

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

AHŞAP YAPILARIN EUROCODE-5' E GÖRE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KIRMIZI

TEZ DANIŞMANI
DR. ÖĞR. ÜYESİ KIVANÇ TAŞKIN

BİLECİK, 2021
10433721

T.C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ ORTAK PROGRAMI

AHŞAP YAPILARIN EUROCODE-5' E GÖRE TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KIRMIZI

TEZ DANIŞMANI

DR. ÖĞR. ÜYESİ KIVANÇ TAŞKIN

BİLECİK, 2021
10433721

BEYAN

“Ahşap Yapıların Eurocode-5’ e Göre Tasarımı” adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel ahlak kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda: projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte beyan edilmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR	☐	DESTEK ALINMAMIŞTIR	☒
Destek alındı ise;			
Destekleyen Kurum:			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;			

Mehmet KIRMIZI

.../.../2021

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasının yazılmasında, çalışmamı sahiplenerek takip eden danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Kıvanç TAŞKIN' a değerli katkı ve emekleri için teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Savunma sınavı sırasında değerli jüri üyeleri Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özlem ÇALIŞKAN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Selim ÖKTEN' e çalışmamın son haline gelmesindeki değerli katkıları adına teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Son olarak bu günlere ulaşmamdaki emekleri adına değerli eşim Meral KIRMIZI, babam Kemal KIRMIZI, annem Nesrin KIRMIZI, kardeşlerim Buket KURT ve Demet KIRMIZI' ya teşekkür ederim.

Mehmet KIRMIZI

.../.../2021

ÖZET

AHŞAP YAPILARIN EUROCODE-5' E GÖRE TASARIMI

Kayıtlı tarihin ilk yıllarından beri, ağaçlar insanlığa barınak, yakıt ve aletler için yiyecek ve malzeme sağlamıştır. Ahşap, en eski yapı malzemelerinden biridir. Bu doğal malzemenin güzelliği ve kendine özgü özelliklerini kullanarak yaşadığımız yerlerde kullanarak hem mimari hem de mühendislik açısından yapılar inşa ederiz. Ahşap, insanoğlunun aletleri kullanmayı ilk kez öğrendiği günden bu yana bina, köprü, makine, savaş motoru, inşaat mühendisliği işleri ve teknelerin yapımında kullanılmıştır.

Ahşap, hem çekme hem de basınç kuvvetlerini aktarabilen bilinen en eski yapı malzemesidir ve bu da onu bir kiriş ya da kolon elemanı olarak doğal olarak uygun hale getirir. Mühendislik açısından ahşap, keresteden farklıdır. Kereste, ağaçların gövde ve dallarının yapıldığı, kesilerek çeşitli amaçlarla kullanılan maddedir. Ahşap, bina için kullanılan kereste vb türevlerinden üretilmiş yapı elemanlarıdır.

Ahşap yapının tasarımı ve hesaplamalarına başlamadan önce, uygun bir tasarım modeli kuran standartları anlamak gerekir. Bunu yaparken, hesaplamaları kolaylaştıran basit ama genellikle bilinen modeller ile davranışı daha iyi yansıtan, ancak hata yapma ve göçme modlarını gözden kaçırma riski daha yüksek olan daha karmaşık modeller arasında bir ikilem olabilir. Türkiye’de Ahşap yapıların üretimine ilişkin kuralların ahşap yapı standartlarında, deprem yönetmeliğinde ve yapı şartnamelerinde ayrıntılı olarak belirtilmediği görülmektedir. Bu nedenle ülkemizde ahşap yapı üretimi zorlaşmakta, uygulama ve izleme süreçlerinde eksiklikler ve zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada Eurocode5 kapsamında ahşap yapı tasarımı ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: TS EN 1995, Ahşap Yapı, Modelleme.

ABSTRACT

DESIGN OF WOODEN STRUCTURES ACCORDING TO EUROCODE 5

From the earliest years of recorded history, trees have provided mankind with food and materials for shelter, fuel and tools. Timber is one of the earliest building materials used by our predecessors, and most of us experience a strong affinity with the beauty and intrinsic characteristics of this natural material when timber is used in the places, we work and live.

Timber is the oldest known building material capable of transferring both tension and compression forces- making it naturally suited as a beam element. Timber has been used in the construction of buildings, bridges, machinery, war engines, civil engineering works and boats etc. since mankind first learnt to fashion tools. From an engineering point of view, timber is different from wood. Wood is the substance of which the trunks and branches of trees are made, which is cut and used for various purposes. Timber is wood for building.

Before starting formal calculations, it is necessary to understand the standards set up an appropriate design model. In doing this there may be a conflict between simple, but often conservative, models which make the calculations easy, and more complicated models which better reflect the behaviour but with a higher risk of making errors and overlooking failure modes. 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, wood structure design was discussed within Eurocode5.

Keywords: TS EN 1995, Timber Structures, Modelling.

İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
TABLolar LİSTESİ	xx
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	xxvi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. YAPISAL MALZEME OLARAK AHŞAP	5
3.1. Ahşabın Yapısı	5
3.2. Ahşap Türleri.....	6
3.2.1. Yumuşak Ağaçlar	6
3.2.2. Sert Ağaçlar	6
3.3. Ahşabın Doğal Özellikleri.....	7
3.3.1. Budaklar.....	7
3.3.2. Lif Eğikliği	7
3.3.3. Reaksiyon Odunu.....	7
3.3.4. Genç Odun	8
3.3.5. Yoğunluk ve yıllık halka genişlikleri	8
3.3.6. Ahşabın Kesim Şekli	9
3.3.7. Kurutma.....	9
3.3.8. Kurutma Kusurları.....	9
3.3.9. Çatlaklar ve Yarıklar	9
3.3.10. Mantar Çürüğü	9

3.4. Ahşap Dayanım Sınıfları	9
3.4.1. Görsel değerlendirme	10
3.4.2. Makine derecelendirme	11
3.4.3. Dayanım Sınıfları.....	11
3.5. Kesit Boyutları	14
3.6. Mühendislik Ahşap Ürünleri (EWP).....	15
3.6.1. Yapıştırılmış lamine ahşap (glulam)	15
3.6.2. Kontrplak.....	16
3.6.3. Lamine kaplama kereste (LVL)	16
3.6.4. Lamine iplikçik ahşap (LSL).....	16
3.6.5. Paralel Şeritli Kereste (PSL)	20
3.6.6. Yönlü iplik tahtası (OSB)	20
3.6.7. Sunta ve Lifli Kompozitler	35
3.6.8. İnce Gövdeli Kirişler (I – Kirişleri).....	35
3.6.9. İnce Gövdeli Kirişler (Kutu kirişler).....	38
3.6.10. Yapısal Yalıtımlı Paneller (SIPs)	39
3.7. Asma Ahşap Zeminler	39
3.8. Ahşabın Yapıştırılması	41
3.9. Ahşabın Korunması.....	41
3.10. Yangın Güvenliği Ve Dayanım	43
4. EUROKODLAR: GENEL ÖZELLİKLER.....	44
4.1. Eurocode 0: Yapısal Tasarımın Temeli (EC0).....	44
4.1.1. Terimler ve tanımlar (EC0, 1.5).....	44
4.1.2 Temel gereksinimler (EC0, 2.1)	45
4.1.3. Güvenilirlik yönetimi (EC0, 2.2).....	46
4.1.4. Tasarım çalışma ömrü (EC0, 2.3)	46

4.1.5. Dayanıklılık (EC0, 2.4).....	46
4.1.6. Kalite yönetimi (EC0, 2.5).....	47
4.1.7. Sınır durum tasarım ilkeleri: Genel (EC0, 3.1).....	47
4.1.8. Tasarım durumları (EC0, 3.2)	47
4.1.9. Taşıma gücü sınır durumları (EC0, 3.3).....	47
4.1.10. Kullanılabilirlik sınır durumları (EC0, 3.4)	48
4.1.11. Sınır durum tasarımı (EC0, 3.5)	48
4.1.12. Eylemlerin sınıflandırılması (EC0, 4.1.1)	49
4.1.13. Eylemlerin karakteristik değerleri (EC0, 4.1.2)	49
4.1.14. Değişken eylemlerin diğer temsili değerleri (EC0, 4.1.3)	49
4.1.15. Malzeme ve ürün özellikleri (EC0, 4.2)	50
4.1.16. Yapısal analiz (EC0, 5.1)	51
4.1.17. Kısmi faktör yöntemi ile doğrulama: Genel (EC0, 6.1)	54
4.1.18. Eylemlerin tasarım değerleri (EC0, 6.3.1).....	54
4.1.19. Eylemlerin etkilerinin tasarım değerleri (EC0, 6.3.2).....	55
4.1.20. Malzeme veya ürün özelliklerinin tasarım değerleri (EC0, 6.3.3)	55
4.1.21. ULS' de tasarım dayanıma uygulanan faktörler	59
4.1.22. Geometrik verilerin tasarım değerleri (EC0, 6.3.4)	61
4.1.23. Tasarım dayanımı (EC0, 6.3.5)	61
4.1.24. Taşıma Gücü Sınır Durumları (EC0, 6.4.1-6.4.5)	61
4.1.25. Kullanılabilirlik sınır durumu(SLS): Genel (EC0, 6.5)	65
4.2. Eurocode 5: Ahşap Yapıların Tasarımı - Bölüm 1-1: Genel Kurallar Ve Binalar İçin Kurallar	67
4.2.1. Genel Konular	67
4.2.2. Kullanılabilirlik sınır durumları (EC5, 2.2.3).....	67
4.2.3. Yük süresi ve dayanımdaki nem etkisi (EC5, 2.3.2.1).....	69

4.2.4. Yükleme süresi ve deformasyonlara nem etkisi (EC5, 2.3.2.2).....	70
4.2.5. Gerilme-şekil değiştirme ilişkileri (EC5, 3.1.2)	73
4.2.6. Boyut ve gerilme dağılımı etkileri (EC5,3.2,3.3,3.4 ve6.4.3)	73
4.2.7. Sistem gücü (EC5, 6.6)	75
5. EĞİLME ELEMANLARININ TASARIMI	78
5.1. Tasarım	79
5.2. Eylem Etkilerinin Tasarım Değeri	79
5.3. Eleman Boyutları	80
5.4. ULS' de Tasarım.....	80
5.4.1. Eğilme	80
5.4.2. Kesme.....	94
5.4.3. Ezilme (liflere dik basınç)	97
5.4.4. Burulma	101
5.4.5 Birleşik kesme ve burulma.....	102
5.5. Kullanılabilirlik Sınır Durumları (SLS) İçin Tasarım	103
5.5.1. Deformasyon.....	103
5.5.2. Titreşim.....	106
6. EKSENEL VEYA BİRLEŞİK EKSENEL VE EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLAR VE DUVARLARIN TASARIMI.....	110
6.1. Tasarım	110
6.2. Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanların Tasarımı	112
6.2.1. Eksenel basınç etkisindeki elemanlar	112
6.2.2. Liflere göre açılı basınç kuvvetine maruz elemanlar	125
6.2.3. Eksenel çekme etkisindeki elemanlar	126
6.3. Birleşik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanlar.....	127
6.3.1. Asal eksene göre eğilme nedeniyle yanal burulma karasızlığının olmadığı durum.....	127

6.3.2. Asal eksene göre eğilme etkisi altında yanal burulma instabilitesi	132
6.3.3. Birleşik eğilme ve eksenel gerilme altında elemanlar	133
6.4. Saplama Duvarların Tasarımı.....	133
6.4.1. Taşıyıcı duvarların tasarımı	134
6.4.2. Taşıyıcı saplama duvarların ve kolonların düzlemden sapması.....	140
7. YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE ELEMANLARIN TASARIMI.....	142
7.1. Tasarım	142
7.2. Genel.....	144
7.2.1. Yatay ve düşey yapıştırılmış lamine ahşap.....	144
7.2.2. Tasarım.....	144
7.3. Konik, Eğimli veya Eğimli Bombeli Yapıştırılmış Lamine Elemanların Tasarımı (LVL Elemanlar İçin De Geçerlidir)	148
7.3.1. Tek konik kirişlerin tasarımı	149
7.3.2. Çift konik kirişler, kavisli ve eğimli bombeli kirişlerin tasarımı	153
7.3.3. Birleşik kesme ve liflere dik çekme etkisinde çift konik, kavisli ve eğimli bombeli kirişlerin tasarımı	159
7.4. Dişli Birleşimler	160
8. KOMPOZİT AHŞAP KESİTLERİN TASARIMI	161
8.1. Tasarım	162
8.2. Yapıştırılmış Kompozit Kesit Tasarımı	162
8.2.1. Yapıştırılmış ince gövdeli kirişler	162
8.2.2. Yapıştırılmış ince flanşlı kirişler (gerilmeli kaplama panelleri)	175
9. YAPMA KOLON TASARIMI.....	184
9.1. Tasarım	184
9.2. Genel.....	184
9.3. Yapma Kolonların Eğilme Rijitliği	185
9.3.1. Yapma kolonların kuvvetli y-y eksenine göre etkili eğilme rijitliği.....	187

9.3.2. Yapma kesitlerin z-z eksenine göre etkili eğilme rijitliği	189
9.3.3. Tasarım Prosedürü	190
9.3.4. Yapma kesitler – Boşluklu kolonlar	194
9.3.5. Yapma kesitler-kafesli kolonlar.....	199
9.4. Birleşik Eksenel Yükleme ve Moment.....	203
9.5. ULS’ de Kayma Etkisi	203
10. STABİLİTE DESTEKLERİ, ZEMİN VE DUVAR DİYAFRAMLARININ	
TASARIMI	205
10.1. Tasarım	206
10.2. Yanal Destek.....	206
10.2.1. Genel.....	206
10.2.2. Doğrudan basınç etkisindeki tekil elemanların yerel desteklerle desteklenmesi	208
10.2.3. Eğilme etkisindeki tekil elemanların yerel destek tarafından desteklenmesi	211
10.2.4. Kiriş, makas veya kolon sistemleri için destek	212
10.3. Zemin ve Tavan Diyaframları	215
10.3.1. Yöntemin uygulanabilirliği ile ilgili sınırlamalar	215
10.3.2. Basitleştirilmiş tasarım prosedürü.....	216
10.4. Yatay ve Düşey Yük Altında Ahşap Duvarların Düzlem İçi Raf Direnci	217
10.4.1. EC5’ te verilen B yöntemi kullanılarak ahşap duvarların düzlem içi raf direncinin hesabı.....	219
11. METAL DÜBEL TİPİ BAĞLANTILARIN TASARIMI	224
11.1. Metal Dübel Tipi Bağlantı Elemanları	224
11.1.1. Çiviler	224
11.1.2. Vidalar	225
11.1.3. Dübellere ve Cıvatalar	226

11.2. Tasarım	227
11.3. Metal Dübel Tipi Bağlantı Elemanları Kullanılarak Oluşturulan Yanal Yüklü Bağlantılar İçin Göçme Teorisi ve Mukavemet Denklemleri	227
11.3.1. Dübel Çapı.....	232
11.3.2. Bağlantı elemanı karakteristik akma momenti (M_y , R_k).....	233
11.3.4. Eleman kalınlığı t_1 ve t_2	237
11.3.5. Sürtünme etkileri ve bağlantı elemanının aksel çekilmesi	239
11.3.6. Gevrek kırılma	241
11.4. Yanal Yük Altında Çoklu Dübel Bağlantı Elemanları	247
11.4.1. Etkili bağlantı elemanı sayısı	248
11.4.2. Bağlantılarda alternatif kuvvetler	251
11.5. Yanal Yüklü Metal Dübel Bağlantısının Tasarım Mukavemeti.....	251
11.5.1. Liflere paralel yüklemede	251
11.5.2. Liflere dik yüklemede.....	252
11.6. Çoklu Kesme Düzlemi Bağlantıları	253
11.7. Metal Dübel Bağlantı Sistemlerinin Aksel Yüklendiği	255
11.7.1. Aksel yüklü çiviler	255
11.7.2. Aksel yüklü cıvatalar	258
11.7.3. Aksel yüklü dübeller	258
11.7.4. Aksel yüklü vidalar	258
11.8. Birleşik Yanal ve Aksel Yüklü Metal Dübel Bağlantıları	260
11.9. SLS ve ULS' de Metal Dübel Bağlantılarının Yanal Rijitliği.....	261
11.10. Metal Dübel Bağlantı Elemanlı Bağlantılarda Yanal Hareketin Etkisini İçeren Çerçeve Analizi	267
12. KONEKTÖRLÜ BİRLEŞİMLERİN TASARIMI	268
12.1. Tasarım	268
12.2. Dışlı Plaka Konektörleri	268

12.2.1. Mukavemet davranışı.....	268
12.3. Halka ve Kesme Plakası Konektörleri	275
12.3.1. Mukavemet davranışı.....	275
12.4. Çoklu Kesme Düzlem Bağlantıları	282
12.5. Liflere Göre Açılı Bağlantı Kuvvetleri Nedeniyle Gevrek Kırılma.....	282
12.6. Bağlantılarda Alternatif Kuvvetler	283
12.7. Yanal Yüklü Bir Bağlantının Tasarım Mukavemeti	283
12.7.1. Liflere paralel yüklü.....	283
12.7.2. Liflere dik yüklü	284
12.7.3. Liflere göre açılı yüklemede	284
12.8. Dişli Plaka, Halka ve Kesme Plakası Konektörlerinin Rijitlik Davranışı.....	285
12.9. Dişli Plaka, Ayrık Halka veya Kesme Plakası Konektörleri Kullanılarak Oluşturulan Bağlantılarda Yanal Hareketin Etkisini İçeren Çerçeve Analizi .	286
13. METAL DÜBEL TİPİ BAĞLANTI ELEMANLARI VEYA KONEKTÖRLER İLE OLUŞTURULAN BAĞLANTILARIN MOMENT KAPASİTESİ	287
13.1. Tasarım	287
13.2. Moment Bağlantısında Sıradaki Etkili Bağlantı Elemanı Sayısı.....	288
13.3. Gevrek Kırılma	289
13.4. Ahşap Bağlantılarda Moment Davranışı: Rijit Model Davranışı	289
13.4.1. Bağlantı tasarımında varsayımlar	289
13.4.2. Bağlantı tasarımı	291
13.4.3. Moment ve yanal kuvvetler etkisindeki bağlantılarda kesme mukavemeti ve kuvvet bileşeni kontrolleri	294
13.5. Yarı Rijit Bağlantılı Yapıların Analizi	302
13.5.1. Yarı rijit moment bağlantılarının rijitliği	303
13.5.2. Yarı rijit uç bağlantılı kirişlerin analizi	306
14. SONUÇLAR	310

KAYNAKLAR.....	311
EKLER	313



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Ağaç gövdesi enkesiti.	5
Şekil 3.2. Basınç odunu (koyu renkli kısım).	8
Şekil 3.3. Tipik I-kirişler ve uygulamaları.	38
Şekil 3.4. Kutu kirişleri: (a) enine kesit, (b) eğimli kiriş ve (c) konik kiriş.	38
Şekil 3.5. SIPs uygulamaları.	39
Şekil 4.1. Birinci ve ikinci dereceden doğrusal elastik analiz.	52
Şekil 4.2. Doğrusal olmayan analizde yaygın olarak kullanılan alternatif gerilme-şekil değiştirme ilişkileri.	53
Şekil 4.3. Rijit plastik davranış.	53
Şekil 4.4. Liflere paralel yük altında Douglas köknarına için nem içeriğinin basınç dayanımı üzerindeki etkisi.	56
Şekil 4.5. Eleman eksenleri.	67
Şekil 4.6. Deformasyon.	67
Şekil 4.7. Zamana bağlı davranışı farklı 2 ahşap eleman içeren bir bağlantı.	70
Şekil 4.8. Teorik değere kıyasla, eğilme ve çekme altında Glulam kirişleri için EC5 faktörü (kh).	75
Şekil 5.1. Eğilme elemanı örnekleri.	78
Şekil 5.2. Kiriş açıklığı.	80
Şekil 5.3. Dikdörtgen kiriş kesiti.	81
Şekil 5.4. Asal ekseninde uygulanan üniform M uç momentleri etkisinde kirişin yanal burulma burkulması (yanal burkulma konumu dolu olarak gösterilmiştir).	83
Şekil 5.5. a faktörü göz ardı edildiğinde, dikdörtgen bir kirişin elastik kritik momentinin EC5' e göre yüzde olarak fazla tahmini.	84
Şekil 5.6. $\lambda_{rel,m}$ ' nin farklı değerleri için k_{crit} değerleri.	89
Şekil 5.7. Yanal destek sağlama örnekleri.	93
Şekil 5.8. Eğilme altında dişli kısım.	93

Şekil 5.9. Kayma gerilmesi bileşenleri: (a) liflere paralel bir kayma bileşeni; (b) liflere dik iki kayma bileşeni.....	94
Şekil 5.10. (a) Dişsiz mesnete sahip dikdörtgen kiriş, (b) Dişli mesnete sahip dikdörtgen kiriş.	96
Şekil 5.11. Ucunda dış olan kiriş.	96
Şekil 5.12. Liflere dik her iki gerilme bileşeni ile kayma gerilmesi (Porteous ve Kermani, 2007: 119).	97
Şekil 5.13. Asal eksenler.	98
Şekil 5.14. Liflere dik ezilme (basınç) göçmesi.	99
Şekil 5.15. Mesnetlere oturan kiriş.	100
Şekil 5.16. Sürekli mesnete oturan kirişte ezilme gerilmeleri $h_b \leq 2.5$	100
Şekil 5.17. Sehim bileşenleri.	103
Şekil 5.18. Önerilen aralık ve a ile b arasındaki ilişki.....	109
Şekil 6.1. Kolon, direk ve dikme duvar örnekleri.	111
Şekil 6.2. Eksenel basınç.	112
Şekil 6.3. Kolon burkulması.	113
Şekil 6.4. Etkili uzunluk ve mesnet koşulları.	115
Şekil 6.5. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi.	115
Şekil 6.6. Narinlik oranı arttıkça masif ahşabın basınç elemanındaki mukavemet azalmasını gösteren tipik bir grafik.	116
Şekil 6.7. Liflere göre α açısında yüklü bir elemanın basınç dayanımı.	126
Şekil 6.8. Eksenel çekme.	127
Şekil 6.9. Eksantrik yükleme.	128
Şekil 6.10. Birleşik eğilme ve eksenel basınç etkisi altında etkileşim diyagramları.	129
Şekil 6.11. $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ olduğunda ve z-z eksenine göre momentlerin oranına k_m faktörü uygulandığında iki eksenli eğilme için eksenel kuvvet-moment etkileşim eğrisi	130

