

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AHŞAP YAPILARIN BİRLEŞİM BÖLGELERİNDE METAL
LEVHALAR VE FİBER ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK (FRP)
LEVHALARIN KULLANIMININ KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ALSHEGHRI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Tahir AKGÜL

Mayıs 2019

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AHŞAP YAPILARIN BİRLEŞİM BÖLGELERİNDE METAL
LEVHALAR VE FİBER ELYAF TAKVİYELİ PLASTİK (FRP)
LEVHALARIN KULLANIMININ KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdullah ALSHEGHRI

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Butez . .2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr.Öğr.Üyesi
Tahir AKGÜL
Jüri Başkanı**

**Dr.Öğr.Üyesi
Zyenep DERE YAMAN
Üye**

**Dr.Öğr.Üyesi
Zeki ÖZYURT
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Abdullah ALSHEGHRI
27.05.2019

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresi boyunca her türlü yardımda bulunan ve değerli fikir ve görüşlerini benden esirgemeyen kıymetli hocam Tahir AKGÜL'e, değerli ailem ve nişanlım Mumine MONEİM'e , tez yazım sürecinde maddi manevi yanımda olan ve sürekli olarak yardımcı olan amcam Ali BAYRAKTAR ve kuzenim Ömer BAYRAKTAR'a, tüm çalışma boyunca yanımda olan ev arkadaşım Basel Abudan'a ve arkadaşlarım Sibel HAZİNEDAR, Sarah MARMOUR ve Tacüddin KOÇ'a ve adını burada anmadığım tüm dostlarıma sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
TABLolar LİSTESİ	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması	4
BÖLÜM 2.	
AHŞAP YAPILAR.....	10
2.1.Ahşabın Tanımı	10
2.2. Ahşabın Özellikleri	12
2.2.1. Ahşabın fiziksel özellikleri	12
2.2.2. Ahşabın kimyasal özellikleri.....	13
2.2.3. Ahşabın mekanik özellikleri	14
2.2.4. Ahşabın termik özellikleri	15
2.2.5. Ahşabın elektriksel özellikleri	16
2.2.6. Ahşabın estetik özellikleri	16
2.3. Geçmişten Günümüze Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistemler.....	17
2.4. Taşıyıcı Sistem Elemanları	17
2.4.1. Duvarlardaki taşıyıcı elemanlar	18

2.4.2. Temeller	19
2.4.3. Çatı taşıyıcı elemanları	20
2.4.4. Döşeme-Kiriş elemanları	21
2.4.5. Merdivenler	22
2.5. Ahşap Yapıların Taşıyıcı Sistemlerinde Kullanılan Birleştirme çesitleri	22
2.6. Ahşap Yapılarda Restorasyon ve Önemi	24

BÖLÜM 3.

FİBER TAKVİYELİ ELYAF POLİMER	26
3.1. FRP'nin Tanımı	26
3.2. Fiberle Güçlendirilmiş Polimer Kompozit Çesitleri (FRP)	27
3.2.1. Cam elyafları	27
3.2.2. Karbon elyafı	28
3.2.3. Aramid lifleri	28
3.2.4. Bazalt lifleri	29
3.3. FRP'nin Özellikleri	29
3.4. FRP'nin Kullanım Alanları	30
3.4.1. FRP'nin inşaat sektöründe kullanımı	30
3.4.1.1. Restorasyon	31
3.4.1.2. Onarım ve güçlendirme.....	32
3.4.1.3. Sismik Güçlendirme	33
3.4.1.4. Ahşap yapılar	34
3.5. FRP' nin Geleceği	35
3.6. Cam Elyaf Takviyeli Plastik (GFRP)	36
3.6.1. GFRP'nin özellikler	37
3.7. Karbon Elyaf Takviyeli Plastik (CFRP)	38
3.7.1. CFRP'nin özellikleri	38

BÖLÜM 4.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
4.1. Materyal	41

4.1.1. Sarıçam	41
4.1.1.1. Fiziksel özellikleri	42
4.1.1.2. Mekanik özellikleri	42
4.1.2. Metal levhalar	43
4.1.3. Karbon elyaf takviyeli plastikler (CFRP)	43
4.1.4. Cam elyaf takviyeli plastikler (GFRP)	43
4.1.5. Epoksi	44
4.2. Çekme Deneyi	44
4.2.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar.....	45
4.2.1.1. Çekme Makinesi	45
4.2.1.2. Kumpas	46
4.2.2. Çekme deney numuneleri hazırlanması	46
4.2.3. Çekme deney metotları	48
4.3. Konsol Eğilme Deneyi	49
4.3.1. Konsol Eğilme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar ...	49
4.3.1.1. Çekme eğilme makinesi	49
4.3.2. Konsol eğilme deney numunelerinin hazırlanması	50
4.3.3. Konsol eğilme deney metotları	53

BÖLÜM 5.

NUMUNELERİN TEORİK HESABI	54
5.1. Numunelerin çekme dayanım teorik hesabi	54
5.1.1. Kertmeli boy birleştirmede çekme dayanım hesabı	56
5.1.1.1. Epoksili ve tek bulonlu (ham) numunelerin çekme dayanım hesabı	56
5.1.1.2. Çift metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	56
5.1.1.3. Çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	57
5.1.1.4. Çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	58
5.1.2. Uç uca boy birleştirmede çekme dayanım hesabı	60

5.1.2.1. Epoksili ve çift ahşap levha (ham) numunelerin çekme dayanım hesabı	60
5.1.2.1. Çift metal plaka ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	60
5.1.2.3. Çift CFRP plaka ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	61
5.1.2.4. Çift GFRP plaka ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	62
5.1.3. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede çekme dayanım hesabı	63
5.1.3.1. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, ahşap levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	63
5.1.3.2. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	64
5.2.3.3. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı	65
5.1.3.4. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı.....	66
5.2. Numunelerinin Moment Hesabı	67
5.2.1. L tipi brleştirme numunelerinin moment hesabı	67
5.2.1.1. Ham L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	67
5.2.1.2. Metl levhalı L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	68
5.2.1.3. CFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	69
5.2.1.4. GFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	70
5.2.2. T tipi brleştirme numunelerinin moment hesabı	71
5.2.2.1. Ham T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	71
5.2.2.2. Metal levhalı T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	71

5.2.2.3. CFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	72
5.2.2.4. GFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	73
5.2.3. 45° gönye tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	74
5.2.3.1. Ham 45° gönye tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı	74
5.2.3.2. Metal levhaalı 45° gönye birleştirme numunelerinin moment hesabı	75
5.2.3.3. CFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunelerinin moment hesabı	76
5.2.3.4. GFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunelerinin moment hesabı	77
 BÖLÜM 6.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	78
6.1. Çekme Deneyi	78
6.1.1 Kertmeli boy birleştirmede çekme deneyi	78
6.1.1.1. Epoksili ve tek blonlu (Ham) numunelerin çekme deneyi	78
6.1.1.2. Çift metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	80
6.1.1.3. Çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	82
6.1.1.4. Çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	84
6.1.2. Uç uca boy birleştirmede çekme deneyi	89
6.1.2.1. Epoksili ve tek blonlu (ham) numunelerin çekme deneyi	89
6.1.2.2. Çift metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	91

6.1.2.3. Çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	93
6.1.2.4. Çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	94
6.1.3. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede çekme deneyi	99
6.1.3.1. Ahşap levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi.....	99
6.1.3.2. Metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	101
6.1.3.3. CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	103
6.1.3.4. GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi	105
6.2. Konsol Eğilme Deneyi	109
6.2.1. L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	110
6.2.1.1. Ham L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	110
6.2.1.2. Metal levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	112
6.2.1.3. CFRP levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	114
6.2.1.4. GFRP levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	116
6.2.2. T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi.....	121
6.2.2.1. Ham T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	121
6.2.2.2. Metal levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	123
6.2.2.3. CFRP levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	125
6.2.2.4. GFRP levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	127
6.2.3. 45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	131
6.2.3.1. Ham 45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	131
6.2.3.2. Metal levhalı 45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi	133

6.2.3.3. CFRP levhalı 45° gönye tipi birleştirmede konsol	
eğilme deneyi	135
6.2.3.4. GFRP levhalı 45° gönye tipi birleştirmede konsol	
eğilme deneyi	137
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	143
KAYNAKLAR	144
ÖZGEÇMİŞ.....	153



SİMGELER LİSTESİ

A	: Cinsinden sabit bir değer
B	: Kesit genişliği
d	: Cinsinden bulon çapı
$E_{//}$	: Liflere paralel elastisite modülü
$E_{\perp}$	: Liflere dik elastisite modülü
e	: Cinsinden ahşap kalınlığı
F	: kesit alanı
f	: Cinsinden epoksinin alanı
G	: Kayma modülü
H	: Kesit yüksekliği
h	: Cinsinden epoksinin yüksekliği
k	: Ahşabın emniyet katsayısı
L	: Moment kolu
l	: ilk Boy
l	: Cinsinden epoksinin uzunluğu
M	: Moment
M_{em}	: Emniyet momenti
P	: Kırılma anındaki maksimum kuvvet
P	: Yük
P_{em}	: Emniyet yükü
Q	: Kesme kuvveti
S	: Sehim
t	: Levhanın kalınlığı
W	: Mukavemet momenti
Δl	: Boy değişimi

γ	: Emniyet katsayısı
ξ	: birim deformasyon
σ	: Gerilme
$\sigma_{bem//}$	: Liflere paralel basınç emniyet dayanımı
$\sigma_{bem\perp}$	: Liflere dik basınç emniyet dayanımı
$\sigma_{\zeta em}$	: Liflere paralel Çekme emniyet dayanımı
σ_{em}	: Cinsinden ahşabın ezilme emniyet gerilmesi
σ_{eem}	: Eğilme emniyet dayanımı
τ_{em}	: Makaslama emniyet dayanımı



KISALTMALAR LİSTESİ

AFRP	: Aramid fiber takviyeli polimerler
BFRP	: Bazalt fiber takviyeli polimerler
BHA	:Birim hacim ağırlığı
CFRP	: Karbon fiber takviyeli polimerler
CTP	: Cam takviyeli plastikler
FOS	: Fiber optik sensörler
FRP	: Fiber takviyeli polimerler
GFRP	: Cam fiber takviyeli polimerler
KTP	: Karbon takviyeli plastikler
LDN	: Lif doygunluğu noktası

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Ahşap duvar elemanı	19
Şekil 2.2. Ahşap çatı elemanı	21
Şekil 2.3. Ahşap döşeme-kiriş elemanı	21
Şekil 2.4. Ahşap merdiven elemanı	22
Şekil 2.5. Enine birleştirmelerde farklı örnek görünüşler	23
Şekil 2.6. Köşe birleştirmelerde farklı örnek görünüşler	23
Şekil 2.7. Orta birleştirmelerde örnek görünüşler	23
Şekil 2.8. Boy birleştirmelerde farklı örnek görünüşler	24
Şekil 3.1. FRP'lerle güçlendirilmiş betonarme kolonlar	33
Şekil 3.2. Bir köprünün FRP kompozitler ile sismik güçlendirme	34
Şekil 3.3. Ahşap taşıyıcı sistemlerin FRP'ler ile güçlendirilmesi	35
Şekil 4.1. Çekme makinesi	46
Şekil 4.2. Kumpas	46
Şekil 4.3. Kertmeli boy birleştirme numuneleri	47
Şekil 4.4. Uç uca boy birleştirme numuneleri	47
Şekil 4.5. Yabancı zıvanalı boy birleştirme numuneleri	48
Şekil 4.6. İşkenceler kullanarak boy birleştirme numuneleri preslenmesi.....	48
Şekil 4.7. Çekme-eğilme makinesi	50
Şekil 4.8. L tipi birleştirme numuneleri	51
Şekil 4.9. T tipi birleştirme numuneleri	51
Şekil 4.10. 45° gönye tipi birleştirme numuneleri	52
Şekil 4.11. İşkenceler kullanarak T ve 45° gönye numuneleri preslenme.....	52
Şekil 4.12. Birleştirme elemanlarının yük altındaki yer değiştirme davranışı.....	53
Şekil 6.1. Çekme makinesine bağlanmış ham kertmeli boy birleştirme numuneleri...	79
Şekil 6.2. Deney sonrası ham kertmeli boy birleştirme numunesi	79

Şekil 6.3. Ham kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	80
Şekil 6.4. Ham kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon karşılaştırma grafiği	80
Şekil 6.5. Çekme makinesine bağlanmış metal levhalı kertmeli boy birleştirme numuneleri	81
Şekil 6.6. Deney sonrası metal levhalı kertmeli boy birleştirme numuneleri.....	81
Şekil 6.7. Metal levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	82
Şekil 6.8. Metal levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma grafiği	82
Şekil 6.9. Çekme makinesine bağlanmış CFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numune	83
Şekil 6.10. Deney sonrası GFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numunesi	83
Şekil 6.11. CFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon grafiği	84
Şekil 6.12. CFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon karşılaştırma grafiği	84
Şekil 6.13. Çekme makinesine bağlanmış GFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numuneleri.....	85
Şekil 6.14. Deney sonrası GFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numuneleri.....	85
Şekil 6.15. GFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	86
Şekil 6.16. GFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma grafiği	86
Şekil 6.17. Kertmeli boy birleştirme numunelerinin ortalama gerilme - birim deformasyon grafiği	88
Şekil 6.18. Kertmeli boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri ...	88
Şekil 6.19. Çekme makinesine bağlanmış ham uç uca boy birleştirme numunesi	89
Şekil 6.20. Deney sonrası ham uç uca boy birleştirme numuneleri	89
Şekil 6.21. Ham uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	90

Şekil 6.22. Ham uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma grafiği	91
Şekil 6.23. Çekme makinesine bağlanmış metal levhalı uç uca boy birleştirme numune	91
Şekil 6.24. Deney sonrası metal levhalı uç uca boy birleştirme numunesi.....	91
Şekil 6.25. Metal levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	92
Şekil 6.26. Metal levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma	92
Şekil 6.27. Çekme makinesine bağlanmış CFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunesi.....	93
Şekil 6.28. Deney sonrası CFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunesi	93
Şekil 6.29. CFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	94
Şekil 6.30. CFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma	94
Şekil 6.31. Çekme makinesine bağlanmış GFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunesi	95
Şekil 6.32. Deney sonrası GFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunesi.....	95
Şekil 6.33. GFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	96
Şekil 6.34. GFRP levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma	96
Şekil 6.35. Uç uca boy birleştirmenin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği .	98
Şekil 6.36. Uç uca boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri	98
Şekil 6.37. Çekme makinesine bağlanmış ham yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi	99
Şekil 6.38. Deney sonrası ham yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi.....	99
Şekil 6.39. Ham yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	100
Şekil 6.40. Ham yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma grafiği	101

Şekil 6.41. Çekme makinesine bağlanmış meta levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi.....	101
Şekil 6.42. Deney sonrası metal levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi..	101
Şekil 6.43. Metal levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği	102
Şekil 6.44. Metal levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme -birim deformasyon karşılaştırma grafiği	103
Şekil 6.45. Çekme makinesine bağlanmış CFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi.....	103
Şekil 6.46. Deney sonrası CFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi.	103
Şekil 6.47. CFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon grafiği	104
Şekil 6.48. CFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon karşılaştırma grafiği	105
Şekil 6.49. Çekme makinesine bağlanmış GFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi.....	105
Şekil 6.50. Deney sonrası GFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunesi	105
Şekil 6.51. GFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme -birim deformasyon grafiği	106
Şekil 6.52. GFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme -birim deformasyon karşılaştırma grafiği	107
Şekil 6.53. Yabancı zıvanalı birleştirmenin ortalama gerilme – birim deformasyon grafiği	108
Şekil 6.54. Yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri	109
Şekil 6.55. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış ham L tipi birleştirme numunesi...	110
Şekil 6.56. Deney sonrası ham L tipi birleştirme numunesi.....	110
Şekil 6.57. Ham L tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	111
Şekil 6.58. Ham L tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	111

Şekil 6.59. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış metal levhalı L tipi birleştirme numunesi.....	112
Şekil 6.60. Deney sonrası metal levhalı L tipi birleştirme numunesi	112
Şekil 6.61. Metal levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	113
Şekil 6.62. Metal levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment-sehim karşılaştırma grafiği	113
Şekil 6.63. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış levhalı L tipi birleştirme numunesi.....	114
Şekil 6.64. Deney sonrası CFRP levhalı L tipi birleştirme numunesi.....	114
Şekil 6.65. CFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	115
Şekil 6.66. CFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	115
Şekil 6.67. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış GFRP levhalı L tipi birleştirme numunesi.....	116
Şekil 6.68. Deney sonrası GFRP levhalı L tipi birleştirme numunesi	116
Şekil 6.69. GFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	117
Şekil 6.70. GFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	117
Şekil 6.71. L tipi birleştirmenin ortalama moment - sehim grafikleri	119
Şekil 6.72. L tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri	120
Şekil 6.73. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış ham T tipi birleştirme numunesi..	121
Şekil 6.74. Deney sonrası ham T tipi birleştirme numunesi.....	121
Şekil 6.75. Ham T tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	122
Şekil 6.76. Ham T tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	122
Şekil 6.77. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış metal levhalı T tipi birleştirme numunesi.....	123
Şekil 6.78. Deney sonrası metal levhalı T tipi birleştirme numunesi.....	123
Şekil 6.79. Metal levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	124

Şekil 6.80. Metal levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	124
Şekil 6.81. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış CFRP levhalı T tipi birleştirme numunesi	125
Şekil 6.82. Deney sonrası CFRP levhalı T tipi birleştirme numunesi.....	125
Şekil 6.83. CFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	126
Şekil 6.84. CFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	126
Şekil 6.85. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış GFRP levhalı T tipi birleştirme numunesi	127
Şekil 6.86. Deney sonrası GFRP levhalı T tipi birleştirme numunesi	127
Şekil 6.87. GFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment- sehim grafiği	128
Şekil 6.88. GFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment-sehim karşılaştırma grafiği	128
Şekil 6.89. T tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafikleri	130
Şekil 6.90. T tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri	130
Şekil 6.91. Çekme - eğilme makinesine bağlanmış ham 45° gönye birleştirme numunesi	132
Şekil 6.92. Deney sonrası ham 45° gönye birleştirme numunesi	132
Şekil 6.93. Ham 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	133
Şekil 6.94. Ham 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	133
Şekil 6.95. Çekme - eğilme makinesine bağlanmış metal levhalı 45°gönye birleştirme numunesi	134
Şekil 6.96. Deney sonrası metal levhalı 45°gönye birleştirme numunesi.....	134
Şekil 6.97. Metal levhalı 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	135
Şekil 6.98. Metal levhalı 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment - sehim karşılaştırma grafiği	135

Şekil 6.99. Çekme - eğilme makinesine bağlanmış CFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunesi	136
Şekil 6.100. Deney sonrası CFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunesi.....	136
Şekil 6.101. CFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	137
Şekil 6.102. CFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği	137
Şekil 6.103. Çekme - eğilme makinesine bağlanmış GFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunesi	138
Şekil 6.104. Deney sonrası GFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunesi	138
Şekil 6.105. GFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment - sehim grafiği	139
Şekil 6.106. GFRP levhalı 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment–sehim karşılaştırma grafiği	139
Şekil 6.107. 45° gönye birleştirmenin ortalama moment - sehim grafiği	141
Şekil 6.108. 45° gönye birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri.....	141

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı ağaç türlerine ait rutubet muhtevası	13
Tablo 2.2. Ahşabın mekanik özellikleri	15
Tablo 3.1. FRP kompozitler için fiberlerin özellik aralığı	29
Tablo 4.1. Sarıçamın fiziksel özellikleri	42
Tablo 4.2. Sarıçamın mekanik özellikleri	42
Tablo 4.3. bulonlu birleşimlerde kuvvetin lifler doğrultusunda etkimesi halinde bir bulonu emniyet yükü.....	54
Tablo 4.4. Metala göre çekme dayanımı hesap tablosu.....	55
Tablo 4.5. Epoksiye göre çekme dayanımı hesap tablosu.....	55
Tablo 6.1. Kertmeli boy birleştirme gerilme değerleri tablosu	87
Tablo 6.2. Kertmeli boy birleştirme birim deformasyon değerleri tablosu	87
Tablo 6.3. Kertmeli boy birleştirme numunelerinin tokluk değerleri.....	89
Tablo 6.4. Kertmeli boy birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu	89
Tablo 6.5. Uç uca boy birleştirme ortalama gerilme değerleri tablosu.....	97
Tablo 6.6. Tablo 6.1.6. Kertmeli boy birleştirme birim deformasyon değerleri.....	97
Tablo 6.7. Uç uca boy birleştirme numunelerinin tokluk değerleri	99
Tablo 6.8. Uç uca boy birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu	99
Tablo 6.9. Yabancı zıvanalı boy birleştirme gerilme değerleri tablosu	107
Tablo 6.10. Yabancı zıvanalı boy birleştirme birim deformasyon değerleri tablosu .	107
Tablo 6.11. Yabancı zıvanalı boy birleştirme tokluk değerleri tablosu	109
Tablo 6.12. Yabancı zıvanalı boy birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları....	109
Tablo 6.13. L birleştirme konsol eğilme deneyi moment değerleri tablosu	118
Tablo 6.14. L birleştirme konsol eğilme deneyi sehım değerleri tablosu	118
Tablo 6.15. L tipi numunelerine ait deplasman değerleri tablosu	120
Tablo 6.16. L tipi birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları.....	120
Tablo 6.17. T birleştirme konsol eğilme deneyi moment değerleri	129

Tablo 6.18. T birleştirme konsol eğilme deneyi sehim değerleri tablosu	129
Tablo 6.19. T tipi numunelerine ait deplasman değerleri tablosu	131
Tablo 6.20. T tipi birleştirme numunelerine ait sayısal ve deneysel sonuçları.....	131
Tablo 6.21. 45° gönye birleştirme konsol eğilme deneyi moment değerleri	140
Tablo 6.22. 45° gönye birleştirme konsol eğilme deneyi sehim değerleri	140
Tablo 6.23. 45° gönye tipi numunelerine ait deplasman değerleri	142
Tablo 6.24. 45° gönye tipi birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları	142
Tablo 7.1. Çekme deneyine tabi tutulan tüm numunelerin genel sonuçlar karşılaştırılması	143
Tablo 7.2. Konsol eğilme deneyine tabi tutulan tüm numunelerin genel sonuçlar karşılaştırılması	143

ÖZET

Anahtar kelimeler: Elyaf Takviyeli Plastik (FRP), Ahşap, Kertmeli Boy Birleştirme, Çekme Dayanımı, Konsol eğilme

Ahşap yapıların birleşim bölgelerinde çelik levha kullanımı sıkça rastlanan bir uygulamadır. Ancak ahşapta bulunan doğal nem nedeniyle çelik levhalar kolayca korozyona uğramakta, bu nedenle ahşap yapıların birleşim bölgelerindeki ahşap, zamanla çürümekte ve ahşap yapıların ömrünü kısaltmaktadır. Yapılan bu çalışmada çelik levhalar yerine korozyona uğramayan FRP (karbon elyaf takviyeli plastik) kullanımının mekanik dayanım açısından uygunluğu araştırılmıştır. Farklı birleştirme çeşitleri kullanılarak hazırlanan numuneler çekme ve konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda aynı cins numuneler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çekme deney sonucunda karbon elyafla güçlendirilen numunelerin dayanımı metal levhalarla güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kertmeli boy birleştirmede %44 ve uç uca boy birleştirmede %26 ve yabancı zıvanalı boy birleştirmede 9% arttığı tespit edilmiştir. Cam elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metal levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kertmeli boy birleştirmede %51'de, uç uca boy birleştirmede %59'da ve yabancı zıvanalı boy birleştirmede %35'te kaldığı görülmüştür.

Konsol eğilme deney sonucunda karbon elyafla güçlendirilen numunelerin dayanımı metal levhalarla güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %60, T birleştirmede %67 ve 45° gönyeli birleştirmede %80 arttığı tespit edilmiştir. Cam elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metal levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %85'te, T birleştirmede %96'da ve 45° gönyeli birleştirmede %78'de kaldığı görülmüştür.

COMPARISON OF USING FIBER REINFORCED POLYMER (FRP) PANELS AND METAL PANELS IN THE JOINTS OF WOODEN STRUCTURES

SUMMARY

Keywords: Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP), Wood, Longitudinal Notched Lap Joint, Tensile Strength, Console bending.

The use of steel plates in the joints of wooden structures is a common application. However, due to the inherent moisture in the wood, the steel plates are easily corroded, so the wood in the joints of the structures decays and shortens the life of the wooden structures. In this study, the suitability of the use of non-corrodible CFRP (carbon fiber reinforced plastic) instead of steel sheets in terms of mechanical strength was investigated. Specimens were prepared using different types of joint systems and they were subjected to tensile and console bending tests. The results of the specimens in each sample type were compared with each other.

As a result of the tensile test, the strength of carbon fiber-reinforced samples was found to increase 44% for the Longitudinal Notched Lap Joint samples and 26% in end-to-end joining samples and 9% in tongued longitudinal joining samples, according to the strength of the samples reinforced by steel plates. The strength of the samples reinforced by using glass-fiber sheets was found to be 51% in the Longitudinal Notched Lap Joint samples, 59% in the end-to-end joining samples and 35% in tongued longitudinal joining samples according to the strength of the samples reinforced by using metal plates.

As a result of the console bending test, the strength of the carbon fiber reinforced samples was found to increase by 60% in the L-joining, 67% in the T-joining and 80% in the 45 ° miter joint samples according to the strength of the steel plates reinforced samples. The strength of the samples strengthened by using glass fiber sheets was found to be 85% in the L joining, 96% in the T joining and 78% in the 45 ° miter joint samples according to the strength of the samples reinforced using metal plates.

GİRİŞ

Mekânsal çeşitlilikte 20. ve 21.yy. içerisinde ortaya çıkan arayışlar neticesinde zihinlerde canlandırılan birtakım uygulamaların hayata geçirilebilmesi için bir takım malzeme gereksinimleri ortaya çıkmıştır, bu malzemelerden birisi de hiç şüphesiz ahşaptır. Geleneksel bir çerçevede ahşap yapıların incelenmesi neticesinde; yapıldıkları dönemin mimari anlayışını, malzemelerin kullanım tekniklerini ve özellikleri ile ahşap karakterizasyonunu günümüze aktardıkları görülmektedir. Alınan mimari mirasın bir sonraki döneme kusursuz bir şekilde aktarılabilmesi adına doğru restorasyon çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, ahşaptan yapılan yapılarda zamanla meydana gelen sorunların engellenmesi adına söz konusu prensiplerin işleyiş sistemleri mutlaka anlaşılmalıdır. Yapı elemanlarının davranışlarının bilinmesi sonrasında ise, ideal çözüm yöntemlerinin ve güçlendirme tekniklerinin belirlenmesi gerekmektedir [1,2].

Asırlar boyunca birçok yapının inşa edilmesinde ahşaptan yararlanılmıştır. Bu durumun en önemli nedenleri olarak ise temin edilmesinin kolay olması ve sürdürülebilir olması gösterilebilir. Eski dönemlerde en sık tercih edilen malzemelerin başında gelen ahşap, günümüzde ise özellikle yüksek dayanımın arandığı geniş yapılarda da ve verimli bir şekilde kullanımına başlanmıştır [3].

Bugün teknolojiye geline nokta tasarım alanında ortaya çıkan ihtiyaçlara daha etkili bir şekilde karşılık verebilen ahşap ürünlerin üretimine başlanmıştır. Aynı zamanda teknolojinin hızla ilerlemesi çok daha ekonomik ve daha iyi yapısal özelliklere sahip ahşap ürünlerin de elde edilmesine olanak sağlamaktadır [4].

Yapılarda ahşabın tercih edilmesinin olumlu olduğu kadar olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Bu olumsuzlukların başında; yapısının organik olması nedeniyle mantar ve böcekler tarafından tahrip edilebilmesi, iklimsel değişikliklerden higroskopik yapısı nedeni ile etkilenmesi ve yanıcı bir maddesi olmasıdır. Netice itibari ile doğal halinde oldukça dayanıklı olduğu kabul edilen ahşap, kullanım yerine geldiğinde çevresel birtakım unsurlara karşı gösterdiği dayanma süreci çok fazla uzun değildir. Bu durumun ortaya çıkmasında biyotik ve abiyotik zararlar ön plandadır [3].

Zamanla dış etkenler ve deprem sonucu oluşan hasarları gidermek, restorasyon yaparak yapının yük taşıma kapasitesini arttırmak, tasarımda yapılan hatalar sonucu ortaya çıkan erken yorulma ve oluşacak kırılmaların önüne geçmek gibi nedenlerle ahşap yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Türkiye deprem bölgesinde olduğundan dolayı, deprem sonucunda zarar gören yapıların onarım ve güçlendirme yöntemlerinin zaman içerisinde geliştirme zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda depreme dayanıklı yapı tasarımı için ilerleyen süreçlerde farklı yönetmelikler ortaya çıkartılmaktadır [5, 6].

Ahşap yapılarda istenen dayanımı sağlayacak tasarım, uygun birleştirme detaylarına bağlıdır. Ahşap birleştirmeler ahşabın farklı açılarla birbirine bağlanması ve uygun birleştirme eleman kullanımı sonucunda meydana gelmektedir. Ahşap birleştirme teknikleri genel olarak, yan yana (enine), uç uca (boyuna), köşe ve T-tipi birleştirmeler olarak sıralanabilir. Bu birleştirme teknikleri çeşitli taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [7].

Durabilite elde etmek için ahşap yapıların zayıf bölgeleri ve özellikle birleştirme bölgeleri güçlendirilmektedir. Bu güçlendirmeler genel olarak ahşap yapıların birleştirme bölgelerinde çekme ve eğilme yüklerine karşı çelik levhaların kullanımı olarak karşımıza çıkmaktadır [8].

Ahşap yapıların birleştirme bölgelerinin büyük yüklere maruz kalması durumunda çözüm olarak günümüzde metal levha kullanımı yaygındır. Ancak ahşabın doğası

gereği nemli bir malzeme olmasından dolayı metal kolayca korozyona uğrayabilmektedir. Öte yandan korozyona uğrayan metal birleşim yüzeylerinde ahşabı kısa zamanda çürümesine neden olmaktadır. Bu nedenle Ahşap yapılarda metal kullanımı yapıların durabilitesi açısından problem teşkil etmektedir. Günümüze kadar ulaşan birçok karakteristik tarihi ahşap yapıların birleşim detayları incelendiğinde mümkün olduğunca metal çivi, bulon ve levha kullanılmadığı görülmektedir [9].

Son yıllarda özellikle ahşap yapıların birleşim bölgelerinin güçlendirilmesine yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar neticesinde birtakım tutkalların kullanılması ile birlikte ahşap dışında kalan bazı malzemeler laminasyon süreçlerine dahil edilmiş ve bu doğrultuda gerçekleştirilen güçlendirme çalışmaların oldukça etkili sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmalara ek olarak güçlendirme yöntemleri arasında; plastiklerin fiber takviyelerle güçlendirilmesi ile oluşan elyaf takviyeli plastikler (FRP) de yer almaktadır. FRP'lerin güçlendirme işlemlerinde sıklıkla kullanılmasının ana nedeni ise fiyat, performans ve maliyet açısından son derece uygun olmasıdır. Bu durum özellikle geride bıraktığımız 20 yıl içerisinde binaların yapısal performansının artmasına ve ekonomik olma durumuna oldukça pozitif katkılar yapmıştır [4].

Çekme, basınç ve eğilme kuvvetlerine maruz taşıyıcı sistem elemanlarında genellikle FRP'lerle güçlendirme yapıldığı görülmektedir. Bu tür çalışmalarda FRP kullanımının yaygınlığının, FRP malzemenin metal malzemeye göre mukavemetinin yüksek, daha estetik, daha hafif, daha işlenebilir ve korozyona daha dayanıklı olmasıdır.

Bu çalışmada çekme ve eğilme gerilmelerine maruz kalan ahşap taşıyıcı sistemlerin birleşim bölgeleri FRP levhalar ile güçlendirilmiştir. İlk olarak epoksi ve bulon kullanarak birleştirilmiş ham ahşap numuneler ve metal levhalar kullanarak güçlendirilmiş ahşap numunelerin mekanik dayanımı tespit edilmiş, Daha sonra karbon ve cam elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerle karşılaştırılmıştır.

Böylece ahşap yapılarda metal birleşim elemanları yerine fiber elyaf takviyeli plastik (FRP) levha kullanılması araştırılmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Günümüzde tarihi ahşap yapıların uzun süre ayakta kalabilmesi ve dayanımı konusunda birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Öte yandan araştırmacılar, ahşap yapılar üzerine elyaf takviyeli plastiklerle güçlendirmeler konusunda çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar incelendiğinde;

Premrov ve arkadaşları [10], tarafından yürütülen çalışmada; karbon fiber kullanmak suretiyle geliştirilen polimerlerle kuvvetlendirilen ahşap kökenli yapı elemanlarına yönelik gerçekleştirilen analizleri değerlendirmişler ve 75 mm'lik CFRP ile güçlendirilen ahşap elemanlarının dayanımının %50 daha yüksek bir dayanım elde edilmiştir.

Estaves ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmalarda, farklı 2 ağaç türünden aldıkları numunelere ısı şartlandırma uygulamışlar ve bu sayede kullanılan malzemelerin niteliklerinin geliştirilebilme olasılığını değerlendirmişlerdir. Yapılan incelemelerde çam ve okaliptüs türlerinde otoklavda havanın olmadığı bir ortamda buhar basıncı kullanılarak 2-12 saatlik süreler içerisinde 190–210°C'lik sıcaklıkta şartlandırılmış ve elde edilen sonuçların alınan numunelerin özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde ettikleri veriler neticesinde; numunelerin kütlelerinde meydana gelen kayıpların işleme maruz kaldıkları sürenin ve sıcaklığın artmasına paralel olarak artış gösterdiği, okaliptüsten alınan numunede çam numunesine kıyasla daha fazla kütle kaybının ortaya çıktığı ve bu durumun arkasında yatan nedenin numunelerin kimyasal yapılarında hemiselüloz oranlarının farklı olmasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çalışmanın genelinde okaliptüs numunesinin uygulamaya daha fazla reaksiyon gösterdiği ve ısı işlem sonrasındaki okaliptüs davranışının masif ahşap ürünlerde kullanılan ahşabın kalitesinin artırılması noktasında çok ilginç bir potansiyele sahip olduğu anlaşılmıştır [11].

Guan et al. (2005), CFRP ile güçlendirilmiş ahşap kirişlerin eğilme dayanımı üzerinde yaptıkları çalışmada tabaklı ahşap malzemeden oluşan kirişlerin alt bölgelerine farklı kalınlıkta cam elyaf levhalar yapıştırılarak eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Aynı tasarımlar nümerik modellemelerle yapıp deneysel çalışmalarda elde edilen bulgularla karşılaştırılmıştır. Yapılan bu güçlendirmelerle kullanılan elyaf kalınlığına bağlı olarak geçilebilecek açıklıklar tespit edilmiştir [12].

Yeou-Fong ise, gerçekleştirmiş olduğu çalışma neticesinde CFRP ile güçlendirme çalışmalarının yapıldığı kirişlerin eğilme kapasitelerini geliştirilen teorik analiz neticesinde %5.05 hata payı ile değerlendirmiştir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda CFRP ile güçlendirilen kirişlerin eğilme dayanımlarında %44'lük artış meydana gelmekte iken, yapılan teorik analiz neticesinde bu oran %39 olarak belirlenmiştir [13].

Moayyed ve arkadaşları tarafından, AFRP kullanılarak kuvvetlendirilen ahşaptan kirişlerin kayma reaksiyonunu anlamak üzere deneysel ve nümerik analizler üzerinde birtakım çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda AFRP kumaş kullanılan kirişlere yönelik gerilme testi ve dört noktalı eğilme testi uygulanmıştır. Bu uygulamalar sonrasında kirişlere yönelik gerilme-biçim değiştirme grafikleri ile yük-deplasman grafiklerine ulaşılmıştır. Elde edilen verilere bakıldığında güçlendirilmiş olan kirişlerin, güçlendirme yapılmamış kirişlere kıyasla eğme dayanımında %74'e varan bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Kirişlerin kuvvetlendirilmesinde AFRP kullanımının kayma kapasitesinde pozitif bir etki yarattığı sonucuna ulaşılmıştır [14].

Gentry ise; tutkal kullanılmış lamine ahşaptan olan kirişleri FRP ile kuvvetlendirmek sureti ile kirişlerin kayma ve eğilme potansiyelinde meydana gelen değişimleri değerlendirmiştir. Çalışma kapsamında kullanmakta olduğu kirişleri çapları belli GFRP çubuklar kullanarak, kirişlerdeki açıklığın belirli kısımlarında enlemesine güçlendirmeler gerçekleştirmiştir. Sonuç elde edebilmek adına dört noktalı eğilme testini kullanarak; kırılma modları, yük-deplasman etkileşimi, kayma ve eğilme

dayanımları gözlemlenmiş ve kirişlerin kayma dayanımının %50'ye varan bir oranda artış gösterdiğini tespit etmiştir [15].

Steiger,Rane [16], İsveç ulusal laboratuvarlarındaki Malzeme Test ve Araştırma merkezinde ahşap yapılarda yüksek performanslı fiberin yapılara uygulanması sürecini başlatarak Fiber Takviyeli Plastiklerin epoksiyle ahşaba yapıştırılması ve kullanılan epoksinin çekme dayanımına etkisi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Sonuç olarak optimum sıcaklıkta en iyi güçlendirme detayları tespit edilmiştir.

Roberto Lopez-Anido, Antonis P Michel, Tomas C. Sandford [17], 2003'te 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.

Li ve arkadaşları tarafından da [18], ahşaptan yapılmış hasarlı eski binaların onarılması ve güçlendirilmesinde kesitleri yuvarlak ahşap kirişlere hem GFRP çubuklar hem de CFRP kumaşlar aynı anda kullanmak sureti ile güçlendirme çalışmaları yürütülmüştür. Söz konusu güçlendirme çalışmaları neticesinde ortaya çıkan performanslar, dört nokta eğilme analizden ulaşılan yük ve deplasman arasındaki ilişkisine, deneysel gözlemlere ve kirişlerin kırılma modlarına bakılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler neticesinde eğilme dayanımlarında %3,5 ile %9,5 arasında değişen bir artışın ortaya çıktığı görülmüştür.

Hui Chuan ve arkadaşları tarafından da [19], dört tür ağaçtan alınan numuneler epoksi kullanılarak CFRP ile güçlendirilmiş ve bu numuneler hızlandırılmış yaşlanma testine tabii tutulmuşlardır. Deney sonucunda mukavemetin ağaç yoğunluğu ile doğru orantılı artış gösterdiğini ve çekme mukavemetinin 0,15_0,25 kg/m2 arasında değer aldığı saptanmıştır.

Muratoğlu yaptığı çalışma ise sarıçam odundan hazırlanan numuneler CFRP ile epoksi kullanılarak güçlendirilmiştir. Numuneler statik eğilme deneyine tabi

tutulmuştur. Sonuç olarak güçlendirilen numunelerinde %108,66 daha iyi statik eğilme direnci olduğu sonucuna ulaşmıştır [20].

Luggin ve Bergmeister yaptıkları çalışma ise ahşap elemanlarına lifler istikametinde epoksi sürerek ve CFRP kullanarak güçlendirilmiş ve kesme üzerine çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışmalar neticesinde %32 oranda iyileşme gözlemlenmiştir [21].

Borri, A., ve Corradi yaptıkları çalışma ise ahşap yapı elemanları karbon elyaf kullanarak güçlendirilmiş ve yük altında davranışları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bulunan ahşap yapı elemanın lineer olmayan modeller ile sanılan yük değeri mukayese edilmiştir [22].

Qingfeng ve Lei (2007), kısmen zarar görmüş ahşap sütunların CFRP şeritler kullanılarak güçlendirilmesi üzerine yaptıkları deneysel çalışmada sütunların basınç dayanımını, güçlendirme yönteminin nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Yaptıkları deneysel çalışmalarda iki farklı tür ahşap malzemeye 1, 2 ve 3 kat CFRP uygulayarak güçlendirme yapmışlar ve deney sonuçlarını yaptıkları analitik modellerle karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda analitik modelin en fazla %8,65 hata payı ile deney sonuçları ile uyumlu olduğunu bildirmişlerdir [23].

Radford ve arkadaşları 2001 yılında yaptıkları çalışma ise cam takviyeli plastiklerle güçlendirilmiş ahşap köprü kirişlerinin eğilme ve kesme deneyleri hakkında çalışmalar yapmışlardır. Yapılan güçlendirilmiş tabakalı kirişlerde, kullanılan cam takviyeli katmanın eğilme direncine etkisi gözlenmiş ve bunun neticesinde kirişlerde %25'lik oranda daha yüksek bir mukavemet tespit edilmiştir [24].

Harvey ve Ansel yaptıkları çalışma ise ahşap birleştirme bölgelerinde GFRP kullanarak güçlendirmişler, hazırlanan numuneler koparma deneyine tabi tutulmuşlardır. Deney sonucunda lifler paralel ve dik yönde aynı çatlak modları gözlemlenmiştir [25].

Peter A ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise farklı ahşapların yüksek performanslı boy birleştirmelerine dayalı çalışmalar yapmışlardır. Birleştirme bölgelerine cam elyaf sararak ve bu numuneleri çekme testine tabi tutarak deney sonucunda elde edilen gerilme _ birim deformasyon grafikleri yüksek performans gösterilmiştir [26].

Chi_Jen ve Chen yaptıkları çalışma ise kavelalı ahşap birleştirme cam elyaf kullanarak güçlendirmişlerdir. Güçlendirilerek birleştirilmiş ahşabın mekanik performansı üzerine nümerik analiz ve mikroskop altında deneyler yapmışlar ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Mikroskop altında güçlendirilmiş ahşap yüzeyleri incelenmiş olup, birleştirme bölgesinde oluşan gerilme yoğunluğunda gerçek bir iyileşme olmuştur [27].

Martin Sviták ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise karbon elyaf kullanarak ahşabı güçlendirme imkânı incelediler, numuneler burkulma testine tabi tutularak 4 noktaya yük uygulandı. Deneylerin sonucunda numunelerin mukavemeti %17 oranında arttığı görülmüştür [28].

J.P. Reis ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise karbon elyaf ile birleştirilen polimer şeritlerle güçlendirilmiş ahşap kirişler üzerinde çeşitli deneyler yapmışlardır. En iyi sonuçları elde etmek için numuneleri farklı yüksekliklerde hazırlamışlardır. Numuneler üç eksenli eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Elde edilen verilere göre dört katman karbon plaklarla dış takviye yapılması ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir [29].

Yashida Nadir ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise karbon elyaf ile takviye edilmiş polimer kullanarak ahşap kirişleri güçlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlara göre çekme mukavemeti %36 ve %64 oranlarında arttığı gözlemlenmiştir. Bu oranlar takviye oranlarının sırasıyla %1,67 ve %3,33 olduğunda elde edilmiştir [30].

Pupsys Tomas ve arkadaşları yaptıkları çalışma ise ahşap kirişler, cam elyaf ve vidalarla güçlendirmişlerdir. Hazırlanan numuneler farklı dört noktada eğilme testine tabi tutulmuşlardır. Deneysel çalışmalar, güçlendirme yönteminin etkinliğini

göstermiştir. Bu yüzden yeni inşa edilecek yapılarda ve ahşap yapıların restorasyonda kullanılmaktadır [31].



