

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAPLARIN VE BİRLEŞİM NOKTALARININ
FİBER TAKVİYELİ POLİMERLERLE (FRP)
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tahir AKGÜL

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet APAY

Ortak Danışman : Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK

Haziran 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AHŞAPLARIN VE BİRLEŞİM NOKTALARININ
FİBER TAKVİYELİ POLİMERLERLE (FRP)
GÜÇLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tahir AKGÜL

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 11 / 06 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet APAY
Jüri Başkanı

Prof. Adil ALTUNDAL
Üye

Y. Doç. Dr. İbrahim YÜKSEL
Üye

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aŐamasında bana her tŒrlŒ desteği veren danışman hocalarım Sayın Prof. Dr. Ahmet APAY ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a, gŒrŒŐlerini benimle paylaŐan ArŐ. GŒr. İsa VURAL'a ve tŒm bŒlŒm hocalarıma teŐekkŒrŒ bir borę bilirim. Ayrıca maddi manevi desteklerinden dolayı ev arkadaŐlarım Mustafa GEDİK ve Mehmet KARAKAYA'ya ve desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen aileme sonsuz ŐŒkranlarımı sunarım.

Ayrıca tez ęalıŐmalarımnda maddi destek sağlayan Sakarya Őniversitesi Bilimsel Araştırma Projeler Komisyonu BaŐkanlıęına teŐekkŒr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Çalışmaları.....	4
BÖLÜM 2. AHŞAP YAPILAR	7
2.1. Ahşabın Tanımı.....	7
2.2. Ahşabın Özellikleri.....	8
2.2.1. Fiziksel özellikleri	8
2.2.2. Ahşabın kimyasal özellikleri:.....	10
2.2.3. Mekanik özellikler.....	11
2.2.4. Termik özellikler	12
2.2.5. Akustik özellikler	12
2.2.6. Elektrikle ilgili özellikler.....	13
2.2.7. Estetik özellikler.....	13
2.2.8. Oksitlenme özellikleri:	13
2.3. Geçmişten Günümüze Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistemler	13
2.4. Taşıyıcı Sistem Çeşitleri.....	15
2.4.1. Çatı taşıyıcı elemanları:.....	15
2.4.2. Döşeme-kiriş elemanları:	15
2.4.3. Merdivenler:	15

2.4.4. Duvarlardaki taşıyıcı elemanlar:	15
2.4.5. Temeller:.....	16
2.5. Ahşap Yapıların Taşıyıcı Sistemlerinde Kullanılan Birleştirme Çeşitleri.....	17
BÖLÜM 3. CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLER (CTP)	21
3.1. CTP'nin Tarihsel Gelişimi	21
3.2. Cam Elyaf.....	23
3.3. CTP Üretim Yöntemleri	25
3.3.1. Pultruzyonla üretilen CTP malzemelerinin özellikleri.....	26
3.3.2. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin avantajları.....	26
3.4. CTP' nin İnşaat Sektöründe Kullanım Uygulamaları	27
3.4.1. Cephe kaplama panelleri	28
3.4.2. CTP beton kalıpları	28
3.4.3 CTP borular	29
3.4.4. Köprüler ve Çatı Makasları.....	30
3.4.5. Prefabrik yapılar	30
3.4.6. Restorasyon ve güçlendirme uygulamaları	31
3.4.6.1. Kolonlardaki kullanım şekilleri.....	33
3.4.6.2. Kirişlerdeki uygulama şekilleri.....	35
3.4.6.3. Döşemelerdeki uygulama şekilleri.....	36
3.4.6.4. Duvarlarda uygulama şekilleri.....	37
3.4.6.5. Yığma yapılar uygulama şekilleri.....	38
3.4.6.6. Ahşap yapılarda uygulama şekilleri.....	39
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	43
4.1. Çekme Deneyi	44
4.1.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar.....	46
4.1.1.1. Çekme makinesi.....	46
4.1.1.2. Kumpas.....	47
4.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması	48
4.1.2.1. CTP numunelerin hazırlanması.....	48
4.1.2.2. Ahşap numunelerin hazırlanması.....	49

4.1.2.3.Deney numuneleri hazırlanmasında dikkat edilecek hususlar	50
BÖLÜM 5. DENEYLERİN YAPILMASI VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	51
5.1. Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin (Ctp) Çekme Deneyi.....	51
5.2. Masif Ahşap Çekme Deneyi.....	54
5.3. Yapıştırılarak Birleştirilmiş Ahşap Deneyi.....	57
5.4. Tek Kavelalı Birleştirme Deneyi.....	61
5.5. Çift Kavelalı Birleştirme Deneyi.....	64
5.6. Tek CTP Çubuklu Birleştirme Deneyi.....	68
5.7. Çift CTP Çubuklu Birleştirme Deneyi.....	71
5.8. Tek CTP Çubuklu Tek Kavelalı Birleştirme Deneyi.....	75
5.9. Tek CTP Çubuklu Çift Kavelalı Birleştirme Deneyi.....	79
5.10. Çift CTP Çubuklu Tek Kavelalı Birleştirme Değerleri.....	83
5.11. Çift CTP Çubuklu Çift Kavelalı Birleştirme Değerleri.....	87
BÖLÜM 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	92
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	98

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

FRP	: Fiber takviyeli polimerler
CFRP	: Karbon fiber takviyeli polimerler
GFRP	: Cam fiber takviyeli polimerler
CTP	: Cam takviyeli plastikler
ϵ	: Birim deformasyon
σ	: Gerilme
E	: Elastisite modülü
BHA	: Birim hacim ağırlık
W	: Su içeriği
G_w	: Malzemenin ıslak ağırlığı
G_0	: Malzemenin kuru ağırlığı
ΔL	: Boy değişimi
L	: İlk boy
TS	: Türk standartları
P	: Yük
A	: Alan

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Basınç dayanımı- Su içeriği grafiği.....	9
Şekil 2.2.	Köşe birleştirmelerde farklı örnek görünüşler.....	17
Şekil 2.3.	Orta birleştirmelerde farklı örnek görünüşler.....	18
Şekil 2.4.	En birleştirmelerde farklı örnek görünüşler.....	18
Şekil 2.5.	Boy birleştirmelerde farklı örnek görünüşler.....	20
Şekil 3.1.	Cephe Kaplamaları.....	28
Şekil 3.2.	CTP Borular.....	29
Şekil 3.3.	Çatı makasları ve köprüler	30
Şekil 3.4.	Ctp sistemle yapılan yapı	31
Şekil 3.5.	Deprem etkisiyle patlayan betonarme kolonlar.....	33
Şekil 3.6.	FRP'lerle güçlendirilmiş betonarme kolonlar.....	34
Şekil 3.7.	FRP'lerle güçlendirilmiş betonarme kirişler	36
Şekil 3.8.	FRP'lerle güçlendirilmiş betonarme döşeme ve köprü tablası.....	37
Şekil 3.9.	FRP'lerle güçlendirilmiş duvar.....	38
Şekil 3.10.	FRP'lerle güçlendirilmiş taş kemer.....	39
Şekil 3.11.	Ahşap taşıyıcı sistemlerin FRP'lerle güçlendirilmesi.....	40
Şekil 3.12.	Eğilme deneyine tabi tutulan FRP'lerle güçlendirilmiş deney numuneleri.....	41
Şekil 3.13.	Çekme deneyine tabi tutulan FRP'lerle güçlendirilmiş deney numuneleri.....	42
Şekil 4.1.	Geleneksel güçlendirmede lif sürekliliğini sağlamak amacıyla yapılan ahşap boy birleştirmeler.....	45
Şekil 4.2.	Çekme makinesi çeneleri ve düzeneği.....	46
Şekil 4.3.	Çekme makinesi ve donanımı.....	47
Şekil 4.4.	Dijital Kumpas.....	48
Şekil 4.5.	Daire kesitli CTP profilleri.....	48

Şekil 4.6.	Kertmeli boy birleştirmeli ahşap numune.....	49
Şekil 5.1.	CTP çekme numunesi.....	51
Şekil 5.2.	Çekme deneyine tabi tutulmuş CTP çekme numuneleri.....	51
Şekil 5.3.	CTP çubuklara ait gerilme deformasyon grafikleri.....	52
Şekil 5.4.	CTP çubuklara ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	53
Şekil 5.5.	Masif ahşap numunesi ve boyutları.....	54
Şekil 5.6.	Çekme makinesine yerleştirilmiş masif ahşap.....	54
Şekil 5.7.	Çekme deneyine tabi tutulmuş masif ahşap.....	54
Şekil 5.8.	Masif ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	55
Şekil 5.9.	Masif ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	56
Şekil 5.10.	Masif ahşap numuneleri ile CTP numunelerinin karşılaştırılması.	57
Şekil 5.11.	Yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunesi ve boyutları.....	57
Şekil 5.12.	Çekme makinesine bağlanmış yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numune.....	58
Şekil 5.13.	Çekme deneyine tabi tutulmuş yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numune.....	58
Şekil 5.14.	Yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	59
Şekil 5.15.	Yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafiği.....	60
Şekil 5.16.	Masif ahşap numuneleri ile yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunelerin karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.17.	Tek kavelalı deney numunesi.....	61
Şekil 5.18.	Tek kavelalı ahşap numune.....	62
Şekil 5.19.	Çekme deneyine tabi tutulmuş Tek kavelalı ahşap numune.....	62
Şekil 5.20.	Tek kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	63
Şekil 5.21.	Tek kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	63
Şekil 5.22.	Birleştirilmiş ahşap ile tek kavelalı ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 5.23.	Çift kavelalı deney numunesi.....	64
Şekil 5.24.	Çift kavelalı ahşap numune.....	65

Şekil 5.25.	Çekme deneyine tabi tutulmuş Çift kavelalı ahşap numune.....	65
Şekil 5.26.	Çift kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	66
Şekil 5.27.	Çift kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	66
Şekil 5.28.	Kavelalı ve kavelasız ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.29.	Masif ahşap gerilme değerinin kavelalı ve kavelasız numunelerle karşılaştırılması.....	67
Şekil 5.30.	Tek CTP çubukla güçlendirilmiş deney numunesi.....	68
Şekil 5.31.	Tek CTP çubuklu ahşap numune.....	69
Şekil 5.32.	Çekme deneyine tabi tutulmuş tek CTP çubuklu ahşap numune...	69
Şekil 5.33.	Tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	70
Şekil 5.34.	Tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	70
Şekil 5.35.	Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 5.36.	Çift CTP çubukla güçlendirilmiş deney numunesi.....	72
Şekil 5.37.	Çift CTP çubuklu ahşap numune.....	72
Şekil 5.38.	Çekme deneyine tabi tutulmuş Çift CTP çubuklu ahşap numune..	72
Şekil 5.39.	Çift CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	73
Şekil 5.40.	Çift CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	74
Şekil 5.41.	Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.....	74
Şekil 5.42.	Masif ahşap, yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap, tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap ve çift CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.....	75
Şekil 5.43.	Tek çubuk tek kavelayla güçlendirilmiş deney numunesi.....	75
Şekil 5.44.	Tek CTP çubuk tek kavelalı Ahşap numune.....	76
Şekil 5.45.	Çekme deneyine tabi tutulmuş tek CTP çubuk tek kavelalı ahşap	76

	numune.....	
Şekil 5.46.	Tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	77
Şekil 5.47.	Tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	78
Şekil 5.48.	Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.	78
Şekil 5.49.	Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.	79
Şekil 5.50.	Tek CTP çubuk çift kavelayla güçlendirilmiş deney numunesi....	79
Şekil 5.51.	Tek CTP çubuk çift kavelalı Ahşap numune.....	80
Şekil 5.52.	Çekme deneyine tabi tutulmuş tek CTP çubuk çift kavelalı ahşap numune.....	80
Şekil 5.53.	Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	81
Şekil 5.54.	Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	81
Şekil 5.55.	Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı ve birleştirilmiş ahşap numunelerinin karşılaştırılması.....	82
Şekil 5.56.	Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı ve tek kavelalı numunelerinin karşılaştırılması.....	83
Şekil 5.57.	Çift Çubuk Tek Kavelayla Güçlendirilmiş Deney Numunesi.....	83
Şekil 5.58.	Çift CTP çubuk tek kavelalı Ahşap numune.....	84
Şekil 5.59.	Çekme deneyine tabi tutulmuş çift CTP çubuk tek kavelalı ahşap numune.....	84
Şekil 5.60.	Çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	85
Şekil 5.61.	Çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	86
Şekil 5.62.	Birleştirilmiş Ahşap İle Çift CTP Çubuk Tek Kavelalı Güçlendirilmiş Ahşap Birleştirme Numunelerinin	86

	Karşılaştırılması.....	
Şekil 5.63.	Çift CTP çubuk ile çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması.....	87
Şekil 5.64.	Çift CTP çubuk çift kavelayla güçlendirilmiş deney numunesi....	87
Şekil 5.65.	Çift CTP Çubuk Çift Kavelalı Ahşap Numune.....	88
Şekil 5.66.	Çekme Deneyine Tabi Tutulmuş Çift CTP Çubuk Çift Kavelalı Ahşap Numune.....	88
Şekil 5.67.	Çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri.....	89
Şekil 5.68.	Çift CTP Çubuk Çift Kavelalı Güçlendirilmiş Ahşap Birleştirme Numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği.....	90
Şekil 5.69.	Çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile çift CTP çubuk tek kavelalı ve birleştirilmiş ahşap numunelerinin karşılaştırılması.	90
Şekil 5.70.	Çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile çift CTP çubuk tek kavelalı ve çift kavelalı numunelerinin karşılaştırılması.....	91
Şekil 6.1.	Deneye tabi tutulan masif ahşap ve birleştirilmiş ahşap numunelerinin karşılaştırılması.....	92

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Ahşabın mekanik dayanımları.....	11
Tablo 3.1.	Bazı cam elyaf türleri ve kompozisyonları.....	24
Tablo 3.2.	Bazı cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri.....	24
Tablo 6.1.	Deneye tabi tutulan tüm numunelerin ortalama çekme gerilmesi değerleri.....	92

ÖZET

Anahtar kelimeler: Ahşap yapı, çekme mukavemeti, kertmeli boy birleştirme, CTP, sarıçam.

Türkiye’de eski yapıların büyük kısmını oluşturan ahşap yapıların tarihsel süreç içerisinde doğal etkenlerden kaynaklanan yıpranmalar kaçınılmazdır. Gerek mevcut tarihi dokunun korunması gerekse yeni inşa edilecek ahşap yapılarda durabilitenin sağlanması amacıyla ahşabın zayıf bölgelerinde, özellikle birleşim bölgelerinde güçlendirme yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Birleştirme bölgelerinde oluşan gerilme yoğunluğunu gidermek, lif süreksizliliğini ortadan kaldırmak ve birleştirme yüzeylerinde oluşacak kayma yüzeylerini ortadan kaldırmak amacıyla güçlendirme yapılması kaçınılmazdır. Yapılacak güçlendirmelerde Betonarme yapıların onarım ve güçlendirmesinde yaygın olarak kullanılan fiber takviyeli plastikler (FRP) kullanılarak yüksek dayanıma sahip, korozyona uğramayan, hafif, uygulanması kolay, ahşap görünümü bozmayacak bir güçlendirme yapılması mümkündür.

Bu çalışmada; ahşap yapı konstrüksiyon sisteminde, çekmeye çalışan yapı elemanlarının lif sürekliliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu amaçla, fiberlerle güçlendirilmiş kavelalı ve kavelasız kertmeli boy birleştirmelerin, birleşim bölgelerinin mekanik performansları incelenmiştir.

Deney numuneleri yapı sektöründe bol miktarda bulunan ve ahşap yapı uygulamalarında kullanılan sarıçamdan hazırlanmıştır. Yapılan deney numunelerinin performans değerlendirilmelerinin yapılabilmesi için şahit numunelerle birlikte, yapıştırımalı birleştirme, kavelalı birleştirme, CTP’li birleştirme, kavela + CTP’li birleştirme şeklinde, 10 farklı tipte 5 er adet deney numuneleri hazırlanmış ve çekme deneyine tabi tutulmuştur. Numunelerin hazırlanmasında Teknobont 200 epoksisi kullanılmıştır.

Çalışmanın sonucunda çekme mukavemeti, kavelalı kertmeli boy birleştirmede cam fiberlerle güçlendirilmiş numunelerle, yapıştırılmış birleştirme numunelerinden % 200 daha yüksek çekme dayanımına ulaşılmıştır. Uygulanan güçlendirme tekniği sonucunda elde edilen en yüksek çekme mukavemeti tek parçadan oluşan masif ahşabın (şahit numunenin) çekme direncinin %70 ine kadar ulaşılmıştır.

REINFORCMENT OF TIMBER AND ITS JOINTING POINTS WITH FIBER REINFORCED PLASTIK

SUMMARY

Key Words: Timber Building, Timber Structures, Tensile Strength, FRP, Yellow Pine Timber

Timber structures have been used since many years ago in the different regions. In order to obtain both durability and originality of the timber structures it is necessary to strengthen them especially in the connecting places. The main purposes of the strengthening in the connecting places are to decrease the tension stress, to eliminate fiber transitoriness and to remove shear surfaces.

In recently, it has been increased the strengthening for timber buildings like reinforced concrete buildings by using Fiber Reinforced Polymer (FRP). Because FRP has high strength, light weight corrosion resistance and is also very easy to apply to the structures.

In this study it has been aimed to gain the fiber continuity of timber constrictions systems. In this reason, it has been investigated mechanical performances of the connecting places built both with wooden nail and without wooden-nail. Experiments have been done in the laboratory to investigate the mechanical performance of the connecting places. The specimen used for experiments have been chosen from yellow pine timber, which is very abundant in the building sector.

In order to investigate performances of the specimen used in the experiments, some pre-experiments have been done before the main experiments. 5 specimens in 10 different types have been prepared and tested subjected tensile strength.

Epoxy Teknobont 200 has been used for preparing the specimen. The out comes demonstrate that the tensile strength of the specimen, which was connected with wooden nail, has higher than stickle specimen and this ratio is about 200 %. In addition the tensile strength ratio have reached 70 % of the to pre-experiment specimen tensile strength.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Son yıllarda mühendis ve mimarlar; beton, çelik, ahşap, taş, plastik, cam gibi malzemelerin çeşitli şekil ve oranlarda bir araya getirilmesi ile daha çok kullanışlı malzemeler elde etmek konusunda yoğun bir çaba göstermektedirler. Bunun yanında, yüksek mukavemetli cam elyaf, karbon, bor, aramit gibi yeni malzemeler geliştirilmektedir. Geliştirilen bu malzemeler ilk olarak risk seviyesi yüksek uygulamalarda kullanılmakla beraber daha sonraları yapısal uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır.

Son yıllarda çelik ve betonarme binaların güçlendirmesinde olduğu gibi ahşap yapılarda da fiber takviyeli plastikler (FRP) uygulamalarının sayısının oldukça fazla olduğu görülmektedir [2]. Ahşap yapı tasarımında eleman büyüklüğü uygun birleştirme detaylarına bağlıdır. Yüksek performanslı birleştirme sistemlerinin kullanımı, kullanılan ahşap hacminin azalmasına rağmen aynı sağlamlığı elde etmeyi sağlar. Yapılan çalışmalarda tasarlanan ahşap yapıların birleştirme bölgelerinin yüksek performans sergilemesi, çekme yüklerine karşı dayanımını arttırmak bunun ise bu bölgelerin elyaf takviyeli plastikler kullanılarak güçlendirilmesiyle mümkün olduğunu tespit edilmiştir. Ahşap yapıların güçlendirilmesindeki başlıca sebepler arasında zamanla dış etkenler ve depremler sonucu oluşan hasarları giderilmek, restorasyon yoluyla yük taşıma kapasitesini arttırmak, yetersiz detaylandırmaya bağlı ortaya çıkan erken yorulma ve kırılmaları önlemek, yaşlanmayla oluşan bozulmalara bağlı yük taşıma kapasitesinde meydana gelen kayıpları bertaraf etmek gibi etkenler sayılabilir.

Ülkemizin deprem kuşağı üzerinde olması ve bu nedenle, depreme dayanıklı yapı tasarlamak ve üretmek kadar, depremde hasar görmüş yapıların onarım yöntemlerinin bilinmesi de bir zorunluluk haline almıştır. Yapı elemanlarının olası

depremler sonucunda veya kullanım sırasında zamanla güçlendirme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca ülkemizin farklı bölgelerinde uzun yıllar önce yapılmış ahşap yapıların tarihsel süreç içerisinde doğal etkenlerden kaynaklanan yıpranmalar kaçınılmazdır. Gerek mevcut tarihi dokunun korunması gerekse yeni inşa edilecek ahşap yapılarda durabilite sağlanması amacıyla ahşabın zayıf bölgelerinde özellikle birleşim bölgelerinde güçlendirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü uzun yıllar boyunca yük altında bulunan ahşap taşıyıcı sistemlerin birleşim bölgeleri zamanla çürümekte ve yük taşıma kapasitesini kaybetmektedir.

Deneysel çalışmalarla geliştirilecek olan uygun bir güçlendirme modeli ile yapılacak restorasyonlarda ülke ekonomisinin muhtemel kayıplarının önlenmesi ve var olan tarihi değerlerimizin ve Osmanlı mimari dokusunun korunması olacaktır.

Geçmiş kültürlerin günümüze yansımaları olan tarihi ahşap yapılar sürekli olarak varlıklarını devam ettirmelidirler. Tarihi yapılar üzerinde gerekli bilimsel çalışmalar artırılmalı, yapıların malzeme ve mukavemet açısından güçlendirilmesi için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Bu çalışmalar doğrultusunda tarihi ahşap yapıların iyileştirilmesi için uygulamaya dönük ilkeler saptaması hedeflenmektedir.

Yapılan restorasyon ve güçlendirme çalışmalarında, zamanla ahşap taşıyıcı sistemlerin bazı bölgelerinde oluşan kurtlanma, mantarlanma, çürüme vb. sebeplerden dolayı değişmesi gereken yapı elemanının tamamının sistemden ayrılması gerek maliyet ve işçilik gerekse yapı sağlığı açısından sakıncalıdır. Bu durumda yapı elemanının tamamını değiştirmek yerine elemanlarda lokal değişikliğe gidilmesi daha uygun görülmektedir. Yapılacak bu lokal değişiklik ile oluşacak yeni birleşim bölgelerinin kavela, çivi, blonlama tekniğiyle yapılması statik açıdan istenen sonucu vermemektedir.

Geleneksel güçlendirme tekniklerinde, ahşap yapılarda birleştirme yerlerinin büyük kuvvetlere maruz kalmaları halinde metal kullanılması genellikle tavsiye edilen bir çözümdür. Ancak kullanılacak FRP'nin metallere göre üstün yönleri dikkate

alındığında FRP şeritlerinin çelik şeritlerine göre en önemli avantajları; hafiflik, korozyona uğramama ve esneklik olarak sıralanabilir. Çelikle yapılan güçlendirmelerin zamanla bakıma ihtiyaç duyulması, güçlendirilen bölgelerde görüntü kirliliği oluşturması ve yapıya ekstra yük getirmesi kaçınılmazdır.

Bir yapıda bulunan iskelet sistemde taşıyıcı elemanlar genellikle basınç, çekme ve eğilmeye maruz kalmaktadır. Bu çalışmada hasarlı veya hasarsız ahşap taşıyıcı sistemlerin çekme gerilmesi maruz kalan elemanların FRP çubuklarla güçlendirilmesi ön görülmüştür.

Çekme çubuklarının güçlendirilmesindeki amaç; ülkemizde yapılan ahşap, betonarme ve çelik binaların çatı sistemlerinde ahşap çatılarının kullanılması ve çatı elemanlarının genellikle çekmeye çalışmasının yanı sıra kiriş alt bölgelerinin çekme gerilmesine maruz kaldığı ve bu iki hususunda yapıların güvenliği açısından oldukça önemli olmasıdır. Çatılarda ve kirişlerde kullanılacak ahşabın istenen uzunlukta bulunamamasından dolayı boy birleştirmelerinin yapılması kaçınılmazdır. Yapılacak bu boy birleştirmelerinin de uygulama sahasında, hem yapımı kolay hem de çap değişikliği oluşturmadan istenen dayanımı sağlayabilecek bir birleştirme çeşidi olması istenmektedir. Uygulama alanlarına sıkça kullanılan en uygun boy birleştirmenin kertmeli boy birleştirmeleri olduğu kanaatine varılmış ve çalışmalar bu boy birleştirme çeşidi üzerinde yapılmıştır.

Ayrıca güçlendirme kullanılacak fiber takviyeli plastiklerden ham maddesi piyasada bol miktarda bulunan, üretimi kolay, maliyeti düşük, istenen dayanıma sahip bir fiber çeşidi olan cam elyaf takviyeli plastikler (CTP) tercih edilmiştir.

1.1. Literatür Çalışmaları

Chi-Jen, Chen [1], Fiber Takviyeli Ahşap Birleşimlerinin Mekanik Davranışı makalesinde cam fiberlerle güçlendirilmiş kavelalı ahşap birleştirmelerin mekanik performansları nümerik analizler ve mikroskop altında yapılan deneysel çalışmalar sonucu incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda güçlendirme yüzeyleri mikroskop altında gözlenmiş ve birleşim bölgelerinde oluşan stres yoğunluklarında ciddi bir iyileşme olduğu gözlenmiştir.

Steiger,Rane [2], 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 [3], 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.

H. Ogawa [4], 1999'da mimari yapı tasarımında karbon elyaflarla ahşapların güçlendirilmesi üzerinde yaptığı çalışmada kirişler üst, orta ve alt bölgelerine karbon levhalar yapıştırmak veya tüm kirişi belirli aralıklarla karbon elyaf kumaşla sararak güçlendirilmiş ve eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Ayrıca aynı deney numuneleri 800 °C'lik alev altında tutularak güçlendirilmiş numunelerin sıcaklık altına yapısal ve statik açıdan davranışları gözlenmiştir. Farklı tiplerde hazırlanan deney numuneleri arasında en yüksek dayanımı veren numunelerde gerek eğilme gerek yangına karşı dayanım açısından % 300'lük performans artışı gözlenmiştir

Peremrov ve arkadaşları [5], karbon fiber takviyeli plastiklerle güçlendirilmiş ahşap iskeletli yapıların analizi üzerinde çalışılmıştır. Ahşap levhaları 75 mm'lik karbon elyafla güçlendirme sonucu % 50 oranında daha yüksek bir dayanım elde edilmiştir.

Radford ve arkadaşları [6], 2001'de Ahşap Köprü kirişlerinin eğilme ve kesmeye karşı cam takviyeli kompozitlerle güçlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Oluşturulan güçlendirilmiş tabakalı kirişlerde, kullanılan cam elyaf tabakanın eğilme dayanımına etkisi incelenmiş sonuç olarak kirişlerde %25lik bir dayanım elde edilmiştir.

Peter A. Claisseu, Tim J. Davis [7], 1998'de Ahşapların yüksek performanslı birleştirme sistemleri üzerinde çalışmışlardır. Farklı boy birleştirme bölgelerinin cam elyaflarla sarılarak hazırlanan numuneler çekme deneyine tabi tutulmuştur. Güçlendirilen bu numunelerde gerilme ve birim deformasyonlarda oldukça yüksek performans gözlenmiştir.

Z.W. Guan, P.D. Rodd, D.J. Pope [8], 2005' te GFRP ile güçlendirilmiş ahşap kirişlerin eğilme dayanım üzerinde yaptıkları çalışmada tabaklı ahşap malzemeden oluşan kirişler 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.

Schnerch ve arkadaşları [9], Mevcut olan çelik ve betonarme yapı ve köprülerin güçlendirilmesi üzerinde çalışmışlar, çalışmada orta ve yüksek mukavemetli karbon fiberler kullanmışlardır. Üzerinde hareketli yük bulunan bir köprüde yapılan deneylerde hareketli yük altında kesitlerin rijitliğinde ve taşıma gücünde %30 artış sağlamışlardır.

Ayrıca gerek ahşap birleşim bölgelerinin performansının incelenmesi konusunda gerekse FRP'lerin güçlendirme sektöründe kullanılması konusunda birçok çalışma, tez ve makale bulunmaktadır.

Yapılan çalışmalarda ahşap yapılarda yapı elemanlarının basınç, çekme ve eğilme direncine karşı FRP'lerle güçlendirmesi ile elde edilen sonuçların olumlu çıkması ancak yapılan güçlendirmelerin genel itibariyle yıpranmış eski sistemler üzerinde

uygulanması ve tüm yapıyı kapsamaması bizi gerek yeni yapılacak, gerekse restore edilecek yapılarda bölgesel güçlendirmenin etkilerini araştırmaya sevk etmiştir. Birleşim bölgeleri bir ahşap yapıda en zayıf noktalardır.

Birleşim bölgelerinde yük aktarımında oluşan süreksizlik hiç şüphesiz tüm yapının genel dayanımını etkilemektedir. Bu durumda kullanılan eleman boyutlarının artırılması yerine ahşap birleşim bölgelerinin FRP'lerle güçlendirilerek bu süreksizliğin ortadan kaldırılması mümkün kılınmaktadır [1].

Yapılan araştırmalar sonucunda, öncelikle kullanılacak ahşap ve CTP malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiş ve çalışmada hedef alınan çekme gerilmelerinin tespiti için deneyler yapılmıştır. Daha sonra aynı deney düzenekleri kullanılarak kurtmeli boy birleştirme bölgelerinin CTP ile güçlendirilmiş ahşap deney sonuçları elde edilmiş ve şahit numunelerle karşılaştırılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2. AHŞAP YAPILAR

Tabiat ürünü olarak orman işletmelerinde kazanılan ahşap, işçiliğin kolaylığı, görünüşünün güzelliği ve mukavemetinin yüksekliği sayesinde en çok kullanılan malzemelerden biri olmuştur. Ahşap, ahşap evlerden başlamak üzere birçok yapı elemanının ham maddesidir.

