

ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

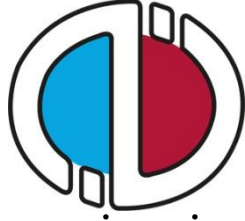
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

TS 647 ve AVRUPA AHŞAP YAPI STANDARDI
EUROCODE 5'İN ÖRNEKLERLE
KARŞILAŞTIRILMASI

Murat YÜNCÜLER
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı
Dr. Öğretim Üyesi Özlem ÇALIŞKAN

BİLECİK, 2019
Ref. No:10291388



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

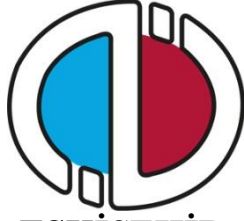
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**TS 647 ve AVRUPA AHŞAP YAPI STANDARDI
EUROCODE 5'İN ÖRNEKLERLE
KARŞILAŞTIRILMASI**

**Murat YÜNCÜLER
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Dr. Öğretim Üyesi Özlem ÇALIŞKAN**

BİLECİK, 2019



ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK

ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

**COMPARISON OF TS 647 AND EUROPEAN TIMBER
STRUCTURE STANDARD EUROCODE 5 WITH
EXAMPLES**

Murat YÜNCÜLER
Master's Thesis

Thesis Advisor
Assist Prof. Dr. Özlem ÇALIŞKAN

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 24/07/2019 tarih ve 40-06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Murat YÜNCÜLER'in "TS 647 ve Avrupa Ahşap Yapı Standardı Eurocode 5'in Örneklerle Karşılaştırılması" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN

ÜYE :
(JÜRİ BAŞKANI) : Prof. Dr. Özgür ANIL

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezım boyunca bilgisini ve desteğini esirgemeyen, araştırma konusunun belirlenmesi ve seçilmesinde fikir ve katkılarından yararlandığım değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Özlem ÇALIŞKAN'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Tezimin yazım aşamasında yardımları bulunan değerli iş arkadaşlarım Makine Yüksek Mühendisi Selcan KAYIKÇI ve İnşaat Mühendisi Erdem MERİÇ'e teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında yardımcı olan, benden desteğini ve sabrını hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşim Derya YÜNCÜLER'e, tüm hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, yaşamım boyunca her zaman varlıklarını yanımda hissettiğim annem, babam ve kardeşime sonsuz teşekkür ederim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

...../...../ **2019**

Murat YÜNCÜLER

ÖZET

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımı, gelişen ve değişen teknoloji ile doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Ahşap yapıların üretilme yoğunlukları gelişmiş ülkelerde gittikçe artmaktadır. Teknolojik gelişmeler ile ahşap yapı malzemesinin ve ahşap yapıların sorunlarına çözümler getirilerek zengin tasarım imkânlarıyla beraber ahşap konut üretimi yapılabilmektedir.

Gelişmiş ülkelerde, ahşap yapıların tasarımında uyulması gereken kuralları belirleyen birçok yönetmelik ve standart bulunmaktayken, Türkiye’de bu durum farklılık göstermektedir. Türkiye’de yürürlükte olan ahşap yapı standardı, deprem ve imar yönetmeliğinde ahşap yapıların üretimiyle ilgili kuralların detaylı olarak belirtilmediği ve kuralların sınırlayıcı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı Türkiye’de ahşap yapı üretimi zorlaşmakta, uygulama ve denetleme sırasında eksiklikler ve zorluklar ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada TS 647 ve Avrupa ahşap yapı standardı Eurocode 5 tasarım kuralları ve hesap ilkeleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada konu ile ilgili literatür taraması yapılmış olup ahşap yapıların tarih içerisindeki gelişimi, Dünyadaki ve Türkiye’deki durumundan bahsedilmiştir. Yapısal ahşap ürünleri, Türkiye’de ve Dünyada kullanılan ahşap yapı yönetmelikleri ve standartlarıyla ilgili genel bilgiler verilmiştir. TS 647 ve Eurocode 5 temel ilkeler ve kurallar açısından karşılaştırılmıştır. Her iki standarda göre hesaplarda alınacak yükler, ahşap malzemenin sınıflandırılması ve ahşap yapı elemanlarının tasarım esasları anlatılmıştır. TS 647 ve Eurocode 5’e göre ahşap yapı elemanlarının tasarım ve boyutlandırılması incelenmiştir. Çekmeye, eğilmeye ve basınca çalışan elemanların tasarımı tablo ve formüllerle verilmiştir. Ahşap yapıların oluşturulmasında, yapı kısımlarının ve elemanlarının birleştirilmesinde kullanılan ahşap yapı birleşim elemanlarından bahsedilmiş, her bir birleşim elemanı için tasarım esasları ve hesap tahkikleri tablolar ve formüller yardımıyla açıklanmıştır. Ahşap yapı elemanları tahkiki ve birleşim elemanları ile ilgili sayısal örnekler çözülmüş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir bölümle ilgili değerlendirme yapılmış ve TS 647’nin günümüz koşullarına göre yenilenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ahşap Yapı Standartları, TS 647, Eurocode 5

ABSTRACT

The use of wood as a structure material increases in direct proportion with the developing and changing technology. The production density of timber structures is increasing in developed countries. With the help of technological achievements, solutions can be brought to the problems of timber structure materials and timber structures so timber building production can be made with rich design opportunities.

While there are many codes and standards which set out rules to be followed for the design of timber structures in developed countries, this case is different in Turkey. It is seen that the rules regarding the production of timber structures are not specified in detail in the timber structure standards, earthquake codes and building bylaws are not restrictive. Therefore, timber structure production gets difficult, deficiencies and challenges arise during implementation and monitoring processes in Turkey.

In this study, TS 647 and European timber structure standard Eurocode 5 are compared in terms of design rules and calculation principles. Literature review is done on the subject and development of the timber structures throughout the history and the current situation in the world and Turkey is referred in the study. General information about structural wood products, timber structure regulations and standards used in the world and Turkey are given. TS 647 and Eurocode 5 are compared in terms of basic principles and rules. The loads to be taken in the calculations according to both standards, the classification of the wooden material and the design principles of the timber structure elements are explained. According to TS 647 and Eurocode 5, the design and dimensioning of timber structure elements are examined. The design of the elements subjected to tension, bending and pressure is given by tables and formulas. The timber structure joining elements used in the connection of building elements and construction of timber structure are mentioned and the design principles and calculation verifications for each joint element are explained with the help of tables and formulas. Numerical examples for verification of timber structure elements and joint elements are solved and the results are compared. An assessment is made for each section and it is concluded that TS 647 should be renewed according to today's conditions.

Keywords: Timber Structure Standards, TS 647, Eurocode 5

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR
BEYANNAME
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
3. AHŞAP YAPILAR, YÖNETMELİK VE STANDARTLAR.....	9
3.1. Ahşap Yapıların Tarihçesi	9
3.2. Ahşap Yapıların Dünyadaki ve Türkiye’deki Durumu	11
3.3. Yapısal Ahşap Ürünler	12
3.4. Ahşap Yapılarla İlgili Yönetmelik ve Standartlar	14
3.4.1. TS 647 Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.....	16
3.4.2. TS EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar.....	17
3.4.3. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY 1997).....	17
3.4.4. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY 2007).....	19
3.4.5. Genel Teknik Şartname	20
3.4.6. 3030 Sayılı Kanun Kapsamı Dışında Kalan Belediyeler Tip İmar Yönetmeliği	21
3.4.7. İstanbul İmar Yönetmeliği	21
3.4.8. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)	22
4. TEMEL İLKELER VE KURALLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.....	26
4.1. Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler	26
4.1.1. TS 647’ye Göre Hesaplarda Alınacak Yükler.....	26

4.1.2. Eurocode 5'e Göre Hesaplarda Alınacak Yükler ve Çevresel Etkiler	27
4.2. Ahşap Malzemenin Mekanik Özellikleri ve Sınıflandırılması	29
4.2.1. TS 647'ye Göre Ahşabın Sınıflandırılması	30
4.2.2. Eurocode 5'e Göre Ahşabın Sınıflandırılması	31
4.3. Ahşap Yapı Elemanlarının Tasarım Esasları	33
4.3.1. TS 647'ye Göre Tasarım Esasları	34
4.3.2. Eurocode 5'e Göre Tasarım Esasları	34
5. AHŞAP YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI.....	47
5.1. TS 647'ye Göre Ahşap Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması	47
5.1.1. Çekmeye Çalışan Elemanların Boyutlandırılması	47
5.1.2. Basınca Çalışan Elemanların Boyutlandırılması	48
5.1.3. Eğilmeye Çalışan Elemanların Boyutlandırılması	50
5.1.4. Eksenel Yük ve Eğilme Durumunda Elemanların Boyutlandırılması	52
5.2. Eurocode 5'e Göre Ahşap Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması	52
5.2.1. Liflere Paralel Doğrultuda Çekme	52
5.2.2. Liflere Paralel Doğrultuda Basınç	53
5.2.3. Liflere Belirli Bir Açıdaki Basınç Gerilmeleri	56
5.2.4. Eğilmeye Çalışan Elemanların Boyutlandırılması	58
5.2.5. Kayma	62
5.2.6. Burulma	63
5.2.7. Sehim	64
6. AHŞAP YAPIDA BİRLEŞİM ELEMANLARI.....	66
6.1. TS 647'ye Göre Ahşap Yapı Birleşim Elemanları	67
6.1.1. Birleşim Araçlarının Emniyetle Aktarabileceği Kuvvetin Hesabı	68
6.1.2. Çivili Birleşimler	69
6.1.3. Bulonlu ve Pim Kamalı Birleşimler	74
6.1.4. Kamalı Birleşimler	77
6.2. Eurocode 5'e Göre Ahşap Yapı Birleşim Elemanları	78
6.2.1. Birleşim Araçlarının Emniyetle Aktarabileceği Kuvvetin Hesabı	79
6.2.2. Çivili Birleşimler	85
6.2.3. Tel Zımbalı Birleşimler	91
6.2.4. Cıvatalı (Bulonlu) Birleşimler	93

6.2.5. Kavelalı Birleşimler	95
6.2.6. Vidalı Birleşimler	96
6.2.7. Levha Bağlantılara Sahip Birleşimler	98
7. TS 647 VE EUROCODE 5 İÇİN KARŞILAŞTIRMALI PROBLEMLER ..	100
7.1. Kiriş Tahkiki Örnek Problem	100
7.2. Kolon Tahkiki Örnek Problem	105
7.3. Birleşim Elemanı Çivi Tahkiki Örnek Problem	108
8. SONUÇLAR	115
KAYNAKLAR	119
ÖZ GEÇMİŞ

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Gordion Tümürlüs mezar odası.....	9
Şekil 3.2. Geleneksel Türk çadırı örneği.....	9
Şekil 3.3. Eşrefoğlu Camii.....	11
Şekil 3.4. Büyükkada Rum Yetimhanesi	11
Şekil 3.5. Çift taban kirişli ahşap karkas yapı	19
Şekil 3.6. Kaplamalı tipik panel iskeleti	23
Şekil 3.7. Çaprazlı tipik panel iskeleti	24
Şekil 5.1. Eksenel çekme	53
Şekil 5.2. Eksenel basınç.....	53
Şekil 5.3. Basınç çubuklarında etkin boy.....	54
Şekil 5.4. Liflere Belirli Bir Açıldaki Basınç Gerilmeleri	57
Şekil 5.5. Mesnetler üzerindeki kiriş	57
Şekil 5.6. (a) Liflere paralel olan bir gerilme bileşenine sahip yapı elemanı, (b) her iki gerilme bileşeni liflere dik doğrultuda olan yapı elemanı (lif yuvarlanmasından kaynaklanan kayma).....	63
Şekil 5.7. Sehimin bileşenleri	65
Şekil 6.1. Dişli birleşim örneği	67
Şekil 6.2. Ahşap yapılarda kullanılan birleşim araçları	67
Şekil 6.3. Çekme deneyi ve rölatif kayma diyagramı	68
Şekil 6.4. Birleşim araçları için çekme deneyi ve rölatif kayma diyagramı	69
Şekil 6.5. m değerleri	71
Şekil 6.6. Tek ve çok tesirli çiviler	73
Şekil 6.7. Çivili birleşimlerde konstrüktif kurallar	73
Şekil 6.8. Bulon ve birleşenleri	73
Şekil 6.9. Pim kama	74
Şekil 6.10. Bulon ve pim kamalı birleşimlerde mesafeler ve yerleşim şekilleri	75
Şekil 6.11. Dikdörtgen prizma kama uygulaması	78
Şekil 6.12. Mekanik birleşim elemanları	79
Şekil 6.13. Bir birleşim yerinde aktarılan eğik kuvvet	81
Şekil 6.14. (a) Tek kayma düzlemlili birleşim (b) Çift kayma düzlemlili birleşim	85

Şekil 6.15.	Bindirmeli çiviler	87
Şekil 6.16.	Bir sıra içinde liflere paralel, liflere dik doğrultuda d mesafesinde şaşırtmalı çiviler	88
Şekil 6.17.	Aralıklar ve Ahşap Elemanın Enine ve Boyuna Olan Mesafeler	90
Şekil 6.18.	(a) Liflere dik doğrultuda çivileme, (b) Eğik çivileme	91
Şekil 6.19.	Tel zimba boyutları	92
Şekil 6.20.	Tel zimbalar için aralık tarifi	93
Şekil 6.21.	Zımbalı metal levha bağlantılara sahip birleşimler	98
Şekil 6.22.	Kesilmiş halka ve kayma levhası bağlayıcıları	99
Şekil 6.23.	Dişli levha bağlayıcıları	99
Şekil 7.1.	Kiriş tahkiki	100
Şekil 7.2.	Kolon tahkiki	105
Şekil 7.3.	Çivili birleşim tahkiki	108
Şekil 7.4.	TS 647'ye göre çivili birleşim detay resmi.....	110
Şekil 7.5.	Eurocode 5'e göre çivili birleşim detay resmi	114

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. Eurocode 5'e göre yük-süre sınıfları	28
Çizelge 4.2. Eurocode 5'e göre yük-süre sınıfının belirlenmesine ait örnekler	28
Çizelge 4.3. Eurocode 5'e göre kullanım sınıfları	29
Çizelge 4.4. TS 647'de masif ahşap malzemenin emniyet gerilmeleri	30
Çizelge 4.5. TS 647'de ahşap malzemenin elastisite ve kayma modülü değerleri	31
Çizelge 4.6. EN 338'e göre ahşabın sınıflandırılması	33
Çizelge 4.7. Eurocode 5'te malzeme özellikleri ve dirençleri için kısmi faktörler (γ_M)	36
Çizelge 4.8. Eurocode 5'te düzeltme faktörü değerleri (k_{mod})	37
Çizelge 4.9. EN 1990:2002'de binalar için kombinasyon faktörü değerleri (ψ)	41
Çizelge 4.10. EN 1990:2002'de etkilerin kısmi faktör değerleri	41
Çizelge 4.11. Eurocode 5'te şekil değiştirme faktörü (k_{def})	43
Çizelge 5.1. TS 648'de basınç çubuklarında burkulma boyu	49
Çizelge 5.2. TS 647'de burkulma katsayıları (ω)	50
Çizelge 5.3. Eurocode 5'te açıklığın bir oranı olarak etkin uzunluk	61
Çizelge 5.4. Eurocode 5'te yanal sapmaya sahip kirişler için k_{crit} değerleri	61
Çizelge 5.5. Eurocode 5'te kirişlerin sehimi için sınır değerlere ait örnekler	65
Çizelge 6.1. TS 647'de ahşap kalınlığı, çakma derinliği, çivi güvenli taşıma kapasitesi değerleri	72
Çizelge 6.2. TS 647'de çivi aralıkları	74
Çizelge 6.3. TS 647'de rondela boyutları	75
Çizelge 6.4. TS 647'de bulon ve pim kamalı birleşimlerde minimum aralıklar	76
Çizelge 6.5. TS 647'de bulonlu ve pim kamalı birleşimlerde güvenli taşıma kapasitesi hesabında kullanılan A ve ezilme emniyet gerilmesi değerleri	76
Çizelge 6.6. TS 647'de liflere paralel basınç gerilmesi değerleri	78
Çizelge 6.7. Eurocode 5 'te tek kayma düzlemlili bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi	82
Çizelge 6.8. Eurocode 5'te çift kayma düzlemlili bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi	83

Çizelge 6.9.	Eurocode 5'te çelik-ağşap birleşimlerinde tek kayma düzlemlı bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi	84
Çizelge 6.10.	Eurocode 5'te çelik-ağşap birleşimlerinde çift kayma düzlemlı bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi	85
Çizelge 6.11.	Eurocode 5'te keş değerleri	88
Çizelge 6.12.	Eurocode 5'te çiviler için en küçük aralıklar ve ağşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler	89
Çizelge 6.13.	Eurocode 5'te tel zımbalar için en küçük aralıklar ve ağşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler	93
Çizelge 6.14.	Eurocode 5'te cıvatalar için en küçük aralıklar ve ağşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler	95
Çizelge 6.15.	Eurocode 5'te kavelalar için en küçük aralıklar ve ağşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler	96
Çizelge 6.16.	Eurocode 5'te aksenal yük taşıyan vidalar için en küçük aralıklar ve ağşap elemanın boyuna olan mesafeler	97
Çizelge 7.1.	TS 647 ve Eurocode 5 kiriş tahkiki problem sonuçlarının karşılaştırılması	104
Çizelge 7.2.	TS 647 ve Eurocode 5 kolon tahkiki problem sonuçlarının karşılaştırılması	107
Çizelge 7.3.	TS 647 ve Eurocode 5 birleşim elemanı çivi tahkiki problem sonuçlarının karşılaştırılması.....	114

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

a	: Mesafe, Aralık
b	: Genişlik
d	: Birleşim Elemanı Çapı
E_d	: Elastisite Modülünün Tasarım Değeri
E_{mean}	: Elastisite Modülünün Ortalama Değeri
$E_{mean,fin}$: Elastisite Modülünün Nihai Ortalama Değeri
$E_{0,05}$: Elastisite Modülünün % 5'lik Değeri
f	: Sehim
$f_{c,0,d}$: Lif Boyunca Tasarım Basınç Dayanımı
$f_{c,0,k}$: Lif Boyunca Karakteristik Basınç Dayanımı
$f_{t,0,d}$: Lif Boyunca Tasarım Çekme Dayanımı
$f_{t,0,k}$: Lif Boyunca Karakteristik Çekme Dayanımı
$f_{c,90,d}$: Liflere Dik Doğrultuda Tasarım Basınç Dayanımı
$f_{c,90,k}$: Liflere Dik Doğrultuda Karakteristik Basınç Dayanımı
$f_{m,k}$: Karakteristik Eğilme Dayanımı
$f_{m,y,d}$: y Asal Eksenine Göre Tasarım Eğilme Dayanımı
$f_{m,z,d}$: z Asal Eksenine Göre Tasarım Eğilme Dayanımı
$f_{u,k}$: Karakteristik Çekme Dayanımı
$f_{v,d}$: Tasarım Kayma Dayanımı
f_{vk}	: Karakteristik Kayma Dayanımı
$F_{ax,Rk}$: Bağlantı Elemanının Karakteristik Geri Çekme Kapasitesi
$F_{v,Ed}$: Bağlantı Elemanının Birim Kesme Düzlemindeki Tasarım Kesme Kuvveti
$F_{v,Rd}$: Birim Kesme Düzleminde Bağlantı Elemanı Başına Tasarım Yük Taşıma Kapasitesi
$F_{v,Rk}$: Liflere Paralel Olan Her Bir Bağlantı Elemanının Karakteristik Yük Taşıma Kapasitesi
G_d	: Kesme Modülünün Tasarım Değeri
G_{mean}	: Kesme Modülünün ortalama değeri

h	: Yükseklik
i	: Atalet Yarıçapı
I	: Atalet Momenti
k	: Sehim Üst Sınır Değeri
$k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$: Duraysızlık Faktörü
k_{crit}	: Yanal Burkulma İçin Kullanılan Faktör
k_m	: Bir Enkesitte Eğilme Gerilmelerinin Tekrar Dağıtımını Dikkate Alan Faktör
k_{mod}	: Yük Süresinin ve Rutubet İçeriğinin Tesirini Dikkate Alan Bir Düzeltme Faktörü
k_{def}	: Şekil Değiştirme Faktörü
k_h	: Yükseklik Faktörü
k_{sys}	: Sistem Dayanım Faktörü
k_{shape}	: Enkesitin Şekline Bağlı Olan Bir Faktör
l	: Açıklık, Temas Uzunluğu
L_e	: Basınç Çubuğunun Etkin Boyu
n	: Birleşim Elemanı Sayısı
N	: Birleşim Elemanı Taşıma Gücü
R_d	: Bir Yük Taşıma Kapasitesinin Tasarım Değeri
R_k	: Yük Taşıma Kapasitesinin Karakteristik Değeri
s	: Çakma Derinliği
S_k	: Burkulma Boyu
u_{inst}	: Anlık Şekil Değiştirme
u_{fin}	: Nihai Şekil Değiştirme
$w_{net,fin}$: Net Nihai Sehimi
w_{inst}	: Anlık Sehimi:
w_{creep}	: Sünme Sehimi
w_c	: Ters Sehimi
w_{fin}	: Nihai Sehimi
W	: Mukavemet Momenti
$\sigma_{çem}$: Çekme Emniyet Gerilmesi
σ_{eem}	: Eğilme Emniyet Gerilmesi

$\sigma_{bem//}$: Liflere Paralel Basınç Emniyet Gerilmesi
$\sigma_{bem\perp}$: Liflere Dik Basınç Emniyet Gerilmesi
$\sigma_{\zeta em//}$: Liflere Paralel Çekme Emniyet Gerilmesi
$\sigma_{b\perp}$: Maksimum Ezilme
σ_{ω}	: Burkulma Gerilmesi
$\sigma_{t,0,d}$: Lif Boyunca Tasarım Çekme Gerilmesi
$\sigma_{c,0,d}$: Lif Boyunca Tasarım Basınç Gerilmesi
$\sigma_{c,\alpha,d}$: Liflere Paralel Bir α Açısındaki Tasarım Basınç Gerilmesi
$\sigma_{m,y,d}$: y Asal Eksenine Göre Tasarım Eğilme Gerilmesi
$\sigma_{m,z,d}$: z Asal Eksenine Göre Tasarım Eğilme Gerilmesi
$\sigma_{m,crit}$: Kritik Eğilme Gerilmesi
σ_{1em}	: Ezilme Emniyet Gerilmesi
τ_{em}	: Makaslama Emniyet Gerilmesi
τ_d	: Tasarım Kayma Gerilmesi
$\tau_{tor,d}$: Tasarım Burulma Gerilmesi
ω	: Burkulma Katsayısı
λ	: Narinlik
$\lambda_{rel,y}$: y Eksenine Göre Eğilmeye Karşılık Gelen Göreceli Narinlik Oranı
$\lambda_{rel,z}$: z Eksenine Göre Eğilmeye Karşılık Gelen Göreceli Narinlik Oranı
γ_M	: Malzeme Özellikleri İçin Kısmi Faktör
β_c	: Düzgünlük Faktörü
ρ_k	: Karakteristik Yoğunluk
ψ_2	: Değişken Etkinin Yarı-Kalıcı Değeri İçin Faktör
ψ_0	: Değişken Etkilerin Kombinasyon Değeri İçin Faktör

Kısaltmalar

ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
AITC	: The American Institute of Timber Construction (Amerikan Ahşap Yapı Enstitüsü)
Ar-Ge	: Araştırma- Geliştirme
ASD	: Allowable Stress Design (Emniyet Gerilmelerine Göre Tasarım)
AWC	: Amerikan Wood Council (Amerikan Ahşap Konseyi)

DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DIN	: Deutsches Institute für Nornung (Alman Standardizasyon Enstitüsü)
EİY	: Esas ve İlave Yüklerin Birlikte Etki Ettiği Yükleme Durumu
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
EY	: Esas Yüklerin Etki Ettiği Yükleme Durumu
LSD	: Limit State Design (Sınır Durum Tasarımı)
LVL	: Laminated Veneer Lumber (Soyma Tabakalı Lamine Kereste)
NDS	: National Design Specification (Ulusal Tasarım Şartnamesi)
OSB	: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)
SAP	: Structural Software for Analysis and Design (Analiz ve Tasarım için Yapısal Yazılım Programı)
SLS	: Kullanılabilirlik Sınır Durumu
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDA	: Timber Development Association (Ahşap Geliştirme Derneği)
TS	: Türk Standardı

1. GİRİŞ

Ahşap, insanlar tarafından kullanılan en eski yapı malzemelerinden biridir. Eski zamanlarda deneyime dayalı olan uygulama, mühendislik bilimlerindeki ilerlemelere paralel olarak gelişen yapı tekniğiyle bilimsel olarak yapılmaya başlanmıştır. 20. yüzyılda rutubete dayanıklı yapay reçine tutkalının bulunmasıyla günümüz koşullarında statik ve mukavemet hesaplarının ihtiyaç duyacağı her türlü kesit ve uzunlukta ahşap yapı elemanlarının üretilmesi sağlanmıştır. Ahşap yapılarda kullanılan birleşim araçlarının da aynı şekilde modern teknolojiye göre araştırılıp, yönetmeliklerde yer almaları ile ahşap yapı üretimi yaygınlaşmıştır.

Sağlam, nitelikli ve denetlenebilir ahşap yapılar üretebilmek için belli kurallar, yönetmelikler ve standartlar gereklidir. Gelişmiş ülkelerde ahşap yapılar ile ilgili çağın gereksinimleri ve teknolojik gelişmelerin ışığında yapılmış; detaylı ve evrensel birçok yönetmelik ve standart bulunmaktayken, ülkemizde ahşap yapı ile ilgili yönetmelik ve standartlara yeteri kadar önem verilmemiştir.

Bu çalışma kapsamında 1979 yılında yayımlanan “Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları(TS 647)” ile Avrupa Ahşap Yapı Standardı Eurocode 5 karşılaştırılmıştır. Eurocode 5’in bu tez çalışmasında kullanılan karşılığı "TS-EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Genel - Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar" olarak adlandırılan Türk Standardı Avrupa Normu’dur.

Ahşap yapı elemanları boyutlandırılmasında TS 647’de “Emniyet Gerilmelerine Göre Tasarım (Allowable Stress Design-ASD)” Yöntemi kullanılmaktadır. Eurocode 5’te güvenilirlik yönetimine göre bir kısmi faktör ile sınır durum kavramı esas alınır. Standartta Taşıma Gücü Sınır Durumu (Ultimate Limit State- ULS) ve Kullanılabilirlik Sınır Durumu (Serviceability Limit State-SLS) kavramlarına göre ahşap yapı elemanları boyutlandırılır.

Bu çalışmada TS 647 ve Eurocode 5’e göre boyutlandırmada esas alınacak yükler, ahşap malzeme sınıfları, tasarım esasları, ahşap yapı elemanlarının boyutlandırılması ve birleşim elemanları konuları anlatılmıştır. Her iki yönetmeliğe göre hesap esasları incelenmiş ve örnek problemlerle karşılaştırma yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Gürel (2000), Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY, 1998) ile Avrupa Deprem Yönetmeliğini (Eurocode 8) çelik yapılar için genel kurallar ve hesap ilkeleri bakımından karşılaştırmıştır. Örnek bir çelik yapıyı SAP 90 programı ile hem ABYYHY(1998) hem de Eurocode 8'e göre çözerek düşey yükler ve deprem yükleri altında analizini yapmıştır. Her iki yönetmeliğe göre yaptığı hesaplamalar ve analiz sonuçlarını karşılaştırmıştır.

Demirhan (2001), tez çalışmasında ahşap taşıyıcı sistem ile inşa edilmiş örnek bir yapının düşey yükler ve deprem yükleri etkisi altında sayısal hesaplamalar ile analizini yapmıştır. Analize geçmeden önce TS 647'yi baz alarak ahşap malzemesinin su muhtevası, elastisite modülü, ısı etkisi, rötre etkisi, ahşap kusurları(budaklar, lif eğikliği, enkesit düzensizliği, çatlaklar, lif kıvrıklığı), lif doğrultusu, rutubet, öz ağırlığı gibi özellikleri hakkında bilgi vermiştir. İnşaatta kullanılan ağaç türlerinin, gerilme değerlerini, kereste boyutlarını ve emniyet gerilmeleri değerlerinden bahsetmiştir. Ahşap yapı ve birleşim elemanlarını çizimler vererek tanıtmıştır. Örnek yapının ağırlık tahkiki, eğilme kirişi tahkiki, basınç çubuklarında burkulma boyu hesabı, narinlik, toplam bina yükü hesabı ve deprem yükü hesabını sayısal örneklerle yapmış ve çıkan sonuçlara göre takviye ve onarım ile ilgili öneriler sunmuştur.

Dışkaya (2004), ahşabın fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinden bahsetmiş ve ahşabın yapılarda kullanım biçimlerini anlatmıştır. Örnek ahşap bir yapının Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998'e göre deprem analizini yapmış ve çıkan sonuçlara göre uygulanabilecek güçlendirme yöntemleri ve önerileri sunmuştur.

Yaman (2007), yaptığı tez çalışmasında seçtiği ahşap bir yapı üzerinden ahşap yapı elemanlarının performansını, standart ve yönetmelikleri baz alarak incelemiştir. Ahşap yapı elemanlarında biyolojik, fiziksel ve çevresel faktörler sonucu oluşabilecek bozulmaları açıklamıştır. Örnek yapı incelenerek ahşap yapıların sürdürülebilir olması için ne gibi önlemler alınması gerektiğinden bahsetmiştir.

Hiraoğlu (2007), açıklıkların geçilmesinde kullanılan ahşap ve çelik makas sistemlerini malzeme ve statik açıdan incelemiştir. On beş metre açıklığa sahip örnek bir yapı üzerinde ahşap ve çelik makas sistemlerin fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Örnek yapının statik hesaplarını SAP 2000 (Structural Software for

Analysis and Design) programı ile yapmıştır. Statik hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan elaman kesitleri, makas ağırlıkları, taşıma kapasiteleri ve makas maliyetleri açısından değerlendirme yapmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ahşap çatı sistemlerinin çelik çatı sistemlerine göre daha ekonomik ve daha az çatı yükü getirdiğini tespit etmiştir. Ahşap yapı sistemlerinin ülkemizde yeterince kullanılmadığını; ahşap yapı yönetmeliklerinin ve imar yönetmeliklerinin bu konuda yetersiz kaldığını belirtmiştir.

Uzunoğlu, vd., (2007), bu çalışmada 14x14 mm x mm kesit alanına sahip sarıçam malzemesinden imal edilen 1/10 ölçekli ahşap çerçeve sistemini hazırlamışlardır. Bu çerçeveyi 50 kN yük altında yükleme cihazında basınç yüklemesine maruz bırakıp; deneysel olarak incelemişlerdir. Ayrıca modeli gerçek boyutlarda SAP 2000 programı ile analiz etmişler; deneysel veriler ile program analiz sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Deneysel analizde ilk kırılma hasarı oluşmasına kadar 30 dakikalık bir süre geçtiğini, bu süre zarfında ahşabın elastikliğinin yüksek olmasından dolayı çeşitli şekil değişimleri ve açılmaların oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Kırılmaların ilk olarak kapı ve pencere boşluklarında başladığını ve en büyük kırılmaların da bu bölgelerde oluştuğunu tespit etmişlerdir. Sonlu elamanlar modelinde en büyük moment değerlerinin kapı-pencere bölümlerinde olduğunu ve bu bölgelerde kısa kolon etkisinden kaynaklı hasarların oluştuğunu belirlemişlerdir. Hem deneysel hem de nümerik analizler sonucunda ahşap yapıların en zayıf bölgelerinin kapı ve pencere boşluk dikmeleri olduğunu ve ilk kırılmaların buradan başladığını tespitini yapmışlardır. Ayrıca gerçek kesit ile küçültülerek modellenen kesitler arasında analiz sonuçlarına bakılarak paralellik olduğunu belirlemişlerdir.

Can ve Tokgöz (2008), ikinci sınıf sarıçam ağacından hazırlanan tek dişli birleşim deney örneklerindeki ön ahşap uzunluğunun makaslama gerilmesine etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla ön ahşap uzunlukları 30-40-50 mm olan numunelerden 10' ar adet olmak üzere 30 adet numune hazırlamışlardır. Bu numuneleri makaslama deneyine tabi tutmuşlardır. Deneysel sonuçlar ile TS 647'de verilen yöntem sonucu çıkan sonuçları karşılaştırmışlardır. Deneysel çalışmada 30 mm ön ahşap uzunluğu yeterli olurken, aynı yük altında TS 647'de 40 mm olarak hesaplanmıştır. TS 647'de daha fazla emniyet katsayısı ile çalışıldığı tespitini yapmışlardır. Sonuç olarak çatı hesaplamalarında TS 647'ye göre hesaplamaların yapılması ve uygulamalarda denetim kurumlarınca denetlenmesi gerektiği görüşünü belirtmişlerdir.

Akan (2010), çalışmasında Anadolu'daki tarihi ahşap sütunlu camilerin önemli örneklerinden biri olan Ankara Ahi Elvan Camisi'nin yapısal analizini yapmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile tarihi camiyi SAP 2000 programı ile modellemiş ve binanın yapısal davranışını incelemiştir. Caminin dış duvarları taştan, kolonlar ve kirişleri ise ahşaptan yapılmıştır. Yapı modellenirken dış duvarlarını "genel kabul elemanı (shell)", ahşap sütun ve kirişlerini "çubuk (frame)" elemanlarıyla modellemiştir. Yapıya sabit yük ile beraber x-y eksenlerinde deprem kuvvetleri uygulamıştır. Hesap sonuçlarına göre Ahi Elvan Camisi'nin rijit bir yapıya sahip olduğunu; Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY, 2007)'e göre x ve y yönündeki yer değiştirmelerin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını belirlemiştir. Yapının dış duvarlarını ele aldığıda yığma yapılar için önerilen basınç ve kayma gerilmesi değerlerinin aşılmadığı, çekme gerilmelerinin ise sadece boşluk köşelerinde ve duvar alt köşe bölgelerinde küçük alanlarda aşıldığını gözlemlemiştir. Ahşap dikmelerin çok küçük eğilme momenti etkisinde kaldığını belirtmiştir. Sonuç olarak ahşap sütunlu tarihi caminin deprem ve rüzgâr gibi yatay yükler karşısında sağlam; düşey yükler altında da yapısal performansının gayet iyi durumda olduğunu tespit etmiştir.

Karaman ve Zeren (2010), kâgir yapılar içerisinde kullanılan ahşap yapı elemanlarına deprem esnasında ne gibi etkiler olduğunu araştırmışlardır. Araştırmalarında daha önceden yapılmış deneylerden yararlanmışlardır. Hughes (2000) tarafından yapılan deney düzeneğinde 3 farklı model sehpasında 3 farklı yığma yapı örneği oluşturulmuştur. İlk örnekte sadece ahşap lento, ikinci örnekte beton lento ve beton hatıl, üçüncü örnekte ahşap lento ve ahşap hatıl kullanılmıştır. Deprem testi sonucunda ilk örnek ciddi hasar görmüş, ikinci örnekte betonarme hatıllarda bozulmalar olmuş, üçüncü örnekte ise ahşap hatılda değil sadece taş duvar bileşenlerinde hasar meydana geldiği gözlenmiştir. Makalede bu deney sonuçları da göz önünde tutularak ahşap yapı elemanları ile kâgir yapı elemanlarının bir arada doğru bir şekilde kullanıldığında sağlam yapılar elde edileceği vurgusunu yapmışlardır.

Esen (2010), tez çalışmasında Türkiye'de uygulanan geleneksel oturtma ve asma ahşap çatı ile Avrupa'da kullanılan sık ve geniş aralıklı kafes sistem ahşap çatıları karşılaştırmıştır. Bu dört çatı sistemi için aynı yapı planını oluşturmuş ve çatı tiplerini bu plana uygulamıştır. Dört çatı tipine de etkileyen kar yükü, rüzgâr yükü ve çatı örtüsü ağırlıklarını Türkiye'de uygulanan standartlardan almıştır. Ahşap çatıları çeşitli

yönlerden TS 647 ve Eurocode 5'e göre karşılaştırmıştır. Ahşap malzemenin sınıflandırılması yönünden Eurocode 5'e göre 3 grup, 26 sınıfa ayrıldığı; TS 647'e göre 3 sınıfa ayrıldığını belirtmiştir. Eurocode 5'e göre ahşabın sınıflandırılmasının daha hassas ve makineyle yapıldığından dolayı doğru malzeme kullanımı açısından daha sağlıklı olduğu sonucuna varmıştır. Eurocode 5'te ahşabın kurutma ve koruma şartı varken TS 647'de olmadığını; korumanın ahşabın ömrünü en az 5 kat artırdığını belirtmiştir. Ahşap kesit ve miktarlarının Eurocode 5'e göre program ile belirlenirken TS 647'de bununla ilgili bir ibare olmadığını; bu durumun çatı kesitlerinde eksik veya fazla malzeme kullanımına sebebiyet verdiğini belirtmiştir. Sonuç olarak ahşap yapı ve çatı uygulamalarında güncel bilgi ve tekniklerin uygulanması; ahşapla ilgili Türk standart ve yönetmeliklerinin günümüz koşullarına göre güncellenmesi gerektiği vurgusunu yapmıştır.

Dışkaya (2011), yaptığı doktora tezi kapsamında İstanbul'daki 19. yüzyıl geleneksel ahşap yapılarının deprem dayanımlarını incelemiştir. İstanbul'da yaşanan afetlerin (deprem, yangın, sel, vb.) ahşap yapıların mimari ve statik özellikleri üzerinde ne gibi etkileri olduğunu araştırmıştır. Ayrıca ahşap yapı inşaatlarında kullanılan ahşap türlerinin biyolojik, fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiş olup bu özellikleri azaltan unsurları belirlemiştir. Ahşap malzemenin mekanik değerlerinin belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemler ve testlerden bahsetmiştir. İstanbul Süleymaniye'deki ahşap bir yapıyı SAP 2000 programı ile modelleyerek 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerine ait kayıtları kullanarak kat deplasmanlarını hesaplamıştır. Bina için üç farklı durum(yapının yeni malzeme ile yapıldığı, yapıdaki kopmalar ve çürüme sonucunda mafsalların bütün olarak çalışmadığı ve laboratuvarında bulunan test değerleri sonucunda oluşturulan modelleme) göz önüne alınarak deprem yükünün etkisi altında programdan çıkan sonuçları karşılaştırmış olup; restorasyon ve güçlendirme yaklaşımları için verileri oluşturmuştur.