BÖLÜM 2. AHŞAP YAPILAR

2.1. Ahşabın Tanımı

Canlı bir organizma olarak nitelendirdiğimiz ağaçtan elde edilen ahşap, esasında organik bir yapıya ve lifli, anizotrop bir dokuya sahip olan malzeme olarak ifade edilmektedir. Kelime kökenine bakıldığında ahşap, Arapça odundan elde edilen ürün anlamına gelen haşep kelimesinden dilimize geçmiştir. Diğer yapı malzemeleri kıyaslandığında ahşap belki de canlı bir dokudan elde edilmesi nedeni ile insanların zihninde sıcak bir yapıyı çağrıştırıyor olması inşaat sektörü içerisinde yoğun bir şekilde tercih edilmesine neden olmaktadır [32].

Ahşap yapısı gereği farklı coğrafyalarda farklı yapılara sahip olabilmektedir. Bu bağlamda ahşap malzemelerin elde edildiği ağaçların yapısına ve dünya genelinde ki dağılımına bakmakta fayda vardır. Dünya yüzölçümünün yaklaşık olarak %20'si ormanlarla kaplıdır. Bu ormanların üçte ikilik kısmını, ılıman ve tropik ilkeliler de yetişmekte olan yapraklı ağaçlar oluşturmaktadır. Kalan kısımda ise ılıman ve tropik iklimlerde yetişmekte olan iğne yapraklı ağaçla bulunmaktadır. Türkiye'deki ağaçların dağılımına bakıldığında ise; %54,4 oranında iğne yapraklı ağaç bulunmakta iken, %45,6 oranında geniş yapraklı ağaçlar bulunmaktadır. Ağaç cinsleri olarak ise; %30 çam, %26 meşe, %8,5 kayın, %6 köknar ve %2,7 oranında gürgen ağacının yoğunlukta olduğu görülmektedir. Dünya geneline bakıldığında çok sayıda ağaç türü bulunmasına karşılık, ahşap üretiminde kullanılabilecek ağaçların belirli niteliklere sahip olması nedeni ile kullanılabilir ağaç türü çok daha az sayıdadır [32,33,34].

Bir yıl içerisinde gerçekleşen ağaç üretiminin yaklaşık olarak 3'te 1'i yapı sektörü içerisinde değerlendirilmekte iken, geri kalan ağaçlar yakıt gereksinimlerinin karşılanmasında ve kâğıt üretiminde değerlendirilmektedir. Ortaya çıkan tüketim oranlarının artması ise kaynakların hızla tükenmesi sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Fakat özellikle Amerika ve İskandinavya bölgesinde endüstriyel orman yönetiminin doğru yapılması neticesinde bu yönde kaynak sorunları ile karşılaşılmamaktadır. Orman oranlarında meydana gelen bu bölgedeki artışlar söz konusu yönetimin etkinliğini ispatlar niteliktedir. Ancak buna karşılık, büyük ölçekli tüketimin gerçekleşeceği durumlarda masif ürünler yerine, fabrikasyon ahşap tercih edilmesinde fayda vardır [33,35,36].

Fabrikasyon ahşap, ahşap malzemelerin ufak boyutlara küçültülmesi sonrasında polimer esaslı reçinelerle yeniden karıştırılması ile elde edilen malzemelerdir. Bu malzemeler; içeriğinde yer alan ahşap miktarı, kullanılan polimerler ve tercih edilen üretim süreçlerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır. Bu ürünler en genel hali ile ise iki sınıfta değerlendirilmektedir. Bunlar; basit levha ürünleri (kontrplak, kontratabla, yongalevha, etiket yongalevha, gerit yonga levha, OSB, lif levha) ve yapısal kompozitlerdir. Bu ürünler yapı sektörü içerisinde yoğun olarak, mobilya üretim süreçlerinde, iç ve dış mekân yapı malzemelerinde kullanılmaktadır [37,38].

Ahşap malzemelerin en belirgin özelliklerinden biri olarak yenilenebilir bir yapıya sahip olması, çevresel değerlendirmelerin de bir sonucu olarak birçok yapı malzemesine göre daha fazla tercih edilmektedir. Örnek vermek gerekirse, yapı sektöründe kullanılmakta olan tuğla, çelik, alüminyum ve plastik malzemelerin üretim süreçlerinde içerisinde çok daha fazla enerji kullanımı gerçekleşmektedir ve süreç içerisinde CO₂ salınımı da daha fazla olmaktadır. Ahşap malzemelerin elde edilmesi ise çok daha düşük enerji gerekmektedir. Bu alanda Avustralya'da yapılan bir araştırmadan elde edilen sonuçlara göre; ahşap üretiminde ortaya çıkan karbonun ve süreç içerisinde kullanılan enerjinin diğer yapı malzemelerine kıyasla en düşük miktarlara sahip olduğu tespit edilmiştir [33,35,36].

2.2. Ahşabın Özellikleri

2.2.1. Ahşabın fiziksel özellikleri

Endüstriyel olarak nitelendirilen ahşap malzeme, fiziksel açıdan bazı alt başlıklar içerisinde değerlendirilmektedir. Bunlar; odun ve su ilişkileri, ağırlık ve hacim ilişkileri, termik özellikler, elektriksel özellikler ve akustik özelliklerdir. Özellikle mobilya üretim süreçlerinde ve yapısal ahşap olarak kullanılan malzemelerin yoğunluklar ve rutubet oranları en önemli fiziksel özelliklerini oluşturmaktadır [39].

Ahşabın üretim sürecine dahil edilmesi ile birlikte maruz kalacağı muamele yöntemi, uygulanacak sıcaklık ve bunların uygulanma zamanı ahşabın hacminin ve kütlesinin düşmesine neden olmaktadır. Bu işlemler neticesinde ortaya çıkan kayıpların arka planında ise yapısında yer alan suyun kaybolması, hücre çeperi içerisinde yer alan maddelerde ortaya çıkan kayıplar ve hemiselülozların parçalanmasının yer aldığı öne sürülmektedir [40,41].

Ahşap malzeme, gözenekli ve higroskopik bir yapıya sahip olduğundan dolayı nem çekme yüzeye doğru artar. Dolayısıyla ahşap tam kuru olmayınca içerisinde su bulunmaktadır.

Nemli ortamlarda zamanla ahşap içerisindeki boşluklar suyla dolar, bu durumda ahşabın suni ve ekstrem hali olduğunda buna tam yaş hali denir ve diğer durumlarda kurutma makinesinde 102-105 °C ile ağırlığı değiştirmeden kurutularak suyun buharlaştırılması ile tam kuru ahşap elde edilir [42].

Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerinin ait doğal rutubet içeriği Tablo 2.1.’de verilmektedir [43,44].

Tablo 2.1. Bazı ağaç türlerine ait rutubet miktarı

Ağaç türü	Rutubet oranı (%)	Ağaç türü	Rutubet oranı (%)
Sapsız Meşe	26,2	Kızılçam	25,5
Saplı Meşe	26	Sarıçam	29,8
Doğu Kayını	29,2	Toros Karaçam	28-30
Sakallı Kızılağaç	34,6	Doğu Ladini	32
Lübnan Sediri	21	Toros Goknarı	32

Nem, ahşabın fiziksel ve mekanik özelliklerini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Bunun nedeni ise birim alana düşen lif miktarının lifler arası su miktarıyla orantılı olmasıdır.

Ahşap kurduğunda hacimi küçülür ve büzülme meydana gelir. Sertlik ve dayanımı artar ancak enerji tutma kapasitesi azalır.

Yaş olan ahşap parçası kurumaya bırakıldığı takdirde bünyesinde bulunan serbest su buharlaşmaya başlar. Hücre çeperine bağlı su haricindeki su tamamen buharlaştığı anda odunun rutubeti lif doygunluğu noktasındadır (LDN). (LDN) rutubet oranı ağaç türüne göre değişiklik gösterip %20-35 arasında değer almaktadır. Ortalama LDN değeri %28 olarak kabul edilmektedir [45].

Ahşap malzemede nem ve birim hacim ağırlığı (BHA) birbirine bağlı olup, malzemede nem oranı %15 iken birim hacim ağırlığı ağaç türüne bağlı olarak 0,1 – 1,5 t/m³ arasında değişir. BHA'ı değeri yüksek olan ahşapların mekanik özellikleri de yüksektir. Ancak bunlar üzerinde işlem yapmak zordur. Böcek ve mantarlamaya karşı dayanıklıdır. BHA'ı değeri düşük olan ahşapların üzerinde işlem yapmak kolay olmasına rağmen mekanik dayanımları azdır [42].

2.2.2. Ahşabın kimyasal özellikleri

Daha öncede belirtildiği üzere ahşap yapısal olarak canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilmektedir ve lifli, heterojen, anizotrop bir yapıya sahiptir [46]. Yapılarında yer alan içeriklere bakıldığında ise tüm ağaç türlerinde lignin, selüloz ve hemiselüloz

bulunmakta iken söz konusu ana bileşenlere ek olarak malzemelerin kimyasal özelliklerini etkileyen bileşiklerde bulunmaktadır. Bunlar; reçine, eteri yağlar, kül bileşikleri, albümin, tanen, mum ve bazı boya maddeleri gibi ekstraktif maddeler olarak sıralanmaktadır. Hücre duvarını meydana getiren temel madde selülozdur ve ahşapta %50-60 oranlarında bulunmaktadır. Fiziksel olarak değerlendirildiğinde ahşabın esneklik kazanmasını sağlayan madde selüloz olarak gösterilmektedir [47]. Pentoz ve hektoz şekerlerinin kısa polimerleri ise hemiselüloz olarak adlandırılmaktadır ve hemiselülözler ahşapta %15-25 oranlarında bulunmaktadır. Bu maddenin ahşap içerisindeki temel işlevleri ise hücre duvarlarının güçlendirilmesini sağlamak, depolama işlevini yerine getirmek ve geçit zarlarını oluşturmaktır. Ahşap içerisinde %14-23 oranlarında bulunmakta olan lignin ise selüloz fibrilleri içerisinde yer almaktadır. Ağacın dik bir şekilde durması ve basınca karşı mukavemet göstermesi lignin ile sağlanmaktadır. Liginin, amorf bir madde olarak fenol halkasının ana yapısına sahiptir. Su emme oranı düşük olan lignin, kahverengi ile beyaz arasında bir renge sahiptir [47].

2.2.3. Ahşabın mekanik özellikleri

Heterojen ve anizotrop özellikleri neden ile ahşap malzemelerin mekanik açıdan değerlendirilmesi oldukça güçtür. Liflere paralel olarak ortaya çıkan özellikler, basınç, çekmeye karşı gösterdikleri dayanıklılık, enine yeni liflere dik dayanıklılıklarından çok daha fazladır. İçeriğinde su almasının bir özelliği olarak şişebilen ve büzülebilen bir malzeme olan ahşap, bu özelliklerine bağlı olarak mekanik özelliklerinde de değişimler meydana gelebilmektedir.

Yapısal olarak boşlukları olmasına karşılık ahşabın mekanik özellikleri oldukça yüksektir. Ancak organik malzemeler olmaları nedeni ile emniyet gerilmeleri düşük alınmaktadır. Yetiştikleri bölgelerin iklim şartlarına, toprağın cinsine, ağacın cinsine ve sertliğine göre mekanik özellikleri de değişiklik göstermektedir. İçeriğinde yer alan su oranları ahşabın özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir ve mukavemeti üzerinde ise olumsuz bir etki yaratabilmektedir. Yapı malzemeleri olarak tercih edilmeleri durumunda, mikro organizmaların varlığı,

rutubet, ısı, kimyasal faktörler vb. unsurlar mekanik özelliklerinin zamanla kaybolmasına yol açabilmektedir [32]. Ahşapta, metala ve betona benzer bir şekilde ani çökmeler ve kırılmalar oluşmamaktadır. Bu doğrultuda ahşap malzemelerin gerilme ve deformasyon eğrileri ile diğer yapı malzemeleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır [32].

Aşağıda farklı ahşap türlerinin sınıflarına göre, liflere paralel ve dik, çekme ve basınç dayanımları verilmiştir (Tablo 2.2.).

Tablo 2.2. Ahşabın mekanik özellikleri [48]

N/cm ²	I. Sınıf		II. Sınıf		III. Sınıf	
	Kayın, Meşe	Çam	Kayın, Meşe	Çam	Kayın, Meşe	Çam
Çekme	1100	1050	1000	850	–	–
Basınç	1200	1100	1000	850	700	600
Basınç ⊥	300	200	300	200	300	200
liflere paralel doğrultusunda			⊥ liflere dik doğrultusunda			

2.2.4. Ahşabın termik özellikleri

Birçok materyalde sıcaklık değişimlerine bağlı olarak hacim değişimleri ortaya çıkmaktadır. Sıcaklık artışlar malzemelerin genişmesine neden olmaktadır. Bu durum doğrusal ve hacimsel bir genişleme olarak kabul edilmektedir. Fakat ortaya çıkan hacimsel gelişmeler beraberinde güç kayıplarını getirmektedir. Örneğin; çelik alev almamasının bir avantajı olarak yanmaya karşı daha avantajlı bir yapıya sahiptir. Ancak binalarda kullanılması neticesinde sıcaklık artışlarına bağlı olarak genişmesi binaların çökmesine neden olabilmektedir. Ahşap ise sıcaklık karşısında genişme özelliğine sahip değildir. Hatta teorik olarak değerlendirildiğinde kuruyarak daha güçlü hale gelirler ancak bu durum kurumunun tam olarak gerçekleşmesi durumunda mümkün olmaktadır. Fakat pratik olarak değerlendirildiğinde ise sıcaklıkların en yüksek olduğu zamanlarda bile ahşabın nem oranı %5'in altına düşmemektedir [49].

Termik iletkenlik katsayılarına bakıldığında ise ahşabın katsayısının çok düşük olduğu görülmektedir. Isı iletimi ahşaba göre alüminyum 7000 kat, çelik 1650 kat,

mermer 90 kat cam ise 23 kat daha hızlı gerçekleştirmektedir. Kibrit üretiminde, mekanik aksam donanımlarının sap kısımlarında, tavan ve duvar süslemelerinde bu nedenle ahşap tercih edilmektedir [50].

2.2.5. Ahşabın elektriksel özellikleri

Ahşap malzemelerin elektrik ile ilişkisi incelendiğinde iletkenlik konusunda ahşapların yapısı gereği içeriklerinde barındırdıkları nem miktarı bu noktada en temel belirleyici unsur olarak bilinmektedir. Ahşap malzemelerin içerisinde nem oranı artıka iletkenlik özelliğı kazanmaktadır. Aksi durumlarda ise ahşaplar kurutulduğunda yalıtkan özelliğinden dolayı alçak gerilimde izolasyon malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda ifade etmek gerekirse kuru ahşap adına elektriğı pratik olarak iletmez demek mümkündür fakat içeriğindeki nem miktarı arttığında iletkenliğı de hızla artabilmektedir [51].

2.2.6. Ahşabın estetik özellikleri

Ahşap, kendine has doğal bir koku barındırması ve renginin estetik açıdan çekici bulunmasından dolayı yüzyıllardır farklı alanlarda kullanımı sürekli artan önemli bir doğal malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca kolay şekil alabilen yapısına ek olarak işlevsel bir malzeme olduğu için de estetik kaygı güdülen alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır [51]. Ahşabın doğal haliyle estetik bir kurguda bulunması, onun görseelliğini arttırmakta ve bulunduğu ortama estetik bir görünüm katmaktadır. Fakat ahşap temelli ürünlerin özellikle günlük kullanıma uygun ürünlerde kullanılması için üst yüzey işlemlerinde kullanılacak olan malzemeler; antimon, arsenik, baryum, kadmiyum, krom, kurşun, cıva, selenyum gibi ağır metaller ya da zararlı kimyasallar barındırmamalı, kimyasal içerik açısından TS EN 71 standardında belirtilen kriterlere uygun ve kokusuz olması gerekmektedir [52].

2.3. Geçmişten Günümüze Ahşap Taşıyıcı Sistemler

Türk tarihinde geleneksel olarak nitelendirilmekte olan evlerde oldukça çeşitli ağaçlardan yararlanılmaktadır. Bu ağaç türlerinin başında; gürgen, sedir, kavak, köknar, meşe, ardıç ve çam gelmektedir. Gelenekselleşen ahşap sistemlerin birçoğundan genellikle çam ağacı türleri tercih edilmektedir. Ekonomik durumu yükseldikçe genellikle meşe, sedir ve kestane ağaçlarını tercih etmektedir. Genel olarak evlerin çatı kısımlarında kullanılmakta olan kavak ağaçları ise Orta Anadolu'nun önemli bir kısmında evin geneli için tercih edilmektedir [53].

Tarihi yapılarda karşılaşılan bir sistem olan ahşap karkas sistemi kirişlerin, payandaların ve dikmelerin uygun bir biçimde bir araya getirilmesi ve daha sonrasında temele mesnetlenmesi işlemi ile yapılmaktadır. Bu yapı olası dış faktörlere karşı bir çatı yardımıyla korunmaktadır. Bu çatıyı ise, kuşak elemanları, aşık, karkas üstüne dikme, mertek ve kiriş gibi elemanlar oluşturmaktadır. Alaturka ve Marsilya kiremitlerinin yardımıyla çatı izole hale gelir. Karkasta oluşan boşlukları kapatmak ve yapıyı izole etmek için duvarlar inşa edilir. Bu duvarların yapısı farklı teknikler içermektedir. Sonrasında çıkma adı verilen yapılar inşa edilir. Bunun amacı manzara açısını arttırmak ve yapıdaki kullanım alanlarını genişletmektir. Ahşap yapının oluşturulması ile birlikte kaplama adında süsleme işlemleri yapılır. Bu sistemler ülke tarihimizdeki eski yapıların inşa şeklinin önemli bir örneğidir. Taşıyıcı iskelet yapımında mukavemetlerine göre üç farklı kalitede ahşap malzemesi kullanılabilir [54]. Mukavemetin ölçüt olduğu bu kalite farklarının yanı sıra budak boyutları, ahşabın birim hacim ağırlığı, bünye sorunları, halka kalınlıklarının yıllık oranı ve kesim esnasında yapılan sorunlar gibi etkenler de kalite farklarını ortaya koymuştur.

2.4. Ahşap Taşıyıcı Sistem Elemanları

Taşıyıcı sisteme etki eden ahşap yapılardaki yük aktarımı göz önünde bulundurulduğunda çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir.

2.4.1. Duvarlardaki taşıyıcı elemanlar

Duvarlar Dış ortama karşı yapıyı çevresinden ayıran, koruyan ve yapı cephelerini oluşturarak yapı sınırını belirleyen, yapı içinde ise iç bölmeleri oluşturarak mekanları birbirinden ayıran yapı elemanıdır. Bu elemanlar, kullanılan ahşap yapı tekniğine bağlı olarak, yatay olarak düzenlenen kütük gibi ahşap elemanlar, düşey olarak düzenlenen dikmeler, eğik olarak düzenlenen elemanlar (payandalar, diyagonaller) ve panel duvarlardan oluşmaktadır. Ayrıca ahşap yapılarda taşıyıcı elemanlar üç grupta ele alınmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibidir [55].

Ahşap Yığma Duvarlar: Yapısı ahşap olan duvarların yuvarlak biçimli ağaçlar ya da kalas kullanılmak suretiyle elde edilmesidir. Kalas ya da kütüklerin köşe uçlarından birbirine kenetlenebilmeleri özel şekilde oyulmuş oyuklarla sağlanmaktadır. Duvar öğelerinin özel oyuklarla birbirine geçirilmesine boğaz geçme denmektedir. Yapı duvarlarını meydana getiren yön olarak genelde zemine enine ve de kesit olarak birbirlerine yakın öğelerden oluşmaktadır. Yapı kütlesi açısından ele alındığında yapı ağırlığını yüksek oranda arttırdığından düşük emniyet gerilmesi bulunan zeminlerde kullanılması sağlıklı ve uygun görülmemektedir. Birleşim yöntemi açınsansa yatay yükler karşısında performansı son derece azdır.

Ahşap Çerçeve Duvarlar: Meydana getirilen ahşap karkaslarda boş çerçeveler olması halinde yapı çerçevesinin doldurulup ya da doldurulmaksızın farklı metotlarla kaplanmasıyla meydana gelen yapı unsurlarıdır.

Dolgulu ve Dolgusuz Duvarlar: Yapı iskeletini meydana getiren unsurların arasında kalan boşluklarda kaplama malzemesi ya da sıvayla gerçekleştirilen kapatma işlemiyle yapılmaktadırlar. En sık ise bağdadi sıva uygulanmaktadır. Ahşap iskeletin üstüne çıtaların çakılmasının ardından duvarların dış ve iç yüzeyi saman ya da harçla sıvanmaktadır. Buna “bağdadi sıva” denir. Kaplama uygulamalarında ahşap malzemeden alınan kaplama elemanları bindirmeli ya da düz biçimde çivi kullanılıp yapı iskeleti örtülmektedir [56].



Şekil 2.1. Ahşap duvar elemanı [57]

2.4.2. Temeller

Ahşap yapı temelinde yine ahşap kullanılmaktadır. Suyun altında oldukça sertliği artıp taşlaşan kestane ağacı, bu temellerde en uygun tercih olmaktadır. Yapıların tümünde çelik, betonarme veya ahşap taşıyıcı sistem unsurları genelde benzeri yüklerin etkisindedir. Düşey yükler; yatay şekilde düzenlenen döşeme-kiriş gibi unsurlara etki yapmakta, bunlar da yükü perde duvar ve kolon gibi düşey unsurlar iletmekte; yük buradan temele iletilmektedir [58]. Temeller ise bu yükü temelin türüne göre mesnetlenmiş oldukları zemine aktarmaktadır. Deprem halindeyse yapının ağırlık merkezine etki eden deprem yükleri döşeme, giriş gibi unsurlar vasıtasıyla eğilme rijitliklerine bağlı şekilde düşey taşıyıcı unsurlara iletmektedirler.

Genellikle yukarıda bahsedilmiş olan taşıyıcı elemanlar yük aktarma için önem arz etmekle beraber bilhassa deprem sırasında yapıların ayakta durabilmeleri çoğunlukla düşey taşıyıcı elemanlara bağlıdır. Bu da onları daha önemli kılmaktadır. Ahşap yapılarda ve özellikle geleneksel biçimde inşa edilmiş olanlarda bölge şartları ve ustaların becerilerine bağlı şekilde çok farklı taşıyıcı mekanizmaların uygulandığı görülmektedir. Dolayısı ile taşıyıcılık ve mimari bakımından farklı biçimlerde sınıflandırılmaları mümkündür. Ahşap olan yapılarda kullanılmakta olan taşıyıcı sistemler ve bunların yükün etkisinde çalışma şekillerine bağlı biçimde şöyle gruplandırılmaları mümkündür [59]:

1. Taşıyıcı sistemli kütüklerden meydana gelen ahşap yapılar.
2. Taşıyıcı sistemi içinde eğik elemanların bulunmadığı ahşap yapılar.
3. Yatay çitılar ile taşıyıcı sistemi güçlendirilen ahşap yapılar.
4. Taşıyıcı sisteminde panel duvarlar olan ahşap yapılar.

2.4.3. Çatı taşıyıcı elemanları

Ahşap yapılardaki çatılar oturtma çatılar olup yükler dikmeler vasıtasıyla duvar ve kirişlere aktarılmaktadır. Çatılardaki bağlantıların tümü çivilerle yapılmaktadır. Çatı düzeni genelde üst kat kirişleriyle uyumlu olmadığından mahya aksları boyunca ana çatının kirişleri yerleştirilmektedir. Mahyanın oturacak olduğu aks boyu önce baba ve köşe denilen dikmeler yerleştirilmekte ve bunlarla mahyalar birbirlerine bağlanmaktadır [60].

Köşe mertekleri ve mahyalar yapı köşelerine bağlanıp çatı eğimi verildikten sonra çatı kirişi ve mahya araları eşit parçalara bölünmektedir. Sonrasında mertekler eşit aralıklı şekilde çatı kirişleri arasına yerleştirilmektedir. Merteklerin üstü 2,5-3,0 cm kalınlığında döşeme ahşaplarıyla kaplanmaktadır ve üstü alaturka kiremitle döşenmektedir. Anadolu’da iki, üç, dört tarafa eğilimli olan çatılar ile düz toprak damlı çatılar yapılmaktadır. Safranbolu dolaylarında çark örtü denen, dört tarafa eğilimli kırma çatılar bu yapılarda en fazla kullanılan çatı şeklidir [61]. Bu tarz çok yönde eğimli bulunan çatılar genelde kent veya kasabalara yakın kesimlerde vardır. Dağlık ve iç bölgelerdeyse makas uygulama kolaylığı ve de çatı aralarının kullanılabilirliği tercih edildiğinden beşik çatılar inşa edilmektedir [62]. Beşik çatıların bazılarında hakim rüzgârın yönüne bakan tarafa ağırlık verilip kısmi kırma-kısmi beşik çatılar meydana getirilmektedir.



Şekil 2.2. Ahşap çatı elemanı [63]

2.4.4. Döşeme-Kiriş elemanları

Yapıların tümünde çelik, betonarme veya ahşap taşıyıcı sistem unsurları genelde benzeri yüklerin etkisindedir. Düşey yükler; yatay şekilde düzenlenen döşeme-kiriş gibi unsurlara etki yapmakta, bunlar da yükü perde duvar ve kolon gibi düşey unsurlar iletmekte; yük buradan temele iletilmektedir. Temeller ise bu yükü temelin türüne göre mesnetlenmiş oldukları zemine aktarmaktadır. Deprem halindeyse yapının ağırlık merkezine etki eden deprem yükleri döşeme, kiriş gibi unsurlar vasıtasıyla eğilme rijitliklerine bağlı şekilde düşey taşıyıcı unsurlara iletmektedirler [64].



Şekil 2.3. Ahşap döşeme-kiriş elemanı [65]

2.4.5. Merdivenler

Merdivenler, farklı olan iki seviyenin arasında bağlantı ve hareketi temin eden yatay kademeli yapı unsurlarıdır. Bir kattan öbürüne insanları taşımaya ve yapı içinde insanların iletişim kurmalarına imkân vermektedir [66]. Rıht, basamak ve taşıyıcı bölümleri ahşaptan meydana gelen merdivenlere ahşap merdiven denmektedir. Bunlar daha ziyade düşük bir yangın tehlikesinin bulunduğu bir veya iki katlı binalarda, prefabrik yapılarda, büro ve mağazalarda kullanılmaktadır [67]. Eğer taşıyıcı ahşap kirişler basamak uçlarındaysa limon, altındaysa omurga kiriş denmektedir.



Şekil 2.4. Ahşap merdiven elemanı [68]

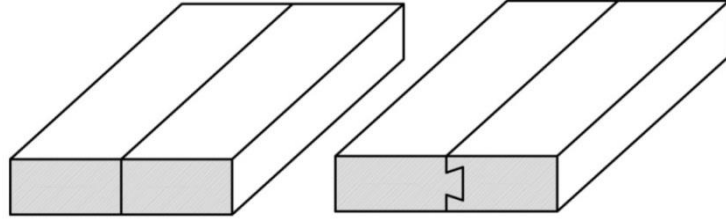
2.5. Ahşap Yapıların Taşıyıcı Sistemlerinde Kullanılan Birleştirme Çeşitleri

Yapı itibariyle ahşabın karakteristik nitelikleri, ahşapları aynı noktada yer alan ve yükü aktarmada görevli unsurların birleşiminde görülmektedir. Ahşabın heterojen bir yapıda olması, mukavemetinse liflerin doğrultusuyla direkt ilişkili bulunması, ahşap elemanları birleştirmede güçlük çıkartan temel noktalarlardır. Eski dönemlerde ip ve halat bağlantı elemanı olarak kullanılmıştır. Günümüzdeyse bunlar tercih edilmemekte, temel ahşap birleştirme biçimleri şöyle sıralanmaktadır [71]:

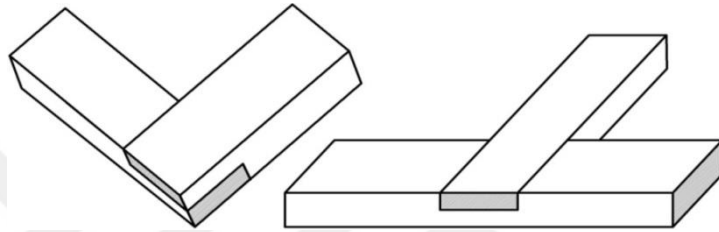
- a. En birleştirmeler.
- b. Köşe birleştirme çeşitleri.

c. Orta birleştirmeler.

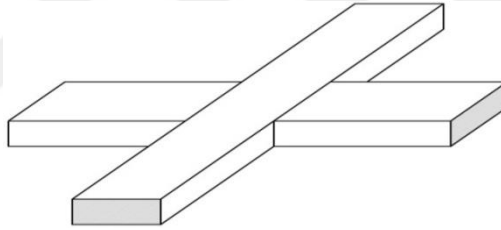
d. Boy birleştirmeler.



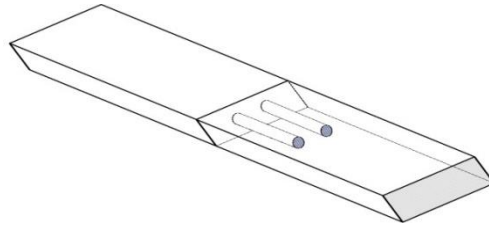
Şekil 2.5. Enine birleştirmelerde farklı örnek görünüşler



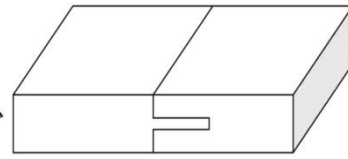
Şekil 2.6. Köşe birleştirmelerde farklı örnek görünüşler



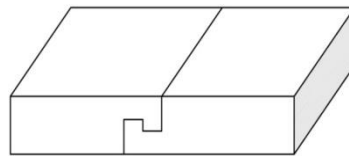
Şekil 2.7. Orta birleştirmelerde örnek görünüşler



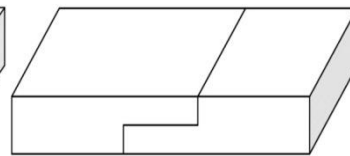
a) Kavelalı boy birleştirme



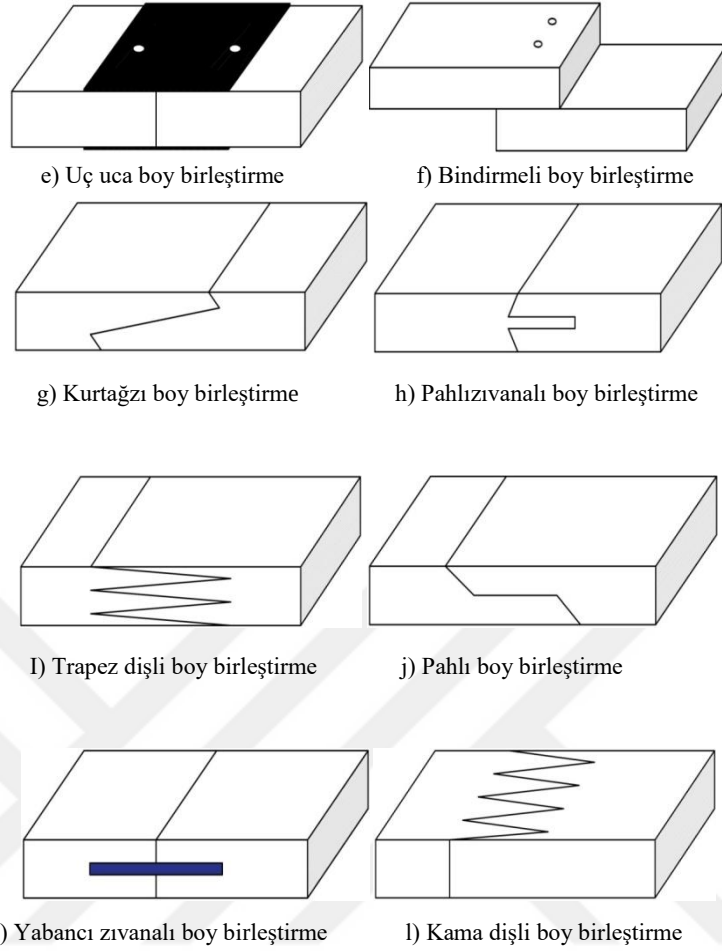
b) Düz zıvanalı boy birleştirme



c) Geçmeli boy birleştirme



d) Kertmeli boy birleştirme



Şekil 2.8. Boy birleştirmelerde farklı örnek görüntüler

2.6. Ahşap Yapılarda Restorasyon ve Önemi

Restorasyon uygulamasından önce geleneksel bir yapıda yapıyı meydana getiren unsurlardaki bozulmalar ve yapı genelindeki hasar incelenmektedir. Bozulma neticesinde oluşan hasar ve bozulma çeşidinin belirlenmesinin önceden yapılması doğru müdahaleler açısından önemlidir. Geleneksel ahşap mimariler yapıldıkları dönemin tekniğini ve izini bugüne taşımaktadırlar. Bu yapıların geleceğe aktarılabilmesi için doğru teknikler ile uygun biçimde restore edilmeleri önemlidir. [70].

Ahşap yapılarda tadilat, restorasyon ya da bakım gerçekleştirecek olan kurum veya kişilerin ahşap malzeme hakkında ve yapıyla ilgili bilgi sahibi olması gerekir. Bilinçsiz biçimde gerçekleştirilen çalışmalar yapılardaki taşıyıcı sisteme zarar

verecektir. Bunun yanında kültürel ve tarihi bakımdan önem arz eden bu yapılar aslına uygun biçimde korunmalıdır. Ahşap yapılardaki taşıyıcıların CFRP ile tadilatlarının kısa zamanda gerçekleştirilmesi görsellik, zaman ve güvenlik bakımından önem arz etmektedir [71].

Tarihi yapıların büyük bölümünü meydana getiren ahşap yapılar tarihi süreçte yapay ve doğal unsurlardan kaynaklı yıpranmalara maruz kalmışlardır. Kültür mirasında mühim bir parça olan bu yapıların gelecek kuşaklara sağlam biçimde aktarımı için onarılmaları şarttır. Bu çalışmalar ise elbette bilimsel ve bilinçli biçimde gerçekleştirilmelidir [70,72].



BÖLÜM 3. FİBER TAKVİYELİ ELYAF POLİMER (FRP)

3.1. FRP'nin Tanımı

En az iki ya da daha çok malzemenin, öne çıkan farklı nitelikleri olmak kaydı ile yeni bir malzemenin ortaya koyulması için gerçekleştirilen makro seviyeli birleşimler “kompozit malzeme” olarak adlandırılmaktadır. Bu malzemelerin yapılarının temelinde matris olarak ifade edilen ana yapı ve içeriğine eklenmiş olan takviye unsurlar yer almaktadır. Burada matris olarak ifade edilen yapı epoksi reçinesinden oluşmaktadır. Takviye elemanları ise; cam, karbon vb. fiber elyaflardan meydana gelmektedir [73].

Fiber malzemeler en genel hali ile bir boyutu diğer boyutundan daha büyük olan malzemeler olarak ifade edilebilmektedir. Fiber olarak değerlendirilebilecek bir malzemenin sahip olması gereken boyutlar; en büyük genişliği 0,25 mm, en büyük kesit alanı 0,05 mm, kalınlık /uzunluk oranı en az 1/10 olmalıdır [74]. Oluşturulan kompozit malzemelerin eylemsel özelliklerinin değerlendirilebilmesi için öncelikli olarak içeriklerinde yer alan matris ve fiber malzemelerin görevlerinin tanımlanabilmesi gerekmektedir. Kompozitlerde tercih edilen fiber elyafların ve matris malzemelerin öne çıkan görevlerinin şu şekilde sıralanması mümkündür [73];

Kompozit malzeme içeriğinde yer alan elyafların üstlendikleri:

1. Kompozit malzemelere uygulanmakta olan kuvvetin önemli bir kısmı fiberler tarafından taşınmaktadır. Bu oran çoğu zaman %90 seviyelerine çıkmaktadır.
2. Yüksek elastik modüle sahip olmaları, sert olmaları ve yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı olmaları, kompozit malzemelerin kararlı olmasını sağlamaktadır.
3. Bir kompozit malzemenin iletkenlik ya da yalıtım özellikleri tercih edilen fiber malzemelerin özellikleri tarafından belirlenmektedir.

Kompozit malzemelerin içeriğinde yer alan matrisler tarafından üstlenen görevler ise:

- a. Kompozit içeriğinde yer alan fiberler, matris malzemeler sayesinde bir arada kalmaktadır. Bu sayede fiberler dağınık bir şekilde hareket etmemektedir.
- b. Kompozit malzemeye uygulanan kuvvet, matris malzemeler üzerinden fiberlere aktarılmaktadır.
- c. Kompozit malzeme katı halde kalması ve şekil alması da matris malzemeler sayesinde sağlanmaktadır.
- d. Matris malzemeler, dışarıdan gelecek kimyasal ve fiziksel zararlı unsurlara karşı kompozit malzemeleri koruma altına almaktadır.

3.2. Fiberle Güçlendirilmiş Polimer Kompozit Çeşitleri (FRP)

Kullanım için birçok farklı tipte elyaf mevcuttur ve hepsinin kendi avantajları ve dezavantajları vardır. İnşaat mühendisliği uygulamalarında, en yaygın kullanılan üç elyaf türü cam, karbon (grafit) ve daha az ölçüde, aramittir (Kevlar). Çeşitli elyafların spesifik uygulamalar için uygunluğu, gerekli mukavemet, sertlik, dayanıklılık hususları, maliyet kısıtlamaları ve bileşen malzemelerin mevcudiyeti gibi bir dizi faktöre bağlıdır [75].

3.2.1. Cam elyafı (GFRP)

Cam elyafı genellikle direkt eritme adı verilen bir işlemle üretilir, burada 3 ila 25 mikron çapındaki elyaflar bir cam eriyikten hızlı ve sürekli çekme ile oluşturulur. Kompozit uygulamaların çoğu için cam elyaflar kullanılır, çünkü diğerlerinden daha ucuzdur. E-cam (en çok kullanılan), S-cam (daha fazla korozyon direncine sahip bir tel ve sert elyaf), R-cam (daha yüksek bir çekme dayanımı ve modülü ve daha yüksek direnç) gibi isimlerle bilinen farklı formlar vardır. Yorulma ve eskime) ve AR-cam (betonarme için kullanılan alkali dayanıklı bir cam). Cam elyafların temel özellikleri yüksek çekme dayanımları ve orta elastik modülleridir. Cam elyafları ayrıca mükemmel ısı ve elektrik yalıtkanlardır. Cam elyafları, özellikle tuzların ve yüksek alkaliliğin varlığında neme özellikle duyarlıdır ve FRP'de kullanılan reçine

sistemleri tarafından iyi korunmaları gerekir. Cam elyafları ayrıca yırtılmaya ve sürtünmelere karşı mukavemetlerini kaybetmeye karşı hassastır [75].

3.2.2. Karbon elyafı (CFRP)

Karbon fiberler, kontrollü piroliz adı verilen bir işlemle üretilir, burada üç potansiyel öncül fiberden biri, 5- aralığında çaplarda karbon lifleri üretmek için karmaşık bir dizi seri işlemden geçirilir (stabilizasyon, karbonizasyon, grafitleşme ve yüzey işleme). 8 mikron. Elde edilen lifler çok çeşitli özelliklere sahip olabilir ve bu yüzden elastik modüllerine göre farklılaşmış birkaç karbon elyaf sınıfı mevcuttur: Standart: 250-300 GPa, Orta: 300-350 GPa, Yüksek: 350-550 GPa, Ultra-Yüksek: 550-1000 GPa. Cam elyaflarından çok daha pahalı olmasına rağmen, karbon elyafları betonarme kirişlerin, kolonların ve levhaların onarımı ve güçlendirilmesi için beton ve yapısal FRP kaplamaları ön gerilme tendonları gibi yapısal mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Sürekli artan kullanımları, sürekli azalan maliyetlerine, yüksek elastik modüllerine ve mevcut güçlerine, düşük yoğunluklarına (düşük ağırlık) ve termal, kimyasal ve çevre etkilerine karşı olağanüstü dayanıklılıklarına bağlanabilir, nemi emmezler. Karbon lifleri ağırlık ve / veya sapmaya duyarlı yapılar için ideal seçimdir [75].

3.2.3. Aramid elyafı (AFRP)

Aramid elyafları, ekstrüzyon ve sıkma adı verilen bir işlemde aromatik poliamid adı verilen sentetik bir bileşikten üretilir. Bu fiberde, moleküler zincirler hidrojen köprüleriyle bağlı aromatik halkalar vasıtasıyla hizalanır ve sertleştirilir. Başlıca özellikleri yüksek güç, enerji emme kapasitesi özellikleri nedeniyle çarpma dayanımı, orta modül ve düşük yoğunluktur. Ek olarak, aramid fiberlerden üretilen FRP'ler, fiberlerin benzersiz anizotropik özelliklerinin bir sonucu olarak düşük basınç ve kesme kuvvetlerine sahiptir. Lifler, ultraviyole ışıktan ve nemden kaynaklanan bozulmaya karşı hassastır, ancak asit ve alkalilere karşı direnç gösterirler [75].

3.2.4. Bazalt elyafı (BFRP)

Bazalt elyafları, kırılmış volkanik lav tortularının eritilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Bazalt lifleri, cam liflerinden daha iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahiptir, ancak karbon liflerinden çok daha ucuzdur. Başlıca avantajları yangına dayanıklılık, akustik yalıtım ve kimyasal çevrelere karşı bağışıklık özelliğidir.

Tablo 3.1.'de farklı elyaf ve çelik tiplerinin tipik özelliklerini, kuvvetlerini, modüllerini ve yoğunluklarını gösteren göstermektedir [75].

Tablo 3.1. FRP kompozitler için fiberlerin özellik aralığı

Fiber tipi	Yoğunluk (Kg/m ³)	Çekme dayanımı (GPa)	Elastisite Modülü (GPa)
Cam	2.46 – 2.58	2.4 – 3.5	72 – 87
Karbon	1.74 – 2.20	2.1 – 5.5	200 – 500
Aramid	1.39 – 1.47	3.1 – 3.6	58 – 130
Bazalt	2.65 – 2.80	4.2 – 4.8	89 – 110
Çelik	7.85	480 – 700	200

Yapım mühendisliği için FRP ürünleri, ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen lifleri ve polivinil alkol liflerini içeriyorsa, şu anda kullanım aşamasında olan diğer lifler, sisal, keten ve bambu gibi doğal lifler, FRP ürünlerini üretmek için yalnızca deneysel uygulamalarda kullanılmıştır. Ancak, sürdürülebilirlik ve geri dönüştürülebilirliklerinden dolayı inşaat sektöründe daha önemli hale gelmeleri beklenmektedir [76].

3.3. FRP'nin Genel Özellikleri

Yapılacak olan uygulama kapsamında lifleri seçmede farklı noktalar etkili olmaktadır. Bunlar yapı tipi, beklenen yükleme, çevre şartları biçimindedir. Kısa bir açıklama yapacak olursak [77];

1. Cam lifleri çok kullanılmaktadır. Diğerlerine nazaran daha ucuz olup işletme karakteristiği de oldukça iyidir.

2. Yüksek dayanım ve yüksek rijitlik elde etmek için karbon lifleri en fazla olan takviye malzemesidir.
3. Aramid lifleri çok sıkı ve organiktir.
4. Aramid ve karbon lifleri pek çok kimyasal etki karşısında direnç göstermektedirler. Cam lifleri ise alkalilerce farklı etkilere maruz kalmaktadırlar.
5. Cam ve karbon lifleri ultraviyole ışıınımdan etkilenmemektedir. Ancak aramid lifleri, ultraviyole ışığın altında dayanım azalması ve renk değişimine maruz kalmaktadır.
6. Cam ve aramid liflerinde iletkenlik yoktur. Karbon lifiyse iletkenlidir. Bu iki lifin çekme ve basınç dayanımları yakın düzeydedir. Aramid'deyse çekme dayanımına nazaran basınç dayanımı son derece düşük düzeydedir.
7. Kirlilik bakımından incelemek gerekirse cam, karbon ve aramid liflerinin toksik etkisi yoktur ve atık olarak tehlikeli değildir.

