev dayanımı, Sıcaklık dayanımı, Soğukta kırılma olmama. Bu yöntem RTM'ye benzer bir yöntemdir. Farklılığı reçine/elyaf karışımının kalıp dışarısında karışmış ve eritilerek basınç altında boş kalıp içine enjekte edilmesindedir. Sadece düşük viskoziteye sahip termoset reçineler bu yöntemde kullanılabilir. Diğer yöntemlere göre daha hızlıdır. Çocuk oyuncaklarından uçak parçalarına kadar bir çok ürün bu yöntemle üretilmektedir. Hazır kalıplama şeması şekil 3.11'de verilmiştir (Kılıç, 2006).



Şekil 3.11. Hazır kalıplama düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.2.4. Reçine Transfer Kalıplama (RTM) Yöntemi / Reçine enjeksiyonu

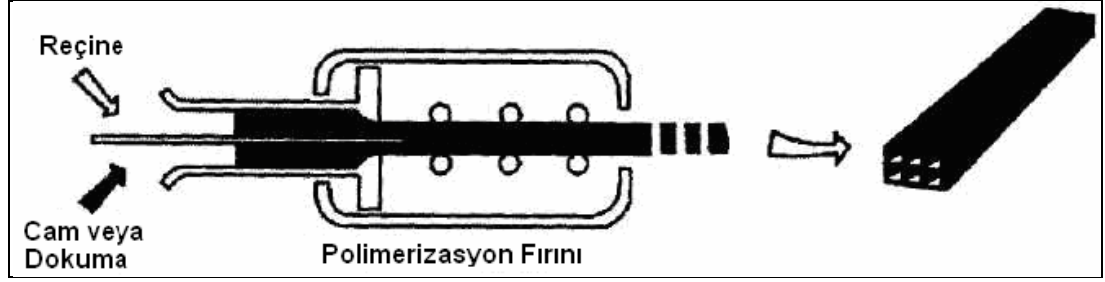
Bu kompozit üretim yönteminde elle yatırma sistemlere daha hızlı ve uzun ömürlü olmakla birlikte iki parçalı kalıp kullanmak gereklidir. Kalıbın kompozit malzemeyle yapılması çelik kalıp maliyetine göre daha düşük kalmasına neden olmaktadır. RTM yöntemi çoğunluk jelkotlu veya jeltotsuz her iki yüzeyinde düzgün olması istenen parçalarda kullanılır. Takviye malzemesi kuru olarak keçe, kumaş veya ikisinin kombinasyonu kullanılır. Takviye malzemesi önceden kalıp boşluğu doldurulacak şekilde kalıba yerleştirilir ve kalıp kapatılır. Elyafın matris içinde geç çözünen reçinelerle kaplanarak kalıp içerisinde sürüklenmesi önlenir. Reçine basınç altında kalıba pompalanır. Bu süreç daha fazla zaman ister. Matris enjeksiyonu soğuk, ılık veya en çok 80°C'ye kadar ısıtılmış kaplarda uygulanabilir. Bu yöntemde içerideki havanın dışarı çıkarılması ve reçinenin elyaf içine iyi işlemesi için vakum kullanılabilir. Elyafın kalıba yerleştirilmesini gerektirmesinden dolayı uzun sayılabilecek bir işçilik gerektirir. Kalıp kapalı olduğu için ise zararlı gazlar azalır ve gözeneksiz bir ürün elde edilebilir. Bu yöntemle karmaşık parçalar üretilebilir. Reçine transfer kalıplama düzeneği ve bu yöntemle üretilebilecek parça şekil 3.12'de verilmiştir (Yıldızhan, 2008).



Şekil 3.12. Reçine transfer kalıplama düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.2.5. Profil Çekme Yöntemi

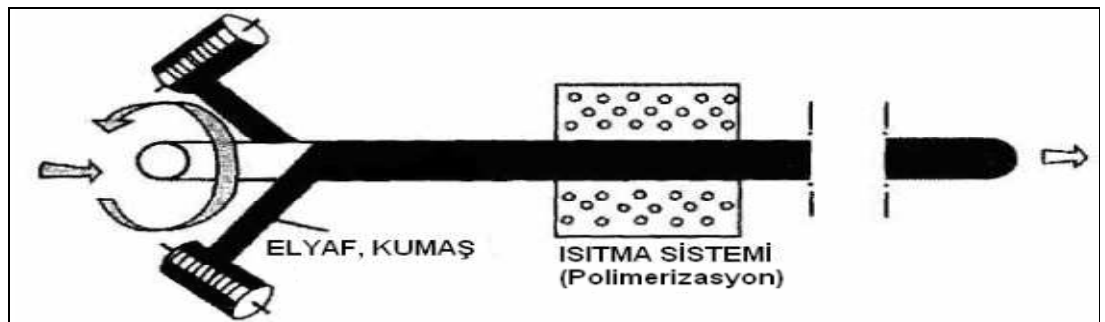
Profil çekme yöntemi şekil 3.13'te şematik olarak verilmiştir. Bu yöntemde reçine malzemesi olarak genellikle polyeşter, vinil ester ve epoksi kullanılır. Takviye malzemesi olarak sürekli fiber malzemesi kullanılır (Kılıç, 2006).



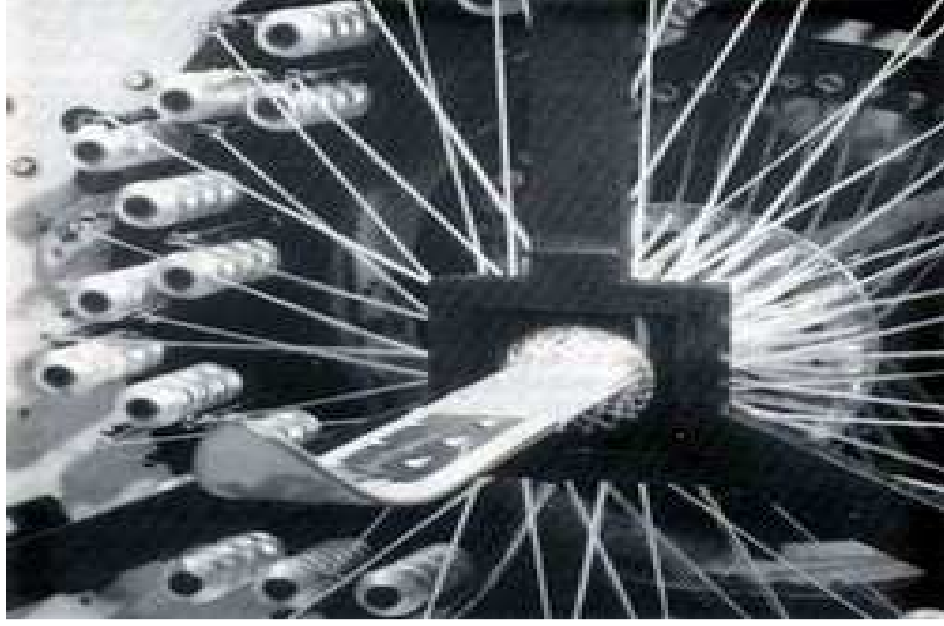
Şekil 3.13. Profil çekme düzeneği (Tsai, et al., 2003).