Ohanesyan (2012), yaptığı çalışmada ahşap yapıların özellikleri, ahşap yapıların yönetmelik ve standartlardaki yeri, ahşap yapı üretim sistemlerini incelemiştir. Ahşap yapılar hakkında bilgi verdikten sonra yapıya etkiyen yükleri tanıtmıştır. Tezin ana konusunu oluşturan deprem ve rüzgâr yüklerinin ahşap yapılar üzerindeki etkilerini açıklamıştır. Ahşap yapıların yatay kuvvetler altındaki davranışını ve oluşan hasarları

incelemiştir. Hasar oluşmasını en aza indirmek amacıyla ahşap yapılarda alınması gereken önlemleri detaylı bir şekilde açıklamıştır.

Kaplan (2013), yaptığı tez çalışmasında Osmanlı mimarisine sahip tarihi bir ahşap yapı olan Sait Halim Paşa Yalısı'nın deprem yükleri altındaki davranışını incelemiştir. Röleve projelerinden yararlanarak ahşap yapının konstrüksiyon düzenini belirlemiştir. Bina taşıyıcı sistemini hem iki boyutlu olarak duvar bazında hem de üç boyutlu olarak SAP 2000 programı ile analiz etmiştir. Bu program ile Mod Birleştirme Yöntemi, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Amerikan Yapı Yönetmeliği'ne göre üç farklı yöntemle analiz yapmıştır. Analiz sonucu elemanlarda oluşan gerilmeleri hesaplarken TS 647'yi baz almıştır. Üç farklı yöntemle göre deprem analizi yapılan yapının sonuçlarını karşılaştırmıştır. Bu analizler sonucunda eleman bazlı bir güçlendirmeye ihtiyaç duyulmazken bağlantı bazlı bir güçlendirmeye ihtiyaç duyulduğu tespitini yapmıştır.

Saydamer (2014), çalışmasında ahşap yapılarda kullanılan malzeme ve taşıyıcı sistem modellerini incelemiştir. Anadolu'da kullanılan ahşap türlerini ve geleneksel ahşap yapım sistemlerini bölgelere göre ayrı ayrı anlatmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda ahşap yapıların tasarımında farklı geçme teknikleri, kuşaklama sistemi, payanda kullanımı, birleşimlerde metal kullanımı gibi sistemler sayesinde günümüze kadar varlığını sürdüren dayanıklı yapılar olduğu sonucuna varmıştır. Depremlerin ahşap yapılar üzerindeki etkisi ve ahşabın depreme olan dayanımını araştırmıştır. Bursa ilinde bulunan ahşap yapı sistemlerini tablolar halinde düzenlemiş ve Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1998'e göre incelemiştir. Depremde hasar gören ahşap yapıların yönetmelik esaslarına uygun yapılmadığı için hasar gördüğü sonucuna varmıştır.

Çelik ve Birdal (2017), Kayseri Yanıkoğlu Camisi'nin statik ve mimari modellemelerini yaparak; güçlendirmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Cami 8 adet ahşap sütun ve dış taş duvarlara taşıtılmaktadır. Yapının statik modellemesinde SAP 2000 mimari modellemesinde sketch up programını kullanmışlardır. Öncelikle yapı malzemelerinin(ceviz ağacı ve taş duvar) mekanik özelliklerini SAP 2000 programına tanıtmışlardır. Daha sonra ahşap sütunlar, guseler ve kirişleri çubuk elamanı olarak; ahşap tavan döşemesi ve taş dış duvarları alan olarak programa girmişlerdir. Sistem detaylarını programa girdikten sonra düşey yükler altında analiz yapmışlardır. Analiz sonucunda ahşap sütunların bazı bölgelerinde yarılmalar tespit etmişlerdir. Bu kısımların dayanımını

artırmak için kelepçe yöntemini önermişlerdir. Kirişlerde ise orta açıklıklarda sehimler tespit etmişlerdir. Bu sehimlerin parçalı imalattan ötürü kaynaklandığını ve riskleri azaltmak için kiriş bağlantı bölgelerinde önlem alınması ve kiriş alt bölgelerine plaka konulması önerisinde bulunmuşlardır. Duvar kısmında ise çekme gerilmelerinin uygulandığı bölgelerde çatlama, yarıma gibi hasar oluşabileceği tespitini yapmışlardır. Çekme gerilmelerinin oluştuğu alanlarda gerilmeleri karşılayan güçlendirme yöntemleri önermişlerdir.

Uzun (2018), ahşap yapılar, yapı sistemleri, ahşap yönetmelik ve standartları, ahşap onarım ve güçlendirme yöntemleri ile ilgili genel bilgi verdikten sonra İstanbul Boğaziçi'nde bulunan Amcazade Hüseyin Paşa yalısının yapısal analizini yapmıştır. TS 647'yi baz alarak ahşap dikmelerde basınç hesabı yapmış ve üzerine etkiyen yüklere karşı mevcut kesitlerin yeterli olup olmadığını araştırmıştır. Ana ve tali kirişlerde ise eğilme gerilmesi, makaslama gerilmesi, sehim ve mesnet boyları tahkikleri yapmıştır. Yapıya deprem yükü uygulayarak eşdeğer deprem yükü yöntemine göre deprem analizi yapmıştır. Tahkikler sonucunda tali kirişlerin makaslama gerilmesinin uygun olduğu fakat ezilme ve sehim koşullarını sağlayamadığını; ana kirişlerin bir kısmının kesitlerinin yetersiz olduğunu, ezilme, makaslama ve sehim koşullarını sağlamadığını; dikmelerde ise çürüme kaynaklı kesitlerin yetersiz olduğu tespitlerini yapmıştır. Yapıdaki bozulmalarla ilgili dikmeler, kirişler ve bağlantı yerlerine yönelik ne gibi önlemler alınması gerektiği hususunda öneriler sunmuştur.

Gürel (2018) çalışmasında ortak mimari plana sahip farklı taşıyıcı sistemli çok katlı ahşap yapıların deprem yükleri altında dinamik analizlerini yapmıştır. Analize geçmeden önce kullanılan ahşap malzemeler ve dört adet ahşap taşıyıcı sistem ile ilgili bilgi vermiştir. Yönetmelikler ve standartlarda değer ve hesaplama yöntemi henüz verilmeyen çapraz tabakalı ahşap (CLT) yapı elemanının yapılışı ve özelliklerini anlatmıştır. Analizi yapılan ahşap projenin merkezi çekirdek kısmında CLT perde duvarlar kullanılmıştır. 1999 Kocaeli Depremi'ndeki kayıtlar kullanılarak hazırlanan deprem yükleri altında merkezi çekirdekli çerçeve sistem, perdeli ve merkezi çekirdekli çerçeve, dıştan destekli ve merkezi çekirdekli çerçeve ve kısmi kafesli merkezi çekirdekli çerçeve sistemlerle tasarlanmış 21 katlı 4 farklı ahşap yapının dinamik analizlerini SAP 2000 programı ile çözerek deprem performanslarını karşılaştırmıştır. Yüksek ahşap yapılar için hem ülkemizde hem de dünyada henüz uygun bir standart ve yönetmelik

olmadığını ifade etmiş ve Eurocode 5'ten yararlanmışır. Yapıların eğilme, kesme, aksenal kuvvet ve iki doğrultuda eğilmeye maruz kesit tahkiklerini yapmışır. Tahkik sonuçlarını tablolara işleyerek sistemleri karşılaştırmışır. Sonuç olarak perdeli ve merkezi çekirdekli çerçeve sistemin diğere sistemlere göre daha iyi dinamik performans sergilediğini ve diğere tüm sistemlerin de deprem kuşağındaki ülkemizde kullanılabilceğini analizlerle göstermişır.

3. AHŞAP YAPILAR, YÖNETMELİK ve STANDARTLAR

3.1. Ahşap Yapıların Tarihçesi

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılması beton ve çeliğe kıyasla çok daha eskilere dayanır. İlkçağlardan itibaren insanoğlu barınma amacıyla ağaç kavuklarını kullanmış ve daha sonra teknolojik gelişmelerle beraber ahşabı daha fonksiyonel yapı malzemesi olarak kullanmaya devam etmişlerdir. Çin'in başkenti Pekin'de bulunan "Yasak Şehir" dünyanın en büyük, en eski ve en iyi korunmuş ahşap yapılar topluluğunu barındırmaktadır. Dünyanın en eski, ahşaptan yapılan ve hala sağlam olan mezar odası ülkemiz sınırları içerisinde yer almaktadır. Şekil 3.1'de gösterilen MÖ 740 yılında Frigler döneminde yapılan Gordion Tümülüsü'nün mezar odası ağaç tomruklardan yapılmıştır. Orta Asya'da uzun yıllar göçebe ve yarı göçebe hayat süren Türklerin yapı ihtiyaçlarını karşılamak için kullandıkları çadırların iskeletlerinin de ahşap olduğu bilinmektedir. Şekil 3.2'de Geleneksel Türk Çadırı örneği gösterilmiştir (Akça vd., 2013).



Şekil 3.1. Gordion Tümülüsü mezar odası (URL-1, 2018).



Şekil 3.2. Geleneksel Türk çadırı örneği (URL-2, 2019).

19. yüzyıl başlarına kadar ahşabın yapıda kullanılma teknikleri çok fazla gelişme göstermemiştir. 19. yüzyılda Sanayi Devrimi'nin etkisiyle teknolojik gelişmelerle beraber yeni ürünlerin yapı sektöründe kullanılması, taş ve tuğla sistemlerin yaygınlaşması, çelik ve betonarme sistemlerin ortaya çıkıp uygulanmaya başlanması sonucu ahşabın yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılması azalmıştır.

Ahşap yapı sistemlerinin geliştirilmesi ve yapılarda taşıyıcı iskelet olarak daha fazla kullanılması 20. yüzyıl başlarına rastlar. I. Dünya Savaşı öncesi ve savaş yıllarında değerli bir silah hammaddesi olan çeliğin yapı alanından çekilmesi ve savaştan sonra da

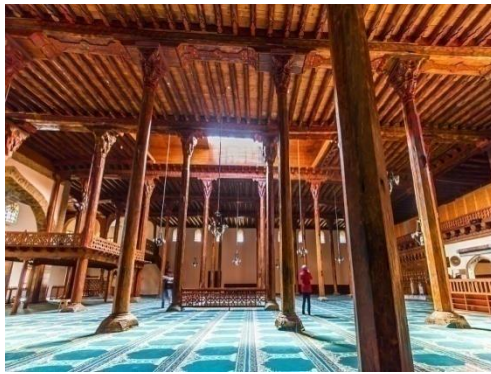
çelik kıtlığının yaşanması, ahşap malzemesinin farklı fonksiyonlardaki yapılarda ve daha rasyonel olarak kullanılması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Bu dönemde ahşap malzemesinin mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmış, birleşim elemanları (çivi, kama, bulon vb.) üzerine çalışmalar yapılmış, ahşabın dış etkilere karşı korunmasını sağlayan malzeme ve yöntemler geliştirilmiştir (Duman ve Ökten, 1988). Ahşap malzemesinin yeniden organizasyonu ile ilgili geliştirilen ilk ahşap talaş levhalar 1908'de Avusturya'da, ilk lif levhalar 1915'te Amerika Birleşik Devletleri'nde, ilk yonga levhalar ise 1941'de Almanya'da üretilmiştir (Aslan, 2008). Endüstriyel ahşap malzeme türlerinin geliştirilmesi, ahşap yapılarla ilgili standart ve kuralların yavaş yavaş ortaya çıkmasıyla beraber yapılarda ahşabın yeni kullanım alanlarının doğmasıyla sonuçlanmıştır.

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımındaki ikinci büyük aşama, II. Dünya savaşı ve onu izleyen yıllarda olmuştur. Bu dönemde her türlü iklim koşulları ve rutubete dayanıklı yapay reçine tutkalının bulunması ve ahşap yapılarda kullanılması inşaat teknolojisi açısından reform olarak kabul edilmiş ve ahşabı diğer yapı malzemeleri ile yarışır hale getirmiştir. Plastik esaslı tutkalların bulunması ve geliştirilmesiyle beraber tutkallı lamine konstrüksiyonları ortaya çıkmıştır. Günümüz koşullarında statik ve mukavemet hesapların ihtiyaç duyacağı her türlü kesit ve uzunlukta ahşap yapı elemanlarının üretilmesini ve projelendirilmesini mümkün kılmıştır (Duman ve Ökten, 1988).

20. yüzyılın son çeyreğinde ahşabın diğer yapı malzemelerine oranla çevresel avantajlarının yüksek oluşu ve gelişmiş ülkelerin insan ve çevre sağlığını ön planda tutan yaklaşımları ile birlikte ahşap kullanımı büyük önem kazanmıştır. Bu süreçte İngiltere, Fransa, Almanya, Japonya, ABD, Kanada gibi gelişmiş ülkelerde ahşap araştırma merkezleri kurulmuş, ahşap yapılar yönetmelik ve standartları ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Türkiye'de ise gelişmiş ülkelerin aksine ahşap yapıların inşası ve kullanımı açısından bir gerileme gözlenmektedir. Anadolu Selçuklu ve Osmanlı İmparatorluğu dönemi yapılarına bakıldığında özellikle sivil mimari örnekleri olmak üzere pek çok mimari çözümlerde ahşabın kullanıldığını görmek mümkündür. 1296-1299 yılları arasında Konya Beyşehir'de inşa edilen Eşrefoğlu Camii ahşap direkli camilere en güzel örnektir. Bugün hala ibadete açık olan cami, ahşap malzemesinin üstünlüklerini bize anlatan örneklerden biridir. Şekil 3.3'te Eşrefoğlu Camii'nin iç bölümü gösterilmektedir.

1898-1899 yılları arasında inşa edilen Avrupa'nın en büyük ahşap yapısı olarak kabul edilen Büyükada Rum Yetimhanesi binası ahşap karkas sistemle yapılmış çok katlı yapılara güzel bir örnektir. Şekil 3.4'te Büyükada Rum Yetimhanesi'nin fotoğrafı gösterilmektedir. Ayrıca İstanbul Boğaziçi'nde birçok önemli ahşap yapıyı görmek mümkündür. Bu örneklerle beraber yapıların aynı çağın Avrupa'sındaki örneklerden daha ileri teknik ve anlayışta olduğu bilinmektedir (Uzun, 2018).



Şekil 3.3.Eşrefoğlu Camii
(URL-3, 2016).



Şekil 3.4.Büyükada Rum Yetimhanesi
(URL-4, 2015).

Günümüzde ise Türkiye'de hızlı kentleşmeye bağlı olarak artan nüfus dolayısıyla arsa fiyatlarının yükselmesi ve kent merkezlerindeki alan yetersizliği dikey mimariyi zorunlu kılmıştır. Ülkemizde, ahşap alanında teknolojik gelişmeler takip edilmediği ve bu alanda yeterli Ar-Ge (Araştırma – Geliştirme) çalışmaları yapılmadığı için gereksinimi karşılayacak kadar yüksek katlı ahşap yapılar yapılamamıştır. Türkiye'de geleneksel sivil ahşap mimari yapılar yerini yüksek katlı betonarme yapılara bırakmıştır (Avlar, 2008). Eski dönemlerden bu yana yapı üretiminde yer alan ahşap yapılar, üstün fiziksel ve mekanik özellikleri nedeniyle günümüz yapı malzemeleri arasında önemli bir yer edinmiştir. Uygulamasındaki büyük avantajları nedeniyle ahşap yapı uygulamaları yeniden gündeme gelmiştir.

3.2. Ahşap Yapıların Dünyadaki ve Türkiye'deki Durumu

Ahşap yapı malzemesinin dünyada yaygın olarak kullanılmasına rağmen ülkemizde kullanımı diğer yapı sistemleri ile karşılaştırıldığında çok düşük düzeyde kalmıştır. Ülkemizde ahşabın yapılarda taşıyıcı iskelet olarak kullanımı, 1940'lı yıllardan itibaren yapı ve inşaat sektöründe çimento, taş ve çelik malzemelerin tercih edilmesiyle beraber belirgin bir düşüş yaşamıştır. Ahşap, bina yapı sistemleri içinde özellikle İsveç,

Norveç, Finlandiya, Kanada ve ABD'nin kuzey eyaletleri ile Japonya, Yeni Zelanda ve Avustralya'da Türkiye'ye göre çok daha fazla kullanılmaktadır. Deprem riski altında bulunan Kanada'da konutların ve eğitim binalarının %90'ı, Japonya'da %42'si ve ABD'nin deprem kuşağında yer alan bölgelerinde ise konutların %92'si ahşap taşıyıcı sistemli yapılardır (Akça vd., 2013).

Ülkemizde 100 yıl öncesine kadar ahşap yapılar geleneksel üretim teknikleriyle birlikte yaygın olarak üretilip kullanılmaktayken, günümüzde belirli sebeplerden dolayı tercih edilmemektedir. Ahşap yapılar ile ilgili ülkemizde ön yargılar bulunmaktadır. Ahşabın eksik ve yanlış bilgi ile tanınıyor olması ve yangına dayanıksızdır, sürekli bakım gerektirir, pahalıdır gibi bilimsellikten uzak ve ön yargılı yaklaşımlar ile ahşap talep düzeyi ülkemizde çok düşüktür. Ülkemizde ham maddeyi sağlayacak orman alanlarının azalması, endüstriyel ormancılık ve odun üretiminin yeterince gelişme sağlayamamış olması, ahşap yapı üretiminde kullanılacak nitelikli ağaç türlerinin azalması ve yurt dışından temin edilmesinin çok pahalı olması ahşap yapı üretimini durma noktasına getirmiştir (Ohanesyan, 2012).

Hızlı kentleşmeye bağlı olarak artan nüfus dolayısıyla arsa fiyatlarının yükselişi ve kent merkezlerindeki alan yetersizliği dikey mimariyi zorunlu kılmıştır. Ülkemizdeki ahşap alanındaki teknolojik gelişmeler takip edilmediği ve bu alanda yeterli Ar-Ge çalışmaları yapılmadığı için gereksinimi karşılayacak kadar yüksek katlı ahşap yapılar yapılamamıştır. Türkiye'de geleneksel sivil ahşap mimari yapılar yerini yüksek katlı betonarme yapılara bırakmıştır. Ahşabın mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yapılan çalışmalar neticesinde ahşabın dayanıklı bir malzeme olduğu ve yatay kuvvetler karşısında sağlamış olduğu avantajlar ile deprem kuşağında yer alan ülkemizde son yıllarda ahşap yapı üretiminin arttığı gözlemlenmektedir (Avlar, 2008).

3.3. Yapısal Ahşap Ürünler

Doğal kaynakların sınırlı olması nedeniyle dikkatli ve planlı kullanılmadığı takdirde daha hızlı bir şekilde tükeneceği gerçektir. Bu bakımdan kaynakların daha etkin şekilde kullanımı önemli bir konu haline gelmiştir. Kompozit malzemeler bu konuda alternatif oluşturmakta ve bazı üstün özellikler sağlamaktadır. Odun biyolojik olarak yenilenebilen bir materyaldir. Ağaç malzemenin üretilen ürünler sağlık, görünüm ve geri dönüşüm açısından diğer malzemelere göre daha fazla avantaja sahiptir. Fakat sınırlı olan orman kaynakları masif esaslı ürünlerin kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple odun

esaslı kompozit malzemeler masif ahşaptan üretilen malzemelerin yerini almıştır. Ayrıca odun esaslı kompozitler kullanım yerine göre yoğunluk, suya ve rutubete dayanım, yüzey düzgünlüğü, atıkların kullanımı gibi üstün özellikler sağlamaktadır (Aras ve Kalaycıoğlu, 2016).

Odun esaslı kompozitler, levha ürünleri ve yapısal kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır. Levha ürünleri; kontrplak, yonga levha, yönlendirilmiş yonga levha (oriented strand board, OSB) ve lif levhalardır. Yapısal kompozitler ise tutkallı lamine ahşap (glulam), soyma tabakalı lamine kereste (laminated veneer lumber, LVL), ahşap I kirişlerdir.

TS 647’de sadece masif ahşap ve kontrplaktan bahsedilirken Eurocode 5’te masif ahşap, tutkallı lamine ahşap, LVL, OSB, yonga levha ve lif levhalardan bahsedilmektedir.

Levha ürünleri;

- Kontrplak: Belirli özellikteki tomrukların özel makinelerde soyulması ile elde edilen ince soyma levhaların tutkalanıp lifleri birbirine dik gelecek şekilde en az üç tabaka ya da daha çok tek sayıda üst üste konularak preslenmesiyle elde edilen büyük boyutlu levha şeklinde bir malzemedir (Güller, 2001).

TS 647’de kontrplakların, Kontrplak Standardı TS 46’ya uyması gerektiği belirtilmiştir. Eurocode 5’e göre ise Kontrplak Avrupa Standardı, EN 636’ya uyması gerekmektedir.

- Yonga levhalar: Odun veya odunlaşmış lignoselülozik (tarım ve odun atıkları) hammaddelerden elde edilen kurutulmuş yongaların reçine tutkalları ile sıcaklık ve basınç altında yapıştırılması ve biçimlendirilmesi sonunda elde edilen levhalardır (Güller, 2001).

Eurocode 5’e göre yonga levhalar EN 312 ile uyumlu olmalıdır denilmektedir.

- Lif levhalar: Odun ya da lignoselülozik (tarım ve odun atıkları) lifli materyallerden elde edilen lifler, yapıştırıcılar ve katkı maddeleri kullanılarak üretilen bir üründür (Güller, 2001).

Eurocode 5’e göre lif levhalar, Lif Levha Avrupa Standartları, EN 622-2, EN 622-3 ve EN 622-5 ile uyumlu olmalıdır denilmektedir.

- OSB: Özel hazırlanmış yongalara yön verilerek üretilen bir yonga levha türüdür (Güller, 2001).

Eurocode 5'e göre OSB Avrupa Standardı, EN 300 ile uyumlu olmalıdır denilmektedir.

- Tutkallı lamine ahşap (glulam): Masif kerestelerin büyük boyut oluşturmak için uç uca, yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen bir yapı elemanıdır. Glulam yatay, dikey ve eğimli elemanlar olarak dizayn edilerek meskenlerde ve diğer yapılarda yüksek yük taşıyıcı yapısal elemanlar olarak kullanılırlar (Güller, 2001).

Eurocode 5'e göre tutkallı lamine ahşap Lamine Ahşap Avrupa Standardı, EN 14080 ile uyumlu olmalıdır denilmektedir.

- LVL: İki ya da daha fazla soyma kaplama katın tutkallanarak ve katların lif yönü birbirine paralel ya da dik gelecek şekilde birleştirilmesiyle elde edilen bir malzemedir (Güller, 2001).

Eurocode 5'e göre LVL taşıyıcı elemanlar LVL Avrupa Standardı, EN 14374 ile uyumlu olmalıdır denilmektedir.

3.4. Ahşap Yapılarla İlgili Yönetmelik ve Standartlar

Sağlam, nitelikli ve denetlenebilir ahşap yapılar üretebilmek için belli kurallar, yönetmelikler ve standartlar gereklidir. Ülke koşullarında yapı üretiminin ne şekilde ve hangi sınırlara bağlı kalınarak yapılacağını belirten kuralların tasarımcı, uygulayıcı ve denetleyici tarafından bilinmesi ve uygulanması oldukça önemlidir (Ohanesyan, 2012).

20. yüzyılın başlarından itibaren gelişmiş ülkeler ahşap malzeme ve yapı sistemleri ile ilgili araştırmalar yapmışlar; ahşap yapı üretiminde uyulması ve dikkat edilmesi gereken kuralları belirleyebilmek için dernekler kurmuşlardır. Bunlardan ilki 1917 yılında Almanya'da kurulan Alman Endüstrisi Standartları Birliği (Normenausschuss der Deutschen Industrie-NADI)'dir. Kuruluş, 1975 yılında Alman Standardizasyon Enstitüsü(Deutsches Institute für Normung-DIN) adını almıştır. Alman Standardizasyon Enstitüsü, ahşap yapılarla ilgili ilk standardını 1933 yılında DIN-1052 (Design of Timber Structures-General Rules and Rules for Buildings) adıyla bir standart yayımlamıştır. 1935 yılında İngiltere'de Ahşap Geliştirme Derneği (Timber Development Association-TDA) kurulmuştur. Bu dernek ahşap yapı üretiminde uyulması ve dikkat edilmesi gereken kuralları belirleyen bir kaynak oluşturmuştur (Çakır,2000). 1944 yılında Amerikan Ahşap Konseyi (American Wood Council-AWC) kurulmuştur. Amerikan Ahşap Konseyi aynı yıl içinde Ulusal Tasarım Şartnamesi (The National Design Specification for Wood Construction- NDS) adıyla bir teknik şartname yayımlamıştır.

Reçine tutkalının bulunması ve tutkallı ahşap ürünlerin üretiminin başlamasıyla beraber bu alanda yönetmelik ve kurallarla ilgili belirsizlikler ortaya çıkmıştır. 1952 yılında Amerikan Ahşap Yapı Enstitüsü (The American Institute of Timber Construction-AITC) kurulmuştur. AITC, yapıştırılmış ahşap yapılarla ilgili ilk standardı 1966 yılında Ahşap Yapı El Kitabı (Timber Construction Manual) adıyla yayımlamıştır.

Avrupa Birliği'nin kurulmasıyla beraber, Avrupa ülkelerinde yönetmelik ve standartlarda ortak mekanizma kurulması fikri ortaya çıkmıştır. 1961 yılında Eurocode ile ilgili çalışma yapılması amacıyla Avrupa Standartlar Komitesi (European Comitee for Standardization) adıyla bir komisyon kurulmuş ve eylem planı hazırlanmıştır. 1975 yılında Avrupa Birliği Komisyonu yapı alanında bir faaliyet programının uygulanması kararını almıştır. Programın amacı ticaretin önündeki teknik engellerin ortadan kaldırılması ve teknik şartnamelerin, ilk aşamada üye devletlerde yürürlükte olan ulusal kural ve yönetmeliklere bir alternatif olarak hizmet edeceği teknik kurallar aracılığıyla uyumsallaştırılmasıydı. Bu eylem programı dâhilinde, komisyon bir dizi uyumsallaştırılmış yapı tasarımı teknik kurallarını ortaya koymuştur. 16 Nisan 2004 tarihinde Eurocode 5: Design of Timber Structures (EN 1995-1-1:2004) Standardı Avrupa Standartlar Komitesi tarafından onaylanmış ve yürürlüğe girmiştir. Standardın yayımlanmasıyla birlikte Avrupa ülkeleri başta olmak üzere dünyanın birçok ülkesi bu standarttan yararlanmış ve kendi dillerine tercüme edip, kendi şartnameleri içerisinde kullanmışlardır. Ayrıca Kanada, Japonya, Avustralya gibi gelişmiş ülkelerde de ahşap yapılar ile ilgili araştırmalar yapılmış ve önemli yönetmelikler yayımlanmıştır. Dünyada ahşap yapılarla ilgili önemli yönetmelik ve standartlar;

- DIN 1052; Deutsches Institute für Normung, Design of Timber Structures-General Rules and Rules for Buildings
- NDS; American Wood Council, The National Design Specification for Wood Construction
- AITC; The American Institute of Timber Construction, Standard Specifications for Structural Glued Laminated Timber of Hardwood Species
- Eurocode 5 (EN 1995-1-1:2004); European Comitee for Standardization, Design of Timber Structures Part-1-1: General-Common Rules and Rules for Buildings.

Gelişmiş ülkelerde ahşap yapılar ile ilgili çağın gereksinimleri ve teknolojik gelişmelerin ışığında yapılmış; detaylı ve evrensel birçok yönetmelik ve standart bulunmaktayken, ülkemizde ahşap yapı ile ilgili yönetmelik ve standartlara yeteri kadar önem verilmemiştir. Türkiye’deki yönetmeliklerde betonarme, çelik ve yığma yapıların tasarım ve uygulamasına yönelik kurallar detaylı olarak belirtilirken, ahşap yapılar göz ardı edilmiştir. Ahşap yapıların tasarım ve uygulamasına yönelik kurallar yönetmeliklerde yüzeysel ve sınırlayıcı olarak aktarılmış ve çağın teknolojik gelişmelerinin gerisinde kalmıştır.

Ülkemizde ahşap yapılarla ilgili yönetmelik ve standartlar;

- TS 647; Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (1979)
- Genel Teknik Şartname (1985); 17. Bölüm: Ahşap İşleri Genel Teknik Şartnamesi
- 3030 Sayılı Kanun Kapsamı Dışında Kalan Belediyeler Tip İmar Yönetmeliği (1985)
- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY 1997)
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)
- İstanbul İmar Yönetmeliği (2007)
- TS EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar (Eurocode 5)
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)

3.4.1. TS 647 Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları

30 Kasım 1979 yılında yayımlanan TS 647’de ahşap yapıların hesap ve yapım kuralları anlatılmaktadır. Standartta; ahşap malzeme ve ahşap yapılarda kullanılan birleşim elemanları tanımları, dayanım hesapları, boyutlandırmada genel kurallar, eğilmeye, çekmeye ve basınca çalışan ahşap yapı elemanlarının boyutlandırılması, destek ve kuşaklar, emniyet gerilmeleri ve kullanılması, izin verilecek sehimler ve ahşap birleşimler başlıkları yer almaktadır. TS 647’de emniyet gerilmeleri yöntemine göre tasarım kuralları sunulmuştur. Bu standartta sadece masif ahşap yapı elemanları ve kontrplaklar üzerine çalışılmış olup, teknolojik ahşap yapı ürünleri ve yöntemlerinden, gelişmiş yapım sistemleri ve birleşim elemanlarından bahsedilmemiştir.

3.4.2. TS EN 1995-1-1; Ahşap Yapıların Tasarımı Bölüm 1-1: Genel Kurallar ve Binalar İçin Kurallar

EN 1995-1-1:2004 Standardı Avrupa Standardizasyon Komitesi (CEN-European Committee for Standardization) tarafından 16 Nisan 2004 tarihinde onaylanmış ve yürürlüğe girmiştir. Standart Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından Türkçe'ye çevrilerek 27 Aralık 2005 tarihinde TS EN 1995-1-1:2005 adıyla yayımlanmıştır. Eurocode 5'in, EN 1990:2002 Eurocode- Yapı Tasarım Esasları ve EN 1991- Yapılara Olan Etkiler standartlarının ilgili bölümleri ile birlikte doğrudan uygulama için kullanılması amaçlanmıştır. Eurocode 5'te tasarım esasları, malzeme özellikleri, dayanıklılık, yapısal analiz esasları, taşıma gücü sınır durumları, kullanılabilirlik sınır durumları, metal bağlantı elemanları ile birleşimler, bileşenler ve ahşap donanımlar, yapısal detaylandırma ve kontrol başlıkları yer almaktadır. Standartta taşıma gücü yöntemine göre tasarım kuralları sunulmuştur. Ayrıca bu standartta bir kısmi faktör yöntemi ile sınır durum kavramı esas alınır. TS 647'de sadece masif ahşap ve kontraplaklar üzerine çalışılmasına rağmen TS EN 1995-1-1'de tutkalı lamine ahşap, ahşap esaslı yapısal mamuller, mekanik bağlantı elemanlarıyla birleştirilen ahşap esaslı levhalardan oluşan binaların tasarımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır.

21.12.2006 tarihinde TS EN 1995-1-1 kodlu standardın dört yerinde düzeltme yapılmış ve düzeltme yapılan bölümler TS EN 1995-1-1/AC kodlu standartta yer almıştır. Ayrıca TS EN 1995-1-2' de ahşap yapılar için yapısal yangın tasarımı, TS EN 1995-2 'de ahşap köprülerde dikkate alınması gereken kurallar anlatılmıştır.

3.4.3. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY 1997)

2 Eylül 1997 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanmış ve 1 Ocak 1998 tarihinde yürürlüğe girmiştir. 2 Temmuz 1998 tarihinde değişiklik yapılmıştır. Yönetmeliğin 9. bölümünde "Ahşap Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları" başlığı altında ahşap yapılar ile ilgili tasarım kuralları anlatılmıştır. Bu bölümde ahşap yapılar ile ilgili genel kurallar, taşıyıcı duvarlar, döşemeler ve çatılar başlıkları yer almaktadır. Yönetmeliğin kapsamında hem düşey hem de yatay yükler için taşıyıcı duvarları ve döşemeleri ahşap iskeletli olarak yapılan ahşap binaların veya bina türü yapıların tasarımı, ahşap yapılar ile ilgili yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte ABYYHY 1997'nin 9. bölümünde "Ahşap Binalar İçin Depreme Dayanıklı Tasarım Kuralları"

başlığı altında belirtilen kurallara göre yapılacaktır ibaresi yer almaktadır. Bu yönetmeliğe göre ahşap yapılarda uyulması gereken kurallar ile ilgili olarak;

- Ahşap binaların deprem bölgelerinde, bodrum kat hariç olmak üzere en fazla iki katlı yapılabileceği, ahşap binaların bodrum katlarının yığma kâgir yapılarak, zemin katların da yığma kâgir olarak düzenlenebileceği,

- Ahşap yapılarda kat yüksekliği bodrum katlarda 2.40 m, diğer katlar için 3.00 m'den fazla olamayacağı,

- Ahşap binaların olabildiğince simetrik yapılacağı ve taşıyıcı duvarların üst üste gelmesi gerektiği,

- Taşıyıcı duvarların ahşap iskeletinin; en fazla 1.5 m ara ile dikmeler, dikmelerin altına konulacak taban kirişleri, dikmelerin üstüne konulacak başlık kirişleri, duvarda dikdörtgen gözler oluşturan yatay ara kirişler ve oluşturulan dikdörtgen gözleri üçgen gözlerle bölen çaprazlardan oluşacağı (Şekil 3.5),

- Tek katlı ahşap olan binalarda dikmeler, taban ve başlık kirişleri ile çaprazların en kesit boyutlarının en az 10 cm×10 cm, ara kirişlerin en kesit boyutlarının ise en az 5 cm×10 cm olması gerektiği ve her iki katı da ahşap olan binalarda dikmeler, taban ve başlık kirişleri ile çaprazların en kesit boyutlarının en az 12 cm×12 cm, ara kirişlerin en kesit boyutlarının ise en az 6 cm×12 cm olacağı,

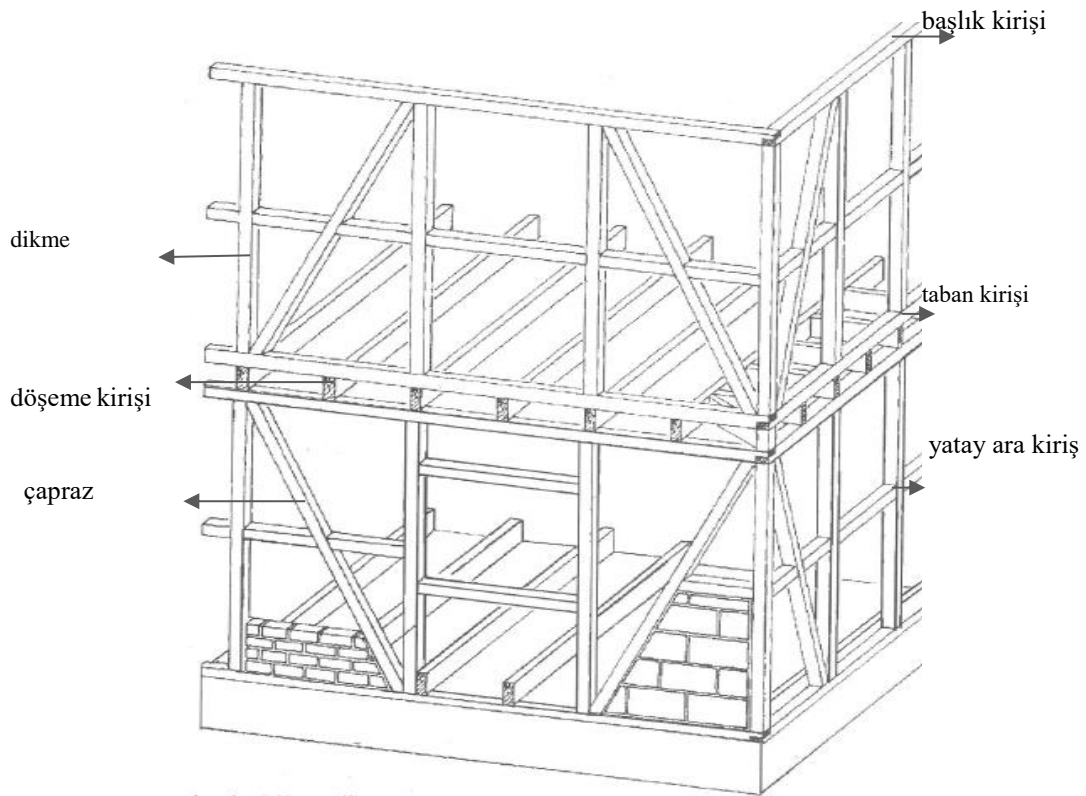
- Dikmeler ve çaprazların taban ve başlık kirişine geçmeli olarak birleştirilip, çivi ile pekiştirileceği, geçmeli birleşim yapılmaması durumunda çivili köşe takozlarının kullanılması gerektiği,

- Ahşap taşıyıcı duvarlarda oluşturulan üçgen gözlerin; hafif tuğla, kerpiç, ahşap yonga ve uygun izolasyon malzemeleri ile doldurularak duvar yüzeylerinin tahta veya oluklu kaplama malzemesi ile kaplanacağı ya da rabbits teli, ahşap çıta veya kamış ile kaplanarak sıvanacağı,

- Ahşap binaların döşeme ve çatılarının da ahşap olarak yapılması gerektiği,

- Ahşap yapılarda zemin kattaki döşeme kirişlerinin taban kirişleri üzerine, diğer katlardaki döşeme kirişleri ve çatı makaslarının ise başlık kirişleri üzerine oturtularak çivili olarak birleştirileceği,

belirtilmektedir.



Şekil 3.5. Çift taban kirişli ahşap karkas yapı (Türkçü,2004).