3.4. FRP'nin kullanım alanları

3.4.1. FRP'nin inşaat sektöründe kullanımı

Yapılan proje sonucuna ve uygulanacak yapı elemanının durumuna göre değişmekle beraber hangi FRP sisteminin nasıl kullanılması gerektiğine karar verilmektedir. Bu uygulamaların tamamında değişmeyen reçinelerin karıştırılıp uygulanacak olan yere sürülmesi söz konusudur. Reçineler belirli ısı düzeyine erişmeden reaksiyona girmemektedirler. Çok sıcak olan ortamlardaysa reaksiyonlarını hızla tamamlayıp kristalleşebilmektedirler. Normal hava koşullarında beton 28 günde dayanımını almaktayken reçineler bunu yedi günde tamamlamaktadır. Ortam sıcaklığına bağlı olarak 3-60 dk. aralığında kristalleşmektedirler. Burada dikkat edilecek olan en mühim nokta sertleştirici ve reçine karıştırılıp kristalleşme başlamaksızın FRP'nin uygulanmasıdır [77]. Bu uygulamalar sırasında el ve gözler gerekli önlemler alınarak korunmalıdır.

Yüzey hazırlığı tamamlanan bölgeye polyester uygulanırken bir yandan FRP kumaş polyester ile doyurulmaktadır. Bu iş sert yapıdaki rulolara polyesterle doldurulan yayvan kap içinde bastırmak suretiyle yapılmaktadır. Polyester ve kumaşın beraber hareket etmesi ve malzeme oluşturabilmesi için kumaş içinde bir hava boşluğunun bırakılmamasına dikkat edilmelidir. Ardından kumaş, yapıştırılacak olan yere yerleştirilerek yeniden üstünden rulo ile bastırılmaktadır. Polyesteri iyi emmeyen yerler varsa yine sürme işlemi yapılır. Polyester kristalleşmeden tüm işlemlerin tamamlanması gerekmektedir [78]. Bu nedenle kristalleşme süreci esnasında yalnızca yeteri kadar polyester hazırlanması gerekmektedir. Ülkemiz içerisinde en fazla uygulaması yapılan iskeletli yapı çeşitleri olarak ahşap, betonarme ve çeliği saymak mümkündür. Betonarme yapılar ahşap ve çeliğe nazaran daha sonra ortaya çıksa da Avrupa’da ve Türkiye’de daha yaygın olan bir uygulama alanına sahiptir. Bu durumun temel nedeni uygulama alanının amaca uygun olması ve ekonomiklidir.

Son on yılda, yapı mühendisliğinde FRP kompozitlerinin daraltı malzemesi olarak kullanımında önemli bir büyüme olmuştur. Bu malzemeler, yeni bina ve köprülerin yapımında ve mevcut yapıların yenilenmesinde kullanım için değerli olduklarını kanıtlamışlardır

3.4.1.1. Restorasyonda FRP kullanımı

Rehabilitasyon çalışmalarının büyük çoğunluğu eski bozulan yapıların onarımı, sismik faaliyetlerden kaynaklanan hasarlar ve diğer doğal tehlikelerden oluşmaktadır. Yapısal güçlendirme ayrıca çevresel maruz kalma, yetersiz tasarım, düşük kaliteli yapı ve mevcut tasarım gereksinimlerini karşılama ihtiyacından doğabilecek bozulma sorunları nedeniyle de gereklidir. Bu nedenle, yapısal onarım ve güçlendirme son yirmi yılda dünya genelinde büyük ilgi görmüştür [79]. Bu nedenle, etkili, dayanıklı ve uygun maliyetli tamir, güçlendirme ve güçlendirme malzemelerinin ve metodolojilerinin geliştirilmesine acil ihtiyaç vardır [80].

Genellikle, FRP kompozitleri aşağıdaki durumlarda yapısal Restorasyon için kullanılabilir [81].

1. Tasarım aşamasındaki eksiklikler: tasarım hataları, yetersiz güvenlik faktörleri, düşük sınıf malzemelerin kullanımı ve düşük inşaat kalitesi.
2. Kullanımda, hizmette, yani artan güvenlik gereklilikleri (yapısal tasarım yükseltilmesi), gerilimlerin yeniden dağıtılmasına ve uygulanan yükün artmasına neden olan modernizasyon.
3. Yapının yük kapasitesini tehlikeye atan malzemelerin yaşlanması: örneğin, düşman deniz veya endüstriyel ortamlarda somut bozulma.
4. Yangın veya sismik olaylar olarak kazalar.
5. Beton yapıların rehabilitasyonu kapsamında, genellikle hatalı şekilde birbirlerinin yerine kullanılan tamir, güçlendirme ve güçlendirme terimleri arasında ayırım yapılması esastır [80].
6. Bir yapının “onarımında”, FRP kompozit bir çatlak veya birkaç parçalanmış yapısal bileşen gibi yapısal veya işlevsel bir eksikliği gidermek için kullanılır.
7. Yapıların “güçlendirilmesi”, FRP kompozitinin eklenmesi veya eklenmesi veya uygulanmasının mevcut tasarlanmış performans seviyesini artıracak durumlara özgüdür.
8. “Güçlendirme” terimi, tesislerin sismik yükseltmeleri ile ilgili olarak kullanılır.

3.4.1.2. Onarım ve güçlendirmede FRP kullanımı

FRP kompozitlerle onarım beton, kereste, metal ve duvar yapılarında başarıyla kullanılmıştır. Betonun yapısal inşaat malzemesi olarak baskın olan rolü, FRP kompozitinin beton yapıların, yani köprüler ve büyük yapısal elemanların onarımında uygulanmasını simüle etmiştir [82].



Şekil 3.1. FRP’lerle güçlendirilmiş betonarme kolonlar

3.4.1.3. Sismik Güçlendirmede FRP kullanımı

Mevcut yapıların yapısal eksiklik sorunu özellikle sismik bölgelerde akuttur, çünkü orada bile yapıların sismik tasarımı nispeten yenidir. Dünyanın sismik olarak aktif bölgelerinde yapısal olarak eksik beton kolonlarda hapsedmenin artması, altyapı uygulamalarında FRP malzemelerinin en önemli uygulamalarından biri olduğunu kanıtlamıştır [83].

Betonarme yapıların, yani geleneksel çelik tekniklerini kullanan köprüler gibi sismik güçlendirme, etkili olsa da zaman alıcı olduğu, önemli miktarda trafik bozulmasına neden olduğu, saha kaynağına dayandığı ve korozyona karşı duyarlı olduğu bulunmuştur. Ek olarak, yöntemlerin birçoğu, bitişik yapısal elemanları yüksek iletilen sismik kuvvetlerden kaynaklanan risk altında bırakan kolonların sertliğini ve dayanım kapasitesini arttırmaktadır. Bu uygulamada FRP kompozitlerinin kullanımı sertlikte bir artış olmadan sadece bir sınırlama aracı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda az trafik müdahalesine sahip düşük maliyetli ve dayanıklı ceketlerin hızlı bir şekilde üretilmesini sağlar (Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Bir köprünün FRP kompozitler ile sismik güçlendirme

3.4.1.4. Ahşap yapılarda FRP kullanımı

Kereste mühendisliği, son yıllarda geleneksel malzemelere ve yöntemlere bir alternatif sunmak için ilerlemiştir. Fiberle güçlendirilmiş plastiklerin (FRP) onarım ve güçlendirme için ahşap yapılara yapıştırıcılar ile bağlanması birçok avantaja sahiptir. Ancak, belirlenmiş tasarım kurallarının bulunmaması, çoğu durumda, bunların çoğu geleneksel teknik için tercih edilen bir seçenek olabileceği durumlarda FRP güçlendirmenin kullanımını büyük ölçüde sınırlamıştır. Son yıllarda FRP ile güçlendirilmiş ahşap ve işlenmiş ağaç ürünlerinin performansı üzerine önemli bir araştırma yapılmıştır [84].

FRP'nin keresteye olan bağlanma davranışı üzerine araştırmalar henüz başlangıç aşamasındadır. Ahşap özellikleri ve örnekleri, FRP tabakalarının (çubukların) kalınlıkları (çapları) ve FRP tabakalarının (çubukların) örnekleri ve yapışkanın kalınlığının dahil olduğu FRP ile ahşap arasındaki bağı etkileyen çeşitli faktörlerin etkisini belirlemek için daha fazla araştırma yapılmalıdır. Sonlu elemanlar analizi için doğrudan kullanılacak FRP-totimber için yerel bağ-kayma ilişkisi kesinlikle gelecekteki araştırma odağıdır [84].

Ahşap yapıların güçlendirilmesi için iki yöntem vardır: yüzeye yapıştırılarak ve önceden yapılmış testere kesimlerine yapıştırarak. İkinci yöntem, genellikle yapının

ilk görünümünü kaydetmek gerektiğinde kullanılır. Büyük bükülme momenti olan yerlerdeki karbon fiberlerden yapılan dış güçlendirme elemanları en sık biçilmiş ve lamine ahşap kirişlerde kullanılır. Kirişin alt yüzeyine yapıştırılan iki yönlü tuval, ana gerilme gerilmelerinin eleman eksenine boyunca çatlaklara neden olabileceği yerlerde kullanılır. Tuvalin kayma bölgelerinde kontrplak kiriş ağına yapıştırılması sağlamlığı kuvvetle artırır. Bu takviyenin ahşap yapılar için geleneksel yöntemlere kıyasla en önemli avantajları şunlardır: hızlı ve kolay kurulur, görünmez hale getirmek mümkündür [85].

Takviye edilmiş ahşap elemanları ileri elyaf takviyeli plastik (FRP) kompozit malzemelerle takviye eden yeni bir ahşap yapı analizi yapılmıştır. Yöntem, epoksi reçineleri kullanarak ahşap yapıların gerilme bölgeleri üzerine ince FRP tabakalarının dışta bağlanmasını içerir ve artırılmış mukavemet, sertlik ve süneklik özellikleri olan üyeler verir. Kompozit tabakalar, epoksi reçinesi gibi bir matris ile birleştirilmiş, hafif ve yüksek bir mekanik performans sistemine neden olan tek yönlü, kesintisiz liflerden (örneğin karbon) yapılır. İnce bir karbon FRP (CFRP) levha ile güçlendirilmiş bir ahşap kiriş (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Ahşap taşıyıcı sistemlerin FRP'ler ile güçlendirilmesi

3.5. FRP' nin Geleceği

Son zamanlarda, iç yapılarının bir parçası olarak fiber optik sensörler (FOS) içeren FRP malzemeleri geliştirilmiştir. Bu FOS, yapının içindeki gerilim ve sıcaklıktaki değişiklikleri ölçmek için kullanılabilir ve mühendislere kısa ve uzun vadeli performansı hakkında bilgi verebilir. Kanada'da zaten birkaç akıllı yapı inşa edilmiş

ve Şu anda gözlem altında olmasına rağmen, bu malzemeler gelişen bir teknoloji olarak kabul edilebilir. Akıllı yapılar ve materyaller şüphesiz gelecekte daha önemli ve yaygın hale gelecektir [86].

3.6. Cam Elyaf Takviyeli Plastik (GFRP)

Savunma, uzay, havacılık, otomotiv gibi sanayilerdeki hızlı gelişim ve yoğunlaşan rekabet sonucunda performansı yüksek ürünler tasarlanmakta, bu da yüksek mukavemeti olan hafif malzemeleri gerekli kılmaktadır. Bu gereksinime yanıt olması için 1950'ler itibariyle kompozit malzemelerin üretilmeye başlanması ve günden güne daha yaygın bir kullanım alanı bulmasıdır.

Cam elyafla takviye edilmiş plastik malzemenin çevresinde hacim olarak daha çok polyester, boya, dolgu malzemesi, kimyasal reaksiyonlar için gereken maddelerden meydana gelen bir matris vardır. Matris, deformasyon esnasındaki çatlak oluşmasını engellemekte, mekanik özellikleri iyileştirmektedir [87]. GFRP'nin temel faydaları şöyledir:

- a. Mukavemet/ağırlık orantısında avantaj ve sertliği
- b. Sınırsız kalıplama boyutu
- c. Kolaylıkla üretim yapılması
- ç. Çok miktarda üretim metodu
- d. Tasarımda esneklik
- e. u dayanımının mükemmel olması
- f. Az bir maliyetle üretim imkânı
- g. Küçük sermaye yatırımı
- h. Diğer malzemeler ile bağdaşma imkânı
- i. Çok miktarda kimyasal maddeye dayanım
1. Hava şartlarına dayanım

- j. UV ışınları karşısında dayanım
- k. Kendinden renklendirme imkânı
- l. Yanmazlık olanağı
- m. İsteğe bağlı şekilde ışık geçiren özellikli olarak üretebilme
- n. İstenen özellik ve mukavemette üretme kolaylığı
- o. Değişik mekanik özellikler elde edebilmek için çeşitli katman ve kombinasyonlarda malzeme üretebilir olunması,
- p. Hacimsel fazda, GFRP üretmek için metallerden daha düşük düzeyde enerjiye gereksinim duyulmaktadır [88].

3.6.1. GFRP'nin özellikleri

GFRP malzemeler, mekanik nitelikleri, kimyasal dayanımlarının yüksek olması ve maliyetlerin düşük olması nedeniyle bugün en fazla kullanılmakta olan kompozit malzemelerinden bir tanesidir. GFRP, rüzgâr tribününden otobüse, uçaktan düş teknesine dek son derece geniş bir sahada kullanım sahibidir. GFRP levha üretimde hammadde olarak çeşitli katkı malzemelerinin yanı sıra jelkot, reçine, elyaf takviyesi kullanılmaktadır. GFRP levhalar genelde üç yöntemle üretilmektedir. El yatırma bir kalıp üstüne sürülmektedir. Bundan sonra kalıba cam fiber yatırılmakta ve polyesterle ısıtılıp levha üretimi yapılmaktadır [89].

Bu yöntemde levha ölçüleri kalıptaki kadardır. Bunun yanında emek yoğun bir üretim olduğundan ürünlerde önemli görsel ve mekanik farklar da meydana gelebilmektedir. Pultrüzyon metodundaysa polyester ve cam fiber, ısıtılan bir kalıptan çekilip polyester küreleştirilmektedir. Burada görsellik, mukavemet ve kalınlık açısından daha stabil ürünler elde edilmektedir. Bunun yanında bu yöntemde istenen uzunlukta ürünler elde etmek mümkündür. Ürünler istenen uzunluğa geldiklerinde hat sonundaki testere ile kesilmektedirler.

3.7. Karbon Elyaf Takviyeli Plastik (CFRP)

Başta özellikle havacılık ve uzay olmak üzere karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) kompozitler pek çok mühendislik alanındaki malzemelerin alternatifi olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler farklı amaçlarla kullanıldığından delik delme, frezeleme, tornalama gibi ikincil işlemlere de gereksinim vardır. Metale nazaran daha hafif olduklarından ve iyi boyutsal özellikleri koruyabilmesi, kırılma dayanımı, yüksek tokluk, yüksek özgül dayanım gibi nitelikleri sebebiyle de karbon elyaf takviyeli plastik (CFRP) kompozitler tercih edilmektedir. Yüksek hız gereksinimi olan uygulamalarda, uzay ve havacılık alanlarında bu özellikler sayesinde performans artmaktadır. Örnek vermek gerekirse makine konstrüksiyonlarında CFRP kompozitler çeliğe nazaran beş kat daha hafif yapıdadırlar. Bunun yanında ısıl genleşme katsayısı sıfıra yakın olduğundan CFRP kompozitlerin oldukça hassas optik tezgâhlar ve boyutsal açıdan kararlı anten tasarımında kullanımına imkân vermektedir [90,91,92].

3.7.1. KTP'nin özellikleri

Mühendislik malzemelerinde önemi gittikçe artan CFRP kompozitler reçine transferi, elle yatırma, vakum altında kalıplama, basınç altında kalıplama gibi metotlar kullanılıp tek bir işlemde istenen nihai formun elde edilebilmesi biçiminde üretilmektedirler. Bugün kompozit malzemeler farklı amaçlarla kullanıldıklarından delik delme, frezeleme, tornalama gibi işlemler de gerekmektedir [93].

Bu kompozitler metale nazaran sürtünme katsayılarının düşük olması, üstün bir aşınma dirençleri, iyi yağlanma gibi nitelikleri nedeniyle tribolojik uygulamalar için de kullanılmaktadırlar [94]. Tribolojik nitelikleri analiz etmede önemli parametreleri sıcaklık, sürtünme yüzeyi, kimyasal direnç, bağlı hareket, malzeme cinsi biçiminde sıralamak mümkündür [95]. Cam ve karbon elyaf takviyeli polimer matrisli kompozit malzemelerin tribolojik özelliklerinin belirlenmesi için pek çok çalışmaya imza atılmıştır.

Mükemmel performansları olsa da elyaf takviyeli kompozitler homojen ve anizotropik olmadıklarından işlenmeleri karmaşık olmakta ve sorunlar görülmektedir. Bu malzemeleri işlerken deformasyondan kaynaklanan elyaf kopması, yüzey çatlağı, yüzey hasarı, düşük ısı iletme katsayısı nedeniyle kesici sıcaklığında artış gibi nedenlerle güçlükler oluşabilmektedir. Bu yüzden kompozit malzemeleri işlemede kesme parametreleri ve kesici takımların seçimi önem arz etmektedir [96,97].



BÖLÜM 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Dış yükler altında kalan malzemelerin bu yüklere karşı direnci mekanik davranış olarak adlandırılmaktadır. Mekanik özellikler malzemelere çeşitli deneyler yapılarak elde edilen veriler sonucu belirlenmektedir [71].

Malzemelerin şekil değiştirmeleri, elastik ve plastik olmak üzere iki şekilde oluşur. Elastik deformasyon malzemenin elastik bölgesinde meydana gelir. Bu durumda malzemenin üzerindeki yük kaldırıldığında tekrar eski haline dönebilir. Ancak malzeme plastik davranış evresine geçtiğinde kalıcı deformasyona uğrayarak üzerindeki yük kaldırıldığında bile eski haline dönmemektedir [71].

Bu çalışmada ahşabın mukavemeti ve davranışları incelenecektir . Ahşap heterojen ve anizotrop bir malzeme olmasının yanı sıra mekanik özelliklerine etki eden çok sayıda faktör vardır. Bu faktörlerden bazıları şunlardır;

1. Ahşabın cinsi
2. Lif yönleri
3. Budak, çatlak, ezik vb. görüntü bozukluğu
4. Rutubet miktarı
5. Mantarlama
6. Ağacın kesilme mevsimidir.

Ayrıca bu çalışmada kullanılacak bir diğer malzeme de FRP kompozitlerdir. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini etki eden faktörleri ise;

1. Elyaf geometrisi ve doğrultusu,

2. Takviye elemanı türü ve özelliği,
3. Matris türü ve özelliği,
4. Uygulanan üretim tekniği,
5. Elyaf boy/çap oranı,
6. Matris-takviye elemanları arasında oluşan aderans,
7. Takviye elemanın hacim oranı şeklinde sıralamak mümkündür.

Yapılan çalışmada kompozit malzemenin üstün özelliklerinin ahşabın vazgeçilmez Sıcak görünümü ile birlikte kullanımı incelenmiştir. Amaçla, 12 farklı konfigürasyonla güçlendirilmiş kertmeli, uç uca ve yabancı zıvanalı boy birleştirilmeli ahşap numunelerde çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyinde, numunelerin çekme gerilmeleri değerleri birbiriyle karşılaştırılacaktır. Ayrıca 12 farklı konfigürasyonla güçlendirilmiş L tipi, T tipi ve 45° gönye birleştirilmeli ahşap numunelerde konsol eğilme deneyi yapılmıştır. Konsol eğilme deneyinde, numunelerin moment değerleri birbiriyle karşılaştırılacaktır.

4.1. Materyal

4.1.1. Sarıçam

Çam ağacı doğal olarak kuzey, orta ve doğu Avrupa'da bulunur. Doğal orman çamı veya yaygın çamı botanik ailesine aittir. Kuzey yarımküre'de, botanik ailesinde 100'dan fazla çam türü bulunmaktadır. Genel olarak, Türkiye'de Kuzey Anadolu bölgesinde bulunur. Kayseri-Maraş Arası, Kütahya, Bursa, Kütahya, Eskişehir, Oltu, Akdağ Madeni, Posof, Sarıkamış dolaylarında yetişmektedir. Ülkemizde yaklaşık 757500 hektarlık bir alanda sarıçam ormanları bulunmaktadır[98].

Çam toprağa bağlı olarak 25 ila 40 m yüksekliğe kadar ve ormanlık alanlarda, 150 ile 200 yılda arasında büyüyor, ancak tek tek ağaçlar 600 yaşına kadar büyüyebilir. Çam ağacı normalde 100 ila 160 yaşları arasında kesilir [99].

Bu çalışmada kullanılan sarı çam ahşap numuneleri doğal yollarla kurutulmuş, lifleri düzgün, budaksız, kusursuz, mantarlar ve böcekler tarafından zarara uğramamış 1.sınıf sarıçam, Sakarya bölgesindeki kereste firmalardan elde edilmiş ve rastgele seçim yöntemi ile seçilmiştir [42,100].

4.1.1.1. Sarıçamın fiziksel özellikleri

Sarıçamın fiziksel özellikleri Tablo 4.1.'de verilmiştir [101].

Tablo 4.1.Sarıçamın fiziksel özellikleri

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

4.1.1.2. Sarıçamın mekanik özellikleri

Sarıçamın mekanik özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir [48].

Tablo 4.2. Sarıçamın mekanik özellikleri

Gerilmeler ve elastisite modülleri	Nütasyon(birim)	I sınıf	II sınıf	III sınıf
Liflere paralel Çekme	$\sigma_{\text{çem}}$ (kg/cm ²)	105	85	0
Liflere paralel basınç	σ_{bem} /(kg/cm ²)	110	85	60
Liflere dik basınç	$\sigma_{\text{bem}\perp}$ (kg/cm ²)	20	20	20
Makaslama	τ_{em} (kg/cm ²)	9	9	9
Eğilme emniyet dayanımı	σ_{eem} (kg/cm ²)	130	100	70
Liflere paralel elastisite modülü	$E_{//}$ (kg/cm ²)	100000	100000	100000
Liflere dik elastisite modülü	$E_{\perp}$ (kg/cm ²)	3000	3000	3000
Kayma modülü	G (kg/cm ²)	5000	5000	5000

Sarıçam, yapı ve inşaat, kompozit ahşap malzemelerin imalatı, pencereler, cephe paneller, iç döşeme, mobilya, kontrplak imalatında, kesme kaplama levha

üretiminde, tornacılıkta, kimyasal odun hamuru elde edilmesinde, emprenye edildiği takdirde travers olarak, tel direği, maden direği, bayrak direği ve su içi inşaatlarda kullanılmaktadır.

4.1.2. Metal levhalar

Deneyde kullanılacak 2 mm kalınlığında ST 235 sınıfı çelik levhalar sıcak haddelenme yapılarak üretilen yassı çeliklerdir. Türkiye'de ve dünyada en çok üretilen ve tüketilen ürünlerdir. Özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde her geçen sene üretimi ve tüketimi artmaktadır. ST 235 levhalar, FRP'lerden daha yüksek yoğunluğa sahip ($7,85 \text{ g/cm}^3$), kesme emniyet gerilmesi $\tau_{em}=1120 \text{ kg/cm}^2$, akma sınırı $\sigma_a=2350 \text{ kg/cm}^2$ sahip bir malzemedir. ST 235 levhalar inşaat ve sanayi sektöründe kullanılmaktadır [102].

4.1.3. Karbon elyaf takviyeli plastikler (CFRP)

Numunelerin hazırlamasında kullanılan karbon elyaf levhalar 2 mm'lik kalınlıkta ve uygun boyutlarda ESA Kimya firmasından temin edilmiştir. Karbon elyaf düşük yoğunluğa sahip (1.8 g/cm^3), çelikten 5,2 kat daha hafif ve nemden etkilenmez ve bu sayede sınırsız raf ömrüne sahip, sürtünme ve yorulma mukavemeti çok yüksek ve ısıya karşı boyutsal stabilite, yüksek germe çekme dayanımına (çekme dayanımı 579 MPa [103].) sahip bir malzemedir. Karbon elyaf sahip olduğu bu özellikler için gerek onarım ve gerek güçlendirme çalışmalarında tercih edilmektedir [104].

4.1.4. Cam elyaf takviyeli plastikler (GFRP)

Numunelerin hazırlamasında kullanılan cam elyaf levhalar 2 mm'lik kalınlıkta ve uygun boyutlarda ESA KIMYA firmasından temin edilmiştir. Cam elyaf yüksek korozyon dayanımı, bakım gerektirmez, hafiftir, düşük kurulum maliyeti, yüksek darbe dayanımı (150 kJ/m^2), yangın dayanımı, kimyasallara karşı yüksek dayanım, çevreyle dosttur, yüksek mekanik dayanım (çekme modülü 26,47 MPa, çekme dayanımı 480 MPa [105], basma mukavemeti 196 MPa, çekme uzaması 1,7%),

tasarım esnekliği, kolay tamir edilebilirlik, yüksek ısıl dayanım $0,15 \text{ W/mC}^\circ$, İstenilen renkte üretilebilme, Sonsuz ömürdür. Cam elyaf sahip olduğu bu özellikler için gerek onarım ve gerek güçlendirme çalışmalarında tercih edilmektedir[105,106]

4.1.5.Epoksi

Kullanılan iki bileşenli epoksi, diğer termoset plastikler gibi belli süre sonra sıvı halden katı hale geçer ve takip eden bir iki hafta içinde kuruyarak nihai sertliğe ulaşır. Cam veya karbon elyaf ile epoksi kombinasyonu yüksek mekanik dayanıklılığa sahiptir, Yüksek aşınma direncine sahip, uçucu olmayan ve kimyasal dirençleri yüksektir, düşük ve yüksek sıcaklarda sertleşebilme özelliğine de sahiptir. Eğilmede Çekme Dayanımı min 25 N/mm^2 , basınç dayanımı min 90 N/mm^2 ve kayma gerilmesi 20 MPa [107]. Bu sayede uzay ve havacılık teknolojilerinde, otomotiv, medikal, denizcilik ve inşaat alanında sıklıkla kullanılır [104].

4.2. Çekme Deneyi

Ahşabın çekme dayanımı belirlenmek üzere farklı numuneler üzerinde çekme deneyi uygulanmıştır. Deneye tabi tutulacak numuneler ahşap yapılarda sıkça kullanılan boy birleştirme yöntemiyle hazırlanmıştır. Numunelerde meydana gelen lif süreksizliği nedeniyle dayanım azalmaktadır. Bundan dolayı metal ve FRP levhalar kullanarak lifler sürekliliği sağlanmaktadır.

Bu çalışmada sırasıyla aşağıdaki deneyler yapılmış ve deney sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır;

1. Kertmeli boy birleştirmede, Epoksili ve tek bulonlu hazırlanan numunelerin çekme deneyi
2. Kertmeli boy birleştirmede, çift metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
3. Kertmeli boy birleştirmede, çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

4. Kertmeli boy birleştirmede, çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
5. Uç uca boy birleştirmede, çift ahşap levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
6. Uç uca boy birleştirmede, çift metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
7. Uç uca boy birleştirmede, çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
8. Uç uca boy birleştirmede, çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
9. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, ahşap levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
10. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
11. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi
12. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Hazırlanan ahşap numunelere, çekme makinesinde belirlenen hızlarda çekme kuvveti uygulanmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında Excel programına aktarılarak gerekli hesaplamalar yapılmış, grafikler çizilmiş ve maksimum çekme gerilme değerleri bulunmuştur.

4.2.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar

4.2.1.1. Çekme makinesi

Yapılan çekme deneyinde kapasitesi 50 ton olan bilgisayar destekli hidrolik yükleme cihazı kullanılmıştır. Kullandığımız cihaz elde edilen verileri grafikler halinde sunmaktadır. Ayrıca kuvvet – uzama değerleri de excel formatında alınabilmektedir [108].



Şekil 4.1.Çekme makinesi

4.2.1.2. Kumpas

Yapılan deneylerde daha doğru sonuçlar elde etmek için numuneler hazırlanmasında dijital kumpas kullanılmıştır. Bu sayede ölçümleri hassas olarak belirlememizi sağlamıştır. 0.01 mm ölçüm hassasiyetine sahiptir.

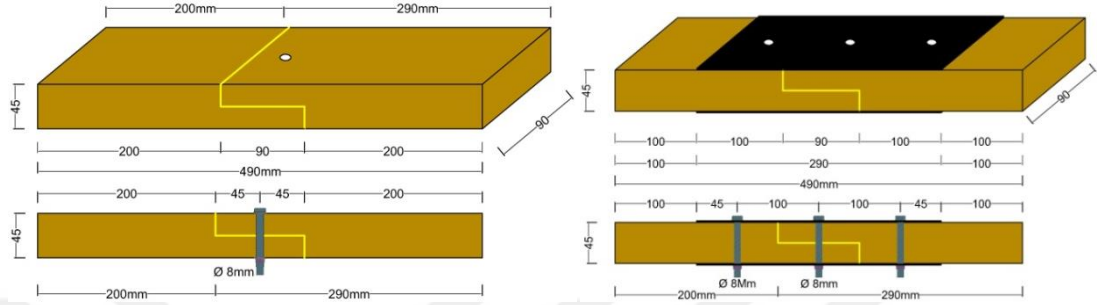


Şekil 4.2.Kumbas

4.2.2.Çekme deney numuneleri hazırlanması

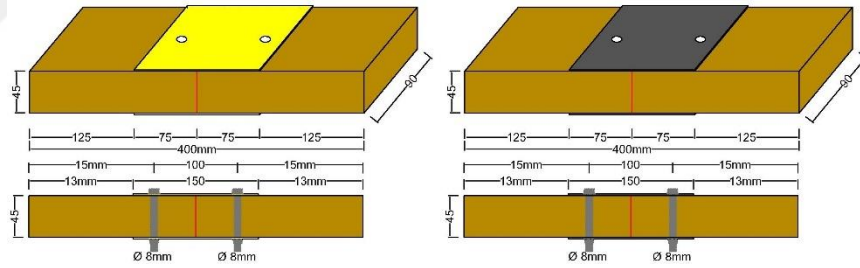
Numuneleri hazırlamak için 4,5*9 cm boyutlarında, 20 Cm ve 29 Cm uzunluğunda 1.sınıf çatlaksız ve budaksız sarıçam ahşap kesilip Etüvde 105 °C 24 saat bekletilmiştir. Her grup numune çeşidi için 6 'şar numune hazırlanmıştır. Güçlendirme işleminde kullanılan levhalar kertmeli boy birleştirmeleri için 29 cm ve uç uca birleştirmeleri için 15 cm uzunluğunda kesilmiştir.

Kertmeli boy birleştirme için kesilen 4,5*9*29 cm masif ahşabın ucundan 2.25*9cm boyutlarında ve 9 Cm uzunluğunda bir parça çıkarılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler TS 4499 [109], göz önünde bulundurularak uç uca birleştirilerek kullanılacak malzeme çeşitlerine göre 6 'şar numune üretilmiştir (Şekil 4.3.).



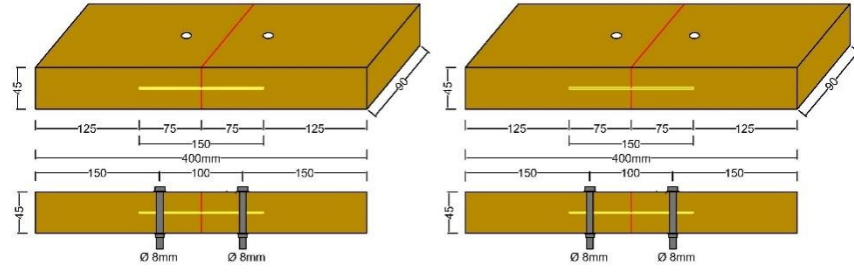
Şekil 4.3. Kertmeli boy birleştirme numuneleri

Uç uca boy birleştirme numunelerinin hazırlanmasında kesilen 4,5*9*20 cm TS 4499 göz önünde bulundurularak masif ahşabın uç uca epoksi sürerek kullanılacak malzeme çeşitlerine göre 6'şar numune üretilmiştir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.4. Uç uca boy birleştirme numuneleri

Yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerinin hazırlanmasında kesilen 4,5*9*20 cm TS 4499 göz önünde bulundurularak masif ahşabın uçtan 7,5 cm uzunluğunda bir oyuk açılmıştır. Farklı malzemelerden hazırlanan 9*20 cm levhalara hazırlanan epoksi sürülüp oyuğa yerleştirilerek iki bulonla sabitlenmiştir. Kullanılacak malzeme çeşitlerine göre 6'şar numune üretilmiştir (Şekil 4.5.).



Şekil 4. 5.Yabancı zıvanalı boy birleştirme numuneleri

Tüm numuneler hazırlandıktan sonra işkenceler kullanılarak 72 saat preslenmiştir (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. İşkenceler kullanarak boy birleştirme numuneleri preslenmesi

4.2.3. Çekme deney metotları

Deneylerde, numunelere lif doğrultusunda çekme gerilmesi uygulanarak yüke karşılık gelen uzama değerleri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir [110]. Formül (4.1) kullanılarak çekme gerilmeleri, formül (4.2) kullanılarak birim deformasyonu hesaplanmış ve gerilme-deformasyon grafikleri çizilmiştir.

$$\sigma = P / F \quad (4.1)$$

σ = Gerilme (MPa), P = Yük (N), F = Kesit Alanı(Mm²)

$$\xi = \Delta l / l \quad (4.2)$$

ξ = Birim Deformasyon (%), Δl = Boy Değişimi (cm), l = ilk Boy (cm)

4.3. Konsol Eğilme Deneyi

Ahşap yapılarda kullanılan önemli birleştirme türlerinden olan köşe birleştirme (L ipi, T tipi ve 45° gönye) yöntemlerine göre hazırlanmış olan numuneler üzerinde konsol eğilme deneyi yapılmıştır. Yapılan deney sonucunda oluşan moment maksimum kuvvete göre hesabı yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda veriler değerlendirilerek en iyi güçlendirme çeşidi belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada sırasıyla aşağıdaki deneyler yapılmış ve deney sonuçları birbirleriyle kıyaslanmıştır;

1. Ham L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
2. Metal levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
3. CFRP levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
4. GFRP levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
5. Ham T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
6. Metal levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
7. CFRP levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
8. GFRP levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi
9. Ham 45° gönye birleştirmede konsol eğilme deneyi
10. Metal levhalı 45° gönye birleştirmede konsol eğilme deneyi
11. CFRP levhalı 45° gönye birleştirmede konsol eğilme deneyi
12. GFRP levhalı 45° gönye birleştirmede konsol eğilme deneyi

4.3.1. Konsol eğilme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar

4.3.1.1. Eğilme makinesi

Kullanılan mekanik test cihazı metal, kompozit, taş, beton, tuğla, harç ve ahşap gibi malzemelerin çekme, basma ve eğmede dayanım değerlerini tespit etmektedir. Kapasitesi 50 kN'dur. Ayrıca cihaz test edilen malzemelerin maksimum kuvvet, minimum kuvvet, standart sapma, akma sınırı, enerji, belli bir uzamadaki yük veya

gerilme değerini veya belli bir yükteki uzama değerlerini istatistiki olarak verebilmektedir [113].

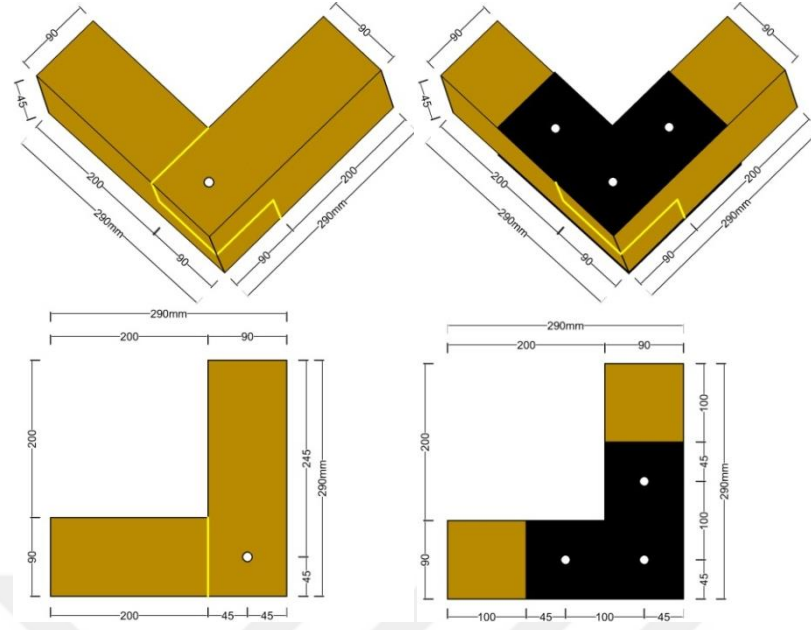


Şekil 4.7. Çekme-eğilme makinesi

4.3.2. Konsol eğilme deney numunelerinin hazırlanması

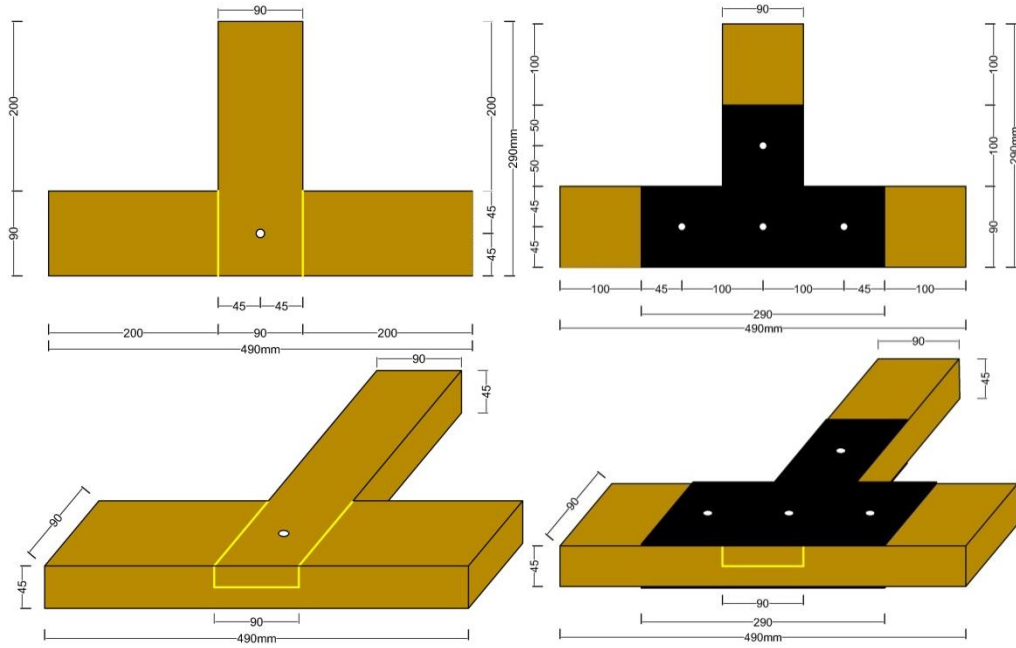
Güçlendirme işleminde kullanılan levhalar farklı tiplerde, (L, T ve 45°) kesilmiştir. Numuneleri hazırlamak için 4,5*9 cm boyutlarında ve 29 cm ve 50 cm uzunluğunda 1.sınıf çatlaksız ve budaksız sarıçam ahşap kesilip etüvde 105°C de 24 saat bekletilmiştir.

L tipi birleştirme hazırlanmasında kesilen 4,5*9 cm boyutlarında ve 29 cm uzunluğunda masif ahşap L şeklinde üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra bulonlu, metal levhalı ve karbon ve cam levhalı numunelerinden 6 'şar numune üretilmiştir (Şekil 4.8.).



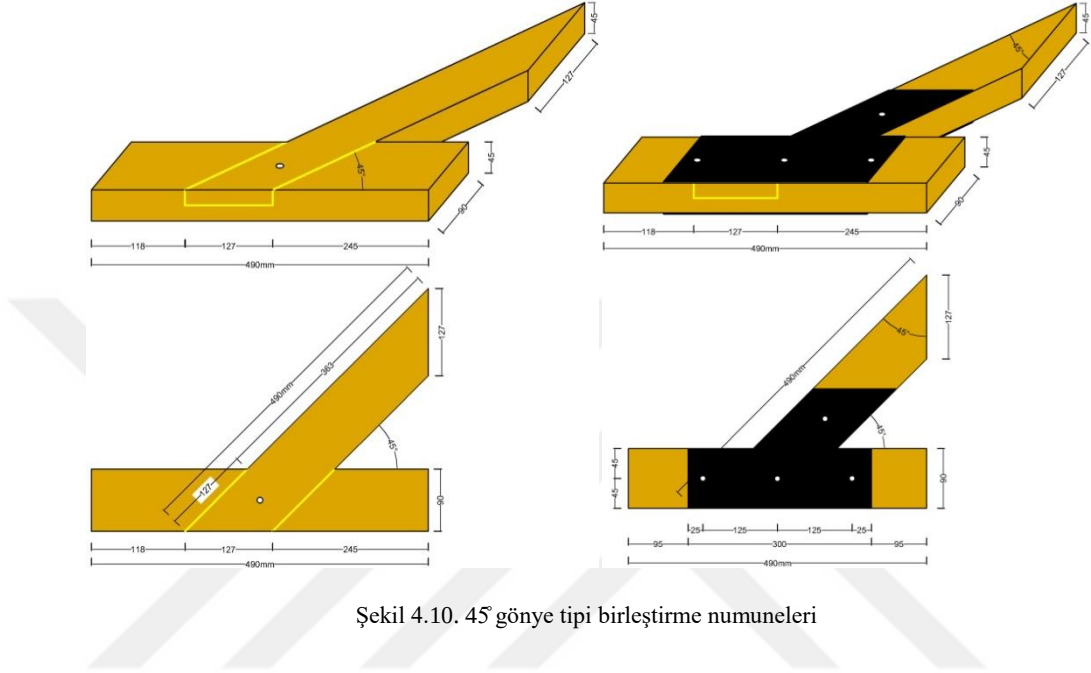
Şekil 4.8. L tipi birleştirme numuneleri

T. tipi birleştirme hazırlanmasında kesilen farklı uzunluktaki iki parça masif ahşap kertilmiş, Kesilen ahşap T şeklinde üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra bulonlu, metal levhalı ve karbon ve cam levhalı numunelerden 6 'şar tane üretilmiştir (Şekil 4.9.).



Şekil 4.9. T tipi birleştirme numuneleri

45° gönyeli birleştirme hazırlandığında kesilen iki düz ahşap (50 cm uzunluğunda) parçaların birinin ucundan ve diğerinin ortasından kertilerek, ahşaplar 45 derece açıyla üst üste yerleştirilerek hazırlanmıştır. Sonra bulonlu, metal levhali ve karbon ve cam levhali numunelerinden 6 'şar tane üretilmiştir (Şekil 4.10.).



Şekil 4.10. 45° gönye tipi birleştirme numuneleri

Tüm numuneler hazırlandıktan sonra işkenceler kullanılarak 72 saat preslenmiştir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. İşkenceler kullanarak T ve 45° gönye numuneleri preslenmesi

4.3.3. Konsol eğilme deney metotları

Eğilme deneylerinde birleştirme yerlerinde oluşan moment, aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak belirlenmiştir [114].

$$M = P \times L$$

Burada;

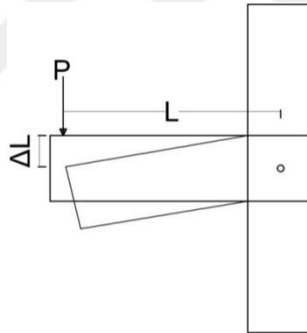
M = Moment (KN.cm)

P = Kırılma anındaki maksimum kuvvet (N)

L = Moment kolu (23 Cm)

L, T ve 45° gönye tipi birleştirme elemanlarının mekanik davranışını inceleyebilmek amacıyla düşey yönde meydana gelen yer değiştirme miktarları ölçülmüş olup, aşağıdaki eşitlik yardımıyla deplasman hesaplanmıştır (Şekil 4.12.).

$$S = \Delta L / L$$



Şekil 4.12. Birleştirme elemanlarının yük altındaki yer değiştirme davranışı

BÖLÜM 5. NUMUNELERİN TEORİK HESABI

5.1. Numunelerin Çekme Dayanım Teorik Hesabı

Levhali numuneler farklı üç malzeme kullanarak hazırlanmıştır. Her malzeme için teorik hesabı yapılmalıdır. Yani her numune için ahşaba, levhalara ve epoksiye göre çekme dayanımı bulunacaktır.