3.2.6. Elyaf Sarma Yöntemi

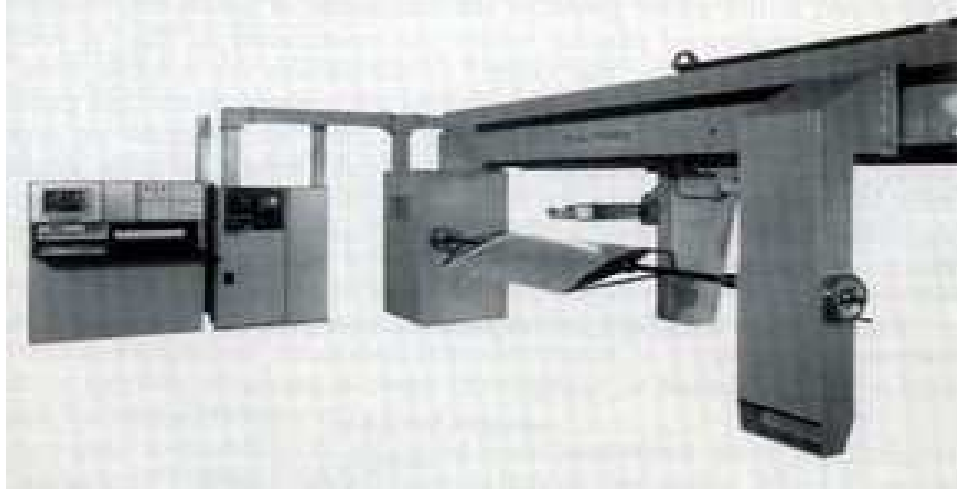
Bu yöntemle yapılan ürünler, füze boruları, petrol nakli için borular, yat direkleri, uçak, su tankları, spor aletleri vb. ürünlerdir. Elyaf sarma şeması şekil 3.14'te, bu yöntemle elde edilen spor malzemesi şekil 3.15'te, elyaf sarma makinesi şekil 3.16'da verilmiştir (Yıldızhan, 2008).



Şekil 3.14. Elyaf sarma düzeneği (Tsai, et al., 2003).



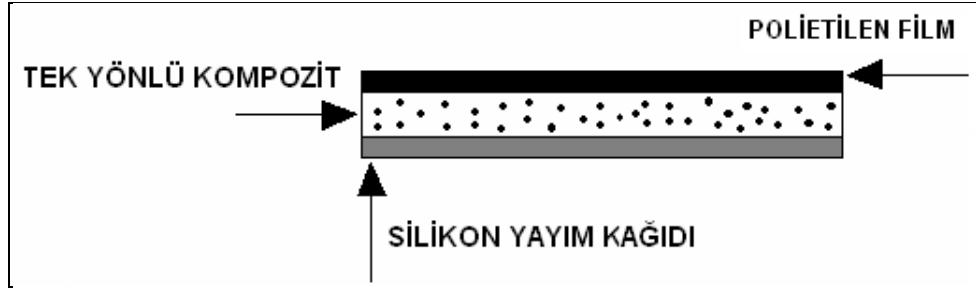
Şekil 3.15. Kar kayaklarının kompozit malzeme ile üretilme aşaması



Şekil 3.16. Elyaf sarma makinesi

3.2.7. Tabakalı Birleştirme Yöntemi

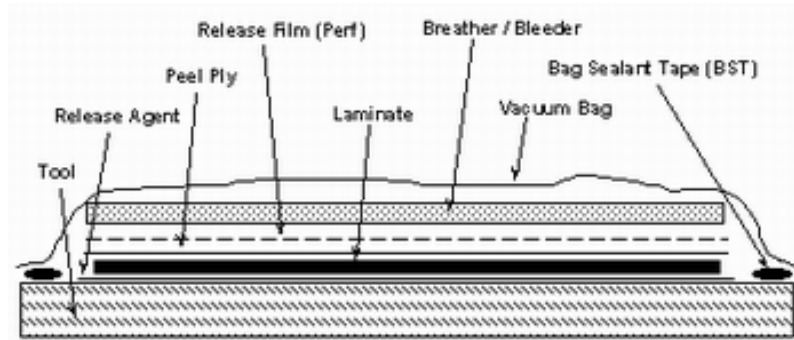
Açık yapılar şekillenmiş kalıp yüzeyi ile ısıtılmış zımba arasında sıcak presleme usulü ile uygun şekilde üretilir. Ön gömülmüş elyaf (prepreg)'lerin reçine ile doyurulması ile preslenir veya sarılarak üretilir. Tabakalı birleştirme şeması şekil 3.17'de verilmiştir (Kılıç, 2006).



Şekil 3.17. Tabakalı birleştirme şeması (Tsai, et al. 2003).

3.2.8. Vakum yapıştırma yöntemi

Kompozit malzeme önce bir kalıba yerleştirilir, ardından bir vakum torbası yerleştirilir. İçerideki havanın emilmesiyle, yatırılan malzemenin üzerine bir atmosferik basınç uygulayarak aşağıya çekilir. Sonra tüm bileşim bir fırına yerleştirilerek reçinenin kür işlemi için ısıtılır. Bu yöntem sıklıkla elyaf sarma ve yatırma teknikleri ile bağlantılı olarak uygulanır. Kompozit malzeme tamir işlemlerinde de vakum yapıştırma yöntemi kullanılmaktadır. Vakum yapıştırma yöntem şekil 3.18'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Vakum yapıştırma yöntemi

3.2.9. Otoklav yapıştırma yöntemi

Termoset kompozit malzemelerin performanslarını artırmak için elyaf/reçine oranını artırmak ve malzeme içinde oluşabilecek hava boşluklarını tamamen gidermek gerekmektedir. Bunun sağlanması için malzemeyi yüksek ısı ve basınca uygulayarak sağlanabilir. Vakum yapıştırma yöntemindeki gibi sızdırmaz bir torba ile elyaf/reçine yatırmasına basınç uygulanabilir. Fakat bir atmosferden fazla düzenli ve kontrol edilebilir bir basıncın uygulanabilmesi için dışsal basınca ihtiyaç duyulur. Bu uygulama için, otoklav yönteminde de uygulanan ve kompleks şekillerde en çok kontrol edilebilen metot, dışarıdan sıkıştırılmış gazın kompozit malzemenin içinde bulunduğu kaba verilmesidir.

Otoklav, kesin basıncın, ısının ve emişin kontrol edilebildiği basınçlı bir kaptır. Vakum yapıştırma yöntemi ile benzerdir. Fırın yerine bir otoklav kullanılır. Böylece özel amaçlar için yüksek kalitede kompozit üretebilmek için kür şartları tam olarak kontrol edilebilir. Bu yöntem diğerlerine oranla daha uzun sürede uygulanır ve daha pahalıdır.

3.3. KOMPOZİT MALZEME KULLANIM ALANLARI

Kompozit malzemeler artık gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır. Bu amaçla, yaygın şekilde cam elyafı, bor elyaflar, silisyum karbür elyaflar, alumina elyaflar, grafit (karbon) elyaflar, cam keçe ve cam dokuma ile Elyaf oranı % 30– 40 olan polyester reçineden yapılan çeşitli ürünlerde kullanılmaktadır. Havacılık sanayi, denizcilik sanayi, spor araçları, korozyona dayanıklı ürünler, sağlık, ulaşım, otomotiv sektörü, yapı sektörü bu kompozitlerin uygulama alanlarından bazılarıdır. Ayrıca formika, baskılı devre plakası, elektrikçi fiberleri, spor malzemeleri ve araç şarjı atlama sıırıkları, kaynak takımı, tenis raketi, yarış kanoları değişik birleşik malzemelerden yapılan ürünlerdir (Ünal, 2010).

Özellikle uzay ve havacılık sanayisinde, birleşik malzemelerin kullanımı başta hafiflik ve sağlamlık nitelikleri sayesinde. Amaç daha az yakıt harcamak, daha yüksek hıza ulaşmak ve verimliliği sağlamaktır. Bu kullanımda sadece maddi kazanç düşünülmeyp stratejik performanslarda dikkate alınmıştır. Özellikle titreşim, yorulma ve ısı dayanımı gibi nitelikler uzay ve havacılık sanayinde birleşik malzemelerin önde gelen avantajlarıdır.