Şekil 6.12. $\lambda_{rel,y}$ veya $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olduğunda ve z-z eksenine göre momentlerin oranına k_m faktörü uygulandığında iki eksenli eğilme için eksenel kuvvet-moment etkileşim eğrisi .	130
Şekil 6.13. y-y eksenine göre birleşik eksenel yükleme ve eğilme için etkileşim diyagramı .	131
Şekil 6.14. $k_{crit} = 1$ olduğunda (6.23) denklemi ve (6.24) denklemi arasında karşılaştırma .	133
Şekil 6.15. Saplama duvarlar.	134
Şekil 6.16. Tipik bir saplama duvar detayları.	135
Şekil 6.17. Tipik saplama duvar.....	136
Şekil 6.18. Düşey ve düzlem dışı yükleme altında duvarın deformasyonu.	140
Şekil 7.1. Yapıştırılmış lamine yapı örnekleri.	143
Şekil 7.2. Yatay ve düşey glulam.	144
Şekil 7.3. Homojen ve kombine yapıştırılmış lamine ahşap.	144
Şekil 7.4. Tek ve çift konik, eğimli ve eğimli bombeli kirişler.	149
Şekil 7.5. Tek konik kiriş: (a) görünüş; (b) A-A kesiti; (c) eğilme gerilmesi (d) A-A kesiti için eğilme gerilmesi dağılımı.	149
Şekil 7.6. Konik glulam elemanları için dayanım azaltma faktörü k_m, α	152
Şekil 7.7. Eğimli, çift konik ve eğimli bombeli kirişler için tepe bölgeleri taralı gösterilmiştir.	154
Şekil 7.8. Çift konik kirişin tepe bölgesinde eğilme gerilmeleri ve radyal gerilmeler: (a) çift konik kiriş (b) tepe bölgesi kesiti (c) tepe bölgesinde eğilme gerilmesi (d) tepe bölgesinde radyal gerilme.....	154
Şekil 7.9. Kavisli bir kirişte eğilme gerilmeleri ve radyal gerilmeler.	156
Şekil 8.1. Kompozit kesit örnekleri.	161
Şekil 8.2. Kompozit ahşap ve ahşap esaslı kesitlerin kullanım örnekleri.	163
Şekil 8.3. İnce gövdeli kesitler ve EC5 gerilmeleri.	164
Şekil 8.4. EC5 gövde dayanımı kriterleri.	171

Şekil 8.5. Yapıştırılmış ince flanşlı kiriş.	175
Şekil 8.6. Kontrplak flanşları için etkili flanş genişliği (teorik çözümün (sürekli çizgi) Tablo 8.2.' de verilen EC kriterleri ile (kesikli çizgi) karşılaştırılması).....	178
Şekil 8.7. Üst ve alt yüzünde flanş olan ince gövdeli kesit.	179
Şekil 9.1. Yapma kolon kesit örnekleri.	184
Şekil 9.2. Tipik yapma (boşluklu) kolonlar.	185
Şekil 9.3. Arayüzlerde kayma modellemesi.	186
Şekil 9.4. Yapma kolonlar için EC5 tasarım kurallarının uygulanacağı profiller.	188
Şekil 9.5. Boşluklu kolon şaftları arasına yerleştirilen kirişler ile oluşturulan kiriş – kolon (direk) konstrüksiyonu.	194
Şekil 9.6. Boşluklu kolonlar.	195
Şekil 9.7. Kesme kuvveti dağılımı ve paketler ve köşebentler üzerindeki yükler.	198
Şekil 9.8. Kafes kolonlar.	199
Şekil 9.9. Kesme ve bağlantı kuvvetleri.	202
Şekil 10.1. Basınç elemanlarının yanal olarak desteklenmelerinin gerekli olduğu örnekler.	205
Şekil 10.2. Zemin, çatı ve duvar diyaframları (gösterildiği gibi etki eden yanal kuvvetler için).	206
Şekil 10.3. Elastik mesnetli bir elemanın yanal burkulma modlarının plan görünümü	207
Şekil 10.4. Destek elemanının mukavemetini analiz etmek için EC5' te verilen burkulma modu.	210
Şekil 10.5. Bir dizi basınç veya eğilme elemanı için destek sistemi.....	212
Şekil 10.6. Bir dizi basınç veya eğilme elemanı için çoklu destek sistemleri.	214
Şekil 10.7. Yatay diyaframlara yükleme ve mesnetler.....	215
Şekil 10.8. Raf yüklerine dirençli duvar diyaframı.	217
Şekil 10.9. Ahşap duvar örnekleri.	218
Şekil 10.10. Birkaç panel içeren duvar tertibatı.	219
Şekil 10.11. Tipik bir duvar düzeni ve bununla ilişkili eylemler ve reaksiyonlar.	220

Şekil 11.1. Çivi türleri.	224
Şekil 11.2. Yaygın ahşap vida türleri.	225
Şekil 11.3. Tipik dübeller ve cıvatalar.	226
Şekil 11.4. Metal dübel tipi bağlantı elemanları kullanılarak oluşturulan birleşim örnekleri.	228
Şekil 11.5. Dübel bağlantıları için kullanılan dayanım/gerilme ilişkileri.	229
Şekil 11.6. Tek ve çift tesirli yanal yüklü metal dübel tipi bağlantı elemanları.	232
Şekil 11.7. Ahşap malzemenin gömülme mukavemeti.	234
Şekil 11.8. Liflere göre α açısında yüklenmiş bir cıvata, dübel veya 8 mm'den büyük çaplı çivinin gömülme mukavemeti.	236
Şekil 11.9. Zimba boyutları.	237
Şekil 11.10. Göçme durumunda tek tesirli dübel tipi bağlantı elemanlı birleşim.	240
Şekil 11.11. Bağlantı elemanı aralık ve mesafeleri.	242
Şekil 11.12. Liflere göre açılı çekme altında eleman yükü.	245
Şekil 11.13. Bir birleşime gelen açılı kuvvet.	246
Şekil 11.14. Bağlantı elemanı sıraları.	247
Şekil 11.15. Art arda çiviler (liflere paralel çivi aralığı için Tablo 11.8.' e bakınız).	248
Şekil 11.16. Liflere dik bağlantı elemanı hatları.	249
Şekil 11.17. Zimba mesafeleri.	250
Şekil 11.18. Çoklu kayma düzlemi birleşim yöntemi.	254
Şekil 11.19. Çekme gerilmesi altında çivileme.	256
Şekil 11.20. Eksenel yüklü vidalar için liflere dik açılarda mesafe.	259
Şekil 11.21. Eksenel ve yanal yüklü bağlantılar için etkileşim diyagramları. Doğrusal ilişki düz çiviler için, kavisli grafik ise çiviler (düz çiviler hariç) ve vidalar içindir.	261
Şekil 11.22. Metal dübel bağlantı elemanları ile oluşturulan birleşimlerin tipik ani yük-kayma davranışı.	262
Şekil 11.23. Birleşimde ani kayma.	264

Şekil 11.24. Tek ve çift tesirli birleşim rijitliği.....	265
Şekil 12.1. Dişli plaka konektörleri.....	269
Şekil 12.2. Dişli plaka konektörlü birleşimler için boyutlar.....	271
Şekil 12.3. Konektörler için uç ve kenar mesafeleri.	272
Şekil 12.4. Kademeli dişli plakalı konektörleri için azaltılmış mesafeler.	274
Şekil 12.5. Bölünmüş halka konektörü.	276
Şekil 12.6. Kesme plakası konektörleri.	277
Şekil 12.7. Yüklü uçta konektör gerilmesi.	278
Şekil 12.8. Ayırık halka ve kesme plakası konektörleri ile oluşturulan birleşimler için kullanılan ilgili boyutlar.....	278
Şekil 12.9. ‘Yüksüz’ uç koşulunda yüklenen ayırık halka konektörleri kullanılan bir birleşim.	279
Şekil 12.10. Liflere göre açılı yük altında bir eleman.	283
Şekil 13.1. Bağlantı elemanlarının dönme davranışı.....	291
Şekil 13.2. Moment ve yanal kuvvetlerin etkisin altında birleşim.....	292
Şekil 13.3. A bağlantı elemanındaki kuvvetlerin vektörel toplamı.....	294
Şekil 13.4. Birleşimde bağlantı elemanlarının dairesel grubu.	294
Şekil 13.5. Kesme düzlemi başına M_d momenti etkisindeki eleman 1’ in kesme kuvveti analizi.....	295
Şekil 13.6. Kesme düzlemi başına V_d düşey kuvveti nedeniyle her bağlantı elemanındaki kesme kuvveti.....	296
Şekil 13.7. Kesme düzlemi başına H_d yatay kuvveti nedeniyle her bağlantı elemanındaki kesme kuvveti.....	297
Şekil 13.8. Kesme düzlemi başına M_d momenti etkisindeki eleman 2’ nin kesme kuvveti analizi.....	299
Şekil 13.9. Kesme düzlemi başına H_d yatay kuvveti nedeniyle her bağlantı elemanındaki kesme kuvveti.....	300

Şekil 13.10. Birleşik moment ve yanal yük altında birleşimde bir sırada bağlantı elemanlarındaki kuvvetler.....	302
Şekil 13.11. Ahşap birleşimde farklı tip k dönme rijitlikleri.	303
Şekil 13.12. Md tasarım momenti etkisinde yarı-rijit birleşim.	304
Şekil 13.13. Her iki ucunda dönme yayları olan eleman.	306



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1. Çeşitli mukavemet sınıfları için gereksinimleri karşılayan türlerin ve görsel sınıfların yumuşak ağaç kombinasyonları.	7
Tablo 3.2. Çeşitli mukavemet sınıfları için gereksinimleri karşılayan türlerin ve görsel sınıfların yumuşak ağaç kombinasyonları.	10
Tablo 3.3. Yapısal ahşap mukavemet sınıfları için mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.	13
Tablo 3.4. Yapısal kerestenin geleneksel hedef boyutları.	14
Tablo 3.5. Yapısal kerestenin geleneksel uzunlukları.	15
Tablo 3.6. Birleşik Krallık’ ta kullanılan yapısal Amerikan kontrplakların ayrıntıları.	17
Tablo 3.7. Birleşik Krallık’ ta kullanılan yapısal Kanada kontrplaklarının ayrıntıları.	17
Tablo 3.8. Birleşik Krallık’ ta kullanılan yapısal Finlandiya ve İsveç kontrplaklarının ayrıntıları.	18
Tablo 3.9. Seçilen Amerikan ve İsveç yapısal kontrplaklarının mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.	19
Tablo 3.10. Finlandiya kontrplağı yoğunluk değerleri.	20
Tablo 3.11. Finlandiya huş kontrplak karakteristik dayanım değerleri.	21
Tablo 3.12. Finlandiya huş kontrplak rijitlik modülü ve elastisite modülü değerleri.	22
Tablo 3.13. Finlandiya kombi (parlak) kontrplak karakteristik dayanım değerleri.	23
Tablo 3.14. Finlandiya kombi (parlak) kontrplak rijitlik modülü ve elastisite modülü değerleri.	24
Tablo 3.15. İnce kaplamalı Finlandiya kozalaklı kontrplak karakteristik dayanım değerleri.	25
Tablo 3.16. İnce kaplamalı Finlandiya kozalaklı kontrplak rijitlik modülü ve elastisite modülü değerleri.	26
Tablo 3.17. Kanada Douglas köknar kontrplak dayanım özellikleri ve yoğunluk değerleri.	27
Tablo 3.18. Kanada Douglas köknar kontrplak rijitlik özellikleri.	28
Tablo 3.19. Kanada yumuşak ağaç kontrplak dayanım özellikleri ve yoğunluk değerleri.	30
Tablo 3.20. Kanada yumuşak ağaç kontrplak rijitlik özellikleri.	31

Tablo 3.21. Kerto-LVL için standart kesit boyutları.	32
Tablo 3.22. Kerto-LVL mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.....	33
Tablo 3.23. LSL mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.	33
Tablo 3.24. EN 300: 1997 ile uyumlu OSB için dayanım özellikleri.....	34
Tablo 3.25. EN 300: 1997 ile uyumlu OSB için rijitlik özellikleri ve yoğunluk değerleri.	34
Tablo 3.26. EN 312: 2003 ile uyumlu P4 ve P5 yonga levhaları için minimum dayanım değerleri.	36
Tablo 3.27. EN 312: 2003 ile uyumlu P4 ve P5 yonga levhaları için minimum rijitlik özellikleri ve yoğunluk değerleri.....	37
Tablo 3.28. Mevcut mühendislik ürünü ahşap ürünler ve bunların yapısal uygulamalarının özeti.	40
Tablo 3.29. Kullanım sınıfları ve olası biyolojik organizmalar.	42
Tablo 4.1. β güvenilirlik endeksi için önerilen minimum değerler.	46
Tablo 4.2. ψ faktörü değerleri.	50
Tablo 4.3. Yük süresi sınıfları.	56
Tablo 4.4. k_{mod} değerleri.....	57
Tablo 4.5. Eleman boyutunun mukavemet özellikleri üzerindeki etkisini hesaba katmak için EC5' te kullanılan faktörler.	58
Tablo 4.6. Malzeme kısmi faktörleri.	58
Tablo 4.7. Tasarım değerlerini etkileyen EC5 modifikasyon faktörleri.	60
Tablo 4.8. Denge (EQU) ve kuvvet (STR) sınır durumları için etkilerin tasarım değerleri. ...	63
Tablo 4.9. Kazara kombinasyonlar için etkilerin tasarım değerleri.....	64
Tablo 4.10. Servis sınıfı 1, 2 veya 3 için k_{def} değerleri.....	68
Tablo 4.11. k_h , k_l , k_{vol} ve k_{dis} değerleri.....	77
Tablo 5.1. Eğilme elemanlarına ait sınır durumları için tasarım kriterleri.	79
Tablo 5.2. Etkili uzunluğun giriş tasarım açıklığına oranı (EC5 Tablo 6.1' deki durumları içeren).	87

Tablo 5.3. EC5, 10.2' de belirlenen sınırlardan daha büyük olmayan doğrusallıktan başlangıç sapmasına sahip kirişler için k_{crit} değerleri.	88
Tablo 5.4. Yumuşak ahşabın C14-C24 dayanım sınıflarına ait eğilmede göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,m}$ ' ye karşı tablo haline getirilmiş k_{crit} * karakteristik eğilme mukavemeti değerleri.	91
Tablo 5.5. Yumuşak ahşabın C27-C50 dayanım sınıflarına ait eğilmede göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,m}$ ' ye karşı tablo haline getirilmiş k_{crit} * karakteristik eğilme mukavemeti değerleri.	92
Tablo 5.6. Timoshenko ve Goodier denklemlerine dayalı olarak gerilme için k_1 ve dönme için k_2 faktörleri.	102
Tablo 5.7. EC5 Tablo 7.2.' de verilen düşey sehim sınırlarına ilişkin kılavuz.	104
Tablo 5.8. Dikdörtgen kesitli basit mesnetli veya konsollu kirişlerde standart yük durumları için eğilme sehim ve kayma büyütme faktörleri.	106
Tablo 6.1. Eksenel yüklü elemanlar için ana tasarım kriterleri ve ilgili EC5 sınır durumları.	110
Tablo 6.2. Basınç elemanlarının etkili uzunluğu.	113
Tablo 6.3. $\beta_c = 0.2$ iken C14, C16 ve C18 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	118
Tablo 6.4. $\beta_c = 0.2$ iken C22, C24 ve C27 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	119
Tablo 6.5. $\beta_c = 0.2$ iken C30, C35 ve C40 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	120
Tablo 6.6. $\beta_c = 0.2$ iken C45 ve C50 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	121
Tablo 6.7. $\beta_c = 0.1$ iken C14, C16 ve C18 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	122
Tablo 6.8. $\beta_c = 0.1$ iken C22, C24 ve C27 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	123
Tablo 6.9. $\beta_c = 0.1$ iken C30, C35 ve C40 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	124

Tablo 6.10. $\beta_c = 0.1$ iken C45 ve C50 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.	125
Tablo 7.1. Yapıştırılmış lamine elemanlar için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.	142
Tablo 7.2. Homojen ve kombine glulam dayanım sınıflarının mukavemet, rijitlik ve yoğunluk değerleri.	146
Tablo 7.3. Kullanılan yumuşak ahşap laminasyonların özelliklerinden elde edilen homojen yapıştırılmış lamine ahşabın karakteristik mukavemet, rijitlik ve yoğunluk değerleri.	147
Tablo 7.4. Karakteristik özelliklerin Tablo 7.3.' te verilen denklemlerden türetildiği Tablo 7.2.' ye uygun kiriş döşeme örnekleri.	148
Tablo 7.5. Farklı yükleme koşullarında tek konik kirişte maksimum eğilme gerilmesinin konumu ve değeri.	151
Tablo 7.6. Tepe bölgesinin gerilmeli hacmi.	158
Tablo 8.1. Basit mesnetli veya konsol kompozit kirişin ani ve son durumda eğilme ve kayma deformasyonu.	176
Tablo 8.2. Kayma gecikmesi ve plaka burkulmasının etkisi ile etkili flanş genişlikleri için alınacak maksimum değerler.	177
Tablo 9.1. y-y eksenine göre etkili eğilme rijitliği.	189
Tablo 9.2. z-z eksenine göre etkili eğilme rijitliği.	190
Tablo 9.3. η birleşim faktörü.	197
Tablo 10.1. Destek ve diyafram yapıları için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.	206
Tablo 10.2. Basınç elemanındaki m bölme sayısına karşı k_s değeri.	208
Tablo 11.1. Yanal veya eksenel yükleme altındaki metal dübel tipi bağlantılar için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.	226
Tablo 11.2. Ahşap-ahşap ve ahşap-ahşap esaslı ürün birleşimleri için kesme düzlemi başına bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi.	230
Tablo 11.3. Çelik-ahşap bağlantılar için kesme düzlemi başına bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi.	231
Tablo 11.4. Bağlantı elemanı çapı için EC5 gereklilikleri.	233

Tablo 11. 5. $M_{y,Rk}$ için EC5 denklemleri.	234
Tablo 11. 6. Çiviler kullanıldığından karakteristik gömülme mukavemeti.	235
Tablo 11.7. Cıvatalar, çapı 8 mm' den büyük çiviler veya dübelleri kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti.	236
Tablo 11.8. Ahşap-ahşap bağlantılarda d çaplı çiviler ve zimbalar için minimum aralıklar, kenar ve uç mesafeleri.	243
Tablo 11.9. Ahşap-ahşap, panel-ahşap ve çelik-ahşap bağlantılarda cıvatalar ve dübelleri için minimum aralıklar, kenar ve uç mesafeleri.....	244
Tablo 11.10. (11.43) ve (11.44) denklemlerindeki üstel k_{ef} değerleri.	249
Tablo 11.11. Bağlantıdaki kesme düzlemleri arasında göçme modlarının uyumluluğu.....	255
Tablo 11.12. Eksenel yüklü vidalar için, Şekil 11.20.' de gösterilen minimum aralıklar ve kenar mesafeleri.	258
Tablo 11.13. Ahşap-ahşap ve ahşap panel-ahşap birleşimlerde birleşim elemanları için K_{ser} değerleri.	263
Tablo 12.1. Yanal yükleme altındaki konektörler için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.	268
Tablo 12.2. C1-C11 tipi dişli plakalı konektörler, ayrıık halka konektörleri ve kesme plakalı konektörler için minimum aralık, kenar ve uç mesafeleri.	270
Tablo 12.3. Halka ve kesme plakası konektörlerinde kullanılan cıvata boyutları için gereksinimler.....	282
Tablo 12.4. Ahşap-ahşap ve ahşap panel-ahşap birleşimlerde konektörler için kayma modülü K_{ser} değerleri.	285
Tablo 13.1. Yanal yükleme nedeniyle oluşan moment etkisindeki birleşimler için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.	287
Tablo 13.2. Bir sıradaki tüm birleşim elemanlarının mukavemet hesaplamalarında kullanılacak kriterler.....	288
Tablo 13.3. Ahşap-ahşap moment bağlantılarında kullanılan birleşim elemanları için minimum kenar, uç ve aralık kriterleri.	288

Tablo 13.4. Tipik yük durumları için serbest eğilme momentinin alanı ve ağırlık merkezinin konumu.	309



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler:

A:	Kazara bir eylem
A_d:	Kazara eylemin tasarım değeri
A_f:	Flanşın kesit alanı
A_w:	Gövdenin kesit alanı
C:	Bir malzemenin belirli tasarım özelliklerinin fonksiyonu
E:	Elastisite modülü
E_{0,05}:	Elastisite modülünün yüzde 5'i (karakteristik değeri)
E_{0,mean}:	Liflere paralel elastisite modülünün ortalama değeri
E_{90,mean}:	Liflere dik elastisite modülünün ortalama değeri, ortalama
E_{mean}:	Elastisite modülünün ortalama değeri
E_{mean,fin}:	Elastisite modülünün nihai ortalama değeri
E_{p,osb,0,mean}:	OSB panel uzunluğuna veya kontrplak yüzey lifine paralel elastisite modülünün ortalama değeri
E_{p,osb,90,mean}:	OSB panel uzunluğuna veya kontrplak yüzey lifine dik elastisite modülünün ortalama değeri
E_f:	Eylemlerin etkisi
E_{f,d}:	Eylemlerin etkisinin tasarım değeri
F:	Eylem veya kuvvet
F_{ax,Ed}:	Bağlantı elemanında tasarım eksenel kuvvet
F_{ax,Rd}:	Bağlantı elemanının eksenel çekilme kapasitesinin tasarım değeri
F_{ax,Rk}:	Bağlantı elemanının karakteristik eksenel çekilme kapasitesi
F_c:	Basınç etkisi veya kuvveti
F_d:	Kuvvetin tasarım değeri
F_{d,ser}:	Kullanılabilirlik sınır durumunda tasarım kuvveti

$F_{f,Rd}$:	Duvar diyaframında bağlantı elemanı başına tasarım yük kapasitesi
$F_{i,c,Ed}$:	i kesme duvarının ucunda tasarım basınç reaksiyon kuvveti
$F_{i,t,Ed}$:	i kesme duvarının ucunda tasarım çekme reaksiyon kuvveti
$F_{i,vert,Ed}$:	i duvarında tasarım düşey yük
$F_{i,v,Rd}$:	A yöntemi kullanılırken i panelinin veya B yöntemi kullanılırken i duvarının tasarım raf direnci
F_k :	Bir eylemin veya kuvvetin karakteristik değeri
F_{rep} :	Eylemin temsili değeri
F_t :	Çekme kuvveti
$F_{v,0,Rk}$:	Lif boyunca bir konektörün karakteristik yük kapasitesi
$F_{v,Ed}$:	Bağlantı elemanının kesme düzlemi başına tasarım kesme kuvveti; duvar diyaframında yatay tasarım etkisi
$F_{v,Rd}$:	Bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına tasarım yük kapasitesi; tasarım raf yük kapasitesi
$F_{v,Rk}$:	Bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına karakteristik yük kapasitesi
$F_{v,w,Ed}$:	Gövdede tasarım kesme kuvveti
$F_{x,Ed}$:	x yönünde kuvvetin tasarım değeri
$F_{y,Ed}$:	y yönünde kuvvetin tasarım değeri
G :	Kalıcı eylem
$G_{0.05}$:	Kayma modülünün yüzde 5' i
G_d :	Kayma modülünün tasarım değeri
$G_{d,inf}$:	Kalıcı bir eylemin düşük tasarım değeri
$G_{d,sup}$:	Kalıcı bir eylemin yüksek tasarım değeri
G_k :	Kalıcı bir eylemin karakteristik değeri
$G_{k,j}$:	j kalıcı eylemin karakteristik değeri