1. Ahşaba göre teorik hesabı

Ts 647'e dikkate alınarak, bulonlu birleşimler, tek, çift veya daha çok etkili olarak yapılabilir. Bulon, zorunluk olmadıkça tek etkili olarak kullanılmalıdır. Bu birleşimlerde bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi, lif doğrultusundaki kuvvetler için ahşap sınıfına bağlı olmaksızın Tablo 4.3.'daki formüller ile hesaplanır [111].

Tablo 4.3. bulonlu birleşimlerde kuvvetin lifler doğrultusunda etkimesi halinde bir bulonun emniyet yükü

Çalışma konumu		σ_{Lem}	A	P_{em}	P	σ
Tek tesirli		40	170	40.e.d fakat en çok 170.d ²	K. P_{em}	$\frac{P}{F}$
Çift tesirli	Kenar ahşapta	55	260	55.e.d fakat en çok 260.d ²		
	Orta ahşapta	85	380	85.e.d fakat en çok 380.d ²		
e; cinsinden ahşap kalınlığı (cm)				d; cinsinden bulon çapı, (cm)		
A; cinsinden sabit bir değer, kg/cm ²				P; kırılma yükü		
K; ahşabın emniyet katsayısı =3				σ ; gerilme		
σ_{Lem} ; ahşabın ezilme emniyet gerilmesi				F; kesit alanı		

2. Levhalara göre teorik hesabı;

Bir birleşim aracının aktardığı kuvvetler Tablo 4.4. de verildiği gibi olduğunu hesaplanır [112].

Tablo 4.4. Metala göre Çekme dayanımı hesap tablosu

Gerilme	P_{em}	P	σ
Makaslamaya göre	$\frac{\pi d^2}{4} \times \tau_{em}$	$\gamma \times P_{em}$	$\frac{P}{F}$
Ezilmeye göre	$d \times t_{min} \times \sigma_{em}$		
P_{em} ; emniyet yükü (kg) d ; bulonun çapı τ_{em} ; kesme emniyet gerilmesi, d ; deliğin çapı = 0,9 cm γ ; emniyet katsayısı σ_{em} ;ezilme emniyet gerilmesi t_{min} levhanın kalınlığı = min(t_1 , t_1+t_2)			

3. Epoksi reçine göre teorik hesabı;

Yapıştırma bağlantısı tarafından taşınan maksimum kuvvet Tablo 4.5.'daki formüller ile hesaplanır [107].

Tablo 4.5. Epoksiye göre çekme dayanımı hesap tablosu

f	P	σ
$l \times h$	$\tau \times f$	$\frac{P}{F}$
τ ; epoksinin kesme gerilmesi, $\tau = 200 \text{ kg/cm}$ f ; Cinsinden epoksinin alanı l ; cinsinden epoksinin uzunluğu (cm) h ; cinsinden epoksinin yüksekliği (cm)		

İstenilen çekme dayanımı elde edilecek sonuçlardan en küçük değerdir.

$$\sigma = \min(\sigma_{ahşap}; \sigma_{metal \text{ veya FRP }}; \sigma_{epoksi})$$

5.1.1. Kertmeli boy birleştirmede çekme dayanım hesabı

5.1.1.1. Epoksili ve tek bulonlu (ham) numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ile epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu tek tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Ahşaba göre [111];

$$\sigma_{em} = 40 \text{ kg/cm}^2, A = 170 \text{ kg/cm}^2, d = 0,9 \text{ cm}$$

$$P_{1em} = 2.25 \times 0,9 \times 40 = 81 \text{ kg} \rightarrow P_1 = 3 \times 81 = 243 \text{ kg}$$

$$\sigma_1 = \frac{243}{2.25 \times 9} = 12 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 1,2 \text{ MPa}$$

$$P_{2em} = 170 \times 0,9^2 = 137,7 \text{ kg} \rightarrow P_2 = 3 \times 137,7 = 413,1 \text{ kg}$$

$$\sigma_2 = \frac{413,1}{2.25 \times 9} = 20,4 = 2,04 \text{ MPa}$$

Epoksi reçine göre [107];

$$F = 10 \times 0,2 = 2 \text{ cm}^2$$

$$P_3 = 200 \times 2 = 400 \text{ kg} \rightarrow \sigma_3 = \frac{400}{0,2 \times 9} = 222,22 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 22,22 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min(\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3) = \min(1,2; 2,04; 22,22) \rightarrow \sigma = 1,2 \text{ MPa}$$

5.1.1.2. Çift metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve çift metal levha ile 3 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Metala göre;

Makaslamaya göre;

$$\tau_{em} = 1120 \text{ kg/cm}^2, d = 0,8 \text{ cm}$$

$$P_{1em} = 2 \times \frac{\pi d^2}{4} \times \tau_{em} = 2 \times \frac{\pi \times 0.8^2}{4} \times 1120 = 1126 \text{ kg} \rightarrow P_1 = 1,71 \times 1126 = 1925,4 \text{ kg}$$

$$2 \text{ bulon için } P_1 = 2 \times 1925,4 = 3850,8 \text{ kg}$$

$$\sigma_1 = \frac{3850,8}{0,9 \times 4,9} = 873,2 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 87,32 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre

$$\sigma_{em} = 2400 \text{ kg/cm}^2, d; \text{ bulon çapı} = 0,8 \text{ cm}, t_{\min} (\text{levhanın kalınlığı}) = 2 \times 0,2 = 0,4 \text{ cm}$$

$$P_{2em} = 0,9 \times 0,4 \times 2400 = 864 \text{ kg} \rightarrow P_2 = 1,71 \times 864 = 1477,44 \text{ kg}$$

$$2 \text{ bulon ; } P_2 = 2 \times 1477,44 = 2954,88 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{2954,88}{0,4 \times 9} = 820 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 82 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre

$P_{3em} = 2,25 \times 0,9 \times 85 = 172,125 \text{ kg}$. Fakat metal levhalar kullandığı için P_{em} kuvveti %25 arttırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$P_{3em} = 1,25 \times 172,125 = 215,15 \text{ kg}$$

$$P_3 = 2(\text{bulon}) \times 3 \times 215,15 = 1290,9 \text{ kg} \rightarrow \sigma_3 = \frac{1290,9}{2,25 \times 9} = 63,7 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 6,37 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 1,25 \times 2(\text{bulon}) \times 3 \times 307,8 = 2308,5 \text{ kg}$$

$$\sigma_4 = \frac{2308,5}{2,25 \times 9} = 114 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 11,4 \text{ MPa}$$

Eopoksi reçine göre

$$F = (2 \times 30 \times 0,2 + 10 \times 0,2) = 14 \text{ cm}^2$$

$$P_5 = 200 \times 14 = 2800 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{2800}{3 \times 0,2 \times 9} = 518,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 51,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min (\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3; \sigma_4; \sigma_5) = \min (87,32; 82; 6,37; 11,4; 155,5) \rightarrow \sigma = 6,37 \text{ MPa}$$

5.1.1.3. Çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune, ahşap ve çift CFRP levha ile 3 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Karbon elyafına göre;

$$\tau = 710 \text{ kg/cm}^2 [115].$$

$$P_1 = 2 \times \frac{\pi d^2}{4} \times \tau = 2 \times \frac{\pi \times 0.8^2}{4} \times 710 = 713,77 \text{ kg}$$

$$2 \text{ bulon için } P = 2 \times 713,77 = 1427,54 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{1427,54}{0,9 \times 4,7} = 333,47 \text{ kg/cm}^2$$

Ezilmeye göre;

$$\sigma = 5790 \text{ kg/cm}^2$$

d; deliğin çapı = 0,9 cm ,

$$t_{\min} \text{ levhanın kalınlığı} = 2 \times 0,1 = 0,2 \text{ cm}$$

$$P_2 = d \times 2 \times t \times \sigma = 0,9 \times 0,2 \times 5790 = 1042,2 \text{ kg}$$

$$2 \text{ bulon; } P_2 = 2 \times 1042,2 = 2084,4 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{2084,4}{0,2 \times 9} = 1158 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 115,8$$

MPa

Ahşaba göre;

$P_{3em} = 2,25 \times 0,9 \times 85 = 172,125 \text{ kg}$. Fakat karbon levhalar kullandığı için ve deneysel çalışmalar sonuçlarına dikkate alınarak P_{em} kuvveti %100 artırılmış olarak göz önünde tutulmaktadır. $P_{3em} = 2 \times 172,12 = 344,25 \text{ kg}$

$$P_3 = 2(\text{bulon}) \times 3 \times 344,25 = 2065,5 \text{ kg} \rightarrow \sigma_3 = \frac{2065,5}{2,25 \times 9} = 102 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 10,2 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 2 \times 2(\text{bulon}) \times 3 \times 307,8 = 3693,6 \text{ kg}$$

$$\sigma_4 = \frac{3693,6}{2,25 \times 9} = 182,4 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 18,24 \text{ MPa}$$

Eopoksi reçine göre

$$\tau = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = (2 \times 30 \times 0,2 + 10 \times 0,2) = 14 \text{ cm}^2$$

$$P_5 = 200 \times 14 = 2800 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{2800}{3 \times 0,2 \times 9} = 518,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 51,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min(33,3; 115,8; 10,2; 18,24; 51,85) \rightarrow \sigma = 10,2 \text{ Mp}$$

5.1.1.4. Çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve çift GFRP levha ile 3 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap

değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Cam elyafına göre [115].

$$P_1 = 2 \times \frac{\pi \times 0.8^2}{4} \times 600 = 603,18 \text{ kg}$$

$$2 \text{ bulon için; } P_1 = 2 \times 603,18 = 1206,36 \text{ kg}$$

$$\sigma_1 = \frac{1206,36}{0,9 \times 4,7} = 285,19 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 28,5 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre;

$$\sigma = 4800 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_2 = 0,9 \times 0,2 \times 4800 = 864 \text{ kg}$$

$$2 \text{ bulon için; } P_2 = 2 \times 864 = 1728 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{1728}{0,2 \times 9} = 960 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 96 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre;

$P_{3em} = 2,25 \times 0,9 \times 85 = 172,125 \text{ kg}$. Fakat cam levhalar kullandığı için ve deneysel çalışmalar sonuçlarına dikkate alınarak Pem kuvveti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$P_{3em} = 1,2 \times 172,125 = 206,55 \text{ kg}$$

$$P_3 = 2(\text{bulon}) \times 3 \times 206,55 = 1239,3 \text{ kg} \rightarrow \sigma_3 = \frac{1239,3}{2,25 \times 9} = 61,2 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 6,12 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 1,2 \times 2 \times 3 \times 307,8 = 2216,16 \text{ kg}$$

$$\sigma_4 = \frac{2216,16}{2,25 \times 9} = 109,4 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 10,94 \text{ MPa}$$

Epoкси reçine göre;

$$\tau = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f = (2 \times 30 \times 0,2 + 10 \times 0,2) = 14 \text{ cm}^2$$

$$P_5 = 200 \times 14 = 2800 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{2800}{3 \times 0,2 \times 9} = 518,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 51,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min(28,5; 96; 6,12; 10,94; 51,85) \rightarrow \sigma = 6,12 \text{ MPa}$$

5.1.2. Uç uca boy birleştirmede çekme dayanım hesabı

5.1.2.1. Epoksili ve çift ahşap levha (ham) numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve çift ahşap levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Ahşaba göre;

Kenar ahşabına göre;

$$P_{1em} = 2 \times 0,2 \times 0,9 \times 55 = 19,8 \text{ kg}$$

$$P_1 = 3 \times 19,8 = 59,4 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{59,4}{0,4 \times 9} = 15,38 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 1,538 \text{ MPa}$$

$$P_{2em} = 2 \times 260 \times 0,9^2 = 421,2 \text{ kg}$$

$$P_2 = 3 \times 421,2 = 1263,6 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{1236,6}{0,4 \times 9} = 351 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 35,1 \text{ MPa}$$

Orta ahşabına göre;

$$P_{3em} = 4,5 \times 0,9 \times 85 = 344,25 \text{ kg}$$

$$P_3 = 3 \times 344,25 = 1032,75 \rightarrow \sigma_3 = \frac{1032,75}{4,5 \times 9} = 25,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 2,55 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 3 \times 307,8 = 923,4 \text{ kg} \rightarrow \sigma_4 = \frac{923,4}{4,5 \times 9} = 22,8 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 2,28 \text{ MPa}$$

Epoaksi reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{1200}{0,4 \times 9} = 333,33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min(\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3; \sigma_4; \sigma_5) = \min(1,538; 35,1; 2,55; 2,28; 33,33) \rightarrow \sigma = 1,538 \text{ MPa}$$

5.1.2.2. Çift metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve çift metal levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Metala göre;

Makaslamaya göre;

$$\tau_{em} = 1120 \text{ kg/cm}^2, d; \text{ bulonun } \text{çapı}$$

$$P_{1em} = 2 \times \frac{\pi \times 0.8^2}{4} \times 1120 = 1126 \text{ kg}$$

$$P_1 = 1,71 \times 1126 = 1925,4 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{1925.4}{0.9 \times 4.9} = 436,59 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 43,659 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre;

$$P_{2em} = 0,9 \times 0,4 \times 2400 = 864 \text{ kg}$$

$$P_2 = 1,71 \times 864 = 1477,44 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{1477.44}{0.4 \times 9} = 410,4 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 41 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre;

$P_{3em} = 4,5 \times 0,9 \times 85 = 344,25 \text{ kg}$. Fakat metal levhalar kullandığı için Pem kuvveti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır. $P_{3em} = 1,25 \times 3 \times 344,25 = 1290,9 \text{ kg}$

$$\sigma_3 = \frac{1290.9}{4.5 \times 9} = 31,87 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 3,1877 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 1,25 \times 3 \times 307,8 = 1154,25 \text{ kg} \rightarrow \sigma_4 = \frac{1145.25}{4.5 \times 9} = 28,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 2,85 \text{ MPa}$$

Eopoksi reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{1200}{0.4 \times 9} = 333,33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min (43,659; 41,3; 187; 2,85; 33,33) \rightarrow \sigma = 2,85 \text{ MPa}$$

5.1.2.3. Çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve çift CFRP levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Karbona göre;

Makaslamaya göre;

d; bulonun çapı , $\tau = 710 \text{ kg/cm}^2$

$$P_1 = 2 \times \frac{\pi \times 0.8^2}{4} \times 710 = 713,77 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{713,77}{0.9 \times 4.7} = 168,73 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 16,8 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre;

$\sigma = 5790 \text{ kg/cm}^2$, d; deliğin çapı = 0,9 cm, $t_{\min}$ (levhanın kalınlığı) = $2 \times 0,1 = 0,2 \text{ cm}$

$$P_2 = 0,9 \times 0,2 \times 5790 = 1042,2 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = 57,9 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre;

$P_{3em} = 4,5 \times 0,9 \times 85 = 344,25 \text{ kg}$. Fakat karbon levhalar kullandığı için Pem kuvveti %100 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır. $P_{3em} = 2 \times 3 \times 344,25 = 2065,5 \text{ kg}$

$$\sigma_3 = \frac{2065,5}{4.5 \times 9} = 51 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 5,1 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 2 \times 3 \times 307,8 = 1846,8 \text{ kg} \rightarrow \sigma_4 = \frac{1846,8}{4.5 \times 9} = 45,6 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 4,65 \text{ MPa}$$

Epoкси reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{1200}{0.4 \times 9} = 333,3 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min(\sigma_1; \sigma_2; \sigma_3; \sigma_4; \sigma_5) = \min(16,8; 57,9; 5,1; 4,56; 33,33) \rightarrow \sigma = 4,56 \text{ MPa}$$

5.1.2.4. Çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve çift GFRP levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Cam levhana göre;

Makaslamaya göre;

d; bulonun çapı , $\tau = 600 \text{ kg/cm}^2$

$$P_1 = 2 \times \frac{\pi \times 0.8^2}{4} \times 600 = 603,18 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{603,18}{0.9 \times 4.7} = 142,6 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 14,26 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre;

$$\sigma = 4800 \text{ kg/cm}^2 , d = 0,9 \text{ cm} , t = 2 \times 0,1 = 0,2 \text{ cm}$$

$$P_2 = 0,9 \times 0,2 \times 4800 = 864 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{864}{0,2 \times 9} = 480 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 48 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre;

$$P_{3em} = 4,5 \times 0,9 \times 85 = 344,25 \text{ kg} . \text{ Fakat cam levhalar kullandığı için Pem kuvveti } \%20 \text{ artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır. } P_{3em} = 1,2 \times 3 \times 344,25 = 1293,3 \text{ kg}$$

$$\sigma_3 = \frac{1293,3}{4,5 \times 9} = 30,6 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 3,06 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 1,2 \times 3 \times 307,8 = 1108,08 \text{ kg} \rightarrow \sigma_4 = \frac{1108,08}{4,5 \times 9} = 27,36 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 2,736 \text{ MPa}$$

Eopoksi reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{1200}{0,4 \times 9} = 333,33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min (14,26; 48; 3,06; 2,736; 33,33) \rightarrow \sigma = 2,736 \text{ MPa}$$

5.1.3. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede çekme dayanım hesabı

5.1.3.1. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, ahşap levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve tek ahşap levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Kenar ahşaba göre;

$$P_{1em} = 2 \times 2,15 \times 0,9 \times 55 = 212,85 \text{ kg}$$

$$P_1 = 3 \times 212,85 = 638,55 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{638,55}{4,3 \times 9} = 16,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 1,65 \text{ MPa}$$

$$P_{2em} = 2 \times 260 \times 0,9^2 = 421,2 \text{ kg}$$

$$P_2 = 3 \times 421,2 = 1263,6 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{1263,6}{4,3 \times 9} = 32,65 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 3,265 \text{ MPa}$$

Orta ahşaba göre;

$$P_{3em} = 0,2 \times 0,9 \times 85 = 15,3 \text{ kg}$$

$$P_3 = 3 \times 15,3 = 45,9 \text{ kg} \rightarrow \sigma_3 = \frac{45,9}{0,2 \times 9} = 25,5 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 2,55 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg}$$

$$P_4 = 3 \times 307,8 = 923,4 \text{ kg} \rightarrow \sigma_4 = \frac{923,4}{0,2 \times 9} = 513 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 51,3 \text{ MPa}$$

Eopoksi reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg} \rightarrow \sigma_5 = \frac{1200}{2 \times 0,2 \times 9} = 333,3 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 33,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min (1,65; 3,265; 2,55; 51,3; 33,33) \rightarrow \sigma = 1,65 \text{ MPa}$$

5.1.3.2. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve tek metal levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Metala göre;

Makaslamaya göre

$$P_{1em} = \frac{\pi \times 0,8^2}{4} \times 1120 = 563 \text{ kg}$$

$$P_1 = 1,71 \times 563 = 962,73 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{962,73}{0,9 \times 4,5} = 237,71 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 23,771 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre

$$P_{2em} = 0,9 \times 0,2 \times 2400 = 432 \text{ kg}$$

$$P_2 = 1,71 \times 432 = 738,72 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{738,72}{0,2 \times 9} = 410,4 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 41,04 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre;

$P_{3em} = 2 \times 2,15 \times 0,9 \times 55 = 212,85 \text{ kg}$. Fakat metal levhalar kullandığı için P_{em} kuvveti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$P_{3em} = 1,25 \times 3 \times 212,85 = 798,18 \text{ kg}$$

$$\sigma_3 = \frac{798,18}{4,3 \times 9} = 20,62 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 2,06 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg} \rightarrow P_4 = 1,25 \times 3 \times 307,8 = 1154,25 \text{ kg}$$

$$\sigma_4 = \frac{1154.25}{4.3 \times 9} = 29,82 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 2,98 \text{ MPa}$$

Eopoksi reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg}$$

$$\sigma_5 = \frac{1200}{2 \times 0,2 \times 9} = 333,33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min (23,771; 41,04; 2,06; 2,98; 33,33) \rightarrow \sigma = 2,06 \text{ MPa}$$

5.1.3.3. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve tek CFRP levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Karbon levhana göre;

Makaslamaya göre;

$$P_1 = \frac{\pi \times 0,8^2}{4} \times 710 = 356,88 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{356,88}{0,9 \times 4,5} = 88,11 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 8,81 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre;

$$P_2 = 0,9 \times 0,1 \times 5790 = 521,1 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{521,1}{0,1 \times 9} = 579 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 57,9 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre;

$P_{3em} = 2 \times 2,15 \times 0,9 \times 55 = 212,85 \text{ kg}$. Fakat CFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %100 artırılmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$P_{3em} = 2 \times 3 \times 212,85 = 1277,1 \text{ kg}$$

$$\sigma_3 = \frac{1277,1}{4.3 \times 9} = 33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 3,3 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg} \rightarrow P_4 = 2 \times 3 \times 307,8 = 1846,8 \text{ kg}$$

$$\sigma_4 = \frac{1846,8}{4.3 \times 9} = 47,72 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 4,77 \text{ MPa}$$

Eopoksi reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg}$$

$$\sigma_5 = \frac{1200}{2 \times 0.2 \times 9} = 333,33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min (8,81; 57,9; 3,3; 4,77; 33,33) \rightarrow \sigma = 3,3 \text{ MPa}$$

5.1.3.4. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme dayanım hesabı

Bu numune ahşap ve tek GFRP levha ile 2 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu çift tesirli olduğu için çekme dayanımının teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Cam levhaya göre;

Makaslamaya göre;

$$P_1 = \frac{\pi \times 0.8^2}{4} \times 600 = 301,59 \text{ kg} \rightarrow \sigma_1 = \frac{301.59}{0.9 \times 4.5} = 74,46 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_1 = 7,446 \text{ MPa}$$

Ezilmeye göre;

$$P_2 = 0,9 \times 0,1 \times 4800 = 432 \text{ kg} \rightarrow \sigma_2 = \frac{432}{0.1 \times 9} = 480 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_2 = 48 \text{ MPa}$$

Ahşaba göre;

$P_{3em} = 2 \times 2,15 \times 0,9 \times 55 = 212,85 \text{ kg}$. Fakat GFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$P_{3em} = 1,2 \times 3 \times 212,85 = 766,26 \text{ kg}$$

$$\sigma_3 = \frac{766.26}{4.3 \times 9} = 19,8 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_3 = 1,98 \text{ MPa}$$

$$P_{4em} = 380 \times 0,9^2 = 307,8 \text{ kg} \rightarrow P_4 = 1,2 \times 3 \times 307,8 = 1108 \text{ kg}$$

$$\sigma_4 = \frac{1108}{4.3 \times 9} = 28,6 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_4 = 2,86 \text{ MPa}$$

Epoksi reçine göre;

$$P_5 = 200 \times (2 \times 15 \times 0,2) = 1200 \text{ kg}$$

$$\sigma_5 = \frac{1200}{2 \times 0.2 \times 9} = 333,33 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \sigma_5 = 33,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \min (7,446; 48; 1,98; 2,86; 33,33) \rightarrow \sigma = 1,98 \text{ Mpa}$$

5.2. Numunelerinin Moment Hesabı

Eğilmeye ve makaslamaya çalışan elemanlara , bilindiği gibi kiriş adı verilir. Bu çalışmada eğilme deneyine tabi tutulacak numuneleri konsol kiriş gibi çalışılacaktır. Bu nedenle konsol eğilme deneyde elde edilen moment aşağıdaki formüller kullanarak hesaplanır.

Eğilme gerilmesine göre; $\sigma_{em} = \frac{M}{W} \rightarrow M = \sigma_{em} \times W$ [48].

W; mukavemet momenti; $W = \frac{bh^2}{6}$

Makaslamaya göre; $\tau = \frac{3 \times Q}{2 \times F} \leq \tau_{em}$

Kesit alanı; $F = b \times h$

$M = Q \times L$

İstenilen moment direnci elde edilecek sonuçlardan en küçük değerdir.

$M = \min (M_{ahşap}; M_{metal \text{ veya } FRP})$

5.2.1. L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

5.2.1.1. Ham L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve tek bulon ile epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{4,5 \times 9^2}{6} = 60,75 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 4,5 \times 9 = 40,5 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 60,75 = 7897,5 \text{ kg.cm} = 78,97 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 78,97 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$\tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q = \frac{2 \times 40.5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_2 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (M_1; M_2) = \min (78,97; 55,89) \rightarrow M = 55,89 \text{ kN.cm}$$

5.2.1.2. Metal levhalı L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift metal levha ile 3 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Metala göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.4 \times 9^2}{6} = 5,4 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0,4 \times 9 = 3,6 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 2400 \times 5,4 = 12960 \text{ kg.cm} = 129,6 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 129,6 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$\tau_{em} = 1120 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q = \frac{2 \times 3.6 \times 1120}{3} = 2688 \text{ kg} = P$$

$$M_2 = 2688 \times 23 = 61824 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 618,24 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{4.5 \times 9^2}{6} = 60,75 \text{ cm}^3$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 60,75 = 7897,5 \text{ kg.cm} = 78,97 \text{ kN.cm}$$

Fakat metal levhalar kullandığı için Pem kuvveti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 1,25 \times 78,97 = 98,71 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 98,71 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre; $\tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$

$$Q = \frac{2 \times 40.5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_4 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

Fakat metallevhalar kullandığı için momenti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 1,25 \times 55,89 = 69,86 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 69,86 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (129,6; 618,24; 98,71; 69,86) \rightarrow M = 69,86 \text{ kN.cm}$$

$$2 \text{ bulon için ; } M = 2 \times 69,86 = 139,72 \text{ kN.cm}$$

5.2.1.3. CFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift CFRP levha ile 3 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,2 \times 9^2}{6} = 2,7 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0,2 \times 9 = 1,8 \text{ cm}^2$$

Karbon levhasına göre

Eğilme gerilmesine göre

$$M_1 = 5790 \times 2,7 = 15633 \text{ kg.cm} = 156,33 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 156,33 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$\tau = 710 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q = \frac{2 \times 1,8 \times 710}{3} = 852 \text{ kg} = P \rightarrow M_2 = 852 \times 23 = 19596 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 195,96 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{4,5 \times 9^2}{6} = 60,75 \text{ cm}^3$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 60,75 = 7897,5 \text{ kg.cm} = 78,97 \text{ kN.cm}$$

Fakat CFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %100 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 2 \times 78,97 = 157,94 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 157,94 \text{ kN.cm}$$

$$\text{Makaslamaya göre; } \tau_{em} = 9 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q = \frac{2 \times 40.5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_4 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

Fakat CFRP levhalar kullandığı için momenti %100 artırmışolarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 2 \times 55,89 = 111,78 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 111,78 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min(156,33; 195,96; 157,94; 111,78) \rightarrow M = 111,78 \text{ kN.cm}$$

$$2 \text{ bulon için; } M = 2 \times 111,78 = 223,56 \text{ kN.cm}$$

5.2.1.4. GFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift GFRP levha ile 3 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol giriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Cam levhana göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.2 \times 9^2}{6} = 2,7 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0,2 \times 9 = 1,8 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M = 4800 \times 2,7 = 12960 \text{ kg.cm} = 129,6 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 129,6 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$\tau = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$Q = \frac{2 \times 1.8 \times 600}{3} = 720 \text{ vkg} = P \rightarrow M_2 = 720 \times 23 = 16560 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 165,6 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{4.5 \times 9^2}{6} = 60,75 \text{ cm}^3$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 60.75 = 7897.5 \text{ kg.cm} = 78.97 \text{ kN.cm}$$

Fakat GFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 1,2 \times 78,97 = 94,76 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 94,76 \text{ cm}$$

makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 40.5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_4 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

Fakat GFRP levhalar kullandığı için momenti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 1,2 \times 55,89 = 67,06 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 67,06 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (129,6; 165,6; 94,76; 67,06) \rightarrow M = 67,06 \text{ kN.cm}$$

$$2 \text{ bulon için; } M = 2 \times 67,06 = 134,12 \text{ kN.cm}$$

5.2.2. T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

5.2.2.1. Ham T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ile tek bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{4,5 \times 9^2}{6} = 60,75 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 4,5 \times 9 = 40,5 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 60,75 = 7897,5 \text{ kg.cm} = 78,97 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 78,97 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 40,5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_2 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

$$\rightarrow M = \min (M_1; M_2) = \min (78,97; 55,89) \rightarrow M = 55,89 \text{ kN.cm}$$

5.2.2.2. Metal levhalı T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift metal levha ile 4 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Metala göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,4 \times 9^2}{6} = 5,4 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0,4 \times 9 = 3,6 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_1 = 2400 \times 5,4 = 12960 \text{ kg.cm} = 129,6 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 129,6 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 3,6 \times 1120}{3} = 2688 \text{ kg} = P$$

$$M_2 = 2688 \times 23 = 61824 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 618,24 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

Eğilme gerilmesine göre;

$$M = 130 \times 60,75 = 7897,5 \text{ kg.cm} = 78,97 \text{ kN.cm}$$

Fakat metallevhalar kullandığı için Pem kuvveti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 1,25 \times 78,97 = 98,71 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 98,71 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 40,5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_4 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

Fakat metallevhalar kullandığı için momenti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 1,25 \times 55,89 = 69,86 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 69,86 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (129,6; 61,24; 98,71; 69,86) \rightarrow M = 69,86 \text{ kN.cm}$$

$$3 \text{ bulon için ; } M = 3 \times 69,86 = 209,58 \text{ kN.cm}$$

5.2.2.3. CFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift CFRP levha ile 4 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol giriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Karbon levhana göre;

Eğilme gerilmesine göre;

$$M = 5790 \times 2,7 = 15633 \text{ kg.cm} = 156,33 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 156,33 \text{ kN.cm}$$

makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 1.8 \times 710}{3} = 852 \text{ kg} = P \rightarrow M_2 = 852 \times 23 = 19596 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 195,96 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 60,75 = 7897,5 \text{ kg.cm} = 78,97 \text{ kN.cm}$$

Fakat CFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %100 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 2 \times 78,97 = 157,94 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 157,94 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 40.5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_4 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

Fakat CFRP levhalar kullandığı için momenti %100 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 2 \times 55,89 = 111,78 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 111,78 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (156,33; 195,96; 157,94; 111,78) \rightarrow M = 111,78 \text{ kN.cm}$$

$$3 \text{ bulon için; } M = 3 \times 111,78 = 335,34 \text{ kN.cm}$$

5.2.2.4. GFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift GFRP levha ile 4 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Cam levhana göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.2 \times 9^2}{6} = 2,7 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0,2 \times 9 = 1,8 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M = 4800 \times 2,7 = 12960 \text{ kg.cm} = 129,6 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 129,6 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 1.8 \times 600}{3} = 720 \text{ kg} = P \rightarrow M_2 = 720 \times 23 = 16560 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 165,6 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

Eğilme gerilmesine göre;

$M_{em} = 130 \times 60,75 = 7897,5 \text{ kg.cm} = 78,97 \text{ kN.cm}$ Fakat GFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 1,2 \times 78,97 = 94,76 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 94,76 \text{ kN.cm}$$

makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 40,5 \times 9}{3} = 243 \text{ kg} = P \rightarrow M_4 = 243 \times 23 = 5589 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 55,89 \text{ kN.cm}$$

Fakat GFRP levhalar kullandığı için momenti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 1,2 \times 55,89 = 67,06 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 67,06 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (129,6; 165,6; 94,76; 67,06) \rightarrow M = 67,06 \text{ kN.cm}$$

$$3 \text{ bulon için; } M = 3 \times 67,06 = 201,2 \text{ kN.cm}$$

5.2.3. 45° gönye tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

5.2.3.1. Ham 45° gönye tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ile tek bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{4,5 \times 12,7^2}{6} = 120,96 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 4,5 \times 12,7 = 57,15 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 120,96 = 15724,8 \text{ kg.cm} = 157,24 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 157,24 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 57,15 \times 9}{3} = 342,9 \text{ kg} = P$$

$$M_2 = 342,9 \times 23 = 7886,7 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 78,86 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (M_1; M_2) = \min (157,24; 78,86) \rightarrow M = 78,86 \text{ kN.cm}$$

5.2.3.2. Metal levhalı 45° gönye tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift metal levha ile 4 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Metala göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,4 \times 12,7^2}{6} = 10,75 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0,4 \times 12,7 = 5,08 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 2400 \times 10,75 = 25800 \text{ kg.cm} = 258 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 258 \text{ kN.cm}$$

makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 5,08 \times 1120}{3} = 3793 \text{ kg} = P$$

$$M_2 = 3793 \times 23 = 87239 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 872,39 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

Eğilme gerilmesine göre

$$M_{em} = 130 \times 120,96 = 15724,8 \text{ kg.cm} = 157,24 \text{ kN.cm}$$

Fakat metallevhalar kullandığı için Pem kuvveti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 1,25 \times 157,24 = 196,56 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 196,56 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 57,15 \times 9}{3} = 342,9 \text{ kg} = P$$

$$M_4 = 342,9 \times 23 = 7886,7 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 78,86 \text{ kN.cm}$$

Fakat metallevhalar kullandığı için momenti %25 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 1,25 \times 78,86 = 98,575 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 98,575 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (258; 872,39; 196,56; 98,575) \rightarrow M = 98,575 \text{ kN.cm}$$

$$3 \text{ bulon için ; } M = 3 \times 98,575 = 295,725 \text{ kN.cm}$$

5.2.3.3. CFRP levhalı 45° gönye tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift CFRP levha ile 4 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol kiriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Karbona göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.2 \times 12.7^2}{6} = 5,37 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0.2 \times 12.7 = 2,54 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M = 5790 \times 5,37 = 31092,3 \text{ kg.cm} = 310,923 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 310,923 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 2,54 \times 710}{3} = 1202,26 \text{ kg} = P \rightarrow M_2 = 1202,26 \times 23 = 27651,98 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 276,51 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 120,96 = 15724,8 \text{ kg.cm} = 157,24 \text{ kN.cm}$$

Fakat CFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %100 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 2 \times 157,24 = 314,48 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 314,48 \text{ kN.cm}$$

makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 57,15 \times 9}{3} = 342,9 \text{ kg} = P$$

$$M_4 = 342,9 \times 23 = 7886,7 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 78,86 \text{ kN.cm}$$

Fakat CFRP levhalar kullandığı için momenti %100 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 2 \times 78,86 = 157,72 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 157,72 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (310,923; 276,51; 314,48; 157,72) \rightarrow M = 157,72 \text{ kN.cm}$$

$$3 \text{ bulon için ; } M = 3 \times 157,72 = 473,16 \text{ kN.cm}$$

5.2.3.4. GFRP levhalı 45° gönye tipi birleştirme numunelerinin moment hesabı

Bu numune ahşap ve çift GFRP levha ile 4 bulon ve epoksi hazırlanmış ve numunenin çalışma konumu konsol giriş olduğu için moment direnci teorik hesap değeri aşağıdaki gibi bulunmuştur.

Cama göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{0.2 \times 12.7^2}{6} = 5,37 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 0,2 \times 12,7 = 2,54 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre

$$M = 4800 \times 5,37 = 25776 \text{ kg.cm} = 257,76 \text{ kN.cm} \rightarrow M_1 = 257,76 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 2.54 \times 600}{3} = 1016 \text{ kg} = P$$

$$M_2 = 1016 \times 23 = 23368 \text{ kg.cm} \rightarrow M_2 = 233.68 \text{ kN.cm}$$

Ahşaba göre;

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{4.5 \times 12.7^2}{6} = 120,96 \text{ cm}^3$$

$$F = b \times h = 4,5 \times 12,7 = 57,15 \text{ cm}^2$$

Eğilme gerilmesine göre;

$$M_{em} = 130 \times 120,96 = 15724,8 \text{ kg.cm} = 157,24 \text{ kN.cm}$$

Fakat GFRP levhalar kullandığı için Pem kuvveti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_3 = 1,2 \times 157,24 = 188,688 \text{ kN.cm} \rightarrow M_3 = 188,688 \text{ kN.cm}$$

Makaslamaya göre;

$$Q = \frac{2 \times 57.15 \times 9}{3} = 342,9 \text{ kg} = P$$

$$M_4 = 342,9 \times 23 = 7886,7 \text{ kg.cm} \rightarrow M_4 = 8,86 \text{ kN.cm}$$

Fakat GFRP levhalar kullandığı için momenti %20 artırmış olarak göz önünde tutulmaktadır.

$$M_4 = 1,2 \times 8,86 = 10,632 \text{ kN.cm} \rightarrow M_4 = 10,632 \text{ kN.cm}$$

$$M = \min (257,76; 233,68; 188,688 ; 10,632) \rightarrow M = 10,632 \text{ kN.cm}$$

$$3 \text{ bulon için ; } M = 3 \times 10,632 = 31,896 \text{ kN.cm}$$

BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde hazırlanan boy birleştirme numuneleri çekme deneyine, hazırlanan L, T ve 45° gönye birleştirme numuneleri konsol eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Aynı cinsten numunelere ait sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra aynı numuneler için teorik hesaplar yapılmıştır ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

6.1. Çekme Deneyi

6 ‘şar adet hazırlanan numuneler ALŞA 50 tonluk çekme cihazında çekme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlarına göre standart sapma dikkate alınarak her gruptan en az 4’ er numune hesaba katılmıştır.

Deney numuneleri hazırlandıktan sonra çekme deneyi uygulanmak üzere numuneler çekme makinesine yerleştirilmiştir. Numunelerin çenelere sıkışması ve çene dişlerinin ahşap yüzeylere oturmasını sağlamak amacıyla ön yükleme kuvveti uygulanıp, daha sonra bu değer göstergede deney başlamadan önce sıfırlanmıştır.

6.1.1. Kertmeli boy birleştirmede çekme deneyi

6.1.1.1. Epoksili ve tek bulonlu (Ham) numunelerin çekme deneyi

Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırarak çeneler arası mesafe 30 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır [110]. Teste tabi tutulan numune Şekil 6.1.’de gösterilmiştir.



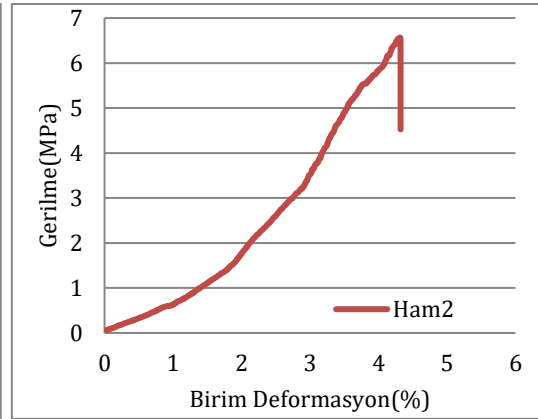
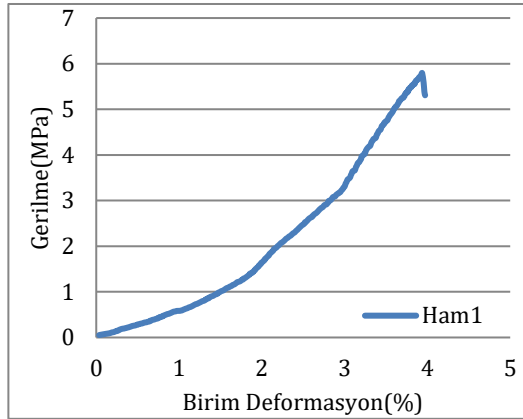
Şekil 6.1. Çekme makinesine bağlanmış Ham kertmeli boy birleştirme numuneleri

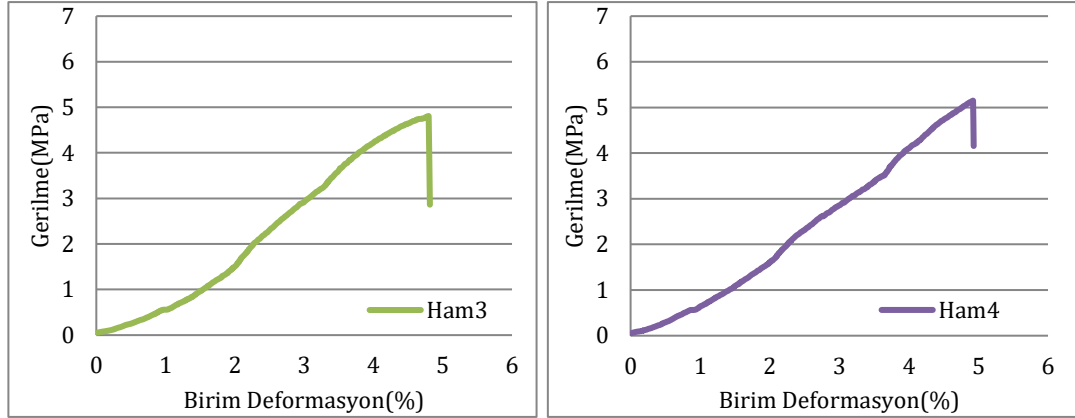


Şekil 6.1. Deney sonrası ham kertmeli boy birleştirme numuneleri

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde; çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılincaya kadar lineer olarak devam etmiş, sonrasında bulona binen yük maksimum değere (5,56 MPa) ulaşarak bulona temas eden ahşap liflerin kayması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.2.).

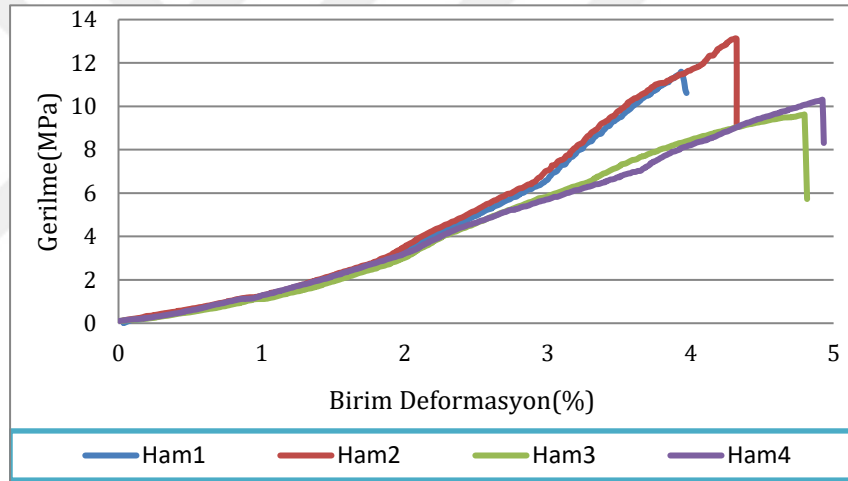
Deney sonucunda kaydedilen veriler yorumlanıp gerilme-deformasyon grafikleri çıkarılmıştır. (Şekil 6.3.).





Şekil 6.2. Ham kermeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon grafikleri

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 5,562 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.4.).



Şekil 6.3. Ham kermeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma grafiği

6.1.1.2. Çift metallevhaile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Daha önce hazırlanan ham numuneler iki metal levha ile güçlendirilmiş ve 3 bulonla sıkılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 30 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.5.).