Bu yönetmelikte geleneksel ahşap yapım tekniklerinin dışına pek fazla çıkılmamıştır. Bu yönüyle ahşap yapılar için kısıtlayıcı bir yönetmeliktir. Yönetmelikte ahşap yapılar için hesap kurallarından bahsedilmemiş olup genel kural ve kabuller belirtilmiştir. Yapım teknikleri açısından çağın teknolojik gelişmelerini takip edememiş ve ahşap yapım tekniklerinin gelişmesi, yaygınlaşması açısından sınırlayıcı bir yönetmelik olmuştur. 6 Mart 2007 tarihinde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğinin yayımlanmasıyla birlikte yürürlükten kalkmıştır.

3.4.4. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)

Bu yönetmelik 6 Mart 2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik içerisinde ahşap yapıların tasarımı ile ilgili bir bölüm bulunmamaktadır. Yönetmeliğin genel hükümler bölümünde ahşap bina ve bina türü yapılara uygulanacak minimum koşul ve kurallar, ilgili yönetmelik hükümleri konuluncaya dek, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın saptayacağı kurallara göre projelerin yapılacağı belirtilmiştir.

3.4.5. Genel Teknik Şartname

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun Hükmünde Kararname ile Genel Teknik Şartname 1 Ocak 1985 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Genel Teknik Şartnamenin 17. bölümünde Ahşap İşleri Genel Teknik Şartnamesi yer almaktadır. Ahşap İşleri Genel Teknik Şartnamesi'nde ahşap kalıp ve iskeleler, ahşap emprenye yöntemleri, ahşap karkas, ahşap çatılar, ahşap doğrama, ahşap tavan, ahşap döşeme, parke döşeme başlıkları bulunmaktadır. Şartnamenin 17.7. maddesinde ahşap karkas ile ilgili kurallar belirtilmiştir. Şartnamenin ahşap karkas ile ilgili bölümünde;

- Ahşap karkas yapılarda karkası meydana getiren ahşap elemanların projelerine göre yapılacağı ve kereste kesitleri, düğüm noktalarının teşkili detaylara uygun olması gerektiği,
 - Açıklığı ve yüksekliği 4 m'den fazla olan ya da önem arz eden karkaslarda dikey ve yatay ana elemanların düğüm noktalarının her iki taraftan demir levha ve rondelalarla takviye edilerek bulonlarla bağlanacağı, gerekli hallerde her parçada yalnız bir yerde ek yapılmasına müsaade edilebileceği,
 - Ahşap Karkas inşaatta dikmeler, kirişler, boylamalar ve payandaların 8 cm×10 cm'den; pencere ve kapı boşluklarında kullanılacak elemanların 5 cm×10 cm'den düşük kesitte olmayacağı,
 - Ahşap karkasın temel ve diğer kâgir bölümlerle bağlantılarının kâgire tespit edilmiş saptamalarla sağlanacağı,
 - Ahşap çatı elemanlarında lataların en az 30 mm×50 mm olacağı, mertekler üzerine çatı saçak hattına paralel olarak çivilerle tutturulacağı, kaplama tahtalarının aralıksız ve kalınlığının en az 18 mm olacak şekilde çatı hattına paralel çakılacağı, mertek aralıklarının 0.50 m'den az olmayacak şekilde kaymaları önlemek için aşıklara çivilerle tutturulacağı, makasların metot ve kurallara göre yerde yapılarak daha sonra monte edileceği,
- anlatılmaktadır.

Genel Teknik Şartname'de ahşap karkas ile ilgili olarak Bayındırlık ve İskân Bakanlığı'nın onayladığı projelere uygun olarak ahşap yapı inşaatlarının yapılması gerektiği vurgulanmış fakat ahşap yapıların hesap ve tasarım kuralları verilmeyerek tezat

yaratılmıştır. Kurallar ve hesap yöntemlerinin belirtilmemiş olması projelendirme, uygulama ve denetleme açısından şartnamenin yetersiz olduğunu göstermektedir.

3.4.6. 3030 Sayılı Kanun Kapsamı Dışında Kalan Belediyeler Tip İmar Yönetmeliği

Bu yönetmelik büyükşehir olamayan il ve ilçe belediyeleri için geçerli olup 2 Kasım 1985 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin 33. maddesinde Kat Adedi ve Yükseklikler Bölümü'nde ahşap yapılar ile ilgili bazı kurallardan bahsedilmiştir. 3030 Sayılı Kanun Kapsamı Dışında Kalan Belediyeler Tip İmar Yönetmeliğinde ahşap yapılar ile ilgili olarak;

- Hımsı, ahşap, yarım kâgir binalarda, 1 bodrum ve 2 normal kattan oluşan yapının 6.50 m'yi aşmayacağı,
- Ahşap ve yarı ahşap binaların bitişik düzende yapılamayacağı,
- Hımsı ve yarım kâgir binaların komşu sınırlarından zeminden itibaren çatının her yerinden 0.50 m yüksekliğe kadar ve en az 1 tuğla kalınlığında yangın duvarı yapılması koşulu ile bitişik düzende inşa edilmesinin mümkün olabileceği, denilmektedir.

3.4.7. İstanbul İmar Yönetmeliği

İstanbul İmar Yönetmeliği 23.06.2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Bu yönetmeliğin amacı, İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içerisindeki yerleşme yerleri ile yapılaşmaların kanun, tüzük, imar planları ve yönetmelik hükümleri ile fen, sağlık ve çevre şartlarına uygun teşekkülünü sağlamaktır.

Kültürel miras olarak geçmişten günümüze kalan tarihi ahşap yapıların en çok bulunduğu şehir İstanbul'dur. Özellikle Boğaziçi'nde ve İstanbul Tarihi Yarımadası'nda birçok tescilli ahşap yapı bulunmaktadır. İstanbul İmar Yönetmeliği'nin 7. bölümünde Yapılarla İlgili Diğer Şartlar başlığı altında ahşap yapılarla ilgili bazı kurallardan bahsedilmiştir. Yönetmelikte ahşap yapılarla ilgili olarak;

- Hımsı, ahşap, yarım kâgir binaların yükseklik 6.50 m'yi aşmamak şartıyla bodrum hariç 2 katlı olarak yapılabileceği,
- Ahşap ve yarım ahşap binaların bitişik düzende yapılamayacağı, ayrık düzende ise komşu sınırlarından çekme mesafesinin en az 5.00 m olacağı,
- Her türlü binanın temel ve bodrum kat duvarlarının kâgir olacağı,

- Hımmış, yarım kâgir binaların komşu sınırlarında zeminden itibaren çatının her yerinden 0.50 m yüksekliğe kadar en az bir taşıyıcı tuğla kalınlığında yangın duvarının yapılması gerektiği,

belirtilmektedir.

Bu yönetmelikte ahşap yapılarla ilgili olarak kısıtlayıcı ve yüzeysel bilgiler verilmiştir. Ahşap yapıların tasarım ve hesap kuralları ile ilgili bilgi verilmemiştir. Bu yönetmelik gelişmiş ahşap yapı sistem uygulamaları için yeterli olmamakla birlikte ahşap yapıların gelişmesi ve ülkemizde inşasının yaygınlaşması adına bir katkı sağlamamıştır.

3.4.8. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)

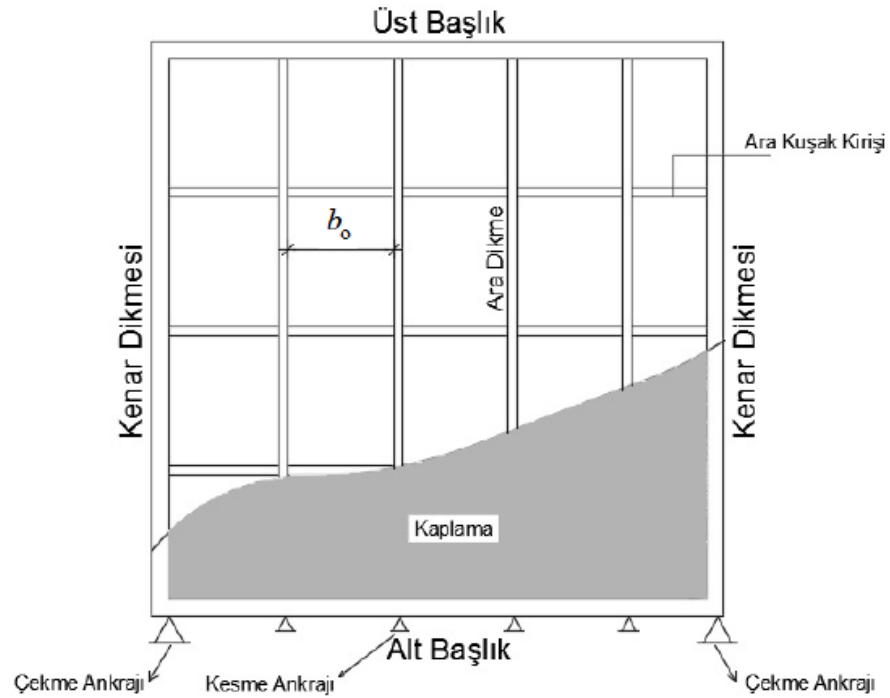
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 18 Mart 2018 tarihinde Resmi Gazete’de yayımlanmış ve 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Yönetmeliğin 12. bölümünde “Deprem Etkisi Altında Ahşap Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı İçin Özel Kurallar” başlığı altında ahşap yapılar ile ilgili kurallar anlatılmıştır. Bu bölümde genel kurallar, deprem etkisi altında yapısal modelleme ve hesap, panellerin tasarım esasları, döşemelerin tasarım esasları ve birleşimlerin tasarımı başlıkları bulunmaktadır. Yönetmeliğin kapsamında, deprem etkisi altında yapılacak tüm ahşap binaların taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılması ve birleşimlerinin düzenlenmesi, bu konuda yürürlükte olan ilgili standart ve yönetmeliklerle birlikte TBDY 2018’in 12.bölümünde belirtilen kurallara göre yapılacağı belirtilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde ahşap yapılarla ilgili uyulması gereken kurallarla ilgili olarak;

- Ahşap binalarda yatay yük taşıyıcı sistemlerin depreme karşı davranışı bakımından kaplamalı panel sistemler ve çaprazlı panel sistemler olmak üzere ikiye ayrıldığı, kaplamalı panel sistemlerin de deprem etkisinin çivili veya vidalı OSB, kontrplak(plywood) paneller ile karşılandığı ahşap yapılar, deprem etkisinin tamamının çivi, vida, ve bulon ile birleştirilen tutkallı perde ve döşeme panel elemanları ile karşılandığı ahşap binalar olmak üzere ikiye ayrıldığı,

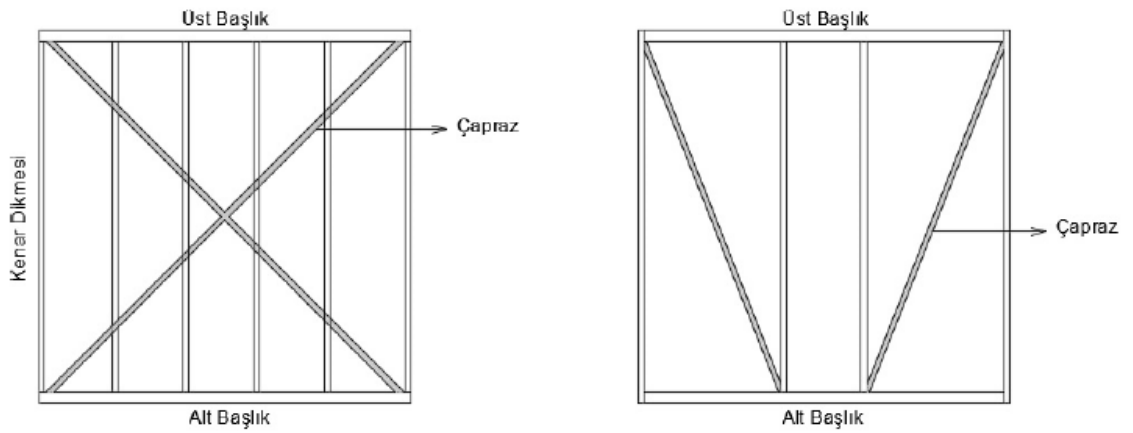
- Ahşap binaların taşıyıcı perde panellerinin simetrik veya simetriğe yakın biçimde yerleştirilmesi ve perde panellerinin tüm katlarda üst üste gelmesi gerektiği,

- Bu yönetmelik kapsamında tüm yapısal ahşap elemanların dayanım sınıflarının ve malzeme özelliklerinin TS EN 1995’e göre belirleneceği,

- Bu yönetmelik kapsamında tasarım ve hesapların taşıma gücü yaklaşımı ile yapılacağı, yapılacak tasarımda kullanılacak ahşap elemanların malzeme özellikleri ve dayanımları için Çizelge 4.7’de verilen malzeme güvenlik katsayılarının kullanılacağı,
- Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de görüldüğü üzere ahşap yapılardaki panellerin ahşap iskeletinin ana dikmeler, ara dikmeler, dikmelerin altına konulacak taban kirişleri, dikmelerin üstüne konulacak başlık kirişleri, taban ve başlık kirişleri arasında duvarda dikdörtgen gözler oluşturan ve dikmeleri boyunca birbirine bağlayan yatay kuşak kirişleri, oluşturulan dikdörtgen gözleri üçgen gözlerle bölen çaprazlar veya yatay yük taşıyan kaplama panellerinden oluşacağı,



Şekil 3.6. Kaplamalı tipik panel iskeleti (TBDY, 2018).



Şekil 3.7. Çaprazlı tipik panel iskeleti (TBDY, 2018).

- Ahşap yapıların yapısal modellemesinde, ahşap panellerin ana iskeletini oluşturan dikme elemanları, taban ve başlık kirişleri, ara kuşak kirişleri, çapraz elamanlar ve kaplama elemanlarının iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile ahşap döşemelerin ana iskeletini oluşturan ahşap kirişler ve ahşap ara kuşak kirişlerinin çubuk sonlu elemanlar ile modelleneceği,
 - Tek katlı ahşap binalarda dikmeler, taban ve başlık kirişleri ile çaprazların enkesit boyutlarının en az $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$, ara kuşak kirişlerinin enkesit boyutlarının ise en az $50\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ olacağı,
 - Ana dikmeler ve çaprazların kat boyunca eksiz olacağı, taban kirişleri ve başlık kirişlerinde dayanımı sağlamak koşulu ile ek yapılabileceği,
 - Çivi, vida veya bulon gibi birleşim elemanlarının taşıyacağı kuvvetlerin TS EN 1995 bölüm 8'e göre hesaplanacağı, ayrıca kaplamalı panel sistemlerin birleşimlerinde kenar dikmelerde çivi/vida aralığının en çok 150 mm , iç dikmelerde ise çivi/vida aralığının en çok 300 mm olacağı,
 - Ahşap döşemelerin; ahşap döşeme kirişleri, ahşap döşeme kirişlerini birbirine bağlayan yatay ara kuşak kirişleri ve ahşap döşeme kaplamasından oluşacağı,
 - Zemin kattaki döşeme kirişlerinin taban kirişleri üzerine, diğer katlardaki döşeme kirişleri ve çatı makaslarının başlık kirişleri üzerine oturtulacağı, çivili, vidalı, bulonlu veya çelik birleşim elemanları ile birleştirileceği,
- anlatılmaktadır.

Bu yönetmelikte ahşap yapılarla ilgili olarak daha önceki yönetmeliklerde bulunmayan ve günümüzde uygulaması yapılan ahşap perde panellerin tasarımına ilişkin kurallardan bahsedilmiştir. Panelin kesme kapasitesi, panelde kullanılan dikmelerin aksenal kuvvet taşıma kapasitesi, ankrajlar ve panel kaplamaları ile ilgili tasarım kuralları ve formüller verilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 ile birlikte deprem etkisi altındaki ahşap yapıların panellerden oluşabileceği kabul edilerek tasarım olarak TS EN 1995'i (Eurocode 5) esas almıştır. Eurocode 5 ülkemizde resmi olarak ilk defa bu yönetmeliğin kapsamında yer almıştır.

4. TEMEL İLKELER VE KURALLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

4.1. Boyutlandırmada Esas Alınan Yükler

Yapı elemanlarının boyutlandırılması için yüklerin hesap değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. TS 647 yük hesapları için, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri Türk Standardı (TS 498)'i, Eurocode 5 ise Eurocode 1: Yapı Etkileri Bölüm 1-1: Genel Etkiler, Yoğunluklar, Zati Ağırlık ve Yapılara Etkiyen Yükler Avrupa Standardı (EN 1991)'in ilgili bölümlerini dikkate almaktadır.

4.1.1. TS 647'ye göre hesaplarda alınacak yükler

TS 647'ye göre bir ahşap yapıda, dayanım ve stabilite hesap ve tahkiklerinin yapılmasında esas yükler ve ilave yükler olmak üzere iki yük çeşidi göz önünde bulundurulur.

- Esas yükler: Sabit yükler (taşıyıcı sistemin ve diğer yapı bileşenlerinin öz ağırlıkları), hareketli yükler (insan, eşya vb.), kar yükleri ve makinelerin kütle yükleri.
- İlave yükler: Rüzgâr yükleri, deprem yükleri, hareketli vinçlerin (kren) kaldırma ve fren yükleridir.

Dayanım ve stabilite tahkiki hesaplarında iki yükleme durumu göz önünde bulundurulur.

- Esas yüklerin etki ettiği yükleme durumu (EY): Bu yükleme durumu, esas yüklerin toplamının en elverişsiz durumda etki etmesi halidir.
- Esas ve ilave yüklerin birlikte etki ettiği yükleme durumu (EİY): Bu yükleme durumu esas ve ilave yüklerin toplamının, en elverişsiz durumda etki etmesi halidir. Bir yapı elemanına kendi ağırlığının dışında, sadece ilave yüklerin etki etmesi halinde, bu yüklerin en büyüğü esas yük olarak kabul edilir.

Proje tasarımı yapılırken yük kombinasyonları yapılır. Daha büyük kesitler ve daha fazla elemanı gerektiren en elverişsiz yükleme durumu geçerli yükleme durumu olarak kabul edilir ve hesaplar bu yükleme durumu esas alınarak yapılır.

TS 647'de yük hesaplamalarında TS 498'de verilenlere ve belirtilenlere uyulmalıdır denilmektedir. Toplam sabit yükler, hareketli yükler, kar yükleri ile rüzgâr yükleri TS 498'de verilen tablolardan bulunmaktadır.

4.1.2. Eurocode 5'e Göre Hesaplarda Alınacak Yükler ve Çevresel Etkiler

Eurocode 5'te yük hesapları ve çevresel etkiler için EN 1991'in ilgili bölümleri dikkate alınmıştır. Eurocode 5'e göre ahşap yapı tasarımında hesap ve tahkiklerin yapılmasında,

- EN 1991-1-1 Yoğunluklar, zati ağırlık ve yapılara etki eden yükler
- EN 1991-1-3 Kar yükleri
- EN 1991-1-4 Rüzgâr etkileri
- EN 1991-1-5 Isıl etkiler
- EN 1991-1-6 Uygulama esnasındaki etkiler
- EN 1991-1-7 Kazara oluşan etkiler

standartları dikkate alınmalıdır.

Ayrıca tahkikler yapılırken Eurocode: Yapı Tasarım Esasları (EN 1990:2002)'de belirtilen yük sınıfları dikkate alınmalıdır. EN 1990:2002'ye göre yükler etki ettiği süreye göre sınıflandırılır.

- Kalıcı yükler (G): Taşıyıcı sistemin ve diğer yapı bileşenlerinin kendi ağırlıkları, sabit teçhizatlar
- Değişken yükler (Q): Yapının kendi ağırlığı haricinde etkiyen insan, eşya yükü, rüzgâr yükü, kar yükü
- Kazara oluşan yükler (A): Patlamalar, araçların çarpma etkisi

Yük süresi ve rutubet içeriği ahşabın ve ahşap esaslı malzemelerin dayanım ve rijitlik özelliklerini etkilemektedir. Mekanik direnç ve kullanılabilirlik için tasarımda dikkate alınmalıdır. Ahşaptaki rutubet içeriği değişimlerinin tesirleri ile oluşan etkiler dikkate alınmalıdır.

Yük-süre sınıfları, yapı ömrünün belirli bir zaman aralığında etkiyen sabit yükün tesiri ile ifade edilir. Değişken bir etki için uygun sınıf, yükün zamanla tipik değişiminin bir hesabı esas alınarak belirlenmelidir. Yük etki süresi arttıkça ahşap ve ahşap esaslı elemanlarda dayanımda azalma olur. Bu etkiyi tasarımda dikkate alabilmek için yük etki sınıfları tanımlanmıştır (Üstündağ, 2014).

Dayanım ve rijitlik hesaplamaları için, etkiler Çizelge 4.1'de verilen yük-süre sınıflarından birine göre tarif edilmelidir.

Çizelge 4.1. Eurocode 5'e göre yük-süre sınıfları.

Yük-süre sınıfı	Karakteristik yükün toplam Süresinin mertebesi
Kalıcı	10 yıldan fazla
Uzun dönemli	6 ay – 10 yıl
Orta dönemli	1 hafta – 6 ay
Kısa dönemli	Bir haftadan az
Anlık	

Yük-süre sınıfının belirlenmesi örnekleri Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. İklimsel yüklerin (kar, rüzgâr) ülkeden ülkeye değişmesi nedeniyle bu yükler için milli standartlardan yararlanılabilir.

Çizelge 4.2. Eurocode 5'e göre yük-süre sınıfının belirlenmesine ait örnekler.

Yük-süre sınıfı	Yükleme örnekleri
Kalıcı	Zati ağırlık
Uzun dönemli	Depolama
Orta dönemli	Hareketli yük, kar
Kısa dönemli	Kar, rüzgâr
Anlık	Rüzgâr, kazara oluşan yük

Nem içeriği arttıkça ahşap ve ahşap esaslı elemanlarda dayanımda azalma olur. Bu etkiyi tasarımda dikkate alabilmek için malzemeler bir kullanım sınıfına atanmıştır. Kullanım sınıf sisteminde esas olarak dayanım değerlerinin belirlenmesi hedeflenir ve tanımlanmış çevre şartları altında şekil değiştirmelerin hesaplanması amaçlanır. Eurocode 5'te üç adet kullanım sınıfı tanımlanmıştır.

- Kullanım sınıfı 1: Malzemelerde 20°C sıcaklığa karşılık gelen bir rutubet içeriği ve yılda sadece birkaç haftada havadaki %65'i aşan bağıl nem ile ifade edilir. Çoğu yumuşak ahşap için kullanım sınıfı 1'de ortalama rutubet içeriği %12'yi aşmaz.
- Kullanım sınıfı 2: Malzemelerde 20°C sıcaklığa karşılık gelen bir rutubet içeriği ve yılda sadece birkaç haftada %85' i aşan bir havadaki ortam bağıl nemiyle ifade edilir. Çoğu yumuşak ahşap için kullanım sınıfı 2'de ortalama rutubet içeriği %20'yi geçemez.
- Kullanım sınıfı 3: Kullanım sınıfı 2'dekinden daha büyük rutubet içeriğine neden olan iklim şartları ile tarif edilir.

Çizelge 4.3'te kullanım sınıfları gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Eurocode 5'e göre kullanım sınıfları.

Kullanım sınıfı	Ortalama rutubet içeriği	İklim koşulları
1	$\leq\%12$	20°C, %65 ve fazla bağıl nem
2	$\leq\%20$	20°C, %85 ve fazla bağıl nem
3	$>\%20$	Kullanım sınıfı 2'den fazla

4.2. Ahşap Malzemenin Mekanik Özellikleri ve Sınıflandırılması

Ahşap, heterojen ve anizotrop (fiziksel ve mekanik özellikleri yüklemeye doğrultusuna bağlı olarak değişen) bir yapı malzemesidir. Ahşabın mekanik özellikleri her ağaç türüne, aynı türün farklı iklimlerde yetişenlerinde hatta aynı ağaç gövdesinin değişik seviyelerde bulunan kısımlarında bile değişiklik gösterebilmektedir.

Mekanik özellikler malzemenin iç bünye yapısı ve rutubetine bağlı olarak değişmektedir. Mukavemet değerlerini en çok etkileyen faktörler lif doğrultusu, rutubet, özgül ağırlık ve yıllık halkalardır.

- Lif doğrultusu: Özellikle basınç mukavemetini etkiler. Basınç kuvvetinin liflere paralel doğrultuda bulunması en yüksek basınç mukavemetini, dik doğrultuda bulunması ise en düşük basınç mukavemetini doğurur.
- Rutubet: Ahşaptaki rutubet miktarı, parçadaki rutubetin parça kuru ağırlığına oranının yüzde değeri ile belirlenir. Rutubet bütün mukavemet değerlerini etkiler. Mukavemet değerleri ile rutubet ters orantılı olarak değişir.
- Özgül ağırlık: Genellikle ağacın özgül ağırlığı arttıkça mekanik özellikleri daha iyi duruma gelir.
- Yıllık halkalar: Halkaların genişliğinin mukavemet değerlerine etkisi vardır. Eğilme mukavemetinde kuvvetin doğrultusunun yıllık halkalara göre durumunun, radyal ve teğet olması hali oldukça farklı sonuçlar doğurmaktadır. Yükleminin yıllık halkalara teğet bulunması en düşük eğilme mukavemetini vermektedir.

Ahşapta mukavemet değerlerinin çok fazla değişiklik göstermesi sebebiyle, ahşap inşaat malzemesinin emniyet gerilmeleri hesaplanırken, diğer inşaat malzemelerine göre çok daha büyük emniyet katsayıları göz önünde tutulur (Odabaşı, 1997).

4.2.1. TS 647'ye Göre Ahşabın Sınıflandırılması

Türkiye’de, TS 647 “Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” standardına göre ahşap malzeme, iğne yapraklı ağaç sınıfları, meşe ve kayın olmak üzere iki gruba ayrılır. Bünyesindeki kusurları göz önüne alarak iğne yapraklı ağaçlardan çam 3 sınıfa ayrılır. Sınıf numarası büyüdükçe budak, lif eğikliği, en kesit düzensizliği, çatlaklar gibi ahşap kusurlarının fazlaştığı ve emniyet gerilmelerinin düştüğü kabul edilir.

TS 647’ye göre masif ahşap malzemenin emniyet gerilmeleri (kgf/cm²) yönünden sınıflandırılması Çizelge 4.4’te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. TS 647’de masif ahşap malzemenin emniyet gerilmeleri.

Gerilme Türü	Notasyon	Ahşap Malzemenin Cins ve Sınıfına Göre Gerilme Değerleri (kgf/cm ²)			
		İğne Yapraklı Ağaç Sınıfları			Meşe ve Kayın
		I	II	III	
Eğilme	σ_{eem}	130	100	70	110
Liflere paralel çekme	$\sigma_{\text{çem//}}$	105	85	0	110
Liflere paralel basınç	$\sigma_{bem//}$	110	85	60	100
Liflere dik basınç	$\sigma_{bem\perp}$	20	20	20	30
Makaslama	τ_{em}	9	9	9	10

Masif ahşap malzemenin emniyet gerilme değerlerini etkileyen bazı özel durumlar aşağıda belirtilmiştir.

- Çizelge 4.4’te verilen emniyet gerilmesi değerleri esas yüklerin etki ettiği yükleme durumu (EY) için geçerlidir. Hesaplarda esas ve ilave yüklerin birlikte etki ettiği yükleme durumunun (EİY) göz önünde bulundurulması halinde Çizelge 4.4’te verilen emniyet gerilmesi değerleri %15’e kadar arttırılabilir. Örneğin bir eğilme elemanına esas ve ilave yüklerin birlikte etkimesi (EİY) halinde kullanılacak eğilme emniyet gerilmesi II. sınıf çam için;

$$\sigma_{eem} = 100 \times 1.15 = 115 \text{ kgf/cm}^2 \text{ olarak elde edilmektedir (Türker,2013).}$$

• Liflere eğik olarak etki yapan kuvvetler için basınç emniyet gerilmesi değeri Denklem 4.1’de gösterilmiştir.

$$\sigma_{bem\alpha} = \sigma_{bem//} - (\sigma_{bem//} - \sigma_{bem\perp}) \sin\alpha \quad (4.1)$$

Formülü ile hesaplanır. Bu formülde α , lif doğrultusu ile kuvvet doğrultusu arasındaki açıdır.

• Emniyet gerilmesi değerleri yapının veya yapı elemanının rutubet etkisi altında kalması halinde azaltma katsayıları ile çarpılarak azaltılmalıdır. Rutubet ve ıslaklığa maruz kalan ve koruyucu madde ile korunmamış yapılar ve yapı kısımları, korunmuş olmakla birlikte devamlı olarak su ile temas halinde bulunan yapı kısımları, iskeleler ve su içinde kalan ahşap kazıklar için emniyet gerilmelerinin 2/3’ ü alınmaktadır. Rutubet ve ıslaklığa maruz kalan, denenmiş bir koruyucu madde ile montajdan önce emprenye (ahşabı koruyan kimyasal) edilerek ve boyanarak korunmuş ahşap yapı kısımları için emniyet gerilmelerinin 5/6’sı alınmaktadır.

Ahşap malzemede elastisite ve kayma modülleri, ahşap türüne göre değişmelerine karşın, kalite sınıflarından etkilenmez. TS 647’ ye göre ahşap malzemenin elastisite (kgf/cm²) ve kayma modülü (kgf/cm²) değerleri Çizelge 4.5’te gösterilmektedir.

Çizelge 4.5. TS 647’de ahşap malzemenin elastisite ve kayma modülü değerleri.

Ahşap Malzeme Cinci	Elastisite Modülü (E) (kgf/cm ²)		Kayma Modülü (G) (kgf/cm ²)
	Liflere paralel E//	Liflere dik E⊥	
İğne Yapraklı	100000	3000	5000
Meşe ve Kayın	125000	6000	10000

4.2.2. Eurocode 5’e Göre Ahşabın Sınıflandırılması

Eurocode 5’e göre ahşap malzeme, mekanik değerleri göz önüne alınarak “Yapı Kerestesi-Mukavemet Sınıfları” (Structural Timber-Strength Classes, EN 338) Standardı’nda belirtildiği şekilde sınıflandırılır. EN 338’e göre ahşap malzeme mekanik değerlerine göre 2 grup ve 20 sınıfa ayrılır.

Ahşap mekanik özelliklerine göre sınıflandırılırken ölçülen kriterler; eğilme, liflere paralel çekme, liflere dik çekme, liflere paralel basınç, liflere dik basınç, makaslama, liflere paralel elastisite modülü, liflere dik elastisite modülü, makaslama modülü ve yoğunluktur. Bu kriterler ahşabın elastisite modülü, kopma modülü ve özgül

ağırlığına bağlıdır. Ahşap sınıfları belirlenirken, ahşaba fiziksel zarar vermeyen akustik-ultrasonik uygulamalar, lokal yoğunluk ölçümü ve nem ölçümü gibi yöntemler kullanılır (Esen, 2010).

EN 338’de belirtilen iki grup C ve D olarak adlandırılır. C grubu, sıkça kullanılan çam, köknar, ladin, sedir gibi ağaçların bulunduğu yumuşak ağaç grubudur. İsimlendirme yapılırken C’den sonra gelen rakam, ahşabın karakteristik eğilme gerilimini ifade eder. D grubu içerisinde merbau, balau, teak gibi sert ağaçları içeren Güneydoğu Asya, Afrika, Avustralya gibi ülkelerde yetişen tropikal ağaçları barındırır. EN 338’e göre ahşabın sınıflandırılması Çizelge 4.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. EN 338'e göre ahşabın sınıflandırılması.

Ahşap Sınıfı	Dayanım Özellikleri (N/mm ²)						Rijitlik Özellikleri (kN/mm ²)				Karakteristik Yoğunluk (kg/m ³)	Ortalama Yoğunluk (kg/m ³)
	Eğilme	Çekme (liflere paralel)	Çekme (liflere dik)	Basınç (liflere paralel)	Basınç (liflere dik)	Kayma	Ortalama Elastisite Modülü (liflere paralel)	5% Elastisite Modülü (liflere Paralel)	Ortalama Elastisite Modülü (liflere dik)	Ortalama Kesme Modülü		
	f _{m,k}	f _{t,0,k}	f _{t,90,k}	f _{c,0,k}	f _{c,90,k}	f _{v,k}	E _{0,mean}	E _{0,05}	E _{90,mean}	G _{mean}	ρ _k	ρ _{mean}
C14	14	8	0.4	16	2	3	7	4.7	0.23	0.44	290	350
C16	16	10	0.4	17	2.2	3.2	8	5.4	0.27	0.5	310	370
C18	18	11	0.4	18	2.2	3.4	9	6	0.3	0.56	320	380
C20	20	12	0.4	19	2.3	3.6	9.5	6.4	0.32	0.59	330	390
C22	22	13	0.4	20	2.4	3.8	10	6.7	0.33	0.63	340	410
C24	24	14	0.4	21	2.5	4	11	7.4	0.37	0.69	350	420
C27	27	16	0.4	22	2.6	4	11,5	7.7	0.38	0.72	370	450
C30	30	18	0.4	23	2.7	4	12	8	0.4	0.75	380	460
C35	35	21	0.4	25	2.8	4	13	8.7	0.43	0.81	400	480
C40	40	24	0.4	26	2.9	4	14	9.4	0.47	0.88	420	500
C45	45	27	0.4	27	3.1	4	15	10	0.5	0.94	440	520
C50	50	30	0.4	29	3.2	4	16	10.7	0.53	1	460	550
D18	18	11	0.6	18	7.5	3.4	9,5	8	0.63	0.59	475	570
D24	24	14	0.6	21	7.8	4	10	8.5	0.67	0.62	485	580
D30	30	18	0.6	23	8	4	11	9.2	0.73	0.69	530	640
D35	35	21	0.6	25	8.1	4	12	10.1	0.8	0.75	540	650
D40	40	24	0.6	26	8.3	4	13	10.9	0.86	0.81	550	660
D50	50	30	0.6	29	9.3	4	14	11.8	0.93	0.88	620	750
D60	60	36	0.6	32	10.5	4.5	17	14.3	1.13	1.06	700	840
D70	70	42	0.6	34	13.5	5	20	16.8	1.33	1.25	900	1080

4.3. Ahşap Yapı Elemanlarının Tasarım Esasları

Ahşap yapı elemanları boyutlandırılmasında TS 647'de "Emniyet Gerilmelerine Göre Tasarım (Allowable Stress Design-ASD)" yöntemi kullanılmaktadır. Eurocode 5'te

güvenirlilik yönetimine göre bir kısmi faktör yöntemi ile sınır durum kavramı esas alınır. Standartta Taşıma Gücü Sınır Durumu (Ultimate Limit State - ULS) ve Kullanılabilirlik Sınır Durumu (Serviceability Limit State - SLS) kavramlarına göre tasarım kuralları sunulmuştur.

4.3.1. TS 647'ye Göre Tasarım Esasları

TS 647'de dayanım hesaplarında gerekli en kesit boyutlarının verilmesinden başka; elemanların, eklerin, birleşimlerin hesap sonucu bulunan en büyük gerilme değerleri ile emniyet gerilmeleri ayrı ayrı gösterilerek karşılaştırılmalıdır denilmektedir.

TS 647' de yapı elemanlarının boyutlandırılması "Emniyet Gerilmelerine Göre Tasarım Yöntemine" göre yapılmaktadır. Emniyet gerilmeleri yönteminde yapı elemanına tesir eden karakteristik yükler altında yapı elemanında oluşan gerilmelerin, o yapı elemanına ait emniyet gerilmelerinden küçük olması istenmektedir.

Bu yöntemde;

- Yapıya etkiyen işletme yüklerinden (P_i) oluşan gerilmeler (σ_i) belirlenir.
- Malzemenin sınır gerilmesi bir güvenlik katsayısına bölünerek emniyet gerilmeleri (σ_{em}) belirlenir.
- İşletme gerilmesi (σ_i) ve emniyet gerilmesi (σ_{em}) karşılaştırılır.
- İşletme gerilmesi, emniyet gerilmesinden küçük veya ona eşit olacak şekilde en kesit boyutları belirlenir (Ateş, 2011).

Ahşap elemanların emniyet gerilmeleri, ahşap türlerine ve sınıflarına bağlı olarak TS 647'de Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.

4.3.2. Eurocode 5'e Göre Tasarım Esasları

Eurocode'larda temel prensip olarak "güvenirlilik yönetimi" esas alınır. EN 1990'da güvenirlilik, bir yapı veya taşıyıcı elemanın, tasarım ömrü de dâhil olmak üzere tasarımında dikkate alınan belirtilmiş gerekleri karşılayabilme yeterliliği şeklinde tanımlanır. Güvenirlilik, çoğunlukla olasılık terimleriyle ifade edilir ve bir yapının güvenlik, kullanılabilirlik ve dayanıklılığını kapsar.

Yapısal tasarım ile ilgili niceliklerin (malzeme özellikleri, etkiler, geometri vb.) rastgele doğası göz önünde alındığında yapısal güvenirlilik değerlendirmesi deterministik yöntemle yapılamaz, bir olasılık analizi gerekir. Güvenirlilik yönetiminde tahkik yapılırken olasılık hesapları kullanılır. Seviye III, seviye II ve seviye I olmak üzere üç

adet güvenilirlik yöntemi vardır. Seviye III ve seviye II yöntemlerini istatistiki verilerin yetersiz olmasından dolayı genellikle pratik tasarımda uygulamak zordur. Seviye I yöntemi "kısmi faktör" yöntemi olarak adlandırılır. Bu yöntem, yapının gerekli güvenilirliğini, problem değişkenlerinin karakteristik değerlerini güvenlik elemanı kullanarak sağlayan bir dizi uyum esasına dayanır. Bunlar etki, malzeme ve geometrideki belirsizlikleri kapsayan kısmi faktörler ile temsil edilmektedir(Üstündağ, 2014).

Ahşap malzemenin dayanım ve rijitlik özellikleri belirlenirken yük süresi, rutubet içeriği ve dış etkenler dikkate alınmalıdır. Pratikte kullanılan malzemenin dayanım ve rijitlik özellikleri ile test ortamında küçük boyutlu numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucu bulunan dayanım ve rijitlik özellikleri arasında fark vardır. Pratikte kullanılan yapı malzemelerinin dayanım ve rijitlik özelliklerini gösteren değerler, standartlarda verilen malzeme özelliklerinin karakteristik değerlerinden daha düşüktür. Bu yüzden kısmi faktör yönteminde, malzemenin karakteristik değerleri kısmi faktöre bölünerek ve bir düzeltme faktörü ile çarpılarak tasarım değerine dönüştürülür. Böylelikle malzeme özelliklerini etkileyen belirsizlikler, kısmi faktörler ve düzeltme unsurları uygulanarak karakteristik değerler tasarım değerlerine dönüştürülerek dikkate alınmış olur.