2.1. Ahşabın Tanımı

Ahşap, canlı bir organizma olan ağaçtan elde edilen lifli, heterojen ve anizotrop bir dokuya sahip organik esaslı bir yapı malzemesidir. Ahşap, yapıda kullanılan en eski malzemelerden birisidir. İnsanoğlu ahşabı eski çağlardan beri barınma ve korunma amaçlı olarak kullanmaktadır [14]. Günümüzde ormanların çeşitli nedenlerle azalması, yerine yenisinin yetiştirilememesi veya geç yetişmesi ahşabın değerini artırmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte ahşabın yerine plastik, metal, alüminyum, beton ve çimento mamulleri kullanılmasına rağmen görünüş, izolasyon ve istenilen şeklin kolayca verilmesinden dolayı ahşap her zaman tercih edilen bir yapı malzemesidir.

Ahşap tipik bir anizotrop malzemedir. Lifleri yönündeki tüm özellikler, Basınç ve çekme dayanımları, enine yöndeki dayanımlardan yüksektir. Ahşap su içeriğine bağlı olarak şişen, büzülen çatlayan bir malzemedir. Bu özelliğine bağlı olarak mekanik özellikleri de değişen bir malzemedir. Ancak;

- Ahşap yüksek bir taşıma gücüne sahiptir,
- Ahşap doğal bir malzeme olduğundan farklı iklim koşullarına ve doğa şartlarına dayanıklıdır,
- Ahşap yanan ama yangına karşı direnci yüksek olan bir malzemedir,
- Ahşap kaynağı yenilenebilen tek yapı malzemesidir,
- Ahşap çürür ama uzun ömürlüdür,

- Ahşap çalışır ama boyu uzayıp kısalmaz,
- Ahşabı tamir etmek ve iyi durumda tutmak kolaydır
- Ahşabın 20 000 değişik doku ve renk seçeneği vardır, ve bunun gibi daha birçok özelliğiyle ahşap mükemmel bir yapı malzemesidir.

Bu gerçekler göz önünde bulundurulduğunda, çağımızın getirdiği yeni teknolojilerle ahşabı yeniden tanımalı ve ona gereken önemi vermeliyiz. Eski ahşapları özel yöntemlerle yenilemek ve güçlendirmek mümkünken diğer materyalleri korumak gerekli onarım ve güçlendirmeleri yapmak son derece güç ve pahalıdır.

2.2. Ahşabın Özellikleri

2.2.1. Fiziksel özellikleri

a) Nem: Ağaç hücreleri arasında bol miktarda bulunan su üç ayrı şekilde bulunur.

1)Yapısal(Bünye su): Kimyasal yapısında olan sudur, kurutma işlemleri ile değişmez.

2) Emme suyu (Absorbiyon su): Selüloz suya karşı çok istekli(Hidrofil) bir madde olup, çok iyi su emerek ahşabın şişmesine sebep olur. Emme suyu oranı %28–30 dur.

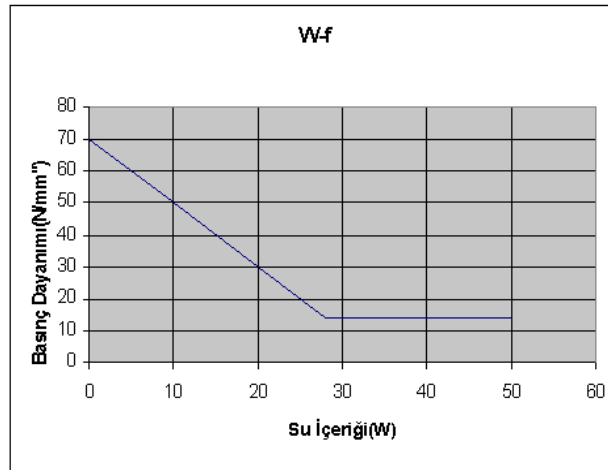
3) Serbest su (Kapiler su): Hücre aralarında ve içlerinde bulunan sudur. Yaş odun ve tahtalardaki ıslaklık hissi bu suyun fazlalığıdır. Sonuç olarak ahşabın nemi denildiğinde Emme suyu ve Serbest su akla gelir. Ahşaptaki nem miktarı:

$$W = \frac{G_w - G_0}{G_0} \times 100 \quad (2.1.)$$

G_w nemli, G_0 kuru ağırlıktır. W yaş ağaçlarda %100 den fazladır. Kendi halinde havada kuruyan ahşaplarda W , %12-%18 arasındadır. Fırında kurumakla bu değer %8 'in altına inebilir.

Lifler doğrultusunda basınç dayanımı W 'nin lineer bir fonksiyonun ile ifade edilebilir. Bu arda basınç dayanımının yoğunlukla da arttığı belirtilmelidir.

Şekil 2.1'de yoğunluğu $0,42 \text{ kg/dm}^3$ olan bir kozalaklı için Basınç Dayanımı-Su içeriği grafiği çizilmiştir.



Şekil 2.1. Basınç dayanımı- Su içeriği grafiği

Örneğin su ile temas eden bir ahşap % 200, yeni kesilmiş iğne yapraklı bir ağaç % 60–130, piyasada doğal yollarla kurutulan ahşap % 15–25, suni kurutma yoluyla kurutulmuş bir ahşap % 12 rutubetli durumdadır. Ahşabın bulunduğu ortamın rutubetini alması nedeniyle, tam kuru halde bulunması mümkün değildir. Bu nedenle ahşabın bünyesine giren su ile selüloz dokusu ve bağları şişmeye, eksilmeyle de büzülmeye uğrar ve bu nedenle de birtakım çatlaklar meydana gelir. Bu deformasyonlar genellikle ahşabın lif doğrultusunda oluşur, geniş yapraklılarda iğne yapraklı türlere göre daha fazla olmaktadır. Ayrıca rutubet artışı ahşabın mekanik mukavemetini de düşürücü rol oynar [10].

Ahşabın fiziksel özellikleri nem oranı ile etkilenir. Ahşap kururken hacim kaybına uğrar ve büzülür. Sertlik ve dayanımı artar ancak enerji tutma kapasitesi azalır. Ahşabın özellikleri %12–15 nem durumunda belirlenmelidir.

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

Birim hacim ağırlığı yüksek olan ahşapların mekanik özellikleri de yüksektir. Ancak bunların işlenmesi ve çalışılması zordur. Mantar, böcek gibi hayvanlara karşı dayanıklıdır. Birim hacim ağırlığı düşük olan ahşapların mekanik dayanımları düşüktür ancak İşçilikleri kolaydır [11].

c) Sıcaklık Genleşmesi: Sıcaklıkla hacmi genişleyen ahşap, soğumayla hacmi azalır.

d) Isı iletkenliği: Ahşap hücreli yapısı ve yapının esasını oluşturan maddenin selüloz olması nedeniyle, ısı bakımından kötü bir iletkenidir.

e) Elektrik İletkenliği: Nem derecesi artımına bağlı olarak iletkenlik hızla artar. Kuru ahşap düşük gerilimde izolasyon malzemesi olarak kullanılır.

f) Dayanıklılık: Ahşabın dayanıklılığı koruyucu işlemlere bağlı olmaksızın dış etkenlere dayanmasıdır. Yapılarında ki doğal antiseptik maddeler nedeniyle kestane, meşe, çam, gürgen dayanıklıdırlar. Dişbudak, kayın, çınar, kavak söğüt, ihlamur az dayanıklıdır.

2.2.2. Ahşabın kimyasal özellikleri:

Hücre duvarının kimyasal bileşiminde;

Selüloz	% 40 –50	Hemiselüloz	% 20 -35	
Lignin	% 20-	Yabancı madde	% 0 –5	bulunur.

Selüloz: Hücre duvarının ana katkı maddesidir. Ahşabın fiziksel özelliklerinden eğilime ve çekmeye karşı mukavemet veren madde budur.

Hemiselüloz: Pentoz ve hektoz şekerlerinin kısa polimerileridir. Hücre duvarını güçlendirir, depo madde görevi yapar, geçit zarlarını ayarlar. Su emicidir.

Lignin: Selüloz fibrilleri içinde yer alır. Ahşabın basınca karşı mukavemetini sağlar. Bir fenol halkasının ana yapısına sahip amorf bir maddedir. Düşük oranda su emicidir. Rengi kahverengimsi beyazdır.

2.2.3. Mekanik özellikler

Ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzeme olması nedeniyle mekanik özelliklerini incelemek zordur. Lifleri yönündeki tüm özellikler, basınç, çekme ve eğilme dayanımları, enine yöndeki dayanımlarından yüksektir.

Ahşap su içeriğinin fonksiyonu olarak şişen, büzülen bir malzeme olduğundan mekanik özellikleri de değişen bir malzemedir. Hücre boşluklarındaki su, buna serbest su denir, kesimi izleyen günlerde buharlaşır. Hücre çeperine yapışmış emme su ise uzun süre ahşap içinde kalır.

Tabii olarak kurutulmuş %10–15 nemli meşenin yoğunluğu 800 gr/dm^3 , çamın $550\text{--}600, 800 \text{ gr/dm}^3$ 'tür. Liflere paralel durumda 1. sınıf çamın çekme direnci $100\text{--}105 \text{ kg/cm}^2$, basınç direnci $85\text{--}100 \text{ kg/cm}^2$ 'dir.

Tablo 2.1. Ahşabın mekanik dayanımları [41].

(Kg/cm ²)	III. sınıf		II. sınıf		I. sınıf	
	Çam	Kayın, Meşe	Çam	Kayın, Meşe	Çam	Kayın, Meşe
Çekme //	-	-	85	100	105	110
Basınç //	60	70	85	100	110	120
Basınç (T)	20	30	20	30	20	30

2.2.4. Termik özellikler

Bilindiği gibi, sıcaklık değiştiğinde birçok materyal büyüklük ve hacim olarak değişir. Sıcaklığın artmasıyla genişirler. Bu doğrusal ve hacimsel genişleme anlamına gelir. Genişleme malzemelerin gücünde azalmaya neden olur. Çelik inorganik ve alev almayan bir malzeme olması nedeniyle yanmaya karşı avantajlıdır. Ama binalarda kullanıldığında, ısıdaki artmanın bir sonucu olarak genişir ve göçer. Ahşap ısıya karşı genişmez. Tam tersine, ısının etkisiyle, kurur ve güç kazanır. Ahşap, sadece tam kurduğunda (ki bu sadece teorikte mümkündür) genişir. Pratikte, sıcaklığın en yüksek olduğu mevsimde, nem oranı %5'in altına düşmez [11].

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

2.2.5. Akustik özellikler

Ses izolasyonu yüzeyin kütlelerini temel alır. Ahşap hafif bir malzeme olarak ses izolasyonu için çok mükemmel değildir. Fakat ses emilimi için idealdir. Ahşap eko ve gürültüyü emerek oluşmalarına engel olur. Bu yüzden çoğunlukla konser salonlarında kullanılır. Ses iletimi hızı ahşapta gazlardan ve sıvılardan daha hızlıdır ve metallerdeki ses iletim hızına çok yakındır [11].

Sürtünme neticesinde oluşan ses enerjisi kaybı da ahşapta hafifliği ve yapısıyla da ilintili olarak belirgin bir şekilde düşüktür. Buna benzer özellikler yüzünden ahşap çoğunlukla müzik enstrümanlarında kullanılır.

2.2.6. Elektrikle ilgili özellikler

Tamamıyla kuru bir ahşabın elektrik akımına olan direnci fenol formaldehitin ile eşittir. Ateşte kurutulmuş bir tahta çok iyi bir elektrik yalıtkanıdır. Hava ile kurutulmuş ahşapta yalıtkanlık belirli ölçüde aynıdır. Ne yazık ki ahşaptaki elektriğe olan direnç nem miktarının artmasıyla düşer. Suyu doyurulmuş ahşabın elektriğe olan direnci ise su ile aynıdır. İnsan sağlığı için tehlikeli olan statik elektrik ahşapta gözlenmemiştir. Fakat metal, plastik ve diğer malzemelerde bu söz konusudur. Bu nedenle ahşap sağlıklı bir malzeme olarak önerilmiştir [11].

2.2.7. Estetik özellikler

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

2.2.8. Oksitlenme özellikleri:

Ahşabın bazı yörelerde oksitlenme özellikleri olmasına karşın metallerde görülen oksitlenme gibi değildir. Metaller paslanır. Bu yüzden pastan kaçınma gerekli olduğunda ahşap kullanımı tercih edilir.

2.3. Geçmişten Günümüze Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistemler

Türkiye’de ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapı üretimi yaklaşık 40 yıl öncesine kadar yaygın bir şekilde görülmesine rağmen, özellikle betonarme yapım tekniğinin ortaya çıkması ve gelişmesiyle yapı sahibi olmak isteyenler bu süre içinde genellikle tercihlerini betonarme yapılardan yana kullanmışlardır. İnsanların genel tercihleri betonarme ya da yağma türü binalardan yana olunca da ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapılar nadiren yapılmış ve bu yapılar unutulmaya yüz tutmuşlardır. Ancak ABD, Kanada, Japonya ve Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde ahşap yapılar için bu tür bir

yol izlenmeyip teknolojinin verdiği imkânlardan da yararlanarak yeni detay ve teknikler geliştirilmiş ve bu ahşap yapılar inşa edilmeye devam edilmiştir. Bugün ABD’de ahşap yapılar genel olarak tüm yapıların %80-%90’ını oluşturmakta, Kaliforniya gibi deprem bölgesindeki yerleşim yerlerindeki konutlarda ise bu oran %99’a kadar çıkmaktadır [27].

Türkiye için de yapılması gereken; bu yapıları hiçbir irdeleme yapmadan birkaç basit nedenle tamamen devre dışı bırakmak yerine, çağdaş mimari anlayışa ve teknolojiye uygun olarak değerlendirmek, bu değerlendirmelere göre performanslarının iyi ve kötü olduğu hususları belirlemek ve eksik yönlerini geliştirme çarelerini aramaktır. Bunun sonucunda da ahşap taşıyıcı sisteme sahip yapıları, insanlarımızın depremde can güvenliği ve ülke ekonomisi yönünden değerlendirerek, üstün ve zayıf oldukları hususlarla birlikte konut sahibi olmak isteyenlere en azından bir seçenek olarak sunulmalıdır.

Ülkemizde son yıllarda gerçekte en büyük afetlerden olan 1999 Kocaeli ve Düzce depremleri, bazı teknik eleman ya da araştırmacıların dikkatlerinin geleneksel yapılar üzerine yoğunlaşmasını sağlamıştır. Bunun bir sonucu olarak da birçok araştırmacı ve gözlemci deprem sonrasında bu yapıların deprem performansları hakkında görüş bildirmişlerdir [27]. Bu görüşler genelde geleneksel yapıların deprem performanslarının, betonarme yapıların performanslarına göre daha üstün olduğu şeklinde oluşmuştur. Oysa daha önceki depremlerde bu yapıların deprem performansları hakkında ya hiç görüş sunulmamış ya da çok kısıtlı bilgiler ve görüşler sunulmuştur. Araştırmacılar da geleneksel yapıların çeşitli yük ya da yük etkisindeki davranışları üzerinde çalışmalarına söz konusu depremlerden sonra başlamışlardır. Bu bağlamda sunulan bu çalışmada Türkiye’de geçmişte geleneksel yapılarda uygulanmış ve bugün de uygulanmakta olan ahşap yapılardaki taşıyıcı sistemler tanıtılmakta, bunlar dayanım ve rijitlik açısından irdelenmektedir.

2.4. Taşıyıcı Sistem Çeşitleri

Ahşap yapıların taşıyıcı sistem elemanları yük aktarımı açısından aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

2.4.1. Çatı taşıyıcı elemanları

Genelde beşik ya da oturtma çatı olarak inşa edilen çatılarda taşıyıcı eleman olarak ahşap kirişler, dikmeler, gergi ve payandalar kullanılmaktadır.

2.4.2. Döşeme-kiriş elemanları

Sabit ve hareketli yükler etkisinde kalan döşeme kaplamaları tali kirişlere, tali kirişler de ana kirişlere sabitlenmektedir. Türkiye'deki geleneksel yapılarda genellikle zemin kat üzerinde konsollar bulunmaktadır. Bu konsollar yapı ağırlık merkezini zeminden daha yükseğe taşıdığından ve yapının daha küçük bir alana oturmasına neden olduğundan deprem davranışı için istenmeyen bir durum meydana gelmektedir[43].

2.4.3. Merdivenler

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

2.4.4. Duvarlardaki taşıyıcı elemanlar

Bu elemanlar, kullanılan ahşap yapı tekniğine bağlı olarak, yatay olarak düzenlenen ahşap elemanlar, düşey olarak düzenlenen dikmeler, eğik olarak düzenlenen payandalar, diyagonaller ve panel duvarlardan oluşmaktadır. Burada esas olarak bu elemanlar üzerinde durulmakta ve ahşap taşıyıcı sistemler bu elemanlara göre sınıflandırılmaktadır.

2.4.5. Temeller

Ahşap yapıların temellerini genellikle kâgir bir zemin kat ya da zemin üst yüzeyinden itibaren belirli bir yükseklikte yapılan kâgir duvarlar oluşturmaktadır. Bazen dikmeler taş temellerle mesnetlenmektedir. Bu durumda düşey yükler etkisinde bir sorunla karşılaşılabilir. Ancak, özellikle deprem durumunda, ahşap elemanın mesnetlendiği temel taşının, zemin hareketi sonucunda yerinden oynaması ve dikmelerin ötelenmesi söz konusu olacağından, bu tür bir dikme-temel birleşim bölgesinden iyi bir performans beklenmemelidir [43].

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

Tüm yapılarda ahşap, betonarme ya da çelik taşıyıcı sistem elemanları genel olarak benzer yüklerin etkisinde kalmaktadır. Düşey yükler, yatay olarak düzenlenmiş döşeme-kiriş gibi elemanlara etkimekte, bu elemanlar taşıdığı yükleri kolon ve perde duvar gibi düşey taşıyıcı elemanlara iletmekte, düşey elemanlar ise bu yükleri temellere aktarmaktadır. Bilindiği gibi temeller de bu yükleri, temel çeşidine bağlı olarak, mesnetlendikleri zemin ortamına iletmektedir. Deprem durumunda ise yapı ağırlık merkezine etkiyen deprem yükleri döşeme kiriş gibi elemanlar aracılığı ile eğilme rijitliklerine bağlı olarak düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmaktadır [43]. Genelde yukarıda adı geçen tüm taşıyıcı elemanlar yük aktarımı için önemli olmakla birlikte, özellikle deprem esnasında yapıların ayakta kalabilmesi büyük oranda düşey taşıyıcı elemanların birleşim detaylarının performanslarına bağlı olduğundan bu elemanlar çok daha önemli olmaktadır. Bu nedenle sunulan bu çalışmada esas olarak çekmeye çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının düz birleştirme detaylarının güçlendirilmesi hedeflenmiştir.

Ahşap yapılarda özellikle geleneksel olarak inşa edilenlerde bölgenin koşullarına ve ustaların bilgi-becerilerine bağlı olarak çok farklı birleşim detayları uygulamıştır.

Ahşap yapıda elemanlar arasındaki kuvvet aktarımı iki türlü gerçekleştirilebilir [12].

1- Kuvvet, elemanların temas halindeki yüzeylerinden basınç gerilmeleri yoluyla aktarılır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için temas yüzeylerinin iyi bir marangoz işçiliği sonucu uygun bir şekilde hazırlanmaları gerekir. Bu nedenle, bu birleşimlere “marangoz birleşimleri” de denilmektedir. Genelinde, “dişli birleşimler” şeklinde anılmaktadır.

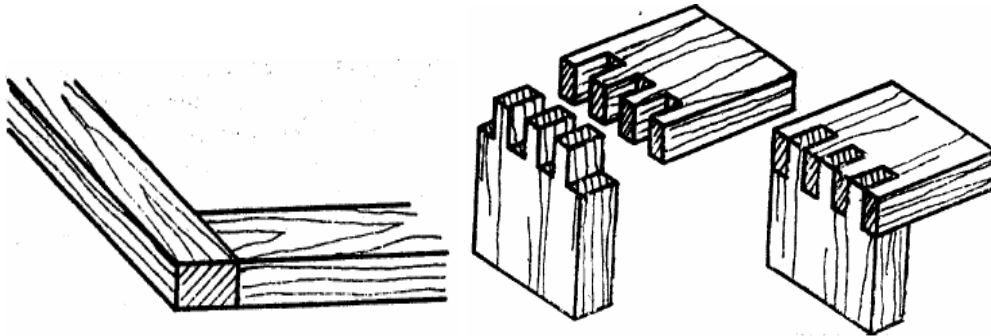
2- Kuvvetin aktarılmasından bir bileşim aracından yararlanır. Ahşap yapıda söz konusu olan birleşim araçları; Çivi, kavela, bulon kama tutkaldır.

2.5. Ahşap Yapıların Taşıyıcı Sistemlerinde Kullanılan Birleştirme Çeşitleri

Ahşap iskelet yapılarında kullanılan elemanlar uç uca, üst üste veya yan yana geldiklerinde çeşitli şekillerde birleştirilir. Birleştirilecek ahşapların birleştirme türü belirlendikten sonra ağaçlar üzerinde geçme şekilleri çizilir ve uygun bir biçimde kesilir. Üst üste gelecek olan bindirmeler alıştırıldıktan sonra bağlayıcılar kullanılarak yapıştırılır. Ahşap birleştirme çeşitleri detaylı olarak TS 4499 da verilmiştir.

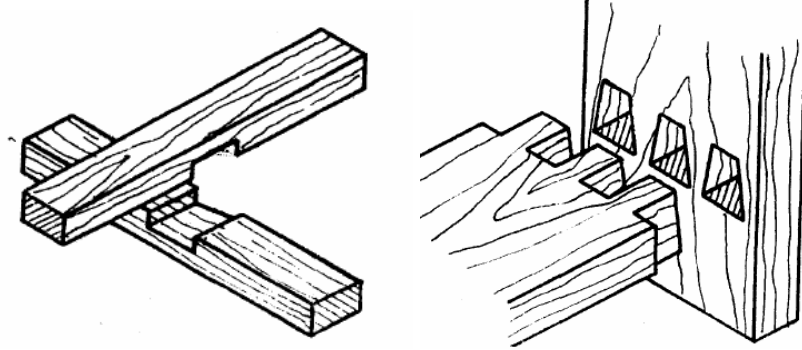
Ahşap iskeletli yapılarda, iki ahşabın birleştirme bölgelerine göre kullanılan birleştirme çeşitleri şunlardır[39];

- 1- Köşe birleştirmeler; Her iki ahşap elemanın uç kısımlarının birleştirilmesiyle oluşturulur.



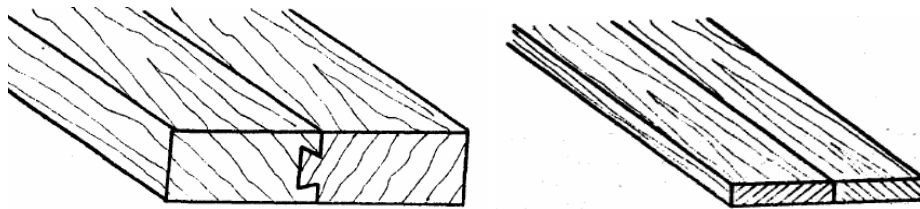
Şekil 2.2. Köşe birleştirmelerde farklı örnek görünümler

2- Orta birleştirmeler; Bir veya iki ahşap elemanında orta kısımda üst üste gelmesiyle oluşan birleştirme çeşitleridir.



Şekil 2.3. Orta birleştirmelerde farklı örnek görünüşler

3- En birleştirmeler; iki ahşap elemanın yan yana alıştırılarak birleştirilmesi ile oluşturulur.

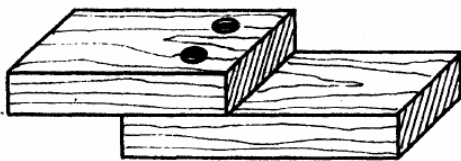


Şekil 2.4. En birleştirmelerde farklı örnek görünüşler

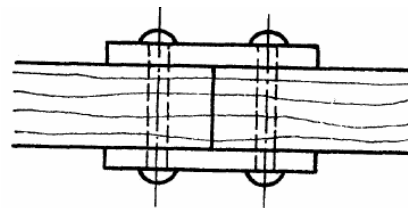
4- Boy birleştirmeler: iki ahşap elemanın alın altına birleştirilmesi ile oluşturulur.

Ahşap iskeletli yapılarda kullanılan boy birleştirmeleri de şu şekilde sıralayabiliriz.

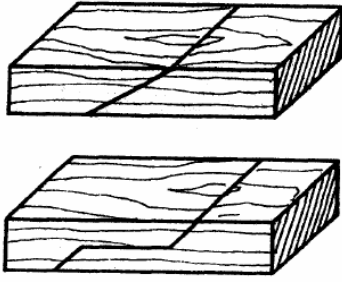
1. Bindirmeli boy birleştirme



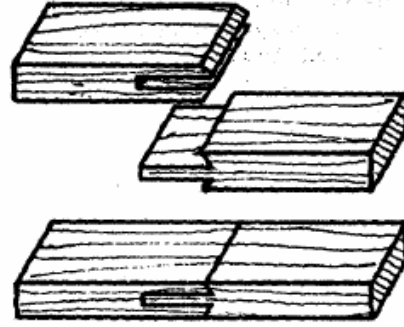
2. Destekli boy birleştirme



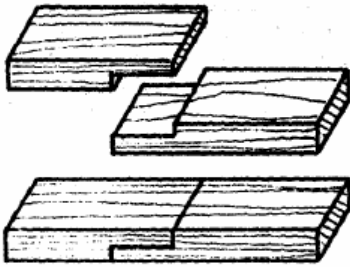
3. Pahlı boy birleştirme



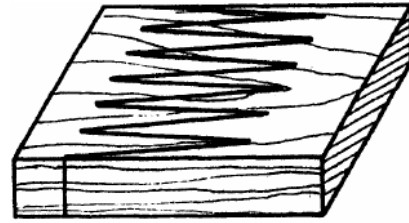
8. Pahlı zıvanalı boy birleştirme



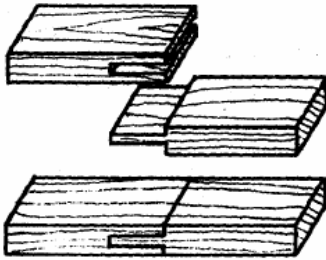
4. Kertmeli boy birleştirme



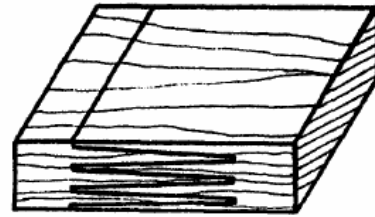
9. Kama dişli boy birleştirme



5. Düz zıvanalı boy birleştirme



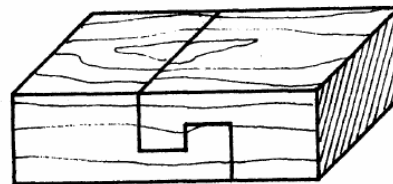
10. Trapez dişli boy birleştirme



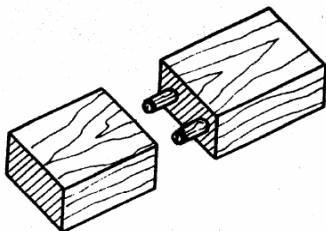
6. Yabancı zıvanalı boy birleştirme



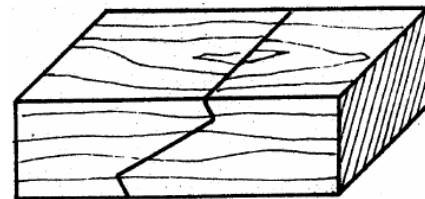
11. Geçmeli boy birleştirme



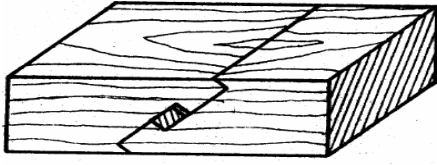
7. Kavelalı boy birleştirmeler



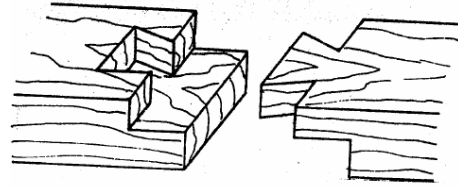
12. Kurtağzı boy birleştirme



13. Kamalı kurtağzı boy birleştirme



14. Kırlangıçkuyruğu göğüslü boy birleştirme



Şekil 2.5. Boy birleştirmelerde farklı örnek görüntüleri

Ahşap doğal bir malzeme olduğundan büyük açıklıkları geçmek için istenen uzunlukta ahşabın bulunması oldukça güçtür. Bu sebepten dolayı yapı elemanları yapımında boy birleştirmelerinin yapılması kaçınılmazdır. Yapılacak bu boy birleştirmelerinin de uygulama sahasında, hem yapımı kolay hem de çap değişikliği oluşturmadan istenen dayanımı sağlayabilecek bir birleştirme çeşidi olması istenmektedir. Şekil 2.5'te verilen boy birleştirme çeşitlerinde uygulama alanlarına sıkça kullanılan en uygun boy birleştirmenin kertmeli boy birleştirmeler görüldüğünden yapılan deneysel çalışmalarda kertmeli boy birleştirme çeşidi kullanılmıştır.

Ahşap birleştirmelerin dayanımının yüksek olması amacıyla ilk olarak ip ve halatlar kullanılmıştır. Daha sonralarda kama, bulon, çivi, kavela ve tutkal kullanılmaya başlanmış ve birleşim bölgelerinin çekmeye, eğilmeye veya kaymaya karşı dayanımı arttırılmıştır.

Birleştirme vasıtalarının emniyetle taşıyabilecekleri yük bir çekme deneyi yardımıyla bulunur [12]. Yapılacak deneylerinde kertmeli boy birleştirmelerin yapıştırılarak, kavela+yapıştırılarak, CTP+yapıştırılarak, CTP+kavela+yapıştırılarak elde edilen numunelerin çekme yükü altında davranışları incelenmiş ve elde edilen çekme gerilmesi değerleri ile emniyetli taşıyabilecekleri yük tespiti yapılmıştır.

BÖLÜM 3. CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLER (CTP)

Ahşap içerisinde güçlendirme malzemesi olarak kullanılacak olan CTP'nin tarihsel gelişimi, üretim teknikleri, avantajları, mekanik özellikleri ve inşaat sektöründe kullanım alanları irdelenecektir.