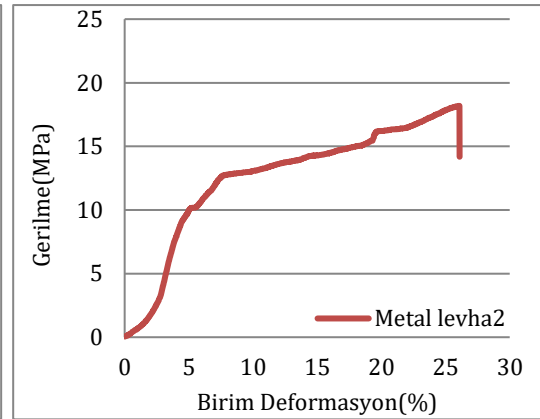
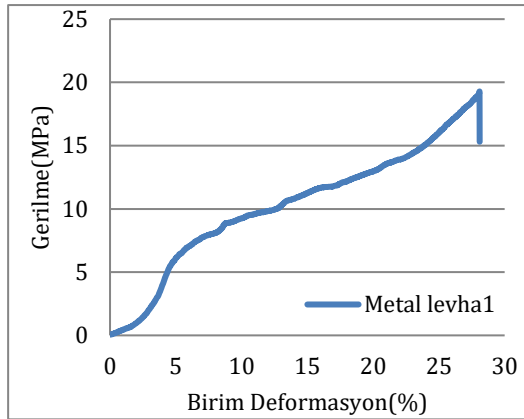
Şekil 6.4. Çekme makinesine bağlanmış metal levhalı kertmeli birleştirme numunesi

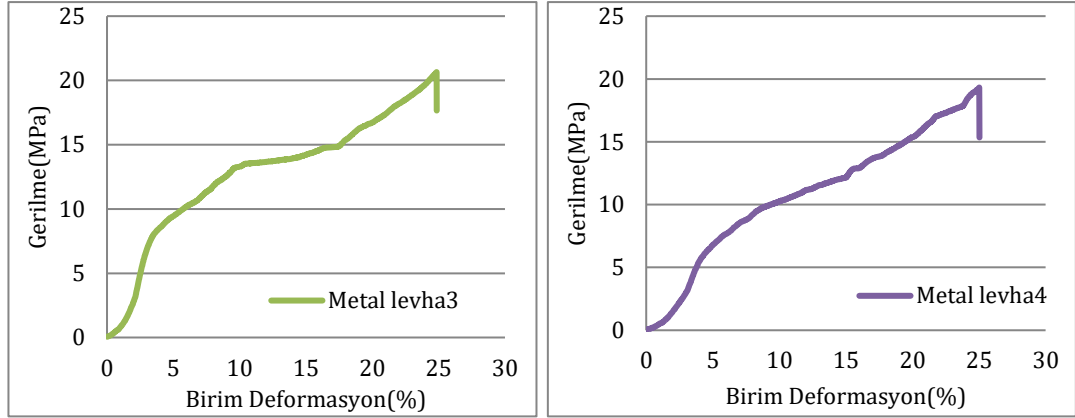


Şekil 6.5. Deney sonrası metal levhalı kertmeli birleştirme numunesi

Çekme deneiyine tabi tutulan numunenin davranışı gözlemlendiğinde, birleştirme bölgesinde ayrılmanın başladığı anda göstermiş olduğu direnç 19,358 MPa değerindedir. Yükleme ilk etapta epoksi sıyrılncaya kadar lineer artmış, sonra kuvvet bulonlara binerek ahşabı liflerin bulonlar sıyrılmasına kadar yükleme devam etmiştir. Liflerin sıyrılması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.6.).

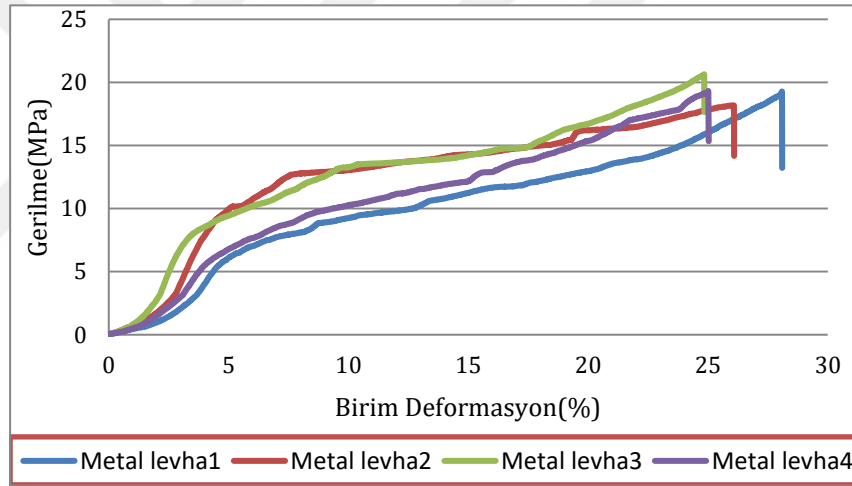
Deney esnasında kayıt edilen yük uzama kullanılarak işlenerek her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri çıkarılmıştır (Şekil 6.7.).





Şekil 6.7. Metal levhalı kertmeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon grafiği

Yapılan deneyler sonuçlarında ortalama değerler incelendiğinde bakıldığında numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 19,358 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.4.).



Şekil 6.8. Metal levhalı kertmeli birleştirme numunelerine ait gerilme –birim deformasyon karşılaştırma grafiği

6.1.1.3. Çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Yaptığımız bu deneyde ise metal levha yerine CFRP levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 30 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.9.).



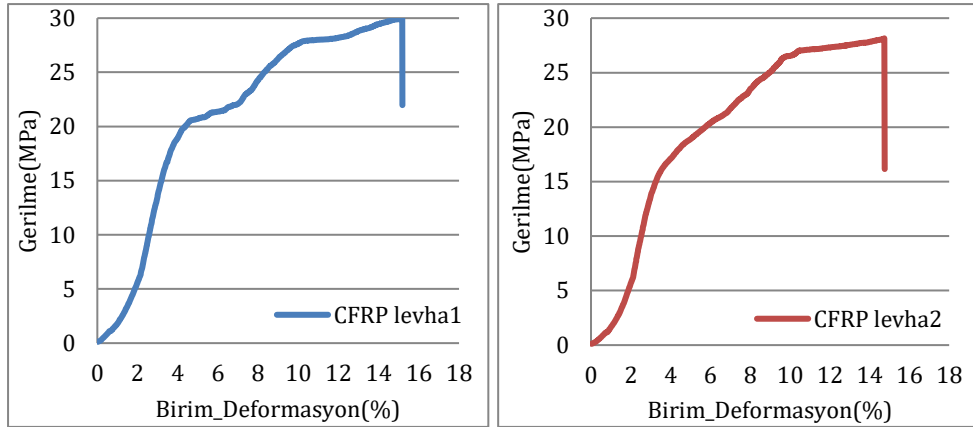
Şekil 6.9. Çekme makinesine bağlanmış CFRP kertmeli boy birleştirme numunesi

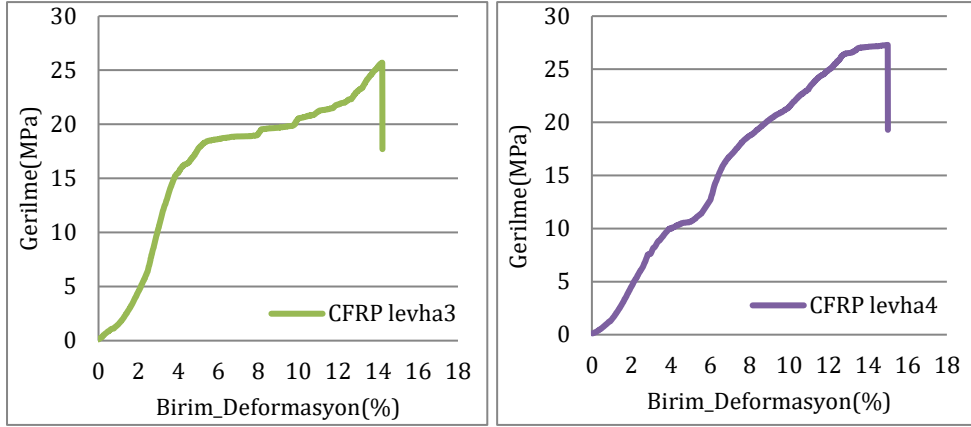


Şekil 6.10. Deney sonrası CFRP kertmeli boy birleştirme numunesi

Çekme deneiyine tabi tutulan numunenin davranışı gözlemlendiğinde, birleştirme bölgesinde ayrılmanın başladığı anda göstermiş olduğu direnç 27,775 MPa değerindedir. Yük levhalara aktırılmıştır. Levhalar epoksiden sıyrıldığında ise yük bulonlara binerek ahşap liflerin sıyrılmasına kadar yükleme devam etmiştir. Liflerin sıyrılması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.10.).

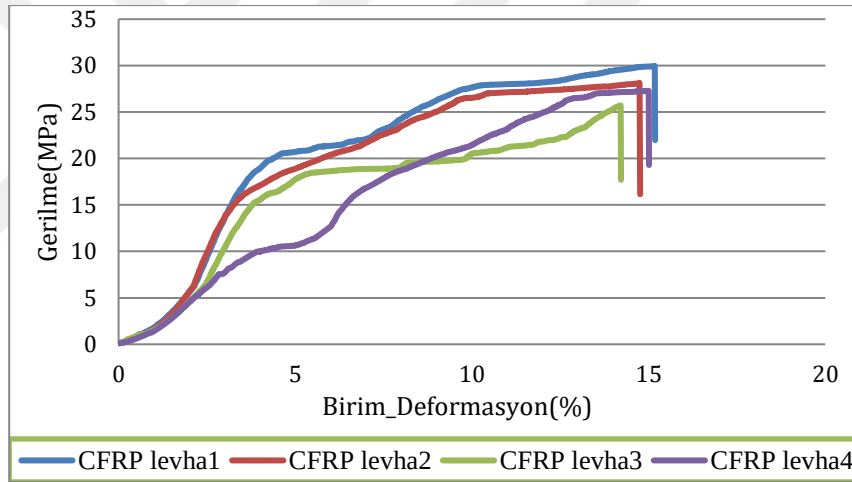
Deney sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.11.).





Şekil 6.11. CFRP levhalı kermeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme –birim deformasyon grafiği

Yapılan deneyler sonucunda çift CFRP levhalı ahşap birleştirme numuneleri ortalama çekme gerilmesi değeri 27,775 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.12.).



Şekil 6.12. CFRP levhalı kermeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma Grafiği

6.1.1.4. Çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Bu deneyde metal levha yerine GFRP levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 28 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.13.).



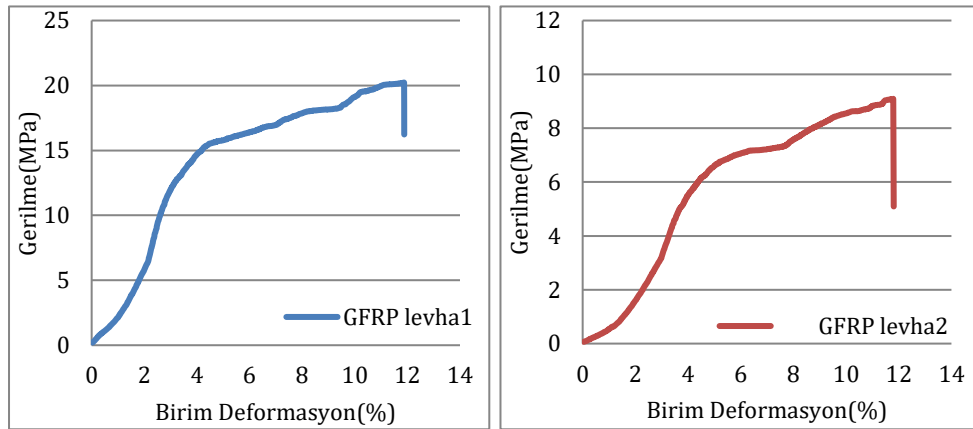
Şekil 6.13. Çekme makinesine bağlanmış GFRP levhalı kertmeli birleştirme numunesi

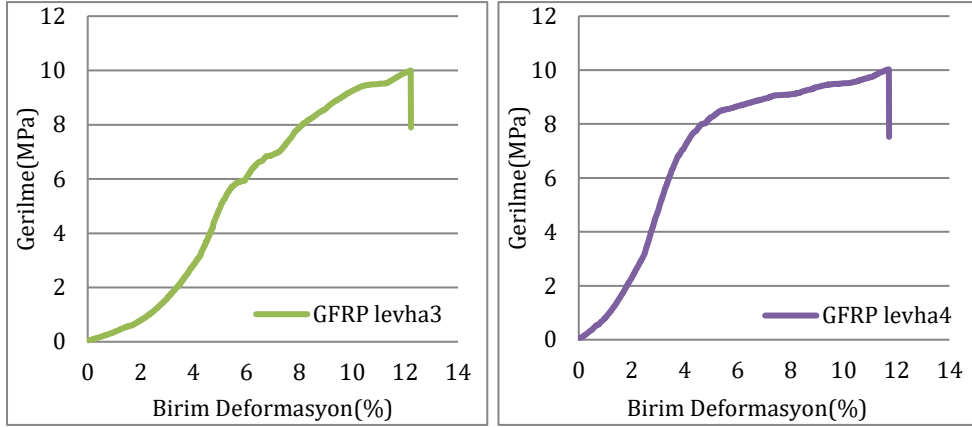


Şekil 6.14. Deney sonrası GFRP levhalı kertmeli birleştirme numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde ahşap numunelerin çekme dayanımı ortalama 9,807 MPa olduğu ortaya çıkmıştır. Yükleme ilk etapta epoksi sıyrılınca kadar lineer artmış, sonra kuvvet bulonlara binerek ahşap liflerin sıyrılmasına kadar yükleme devam etmiştir. Liflerin sıyrılması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.14.).

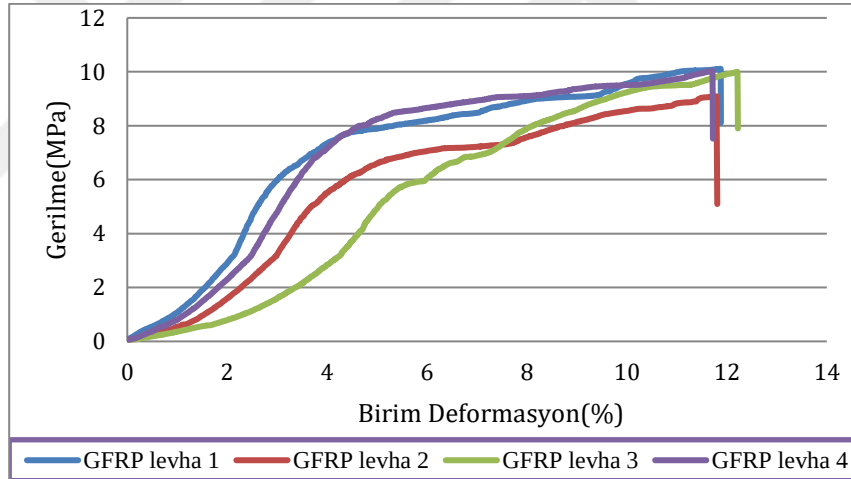
Deney sonucunda kaydedilen veriler yorumlanıp gerilme - deformasyon grafikleri çıkarılmıştır (Şekil 6.15.).





Şekil 6.15. GFRP levhalı kermeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme –birim deformasyon grafiği

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında çift GFRP levhalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 9,807 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.16.).



Şekil 6.16. GFRP levhalı kermeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma grafiği

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve metal levhalı ve ham numunelere ait gerilme değerleri ve birim deformasyon değerleri Tablo 6.1.' de ve Tablo 6.2.'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Kertmeli boy birleştirme gerilme değerleri tablosu

Numune adı	N1(MPa)	N2(MPa)	N3(MPa)	N4(MPa)	Ort(MPa)	Hama göre artış oranı (%)
Ham	5,389	4,807	6,552	5,490	5,562	0
Metal levha	19,283	18,181	20,648	19,321	19,358	248
CFRP levha	29,968	28,144	25,696	27,292	27,775	400
GFRPlevha	10,113	9,091	9,997	10,027	9,807	76

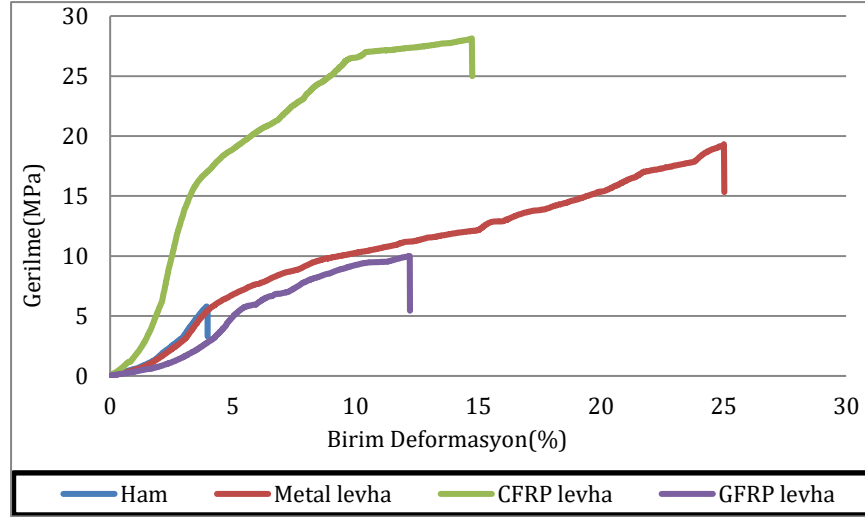
Tablo 6.2. Kertmeli boy birleştirme birim deformasyon değerleri tablosu

Numune adı	N1 (%)	N2 (%)	N3 (%)	N4 (%)	Ort (%)	Hama göre artış oranı (%)
Ham	3,97	4,32	4,81	4,93	4,50	0
Metal levha	28,10	26,10	24,85	25,03	26,02	478
GFRP levha	15,18	14,75	14,21	15,01	14,78	228
GFRP levha	11,88	11,80	12,22	11,72	11,90	164

Tablo 6.1. incelendiğinde ham numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 5,562 MPa olduğu, Metal numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 19,358 MPa olduğu, CFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 27,775 MPa olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 9,807 MPa olduğu tespit edilmiştir.

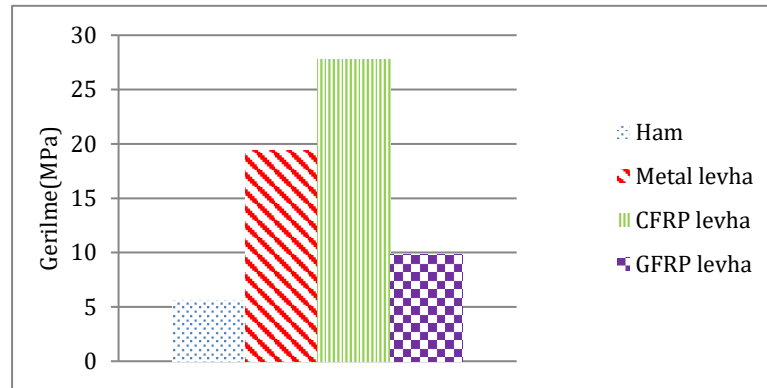
Tablo 6.2. incelendiğinde ham numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 4,50 % olduğu, Metal numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 26,02% olduğu, CFRP numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 14,78 % olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 11,90 % olduğu tespit edilmiştir.

Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 6.17.).



Şekil 6.17. Kertmeli boy birleştirme numunelerinin ortalama gerilme –birim deformasyon grafiği

Elde edilen karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 6.18.'de görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerin ham numunelerinden 4 katı daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinden 44% daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaf levha numunelerin ham numunelerinden 76% daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinin ancak %51 ini karşılaya bildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.18. Kertmeli boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri

Numunelerin kırılmadan önce sönümlendiği enerjinin bir ölçüsü olan tokluk değerleri Tablo 6.3.'te verilmiştir.

Tablo 6.3. Kertmeli boy birleştirme numunelerinin tokluk değerleri

Numune adı	Tokluk değeri (N/mm)
Ham	8,326374
Metal levhalı	270,1816
CFRP levhalı	291,4073
GFRP levhalı	65,86148

Kertmeli boy birleştirme numunelerin elde edilen sayısal sonuçları, lineer olan bölgelerine ait deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6.4.)

Tablo 6.4. Kertmeli boy birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu

Numune adı	Sayısal değ (MPa)	Deneysel değ (MPa)
Ham	1,2	2,2
Metal levhalı	6,37	6,5
CFRP levhalı	10,2	15
GFRP levhalı	6,12	6,4

6.1.2. Uç uca boy birleştirmede çekme deneyi

6.1.2.1. Epoksili ve tek bulonlu (ham) numunelerin çekme deneyi

Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 23 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.19.).



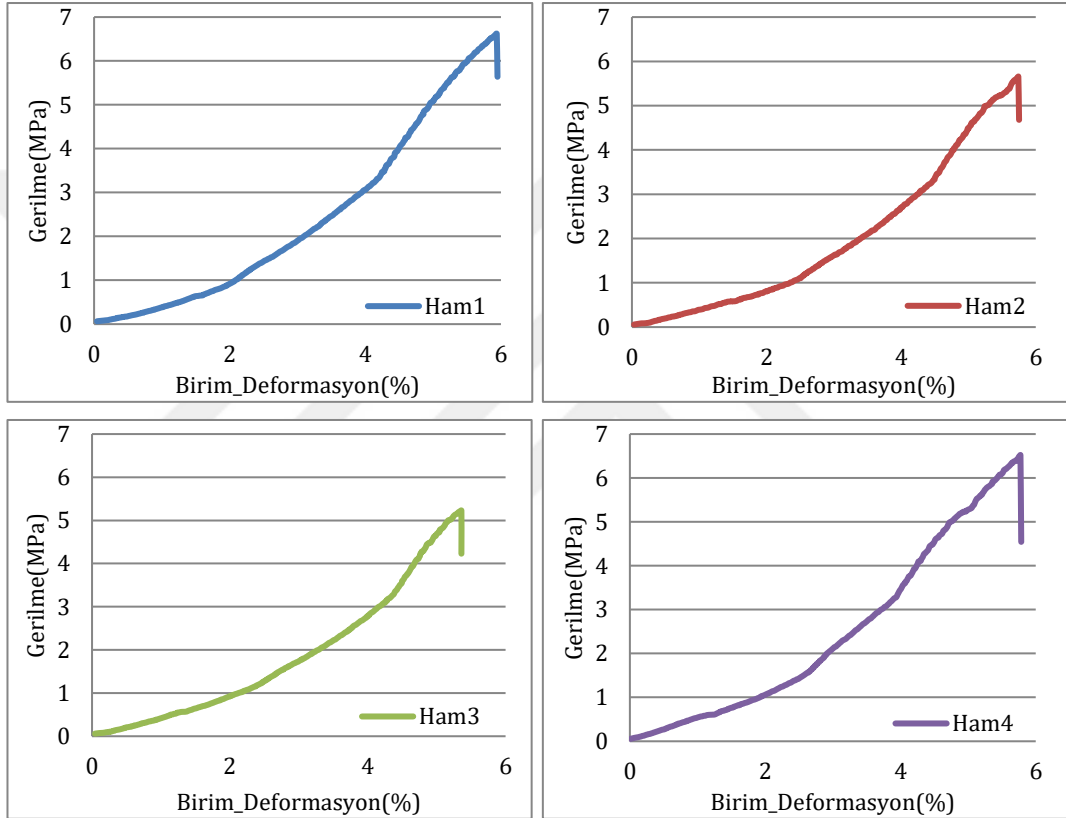
Şekil 6.19. Çekme makinesine bağlanmış ham uç uca boy birleştirme numunesi



Şekil 6.20. Deney sonrası ham uç uca boy birleştirme numunesi

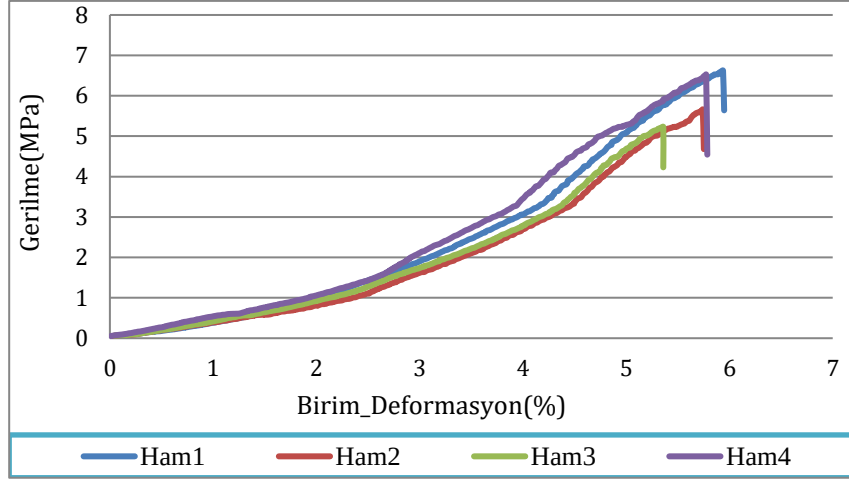
Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde; çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılıncaya kadar lineer olarak devam etmiş, sonrasında bulona binen yük maksimum değere ulaşarak bulona temas eden ahşap liflerin kayması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.20.).

Deney esnasında bilgisayar programı tarafından kaydedilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 6.21.).



Şekil 6.21. Ham uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme –birim deformasyon grafiği

Yapılan deney sonucunda ortalama çekme gerilmesi değerlerine bakıldığında ham ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 6,082 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.22.).



Şekil 6.22. Ham uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme –birim deformasyon karşılaştırma grafiği

6.1.2.2. Çift metallevha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Yaptığımız bu deneyde ise ahşap levhalar yerine metal levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 23 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.23.).



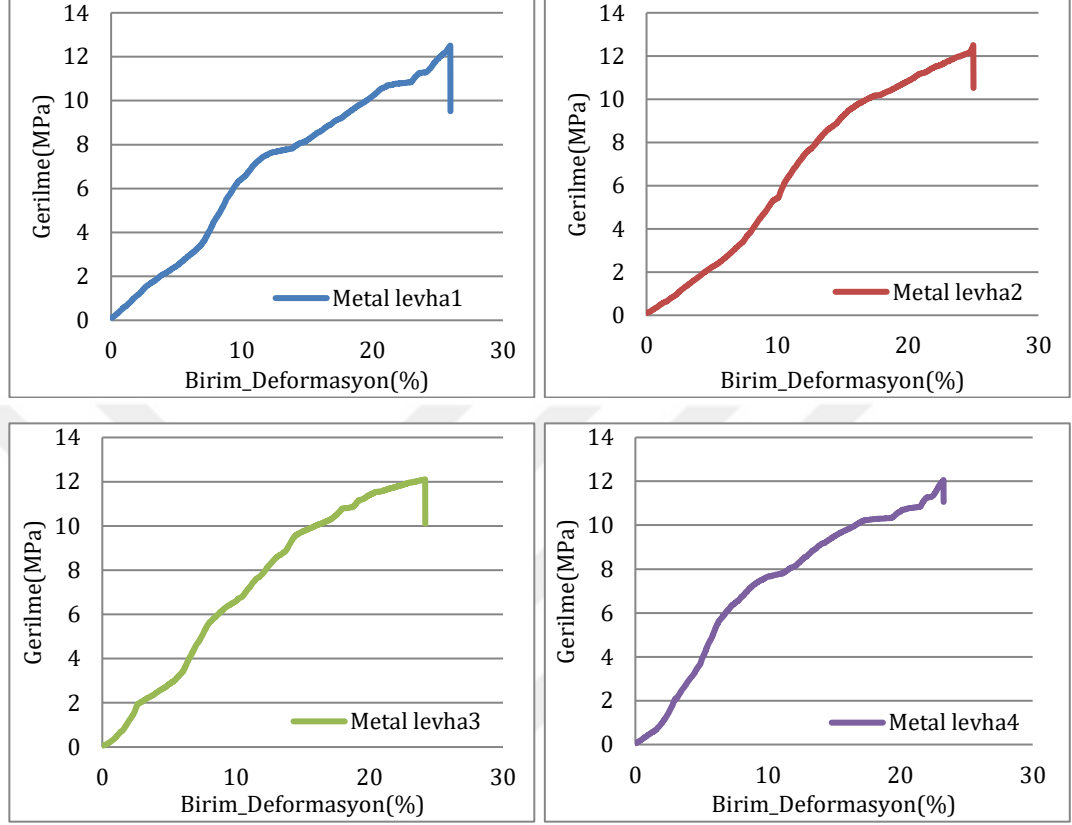
Şekil 6.23. Çekme makinesine bağlanmış metal levhalı uç uca birleştirme numunesi



Şekil 6.24. Deney sonrası metal levhalı uç uca birleştirme numunesi

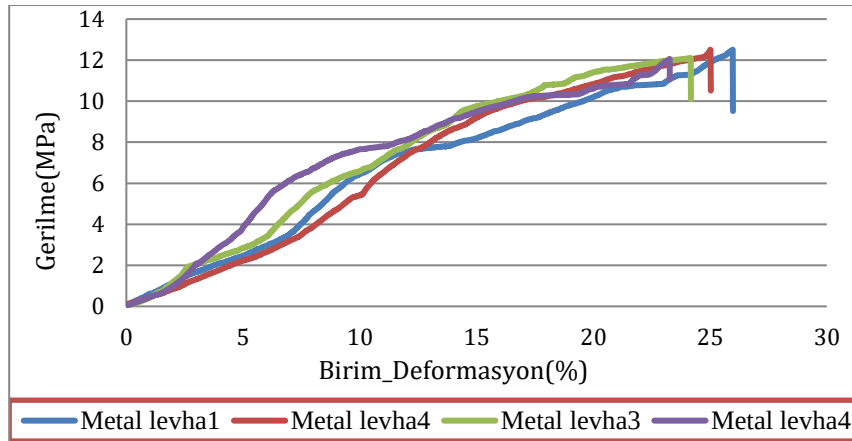
Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılincaya kadar devam etmiş, İlk etapta yükleme epoksi sıyrılincaya kadar lineer olarak artmıştır, daha sonra yükleme kuvveti bulonlara binindi ve bulonlar ahşap liflerini sıyrincaya kadar yükleme devam etmiştir. Liflerin sıyrılması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.24.).

Deney sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak gerilme - birim deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.25.).



Şekil 6.25. Metal levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon grafiği

Yapılan deneylerde ortalama çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde çift metal levhalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 12,293 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.26.).



Şekil 6.26. Metal levhalı uç uca birleştirme numunelerine ait gerilme - birim deformasyon karşılaştırma grafiği

6.1.2.3. Çift CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Yaptığımız bu deneyde ise metal levha yerine CFRP levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 23 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.27.).



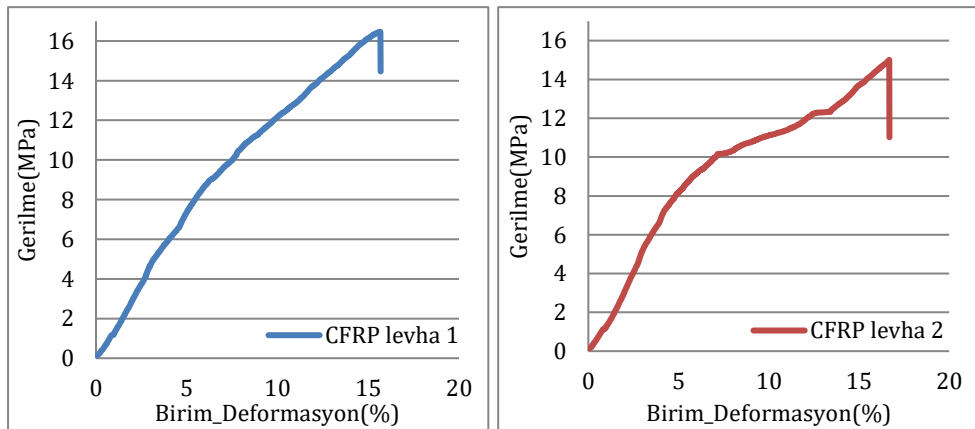
Şekil 6.27. Çekme makinesine bağlanmış CFRP levhalı uç uca birleştirme numunesi

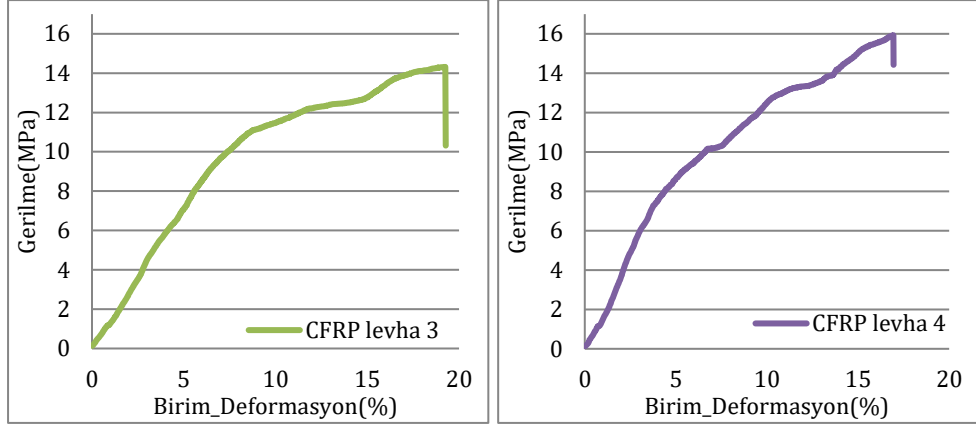


Şekil 6.28. Deney sonrası CFRP levhalı uç uca birleştirme numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılıncaya kadar devam etmiş, Yükleme ilk etapta epoksi sıyrılıncaya kadar lineer artmış, sonra kuvvet bulonlara binerek ahşap liflerin sıyrılmasına kadar yükleme devam etmiştir. Liflerin sıyrılması sonucu deney sona ermiştir (Şekil5.28.).

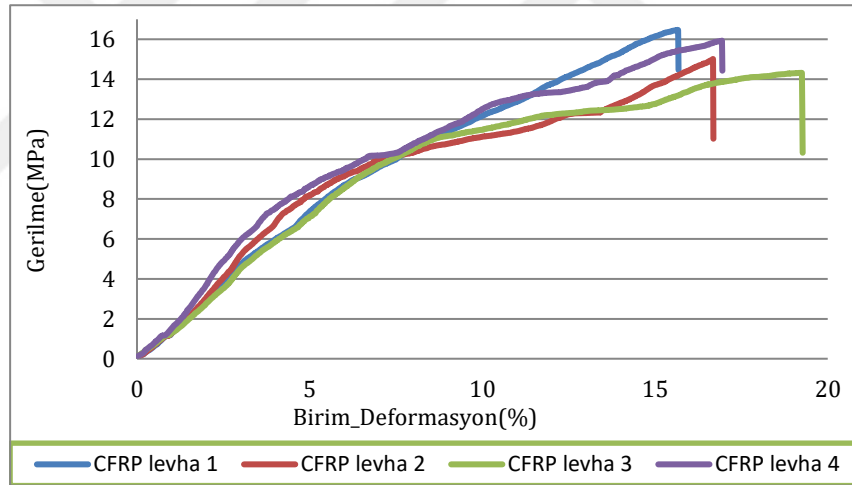
Deney esnasında bilgisayar programı tarafından kaydedilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri oluşturulmuştur (Şekil5.29.).





Şekil 6.29. CFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon grafiği

Deneyler sonucunda ortalama çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde CFRP levhalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 15,428 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.30.).



Şekil 6.30. CFRP levhalı uç uca birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırmagrafiği

6.1.2.4. Çift GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Yaptığımız bu deneyde ise metal levha yerine GFRP levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe değerleri ve yükleme hızı TS 2475'e uygun olması dikkate alınmıştır (Şekil 6.31.).



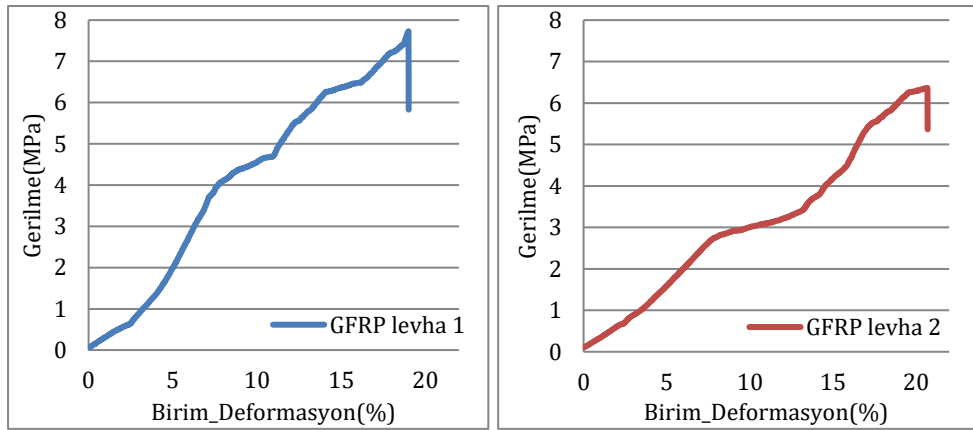
Şekil 6.31. Çekme makinesine bağlanmış GFRP levhali uç uca birleştirme numunesi

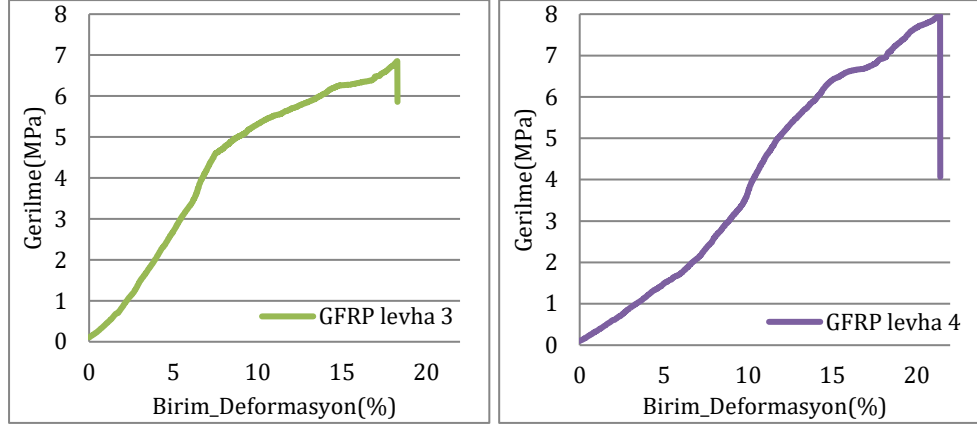


Şekil 6.32. Deney sonrası GFRP levhali uç uca birleştirme numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılincaya kadar devam etmiş, yükleme ilk etapta epoksi sıyrılincaya kadar lineer artmış, sonra kuvvet bulonlara binerek ahşabı liflerin sıyrılmasına kadar yükleme devam etmiştir. Liflerin sıyrılması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.32.).

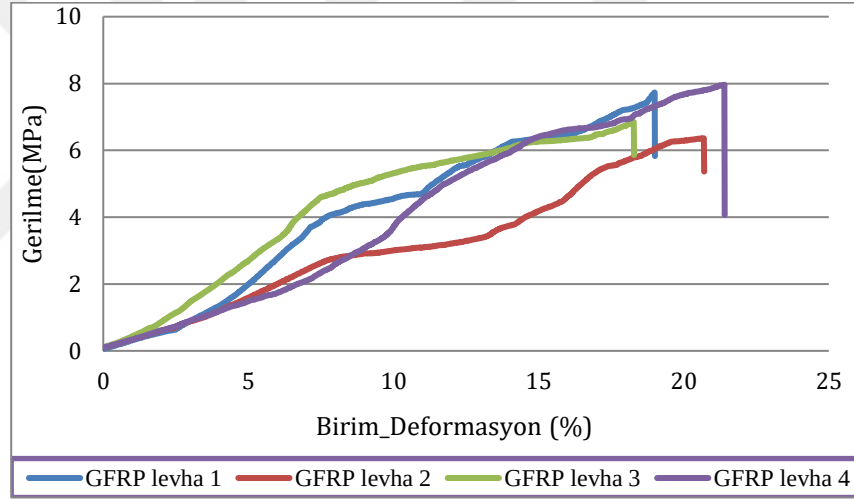
Yapılan çekme deneyleri sırasında kayıt edilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.33.).





Şekil 6.33. GFRP levhalı uç uca boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon grafiği

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 7,226 MPa olarak bulunmuştur (Şekil 6.34).



Şekil 6.34. GFRP levhalı uç uca birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma grafiği

Deneyle sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve metal levhalı ve ham numunelere ait gerilme değerleri ve birim deformasyon değerleri Tablo 6.5'te ve Tablo 6.6'da verilmiştir.

Tablo 6.5. Uç uca boy birleştirme ortalama gerilme değerleri tablosu

Numune adı	N1 (MPa)	N2 (MPa)	N3 (MPa)	N4 (MPa)	Ort (MPa)	Hama göre artış oranı (%)
Ham	6,623	5,659	5,522	6,274	6,082	0
Metal levha	12,509	12,320	12,100	12,060	12,293	102
CFRP levha	16,4628	15,0120	14,3169	15,9248	15,428	154
GFRP levha	7,729	6,360	6,853	7,964	7,226	19

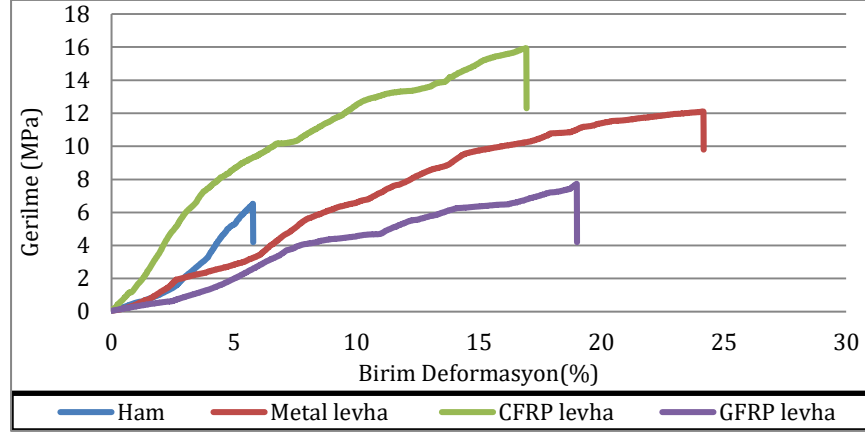
Tablo 6.6. Uç uca boy birleştirme birim-deformasyon değerleri tablosu

Numune adı	N1 (%)	N2 (%)	N3 (%)	N4 (%)	Ort(%)	Hama göre artış oranı (%)
Ham	5,94	5,75	5,35	5,78	5,70	0
Metal levha	35,24	25,03	24,18	28,09	28,13	394
CFRP levha	15,67	16,69	19,27	16,94	17,14	200
GFRPlevha	18,98	20,67	18,24	21,39	19,82	248

Tablo 6.5. incelendiğinde ham numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 6,082 MPa olduğu, metal kontrol numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 12,293 MPa olduğu, CFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 15,428 MPa olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 7,226 MPa olduğu tespit edilmiştir.

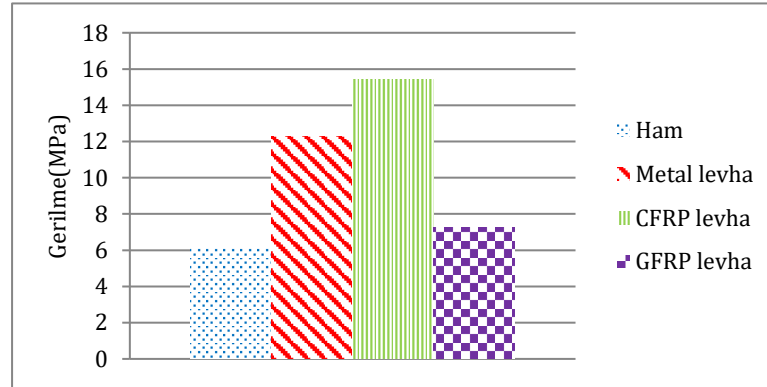
Tablo 6.6. incelendiğinde ham numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 5,70% olduğu, Metal numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 28,13% olduğu, CFRP numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 17,14% olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 19,82% olduğu tespit edilmiştir.

Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 6.35.).



Şekil 6.1.35. Uç uca boy birleştirmenin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği

Elde edilen karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 6.36.'da görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerin ham numunelerinden 154% daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinden 26% daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaf levha numunelerin ham numunelerinden 18% daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinin ancak %59 ini karşılaya bildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.36. Uç uca boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri

Numunelerin kırılmadan önce sönümlendiği enerjinin bir ölçüsü olan tokluk değerleri Tablo 6.7.'de verilmiştir.

Tablo 6.7. Uçuca boy birleştirme numunelerinin tokluk değerleri

Numune adı	Tokluk değeri (N/mm)
Ham	14,39093
Metal levhalı	174,7366
CFRP levhalı	173,8264
GFRP levhalı	77,27348

Uçuca boy birleştirme numunelerin elde edilen sayısal sonuçları, lineer olan bölgelerine ait deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6.8.).

Tablo 6.8. Uçuca boy birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu

Numune adı	Sayısal değ (MPa)	Deneysel değ (MPa)
Ham	1,538	2,5
Metal levhalı	2,85	6
CFRP levhalı	4,56	10
GFRP levhalı	2,736	4

6.1.3. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede çekme deneyi

6.1.3.1. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, ahşap levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 23 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.37).



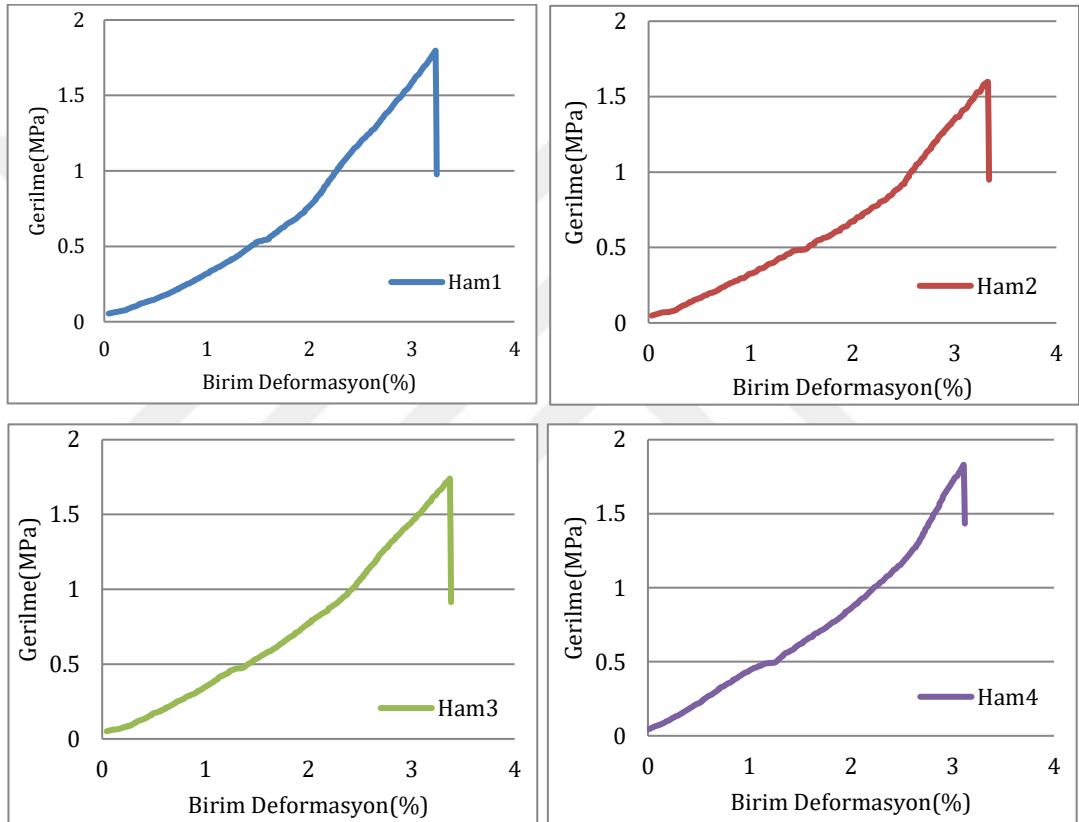
Şekil 6.37. Çekme makinesine bağlanmış ham yabancı zıvanalı birleştirme numunesi



Şekil 6.38. Deney sonrası ham yabancı zıvanalı birleştirme numunesi

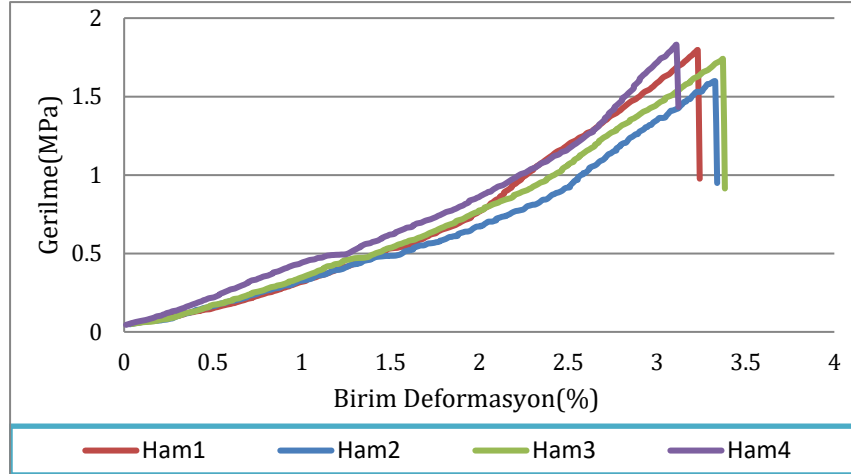
Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde; çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılncaya kadar lineer olarak devam etmiş, sonrasında bulona binen yük maksimum değere ulaşarak bulona temas eden ahşap liflerin kayması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.38.).

Deney sonucunda kaydedilen veriler işlenerek gerilme – birim deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.39.).



Şekil 6.1.39. Ham yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon grafiği

Numunelere ait gerilme – birim deformasyon sonuçların birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için numune sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.40).



Şekil 6.40. Ham yabancı zıvanalı birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma grafiği

6.1.3.2. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, metal levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Yaptığımız bu deneyde ise ahşap levhalar yerine metal levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 23 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.41).



Şekil 6.41. Çekme makinesine bağlanmış metal levhali yabancı zıvanalı birleştirme numunesi

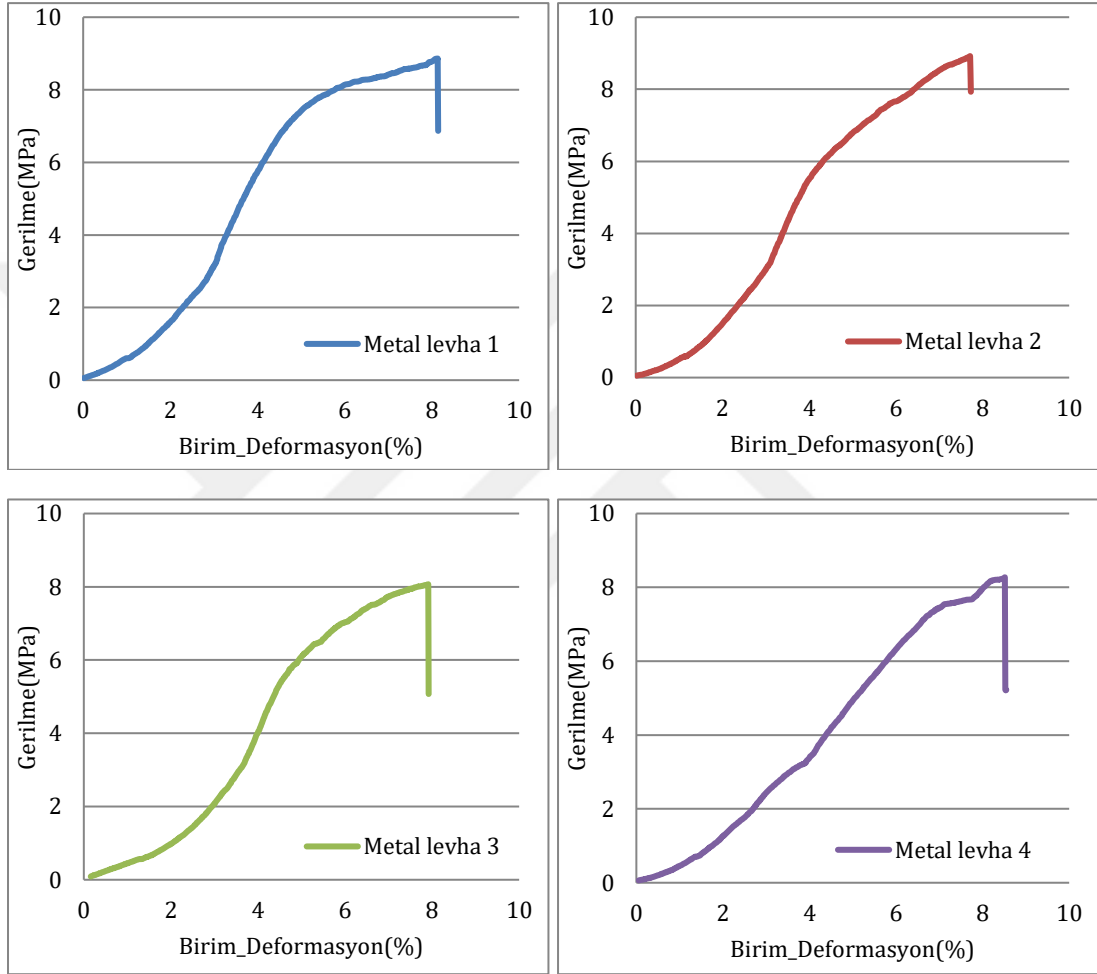


Şekil 6.42. Deney sonrası metal levhali yabancı zıvanalı birleştirme numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde; çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılincaya kadar lineer olarak devam etmiş, sonrasında bulona binen yük

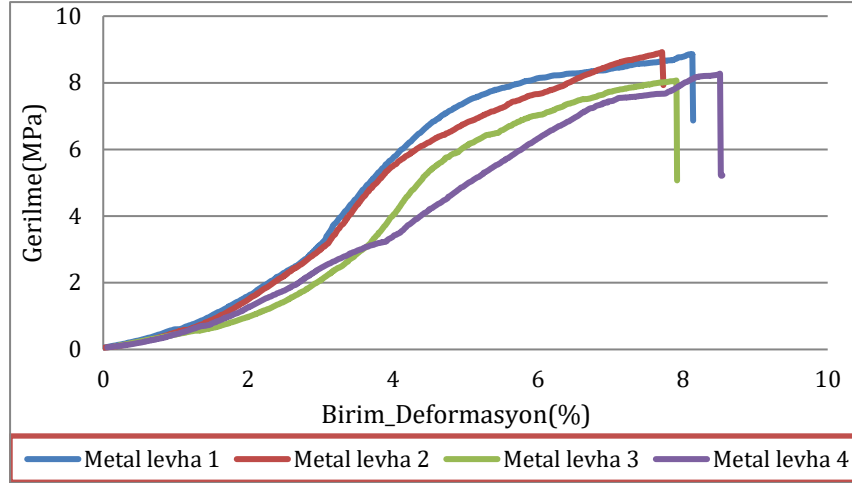
maksimum değere ulaşarak bulona temas eden ahşap liflerin kayması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.42.).

Kayıt edilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.43.).



Şekil 6.43. Metal levhalı kermeli boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon grafiği

Numunelere ait gerilme-birim deformasyon sonuçların birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için numune sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.44).



Şekil 6.44. Metal levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma grafiği

6.1.3.3. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, CFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Yaptığımız bu deneyde ise ahşap levhalar yerine CFRP levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 23 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.45).



Şekil 6.45. Çekme makinesine bağlanmış CFRP levhalı yabancı zıvanalı birleştirme numunesi

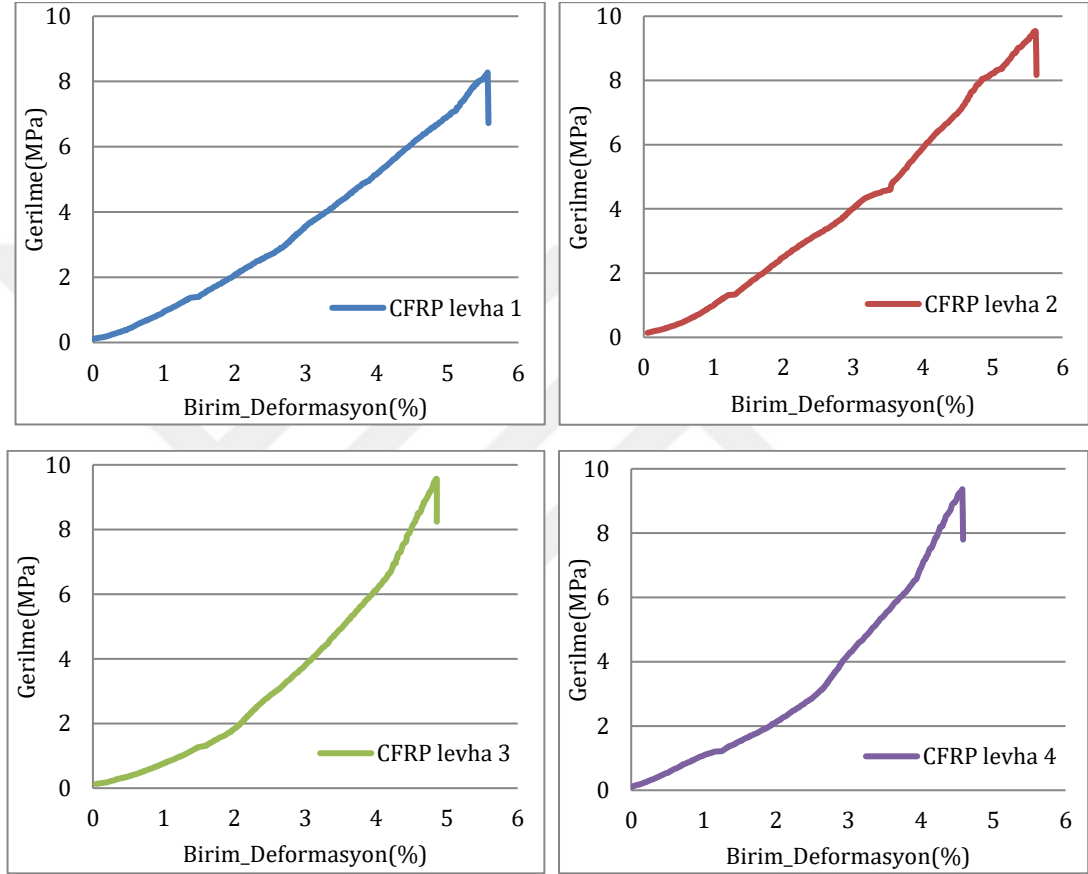


Şekil 6.46. Deney sonrası CFRP levhalı yabancı zıvanalı birleştirme numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde; çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılincaya kadar lineer olarak devam etmiş, sonrasında bulona binen yük

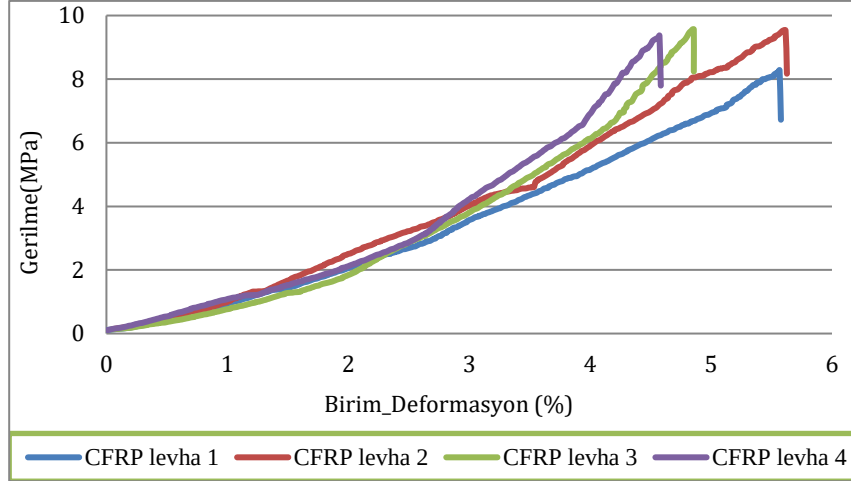
maksimum değere ulaşarak bulona temas eden ahşap liflerin kayması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.46.).

Deney esnasında kayıt edilen yük uzama kullanılarak işlenerek her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri çıkarılmıştır (Şekil 6.47.).



Şekil 6.47. CFRP levhalı yabancı zıvanalı birleştirme numunelerine ait gerilme-birim deformasyon grafikleri

Tüm numunelere ait sonuçların birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için gerilme deformasyon değerleri aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 6.48.).



Şekil 6.48. CFRP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma grafiği

6.1.3.4. Yabancı zıvanalı boy birleştirmede, GFRP levha ile hazırlanan numunelerin çekme deneyi

Yaptığımız bu deneyde ise ahşap levhalar yerine GFRP levha kullanılmıştır. Numuneler çekme makinesinin çeneleri arasında alt ve üstten sıkıştırılarak çeneler arası mesafe 23 cm ve yükleme hızı TS 2475'e göre dakikada 3 mm olarak alınmıştır (Şekil 6.49.).



Şekil 6.49 Çekme makinesine bağlanmış GFRP levhalı yabancı zıvanalı birleştirme numunesi

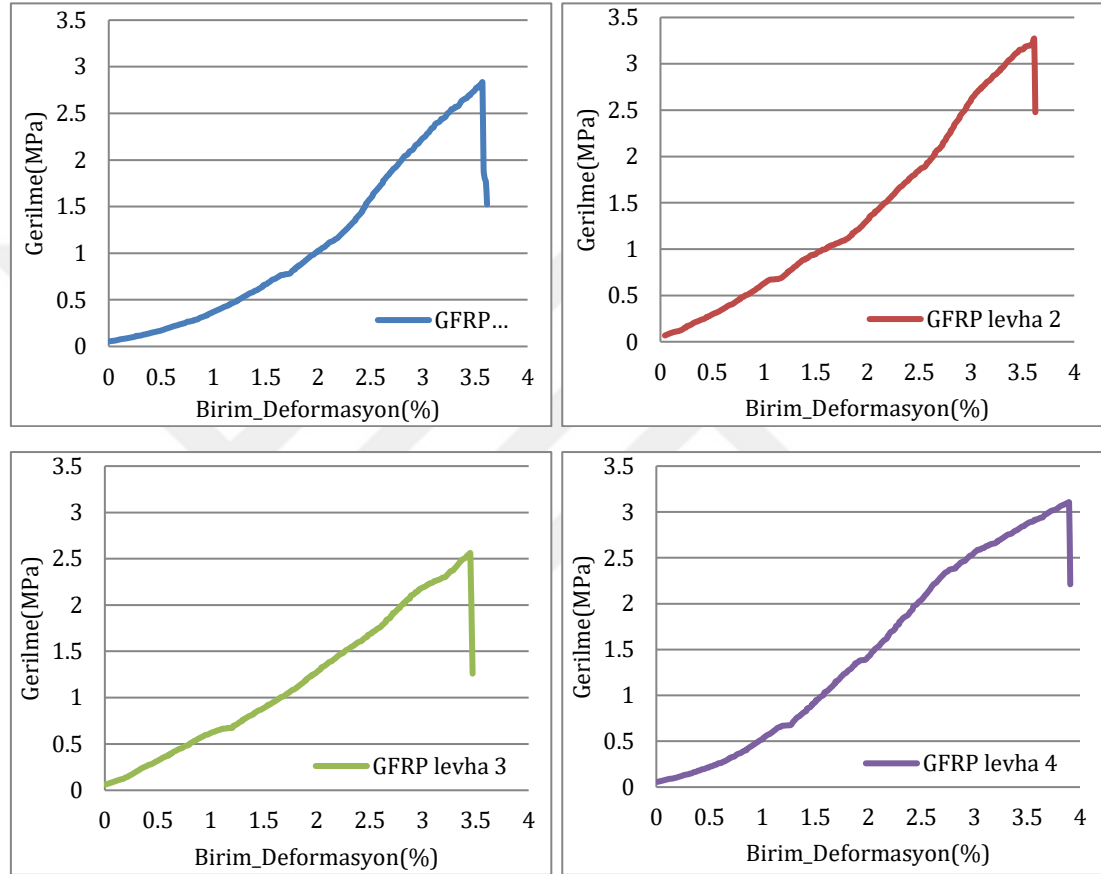


Şekil 6.50. Deney sonrası GFRP levhalı yabancı zıvanalı birleştirme numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde; çekme kuvveti birleştirme bölgeleri ayrılincaya kadar lineer olarak devam etmiş, sonrasında bulona binen yük

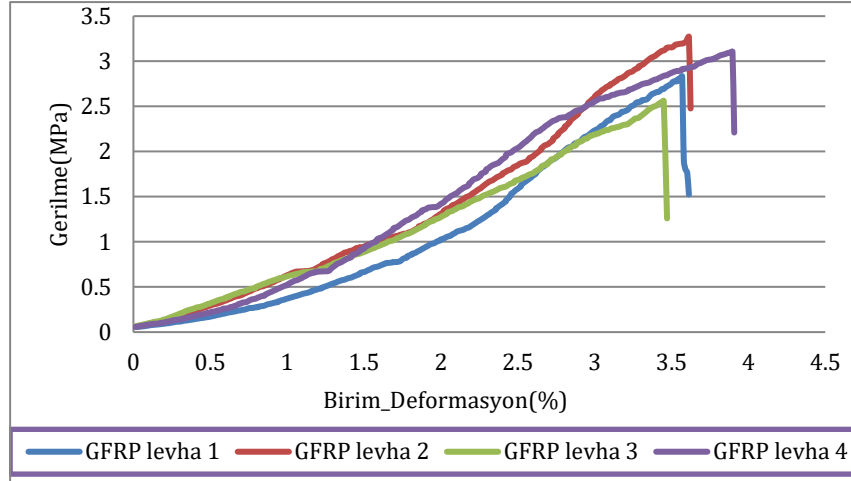
maksimum değere ulaşarak bulona temas eden ahşap liflerin kayması sonucu deney sona ermiştir (Şekil 6.50.).

Kayıt edilen yük uzama verileri kullanılarak her bir numune için gerilme deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.51.).



Şekil 6.51. CTP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon grafiği

Numunelere ait gerilme – birim deformasyon sonuçların birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için numune sonuçları aynı grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 6.52.).



Şekil 6.52. CTP levhalı yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait gerilme – birim deformasyon karşılaştırma grafiği

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ve GFRP ile güçlendirilmiş numuneler ve metal levhalı ve ham numunelere ait gerilme Tablo 6.9.’da ve birim deformasyon değerleri Tablo 6.10.’de verilmiştir.

Tablo 6.9. Yabancı zıvanalı boy birleştirme gerilme değerleri tablosu

Numune adı	N1 (MPa)	N2 (MPa)	N3 (MPa)	N4 (MPa)	Ort (MPa)	Hama göre artış oranı (%)
Ham	1,79	1,59	1,73	1,82	1,73	0
Metal levha	8,76	8,83	8,02	8,20	8,45	388
CFRP levha	8,27	9,53	9,56	9,36	9,18	430
GFRP levha	2,83	3,27	2,56	3,10	2,94	70

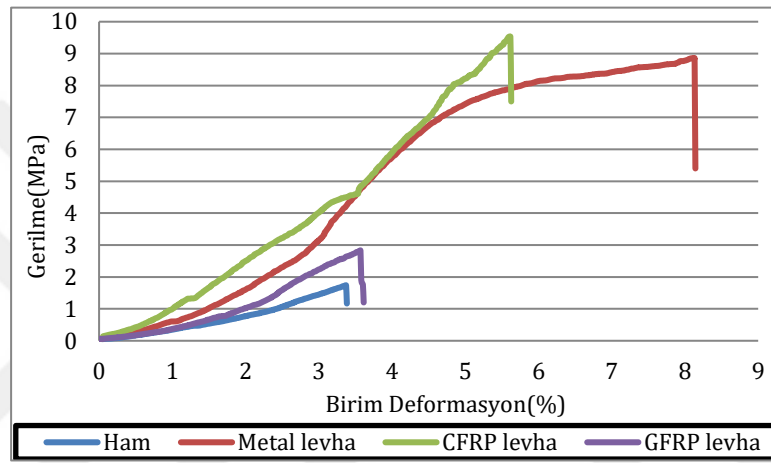
Tablo 6.10. Yabancı zıvanalı boy birleştirme birim - deformasyon değerleri tablosu

Numune adı	N1 (%)	N1 (%)	N1 (%)	N (%)	Ort (%)	Hama Göre artış oranı (%)
Ham	3,24	3,34	3,38	3,12	3,27	0
Metal levha	7,97	7,57	7,79	8,36	7,92	142
CFRP levha	5,57	5,62	4,85	4,58	5,15	57
GFRP levha	3,61	3,62	3,47	3,90	3,65	12

Tablo 6.9. incelendiğinde ham numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 1,73MPa olduğu, Metal numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 8,45 MPa olduğu, CFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 9,18 MPa olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama çekme gerilmesinin 2,94 MPa olduğu tespit edilmiştir.

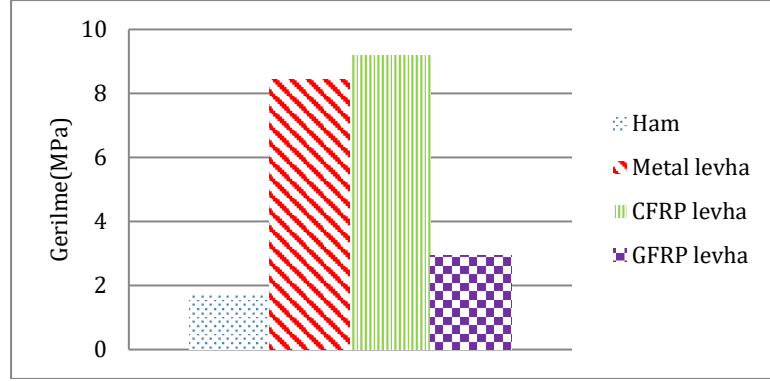
Tablo 6.10. incelendiğinde ham numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 3,27 % olduğu, Metal numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 7,92 % olduğu, CFRP numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 5,15 % olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama birim deformasyon değerinin 3,65 % olduğu tespit edilmiştir.

Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 6.53.).



Şekil 6.53. Yabancı zıvanalı boy birleştirmenin ortalama gerilme-birim deformasyon grafiği

Elde edilen karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 6.54.'te görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerin ham numunelerinden 430% daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinden 9% daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaf levha numunelerin ham numunelerinden 70% daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinin ancak %35 ini karşılaya bildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.54. Yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerine ait ortalama gerilme değerleri

Numunelerin kırılmadan önce sönümlediği enerjinin bir ölçüsü olan tokluk değerleri Tablo 6.11.'de verilmiştir.

Tablo 6.11. Yabancı zıvanalı boy birleştirme tokluk değerleri tablosu

Numune adı	Tokluk değeri (N/mm)
Ham	2.40654
Metal levhalı	40.7595
CFRP levhalı	22.7953
GFRP levhalı	3.96637

Yabancı zıvanalı boy birleştirme numunelerin elde edilen sayısal sonuçları, lineer olan bölgelerine ait deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6.12.).

Tablo 6.12. Yabancı zıvanalı boy birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu

Numune adı	Sayısal değ (MPa)	Deneysel değ (MPa)
Ham	1.65	0.8
Metal levhalı	2.06	5
CFRP levhalı	3.3	7
GFRP levhalı	1.98	2.5

6.2. Konsol Eğilme Deneyi

6 ‘şar adet hazırlanan numuneler Shimadzu 50 kN masaüstü çekme eğilme cihazında konsol eğilme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlara göre standart sapma dikkate alınarak her gruptan en az 4’ er numune hesaba katılmıştır.

6.2.1.L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

6.2.1.1. Ham L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneler çekme eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır [114]. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.55.'te gösterilmiştir.



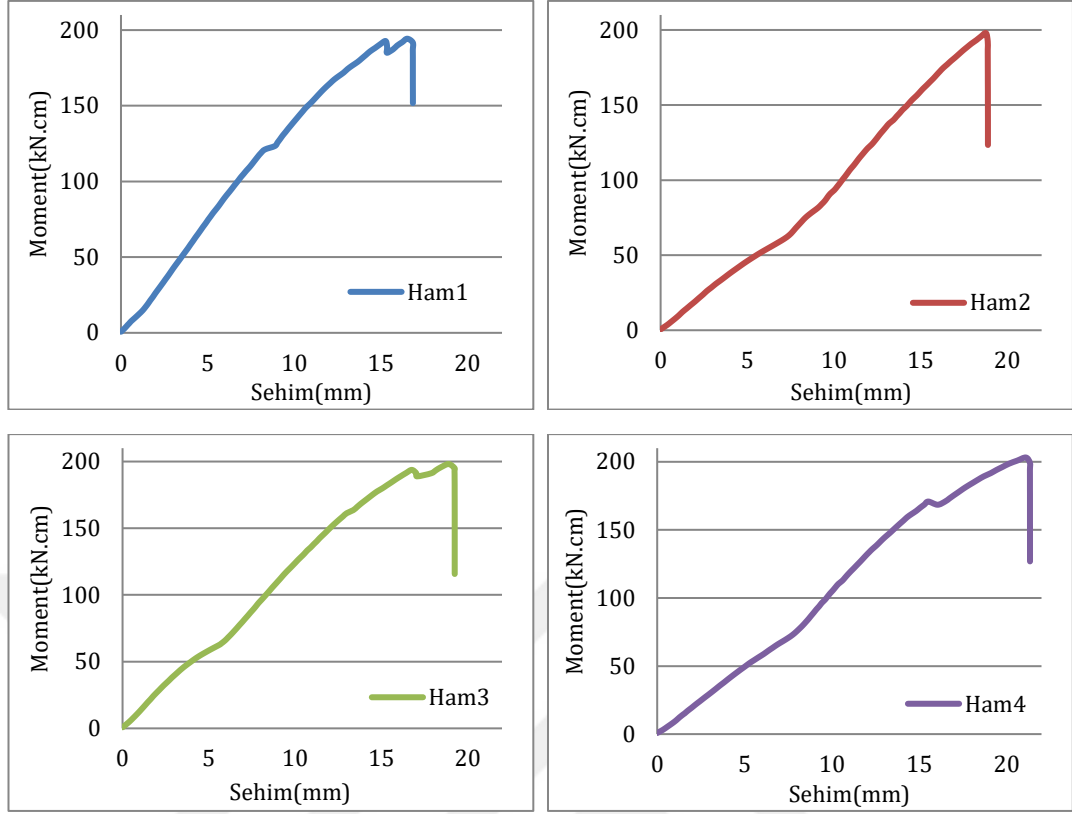
Şekil 6.55. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış ham L tipi birleştirme numunesi



Şekil 6.56. Deney sonrası ham L tipi birleştirme numunesi

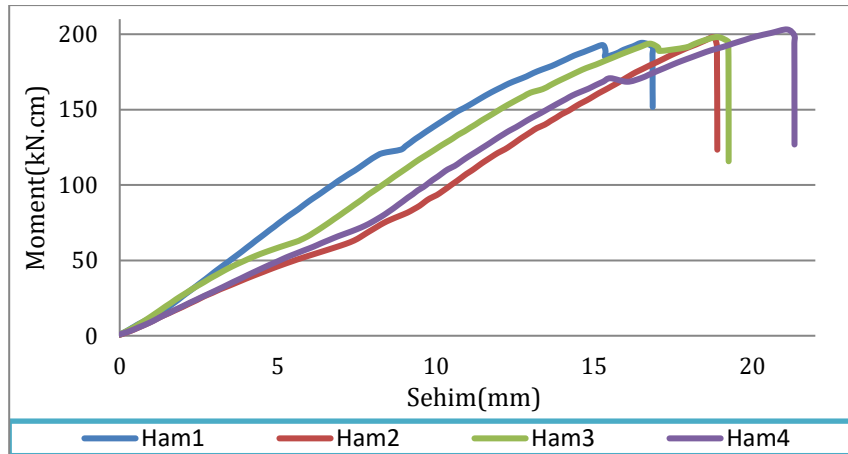
Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.56.'de, görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.57.).

Deney sonucunda kaydedilen veriler işlenerek moment – sehim grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.57.).



Şekil 6.57. Ham L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafikleri

Yapılan deneyler sonucunda ham ahşap için moment değeri ortalaması 194,12 kN.cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.58.).



Şekil 6.58. Ham L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.1.2. Metal levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır [114]. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.59.'da gösterilmiştir.



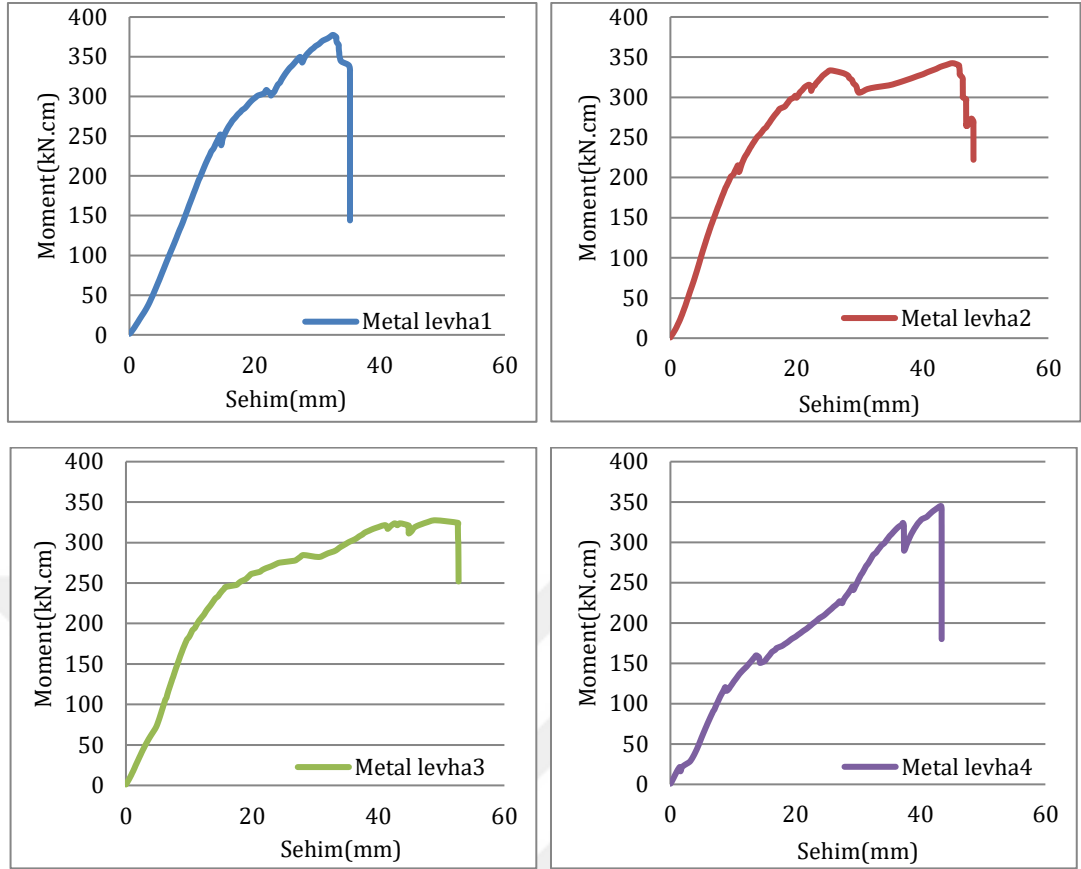
Şekil 6.59. Çekme eğilme makinesine bağlanmış metal levhalı L birleştirme numunesi



Şekil 6.60. Deney sonrası metal levhalı L birleştirme numunesi

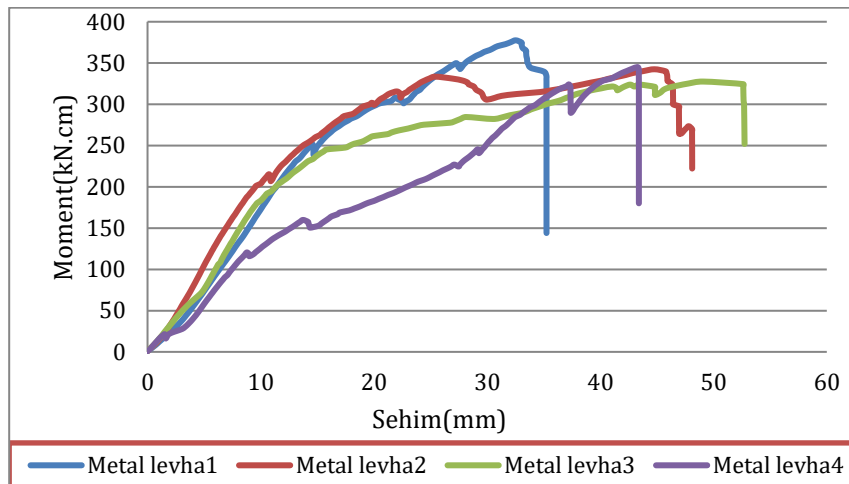
Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.60.'de, görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.61.).

Kayıt edilen veriler Excel'de işlenerek her bir numune için moment-sehim grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.61.).



Şekil 6.61. Metal levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında numunelerin moment değeri ortalaması 343,76 kN.cmolarak bulunmuştur (Şekil 6.62).



Şekil 6.62. Metal levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.1.3. CFRP levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474 'e uygun olması dikkate alınmıştır [114]. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.63.'te gösterilmiştir.



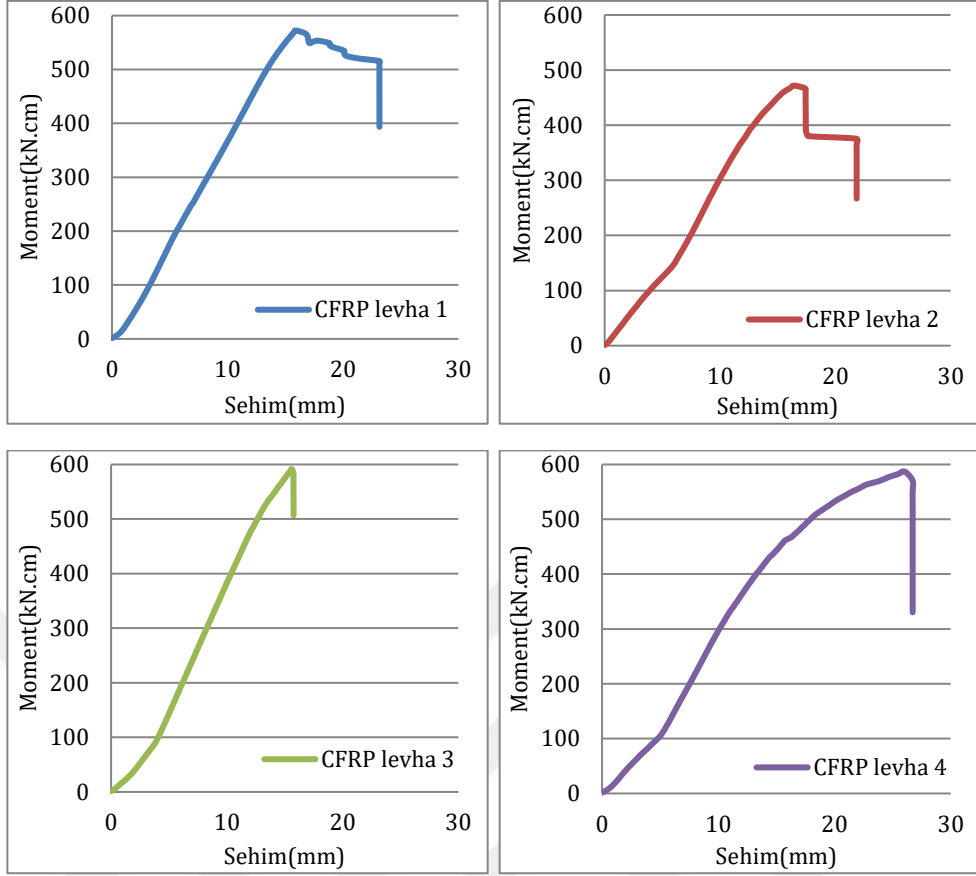
Şekil 6.63. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış CFRP levhalı L birleştirme numunesi



Şekil 6.64. Deney sonrası CFRP levhalı L birleştirme numunesi

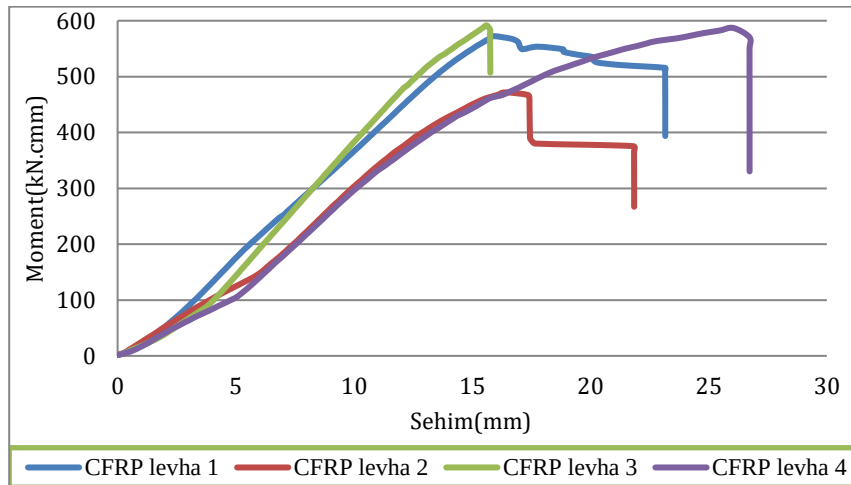
Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.64. görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numuneler birleşim yerlerindeki yüzeyleri açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Liflerin ayrılma anındaki maksimum kuvvet birimi Newton (N) olarak kaydedilmiştir (Şekil 6.65.).

Deney sonucunda kaydedilen veriler yorumlanıp moment-sehim grafikleri çıkarılmıştır (Şekil 6.65.).



Şekil 6.65. CFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Yapılan deneyler sonucunda çift CFRP levhalı ahşap birleştirme numuneleri ortalama moment değeri 549,12 kN.cm olarak bulunmuştur (Şekil 6.66.).



Şekil 6.66. CFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.1.4. GFRP levhalı L tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır [114]. Teste tabi tutulan numuneler şekil 6.67.'de gösterilmiştir.