Birleşik malzemeler, değerli niteliklerden dolayı uzay ve havacılık araçlarında gittikçe daha fazla kullanılmaktadır. Bugün bir av bombardıman uçağında birleşik malzeme kullanımı toplam uçak ağırlığının yarısına ulaşmış bulunmaktadır. Bu sayede bor karbür, silisyum karbür, alümina karbon, cam ve kevlar elyafı değişik reçinelerle değişik birleşik malzemeler yapımında kullanılmaktadır.

Fakat Mühimmat Sanayisinde, birleşik malzemelerin kullanımı pek yaygın değildir. Sadece 3000 bara kadar dayanabilen 60 ve 81 mm gibi küçük çaplı havanlar için bazı çalışmalar olmuştur. Bu silahlar hafifliği nedeniyle piyadenin savaş performansını artırıcı niteliktedir.

Roket üretiminde birleşik malzemelerin rolü oldukça büyüktür. Örnek olarak M72 de motor lançeri cam elyafı ve epoksiden, apilasta ve diğer tanksavar roketlerde gövde kısmen kevlar ve epoksiden, M77 MLRS de lüle (nozzle) karbon birleşik malzemesinden yapılmaktadır.

Mühimmat üretiminde de birleşik malzemeler kısmen kullanılmaktadır. M19 A/T mayınında gövde ABS reçine ve cam elyaf parçacıklarından, bu mayına ait küçük ve büyük belleville yayları cam doku ve fenolik reçineden yapılmışlardır. 155mm lik ICM mühimmatı gövdelerinde cam elyafı epoksi sargı vardır. Miğfer konusunda kevlar ve değişik reçineler kullanılmaktadır. Kurşungeçirmez yeleklerde günümüzde bitişli kevlardan, balistik testler için zırh levhaları cam ve fenolik reçineler imal edilmektedir ve tasarım alternatiflerinin bulunmasıyla git gide artacak ve birçok avantajlarıyla insanlığın hizmetine verilmiş olacaktır (Ünal, 2010).

3.4. AHŞAP MALZEMEDE KARBON FİBER (CFRP) VE CAM FİBER (GFRP) İLE LAMİNASYON VE GÜÇLENDİRME UYGULAMALARI

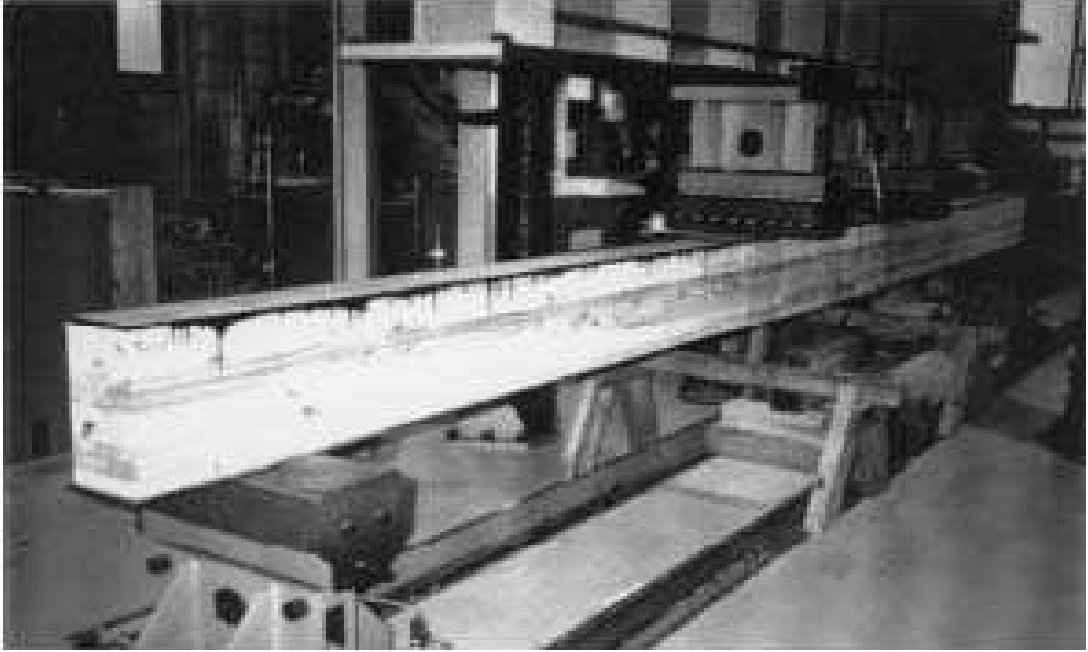
Günümüzde tarihi ahşap evlerin çoğu yıkılmış birçoğu da hasar görmüştür. Bu durum mevcut ahşap yapılarımızın güvenli ve hızlı bir şekilde onarım ihtiyacını doğurmuştur. Klasik restorasyon teknikleri tarihi dokuyu koruma, zaman maliyet ve güvenlik açısından geliştirilebilir. Ahşap yapıların taşıyıcı elemanlarının CFRP ile onarımının çok kısa sürede yapılması hem güvenlik hem de zaman ve görsellik açısından büyük önem taşımaktadır. CFRP'lerle güçlendirilmiş ahşap taşıyıcı sistemler şekil 3.19'da verilmiştir (Akgül, 2007).



Şekil 3.19. Ahşap taşıyıcı sistemlerin CFRP'ler ile güçlendirilmesi (Steiger, 2003).

Şekil 3.19'da görüldüğü gibi, yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler incelendiğinde, fiber takviyeli ürünler ile yapılan ahşap güçlendirmelerden olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu olumlu sonuçlar yeni yapılan ahşap binaların birleşim bölgelerinde FRP'ler ile güçlendirme yöntemlerinin, tercih sebebi olmuştur.

Karbon fiber kumaş (CFRP) ile güçlendirilmiş kiriş deneyi testinin uygulanması şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. CFRP’ler ile güçlendirilmiş kiriş deneyi (Ogawa, 1999).

Güçlendirme çalışmalarında kullanılan FRP’lerden genellikle üstün dayanım özelliklerinden dolayı karbon fiber kumaş ve karbon fiber elyaf şeritler tercih edilmektedir.

BÖLÜM 4

MATERYAL

4.1. AĞAÇ MALZEME

Diri odunu yarıçapın üçte birini kaplayacak şekilde geniş, sarımsı veya kırmızımsı beyaz, öz odunu ise açık kırmızımsı kahve renktedir. Yıllık halka sınırları belirgin ve hafif dalgalıdır. Radyal ve teğet kesitleri parlak, sık ve geniş reçine kanalları barındıran ve islenmesi kolay olan bir ağaç türüdür (Örs ve Keskin, 2001).

Tam kuru yoğunluğu (D₀) 0,49 g/cm³, hava kurusu yoğunluğu (D₁₂) 0,52 g/cm³ tür. E-modülü 11700 N/mm², eğilme direnci (σ_E) 68 N/mm², liflere paralel çekme direnci (σ_g) 102 N/mm², liflere paralel basınç direnci (σ_B) 54 N/mm²dir (Bozkurt ve Erdin, 2000).

Sarıçam, ahşap pencere doğraması olarak en yaygın kullanım alanı bulan iğne yapraklı ağaç türlerinden biridir. Kolay ve iyi işlenebilir olması, çivi ve vida tutma kabiliyetinin iyi olması, yeterli fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olması, kolay temin edilebilmesi nedeniyle ahşap pencere doğraması üretiminde tercih edilmektedir. Yüksek rutubet derecelerinde oldukça fazla mavi renklenme görülmektedir. Özodunu mantar zararlarına oldukça dayanıklıdır. Diri odun ise mantar zararlarına dayanıksız olup buna karşılık kolay empenye edilebilir.