$G_{k,j,inf}$:	j kalıcı eylemin düşük karakteristik değeri
$G_{k,j,inf}$:	j kalıcı eylemin düşük karakteristik değeri
$G_{k,j,sup}$:	j kalıcı eylemin yüksek karakteristik değeri
G_{mean} :	Kayma modülünün ortalama değeri
I :	Atalet momenti
I_f :	Flanşın atalet momenti
I_{tor} :	Burulma atalet momenti
I_y :	Kuvvetli eksen atalet momenti
I_z :	Zayıf eksen atalet momenti
K_{ser} :	Ani durumda kullanılabilirlik sınır durumu için bağlantı elemanı veya konektörün kayma modülü
$K_{ser,fin}$:	Son durumda bağlantı elemanı veya konektörün kayma modülü
K_u :	Ani durumda taşıma gücü sınır durumu için bağlantı elemanı veya konektörün kayma modülü
M_d :	Tasarım momenti
$M_{yd}; M_{zd}$:	y-y ve z-z asal eksenlerine göre tasarım momenti
$M_{y,Rk}$:	Bağlantı elemanının karakteristik akma momenti
N :	Eksenel kuvvet
Q :	Değişken eylem
Q_k :	Karakteristik değişken eylem
$Q_{k,1}$:	Öncü değişken eylem
$Q_{k,i}$:	Eşlik eden değişken eylem i' nin karakteristik değeri
$R_{90,d}$:	Tasarım bölünme kapasitesi
$R_{90,k}$:	Karakteristik bölünme kapasitesi
$R_{ax,d}$:	Eksenel yüklü bir bağlantının tasarım yük kapasitesi
$R_{ax,k}$:	Eksenel yüklü bir bağlantının karakteristik yük kapasitesi

$R_{ax,\alpha,k}$:	Liflere göre α açısında karakteristik yük kapasitesi
R_d :	Direncin yük kapasitesinin tasarım değeri
$R_{ef,k}$:	Bağlantının etkili karakteristik yük kapasitesi
$R_{i,v,d}$:	Duvarın tasarım raf kapasitesi
R_k :	Direncin karakteristik değeri
$R_{sp,k}$:	Karakteristik bölünme kapasitesi
$R_{v,d}$:	Duvar diyaframının tasarım raf kapasitesi
S :	Alan statik momenti
V :	Kesme kuvveti; hacim
W_y :	y eksenine göre mukavemet momenti
W_z :	z eksenine göre mukavemet momenti
X_d :	Malzeme mukavemet özelliğinin tasarım değeri
X_k :	Malzeme mukavemet özelliğinin karakteristik değeri
a :	Mesafe (aralık)
a_d :	Geometrik verilerin tasarım değeri
a_{nom} :	Geometrik verilerin nominal değeri
a_1 :	Bir sıradaki bağlantı elemanlarının liflere paralel aralığı
a_2 :	Bağlantı elemanı sıraları arasında, liflere dik boşluk
$a_{3,c}$:	Yüksüz uçta bağlantı elemanları arasındaki mesafe
$a_{3,t}$:	Yüklü uçta bağlantı elemanları arasındaki mesafe
$a_{4,c}$:	Yüksüz uçta bağlantı elemanları arasındaki mesafe
$a_{4,t}$:	Yüklü uçta bağlantı elemanları arasındaki mesafe
b :	Genişlik
b_i :	A yöntemi kullanılırken i panelinin genişliği veya B yöntemi kullanılırken i duvarının genişliği
b_{net} :	Saplamalar arasındaki temiz açıklık

b_w :	Gövde genişliği
d :	Çap
d_c :	Konektör çapı
d_e :	Etkili çap
$f_{h,i,k}$:	i elemanının karakteristik gömülme mukavemeti
$f_{ax,k}$:	Düz çiviler için karakteristik geri çekilme parametresi
$f_{c,0,d}$:	Lif boyunca tasarım basınç dayanımı
$f_{c,w,d}$:	Gövdenin tasarım basınç dayanımı
$f_{c,f,d}$:	Flanşın tasarım basınç dayanımı
$f_{c,90,k}$:	Liflere dik karakteristik basınç dayanımı
$f_{t,f,d}$:	Flanşın tasarım çekme dayanımı
$f_{h,k}$:	Karakteristik gömülme mukavemeti
$f_{head,k}$:	Düz çiviler için karakteristik çekilme parametresi
f_1 :	Temel frekans
$f_{m,k}$:	Karakteristik eğilme mukavemeti
$f_{m,y,d}$:	y asal eksenine göre tasarım dayanımı
$f_{m,z,d}$:	z asal eksenine göre tasarım dayanımı
$f_{m,\alpha,d}$:	Liflere göre α açısında tasarım dayanımı
$f_{p,osb,c,0,d}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifi boyunca tasarım basınç dayanımı
$f_{p,osb,c,90,k}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine dik karakteristik basınç dayanımı
$f_{p,osb,m,0,k}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine paralel karakteristik eğilme dayanımı
$f_{p,osb,m,90,k}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine dik karakteristik eğilme dayanımı
$f_{p,osb,t,0,d}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine paralel tasarım çekme dayanımı
$f_{p,osb,t,0,k}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine paralel karakteristik çekme dayanımı

$f_{p,osb,v,0,d}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine paralel eğilmede enine tasarım kesme dayanımı
$f_{p,osb,v,0,k}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine paralel eğilmede enine karakteristik kesme dayanımı
$f_{p,osb,v,90,k}$:	Kontrplak veya OSB yüzey lifine dik eğilmede enine karakteristik kesme dayanımı
$f_{t,0,d}$:	Lif boyunca tasarım çekme dayanımı
$f_{t,0,k}$:	Lif boyunca karakteristik çekme dayanımı
$f_{t,90,d}$:	Liflere dik tasarım çekme dayanımı
$f_{t,w,d}$:	Gövdenin tasarım çekme dayanımı
f_u :	Çiviler için kullanılan telin çekme dayanımı
$f_{u,k}$:	Cıvataların karakteristik çekme dayanımı
$f_{v,0,d}$:	Tasarım panel kesme mukavemeti
$f_{v,ax,\alpha,k}$:	Liflere α açısında karakteristik çekilme mukavemeti
$f_{v,ax,90,k}$:	Liflere dik karakteristik çekilme mukavemeti
$f_{v,d}$:	Tasarım kesme mukavemeti
$f_{v,r,k}$:	Kontrplağın karakteristik yuvarlanma kesme mukavemeti
h :	Eleman derinliği; duvar yüksekliği
h_{ap} :	Tepe bölgesi derinliği
h_e :	Gömülme derinliği; en uzak bağlantı elemanının merkezi ile yüklü kenar arasındaki mesafe
h_{ef} :	Etkili derinlik
$h_{f,c}$:	Basınç flanşı derinliği
$h_{f,t}$:	Çekme flanşı derinliği
h_w :	Gövde derinliği
i :	Çentik eğimi

i_y ve i_z :	Dönme yarıçapı
$k_{c,90}$:	Ezilme mukavemeti modifikasyon faktörü
$k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$:	Kararsızlık (instabilite) faktörü
k_{crit} :	Yanal burkulma faktörü
k_{ef} :	Art arda etkili bağlantı elemanı sayısını elde etmek için üstel faktör
k_d :	Panel boyut faktörü
k_{def} :	Deformasyon faktörü
k_{dis} :	Tepe bölgesinde gerilme dağılımını hesaba katmak için faktör
$k_{f,1}, k_{f,2}, k_{f,3}$:	Destekleme direnci için modifikasyon faktörleri
k_h :	Derinlik faktörü
$k_{i,q}$:	Düzgün yayılı yük faktörü
k_l :	Destek tasarımında yanal sapmayı sınırlama faktörü; LVL' de uzunluk etkisi faktörü
k_m :	Eğilme gerilmelerinin yeniden dağılımı için faktör
k_{mod} :	Yük süresi ve nem içeriğine bağlı modifikasyon faktörü
k_n :	Kaplama malzemesi faktörü; çentik faktörü
k_s :	Bağlantı elemanı aralık faktörü; yay rijitliği için modifikasyon faktörü
k_{shape} :	Kesit şekline bağlı olarak faktör
k_{shear} :	Kesmeden kaynaklı sehimler için büyütme faktörü
k_{sys} :	Sistem güç faktörü
k_v :	Çentikli kirişler için azaltma faktörü
k_{vol} :	Tepe bölgesinde hacim faktörü
k_y ve k_z :	Kararsızlık (instabilite) faktöründe kullanılan faktör
l :	Açıklık; temas uzunluğu
l_{ef} :	Etkili uzunluk; kiriş tasarım açıklığı
m :	Birim alan başına kütle

n_{40}:	40 Hz' in altındaki frekans sayısı
n_{ef}:	Bağlantı elemanları etkili sayısı
q_d:	Yayıllı yükün tasarım değeri; destek sistemi tarafından sağlanan birim uzunluk başına iç stabilite yükünün tasarım değeri
q_i:	Duvara etkiyen eşdeğer üniform yayıllı düşey yük
r:	Eğrilik yarıçapı
s:	Aralık
s_0:	Bağlantı elemanı aralığı
r_{in}:	Tepe bölgesinde kavisli veya eğimli bombeli kirişin iç yarıçapı
t:	Kalınlık
t_{pen}:	Penetrasyon derinliği
u:	Deformasyon; yapının veya yapısal elemanın yatay yer değiştirmesi
u_{creep}:	Sünme deformasyonu
u_{fin}:	Nihai (son) deformasyonu
$u_{fin,G}$:	Kalıcı bir eylem için nihai deformasyon
$u_{fin,Q,1}$:	Öncü değişken eylem için nihai deformasyon,
$u_{fin,Q,i}$:	i eşlik eden değişken eylem için nihai deformasyon
u_{inst}:	Ani deformasyonu
$u_{inst,G}$:	Kalıcı eylem G için ani deformasyon
$u_{inst,Q,1}$:	Öcü değişken eylem Q_1 için ani deformasyon
$u_{inst,Q,i}$:	Eşlik eden değişken eylem Q_i için ani deformasyon
v:	Birim itme hızı davranışı
w:	Yapısal elemanın düşey sapma sınırı
w_c:	Ön kamber
w_{creep}:	Sürünme sapma sınırı
w_{fin}:	Nihai sapma sınırı

w_{inst} :	Ani sapma sınırı
$w_{fin,net}$:	Net nihai sapma sınırı
Π_k :	Tasarım değerini etkileyen k faktörlerinin çarpımı
α ve β :	Açılar
β_c :	Doğruluk (düzlük) faktörü
γ_F :	Eylemler için kısmi faktör (model belirsizliklerini ve boyutsal varyasyonları da hesaba katar)
$\gamma_{f,i}$:	Eylem değerlerinin temsili değerlerden olumsuz sapma olasılığını dikkate alan, i eylemi için kısmi faktör
γ_G :	Kalıcı eylemler için kısmi faktör
$\gamma_{G,j}$:	j kalıcı eylemi için kısmi faktör
γ_Q :	Değişken eylemler için kısmi faktör
$\gamma_{Q,i}$:	i değişken eylemi için kısmi faktör
γ_m :	Malzeme özellikleri için kısmi faktör
γ_M :	Malzeme özellikleri için kısmi faktör (model belirsizlikleri ve boyutsal varyasyonları da hesaba katar)
γ_{sd} :	Eylem etkilerinin modellenmesinde belirsizlikleri dikkate alan kısmi faktör
ζ :	Modal sönümleme oranı
η :	Dönüşüm faktörü
λ_y :	y eksenine göre eğilmede narinlik oranı
λ_z :	z eksenine göre eğilmede narinlik oranı
$\lambda_{rel,y}$:	y eksenine göre eğilmede göreceli narinlik oranı
$\lambda_{rel,z}$:	z eksenine göre eğilmede göreceli narinlik oranı
ρ_k :	Karakteristik yoğunluk
ρ_m :	Ortalama yoğunluk
$\sigma_{c,0,d}$:	Lif boyunca tasarım basınç gerilmesi

$\sigma_{c,\alpha,d}$:	Liflere göre α açısında tasarım basınç gerilmesi
$\sigma_{f,c,d}$:	Flansta ortalama tasarım basınç gerilmesi
$\sigma_{f,c,max,d}$:	Flansta uç lifin tasarım basınç gerilmesi
$\sigma_{f,t,d}$:	Flansta ortalama tasarım çekme gerilmesi
$\sigma_{f,t,max,d}$:	Flansta uç lifin tasarım çekme gerilmesi
$\sigma_{m,crit}$:	Kritik eğilme gerilmesi
$\sigma_{m,y,d}$:	y asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi
$\sigma_{m,z,d}$:	z asal eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi
$\sigma_{m,\alpha,d}$:	Liflere göre α açısında tasarım eğilme gerilmesi
σ_N :	Eksenel gerilme
$\sigma_{t,0,d}$:	Lif boyunca tasarım çekme gerilmesi
$\sigma_{t,90,d}$:	Liflere dik tasarım çekme gerilmesi
$\sigma_{w,c,d}$:	Gövdenin tasarım basınç gerilmesi
$\sigma_{w,t,d}$:	Gövdenin tasarım çekme gerilmesi
τ_v :	Kayma gerilmesi
$\tau_{v,d}$:	Tasarım kayma gerilmesi
$\tau_{tor,d}$:	Tasarım burulma kayma gerilmesi
ψ_0 :	Değişken bir eylemin kombinasyon değeri için faktör
ψ_1 :	Değişken bir eylemin sık değeri için faktör
ψ_2 :	Değişken bir eylemin yarı kalıcı değeri için faktör

Kısaltmalar:

Eurocode:	European Committee For Standardization
ULS:	Taşıma Gücü Sınır Durumu
SLS:	Kullanılabilirlik Sınır Durumu
LVL:	Laminated Veneer Lumber (Soyma Tabakalı Lamine Ahşap)

OSB: Oriented Strand Board (Yönlendirilmiş Yonga Levha)

TS: Türk Standartı



1. GİRİŞ

Çok eski zamanlardan bu yana ağaçlar yiyecek, barınak, yakıt, alet olarak insanların ihtiyaçları için kullanılmıştır. Ahşap, en eski yapı malzemelerinden biridir. Alet ihtiyacı olarak düşünüldüğünde binalar, köprüler, makineler, savaş motorları ve teknelerin yapımında karşımıza çıkmaktadır. Modern anlamda ahşap yapılar ilk olarak 20. yüzyıl başlarında Almanya’da yapı yönetmeliklerinde yer almış, daha sonra birleşim araçlarının da gelişmesiyle birlikte oldukça yaygınlaşmıştır. Özellikle geliştirilen sentetik tutkalın birleşim aracı olarak kullanılması, köprü, spor salonu vb. büyük yapı sistemlerinin de ahşap ile yapılabilmesine imkan sağlamıştır.

Ahşap malzemenin avantajlı yönlerinden bazıları şunlardır:

- Farklı iklim koşullarına uyum sağlar.
- Hafif olduğundan mesnetlere aktarılan kuvvet göre azdır.
- Hafif olması sayesinde montajı kolay, hızlı ve ekonomiktir.
- Şekil vermek kolaydır.
- Söküldükten sonra az bir zayıyla tekrar kullanılabilir.
- İyi ısı ve elektrik yalıtımına sahiptir.

Ahşap malzemenin dezavantajlı yönlerinden bazıları ise aşağıda sıralanmıştır:

- Hava nedeniyle rötre çatlakları oluşur.
- Neme karşı duyarlıdır.
- Homojen olmadığından çatlaklar, budaklar ve lif süreksizliği gibi nedenlerle dayanımı kesit boyunca değişkendir.
- Yangına karşı dayanıklı değildir.

Analitik ve deneysel çalışmalarla ahşap üzerinde daha çok araştırma yapılmalı, kusurlu sayılabilecek yönleri üzerinde daha çok durulmalıdır.

Ahşap mühendisliğinin yaygınlaştırılması açısından ülkemizde kabul edilen yönetmelik ve standartlar son derece önem arz etmektedir. Bu standartlarda öngörülen kriterler gerçekçi ve ahşaba özgü olmalıdır ki bu durumda sağlıklı ahşap yapılar inşa edilebilir.

Türkiye’de ahşap yapı kuralları standart ve yönetmeliklerde ayrıntılı olarak belirtilmemiştir. Bunun sonucu olarak ahşap yapı üretimi süreçlerinde eksiklikler ortaya çıkmaktadır. Eurocode 5 ahşap yapı standartı tasarım kuralları ve hesaplama esasları ele alınmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Demirkır (2009), kontrplağın yapıda kullanımı konusu çalışmıştır. Kontrplak ile oluşturulan duvarlar ve çatıya sahip yapıların deprem ve rüzgar performansının daha iyi olduğunu göstermiştir.

Demirkır, vd., (2010), yaptıkları çalışmada ahşap iskeletli yapı konusunda Türkiye' nin yeterli bilgiye sahip olmadığına dikkat çekmişler ve deprem tehlikesine karşı ahşap yapıların daha önemine işaret etmişlerdir.

Cachim ve Franssen (2010), ahşap yapıları yangın açısından değerlendirmişlerdir. 300°C sıcaklıkta oluşan kömür derinliği ve kesit dayanımının belirlenmesi için yöntemler karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar ile hesaplar yapılmış ve bulunan sonuçlar Eurocode 5' e göre basitleştirilmiş modellerle karşılaştırılmıştır. Aynı zamanda yoğunluk ve nem gibi özellikler de değerlendirilmiştir.

Dietsch ve Winter (2011), yaptıkları çalışmada Eurocode 5' in kısmen eksik kaldığı bazı noktalar üzerinde durmuşlardır. Yasal ve pratik yönlerle dayalı olarak Eurocode 5 için farklı olasılıkların tartışılmıştır.

Ohanesyan (2012), tarafından çalışmada, Türkiye' de 1999 depreminden sonra önemi anlaşılmış olan, yatay kuvvetlere karşı daha dayanıklı ahşap konstrüksiyon irdelenmiştir. Ahşaba dair genel bilgiler verilmiş, yönetmeliklere ve birleşim elemanlarına değinilmiştir. Yüklemeler altında oluşan hasarlar gösterilmiştir.

Gül ve Güzelçoban Mayuk, (2012) çalışmalarında ahşabın hızlı yapım kolaylığı avantajlarını ön plana çıkarmışlardır. Hafif oluşu da düşünüldüğünde, deprem bölgesinde bulunan Türkiye' de ahşap yapı kullanımının arttırılması amaçlanmıştır.

Saydamer (2014), çevre dostu ahşabın, yapı malzemesi olarak daha fazla kullanmasını amaçlamış ve Bursa örneği üzerinden konuyu somutlaştırmıştır.

Villar, vd., (2016), yaptıkları çalışmada mekanik bağlantı elemanlı birleşimlerden oluşan ağır ahşap kafes kirişlerin elemanlarının ve birleşim yerlerinin genetik algoritmalarla optimizasyonunu sunmaktadırlar. Ağır ahşap kafes kirişlerin tasarımı için etkili bir optimizasyon aracı olan genetik algoritmalar önceki tekniklerle karşılaştırılmış ve daha ekonomik sonuçların alınacağı gösterilmiştir.

Çalışkan, vd., (2019), yaptıkları bu çalışmada ahşabın malzeme özellikleri, avantaj ve dezavantajları üzerinde durulmuş ve ülkemizde ve Dünyada kullanılan standartlardan bahsedilmiştir.

Çakıroğlu (2019), çalışmasında Japonya ve Türkiye’ de ahşap yapım standartlarını karşılaştırmıştır. Japonya yönetmeliğine göre tasarlanmış bir yapı, yapım sistemleri ve uygulama basamakları açısından ele alınmıştır.

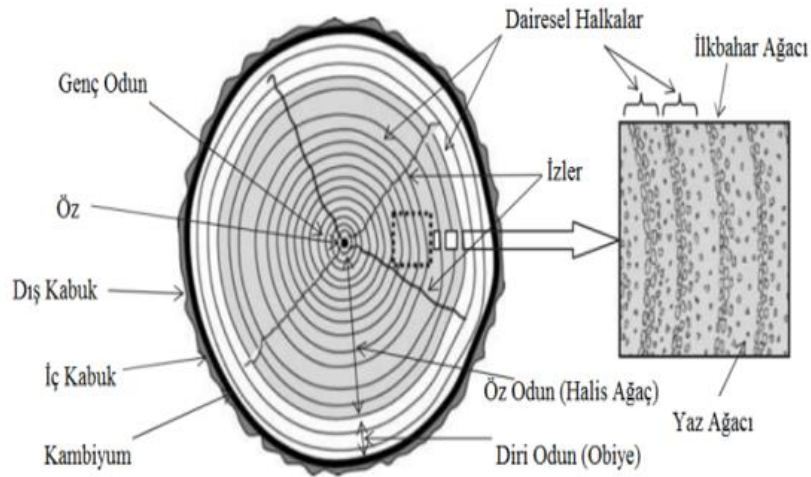
Ehrhart, vd., (2020)’ nin çalışması, Avrupa kayın ağacından yapılmış glulam kolonların burkulma davranışı üzerine deneysel ve sayısal araştırmalar ve bir tasarım önerisi sunmaktadır. Eurocode 5’ te kolonlar için verilen tasarım yöntemi olan efektif uzunluk yönteminin uygulanabilirliği değerlendirilmiştir.

Demir, vd., (2021), yerli malzemelerden üretilen kontrplak ile kaplanan perde duvarların yanal yük altındaki performansı üzerine çalışma gerçekleştirmiştir. Ağaç türü, lif yönü, kurular ve bağlantı elemanı türünün yapısal davranışa etkisi ele alınmıştır.

3. YAPISAL MALZEME OLARAK AHŞAP

İyi bakılmış ormanlardan elde edilen kereste, en sürdürülebilir kaynaklardan biridir ve yapılarda kullanılan en eski yapı malzemesidir. Ağırlığına oranla çok yüksek bir mukavemete sahip olan ağaç, maruz kaldığı kuvvetlere karşı da mukavimdir ve iyi bir eğilme elemanıdır. Kirişler, kolonlar, makaslar, döşemeler gibi çeşitli yapı formlarında kullanılır. Genel olarak binalarda, gemi yapımında, demiryolu traverslerinde ve betonarme kalıplarında karşımıza çıkar.

Bu bölüm, mühendis ve mimarlar için ilgi çekici olan kerestenin mühendislik özelliklerinin kısa bir tanımını sunar. Ahşap malzeme, çelik veya beton gibi bazı yapısal malzemelerden farklı olarak doğal ve çevrecidir. Örneğin mukavemet özelliklerine etki eden, neme bağlı şişme ve büzülme özelliklerine sahiptir. Fiziksel özelliklerin doğru anlaşılması, güvenli ve dayanıklı ahşap yapıların oluşturulması için vazgeçilmezdir.