Cam elyaf takviyeli plastik malzemelerde, takviye malzemesi olarak cam elyaf bulunmakta ve bu takviye malzemesinin çevresinde hacimsel olarak daha fazla miktarda polyester, dolgu maddesi, boya ve kimyasal reaksiyon gerekli olan maddelerden oluşmuş bir matris bulunur. Cam elyaf takviye olarak mekanik özellikleri iyileştirir, matris ise deformasyon sırasındaki çatlak oluşumunu önleyici rol onar.

3.1. CTP'nin Tarihsel Gelişimi

Tarihte cam elyafının ilk kez Fenike ve Mısırlılar tarafından kullanıldığı bilinmektedir. Elyaf, cam çubuklarının ısıtılması sonucunda yumuşatılarak akıtılması ile elde edilmekteydi. Kullanım alanı ise takviye amaçlı ve çanak, çömlek, amfora gibi ürünlerin sağlamlaştırılması için kullanılmaktaydı [15].

Günümüzde bilinen cam elyafın geliştirilmesi, 1930'lu yılların sonlarına doğru başarılmıştır. 1940'lı yıllardan bu yana, farklı cam elyafı tipleri plastiklerin takviyesi için kullanılmaktadır. Bu şekilde, plastiklerin çekme, eğilme mukavemetleri ve rijitliği tanımlayan elastisite modülü gibi mekanik özellikleri iyileştirebilmektedir.

İkinci dünya savaşı yıllarında ülkeler yeni sentetik malzemelerin geliştirilmesi ve mevcut plastiklere yeni kullanım alanları bulunması konusuna yönelmiştir. Doğal kauçuk, alüminyum, pirinç ve bakır gibi kritik metallerin yerini alabilecek sentetik ikame malzemeleri bulmak ve uçakların hafifletilmesi sonucu manevra yeteneklerini

arttırmak amaçlamaktaydı. Özellikle takviyeli plastikler savaş endüstrisine, uçak çamından, motor parçasına, tıbbi malzemelerden, radar antenine kadar her türlü üründe üstün mekanik özelliklerinin sağladıkları avantajlarla hizmet vermişlerdir.

İkinci dünya savaşından sonra plastikler sivil ihtiyaçlara yönelmiştir. Özellikle sulama borularında, tekne gövdelerinde, ambalaj sanayi ve ev içi kullanımlarda plastik önemli bir malzeme oluşmuştur [16].

Yakın zamanda, plastik kompozit teknolojisinin gelişimiyle başta havacılık, otomotiv ve denizcilik olmak üzere pek çok ana sektörde vazgeçilmez bir malzeme oluşmuştur. Ancak inşaat sektöründe kullanımı göreceli olarak kısıtlı kalmıştır. CTP' nin bu sektördeki kullanımı sadece dekoratif amaçlı, taşıyıcı olmayan yapı elemanları ile sınırlanmaktadır.

İlk uygulamalar boru, tesisat ve bağlantı elemanlarında gerçekleşmiştir. Daha sonra yüksek mekanik özellikleri ve antikorozyon yapıları sayesinde cephe kaplama panellerinde, depolama tanklarında, prefabrike geçici konut elemanlarında, beton kalıplarında ve şehir mobilyalarında geniş bir kullanım alanı olmuştur.

1980' lerden bu yana malzemenin üretim tekniğinde gözlemlenen maliyet düşüşü ile CTP' nin binalarda yapısal yük taşıyan bir malzeme olarak kullanma fikri mümkün olmuştur. Ancak bu fikir klasik betonarme elemanlarında çeliğin yerini alacak yeni bir yapı malzemesi ya da takviye fibresi olmasından öteye gidememiştir. Bu tür uygulamalarda, betonun geleneksel bir yapı elemanı olması nedeniyle, CTP' nin bu malzeme ile birlikte kullanımı üstün niteliklerinin maalesef ön plana çıkmamasına ve yapı endüstrisinde yeterince bilinmemesine yol açmıştır. Böylece kullanımı toprak altı ve nemli ortam yapılarında yüksek korozyon dayanımı sağlayan CTP takviyeli çubuklar ile sınırlı kalmıştır. Ancak son yıllarda, çok sınırlı da olsa, CTP' nin kendi başına bir taşıyıcı yapı malzemesi olarak kullanımı, çatı makası ve köprü tabliye kirişleri olarak uygulamaları rapor edilmektedir [17].

Anlaşılmaktadır ki, CTP'nin inşaat sektöründe kullanımı büyük bir potansiyel gösterse de yapısal eleman olarak kullanımı henüz çok yeni bir konu olup, ciddi araştırma ve deneysel çalışmalara ihtiyaç göstermektedir [18].

3.2. Cam Elyaf

Cam elyaflarının diğer elyaflara kıyasla daha çok kullanım alanı bulabilmesinin bir sebebi de değişik ihtiyaçlara cevap verebilecek çok sayıda çeşitlerinin bulunmasıdır. Kimyasal girdilerin kompozisyonlarına göre farklı cam elyaf türleri üretmek mümkün olmaktadır [21]. Bu çeşitlerin arasında, polyester ve epoksi reçineler ile nispeten yüksek aderans gösteren ve yüksek mekanik mukavemet değerleri veren, bu yüzden de en çok kullanılmakta olan E tipi cam elyaflarının Türkiye'de de üretimi yapılmaktadır. Cam elyafı, genellikle alkali düşük "E" camının, 6-15 mikron çaplarında devamlı proses ile ince lifler halinde çekilmiş türüdür [42]. Bu cam elyaf türlerinin en çok kullanılanları E tipi, S tipi ve C tipi cam elyaflarının ham maddesini oluşturan bileşenler ve mekanik özellikleri Tablo 3.1'de ve Tablo 3.2'de sunulmaktadır.

CTP kompozit' in takviyesinde kullanılan E tipi cam elyaflarını elde etmek için, öncelikle istenilen özellikleri cam elyaflarına kazandıracak ham maddenin fırında yaklaşık 1550 °C sıcaklıkta eritilmesi gerekmektedir. Eriyik ham madde, platin radyum alaşımından yapılmış, elektrik enerjisi ile ısıtılarak 5 °C hassasiyet ile 1250 °C sıcaklıkta tutulan ve üzerinde 1-2 mm çapında çok sayıda delik bulunan kovanlara doğru akmaya bırakılmaktadır. Kovan deliklerinden serbest akışa bırakılan cam eriyiği, kovan altında bulunan sarma aparatları yardımıyla, "kek" adı verilen silindir üzerine 50-70 m/s gibi yüksek bir hızla çekilerek cam lifi demeti olarak sarılmaktadır. Sarım hızına bağlı olarak, 6-20' si çapında değişen cam elyafı elde edilmektedir [26]. Cam elyafı sarılırken, üzerlerine "bağlayıcı" adı verilen ve ileride kompozit içinde reçine ile cam elyafı arasındaki aderansın kuvvetini belirleyen bir malzeme püskürtülerek kaplanmaktadır. Bu bağlayıcının cinsi, kompozit malzeme içinde cam elyaflarının mukavemetini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Bu bağlayıcının içeriği, bir kaydırıcı (Lubricant), bir bağlayıcı (Coupling agent), bir film oluşturucu ve sudan oluşmaktadır. Bu bileşenlerden "kaydırıcı" cam elyaflarının

pamuklanmasını, kırılmasını önlemek ve liflerin aşınma dayanımı arttırmak, "bağlayıcı" cam elyafının reçine ile aderansını sağlamak, 'film oluşturucu' ise işleme ve dokuma sırasında demet bütünlüğünü korumak için kullanılmaktadır [20].

Tablo 3.1 Bazı cam elyaf türleri ve kompozisyonları [21]

Madde	Cam elyaf tipine göre maddelerde kullanım yüzdesi (%)		
	E tipi	S tipi	C tipi
Silikondioksit	52-56	65	64-68
Aliminyumdioksit	12-16	25	3-5
Borikoksit	5-10		4-6
Sodyumoksit ve Potasyumoksit	0-2		7-10
Magnezyumoksit	0-5	10	2-4
Kalsiyumoksit	16-25		11-15
Baryumoksit			0-1
Titanyumoksit	0-1,5		
Demiroksit	0-0,8		0-0,8
Demir	0-1		

Tablo 3.2 Bazı cam elyaf türlerinin mekanik özellikleri [22]

Mekanik Özellikleri	E tipi	S tipi	C tipi
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2,56	2,48	2,62
Çekma Day.(GPa)	3,45	4,59	3,31
Elastisite Modülü (GPa)	72	86	-

Gerek termoset , gerekse termoplastik bağlayıcınının takviye edilmesinde , kimyasal birleşmeyi en iyi sağlayabilmek için demet haline getirilmiş sürekli cam elyafı kullanılmalıdır. Süreksiz ve izolasyon amaçlı cam yünü veya cam pamuğu yüksek mukavemetli CTP kompozitleri için uygun değildir [19].

Cam elyafından takviye malzemeleri biçim bakımından da farklılık göstermektedir. Takviye amaçlı cam elyafları biçimlerine göre dört sınıfta ele alınmaktadır [23].

3.3. CTP Üretim Yöntemleri

CTP kalıplamasında kullanılan başlıca metotlar, işçilik maliyetleri, üretim prosesine gerekli ekipman yatırımı ve işçilik kalitesini gözetererek ve amaca göre kararlaştırılmaktadır. CTP kompozitin mekanik mukavemetini etkileyen faktörler, kullanılan takviye ve bağlayıcının cinsine, takviye/bağlayıcı oranına ve takviye yönüne göre değişmektedir.

Seçilen üretim yöntemi, oluşacak kompozitin mekanik özelliklerini de sınırlamaktadır. Örneğin; el yatırması ve püskürtme yöntemi gibi açık kalıplama yöntemleri ile en fazla % 30-40 cam elyaf takviye oranı elde edilirken, bu oran profil çekme gibi, sürekli cam elyaf fitilleri kullanılarak profil doğrultusunda yüksek mukavemet elde edilen kalıplama yönteminde % 70-80 'e ulaşabilmektedir [23].

1. El yatırması yöntemi
2. Püskürtme yöntemi
3. Reçine enjeksiyonu yöntemi
4. Soğuk pres yöntemi
5. Elyaf sarma yöntemi
6. Savurma döküm yöntemi
7. Vakum bonding (Vakum Bagging)
8. Devamlı levha üretim yöntemi
9. Hazır kalıp bileşimleri
10. Preslenebilir takviyeli termoplastik
11. Profil çekme yöntemi

Yaptığımız çalışmada güçlendirmede kullanılacak CTP'lerin özellikleri ve avantajları göz önünde bulundurularak profil çekme yöntemi ile üretilmiş CTP malzemeler kullanılmıştır.

3.3.1. Pultruzyonla (Profil çekme) üretilen CTP malzemelerinin özellikleri

1. Özgül ağırlığının az olmasından dolayı, geniş bir kullanım alanına sahiptirler,
2. Hafif olmalarından dolayı, elle ya da basit aletlerle uygulama yapılabilir,
3. Yine hafif olmasından dolayı, nakliye giderleri düşüktür,
4. Kolay kesilebilir ve işlenebilir,
5. Birleştirme işlemleri metallerde olduğu gibi cıvata, vida v.b. başlama elemanı yerine, yapıştırma sayesinde parça sayılarında önemli azalmalar sağlar,
6. Metal ve seramiklere göre dayanım/yoğunluk oranı da yüksektir,
7. Yorulma ve darbe dayanımı yüksektir,
8. Yüksek korozyon direncine sahiptir,
9. Düşük ısı iletkenliğine sahiptir,
10. Kimyasallara karşı yüksek direnç gösterirler,
11. İyi elektrik yalıtkanlığına sahiptir,
12. Yüksek aşınma mukavemetine sahiptirler,
13. Uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymazlar,
14. Elektromanyetik alan oluşturmaması nedeni ile radyo ve mikro dalga frekanslarını etkilemezler,
15. Isıya başlı uzamaları minimumdur,
16. Bazı plastiğin ışığı geçirmesi, yani saydamlık özelliklerinin de olması cam ile rekabet etmesini de sağlamaktadır.

3.3.2. Pultruzyon (Profil çekme) yönteminin avantajları

1. Üretim, düşük iş gücü ile yapılabilir,
2. Karmaşık geometriye sahip şekiller bile, kolaylıkla üretilebilir,
3. Üretim kolaylığından dolayı, gün geçtikçe düşen maliyetleriyle, metaller ile sıkı bir yarış halindedirler,
4. Farklı mekanik özellikler elde etmek için, farklı elyaf katmanları ve kombinasyonları ile CTP üretilebilir,
5. Hacimsel bazda, polimer üretimi için metallerden daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar,
6. Üretim hızı genel olarak 0.6m–1.2m/dak. olup, üretilen parça eşer uygun bir

- yapıya sahip ise 3m/dak. gibi yüksek bir hıza çıkabilir,
7. Ekonomik olması ve bir çok pazar tarafından kullanılması sayesinde, en hızlı ilerleme gösteren kompozit üretim yöntemidir,
 8. Pultruzyon, yönlendirilmiş elyaf kullanılan bir prosestir. Elyafın büyük bir kısmı optimum çekme dayanımı elde edecek şekilde boyuna yerleştirilirken bir kısım elyaf ise istenen ürün özelliklerini sağlayacak şekilde farklı yönde düzenlenebilmesi,
 9. Düşük işçilik gerektiren büyük ölçüde otomatikleştirilmiş gibi proses olması,
 10. İşçilik maliyeti satış fiyatının %5-10'u arasında kalabilmesi,
 11. Pultruzyon yönteminde, ekipman yatırım masraflarının diğer yüksek hacimde üretim yapılan yöntemlerle kıyaslandığında düşük olması,
 12. Ayrıca, tüm bu unsurlar orta-yüksek hacimli uygulamalar için pultruzyon yöntemini ekonomik kılmaktadır.

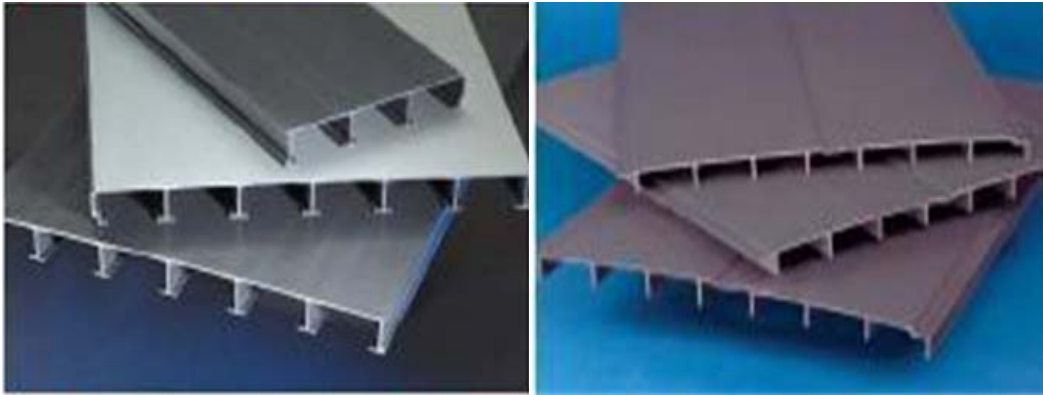
3.4. CTP' nin İnşaat Sektöründe Kullanım Uygulamaları

Dünya' da yaklaşık olarak 4.7 milyon tonluk bir kullanım potansiyeline sahip olan CTP malzemenin inşaat sektöründe kullanımı, 954.000 tonu aşan bir miktarla toplam kullanımın % 20.2' sa mertebesindedir. Türkiye'de inşaat sektöründe CTP kullanımı ile ilgili bir istatistik bulunmamakla birlikte, bu oranın % 50 mertebesinde olduğu tahmin edilmektedir [24].

İnşaat sektöründe kullanılan CTP ürünler, el yatırması gibi basit kalıplama metotlardan, hazır kalıp bileşimleri ve profil çekme yöntemi gibi gelişmiş teknoloji gerektiren kalıplama metotlarına kadar birçok kalıplama metodu kullanılarak üretilmektedir. Cephe kaplama panellerinden, depolama tanklarına, prefabrike konutlardan köprülere, beton kalıplardan, şehir mobilyalarına kadar birçok CTP ürün, inşaat sektöründe kullanılmaktadır. Anlaşıldığı üzere inşaat sektöründe % 20'lik bir payla, yüksek bir oran gibi gözükse de, kullanımlarının genelinde dekoratif yada yapısal olmayan elemanlarla sınırlı olduğu kabul edilmektedir [24].Sektörde en çok kullanılan yapısal olmayan CTP kullanımları aşağıda sınıflandırılmaktadır:

3.4.1. Cephe kaplama panelleri

CTP malzemenin en yaygın olarak kullanıldığı alanlar başında gelmektedir. Cephe kaplama panelleri, tek cidarlı yapılabileceği gibi, çift cidarlı ve arasında ısı izolasyonu sağlayan poliüretan köpük veya cam elyafı şilte gibi malzemeler kullanılarak, izolasyonlu panel olarak da üretilebilmektedir. Kolay temizlene bilme avantajı sayesinde, CTP paneller, ameliyathane ve labaratuvar gibi steril ortamlarda hijyenik bir duvar kaplaması olarak da kullanım alanı bulmaktadır. CTP cephe kaplama panellerinin bir diğer önemli uygulaması, binalar arasında yaya geçişini sağlayan geçitlerin kaplama panelleridir. Şeffaf CTP levhalar çatı ışıklıklarında camın yerini almış ve kırılmaya karşı dayanıklılıklarıyla güvenli bir kullanım sağlamıştır. CTP paneller yalnızca estetik amaçlı değil, başta köprüler olmak üzere korozyona açık yapılarda, betonu korozyondan koruma amacı ile de kullanılabilmektedirler (Şekil 3.1) [25].



Şekil 3.1 Cephe Kaplamaları [41]

3.4.2. CTP beton kalıpları

Kaset döşeme, perde ve kolonların kalıplarında kullanılmaktadır. CTP kalıplar, kalıp bağlama ve sökme işlemlerini kolaylaştırmış ve bu kalıplar sayesinde betonun çok düzgün yüzeyli dökülmesi mümkün olabilmektedir. CTP kalıplar el yatırması, püskürtme ve reçine enjeksiyonu yöntemleri ile istenilen boyut ve şekilde seri bir şekilde üretilebilmektedir [24].

3.4.3 CTP borular

Endüstriyel inşaatta çok önemli bir yer tutmaktadır. Bunun başlıca nedeni, içme suyu, kimyasal maddeler, kanalizasyon, proses suyu gibi alışkanlıkların taşınmasındaki ihtiyaçların karşılanmasına en uygun koşullarda çözüm getiren üstün nitelikli ve uzun ömürlü bir malzeme olmasıdır. Gerek büyük çaplı (2500 mm' ye kadar), gerek küçük çaplı (50 mm'ye kadar) borular CTP malzeme kullanılarak yapılmaktadır. Her ne kadar, açık kalıplama metotları ile de CTP boru üretme olanağı bulunsa da, prosesin hızı nedeni ile genellikle “ elyaf sarma “ metodu kullanılmakta ve % 60-70 oranında cam elyafı takviyesi sağlanabilmektedir. Üretim metodu sayesinde, istenilen iç basınç dayanımına uygun olarak üretilebilmektedirler. CTP borular diğer ikame borularının tersine, rijit değil esnek olarak tasarlanmaktadır. Bu sayede, kendisini çevreleyen toprak ile homojen bir sistem oluşturup, dış yüklerin etkisini toprağa transfer edebilmektedir. Yapımında kullanılan bağlayıcı türüne (genellikle polyester veya epoksi) bağlı olarak, pek çok kimyasal maddeden etkilenmediğinden, her türlü korozif zeminde, bataklık ve deniz geçişlerinde ve bir çok kimyasal akışkanın nakli ve prosesinde vazgeçilmez bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Uzun ve verimli hizmet ömürleri (50 yıl), düşük bakım giderleri ve bağlantı kolaylığı sayesinde sıklıkla tercih edilmektedir (Şekil 3.2) [24].



Şekil 3.2. CTP Borular [36]

3.4.4. Köprüler ve çatı makaslar

Özellikle korozyon ortamlara dayanıklı yürüme yolları, köprüler ve çatı makası kontrüksiyonları denenmiş başlıca uygulamaları oluşturmaktadır [18]. CTP profiller, profil çekme metodu ile seri olarak üretilebilmektedir. Köprü taban tabliyeleri sandviç kontrüksiyon metodu ile üretilmekte, böylelikle yüklerin homojen olarak dağılması ve yüksek rijitlik sağlanmaktadır (Şekil 3.3) [36].



Şekil 3.3 Çatı makasları ve köprüler

3.4.5. Prefabrik yapılar

Isı yalıtımını sandviç kontrüksiyon tekniği ile içinde barındıran birbirinden bağımsız panellerin çeşitli büyüklüklerde büfe, baraka, konut gibi ürünlerin üretimini içermektedir. Özellikle prefabrike yapı sistemine uygunluğu sebebiyle hazır banyo birimlerinin çok yaygın olarak kullanıldığı rapor edilmektedir [17]. Bu tür birimler,

özellikle ıslak mekanların seri üretimine imkan sağlamakta, kolay montaj ve hafiflik özelliği ile inşaat hızını büyük oranda arttırmaktadır (Şekil 3.4) [37].



Şekil 3.4. Ctp sistemle yapılan yapı

3.4.6. Restorasyon güçlendirme uygulamaları

Betonarme yapı elemanlarının, tasarım ve uygulama hataları, zamana bağlı zayıflamalar, kullanım amacının değiştirilmesi ve yeni yönetmeliklere göre yetersiz kalması gibi nedenlerle onarım ve/veya güçlendirilmesi gerekebilmektedir.

Son depremlerden sonra yapılan araştırmalarda Türkiye'deki betonarme yapıların önemli bir kısmının onarım ve güçlendirilmesinin gerektiği görülmektedir. Yapısal olarak yetersiz olan bina sayısının fazlalığı, yapım yöntemlerinin farklılığı, halen kullanımda olmaları ve ülkenin ekonomik durumu da göz önüne alınarak, her yapı için uygun olabilecek farklı onarım ve güçlendirme yöntemlerinin belirlenmesine yönelik araştırmalar devam etmektedir

Hasarsız veya hasarlı yapıların güçlendirilme yöntemleri gün geçtikçe gelişmektedir. Yapıların güçlendirilmesi sadece deprem sonrası hasar gören yapılar için değil, aynı zamanda kullanım amacı değişen ve özellikle korozyon nedeniyle taşıma gücünü kaybetme tehlikesiyle karşı karşıya gelen yapılar içinde gereklidir. Güçlendirme için

betonarme, çelik ve yeni teknoloji ürünleri olan karbon lif ve çubukları kullanılabilir [30].

Ülkemizdeki yapılar genellikle yeterli yanal dayanım ve rijitliğe sahip olmayan, donatı detayları deprem davranışı açısından yetersiz, beton dayanımları düşük çerçevelerden oluşmaktadır. Bunun yanında bu yapılarda yumuşak kat, kısa kolon, kuvvetli kiriş zayıf kolon gibi sistem yetersizliklerinin de bulunması, deprem güvenlikleri yeterli olmayan büyük bir yapı stokunu gündeme getirmektedir. Bu zayıflıklara sahip yapıların kuvvetli bir depremde sağlıklı bir davranış sergilemesini beklemek mümkün değildir. Bu nedenle, bir öncelik sırası belirlenerek, mevcut yapı stokunun deprem güvenliğinin artırılması gerekmektedir.

Güçlendirilmesi gereken bina sayısı göz önüne alındığında, bu binaların hepsinin deprem sonrası kullanılabilirliğini koruyacak şekilde güçlendirilmelerinin ekonomik olarak mümkün olmadığı görülmektedir. Diğer taraftan, can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için bu binaların büyük bir depremde göçmelerinin engellenmesi de gerekmektedir.

Kullanımda olan binaların güçlendirilmesini mümkün kılmak üzere, onarılabilecek binanın boşaltılmasını gerektirmeyen, hızlı ve binanın kullanımını aksatmadan uygulanabilen, ekonomik yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir [31].

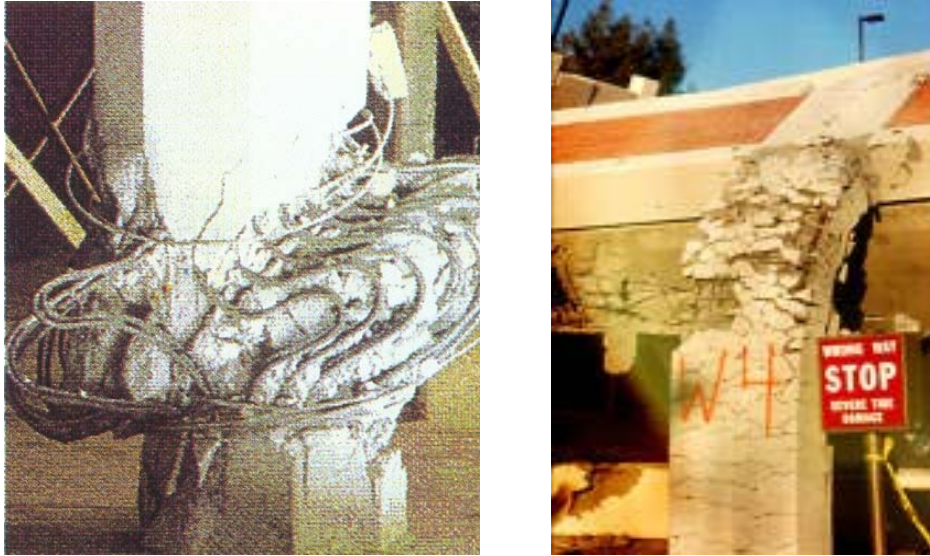
Yukarıdaki gerçekler ışığında betonarme veya ahşap yapılarda yapılacak olan onarım, restorasyon ve güçlendirme çalışmalarında uygulama kolaylığı, işçilik, statik verimlilik açısından olumlu sonucu verebilecek güçlendirme tekniklerinden biri olarak FRP'lerle yapılan güçlendirmelerdir.

Yapılan güçlendirme çalışmalarında yapı elemanlarına göre FRP ile güçlendirme tekniklerinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

3.4.6.1. Kolonlardaki kullanım şekilleri

Kolonlar düşey taşıyıcı olmaları hasebiyle binaların ayakta durmasını sağlayan en önemli yapı elemanlarıdır. Kolonlara etki eden kuvvetler kesme, eğilme, burkulma ve basınç olarak sıralanabilir.

Kolonlarda sargı donatıları olan etriyeler eksik olursa kolon, kesme kuvvetlerine mukavemet gösteremeyecek ve ani bir kırılmaya maruz kalacaktır. Etriyeler, aynı zamanda, kolon betonu basınç dayanımını aşıp büzülse bile kolonun dağılıp parçalanmasını engeller, betonun deformasyon halinde dahi yük taşımasını sağlar ve binanın yıkılmasını geciktirirler (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Deprem etkisiyle patlayan betonarme kolonlar

FRP'ler, kolonlarda güçlendirme amacıyla kullanılabilirler etkili ve yeni nesil malzemelerdir. Eğilme mukavemetinin ve rijitliğin artırılması için boylamasına uygulanırlar. Kesme mukavemetinin, sünekliğin, basınç mukavemetinin ve sismik dayanımın artırılması için enlemesine uygulanırlar.

Sağlam kolonlar üzerinde yapılan deprem testlerinde görülmüştür ki, kolon yüzeyinde en ufak bir çatlak belirmesi kolonun gücünün sonuna gelişinin işaretidir.

Yapılan testlerde FRP sarılı kolonların, artan sismik ve tekrarlı yüklere karşı daha fazla deplasman yaparak enerji sönümlendiği görülmüştür [28].

FRP ile sargı kalınlığı ayarlanarak basınç mukavemeti % 100 oranında bile arttırılabilir. Katı maddelerde de (örneğin beton veya ahşap) düşey yükler sonucu, düşey büzülme ve buna bağlı olarak yanal genişleme meydana gelir. Bu bağıntıya Poisson oranı denir. Buradan hareketle yanal deplasmanlar kısıtlanırsa düşey yük taşıma kapasitesinin arttırılabileceği sonucuna varılır.

Kolon-Kiriş birleşim bölgelerinde etriye sıklaştırmasına dikkat edilmemiş olan eski yapılarda FRP sarılmak suretiyle bu eksiklik giderilebilir. Genelde bina bodrumlarında sık rastlanan bant pencerelerin sebep olduğu kısa kolon etkisiyle oluşan yıkıcı kesme kuvvetlerine karşı FRP sargılama ideal bir çözümdür (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. FRP'lerle güçlendirilmiş betonarme kolonlar

Statik ve dinamik kuvvetler haricinde kolon donatılarında korozyon dolayısıyla kesit azalması meydana gelir. Bu olaya rutubetli ve asidik ortamlarda, deniz suyuna maruz yerlerde sıkça rastlanır. Korozyon sonucu donatıda meydana gelen mukavemet ve aderans kaybını telafi etmek için FRP'ler gereken yönlerde uygulanırlar. FRP

içerisindeki reçine beton ve çeliğin hava ile irtibatını keser. Buhar difüzyonuna izin vermez, kolonu asit ve alkalilerden korur.

3.4.6.2. Kirişlerdeki uygulama şekilleri

Kirişler, yapılar için kolonlardan sonra en önemli taşıyıcı elemanlardır. Döşemelerden aldıkları düşey yükleri kolonlara aktarırlar. Süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistemlerde kirişlerin kolonlara göre daha zayıf olması istenir.

Bu sebeple, genelde kirislerin açıklık bölgesinde eğilme, mesnet bölgelerinde ise kesme kuvvetine karşı güçlendirme yapılır. Eğilme (orta açıklık) bölgesinde yapılacak gereğinden fazla güçlendirme, eğilme donatısı kopmadan basınç bölgesindeki betonun ezilmesine yol acar. Eğilme bölgesinde meydana gelebilecek bir hasarda önce kullanılan FRP malzemenin kopması, ondan sonra çelik donatının akması, daha sonra betonun ezilmesi istenir [29].