Bir dayanım özelliğinin X_d tasarım değeri Denklem 4.2'den hesaplanmalıdır.

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (4.2)$$

Burada; X_d bir dayanım özelliğinin tasarım değeri, X_k bir dayanım özelliğinin karakteristik değeri, γ_M bir malzeme özelliği için kısmi faktör, k_{mod} yük süresinin ve rutubet içeriğinin tesirini dikkate alan bir düzeltme faktörüdür.

Tasarım elemanının E_d ve G_d rijitlik özelliği Denklem 4.3 ve 4.4'ten hesaplanmalıdır.

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (4.3)$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (4.4)$$

Burada; E_d elastisite modülünün tasarım değeri, E_{mean} elastisite modülünün ortalama değeri, G_d kesme modülünün tasarım değeri, G_{mean} kesme modülünün ortalama değeri, γ_M bir malzeme özelliği için kısmi faktördür.

Malzeme özellikleri için önerilen kısmi faktörler (γ_M) Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Eurocode 5’te malzeme özellikleri ve dirençleri için kısmi faktörler (γ_M).

Temel Kombinasyonlar	γ_M
Masif ahşap	1.3
Tutkallı lamine ahşap	1.25
LVL, kontrplak, OSB	1.2
Yonga levhalar	1.3
Lif levhalar, sert	1.3
Lif levhalar, orta sert	1.3
Lif levhalar, MDF	1.3
Lif levhalar, yumuşak	1.3
Birleşimler	1.3
Zımbalı metal levha bağlama elemanları	1.25
Kazara oluşan kombinasyonlar	1

Düzeltilme Faktörü Değerleri (k_{mod}) Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Eurocode 5’te düzeltme faktörü değerleri (k_{mod}).

Malzeme	Standard	Kullanım sınıfı	Yük-süre sınıfı				
			Kalıcı etki	Uzun dönemli etki	Orta dönemli etki	Kısa dönemli etki	Anlık etki
Masif ahşap	EN 14081-1	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Tutkallı lamine ahşap	EN 14080	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Kontrplak	EN 636 Bölüm 1, 2, 3 Bölüm 2,3 Bölüm 3	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
		3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
		2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Yonga levha	EN 312 Bölüm 4, 5 Bölüm 5 Bölüm 6, 7 Bölüm 7	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
		1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
		2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90
Lif levha, sert	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 veya 2 HB.HLA1 veya 2	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
		2	0.20	0.30	0.45	0.60	0.80
Lif levha, orta sert	EN 622-3 MBH.LA1 veya 2 MBH.HLS1 veya 2 MBH.HLS1 veya 2	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		2	–	–	–	0.45	0.80
Lif levha, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0.20	0.40	0.60	0.80	1.10
		2	–	–	–	0.45	0.80

Bir yapı, tasarlanan kullanım ömrü boyunca uygun güvenilirlik derecesini sağlayacak ve ekonomik olacak tarzda tasarlanmalı ve inşa edilmelidir. Yapı, inşa edilmesi ve kullanım esnasında oluşması muhtemel bütün etkiler ve tesirlere direnç göstermeli, kullanım için gerekli şartlara uygunluğu sürdürmelidir. Bir yapı yeterli yapısal direnç, kullanılabilirlik ve dayanıklılığa sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır (Üstündağ, 2014).

Sınır durum tasarım (Limit state design-LSD) prensibine göre güvenlik tahkikinin amacı hasar olasılığının sabit bir değerin altında kalmasını sağlamaktır. Bir yapı için tehlikeli olan her durum "sınır durum" olarak adlandırılır. Yapı bu sınır duruma eriştikten sonra artık işlevlerini yerine getiremez duruma gelir. Sınır durumları belirlenirken malzeme özellikleri (dayanım, rijitlik), malzemelerin zamana bağlı farklı davranışları (yük süresi, sünme), farklı iklim koşulları (sıcaklık, nem değişimleri) ve farklı tasarım durumları dikkate alınmalıdır.

İki tip sınır durumu vardır;

- Taşıma gücü sınır durumu (Ultimate limit state- ULS)
- Kullanılabilirlik sınır durumu (Serviceability limit state- SLS)

Taşıma gücü sınır durumunu aşma, yapının tamamının veya bir bölümünün göçmesine neden olur. Kullanılabilirlik sınır durumunu aşma ise projenin gereksinimleri açısından yapıyı elverişsiz hale getirir. Görünümünü, dayanıklılığını veya işlevselliğini olumsuz etkileyen hasarlar oluşturur.

4.3.2.1. Taşıma Gücü Sınır Durumu

Taşıma gücü sınır durumu, yapı elemanlarının taşıyıcı özelliklerini yitirerek göçmeleri durumunda ulaşacakları taşıma kapasitelerinin yapı güvenliği açısından değerlendirilmesi sınır durumudur (TS 500, 2000).

Taşıma gücü sınır durumu EN 1990:2002 'ye göre;

- İnsanların güvenliği ve/veya
- Yapının güvenliği

İle ilgilenen bir sınır durumu olarak tanımlanmıştır.

Kısaca taşıma gücü sınır durumu; belirli katsayılarla arttırılmış tasarım yükü ile hesaplanan etki değerlerinin, belirli faktörler ile azaltılmış tasarım dirençlerinden küçük olmasıdır.

Taşıma gücü sınırı durumuna göre tahkik Denklem 4.5 ve 4.6'daki gibi olmalıdır.

$$E_d \leq R_d \quad (4.5)$$

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (4.6)$$

Burada E_d iç kuvvetler, momentlerin etki tesirleri veya farklı iç kuvvetler veya momentleri temsil eden vektörlerin tasarım değerleri (kuvvetlerin etkisi), R_d bir yük taşıma kapasitesinin tasarım değeri (tasarım direnci), R_k yük taşıma kapasitesinin karakteristik değeri, γ_M bir malzeme özelliği için kısmi faktör, k_{mod} yük süresinin ve rutubet içeriğinin tesirini dikkate alan bir düzeltme faktörüdür.

Yapı tasarlanırken yapının maruz kalacağı yükler belirli katsayılar ile çarpılarak yapının maruz kalacağı kabul edilen tasarım yükleri bulunur. Malzeme dayanımları belli faktörler kullanılarak azaltılır ve tasarım dirençleri elde edilmiş olur. Çeşitli etkilerden dolayı tasarım dirençlerinin düşük, yapının maruz kalacağı kuvvetlerin fazla etmesi durumu düşünülerek hesap yapılır. Bu hesaba göre yapı ve her yapı elemanı hesaplanan tasarım yüküne karşı hesaplanan tasarım direnci ile kıyaslanır ve yapının bu koşullarda dayanıklı olması hedeflenir.

Eurocode 5'e göre ahşap yapılarda etkiler ve etkilerin kombinasyonları için Yapı Tasarım Esasları Standardı (Basis of Structural Design, EN1990:2002) kullanılır. EN1990:2002'ye göre taşıma gücü sınır durumuna göre üç adet etki kombinasyonu vardır.

- Değişken etkinin kombinasyon değeri ($\psi_0 Q_k$): Etkilerin kombinasyonuna bağlı olarak tesirlerin meydana gelme olasılığının aşıldığı, münferit etki karakteristik değeri ile yaklaşık aynı olacak şekilde seçilen, istatistiki değerlendirme esas alınarak da belirlenebilen bir değerdir. Bu değer $\psi_0 \leq 1$ kombinasyon faktörü ile çarpılarak karakteristik değer belirlenmiş bölümü olarak ifade edilebilir. ψ_0 kombinasyon faktörü taşıma gücü sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumu için temel kombinasyon değeridir.

- Değişken etkinin tekrar değeri ($\psi_1 Q_k$): Referans dönem içerisinde, sadece küçük bir kısmı oluşturan toplam süre boyunca aşılması veya aşılma sıklığının verilen bir değerde sınırlanması için belirlenen, istatistiki değerlendirmenin de esas alınabildiği değerdir. Bu değer $\psi_1 \leq 1$ kombinasyon faktörü ile çarpılarak karakteristik değer belirlenmiş bölümü olarak ifade edilebilir. ψ_1 kombinasyon faktörü kazara oluşan etkileri içeren taşıma gücü sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumu için geçerlidir.

- Değişken etkinin yarı sabit değeri ($\psi_2 Q_k$): Referans dönem içerisinde büyük kısmı oluşturan toplam süre boyunca aşılması için belirlenen değerdir. Bu değer $\psi_2 \leq 1$ kombinasyon faktörü ile çarpılarak karakteristik değer belirlenmiş bölümü olarak ifade edilebilir. ψ_2 kombinasyon faktörü kazara oluşan etkileri içeren taşıma gücü sınır durumu, kullanılabilirlik sınır durumu, uzun süreli etkiler ve deprem etkilerinde kullanılır.

Taşıma gücü sınır durumu için etki kombinasyonları Denklem 4.7 - 4.9'da görüldüğü gibidir.

Temel kombinasyon;

$$E_d = E\{\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Qi} \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad (4.7)$$

Kazara oluşan tasarım durumu için etkilerin kombinasyonu;

$$E_{d,A} = E\{\sum \gamma_{GA,j} G_{k,j} + \gamma_{PA} P_k + A_d + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad (4.8)$$

Deprem tasarımı için etkilerin kombinasyonu;

$$E_{d,A} = E\{\sum \gamma_{GA,j} G_{k,j} + \gamma_P P_k + A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad (4.9)$$

Burada G_k kalıcı etkinin karakteristik değeri, P_k öngerme etkisinin karakteristik değeri, $Q_{k,1}$ öncü tek değişken etkinin karakteristik değeri, $Q_{k,i}$ öncü tek değişken etkiye eşlik eden etki i nin karakteristik değeri, A_d kazara oluşan etkinin tasarım değeri, A_{Ed} sismik etkinin tasarım değeri, $\psi_{0,i}$, $\psi_{1,1}$, $\psi_{2,i}$ kombinasyon faktörleri, $\gamma_{G,j}$, γ_P , γ_{Qi} kısmi faktörlerdir.

Binalar için kombinasyon faktörü değerleri (ψ) Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. EN 1990:2002’de binalar için kombinasyon faktörü değerleri (ψ).

Etki	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Binalara etkiyen yükler			
Kategori A: Ev, konut alanları	0.7	0.5	0.3
Kategori B: Ofis alanları	0.7	0.5	0.3
Kategori C: Kongre alanları	0.7	0.7	0.6
Kategori D: Alışveriş alanları	0.7	0.7	0.6
Kategori E: Depolama alanları	1.0	0.9	0.8
Kategori F: Trafikte acık alanlar (Araç ağırlığı ≤ 30 kN)	0.7	0.7	0.6
Kategori G: Trafikte acık alanlar (30 kN < Araç ağırlığı ≤ 30 kN)	0.7	0.5	0.3
Kategori H: Çatılar	0	0	0
Binalara etkiyen kar yükü			
Finlandiya, İzlanda, Norvec, İsvec	0.7	0.5	0.2
Diğer CEN uyesi ülkelerdeki, ortalama kotu $H > 1000$ m olan yerler	0.7	0.5	0.2
Diğer CEN uyesi ülkelerdeki, ortalama kotu $H \leq 1000$ m olan yerler	0.5	0.2	0
Binalara etkiyen ruzgar yuku	0.6	0.2	0
Binalardaki sıcaklık (yangın haricindeki)	0.6	0.5	0

Yapıya Etkiyen yükler için kısmi faktörler Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. EN 1990:2002’de etkilerin kısmi faktör değerleri.

Etki	Kalıcı	Değişken
Faydalı yük	$\gamma_G=1$	$\gamma_Q=0$
Elverişsiz yükleme	$\gamma_G=1.35$	$\gamma_Q=1.5$

Basitleştirilmiş şekilde, elverişsiz yükleme durumunda E_d Denklem 4.10’daki gibidir;

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k \quad (4.10)$$

Burada E_d kuvvetlerin etkisi, G_k kalıcı etkinin karakteristik değeri, Q_k değişken etkinin karakteristik değeri, γ_G kalıcı etki için kısmi faktör, γ_Q değişken etki için kısmi faktördür.

Sonuç olarak taşıma gücü sınır durumuna göre tahkik Denklem 4.11'deki gibi özetlenebilir,

$$\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k \leq k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (4.11)$$

Burada G_k kalıcı etkinin karakteristik değeri, Q_k değişken etkinin karakteristik değeri, γ_G kalıcı etki için kısmi faktör, γ_Q değişken etki için kısmi faktör, R_k yük taşıma kapasitesinin karakteristik değeri, γ_M bir malzeme özelliği için kısmi faktör, k_{mod} yük süresinin ve rutubet içeriğinin tesirini dikkate alan bir düzeltme faktörüdür.

4.3.2.2. Kullanılabilirlik Sınır Durumu

Yapının öngörülen servis yükleri altında kullanılabilir kalması, bu yükler altında aşırı titreşim, deformasyon ve çatlama göstermemesi ve yapı güvenliğinin sağlanması için yapı elemanlarından her birinde kullanım yükleri altında oluşacak şekil değiştirme, yer değiştirme ve çatlamlar için tanımlanan sınır durumuna kullanılabilirlik sınır durumu denir (TS 500).

Eurocode 5'e göre bir yapının etkilerinin (eksenel ve kesme kuvvetleri, eğilme momentleri ve birleşim yeri kayması gibi) tesirinden ve rutubetten ortaya çıkan şekil değiştirme, yüzey malzemelerine, tavanlara, döşemelere, bölmelere ve yüzey işlemlerine hasar verme ihtimaline ve işlevsel ihtiyaçların yanı sıra herhangi görünüş gereklerine bağlı olarak, uygun sınırlar içerisinde kalmalıdır. Bu sınırlar kullanılabilirlik sınır durumu olarak tarif edilmektedir.

Eurocode 5'te kullanılabilirlik sınır durumunda şekil değiştirme kavramı bulunmaktadır.

- Anlık şekil değiştirme (u_{inst}) : Etkilerin karakteristik kombinasyonu için uygun elastisite modülleri, kesme modülleri ve kayma modüllerinin ortalama değerleri kullanılarak hesaplanır.

- Nihai şekil değiştirme (u_{fin}) : Etkilerin yarı-kalıcı kombinasyonu için hesaplanmalıdır.

Nihai şekil değiştirme Denklem 4.12'de verilen formül ile hesaplanır.

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Qi} \quad (4.12)$$

Burada;

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \text{ kalıcı bir G etkisi için} \quad (4.13)$$

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \text{ en belirgin } Q_1 \text{ değişken etkisi için} \quad (4.14)$$

$$u_{fin,Qi} = u_{inst,Qi} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \text{ ilave } Q_i \text{ değişken etkileri için (} i > 1 \text{)} \quad (4.15)$$

Burada; $u_{inst,G}$, $u_{inst,Q1}$, $u_{inst,Qi}$ sırasıyla G, Q_1 , Q_i etkileri için anlık şekil değiştirmeler, $\psi_{2,1}$, $\psi_{2,i}$ değişken etkilerin yarı-kalıcı değeri için faktörler, $\psi_{0,i}$ değişken etkilerin kombinasyon değeri için faktörler, k_{def} ahşap ve ahşap esaslı malzemeler için şekil değiştirme faktörüdür.

Şekil değiştirme faktörü (k_{def}) değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Eurocode 5’te şekil değiştirme faktörü (k_{def}).

Malzeme	Standard	Kullanım Sınıfı		
		1	2	3
Masifahşap	EN 14081-1	0.60	0.80	2.00
Tutkallılamine ahşap	EN 14080	0.60	0.80	2.00
LVL	EN 14374, EN 14279	0.60	0.80	2.00
Kontroplak	EN 636			
	Bölüm 1	0.80	-	-
	Bölüm 2	0.80	1.00	-
	Bölüm 3	0.80	1.00	2.50
OSB	EN 300			
	OSB/2	2.25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1.50	2.25	-
Yonga levha	EN 312			
	Bölüm 4	2.25	-	-
	Bölüm 5	2.25	3.00	-
	Bölüm 6	1.50	-	-
	Bölüm 7	1.50	2.25	-
Lif levha, sert	EN 622-2			
	HB. LA, HB.HLA1, HB.HLA2	2.25 2.25	- 3.00	- -
Lif levha, orta sert	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH. LA 2 MBH.HLS1, MBH. HLS2	3.00 3.00	- 4.00	- -
Lif levha, MDF	EN 622-5			
	MDF.LA MDF.HLS	2.25 2.25	- 3.00	- -

Kullanılabilirlik sınır durumları için yapının farklı sünme davranışına sahip elemanlardan veya bileşenlerden oluşması durumunda, nihai şekil değiştirmenin hesaplanması için kullanılan $E_{\text{mean,fin}}$ elastisite modülünün, $G_{\text{mean,fin}}$ kesme modülünün ve $K_{\text{ser,fin}}$ kayma modülünün nihai ortalama değerleri Denklem 4.16-4.18'de verilen formüller ile hesaplanmalıdır.

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad (4.16)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad (4.17)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad (4.18)$$

Yapıdaki rijitlik dağılımından etkilenen eleman kuvvetlerinin ve momentlerinin dağılımının olduğu taşıma gücü sınır durumları için $E_{\text{mean,fin}}$ elastisite modülünün, $G_{\text{mean,fin}}$ kesme modülünün ve $K_{\text{ser,fin}}$ kayma modülünün ortalama değerleri Denklem 4.19-4.21'de verilen formüller ile hesaplanmalıdır.

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+\psi_2 k_{\text{def}})} \quad (4.19)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+\psi_2 k_{\text{def}})} \quad (4.20)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+\psi_2 k_{\text{def}})} \quad (4.21)$$

Burada E_{mean} elastisite modülünün ortalama değeri, G_{mean} kesme modülünün ortalama değeri, K_{ser} kayma modülü, k_{def} ilgili kullanım sınıfını dikkate alan şekil değiştirme faktörü, ψ_2 dayanıma bağlı olarak en büyük gerilmeye neden olan etkinin yarı-kalıcı değeri için faktör.

Yapının lineer elastik analizinde, iç kuvvetlerin dağılımının rijitlik dağılımından etkilenmediği durumlarda (örneğin tüm elemanlar aynı zamana bağlı özelliklere sahip) ortalama rijitlik değerleri (mean) kullanılır. Yapının lineer elastik analizinde iç kuvvetlerin dağılımının rijitlik dağılımından etkilendiği durumlarda (örneğin farklı zamana bağlı özelliklere sahip kompozit elemanlar olması durumu) son ortalama (final mean) rijitlik değerleri kullanılır (Üstündağ, 2014).

EN 1990:2002'ye göre kullanılabilirlik sınır durumu aşağıda belirtilen konularla ilgilenir.

- Yapı ve yapı elemanlarının normal kullanım şartlarındaki işlevleri
- Kişilerin konforu
- Yapının görünüşü, estetikten çok yapıdaki sehim ve çatlaklar kastedilmektedir.

Kullanılabilirlik sınır durumunda deformasyon ve titreşim terimleri esas alınarak tasarım yapılır. Deformasyon ve titreşimler kullanılabilirlik ölçütlerinin sınır değerleri olarak tanımlanır. EN 1990:2002'ye göre yapıdaki deformasyon görünüşü, kullanıcıların konforunu ve yapının fonksiyonunu (teçhizat ve hizmetlerin fonksiyonu dahil) etkiler. Titreşimler ise kişilerin konforunu olumsuz yönde etkiler ve yapının fonksiyonel etkinliğini kısıtlar.

EN 1990:2002 standardına göre kullanılabilirlik sınır durumu tahkiki Denklem 4.22'de görüldüğü şekildedir.

$$E_d \leq C_d \quad (4.22)$$

Burada E_d , kullanılabilirlik ölçütlerinde tarif edilen etki tesirlerinin ilgili kombinasyon alınarak belirlenen tasarım değeri, C_d geçerli kullanılabilirlik ölçütlerinin tasarım değer sınırıdır.

Kullanılabilirlik sınır durumu için etki kombinasyonları Denklem 4.23-4.25'te görüldüğü gibidir.

Karakteristik kombinasyon (geri dönüşsüz sınır durumları)

$$E_d = E\{\sum G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}\} \quad (4.23)$$

Sık kombinasyon (geri dönüşümlü sınır durumları)

$$E_d = E\{\sum G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad (4.24)$$

Yarı-kalıcı kombinasyon (uzun süreli etkiler ve görünüş)

$$E_d = E\{\sum G_{k,j} + P_k + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}\} \quad (4.25)$$

Kullanılabilirlik sınır durumunda etki kısmi faktörü etki kısmi faktörü $\gamma_F = 1$ olarak alınır.

Burada G_k kalıcı etkinin karakteristik değeri, P_k öngerme etkisinin karakteristik değeri, $Q_{k,1}$ öncü tek değişken etkinin karakteristik değeri, $Q_{k,i}$ öncü tek değişken etkiye eşlik eden etki i 'nin karakteristik değeri, $\psi_{0,i}, \psi_{1,1}, \psi_{2,i}$ kombinasyon faktörleridir.

5. AHŞAP YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI

Bu bölümde çekme çubuğu, basınç çubuğu, eğilme çubuğu gibi taşıyıcı sistem elemanlarının TS 647 ve Eurocode 5'e göre ahşap yapılarda tasarımı ve boyutlandırılması incelenmiştir.

5.1. TS 647'ye Göre Ahşap Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması

5.1.1. Çekmeye çalışan elemanların boyutlandırılması

Uzunluğu boyunca her dik kesitinde sadece çekme kuvveti bulunan çubuklar çekme çubuğu olarak adlandırılır (Duman ve Ökten, 1988). TS 647'ye göre çekme tahkikleri emniyet gerilmelerine göre tasarım yöntemiyle Denklem 5.1 yardımıyla yapılır.

$$\sigma = \frac{N}{F_n} \leq \sigma_{\text{cem}} \quad (5.1)$$

Burada, σ emniyet gerilmesi, N çubuğa etkiyen aksenal kuvvet, F_n faydalı enkesit alanı, σ_{cem} çekme emniyet gerilmesidir.

Faydalı kesit alanı Denklem 5.2 yardımıyla bulunur.

$$F_n = F - \Delta F \quad (5.2)$$

Burada, F_n faydalı en kesit alanı, F brüt alan, ΔF boşluk kayıp alanıdır.

ΔF ; çivili, bulonlu ve kama kullanılarak yapılan birleşimlerde kesitteki boşluğu ifade etmektedir. ΔF için,

- Çivili birleşimlerde çivi çapı $d \geq 4.2$ mm olduğunda $\Delta F = 0.20 F$ olarak, $d < 4.2$ mm ise $\Delta F = 0$ olarak alınır.
- Kama ve bulonlu birleşimlerde, kesitteki boşluklar hesaplanır, boşluklar arasındaki temiz mesafe 15 cm'den az ise aynı kesitteymiş gibi hesaplanır.

Uygulanan çekme kuvveti aksenal olmayıp, belli bir eksantriklik ile etkiyorsa, N çekme kuvvetine ek olarak, çubuk eksenini etrafında M momenti oluşur. Bu durumda gerilme tahkiki Denklem 5.3'teki gibi yapılır.

$$\sigma = \frac{N}{F_n} + \frac{\sigma_{\text{cem}}}{\sigma_{\text{eem}}} \frac{M}{W_n} \leq \sigma_{\text{cem}} \quad (5.3)$$

Burada, N çekme kuvveti, F_n faydalı en kesit alanı, σ_{cem} çekme emniyet gerilmesi, σ_{cem} eğilme emniyet gerilmesi, M moment, W_n zayıflatılmış kesitin mukavemet momentidir.

Momentler Denklem 5.4 ve 5.5 yardımıyla bulunur.

$$M = N \times e \quad (5.4)$$

$$W_n = \frac{b \times h^2}{6} \quad (5.5)$$

Burada, M çekme kuvvetinin tam aksenal olmaması durumundaki moment değeri, N çekme kuvveti, e eksenden kaçıklık (eksantrisite), W_n zayıflatılmış kesitin mukavemet momenti, b eleman genişliği, h eleman yüksekliğidir.

5.1.2. Basınca çalışan elemanların boyutlandırılması

Boylama eksenini doğrultusuna paralel ve bu doğrultu üzerinde bulunan basınç kuvvetine maruz elemanlara basınç çubukları denir. Bunlar kafes giriş elemanı ve yapıların kolonu şeklinde kullanılmaktadır. Tahkik hesapları “ ω metodu” ile Denklem 5.6’ daki şekilde yapılır (Odabaşı,1997).

$$\sigma_{\omega} = \frac{\omega N}{F} \leq \sigma_{\text{bem}} // \quad (5.6)$$

Burada, σ_{ω} burkulma gerilmesi, N çubuğa etkiyen en büyük basınç kuvveti, F zayıflatılmamış kesit alanı, ω burkulma katsayısı, σ_{bem} liflere paralel basınç emniyet gerilmesidir.

Burkulma katsayısı (ω), narinliğe (λ) bağlı olarak Çizelge 5.2’deki tablodan bulunur.

Narinlik Denklemi 5.7 ve 5.8 yardımıyla hesaplanır.

$$\lambda = \frac{S_k}{i} \quad (5.7)$$

Burada, λ narinlik, i atalet yarıçapı, S_k basınç çubuğunun burkulma boyudur.

$$S_k = k \times S \quad (5.8)$$

Burada, S_k burkulma boyu, S çubuğun gerçek boyu, k bağlantı koşullarına göre katsayıdır. Çizelge 5.1’de Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 648)

Standardı'nda gösterildiği şekilde, iki ucu mafsallı çubukta $k=1.0$, iki ucu ankastre çubukta $k= 0.5$, bir ucu ankastre bir ucu mafsallı çubukta $k = 0.7$, bir ucu ankastre bir ucu boştaki çubukta $k =2.0$ 'dir.

Çizelge 5.1. TS 648'de basınç çubuklarında burkulma boyu.

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Basınç çubuğunun burkulma şekli						
Teorik burkulma boyu çarpanı (K)	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Tavsiye edilen boyu çarpanı (K)	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Mesnet tanımları		Dönme ve ötelenme tutulu				
		Dönme serbest ve ötelenme tutulu				
		Dönme tutulu ve ötelenme serbest				
		Dönme ve ötelenme serbest				

Hesaplarda $\lambda_x = \frac{S_k}{i_x}$, $\lambda_y = \frac{S_k}{i_y}$ değerlerinden büyük olan göz önünde tutulmalıdır.

Çubuğu etkileyen basınç kuvvetinin belirli bir şekilde çubuk ekseninden farklı bir yönden etki yapması veya eksenel yüke ilave olarak çubuk eksenine dik bir kuvvetin etki etmesi halinde eksantrik basınç kuvveti durumu oluşur. Bu durumda burkulma gerilmesi Denklem 5.9'da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\sigma_{\omega} = \frac{\omega N}{F} + \frac{\sigma_{bem//} M}{\sigma_{eem} W} \leq \sigma_{bem//} \quad (5.9)$$

Burada σ_{ω} burkulma gerilmesi, ω burkulma katsayısı, N çubuğa etkileyen en büyük basınç kuvveti, F zayıflatılmamış kesit alanı, $\sigma_{bem//}$ liflere paralel basınç emniyet gerilmesi, σ_{eem} eğilme emniyet gerilmesi, M basınç kuvvetinin tam eksenel olmaması durumundaki moment değeri, W zayıflatılmamış kesitin mukavemet momentidir.

Çizelge 5.2. TS 647'de burkulma katsayıları(ω).

λ	Burkulma Katsayıları									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.00	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.04
10	1.04	1.04	1.05	1.05	1.06	1.06	1.06	1.07	1.07	1.08
20	1.08	1.09	1.09	1.10	1.11	1.11	1.12	1.13	1.13	1.14
30	1.15	1.16	1.17	1.18	1.19	1.20	1.21	1.22	1.24	1.25
40	1.26	1.27	1.29	1.30	1.32	1.33	1.35	1.36	1.38	1.40
50	1.42	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60
60	1.62	1.64	1.67	1.69	1.72	1.74	1.77	1.80	1.82	1.85
70	1.88	1.91	1.94	1.97	2.00	2.03	2.06	2.10	2.13	2.16
80	2.20	2.23	2.27	2.31	2.35	2.38	2.42	2.46	2.50	2.54
90	2.58	2.62	2.66	2.70	2.74	2.78	2.82	2.87	2.91	2.95
100	3.00	3.06	3.12	3.18	3.24	3.31	3.37	3.44	3.50	3.57
110	3.63	3.70	3.76	3.83	3.90	3.97	4.04	4.11	4.18	4.25
120	4.32	4.39	4.46	4.54	4.61	4.68	4.76	4.84	4.92	4.99
130	5.07	5.15	5.23	5.31	5.39	5.47	5.55	5.63	5.71	5.80
140	5.88	5.96	6.05	6.13	6.22	6.31	6.39	6.48	6.57	6.66
150	6.75	6.84	6.93	7.02	7.11	7.21	7.30	7.39	7.49	7.58
160	7.68	7.78	7.87	7.97	8.07	8.17	8.27	8.37	8.47	8.57
170	8.67	8.77	8.88	8.98	9.08	9.19	9.29	9.40	9.51	9.61
180	9.72	9.83	9.94	10.05	10.16	10.27	10.38	10.49	10.60	10.72
190	10.83	10.94	11.06	11.17	11.29	11.41	11.52	11.64	11.76	11.88
200	12.00	12.12	12.24	12.36	12.48	12.61	12.73	12.85	12.98	13.10
210	13.23	13.36	13.48	13.61	13.74	13.87	14.00	14.13	14.26	14.39
220	14.52	14.65	14.79	14.92	15.05	15.19	15.32	15.46	15.60	15.73
230	15.87	16.01	16.15	16.29	16.43	16.57	16.71	16.85	16.99	17.14
240	17.28	17.42	17.57	17.71	17.86	18.01	18.15	18.30	18.45	18.60
250	18.75	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5.1.3. Eğilmeye çalışan elemanların boyutlandırılması

Kesit ölçütlerinin belirlenmesinde eğilme momentlerinin esas rolü oynadığı çubuklara eğilme çubukları denir. Daha çok eksenlerine dik yönde kuvvetlerde yüklenmiş olan çubuklar bu gruba girer. Başlangıçta doğru eksenli olan çubuk, bu kuvvetlerin etkisiyle az çok eğilir, başka deyimle sehim yapar. Eğilme çubuklarının ahşap yapılarıdaki başlıca uygulama yerleri döşeme kirişleri, mertekler ve aşıklardır (Duman ve Ökten, 1988).

Eğilme çubuklarında eğilme momentinin yanında genellikle bir kesme kuvveti de bulunur. Gerek eğilme momenti, gerekse kesme kuvvetinden ötürü çubuğun herhangi bir kesitinde oluşan σ_e eğilme gerilmesi ve τ makaslama gerilmelerinin kontrolü Denklem 5.10-5.11'de verilen formüller yardımıyla yapılır.

$$\sigma_e = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq \sigma_{eem} \quad (5.10)$$

$$\tau = \frac{3 Q_{\max}}{2 F} \leq \tau_{em} \quad (5.11)$$

Burada, σ_e eğilme gerilmesi, σ_{em} eğilme emniyet gerilmesi, M_{\max} maksimum moment, W_x enkesit mukavemet momenti, τ makaslama gerilmesi, τ_{em} makaslama emniyet gerilmesi, Q_{\max} maksimum yük, F en kesit alanıdır.

Mesnet ezilmesinin olduğu durumlarda a ve b kesitli ebatlı mesnetlerde kontrol Denklem 5.12'deki gibidir.

$$\sigma_{b\perp} = \frac{Q_{\max}}{a \times b} \leq \sigma_{bem\perp} \quad (5.12)$$

Burada, $\sigma_{bem\perp}$ liflere dik basınç gerilmesi, $\sigma_{b\perp}$ maksimum ezilme, Q_{\max} maksimum yük, a ve b kesit ebatlarıdır.

Ahşap eğilme çubuklarında yalnız gerilmeler değil, açıklık ortasındaki ve konsolların ucundaki sehimlerde sınırlandırılmıştır. Geniş anlamıyla gerilme kontrolü yapmak demek kesit ölçütlerinin yeterli olup olmadığını kontrol etmek demek olmadığına göre problemi tamamlamış olmak için eğilme gerilmesi (σ_e) ve makaslama gerilmesinin (τ) yanında sehimleri de (f) hesaplamak ve TS 647'nin koyduğu üst sınır değerleriyle karşılaştırmak zorunludur (Duman ve Ökten, 1988).

Sehim (f) Denklem 5.13'de verilen formül ile hesaplanır.

$$f = \frac{5 M_{\max} l^2}{48 E I} \leq \frac{1}{k} \quad (5.13)$$

Burada, f sehim, M_{\max} maksimum moment, E elastisite modülü, l eleman açıklığı, I atalet momenti, k sehim üst sınır değeridir.

TS 647' ye göre k sehim sınır değerleri;

- Konut, büro ve işyerleri ile fabrika ve atölyelerde döşemelerin sabit ve hareketli yükler göz önüne alınarak hesaplanacak sehim değerleri döşeme kirişi açıklığının $\frac{1}{300}$ ' ünü aşmamalı.
- Aşıklar ve merteklerde sehim değerleri açıklığın $\frac{1}{200}$ ' ünü aşmamalı.
- Konsol kirişlerde sehim değerleri açıklığın $\frac{1}{50}$ 'sini aşmamalıdır.

5.1.4. Eksenel Yük ve Eğilme Durumunda Elemanların Boyutlandırılması

Eksenel yüke ilave olarak çubuk eksenine dik bir kuvvetin etki etmesi halinde eksantrik basınç kuvveti durumu oluşur. Bu şekilde etkilenen çubuklarda önce basınç ve eğilme için bilinen alışlagelmiş gerilme hesabı yapılarak emniyet gerilmelerinin aşılmamış olduğu sağlanmalıdır. Bu sağlama Denklem 5.14 ve 5.15'teki gibi yapılır.

$$\sigma = \frac{N}{F_n} + \frac{\sigma_{bem//} M}{\sigma_{eem} W_n} \leq \sigma_{bem} \quad (5.14)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_{\zeta em} M}{\sigma_{eem} W_n} - \frac{N}{F_n} \leq \sigma_{\zeta em} \quad (5.15)$$

Bundan sonra Denklem 5.16'da görüldüğü şekilde burkulma (flambaj) sağlaması yapılır.

$$\sigma_{\omega} = \frac{\omega N}{F} + \frac{\sigma_{bem//} M}{\sigma_{eem} W} \leq \sigma_{bem//} \quad (5.16)$$

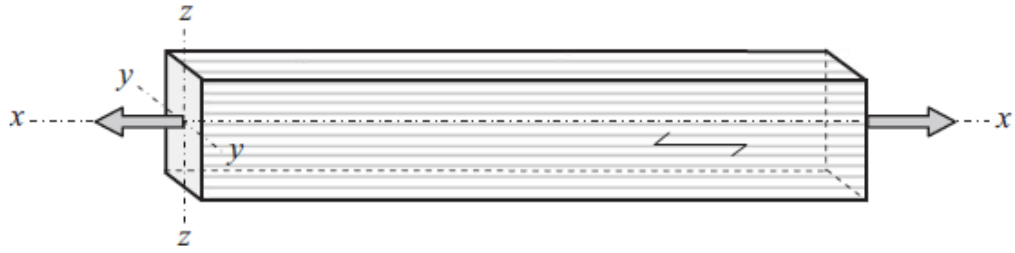
Burada σ_{ω} burkulma gerilmesi, N çubuğa etkiyen kuvvet, $\sigma_{bem//}$ liflere paralel basınç emniyet gerilmesi, σ_{eem} eğilme emniyet gerilmesi, $\sigma_{\zeta em}$ çekme emniyet gerilmesi, F zayıflatılmamış kesit alanı, W zayıflatılmamış kesit mukavemet momenti, F_n zayıflatılmış kesit alanı, W_n zayıflatılmış kesit mukavemet momentidir.

Tasarım sırasında eksantrik çekme kuvvetlerinin etkileyeceği öngörülen çubuklar ile çekme kuvvetlerine ek olarak eksenlerine dik kuvvetlerin etkisi altında bulunan çekme çubuklarında hesaplanacak en büyük gerilmeler çekme emniyet gerilmelerini geçmemelidir. Yapılacak sağlamalarda Denklem 5.15'te verilen formül kullanılabilir.

5.2. Eurocode 5'e Göre Ahşap Yapı Elemanlarının Boyutlandırılması

5.2.1. Liflere Paralel Doğrultuda Çekme

Lifleri esas alarak yapı elemanı uzunluğuna paralel olarak çalışan sabit enkesitli düz masif ahşaba, tutkallı lamine ahşaba veya ahşap esaslı yapısal mamullere uygulanır. Şekil 5.1'de gösterildiği üzere yapı elemanının asal eksenlerinden sadece birinin doğrultusundaki gerilmelere maruz kaldığı kabul edilir.



Şekil 5.1. Eksenel çekme (Porteus ve Kermani, 2007).

Liflere paralel doğrultuda çekme tahkiki için Denklem 5.17 ve 5.18'de verilen şart sağlanmalıdır.

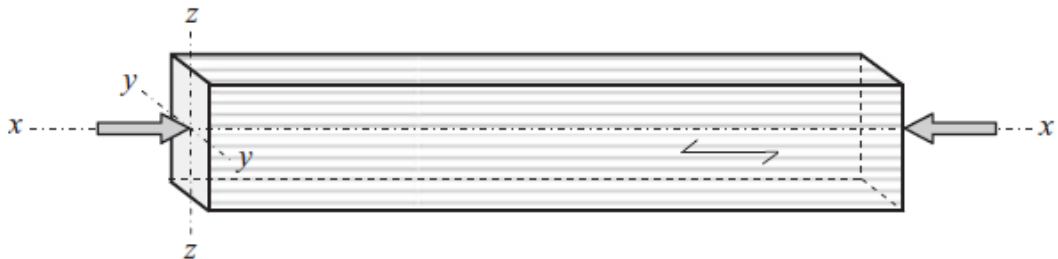
$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (5.17)$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{net}} \leq f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (5.18)$$

Burada $\sigma_{t,0,d}$ lif boyunca tasarım çekme gerilmesi, $f_{t,0,d}$ lif boyunca tasarım çekme dayanımı $N_{t,0,d}$ liflere paralel tasarım eksenel kuvvet, A_{net} net enkesit alanı, k_{mod} yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörü, $f_{t,0,k}$ lif boyunca karakteristik çekme dayanımı, γ_M malzeme özellikleri için kısmi faktördür.