Şekil 3.1. Ağaç gövdesi enkesiti.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 2).

3.1. Ahşabın Yapısı

Yapısal kereste, sertlik, mekanik güç ve yükseklik sağlayan ağaç gövdesinden kesilir. Gövde, ağaca etki eden yerçekimi ve rüzgâr nedeniyle oluşan yüklere karşı direnç gösterir ve ayrıca su ve minerallerin ağaç köklerinden tepeye taşınmasını sağlar. Kökler toprağa yayılarak ve bir temel olarak hareket ederek, nem içeren mineralleri topraktan emer ve onları gövdeden geçirir. Yaprakları desteklemek için dallar ve dallardan oluşan taç kısım, ağacın büyümesine neden olan şeker ve selüloz oluşturan kimyasal reaksiyonlar üreten bir toplama alanı sağlar.

Mühendisler olarak biz esas olarak ağacın gövdesiyle ilgileniyoruz. Şekil 3.1.' de ağaç gövdesinin tipik bir kesiti yer almaktadır. Dış kısımda oldukça kuru ve mantarlı bir tabaka olan dış kabuk, iç kısımda açık renkli ve canlı iç kabuk bulunur. İç kabuğun altında bulunan çok ince bir hücre tabakası olan kambiyum, ağacın büyüme merkezidir. Kambiyumun içinde yeni ahşap hücreler, dışta yeni kabuk hücreleri oluşur ve bu şekilde gövdenin çapını arttırır. Ağaç gövdelerinin 2 m' den fazla çapa kadar büyüebilmesine rağmen, ticari olarak temin edilebilenler yaklaşık 0.5 m çapındadır.

Genel olarak ahşap, uzun ince tübüler hücrelerden oluşur. Hücre duvarları, selülozdan yapılı ve hücreler, lignin olarak bilinen bir madde ile birbirine bağlanır. Çoğu hücre, gövde boyunca, gövde eksenini yönünde yönlendirilir. Ilıman iklimde sahip ülkelerde bir ağaç, her büyüme mevsiminin başında kambiyumun hemen altında yeni bir odun tabakası üretir. Bu büyüme, büyüme mevsiminin sonunda veya kış aylarında durur. Bu işlem, daire şeklindeki halkalar, yıllık halkalar veya büyüme halkaları olarak bilinen açıkça görülebilen konsantrik halkalar ile sonuçlanır. Ağaçların yıl boyunca büyüdüğü tropikal ülkelerde, bir ağaç esasen tek biçimli odun hücreleri üretir. Bir ağacın yaşı, büyüme halkaları sayılarak belirlenebilir.

Kabuğa en yakın kesitin halka şeklindeki bandına *diri odun* denir. Ahşabın içindeki merkezi kısım ise *öz odun* denir. Diri odun, öz oduna kıyasla daha hafiftir ve türlere bağlı olarak 25-170 mm genişliğindedir. Yaşayan ve ölü hücreleri içerir. İnaktif hücrelerden oluşan öz odun esas olarak gövdeye mekanik destek ya da sertlik verir. Diri odun, mantar ve böceklerin saldırılarına karşı daha düşük bir doğal dirence sahiptir ve koruyucuları öz odunlardan daha kolay kabul eder.

3.2. Ahşap Türleri

Ağaçlar ve ticari ahşaplar 2 türe ayrılır: yumuşak ağaçlar ve sert ağaçlar.

3.2.1. Yumuşak Ağaçlar

Genellikle koni biçimlidirler. Yaprakları tek hücreli ve iğnelidir. Çabuk büyümelerine karşın düşük mukavemet ve düşük yoğunluğa sahiptirler. Kolay temin edilirler, fiyatları daha ucuzdur.

3.2.2. Sert Ağaçlar

Genellikle geniş yapraklıdır ve her büyüme mevsiminin sonunda yapraklarını kaybederler. Hücre yapıları, lif olarak adlandırılan kalın duvarlı hücrelerden oluşur ve yumuşak yapıdaki ağaçlara göre daha karmaşıktır. Yumuşak ağaçlardan daha yavaş büyürler

ki bu durum bazen 100 yıldan uzun sürebilir. Zararlı böceklerle karşı daha dayanıklıdır. Geç büyüdükleri için pahalıdır.

3.3. Ahşabın Doğal Özellikleri

Doğal bir malzeme olarak ahşap, yapısı bakımından çok çeşitlidir ve büyüme döneminde ortaya çıkan bazı doğal özellik veya kusurlara sahiptir. Bu tür özellikler veya kusurlar, genellikle ahşap mukavemetini azaltır.

3.3.1. Budaklar

Dal kısımlarında oluşurlar. Budakların etkisi, büyüklüklerine, şekillerine, sıklıklarına ve konumlarına bağlıdır. Mekanik özellikleri olumsuz etkilerler. Lif süreksizliklerine ve üniform olmayan gerilme dağılımlarına neden olurlar. Çekme gerilmesi altındaki yapı elemanlarında etkileri daha büyüktür.

3.3.2. Lif Eğikliği

Sağlamlık özelliklerini ciddi şekilde bozabilir. Eğikliğin, ahşabın bazı özellikleri üzerindeki etkisi Tablo 3.1' de gösterilmektedir.

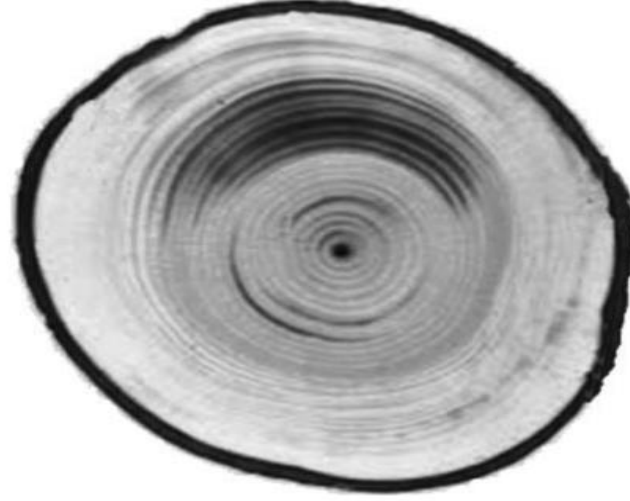
Tablo 3.1. Çeşitli mukavemet sınıfları için gereksinimleri karşılayan türlerin ve görsel sınıfların yumuşak ağaç kombinasyonları.

Lif eğimi	Eğilme mukavemeti (%)	Liflere paralel basınç (%)	Darbe yükleme
Düz lif	100	100	100
20' de 1 (3^0)	93	100	95
10' da 1 (6^0)	81	99	62
5' te 1 (11.5^0)	55	93	36

3.3.3. Reaksiyon Odunu

Kuvvetli rüzgar basıncı altında olan ağaç gövdelerinde üretilen anormal ahşap dokulara *reaksiyon odunu* denir. 2 tür reaksiyon odunu vardır: Yumuşak ağaçlarda basınç odunları ve sert ağaçlarda çekme odunları.

Reaksiyon odunu, normal ahşaba göre daha yoğundur ve özgül ağırlık basınç odununda yaklaşık % 35, çekme odununda ise %7 daha fazladır. Boyuna büzülme basınç odunlarında 10 kat, çekme odunlarında ise normalden 5 kat daha fazladır.



Şekil 3.2. Basınç odunu (koyu renkli kısım).

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 6).

3.3.4. Genç Odun

Gövde enine kesitinin ilk 5-20 halkasındaki kısımdır. Dış kısımlara göre daha düşük mukavemetlidir.

3.3.5. Yoğunluk ve yıllık halka genişlikleri

Yoğunluk, mukavemeti önemli ölçüde etkiler. Yıllık halka genişliği de yoğunluğu azaltabilmesi nedeniyle kritiktir. Yoğunluk, budak gibi kusurların yokluğunda iyi bir gösterge olabilirken, sakız ve reçinelerin varlığında olumsuz etkiye sahip olur. Bu bağlamda, yalnızca yoğunluğa bağlı mukavemet tahmini her zaman doğru olmaz. Araştırmalar yoğunluk için 0.16 ile 0.4 ve yıllık halka genişliği için 0.2 ve 0.44 arasında değişen bir belirleme katsayısı önermektedir.

Özgül ağırlık veya bağıl yoğunluk, genel olarak ahşabın fırında kurutulmuş ağırlığının, eşit miktarda su ağırlığına oranı olarak ifade edilir. Su hacmi, ahşabın nem içeriğine bağlı olarak değiştiğinden, ahşabın özgül ağırlığı normalde belirli bir nem içeriğinde ifade edilir. Genel olarak ahşap özgül ağırlığı 0.35 ile 0.60 arasında değişir. Ticari olarak kullanılan ahşapta bu değer 0.29 ile 0.81 arasındadır.

3.3.6. Ahşabın Kesim Şekli

Ağaç ormanda kesildikten sonra taç kaldırılır ve genellikle ormanda bir süre bekletilir. Tomruklar daha sonra kurumalarını önlemek için su spreyleri altında sınıflandırılır ve depolanır. Daha kaliteli olanlardan bazıları imalat için soyma tesislerine gönderilir.

3.3.7. Kurutma

Kurutma, ahşabın nem içeriğini kullanım amacına uygun olacak şekilde kontrollü bir şekilde azaltmaktır. Genellikle *hava ile kurutma* ve *fırında kurutma* yöntemleri tercih edilir.

3.3.8. Kurutma Kusurları

Kurutma kusurları nem içeriğindeki değişikliklerden dolayı ahşap içerisinde meydana gelen hareketlerle doğrudan ilgilidir.

3.3.9. Çatlaklar ve Yarıklar

Ahşapta çürümeyi başlatırlar.

3.3.10. Mantar Çürüğü

Ahşabı kullanılamaz hale getirir.

3.4. Ahşap Dayanım Sınıfları

Ahşabın dayanıklılık kabiliyetini değerlendirmek zordur. Bunun için güç sınıflandırma yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları: 3 noktalı yükleme ile eğilme rijitliği tayini, x-ışınları veya gama ışınları ile yoğunluk tayini, rezonans titreşimler (dinamik tepki) ile elastisite modülü tayini.

Ahşabın sağlamlık derecelendirmesine ilişkin şartlar aşağıdaki standartlarda ayrıntılı olarak verilmiştir:

- BS EN 14081-1: 2005
- BS EN 14081-2: 2005

Yumuşak ve sert ahşabın görsel güç sınıflandırmasına yönelik kılavuz aşağıdaki İngiliz Standartlarında verilmektedir:

- BS 4978:1996
- BS 5756:1997

3.4.1. Görsel değerlendirme

Belirli fiziksel özelliklerin veya kusurların boyutu ve sıklığına göre değerlendirme yapılır. Örneğin; budaklar, lif eğikliği, büyüme hızı, reçineler ve bozulmalar dikkate alınır.

Tablo 3.2. Çeşitli mukavemet sınıfları için gereksinimleri karşılayan türlerin ve görsel sınıfların yumuşak ağaç kombinasyonları.

Ahşap türleri	Kalite ve ilgili mukavemet sınıfları
<i>İngiliz ahşabı</i>	
Douglas köknar	GS (C14), SS (C18)
Karaçam	GS (C16), SS (C24)
İngiliz çamı	GS (C14), SS (C22)
İngiliz ladini	GS (C14), SS (C18)
<i>İthal kereste</i>	
Brezilya çamı	GS (C16), SS (C24)
Karayip çamı	GS (C18), SS (C27)
Kızılçam	GS (C16), SS (C24)
Akkereste	GS (C16), SS (C24)
Boylu mazı	GS (C14), SS (C18)
Douglas köknar-karaçam (Kanada ve ABD)	GS (C16), SS (C24)
Büyük sahil köknarı (Kanada ve ABD)	GS (C16), SS (C24)
Ladin-çam-köknar (Kanada ve ABD)	GS (C16), SS (C24)
Sitka ladini (Kanada)	GS (C14), SS (C18)
Batı beyaz ağaçları (ABD)	GS (C14), SS (C18)
Güney çamı (ABD)	GS (C18), SS (C24)

3.4.2. Makine derecelendirme

Makine sınıflaması, rijitliğin kuvvetle ilgili olduğu prensibi ile gerçekleştirilir. Derecelendirmede en yaygın yöntemler; yük veya sehim kontrollü eğilme testleridir. Makine basınç uygular ve eğilme değerleri saptanır. Sınıflandırma BS EN 14081-1:2005'e uygun şekilde yapılır.

Makine ile derecelendirme daha gerçekçi sonuçlar verir. Buna rağmen bu tip derecelendirmeyi görsel sınıflama ile beraber yapmak en ideal seçenektir.

3.4.3. Dayanım Sınıfları

BS EN 338: 2003, toplam 18 dayanım sınıfını tanımlar: yumuşak ağaçlar için C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 ve C50 olmak üzere 12 çeşit, sert ağaçlar için D30, D35, D40, D50, D60 ve D70 olmak üzere 6 çeşit dayanım sınıfı vardır. C harfi iğne yapraklı ağaçlar için, D harfi yaprak döken ağaçlar için kullanılır. Dayanım birimi N/mm^2 'dir ve 'karakteristik eğilme mukavemetini' belirtir. Avrupa' da kullanılan en zayıf yumuşak ağaç cinsi C14 ile en yüksek sert ağaç D70' tir.

3.4.3.1. Malzeme Özellikleri

BS EN 1995-1-1: 2004' ün 3. Bölümü (metinde EC5 olarak bahsedilir) malzeme özellikleriyle ilgilenir ve dayanım ile rijitlik parametrelerini, gerilme-deformasyon ilişkilerini tanımlar ve dayanım faktörleri için değerler verir. EC5, diğer Avrupa kodları gibi, malzeme özellik değerlerini içermez ve bu bilgiler destekleyici bir standartta, yani burada Tablo 3.3. olarak üretilen BS EN 338: 2003' ün Tablo 1' inde verilir.

Karakteristik dayanım ve rijitlik özellikleri arasındaki ilişkiler aşağıdaki gibidir:

- Liflere paralel çekme dayanımı : $f_{t,0,k}=0.6f_{m,k}$
- Liflere paralel basınç dayanımı: $f_{c,0,k}=5(f_{m,k})^{0.45}$
- Kesme dayanımı: $f_{v,k}=\min\left\{\begin{matrix} 3.8 \\ 0.2(f_{m,k})^{0.8} \end{matrix}\right.$
- Liflere dik çekme dayanımı: $f_{t,90,k}=\min\left\{\begin{matrix} 0.6 \\ 0.0015\rho_k \end{matrix}\right.$
- Liflere dik basınç dayanımı:
yumuşak ahşap için ; $f_{c,90,k}=0.007\rho_k$
sert ahşap için ; $f_{c,90,k}=0.015\rho_k$
- Liflere paralel elastisite modülü:

yumuşak ahşap için; $E_{0.05}=0.67E_{0.ort}$

sert ahşap için; $E_{0.05}=0.84E_{0.ort}$

- Liflere dik elastisite modülü:

yumuşak ahşap için; $E_{90,ort}=E_{0.ort}/30$

sert ahşap için; $E_{90,ort}=E_{0.ort}/15$

- Ortalama kayma modülü: $G_{ort}=E_{0.ort}/16$



Tablo 3.3. Yapısal ahşap mukavemet sınıfları için mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.

Ahşap sınıfı	Dayanım özellikleri (N/mm ²)						Rijitlik özellikleri (kN/mm ²)				Yoğunluk (kg/m ³)	
	Eğilme	Çekme (liflere paralel)	Çekme (liflere dik)	Basınç (liflere paralel)	Basınç (liflere dik)	Kayma	Ort. E (liflere paralel)	% 5 E (liflere paralel)	Ort. E (liflere paralel)	% 5 E (liflere paralel)	Yoğunluk (kg/m ³)	Ort. Yoğunluk (kg/m ³)
	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	2.0	1.7	7.0	4.7	0.23	0.44	290	234
C16	16	10	0.5	17	2.2	1.8	8.0	5.4	0.27	0.50	310	370
C18	18	11	0.5	18	2.2	2.0	9.0	6.0	0.30	0.56	320	380
C20	20	12	0.5	19	2.3	2.2	9.5	6.4	0.32	0.59	330	390
C22	22	13	0.5	20	2.4	2.4	10.0	6.7	0.33	0.63	340	410
C24	24	14	0.5	21	2.5	2.5	11.0	7.4	0.37	0.69	350	420
C27	27	16	0.6	22	2.6	2.8	11.5	7.7	0.38	0.72	370	450
C30	30	18	0.6	23	2.7	3.0	12.0	8.0	0.40	0.75	380	460
C35	35	21	0.6	25	2.8	3.4	13.0	8.7	0.43	0.81	400	480
C40	40	24	0.6	26	2.9	3.8	14.0	9.4	0.47	0.88	420	500
C45	45	27	0.6	27	3.1	3.8	15.0	10.0	0.50	0.94	440	520
C50	50	30	0.6	29	3.2	3.8	16.0	10.7	0.53	1.00	460	550
D30	30	18	0.6	23	8.0	3.0	10.0	8.0	0.64	0.60	530	640
D35	35	21	0.6	25	8.4	3.4	10.0	8.7	0.69	0.65	560	670
D40	40	24	0.6	26	8.8	3.8	11.0	9.4	0.75	0.70	590	700
D50	50	30	0.6	29	9.7	4.6	14.0	11.8	0.93	0.88	650	780
D60	60	36	0.6	32	10.5	5.3	17.0	14.3	1.13	1.06	700	840
D70	70	42	0.6	34	13.5	6.0	20.0	16.8	1.33	1.25	900	1080

3.5. Kesit Boyutları

Genel olarak, ahşap için standart ölçüler kullanılır. Ancak bunların yanında özel ölçüler de söz konusu olabilir. *Geleneksel boyutlar* olarak da bilinen standart boyutlar daha fazla kullanılabilirlik ve maliyetten tasarruf sağlar.

Kesitlerin çeşitli alternatif boyutları ve yüzeyleri vardır. EC5' in ahşap hedef büyüklükleri için gereksinimleri BS EN 336: 2003' te ve Ulusal Ekinde verilenlerdir. Bu standart iki tolerans sınıfını belirtir: kesilmiş yüzeylere tolerans sınıfı 1 (T1) ve planyalanmış kereste için geçerli tolerans sınıfı 2 (T2). Kalınlık için T1 ve genişlik için T2 belirtilerek düzenli ahşap elde edilebilir.

Tablo 3.4.' te geleneksel hedef boyutlar ve Tablo 3.5.' te geleneksel uzunluklar verilmiştir.

Tablo 3.4. Yapısal kerestenin geleneksel hedef boyutları.

Biçilmiş kalınlık (mm)	İşlenmiş kalınlık (mm)	Biçilmiş genişlik (mm)									
		75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
		İşlenmiş genişlik (mm)									
		72	97	120	145	170	195	220	245	270	295
22	19		✓	✓	✓	✓	✓	✓			
25	22	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
38	35	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
47	44	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		x
63	60		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓
75	72		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
100	97		✓		✓		✓	✓	✓		✓
150	145				✓		✓				

× yalnızca biçilmiş genişliği veya kalınlığı olan kesitler için geçerlidir.

Tablo 3.5. Yapısal kerestenin geleneksel uzunlukları.

Uzunluk (m)
1.8
2.10, 2.40 veya 2.70
3.00, 3.30, 3.60 veya 3.90
4.20, 4.50 veya 4.80
5.10, 5.40 veya 5.70
6.00, 6.30, 6.60 veya 6.90
7.20

3.6. Mühendislik Ahşap Ürünleri (EWP)

Yumuşak ahşabın kolayca elde edilebilen kesilmiş kısımları boyut ve kalitede sınırlıdır. Mevcut en büyük kesit ebatları 75 mm kalınlık, 225 mm genişlik ve en fazla 5 m uzunluğundadır. Daha büyük bölümler ahşap kusurlarından dolayı uygun değildir. EWP' ler kesilmiş ahşap sınırlarının üstesinden gelmek için geliştirilmiştir ve yapıştırıcılar ile birlikte çeşitli şekillerde üretilir:

- ahşap ince plakalar yapıştırılarak
- kontrplak veya lamine kaplama ahşap (LVL) üretmek için kütükleri soymak suretiyle kaplayarak ve farklı düzenlerde birbirine bağlayarak
- lif levhalar, suntalar veya yönlendirilmiş lifli levhalar (OSB) üretmek için farklı boyutlarda parçalayarak
- paralel şeritli ahşap (PSL) veya lamine iplikçik ahşap (LSL) üretmek üzere farklı formlarda dilimleyerek

EWP' ler ayrıca yapısal olarak verimli birleşik elemanlar oluşturmak amacıyla da kullanılırlar.

3.6.1. Yapıştırılmış lamine ahşap (glulam)

Yapıştırıcılarla birbirine bağlanmış küçük ahşap plakalardan oluşur. Konik kirişler, kolonlar, kemerler ve portallar üretmek için kullanılabilirler.

Üretim itibarıyla 2' ye ayrılırlar: Homojen (tek dereceli) ve birleştirilmiş (daha yüksek dereceli dış laminelere sahip) yapıştırılmış lamine ahşap. Bu iki türün mukavemet, rijitlik ve yoğunluk özellikleri Bölüm 6' da ele alınmıştır.

3.6.2. Kontrplak

İcat edilen ilk EWP ürünü olan kontrplak, sık sık katmanlardan oluşur. Katmanların basınç altında yapıştırılmasıyla elde edilir. Birleşik Krallık' ta yaygın olarak kullanılan yapısal sınıf kontrplaklar aşağıdaki gibidir:

- Amerikan kontrplağı
- Kanada kontrplağı ve köknar kontrplak
- Finlandiya huş ağacı kontrplak ve Finlandiya kozalaklı kontrplak
- İsveç yumuşak ağaç kontrplağı

Kontrplak levha boyutları 1200 mm x 2400 mm veya 1220 mm x 2440 mm' dir. Dış mekanda kullanım için su geçirmez yapıştırıcılar ile üretilir.

Ahşapta olduğu gibi, kontrplakların yapısal özellikleri, uygulanan gerilmelerin tipine ve lif yönüne bağlıdır.

Kontrplak kullanımında dikkat edilmesi gerekenler BS EN 636: 2003' te detaylandırmaktadır. Bu standart aynı zamanda eğilme özelliklerine dayanan bir sınıflandırma sistemi verir. Kontrplak paneller için karakteristik değerlerin nasıl belirlenebileceğinin bir göstergesi BS EN 12369-2: 2004' te verilmiştir. Bu standartta verilen bilgiler yapısal tasarım için uygun değildir ve bu amaç için CE sertifikalı ürünlerin karakteristik mukavemet ve rijitlik değerleri üreticiden alınmalıdır. Genellikle bu tür bilgiler üreticilerin web sitelerinden edinilebilir.

3.6.3. Lamine kaplama kereste (LVL)

Şekil 1.11' de gösterilen LVL, yapıştırıcılar kullanılarak ahşap kaplamaların lamine edilmesiyle üretilen ahşap yapı kompozitidir. İlk defa 40 yıl önce üretilen LVL, şu anda ABD, Finlandiya, Avustralya, Yeni Zelanda ve Japonya' daki bir dizi şirket tarafından üretiliyor.