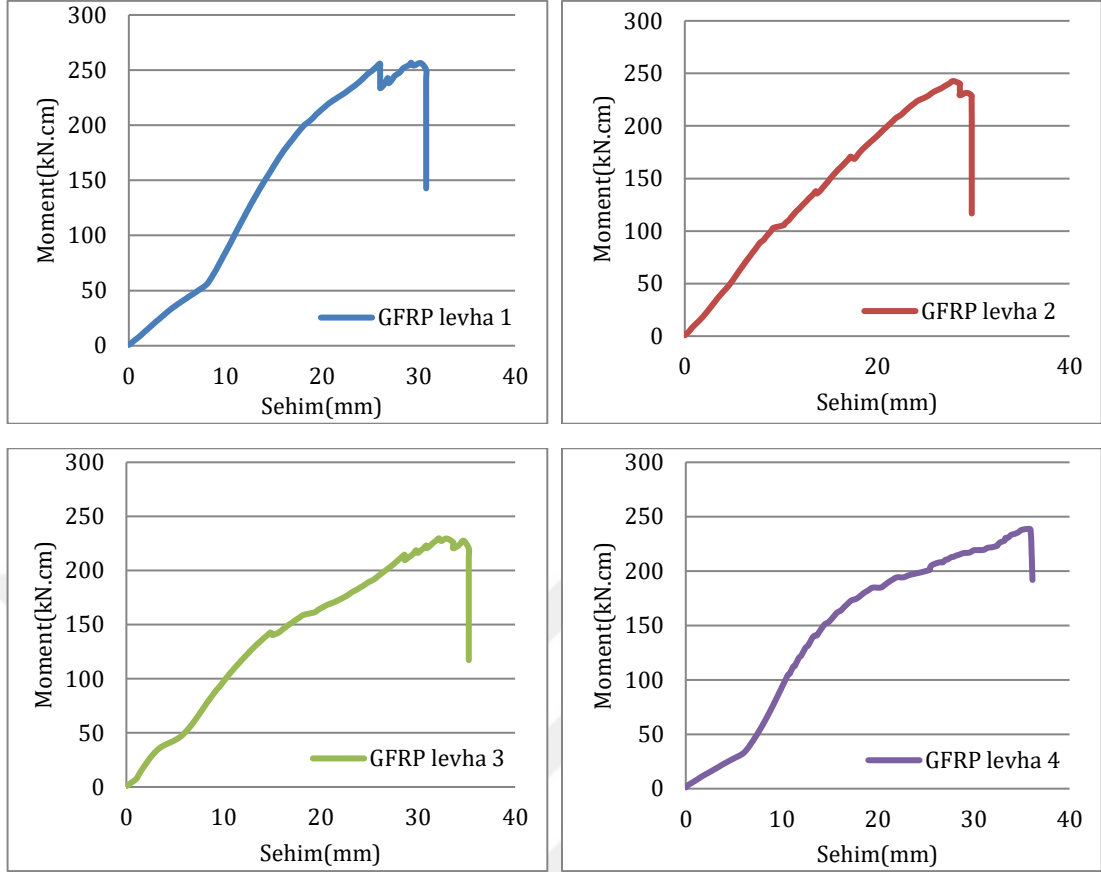
şekil 6.67. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış GFRP levhalı L birleştirme numunesi



şekil 6.68. Deney sonrası GFRP levhalı L birleştirme numunesi

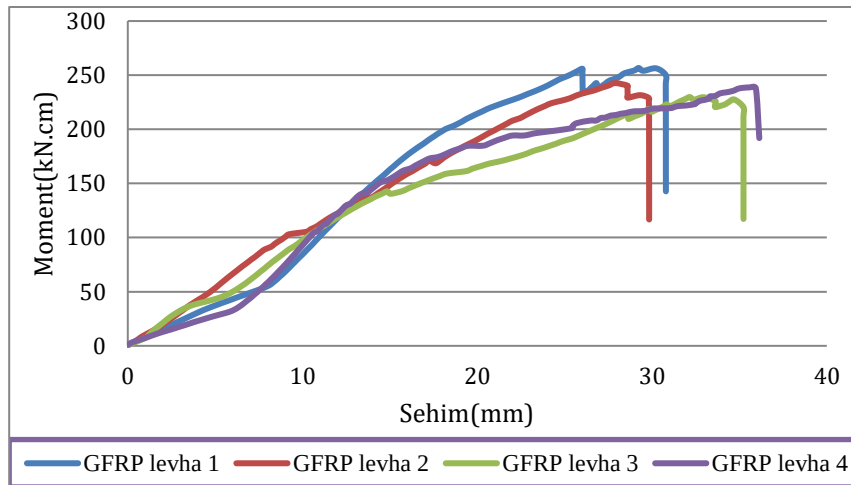
Teste tabi tutulan numuneler şekil 6.68.'de, görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiğı görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (şekil 6.69.).

Yapılan çekme deneyleri sırasında kayıt edilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir(şekil 6.69.).



Şekil 6.69. GFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafikleri

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında çift GFRP levhalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 239,64 olarak bulunmuştur (Şekil 6.70.).



Şekil 6.70. GFRP levhalı L tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

Deneyler sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından KTP ve CTP levhalar ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri ve sehim değerleri Tablo 6.13.'te ve Tablo 6.14.'te verilmiştir.

Tablo 6.13. L birleştirme konsol eğilme deneyi moment değerleri tablosu

NUMUNE	N1	N2	N3	N4	Ort	Hama Göre artış
ADI	(kN.cm)	(kN.cm)	(kN.cm)	(kN.cm)	(kN.cm)	oranı (%)
Ham	191,76	192,44	193,73	198,55	194,12	0
Metal levha	372,85	337,84	323,83	340,50	343,76	77
CFRP levha	567,66	467,11	584,05	577,65	549,12	183
GFRP levha	254,29	238,12	227,48	238,69	239,64	23

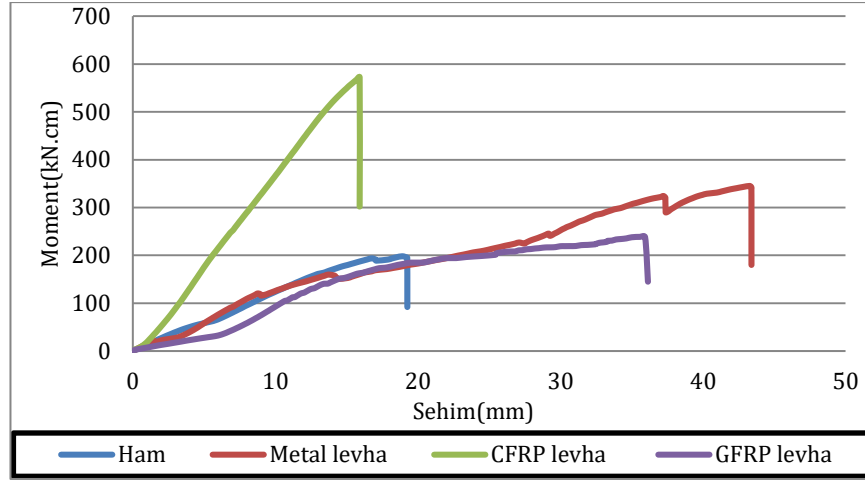
Tablo 6.14. L birleştirme konsol eğilme deneyi sehim değerleri tablosu

NUMUNE	N1	N2	N3	N4	Ort (mm)	Hama Göre artış oranı
ADI	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(%)
Ham	16,85	18,9	19,25	21,34	19,08	0
Metal levha	35,24	48,10	52,73	43,4	44,86	135
CFRP levha	23,16	21,85	15,76	26,73	21,87	15
GFRP levha	30,79	29,83	35,32	36,13	33,01	73

Tablo 6.13. incelendiğinde ham kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 194,12 kN.cm olduğu, metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 343,76 kN.cm olduğu, CFRP numunelerinde ortalama eğilme momentinin 549,12 kN.cm olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama eğilme momentinin 239,64 kN.cm olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.14. incelendiğinde ham kontrol numunelerinde ortalama sehim değerinin 19,08 mm olduğu, metal kontrol numunelerinde ortalama sehim değerinin 44,86 mm olduğu, CFRP numunelerinde ortalama sehim değerinin 21,87 mm olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama sehim değerinin 33,01 mm olduğu tespit edilmiştir.

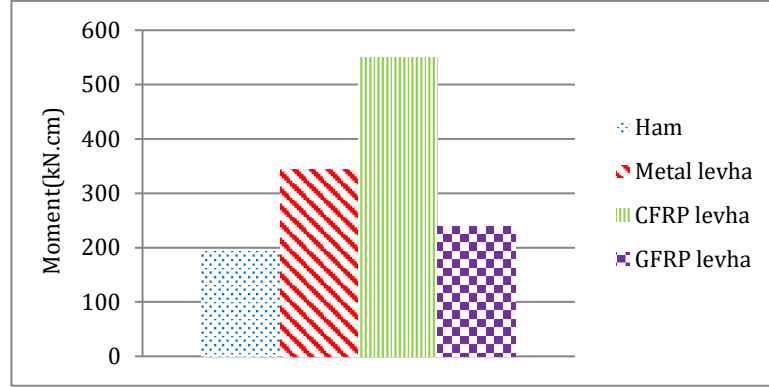
Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 6.71.).



Şekil 6.71. L tipi birleştirmenin ortalama moment – sehim grafikleri

Elde edilen karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 6.72.'de görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerinin ham numunelerinden %183 ve metal levha numunelerinden %60 daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaf levha numunelerinin ham numunelerinden %24 daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinin ancak %70 ini karşılaya bildiği tespit edilmiştir.

Elde edilen karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 6.54.'te görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerin ham numunelerinden %430 daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinden %9 daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaf levha numunelerin ham numunelerinden %70 daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metal levha numunelerinin ancak %35 ini karşılaya bildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.72. L tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

Numunelerin, basit eğilme etkisi altındaki ahşabının eğilme göstermeden önceki ahşap eksen durumu ile elastik eğri durumu arasında oluşan düşey deformasyon miktarına deplasman denir. L tipi numunelerin için ortaya çıkan deplasman değerleri Tablo 6.15.'te verilmiştir.

Tablo 6.15. L tipi numunelerine ait deplasman değerleri tablosu

Numune adı	Deplasman değerleri
Ham	0,0829
Metal levhalı	0,1960
CFRP levhalı	0,0950
GFRP levhalı	0,1435

L tipi birleştirme numunelerin elde edilen sayısal sonuçları, lineer olan bölgelerine ait deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6.16.).

Tablo 6.16. L tipi birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu

Numune adı	Sayısal değ (kN.cm)	Deneysel değ (kN.cm)
Ham	55,89	135
Metal levhalı	139,72	250
CFRP levhalı	223,56	460
GFRP levhalı	134,12	175

6.2.2. T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

6.2.2.1. Ham T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır [114]. Teste tabi tutulan numuneler şekil 6.73.'te gösterilmiştir.



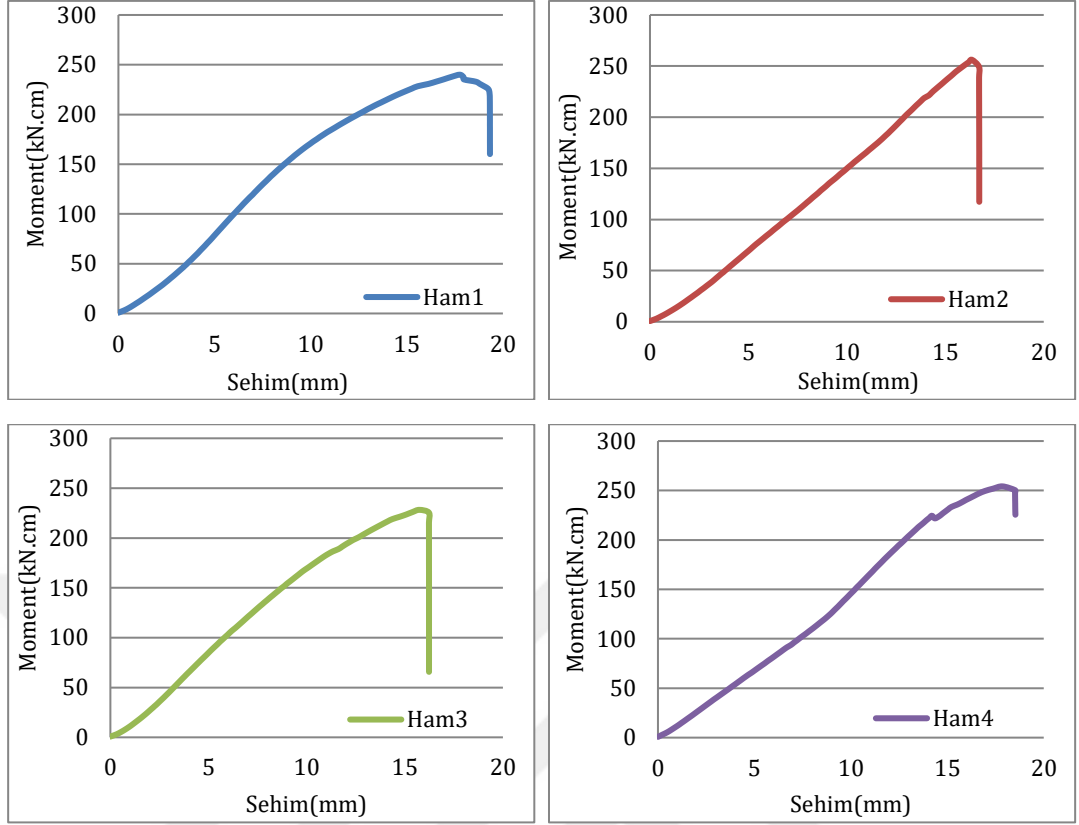
şekil 6.73. Çekme eğilme makinesine bağlanmış ham T tipi birleştirme numunesi



şekil 6.74. Deney sonrası ham T tipi birleştirme numunesi

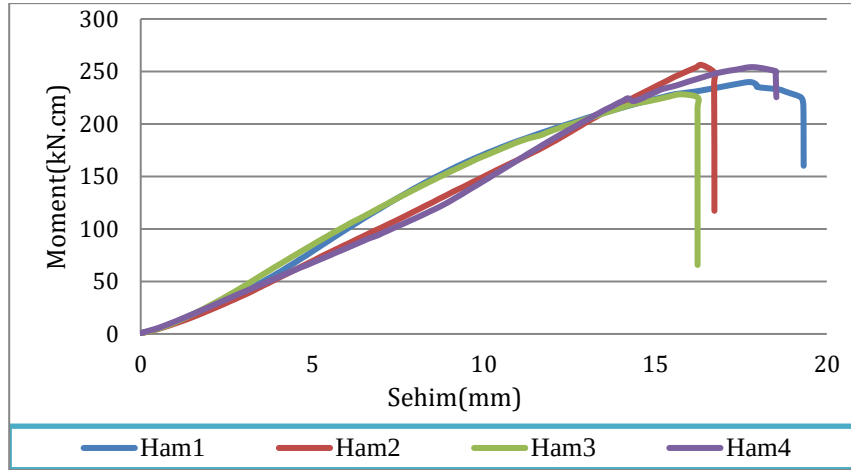
Teste tabi tutulan numuneler şekil 6.74.'te, görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (şekil 6.75.).

Deney sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak moment – sehim grafikleri elde edilmiştir (şekil 6.75.).



Şekil 6.75. Ham T tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Yapılan deneyler sonucunda ham ahşap için moment değeri ortalaması 239 kN.cmolarak hesaplanmıştır (Şekil 6.76).



Şekil 6.76. Ham T tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.2.2. Metal levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneler çekme eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.77.'de gösterilmiştir.



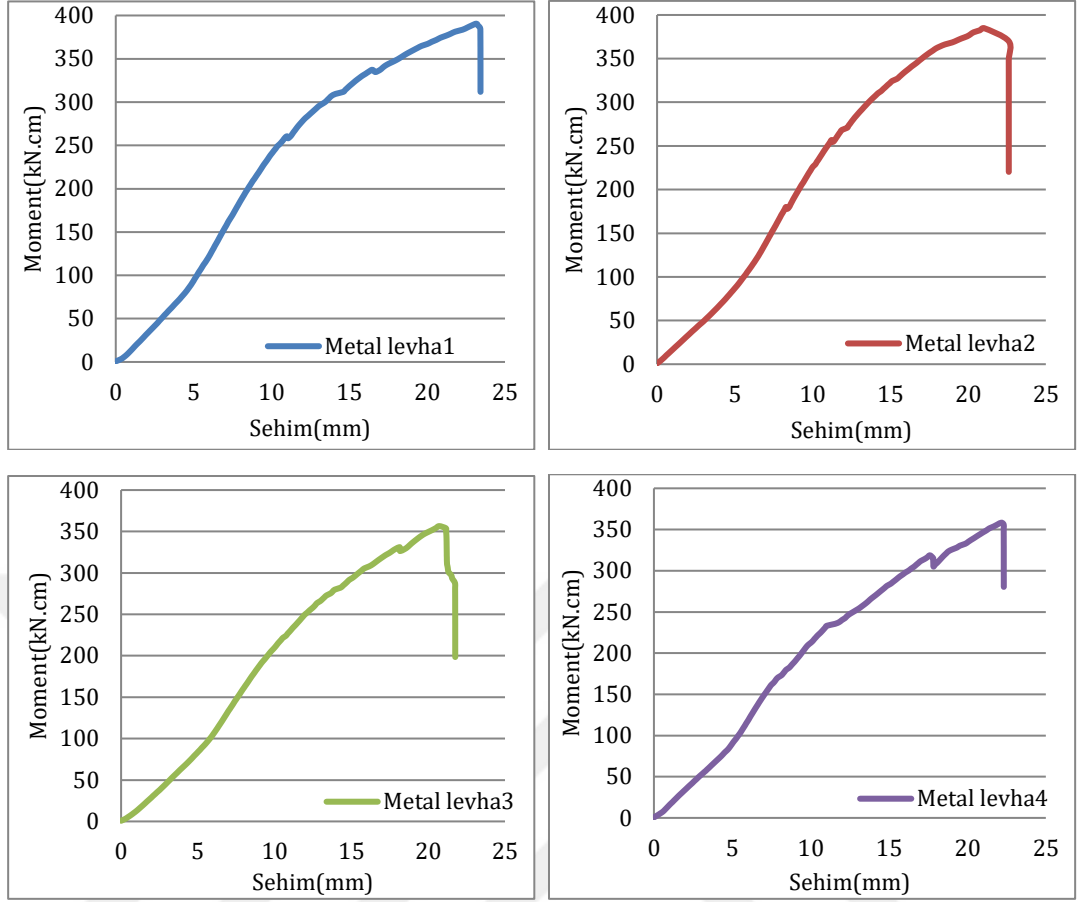
Şekil 6.77. Çekme eğilme makinesine bağlanmış metal levhalı T birleştirme numunesi



Şekil 6.78. Deney sonrasımatal levhalı T birleştirme numunesi

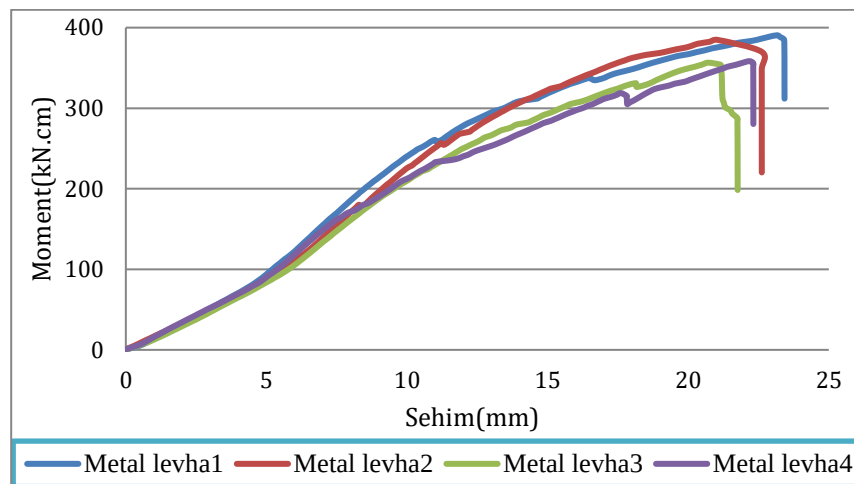
Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.78.'da görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.79.).

Yapılan çekme deneyleri sırasında kayıt edilen veriler kullanılarak her bir numune için moment-sehim grafikleri elde edilmiştir(Şekil 6.79.).



Şekil 6.79. Metal levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında numunelerin moment değeri ortalaması 367,35 kN.cm olarak bulunmuştur (Şekil 6.80.).



Şekil 6.80. Metal levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.2.3. CFRP levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.81.'de gösterilmiştir.



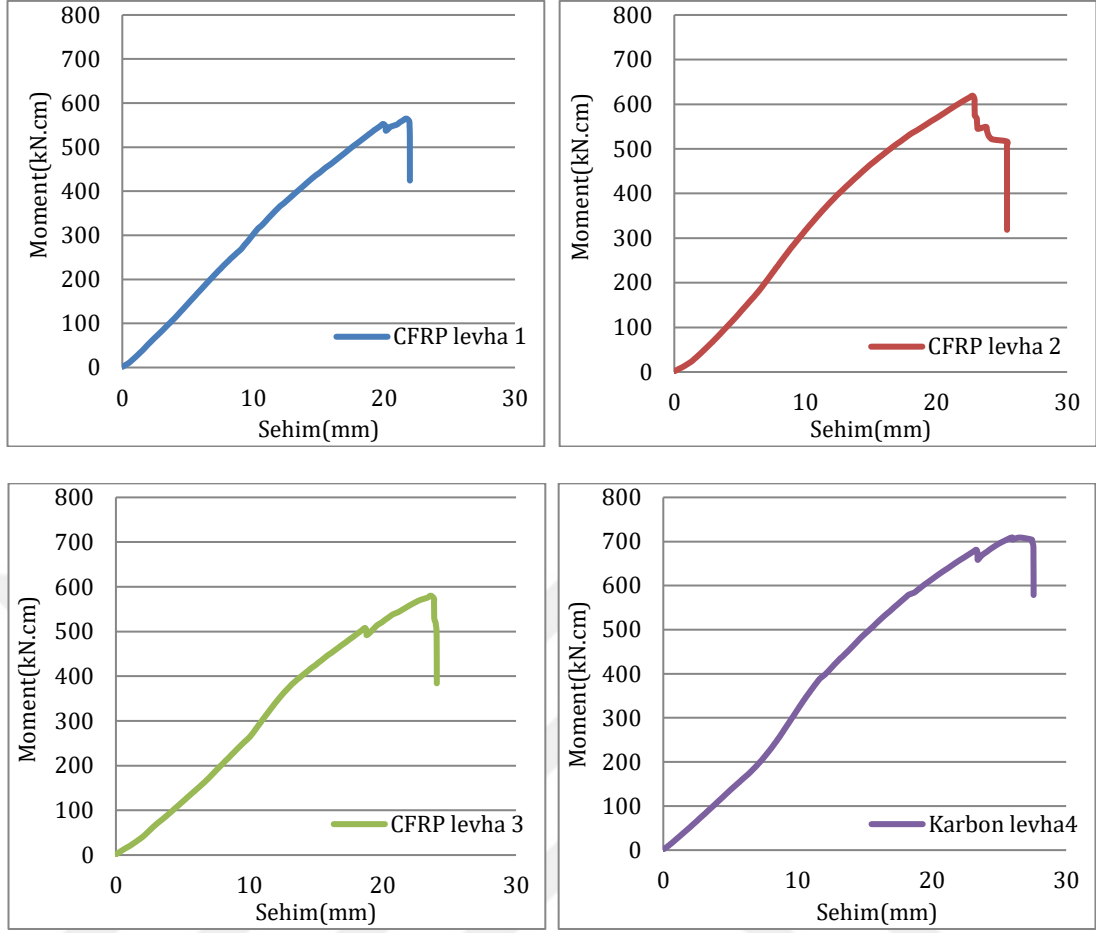
Şekil 6.81. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış CFRP levhalı T birleştirme numunesi



Şekil 6.82. Deney sonrası CFRP levhalı T birleştirme numunesi

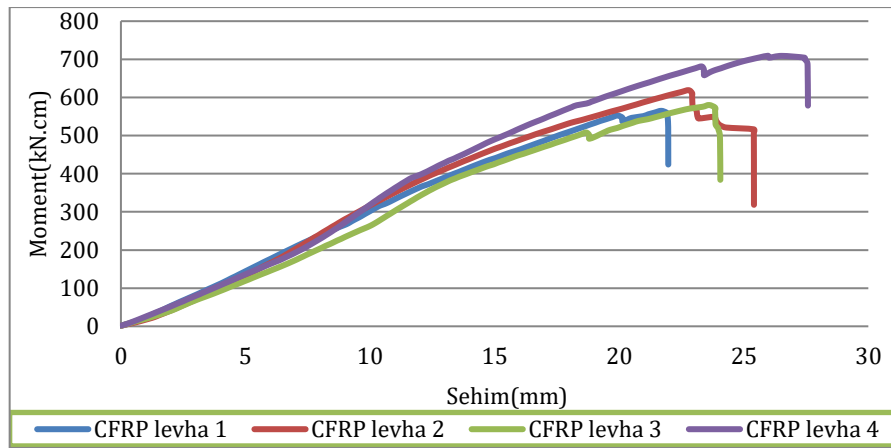
Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.82.'te, görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.83.).

Deney esnasında bilgisayar programı tarafından kaydedilen veriler kullanılarak her bir numune için moment-sehim grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 6.83.).



Şekil 6.83. CFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında çift CFRP levhalı ahşap numunelerin moment ortalaması 610,21 kN.cm olarak bulunmuştur (Şekil 6.84.).



Şekil 6.84. CFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.2.4. GFRP levhalı T tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneler çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.85.'te gösterilmiştir.



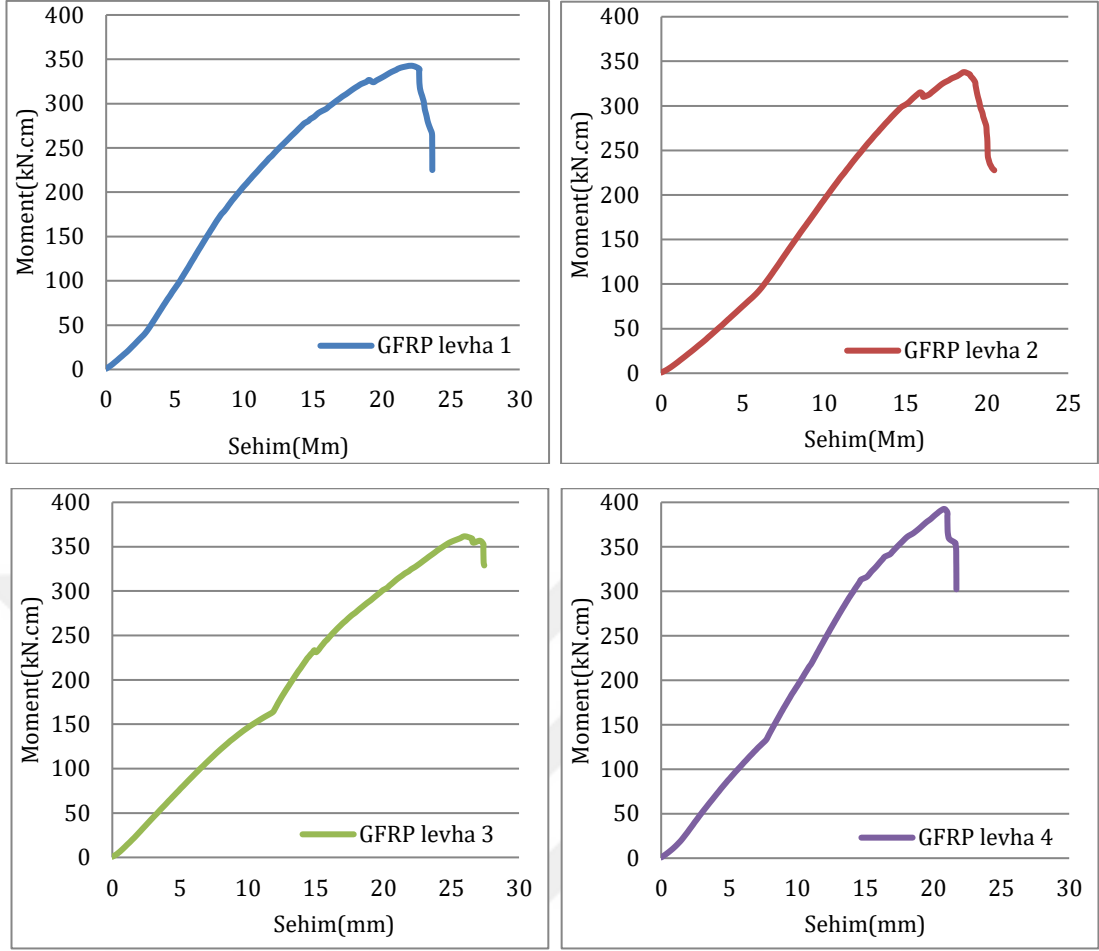
Şekil 6.85. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış GFRP levhalı T birleştirme numunesi



Şekil 6.86. Deney sonrası GFRP levhalı T birleştirme numunesi

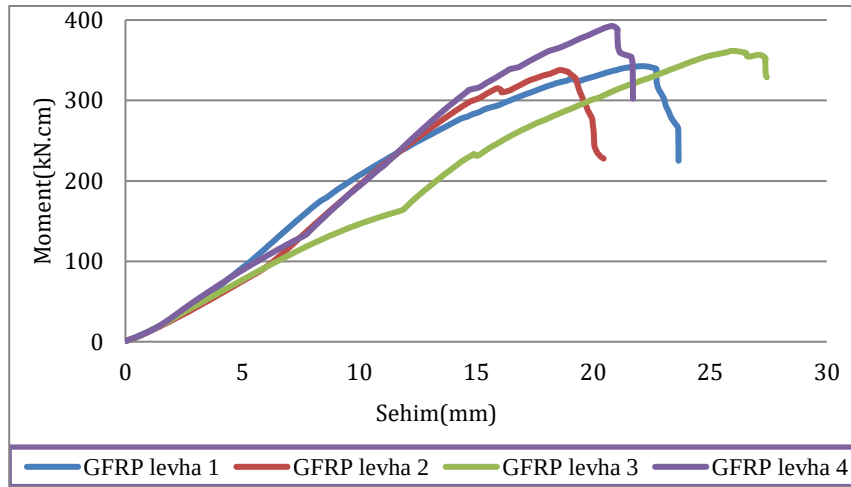
Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.86.'de görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.87.).

Deney sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak moment – sehim grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.87.).



Şekil 6.87. GFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment-sehim grafiği

Yapılan deneyler sonuçlarında ortalama değerler incelendiğinde bakıldığında numunelerin moment değeri ortalaması 354,06 kN.cmolarak bulunmuştur (Şekil 6.88.).



Şekil 6.88. GFRP levhalı T tipi birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

Tablo 6.17. T birleştirme konsol eğilme deneyi moment değerleri tablosu

Numune adı	N1 (kN.cm)	N2 (kN.cm)	N3 (kN.cm)	N4 (kN.cm)	Ort (kN.cm)	Hama göre artış oranı (%)
Ham	235,31	24,22	223,60	249,47	239,40	0
Metal levha	385,93	377,84	351,86	353,76	367,35	53
CFRP levha	555,66	609,85	570,97	704,37	610,21	155
GFRP levha	338,06	333,24	357,07	387,90	354,06	48

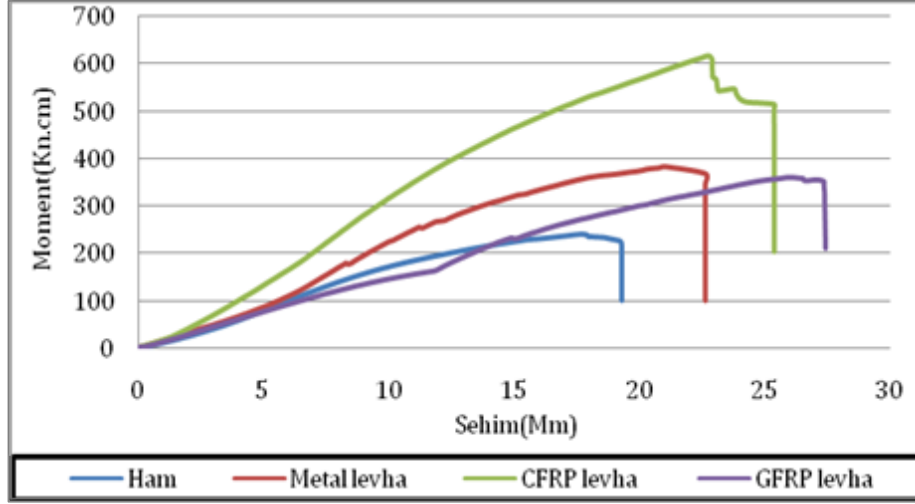
Tablo 6.18. T birleştirme konsol eğilme deneyi sehim değerleri tablosu

Numune adı	N1 (mm)	N2 (mm)	N3 (mm)	N4 (mm)	Ort (mm)	Hama göre artış oranı (%)
Ham	19,32	16,72	16,23	18,52	17,69	0
Metal levha	23,42	22,61	21,75	22,31	22,52	27
CFRP levha	21,97	25,40	24,05	27,57	24,74	40
GFRP levha	23,65	20,45	27,43	21,70	23,30	32

Tablo 6.17. incelendiğinde ham kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 239,40 kN.cm olduğu, metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 367,35 kN.cm olduğu, CFRP numunelerinde ortalama eğilme momentinin 610,21 kN.cm olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama eğilme momentinin 354,06 kN.cm olduğu tespit edilmiştir.

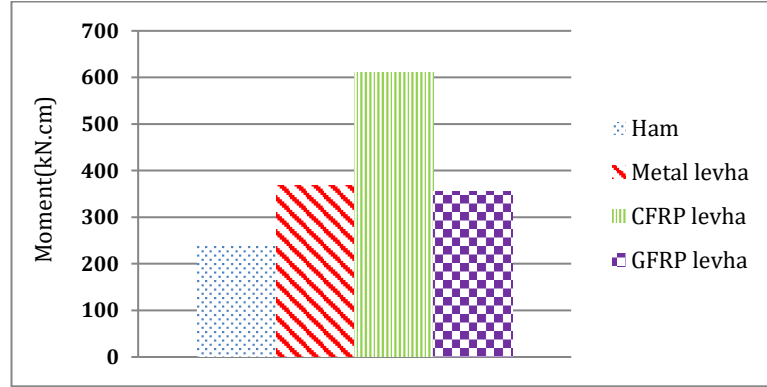
Tablo 6.2.18. incelendiğinde ham kontrol numunelerinde ortalama sehim değerinin 17,69 mm olduğu, metal kontrol numunelerinde ortalama sehim değerinin 22,52 mm olduğu, CFRP numunelerinde ortalama sehim değerinin 24,74 mm olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama sehim değerinin 23,30 mm olduğu tespit edilmiştir.

Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 6.89.).



Şekil 6.89. T tipi birleştirmenin ortalama moment-sehim grafikleri

Elde edilen karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 6.72.'de görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerinin ham numunelerinden %155 ve metal levha numunelerinden %67 daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaf levha numunelerinin ham numunelerinden %40 daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metallevha numunelerinin ancak %96 ını karşılaya bildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.90. T tipi birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

Numunelerin, basit eğilme etkisi altındaki ahşabının eğilme göstermeden önceki ahşap eksenli durumu ile elastik eğri durumu arasında oluşan düşey deformasyon miktarına deplasman denir. T tipi numunelerin için ortaya çıkan deplasman değerleri Tablo 6.19.'da verilmiştir.

Tablo 6.19. T tipi numunelerine ait deplasman değerleri tablosu

Numune adı	Deplasman değerleri
Ham	0,0769
Metal levhalı	0,0979
CFRP levhalı	0,1075
GFRP levhalı	0,1013

T tipi birleştirme numunelerin elde edilen sayısal sonuçları, lineer olan bölgelerine ait deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6.20.).

Tablo 6.20. T tipi birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu

Numune adı	Sayısal değ (kN.cm)	Deneysel değ (kN.cm)
Ham	55,89	175
Metal levhalı	209,58	260
CFRP levhalı	335,34	475
GFRP levhalı	201,18	230

6.2.3.45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

6.2.3.1. Ham 45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneleri çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.91.'de gösterilmiştir.



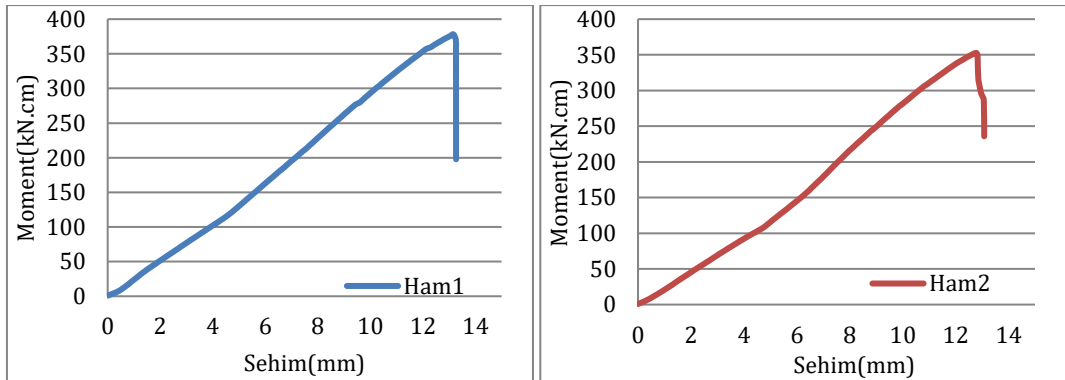
Şekil 6.91. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış ham 45° gönye birleştirme numunesi

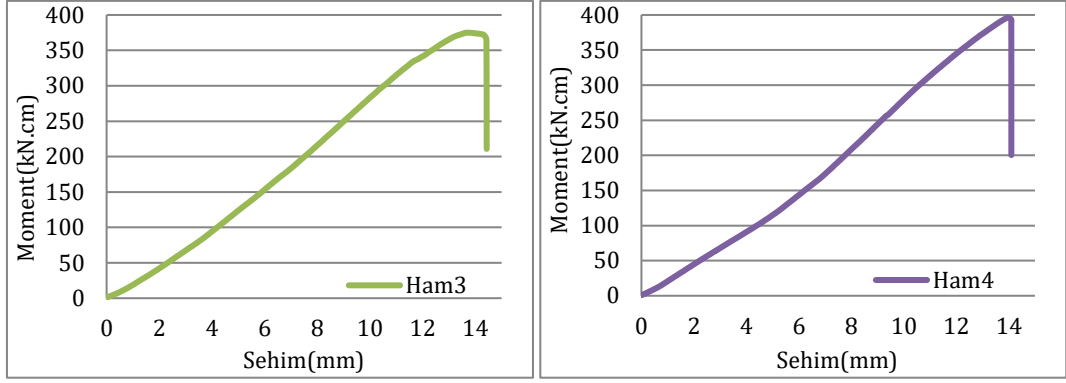


Şekil 6.92. Deney sonrası ham 45° gönye birleştirme numunesi

Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.92.'de görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.93.).

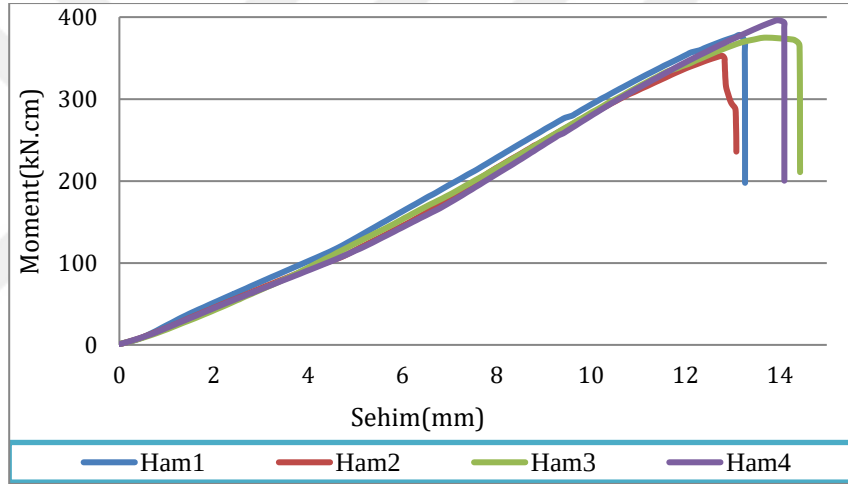
Deney sonucunda kaydedilen veriler işlenerek moment-sehim grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.93.).





Şekil 6.93. Ham 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında numunelerin moment değeri ortalaması 370,26 kN.cmolarak bulunmuştur (Şekil 6.94.).



Şekil 6.94. Ham 45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.3.2. Metal levhalı 45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneleri çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.95.'te gösterilmiştir.



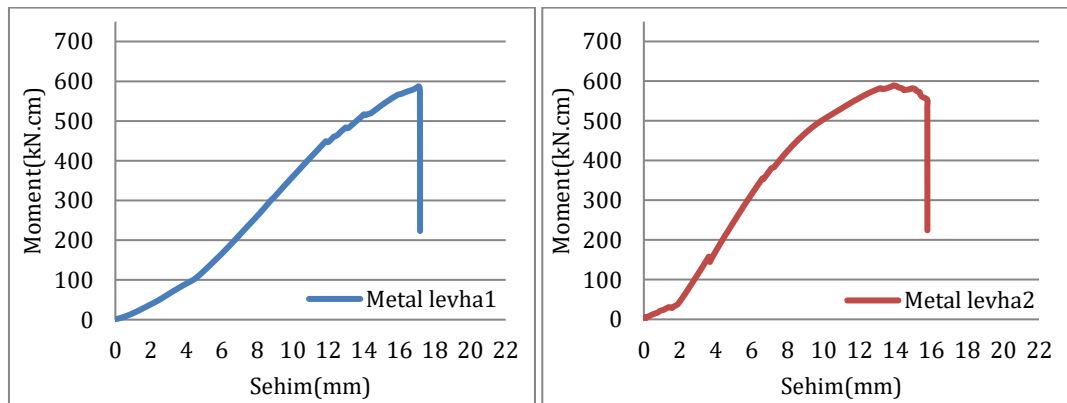
Şekil 6.95. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış metal levhalı 45° birleştirme numunesi

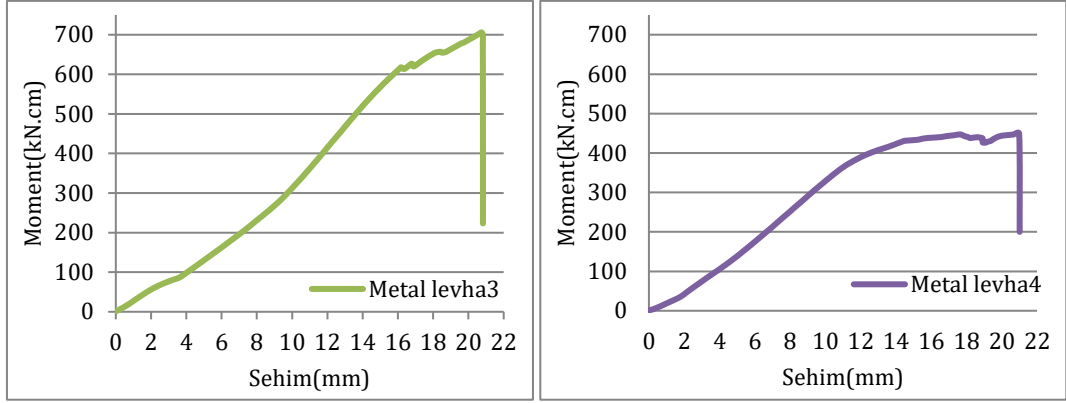


Şekil 6.96. Deney sonrası metal levhalı 45° birleştirme numunesi

Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.96.'da görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.97.).

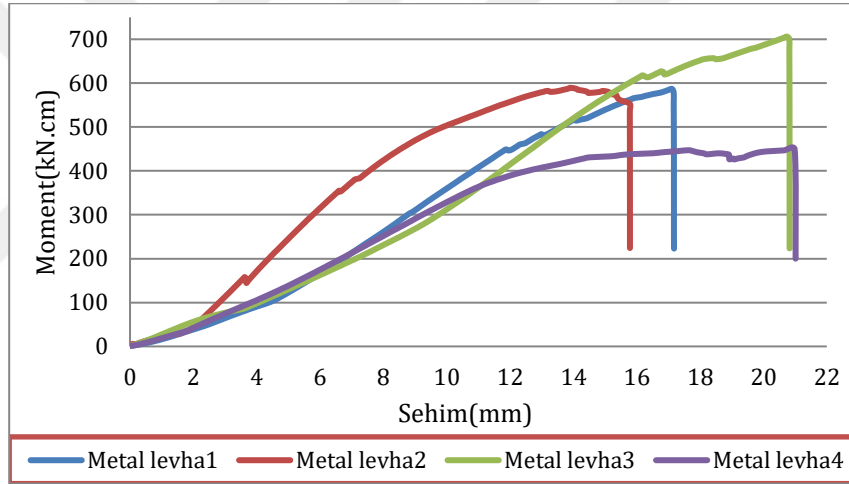
Deney sonucunda kaydedilen veriler yorumlanıp gerilme-deformasyon grafikleri çıkarılmıştır (Şekil 6.97.).