5.2.2. Liflere Paralel Doğrultuda Basınç

Şekil 5.2'de gösterildiği üzere paralel doğrultuda ve x-x ekseninde basınç kuvvetine maruz kalan elemanlar basınç çubuklarıdır. Kolonlar, bina duvarlarının iskeletinde kullanılan dikmeler, kafes kirişlerdeki düğüm noktaları bunlara örnektir (Porteus ve Kermani, 2007).



Şekil 5.2. Eksenel basınç (Porteus ve Kermani, 2007).

Herhangi bir yapı tasarlanırken basınca çalışan elemanların yönetmeliklerdeki narinlik şartlarını sağlaması gerekmektedir. Narinlik Denklem 5.19'da gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\lambda = \frac{L_e}{i} \quad (5.19)$$

Burada λ narinlik, i atalet yarıçapı, L_e basınç çubuğunun etkin boyudur.

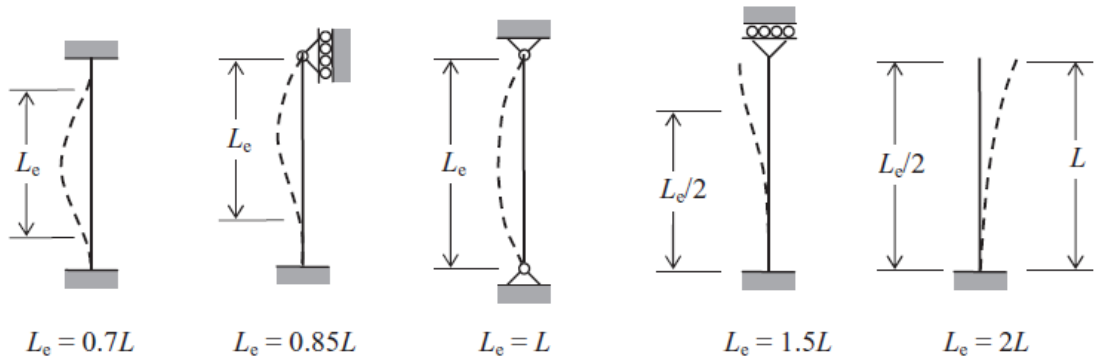
Denklem 5.20 ve 5.21'de görüldüğü üzere narinlik y-y ve z-z eksenine göre değişiklik gösterir.

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i_y} = \frac{L_{e,y}}{h/\sqrt{12}} \quad (5.20)$$

$$\lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i_z} = \frac{L_{e,z}}{h/\sqrt{12}} \quad (5.21)$$

Burada λ_y y eksenine göre eğilmeye karşılık gelen narinlik oranları (sehim z doğrultusunda), λ_z z eksenine göre eğilmeye karşılık gelen narinlik oranları (sehim y doğrultusunda) $L_{e,y}$ ve $L_{e,z}$ basınç çubuklarının y ve z eksenine göre etkin boyu, i_y ve i_z atalet yarıçaplarıdır.

İngiliz Yapısal Ahşap Standardı'nda (British Standard Structural Use of Timber, BS 5268-2:2002) etkin boy / gerçek boy (L_e/L) oranları verilmiştir. Şekil 5.3'te gösterildiği gibi iki ucu ankastre çubukta $L_e/L = 0.7$, iki ucu mafsallı çubukta $L_e/L = 1$, bir ucu ankastre bir ucu mafsallı çubukta $L_e/L = 0.85$, bir ucu ankastre bir ucu boştaki çubukta $L_e/L = 2$, bir ucu ankastre bir ucu hareketli mafsalda $L_e/L = 1.5$ olarak alınmıştır.



Şekil 5.3. Basınç çubuklarında etkin boy (Porteus ve Kermani, 2007).

Eurocode 5'te basınç tahkiki yapılırken göreceli narinlik oranları kullanılır. Ayrıca kolon tahkiki yapılırken $E_{0,05}$ gibi karakteristik özellikler kullanılarak tahkik yapılmalıdır denilmektedir. Göreceli narinlik oranları Denklem 5.22 ve 5.23'te gösterilen şekilde hesaplanır.

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (5.22)$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (5.23)$$

Burada, $\lambda_{rel,y}$ y eksenine göre eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı, $\lambda_{rel,z}$ z eksenine göre eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı, λ_y y eksenine göre eğilmeye karşılık gelen narinlik oranı, λ_z z eksenine göre eğilmeye karşılık gelen narinlik oranı, $f_{c,0,k}$ lif boyunca karakteristik basınç dayanımı, $E_{0,05}$ elastisite modülünün % 5'lik değeridir.

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ ise liflere paralel doğrultuda basınç tahkiki için Denklem 5.24 ve 5.25'teki şart sağlanmalıdır.

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (5.24)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \leq f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (5.25)$$

Burada, $\sigma_{c,0,d}$ lif boyunca tasarım basınç gerilmesi, $f_{c,0,d}$ lif boyunca tasarım basınç dayanımı, N_d eksenel basınç kuvveti, A enkesit alanı, k_{mod} yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörü, k_{sys} sistem dayanım faktörü, $f_{c,0,k}$ lif boyunca karakteristik basınç dayanımı, γ_M malzeme özellikleri için kısmi faktördür.

Birçok eş aralıklı benzer elemanların, bileşenlerin veya ahşap donanımların bir sürekli yük dağılım sistemi ile yanal olarak birleşmesi durumunda (lamine tabliye kaplamaları, döşemeler), eleman dayanım özellikleri bir k_{sys} sistem dayanım faktörü ile çarpılabilir. Sürekli yük dağılım sisteminin yükleri bir elemandan komşu elemanlara aktarımında yeterli olması durumunda k_{sys} faktörü 1.1 olarak alınır. Kolon tahkiki yapılırken, kolon bileşenlerden oluşmamışsa tekil kolon ise k_{sys} faktörü göz ardı edilir. Kirişlerde tahkik yapılırken kirişler arasında yük aktarımının olmadığı durumlarda ve

kirişin bileşenlerden oluşmadığı durumlarda k_{sys} faktörü kullanılmaz. k_{sys} sistem dayanım faktörü, masif ahşaptan veya tutkallı lamine elemandan yapılan lamine tabliye kaplamaları ve döşemeler için kullanılır.

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ ise liflere paralel doğrultuda basınç tahkiki için Denklem 5.26 ve 5.27'deki şart sağlanmalıdır.

$$\lambda_{rel,y} > 0.3 \text{ ise } \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d} \quad (5.26)$$

$$\lambda_{rel,z} > 0.3 \text{ ise } \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} f_{c,0,d} \quad (5.27)$$

Burada $\sigma_{c,0,d}$ lif boyunca tasarım basınç gerilmesi, $f_{c,0,d}$ lif boyunca tasarım basınç dayanımı, $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ duraysızlık faktörüdür.

Duraysızlık faktörleri Denklem 5.28-5.31'de gösterilen şekilde hesaplanır.

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (5.28)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (5.29)$$

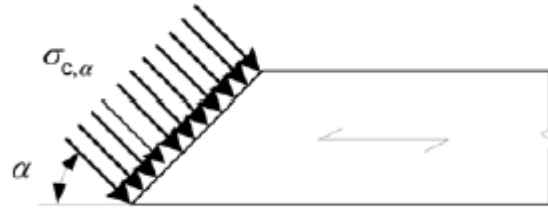
$$k_y = 0.5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (5.30)$$

$$k_z = 0.5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (5.31)$$

Burada $k_{c,y}$, $k_{c,z}$, k_y , k_z , duraysızlık faktörleri, $\lambda_{rel,y}$ y eksenine göre eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı, $\lambda_{rel,z}$ z eksenine göre eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı, β_c düzgünlük faktörüdür. β_c masif ahşap için 0.2 alınır.

5.2.3. Liflere belirli bir açıdaki basınç gerilmeleri

İki veya daha fazla doğrultuda basınç gerilmelerinin etkileşimi dikkate alınmalıdır. Liflere bir α alfa açısındaki basınç gerilmeleri (Şekil 5.4) için Denklem 5.32'deki bağıntı şartı sağlanmalıdır.



Şekil 5.4. Liflere Belirli Bir Açıdaki Basınç Gerilmeleri (Eurocode 5).

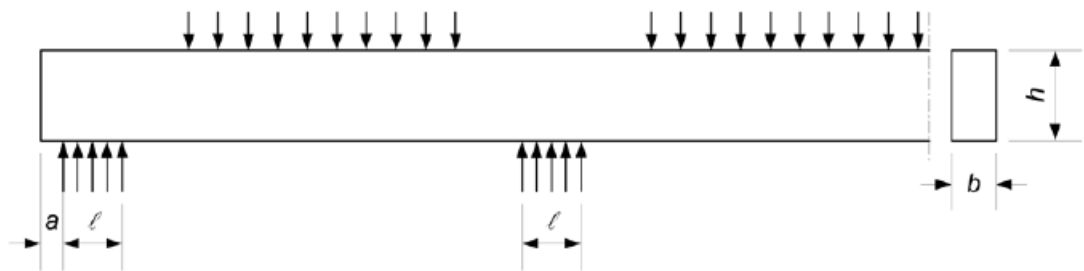
$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (5.32)$$

Burada $\sigma_{c,\alpha,d}$ liflere paralel bir α açısındaki basınç gerilmesi, $f_{c,0,d}$ lif boyunca tasarım basınç dayanımı, $k_{c,90}$ yük durumunu, kesilme olasılığını ve basınç şekil değiştirme derecesinin dikkate alan bir faktör, $f_{c,90,d}$ liflere dik doğrultuda tasarım basınç dayanımıdır.

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (5.33)$$

Burada $f_{c,90,d}$ liflere dik doğrultuda tasarım basınç dayanımı, k_{mod} yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörü, k_{sys} sistem dayanım faktörü, $f_{c,90,k}$ liflere dik doğrultuda karakteristik basınç dayanımı, γ_M malzeme özellikleri için kısmi faktördür.

Mesnetler üzerinde duran bir kiriş elemanı için Şekil 5.5'te görüldüğü üzere $k_{c,90}$ faktörü Denklem 5.34 ve 5.35'te verilen bağıntılardan hesaplanmalıdır.



Şekil 5.5. Mesnetler üzerindeki kiriş (Eurocode 5).

Bir mesnet kenarından bir kiriş ucuna olan a mesafesinin $\leq h/3$ olması durumunda,

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{12l}\right) \quad (5.34)$$

Bir mesnet kenarından bir giriş ucuna olan a mesafesinin $> h/3$ olması durumunda ve ara mesnetlerde,

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250}\right) \left(1 + \frac{h}{6l}\right) \quad (5.35)$$

Burada l mm cinsinden temas uzunluğu, h mm cinsinden eleman yüksekliğidir.

5.2.4. Eğilmeye çalışan elemanların boyutlandırılması

Tek bir eksende eğilme olduğu durumlarda y-y eksenini ve z-z asal eksenlerine göre eğilmeler için Denklem 5.36 – 5.39'daki bağlantılar sağlanmalıdır.

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d} \quad (5.36)$$

$$\sigma_{m,z,d} \leq f_{m,z,d} \quad (5.37)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}, \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} \quad (5.38)$$

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} k_h f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (5.39)$$

Burada $\sigma_{m,y,d}$ y asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi, $\sigma_{m,z,d}$ z asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi, $f_{m,y,d}$ y asal eksenine göre tasarım eğilme dayanımı, $f_{m,z,d}$ z asal eksenine göre tasarım eğilme dayanımı, $M_{y,d}$ y eksenini için tasarım momenti, $M_{z,d}$ z eksenini için tasarım momenti, $W_{y/z}$ atalet momenti, k_{mod} yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörü, k_{sys} sistem dayanım faktörü, k_h yükseklik faktörü, $f_{m,k}$ karakteristik eğilme dayanımı, γ_M malzeme özellikleri için kısmi faktördür.

$\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$ olan karakteristik ahşap yoğunluğuna sahip dikdörtgen masif ahşap için, eğilmeye referans yükseklik veya çekmede referans genişlik 150 mm'dir. 150 mm'den küçük eğilmeye yüksekliğe veya çekmede genişliğe sahip masif ahşaplar için $f_{m,k}$ ve $f_{i,0,k}$ için karakteristik değerler Denklem 5.40'ta gösterilen k_h faktörü ile artırılabilir.

$$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\} \quad (5.40)$$

Burada h mm cinsinden eğilme elemanları için yükseklik veya çekme elemanları için genişliktir.

Her iki eksende eğilme olduğu durumlarda Denklem 5.41 ve 5.42'deki bağıntılar sağlanmalıdır.

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.41)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.42)$$

Burada $\sigma_{m,y,d}$ ve $\sigma_{m,z,d}$ y ve z asal eksenlerine göre tasarım eğilme gerilmeleri, $f_{m,y,d}$ ve $f_{m,z,d}$ asal eksenlere göre tasarım eğilme dayanımları, k_m bir enkesitte eğilme gerilmelerinin tekrar dağıtımını dikkate alan faktördür.

k_m faktörü gerilmelerin tekrar dağıtımına ve bir enkesitte malzemenin homojen olmama durumunun etkisine izin verir. k_m faktörü masif ahşap, tutkallı lamine ahşap, ve LVL için dikdörtgen kesitlerde $k_m = 0.7$ diğer enkesitler için $k_m = 1.0$ olarak alınır.

Ahşap yapılarda eğilmeye maruz kalan kirişlerde bir basınç kuvveti uygulandığı durumlarda yanal burulma duraylılığı oluşur. Bu durumda sadece y kuvvetli eksenine göre bir M_y momentinin olduğu ve M_y momentinin ve N_c basınç kuvvetinin bir kombinasyonunun olduğu yerlerde tatbik edilmelidir. Eğilmeye veya birleşik eğilme ve basınca maruz kalan kirişlerin yanal burulma duraylılığı aşağıdaki şekilde tahkik yapılır. Bu tahkiklerde $E_{0,05}$ elastisite modülü kullanılır.

Eğilme için göreceli narinlik Denklem 5.43'te verilen bağıntıdan bulunur.

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (5.43)$$

Burada $\lambda_{rel,m}$ eğilme için göreceli narinlik oranı, $f_{m,k}$ karakteristik eğilme dayanımı, $\sigma_{m,crit}$ kritik eğilme gerilmesidir.

$\sigma_{m,crit}$ % 5'lik rijitlik değerleri kullanılarak, klasik duraylılık teorisine göre hesaplanan kritik eğilme gerilmesidir. Kritik eğilme gerilmesi Denklem 5.44'teki gibidir.

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{l_{ef} W_y} \quad (5.44)$$

Burada $\sigma_{m,crit}$ kritik eğilme gerilmesi, $M_{y,crit}$ kuvvetli y eksenine göre moment, W_y kuvvetli y eksenine göre kesit modülü, $E_{0,05}$ liflere paralel olan elastisite modülünün yüzde beşlik değeri, $G_{0,05}$ liflere paralel olan kesme modülünün yüzde beşlik değeri, I_z zayıf z eksenine göre atalet momenti, I_{tor} burulma atalet momenti, l_{ef} mesnet şartları ve yük durumuna bağlı olan etkin kiriş uzunluğudur.

Masif dikdörtgen kesitli yumuşak ahşap için $\sigma_{m,crit}$ Denklem 5.45'teki gibi alınmalıdır.

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 b^2}{h l_{ef}} E_{0,05} \quad (5.45)$$

Burada b kirişin genişliği, h kirişin yüksekliği, l_{ef} etkin kiriş uzunluğu, $E_{0,05}$ elastisite modülünün yüzde beşlik değeridir.

l_{ef} etkin kiriş uzunluğu Çizelge 5.3'te gösterildiği şekilde alınır.

Çizelge 5.3. Eurocode 5’te açıklığın bir oranı olarak etkin uzunluk.

Kiriş tipi	Yükleme tipi	l_{ef} / l
Basit mesnet	Sabit moment	1.0
	Düzgün yayılı yük	0.9
	Orta açıklıkta tekil yük	0.8
Konsol	Düzgün yayılı yük	0.5
	Serbest uçta tekil yük	0.8
l_{ef} etkin uzunluğu ile l açıklığı arasındaki oran, ankastre mesnetli ve ağırlık merkezinde yük bulunan bir kiriş için geçerlidir. Yükün kirişin basınç kenarında uygulanması durumunda l_{ef} , $2h$ kadar artırılmalıdır ve kirişin çekme kenarındaki bir yük için $0,5h$ kadar azaltılabilir.		

Sadece kuvvetli y eksenine göre bir M_y momentinin olduğu durumda, gerilmeler Denklem 5.46’da verilen şartı sağlamalıdır.

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (5.46)$$

Burada $\sigma_{m,d}$ tasarım eğilme gerilmesi, $f_{m,d}$ tasarım eğilme dayanımı, k_{crit} yanal burkulma için kullanılan faktördür.

k_{crit} değerleri Çizelge 5.4’te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Eurocode 5’te yanal saptmaya sahip kirişler için k_{crit} değerleri.

k_{crit} değerleri	$\lambda_{rel,m}$ eğilme için göreceli narinlik oranı
1	$\lambda_{rel,m} \leq 0.75$
$1.56 - 0.75\lambda_{rel,m}$	$0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4$
$1/\lambda_{rel,m}^2$	$1.4 < \lambda_{rel,m}$

y kuvvetli eksenine göre M_y momenti ve N_c basınç kuvveti kombinasyonunun olduğu durumda gerilmeler Denklem 5.47’de verilen şartı sağlamalıdır.

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.47)$$

Burada $\sigma_{m,d}$ tasarım eğilme gerilmesi, $\sigma_{c,d}$ tasarım basınç gerilmesi, $f_{c,0,d}$ liflere paralel olan tasarım basınç dayanımı, $f_{m,d}$ tasarım eğilme dayanımı, $k_{c,z}$ Denklem 5.29 ile verilen duraysızlık faktörüdür.

Ahşap elemanın birleşik etkilerden oluşan gerilmelere veya elemanın asal eksenlerinin ikisinde veya üçünde de etkiyen gerilmelere maruz kaldığı durumlarda birleşik gerilemeler oluşur.

Birleşik eğilme ve eksenel çekme için Denklem 5.48 ve 5.49'da verilen bağıntılardaki şartlar sağlanmalıdır.

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.48)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.49)$$

Birleşik eğilme ve eksenel basınç için Denklem 5.50 ve 5.51'de verilen bağıntılardaki şartlar sağlanmalıdır.

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.50)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.51)$$

Burada $\sigma_{t,0,d}$ lif boyunca tasarım çekme gerilmesi, $f_{t,0,d}$ lif boyunca tasarım çekme dayanımı, $\sigma_{c,0,d}$ lif boyunca tasarım basınç gerilmesi, $f_{c,0,d}$ lif boyunca tasarım basınç dayanımı, $\sigma_{m,y,d}$ y asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi, $\sigma_{m,z,d}$ z asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi, $f_{m,y,d}$ y asal eksenine göre tasarım eğilme dayanımı, $f_{m,z,d}$ z asal eksenine göre tasarım eğilme dayanımı, k_m bir enkesitte eğilme gerilmelerinin tekrar dağıtımını dikkate alan faktördür.

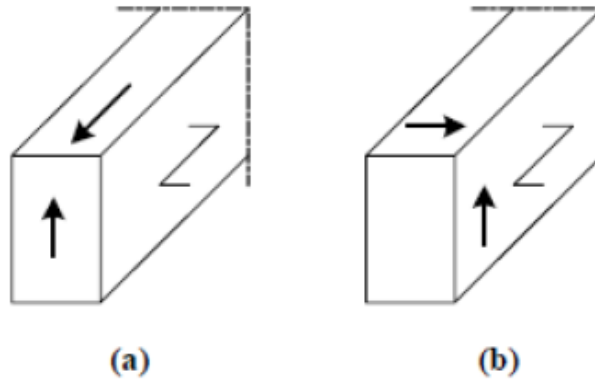
5.2.5. Kayma

Bir kiriş yatay olarak yüklenirse ve eğilmeye maruz kalırsa kayma gerilmeleri oluşur. Liflere paralel olan bir gerilme bileşenine sahip kaymanın (Şekil 4.6a) yanı sıra her iki gerilme bileşeninin liflere dik doğrultuda olduğu kayma (Şekil 4.6b) için Denklem 5.52 ve 5.53'te verilen şartlar sağlanmalıdır.

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (5.52)$$

$$\tau_d = \frac{3 V_d}{2bh} \leq f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{vk}}{\gamma_M} \quad (5.53)$$

Burada τ_d tasarım kayma gerilmesi, $f_{v,d}$ tasarım kayma dayanımı, V_d kesme kuvveti tasarım değeri, b genişlik, h yükseklik, k_{mod} yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörü, k_{sys} sistem dayanım faktörü, f_{vk} karakteristik kayma dayanımı, γ_M malzeme özellikleri için kısmi faktördür.



Şekil 5.6.(a) Liflere paralel olan bir gerilme bileşenine sahip yapı elemanı, (b) her iki gerilme bileşeni liflere dik doğrultuda olan yapı elemanı (lif yuvarlanmasından kaynaklanan kayma) (Eurocode 5).

5.2.6. Burulma

Dış kuvvetlerin, bir cismi bir eksen etrafında döndürmeye çalışmasıyla oluşan gerilime burulma denir. Burulma için Eurocode 5'e göre Denklem 5.54 – 5.56'da verilen şartlar sağlanmalıdır.

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} f_{v,d} \quad (5.54)$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{M_{tor}}{W_{tor}} \leq k_{shape} \frac{k_{mod} k_{sys} f_{vk}}{\gamma_M} \quad (5.55)$$

$$k_{shape} = \begin{cases} 1.2 & \text{dairesel bir enkesit için} \\ \min \left\{ 1 + 0.15 \frac{h}{b}, 2.0 \right\} & \text{dikdörtgen bir enkesit için} \end{cases} \quad (5.56)$$

Burada $\tau_{tor,d}$ tasarım burulma gerilmesi, k_{shape} enkesitin şekline bağlı olan bir faktör, $f_{v,d}$ tasarım kayma dayanımı, M_{tor} burulma momenti, W_{tor} burulma mukavemet momenti, k_{mod} yük süresi ve rutubet içeriği için düzeltme faktörü, k_{sys} sistem dayanım faktörü, f_{vk} karakteristik kayma dayanımı, γ_M malzeme özellikleri için kısmi faktörü, h enkesitin büyük olan boyutu, b enkesitin küçük olan boyutudur.

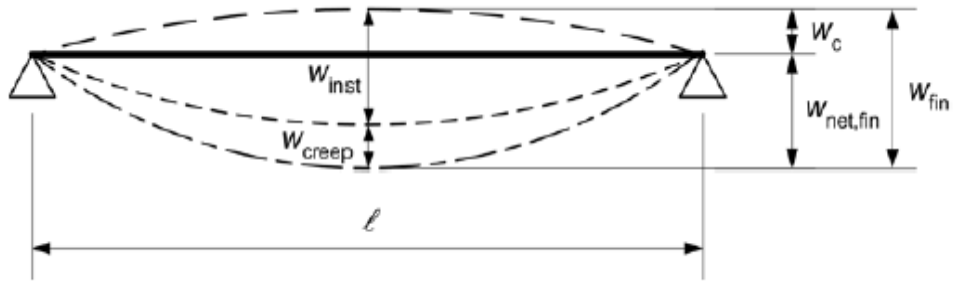
5.2.7. Sehim

Kullanılabilirlik sınır durumuna göre bir yapının etkilerinin(aksenal ve kesme kuvvetleri, eğilme momentleri birleşim yeri kayması gibi) tesirinden ve rutubetten ortaya çıkan şekil değiştirme, yüzey malzemelerine tavanlara, döşemelere, bölmelere ve yüzey işlemlerine hasar verme ihtimaline ve işlevsel ihtiyaçların yanı sıra herhangi görünüş gereklerine bağlı olarak, uygun sınırlar içerisinde kalmalıdır. Bu sınırlardan bir tanesi sehimler için sınır değerleridir.

Bir kirişe uygulanan etkilerin kombinasyonundan kaynaklanan sehim bileşenleri Şekil 5.7’de görülmektedir. Mesnetler arası düz bir hattın altında kalan $W_{net,fin}$ net sehim Denklem 5.57’deki gibi alınmalıdır.

$$W_{net,fin} = W_{inst} + W_{creep} - W_c = W_{fin} - W_c \quad (5.57)$$

Burada $w_{net,fin}$ net nihai sehim, w_{inst} anlık sehim, w_{creep} sünme sehim, w_c ters sehim, w_{fin} nihai sehimdir.



Şekil 5.7. Sehimin bileşenleri (Eurocode 5).

1 açıklığına sahip kirişler için sehimlerin sınır değerlerinin önerilen aralığı, şekil değiştirme seviyesinin kabul edilebilir olduğu varsayımına bağlı olarak Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Eurocode 5'te kirişlerin sehimini için sınır değerlere ait örnekler.

	W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
İki mesnet üzerindeki kiriş	1/300 ila 1/500	1/250 ila 1/350	1/150 ila 1/300
Konsol kiriş	1/150 ila 1/250	1/125 ila 1/175	1/75 ila 1/150

6. AHŞAP YAPIDA BİRLEŞİM ELEMANLARI

Ahşabın yapısı itibariyle sahip olduğu özellikler kendilerini, aynı bir noktada birleşen ve kuvvet aktarmakla görevli bulunan yapı elemanlarının birleştirilmesinde gösterirler. Ahşabın homojen olmaması, mukavemetin liflerin doğrultusu ile doğrudan ilişkili olması, ahşap elemanların birleşiminde zorluk çıkaran başlıca hususlardır (Duman ve Ökten 1988).

Eski zamanlarda ahşap elemanları birbirlerine bağlamak amacıyla ip ve halatlar kullanılırdı. Bu sistemlerin kuvvet aktarılmasında başarılı olmaması ve tasarım performansı açısından güvenli olmayışı sebebiyle farklı birleşim eleman tasarımları geliştirilmiştir. Marangozlar tarafından sadece ahşap kullanma esasına dayanan, ahşap elemanda dişler ve oyuklar oluşturularak yapılan birleşim sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemde kereste tüketiminin fazla olması, işçiliğinin zor ve büyük kuvvetlerin aktarılmasında elverişsiz olmasından dolayı çok fazla tercih edilmemiştir. Birinci Dünya Savaşı'nı izleyen yıllardan günümüze uzanan zamana kadar teknolojinin gelişmesiyle beraber yeni birleşim elemanları ve yöntemleri yardımıyla bugün gerek liflere paralel, gerekse liflere dik doğrultuda, oldukça büyük kuvvetler aktarmaya elverişli birleşimler yapmak mümkün olmaktadır.

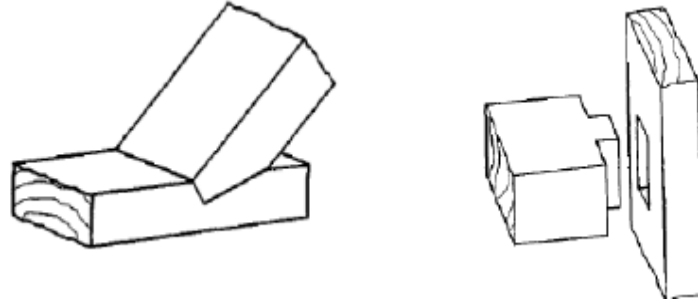
Ahşap yapılarda birleşim elemanlarının başlıca üç ana görevi vardır.

- Eleman boyunun uzatılması: Piyasada boyları sınırlı bulunan yapı kerestesini uç uca ekleyerek gerektiği kadar uzunlukta taşıyıcı sistem elemanları elde etmek.
- Eleman enkesitinin artırılması: Yapı kerestelerinin kesit ölçülerinin sınırlı olması nedeniyle daha büyük ölçüde bir kesite ihtiyaç duyulduğu durumlarda ahşap elemanların birkaç tanesi belirli bir düzende bir araya getirilir ve beraber çalışmalarını sağlamak amacıyla birleşim elemanları ile birleştirmek.
- Farklı taşıyıcı elemanların, düğüm noktalarından birleştirilerek kafes sistemler elde etmek amacıyla birbirine bağlanmasıdır.

Ahşap yapılarda elemanlar arasında kuvvet aktarımı iki türlü gerçekleştirilir.

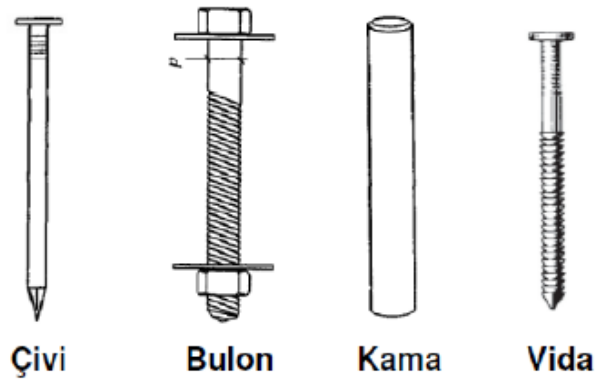
- Birleşim yüzeylerindeki basınç elemanları yolu ile: Kuvvet, elemanların temas halindeki yüzeylerinden basınç gerilmeleri yoluyla aktarılır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için temas yüzeylerinin, iyi marangoz işçiliği sonucu uygun bir şekilde hazırlanmaları

gerekir. Bir elemanın dişli olması, diğer elemanın ise bu dişi kapsayacak kadar oyulması ile yapı elemanları birbirine kenetlenerek kuvvet aktarımı sağlanır. Ahşap malzeme, oyuk sebebi sonucu kesit kaybetmesi ile oluşan mukavemet kaybından dolayı istenilen tasarım performansını gösterememektedir. Bu tür birleşimler marangoz birleşimi veya dişli birleşim olarak adlandırılır. Şekil 6.1’de dişli birleşim rneği gösterilmektedir.



Şekil 6.1. Dişli birleşim rneği (Söylemez, 2018).

- Doğrudan birleşim araçları kullanılarak: Kuvvetin aktarılmasında bir birleşim aracından yararlanılır. Kuvvetler ivi, bulon, kama, vida ve tutkal gibi birleşim elemanları vasıtası ile birinden diğerine aktarılır. Şekil 6.2’de çivi, bulon, kama ve vida rneği gösterilmektedir.



Şekil 6.2. Ahşap yapılarında kullanılan birleşim araçları (Ateş, 2011).

6.1. TS 647’ye Göre Ahşap Yapı Birleşim Elemanları

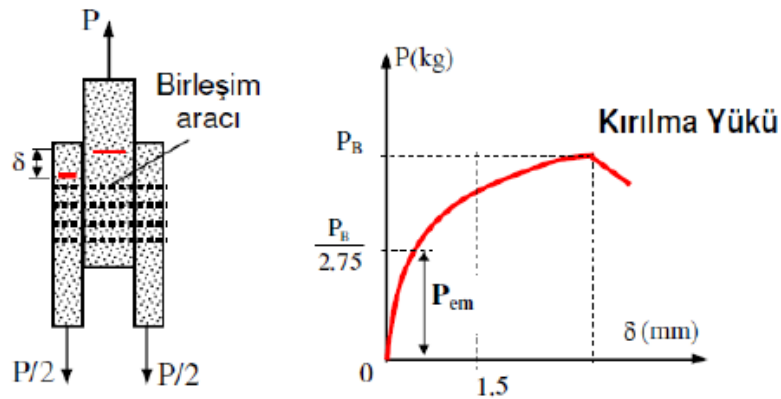
TS 647’ye göre birleşim elemanı, ahşap yapıların oluşturulmasında, yapı kısımlarının ve elemanlarının birleşiminde kullanılan ve bu yapı kısımlarının birlikte

davranmalarını sağlayan birleştirici elemandır. TS 647’de bulon, çivi, ağaç vidası ve kama gibi birleşim elemanları için Türk Standartlarında belirtilen özelliklere uygun olarak seçileceği belirtilmektedir.

6.1.1. Birleşim araçlarının emniyetle aktarabileceği kuvvetin hesabı

Birleşim elemanlarının emniyetle taşıyabilecekleri yükler (P_{em}) çekme deneyi yardımıyla bulunur. Çekme deneylerinde kırılma yükü (P_B) ile beraber parçaların birbirine göre yer değiştirme miktarı (δ) ölçülür ve kuvvet/yer değiştirme (P/δ) diyagramı çizilir (Şekil 6.3). $\delta = 1.5$ mm olduğu andaki kuvvet ile kırılma yükünün 2.75’te biri ($P_B/2.75$) karşılaştırılır. Hangisi küçükse, birleşim elemanının emniyetle taşıyabileceği yük (P_{em}) odur. Hesaplarda bir tek birleşim elemanının emniyetle taşıyabileceği en büyük yük P_{em}^1 ’dir. Tutkal için P_{em}^1 1cm² alanın emniyetle aktarabileceği kuvvet olarak tanımlanır. Belirli bir P kuvvetini bir parçadan diğerine aktarmak için gerekli birleşim elemanı sayısı (n) Denklem 6.1’de verilen bağıntı ile bulunur (Duman, 1988).

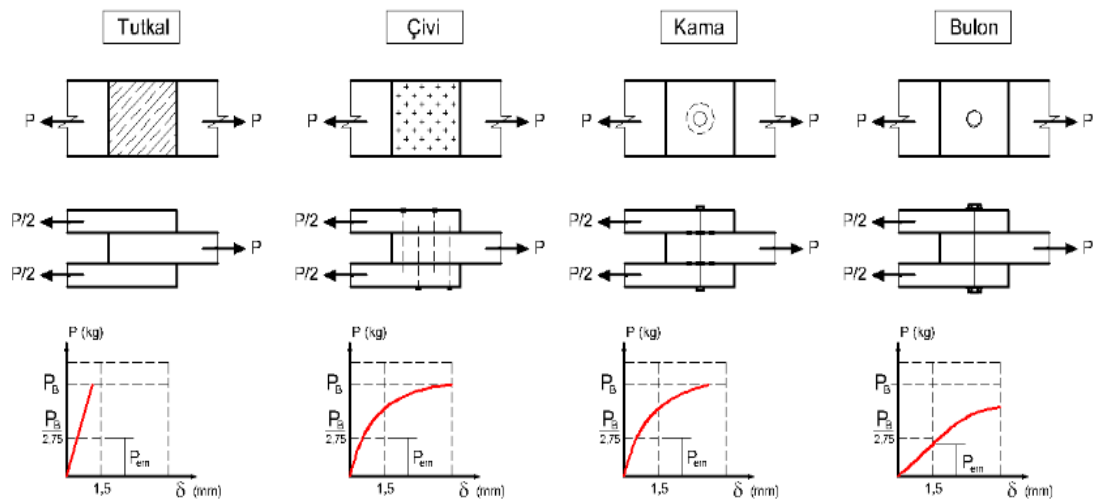
$$n \geq P/P_{em}^1 \quad (6.1)$$



Şekil 6.3.Çekme deneyi ve rölatif kayma diyagramı (Uzun 2018).

Çivi, bulon, kama ve tutkal için çekme deneyi sonucu Şekil 6.4’te gösterilen değerler elde edilmiştir. Her birleşim elemanı için elde edilen (P/δ) grafikleri değerlendirildiğinde tutkal ile yapılan birleşim çok rijit olduğu, çivili birleşimlerin tutkala göre daha oynak olduğu, bulonlu birleşimlerin ise bunlar arasında en oynak olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 6.4'te görüldüğü üzere tutkal ve bulon asla beraber kullanılmaz. Kullanıldığı takdirde tutkal derzinde kopma olmadıkça bulon üzerine yük alamaz ve işe yaramaz. Sonuç olarak kuvvetin tamamı tutkal derzine yüklenecek ve onu çatlatacaktır. Bu defa kuvvetin tamamı bulonlara yüklenecektir. Tasarım bu kuvvete göre hesaplanmış olmadığından birleşimde kırılma olacak ve gerekli emniyet kalmayacaktır (Duman ve Ökten, 1988).



Şekil 6.4. Birleşim araçları için çekme deneyi ve rölatif kayma diyagramı (Duman ve Ökten, 1988).

Kullanılan birleşim elemanlarının çapı ve boyu, birleştirilen ahşap yapı elemanlarının kalınlığına bağlı olarak TS 647'de verilen tablolar yardımı ile belirlenir. Birleşimde kullanılacak eleman sayısı (n); birleşime etkiyen yükün, bir tek birleşim elemanının emniyetle taşıyabileceği en büyük yük değerine bölünmesi ile elde edilen sonuç yardımı ile belirlenir. Birleşim elemanları çiziminde TS 647'de belirtilen kurallar uygulanır (Uzun, 2018).

6.1.2. Çivili Birleşimler

Çivi, daire kesitli, bir ucu gömme başlı, bir ucu sivri, çelikten yapılmış, birleşim aracıdır. TS 647'de belirtildiği üzere ahşap yapılarda çivili birleşimlerde TS 155- "Çiviler – Özel Uygulamalar İçin" standardına uygun karfiçe çivileri (orta boy demir çivi) kullanılır. Çivili birleşimlerde güvenli taşıma kapasitesi değerlerinin geçerli olabilmesi

için çivilerin korozyona uğramamaları gereklidir. Çiviler korozyona karşı galvanize edilerek veya başka uygun bir kaplama uygulanarak korunmalıdır.