3.6.4. Lamine iplikçik ahşap (LSL)

LSL, 300 mm uzunluğa ve 30 mm genişliğe kadar ahşap türlerinin ipliklerinden veya poliüretan bazlı bir yapıştırıcı ile harmanlanmış tür kombinasyonlarından üretilir.

Tablo 3.6. Birleşik Krallık’ ta kullanılan yapısal Amerikan kontrplakların ayrıntıları.

Amerikan kontrplak sınıfları		
Kalite	Amerikan standartı	Kalite kontrol komitesi
C-D Etki 1 (CDX)	PS1-95	APA ve TECO
C-C Dış Cephe (CCX)	PS1-95	APA ve TECO
A-C Dış Cephe (ACX)	PS1-95	APA ve TECO
B-C Dış Cephe (BCX)	PS1-95	APA ve TECO
Sturd-I-Zemin Etki 1 ve Dış Cephe	PS1-95	APA
Zemin Etki 1 ve Dış Cephe	PS1-95	TECO
C-D Takılı Etki 1	PS1-95	APA ve TECO
C-C Takılı Dış Cephe	PS1-95	APA ve TECO

APA: Amerika ahşap mühendislik derneği

TECO: TECO şirketi

Tablo 3.7. Birleşik Krallık’ ta kullanılan yapısal Kanada kontrplaklarının ayrıntıları.

Amerikan kontrplak sınıfları		
Kalite	Kanada standartı	Kalite kontrol komitesi
CSP Seçme Sızdırmaz Yüzey Dış Cephe	CSA 0151-M 1978	CANPLY (Eski adıyla COFI)
CSP Seçme Dış Cephe		
CSP Mantolama Sınıfı Dış Cephe		
DFP Seçme Sızdırmaz Yüzey Dış Cephe	CSA 0121-M 1978	
DFP Seçme Dış Cephe		
DFP Mantolama Sınıfı Dış Cephe		

CANPLY: Kanada Kontrplak Derneği

Tablo 3.8. Birleşik Krallık’ ta kullanılan yapısal Finlandiya ve İsveç kontrplaklarının ayrıntıları.

Finlandiya kontrplak sınıfları			İsveç kontrplak sınıfları		
Kalite	Finlandiya ve CEN ülkeleri standartı	Kalite kontrol komitesi	Kalite	İsveç standartı	Kalite kontrol komitesi
Huş ağacı	SFS 2413 EN 635-2 EN 636-2&3	VTT	P30	SBN 1975.5	Ulusal İsveç Test Enstitüsü
Huş ağacından katmanlı yüzey kaplaması	SFS 2413 EN635-2 EN636-2&3	VTT			
Kozalaklı kaplama	EN635-3 EN 636-3	VTT			
Huş ağacından katmanlı parlak yüzey kaplaması	SFS 2413 EN635-2 EN636-2&3	VTT			
Huş yüzlü çift kaplama	SFS 2413 EN 635-2 EN636-2&3	VTT			

VTT: Finlandiya Teknik Araştırma Merkezi

Tablo 3.9. Seçilen Amerikan ve İsveç yapısal kontrplaklarının mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.

		Kontrplak sınıfı			
		Amerikan kontrplak C-D Etki 1 (CDX)		İsveç kontrplak P30	
		Kalınlık (mm)		Kalınlık (mm)	
Kesit karakteristik değeri	Gösterim	12.5	21	12	24
Liflere paralel eğilme dayanımı (N/mm ²)	$f_{m,0,k}$	23.5	14.8	23.0	21.6
Liflere dik eğilme dayanımı (N/mm ²)	$f_{m,90,k}$	12.2	10.1	11.4	12.4
Liflere paralel basınç dayanımı (N/mm ²)	$f_{c,0,k}$	13.9	10.6	15.0	15.4
Liflere dik basınç dayanımı (N/mm ²)	$f_{c,90,k}$	8.1	7.7	12.0	11.4
Liflere paralel çekme dayanımı (N/mm ²)	$f_{t,0,k}$	13.6	10.5	15.0	15.4
Liflere dik çekme dayanımı (N/mm ²)	$f_{t,90,k}$	7.2	6.9	12.0	11.4
Panel kesme dayanımı (N/mm ²)	$f_{v,k}$	3.2	3.2	2.9	2.9
Düzlemsel kesme dayanımı (N/mm ²)	$f_{r,k}$	0.9	0.9	0.9	0.9
Yoğunluk (kg/m ³)	ρ_k	410	410	410	410
Ortalama yoğunluk (kg/m ³)	ρ_{mean}	460	460	460	460
Panel kesme dayanımı durumunda ortalama rijitlik modülü (N/mm ²)	$G_{v,mean}$	500	500	500	500
Liflere paralel eğilmede ortalama elastisite modülü (N/mm ²)	$E_{m,0,mean}$	10300	7800	9200	8700
Liflere dik eğilmede ortalama elastisite modülü (N/mm ²)	$E_{m,90,mean}$	2500	2500	4600	5000
Liflere paralel çekme ve basınçta ortalama elastisite modülü (N/mm ²)	$E_{t/c,0,mean}$	6800	5200	7200	7400
Liflere dik çekme ve basınçta ortalama elastisite modülü (N/mm ²)	$E_{t/c,90,mean}$	4600	3900	4800	4600

$$E_{i,k} = 0.8 * E_{i,mean}$$

Kontrplakların katman sayısı ≥ 5

Tablo 3.10. Finlandiya kontrplağı yoğunluk değerleri.

Kontrplak	Ortalama yoğunluk (kg/m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)
Huş ağacı kontrplak (1,4 mm katmanlar halinde)	680	630
Huş ağacından yüzey kaplama kontrplağı (1,4 mm katmanlar halinde)	620	560
Kozalaklı kontrplak (1,4 mm den ince katmanlar halinde)	520	460
Kozalaklı kontrplak (kalın katmanlar halinde)	460	400

3.6.5. Paralel Şeritli Kereste (PSL)

Üretim işlemi, küçük çaplı kütüklerin kaplama tabakalarına kadar soyulmasını içerir. Kaplamalar daha sonra %2 ila %3 nem içeriğine kadar kurutulur ve daha sonra birbirine paralel yönlendirilmiş ince uzun şeritler halinde kesilir.

3.6.6. Yönlü iplik tahtası (OSB)

OSB, küçük çaplı ahşap kütüklerden dilimlenmiş ince parçaların ısı ve basınç altında yapıştırılması ile oluşturulan yapısal üründür. 2.4 m genişliğe, 4.8 m uzunluğa ve 8-25 mm arasında değişen kalınlıklara sahiptir. Zemin kaplaması, çatı kaplaması, duvar kaplaması vb. kompozit yapılar için uygundur.

Eurocode 5’ te, yapılarda kullanılabilecek 3 tip OSB önerilmektedir.

- Sınıf I: Kuru hava koşullarında genel amaçlı kullanımlar içindir. (OSB/2)
- Sınıf II: Nemli koşullarda taşıyıcı panel olarak kullanılır. (OSB/3)
- Sınıf III: Nemli koşullarda ağır yük taşıyan yapı paneli olarak kullanılır. (OSB/4)

OSB/3 ve OSB/4 sınıflarının duvar, döşeme, çatı ve I kirişleri gibi taşıyıcı yapı elemanlarının tasarım ve yapımında kullanılması amaçlanmıştır. BS EN 12369-1: 2001, Tablo 3.17’ de özetlenen EN 300: 1997’ ye uygun OSB için asgari karakteristik değerleri vermektedir.

Tablo 3.11. Finlandiya huş kontrplak karakteristik dayanım değerleri.

Kesit özellikleri			Karakteristik dayanım (N/mm ²)				
			Eğilme	Basınç	Çekme	Panel kesme	Düzlemsel (yuvarlanma) kesme
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	Ort. kalınlık (mm)	$f_{m,0,k}$ ($f_{m,90,k}$)	$f_{c,0,k}$ ($f_{c,90,k}$)	$f_{t,0,k}$ ($f_{t,90,k}$)	$f_{v,k}$	$f_{r,0,k}$ ($f_{r,90,k}$)
4	3	3.6	65.9 (10.6)	31.8 (20.2)	45.8 (29.2)	9.5	2.77 (-)
6.5	5	6.4	50.9 (29.0)	29.3 (22.8)	42.2 (32.8)	9.5	3.20 (1.78)
9	7	9.2	45.6 (32.1)	28.3 (23.7)	40.8 (34.2)	9.5	2.68 (2.35)
12	9	12.0	42.9 (33.2)	27.7 (24.3)	40.0 (35.0)	9.5	2.78 (2.22)
15	11	14.8	41.3 (33.8)	27.4 (24.6)	39.5 (35.5)	9.5	2.62 (2.39)
18	13	17.6	40.2 (34.1)	27.2 (24.8)	39.2 (35.8)	9.5	2.67 (2.34)
21	15	20.4	39.4 (34.3)	27.0 (25.0)	39.0 (36.0)	9.5	2.59 (2.41)
24	17	23.2	38.9 (34.4)	26.9 (25.1)	38.8 (36.2)	9.5	2.62 (2.39)
27	19	26.0	38.4 (34.5)	26.8 (25.2)	38.7 (36.3)	9.5	2.57 (2.43)
30	21	28.8	38.1 (34.6)	26.7 (25.3)	38.5 (36.5)	9.5	2.59 (2.41)
35	25	34.4	37.6 (34.7)	26.6 (25.4)	38.4 (36.6)	9.5	2.57 (2.43)
40	29	40.0	37.2 (34.7)	26.5 (25.5)	38.3 (36.8)	9.5	2.56 (2.44)
45	32	44.2	37.0 (34.7)	26.5 (25.5)	38.2 (36.8)	9.5	2.55 (2.46)
50	35	48.4	36.8 (34.8)	26.4 (25.6)	38.1 (36.9)	9.5	2.54 (2.46)

Tablo 3.12. Finlandiya huş kontrplak rijitlik modülü ve elastisite modülü değerleri.

Kesit özellikleri			Ort. rijitlik modülü (N/mm ²)		Ort. elastisite modülü (N/mm ²)	
			Panel kesme	Düzlemsel kesme	Eğilme	Çekme ve basınç
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	Ort. kalınlık (mm)	$G_{v,mean}$	$G_{r,0,mean}$ ($G_{r,90,mean}$)	$E_{m,0,mean}$ ($E_{m,90,mean}$)	$E_{t/c,0,mean}$ ($E_{t/c,90,mean}$)
4	3	3.6	620	169 (-)	16471 (1029)	10694 (6806)
6.5	5	6.4	620	169 (123)	12737 (4763)	9844 (7656)
9	7	9.2	620	206 (155)	11395 (6105)	9511 (7989)
12	9	12.0	620	207 (170)	10719 (6781)	9333 (8167)
15	11	14.8	620	207 (178)	10316 (7184)	9223 (8277)
18	13	17.6	620	206 (183)	10048 (7452)	9148 (8352)
21	15	20.4	620	206 (186)	9858 (7642)	9093 (8407)
24	17	23.2	620	206 (189)	9717 (7783)	9052 (8448)
27	19	26.0	620	205 (190)	9607 (7893)	9019 (8481)
30	21	28.8	620	205 (192)	9519 (7981)	8993 (8507)
35	25	34.4	620	204 (193)	9389 (8111)	8953 (8547)
40	29	40.0	620	204 (195)	9296 (8204)	8925 (8575)
45	32	44.2	620	203 (195)	9259 (8241)	8914 (8586)
50	35	48.4	620	203 (196)	9198 (8302)	8895 (8605)

Tablo 3.13. Finlandiya kombi (parlak) kontrplak karakteristik dayanım değerleri.

Kesit özellikleri			Karakteristik dayanım (N/mm ²)				
			Eğilme	Basınç	Çekme	Panel kesme	Düzlemsel (yuvarlanma) kesme
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	Ort. kalınlık (mm)	$f_{m,0,k}$ ($f_{m,90,k}$)	$f_{c,0,k}$ ($f_{c,90,k}$)	$f_{t,0,k}$ ($f_{t,90,k}$)	$f_{v,k}$	$f_{r,0,k}$ ($f_{r,90,k}$)
6.5	5	6.4	50.8 (29.0)	24.5 (22.8)	19.1 (32.8)	7.0	3.20 (1.14)
9	7	9.2	43.9 (32.1)	22.5 (23.7)	17.5 (34.2)	7.0	2.68 (1.51)
12	9	12.0	40.0 (33.2)	21.5 (24.3)	16.7 (35.0)	7.0	2.78 (1.42)
15	11	14.8	37.5 (33.8)	20.8 (24.6)	16.2 (35.5)	7.0	2.62 (1.53)
18	13	17.6	35.8 (34.1)	20.4 (24.8)	15.8 (35.8)	7.0	2.67 (1.50)
21	15	20.4	34.5 (34.3)	20.0 (25.0)	15.6 (36.0)	7.0	2.59 (1.55)
24	17	23.2	32.9 (34.4)	19.8 (25.1)	15.4 (36.2)	7.0	2.62 (1.53)
27	19	26.0	31.2 (34.5)	19.6 (25.2)	15.3 (36.3)	7.0	2.57 (1.56)
30	21	28.8	29.9 (34.6)	19.5 (25.3)	15.1 (36.5)	7.0	2.59 (1.54)

Tablo 3.14. Finlandiya kombi (parlak) kontrplak rijitlik modülü ve elastisite modülü değerleri.

Kesit özellikleri			Ort. rijitlik modülü (N/mm ²)		Ort. elastisite modülü (N/mm ²)	
			Panel kesme	Düzlemsel kesme	Eğilme	Çekme ve basınç
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	Ort. kalınlık (mm)	$G_{v,mean}$	$G_{r,0,mean}$ ($G_{r,90,mean}$)	$E_{m,0,mean}$ ($E_{m,90,mean}$)	$E_{t/c,0,mean}$ ($E_{t/c,90,mean}$)
6.5	5	6.4	600	169 (41)	12690 (4763)	8859 (7656)
9	7	9.2	593	206 (52)	10983 (6105)	8141 (7989)
12	9	12.0	589	207 (57)	10012 (6781)	7758 (8167)
15	11	14.8	586	207 (59)	9386 (7184)	7520 (8277)
18	13	17.6	584	206 (61)	8950 (7452)	7358 (8352)
21	15	20.4	583	206 (62)	8628 (7642)	7240 (8407)
24	17	23.2	582	206 (63)	8381 (7783)	7151 (8448)
27	19	26.0	581	205 (63)	8185 (7893)	7081 (8481)
30	21	28.8	581	205 (64)	8026 (7981)	7024 (8507)

Tablo 3.15. İnce kaplamalı Finladiya kozalaklı kontrplak karakteristik dayanım değerleri.

Kesit özellikleri			Karakteristik dayanım (N/mm ²)				
			Eğilme	Basınç	Çekme	Panel kesme	Düzlemsel (yuvarlanma) kesme
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	Ort. kalınlık (mm)	$f_{m,0,k}$ ($f_{m,90,k}$)	$f_{c,0,k}$ ($f_{c,90,k}$)	$f_{t,0,k}$ ($f_{t,90,k}$)	$f_{v,k}$	$f_{r,0,k}$ ($f_{r,90,k}$)
4	3	3.6	37.6 (6.0)	22.0 (14.0)	17.1 (10.9)	7.0	1.77 (-)
6.5	5	6.4	29.1 (16.6)	20.3 (15.8)	15.8 (12.3)	7.0	2.05 (1.14)
9	7	9.2	26.0 (18.3)	19.6 (16.4)	15.2 (12.8)	7.0	1.72 (1.51)
12	9	12.0	24.5 (19.0)	19.2 (16.8)	14.9 (13.1)	7.0	1.78 (1.42)
15	11	14.8	23.6 (19.3)	19.0 (17.0)	14.8 (13.2)	7.0	1.68 (1.53)
18	13	17.6	23.0 (19.5)	18.8 (17.2)	14.6 (13.4)	7.0	1.71 (1.50)
21	15	20.4	22.5 (19.6)	18.7 (17.3)	14.5 (13.5)	7.0	1.66 (1.55)
24	17	23.2	22.2 (19.7)	18.6 (17.4)	14.5 (13.5)	7.0	1.68 (1.53)
27	19	26.0	22.0 (19.7)	18.6 (17.4)	14.4 (13.6)	7.0	1.65 (1.56)
30	21	28.8	21.8 (19.8)	18.5 (17.5)	14.4 (13.6)	7.0	1.66 (1.54)

Tablo 3.16. İnce kaplamalı Finladiya kozalaklı kontrplak rijitlik modülü ve elastisite modülü değerleri.

Kesit özellikleri			Ort. rijitlik modülü (N/mm ²)		Ort. elastisite modülü (N/mm ²)	
			Panel kesme	Düzlemsel kesme	Eğilme	Çekme ve basınç
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	Ort. kalınlık (mm)	$G_{v,mean}$	$G_{r,0,mean}$ ($G_{r,90,mean}$)	$E_{m,0,mean}$ ($E_{m,90,mean}$)	$E_{t/c,0,mean}$ ($E_{t/c,90,mean}$)
4	3	3.6	530	56 (-)	12235 (765)	7944 (5056)
6.5	5	6.4	530	66 (41)	9462 (3538)	7313 (5688)
9	7	9.2	530	69 (52)	8465 (4535)	7065 (5935)
12	9	12.0	530	69 (57)	7963 (5037)	6933 (6067)
15	11	14.8	530	69 (59)	7663 (5337)	6851 (6149)
18	13	17.6	530	69 (61)	7464 (5536)	6795 (6205)
21	15	20.4	530	69 (62)	7323 (5677)	6755 (6245)
24	17	23.2	530	69 (63)	7218 (5782)	6724 (6276)
27	19	26.0	530	68 (63)	7137 (5863)	6700 (6300)
30	21	28.8	530	68 (64)	7072 (5928)	6681 (6319)

Tablo 3.17. Kanada Douglas köknar kontrplak dayanım özellikleri ve yoğunluk değerleri.

Kesit özellikleri		Ort. yoğunluk (kg/m ³)	Karakteristik dayanım(N/mm ²)				
			Eğilme	Basınç	Çekme	Panel kesme	Düzlemsel (yuvarlan ma) kesme
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	ρ_{mean}	$f_{m,0,k}$ $f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$ $f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$ $f_{t,90,k}$	$f_{v,0,k}$	$f_{r,0,k}$ $f_{r,90,k}$
7.5	3	460	26.4 5.5	25.4 8.1	16.8 4.4	3.5	1.07 0.33
9.5	3	460	24.9 5.4	20.1 8.0	13.3 4.3	3.5	0.89 0.33
12.5	4	460	22.1 7.0	15.2 11.7	10.1 6.4	3.5	0.95 0.48
12.5	5	460	29.5 10.4	20.4 9.7	13.5 7.4	3.5	1.25 0.64
15.5	4	460	25.5 7.8	19.7 12.4	13.1 6.7	3.5	0.91 0.51
15.5	5	460	26.2 9.6	16.5 7.8	10.9 5.9	3.5	1.31 0.68
18.5	5	460	31.0 11.1	21.1 10.1	14.0 7.7	3.5	1.27 0.66
18.5	6	460	23.8 10.7	17.3 6.5	11.4 5.0	3.5	1.07 0.63
18.5	7	460	25.2 10.8	17.3 9.8	11.4 7.5	3.5	1.13 0.83
20.5	5	460	24.0 14.4	17.0 11.1	11.3 8.4	3.5	1.06 0.59
20.5	6	460	22.2 10.8	16.6 5.9	11.0 4.5	3.5	1.09 0.68
20.5	7	460	23.4 10.9	15.6 8.9	10.3 6.7	3.5	1.14 0.89
22.5	7	460	25.3 10.3	16.3 8.5	10.8 6.5	3.5	1.16 0.94
22.5	8	460	26.2 10.3	16.3 10.8	10.8 8.2	3.5	0.89 0.98
25.5	7	460	24.0 12.6	16.6 10.6	11.0 8.1	3.5	1.12 0.97
25.5	8	460	24.1 10.8	14.4 10.6	9.5 8.1	3.5	0.90 1.04
25.5	9	460	24.7 10.8	16.9 9.5	11.2 7.2	3.5	1.18 0.85
25.5	10	460	25.5 11.6	19.5 9.5	12.9 7.2	3.5	1.19 0.66
28.5	8	460	22.8 12.7	13.8 12.2	9.2 9.3	3.5	0.90 1.07

Tablo 3.17. devam ediyor

28.5	9	460	22.8 10.4	15.2 8.5	10.0 6.5	3.5	1.20 0.90
28.5	10	460	23.5 11.2	17.4 8.5	11.5 6.5	3.5	1.21 0.69
28.5	11	460	24.4 11.7	17.4 10.6	11.5 8.1	3.5	1.12 0,90
31.5	8	460	23.2 14.1	15.2 10.6	10.1 10.2	3.5	0.86 1.10
31.5	9	460	21.8 12.3	15.1 10.1	10.0 7.7	3.5	1.18 0.91
31.5	10	460	21.6 10.7	15.8 7.7	10.4 5.9	3.5	1.22 0.72
31.5	11	460	22.6 11.2	15.8 9.6	10.4 7.3	3.5	1.13 0.94
31.5	12	460	23.3 11.8	15.8 11.5	10.4 8.8	3.5	0.87 0.96

Tablo 3.18. Kanada Douglas köknar kontrplak rijitlik özellikleri.

Kesit özellikleri		Ort. rijitlik modülü (N/mm ²)	Ort. elastisite modülü (N/mm ²)	
		Panel kesme	Eğilme	Çekme ve Basınç
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	$G_{v,mean}$	$E_{m,0,mean}$ $E_{m,90,mean}$	$E_{t/c,0,mean}$ $E_{t/c,90,mean}$
7.5	3	500	12950 510	9730 3300
9.5	3	500	12290 490	7680 3250
12.5	4	500	10980 1230	5840 4780
12.5	5	500	11050 2270	7810 3960
15.5	4	500	12830 1460	7550 5050
15.5	5	500	9930 2110	6300 3190
18.5	5	500	11840 2510	8080 4120
18.5	6	500	9100 2640	6620 2670
18.5	7	500	9620 2670	6620 4010
20.5	5	500	9170 3760	6520 4520

Tablo 3.18. devam ediyor

20.5	6	500	8490 2820	6370 2410
20.5	7	500	8930 2840	5970 3620
22.5	7	500	9650 2800	6250 3480
22.5	8	500	10010 2790	6250 4390
25.5	7	500	9210 3610	6360 4320
25.5	8	500	9260 3070	5520 4320
25.5	9	500	9490 3090	6480 3880
25.5	10	500	9800 3320	7450 3880
28.5	8	500	8790 3760	5300 4990
28.5	9	500	8800 3100	5800 3470
28.5	10	500	9050 3320	6670 3470
28.5	11	500	9410 3490	6670 4340
31.5	8	500	8930 3490	5830 5490
31.5	9	500	8400 3750	5770 4120
31.5	10	500	8330 3280	6030 3140
31.5	11	500	8690 3420	6030 3920
31.5	12	500	8990 3600	6030 4710

Tablo 3.19. Kanada yumuşak ağaç kontrplak dayanım özellikleri ve yoğunluk değerleri.