4.2. YAPIŞTIRICILAR

CFRP ve GFRP kompozit malzemelerin ahşap yüzeylere yapıştırılmasında ince uygulamalar için özel olarak geliştirilmiş, çift bileşenli epoksi reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) poliüretan esaslı (PU) yapıştırıcı kullanılmıştır.

Epoksi reçine L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) poliüretan esaslı (PU) yapıştırıcı ahşap malzemelere mükemmel yapışma sağlayan, istenen mekanik mukavemete çok hızlı ulaşan bir epoksidir. MGS laminasyon epoksi seti şekil 4.1’de verilmiştir.



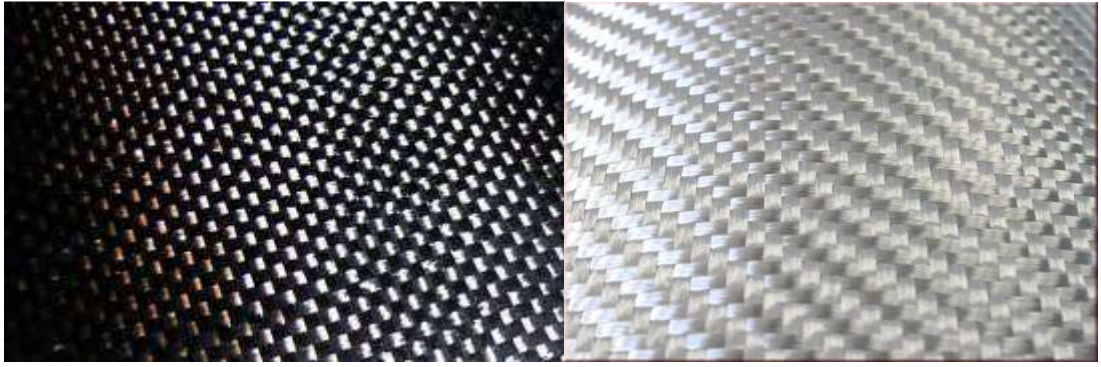
Şekil 4.1.MGS Laminasyon epoksi seti L285/H285-1,4kg SET A+B

Çift bileşenli olarak üretilen Epoksi reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) poliüretan esaslı (PU) yapıştırıcı, A ve B bileşeni, ağırlıkça 1/2 oranında homojen ve gri bir renk alana kadar birbirine karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım rulo ile yapıştırılacak yüzeye ince bir katman oluşturacak şekilde sürülmüştür. FRP kumaşları ile yapıştırılarak hazırlanan örnekler, 10 kg/cm² basınç altında preste 1 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 1 gün bekletilerek deneye hazırlanmıştır.

4.3. FİBER KUMAŞLARI

Bu çalışmada kullanılmak üzere, ülkemiz piyasasındaki FRP kompozitleri incelenmiş ve yapılacak güçlendirme çalışmasına uygun ebat ve form olarak 1 mm kalınlığında CFRP kumaş numuneleri, ülkemizde kompozit malzeme sağlayıcısı dost kimya endüstriyel hammaddeler sanayi ve tic. ltd. şti. firmasından temin edilmiştir. Bu karbon fiber kumaş (CFRP) ve cam fiber kumaş (GFRP) şekil 4.2 ve şekil 4.3'te verilmiştir.



Karbon fiber kumaş (CFRP)

Cam fiber kumaş (GFRP)

Şekil 4.2. Fiber kumaşları



Şekil 4.3. Fiber kumaş kaplama seti

4.4. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Yapılan bu çalışmada, sarıçam örneklerine, epoksi reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı ile FRP güçlendirmesi yapılmış, hazırlanan örnekler liflere paralel doğrultuda, statik eğilme, şok ve basınç tayini deneylerine tabi tutulmuştur.

4.4.1. Ağaç Deney Örneklerinin Hazırlanması

Deney örneklerinin hazırlanmasında kullanılan sarıçam, 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.

Örnekler birinci sınıf çatlaksız ve budaksız keresteden alınmıştır. Deney örnekleri, lif doğrultusuna paralel olacak şekilde kesilerek hazırlanmıştır. Deney örnekleri kurutulmuş ahşaptan elde edilmiştir. Deney örneklerinin rutubet miktarı % 10-12 aralığındadır. Deney örneklerinin boyutları kumpasla tespit edilmiştir. Deney örneklerinin boyutlarının her tarafında eşit olmasına özen gösterilmiştir. Her deney grubu için 10 adet deney örneği hazırlanmıştır. Tüm deney örnekleri aynı şartlar altında deneye tabi tutulmuştur.

Bu hususlar göz önünde bulundurularak her grup için 10 adet örnek hazırlanmış, 12 farklı deney grubu için toplam 120 adet deney örneği elde edilmiştir.

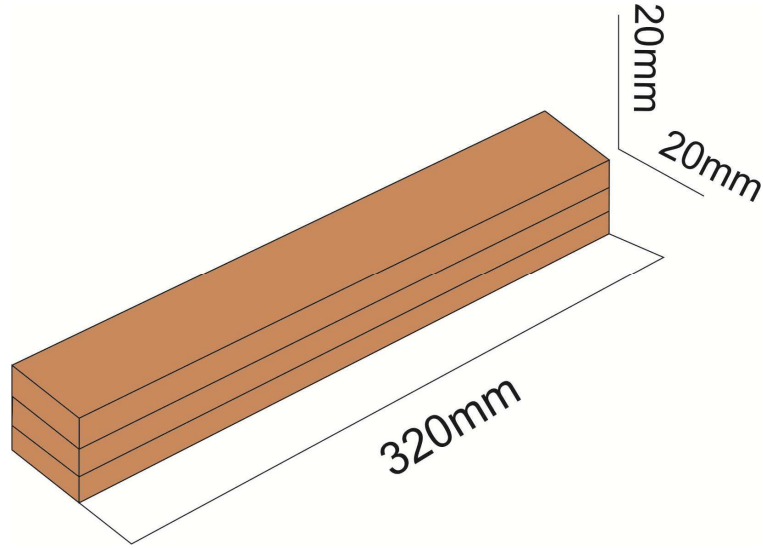
4.4.2. FRP Deney Örneklerinin Hazırlanması

Dost kimya endüstriyel hammaddeler sanayi ve tic. ltd. şti. firmasından temin edilmiş, tabakalı birleştirme yöntemiyle üretilmiş FRP kumaş malzeme örnekleri her deney grubu için 10 adet olmak üzere toplam 120 adet hazırlanmıştır.

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

4.4.3. Statik Eğilme Deneyi

Statik eğilme deneyi, karbon fiber kumaş (CFRP) ve cam fiber kumaş (GFRP) kullanılarak epoksi reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) ile ½ oranında yapıştırıcı ile yapılan güçlendirme çalışmasının, sarıçam örneklerindeki eğilme direnci değerlerini tespit etmek ve masif ahşap değerleriyle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, TS 2474 esaslarına uygun olarak, 20x20mm boyutlarında 320mm uzunluğunda hazırlanan deney örnekleri, universal test cihazında statik eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Statik eğilme deneyi örneği şekil 4.4'te, pu ve cam fiber (GFRP) ile güçlendirilmiş sarıçam numuneleri şekil 4.5'te, autograph universal test cihazı şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. Statik eğilme deneyi örneği



Şekil 4.5. PU, CFRP GFRP ile güçlendirilmiş sarıçam numuneleri



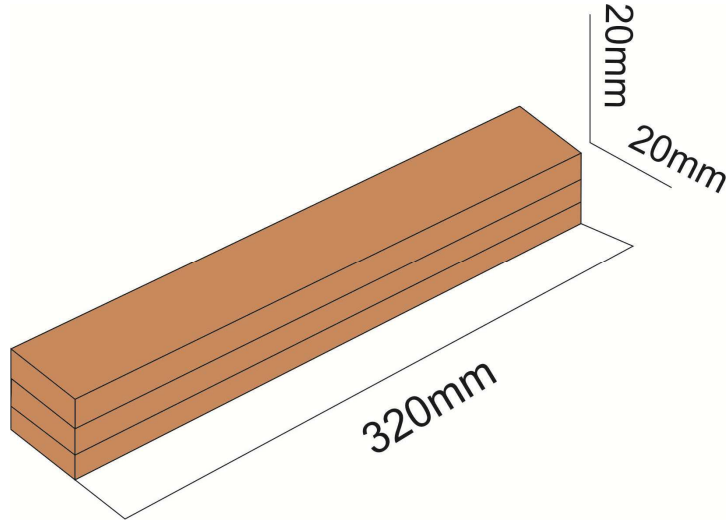
Şekil 4.6. Autograph üniversal test cihazı.