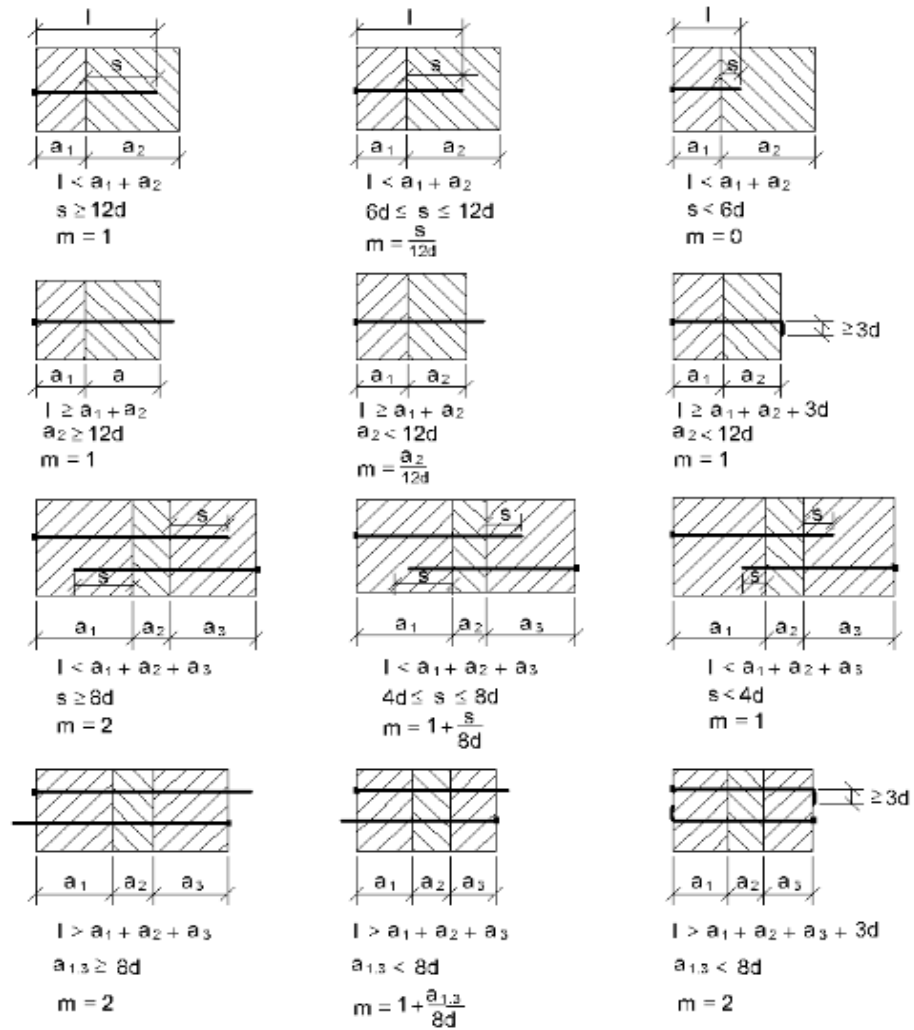
Çivilerin karakteristik boyutları çap ve boydur. Bir çivi göstermek için onun çapını ve boyunu belirtmek gerekir. Çivi çapı (0.1 mm), boyu ise (mm) cinsinden belirtilir. Örneğin (55/140)'lık bir çivi denildiğinde çap 5.5 mm, boy ise 140 mm olan çivi anlaşılır. Herhangi bir birleşimde kullanılacak çivinin çapı, o bileşimdeki en ince ahşap elemanın kalınlığına göre seçilir (Odabaşı, 1997).

Çivili birleşimde bir çivinin emniyetle taşıyabileceği yük (P_{em}^1) Denklem 6.2 ile hesaplanır.

$$P_{em}^1 = m N_{\check{c}} \quad (6.2)$$

$$N_{\check{c}} = \frac{500d_{\check{c}}^2}{1 + d_{\check{c}}} \quad (6.3)$$

Burada, P_{em}^1 bir çivinin emniyetle taşıyabileceği yük, m çivinin etki sayısı, $N_{\check{c}}$ çivinin güvenli taşıma kapasitesi (kgf), $d_{\check{c}}$ çivi çapıdır (cm). m sayısı Şekil 6.5'te gösterilmiştir.



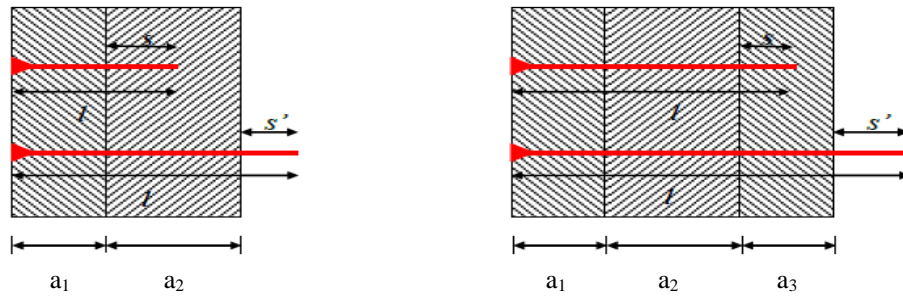
Şekil 6.5. m değerleri (Uzun, 2018).

Çivili birleşimlerin güvenli taşıma kapasitesini (N_c); çivinin çapı (d_c), ahşabın kalınlığı (a), çakma derinliği (s) ile birleşimdeki çivi sayısı (n) belirlemektedir. Ahşap kalınlığı, çakma derinliği ve çivi güvenli taşıma kapasitesi Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. TS 647’de ahşap kalınlığı, çakma derinliği, çivi güvenli taşıma kapasitesi değerleri.

Çivi No:	En Küçük Ahşap Kalınlığı (mm)		En Küçük Çakma Derinliği (mm)		Tek Etki İçin Güvenli Taşıma Kapasitesi (kgf)		
	Delik Açılmamış	Delik Açılmış	Tek Tesirli	Çok Tesirli	İğne Yapraklılarda		Meşe ve Kayında (delik açılmış)
					Delik Açılmamış	Delik Açılmış	
22×45 22×50	24 20 ¹⁾	24 20 ¹⁾	27	18	20	25	30
25×55 25×60	24 20 ¹⁾	24 20 ¹⁾	30	20	25	31	37.5
28×65	24 20 ¹⁾	24 20 ¹⁾	34	23	30	37,5	45
31×65 31×70 31×80	24 20 ¹⁾	24 20 ¹⁾	38	25	36	45	56
34×90	24 20 ¹⁾	24 20 ¹⁾	41	27	43	54	65
38×100	24	24	46	30	52	65	78
42×110	26	26	51	34	62	77,5	93
46×130	30	28	56	37	72	90	100
55×140 55×160	40	33	66	44	97.5	122	146
60×180	46	36	72	48	112	140	168
70×210	60	42	84	56	144	180	217
75×230	68	45	90	60	160	200	240
80×260	75	48	96	64	178	222	267
90×310	90	54	108	72	213	266	320
1) Sadece beton kalıpları için geçerli							

Herhangi bir birleşimde kullanılacak çivinin çapı (d_c), o birleşimde en ince ahşap elemanın kalınlığına göre seçilir. Çivilerin boyları (l) ahşap kalınlıklarına bağlı olarak tek veya çok etkili çalışmalarına göre belirlenir. Şekil 6.6’da tek ve çok tesirli çiviler gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Tek ve çok tesirli çiviler (Ateş,2011).

TS 647'ye göre çivili birleşimlerde uyulması gereken bazı konstrüktif kurallar vardır. Bunlar,

- Önceden çivi deliklerinin açılmadığı hallerde en küçük parça kalınlığı a , Denklem 6.4 ile bulunur.

$$a = d_{\text{ç}} (3 + 8 d_{\text{ç}}) \quad (6.4)$$

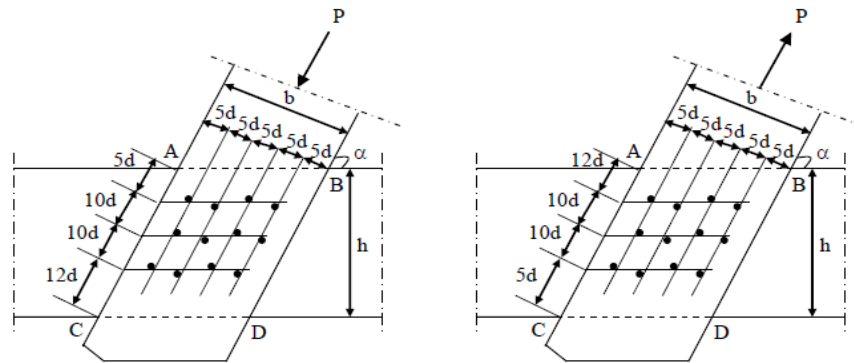
- Çakma boyu değeri tek tesirlide en az $s = 12 d_{\text{ç}}$ ve çok tesirlide $s = 8 d_{\text{ç}}$ olarak alınmalıdır.

- Bir birleşimde arka arkaya 10 sıradan fazla çivi sırası olması durumunda P_{em}^1 %10, 20 sıradan fazla çivi sırası olması durumunda P_{em}^1 % 20 azaltılarak hesap yapılır.

- Kuvvet ne kadar az olursa olsun, tek tesirli en az dört veya çift tesirli en az 2 çivi kullanmadıkça çivili birleşim yapılmış sayılmaz.

- Dairesel elemanların düz elemanlara birleşiminde P_{em}^1 değerlerinin 2/3'ü kullanılmalıdır.

- Çivilerin birleşimdeki yerleşimi aşağıdaki Şekil 6.7'de gösterilen koşulları sağlaması gerekmektedir.



Şekil 6.7. Çivili birleşimlerde konstrüktif kurallar (TS 647).

- Çivi aralıklarının birbirinden ve kenarlardan uzaklıkları Çizelge 6.2’de gösterildiği gibi olmalıdır.

Çizelge 6.2. TS 647’de çivi aralıkları.

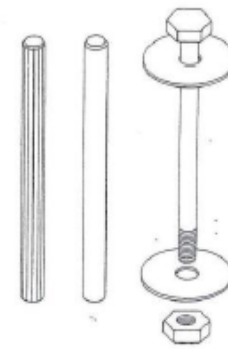
		Kuvvet Doğrultusunda Minimum Çivi Aralıkları	
		Delik Açılmamış	Delik Önceden Açılmış
Aynı sıradaki çivilerin aralıkları	Lif doğrultusuna paralel	10 d _ç 12 d _ç ¹⁾	5 d _ç
	Lif doğrultusuna dik	5 d _ç	5 d _ç
Etkilenen ahşap kenarından uzaklık	Lif doğrultusuna paralel	15 d _ç	10 d _ç
	Lif doğrultusuna dik	7 d _ç 10 d _ç ¹⁾	5 d _ç
Etkilenmeyen ahşap kenarından uzaklık	Lif doğrultusuna paralel	7 d _ç 10 d _ç ¹⁾	5 d _ç
	Lif doğrultusuna dik	5 d _ç	3 d _ç
1) d _ç >4,2 mm halinde			

6.1.3. Bulonlu ve Pim Kamalı Birleşimler

TS 647’ye göre bulon, ahşap yapı elemanlarının oluşturulmasında kullanılan ve Cıvata Standardı TS 1021’de belirtilen özelliklere uygun bir birleşim elemanıdır. Şekil itibariyle bulon; bulon başı, dişli gövde, somun ve baş altı ve somun altın için puldan (rondela) oluşan birleşim aracıdır. Şekil 6.8 ve 6.9’da sırasıyla bulon ve pim kamalar gösterilmektedir.



Şekil 6.8.Bulon ve birleşenleri(Ateş, 2011)



Şekil 6.9.Pim kama (Ohanesyan,2012).

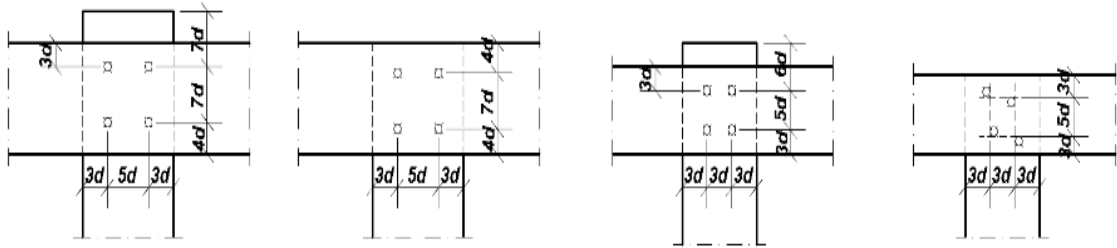
Metrik sistemde bulonlar M 12, M 16 şeklinde gösterilir. M bulon tipini, rakamlar ise mm cinsinden çapını ifade eder. Çizelge 6.3'te rondela boyutları gösterilmektedir.

Çizelge 6.3. TS 647'de rondela boyutları.

Bulon Çapı	M 12	M 16	M 20	M 22	M 24
Rondela Kalınlığı, (mm)	6	6	8	8	8
Yuvarlak Rondela Dış Çap (mm)	58	68	80	92	105
Kare Biçimli Rondela Kenar Boyu (mm)	50	60	70	80	95

Bulonlar ahşapta önceden açılmış, çaplarına uygun veya en çok 1 mm kadar büyük boyutlu deliklere yerleştirilmelidir. Pim kamaların yerleştirilecekleri delikler ise kama çapından 0.2-0.5 mm kadar daha küçük olmalı ve kamanın açılmış deliklere sıkıca yerleşmesi sağlanmalıdır. Bulonların çapı 12 mm'den, pim kamaların çapı ise 8 mm'den küçük olmamalı ve F 37 çeliğinden yapılmış olmaları gerekmektedir.

Bulonlu birleşimlerde en az 2, pim kamalı birleşimlerde ise en az 4 pim kama kullanılmalı ve bunların Şekil 6.10'da gösterildiği şekilde simetrik olarak yerleştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 6.10. Bulon ve pim kamalı birleşimlerde mesafeler ve yerleşim şekilleri (TS 647).

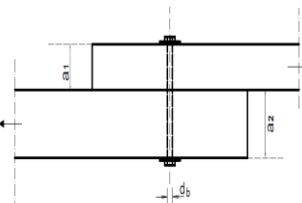
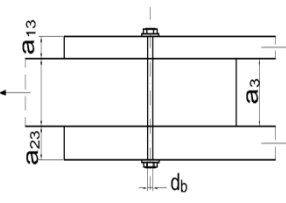
Bulon ve pim kamalar arasındaki uzaklıklar kuvvet ve lif doğrultusu göz önünde bulundurularak Çizelge 6.4'te gösterildiği şekilde yapılmalıdır (d_p pim kama çapı, d_b bulon çapı).

Çizelge 6.4. TS 647’de bulon ve pim kamalı birleşimlerde minimum aralıklar.

	Pim Kamalarda	Bulonlarda
Aynı sıradakiler arasında	$5 d_p$	10 cm’den az olmamak üzere $7 d_b$
Etkilenen kenardan	$6 d_p$	

Bulonlu veya pim kamalı birleşimler; tek, çift veya daha çok tesirli olarak yapılabilir. Zorunlu olmadıkça tek tesirli olarak kullanılmamalıdır. Birleşimlerde bir bulonun veya pim kamanın güvenli taşıma kapasitesi, lif doğrultusundaki kuvvetler için Çizelge 6.5 ve Denklem 6.5 ve 6.6’da verilen formüller yardımıyla bulunur.

Çizelge 6.5. TS 647’de bulonlu ve pim kamalı birleşimlerde güvenli taşıma kapasitesi hesabında kullanılan A ve ezilme emniyet gerilmesi değerleri

	Ahşap cinsi	Bulon		Pim kama	
		σ_{1em} (kgf/cm ²)	A	σ_{1em} (kgf/cm ²)	A
Tek tesirli 	İğne Yapraklı	40	170	40	230
	Meşe ve Kayın	50	200	50	270
Çift tesirli 	İğne Yapraklı	Orta Ahşap			
		85	380	85	510
	Meşe ve Kayın	100	450	100	600
	İğne Yapraklı	Kenar Ahşap			
		55	260	55	330
	Meşe ve Kayın	65	300	65	390

$$N = \sigma_{1em} a d \quad (6.5)$$

Ancak bulunan N değerinin

$$N \leq Ad^2 \quad (6.6)$$

Bağıntısını gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Hesaplanan N değeri Denklem 6.6'yı gerçekleştiriyorsa bulon veya pim kamaların güvenli taşıma kapasitesi olarak Ad^2 değeri kabul edilir. Kuvvetin liflere dik etki etmesi halinde Denklem 6.5 ve 6.6'dan bulunan değerlerin $3/4$ ' ü alınır.

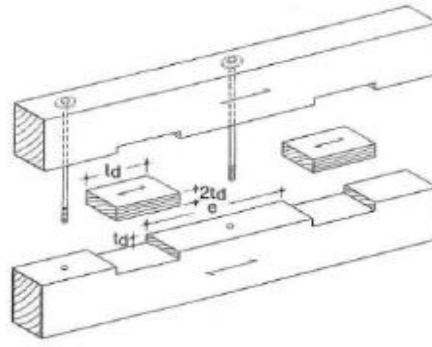
Burada N bulon veya pim kamanın güvenli taşıma kapasitesi (kgf), σ_{1em} ezilme emniyet gerilmesi (kgf/cm^2), a birleşimdeki en küçük ahşap kalınlığı (cm), d bulon veya pim kamanın çapı (cm), A Çizelge 6.5'te gösterilen sabit bir değerdir (kgf/cm^2).

6.1.4. Kamalı Birleşimler

TS 647'ye göre kama, ahşap yapılarda yük taşıyan yapı elemanlarının oluşturulmasında ve bunların birleştirilmesinde kullanılan çelikten veya masif ahşaptan yapılmış birleşim elemanlarıdır. Kamalı birleşimlerde çoklukla basınç ve kesme gerilmeleri altında kalarak çalışan dikdörtgenler prizması biçiminde veya dilim, halka, tırnaklı halka, levha vb. biçimli kamalar kullanılır. Kamalı birleşimlerde kural olarak daima sonradan sıkılabilen bulonlar kullanılmalı ve her kama bulonla güven altına alınmalıdır.

TS 647'ye göre kamalı birleşimler dikdörtgen prizması şeklindeki kamalar ve özel biçimli kamalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

- Dikdörtgen prizması şeklinde kamalar: Kuvvet ileten birleşimlerde bulonlarla birlikte kullanılan, basınç ve kesmeye çalışarak birleştirdiği ahşap kısımların birinden diğerine kuvvet iletilmesini sağlayan ve genellikle sert dokulu ahşaptan uygun boyutlarda kesilerek hazırlanmış kamalardır (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Dikdörtgen prizma kama uygulaması (Ohanesyan, 2012).

Kamanın yuvasında oluşturduğu ezilme etkisi için izin verilecek liflere paralel basınç gerilmesi değerleri Çizelge 6.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 6.6. TS 647’de liflere paralel basınç gerilmesi değerleri.

Sıra no	Kama boyu l_k 'nın, t_k gömülme değerine oranı	Kuvvet doğrultusunda arka arkaya sıralanmış kama sayısı	
		1~ 2 kama	3~4 kama
		$\sigma_{bem//}(\text{kgf/cm}^2)$	$\sigma_{bem//}(\text{kgf/cm}^2)$
1	$l_k / t_k \geq 5$	85	75
2	$l_k / t_k < 5$	40	35

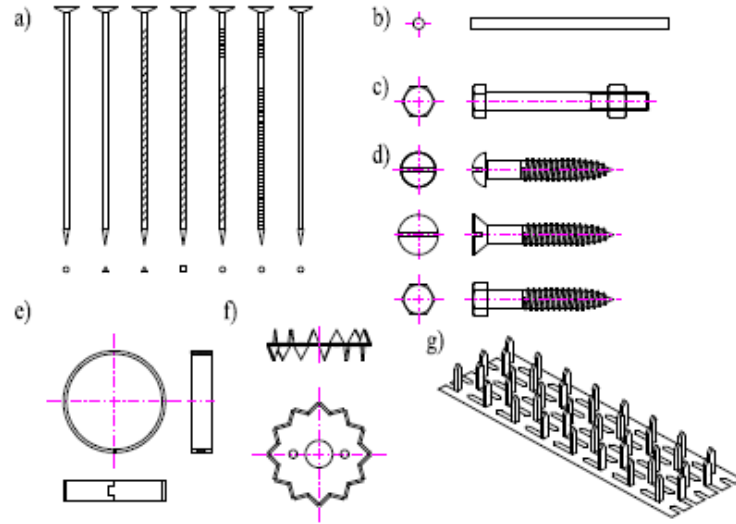
Burada $\sigma_{bem//}$ liflere paralel izin verilecek basınç gerilmesi değerleri (kgf/cm^2), l_k kamanın kuvvet doğrultusuna paralel boyutu (cm), t_k kamanın elemana gömülme miktarı veya kama yüksekliğinin yarısıdır (cm).

- Özel biçimli çelik kamalar: Daha çok basınç ve kesmeye çalışarak, birleştirdiği ahşap kısımların birinden diğerine kuvvetlerin iletilmesini sağlayan, bulonlarla birlikte kullanılan kamalardır.

6.2. Eurocode 5’e Göre Ahşap Yapı Birleşim Elemanları

Eurocode 5’e göre ahşap yapılarda kullanılabilirlik ve rijitlik büyük oranda yapı elemanları arasındaki birleşimlere bağlıdır. Birleşimler marangozluk birleşimleri ve mekanik birleşimler olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 6.12’de görüldüğü üzere mekanik birleşimler çivi (a), kavela (b), cıvata(c), vida (d), zımba gibi metal birleşimler ile halka

ve kayma levhası (e), dişli levha bağlayıcılar (f), zımbalı metal levha bağlantıları (g) gibi taşıyıcı birleşimlerdir.



Şekil 6.12. Mekanik birleşim elemanları (Kuklik, 2008).

6.2.1. Birleşim araçlarının emniyetle aktarabileceği kuvvetin hesabı

Eurocode 5'e göre bağlantı elemanları bir birleşimde düzenlenirken, büyüklükleri, aralıkları, ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeleri, beklenen dayanım ve rijitliğinin elde edilebileceği şekilde seçilmelidir. Aynı tip ve boyutta bağlantı elemanından oluşan çok bağlantı elemanlı birleşimin yük taşıma kapasitesinin, her bir bağlantı elemanının yük taşıma kapasitelerinin toplamından küçük olabileceği dikkate alınmalıdır. Bir birleşimin farklı tipte bağlantı elemanlarından oluşması veya birleşim yerleri rijitliğinin çok kayma düzlemlili birleşimin kayma düzlemlerine bağlı olan rijitliklerinin farklı olması durumlarında, bu birleşimin uyumluluğu tahkik edilmelidir.

Lifler doğrultusuna paralel olan bağlantı elemanlarının bir sırası için, bu sıraya paralel olan $F_{v,ef,Rk}$ etkin karakteristik yük taşıma kapasitesi Denklem 6.7'deki şekilde alınmalıdır.

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad (6.7)$$

Burada $F_{v,ef,Rk}$ liflere paralel olan bir bağlantı elemanı sırasının etkin karakteristik yük taşıma kapasitesi, n_{ef} liflere paralel olan hatta etkin bağlantı elemanı sayısı, $F_{v,Rk}$ liflere paralel olan her bir bağlantı elemanının karakteristik yük taşıma kapasitesidir.

Taşıma gücü sınır durumuna (ULS) göre tasarım yük taşıma kapasitesi Denklem 6.8'de verilen formül ile bulunur.

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (6.8)$$

Burada $F_{v,Rd}$ birim kesme düzleminde bağlantı elemanı başına tasarım yük taşıma kapasitesi, k_{mod} yük süresinin ve rutubet içeriğinin tesirini dikkate alan düzeltme faktörü, γ_M malzeme özelliği için kısmi faktör, $F_{v,Rk}$ birim kesme düzleminde bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesidir.

Taşıma gücü sınır durumuna (ULS) göre Denklem 6.9'da verilen şart sağlanmalıdır.

$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd} \quad (6.9)$$

Burada $F_{v,Ed}$ bağlantı elemanının birim kesme düzlemindeki tasarım kesme kuvveti, $F_{v,Rd}$ birim kesme düzleminde bağlantı elemanı başına tasarım yük taşıma kapasitesidir.

Bir birleşimde bir kuvvetin liflere belirli bir açıda etkimesi durumunda (Şekil 6.13), liflere dik olan $F_{Ed} \sin \alpha$ çekme kuvveti bileşeninden kaynaklanan kesilme olasılığı dikkate alınmalıdır. Liflere dik olan $F_{Ed} \sin \alpha$ çekme kuvveti bileşeninden kaynaklanan kesilme olasılığının dikkate alınması için Denklem 6.10 – 6.14'te verilen şartlar sağlanmalıdır.

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (6.10)$$

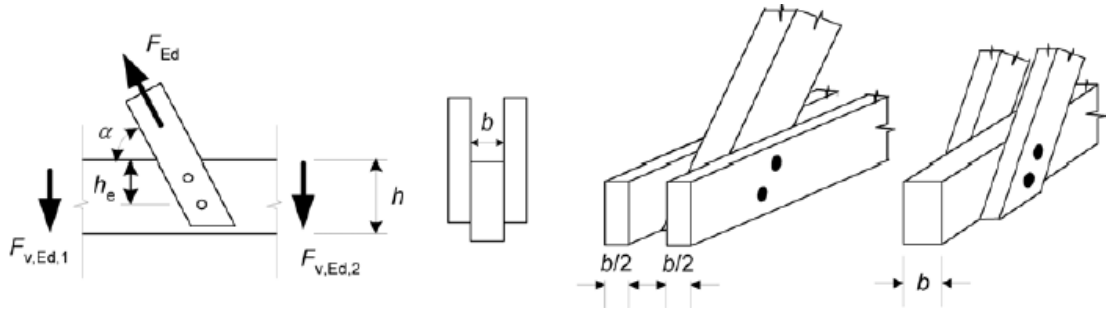
$$F_{v,Ed} = \max \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases} \quad (6.11)$$

$$F_{90,Rd} = k_{mod} \frac{F_{90,Rk}}{\gamma_M} \quad (6.12)$$

$$F_{90,Rk} = 14 b w \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (6.13)$$

$$w = \begin{cases} \max \left\{ \left(\frac{w_{pl}}{100} \right)^{0,35} & \text{Zımbalı metal levha bağlantıları için} \\ 1 & \text{Diğer tüm bağlantılar için} \end{cases} \quad (6.14)$$

Burada $F_{90,Rd}$, $F_{90,Rk}$ karakteristik kesilme kapasitesinin hesaplanan tasarım kesilme kapasitesi, $F_{v,Ed,1}$ ve $F_{v,Ed,2}$ birleşim yerinin her bir tarafındaki tasarım kesme kuvvetleri, $F_{90,Rk}$ N cinsinden karakteristik kesilme kapasitesi, w bir düzeltme faktörü, h_e mm cinsinden ahşap elemanın yük taşıyan boyunun en uzak bağlantı elemanı merkezine veya zımbalı metal levha bağlantıya olan mesafesi, h mm cinsinden ahşap eleman yüksekliği, b mm cinsinden ahşap eleman kalınlığı, w_{pl} mm cinsinden zımbalı metal levha bağlantının liflere paralel olan genişliğidir.



Şekil 6.13. Bir birleşim yerinde aktarılan eğik kuvvet (Eurocode 5).

Metal bağlantı elemanlı birleşimin yük taşıma kapasitesinin tayini için, bağlantı elemanının akma dayanımı, ankraj dayanımı ve geri çekme dayanımının katkıları dikkate alınmalıdır.

Ahşap- ahşap birleşim elemanları için tek ve çift kayma düzlemlili bağlantı elemanlarında, birim kayma düzleminde bağlantı elemanı başına çiviler, tel zımbalar, cıvatalar, kavelalar ve vidalar için karakteristik yük taşıma kapasitesi, tek kayma düzlemlili bağlantı elemanı için Çizelge 6.7, çift kayma düzlemlili bağlantı elemanı için Çizelge 6.8'de gösterilen bağıntılardan bulunan en küçük değer olarak alınmalıdır. Çizelge 6.7 ve 6.8'de verilen ifadelerde geçen β değeri Denklem 6.15 yardımıyla bulunur.

Çizelge 6.7. Eurocode 5 'te tek kayma düzlemlı bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi.

<p>Tek kayma düzlemlı ahşap ve kaplama birleşimleri için göçme modları</p>	
<p>Bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi</p>	$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$

Çizelge 6.8. Eurocode 5’te çift kayma düzlemlı bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi.

Çift kayma düzlemlı ahşap ve kaplama birleşimleri için göçme modları	
Bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi	$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (6.15)$$

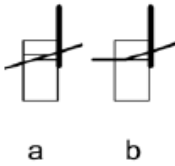
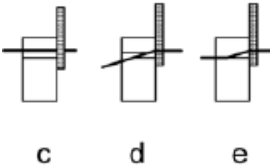
Burada $F_{v,Rk}$ birim kayma alanında bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi, t_i ahşap veya kaplama kalınlığı veya nüfuz derinliği, $f_{h,i,k}$ ahşap elemanın karakteristik ankraj dayanımı, d bağlantı elemanı çapı, $M_{y,Rk}$ karakteristik bağlantı elemanı akma momenti, β elemanların ankraj dayanımları arasındaki oran, $F_{ax,Rk}$ bağlantı elemanın karakteristik aksel geri çekme kapasitesidir.

Çizelge 6.7 ve Çizelge 6.8’de c, d, e, f, j ve k maddelerinde gösterilen formüllerde sağ taraftaki kısım Johansen akma teorisine göre yük taşıma kapasitesi iken, ikinci terim olan $F_{ax,Rk}/4$ halat tesirinden gelen katkıdır. Yük taşıma kapasitesine halat tesirinden kaynaklanan katkı Johansen akma teorisine göre hesaplanan kesme kuvveti taşıma kapasitesine oranı daire kesitli çivilerde %15’i, kare kesitli çivilerde %25’i, diğer çivilerde %50’yi, vidalarda %100’ü, cıvatalarda %25’i, kavelalarda %0’ ı geçmemelidir. $F_{ax,Rk}$ ’nın bilinmemesi durumunda halat tesirinden gelen katkı sıfır olarak alınmalıdır.

Çelik-ahşap birleşimleri için tek ve çift kayma düzlemlı bağlantı elemanları için karakteristik yük taşıma kapasitesi, tek kayma düzlemlı bağlantı elemanı için Çizelge 6.9, çift kayma düzlemlı bağlantı elemanı için Çizelge 6.10’da gösterilen bağlantılardan bulunan en küçük değer olarak alınmalıdır.

Bir çelik-ahşap birleşimin karakteristik yük taşıma kapasitesi, çelik levhaların kalınlığına bağlıdır. Kalınlığı 0.5d'den küçük veya eşit olan çelik levhalar ince levhalar olarak ve kalınlığı d'den büyük veya eşit, delik çaplarında 0,1d'den küçük toleransa sahip çelik levhalar kalın levhalar olarak sınıflandırılır.

Çizelge 6.9. Eurocode 5'te çelik-ahşap birleşimlerinde tek kayma düzlemlı bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi.

	Tek kayma düzlemlı ince çelik levha için	Tek kayma düzlemlı kalın çelik levha için
Tek kayma düzlemlı ahşap-çelik birleşimleri için geçme modları	 <p style="text-align: center;">a b</p>	 <p style="text-align: center;">c d e</p>
Bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi	$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & \text{(a)} \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(b)} \end{cases}$	$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[\sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(c)} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k}} d + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(d)} \\ f_{h,k} t_1 d & \text{(e)} \end{cases}$

Burada t_1 tek kayma düzlemleri birleşiminde çivinin baş tarafı kalınlığı, çift kayma düzlemleri birleşiminde kenar ahşap elemanın çivinin baş tarafı kalınlığından ve çivinin uç tarafı nüfuz derinliğinden küçük olanı; t_2 tek kayma düzlemleri birleşiminde çivinin uç tarafı nüfuz derinliği (t_{pen}), çift kayma düzlemleri birleşiminde merkez elemanın kalınlığıdır.

- Ahşabın karakteristik yoğunluğunun (ρ_k) 500 kg/m^3 'ten büyük olması ve çivinin d çapının 8 mm 'yi aşması durumlarında ahşapta önceden delik açılmalıdır.
- Ahşap eleman kalınlığının Denklem 6.16'da verilen bağıntıdan küçük olması durumunda ahşapta önceden delik açılmalıdır.

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right. \quad (6.16)$$

Burada t mm cinsinden ahşap elemanda önceden delik açılmaması için en küçük ahşap eleman kalınlığı, $\rho_k \text{ kg/m}^3$ cinsinden karakteristik ahşap yoğunluğu, d mm cinsinden çivi çapıdır.

- Kare veya yivli çiviler için, çivinin d çapı kenar boyutu olarak alınmalıdır.
- Önceden delik açılmadan çakılan 6 mm veya daha küçük çapa sahip çivilerde, yapı elemanının dayanım tahkikinde enkesit alanındaki azalmalar ihmal edilebilir.
- En küçük çekme dayanımı 600 N/mm^2 olan telden imal edilen düz çivilerde akma momenti için Denklem 6.17'de verilen karakteristik değerler kullanılmalıdır.

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 f_u d^{2,6} & \text{yuvarlak çiviler için} \\ 0,45 f_u d^{2,6} & \text{kare çiviler için} \end{cases} \quad (6.17)$$

Burada $M_{y,Rk}$ Nmm cinsinden akma momenti için karakteristik değer, d EN 14592'de tarif edildiği gibi mm cinsinden çivi çapı, $f_u \text{ N/mm}^2$ cinsinden telin çekme dayanımıdır.

- Çapı 8 mm ve 8 mm 'den küçük olan çiviler için aşağıda verilen karakteristik ankraj dayanımları uygulanır.

Önceden delik açılmamış ise Denklem 6.18'de verilen formül kullanılır.

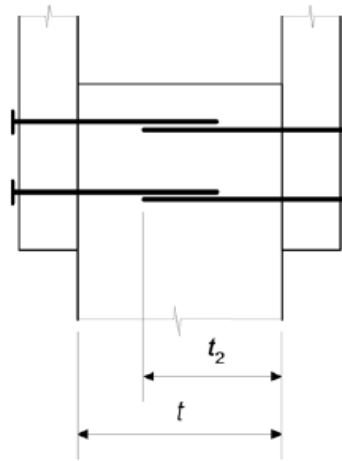
$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \text{ N/mm}^2 \quad (6.18)$$

Önceden delik açılmış ise Denklem 6.19'da verilen formül kullanılır.

$$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01d)\rho_k \text{ N/mm}^2 \quad (6.19)$$

Burada ρ_k kg/m³ cinsinden karakteristik ahşap yoğunluğu, $f_{h,k}$ N/mm² cinsinden karakteristik ankraj dayanımı, d mm cinsinden çivi çapıdır.

- Üç elemanlı birleşimde $(t-t_2)$ 'nin $4d$ 'den büyük olması durumunda çiviler merkez elemanda bindirmeli olabilir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Bindirmeli çiviler (Eurocode 5).

- Liflere paralel n adet çiviye sahip bir sıra için o sıradaki çivilerin liflere dik doğrultuda en az $1d$ kadar şaşırtmalı olmaması durumunda (Şekil 6.16), liflere paralel yük taşıma kapasitesi n_{ef} etkin bağlantı elemanı sayısı kullanılarak hesaplanmalıdır (Denklem 6.20). Şekil 6.16'da 1 çiviyi, 2 lif doğrultusunu göstermektedir.

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (6.20)$$

Burada n_{ef} bir sıra içindeki etkin çivi sayısı, n bir sıra içindeki çivi sayısı, k_{ef} Çizelge 6.11'de verilmiş bir katsayıdır.

Çizelge 6.11. Eurocode 5'te k_{ef} değerleri.

Aralık *	k_{ef}	
	Önceden delik açılmamış	Önceden delik açılmış
$a_1 \geq 14d$	1.0	1.0
$a_1 = 10d$	0.85	0.85
$a_1 = 7d$	0.7	0.7
$a_1 = 4d$	-	0.5

*Ara aralıklarda k_{ef} için doğrusal interpolasyona izin verilir.

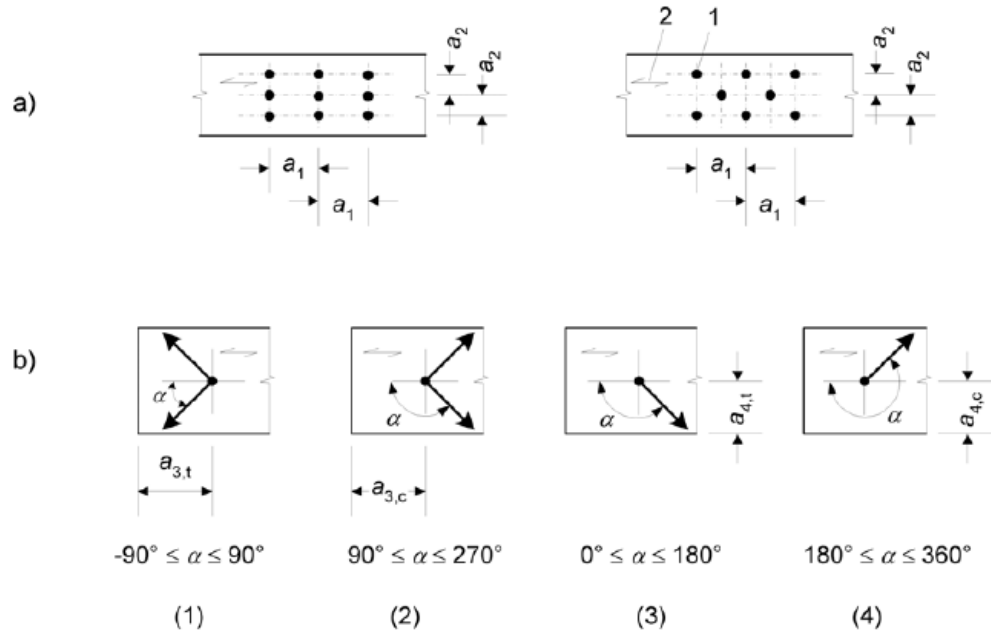
**Şekil 6.16.** Bir sıra içinde liflere paralel, liflere dik doğrultuda d mesafesinde şaşırtmalı çiviler (Eurocode 5).

Çivili ahşap-ahşap birleşimlerinde Çizelge 6.12 ve Şekil 6.17'de gösterilen, önceden tanımlı aralıkların ve kenar mesafelerinin sağlanması gerekmektedir.

Çizelge 6.12. Eurocode 5'te çiviler için en küçük aralıklar ve ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler.