Kesit özellikleri		Ort. yoğunluk (kg/m ³)	Karakteristik dayanım(N/mm ²)				
			Eğilme	Basınç	Çekme	Panel kesme	Düzlemsel (yuvarlan ma) kesme
Kalın lık (mm)	Tabaka sayısı	ρ_{mean}	$f_{m,0,k}$ $f_{m,90,k}$	$f_{c,0,k}$ $f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$ $f_{t,90,k}$	$f_{v,0,k}$	$f_{r,0,k}$ $f_{r,90,k}$
7.5	3	420	24.0 5.5	16.1 8.1	12.3 4.4	3.5	1.07 0.33
9.5	3	420	22.6 5.4	12.7 8.0	9.7 4.3	3.5	0.89 0.33
12.5	4	420	22.3 7.0	12.1 11.7	9.2 6.4	3.5	0.91 0.48
12.5	5	420	20.2 10.4	14.5 9.7	11.1 7.4	3.5	1.25 0.64
15.5	4	420	23.1 7.8	12.5 12.4	9.5 6.7	3.5	0.91 0.51
15.5	5	420	17.9 9.6	11.7 7.8	8.9 5.9	3.5	1.31 0.68
18.5	5	420	21.2 11.1	15.0 10.1	11.4 7.7	3.5	1.27 0.66
18.5	6	420	19.0 10.7	14.7 6.5	11.2 5.0	3.5	1.34 0.63
18.5	7	420	17.8 10.8	13.1 9.8	10.0 7.5	3.5	1.13 0.83
20.5	5	420	16.5 14.4	12.8 11.1	9.7 8.4	3.5	1.06 0.59
20.5	6	420	15.3 10.8	12.8 5.9	9.7 4.5	3.5	1.09 0.68
20.5	7	420	16.5 10.9	11.8 8.9	9.0 6.7	3.5	1.14 0.89
22.5	7	420	17.7 10.3	12.1 8.5	9.2 6.5	3.5	1.16 0.94
22.5	8	420	18.6 10.3	12.1 10.8	9.2 8.2	3.5	0.89 0.98
25.5	7	420	17.0 12.6	12.7 10.6	9.7 8.1	3.5	1.12 0.97
25.5	8	420	17.2 10.8	10.7 10.6	8.1 8.1	3.5	0.90 1.04
25.5	9	420	17.8 10.8	13.0 9.5	9.9 7.2	3.5	1.18 0.85
25.5	10	420	18.6 11.6	15.4 9.5	11.7 7.2	3.5	1.19 0.66
28.5	8	420	16.4 12.7	10.4 12.2	7.9 9.3	3.5	0.90 1.07

Tablo 3.19. devam ediyor

28.5	9	420	16.4 10.4	11.7 8.5	8.9 6.5	3.5	1.20 0.90
28.5	10	420	17.1 11.2	13.8 8.5	10.5 6.5	3.5	1.21 0.69
28.5	11	420	18.0 11.7	13.8 10.6	10.5 8.1	3.5	1.12 0.90
31.5	8	420	17.0 14.1	11.8 10.6	9.0 10.2	3.5	0.86 1.10
31.5	9	420	15.9 12.3	11.8 10.1	9.0 7.7	3.5	1.18 0.91
31.5	10	420	15.7 10.7	12.5 7.7	9.5 5.9	3.5	1.22 0.72
31.5	11	420	16.7 11.2	12.5 9.6	9.5 7.3	3.5	1.13 0.94

Tablo 3.20. Kanada yumuşak ağaç kontrplak rijitlik özellikleri.

Kesit özellikleri		Ort. rijitlik modülü (N/mm ²)	Ort. elastisite modülü(N/mm ²)	
		Panel kesme	Eğilme	Çekme ve Basınç
Kalınlık (mm)	Tabaka sayısı	$G_{v,mean}$	$E_{m,0,mean}$ $E_{m,90,mean}$	$E_{t/c,0,mean}$ $E_{t/c,90,mean}$
7.5	3	430	8780 510	6590 3300
9.5	3	430	8330 490	5200 3250
12.5	4	430	8320 1230	4940 4780
12.5	5	430	7510 2270	5930 3960
15.5	4	430	8690 1460	5120 5050
15.5	5	430	6740 2110	4780 3190
18.5	5	430	8040 2510	6120 4120
18.5	6	430	7210 2640	6010 2670
18.5	7	430	6740 2670	5340 4010
20.5	5	430	6260 3760	5230 4520
20.5	6	430	5820 2820	5230 2410

Tablo 3.20. devam ediyor

20.5	7	430	6260 2840	4820 3620
22.5	7	430	6720 2800	4940 3480
22.5	8	430	7080 2790	4940 4390
25.5	7	430	6500 3610	5210 4320
25.5	8	430	6550 3070	4360 4320
25.5	9	430	6780 3090	5330 3880
25.5	10	430	7090 3320	6300 3880
28.5	8	430	6280 3760	4260 4990
28.5	9	430	6290 3100	4770 3470
28.5	10	430	6540 3320	5640 3470
28.5	11	430	6900 3490	5640 4340
31.5	8	430	6490 3490	4840 5490
31.5	9	430	6080 3750	4840 4120
31.5	10	430	6010 3280	5100 3140
31.5	11	430	6380 3420	5100 3920

Tablo 3.21. Kerto-LVL için standart kesit boyutları.

Kerto - LVL tipi	Kalınlık (mm)	Genişlik veya derinlik (mm)								
		200	225	260	300	360	400	450	500	600
S/Q	27	✓	✓							
S/Q	33	✓	✓	✓						
S/Q	39	✓	✓	✓	✓					
S/Q	45	✓	✓	✓	✓	✓				
S/Q	51	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
S/Q	57	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
S/Q	63	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
S/Q	69	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
S	75	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
S	90	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Kerto-LVL, 2500 mm' ye kadar olan genişliklerde de tedarik edilebilir.

Tablo 3.22. Kerto-LVL mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.

Karakteristik değer	Sembol	Birim	Kerto-S	Kerto-Q
Dik kenarda eğilme	$f_{m,0,edge,k}$	(N/mm ²)	44	32
Boyut etkisi üssü	S	-----	0.12	0.12
Düz kenarda eğilme	$f_{m,0,flat,k}$	(N/mm ²)	50	36
Liflere paralel çekme	$f_{t,0,k}$	(N/mm ²)	35	26
Liflere dik çekme	$f_{t,90,k}$	(N/mm ²)	0.8	6
Liflere paralel basınç	$f_{c,0,k}$	(N/mm ²)	35	26
Dik kenarda liflere dik basınç	$f_{c,90,edge,k}$	(N/mm ²)	6	9
Düz kenarda liflere dik basınç	$f_{c,90,flat,k}$	(N/mm ²)	1.8	1.8
Dik kenarda kayma	$f_{v,0,edge,k}$	(N/mm ²)	4.1	4.5
Düz kenarda kayma	$f_{v,0,flat,k}$	(N/mm ²)	2.3	1.3
Liflere paralel elastisite modülü	$E_{0,k}$	(N/mm ²)	11600	8800
Dik kenarda kayma modülü	$G_{0,k}$	(N/mm ²)	400	400
Yoğunluk	ρ_k	(kg/m ³)	480	480
Liflere paralel ortalama elastisite modülü	$E_{0,mean}$	(N/mm ²)	13800	10500
Dik kenarda ortalama kayma modülü	$G_{0,mean}$	(N/mm ²)	600	600
Ortalama yoğunluk	ρ_{mean}	(kg/m ³)	510	510

Tablo 3.23. LSL mukavemet ve rijitlik özellikleri ile yoğunluk değerleri.

Karakteristik değer	Sembol	Birim	Sınıfı: 1.5E	Sınıfı: 1.7E
Dik kenarda eğilme	$f_{m,0,edge,k}$	(N/mm ²)	32.4	37.6
Düz kenarda eğilme	$f_{m,0,flat,k}$	(N/mm ²)	36.3	42.0
Liflere paralel çekme	$f_{t,0,k}$	(N/mm ²)	24.4	28.9
Liflere paralel basınç	$f_{c,0,k}$	(N/mm ²)	25.4	31.0
Dik kenarda liflere dik basınç	$f_{c,90,edge,k}$	(N/mm ²)	8.9	10.1
Düz kenarda liflere dik basınç	$f_{c,90,flat,k}$	(N/mm ²)	5.4	5.9
Dik kenarda kayma	$f_{v,0,edge,k}$	(N/mm ²)	8.6	8.6
Düz kenarda kayma	$f_{v,0,flat,k}$	(N/mm ²)	3.2	3.2
Yoğunluk	ρ_k	(kg/m ³)	420	420
Liflere paralel ortalama elastisite modülü	$E_{0,mean}$	(N/mm ²)	10300	11700
Dik kenarda ortalama kayma modülü	$G_{0,mean}$	(N/mm ²)	645	730
Ortalama yoğunluk	ρ_{mean}	(kg/m ³)	650	690

Tablo 3.24. EN 300: 1997 ile uyumlu OSB için dayanım özellikleri.

Kesit Özellikleri	Karakteristik dayanım (N/mm ²)				
	Eğilme	Basınç	Çekme	Panel kesme	Düzlemsel (yuvarlanma) kesme
Kalınlık (mm)	$f_{m,0,k}$ ($f_{m,90,k}$)	$f_{c,0,k}$ ($f_{c,90,k}$)	$f_{t,0,k}$ ($f_{t,90,k}$)	$f_{v,k}$	$f_{r,k}$
OSB / 2: kuru koşullarda kullanım için OSB / 3: nemli koşullarda kullanım için					
> 6–10	18.0 (9.0)	15.9 (2.9)	9.9 (7.2)	6.8	1.0
> 10–18	16.4 (8.2)	15.4 (12.7)	9.4 (7.0)	6.8	1.0
> 18–25	14.8 (7.4)	14.8 (12.4)	9.0 (6.8)	6.8	1.0
OSB / 4: Nemli koşullarda büyük yükler altında kullanım için					
> 6–10	24.5 (13.0)	18.1 (14.3)	11.9 (8.5)	6.9	1.1
> 10–18	23.0 (12.2)	17.6 (14.0)	11.4 (8.2)	6.9	1.1
> 18–25	21.0 (11.4)	17.0 (13.7)	10.9 (8.8)	6.9	1.1

Tablo 3.25. EN 300: 1997 ile uyumlu OSB için rijitlik özellikleri ve yoğunluk değerleri.

Kesit Özellikleri	Yoğunluk (kg/m ³)	Ort. rijitlik modülü (N/mm ²)		Ort. elastisite modülü (N/mm ²)		
		Panel kesme	Düzlemsel kesme	Eğilme	Çekme	Basınç
Kalınlık (mm)	ρ_k	$G_{v,mean}$	$G_{r,mean}$	$E_{m,0,mean}$ ($E_{m,90,mean}$)	$E_{t,0,mean}$ ($E_{t,90,mean}$)	$E_{c,0,mean}$ ($E_{c,90,mean}$)
OSB / 2: kuru koşullarda kullanım için OSB / 3: nemli koşullarda kullanım için						
> 6–10	550	1080	50	4930 (1980)	3800 (3000)	3800 (3000)
> 10–18	550	1080	50	4930 (1980)	3800 (3000)	3800 (3000)
> 18–25	550	1080	50	4930 (1980)	3800 (3000)	3800 (3000)
OSB / 4: Nemli koşullarda büyük yükler altında kullanım için						
> 6–10	550	1090	60	6780 (2680)	4300 (3200)	4300 (3200)
> 10–18	550	1090	60	6780 (2680)	4300 (3200)	4300 (3200)
> 18–25	550	1090	60	6780 (2680)	4300 (3200)	4300 (3200)

Rijitlik için %5 karakteristik değerler (yani G_k ve E_k), Tablo 3.25' te verilen ortalama değerlerin 0,85 katı olarak alınmalıdır. Bu tabloda verilmeyen diğer özellikler, OSB/2, OSB/3 veya OSB/4 sınıfları için EN 300' de verilen şartlara uygun olmalıdır.

3.6.7. Sunta ve Lifli Kompozitler

Sunta ve lifli kompozitler genellikle panel şeklinde bulunur ve konut yapımında ve mobilya imalatında yaygın olarak kullanılır. BS EN 312: 2003' te 7 tip sunta verilmiştir:

- P1 Tipi: Kuru koşullarda genel amaçlı kullanım için
- P2 Tipi: Kuru koşullarda iç cephelerde kullanım için (mobilyalar dahil)
- P3 Tipi: Nemli koşullarda taşıyıcı olmayan kısımlarda kullanım için
- P4 Tipi: Kuru koşullarda taşıyıcı kısımlarda kullanım için
- P5 Tipi: Nemli koşullarda taşıyıcı kısımlarda kullanım için
- P6 Tipi: Kuru koşullarda taşıyıcı kısımlarda kullanım için (ağır yükler varken)
- P7 Tipi: Nemli koşullarda taşıyıcı kısımlarda kullanım için (ağır yükler varken)

P1, P2 ve P3 dereceli suntalar mobilya imalatı ve mutfak tezgahı dahil genel uygulamalar içindir. P4-P7 tiplerinin, duvar, döşeme, çatı ve I kirişleri gibi taşıyıcı yapı elemanlarının tasarım ve yapımında kullanılması amaçlanmıştır. Kuru iç uygulamalar için P4 kalitesi kullanılabilir. Tablo 3.18' de minimum karakteristik değerler verilmiştir.

3.6.8. İnce Gövdeli Kirişler (I – Kirişleri)

I-kirişler, sert ahşap veya LVL' den yapılmış flanşlar ve OSB, kontrplak veya sunta levhadan yapılmış bir bağlayıcı kısımdan oluşan yapısal olarak tasarlanmış ahşap kirişlerdir. Flanşlar ve bağlayıcı kısım, I kesit elemanı oluşturmak üzere birbirine bağlanır. Flanşlar, çoğunlukla, kirişin ve bağlayıcı kısmın kesme kuvvetini ve moment kapasitesini sağlayacak şekilde tasarlanır. (Şekil 3.15)

I-kirişler hafiftir, aynı büyüklükteki sert ahşaptan daha yüksek mukavemet ve rijitliğe sahiptir. Zeminlerde, duvarlarda, düz ve eğimli çatılarda yapısal çerçeve olarak kullanılabilirler. Makas burkulmasına karşı hassastırlar ve yanal burkulmaya karşı iyi performans gösterirler. Yanal burkulmayı önlemek için basınç flanşları desteklenmelidir. Bağlayıcı kısımdaki delikler, yalnızca kayma gerilmelerinin düşük olduğu alanlarda bulunmalıdır. I-Kirişler, EC5' teki kurallara göre tasarlanabilir.

Tablo 3.26. EN 312: 2003 ile uyumlu P4 ve P5 yonga levhaları için minimum dayanım değerleri.

Kesit Özellikleri	Karakteristik dayanım (N/mm ²)				
	Eğilme	Basınç	Çekme	Panel kesme	Düzlemsel kesme
Kalınlık (mm)	$f_{m,k}$	$f_{c,k}$	$f_{t,k}$	$f_{v,k}$	$f_{r,k}$
P4: kuru koşullarda kullanım için taşıyıcı levhalar (yalnızca hizmet sınıfı 1)					
> 6–13	14.2	12.0	8.9	6.6	1.8
> 13–20	12.5	11.1	7.9	6.1	1.6
> 20–25	10.8	9.6	6.9	5.5	1.4
> 25–32	9.2	9.0	6.1	4.8	1.2
> 32–40	7.5	7.6	5.0	4.4	1.1
> 40	5.8	6.1	4.4	4.2	1.0
P5: nemli koşullarda kullanım için taşıyıcı levhalar (hizmet sınıfı 1 ve 2)					
> 6–13	15.0	12.7	9.4	7.0	1.9
> 13–20	13.3	11.8	8.5	6.5	1.7
> 20–25	11.7	10.3	7.4	5.9	1.5
> 25–32	10.0	9.8	6.6	5.2	1.3
> 32–40	8.3	8.5	5.6	4.8	1.2
> 40	7.5	7.8	5.5	4.4	1.0

Tablo 3.27. EN 312: 2003 ile uyumlu P4 ve P5 yonga levhaları için minimum rijitlik özellikleri ve yoğunluk değerleri.

Kesit Özellikleri	Yoğunluk (kg/m ³)	Ort. rijitlik modülü (N/mm ²)	Ort. elastisite modülü (N/mm ²)		
		Panel kesme	Eğilme	Çekme	Basınç
Kalınlık (mm)	ρ_k	$G_{v,mean}$	$E_{m,0,mean}$	$E_{t,0,mean}$	$E_{c,0,mean}$
OSB / 2: kuru koşullarda kullanım için					
OSB / 3: nemli koşullarda kullanım için					
> 6–13	650	860	3200	1800	1800
> 13–20	600	830	2900	1700	1700
> 20–25	550	770	2700	1600	1600
> 25–32	550	680	2400	1400	1400
> 32–40	500	600	2100	1200	1200
> 40	500	550	1800	1100	1100
OSB / 4: Nemli koşullarda büyük yükler altında kullanım için					
> 6–13	650	960	3500	2000	2000
> 13–20	600	930	3300	1900	1900
> 20–25	550	860	3000	1800	1800
> 25–32	550	750	2600	1500	1500
> 32–40	500	690	2400	1400	1400
> 40	500	660	2100	1300	1300

Rijitlik için % 5 karakteristik değerler (yani G_k ve E_k), bu Tablo 3.27.' de verilen ortalama değerlerin 0,85 katı olarak alınmalıdır. Bu tabloda verilmeyen diğer özellikler, OSB / 2, OSB3 veya OSB / 4 sınıfları için EN 300' de verilen şartlara uygun olmalıdır.

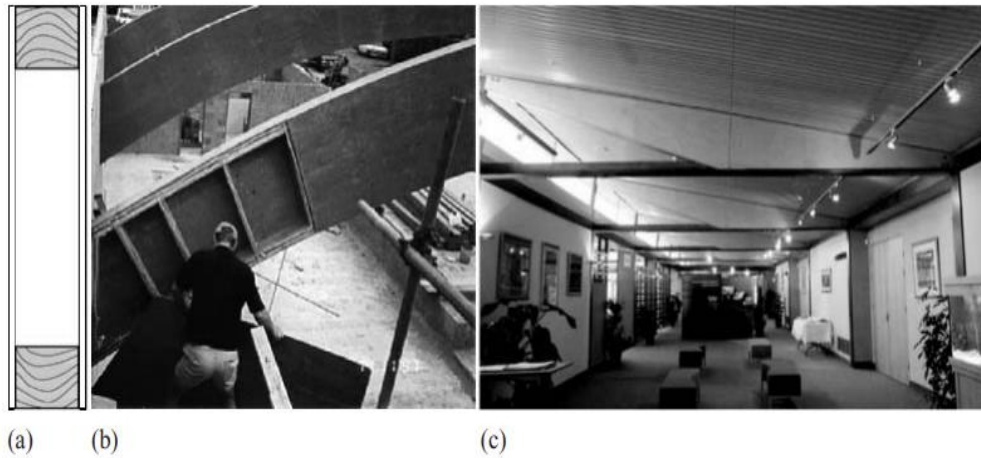


Şekil 3.3. Tipik I-kirişler ve uygulamaları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 39).

3.6.9. İnce Gövdeli Kirişler (Kutu kirişler)

Bağlayıcı kısımlar kontrplak veya OSB, flanşlar ise masif ahşap, LVL veya glulam olarak yapılır. Birleştirmede çiviler ve zimbalar kullanılır.



Şekil 3.4. Kutu kirişleri: (a) enine kesit, (b) eğimli kiriş ve (c) konik kiriş.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 40).

I-kirişlere benzer şekilde, kutu kirişlerinin flanşlarının büyük kısımları, eğilme gerilmelerinin en büyük olduğu alt ve üsttedir.

I-kirişler ve kutu kirişlerin tasarımı Bölüm 8’ de ele alınmaktadır.

3.6.10. Yapısal Yalıtımlı Paneller (SIPs)

Duvar, zemin ve çatı elemanı olarak kullanılabilen, fabrikada üretilmiş prefabrik panelleridir. Yüksek kalite, doğru yalıtım ve yüksek düzeyde yapısal destek sağlarlar. İki katman ahşap yapı panelinin arasına lamine edilmiş sert köpük yalıtım çekirdeğinden oluşurlar. Tablo 3.28.' de mevcut ahşap mühendislik ürünleri (EWP' ler) ve uygulamaları özetlenmiştir.



Şekil 3.5. SIPs uygulamaları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 42).

3.7. Asma Ahşap Zeminler

Asma bir döşeme sistemi, bölme duvarların üzerine kesintisiz bir şekilde yerleştirilmiş bir dizi kiriş içerir. Döşeme tahtası veya zemin kaplaması kirişlerin üstüne uygulanır.

Ahşap binalarda en yaygın zemin kaplaması, sunta, OSB veya kontrplak gibi bazı ahşap bazlı panel ürünleridir. Ayrıca geçmeli ve oluklu zemin tahtaları da kullanılır.

Döşemelerin üzerlerine oturduğu kirişlerin açıklığını azaltmak, merdiven boşluğu gibi boşlukların etrafını çevrelemek gibi amaçlarla yan kirişler de kullanılır. Yan kiriş yönü, ana döşeme kiriş yönünün zıttıdır.

Tablo 3.28. Mevcut mühendislik ürünü ahşap ürünler ve bunların yapısal uygulamalarının özeti.

Ürün	Kategori	Uygulama	Genel boyutlar
Glulam	Laminat (ince tabakalar)	-Kirişler, kolonlar, kafesler, köprüler, portal çerçeveler, direk ve kiriş sistemleri -Endüstriyel, ticari, sportif, konut ve kurumsal	Boyut, uzunluk veya şekil için teorik sınır yok
LVL	Laminat (ince tabakalar)	-Kirişler, kolonlar, araç zemin kaplaması, kapı ve pencere çerçevesi, kalıp sistemi, I-kirişlerin flanşları -Endüstriyel, ticari, sportif, konut ve kurumsal	Uzunluk: 24 m'ye kadar Genişlik: 19–90 mm Derinlik: 200–600 mm 2,5 m'ye kadar mevcut
Kereste	Bileşik	-Kirişler, kolonlar, kafes elemanları, başlıklar, portal çerçeveler, direk ve kiriş sistemleri -Endüstriyel, ticari, sportif, konut ve kurumsal	Uzunluk: 14,6 m'ye kadar Genişlik: 45-140 mm Derinlik: 1220 mm
Paralel şeritli kereste	Bileşik	-Kirişler, kolonlar, kafes elemanları, başlıklar, portal çerçeveler, direk ve kiriş sistemleri -Endüstriyel, ticari, sportif, konut ve kurumsal	Uzunluk: 20 m'ye kadar Genişlik: 45–275 mm Derinlik: 200–475 mm
I-kirişler	Sistem	- Zemin ve çatı kirişleri, kalıp, tavan bağları, yük taşıyan saplama duvar üniteleri, komple sistemler (kasetler) olarak mevcuttur. -Endüstriyel, ticari, sportif, konut ve kurumsal	Uzunluk: 15 m'ye kadar Genişlik: 38–97 mm Derinlik: 0,2–0,6 m
Kutu kirişler	Sistem	-Kirişler ve sütunlar -Endüstriyel ve konut binaları	Portal çerçevelerle 30-40 m açıklıklar mümkündür

3.8. Ahşabın Yapıştırılması

Son yıllarda, yapıştırıcı teknolojisinde yüksek mukavemet, sağlamlık ve dayanıklılık sağlayan önemli bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu sayede ahşap yapı elemanlarında da yapıştırma ile üretim teknikleri kullanılmaktadır.