FRP'ler kirişin eğilme bölgesinde boyuna, kesme bölgesinde ise 45° ve 135° açılarda uygulandığında maksimum performanslarını gösterirler. Hasarlı bir kiris FRP ile güçlendirildiğinde orijinal kirişin tasarım kapasitesi ve daha üzeri kapasiteye ulaşılabilir. FRP şeritler kirişlerde etriye eksikliklerini gidermek için kirişin üç yanını kuşatacak biçimde U şeklinde uygulanabilirler (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. FRP'lerle güçlendirilmiş betonarme kirişler

Betonarme kirişlerde, kirişlerin çekme yüzeyine ve gövdelerine FRP malzemeyi veya çelik plakaları epoksi kullanarak yapıştırmak suretiyle eğilme ve kesme güçlendirmesi yapılmaktadır. Çelik plakalar birkaç yıldır birçok ülkede betonarme kirişlerde eğilme güçlendirmesi uygulamalarında kullanılmaktadır. Çelik plaka kullanmanın en önemli dezavantajı çelik-beton ara yüzeyindeki bağlantıya zarar veren çeliğin korozyon problemidir. Bu problem, sıcaklığın düşük olduğu mevsimler boyunca buzlanmayı önleyici kimyasalların sıklıkla kullanıldığı köprülerde daha da şiddetlidir. Korozyon problemini ortadan kaldırmak üzere, çelik plakalar yerine FRP malzeme kullanılmıştır [32].

3.4.6.3. Döşemelerdeki uygulama şekilleri

Döşemeler katların konumunu belirleyen, devamlı üzerinde dolaştığımız, sonsuz rijit kabul edilen, düşey taşıyıcı elemanlardır. Döşemelerde en sık görülen hasar aşırı yüklemelerden meydana gelen sehimlerdir. Bu, döşeme altındaki donatıların akması sonucu meydana gelir. Döşemelerde genelde eğilmeye karşı güçlendirme yapılır. Depremlerde döşemelerde kesme kuvvetinden meydana gelen hasarlara fazlaca rastlanmaz. Döşemeler plak elemanlar olduğu için kesitin tamamının çekmeye çalıştığı kabul edilir. Döşemelerde yapılacak güçlendirmede FRP lamine şeritler veya kumaşlar açıklık bölgesinde alttan, mesnet bölgesinde üstten yapıştırılarak yük taşıma kapasitesi ve eğilme mukavemeti artırılır. (Şekil 3.8) [33].



Şekil 3.8. FRP'lerle güçlendirilmiş betonarme döşeme ve köprü tablası

Bilhassa köprü tabliyelerinde artan servis yüklerine karşı, uygulama kolaylığı, bakım masraflarının azlığı, uygulama esnasında trafiğin durdurulmaması gibi sebeplerle FRP güçlendirme sistemleri tercih edilmektedir.

FRP'ler son yıllarda pultrüzyon metodu ile profil şeklinde imal edilerek başlı başına köprü tabliye sistemi olarak da kullanılmaktadırlar.

3.4.6.4. Duvarlarda uygulama şekilleri

Tuğla duvarlar, yapılarda çerçeve, aralarında dolgu malzemesi olarak kullanılan, taşıyıcı özelliği olmayan fakat son depremde binanın rijitliğine katkıda bulunduğu ve çevrelediği kolonların deplasmanını kısıtlayarak burkulmasını önlediği anlaşılan elemanlardır. Dolgu duvarlar, depremde çerçeve sisteminin aşırı deplasman yaparak enerji sönümlemesi yerine bu enerjiyi kendi bünyelerinde parçalanmak ve çatlamak suretiyle yok etmiş, binaların yıkılmasını zorlaştırmış, bir nevi betonarme perde görevi yapmışlardır. Dolgu duvarlarda yapılacak en iyi güçlendirme, kolon ve kirişlerden ayrılarak kütle halinde düşmesini engellemektir. Bu yüzden $0^{\circ}/90^{\circ}$ açıda dokunmuş FRP kumaşlar birleşim yerlerine yapıştırılır. Eğer binanın betonarme sisteminin güçlü olduğu tespit edilmiş ve muhtemel bir depremde duvarlarda da çatlama ve kırılma olması istenmiyorsa, duvarlarda eğilmeye karşı boyuna, kesmeye karşı enine doğrultuda FRP uygulanabilir.

Maliyet unsurları da göz önünde bulundurularak karbona göre daha ucuz olan cam elyaf (GFRP) sistemi tercih edilebilir. Ayrıca ticari veya stratejik değeri olan binaların (bankalar, emniyet müdürlükleri gibi) duvarlarının çarpma ve patlamalara dayanıklı olması için de FRP sistemi uygulanabilir (Şekil 3.9).

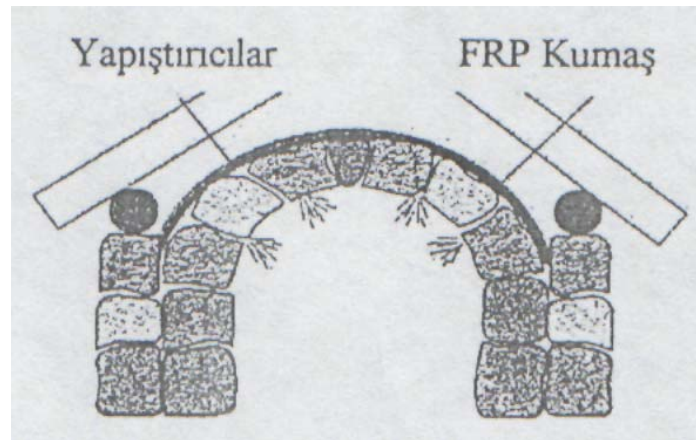


Şekil 3.9. FRP'lerle güçlendirilmiş duvar

3.4.6.5. Yığma yapılarda uygulama şekilleri

Yığma yapıların duvarları taşıyıcıdır. Bu duvarların kesmeye ve eğilmeye karşı mukavemeti FRP sistemlerde arttırılabilir. Eğer bu duvarlar hasar gördüyse, çatlaklar epoksi bazlı yüksek mukavemetli tamir harçlarıyla doldurulur ve tüm yüzeye FRP kumaş yapıştırılır.

Tarihi yapıların kubbelerindeki hasarları gidermek için FRP sistemler dıştan uygulanırlar. Tekrar üzerleri kurşun kaplandığında yapılan güçlendirme belli olmaz ve tarihi doku bozulmamış olur. Taş kemerlerin üzerinden veya altından FRP uygulaması yapılarak taşların sarsıntı anında birbirlerinden ayrılması engellenir. (Şekil 3.10)



Şekil 3.10. FRP'lerle güçlendirilmiş taş kemer

3.4.6.6. Ahşap yapılarda uygulama şekilleri

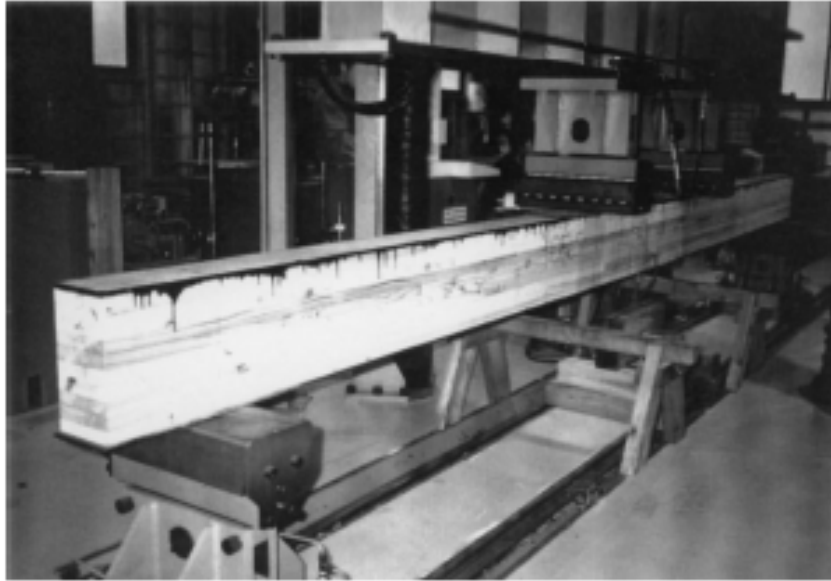
Günümüzde tarihi ahşap evlerin çoğu yıkılmış birçoğu da hasar görmüştür. Bu durum mevcut ahşap yapılarımızın güvenli ve hızlı bir şekilde onarım ihtiyacını doğurmuştur. Klasik restorasyon teknikleri tarihi dokuyu koruma, zaman maliyet ve güvenlik açısından yeterli değildir. Ahşap yapıların taşıyıcı elemanlarının FRP ile onarımının çok kısa sürede yapılması hem güvenlik hem de zaman ve görsellik açısından büyük önem taşımaktadır. Şekil 3.11’de FRP’lerle güçlendirilmiş ahşap taşıyıcı sistemler görülmektedir.





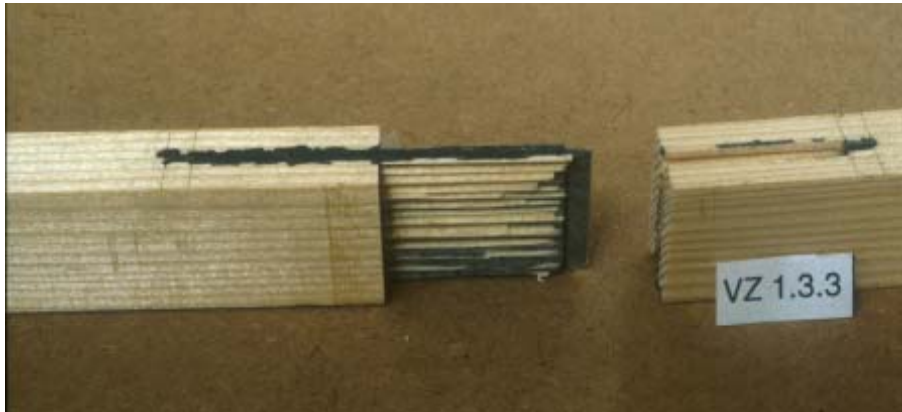
Şekil 3.11. Ahşap taşıyıcı sistemlerin FRP'lerle güçlendirilmesi

Şekil 3.12 ve şekil 3.13'te görüldüğü şekilde yapılan deneyler sonucu elde edilen veriler incelendiğinde fiber takviyeli plastiklerle yapılan ahşap güçlendirmelerden olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Gerek onarım ve güçlendirmelerde gerekse yeni yapılan ahşap binaların birleşim bölgelerinde FRP'lerle güçlendirme yöntemleri elde edilen olumlu sonuçlar nedeniyle tercih sebebi olmuştur.





Şekil 3.12. Eğilme deneyine tabi tutulan FRP'lerle güçlendirilmiş deney numuneleri





Şekil 3.13. Çekme deneyine tabi tutulan FRP'lerle güçlendirilmiş deney numuneleri

Güçlendirme çalışmalarında kullanılan FRP çeşitleri çoğunlukla üstün dayanım özelliklerinden dolayı CFRP (karbon elyaf takviyeli plastikler) iken çalışmamızda yukarıda sayılan özelliklerden dolayı GFRP (cam elyaf takviyeli plastikler) kullanılması uygun görülmüştür. Yapılan güçlendirme çalışmalarında piyasada çok farklı şekillerde üretilen CTP (cam elyaf takviyeli plastikler) ürünlerinden pultruzyon yöntemiyle üretilen daire kesitli çubuklar kullanılmıştır.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Malzemelere dıştan etkiyen kuvvetlere karşı gösterdiği dirence mekanik davranış denir. Bu tepki türleri de malzemenin mekanik özelliklerini oluşturur. Bu özellikler de çeşitli deneysel yöntemlerle belirlenir. Malzemeler dış kuvvetler karşısında önce şekli değiştirir ve daha sonra malzeme dayanımını yitirerek akar ve kırılır.

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

Kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerini etkileyen faktörleri incelediğimizde; Ahşap, heterojen ve anizotrop bir malzeme olması nedeniyle mekanik özelliklerini incelemek zordur çünkü ahşap malzemenin mekanik özelliklerine etki eden birçok faktör sayılabilir. Bu faktörler;

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

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.

Bu etkenler bütün kompozitlerde mekanik özelliklere etki ettiği gibi, kompozit bir malzeme olan CTP' lerde de mekanik özellikleri direkt olarak etkileyen nedenlerdir.

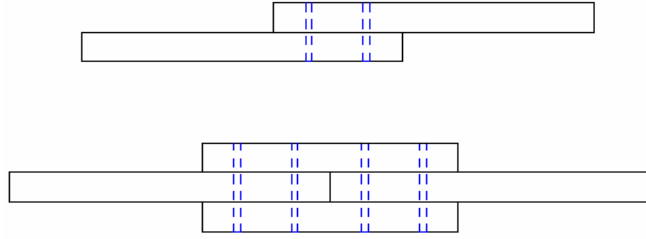
İstenilen özelliklerde bir malzeme üretilebilmesi için gerek ahşabın gerekse CTP'nin mekanik özelliklerine etki eden bu faktörler önünde tutulması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada kompozit malzemenin üstün özelliklerinin ahşabın vazgeçilmez görüllüğü içinde güçlendirme amacıyla kullanımı incelenmiştir. Bunun için de, 9 farklı konfigürasyonla güçlendirilmiş kertmeli boy birleştirilmeli ahşap numunede çekme deneyi yapılmıştır. Çekme deneyinde, numunelerin çekme gerilmeleri değerleri karşılaştırılacaktır.

4.1. Çekme Deneyi

Çekme deneyi; Ahşap ve CTP malzemelerinin, çekme gerilmesini tespit etmek amacıyla yapılmıştır. Masif ahşap ve CTP numuneler hazırlanmış ve çekme testine tabi tutulmuştur. İnşaat sektöründe, gerek ahşap yapı imalatı esnasında taşıyıcı sistemde yaygın olarak boy birleştirmelerin kullanılmaktadır. Bu boy birleştirmelerde lif süreksizliğinden dolayı oluşan ciddi bir dayanım düşüklüğü söz konusudur. Söz konusu olan bu mukavemetin ahşaba tekrar kazandırılması veya bu düşüklüğün belli bir seviyede tutulması, bu birleşim bölgelerinde lif sürekliliğini sağlamakla mümkündür. Bu durum geleneksel yapım sisteminde yapılan güçlendirmelerde ahşaplar üst üste bindirilerek veya birleştirilecek iki ahşabın alt ve üst yüzeyini iki ahşap arasında sıkıştırarak çivileme veya bulonlama yöntemiyle aşılmaya çalışılmıştır (Şekil 4.1). Ancak bu durum hem sonuç hem de oluşan çap değişikliği nedeniyle estetik açıdan ve yeterli mukavemete ulaşılma açısından istenmeyen sonuçlar doğurmaktadır. Geleneksel güçlendirmelerle ortaya çıkan dezavantajların

giderilmesi amacıyla ince işçilik gerektiren uygulamalarda CTP'lerle güçlendirmelere gidilmeye çalışılmıştır.



Şekil 4.1. Geleneksel güçlendirmede lif sürekliliğini sağlamak amacıyla yapılan ahşap boy birleştirmeler

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

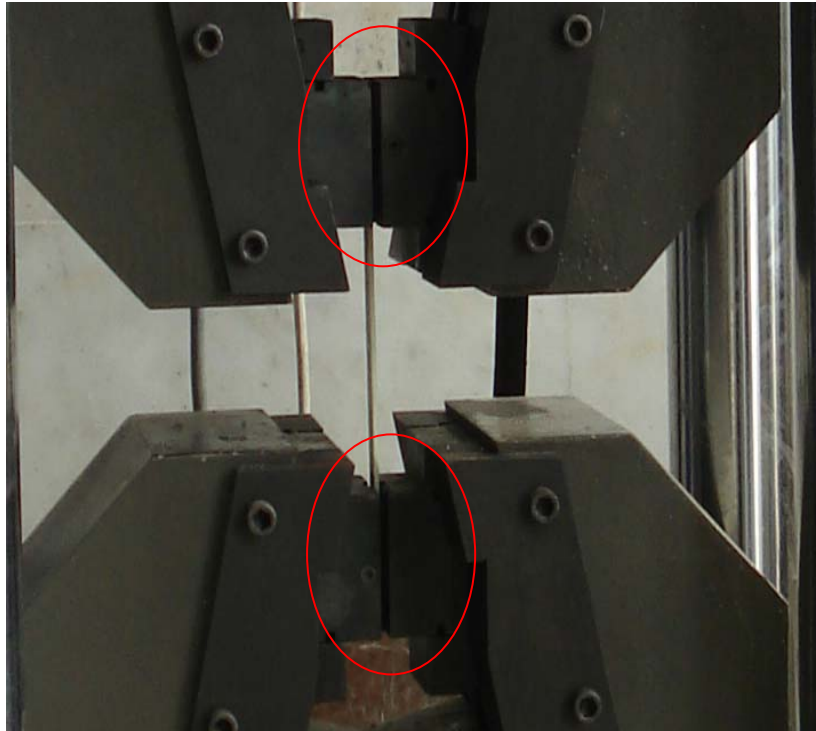
1. Cam Takviyeli Plastiklerim (CTP) çekme deneyi
2. Masif ahşap çekme deneyi
3. Birleştirilmiş ahşap deneyi
4. Tek kavelalı birleştirme deneyi
5. Çift kavelalı birleştirme deneyi
6. Tek CTP çubuklu birleştirme deneyi
7. Çift CTP çubuklu birleştirme deneyi
8. Tek CTP çubuklu tek kavelalı birleştirme deneyi
9. Tek CTP çubuklu çift kavelalı birleştirme deneyi
10. Çift CTP çubuklu tek kavelalı birleştirme değerleri
11. Çift CTP çubuklu çift kavelalı birleştirme değerleri

Hazırlanan ahşap numunelere, çekme makinesinde belirli hızlarda çekme kuvveti uygulanmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında Excel programına aktarılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve grafikler çizilmiş ve maksimum çekme mukavemetleri bulunmuştur. Bu çalışmasında sadece lif doğrultusuna paralel yönde deneyler yapılmıştır.

4.1.1. Çekme deneyinde kullanılan makine ve ekipmanlar

4.1.1.1. Çekme makinesi

Çekme deneyi için 40 ton çekme kapasitesine sahip, hidrolik yüklemeli ve bilgisayar donanımlı çekme makinesi kullanılmıştır. Hem manuel hem de otomatik yükleme yapabilme, deney grafiklerini çizebilme ve deney sonuçlarını rapor şeklinde sunabilme düzeneğine sahiptir. Makinenin deney parçasını tutucu çeneleri deney parçalarının eksenine, istenildiği anda kuvvet yönünde ayarlamaya uygun şekilde tasarlanmıştır. Çene yüzeyleri deney parçalarının kaymayacak şekilde pürüzlü olarak üretilmiş ve çeneler ve kendiliğinden sıkışma özelliğine sahiptir. Ayrıca makine çeneleri deney parçalarının kalınlığına ve malzemenin yapısına göre değiştirilebilmektedir. Çekme makinesi çene düzeneği ve tipleri Şekil 4.2’ de görülmektedir [35].



Şekil 4.2 Çekme makinesi çeneleri ve düzeneği

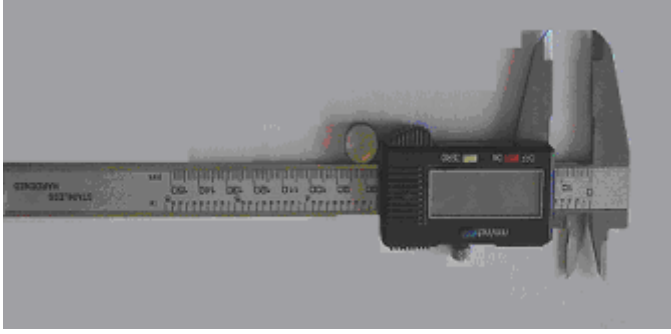
Çekme makinesi ve bilgisayar donanımı Şekil 4.3' de görülmektedir.



Şekil 4.3 Çekme makinesi ve donanımı

4.1.1.2. Kumpas

Deney sonuçlarının doğru olabilmesi için öncelikle gerekli ölçümlerin doğru olması gerekmektedir. Bunun için deneylerimizde dijital kumpas kullanılmıştır. Dijital kumpas deneyde kullanılan kalınlık ve genişliği hassas olarak ölçülmesini sağlamıştır. 0,01 mm ölçüm hassasiyetine sahiptir. Elde edilen değerler kullanıldıktan sonra tekrar sıfırlanarak ölçüm yapılabilmektedir. Çalışmamızda ki deneylerde kullanılan dijital kumpas Şekil 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.4 Dijital Kumpas

4.1.2. Çekme deney numunelerinin hazırlanması

4.1.2.1. CTP Numunelerin Hazırlanması

Güçlendirmede kullanılacak CTP numuneleri elde etmek için ülkemizde kompozit malzeme üretimi yapan Esa Kimya Metal Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. firmasından 0,45 cm çapında daire kesitli CTP çubuklar temin edilmiştir. Çeşitli çap ve elyaf/hacim özelliklerine sahip daire kesitli CTP profilleri Şekil 4.5’ de görülmektedir.



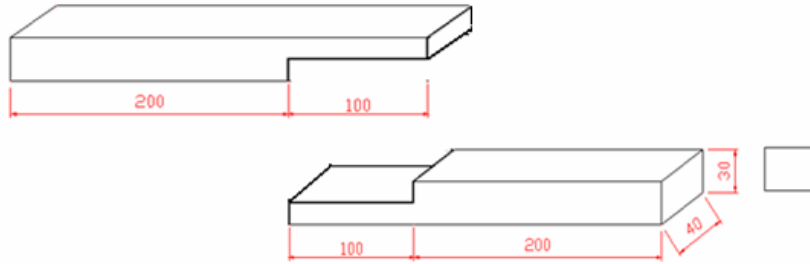
Şekil 4.5 Daire kesitli CTP profilleri

30 cm uzunluğunda kesilen numunelerinde boylarının eşit olmasına ve malzemelerin kesimi esnasında zarar görmemesine dikkat edilmiştir.

4.1.2.2. Ahşap Numunelerin Hazırlanması

Çekme deneyinde kullanılacak olan ahşap deney numuneleri 30*40 mm boyutlarında ve 50 cm uzunluğunda 1. Sınıf kurutulmuş, çatlaksız ve budaksız karaçamdan lif yönlerine paralel olacak şekilde TS 12503'e [38] uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numuneler ilk olarak ahşap çekme dayanımına, şahit numuneyi oluşturacak masif ahşap deneyi yapılmıştır. Bu deney numuneleri tek parçadan oluşan ve herhangi bir birleştirme söz konusu olmayan numunelerdir.

İkinci aşamada masif ahşapla aynı boyutlarda, ancak ortadan kertmeli boy birleştirmeyele birleştirilmiş iki parça ahşaptan oluşan numuneler hazırlanmıştır. (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. Kertmeli boy birleştirmeli ahşap numune

Hazırlanan bu iki parça ahşap birleştirme yüzeyleri çift birleşimli Teknobont 200 epoksisıyla birleştirilerek 72 saat pres altında tutulmuştur. Daha sonra bu numuneler temizlenerek çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Aynı hususlara dikkat ederek kavelalı ve CTP çubuklu 8 farklı deney numune tipi daha hazırlanarak deneye tabi tutulmuştur.

4.1.2.3. Deney numunelerin hazırlanmasında dikkat edilecek hususlar

Hazırlanan tüm numuneler;

- 1- 1. sınıf çatlaksız budaksız olmalıdır.
- 2- Aynı cins ahşaptan hazırlanmalıdır.
- 3- Kesim lif doğrultusuna paralel olmalıdır.
- 4- Deney numuneleri kurutulmuş ahşaptan elde edilmelidir.
- 5- Numune boyutları her tarafta aynı olmalıdır.
- 6- Boyutlar kumpasla tespit edilmelidir.
- 7- Kullanılacak güçlendirme elemanı ahşap numuneyi ortalamalıdır.
- 8- Tüm yapıştırma yüzeylerine epoksi sürülmelidir.
- 9- Ahşaba yerleştirilen CTP çubuklar çekme makinesi çeneleri tarafından tutulmamalıdır.
- 10- Tüm yapıştırma yüzeyleri 72 saat preslenmelidir.
- 11- Çift bileşenli epoksi karışım oranının (1/1) tüm numuneler için aynı olmasına özen gösterilmelidir.
- 12- Presten çıkan tüm numuneler epoksi artığından temizlenmelidir.
- 13- Her deney tipinden en az 5 numune hazırlanmalıdır.
- 14- Tüm deney numuneleri aynı şartlar altında deneye tabi tutulmalıdır.

Yukarıdaki hususlar dikkate alınarak hazırlanan deney numuneleri deneye tabi tutulabilecek düzeyde kabul edilir.

Deney esnasında numunelerin alt ve üst kısmından çeneler tutmakta ve çekme esnasında bu çeneler malzemenin baş kısmına basınç uygulamaktadır. Bu basınç nedeniyle malzemenin baş kısımlarında ezilmeler olmakta ve bunun sonucunda da sıyrılmalar oluşmakta ve buna bağlı olarak birim deformasyon değerlerinde deney sonuçlarında hata oluşmaktadır. Ancak çalışmamız, numunelerin çekme gerilmesi dayanımı üzerinde yoğunlaştırıldığından ve birim deformasyon değerleri kullanılmayacağından oluşan bu yöndeki hata ihmal edilmiştir.

BÖLÜM 5. DENEYLERİN YAPILMASI VE SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Cam Elyaf Takviyeli Plastiklerin (CTP) Çekme Deneyi

CTP çubuklara uygulanan çekme deneyi; gerilme, değerlerini ahşap ile karşılaştıra bilmek ve ahşap içerisinde kullanılma oranını tespit edebilme amacıyla yapılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri (Şekil 5.1), 0,45 mm çapında, putruzyon yöntemiyle üretilmiş CTP çubuklardan 30 cm uzunluğunda kesilerek elde edilmiştir.

Deneylerde, CTP çubuklara lif doğrultusunda çekme gerilmesi uygulanarak (Şekil 5.2) yüke karşılık gelen uzama değerleri bilgisayar ortamında kaydedilmiştir.



Şekil 5.1. CTP çekme numunesi



Şekil 5.2. Çekme deneyine tabi tutulmuş CTP çekme numuneleri

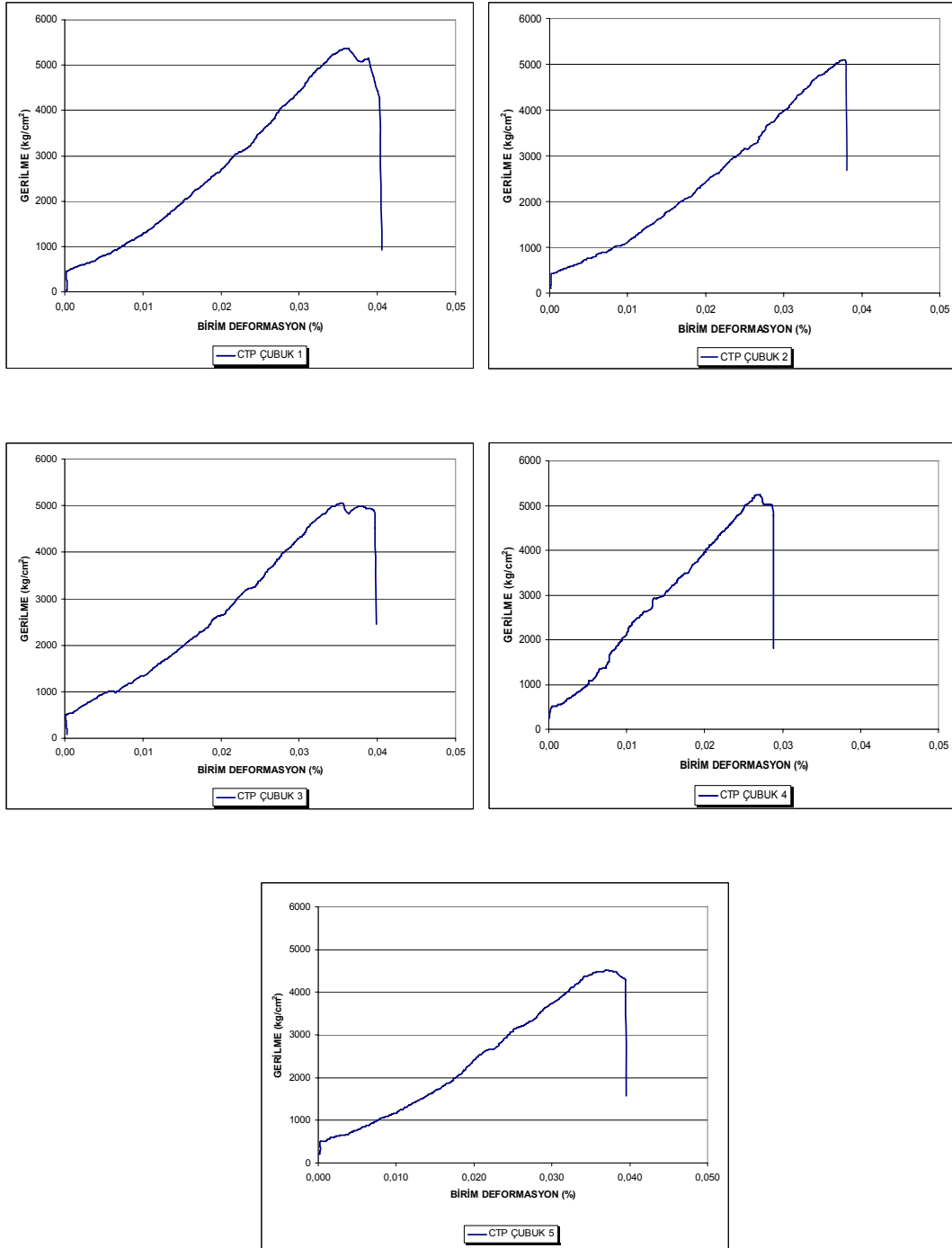
Çekme gerilmeleri Formül 6.1 kullanılarak, birim deformasyonu formül 6.2 kullanılarak hesaplanmış ve gerilme- deformasyon grafikleri elde edilmiştir. Her bir numune için gerilme/birim deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.3).