Aralık veya mesafe (Şekil 6.17)	Açı α	En küçük aralık veya ahşap elemanın enine/boyuna olan mesafe		
		Önceden açılmamış delikler		Önceden açılmış delikler
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
a_1 aralığı (liflere paralel)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5+5 \cos\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+7 \cos\alpha)d$	$(7+8 \cos\alpha)d$	$(4+ \cos\alpha)d$
a_2 aralığı (liflere dik)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+ \sin\alpha)d$
$a_{3,t}$ aralığı (ahşap elemanın yük taşıyan eni)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5\cos\alpha)d$	$(15+5\cos\alpha)d$	$(7+5\cos\alpha)d$
$a_{3,c}$ aralığı (ahşap elemanın yük taşımayan eni)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
$a_{4,t}$ aralığı (ahşap elemanın yük taşıyan boyu)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}$: $(5+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(5+5\sin\alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(7+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(7+5\sin\alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}$: $(3+2\sin\alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}$: $(3+4\sin\alpha)d$
$a_{4,c}$ aralığı (ahşap elemanın yük taşımayan boyu)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

Burada a_1 liflere paralel bir sıra içerisindeki çivi aralığı, a_2 liflere dik doğrultudaki sıraların aralığı, $a_{3,c}$ çivi ile ahşap elemanın yük taşımayan eni arasındaki mesafe, $a_{3,t}$ çivi ile ahşap elemanın yük taşıyan eni arasındaki mesafe, $a_{4,c}$ çivi ile ahşap elemanın yük taşımayan boyu arasındaki mesafe, $a_{4,t}$ çivi ile ahşap elemanın yük taşıyan boyu arasındaki mesafe, α kuvvet ile lifler doğrultusu arasında kalan açıdır.



Şekil 6.17. Aralıklar ve ahşap elemanın enine ve boyuna olan mesafeler (Eurocode 5).

Burada (a) bir sıra içindeki liflere paralel aralık ve sıralar arası liflere dik doğrultuda aralık, (b) ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler, (1) yük taşıyan ahşap elemanın eni, (2) yük taşımayan ahşap eleman eni, (3) yük taşıyan ahşap eleman boyu, (4) yük taşımayan ahşap eleman boyu, 1 bağlantı elemanı, 2 lif doğrultusudur.

- Eksenel yük taşıyan çivilerde, liflere dik doğrultuda çivileme için (Şekil 6.18 (a)) ve eğik çivileme için (Şekil 6.18(b)) $F_{ax,Rk}$ karakteristik geri çekme kapasitesi, aşağıdaki bağıntılardan bulunan değerlerden küçük olanı olarak alınmalıdır.

EN 14592’de tarif edilen düz çiviler dışındaki çiviler için Denklem 6.21-6.24’te verilen bağıntılar kullanılmalıdır.

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} \\ f_{head,k} d_h^2 \end{cases} \quad (6.21)$$

Düz çiviler için;

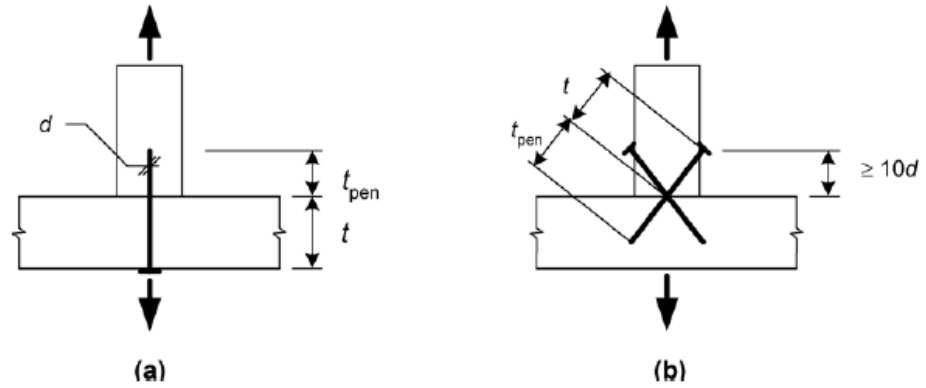
$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 \end{cases} \quad (6.22)$$

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (6.23)$$

$$f_{head,k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (6.24)$$

Burada $F_{ax,Rk}$ çivinin karakteristik geri çekme kapasitesi, $f_{ax,k}$ çivinin uç tarafı karakteristik geri çekme dayanımı, d çivi çapı, t_{pen} çivinin uç tarafı nüfuz derinliği

veya elemanın çivinin uç tarafındaki yivli kısmının derinliği, t çivinin baş tarafındaki eleman kalınlığı, d_h çivinin baş çapı, $\rho_k \text{kg/m}^3$ cinsinden karakteristik ahşap yoğunluğudur.

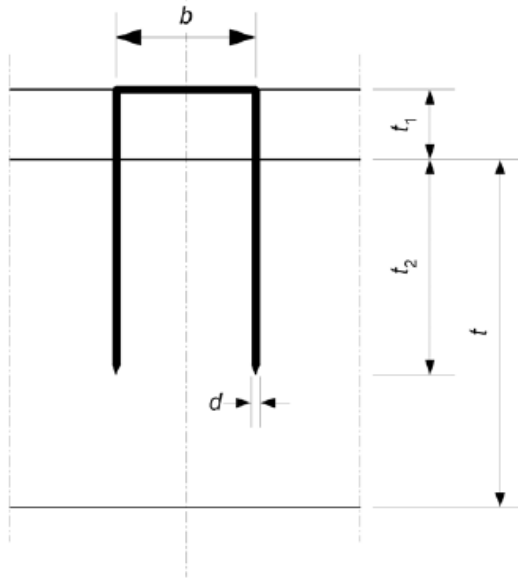


Şekil 6.18. (a) Liflere dik doğrultuda çivileme, (b) Eğik çivileme (Eurocode 5).

6.2.3. Tel Zımbalı Birleşimler

Eurocode 5'e göre ahşap-ahşap birleşimleri için tel zımba birleşim elemanı olarak kullanılabilir. Tel zımbanın birleşim elemanı olarak kullanıldığı durumlarda dikkat edilmesi ve uyulması gereken kurallar aşağıda verilmiştir.

- Tel zımbalar yuvarlak veya dikdörtgen tel zımbalar olarak ayrılır. Dikdörtgen kesitli tel zımbalar için, d çapı her iki boyutun çarpımının karekökü olarak alınmalıdır.
- Tel zımba başının b genişliği en az $6d$ kadar ve tel zımbanın t_2 uç tarafı nüfuz derinliği en az $14d$ kadar olmalıdır (Şekil 6.19).



Şekil 6.19. Tel zımba boyutları (Eurocode 5).

- Bir birleşimde en az iki adet tel zımba olmalıdır.
- En az 800 N/mm^2 'lik çekme dayanımına sahip telden imal edilen tel zımbalar için, Denklem 6.25'te verilen kol başına karakteristik akma momenti kullanılmalıdır.

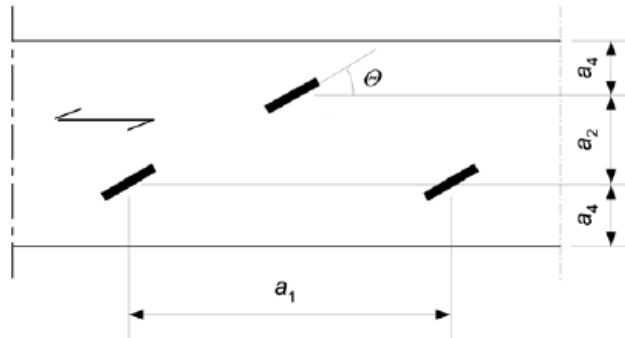
$$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6} \quad (6.25)$$

Burada $M_{y,Rk}$ Nmm cinsinden karakteristik akma dayanımı, d mm cinsinden zımba kolu çapıdır.

- En küçük tel zımba aralıkları, ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeleri Çizelge 6.13'te verilmekte ve Şekil 6.20'de gösterilmektedir. Burada θ tel zımba başı ile lifler doğrultusu arasındaki açıdır.

Çizelge 6.13. Eurocode 5’te tel zimbalar için en küçük aralıklar ve ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler.

Aralık veya ahşap elemanın boyuna/enine olan mesafeler (Şekil 6.17)	Açı	En küçük aralık veya ahşap elemanın enine/boyuna olan mesafe
a_1 (liflere paralel) $\theta \geq 30^\circ$ $\theta < 30^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(10+5 \cos\alpha)d$ $(15+5 \cos\alpha)d$
a_2 (liflere dik)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	15d
$a_{3,t}$ (elemanın yük taşıyan eni)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15+5 \cos\alpha)d$
$a_{3,c}$ (elemanın yük taşımayan eni)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	15d
$a_{4,t}$ (elemanın yük taşıyan boyu)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15+5 \sin\alpha)d$
$a_{4,c}$ (elemanın yük taşımayan boyu)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	10d



Şekil 6.20. Tel zimbalar için aralık tanımları (Eurocode 5).

6.2.4. Cıvatalı (Bulonlu) Birleşimler

Eurocode 5’te Cıvata Standardı EN 14592’ye göre tarif edilen cıvataların kullanılması gerekmektedir. EN 14592’ye göre ahşap birleşimlerde 4.6, 4.8, 5.6 ve 8.8 kalitesinde cıvatalar (bulonlar) kullanılır. 4.6 ve 4.8 kalitesindeki cıvataların karakteristik çekme dayanımı ($f_{u,k}$) 400 N/mm^2 , 5.6 kalitesindeki cıvatanın karakteristik çekme dayanımı 500 N/mm^2 ve 8.8 kalitesindeki cıvatanın karakteristik çekme dayanımı 800 N/mm^2 ’dir (Üstündağ, 2014). Ahşap-ahşap birleşimler için aşağıdaki kurallara uyulması gerekmektedir.

- Cıvatalarda akma momenti için Denklem 6.26’da verilen karakteristik değer kullanılmalıdır.

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (6.26)$$

Burada $M_{y,Rk}$ Nmm cinsinden akma dayanımının karakteristik değeri, $f_{u,k}$ N/mm² cinsinden karakteristik çekme dayanımı, d mm cinsinden cıvata çapıdır.

- 30 mm’ye kadar çapa sahip cıvatalar için, ahşapta ve soyma tabakalı lamine kerestede(LVL) liflere belirli bir α açısındaki karakteristik ankraj dayanım değerleri kullanılmalıdır (Denklem 6.27 ve 6.28).

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.27)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01d)\rho_k \quad (6.28)$$

Burada $f_{h,\alpha,k}$ liflere belirli bir α açısında karakteristik ankraj dayanımı, $f_{h,0,k}$ N/mm² cinsinden karakteristik ahşap yoğunluğu, α lifler ile yük arasındaki açı, d mm cinsinden cıvata çapı, ρ_k kg/m³ cinsinden karakteristik ahşap yoğunluğu, k_{90} aşağıda gösterildiği şekilde bir katsayıdır (Denklem 6.29).

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{yumuşak ahşaplar için} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{LVL için} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{sert ahşaplar için} \end{cases} \quad (6.29)$$

- Şekil 6.17’de gösterilen semboller ile en küçük aralıklar ve ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeleri Çizelge 6.14’ten alınmalıdır.

Çizelge 6.14. Eurocode 5’te cıvatalar için en küçük aralıklar ve ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler.

Aralık veya ahşap elemanın boyuna/enine olan mesafeler (Şekil 6.17)	Açı	En küçük aralık veya ahşap elemanın enine/boyuna olan mesafe
a_1 (liflere paralel)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4+ \cos\alpha)d$
a_2 (liflere dik)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$
$a_{3,t}$ (elemanın yük taşıyan eni)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (elemanın yük taşımayan eni)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6\sin\alpha)d; 4d]$ $4d$ $\max[(1 + 6\sin\alpha)d; 4d]$
$a_{4,t}$ (elemanın yük taşıyan boyu)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2\sin\alpha)d; 3d]$
$a_{4,c}$ (elemanın yük taşımayan boyu)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

• Lifler doğrultusuna paralel olan n adet cıvataya sahip bir sıra için, liflere paralel yük taşıma kapasitesi n_{ef} etkin cıvata sayısı kullanılarak hesaplanmalıdır (Denklem 6.30).

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,94} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right. \quad (6.30)$$

liflere dik doğrultudaki yükler için, etkin bağlantı elemanı sayısı Denklem 6.31’deki şekilde alınmalıdır.

$$n_{ef} = n \quad (6.31)$$

Burada a_1 lifler doğrultusunda cıvata aralığı, d cıvata çapı, n sıra içerisindeki cıvata sayısı, d mm cinsinden cıvata çapıdır.

6.2.5. Kavelalı Birleşimler

Eurocode 5’te kavelalı ve cıvatalı birleşimler için uyulması gereken kurallar aynıdır. Kavelalarda ahşap-ahşap birleşimler için aşağıdaki kurallara uyulması gerekmektedir.

• Kavelalarda akma momenti için cıvatalarda kullanılan Denklem 6.26’da verilen karakteristik değer kullanılmalıdır.

- 30 mm'ye kadar çapa sahip kavelalar için, ahşapta ve soyma tabakalı lamine kerestede(LVL) aşağıda verilen liflere belirli bir α açısındaki karakteristik ankraj dayanım değerleri kullanılmalıdır. Cıvatalı birleşimlerde verilen Denklem 6.27 -6.29'da verilen formülleri geçerlidir.

- Ahşap-ahşap birleşimlerinde kavela çapı 6 mm'den büyük ve 30 mm'den küçük olmalıdır.

- Şekil 6.17'de gösterilen semboller ile en küçük aralıklar ve ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeleri Çizelge 6.15'te verilmektedir.

Çizelge 6.15. Eurocode 5'te kavelalar için en küçük aralıklar ve ahşap elemanın boyuna ve enine olan mesafeler.

Aralık veya ahşap elemanın boyuna/enine olan mesafeler (Şekil 6.17)	Açı	En küçük aralık veya ahşap elemanın enine/boyuna olan mesafe
a_1 (liflere paralel)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3+2 \cos\alpha)d$
a_2 (liflere dik)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d
$a_{3,t}$ (elemanın yük taşıyan eni)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (elemanın yük taşımayan eni)	$90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$	$\max[(a_{3,t} \sin\alpha)d; 3d]$
	$150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$	3d
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(a_{3,t} \sin\alpha)d; 3d]$
$a_{4,t}$ (elemanın yük taşıyan boyu)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2\sin\alpha)d; 3d]$
$a_{4,c}$ (elemanın yük taşımayan boyu)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	3d

6.2.6. Vidalı Birleşimler

Eurocode 5'te vidalar ve vidalı birleşimler için aşağıda belirtilen hususlara uyulmalıdır.

- Eksenel yük taşıyan vidalar için en küçük aralık ve ahşap elemanın boyuna olan mesafeleri Çizelge 6.16'da gösterildiği şekilde olmalıdır.

Çizelge 6.16. Eurocode 5’te eksenel yük taşıyan vidalar için en küçük aralıklar ve ahşap elemanın boyuna olan mesafeler.

Vidalama	En küçük aralık	Ahşap elemanın kenarına olan en küçük mesafe
Liflere dik açıda	4d	4d
Uç liflerde	4d	2.5d

- Yanal yük taşıyan $d > 6$ mm çapındaki düz gövdeli vidalar (dış diş çapının gövde çapına eşit olduğu vidalar) için Bölüm 6.2.4 Cıvatalı Birleşimler için uygulanan kurallar geçerlidir.

- 6 mm veya daha küçük çaptaki yanal yük taşıyan düz gövdeli vidalar için Bölüm 6.2.2 Çivili Birleşimler için uygulanan kurallar geçerlidir.

- Önceden delik açılmadan vidalanan 6 mm veya daha küçük çapa sahip vidalarda, yapı elemanının dayanım tahkikinde enkesit alanındaki azalmalar ihmal edilebilir.

- Eksenel yük taşıyan vidalara sahip birleşimlerin karakteristik geri çekme kapasitesi Denklem 6.32 ile hesaplanmalıdır.

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef}(\pi d l_{ef})^{0,8} f_{ax,\alpha,k} \quad (6.32)$$

Burada $F_{ax,\alpha,Rk}$ liflere belirli bir α açısındaki birleşimin karakteristik geri çekme kapasitesi, n_{ef} etkin vida sayısı, d dişli kısmın üzerinden ölçülen dış çap, l_{ef} dişli kısmın vidanın uç tarafı nüfuz derinliği eksi bir vida çapı, $f_{ax,\alpha,k}$ liflere belirli bir α açısındaki karakteristik geri çekme kapasitesidir.

- Liflere belirli bir α açısındaki karakteristik geri çekme kapasitesi Denklem 6.33 ve 6.34 ile hesaplanmalıdır.

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cos^2 \alpha} \quad (6.33)$$

$$f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \rho_k^{1,5} \quad (6.34)$$

Burada $f_{ax,\alpha,k}$ liflere belirli bir α açısındaki karakteristik geri çekme kapasitesi, $f_{ax,k}$ liflere dik doğrultudaki karakteristik geri çekme dayanımı, ρ_k kg/m^3 cinsinden karakteristik yoğunluktur.

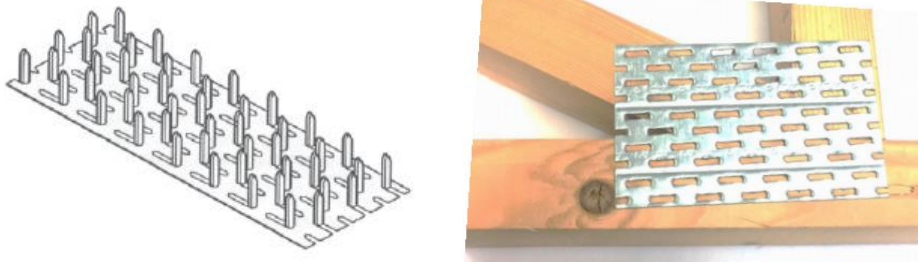
- Gövdeye paralel bir kuvvet bileşkesi ile yük taşıyan bir vida grubuna sahip olan bir birleşim için, etkin vida sayısı Denklem 6.35 bağıntısı ile hesaplanır.

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (6.35)$$

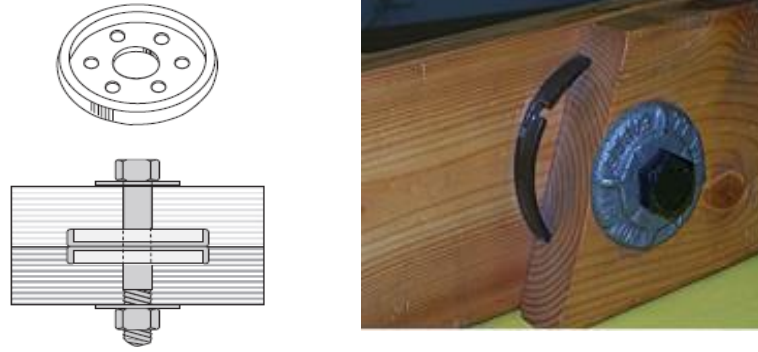
Burada n_{ef} etkin vida sayısı, n bir birleşimde birlikte çalışan vida sayısıdır.

6.2.7. Levha Bağlantılara Sahip Birleşimler

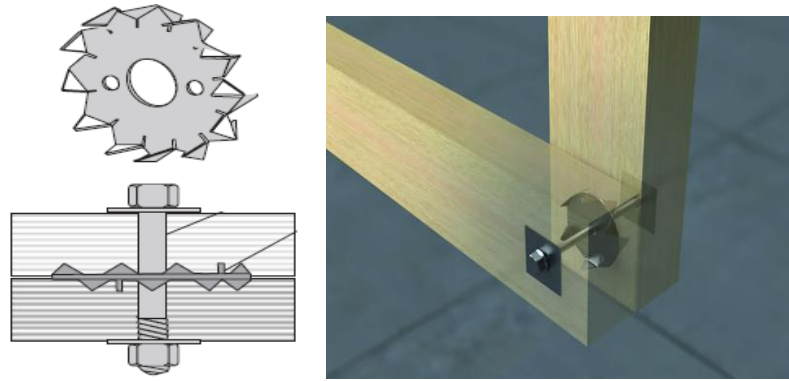
Levha bağlantılara sahip birleşimler; zımbalı metal levha bağlantılara sahip birleşimler (Şekil 6.21), kesilmiş halka ve kayma levhası bağlayıcıları (Şekil 6.22) ve dişli levha bağlayıcıları (Şekil 6.23) olmak üzere üçe ayrılır. Bu tür birleşimlerde levhanın tasarım çekme, basınç ve kayma kapasitelerinin hesaplanması gerekmektedir. Levhaların kapasitelerinin hesaplanması için levhanın karakteristik değerleri standartlarda belirtilmiştir. Zımbalı metal levha bağlantılara sahip birleşimler için levha, Delikli Metal Levha Bağlayıcılar İçin Standard (EN 1075)'a uygun olarak yapılan deneylerden, Ahşap Yapı Bağlayıcılar Standardı (EN 14545)'na uygun olarak belirlenen karakteristik değerler esas alınarak seçilmeli ve ona göre kapasite hesaplaması yapılmalıdır. Kesilmiş halka ve kayma levhası bağlayıcıları ile dişli levha bağlayıcılar Ahşap Bağlayıcıların Özellikleri Standardı (EN 912) ve EN 14545'e göre tipleri seçilerek karakteristik değerler belirlenmeli ve yük taşıma kapasiteleri ona göre bulunmalıdır.



Şekil 6.21. Zımbalı metal levha bağlantılara sahip birleşimler (Livingstone, 2015).



Şekil 6.22. Kesilmiş halka ve kayma levhası bağlayıcıları (Porteus ve Kermani, 2007).



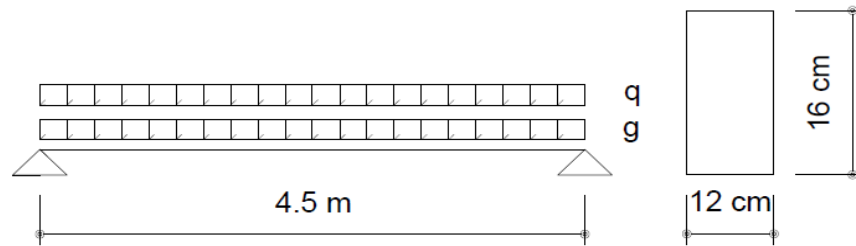
Şekil 6.23. Dişli levha bağlayıcıları (Porteus ve Kermani, 2007).

7. TS 647 VE EUROCODE 5 İÇİN KARŞILAŞTIRMALI PROBLEMLER

TS 647 ve Eurocode 5'in prensiplerini daha iyi anlamak ve farklılıkları görmek için ahşap yapı elemanları tahkiki ve birleşim araçları ile ilgili sayısal örnekler yapılmış ve çizelgeler üzerinde sonuçlar karşılaştırılmıştır.

7.1. Kiriş Tahkiki Örnek Problem

Şekil 7.1'de ölçüleri, yükü ve kesiti verilen basit ahşap kirişin TS 647 ve Eurocode 5'e göre tahkiklerinin yapılması.



Şekil 7.1. Kiriş tahkiki.

$$g = 1.75 \text{ kN/m}$$

$$\text{C24 masif ahşap (EN 338)} l = 4.50 \text{ m}$$

$$q = 2.80 \text{ kN/m}$$

$$1. \text{ Sınıf çam (TS 647)}$$

$$b = 12 \text{ cm}$$

$$h = 24 \text{ cm}$$

TS 647'ye göre çözüm:

Karakteristik dayanım ve rijitlik özellikleri:

- Seçilen malzeme: 1. Sınıf çam.
- Eğilme emniyet gerilmesi, $\sigma_{eem} = 130 \text{ kgf/cm}^2$ (Çizelge 4.4'ten)
- Makaslama emniyet gerilmesi, $\tau_{em} = 9 \text{ kgf/cm}^2$ (Çizelge 4.4'ten)
- Elastisite modülü (liflere paralel), $E_{//} = 100000 \text{ kgf/cm}^2$ (Çizelge 4.5'ten)
- Kuvvetlerin etkisi, $g+q=175+280=455 \text{ kgf/m}$

Eğilme tahkiki:

$$\sigma_e = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq \sigma_{eem}$$

$$M_{\max} = \frac{q \times l^2}{8} = \frac{455 \times 4.5^2}{8} = 1151.72 \text{ kgfm} = 115172 \text{ kgfcm}$$

$$W_x = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{12 \times 24^2}{6} = 1152 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_e = \frac{115172}{1152} = 99.98 \text{ kgf/cm}^2 \leq \sigma_{eem} = 130 \text{ kgf/cm}^2, \text{ kesit eğilmeye karşı uygun.}$$

Kayma Tahkiki:

$$\tau = \frac{3 Q_{\max}}{2 F} \leq \tau_{em}$$

$$Q_{\max} = \frac{q \times l^2}{2} = \frac{455 \times 4.5^2}{2} = 1023.75 \text{ kgf}$$

$$F = b \times h = 12 \times 24 = 288 \text{ cm}^2$$

$$\tau = \frac{3 \times 1023.75}{2 \times 288} = 5.83 \text{ kgf/cm}^2 \leq \tau_{em} = 9 \text{ kgf/cm}^2, \text{ kesit kesmeye karşı yeterli.}$$

Sehim Kontrolü:

$$f = \frac{5 M_{\max} l^2}{48 EI} \leq \frac{1}{k}$$

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{12 \times 24^3}{12} = 13824 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5 \times 115172 \times 450^2}{48 \times 100000 \times 13824} = 1.76 \text{ cm} \leq \frac{450}{300} = 1.5 \text{ cm, sehim limiti aşıyor. Kesit büyütülmeli}$$

ya da çam yerine meşe, kayın kullanılmalıdır.

b=14cm, h=24 cm ölçüleri kullanılırsa,

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{14 \times 24^3}{12} = 16128 \text{ cm}^4$$

$$f = \frac{5 \times 115172 \times 450^2}{48 \times 100000 \times 16128} = 1.5 \text{ cm} \leq \frac{450}{300} = 1.5 \text{ cm, sehim limiti aşılmıyor.}$$

Eurocode 5'e göre çözüm:

Karakteristik dayanım ve rijitlik özellikleri:

- Seçilen malzeme EN 338'e göre C24, masif ahşap.
- Yük süre sınıfı orta dönemli (Çizelge 4.2'den)
- Kullanım sınıfı 2 (Çizelge 4.3'ten)
- Karakteristik eğilme dayanımı $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ (Çizelge 4.6'dan)
- Karakteristik kayma dayanımı $f_{v,k} = 4 \text{ N/mm}^2$ (Çizelge 4.6'dan)
- Ortalama elastisite modülü $E_{0,mean} = 11000 \text{ N/mm}^2$ (Çizelge 4.6'dan)
- Malzeme özelliği için kısmi faktör $\gamma_M = 1.3$ (Çizelge 4.7'den)

- Yük süresinin ve rutubet içeriğinin tesirini dikkate alan düzeltme faktörü $k_{\text{mod}} = 0.80$ (Çizelge 4.8'den)
- Binalar için kombinasyon faktörü $\psi_{2,1} = 0.3$ (Çizelge 4.9'dan)
- Yapıya etkiyen yükler için kısmi faktörler elverişsiz yükleme durumu için $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$ (Çizelge 4.10'dan)
- Şekil değiştirme faktörü $k_{\text{def}} = 0.80$ (Çizelge 4.11'den)

Eğilme Tahkiki:

$$\sigma_{m,y,d} \leq f_{m,y,d}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M}$$

Elverişsiz yükleme durumu için kuvvetlerin etkisi E_d :

$$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$$

$$E_d = 1.35 \times 1.75 + 1.5 \times 2.8 = 6.56 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = \frac{6.56 \times 4.5^2}{8} = 16.61 \text{ kNm}$$

$$W_y = \frac{bh^2}{6} = \frac{12 \times 24^2}{6} = 1152 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{16.61 \times 10^6}{1152 \times 10^3} = 14.42 \text{ N/mm}^2 \leq f_{m,y,d} = 0.80 \frac{24}{1.3} = 14.77 \text{ N/mm}^2, \text{ kesit eğilmeye karşı uygun.}$$

Kayma tahkiki:

$$\tau_d \leq f_{v,d}$$

$$\tau_d = \frac{3V_d}{2bh} \leq f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M}$$

$$V_d = \frac{E_d l}{2} = \frac{6.56 \times 4.5}{2} = 14.76 \text{ kN}$$

$$\tau_d = \frac{3 \times 14760}{2 \times 120 \times 240} = 0.77 \text{ N/mm}^2 \leq f_{v,d} = 0.8 \frac{4}{1.3} = 2.46 \text{ N/mm}^2, \text{ kesit kesmeye karşı yeterli.}$$

Sehim kontrolü:

Anlık sehim kontrolü:

$$w_{inst} = w_{inst,g} + w_{inst,q} \leq \frac{l}{300}$$

$$w_{inst} = \frac{5gl^4}{384E_{0,mean}I} + \frac{5ql^4}{384E_{0,mean}I} \leq \frac{l}{300}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{12 \times 24^3}{12} = 13824 \text{ cm}^4$$

$$w_{inst} = \frac{5 \times 0,0175 \times 450^4}{384 \times 1100 \times 13824} + \frac{5 \times 0,0280 \times 450^4}{384 \times 1100 \times 13824} \leq \frac{450}{300} = 1.5$$

$$w_{inst} = 0.61 + 0.98 = 1.59 \text{ cm} > 1.5 \text{ cm} \quad \text{anlık sehim limiti aşıyor.}$$

Nihai sehim limiti:

$$w_{fin} = w_{fin,g} + w_{fin,q} \leq \frac{l}{150}$$

$$w_{fin} = w_{inst,g}(1 + k_{def}) + w_{inst,q}(1 + \psi_{2,1} k_{def}) \leq \frac{l}{150}$$

$$w_{fin} = 0.61 \times (1 + 0.8) + 0.98 \times (1 + 0.3 \times 0.8) \leq \frac{450}{150}$$

$$w_{fin} = 1.098 + 1.215 = 2.31 \text{ cm} \leq 3 \text{ cm}, \quad \text{nihai sehim limiti aşılmıyor.}$$

Nihai sehim limiti aşılmıyor fakat anlık sehim limiti aşıyor. Bu yüzden kesit büyütülmeli ya da C24 ahşap sınıfı yerine C27 ya da daha üst ahşap sınıfı kullanılmalıdır.

b=14cm, h=24 cm ölçüleri kullanılırsa,

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{14 \times 24^3}{12} = 16128 \text{ cm}^4$$

$$w_{inst} = \frac{5 \times 0,0175 \times 450^4}{384 \times 1100 \times 16128} + \frac{5 \times 0,0280 \times 450^4}{384 \times 1100 \times 16128} \leq \frac{450}{300} = 1.5$$

$$w_{inst} = 0.52 + 0.84 = 1.36 \text{ cm} < 1.5 \text{ cm} \quad \text{anlık sehim limiti aşılmıyor.}$$

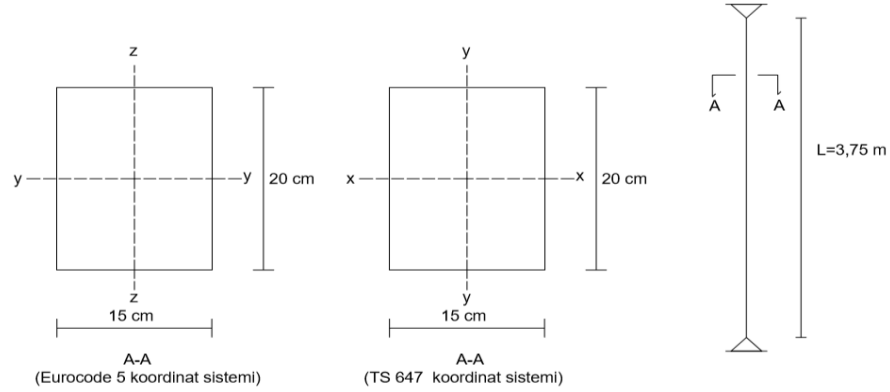
Çizelge 7.1. TS 647 ve Eurocode 5 kiriş tahkiki problem sonuçlarının karşılaştırılması.

Örnek Problem 1 :kiriş tahkiki		
	TS 647	Eurocode 5
Toplam yük	$g+q = 455 \text{ kgf/m} = 4,46 \text{ kN/m}$	$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 6,56 \text{ kN/m}$
Eğilme momenti	$M_{\max} = \frac{q \times l^2}{8} = 1151 \text{ kgfm}$ $= 11,29 \text{ kNm}$	$M_{y,d} = \frac{E_d l^2}{8} = 16,61 \text{ kNm}$
Eğilme gerilmesi	$\sigma_e = \frac{M_{\max}}{W_x} = 99,98 \text{ kgf/cm}^2$ $= 9,80 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = 14,42 \text{ N/mm}^2$
Emniyet eğilme gerilmesi/ Tasarım eğilme dayanımı	$\sigma_{eem} = 130 \text{ kgf/cm}^2$ $= 12,75 \text{ N/mm}^2$	$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 14,77 \text{ N/mm}^2$
Kayma gerilmesi	$\tau = \frac{3 Q_{\max}}{2 F} = 5,83 \text{ kgf/cm}^2$ $= 0,57 \text{ N/mm}^2$	$\tau_d = \frac{3V_d}{2bh} = 0,77 \text{ N/mm}^2$
Makaslama emniyet gerilmesi/ tasarım kayma dayanımı	$\tau_{em} = 9 \text{ kgf/cm}^2$ $= 0,88 \text{ N/mm}^2$	$f_{v,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 2,46 \text{ N/mm}^2$
Sehim	$f = \frac{5 M_{\max} l^2}{48 EI} = 1,76 \text{ cm}$	$W_{\text{inst}} = W_{\text{inst,g}} + W_{\text{inst,q}}$ $= \frac{5gl^4}{384E_{0,\text{mean}}I} + \frac{5ql^4}{384E_{0,\text{mean}}I}$ $= 1,59 \text{ cm}$ $W_{\text{fin}} = W_{\text{fin,g}} + W_{\text{fin,q}}$ $W_{\text{inst,g}}(1 + k_{\text{def}}) + W_{\text{inst,q}}(1 + \psi_{2,1} k_{\text{def}}) = 2,31 \text{ cm}$

Eurocode 5'te yükler, elverişsiz yükleme durumu için kısmi faktörlerle çarpılmıştır. Eurocode 5'te eğilme gerilmesi ve kayma gerilmesi değerleri TS 647'ye göre daha fazla çıkmıştır. Eurocode 5'te yüklerin kısmi faktörlerle çarpılarak daha güvende kalındığını anlayabiliriz. Her iki yönetmeliğe göre de kirişin eğilmeye ve kesmeye karşı yeterli olduğu görülmüştür. Sehim kontrolü yapıldığında her iki yönetmeliğe göre sehim değerlerinin aşıldığı görülmüştür. Eurocode 5'te anlık sehim ve nihai sehim kontrolleri yapılmış ve anlık sehim limitinin aşıldığı görülmüştür. Bundan dolayı kesit değerleri büyütülmeli ya da malzeme sınıfının artırılması gerekmektedir. Kesit değerinin büyütüldüğünde her iki yönetmeliğe göre sehim değerlerinin sağlandığı görülmüştür.

7.2. Kolon Tahkiki Örnek Problem

Şekil 7.2’de ölçüleri, yükü ve kesiti verilen ahşap kolonun TS 647 ve Eurocode 5’e göre tahkiklerinin yapılması.



Şekil 7.2. Kolon tahkiki.

$$g = 30 \text{ kN}$$

C18 masif ahşap (EN 338)

$$l = 3.75 \text{ m}$$

$$q = 50 \text{ kN}$$

1. Sınıf çam (TS 647)

$$b = 15 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

TS 647’ye göre çözüm:

Karakteristik dayanım ve rijitlik özellikleri:

- Seçilen malzeme : 1. Sınıf çam (Çizelge 4.4’ten)
- Liflere paralel basınç emniyet gerilmesi $\sigma_{bem//} = 110 \text{ kgf/cm}^2$ (Çizelge 4.5’ten)

Tahkik hesapları w metodu ile yapılır.

Basınç tahkiki:

$$\sigma_{\omega} = \frac{\omega \times N}{F} \leq \sigma_{bem//}$$

$$\lambda_x = \frac{S_k}{i_x} = \frac{k \times S}{i_x} = \frac{1 \times 375}{20/\sqrt{12}} = 64.95$$

$$\lambda_y = \frac{S_k}{i_y} = \frac{k \times S}{i_y} = \frac{1 \times 375}{15/\sqrt{12}} = 86.6$$

$\lambda_y > \lambda_x$ olduğu için λ_y değeri için $\omega = 2.44$ ’tür.

(Çizelge 5.2’den)

$$N = g + q = 3000 + 5000 = 8000 \text{ kgf}$$

$\sigma_{\omega} = \frac{2.44 \times 8000}{20 \times 15} = 65.06 \text{ kgf/cm}^2 \leq \sigma_{\text{bem//}} = 110 \text{ kgf/cm}^2$, ahşap kolon basınca karşı uygundur.

Eurocode 5'e göre çözüm:

Karakteristik dayanım ve rijitlik özellikleri:

- Seçilen malzeme EN 338'e göre C18, masif ahşap.
- Yük süre sınıfı: Orta dönemli (Çizelge 4.2'den)
- Kullanım sınıfı: 2 (Çizelge 4.3'ten)
- Karakteristik basınç dayanımı (liflere paralel) $f_{c,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$ (Çizelge 4.6'dan)
- % 5 Elastite modülü (liflere paralel) $E_{0,05} = 6 \text{ kN/mm}^2$ (Çizelge 4.6'dan)
- Malzeme özelliği için kısmi faktör $\gamma_M = 1.3$ (Çizelge 4.7'den)
- Yük süresinin ve rutubet içeriğinin tesirini dikkate alan düzeltme faktörü $k_{\text{mod}} = 0.80$ (Çizelge 4.8'den)
- Yapıya etkiyen yükler için kısmi faktörler elverişsiz yükleme durumu için $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$ (Çizelge 4.10'dan)
- Sistem dayanım faktörü $k_{\text{sys}} = 1$ (tekil kolon için)

Basınç tahkiki:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i_y} = \frac{375}{20/\sqrt{12}} = 64.95$$

$$\lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i_z} = \frac{375}{15/\sqrt{12}} = 86.6$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{64.95}{\pi} \sqrt{\frac{18}{6000}} = 1.13$$

$$\lambda_{\text{rel},z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{86.6}{\pi} \sqrt{\frac{18}{6000}} = 1.51$$

$$\lambda_{\text{rel},y} \text{ ve } \lambda_{\text{rel},z} \leq 0.3 \Rightarrow \sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \leq f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} k_{\text{sys}} f_{c,0,k}}{\gamma_M}$$

$$\lambda_{\text{rel},y} \text{ ve } \lambda_{\text{rel},z} > 0.3 \Rightarrow \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d}$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} f_{c,0,d} \quad \text{olmalıdır.}$$

Maksimum narinlik oranı $\lambda_{rel,z}$ olduğu için tahkikler z doğrultusu için yapılacaktır.