Deneyin yapılışında şu hususlara dikkat edilmiştir; deney parçasının orta yerinden olmak üzere, eni radyal yönde, kalınlığı teğetsel yönde 0,1 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Deney parçasının üniversal 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. Üniversal test cihazının

yükleme hızı, deney parçasının deneye başladıktan 1-2 min sonra kırılacak şekilde ayarlanmıştır. Deney parçalarına iki aşamalı sabit bir hızla yüklemeye yapılmıştır.

4.4.4.Dinamik Eğilme Deneyi

Şok direnci deneyi, poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) ve FRP ile yapılan güçlendirme çalışmasının, sarıçam örneklerindeki şok direnci değerlerini tespit etmek ve masif ahşap değerleriyle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, TS 2477 esaslarına uygun olarak, 20mm eninde, 20mm genişliğinde boyutlarında 320mm uzunluğunda 3 katman olarak hazırlanan deney örnekleri, pandüllü çekiç aleti ile şok direncine tabi tutulmuştur. TS 2475 numaralı Standard göz önünde bulundurularak deneyin yapılmıştır. Dinamik eğilme deneyi örneği şekil 4.7’te, PU, CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş sarıçam numuneleri şekil 4.8’de, pandüllü çekiç aleti şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7. Dinamik eğilme deneyi örneği



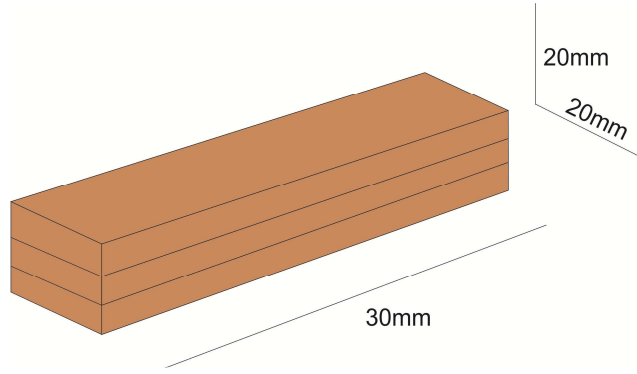
Şekil 4.8. PU, CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş sarıçam numuneleri



Şekil 4.9. Pandüllü çekiç aleti

4.4.5. Liflere Paralel Basınç Deneyi

FRP kullanılarak poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) ile yapılan güçlendirme çalışmasında, basınç direnci değerlerini tespit etmek ve masif ahşap değerleriyle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, TS 2595 esaslarına uygun olarak, 20x20 mm boyutlarında 30 mm uzunluğunda ve 3 katmandan hazırlanan deney örnekleri, üniversal test cihazında basınç deneyine tabi tutulmuştur. Basınç deneyi örneği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Basınç deneyi örneği

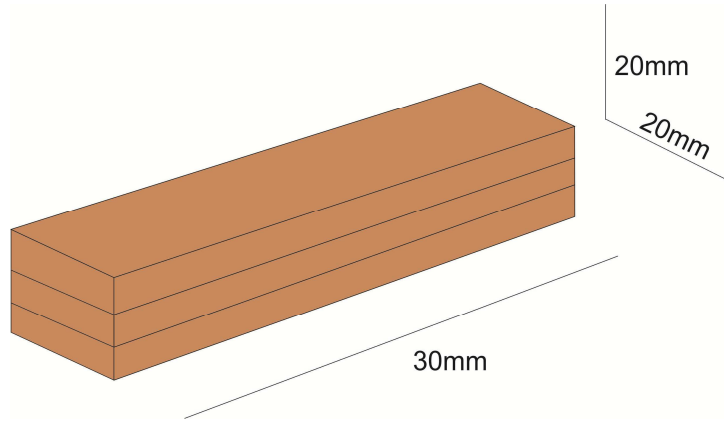
Deneyin yapılışında aşağıdaki hususlara dikkat edilmiştir. Deney parçalarının en kesit boyutları, uzunluk ekseninin ortasında 0,1 mm duyarlılıkta ölçülmüştür. Deney parçasının uçlarına homojen ve eşit miktarda yük düşecek şekilde yükleme yapılmıştır. Deney hızı, deney parçası yük uygulanmaya başladıktan 1,5-2 min sonra kırılacak şekilde ayarlanmıştır. Basınç deneyi numuneleri Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Pu, CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş liflere paralel basınç numuneleri

4.4.6.Liflere Dik Basınç Deneyi

Basınç direnci deneyi, FRP kullanılarak poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) ve ile yapılan güçlendirme çalışmasının, sarıçam örneklerindeki basınç direnci değerlerini tespit etmek ve masif ahşap değerleriyle karşılaştırabilmek amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla, TS 2595 esaslarına uygun olarak, 20x20 mm boyutlarında 30 mm uzunluğunda ve 3 katmandan hazırlanan deney örnekleri, universal test cihazında basınç deneyine tabi tutulmuştur. TS 2595 numaralı Standard baz alınarak deney yapılmış ve değerler N/mm² olarak hesaplanmıştır. Liflere dik basınç direnci deneyi numuneleri şekil 4.12 ve şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.12. Liflere dik basınç direnci deneyi örneği



Şekil 4.13. Pu, CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş liflere dik basınç numuneleri

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada ilk olarak güçlendirme yapılmamış sarıçam odunundan elde edilmiş masif ağaç örneklerinin gerilme değerleri tespit edilmiştir. Bu değerler, poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı ve farklı FRP (fiber) kumaş kullanılarak yapılan güçlendirilmiş örneklerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

5.1. STATİK EĞİLME DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve lamine ağaç malzeme örneklerinin statik eğilme deneyi sonucunda elde edilen ortalama değerler Çizelge 5.1’de, tek yönlü varyans analiz sonuçları çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kontrol ve lamine ağaç malzemelerin statik eğilme değerleri (N/mm²)

Malzeme	Örnek Sayısı	Ortalama N/mm ²	Maksimum N/mm ²	Minimum N/mm ²	Standart Sapma
Karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	81.5470	93.745	72.491	7.47849
Cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	71.5460	85.932	65.540	6.46122
Tutkallı Lamine ağaç malzeme	10	45.3300	60.913	37.552	8.39479
Kontrol	10	53.7710	60.164	45.593	4.29719

Poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak, karbon fiber kumaş (CFRP) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin ortalama eğilme direnci 81.54N/mm², poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak, cam fiber (GFRP) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin

eğilme direnci ortalamaları 71.54N/mm², poliüretan esaslı reçine ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin eğilme direnci ortalamaları 45.33N/mm², kontrol guruplarından masif sarıçam örneklerinin eğilme direnci ortalamaları da 53.77N/mm², olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.2. Statik eğilme tek yönlü anova testi sonucu

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem düzeyi
Gruplar arasında	8144.193	3	2714.731	58.189	.000
Gruplar İçinde	1679.521	36	46.653		
Toplam	9823.714	39			

Tek Yönlü varyans analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin statik eğilme direnci ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.