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (6.1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (6.2)$$

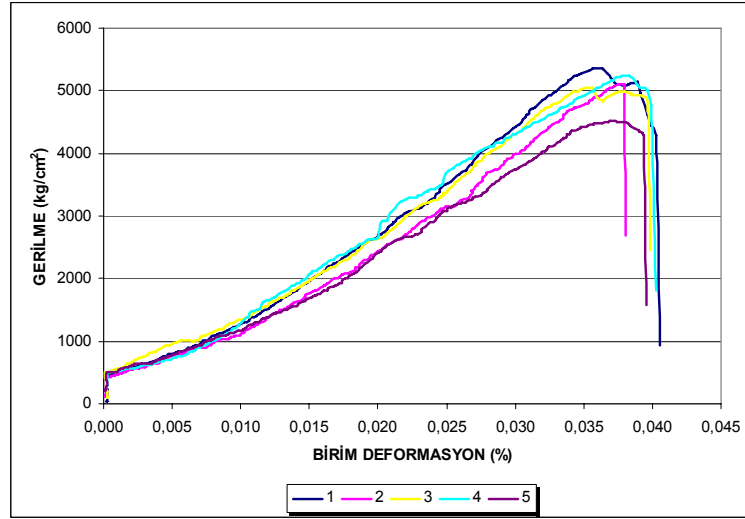
Burada; σ = gerilme (kg/cm^2), ε = birim deformasyon (%), P = yük (kg),

A = kesit alanı (cm^2), Δl = boy değişimi (cm), L = ilk boy (cm)



Şekil 5.3. CTP çubuklara ait gerilme deformasyon grafikleri

Tüm numunelere ait sonuçların birbiriyle daha rahat karşılaştırılması için gerilme deformasyon değerleri aynı grafik üzerinde verilmiştir (Şekil 5.4).

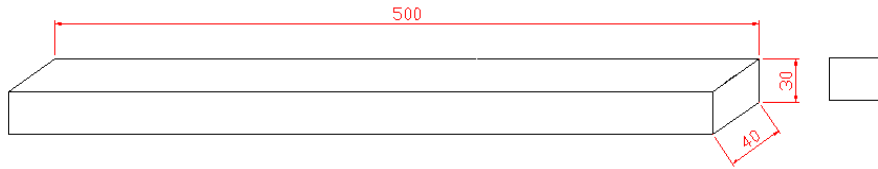


Şekil 5.4. CTP çubuklara ait toplam gerilme deformasyon grafiği

DeneySEL çalışmalar sonucunda elde edilen gerilme deformasyon grafikleri (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4) incelendiğinde CTP malzemeye ait gerilme/deformasyon eğrileri doğrusal bir davranış sergilemektedir. Sayısal değerler incelendiğinde CTP çubukların gerilme değerleri ortalaması $5056,6 \text{ kg/cm}^2$ ve birim deformasyonu $\% 0,0348$ olarak bulunmuştur.

5.2. Masif Ahşap Çekme Deneyi

Çekme deneyinde kullanılacak olan ahşap deney numuneleri 30*40 mm boyutlarında ve 50 cm uzunluğunda 1. Sınıf kurutulmuş, çatlaksız ve budaksız karaçamdan lif yönlerine paralel olacak şekilde TS 2475'e [38] uygun olarak üretilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Masif ahşap numunesi ve boyutları

Deney numuneleri hazırlandıktan sonra çekme deneyi uygulanmak üzere numuneler çekme makinesine yerleştirilmiştir (Şekil 5.6). Numunelerin çenelere sıkışması ve çene dişlerinin ahşap yüzeylere oturmasını sağlamak amacıyla ön yükleme kuvveti uygulanıp, daha sonra bu değer göstergede deney başlamadan önce sıfırlanmıştır. Numune boyutları ve çeneler arası mesafe değerleri bilgisayara kaydedilerek deney yükleme aşamasına hazır hale getirilmiştir.

Ahşap numuneleri TS 2475'te [38] belirtilen çekme makinesi yükleme hızı dikkate alınarak numuneler teste tabi tutulmuş ve deneyi sonrası numunelerin kopma şekli Şekil 5.7'de görülmektedir.

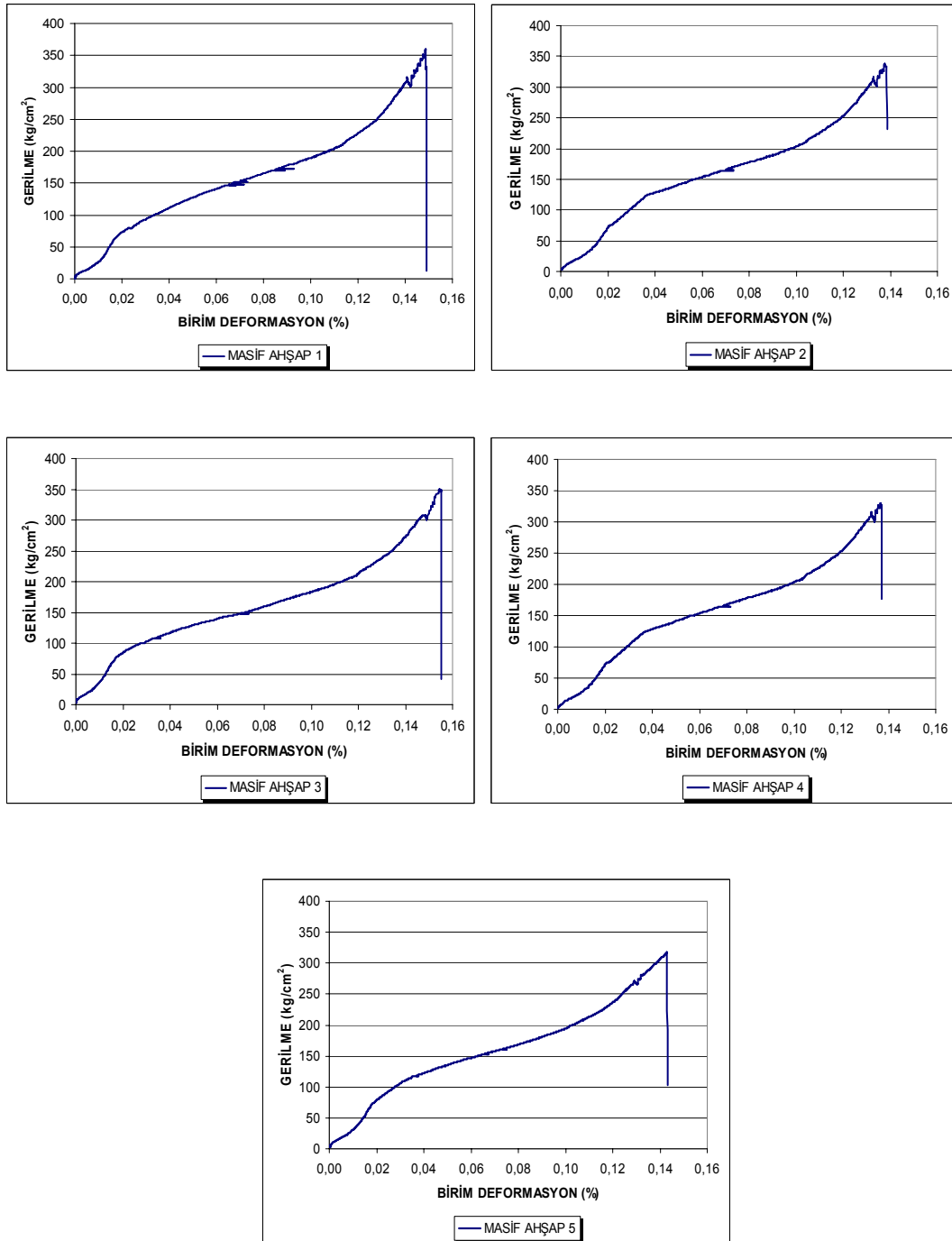


Şekil 5.6. Çekme makinesine yerleştirilmiş masif ahşap



Şekil 5.7. Çekme deneyine tabi tutulmuş masif ahşap

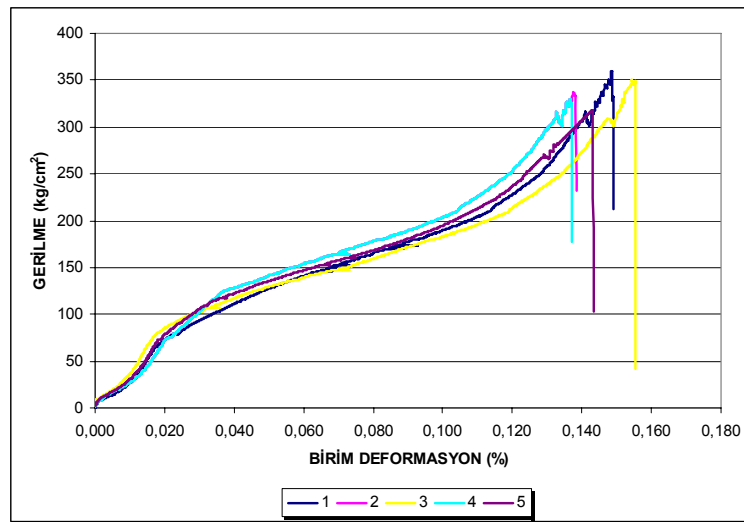
Yükleme esnasında deney numunesi koparıncaya kadar uygulanan çekme kuvveti devam etmiş ve yük- uzama değerleri bilgisayar programı tarafından kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler kullanılarak gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Masif ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

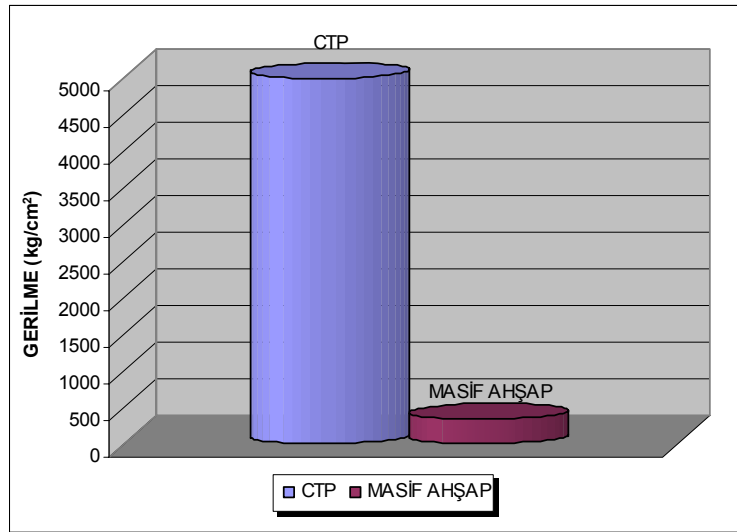
Teste tabi tutulan ahşap numuneler incelendiğinde çekme makinesi çenelerinin ahşapların uç kısımlarını deforme ettiği, dolayısıyla da uzamanın gerektiğinden fazla çıktığı tespit edilmiştir. Ancak ahşap birleştirme deneylerinde, deney numunelerinin maksimum çekme dayanımları karşılaştırılacağından dolayı bu lokal kırılmalar ihmal edilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda masif ahşap için gerilme değeri ortalaması 339 kg/cm^2 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Masif ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Elde edilen masif ahşap çekme gerilmesi değerleri CTP çubukları çekme gerilmesiyle karşılaştırılmıştır. CTP'nin ahşaba göre 15 kat daha yüksek çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.10).

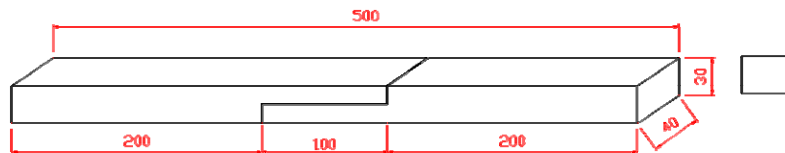


Şekil 5.10. Masif ahşap numuneleri ile CTP numunelerinin karşılaştırılması

CTP malzemesi ile ahşap malzemesi gerilme değerleri karşılaştırıldığında cam elyaf takviyeli plastik çekme gerilmesi 5056 kg/cm^2 , masif ahşap çekme gerilmesi 339 kg/cm^2 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerleri oranlarsak CTP malzemesi ahşap malzemeye göre çekme gerilmesi açısından 14,9 kat daha sağlam olduğu tespit edilmiştir. CTP numunelerin ahşaba göre çok daha yüksek dayanım göstermesinden dolayı CTP ile ahşap güçlendirme yapılması uygun görülmüştür.

5.3. Yapıştırılarak Birleştirilmiş Ahşap Deneyi

Bu bölümde ahşap birleştirme çeşitlerinden yaygın olarak kullanılan kermeli boy birleştirmesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Numuneler TS 4499 [39] göz önünde bulundurularak, masif ahşap numuneleriyle aynı boyutlarda ve ortada 100 mm bindirme olacak şekilde hazırlanmıştır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. Yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunesi ve boyutları

Yapılan ilk uygulamada birleştirme detayı üzerinde sadece yapıştırma uygulaması yapılmıştır. Numunelerin yapıştırılmasında kullanılan yapıştırıcı hem ahşabı hem de güçlendirme malzemesi olarak kullanılacak CTP çubukları yapıştırabilecek özelliklere sahip çift birleşimli bir epoksidir.

Hazırlanan ahşap numuneler (Şekil 5.11) yapıştırma yüzeyleri temizlendikten sonra hazırlanan epoksi karışımı yapışacak ahşap yüzeylere sürülerek parçalar birbirine yapıştırılmıştır. Birleştirme bölgeleri işkencelerle 72 saat preslenmiş ve pres sonrası numuneler ince zımparayla temizlenerek deneye hazır hale getirilmiştir.

Hazırlanan bu numuneler alttan ve üstten 100'er mm çeneler tarafından tutulacak şekilde çekme makinesine yerleştirilerek (Şekil 5.12) çekme deneyine tabi tutulmuşlardır.

Teste tabi tutulan ahşap numuneler incelendiğinde epoksizde herhangi bir sıyrılma olmamıştır. Meydana gelen kopma, iki parçadan oluşan ucuca birleştirilmiş numunelerde önce çekme doğrultusuna dik olan zayıf bölgede epoksi kopmuş daha sonrada ahşapta çekme yüzeyine paralel kayma yüzeyi oluşarak deney sona ermiştir. (Şekil 5.13)

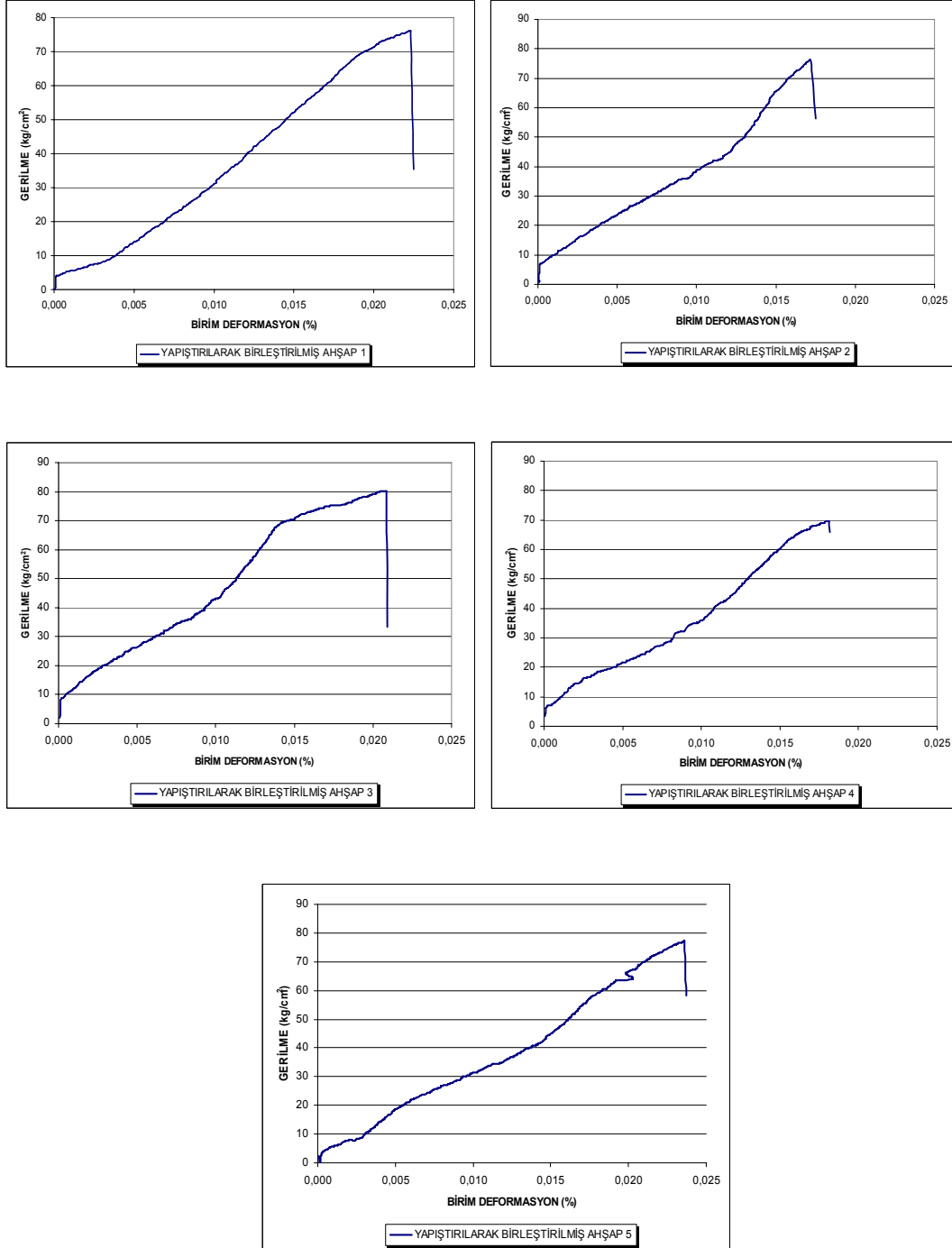


Şekil 5.12. Çekme makinesine bağlanmış yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numune



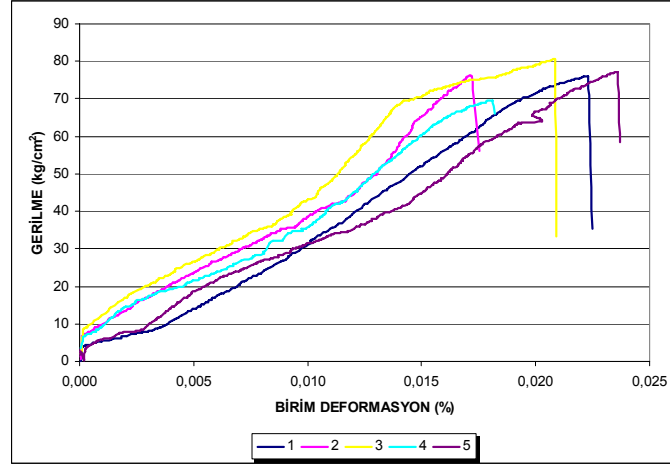
Şekil 5.13. Çekme deneyine tabi tutulmuş yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numune

Deney sonucunda kaydedilen veriler kullanılarak gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.14).



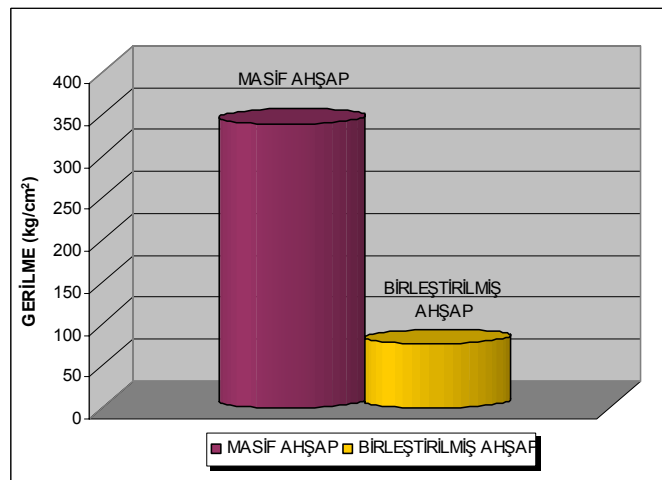
Şekil 5.14. Yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 75 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunelerine ait gerilme deformasyon grafiği

Şekil 5.16 incelendiğinde yapılan bu birleştirme sonucunda elde edilen çekme gerilmesi masif ahşap çekme gerilmesinin ancak % 22 sini karşılayabilmektedir (Şekil 5.16). Bu durum boy birleştirme bölgelerindeki lif süreksizliğinden kaynaklanmaktadır. Ahşap birleştirme yapılış durumunda ahşabın gerçek gerilme değerine yakın bir değer elde edilmesi bu lif süreksizliğinin ortadan kaldırılması ile mümkün olabilir.



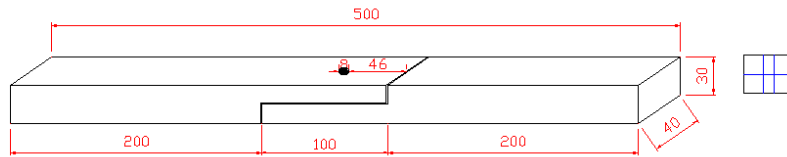
Şekil 5.16. Masif ahşap numuneleri ile yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap numunelerin karşılaştırılması

Yapılan çekme deneyleri numunelerini incelediğimizde (Şekil 5.13) numunelerin kırılma şekillerinden anlaşıldığı gibi yükün süreksiz olan lifler tarafından karşılanması ve bir kayma yüzeyi oluşturmasından dolayı çekme dayanımı oldukça düşük çıkmaktadır.

Ahşap yapılarda söz konusu olan birleşim detaylarında çivi, kavela, bulon, kamalar birleşim araçları olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kavelalı birleştirme detayları üzerinde durulmuş kavela kullanımının gerilme dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

5.4. Tek Kavelalı Birleştirme Deneyi

Yapıştırımalı birleştirme deney numunelerinde kullanılan boy birleştirmeler şeklinde hazırlanan deney numunelerine, TS 4539'a [40] göre birleştirme yüzeyinin ortasına gelecek şekilde tek kavelalı deney numuneleri hazırlanmıştır. (Şekil 5.17, Şekil 5.18)



Şekil 5.17. Tek kavelalı deney numunesi

Numunelerin birleştirilmesinde ahşap görüntüsünü bozmayacak, piyasada bol miktarda istenen boy ve çapta üretilen kavela kullanımı tercih edilmiştir. Kavela çapı deney numuneleri boyutlarına göre seçilmiştir.

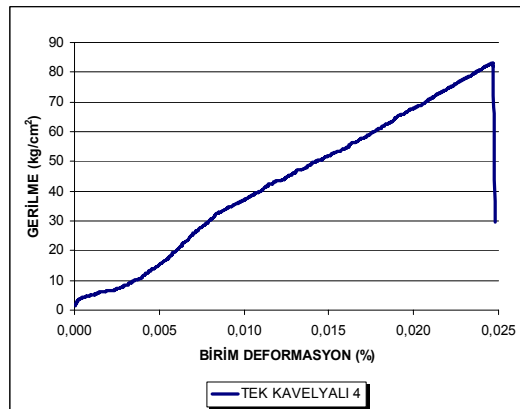
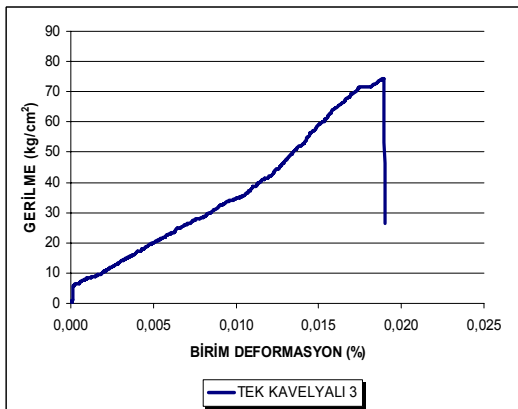
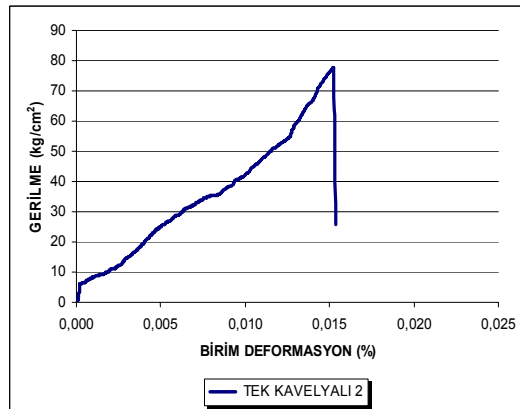
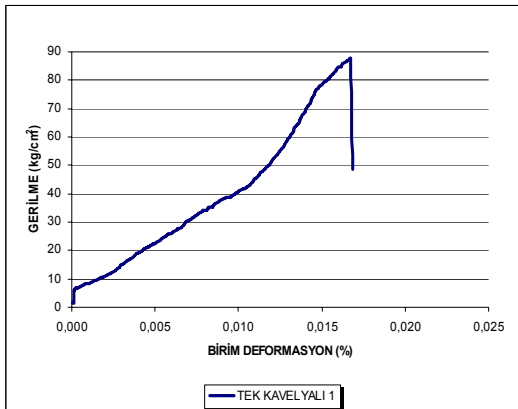
Çekme deneyine tabi tutulan numuneler (Şekil 5.19) incelendiğinde uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyini tamamen ayırıcaya kadar devam etmiş ve yük ani olarak kavelaya bindikten sonra deney sonlanmıştır.

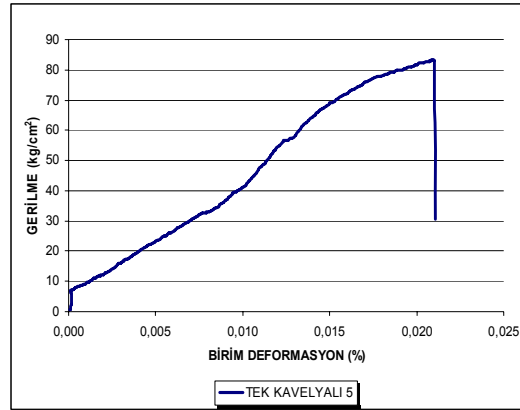


Şekil 5.18. Tek kavelalı ahşap numune

Şekil 5.19. Çekme deneyine tabi tutulmuş
Tek kavelalı ahşap numune

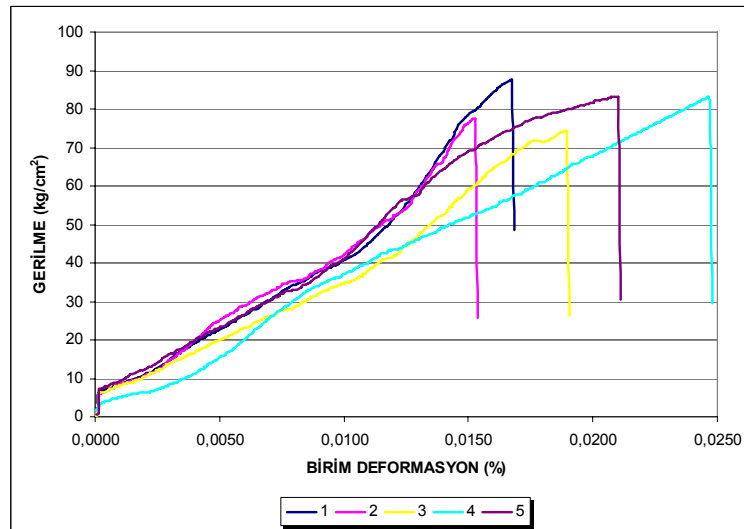
Deney sonucunda kaydedilen veriler yorumlanıp gerilme-deformasyon grafikleri çıkarılmıştır. (Şekil 5.20).





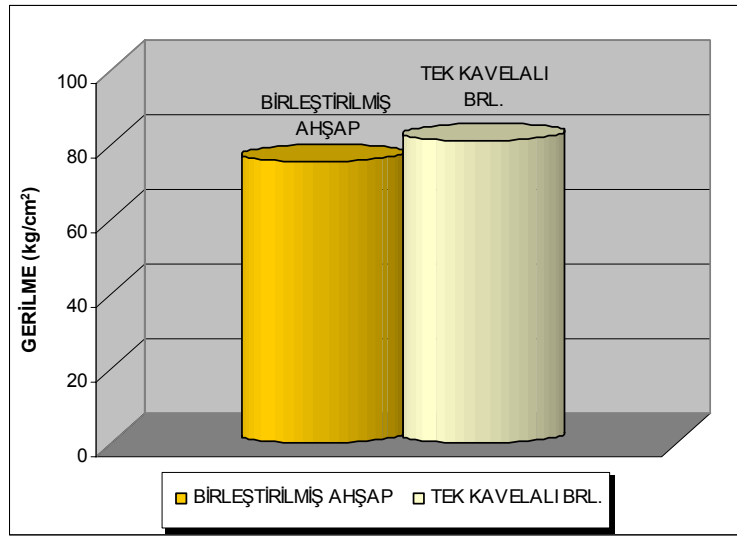
Şekil 5.20. Tek kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Yapılan deneyler sonuçlarında ortalama değerler incelendiğinde bakıldığında numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 81 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Tek kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

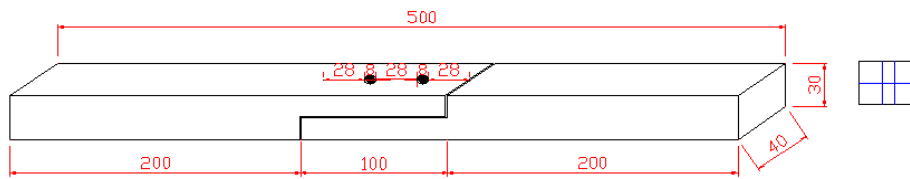
Yapılan yapıştırımlı birleştirme numunelerinde çekme gerilmesi ortalaması 75 kg/cm^2 dir. Kavelasız ve tek kavelalı birleştirilmiş ahşap numuneler çekme gerilmesi değerleri açısından karşılaştırıldığında kavelalı birleştirmede yük taşıma kapasitesi yapıştırımlı birleştirmeye göre % 8 lik bir artış göstermiştir. (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Birleştirilmiş ahşap ile tek kavelalı ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

5.5. Çift Kavelalı Birleştirme Deneyi

Tek kavela kullanılan numunelerde elde edilen gerilme artışı masif ahşaba göre çok düşük olduğundan aynı bileştirme yüzeyinde aynı eksene gelecek şekilde çift kavela kullanımı ön görülmüş ve bu doğrultuda deney numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 5.23, Şekil 5.24).