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}}$$

$$k_z = 0.5 (1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0.5 (1 + 0.2(1.51 - 0.3) + 1.51^2) = 1.76$$

Masif ahşap için $\beta_c = 0.2$ alınır.

$$k_{c,z} = \frac{1}{1.76 + \sqrt{1.76^2 - 1.51^2}} = 0.37$$

$$N_d = 1.35 \times 30 + 1.5 \times 50 = 115.5 \text{ kN} = 1.16 \times 10^5 \text{ N}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{0.8 \times 1 \times 1.18}{1.3} = 11.08 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{c,0,d} = \frac{1.16 \times 10^5}{200 \times 150} = 3.87 \text{ N/mm}^2 \leq 0.37 \times 11.08 = 4.15 \text{ N/mm}^2$, ahşap kolon basınca karşı uygundur.

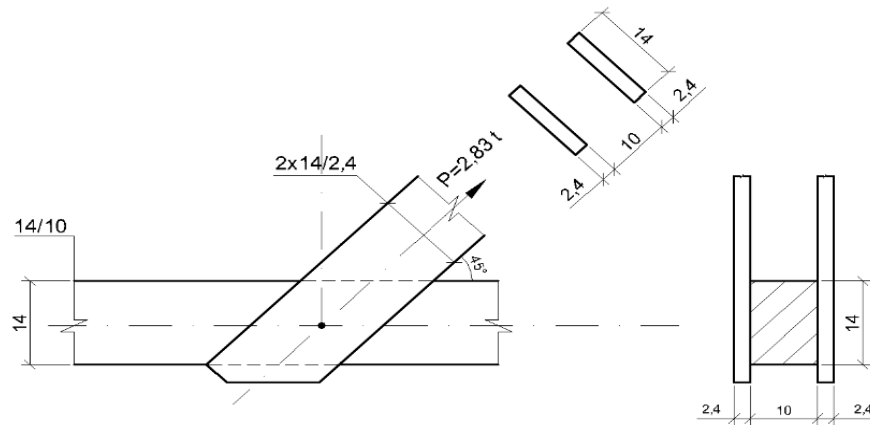
Çizelge 7.2. TS 647 ve Eurocode 5 kolon tahkiki problem sonuçlarının karşılaştırılması.

Örnek Problem 2 :kolon tahkiki		
	TS 647	Eurocode 5
Toplam yük	$g+q = 8000 \text{ kgf} = 78.45 \text{ kN}$	$E_d = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k = 115.5 \text{ kN}$
Burkulma gerilmesi/ Tasarım basınç gerilmesi	$\sigma_\omega = \frac{\omega \times N}{F} = 65.06 \text{ kgf/cm}^2$ $= 6.38 \text{ N/mm}^2$	$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} = 3.87 \text{ N/mm}^2$
Basınç emniyet gerilmesi/ Tasarım basınç dayanımı	$\sigma_{bem//} = 110 \text{ kgf/cm}^2$ $= 10.79 \text{ N/mm}^2$	$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{c,0,k}}{\gamma_M}$ $= 11.08 \text{ N/mm}^2$

Eurocode 5'te yükler, elverişsiz yükleme durumu için kısmi faktörlerle çarpılmıştır. TS 647 kolondaki basınç gerilmesi değeri Eurocode 5'te bulunan değere göre daha fazla çıkmıştır. Her iki yönetmeliğe göre basınç emniyet değerleri aşılmamış ve kolon basınca karşı uygun çıkmıştır.

7.3. Birleşim Elemanı Çivi Tahkiki Örnek Problem

Şekil 7.3'te ölçüleri, yükü ve kesiti verilen ahşap diyagonal, kafes kirişin alt başlığına çivi ile birleştirilecektir. TS 647 ve Eurocode 5'e göre gerekli çivi çap ve sayısının bulunması ve yerleştirilmesi.



Şekil 7.3. Çivili birleşim tahkiki.

TS 647'ye göre çözüm:

Karakteristik dayanım ve rijitlik özellikleri:

- Seçilen malzeme : 2. Sınıf çam (Çizelge 4.4'ten)
- Liflere paralel çekme emniyet gerilmesi $\sigma_{çem//} = 110 \text{ kgf/cm}^2$ (Çizelge 4.4'ten)

Çivinin seçilmesi:

Çivi birleşimdeki en küçük ahşap kalınlığına göre Çizelge 6.1'den seçilir. Bu soruda $a=24 \text{ mm}$ olması nedeniyle Çizelge 6.1'den 34/90 seçilmiştir.

Bir çivinin emniyetle taşıyabileceği yük (P_{em}^1) ve çivi sayısının bulunması:

$$P_{em}^1 = m \times N_{ç}$$

İkinci parça içindeki uzunluk (s), $s = 9 - 2.4 = 6.6 > 12d = 12 \times 0.34 = 4.08 \text{ cm}$ olduğu için çiviler tek etkilidir ve Şekil 6.5'e göre $m=1$ olarak alınır. $P_{em}^1 = N_{ç}$ 'dir.

$$N_{ç} = \frac{500d_{ç}^2}{1+d_{ç}} = \frac{500 \times 0.34^2}{1+0.34} = 43.13 \text{ kgf}$$

$$n \geq P / P_{em}^1$$

$$n \geq \frac{2830}{43.13} = 65.13 \text{ adet, her iki parça için en az 66 adet çivi olması gerekmektedir.}$$

Birleşimin tek parçası için en az $66/2 = 33$ adet çivi olması gerekmektedir.

Çivilerin yerleştirilmesi:

Çivi aralıkları Şekil 6.7' de gösterildiği şekilde düzenlenir.

$$5d = 5 \times 0.34 = 1.7 \text{ cm}$$

$$10d = 10 \times 0.34 = 3.4 \text{ cm}$$

$$12d = 12 \times 0.34 = 4.1 \text{ cm}$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ olduğundan, } l = 14\sqrt{2} = 19.8 \text{ cm'dir.}$$

Yatay çivi sırası:

$$1.7 + m \times 3.4 + 4.1 = 19.8$$

$$m = 4.11 \Rightarrow 4 \text{ aralık} \Rightarrow 5 \text{ yatay sıra}$$

bir yatay sırada $33/5 = 6.6 \Rightarrow 7$ adet çivi, 8 aralık.

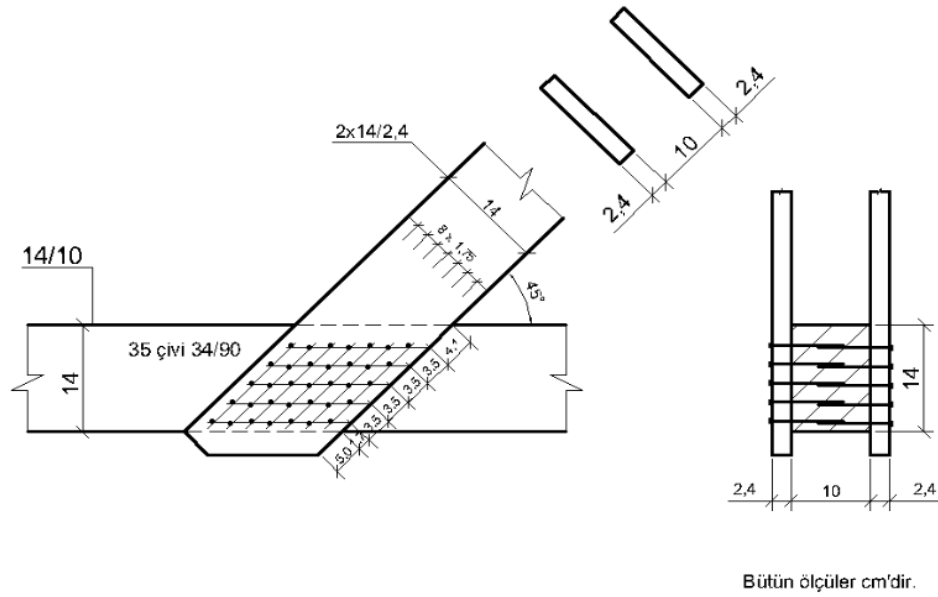
$$8 \times 1.7 = 13.6 \text{ cm} < 14 \text{ cm olduğundan diyagonal genişliği yeterlidir.}$$

Gerilme kontrolü:

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq \sigma_{\text{çem//}}$$

$$\sigma = \frac{2830}{2 \times 2.4(14 - 7 \times 0.34)} = 50.74 \text{ kgf/cm}^2 \leq \sigma_{\text{çem//}} = 85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\sigma = \frac{2830}{10(14 - 14 \times 0.34)} = 30.63 \text{ kgf/cm}^2 \leq \sigma_{\text{çem//}} = 85 \text{ kgf/cm}^2, \text{ çivili birleşimler çekmeye karşı uygundur.}$$



Şekil 7.4. TS 647'ye göre çivili birleşim detay resmi.

Eurocode 5'e göre çözüm:

Karakteristik dayanım ve rijitlik özellikleri:

- Seçilen malzeme EN 338'e göre C22, masif ahşap.
- Yük süre sınıfı:Orta dönemli (Çizelge 4.2'den)
- Kullanım sınıfı: 2 (Çizelge 4.3'ten)
- Karakteristik çekme dayanımı (liflere paralel) $f_{t,0,k} = 13 \text{ N/mm}^2$ (Çizelge 4.6'dan)
- Karakteristik yoğunluk $\rho_k = 340 \text{ kg/m}^3$ (Çizelge 4.6'dan)
- Malzeme özelliği için kısmi faktör birleşimler için $\gamma_M = 1.3$ (Çizelge 4.7'den)
- Yük süresinin ve rutubet içeriğinin tesirini dikkate alan düzeltme faktörü $k_{mod} = 0.80$ (Çizelge 4.8'den)
- Yapıya etkiyen yükler için kısmi faktörler elverişsiz yükleme durumu için $\gamma_G = 1.35$ $\gamma_Q = 1.5$ (Çizelge 4.10'dan)
- Çivinin çekme dayanımı $f_u = 600 \text{ N/mm}^2$ (EN 14592'den)
- Uygulanan çekme kuvveti $F_{v,Ed} = 2830 \text{ kgf} = 27752.8 \text{ N}$

Geometrik özellikler:

- Kenar parça kalınlığı, $t_1 = 24 \text{ mm}$
- İçteki parçanın kalınlığı, $t_2 = 100 \text{ mm}$

- Parçaların genişliği, $h = 140 \text{ mm}$
- Çivi çapı, $d = 3.4 \text{ mm}$
- Çivi uzunluğu, $l = 90 \text{ mm}$
- $t_{\text{pen}} = l - t_1 = 90 - 24 = 66 \text{ mm}$

Ahşap elemanın karakteristik ankraj dayanımı (önceden delik açılmamış):

$$f_{h,k} = 0.082 \rho_k d^{-0.3} \text{ N/mm}^2$$

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = 0.082 \times 340 \times 3.4^{-0.3} = 19.24 \text{ N/mm}^2$$

Çivinin karakteristik akma momenti:

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_u d^{2.6} \text{ Nmm}$$

$$M_{y,Rk} = 0.3 \times 600 \times 3.4^{2.6} = 4336 \text{ Nmm}$$

Birleşim bağlantı elemanı için karakteristik yük taşıma kapasitesi:

Çivi uzunluğu $l = 90 \text{ mm} < t_1 + t_2 = 24 + 100 = 124$ olduğu için tek kayma düzlemlerli ahşap ve kaplama birleşimleri için göçme modları kullanılır.

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1$$

t_2 tek kayma düzlemlerli birleşimde çivinin uç tarafı nüfuz derinliği (t_{pen}) olarak alınır.

$$t_2 = t_{\text{pen}}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} d t_{\text{pen}} \\ f_{ax,k} d t + f_{\text{head},k} d_h^2 \end{array} \right.$$

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2$$

$$f_{ax,k} = 20 \times 10^{-6} \times 340^2 = 2,31$$

$$f_{\text{head},k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2$$

$$f_{\text{head},k} = 70 \times 10^{-6} \times 340^2 = 8,09$$

$$F_{ax,Rk} = 2,31 \times 3,4 \times 66 = 518,36 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = 2,31 \times 3,4 \times 24 + 8,09 \times 3,4^2 = 282,02 \text{ N}$$

$F_{ax,Rk} = 282.02$ N olarak alınır.

$$(a) F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d = 19.24 \times 24 \times 3.4 = 1570 \text{ N}$$

$$(b) F_{v,Rk} = f_{h,2,k} t_2 d = 19.24 \times 66 \times 3.4 = 4317 \text{ N}$$

$$(c) F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk} = \frac{19.24 \times 24 \times 3.4}{1+1} \left[\sqrt{1 + 2 \times 1^2 \left[1 + \frac{66}{24} + \left(\frac{66}{24} \right)^2 \right] + 1^3 \times \left(\frac{66}{24} \right)^2} - 1 \times \left(1 + \frac{66}{24} \right) \right] + \frac{282.02}{4} = 1510.12 \text{ N}$$

$$(d) F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{19.24 \times 24 \times 3.4}{2+1} \left[\sqrt{2 \times 2 + \frac{4 \times 3 \times 4336}{19.24 \times 3.4 \times 24^2}} - 1 \right] + \frac{282.02}{4} = 795.56 \text{ N}$$

$$(e) F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{19.24 \times 66 \times 3.4}{1+2} \left[\sqrt{2 \times 2 + \frac{4 \times 3 \times 4336}{19.24 \times 3.4 \times 66^2}} - 1 \right] + \frac{282.02}{4} = 1648.86 \text{ N}$$

$$(f) F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2 \times M_{y,Rk} \times f_{h,1,k} \times d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2}{2}} \sqrt{2 \times 4336 \times 19.24 \times 3.4} + \frac{282.02}{4} = 936.66 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = \min(1570, 4317, 1510.12, 795.56, 1648, 936.66) \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = 795.56 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0.80 \times \frac{795.56}{1.3} = 489.58 \text{ N}$$

$$F_{v,Ed} \leq n_{ef} \times F_{v,Rd}$$

$$n_{ef} \geq \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{27752.8}{489.58} = 56.7 \text{ adet, her iki parça için en az 57 adet çivi olması gerekmektedir.}$$

Birleşimin tek parçası için en az $57/2 = 29$ adet çivi olması gerekmektedir.

Çivilerin yerleştirilmesi:

$\alpha = 45^\circ$ dir. Şekil 6.17'ye göre çivilerin köşelere olan mesafeleri belirlenir.

$$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ \Rightarrow a_{3,t}$$

$$a_{3,t} = (10 + 5 \cos \alpha) d = (10 + 5 \cos 45) 3.4 = 46.02 \text{ mm} = 4.6 \text{ cm}$$

$$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ \Rightarrow a_{4,t} \text{ alınır.}$$

$$d = 3.4 \text{ mm} < 5 \text{ mm için, } a_{4,t} = (5 + 2 \sin \alpha) d = (5 + 2 \sin 45) 3.4 = 21.8 \text{ mm} = 2.18 \text{ cm}$$

Çizelge 6.12'ye göre çiviler arasındaki mesafeler belirlenir.

$$\rho_k = 340 \text{ kg/cm}^3 < 420 \text{ kg/cm}^3 \text{ için,}$$

$$d = 3.4 \text{ mm} < 5 \text{ mm için, } a_1 = (5 + 5 |\cos \alpha|) d = (5 + 5 |\cos 45|) 3.4 = 29.02 \text{ mm} = 2.9 \text{ cm}$$

$$a_2 = 5d = 5 \times 3.4 = 17 \text{ mm} = 1.7 \text{ cm}$$

Yatay çivi sırası:

$$2 \times 4.6 + m \times 2.9 = 19.8 \text{ cm}$$

$$m = 3.65 \text{ cm} \Rightarrow 3 \text{ aralık} \Rightarrow 4 \text{ yatay sıra}$$

bir yatay sırada $29/4 = 7.25 \Rightarrow 8 \text{ adet çivi, } 9 \text{ aralık.}$

$$9 \times 1.7 = 15.3 \text{ cm} < 19 \text{ cm olduğundan genişlik yeterlidir.}$$

Gerilme kontrolü:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{t,0,d}}{A_{\text{net}}} \leq f_{t,0,d} = k_{\text{mod}} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M}$$

$$\sigma_{t_1,0,d} = \frac{27752.8}{2 \times 24 \times 140} = 4.13 \text{ N/mm}^2 \leq f_{t,0,d} = 0.80 \frac{13}{1.3} = 8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{t_2,0,d} = \frac{27752.8}{100 \times 140} = 1.98 \text{ N/mm}^2 \leq f_{t,0,d} = 0.80 \frac{13}{1.3} = 8 \text{ N/mm}^2, \text{ çivili birleşimler çekmeye karşı uygundur.}$$

8. SONUÇLAR

Türkiye’de ahşap yapı yönetmeliği olarak 1979 yılında yayımlanan Ahşap Yapıların Hesap ve Tasarım Kuralları(TS 647) kullanılmaktadır. Ayrıca Genel Teknik Şartname, imar yönetmelikleri ve deprem yönetmeliklerinde de ahşap yapılar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Türkiye’de ahşap yapıların tasarım ve uygulamasına yönelik kurallar yönetmeliklerde yüzeysel ve sınırlayıcı olarak aktarılmış ve çağın teknolojik gelişmelerinin gerisinde kalmıştır. Fakat 18 Mart 2018 tarihinde yayımlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) ile birlikte deprem etkisi altındaki ahşap yapıların panellerden oluşabileceği kabul edilerek tasarım olarak Eurocode 5 (Design of Timber Structures) esas alınmıştır. Böylelikle Eurocode 5 ülkemizde resmi olarak ilk defa bu yönetmeliğin kapsamında yer almıştır. Ahşap yapı hesaplamaları için bu bir başlangıç olsa da yeterli değildir. TBDY 2018’de sadece ahşap panel sistemlerin deprem etkisi altındaki hesap kuralları anlatılmıştır. Ahşap yapıların tasarım ve hesap kurallarının detaylı bir şekilde öğrenilebilmesi ve uygulanabilmesi için TS 647’nin yenilenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada TS 647 ve Eurocode 5 boyutlandırmada esas alınan yükler, ahşap malzemenin mekanik özellikleri ve sınıflandırılması, tasarım esasları yönünden karşılaştırılmıştır. Ahşap yapı elemanlarının boyutlandırılması ve birleşim elemanları ile ilgili her iki yönetmelik için bilgiler verilmiş ve karşılaştırmalı örnek problemler çözülmüştür.

Boyutlandırmada esas alınan yükler karşılaştırıldığında Eurocode 5’te yük süresi etkisinin tasarımda dikkate alınması gerektiği, yük etki süresi arttıkça ahşap ve ahşap esaslı elemanların dayanımında azalma olacağı belirtilmiştir. Bu etkiyi dikkate alabilmek için yük-etki sınıfları tanımlanmıştır. Eurocode 5’te çevre şartları ve nem etkisinin tasarımda dikkate alınması gerektiği, nem içeriği arttıkça ahşap ve ahşap esaslı elemanların dayanımında azalma olacağı belirtilmiştir. Bu etkiyi tasarımda dikkate alabilmek için malzemeler kullanım sınıfına ayrılmıştır. Bu yönleriyle Eurocode 5, TS 647’ye göre daha kapsamlıdır.

Ahşap malzemenin mekanik özelliklerine göre sınıflandırma yapılırken TS 647’de bünyesindeki kusurlara göre iğne yapraklı ağaçlardan çam 3 sınıfa ayrılır. Sınıf numarası büyüdükçe hataların fazlaştığı ve emniyet gerilmelerinin düştüğü kabul edilir. Eurocode 5’te kullanılan ahşap malzemeler EN 338 (Yapı Kerestesi – Mukavemet

Sınıfları) standardına göre C ve D olmak üzere 2 grup ve 20 sınıfa ayrılır. Eurocode 5'te kullanılan ahşap sınıfları TS 647'ye göre daha detaylıdır. TS 647 ve Eurocode 5 arasında hesaplarla karşılaştırma yapılırken en büyük sıkıntı her iki yönetmelikteki ağaç sınıflandırmasındaki farklılıktan kaynaklanmıştır. TS 647'deki ağaç muadillerinin Eurocode 5'te hangi sınıfa denk geldiği belirlenememiştir. Bu sebeple yönetmelikler arasında farklılık gösteren bir ahşap malzeme her iki yönetmelikle de aynı malzeme tipi varsayılarak hesap yapıldığı takdirde farklı sonuçlar elde edilmesi muhtemeldir. Eurocode 5'e göre ahşap, ahşaba fiziksel zarar vermeyen hassas ölçümler ve yöntemler sonucunda detaylı bir şekilde sınıflandırılmıştır. TS 647'de ise sadece ahşabın bünyesindeki kusurlara göre sınıflandırma yapılmıştır. Günümüz koşullarında nitelikli ahşap yapılar üretebilmek için TS 647'deki sınıflandırma yetersiz kalmıştır. TS 647'de güncel sınıflandırma yöntemleri kullanılarak ve Türkiye'deki ağaç türleri araştırılarak daha detaylı bir sınıflandırma yapılması ülkemiz koşulları da düşünüldüğünde ahşabın yeteri kadar ve doğru şekilde kullanılarak israfın önlenmesine katkı sağlayabilir. Ahşap sınıflandırmasındaki hassasiyet ahşabın etkin, verimli kullanılmasını sağlar. Doğru ahşap malzemenin seçilmesi ile daha ekonomik ahşap yapılar üretilebilir.

Tasarım esasları yönünden karşılaştırma yapıldığında TS 647'de emniyet gerilmelerine göre tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde yük etkileri artırılmaz, malzemenin dayanımı düşürülmez ve yükler altında oluşan gerilmelerin, o yapı elemanına ait emniyet gerilmelerinden küçük olması istenir. Eurocode 5'te ise güvenilirlik yönetimine göre bir kısmi faktör yöntemi ile sınır durum kavramı esas alınmıştır. Eurocode 5'te taşıma gücü sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumu kavramlarına göre ahşap yapı elemanları boyutlandırılmıştır. Eurocode 5'te pratikte kullanılan yapı malzemelerinin dayanım ve rijitlik özelliklerinin, standartlarda verilen karakteristik değerlerden daha düşük olduğu kabul edilmiştir. Malzemenin karakteristik değerleri kısmi faktöre bölünerek ve düzeltme faktörü ile çarpılarak tasarım değerine dönüştürülür. Betonarme yapılarda taşıma gücü yöntemi ilk defa TS 500-1981 yönetmeliğinde yer almıştır. TS 500-2000 yönetmeliği ile emniyet gerilmelerine göre tasarım yöntemi tümüyle terk edilmiştir. Çelik yapılarda TS 648-2016 yönetmeliğiyle beraber emniyet gerilmelerine göre tasarım yöntemi terk edilerek, taşıma gücü sınır yöntemine geçilmiştir. Taşıma gücü yönteminde yük açısından ve malzeme açısından yapı güvenliği ön planda tutulur. Kesit hesaplarında taşıma gücü yöntemi, emniyet gerilmeleri yöntemine göre

daha doğru sonuçlar verir. Ayrıca taşıma gücü yöntemi deprem yönetmeliği ile uyumludur. TS 647'deki tasarım yöntemi, TS 648 ve TS 500 standartlarının gerisinde kalmıştır. Bundan dolayı yapı güvenliği açısından TS 647'deki emniyet gerilmelerine göre tasarım yönteminin, taşıma gücü yöntemiyle değiştirilmesi gerekmektedir.

TS 647'de sadece masif ahşap ve kontrplaklar üzerine çalışılmasına rağmen Eurocode 5'te tutkallı lamine ahşap, soyma tabakalı lamine kereste (LVL) gibi günümüzde kullanılan yapısal ahşap ürünler ile mekanik bağlantı elemanlarıyla birleştirilen ahşap esaslı levhalardan oluşan binaların tasarımına da yer verilmiştir. TS 647'nin çağımız gelişmelerini yakalayamadığı görülmüştür.

Eurocode 5'te tek ve çift kayma düzlemlili bağlantı elemanı için göçme modları tanımlanmıştır. Göçme modları olasılık hesapları yapılarak ayrıntılı olarak tablolarla gösterilmiştir ve her bir durum için ayrı ayrı bağlantı elemanı karakteristik yük taşıma kapasitesi formülleri hesaplanmıştır. TS 647'de ise bağlantı elemanının emniyetle taşıyacağı yük sadece tek bir formülle tanımlanmıştır. Bağlantı elemanları arasındaki mesafeler, bağlantı elemanlarının yerleştirilmesi Eurocode 5'te detaylı olarak tablolarla ve formüllerle verilirken TS 647'de kısıtlamalara gidilmiştir. Bağlantı elemanlarının hesaplanması ve yerleştirilmesi açısından TS 647 yetersiz kalmıştır. Ayrıca Eurocode 5'te geleneksel bağlantılar yerine bulon ve metal bağlantı plakaları kullanarak küçük kesitlerle, daha az miktarda bağlantı elemanı ile birleşim yapılacağı sonucuna varılmıştır.

Konunun daha iyi anlaşılması için TS 647 ve Eurocode 5'e göre örnek problemler çözülmüştür. Örnek problemlerdeki hesap adımlarının ve sonuçlarının karşılaştırmalı incelenmesi için tablolar verilmiştir. TS 647'ye göre problemlerin çözümü bir sayfa tutarken, Eurocode 5'te problem çözümleri üç sayfa tutmuştur. Buradan da görüleceği üzere Eurocode 5 her bir durum için olasılık hesapları yaparak ayrı ayrı formüller ve tablolar vermiştir. Hesap esasları incelendiğinde Eurocode 5'te yüklerin arttırılarak, malzeme dayanımlarının kısmi faktör ve düzeltme faktörleriyle düşürülerek daha güvende kaldığı fakat her iki yönetmeliğe göre çıkan sonuçların birbirine yakın olduğu görülmüştür. Örnekler sonucunda yönetmelikler arasında önemli bir paralellik görüldüğü fakat Eurocode 5'in günümüz koşullarının gereksinimlerine cevap verecek daha kapsamlı ve güncel bir yönetmelik olduğu, her bir durum için hesaplamalar yapılarak tablolar ve formüllerin verildiği sonucuna varılmıştır.

Tüm bu sonuçlardan yola çıkarak TS 647'nin malzeme sınıflandırılması, tasarım yöntemi, bağlantı elemanları, güncel yapısal ahşap ürünler, hesaplama yöntemleri açısından yetersiz kaldığı ve çağı yakalayamadığı anlaşılmıştır. Sağlam, nitelikli ve denetlenebilir ahşap yapılar üretmek, Türkiye'deki geleneksel ahşap mimari tekniklerini yaşatmak ve daha da ileriye götürmek için Türkiye'de halen yürürlükte olan ancak yetersiz kalan TS 647'nin, Eurocode 5 gibi detaylı ve evrensel bir yönetmelik örnek alınarak fakat Türkiye şartları da göz önünde bulundurularak, üniversite, sanayi ve ahşap üzerine araştırma yapan derneklerin ortak çalışması ile günümüz koşullarına uygun olarak yenilenmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aicher, S. (2014). Design Timber Structures Using Eurocode 5. *Seminar on Sustainable Future Trough Timber Design*, 16 December, Malaysia, 13-119.
- Akan, A. E. (2010). Tarihi ahşap sütunlu camilerin sonlu elemanlar analizi ile taşıyıcı sistem performansının belirlenmesi. *SDU International Technologic Science*, 2(1), 41-54.
- Akça, C., Akarca, H., Erdoğan, E., & Demirel, A. (2013). Yapı ahşabı ve ahşap yapı sektörü. *Ulusal Ahşap Birliği*, İstanbul.
- Aksoy, D., & Esen, O. (2015). Geleneksel ahşap iskeletli Türk konutunun deprem davranışları. *İtü Dergisi*, 4(1), 47-58.
- Aktürk, E. & Çobancaoğlu, T. (2015). Birgi geleneksel ahşap konutlarında yapısal sorunlar ve çözüm önerileri. 5. *Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 1-2 Ekim, Erzurum, 285-299.
- Aras, U., & Kalaycıoğlu, H. (2016). Odun esaslı kompozitler ve kullanım alanları. *Uluslararası Hakemli Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6, 120-136.
- Aslan, H. İ. (2008). *Yaşar Ahşap A.Ş. işletmesindeki kaplama üretiminin incelenmesi ve bu fabrikada üretilen kaplamalarla ilgili diğer tip kaplamaların kıyaslanması*. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Ateş, Ş. (2011). *Ahşap yapı uygulamaları ders notları*. Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon.
- Avlar, E. (2008). Türkiye’de ahşap yapı üretimine yönelik durum tespiti. *Mimarlıkta Malzeme Dergisi*, 8, 71-77.
- Batur, A. (2004). *Gelişmiş ahşap yapı sistemleri ve Türkiye koşulları yönünden değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Bayülke, N. (2001). Ahşap yapılar ve deprem. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 414, 14-20.
- Benu, M. J., Sule, S., & Nwofor, T. C. (2012). Reliability analysis of a square solid timber column. *Advances in Applied Science Research*, 3(4), 1997-2003.
- Bilici, S. (2006). *Ahşap konut üretim sistemleri; Almanya örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Borgström, E. (2016). *Design of Timber Structures Vol 1- Vol2 – Vol 3*. Swedish Wood, Stockholm, 444.
- Bostancıoğlu, E., & Birer, E. D. (2004). Ekoloji ve ahşap- Türkiye’de ahşap malzemenin geleceği. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 9(2), 37-44.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Can, Ö., & Tokgöz, H. (2008). Ahşap çatı makaslarının düğüm noktalarında ön ahşap uzunluğun deneysel yöntemle tayini. *E-Journal of New World Sciences Acedemy Natural and Applied Sciences*, 3(4), 571-579.
- Çakır, S. (2000). *Geleneksel Karadeniz ahşap konut yapım yönteminin çağdaş teknoloji açısından değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelik, A., & Birdal, F. (2017). Ahşap taşıyıcı sistemli tarihi camilerin güçlendirilmesine yönelik bir durum çalışması. *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2-4 Kasım, Trabzon, 289-298.
- Çobanoğlu, T. (1998). *Türkiye’de ahşap evin bölgelere göre yapısal olarak incelenmesi ve restorasyonlarında yöntem önerileri*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirhan, E. (2001). *Ahşap iskeletli kagir yapıların deprem etkileri karşısındaki davranışı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deprem Yönetmeliği (1997). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Deprem Yönetmeliği (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Dışkaya, H. (2004). *Kuzey Marmara Bölgesindeki 19. yüzyıl ahşap yapılarının depreme karşı güçlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dışkaya, H. (2011). *19. yüzyıl İstanbul ahşap karkas yapılarında deprem etkisinin sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duman, N., & Ökten, S. (1988). *Ahşap Yapı Dersleri 1*. Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul, 271.
- Efe, H., & Çağatay, K. (2011). Çeşitli masif ağaç malzemelerin bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(1), 55-61.
- Ekinci, S., & Arpacıoğlu, Ü. (2004). Geleneksel ahşap yapılarda yapı fiziği ve malzeme sorunlarının taşıyıcı sisteme etkileri. 2. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, 6-8 Ekim, İstanbul.
- EN 1990 (2002). Eurocode – Basis of Structural Design. European Committee for Standardization, Brussels.
- EN 338 (2009). Structural Timber – Strength Classes. European Committee for Standardization, Brussels.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Erdoğmuş, E. (2003). Ahşap: Mükemmel bir yapı malzemesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 427, 89-92.
- Erkoç, E. (2004). *Günümüz teknolojisiyle üretilen ahşap konutların tasarım-uygulama-kullanım üçgeninde değerlendirilmesi: İstanbul örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Esen, O. (2010). *Türkiye’de uygulanan ahşap çatı sistemlerinin Avrupa’da uygulanan ahşap çatı sistemleriyle karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Eurocode 5 (2004). Design of Timber Structures Part-1-1: General: Common Rules and Rules for Buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- Fink, G., Hanfi, D., Kohler, J., & Dietsch, P. (2018). Basis of design principles for timber structures. A State of Art Report by European Cooperation in Science and Technology Action FP 1402, Aachen.
- Görgün, H. V. (2013). *Ahşap kirişlerde eğilme direnci ve elastikiyet modülünün tahribatsız ve tahribatlı test yöntemleri ile belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Görgün, H. V., Ünal, Ö., & Dündar, T. (2016). Yapısal amaçlı ağaç malzemede mühendislik sorunları ve çözüm önerileri. 8. *Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu*, 2-3 Haziran, İstanbul.
- Güller, B. (2001). Odun kompozitleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 2, 135-160.
- Gürel, Y. (2018). *Çok katlı ahşap yapıların deprem yükü altında performanslarının incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hiraoğlu, H. H. (2007). *Ahşap ve çelik makas sistemlerin malzeme ve sistem özelliklerinin incelenmesi, bir örnek yapı üzerinde değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Holmberg, S., Persson, K., & Petersson, H. (1999). Nonlinear mechanical behaviour and analysis of wood and fibre materials. *Computer and Structure*, 72, 459-480.
- Jacop, M., Harrington, J., & Robinson, B. (2018). *The Structural Use of Timber Handbook for Eurocode 5: Part 1-1*. Coford, Dublin, 81.
- Kaplan, B. (2013). *Geleneksel Osmanlı mimarisine sahip ahşap yapıların deprem kuvvetleri altında incelenmesi ve güçlendirme teknikleri*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Karaman, Ö. Y., & Zeren, M. T. (2010). Geleneksel türk konutunda kullanılan ve kagir sistemi destekleyen ahşap yapısal elemanların önemi ve bozulma nedenleri. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 75-87.
- Kuklik, P., Augustin, M., Bell, K., Lokaj, A., & Premrov, M. (2008). *Handbook 2 Design of Timber Structures According to EC 5*. Leonardo da Vinci Pilot Projects Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures-TEMTIS, Prague, 136.
- Lattke, F., & Lehmann, S. (2007). Multi-storey residential timber construction current developments in Europe. *Journal of Green Buildings*, 2(1), 119-129.
- Livingstone, A. (2015). *Timber connections*. Edinburgh Napier University Center for Offsite Construction and Innovative Construction, Edinburgh.
- Odabaşı, Y. (1997). *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*. Beta Basım A.Ş., İstanbul, 463.
- Ogork, E. N., & Nakore, A. K. (2017). Reliability analysis of two span floor designed according to Eurocode 5. *Nigerian Journal of Technology*, 36(1), 18-25.
- Ohanesyan, D. S. (2012). *Ahşap platform çerçeve yapıların yatay kuvvetler karşısındaki davranışları ve alınması gereken önlemler*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk, R. B., & Arıoğlu, N. (2006). Türk sarıçamından lamine ahşap kirişlerin mekanik özellikleri. *İtü Dergisi*, 5(2), 25-36.
- Perker, Z. S., & Akıncıtürk, N. (2006). Cumalıkızık'ta ahşap yapı elemanı bozulmaları. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(2), 43-51.
- Porteus, J., & Kermani, A. (2007). *Structural Timber Design to Eurocode 5*. Blackwell Publishing, United Kingdom, 542.
- Saydamer, A. (2014). *Türkiye'deki geleneksel ahşap yapılarda kullanılan taşıyıcı sistemlerin irdelenmesi ve Bursa örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Sheikh, S., & Ahmad, Y. (2015). Flexural timber design to Eurocode 5 and Malaysian timber code MS 544:2001. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 27(1), 207-223.
- Smith, I., & Snow, M.A. (2008). Timber an ancient construction material with a bright future. *The Forestry Chronicle*, 84(4), 504-510.
- Söylemez, F. (2018). *Ahşap yapılar ders notları*. Bursa Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa.
- Şirin, G., & Aydemir, D. (2016). Sonlu elemanlar metodunun ahşap malzemelerde kullanımına ilişkin bir araştırma. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 18(2), 205-212.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- TS 647 (1979). Ahşap Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 648 (1980). Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1995-1-1 (2005). Ahşap Yapıların Tasarımı- Bölüm 1-1: Genel- Genel Kurallar ve Binalar için Kurallar (Eurocode 5). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tsakanika, E. (2000). The Application of Eurocode 5 and 8 in modern and historical Timber Structures. *Timber Frame Building Systems and Seismic Behaviour of Timber Buildings Conferance*, January, Venice.
- Türkçü, H. Ç. (2004). *Yapım-İlkeler-Malzemeler-Yöntemler-Çözümler*. Birsen Yayınları, İstanbul, 317.
- Uzunoğlu, M. M., Emiroğlu, M., Kap, T., & Yuca, Y. (2009). Ahşap iskelet sistemlerin deneysel ve nümerik olarak incelenmesi. 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, 13-15 Mayıs, Karabük.
- Uzun, S. (2018). *Tarihi ahşap yapı taşıyıcı sistemlerinin incelenmesi ve Boğaziçi örneği Amcazade Hüseyin Paşa Yalısı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Üstündağ, C. (2014). TS EN 1995-1-1 ahşap yapıların tasarımı bölüm 1-1: genel kurallar ve bina kuralları. *İnşaat Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi Ahşap Yapıların Tasarımı (Eurocode 5) Tanıtım Semineri*, 22 Ekim, Eskişehir.
- Winter, S., Dietsch, P., Kreuzinger, H., Leijten, A., & Hartl, H. (2008). Eurocodes Background and Applications. *Dissemination of Information for Training Workshop*, 18-20 February, Brussels.
- Yaman, F. Z. (2007). *Geleneksel ahşap yapılarda kullanılan ahşap yapı elemanlarının uzun dönem performansı-Giresun Zeytinlik Mahallesi'nde örnek yapı incelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- URL-1, (2018) <https://www.irfankaygisiz.com/2018/08/13/kral-midasin-mezari/> (Erişim Tarihi: 10/06/2019)
- URL-2, (2019) <http://www.turkosfer.com/turklerde-cadir/> (Erişim Tarihi: 15/05/2019)
- URL-3, (2016) <http://konya.com.tr/portfolio-item/esrefoglu-cami/> (Erişim Tarihi: 17/05/2019)
- URL-4, (2015) <https://listelist.com/buyukada-rum-yetimhanesi/> (Erişim Tarihi: 14/05/2019)

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Murat YÜNCÜLER

Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa, 09/08/1986



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Dokuz Eylül Üniversitesi (2005-2009)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce, Almanca

Bilimsel Faaliyetleri : ÇALIŞKAN, Ö, Meriç, E, Yüncüler, M. (2019). Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünü, Bugünü ve Yarını. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6 (1), 109-118.

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Bursa Ali Bostancı İnşaat (2010-2012)

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı (2012-günümüz)

İletişim

Adres :Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı

E-Posta Adresi : murat.yunculer@bilecik.edu.tr

Tarih: 21/08/2019