Yapıştırıcılar ile yapılan bağlantılar daha iyi bir görünüme sahiptir. Özellikle Termoset reçineler ile oluşturulan birleşimler yangında oldukça iyi performans gösterirler. Başlıca dezavantajları, imalatlarında gerekli olan yüksek kalite kontrol seviyesidir.

Yapıştırıcılar, tip I veya II için aşağıdaki gereklilikleri karşılamalıdır:

- Tip I Yapıştırıcılar; Dış hava koşullarında 50⁰C ve üstünde sıcaklıklara dayanmalıdırlar.
- Tip II Yapıştırıcılar; Isıtmalı ve havalandırılmalı binalarda kullanılabilirler. Dış hava koşullarından korunmalıdırlar. Zira 50⁰C' nin üzerindeki sıcaklıklara uzun süre dayanamayabilirler.

Seçilen yapıştırıcıların belirtilen servis sınıfına ve ilgili bina yönetmelik kriterlerine uygun olmasını sağlamak önemlidir.

3.9. Ahşabın Korunması

Ahşap açık hava koşullarında doğal nedenlerden dolayı bozulmaya yatkın hale gelir. %20' den fazla neme sahip ahşap mantar çürümelerine karşı hassastır. Kuru hava koşullarında ise böcek saldırısına maruz kalabilir. Kimyasal koruyucular ile ahşabı mantar, zararlı böcek vb. faktörlerin zararlarından korumak mümkündür.

Tablo 3.29. Kullanım sınıfları ve olası biyolojik organizmalar.

Kullanım sınıfı	Hizmet durumunun tanımı (kereste bileşeninin yeri)	Hizmet ömrü boyunca ıslanmaya maruz kalma	Biyolojik organizmalar			
			Mantar	Böcek	Termit	Deniz delicileri
1	Yerin üstünde, kapalı (kuru)	Yok	Hayır	Evet	Mümkün	Hayır
2	Yerin üstünde, örtülü (ıslanma riski var)	Bazen	Evet	Evet	Mümkün	Hayır
3	(i) Yerin üstünde, dış cephe, korumalı	Bazen	Evet	Evet	Mümkün	Hayır
	(ii) Yerin üstünde, dış cephe, örtülmemiş	Sık sık				
4	(i) Yer, dış cephe ve / veya tatlı su ile temas halinde	Ağırlıklı olarak veya kalıcı olarak	Evet	Evet	Mümkün	Hayır
	(ii) Zemin, şiddetli dış cephe ve / veya tatlı su ile temas halinde	Kalıcı olarak				
5	Tuzlu suda	Kalıcı olarak	Evet	Evet	Mümkün	Evet

3.10. Yangın Güvenliği Ve Dayanım

Yangın güvenliği, önleme, tespit, çevreleme ve tahliye safhalarını içerir. Isı kaynağını kontrol ederek, malzemelerin yanıcılığını azaltarak veya koruyucu bariyerler sağlayarak yanıcı maddelerin tutuşması önlenmelidir. Bu işlemler, binanın ve bileşenlerinin uygun tasarım ve detaylandırılmasını, yalıtılmasını veya yapılmasını ve bakımını içerir.

Yangına dayanıklı ahşap yapı tasarımı için EN 1995-1 1 ve EN 1991-1-2: 2002 standartları ile birlikte Euro EN BS-1 1995-1-2: 2004'ün kriterleri de dikkate alınmalıdır.

4. EUROKODLAR: GENEL ÖZELLİKLER

Eurokodlar, mühendislik yapılarının Avrupa Birliği genelinde ortak standartlara göre tasarlanmasını sağlayacak bir dizi belge oluşturur.

Eurocode EN 1995, (EC5), ahşap yapılar tasarım standardıdır ve 3 bölümden oluşur:

- EN 1995-1-1 Ahşap Yapıların Tasarımı - Bölüm 1-1: Genel - Binalar için ortak kurallar
- EN 1995-1-2 Ahşap Yapıların Tasarımı - Bölüm 1-2: Genel - Yapısal yangın tasarımı
- EN 1995-2 Ahşap yapıların tasarımı - Bölüm 2: Köprüler.

Bu tezin içeriği, EN 1995-1-1' e uygun ahşap yapı tasarımıyla ilgilidir. Ahşap yapılar için yangın tasarımı EN 1995-1-2' ye uygun olarak yapılmalıdır ve bu tasarım koşulu ele alınmamıştır.

Birleşik Krallık' ta, ahşap yapı tasarımı için kullanılan standart BS 5268-2 ' dir ve emniyet gerilmeleri tasarım felsefesine dayanmaktadır. Bu yaklaşımla yapı davranışı, yük altında çalışma koşullarında değerlendirilir. EN 1995-1-1 ise, limit durumlarla ilgilenir. İkinci yaklaşım, yapının genel davranışına daha uygundur ve Eurocode tasarımı için kabul edilir.

Bu kitapta bahis konusu olan Eurocod' lar ve kısaltmaları şunlardır:

İngiliz Standartı	Kısaltma
BS EN 1990: 2002 “Eurocode - Yapısal tasarımın temeli”	EC0
BS EN 1991-1-1: 2002 “Eurocode 1 - Bölüm 1-1: Genel Eylemler – Binalar için yoğunluklar, öz ağırlıklar ve uygulanan yükler”	EC1
BS EN 1995-1-1: 2004 “Ahşap yapıların tasarımı - Bölüm 1-1: Genel - Binalar için ortak kurallar ve kurallar”	EC5

4.1. Eurocode 0: Yapısal Tasarımın Temeli (EC0)

EC0, sınır durumları tasarım yöntemini kullanır. Bu bölümde, EC5' ten de yararlanılarak, kullanılacak metodoloji değerlendirilecektir.

4.1.1. Terimler ve tanımlar (EC0, 1.5)

EC0' da kullanılan terimler şunlardır:

Aksiyon: Yapıya uygulanan bir yük veya kuvvet için kullanılan terimdir. Bu terim ayrıca uygulanan yer değiştirmeler için de kullanılır.

Eylemin etkisi: Eylemin etkisinden kaynaklanan, yapıda ortaya çıkan iç kuvvetler veya yer değiştirmeler için kullanılan terimdir.

Kalıcı eylem: Belirli bir referans periyodunda bir eylem için kullanılan terimdir. Örneğin öz ağırlık

Değişken eylem: Zamanla değişebilen bir eylem için kullanılan terimdir. Örneğin hareketli yük.

Limit durumları: Yapı için güvenli olan sınır durumlar.

Taşıma gücü sınır durumları (ULS): Göçme biçimleriyle ilişkili sınır durumlarıdır.

Kullanılabilirlik sınır durumları (SLS): Tanımlanan hizmet kriterlerinin karşılanamayacağı sınırları belirtir.

Tersinir olmayan SLS: Eylemler kaldırılrsa dahi etkilerinin devam edeceği SLS.

Tersinir SLS: Eylemlerin kaldırılmasıyla etkilerinde de yok olduğu SLS.

Kullanılabilirlik kriteri: SLS için bir tasarım gereksinimidir.

Direnç: Yapısal bir elemanın, kuvvetlere karşı taşıma kapasitesidir. Örneğin; kayma direnci, çekme direnci.

Mukavemet: Bir göçme durumunda malzemenin dayanma kapasitesidir. Örneğin; kayma dayanımı, çekme dayanımı.

Güvenilirlik: Yapının tasarım gereksinimlerini yerine getirme kabiliyetidir.

4.1.2 Temel gereksinimler (EC0, 2.1)

Yapı tasarımına ait temel ilkeler EC0' da aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Muhtemel tüm eylemler etkisinde kullanıma uygun kalma
- Yeterli yapısal dayanıma sahip olma
- Yangına dayanıklı olma
- Yüksek narinliğe sahip olmama

Yapısal sağlamlık şu şekilde elde edilecektir:

- (1) Yapının maruz kalabileceği tehlikeleri en aza indirgeyerek,
- (2) Tehlike türlerinden en az etkilenecek yapısal form seçerek,

- (3) Sadece lokal kusurlardan etkilenecek şekilde tasarım yaparak,
- (4) Gevrek yapısal sistemlerden kaçınarak,
- (5) Yapısal bütünlük sağlayarak.

4.1.3. Güvenilirlik yönetimi (EC0, 2.2)

Yüksek (CC1), orta (CC2) ve düşük (CC3) sonuç sınıfları, göçme durumunda ekonomik, sosyal veya çevresel sonuçların yanı sıra insan hayatını kaybetme sonuçlarına bağlı olarak belirlenmiştir. Ahşap yapılar için sonuç kategorisi CC2 olacaktır. CC1, CC2 ve CC3 sınıfları sırasıyla RC1, RC2 ve RC3 güvenilirlik sınıflarına bağlıdır. Her emniyet sınıfı, β emniyet endeksine sahiptir. RC2 sınıfına göre, tasarım ve kontrol farklı kişiler tarafından yapılmalıdır.

CC2 sonuç kategorisinde yer alan yapılar için güvenilirlik endekslerinin tavsiye edilen minimum değerleri, Tablo 4.1.' de verilmiştir. 50 yıllık bir referans dönemi için, önerilen güvenilirlik endeksleri, ULS' de 10^{-4} ile 10^{-5} arasında ve SLS' de 10^{-1} ile 10^{-2} arasında yapıda göçme olasılığı ile sonuçlanacaktır.

Emniyet seviyelerinin elde edilmesi, çizimler, hesaplamalar ve şartnameler için kullanılan kontrol standardına bağlı olacaktır.

Tablo 4.1. β güvenilirlik endeksi için önerilen minimum değerler.

CC2 ile ilişkili güvenilirlik sınıfı: RC2	Minimum β değeri	
	ULS	SLS (geri dönüşümsüz)
1 yıllık referans dönemi	4.7	2.9
50 yıllık referans dönemi	3.8	1.5

4.1.4. Tasarım çalışma ömrü (EC0, 2.3)

EC0'da, yapının büyük onarım gerekmeden kullanılabileceği süre *öngörülen süre* olarak tanımlanmaktadır. EC0 Tablo 4.1.' de 5 farklı çalışma ömrü vardır ve EC5' e uygun yapılar, Tablo 4.1.'in dördüncü çalışma ömrü kategorisine girer. 4. kategoriye göre yapıların çalışma ömrü 50 yıldır.

4.1.5. Dayanıklılık (EC0, 2.4)

Dayanıklılık, yapının tasarım çalışma ömrü boyunca kullanıma uygun kalma kabiliyetidir. Ahşap yapılarla ilgili EC0' da belirtilen faktörler şunlardır:

- Öngörülebilir kullanım

- Gerekli tasarım kriterleri
- Beklenen çevresel koşullar
- Malzemelerin ve ürünlerin bileşimi, özellikleri ve performansı
- Yapı sistemin seçimi
- İşçilik kalitesi ve kontrol seviyesi
- Amaçlanan bakım

4.1.6. Kalite yönetimi (EC0, 2.5)

EC0' e göre, bir kalite sistemi mevcut olmalıdır. Aksi halde tasarım EC5' e uygun olmayacaktır.

4.1.7. Sınır durum tasarım ilkeleri: Genel (EC0, 3.1)

Sınır durum, yapının tasarım kriterlerini karşılamayacağı durumdur. Sınır durumlar şunlardır:

- taşıma gücü sınır durumları – göçme biçimleriyle ilişkili
- kullanılabilir sınır durumları – normal kullanım koşullarıyla ilişkili

Tablo 4.1.' de görüldüğü gibi ULS için aşırı güvenlik koşulları varken SLS için konfor ve estetik ön plandadır.

4.1.8. Tasarım durumları (EC0, 3.2)

EC0' a göre dikkate alınması gereken 4 tasarım durumunu vardır. Bunlar:

- *Kalıcı tasarım durumları:* Normal kullanım koşullarıdır. Örneğin; öz ağırlık, rüzgar, kar vb.
- *Geçici tasarım durumları:* Geçici koşullardır. Örneğin; inşaat veya onarım.
- *Kaza sonucu tasarım durumları:* İstisnai koşullardır. Örneğin; patlama veya çarpışma.
- *Sismik:* Sismik bir olaydan kaynaklanan koşullardır.

4.1.9. Taşıma gücü sınır durumları (EC0, 3.3)

Güvenliğini ilgilendiren sınır durumlarıdır. Ahşap yapılarla ilgili taşıma gücü sınır durumları şunlardır:

- Denge kaybı
- Aşırı deformasyon
- Mekanizma bozukluğu

- Kopma
- Stabilite kaybı

4.1.10. Kullanılabilirlik sınır durumları (EC0, 3.4)

Yapının işleyişini, görünümünü ve kullanıcıların rahatlığını ilgilendiren sınır durumlarıdır. Bu durumlar, projenin başlangıcında kararlaştırılmalıdır ve geri dönüşü olabilecekler ile geri dönüşü olmayabilecekler arasında bir ayırım yapılmalıdır.

Geri dönüşü olmayan durumda, aşmaya neden olan eylemler ortadan kalktığında bile SLS ihlal edilir. Bu tür koşullar ULS’ dekiyle aynı şekilde ele alınır. Geri dönüşü olan durumda, ihlale neden olan eylemler kaldırıldığı zaman aşılma da kaldırılır.

EC0, aşağıdaki 3 SLS türünü barındıracak şekilde yapılandırılmıştır:

- (a) Fazla aşılma olmayacak.
- (b) Aşılma olaylarının sıklığı ve süresi önceden belirlenecek.
- (c) Uzun vadeli aşılma olayları kararlaştırılacak.

SLS türleriyle ilişkili eylemlerin kombinasyonları aşağıdaki gibidir:

- SLS’ ye izin verilememiş ise (yani yukarıdaki a durumu), karakteristik kombinasyonlar kullanılacak.
- Frekans ve aşılma olaylarının süresi belli ise (yani yukarıdaki b durumu), sık kullanılan kombinasyonlar kullanılacak.
- Uzun süreli aşılma olayları belli ise (yani c durumu), yarı kalıcı kombinasyonlar kullanılacak.

SLS için kullanılan kriterler aşağıdaki hususlarla ilişkilendirilmelidir:

- Görünümünü etkileyen, yapısal olmayan elemanlara zarar veren, kullanıcının rahatlığını ve yapının çalışmasını etkileyen deformasyonlar.
- Kullanıcılara rahatsızlık veren veya yapının işlevselliğini sınırlayan titreşimler.
- Görünüm, dayanıklılık veya yapının işlevselliğini olumsuz etkileyen hasarlar.

4.1.11. Sınır durum tasarımı (EC0, 3.5)

Her sınır durum için yapısal modeller oluşturulmuştur. Modellerde eylemlerin, malzeme veya ürün özelliklerinin ve geometrinin tasarım değerleri kullanıldığında, belirlenen durumların aşılmayacağını göstererek tasarım doğrulanmalıdır.

Doğrulama için olasılıklı analiz yöntemlerinin kullanılması mümkün olsa da, EC0 Bölüm 6' da belirtilen deterministik kısmi faktör yöntemi kullanım için önerilen pratik tasarım yöntemidir.

4.1.12. Eylemlerin sınıflandırılması (EC0, 4.1.1)

Eylemlerle uğraşırken aşağıdaki semboller ve terminoloji geçerlidir:

- (a) *Kalıcı eylemler (G)*: Sabit, zamanla değişmeyen veya ihmal edilebilir miktarda değişecek olan eylemlerdir. Örneğin; öz ağırlık, sabit ekipman, sabit bölümler, sünme ve rötrenin neden olduğu durumlar.
- (b) *Değişken eylemler (Q)*: Zamanla değişebilecek olan eylemlerdir. Örneğin; yükleme, rüzgar, kar ve termal yükleme.
- (c) *Kaza eylemleri (A)*: Örneğin; patlama veya darbe yükleme.

4.1.13. Eylemlerin karakteristik değerleri (EC0, 4.1.2)

Eylemler temsilci değerleri ile tanımlanır. Tasarımda kullanılan temsilci değer karakteristik değerdir.

Karakteristik değerler;

Kalıcı eylemler (G_K);

G_K , malzeme yoğunluğu kullanılarak türetilir. G_K değerleri EC1' den elde edilir.

Değişken eylemler (Q_K);

EN 1991: “Yapılardaki eylemler” standardında değişken eylemlerin karakteristik değerleri verilmiştir.

Kaza eylemleri (A_d);

Bu duruma ilişkin istatistiksel verilerin bulunmamasından dolayı, tasarım değeri olan A_d , her proje için belirlenmelidir.

4.1.14. Değişken eylemlerin diğer temsili değerleri (EC0, 4.1.3)

Değişken eylemlerin diğer temsili değerleri, 4.1.13.' te belirtilen Q_K karakteristik değerlere ek olarak belirtilir. Bunlar aşağıdaki gibidir:

Kombinasyon değeri ($\psi_0 Q_K$): ULS' nin doğrulanması ve geri dönüşü olmayan SLS' nin karakteristik kombinasyonları için kullanılır.

Sık değer ($\psi_1 Q_k$): Kaza eylemleri içeren ULS' nin ve geri dönüşümlü SLS' nin doğrulanması için kullanılır.

Yarı kalıcı değer ($\psi_2 Q_k$): ULS' deki kaza ve sismik kombinasyonlardaki değişken eylemlerin gösterilmesi ve SLS' nin sık ve uzun vadeli etkilerinin doğrulanması için kullanılır. Kısacası uzun vadeli etkilerin değerlendirilmesinde kullanılır.

ψ_0 , ψ_1 ve ψ_2 indirgeme faktörleridir. ψ_0 faktörü, birkaç bağımsız değişken eylemin en olumsuz değerlerinin aynı anda meydana gelme olasılığının azalmasını hesaba katar. Faktör ψ_1 , zamanla ilgili bir fonksiyondur ve uygulandığı değişken eylemin değeri için bir üst limit belirler. Binalar için, aşılma süresinin referans sürenin %1' i olacağı şekilde ayarlanmıştır. Faktör ψ_2 de zamanla ilgili bir fonksiyondur ve ahşap mühendisliğindeki temel rolü, yapıdaki kayma yükünü türetmek için değişken eylemleri eşdeğer kalıcı eylemlere dönüştürmektir. Binalarda kat yüklemesi için, ψ_2 değeri, aşılma süresinin referans süresinin %50' si olacak şekilde ayarlanır ve rüzgar, sıcaklık ve deniz seviyesinden 1000 m yüksekliğe kadar olan yerler için kar yüklemesi durumlarında 0 olacaktır.

ψ_0 , ψ_1 ve ψ_2 değerleri, Tablo 4.2.' de verilmektedir.

Tablo 4.2. ψ faktörü değerleri.

Değişken etki	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Binalara uygulanan yüklerin kategorisi			
- Kategori A: konut ve yerleşim alanları	0.7	0.5	0.3
- Kategori B: ofisler	0.7	0.5	0.3
- Kategori C: insanların bir araya geldiği alanlar	0.7	0.7	0.6
- Kategori H: çatılar (kar veya rüzgar yükü hariç)	0.7	0	0
Kar yükü			
- 1000 m' den düşük yerler	0.5	0.2	0
Rüzgar yükü	0.5	0.2	0

4.1.15. Malzeme ve ürün özellikleri (EC0, 4.2)

Malzeme özellikleri de karakteristik değerlerle temsil edilir.

Ahşapla için karakteristik değer 5 inci yüzde değeri veya ortalama değer olacaktır. Yüzde 5' inci değer, kuvvetle ilgili özelliklere uygulanacak ve ortalama değer genel olarak rijitlikle ilgili özellikler için kullanılacaktır. Bu kuralın istisnası, bir mukavemet özelliğinin türetilmesinde rijitlikle ilgili fonksiyonların kullanılmasıdır; örneğin, bir ahşap kirişin kritik

eğilme dayanımının değerlendirilmesi için kullanıldığında, ortalama değer yerine 5. yüzde değer kullanılır.

Bazı ahşap ürünlerin karakteristik değerleri Bölüm 3' te verilmiştir.

4.1.16. Yapısal analiz (EC0, 5.1)

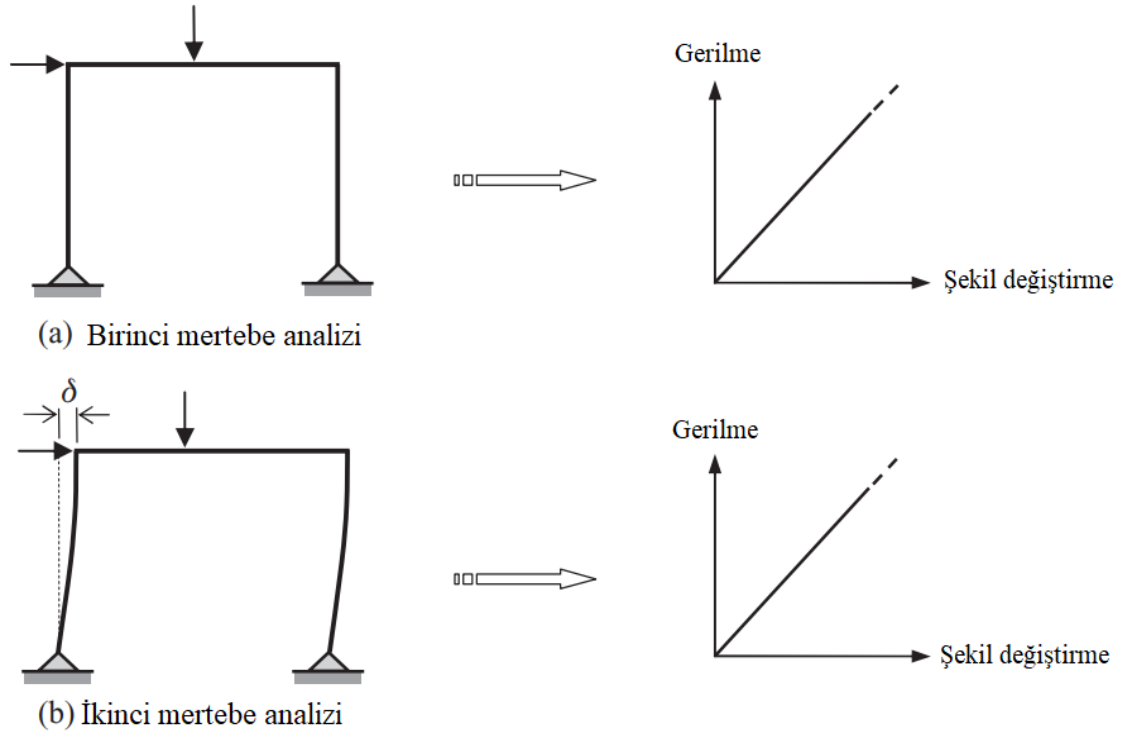
4.1.16.1. Genel

EC0' göre, yapısal modeller, dikkate alınan sınır durum için uygun ve kabul edilebilir olmalıdır. Bunun dışında, tasarımda kullanılacak yapısal analiz yöntemi ve kurulan mühendislik teorisi için özel bir kılavuz vermez. Yapı analiz edilirken, çeşitli alternatif analiz yöntemleri mümkündür ve bunlar aşağıda özetlenmiştir.