Lamine ağaç malzemeye bağlı olarak statik eğilme değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Lamine ağaç malzemenin statik eğilmeye etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

Malzeme Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Tutkallı lamine	45,33	a
Kontrol	53,77	b
Cam fiber	71,55	c
Karbon fiber	81,55	d

Lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, tutkallı Lamine ağaç malzeme ve kontrol numuneleri eğilme direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmektedir.

5.2.DİNAMİK EĞİLME (ŞOK DİRENCİ) DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve lamine ağaç malzeme örneklerinin şok direnci deneyi sonucunda elde edilen ortalama değerler çizelge 5.4'te, tek yönlü varyans analiz sonuçları çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kontrol ve lamine ağaç malzemelerin şok direnci değerleri (k/pm).

Malzeme	Örnek Sayısı	Ortalama K/pm	Maksimum K/pm	Minimum K/pm	Standart Sapma
Karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	2.3000	3.5	1.8	.58689
Cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	1.9500	2.4	1.7	.23333
Tutkallı Lamine ağaç malzeme	10	1.4300	1.9	1.1	.28790
Kontrol	10	1.6600	2.1	1.3	.23190

Poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak CFRP (karbon fiber kumaş) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin ortalama şok direnci 2.3K/pm, poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak GFRP (cam fiber kumaş) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin şok direnci ortalamaları 1.95K/pm, poliüretan esaslı reçine ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin şok direnci ortalamaları 1.43K/pm, kontrol guruplarından masif sarıçam örneklerinin şok direnci ortalamaları da 1.66K/pm, olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.5. Dinamik eğilme (şok direnci) tek yönlü anova testi sonucu

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem düzeyi
Gruplar arasında	4.241	3	1.414	10.559	.000
Gruplar İçinde	4.820	36	.134		
Toplam	9.061	39			

Tek yönlü varyans analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin şok direnci ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Lamine ağaç malzemeye bağlı olarak dinamik eğilme değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Lamine ağaç malzemenin dinamik eğilmeye etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

Malzeme Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Tutkallı lamine	1,43	a
Kontrol	1,66	ab
Cam fiber	1,95	b
Karbon fiber	2,30	c

Lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, tutkallı lamine ağaç malzeme ve kontrol numuneleri eğilme direnci şok direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmemektedir. Etkileşimlerde karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme örnek grupları ile diğerleri arasında fark görülmüştür.

5.3. LİFLERE PARALEL BASINÇ DİRENCİ DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve lamine ağaç malzeme örneklerinin liflere paralel basınç direnci deneyi sonucunda elde edilen ortalama değerler çizelge 5.7’de, tek yönlü varyans analiz sonuçları çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.7.Kontrol ve lamine ağaç malzemelerin liflere paralel basınç direnci ortalama değerleri (N/mm²).

Malzeme	Örnek Sayısı	Ortalama N/mm ²	Maksimum N/mm ²	Minimum N/mm ²	Standart Sapma
Karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	58.0620	63.99	52.80	3.89700
Cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	54.3340	59.77	49.94	2.79451
Tutkallı Lamine ağaç malzeme	10	47.0380	62.19	37.79	6.76376
Kontrol	10	50.9210	55.76	43.45	4.72240

Poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak CFRP (karbon fiber kumaş) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin liflere paralel basınç direnci deneyi ortalamaları 58.06N/mm², poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak GFRP (cam fiber kumaş) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin liflere paralel basınç direnci deneyi ortalamaları 54.33N/mm², poliüretan esaslı reçine ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin liflere paralel basınç direnci deneyi ortalamaları 47.03N/mm², kontrol guruplarından masif sarıçam örneklerinin liflere paralel basınç direnci deneyi ortalamaları 50.92N /mm², olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.8. Liflere paralel basınç deneyi tek yönlü anova testi sonucu

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem düzeyi
Gruplar arasında	665.946	3	221.982	9.753	.000
Gruplar İçinde	819.409	36	22.761		
Toplam	1485.355	39			

Tek yönlü varyans analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin liflere paralel basınç direnci ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Lamine ağaç malzemeye bağlı olarak liflere paralel basınç direncine değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9.Lamine ağaç malzemenin liflere paralel basınç direncine etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

Malzeme Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Tutkallı lamine	47,03	a
Kontrol	50,92	ab
Cam fiber	54,33	bc
Karbon fiber	58,06	c

Lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, tutkallı lamine ağaç malzeme ile kontrol numuneleri, kontrol numuneleri ile cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme ve karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme ile cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme; liflere paralel basınç direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmemektedir.

5.4. LİFLERE DİK BASINÇ DİRENCİ DENEYİNE İLİŞKİN BULGULAR

Sarıçam ağaç malzemenin kontrol ve lamine ağaç malzeme örneklerinin liflere dik basınç direnci deneyi sonucunda elde edilen ortalama değerler çizelge 5.10'da, tek yönlü varyans analiz sonuçları çizelge 5.11'de verilmiştir.

Çizelge 5.10. Kontrol ve lamine ağaç malzemelerin liflere dik basınç direnci ortalama değerleri (N/mm²).

Malzeme	Örnek Sayısı	Ortalama N/mm ²	Maksimum N/mm ²	Minimum N/mm ²	Standart Sapma
Karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	15.0100	15.02	15.00	.00667
Cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme	10	15.0090	15.01	15.00	.00316
Tutkallı Lamine ağaç malzeme	10	15.0200	15.04	15.00	.01764
Kontrol	10	14.3970	15.02	8.86	1.94551

Poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak CFRP(karbon fiber kumaş) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin liflere dik basınç direnci deneyi ortalamaları 15.0100N/mm² olarak tespit edilmiştir. Poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) yapıştırıcı kullanılarak GFRP (cam fiber kumaş) ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin liflere dik basınç direnci deneyi ortalamaları 15.0900N/mm², olarak bulunmuştur. Poliüretan esaslı reçine ile güçlendirilmiş sarıçam örneklerinin liflere dik basınç direnci deneyi ortalamaları 15.0200N/mm², olarak bulunmuştur. Kontrol gruplarından masif sarıçam örneklerinin liflere dik basınç direnci deneyi ortalamaları 14.3970N/mm², olarak bulunmuştur.

Çizelge 5.11. Liflere paralel basınç deneyi tek yönlü anova testi sonucu

Varyans Kaynakları	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama Kareler	F Hesap	Önem düzeyi
Gruplar arasında	2.847	3	.949	1.003	.403
Gruplar İçinde	34.069	36	.946		
Toplam	36.915	39			

Tek yönlü varyans analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin liflere dik basınç direnci ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Lamine ağaç malzemeye bağlı olarak liflere dik basınç direncine değer değişimlerinin anlamlı olduğunu saptamak için yapılan duncan testi sonuçları Çizelge 5.12’de verilmektedir.

Çizelge 5.12. Lamine ağaç malzemenin liflere dik basınç direncine etkisine ilişkin duncan testi sonuçları.