Şekil 5.23. Çift kavelalı deney numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler incelendiğinde (Şekil 5.25) uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyini tamamen ayırıcaya kadar devam etmiş, yük kavelaya bindiğinde kavela düzleminde ahşapta lifler boyunca kayma oluşmuş ve deney sona ermiştir.

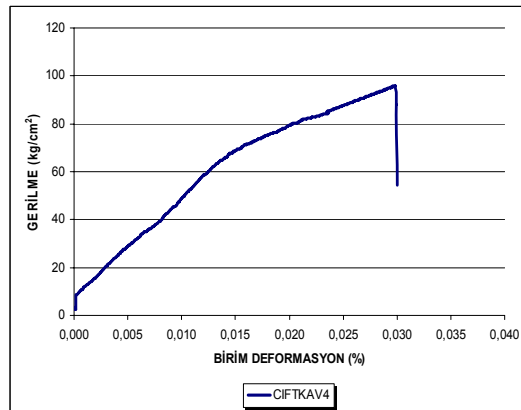
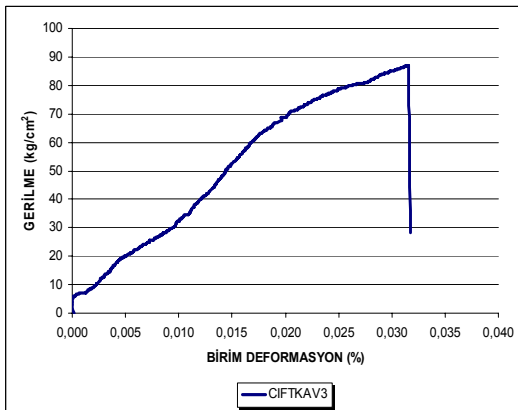
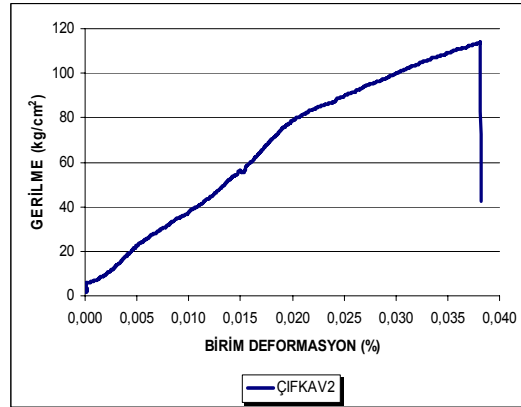
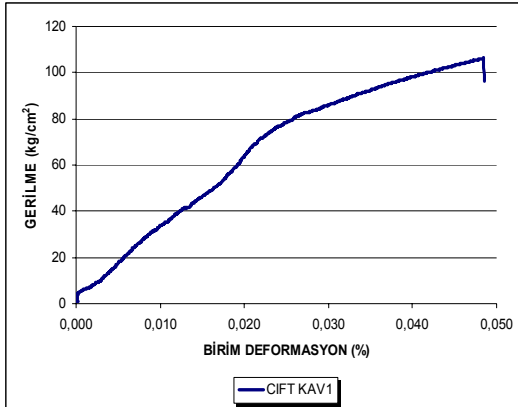


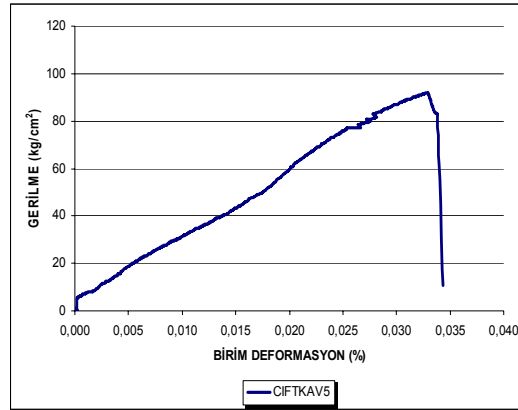
Şekil 5.24. Çift kavelalı ahşap numune



Şekil 5.25. Çekme deneyine tabi tutulmuş Çift kavelalı ahşap numune

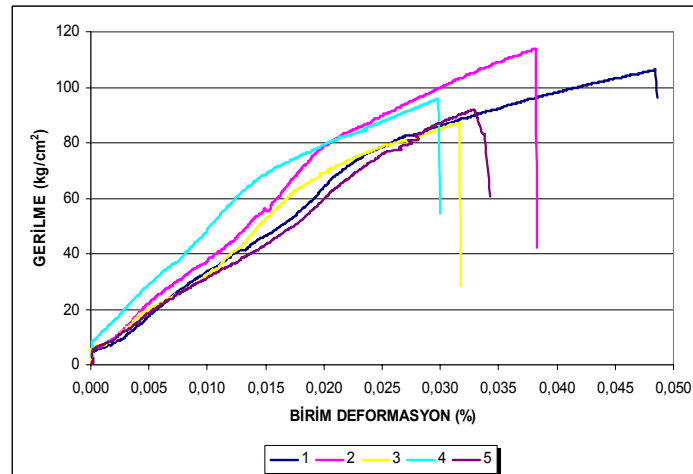
Deney esnasında bilgisayar programı tarafından kaydedilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri oluşturulmuştur (Şekil 5.26).





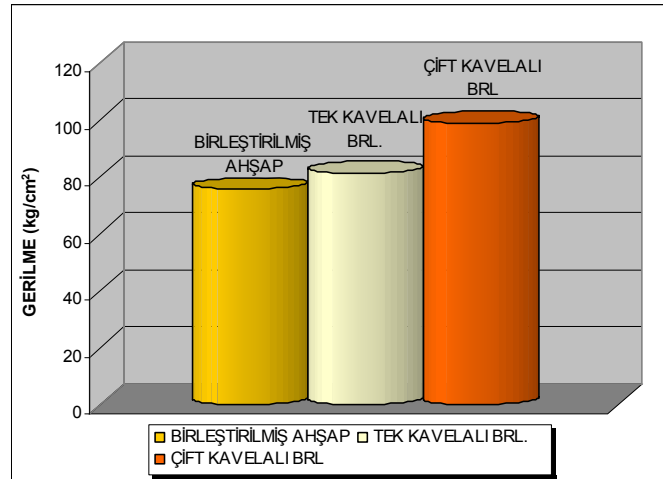
Şekil 5.26. Çift kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Yapılan deneyler sonucunda çift kavelalı ahşap birleştirme numuneleri ortalama çekme gerilmesi değeri 99 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.27).



Şekil 5.27. Çift kavelalı ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

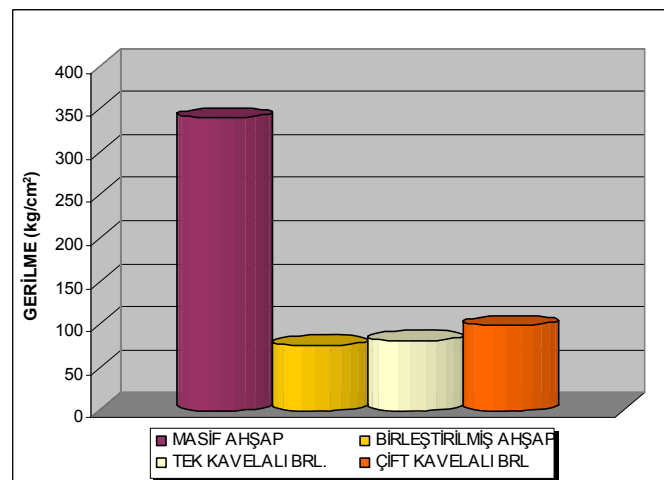
Tek kavelalı ahşap birleştirme numuneleri ortalama çekme gerilmesi değeri 81 kg/cm^2 , kavelasız yapıştırırmalı ahşap birleştirmede ise ortalama 75 kg/cm^2 dir. Sonuçlar birbirleriyle kıyaslandığında çift kavelalı birleştirme gerilme değeri tek kavelalı birleştirme değerine göre % 18 lik bir artış, kavelasız birleştirme değerine göre ise % 25 düzeyinde bir artış göstermiştir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28. Kavelalı ve kavelasız ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

Kertmeli boy birleştirmelerinde geleneksel güçlendirme yoluyla yapılan kavelalı ve kavelasız birleştirme çeşitlerini masif ahşap gerilme değerleriyle kıyasladığımızda ise (Şekil 5.29);

- 1- Kavelasız yapıştırırmalı birleştirme çekme gerilmesi masif ahşap çekme gerilmesinin % 22 sini
- 2- Tek kavelalı birleştirme çekme gerilmesi masif ahşap çekme gerilmesinin % 24 ünü
- 3- Çift kavelalı birleştirme çekme gerilmesi masif ahşap çekme gerilmesinin ancak % 29 unu karşılaya bildiği tespit edilmiştir.



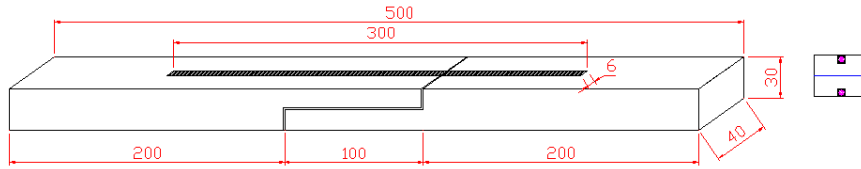
Şekil 5.29. Masif ahşap gerilme değerinin kavelalı ve kavelasız numunelerle karşılaştırılması

Sonuç olarak geleneksel yöntemlerle yapılan birleştirmelerde masif ahşabın % 29' u kadar yük taşıyabileceği tespit edilmiştir. Bu durum aynı ebatlarda kullanılan ve çekmeye çalışan birleştirilmiş bir ahşap kirişin masif ahşap kirişe göre 4 kat daha güvensiz olduğunu ortaya koymaktadır.

Yapılan birleştirmede kavela kullanımının amacı, ahşapta lif sürekliliğini sağlamaktan ziyade kayma yüzeyi güçlendirmesi olduğundan, birleştirmede oluşan lif süreksizliğini ortadan kaldırmak amacıyla, ahşap birleştirme yüzeylerinde CTP çubuk takviyesi yapılarak birleştirme bölgelerinde lif sürekliliği sağlanması hedeflenmektedir.

5.6. Tek CTP Çubuklu Birleştirme Deneyi

Çalışmanın bu aşamasında ahşaba göre çekme gerilmesi 15 kat daha yüksek olan CTP çubuklarla güçlendirme yapılarak lif süreksizliği sağlanmaya çalışılmıştır. Daha önceki yapılan deneyler için hazırlanan numunelerinin geniş yüzeylerinde, ortada 0,6 cm lik 30 cm boyunda yuva açılmıştır. (şekil 5.30)



şekil 5.30. Tek CTP çubukla güçlendirilmiş deney numunesi

Ahşaba yerleştirilecek olan 0,45 cm çapındaki daire kesirli CTP çubukları teknobont 200 epoksisıyla yapıştırılarak 72 saat pres altında tutulmuştur. Pres sonrası numuneler ince zımparayla temizlenerek deneye hazır hale getirilmiştir (şekil 5.31).

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler (şekil 5.32) incelendiğinde uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyiyle birlikte lifler tarafından karşılanmış, belirli bir düzeyden sonra birleşme yüzeylerinde ayrılma oluşmuş ve CTP çubuklar epoksiden sıyrılarak deney sonlanmıştır.

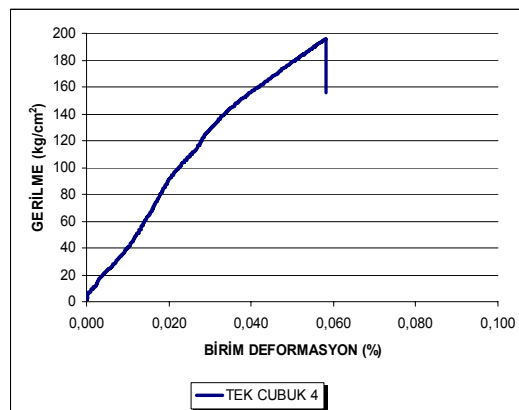
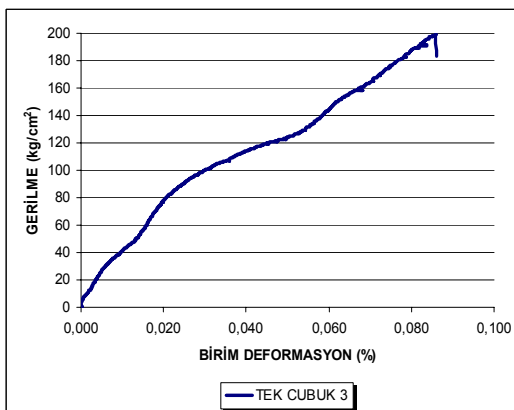
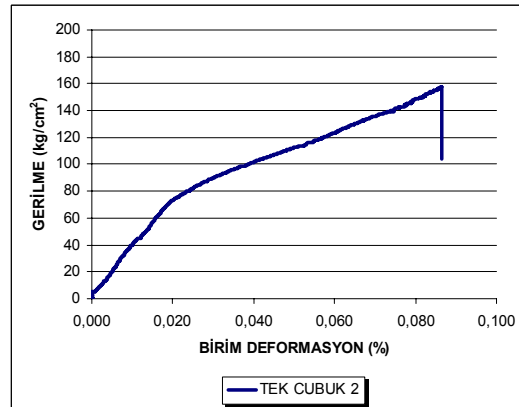
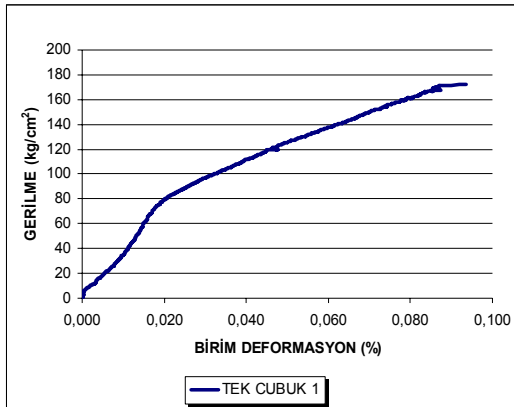


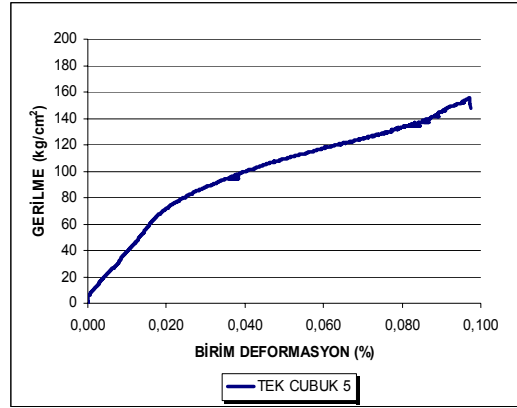
Şekil 5.31 Tek CTP çubuklu ahşap numune



Şekil 5.32 Çekme deneyine tabi tutulmuş tek CTP çubuklu ahşap numune

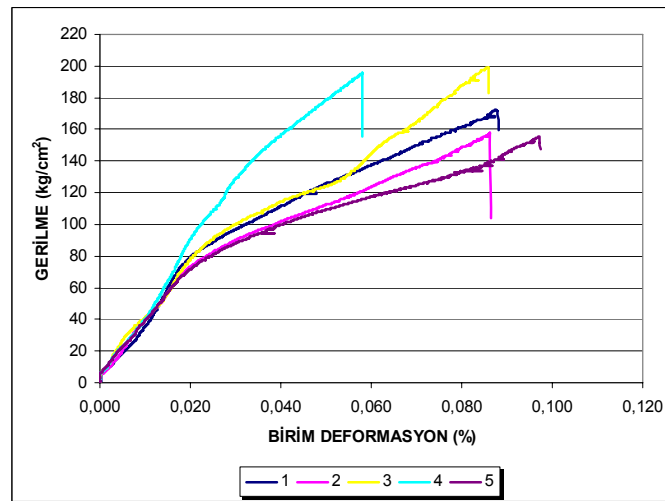
Yapılan çekme deneyleri sırasında kayıt edilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.33).





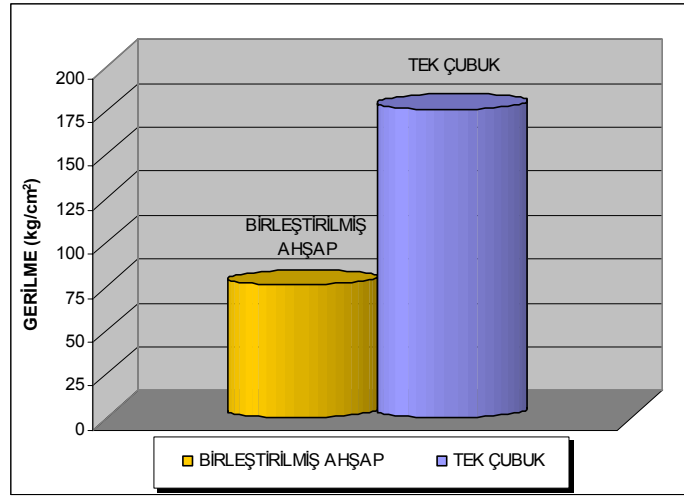
Şekil 5.33. Tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Deney sonuçlarında ortalama değerlere bakıldığında tek CTP çubuklu ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 176 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.34).



Şekil 5.34. Tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

Şekil 5.35 da görüldüğü gibi birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması yapılmış ve sonuç olarak tek CTP çubukla güçlendirilmiş numunelerin kavelasız yapıştırırmalı ahşap birleştirmeden % 135 daha yüksek mukavemete sahip olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.35. Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

5.7. Çift CTP Çubuklu Birleştirme Deneyi

Ahşap ve CTP çubuk gerilme değerleri karşılaştırıldığında, CTP çubuk çekme gerilmesi değeri ahşabın çekme gerilmesi değerinden 15 kat daha fazla olduğu tespit edilmişti. Bu oran göz önüne alınarak bir alan kıyaslaması yapıldığında;

Hazırlanan ahşap numune alanı; $30 \times 40 = 1200 \text{ mm}^2 = 12 \text{ cm}^2$ dir

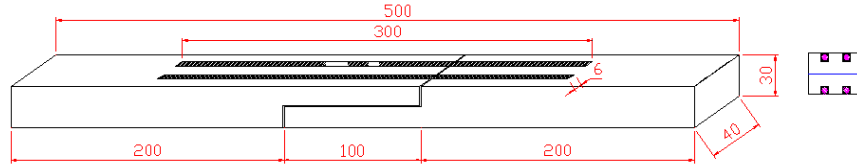
Kullanılan tek CTP alanı; CTP çubuk çapı 0,45 cm ise $A = 0,159 \text{ cm}^2$ dir

Her iki geniş yüzeyde birer çubuk kullanıldığından toplam CTP alanı $2 \times 0,159 = 0,318 \text{ cm}^2$ dir.

Ahşap ve CTP malzemelerini alan açısından oranlayacak olursak; Ahşap alanı/toplam CTP alanı = $12 / 0,318 = 37,7$ çıkar.

Çekme gerilmesi oranları göz önüne alındığında kullanılan CTP çubuk oranının az olduğu kanaatine varılmış ve her yüzeyde iki adet CTP çubuk kullanımına karar verilmiştir. İki adet CTP çubuk kullanıldığında cam elyaf oranı $12 / (0,318 \times 2) = 18,8$ olur. Ancak CTP'lerin yerleştirilmesi için ahşap üzerinde açılan yuvalar ($0,6 \times 0,6$) göz önünde bulundurulduğunda ahşap/CTP oranı 16,6 olarak bulunur. Bu değer gerilme değerleri oranına oldukça yakın olduğundan optimum değer kabul edilerek çift CTP çubuklu numuneler hazırlanmıştır.

Hazırlanan deney numunelerinde, ahşap kesiti ortalayacak şekilde iki adet 0,6 cm lik yuva açılmış ve 0,45 cm çapındaki iki adet daire kesirli CTP çubuk bu yuvalara yerleştirilerek teknobont 200 epoksisiyle yapıştırılmıştır. 72 saat pres altında tutulan bu numuneler pres sonrası ince zımparaya temizlenerek deneye hazır hale getirilmiştir (Şekil 5.36-Şekil 5.37).



Şekil 5.36. Çift CTP çubukla güçlendirilmiş deney numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan numuneler (Şekil 5.38) incelendiğinde uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyiyle birlikte lifler tarafından karşılanmış, daha sonra birleşme yüzeylerinde ayrılma oluşmuş ve liflerde epoksiden sıyrılarak deney sona ermiştir.

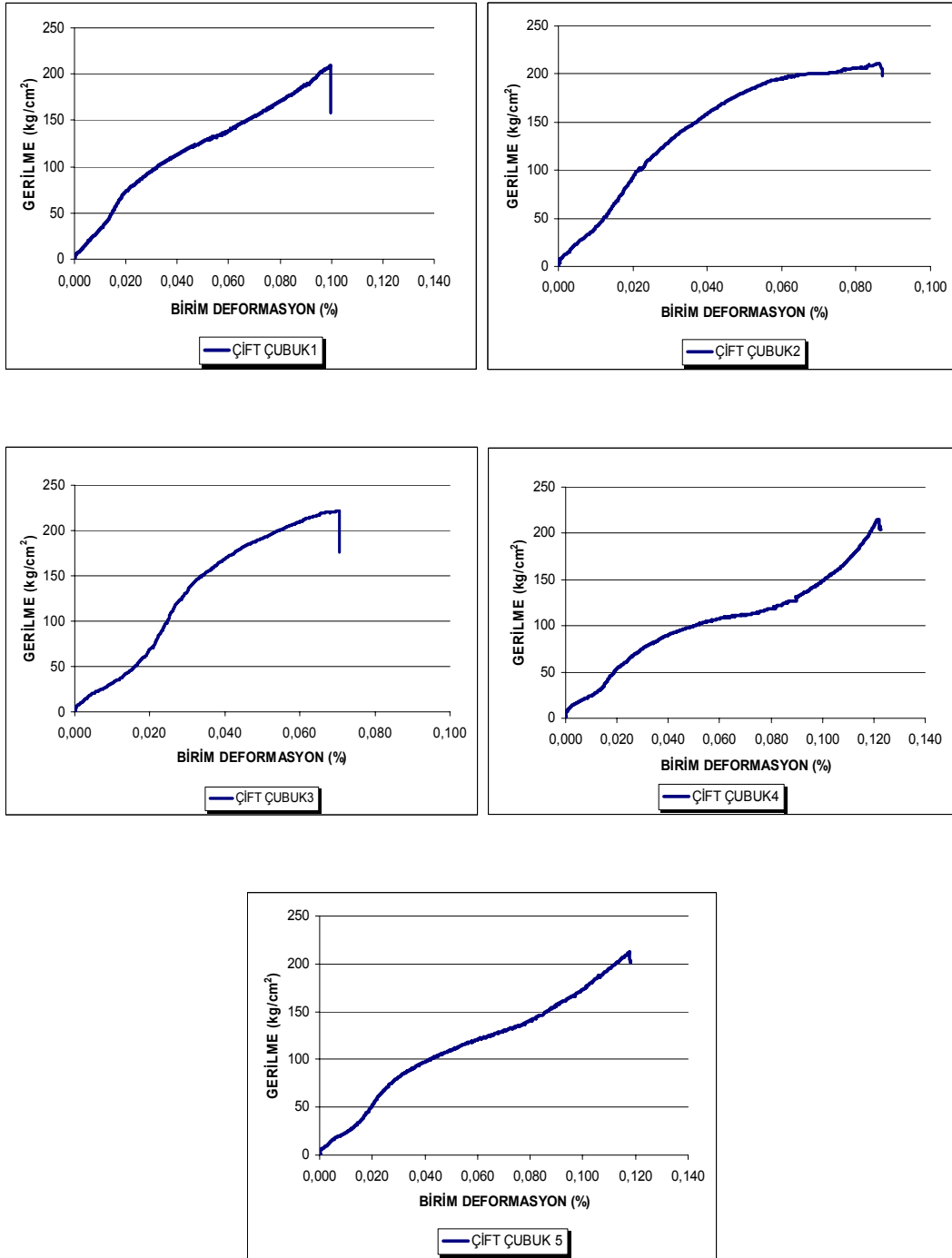


Şekil 5.37. Çift CTP çubuklu ahşap numune



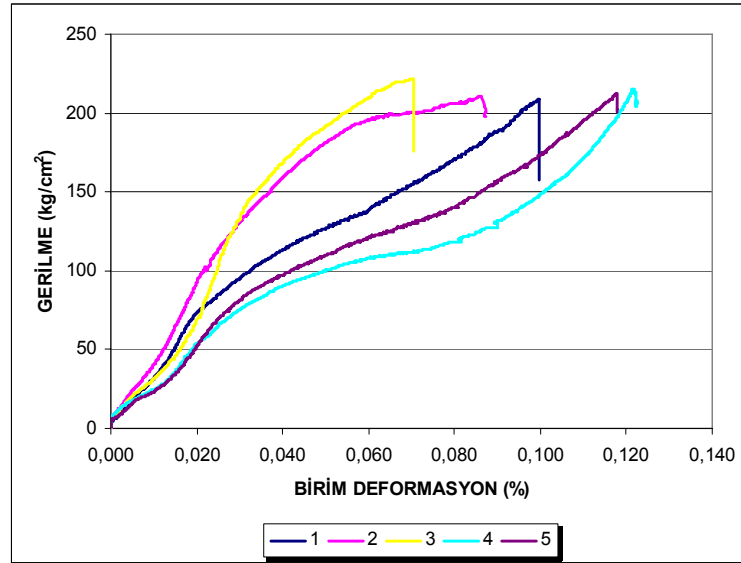
Şekil 5.38. Çekme deneyine tabi tutulmuş Çift CTP çubuklu ahşap numune

Kayıt edilen veriler kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.39).



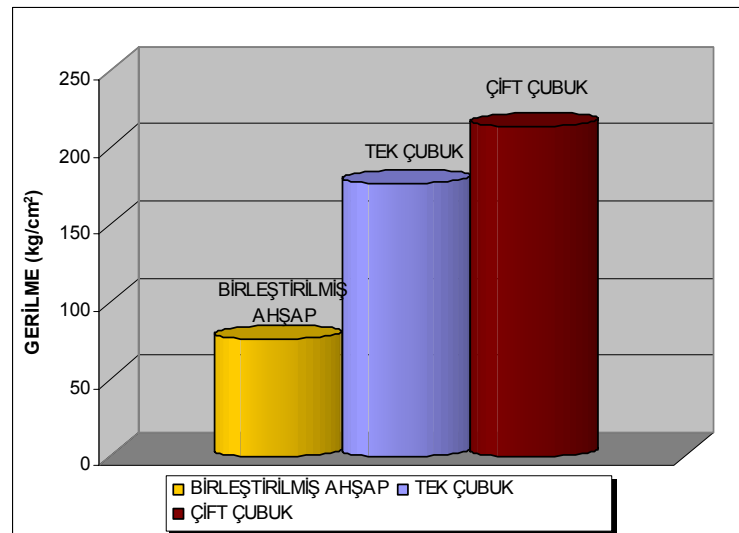
Şekil 5.39. Çift CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Yapılan deney sonucunda ortalama çekme gerilmesi değerlerine bakıldığında çift CTP çubuklu ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 214 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.40)

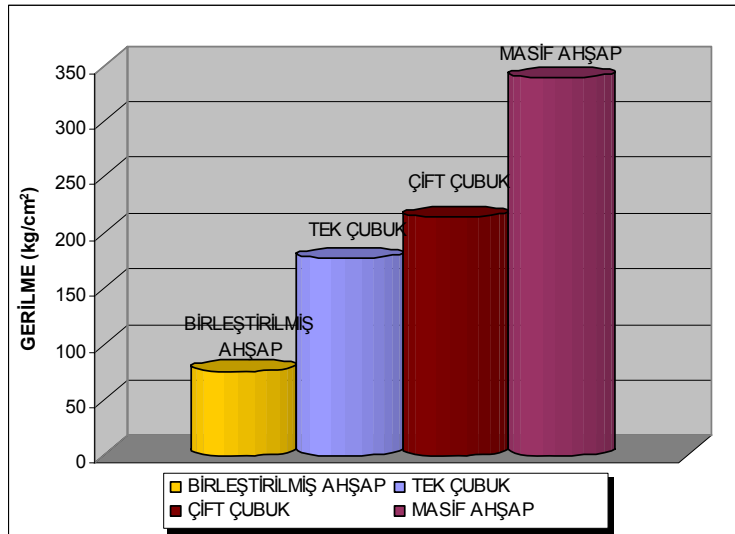


Şekil 5.40. Çift CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

Şekil 5.41 ve Şekil 5.42'ü incelendiğinde çift CTP çubukla güçlendirme, kavelasız birleştirmeye göre % 185, tek çubuklu numunelere göre ise %22 oranında bir artış elde edildiği tespit edilmiştir. Ancak masif ahşabın % 63'üne ulaşılabilmiştir.



Şekil 5.41. Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

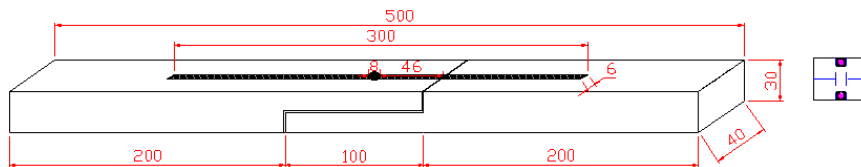


Şekil 5.42. Masif ahşap, yapıştırılarak birleştirilmiş ahşap, tek CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap ve çift CTP çubukla güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

CTP çubuklarla yapılan güçlendirmede tek ve çift çubukta iyi bir performans elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra yapıştırılmalı birleştirme numunelerinde kavela kullanımının etkisi göz önünde bulundurularak kavela kullanımının CTP çubuklu birleştirmeler üzerindeki etkisi irdelenecektir.