Şekil 6.97. Metal levhalı45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Yapılan deneyler sonucunda çift metal levhalı ahşap birleştirme numuneleri ortalama moment değeri 585,11 kN.cm olarak bulunmuştur (Şekil 6.98.).



Şekil 6.2.98. Metal levhalı45° gönye birleştirme numunelerine ait moment-sehim karşılaştırma grafiği

6.2.3.3. CFRP levhalı45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneleri çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.99.'da gösterilmiştir.



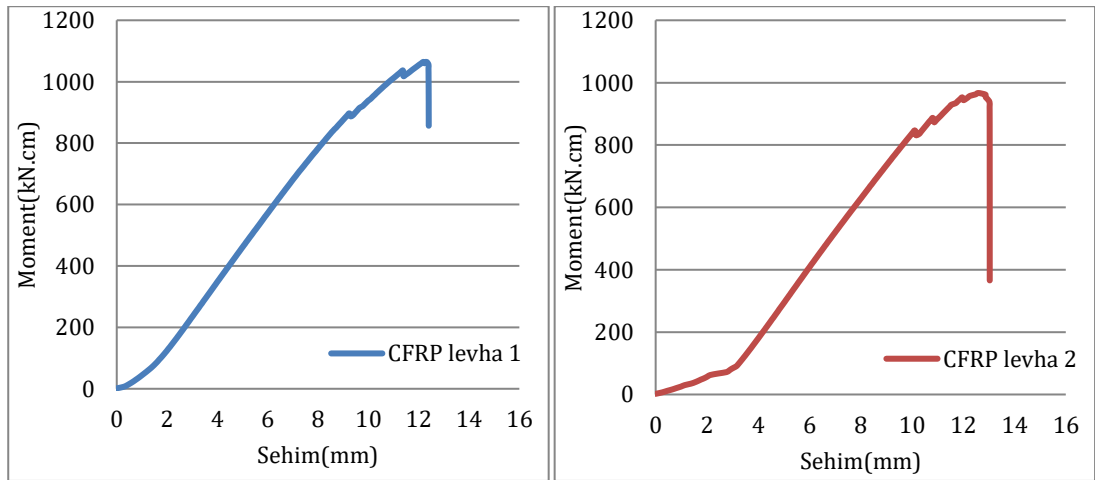
Şekil 6.99. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış CFRP levhalı 45° birleştirme numunesi

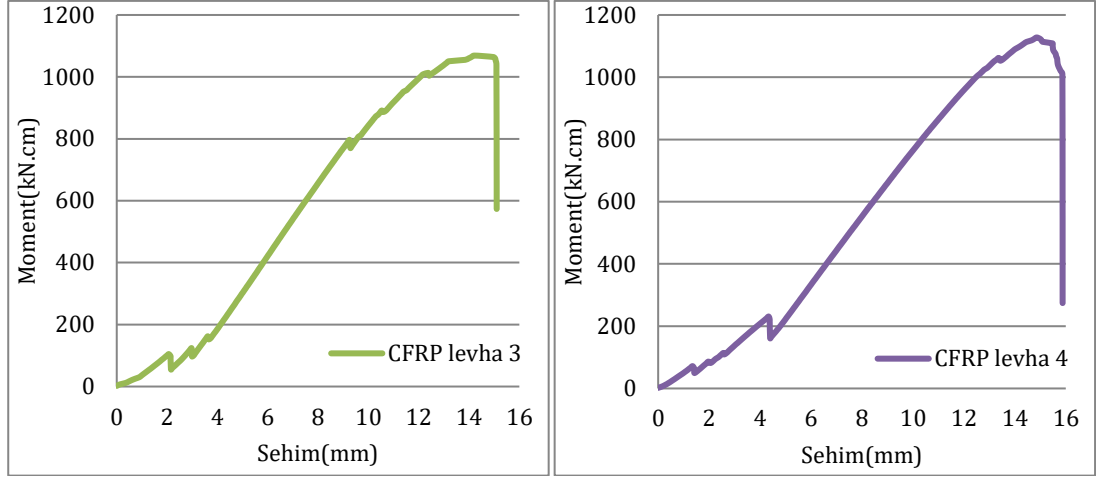


Şekil 6.100. Deney sonrası CFRP levhalı 45° birleştirme numunesi

Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.100.'de görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.101.).

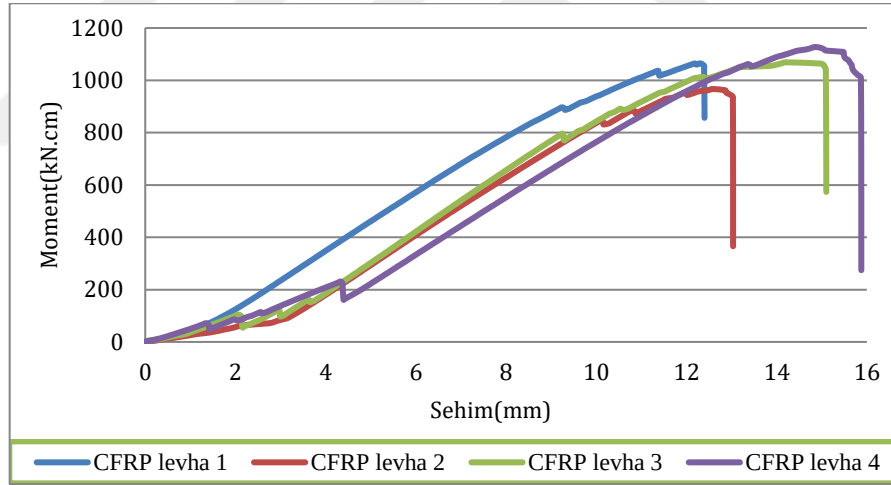
Deney esnasında bilgisayar programı tarafından kaydedilen veriler kullanılarak her bir numune için moment-sehim grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 6.101.).





Şekil 6.101. CFRP levhalı45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Yapılan deneyler sonuçlarında ortalama değerler incelendiğinde bakıldığında numunelerin moment değeri ortalaması 1048,9 kN.cmolarak bulunmuştur (Şekil 6.102.).



Şekil 6.102. CFRP levhalı45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

6.2.3.4. GFRP levhalı45° gönye tipi birleştirmede konsol eğilme deneyi

Hazırlanan numuneleri çekme-eğilme cihazında özel olarak tasarlanan deney düzeneğine yerleştirip işkenceler vasıtasıyla sıkıştırılarak yükleme hızı TS 2474'e uygun olması dikkate alınmıştır. Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.103.'te gösterilmiştir.



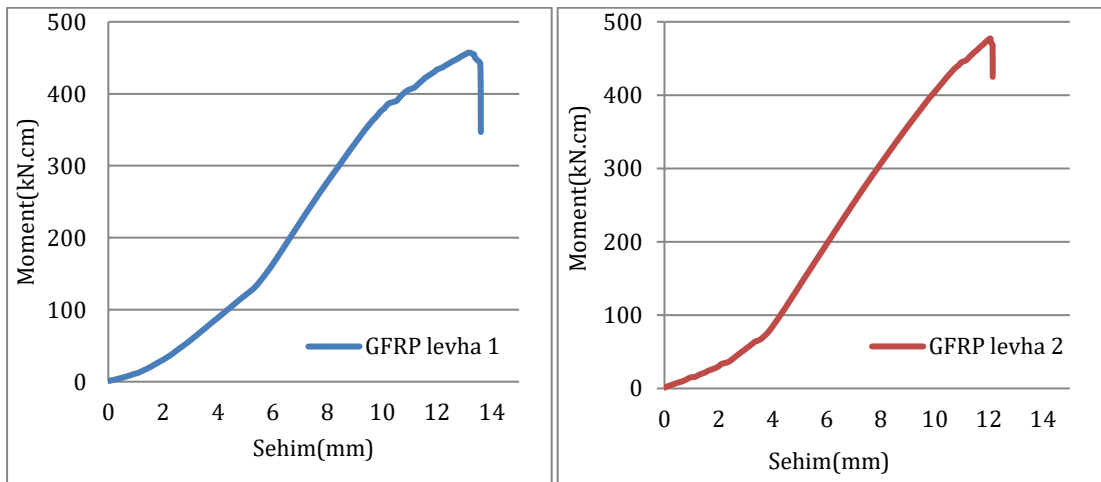
Şekil 6.103. Çekme-eğilme makinesine bağlanmış GFRP levhalı 45° birleştirme numunesi

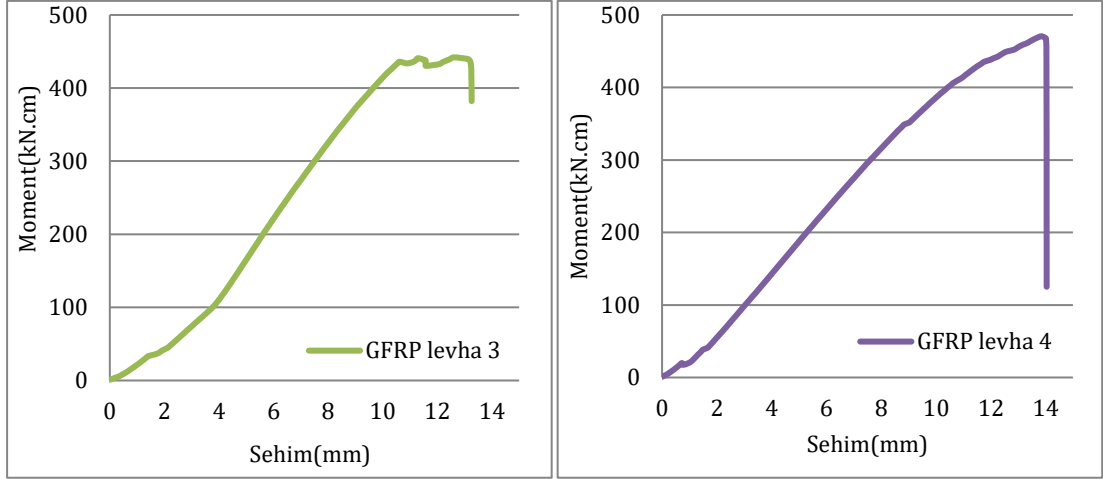


Şekil 6.104. Deney sonrası GFRP levhalı 45° birleştirme numunesi

Teste tabi tutulan numuneler Şekil 6.104.'te, görüldüğü gibi konsol eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kuvvet kolu dikkate alınarak moment hesabı yapılmıştır. Deney gözlemlendiğinde yükleme altındaki numunelerin birleşim bölgelerindeki yüzeylerin açılarak liflerin birbirinden ayrılması sonucunda deneylerin sona erdiği görülmüştür. Bu andaki maksimum kuvvetler Newton (N) cinsinden kaydedilmiştir (Şekil 6.105.).

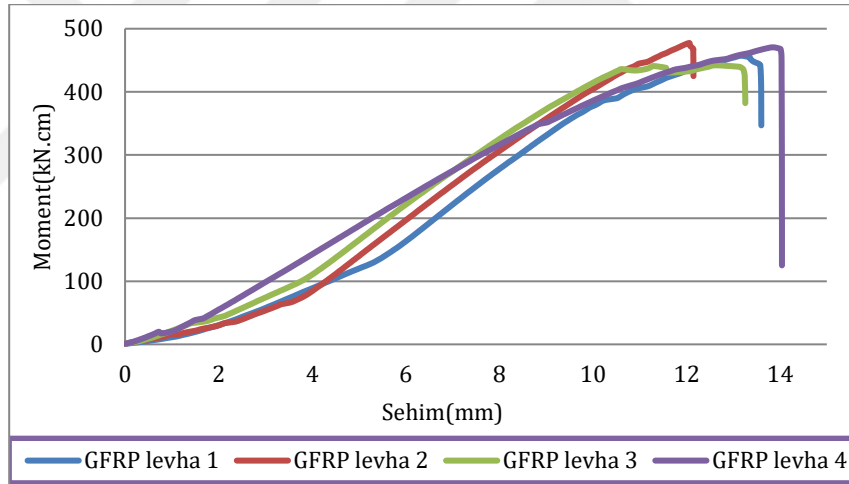
Deney sonucunda kaydedilen veriler işlenerek moment - sehim grafikleri elde edilmiştir (Şekil 6.105.).





Şekil 6.105. GFRP levhalı45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim grafiği

Yapılan deneyler sonucunda çift GFRP levhalı ahşap birleştirme numuneleri ortalama moment değeri 99 kg/cm² olarak bulunmuştur (Şekil 6.106.).



Şekil 6.106. GFRP levhalı45° gönye birleştirme numunelerine ait moment – sehim karşılaştırma grafiği

Deney sonuçlarının daha kolay değerlendirilebilmesi ve net olarak birbirleriyle karşılaştırılabilmesi açısından CFRP ve GFRP levhalar ile güçlendirilmiş numuneler ve kontrol numunelere ait moment değerleri Tablo 6.21.'de ve sehim değerleri Tablo 6.22.'de verilmiştir.

Tablo 6.21. 45° gönye birleştirme konsol eğilme deneyi moment değerleri tablosu

Numune adı	N1 (kN.cm)	N2 (kN.cm)	N3 (kN.cm)	N4 (kN.cm)	Ort (kN.cm)	Hama göre değişim oranı (%)
Ham	371,12	348,05	370,37	391,50	370,26	0
Metal levha	579,95	584,66	700,0	475,77	585,11	58
CFRP levha	1060,08	957,66	1059,65	1118,23	1048,90	183
GFRPlevha	452,59	472,72	439,62	465,93	457,71	24

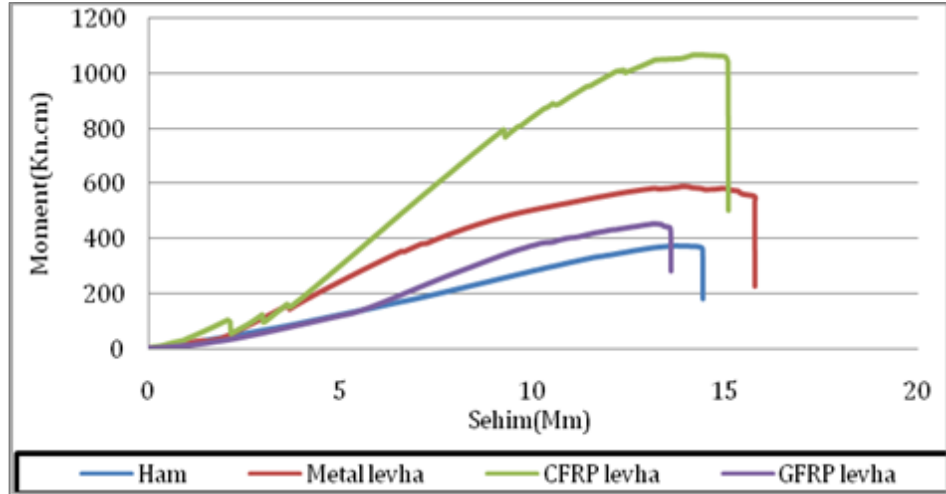
Tablo 6.22. 45° gönye birleştirme konsol eğilme deneyi sehim değerleri tablosu

Numune adı	N1 (mm)	N2 (mm)	N3 (mm)	N4 (mm)	Ort (mm)	Hama göre değişim oranı (%)
Ham	13,26	13,08	14,43	14,1	13,71	0
Metal levha	17,17	15,78	20,82	21,01	18,69	36
CFRP levha	12,4	13,03	15,1	15,87	14,1	3
GFRPlevha	13,6	12,15	13,25	14,04	13,26	0

Tablo 6.21. incelendiğinde ham kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 370,26 kN.cm olduğu, metal kontrol numunelerinde ortalama eğilme momentinin 585,11 kN.cm olduğu, CFRP numunelerinde ortalama eğilme momentinin 1048,90 kN.cm olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama eğilme momentinin 457,71 kN.cm olduğu tespit edilmiştir.

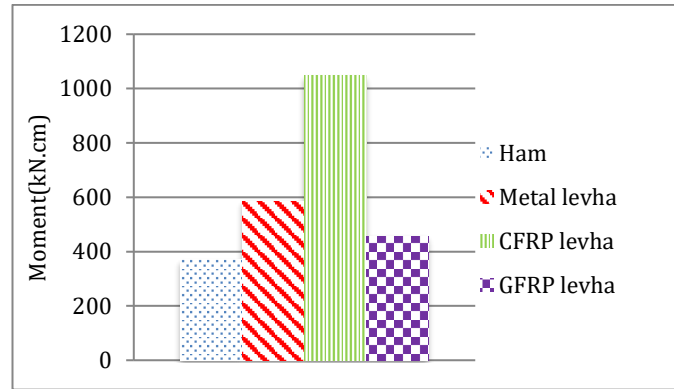
Tablo 6.22. incelendiğinde ham kontrol numunelerinde ortalama sehim değerinin 13,71 mm olduğu, metal kontrol numunelerinde ortalama sehim değerinin 18,69 mm olduğu, CFRP numunelerinde ortalama sehim değerinin 14,1 mm olduğu ve GFRP numunelerinde ortalama sehim değerinin 13,26 mm olduğu tespit edilmiştir.

Her birleştirme numunelere ait ortalama grafiklerin birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 6.107.).



Şekil 6.107. 45° gönye birleştirmenin ortalama moment – sehim grafikleri

Elde edilen karbon elyaf ve cam elyaf kullanarak hazırlanan numunelerin değerleri diğer numunelerle karşılaştırıldığında Şekil 6.72.'de görüldüğü gibi karbon elyaf levha numunelerinin ham numunelerinden %184 ve metal levha numunelerinden %80 daha yüksek mukavemete sahip olduğu tespit edilmiştir. Cam elyaf levha numunelerinin ham numunelerinden %24 daha yüksek mukavemete sahip olduğu ve metallevha numunelerinin ancak %78 ini karşılaya bildiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.108. 45° gönye birleştirme numunelerine ait ortalama moment değerleri

Numunelerin, basit eğilme etkisi altındaki ahşabının eğilme göstermeden önceki ahşap eksen durumu ile elastik eğri durumu arasında oluşan düşey deformasyon miktarına deplasman denir. 45 ° gönye tipi numuneler için ortaya çıkan deplasman değerleri Tablo 6.23.'te verilmiştir.

Tablo 6.23. 45° gönye tipi numunelerine ait deplasman değerleri tablosu

Numune adı	Deplasman değerleri
Ham	0,0596
Metal levhalı	0,0812
CFRP levhalı	0,0613
GFRP levhalı	0,0576

45° gönye tipi birleştirme numunelerin elde edilen sayısal sonuçları, lineer olan bölgelerine ait deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 6.24.).

Tablo 6.24. 45° gönye L tipi birleştirmelerde sayısal ve deneysel sonuçları tablosu

Numune adı	Sayısal değ (kN.cm)	Deneysel değ (kN.cm)
Ham	78,86	250
Metal levhalı	295,725	465
CFRP levhalı	473,16	850
GFRP levhalı	283,89	390

BÖLÜM 7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çekme deneyi yapılan her grup için numunelerin ortalama çekme gerilmesi değerleri, teorik hesap değerleri, ortalama deformasyon değerleri alınarak tüm numunelerin birbiriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla ortak bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 6.1.).

Tablo 7.1. Çekme deneyine tabi tutulan tüm numunelerin genel sonuçlar karşılaştırılması

Deney Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune adı	Teorik hesap değerleri (MPa)	Akma sınırı (MPa)	Ortalama max gerilme değerleri (MPa)	Hama göre gerilme değişim oranı (%)	Ortalama defor değerleri (%)	Hama göre defor değişim oranı (%)
Çekme Deneyi	Kertmeli boy birleştirme	Ham	1,2	2,2	5,562	0	4,50	0
		Metal	6,37	6,5	19,358	248	26,02	478
		CFRP	10,2	15	27,775	400	14,78	228
		GFRP	6,12	6,4	9,807	76	11,90	164
	Uç uca boy birleştirme	Ham	1,538	2,5	6,082	0	5,70	0
		Metal	2,85	6	12,293	102	28,13	394
		CFRP	4,56	10	15,428	154	17,14	200
		GFRP	2,736	4	7,226	19	19,82	248
	Yabancı zıvanalı boy birleştirme	Ham	1.65	0.8	1,73	0	3,27	0
		Metal	2.06	5	8,45	388	7,92	142
		CFRP	3.3	7	9,18	430	5,15	57
		GFRP	1.98	2.5	2,94	70	3,65	12

Konsol eğilme deneyi yapılan her grup için numunelerin ortalama moment direnci değerleri, teorik hesap değerleri, ortalama sehim değerleri alınarak tüm numunelerin birbiriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla ortak bir tablo oluşturulmuştur (Tablo 6.2.).

Tablo 7.2. Konsol eğilme deneyine tabi tutulan tüm numunelerin genel sonuçlar karşılaştırılması

Deney Çeşidi	Numune Çeşidi	Numune adı	Teorik Hesap Değerleri (kN.cm)	Akma sınırı (kN.cm)	Ortalama max moment değerleri (kN.cm)	Hama göre moment değişim oranı %	Ortalama sehım değerleri (mm)	Hama göre sehım değişim oranı %
Konsol eğilme deneyi	L tipi birleştirme	Ham	55,89	135	194,12	0	19,08	0
		Metal	139,72	250	343,76	77	44,86	135
		CFRP	223,56	460	549,12	183	21,87	15
		GFRP	134,12	175	239,64	23	33,01	73
	T tipi birleştirme	Ham	55,89	175	239,40	0	17,69	0
		Metal	209,58	260	367,35	53	22,52	27
		CFRP	335,34	475	610,21	155	24,74	40
		GFRP	201,18	230	354,06	48	23,30	32
	45° gönye birleştirme	Ham	78,86	250	370,26	0	13,71	0
		Metal	295,725	465	585,11	58	18,69	36
		CFRP	473,16	850	1048,90	183	14,1	3
		GFRP	283,89	390	457,71	24	13,26	0

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, çekme ve konsol eğilme deneyine tabi tutulan numunelerin mekanik performansları incelendiğinde; aşağıdaki bulgular ortaya çıkmıştır,

Çekme deneyinde karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metallevhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kertmeli boy birleştirmede %44 ve uç uca boy birleştirmede %26 ve yabancı zıvanalı boy birleştirmede 9 % arttığı tespit edilmiştir. GFRP levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metallevhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre kertmeli boy birleştirmede %51’de, uç uca boy birleştirmede %59’da ve yabancı zıvanalı boy birleştirmede %35’te kaldığı görülmüştür.

Konsol eğilme deneyinde karbon elyaf levhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımı, metallevhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %60, T birleştirmede %67 ve 45° gönyeli birleştirmede %80 arttığı tespit edilmiştir. GFRP levhalar kullanarak güçlendirilen

numunelerin dayanımı, metallevhalar kullanarak güçlendirilen numunelerin dayanımına göre L birleştirmede %85'te, T birleştirmede %96'da ve 45° gönyeli birleştirmede %78'de kaldığı görülmüştür.

Karbon ve cam elyaf levhaların her ne kadar levha kalınlıkları metal levha kalınlığıyla aynı alınsa da levha yapıları ve lif yönleri dikkate alındığından her iki doğrultuda eşit miktarda lif kullanılarak üretilen bu levhaların çekmeye çalışan lif oranı ancak levha kalınlığının yarısını oluşturmaktadır. Bu nedenle CFRP ve GFRP levhalarla elde edilen sonuçların aynı kalınlıktaki yani 4mm levhalar elde edilmesi durumunda daha yüksek sonuçlara ulaşılacağı göz ardı edilmemelidir.

Yapılan çalışmalar sonucunda: çekme ve konsol eğilme deneylerinin sonuçları dikkate alınarak elde edilen avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir

1- FRP levhalar, metallevhalara göre korozyona uğramaması nedeniyle ahşap yapıların birleştirme bölgelerinde oluşacak çürüme olayı tamamen ortadan kaldırılabilir. Ayrıca hafif olduğundan depreme karşı daha dayanıklıdır. FRP'ler korozyona uğramama ve hafiflik gibi avantajlarının yanında ahşap görünümlü üretiliyor olabilmeleri nedeniyle, ahşap yapıların birleşim bölgeleri çözümünde FRP'lerin tercih edilmesinin önemi ortaya çıkmıştır.

2- Metal levhalı ahşap yapılarda, nem ve korozyon nedeniyle çürüyen ahşap birleşim bölgelerinde gevşeme ve dağılmalar meydana gelmektedir. Bu durum yapının kullanım ömrünü kısaltmakta ve bakım maliyetini artırmaktadır. AncakFRP levhalarla yapılan birleştirmelerde korozyona bağlı çürüme olmayacağından gevşeme ve dağılmalar engellenmiş, yapının ömrü uzun ve bakım maliyeti daha az olması sağlanmış olur.

3- Geleneksel güçlendirmede birleşim bölgelerinde uygulanan çelik levha, bulon ve gergi çubuklarına göre FRP'lerle daha hafif ve kolay uygulamalar yapılabilir.

4- FRP'lerin istenen renk ve desende üretilebilmesi nedeniyle birleştirme bölgelerde daha estetik bir görüntü elde edilebilir.

5- Ayrıca ahşap yapı tasarımında birleştirme bölgelerinde FRP levhaların yüksek mekanik performansı sayesinde istenilen dayanım daha küçük malzeme kesitleri ile ulaşma olanağı ortaya çıkmıştır.

Yukarda ifade edilen avantajlar dikkate alındığında ahşap yapıların güçlendirmesi çalışmalarında metallevhalar yerine FRP levhaların kullanımının tercih edilebilir olduğu rahatlıkla söylenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Rowell, R.M. (2005). Wood Composites, Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, CRC press.
- [2] Seçkin, N.P. (2006). Ekolojik değerlere göre ahşap kompozit malzemenin seçim kriterleri, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Uysal, B. (2005). Ağaç malzeme ders notları, Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük.
- [4] Şahin, Y. (2000). Kompozit malzemelere giriş, Gazi Kitabevi, Ankara.
- [5] Akgül, T., “Ahşapların ve birleşim noktalarının fiber takviyeli polimerlerle güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 13-42, 2007.
- [6] “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esasları” Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, Ankara, 2018
- [7] Eckelman, C., A., “A Look at. The Strength Design of Furniture”, Forest Product Journal, (16) 3: 21–24, 1966.
- [8] Günay R., Geleneksel Ahşap Yapılar/Sorunları ve Çözüm Yolları, Birsan Yayınevi, 2007.
- [9] İnternet sites; <http://www.haber7.com/mimari/haber/1000784-civisiz-ahsap-cami-buyuluyor.>, Erişim Tarihi: 11.12.2017.
- [10] Premrov, M., Dobrila, P., and Bedenik, B.S. (2003). Analysis of timberframed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards, Faculty of Civil Engineering, University of Maribor, Maribor, Slovenia, 1-12.
- [11] Esteves B. ve diğerleri (2007). Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood, Wood Science and Technology, 41(3), 193-207.

- [12] Guan, Z. W., Rodd, P. D., Pope, D. J., "Study of glulam beams prestressed with pultruded CFRP", School of the Environment, University of Brighton, Moulsecoomb, Brighton, January, United Kingdom, (2004).
- [13] Yeou-Fong L., Xie, Y. M., ve Tsai, M. J., "Enhancement of the flexural performance of retrofitted wood beams using CFRP composite sheets", Construction and Building Materials, Science Direct Journals, 2 (1), 411- 420.
- [14] Moayyed, M. Y. ve Taheri, F. (2010). Creep response of glulam reinforced by a novel pre-stressed frp-wood composite system. Proceedings of the 11th world conference on timber engineering, Trentino, Italy.
- [15] Gentry, T. R. (2011). Performance of glued-laminated timbers with FRP shear and flexural reinforcement. Journal of Composites for Construction, 15, 861-870.
- [16] STEIGER R., Fiber reinforced plastics (FRP) in timber structures, EMPA, 2003, Dübendorf, Switzerland.
- [17] Roberto L.A., Michael A.P., Sandford T.C., Experimental characterization of FRP composite-wood pile structural response by bending tests University of Maine, Orono, November 2002, USA
- [18] Li, Z., Li, P.F., Jiang, Z.Y. ve Wei, H. (2015). Difference of bridge damping ratio under different excitations. Zhendong yu Chongji/Journal of Vibration and Shock.
- [19] Hui Chuan, 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).
- [20] Muratoğlu, A., (2011). Restorasyonda Ahşap Yapı Elemanlarının Karbon Fiber Takviyeli Polimerler (Cfrp) ile Güçlendirilmesi: Karabük Üniversitesi.
- [21] Luggin, W., Bergmeister, K., "Carbon fiber reinforced and prestressed timber beams", 2nd Int. PhD. Symposium in Civil Engineering, Budapest (1998).
- [22] Borri, A., and Corradi, M., "A method for flexural reinforcement of old wood beam with CFRP materials", Composites Part B: Engineering, Science Direct Journals, 36 (2): 143-153 (2005).
- [23] 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).

- [24] Radforda D.W., Goethema D.V., Gutkowskib R.M., Petersonc M.L., Composite repair of timber structures, Colorado State University, Fort Collins, July 2001, USA.
- [25] Harvey, K. ve Ansell, M.P., (2003). Improved timber connections using bonded-in GFRP rods: University of Bath.
- [26] Peter A. Claisseu, Tim J. Davis, High performance jointing systems for timber, School of The Built Environment, Coventry University, Priory Street, Coventry, March 1998, UK.
- [27] Chen C.J., Mechanical behavior of fiberglass reinforced timber joints, Louisiana, USA, 2009.
- [28] Martin Sviták, Štefan Barčík, Jakub Ryspler, Application Of Carbon Fibers On Wood Beams. University of Life Sciences Prague Faculty of Forestry and Wood Sciences. 2015, Czech.
- [29] J.P. Reis, M.F.S.F. de Moura, F.G.A. Silva, N. Dourado, Dimensional optimization of carbon-epoxy bars for reinforcement of wood beams. November 2017, Portugal.
- [30] Yashida Nadir , Praveen Nagarajan , Mohammed Ameen , Muhammed Arif , Flexural stiffness and strength enhancement of horizontally glued laminated wood beams with GFRP and CFRP composite sheets. Department of Civil Engineering, College of Engineering Trivandrum, Thiruvananthapuram, February 2016, Kerala, India.
- [31] PUPSYS Tomas, CORRADI Marco, BORRI Antonio and AMESS Leon. Bending Reinforcement of Full-Scale Timber Beams with Mechanically Attached GFRP Composite Plates. Dept. of Mechanical & Construction Engineering, Northumbria University, july 2017. United Kingdom.
- [32] Eriç, M. (2002). Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayıncılık, 2. Baskı, İstanbul.
- [33] Lyons A. (2004). Materials for Architect and Builders, Elsevier Butterworth & Heinemann, Amsterdam
- [34] Bozkurt A.Y. ve Erdin N. (1997). Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği, İstanbul.
- [35] Loferski J.R., Salonikovich A.J., Stern E.G., Kelley S.J. (2000). Wood Structures: A Global Forum on the Treatment, conservation and Repair of Cultural Heritage, ASTM International, USA.

- [36] Townsend P., Wagner C. (2002). Timber as a Building Material - An Environmental CoMParison Against Syntetic Building Materials, NAFI (National Association of Forest Industries Ltd.), Australia.
- [37] Jester C. J. (1995). Twentieth - Century Building Materials: History and Conservation, McGraw - Hill, New York.
- [38] Güller, B. (2001). Odun Kompozitleri Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 2, 135-160.
- [39] Bekhta, P. ve Niemz, P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, Germany. Holzforschung 57(5), 539-546.
- [40] Viitanen, H., Jämsä, S., Paajanen, L., Nurmi, A. and Viitaniemi, P. (1994). The effect of heat treatment on the properties of spruce, A preliminary report, International Research Group on Wood Preservation, Nusa Dua, Bali, Indonesia.
- [41] Fengel, D. ve Wegener, G. (1989). Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter De, Germany.
- [42] Örs Y., Keskin H., “Ağaç Malzeme Bilgisi”, Atlas Yayınları, İstanbul Temmuz, 2001.
- [43] Bozkurt, A .Y., 1980. fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi (cilt 1). 1.ü . orman fakültesi yayını no. 259.
- [44] Kortoğlu , A ., 1984 Hava Kuru Odunda Rutubet Değişimleri ve Türkiye’de odunun Muhtemel Denge Rutubeti M iktarlarının Dağılımı. 1.Ü . Orman Fakültesi Yayını N o. 3,62.
- [45] Bozkurt, A.Y., ve Göker, Y., “Fiziksel ve mekanik ağaç teknolojisi”, Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi , İstanbul, 14-48,150-218 (1987).
- [46] Mıstak, O. (2013). Sarıçam Ağaç Malzeme ve Farklı Fiber (FRP) Kumaşları ile Elde Edilen Lamine Ağaç Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [47] Asarcıklı, M. Ve Keskin, H. (2005). Ahşap süsleme teknikleri: teknik & projeler. Ankara, Gazi Kitabevi.
- [48] Odabaşı, Y. “Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları“ Beta basım AŞ. 2000, İstanbul.

- [49] Bozkurt, Y. ve Erdin, N. (1997). Ağaç Teknolojisi, İÜ Orman Fakültesi Yayınları.
- [50] Bozkurt, A. Y. ve Göker, Y. (1987). Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi.
- [51] Eraslan, Z. (2009). Safranbolu evlerinde kullanılan yapı malzemelerinin ses iletkenliğinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [52] Usta İ. (2013). Ahşap Üzerine Betimlemeler: Kùltürlerarası Etkileşim Aracı Olan Ahşabın “Değerli bir Nesne Olarak Kabul Edilip Özümsemesi, (Ahşap Doğaldır). Yapı Dünyası.
- [53] Aktaş, Y. D. (2011). Evaluation of Seismic Resistance of Traditional Ottoman Timber Frame Houses, Doktora Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [54] Ünal, O. (2004). Yapı Malzemesi, Yayınlanmamış Ders Notları, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon karahisar.
- [55] Güneş, E. (2014). Geleneksel Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistem Kurgusunun İncelenmesi ve Safranbolu Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] Duman, N. ve Ökten, S. (1988). Ahşap yapı dersleri, Yapı Endüstri Merkezi Yayın Bölümü, İstanbul.
- [57] <http://www.naswood.com.tryigma-duvar-profilleri>., Erişim Tarihi: 09.12.2018.
- [58] Çobancoğlu, T. (1998). Türkiye’de Ahşap Evin Bölgelere Göre Yapısal Olarak İncelenmesi ve Restorasyonlarında Yöntem Önerileri. Mimar Sinan Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.
- [59] Avlar, E. (2002). Ahşap Çerçeve Yapıların Strüktürel Tasarımı. TMMOB Mimarlar Odası İstanbul Büyükkent şubesinde düzenlenen Deprem bölgelerinde Yapı Üretimi Sempozyumu.
- [60] Yaman, F. Z. (2007). Geleneksel Ahşap Yapılarda Kullanılan Ahşap Yapı Elemanlarının Uzun Dönem Performansı - Giresun Zeytinlik Mahallesinde Örnek Yapı İncelemesi.
- [61] Akdemir, M. Z. ve Korkmaz, E. (2010). Geleneksel Konut Dokularında Malzemenin Çatı ve Cephe Kuruluşuna Etkileri: Batı Karadeniz Bölgesi Örneği, Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu (15-16 Nisan 2010) Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

- [62] Sümerkan, M. R. (1990). Biçimlendiren etkenler açısından Doğu Karadeniz kırsal kesiminde geleneksel evlerin yapı özellikleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [63] <http://www.amonncolor.com/en/news/fire-resistance-in-wooden-structures/13-833.html>., Erişim Tarihi: 11.10.2018.
- [64] Doğangün, A., Tuluk, R. L. ve Acar, R. (2004). Geleneksel Ahşap Yapıların Deprem Performansları.
- [65] [/www.dezeen.com/framework-building-portland-timber-structure-glass-facade-works-partnership architecture/](http://www.dezeen.com/framework-building-portland-timber-structure-glass-facade-works-partnership-architecture/)., Erişim Tarihi: 29.11.2015
- [66] Sarı, A. (1974). Düşey Sirkülasyon Araçları Merdivenler, Kurtuluş Matbaası, İstanbul.
- [67] Güngör, İ.H. (1961). Ahşap, Çelküt Matbaası, İstanbul.
- [68] <https://www.vistek.com.au/one-of-our-first-clt-design-projects-has-been-built-and-here-are-5-things-we-learned/>., Erişim Tarihi: 27.03.2017.
- [69] Karabulut, C. (2000). Ahşap Birleşim Detayları, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [70] Günay, R. (2002). Geleneksel Ahşap Yapılar Sorunları ve Çözüm Yolları, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [71] Akgül, T. (2007). Ahşapların ve birleşim noktalarının fiber takviyeli polimerlerle güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [72] Öztürk B. R. (2006). Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 5(2), 25-36.
- [73] Chen C.J., Mechanical Behavior Of Fiberglass Reinforced Timber Joints, Louisiana, Usa.
- [74] Kılıç, E. (2006). Kompozit malzemeden yapılan yaprak yayların analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [75] S. Chandra Das, Md. E. Haque Nizam, “Applications of Fibber Reinforced Polymer Composites (FRP) in Civil Engineering”, Department of Textile Engineering, Mawlana Bhashani Science and Technology University, Bangladesh. 2014.
- [76] Bank, L.C. (2006). Composites for Construction – Structural Design with FRP Materials. John Wiley & Sons, Inc.

- [77] Çelik, A. (2001). Fiber Takviyeli Polimerler ve Mühendislik Yapılarında Kullanım Alanları. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [78] Sipahioğlu, M. (2006). Betonarme Binaların Fiber Takviyeli Polimer Sistemi ile Onarım ve Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [79] Karbhari, V.M., Chin, J.W., Hunston, D., Benmokrane, B., Juska, T., Morgan, R., Lesko, J.J., Sorathia, U., Reynaud, D. (2003). "Durability Gap Analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Engineering." Journal of Composites for Construction, ASCE, 7:3,238-247.
- [80] Hollaway, L.C. and Head, P.R. (2001). Advanced Polymer Composites and Polymers in Civil Infrastructure. Elsevier.
- [81] Bakis, C.E., Bank, L.C., Brown, V.L., Cosenza, E., Davalos, J.F., Lesko, J.J., Machida, A., Rizkalla, S.H., Triantafillou, T.C. (2002). "Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction – State-of-the-art Review." Journal of composites for Construction, 6:2, 73-87.
- [82] Guideline No. 03742 (2006). Guide for the Selection of Strengthening Systems for Concrete Structures., International Concrete Repair Institute.
- [83] FIB Bulletin 35 (2006). Retrofitting of Concrete Structures by Externally Bonded FRPs with Emphasis on Seismic Applications. Fédération Internationale du Béton.
- [84] K. Schober, A. Harte, R. Kliger, R. Jockwer, Qingfeng Xu, J. Chen. "FRP reinforcement of timber structures." Queen's University, Belfast, 2015.
- [85] A. Litvinov. "Applying carbon fiber in building structures." Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta Technology, 2010.
- [86] L.A. Bisby and J. Fitzwilliam (2006). ISIS Educational Module 2: An Introduction to FRP Composites for Construction, Prepared by A Canadian Network of Centers of Excellence, www.isiscanada.com .
- [87] Watson, J.C. ve Raghupath, N. (2001). Glass Fibers Engineered Materials Handbook.
- [88] Turhan, M. (2007). CTP'lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [89] Poncsak, S., Kocaefe, D., Bouazara, M. ve Pichette, M. (2005). Effect of high temperature treatment on the mechanical properties of birch (*Betula papyrifera*), Wood Science and Technology, 66(1), 39-49.

- [90] Rajasekaran T., Palanikumar K. ve Arunachalam, S., (2013). Investigation on the Turning Parameters for Surface Roughness using Taguchi Analysis, *Procedia Engineering*, 51, 781-790.
- [91] Palanikumar K., Mata F. ve Davim J. P., (2008). Analysis of surface roughness parameters in turning of FRP tubes by PCD tool, *J. Mater. Process. Technol.*, 204, 469-474.
- [92] Kiliçkap E., Yardımeden A. ve Çelik Y.H., (2015). Investigation of experimental study of end milling of CFRP composite, *Science and Engineering Composite Materials*; 22(1), 89-95.
- [93] Park J.N. ve Cho G.J. (2007). A Study on the Cutting Characteristics of the Glass Fiber Reinforced Plastics by Drill Tools, *I. J. Precision Eng. And Manuf.*, 8, 11-15.
- [94] Suresha B., Chandramohan G., Samapthkumaran P., Seetharamu S., ve Vynatheya S. (2006). Friction and wear characteristics of carbon-epoxy and glass-epoxy woven roving fiber composites, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 25(7), 771-782.
- [95] Chowdhury M. A., Nuruzzaman D. M., Roy B. K., Samad S., Sarker R., ve Rezwan A. M. (2013). Experimental investigation of friction coefficient and wear rate of composite materials sliding against smooth and rough mild steel counterfaces, *Tribology in Industry* 35(4), 286-296.
- [96] Malhotra S.K, (1990). Some studies on drilling of fibrous composites, *J. Mater. Process. Tech*, 2(4), 291-300.
- [97] Arola D., Ramulu M., ve Wang D. H. (1996). Chip formation in orthogonal trimming of graphite/epoxy composite, *Composites-A*, 27, 121–33.
- [98] http://web.ogm.gov.tr/Resimler/sanalkutuphane/agac_turleri.pdf, 2010.
- [99] <http://www.emirganbotanik.com/cam-agacinin-ozellikleri-nelerdir>
- [100] TS 2470 “Odunda Fiziksel ve Mekanik Deneyler İçin Numune Alma Metotları ve Genel Özellikler”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 1976.
- [101] Bozkurt, A.Y., ve Erdin, N., “Odun anatomisi”, Ders Kitabı, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi, İstanbul, 268-287 (2000).
- [102] <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=71>
- [103] P.K. Mallik, ‘‘Fiber reinforced composites.’’, Dekker, 1993, USA.
- [104] İnternet sitesi: <http://www.esakimya.com.tr>, Erişim Tarihi: Aralık 05, 2018.

- [105] Ömer Erkanave Birhan Işıkb, “Cam Elyaf Takviyeli Plastik Kompozit Malzemenin İşlenmesi Esnasında Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi” Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük 2009.
- [106] İnternet sitesi; <http://www.etien.com.tr/ctp-nedir.asp>., Erişim Tarihi: 24.11.2018.
- [107] Temiz. V, “Yapıştırma bağlantıları.”İstanbul teknik üniversitesi, <https://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Yapistirma.pdf>., Erişim Tarihi: 18.12.2018.
- [108] TURHAN M., CTP’lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [109] TS 4499 “Ahşap Birleştirmeler - Terimler Tanımlar”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985.
- [110] TS 2475, Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini, TSE, Ankara, 1976.
- [111] TS 647, Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, ankara, TSE, 1979.
- [112] TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, ankara, TSE, 1980.
- [113] <http://merlab.kastamonu.edu.tr/cihaz/universal-mekanik-test-cihazı/>., Erişim Tarihi: 09.12.2017.
- [114] TS 2474, “Odunun Statik Eğilme Dayanımının Tayini”, TSE., Ankara, 1976.
- [115] <http://staff.fit.ac.cy/eng.ma/acem216notes/Notes%20FRP%20Composites.pdf>. Michael. A, «Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites,» Frederick Institute Of Technology., Erişim Tarihi: 17.3.2014.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah ALSHEGHRI, 02.02.1987'de Baniyas'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Baniyas'ta tamamladı. 2006 yılında Celal HADDAM Lisesi'nden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Tishreen Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü 2013 yılında bitirdi. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitim Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.