Malzeme Türü	Ortalama	Homojenlik Grubu
Tutkallı lamine	15,02	a
Kontrol	14,39	a
Cam fiber	15,00	a
Karbon fiber	15,01	a

Lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, tutkallı Lamine ağaç malzeme ve kontrol numuneleri liflere dik basınç direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmemektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada; sarıçam odunundan 6mm kalınlığında katmanlar üretilmiş; bu katmanlar karbon fiber kumaş (CFRP), cam fiber kumaş (GFRP) ve özel fiber kumaş yapıştırıcısı olan poliüretan esaslı reçine + L285(reçine) + H285 (sertleştirici) ile ½ oranında eklenerek 3 kat üst üste yapıştırılmıştır. Bu yöntemle elde edilen lamine ağaç malzemelerin mekanik performanslarında meydana getirdiği değişim miktarının belirlenmesinin araştırıldığı bu çalışma sonucunda;

1. Tek yönlü varyans (anova) analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin statik eğilme direnci ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.
2. Statik eğilme direnci deneyi duncan test sonucuna göre, lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, tutkallı Lamine ağaç malzeme ve kontrol numuneleri eğilme direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmektedir.
3. Statik eğilme direnci deneyi örneklerinde, en büyük artış miktarı PU esaslı yapıştırıcı + CFRP (karbon fiber kumaş) ile yapılan güçlendirmede 81,54 N/mm² olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İkinci değer ise PU esaslı yapıştırıcı + GFRP (cam fiber kumaş) ile yapılan deney numuneleri sonucu 71,54 N/mm² olarak bulunmuştur. Üçüncü değer kontrol numunelerinde 53,77 N/mm² olarak bulunmuştur. En düşük değer ise, tutkallı lamine ağaç malzeme numunelerinde 45,33 N/mm² olarak tespit edilmiştir. Bu da PU esaslı yapıştırıcı + CFRP (karbon fiber kumaş) ile güçlendirilen laminasyon ağaç malzemenin en düşük değerden %80, kontrol numunelerine göre de %52 dahi

iyi statik eğilme direncine sahip olduğunu gösterir. Statik eğilme direnci deneyinin sonucuna göre PU esaslı yapıştırıcı ve CFRP (karbon fiber kumaş) ile elde edilmiş lamine ağaç malzeme statik yüklere maruz kalan yerlerde kontrol numuneleri deneyi sonucuna göre %52 daha iyi mukavemet sağlayacağından kullanımı literatüre göre uygundur.

4. Tek yönlü varyans (anova) analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin dinamik eğilme (şok direnci) ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.
5. Dinamik eğilme (şok direnci) deneyi duncan test sonucuna göre, lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, tutkallı lamine ağaç malzeme ve kontrol numuneleri eğilme direnci şok direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmemektedir. Etkileşimlerde karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme örnek grupları ile diğerleri arasında fark görülmüştür.
6. Dinamik eğilme direnci deneyi sarıçam örneklerinde en büyük artış miktarı, PU esaslı yapıştırıcı + CFRP (karbon fiber kumaş) ile yapılan güçlendirilmede 2.30K/pm olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İkinci değer ise PU esaslı yapıştırıcı + GFRP (cam fiber kumaş) ile yapılan deney numuneleri sonucu 1.95K/pm olarak bulunmuştur. Üçüncü değer kontrol numunelerinde 1.66 K/pm olarak bulunmuştur. En düşük değer ise, tutkallı lamine ağaç malzemedede 1.43K/pm olarak bulunmuştur. Bu da PU esaslı yapıştırıcı + CFRP (karbon fiber kumaş) ile yapılan güçlendirmenin, en düşük değer olan tutkallı lamine ağaç malzemededen %60, kontrol numunelerine göre de %39 daha iyi bir dinamik eğilme direncine sahip olduğunu gösterir. Dinamik eğilme direnci deneyinin sonucuna göre PU esaslı yapıştırıcı ve CFRP (karbon fiber kumaş) ile elde edilmiş lamine ağaç malzeme dinamik yüklere

maruz kalan yerlerde, kontrol numuneleri deneyi sonucuna göre %39 daha iyi mukavemet sağlayacağından kullanımı literatüre göre uygundur.

7. Tek yönlü varyans (anova) analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin liflere paralel basınç direnci ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur.
8. Liflere paralel basınç direnci deneyi duncan test sonucuna göre, lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, tutkallı lamine ağaç malzeme ile kontrol numuneleri, kontrol numuneleri ile cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme ve karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme ile cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme; liflere paralel basınç direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmemektedir.
9. Liflere paralel basınç direnci deneyi sarıçam örneklerinde en büyük artış miktarı, PU esaslı yapıştırıcı + CFRP (karbon fiber kumaş) ile yapılan güçlendirilmede basınç direnci 58.06 N/mm^2 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İkinci değer ise PU esaslı yapıştırıcı + GFRP (cam fiber kumaş) ile yapılan deney numuneleri sonucu $54,33 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. Üçüncü değer kontrol numunelerinde $50,92 \text{ N/mm}^2$ olarak bulunmuştur. En düşük değer ise, tutkallı lamine ağaç malzeme numunesinde 47.03 N/mm^2 , olarak bulunmuştur. Bu da PU esaslı yapıştırıcı + CFRP (karbon fiber kumaş) ile yapılan güçlendirmenin, en düşük değer olan tutkallı lamine ağaç malzeme numunesinden %23, kontrol numunesinden %16 daha iyi bir Liflere paralel basınç direncine sahip olduğunu gösterir. Liflere paralel basınç direnci deneyinin sonucuna göre PU esaslı yapıştırıcı ve CFRP (karbon fiber kumaş) ile elde edilmiş lamine ağaç malzeme Liflere paralel basınç yüklerine maruz kalan yerlerde kontrol numunesine göre %16 daha iyi mukavemet sağlayacağından kullanımı literatüre göre uygundur.

10. Tek yönlü varyans (anova) analiz sonuçları çizelgesine göre; gruplar arası etkileşim ele alındığında, lamine takviye malzemelerinin liflere dik basınç direnci ortalama değerleri üzerinde etkileri istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur.
11. Liflere dik basınç direnci deneyi duncan test sonucuna göre, lamine takviye malzemelerinin istatistiksel olarak karşılaştırılmasının yapılması sonucu, karbon fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, cam fiber takviyeli lamine ağaç malzeme, tutkallı Lamine ağaç malzeme ve kontrol numuneleri liflere dik basınç direnci değerlerinde istatistiksel olarak fark görülmemektedir
12. Liflere dik basınç direnci deneyi sarıçam örneklerinde en yüksek değer ile en düşük değer arasında, her hangi bir artış miktarı olmamıştır. Bunun sebebi ise tek bir yüzeyden yapılan güçlendirmenin, ahşap malzemeye liflere paralel doğrultuda basınç kuvveti uygulandığı zaman liflerin birbirinden ayrılmasını engellemediği için yapılan güçlendirmenin yeterliği olduğu sonucuna varılmıştır.
13. Aynı zaman da 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. Sonuçların anlamlı olduğu saptanmıştır.
14. Günümüzde geniş kullanım alanı olan fiber takviyeli kompozitlerin birçok sektörde, özellikle ahşap yapılarda güçlendirme uygulamaları olarak kullanım alanı giderek yaygınlaşmaktadır. CFRP'lerin fiziksel özelliklerine göre mekanik dayanımı ahşap malzemedен daha yüksek olduğu için güçlendirme çalışmasında CFRP kullanımını uygun bulunmuştur.
15. Ahşap malzemelerde PU esaslı yapıştırıcı + CFRP (karbon fiber kumaş) kullanılarak bölgesel güçlendirme yapılabilir.