5.8. Tek CTP Çubuklu Tek Kavelalı Birleştirme Deneyi

Güçlendirme adına yapılan kombinasyonlara göre daha iyi bir sonuç elde edilmesi ve masif ahşap numunesi gerilme değerine ulaşılabilmesi amacıyla yapılan tek ve çift CTP çubuklu numunelere tek ve çift kavelalı çakılması ön görülmüş ve buna göre deney numuneleri hazırlanmıştır. (Şekil 5.43-Şekil 5.44)



Şekil 5.43. Tek çubuk tek kavelayla güçlendirilmiş deney numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan tek çubuk tek kavelalı numuneler (Şekil 5.45) incelendiğinde uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyiyle birlikte CTP çubuk tarafından karşılanmış, daha sonra birleşme yüzeylerinde ayrılma oluşmuş, kavela kayma yüzeyine dik olarak kesilmiş ve CTP lifi epoksiden sıyrılarak deney sona ermiştir.

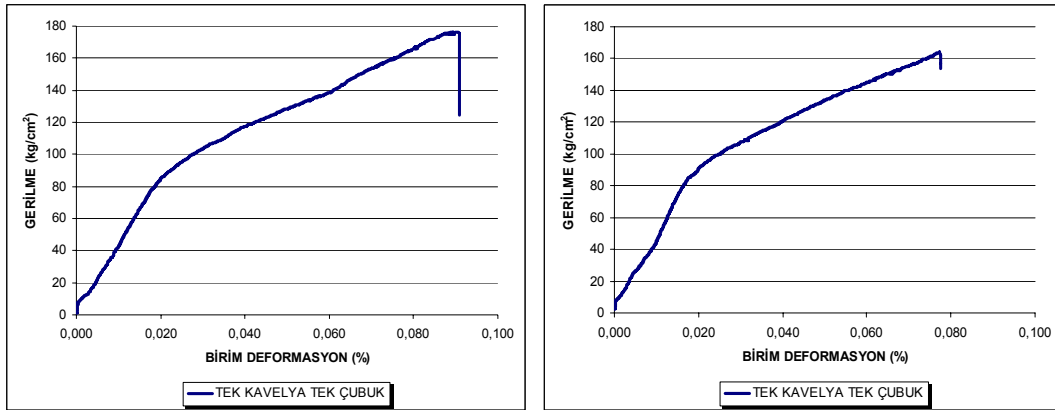


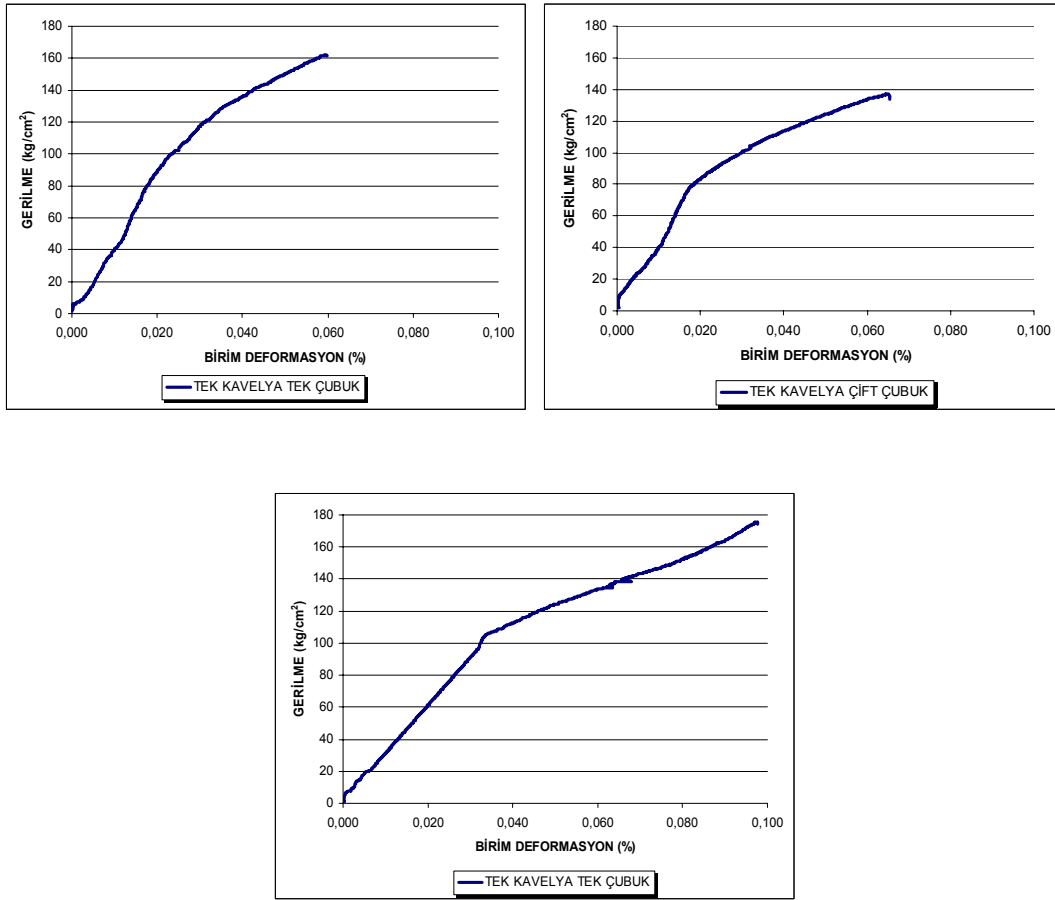
Şekil 5.44. Tek CTP çubuk tek kavelalı Ahşap numune



Şekil 5.45. Çekme deneyine tabi tutulmuş tek CTP çubuk tek kavelalı ahşap numune

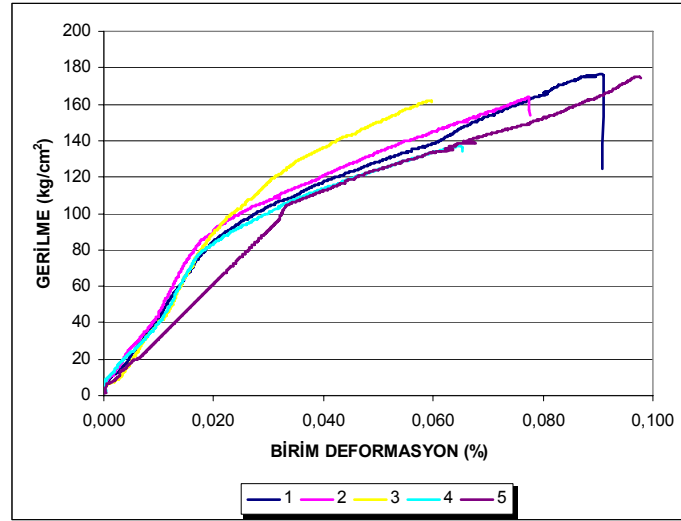
Deney esnasında kayıt edilen yük uzama kullanılarak işlenerek her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri çıkarılmıştır (Şekil 5.46).





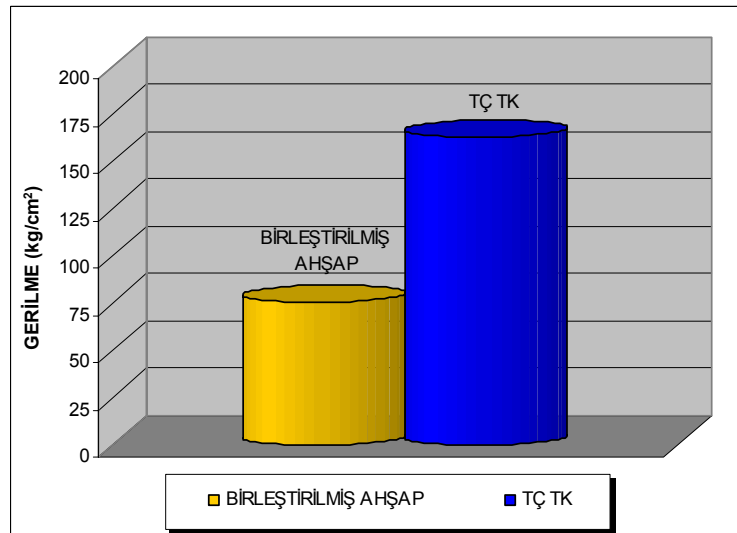
Şekil 5.46. Tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Yapılan deneylerde ortalama çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde tek CTP çubuk tek kavelalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 163 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.47).



Şekil 5.47. Tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

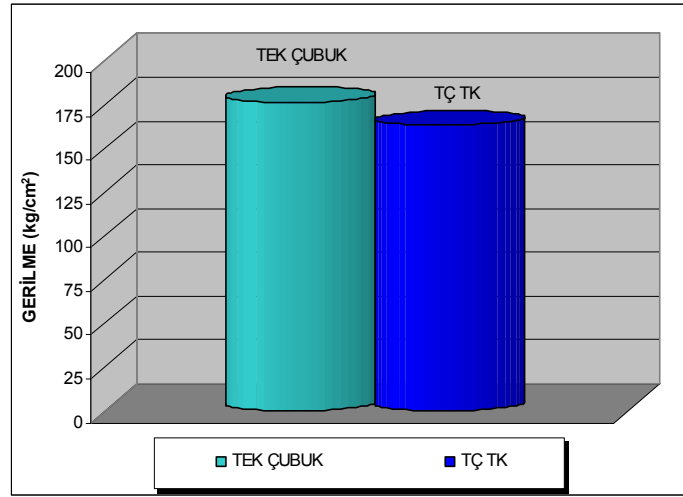
Şekil 5.48 incelendiğinde tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirme ile, kavelasız yapıştırırmalı birleştirmeye göre % 117 oranında bir artış elde edilmiştir.



Şekil 5.48. Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

Şekil 5. 49 incelendiğinde tek CTP çubuk tek kavelalı numunelerin çekme gerilmesi kavelasız tek çubuklu numunelerin çekme gerilmesiyle göre beklenenin aksine % 7 lik

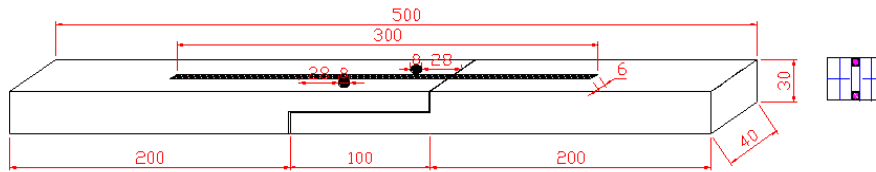
bir düşüş gözlenmiştir. Bu durum kullanılan CTP çubukların çekme dayanımının kavela olarak kullanılan ahşabın çekme dayanımından çok daha fazla olması nedeniyle numune üzerinde açılan kavela yuvasının yeni bir lif süreksizliğine sebep olduğu ancak kullanılan kavelanın birleştirme bölgesinde lif süreksizliğinden kaynaklanan gerilme kaybını karşılayamadığından gerilme değerinin düştüğü sonucuna varılmıştır.



Şekil 5.49. Birleştirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

5.9. Tek CTP Çubuklu Çift Kavelalı Birleştirme Deneyi

Bu aşamada tek CTP çubuklu numunelere çift kavela çakılarak birleştirme yapılmıştır (Şekil 5.50).



Şekil 5.50. Tek CTP çubuk çift kavelayla güçlendirilmiş deney numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan tek çubuk çift kavelalı numuneler (Şekil 5.51) incelendiğinde uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyiyle birlikte CTP çubuk

tarafından karşılanmış, belirli bir düzeyden sonra birleşme yüzeylerinde ayrılma oluşmuş ve CTP lifi epoksiden sıyrılarak deney sona ermiştir (Şekil 5.52).

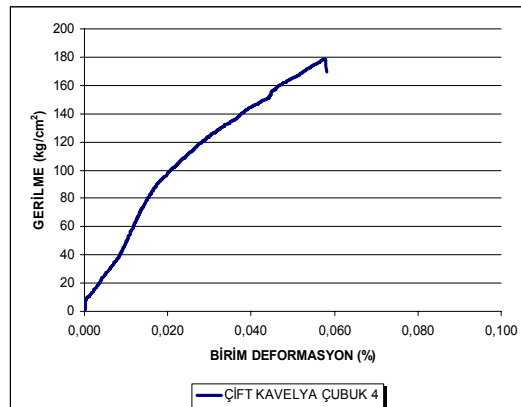
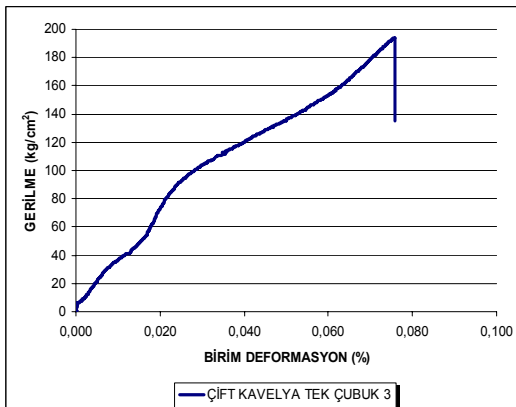
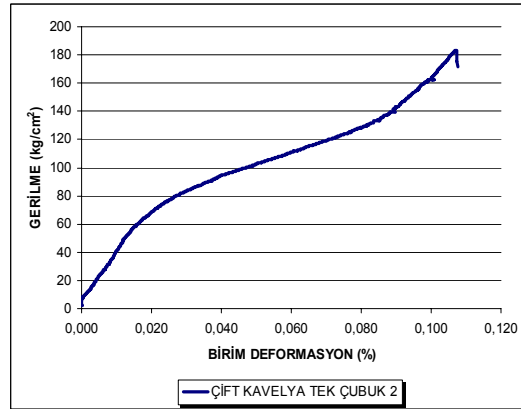
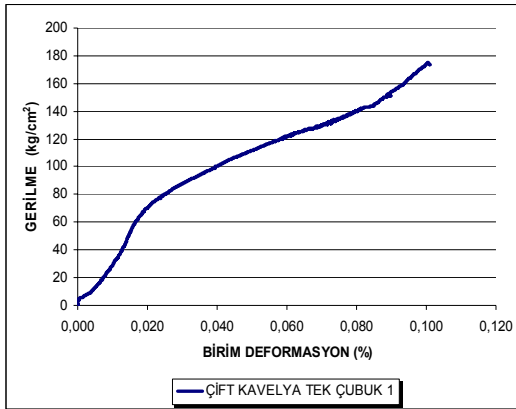


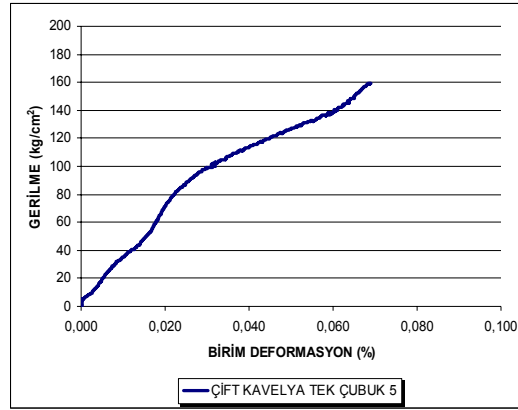
Şekil 5.51. Tek CTP çubuk çift kavelalı Ahşap numune



Şekil 5.52. Çekme deneyine tabi tutulmuş tek CTP çubuk çift kavelalı ahşap numune

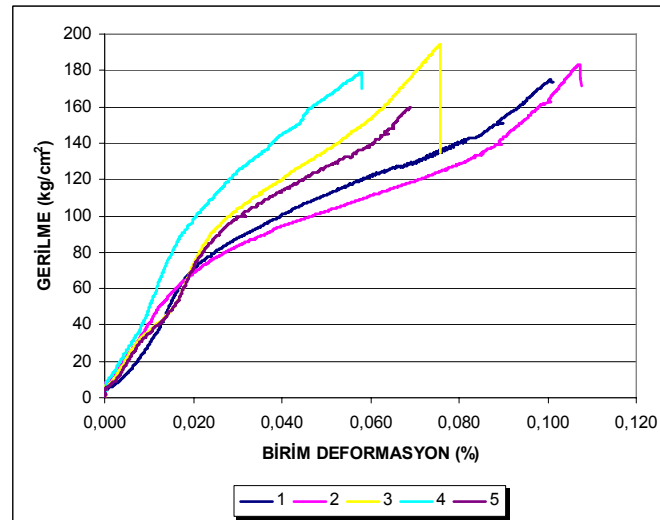
Kayıt edilen yük uzama verileri kullanılarak her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.53).





Şekil 5.53. Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

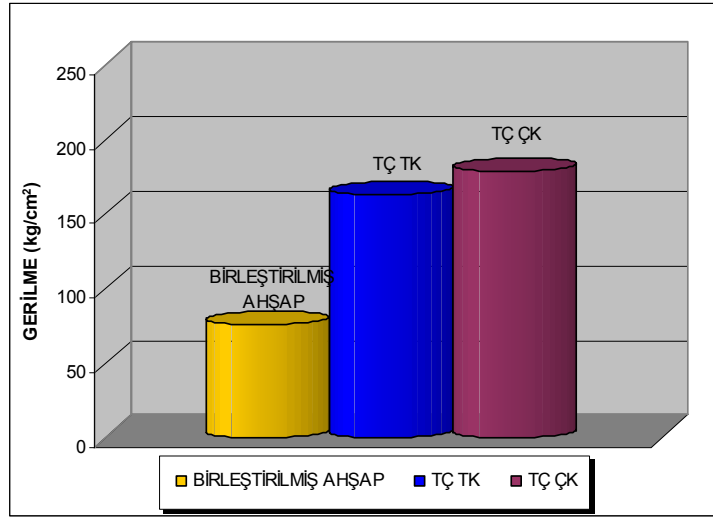
Yapılan deneylerde sonucu ortalama çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde tek CTP çubuk çift kavelalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 178 kg/cm² olarak bulunmuştur (Şekil 5.54).



Şekil 5.54. Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

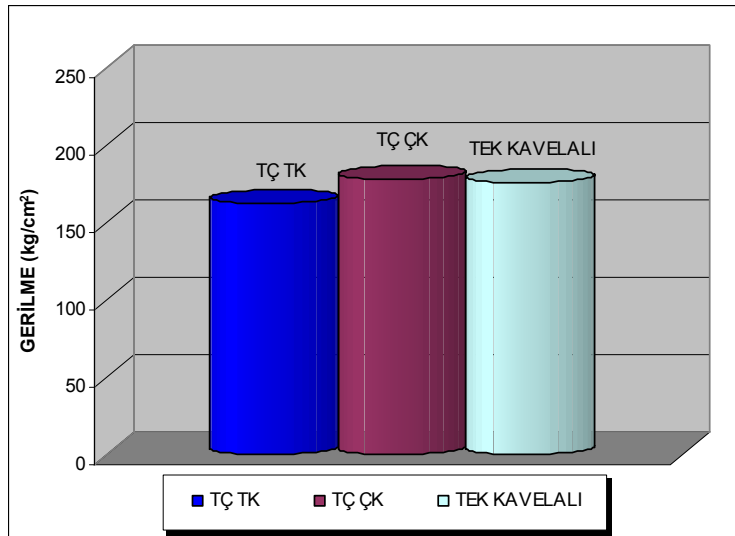
Şekil 5.55 incelendiğinde tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirme, kavelasız birleştirmeye göre % 137 oranında bir artış elde edildiği tespit edilmiştir. Tek CTP

çubuk tek kavelalı güçlendirmeye göre de % 9 luk bir artış sergilediği görülmektedir (Şekil 5.55).



Şekil 5.55. Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı ve birleştirilmiş ahşap numunelerinin karşılaştırılması

Yapılan deneylerde ahşaba çakılan kavelaların birleştirme yüzeyi sıyrılmasını engelleyerek çekme gerilmesi mukavemetinin artması beklenmektedir. Ancak tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş numune deneylerinde de izah edildiği gibi ahşap üzerine açılan 9 mm lik 2 adet kavela yuvası yeni bir lif süreksizliğine sebep olmuş ve numuneler üzerinde çift kavela kullanılmasına rağmen ancak kavelasız tek çubuklu numunelerin gerilme değerlerine ulaşılmıştır. Şekil 5.56 de numunelerin gerilme değerleri ilişkisini inceleyecek olursak tek CTP çubuk çift kavelalı numunelerin çekme gerilmesi, tek kavelalı tek çubuklu numunelerden de % 8 oranında bir artış sergilediği ve ancak kavelasız tek çubuklu numunelerle aynı düzeye ulaştığı tespit edilmiştir.

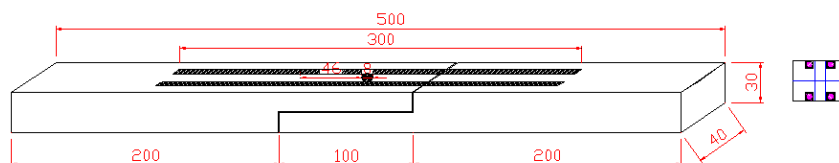


Şekil 5.56. Tek CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile tek CTP çubuk tek kavelalı ve tek kavelalı numunelerinin karşılaştırılması

Numuneler çekme gerilmesi değerleri açısından kıyaslandığında gerek tek CTP çubuk çift kavelalı numuneler gerekse tek kavelalı tek çubuklu numuneler kavelasız numunelere göre yük taşıma kapasiteleri belirgin bir artış göstermediğinden çift CTP çubuk kullanılan güçlendirmede kavela kullanımının uygun olmadığı ortaya çıkmıştır.

5.10. Çift CTP Çubuklu Tek Kavelalı Birleştirme Değerleri

Bu deney numunelerinde optimum ahşap cam elyaf oranı kullanımıyla elde edilen numuneler üzerinde kavela etkisi araştırılmıştır. Çift çubuk ile güçlendirilen bu numunelere ahşap birleştirme yüzeyini ortalayacak şekilde bir adet kavela çakılmıştır (Şekil 5.57, Şekil 5.58).

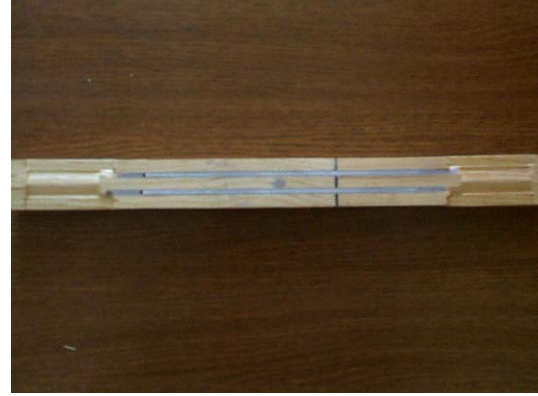


Şekil 5.57. Çift Çubuk Tek Kavelayla Güçlendirilmiş Deney Numunesi

Çekme deneyine tabi tutulan çift çubuk tek kavelalı numuneler incelendiğinde uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyiyle birlikte CTP çubuk tarafından karşılanmış, daha sonra numuneler birleşme yüzeylerinden ayrılmış ve CTP lifleri de epoksiden sıyrılarak deney sona ermiştir (Şekil 5.59).

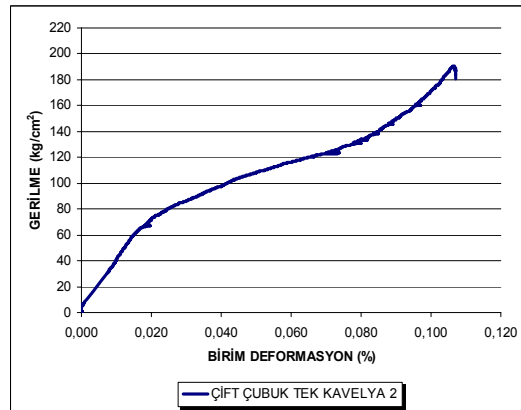
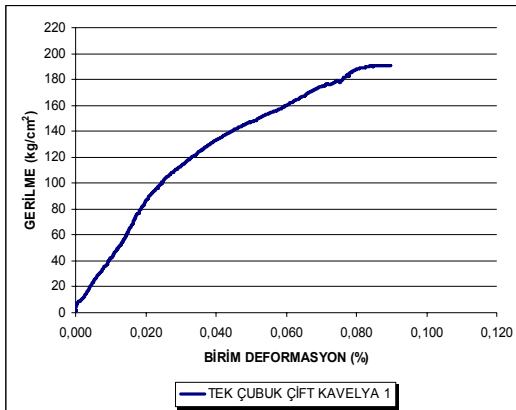


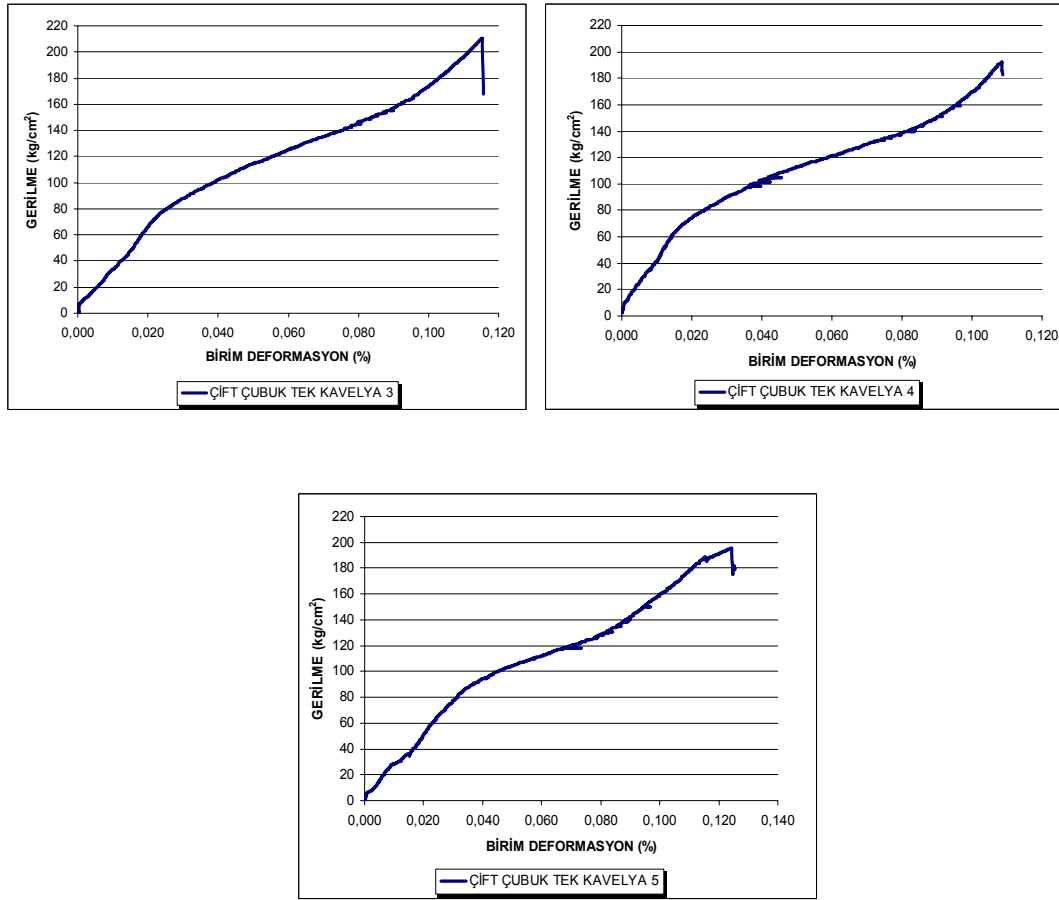
Şekil 5.58. Çift CTP çubuk tek kavelalı Ahşap numune



Şekil 5.59. Çekme deneyine tabi tutulmuş çift CTP çubuk tek kavelalı ahşap numune

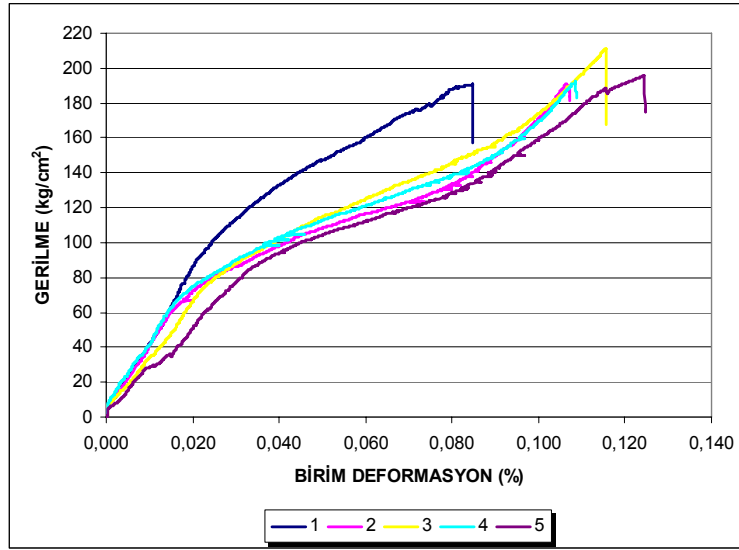
Kayıt edilen veriler Excel'de işlenerek her bir numune için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir (Şekil 5.60).





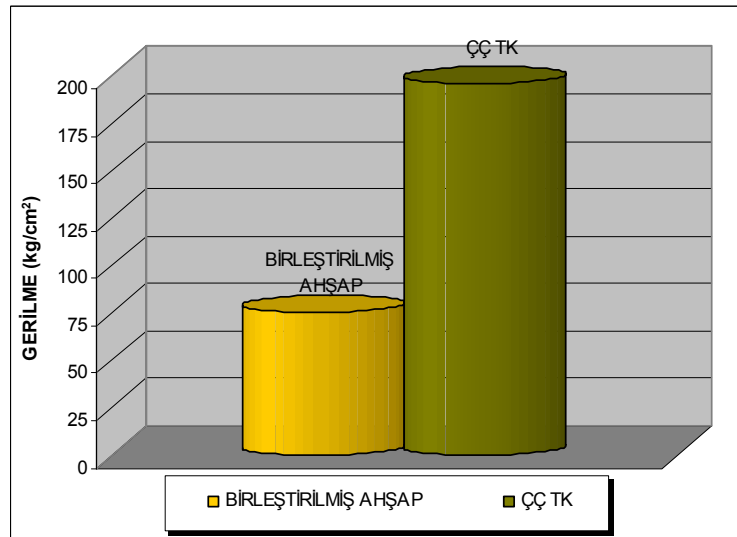
Şekil 5.60. Çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Yapılan deneylerde sonucu ortalama çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde Çift CTP çubuk tek kavelalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 196 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.61).