16. Daha küçük malzeme kesiti ile istenilen dayanımda ahşap yapılar tasarlanabilir. CFRP ile güçlendirme yapılan ahşap yapı elemanları ile daha büyük açıklıklar kolonsuz geçebilir.
17. Geleneksel restorasyon yöntemlerinde kullanılan metal esaslı malzemeler yerine CFRP ile güçlendirilmiş, estetik ve hafif olarak tasarlanmış yapı malzemeleri kullanılabilir.
18. 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.
19. Özetle, tarihi binaların restorasyonunda ya da ahşap yapı elemanlarının güçlendirilmesi çalışmalarında, güçlendirme malzemesi olarak CFRP (karbon fiber kumaş) ile yapıştırıcı olarak Poliüretan esaslı reçine + L285 (reçine) + H285 (sertleştirici) tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

1. Akgül, T., “Ahşapların ve birleşim noktalarının fiber takviyeli polimerlerle güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 13-42 (2007).
2. Arıcasoy, O., Kompozit sektörü raporu (2006), “**Şişecam Topluluğu Dergisi**”, Cam Elyaf, Bülten Sayı 6, *Cam Elyaf Sanayi A.Ş.* İstanbul, 8-15 (2012).
3. Asarcıklı, M., ve Keskin, H., “Ahşap süsleme teknikleri”, Ders Kitabı, *Gazi Kitabevi*, Ankara, 1-3 (2005).
4. 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).
5. Bozkurt, A. Y., Erdin, N., “Ağaç teknolojisi”, Ders Kitabı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 1-6, 225-237, 334-342 (1997).
6. Bozkurt, A. Y., ve Erdin, N., “Odun anatomisi”, Ders Kitabı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 268-287 (2000).
7. Bozkurt, A. Y., ve Göker, Y., “Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi”, Ders Kitabı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 14-48,150-218 (1987).
8. Çobancaoğlu, T., “Türkiye’de ahşap evin bölgelere göre yapısal olarak incelenmesi ve restorasyonlarında yöntem önerileri”, Doktora tezi, *MSÜ Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, 38-52 (1998).
9. 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).
10. Doğançün, A., Tuluk, Ö. İ., Acar, R., ve Livaoğlu, L., “Geçmişten günümüze ahşap yapılarda taşıyıcı sistemler”, Ahşap-Yapı Malzemeleri Sektör Dergisi, *Marka Yayınları*, Trabzon, 4 (22): 57-61 (2004).
11. Duman, N., ve Ökten, S., “Ahşap yapı dersleri 1”, *Yapı Endüstri Merkezi Yayın Bölümü*, İstanbul, 1-3 (1988).

12. Eraslan, Z., “Safranbolu evlerinde kullanılan yapı malzemelerinin ses iletkenliğinin deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 19-23 (2009).
13. Günay, R., “Geleneksel ahşap yapılar sorunları ve çözüm yolları”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul, 43-64 (2002).
14. 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).
15. İnternet: Orman Genel Müdürlüğü “Ormanlarımızda yayılış gösteren asli ağaçtürleri”, http://web.ogm.gov.tr/Resimler/sanalkutuphane/agac_turleri.pdf (2010).
16. İnternet: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi “Ağaç malzeme bilgi sistemi”, <http://www.orman.istanbul.edu.tr/node/9611> (2010).
17. İnternet: Dost Kimya Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. “Kompozit ürünler”, <http://www.kompozit.net> (2010).
18. Karakaş, M., “Ahşap malzemenin korunması”, **Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları**, Ankara, 34 (1988).
19. Kılıç, E., “Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 3-15 (2006).
20. Kurtuoğlu, A., ve Sofuoğlu, S. D., “Mobilya ve ağaç işlerinde kullanılan ahşap malzemeler”, **Mobilya Sektöründe Ağaç Malzeme Seçimi ve Kullanımı Semineri**, İzmir, 85-97 (2007).
21. 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).
22. Miró, E. P., Coll, M. P., and Viloría, A. R. C., “Mobilya restorasyonu ve yenilemesi”, Çeviri, Feza Altuniç, **İnkılap Kitabevi Yayın Sanayi**, İstanbul, 10-11 (2006).
23. Ogawa H., “Architectural application of carbon fibers, development of new carbon fiber reinforced glulam”, **Toho R. Co. Ltd.**, Tokyo, Japan, 1-9 (1999).

24. Olcay Y., Akyol M., Gemci R., 2002, "Polimer Esaslı Lif Takviyeli Kompozit Malzemelerin arabirim Mukvemeti Üzerine Farklı Kür Metodlarının Etkisinin İncelenmesi", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7:1, 18-30 (2008).
25. Örs, Y., ve Keskin H., "Ağaç malzeme bilgisi" Ders Kitabı, *Atlas Yayınları*, İstanbul, 52-102, 157-162 (2001).
26. Öztürk B., R., "Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri", *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi*, 5 (2): 25-36 (2006).
27. Plevris, N., Triantafillou, T. C., "Creep behavior of FRP-reinforced wood members", *Journal of Structural Engineering*, 121 (2): 174-186 (1995).
28. 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).
29. 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).
30. Sarı, İ., Büyüктаş, K., ve Yılmaz, Ş., "Teknolojinin bilimsel ilkeleri", Ders Kitabı, *Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş.*, Ankara, 293 (2008).
31. Steiger R., "Fiber reinforced plastics (FRP) in timber structures", *Wood Department EMPA*, Dübendorf, Switzerland, 1-9 (2003).
32. Şahin, Y., "Kompozit malzemelere giriş", *Gazi Kitabevi*, Ankara, 2-33 (2000).
33. Şimşek, O., "Yapı malzemesi 2", *Ankara Üniversitesi Basımevi*, Ankara, 11-23 (2000).
34. 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).
35. TS 2470, "Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler", *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-5 (1976).
36. TS 2474, "Oduunun statik eğilme dayanımının tayini", *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1976).

37. TS 2475, “Odunda liflere paralel doğrultuda çekme gerilmesinin tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1976).
38. TS 2595, “Odunda liflere paralel doğrultuda basınç dayanımının tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-2 (1977).
39. Tsai W. S., Hoa, S. V., and Gay, D., “Composite materials design and applications”, Textbook, *CRC Press LLC*, Paris, 28-33 (2003).
40. Usta, İ., “Türkiye ağaç malzeme emprenye endüstrisinin bugünkü durumu ve geliştirilmesine ilişkin öneriler”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 139 (1993).
41. Uysal, B., “Ağaç malzeme ders notları”, *Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Karabük, 17-20 (2005).
42. Ünal, O., “Yapı Malzemesi Kompozit Malzemeler Ders Notları” *Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi*, Afyon, 1-22, (2010).
43. 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).
44. Yıldızhan, H., “Polimer matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 3-22 (2008).
45. Younossi O., Kennedy M., Graser J. C. I., 2001, “Military Airframe Costs The Effects of Advanced Materials and Manufacturing Processes, Project Air Force, RAND,” *Pittsburg university*, USA, 23-32, (2001).
46. 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).

ÖZGEÇMİŞ

Osman MISTAK 1983'te Karabük'te doğdu; ilk ve orta öğrenimini bostanbükü'nde, lise eğitimini Karabük Endüstri Meslek Lisesinde tamamladıktan sonra 2003 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Mobilya ve Dekorasyon Eğitimi Bölümü'nde başlamış olduğu lisans eğitimini 2007 yılında tamamladı. Sivas 5.piyade er eğitim tugayında 319. kısa dönem piyade çavuş olarak yaptı. 2008 yılında kendi bölümüyle ilgili özel bir şirkette 1 yıl çalıştı. 2009 yılında Kastamonu ilinin cide ilçesinde çok programlı lisede 1 yıl vekil öğretmenlik yaptı. 2010 yılında Karabük üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Mobilya ve Dekorasyon Bölümünde Yüksek lisansa başlamış olduğu eğitimini sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bostanbükü köyü Koop. Mah. Aygaz yanı No:5

Safranbolu / KARABÜK

Tel : (546) 855 86 33

E-posta : osmanmistak@hotmail.com