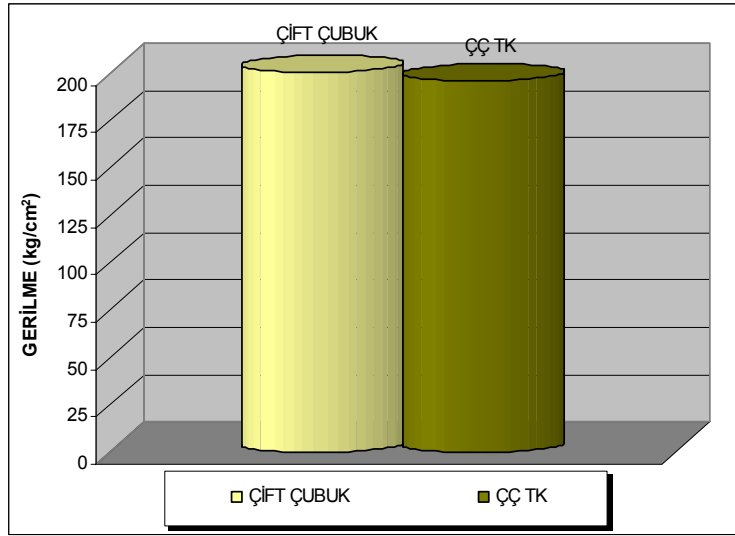
Şekil 5.61. Çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

Şekil 5.62 incelendiğinde çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirme, kavelasız birleştirmeye göre % 161 oranında bir artış elde edilmiştir.



Şekil 5.62. Birleştirilmiş Ahşap İle Çift CTP Çubuk Tek Kavelalı Güçlendirilmiş Ahşap Birleştirme Numunelerinin Karşılaştırılması

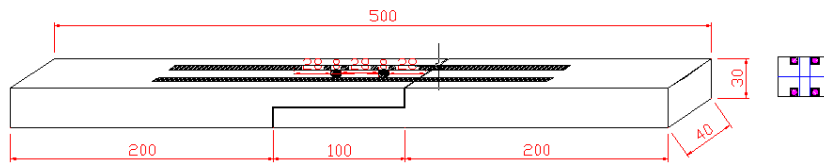
Şekil 5.63 incelendiğinde kavelasız çift çubuklu numunelerde çekme gerilmesi ortalaması değeri 213 kg/cm^2 iken çift CTP çubuk tek kavelalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 196 kg/cm^2 olduğu görülmektedir. Sonuç olarak çift CTP çubuk tek kavelalı numunelerin çekme gerilmesi kavelasız çift çubuklu numunelerin çekme gerilmesine göre beklenenin aksine yine % 8 lik bir düşüş gözlenmiştir. Bu durum daha önceden ifade edildiği gibi açılan kavela yuvasıyla oluşan yeni lif süreksizliğiyle açıklanabilir.



Şekil 5.63. Çift CTP çubuk ile çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerinin karşılaştırılması

5.11. Çift CTP Çubuklu Çift Kavelalı Birleştirme Değerleri

Çift CTP çubukla güçlendirilen ahşaplarda çift kavela etkisini araştırmak için çift çubuk ile güçlendirilen numunelere ahşap birleştirme yüzeyini ortalayacak şekilde iki adet kavela çakılmıştır (Şekil 5.64-Şekil 5.65).



Şekil 5.64. Çift CTP çubuk çift kavelayla güçlendirilmiş deney numunesi

Deneye tabi tutulan çift çubuk çift kavelalı numuneler incelendiğinde uygulanan çekme gerilmesi birleştirme yüzeyiyle birlikte CTP çubuk tarafından karşılanmış, daha sonra birleşme yüzeylerinde ayrılma oluşmuş kavela düzleminde lif yırtılmaları görülmüş ve CTP lifi epoksiden sıyrılarak deney sona ermiştir (Şekil 5.66).

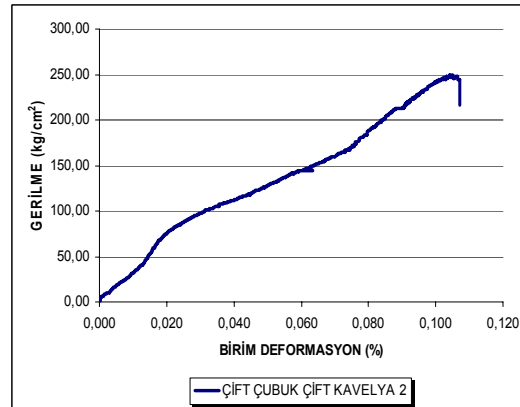
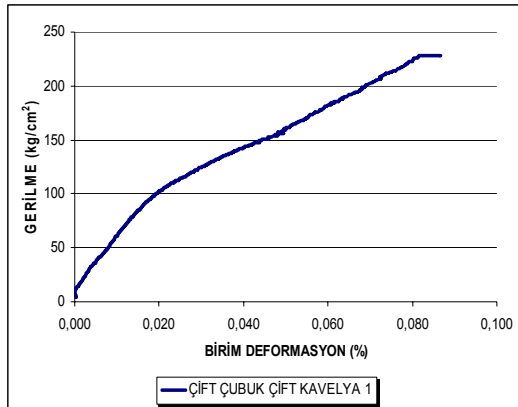


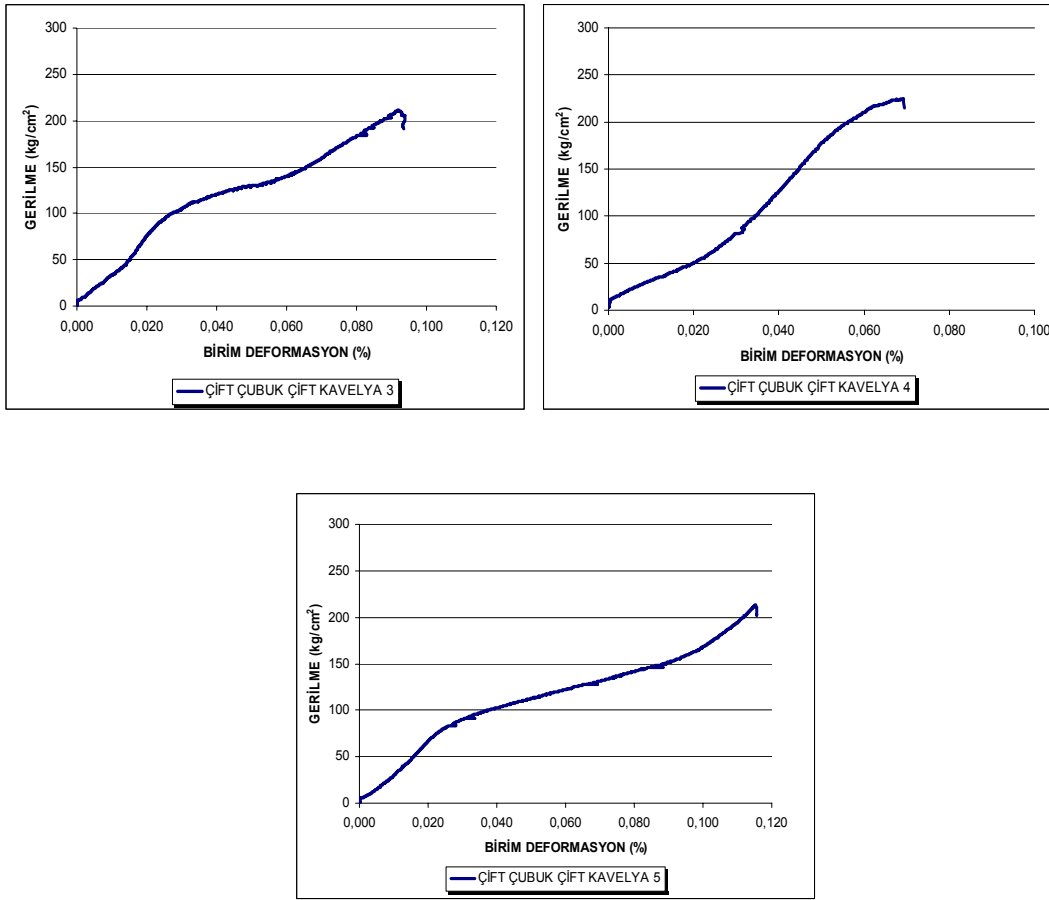
Şekil 5.65. Çift CTP Çubuk Çift Kavelalı Ahşap Numune



Şekil 5.66. Çekme Deneyine Tabi Tutulmuş Çift CTP Çubuk Çift Kavelalı Ahşap Numune

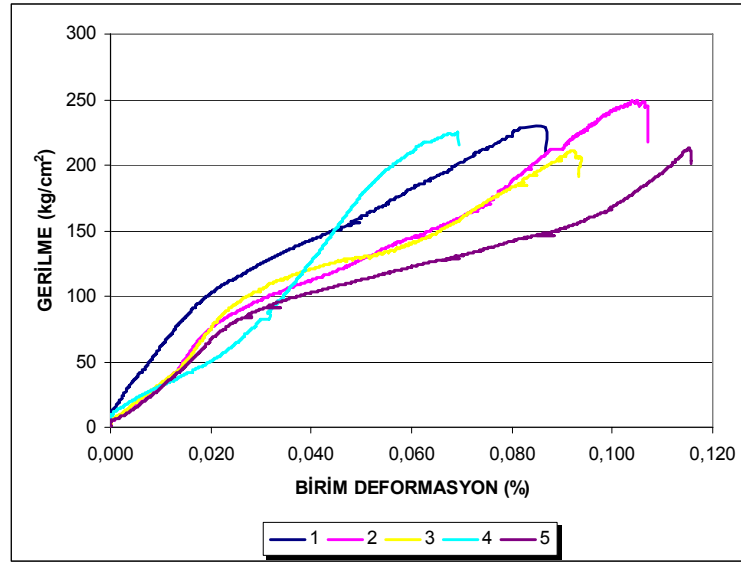
Deney sonucunda elde edilen verilerle gerilme-deformasyon grafikleri çıkarılmıştır (Şekil 5.67).





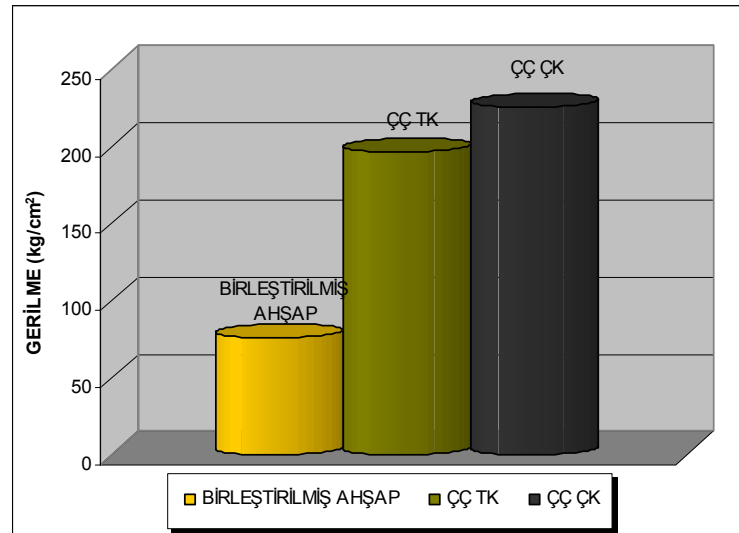
Şekil 5.67. Çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap birleştirme numunelerine ait gerilme deformasyon grafikleri

Deneyler sonucunda ortalama çekme gerilmesi değerleri incelendiğinde çift CTP çubuk çift kavelalı ahşap numunelerin çekme gerilmesi ortalaması 225 kg/cm^2 olarak bulunmuştur (Şekil 5.68).



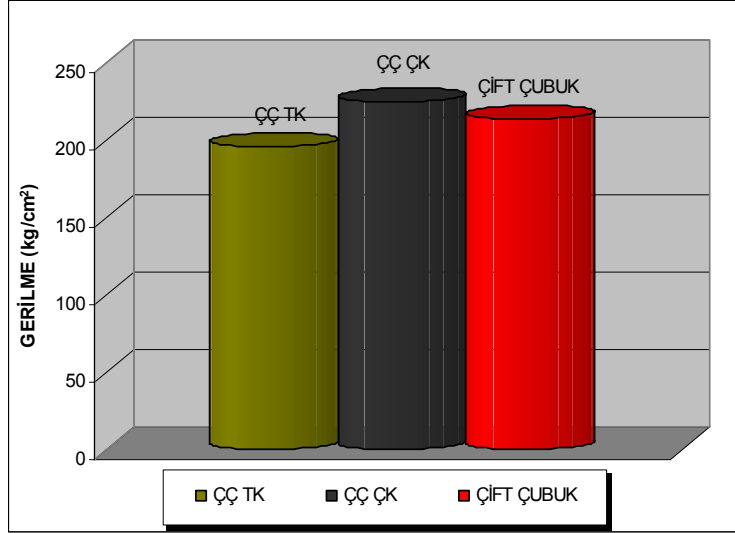
Şekil 5.68. Çift CTP Çubuk Çift Kavelalı Güçlendirilmiş Ahşap Birleştirme Numunelerine ait toplam gerilme deformasyon grafiği

Şekil 5.69 incelendiğinde çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirme, kavelasız yapıştırmalı birleştirmeye göre % 300 oranında bir artış elde edilirken çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirmeye göre de % 13 lük bir artış elde edilmiştir.



Şekil 5.69. Çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile çift CTP çubuk tek kavelalı ve birleştirilmiş ahşap numunelerinin karşılaştırılması

Yapılan deneylerde çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş numune deneylerinde de ahşap üzerine açılan kavela yuvaları yeni lif süreksizliğine sebep olmakla beraber çift CTP çubuk tek kavelalı güçlendirilmiş numunelere göre %15 lik bir artış sağlanmış kavelasız numunelere göre ise % 5 oranında bir artış elde edilmiştir (Şekil 5.70).



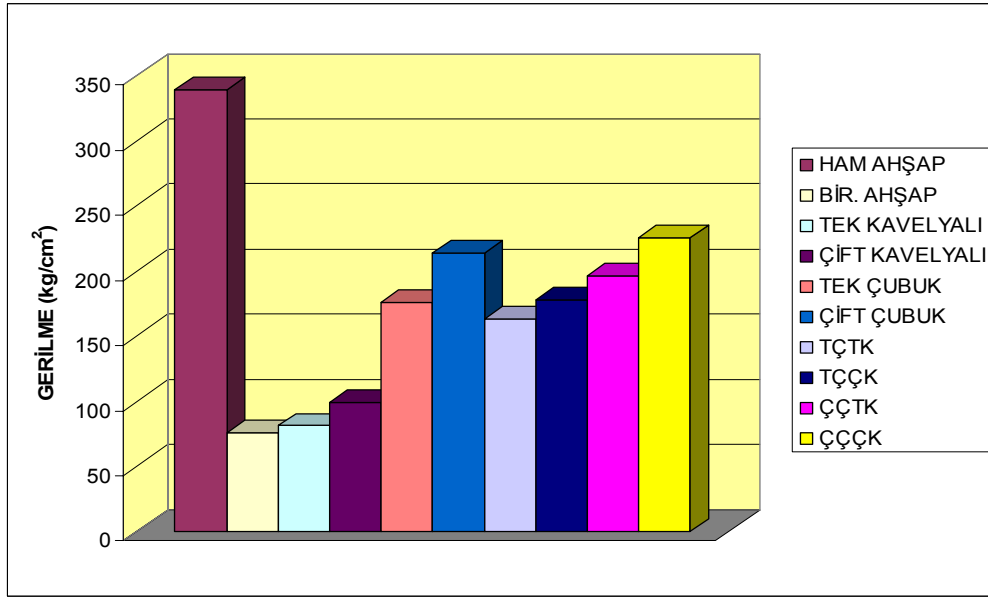
Şekil 5.70. Çift CTP çubuk çift kavelalı güçlendirilmiş ahşap ile çift CTP çubuk tek kavelalı ve çift kavelalı numunelerinin karşılaştırılması

Şekil 5.70’de numunelerin gerilme değerleri ilişkisini inceleyecek olursak tek CTP çubuk çift kavelalı numunelerin çekme gerilmesi, tek kavelalı tek çubuklu numunelerden de % 8 oranında bir artış sergilediği ve ancak kavelasız tek çubuklu numunelerle aynı düzeye ulaştığı gözlenmektedir. Deneye tabi tutulan bu numunelerde tek kavelalı numunelere göre %15 lik bir artış sağlanmış kavelasızlara göre ise % 5 oranında bir artış elde edilmiştir.

Kavela kullanımı ayrıca bir işçilik, zaman ve masraf olduğu göz önünde bulundurulduğunda getirisine oranla kullanılmamasında bir sakınca olmadığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Yapılan her grup için numunelerin ortalama çekme gerilmesi değerleri alınarak tüm numunelerin birbiriyle karşılaştırılabilmesi amacıyla ortak bir çekme gerilme grafiği oluşturulmuştur. (Şekil 6.1). Ayrıca tüm numunelere ait ortalama gerilme değerleri tablosu verilmiştir. (Tablo 6.1.)



Şekil 6.1. Deneye tabi tutulan masif ahşap ve birleştirilmiş ahşap numunelerinin karşılaştırılması

Tablo 6.1. Deneye tabi tutulan tüm numunelerin ortalama çekme gerilmesi değerleri (kg/cm²)

CTP Çubuk	Ham Ahşap	Yapıştırılarak Birleştirilmiş Ahşap	Tek Kavelalı	Çift Kavelalı	Tek Çubuk	Çift Çubuk	Tek Çubuk Tek Kavelalı	Tek Çubuk Çift Kavelalı	Çift Çubuk Tek Kavelalı	Çift Çubuk Çift Kavelalı
5056,60	339,06	75,68	81,24	99,02	176,12	213,78	162,97	178,23	196,13	225,12

Yapılan çalışmada ilk olarak masif ahşap numune değerleri tespit edilmiştir. Yapılan farklı deney tipi sonuçları masif ahşap numunelerle kıyaslanmış ve her numune çeşidi için ortalama gerime değerleri tespit edilmiştir. Uç uca yapılan kertmeli boy birleştirmesinde oluşan lif süreksizliği ortadan kaldırılarak masif ahşap için elde edilen çekme gerilmesi dayanıma ulaşılma hedeflenmiş sonuç olarak;

- CTP çubukların ortalama çekme gerilmesi değeri 5056 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Masif ahşabın ortalama çekme gerilmesi değeri 339 kg/cm^2 bulunmuştur. Cam elyaf takviyeli plastiklerin çekme dayanımı ahşabın çekme dayanımından 15 kat daha yüksek olduğundan CTP'lerle güçlendirme yapılması uygun görülmüştür.
- Masif ahşapta çekme gerilmesi değeri 339 kg/cm^2 olarak bulunmuş. Güçlendirme yapılmayan yapıştırılarak birleştirilmiş numunelerde gerilme değeri 75 kg/cm^2 olarak tespit edilmiştir. İster kullanılacak yeni ahşap elemanlarının boyut yetersizliği ister restorasyon çalışmalarında yapılacak parça değişiminde boy birleştirmeleri yapılması kaçınılmazdır ve bu bölgelerin güçlendirilmesi gerekmektedir.
- Tek kavelalı numunelerin çekme gerilmesi değeri 81 kg/cm^2 , çift kavelalı numunelerin çekme gerilmesi değeri 99 kg/cm^2 olarak elde edilmiştir. Yapıştırılarak birleştirilmiş numunelere göre kayma direnci dayanımının arttırılmasından dolayı sırasıyla % 18 ve % 25 lik bir çekme gerilmesi artışı gözlenmiştir.
- Kavela kullanılmadan yapılan tek CTP çubuklu birleştirme çekme gerilmesi değeri 176 kg/cm^2 , çift CTP çubuklu birleştirme çekme gerilmesi değeri ise 216 kg/cm^2 olarak tespit edilmiştir. CTP çubuklar ile yapılan güçlendirmelerle sırasıyla %135 ve % 185 çekme gerilmesi dayanımı elde edilmiştir. Elde edilen bu dayanım birleşim bölgelerinde CTP'lerle güçlendirme yapılmasının olumlu olduğunu ortaya koymaktadır.

- CTP kullanımıyla bir ölçüde lif süreksizliğine karşı elde edilen dayanımla birlikte birleşim bölgelerinde çekme yönüne dik yönde oluşan kayma yüzeyinde güçlendirmek amacıyla kavela kullanımına gidilmiştir. Tek CTP çubuklu numunelerde tek ve çift kavela kullanılarak çekme gerilmesi sırasıyla 163 kg/cm^2 ve 178 kg/cm^2 olarak bulunmuştur. Yapıştırılarak birleştirilmiş numunelere göre % 117 ve % 137 lik bir dayanım elde edilmiştir.

Aynı şekilde çift CTP çubuklu numunelerde tek ve çift kavela kullanılarak elde edilen çekme dayanımları sırasıyla 196 kg/cm^2 ve 225 kg/cm^2 dır. Bu değerler yapıştırılarak birleştirilmiş numunelere göre % 161 ve % 200'lük bir dayanım elde edilmiştir.

Yukarıdaki kıyaslamalarla;

1. Hazırlanan farklı deney numunelerinde masif ahşap numunelere göre çekme gerilmesi bakımından en düşük olanı hiç güçlendirme yapılmamış yapıştırılarak birleştirilmiş numunelerdir. En iyi sonuç veren numuneler ise çift kavelalı çift CTP çubuklu numunelerdir.
2. Masif ahşap dayanımı göz önüne alındığında Çift kavelalı çift çubuklu numunelerle % 70 oranında iyileştirme sağlanmıştır. Diğer bir ifadeyle % 70 oranında lif sürekliliği sağlanmıştır.
3. Güçlendirilme yapılmamış yapıştırmalı birleştirmelere göre % 200 lük çekme gerilmesi artışı elde edilmiştir.

CTP ile yapılan güçlendirmelerle elde edilen avantajlar şu şekilde sıralanabilir.

- Yüksek dayanıma sahip ahşap yapı tasarlamak,
- Daha küçük malzeme kesitleriyle istenen dayanımı elde etmek
- Birleşim bölgelerinde oluşan lif süreksizliğini ortadan kaldırmak
- Daha büyük açıklıkları geçebilmek

- Onarım ve restorasyon çalışmalarında bölgesel güçlendirmelere olanak sağlamak
- Tarihi dokuyu ve ahşap görünümünü korumak
- Karmaşık birleşim detayları yerine basit ve daha sağlam birleşim detayları uygulamak mümkündür.
- Birleştirme bölgelerinde oluşan gerilme yoğunluğunu azaltarak bu bölgelerde zamanla dış etkenlerin sebep olduğu gevşeme ve dağılmaları engellemek
- Geleneksel güçlendirmede birleşim bölgelerinde uygulanan çelik levha, bulon ve gergi çubuklarına göre daha hafif uygulamalar yapmak

Konuyla ilgili gelecekte yapılabilecek çalışmalar;

Günümüzde FRP'lerle güçlendirme teknikleri gittikçe yaygınlaşmaktadır. Çalışmamız, ahşap boy birleştirmelerin CTP çubuklarla güçlendirilmesini kapsamaktadır. Aynı şekilde boy birleştirmeleri CTP levhalarla, kumaşlarla güçlendirilebilir, ayrıca CTP yerine özellikle dayanımı daha yüksek karbon veya bor elyaf kullanılarak güçlendirme yapılabilir. Bununla birlikte ahşap yapı sistemlerinde kullanılan farklı birleştirme detayları üzerinde güçlendirme yapılarak çekme, eğilme ve/veya basınç dayanımları incelenebilir. Ayrıca yapılan deneysel çalışmalarda bire bir boyutlar kullanılarak farklı birleştirme detaylarının davranışları incelenmesi mümkündür. Yapılan sistem veya bölgesel güçlendirmelerin nümerik modellemesi yapılarak farklı çalışmaların pratik uygulamada kullanımı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] CHEN C.J., Mechanical behavior of fiberglass reinforced timber joints, Louisiana, USA
- [2] STEİGER R., Fiber reinforced plastics (FRP) in timber structures, EMPA, 2003, Dübendorf, Switzerland
- [3] ROBERTO L.A., MİCHAEL A.P., SANDFORD T.C., Experimental characterization of FRP composite-wood pile structural response by bending tests University of Maine, Orono, November 2002, USA
- [4] OGAWA H., Architectural application of carbon fibers, Development of new carbon fiber reinforced glulam, Toho R. Co. Ltd. April 1999, Tokyo, Japan
- [5] PREMROV M., DOBRİLA P., BEDENİK B.S., Analysis of timber-framed walls coated with CFRP strips strengthened fibre-plaster boards, University of Maribor, Smetanova, November 2003, Maribor, Slovenia
- [6] RADFORDA D.W., GOETHEMA D.V., GUTKOWSKİB R.M., PETERSONC M.L., Composite repair of timber structures, Colorado State University, Fort Collins, July 2001, USA
- [7] PETER A. CLAİSSEU, TİM J. DAVİS, High performance jointing systems for timber, School of The Built Environment, Coventry University, Priory Street, Coventry, March 1998, UK
- [8] GUAN Z.W., RODD P.D., POPE D.J., Study of glulam beams prestressed with pultruded GRP, School of the Environment, University of Brighton, Moulsecoomb, Brighton, January 2004, United Kingdom
- [9] SCHNERCH D., DAWOOD M., SUMNER E.A., RİZKALLA S., Strengthening Steel-Concrete Composite Bridges With High Modulus Carbon Fiber Reinforced Polymer (Cfrp) Laminates, North Carolina State University, USA, 2005
- [10] ÖRS, Y., KESKİN H., Ağaç Malzeme Bilgisi, Atlas Yayınları, İstanbul Temmuz, 2001
- [11] BAŞYİĞİT C., Özel C., Süleyman Demirel Üniversitesi TEF Yapı Eğitimi Ahşap Kontrol Ders Notları, Isparta - 2001

- [12] ERŞEN, N., Ahşap Yapılar Problem ve Çözümleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000
- [13] GÜNAY, R., Geleneksel Ahşap Yapılar Sorunları ve Çözüm Yolları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002
- [14] ŞİMŞEK O., Yapı Malzemesi II, Ankara Üniversitesi Basımevi, 2000, Ankara
- [15] WATSON J.C AND RAGHUPATHI N., Glass Fibers, 1989
- [16] Anonim, "Plastics World", 4, 1993
- [17] BURGOYNE, C.J., "Advanced Composites in Civil Engineering in Europe", Structural Engineering International, 4, 1999
- [18] TURVEY G.J., "Analysis of Pultruded Glass Reinforced Plastic Beams with Semi-rigid end Connections", Composite Structures, 1997
- [19] BRADY G.S., CLOUSER R., "Materials Handbook", 12. Edition, 1979
- [20] Şişecam, Cam Elyaf Sanayi A.Ş., Bülten, 1, 1998
- [21] MİLLER D.M., "Glass Fiber", Engineered Materials Handbook, V., 1998
- [22] ARIKAN A.T., "CTP Malzemelerinin Yapısal Strüktürlerde Kullanılmasına Yönelik Sorunların ve Strüktürel Davranışın İrdelenmesi", Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2004
- [23] Şişecam, "CTP Teknolojisi", Cam Elyaf Sanayi A.Ş., İstanbul, 1985
- [24] Şişecam, "Cam Elyaf Sanayi A.Ş., Bülten", 3, 2000
- [25] MISIROĞLU M., "Cam Malzemelerde Cam Elyaf Takviyenin Mekanik Özelliklere Etkisi", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 1996/ Temmuz
- [26] ODABAŞ Y., Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, Beta yayınları, 2000, İstanbul
- [27] ÇOBANCAOĞLU T., "Türkiye'de ahşap evin bölgelere göre yapısal olarak incelenmesi ve restorasyonlarında yöntem önerileri", Doktora tezi, MSU Mimarlık Fakültesi, 1998.
- [28] COŞKUN H., Betonarme Kolonların Güçlendirilmesinde Alternatif Malzemeler, Mustafa Kemal Üniversitesi, Antakya
- [29] ÇETİNKAYA N., KAPLAN H., ŞENEL Ş. M., Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

Mühendislik Bilimleri Dergisi p: 291-298, sayı 3, cilt 10, 2004

- [30] ÖNEN Y. H., Yapıların Denetimi, Yapıların Depremde Davranışları Ve Güçlendirilmesi İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, 2004
- [31] GENÇOĞLU M., EREN İ., ATINÇ T., Investigation Of Strengthening Methods Of Damaged External Rc Beam-Column Joints Engineering, 26-30 May 2003, Istanbul, Turkey
- [32] ÇETİNKAYA N., KAPLAN H., ŞENEL Ş.M., Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, s:10, p: 291-298, 2004
- [33] ÖZCEBE G., ERSOY U., TANKUT T., Strengthening of Brick-Infilled RC Frames with CFRP
- [34] YANMAZ Ö., LUŞ H., Yapı Güçlendirme Yöntemlerinin Fayda-Maliyet Analizi
- [35] TURHAN M., CTP'lerin Mekanik Özelliklerine Elyaf Hacim Oranlarının Etkisinin Araştırılması, Sakarya Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007
- [36] www.esakimya.com.tr
- [37] www.strongwell.com
- [38] TS 2475, Odunda Liflere Paralel Doğrultuda Çekme Gerilmesinin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1976
- [39] TS 4499, Ahşap Birleştirmeler- Terimler Tanımlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985
- [40] TS 4539, Ahşap Birleştirmeler . Kavelalı Birleştirme Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1985
- [41] TS647, Ahşap yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1979
- [42] Şişecam, " Cam Elyaf Sanayi A.Ş., Bülten, 4, 1996a
- [43] DOĞANGÜN A., TULUK Ö.İ., ACAR R., LİVAOĞLU R., Geçmişten Günümüze Ahşap Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Trabzon, 2005

ÖZGEÇMİŞ

Tahir AKGÜL 12.11.1980 de Mardin’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Şanlıurfa’da tamamladı. 1998 yılında Şanlıurfa Teknik Lisesi, Elektrik Bölümünden mezun oldu. 2000 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünü 2004’te birincilikle bitirdi. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitim Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Halen Yapı Eğitimi bölümünde araştırma görevlisi olarak devam etmektedir.