4.1.16.1.1. Lineer elastik analiz

Doğrusal gerilme/şekil değiştirme ve moment eğriliği yasalarına dayanır:

- (a) *Yeniden dağıtımsız birinci mertebe analizi:* Başlangıçta tanımlanan yapı ve elemanlarının geometrisi üzerinde, yeniden dağıtma nedeniyle herhangi bir iç kuvvet/moment ayarı yapılmadan gerçekleştirilir. Birinci dereceden lineer elastik analiz bilgisayar programlarının temelidir (Şekil 4.1a).
- (b) *Yeniden dağıtma ile birinci dereceden analiz:* Başlangıçta yapının ve elemanlarının tanımlanmış geometrisi üzerinde gerçekleştirilir, ancak iç kuvvetler ve momentler, dönme kapasitesini kontrol etmek için ayrıca hesaplama yapılmadan ayarlanır.
- (c) *İkinci mertebe analizi:* Deforme olmuş yapının geometrisi üzerinde gerçekleştirilir (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1. Birinci ve ikinci dereceden doğrusal elastik analiz.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 61).

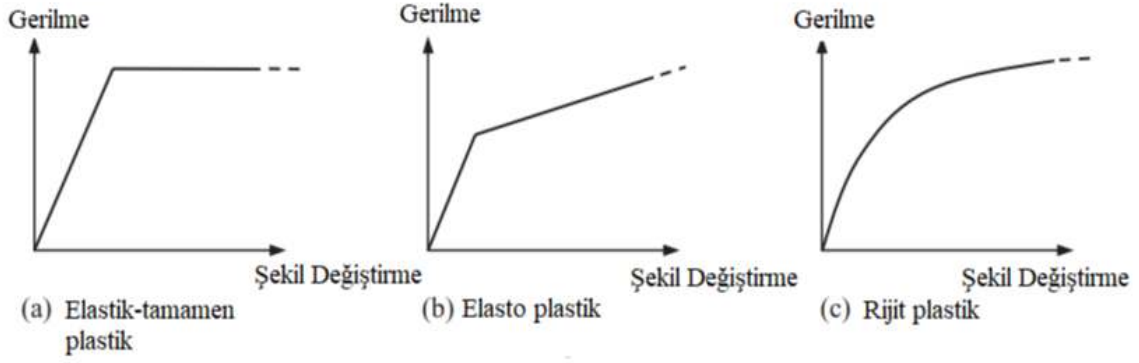
4.1.16.1.2. Doğrusal olmayan analiz

Şekil 4.2' de gösterildiği gibi doğrusal olmayan gerilme / şekil değiştirme (akma eğrisi) ilişkisine dayanır:

- (a) *Birinci dereceden analiz:* Başlangıçta tanımlanmış yapının geometrisi üzerinde gerçekleştirilir.
- (b) *İkinci mertebeli analiz:* Deforme olmuş yapının geometrisi üzerinde gerçekleştirilir.

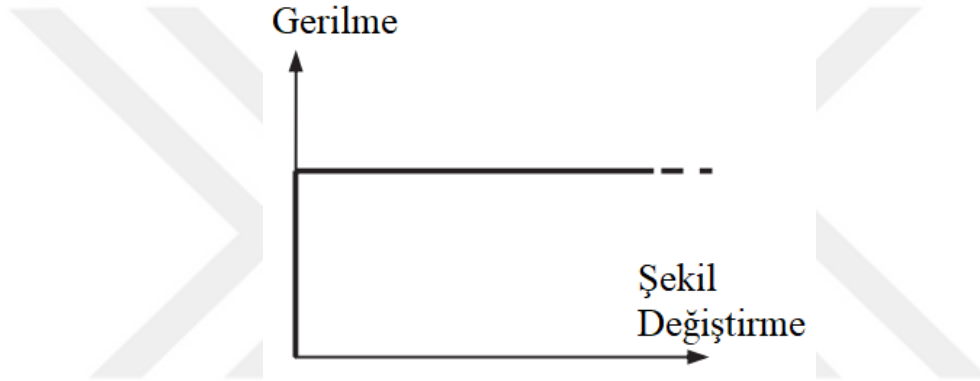
Aşağıdaki açıklamalar genellikle plastik davranışı içeren doğrusal olmayan analizlerle ilişkilidir:

- *Elastik-tamamen plastik:* Doğrusal plastik ve ardından plastik davranış (Şekil 4.2a).
- *Elasto-plastik:* Gerilme rijitliği ile plastik davranış ve bunu takiben doğrusal elastik davranış (Şekil 4.2b).
- *Rijit plastik:* Nihai yükleme değerlendirmesi için limit durum analizi kullanan saf plastik davranış (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Doğrusal olmayan analizde yaygın olarak kullanılan alternatif gerilme-şekil değiştirme ilişkileri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 61).



Şekil 4.3. Rijit plastik davranış.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 62).

4.1.16.2. Ahşap yapılar için yapısal analiz gereklilikleri

Ahşap yapılar için yapısal analiz gereklilikleri EC5, Bölüm 5' te ele alınmaktadır.

Gerilme konfigürasyonları altında ahşabın gevrek doğası nedeniyle, plastik analiz kullanılmamalıdır. EC5' e göre, yapı elemanlarındaki kuvvetler doğrusal bir elastik analiz kullanılarak belirlenmelidir. Sapmanın etkileri dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte, düzlem çerçeveler veya kemerlerde EC5, 5.4.4 gereklerine uygun olarak ikinci dereceden bir doğrusal analiz yapılmalıdır.

Ahşap bağlantılarda dönme deformasyonları ihmal edilebilir olduğunda EC5, bağlantıların rijit varsayılmasına izin verir. Aksi halde bağlantıların dönmeye karşı sabitlendikleri varsayılabilir (EC5, 5.4.2 (7)).

Metal dübel tipi bağlantı elemanları ile oluşturulmuş birleşimleri tasarlarken EC5 mukavemet denklemleri, Şekil 4.3.' te gösterildiği gibi birleşim göçmesinin, plastik teori ilkelerine uygun olacağını varsaymaktadır.

4.1.17. Kısmi faktör yöntemi ile doğrulama: Genel (EC0, 6.1)

Normal tasarımlar için, kısmi faktör tasarım yöntemi kullanılmalıdır. Bu yöntemde, bulunan kuvvetler, tasarım değerini elde etmek için kısmi faktörlerle çarpılır. E_{fd} ve genel olarak malzeme dayanımlarından türetilen dirençler, ULS ve SLS durumları için geçerli tasarım direncini R_d ' yi elde etmek için kısmi faktörlere bölünür.

$$E_{fd_{ULS}} \leq R_{d_{ULS}} \quad \text{ve} \quad E_{fd_{SLS}} \leq R_{d_{SLS}}$$

Eylemler ve malzeme özellikleri için kullanılan değerler, karakteristik veya diğer temsili değerlerdir. Kısmi faktörler için kullanılan değerler, dikkate alınan limit durumuna bağlı olarak değişir.

4.1.18. Eylemlerin tasarım değerleri (EC0, 6.3.1)

Genel olarak, bir eylemin F_d tasarım değeri şu şekilde yazılabilir:

$$F_d = \gamma_f * F_{rep} \quad (4.1)$$

ve

$$F_{rep} = \psi * F_k \quad (4.2)$$

Yukarıdaki ifadelerde;

ψ : 1 değerini alabilir. Bunun yanında ψ_0 , ψ_1 veya ψ_2 ' dir.

F_k : Karakteristik değer

F_{rep} : İlgili faaliyetlerin birleşiminde dikkate alınacak değer

$\psi = 1$ için $F_{rep} = 1 * F_k$ (karakteristik değer)

$\psi = \psi_0$ için $F_{rep} = \psi_0 * F_k$ (kombinasyon değeri)

$\psi = \psi_1$ için $F_{rep} = \psi_1 * F_k$ (sık değer)

$\psi = \psi_2$ için $F_{rep} = \psi_2 * F_k$ (yarı kalıcı değer)

4.1.19. Eylemlerin etkilerinin tasarım değerleri (EC0, 6.3.2)

Eylemlerin etkileri E_{f_d} , yapının maruz kaldığı eylemlere verdiği tepkidir. E_{f_d} , eksenel kuvvet, kesme kuvveti, moment gibi iç kuvvetleri ve deplasmanları ifade eder. Eylemlerin etkilerinin tasarım değeri, genel olarak şu şekilde yazılabilir:

$$E_{f_d} = \gamma_{Sd} E_f \{ \gamma_{f,i} F_{rep,i} ; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (4.3)$$

γ_{Sd} : Belirsizlikleri hesaba katan kısmi faktör

$\gamma_{f,i}$: Eylem değerlerinin temsili değerlerden olumsuz sapma olasılığını dikkate alan, i eyleminin kısmi bir faktörü

a_d : Geometrik verilerin tasarım değeridir

i: Temsili eylemlerin sayısı

EC5' e göre ahşap yapıların tasarımı için, γ_f ve γ_{Sd} kısmi faktörleri, sadeleştirilerek aşağıdaki denklem elde edilir:

$\gamma_F = \gamma_f * \gamma_{Sd}$ olmak üzere

$$E_{f_d} = E_f \{ \gamma_{F,i} F_{rep,i} ; a_d \} \quad i \geq 1 \quad (4.4)$$

- Kalıcı bir eylemin tasarım değeri için: $\gamma_F = \gamma_G$
- Değişken bir eylemin tasarım değeri için: $\gamma_F = \gamma_Q$

γ_G ve γ_Q değerleri sınır durumlarına göre farklılık gösterir. Bu değerler, ULS için 4.1.24.' te ve SLS için 4.1.25.' te ele alınacaktır.

4.1.20. Malzeme veya ürün özelliklerinin tasarım değerleri (EC0, 6.3.3)

Malzemenin X_d değeri, ULS ve SLS için türetilir. Ahşap tasarımda ULS değeri kullanılır.

$$X_d = \eta \frac{X_k}{\gamma_m} \quad (EC0 Denklem 6.3) \quad (4.5)$$

X_k : Dayanım karakteristik değeri

η : Hacim, nem ve sıcaklık etkilerini dikkate alan bir dönüşüm faktörünün ortalama değeri

γ_m : Malzeme kısmi faktörü

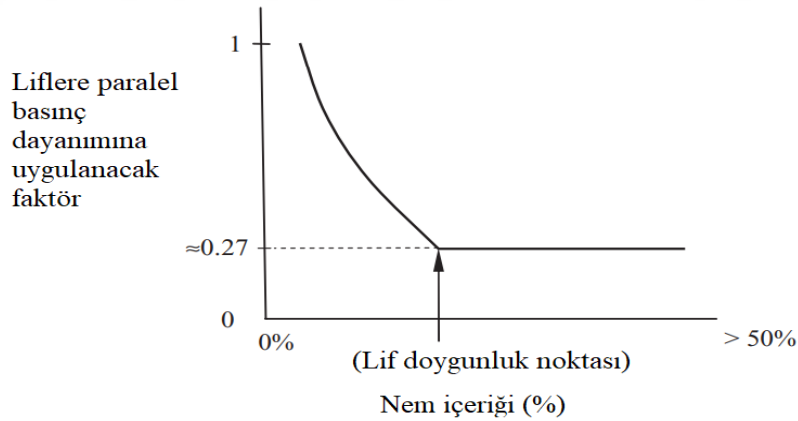
EC5' te η , yük etki sürenin ve nem içeriğindeki değişimin etkilerini kapsar ve modifikasyon faktörü olarak adlandırılıp k_{mod} şeklinde gösterilir. Ölçek ve hacim etkilerini kapsayan faktörler EC5' te ayrı değerlendirilmiştir.

4.1.20.1. Yükleme süresi sınıfları

Yapı elemanları yüklemeye maruz kaldığında, elemanların mukavemet özellikleri azalır ve yükün etkiye süresi uzadıkça, mukavemetteki azalma da artar. Tasarım için tanınmlanan yük süresi sınıfları Tablo 4.3.' te verilmiştir.

Tablo 4.3. Yük süresi sınıfları.

Sınıf	Zaman periyodu	Örnek
Kalıcı	> 10 yıl	Öz ağırlık
Uzun vadeli	6 ay – 10 ay	Depo yükleme (çatı katları dahil) Su tankları
Orta vadeli	1 hafta – 6 ay	Zemin ve kat yükleri
Kısa vadeli	< 1 hafta	Kar yükü Çatı bakımların esnasında insan ve eşya yükleri Bir kaza olayından sonra artık yapı yükleri
Ani	Ani	Rüzgar yükü Darbe yükleri Patlama



Şekil 4.4. Liflere paralel yük altında Douglas köknarına için nem içeriğinin basınç dayanımı üzerindeki etkisi.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 65).

4.1.20.2. Kullanım Sınıfları

Ahşabın mukavemeti nem içeriğinden etkilenir. Mukavemet ile nem içeriği arasındaki tipik bir ilişki, Şekil 4.4.' te köknar için gösterilmiştir. Nem muhtevası düşük olduğunda,

mukavemet özelliği maksimumda olacaktır ve nem muhtevası arttıkça mukavemet azalmakta, lif doyma noktasında minimuma ulaşmaktadır. EC5, bu etkiyi dikkate almak için çevresel koşulları kapsayan 3 hizmet sınıfına ayırmıştır. Bunlar aşağıdaki gibidir:

- (a) *Kullanım Sınıfı 1:* Ortalama nem ≤ 12 , 20 °C sıcaklık ve %65’ ten fazla bağıl nem
- (b) *Kullanım sınıfı 2:* Ortalama nem ≤ 20 , 20 °C sıcaklık ve %85’ ten fazla bağıl nem
- (c) *Kullanım sınıfı 3:* Ortalama nem > 20 , Kullanım Sınıfı 2’ den fazla sıcaklık ve bağıl nem

Tablo 4.4. k_{mod} değerleri.

Malzeme - standart	Servis sınıfı	Yük etkime süresi				
		Kalıcı	Uzun vadeli	Orta vadeli	Kısa vadeli	Ani
Masif ahşap – EN 14081-1	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
Yapıştırma lamine ahşap - EN 14080	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
Lamine kaplama ahşap (LVL) - BS EN 14374, EN 14279	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
Kontrplak – BS EN 636						
- Tip 1, 2 ve 3	1	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
- Tip 2 ve 3	2	0.60	0.70	0.80	0.90	1.10
- Tip 3	3	0.50	0.55	0.65	0.70	0.90
OSB - BS EN 300						
- OSB/2	1	0.30	0.45	0.65	0.85	1.10
- OSB/3 ve OSB/4	1	0.40	0.50	0.70	0.90	1.10
- OSB/3 ve OSB/4	2	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90

En yüksek kuvvetler kullanım sınıfı 1’ de elde edilir.

Yük sürelerine ve hizmet sınıflarına göre k_{mod} değerleri Tablo 4.4.’ te özetlenmiştir.

Ahşap, yapıştırılmış lamine ahşap ve lamine ahşap kereste (LVL) ile belirli karakteristik kuvvetler, eleman boyutundan etkilenir. Uygun boyut EC5’ de verilen referans boyuttan az ise, karakteristik dayanıklılık, k_h veya k_l faktörleri ile çarpılarak arttırılabilir. Bu faktörler Tablo 4.5.’ te belirtilmiş ve 4.2.6.’ da anlatılmıştır.

γ_m malzeme faktörü, kusurlar ve belirsizlikler dikkate alınarak γ_M ' ye yükseltilir. Kalıcı veya geçici tasarım durumlara ait eylemlerin ULS kombinasyonları için γ_M değeri ve ayrıca tesadüfi herhangi bir kombinasyon, EC5' te verilmiştir. Tesadüfi kombinasyonlar da dahil olmak üzere ULS' deki tasarım değerini elde etmek için kullanılacak değerler Tablo 4.6.' dadır.

Tablo 4.5. Eleman boyutunun mukavemet özellikleri üzerindeki etkisini hesaba katmak için EC5' te kullanılan faktörler.

Sembol	Faktörün işlevi	Etkilenen karakteristik özellik	EC5' teki ilgili öge
k_h	Derinlik, EC5' te verilen referans derinlikten küçük olduğunda, eleman derinliğinin etkisini dikkate almak için karakteristik eğilme mukavemetini ve/veya liflere paralel karakteristik çekme mukavemetini ayarlar	$f_{m,k}$	Masif ahşap, yapıştırılmış lamine ahşap, LVL
		$f_{t,0,k}$	Masif ahşap, yapıştırılmış lamine ahşap
k_l	Uzunluk, EC5' te verilen referans uzunluktan küçük olduğunda, eleman uzunluğunun etkisini hesaba katmak için LVL' nin liflere paralel karakteristik çekme mukavemetini ayarlar	$f_{t,0,k}$	LVL

Tablo 4.6. Malzeme kısmi faktörleri.

Durumlar / kombinasyonlar	γ_M
ULS (temel kombinasyonlar)	
- Masif ahşap	1.3
- Yapıştırma lamine ahşap	1.25
- LVL, kontrplak, OSB	1.2
- Sunta	1.3
- Lifli levhalar (sert, orta, MDF, yumuşak)	1.3
- Delikli metal plaka bağlantı elemanları	
# Ankraj kuvveti	1.3
# Levha (çelik) kuvveti	1.15
- Birleşimler (delikli metal plaka bağlantı elemanları hariç)	1.3
ULS (kazayla oluşan kombinasyonlar)	1.0
- Herhangi bir malzeme ve birleşim	
SLS (tüm kombinasyonlar)	1.0
- Herhangi bir malzeme ve birleşim	

Tasarım rijitlik özelliği E_d veya G_d , ortalama değerden aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$E_d = \frac{E_{ort}}{\gamma_M} \quad (4.6)$$

$$G_d = \frac{G_{ort}}{\gamma_M} \quad (4.7)$$

E_{ort} : Elastisite modülü ortalama değeri

G_{ort} : Kayma modülü ortalama değeri

(4.6) ve (4.7) denklemleri; SLS’ de, ani yükleme koşulunda birinci dereceden bir doğrusal elastik analiz yapılırken yani $\gamma_M = 1$ olduğunda veya ULS’ de ikinci dereceden bir doğrusal elastik analiz yapılırken –ki bu durumda γ_M değeri Tablo 4.6.’ dan alınacaktır– kullanılır. Diğer şartlar için kullanılacak rijitlik özelliği değeri farklı olacaktır ve ortaya çıkacak alternatif durumlar için kullanılacak değerler 4.2.4.’ te değerlendirilmiştir.

Birleşimler için, ani yükleme durumunda SLS tasarım rijitliği kayma modülü K_{ser} , EC5 Tablo 7.1’ de verilmiştir. ULS tasarım rijitliği $K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$ olacaktır. Yukarıda olduğu gibi, diğer şartlardaki bağlantı rijitliğinin değeri farklı olacaktır ve gereksinimler 4.2.4.’ te değerlendirilmiştir.

Göçme durumunda, elastisite modülünün tasarım değeri ve dayanım hesaplamalarında kullanılan kayma modülü, sırasıyla $E_{0,05}$ ve $G_{0,05}$ karakteristik değerleridir.

4.1.21. ULS’ de tasarım dayanıma uygulanan faktörler

Tasarım değeri X_d , değişiklik faktörleri uygulanarak tekrar değerlendirilir. Tablo 4.7.’ de faktörlere ait sınıflandırma verilmektedir.

Tablo 4.7. Tasarım değerlerini etkileyen EC5 modifikasyon faktörleri.

Sembol	Faktörün işlevi	Etkilenen özellik	EC5' teki ilgili öge
k_m	Kesit y-y ve z-z eksenlerine göre eğilme etkisindeyken ve elastik sınırın ötesinde gerilmeye sahipken gerilmenin yeniden dağıtılmasına izin verir. Ayrıca, kesit boyunca malzeme mukavemetindeki değişimi de hesaba katar.	$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}}$	6.1.6(2)
k_{vol}	Çift konik, kavisli veya eğimli bombeli kirişlerin tepe bölgesindeki gerilmiş hacim EC5' te belirtilen referans hacmi aştığında, yapıştırılmış lamine ahşap ve LVL için liflere dik tasarım çekme mukavemetini ayarlar.	$f_{t,90,k}$	3.3(5) 3.4(7) 6.4.3(6) 6.4.3(7)
k_{dis}	Çift konik, kavisli veya eğimli bombeli kirişlerin tepe bölgesinde yapıştırılmış lamine ahşap ve LVL için liflere dik tasarım çekme gerilme mukavemetini ayarlar.	$f_{t,90,k}$	6.4.3(6) 6.4.3(7)
k_{crit}	Eğilme için göreceli narinlik oranı 0.75' ten büyük olduğunda kuvvetli y – y eksenine göre eğilen elemanın tasarım eğilme mukavemetini azaltarak yanal burulma kararsızlığının etkisini hesaba katar.	$f_{m,y,d}$	6.3.3(3)
$k_{c,y}$ $k_{c,z}$	Eksenel basınç altında ve y-y ve z-z eksenlerinde göreceli narinlik oranları ($k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$) 0.3' ten büyük olduğunda elemanın tasarım basınç mukavemetini azaltarak eksenel kararsızlığın etkisini dikkate alır.	$f_{c,0,d}$	6.3.2
$k_{c,90}$	Göçme durumunda deformasyonda bir artış kabul ederek, ahşabın liflere dik basınç dayanımını artırır.	$f_{c,90,d}$	6.1.5
k_v	Bir çentiğin elemanın kesme mukavemeti üzerindeki etkisini dikkate alır.	$f_{v,d}$	6.5.2
k_{sys}	Birkaç benzer eleman, montaj veya bileşen eşit aralıklarla yerleştirildiğinde ve eleman ile bitişik olanlar arasında yük aktarabilen sürekli bir yük dağıtım sistemi ile bağlandığında eleman mukavemet özelliklerini artırır.	Yük paylaşım sisteminden yararlanan tüm mukavemet özellikleri	6.6

4.1.22. Geometrik verilerin tasarım değerleri (EC0, 6.3.4)

Tasarım değeri;

$$a_d = a_{nom} \quad (4.8)$$

a_d : Nominal referans boyutu

a_{nom} : Tasarımda kullanılan boyut

Ahşap tasarım değerleri, ürün standartlarından veya nominal değerlerden alınabilir.

4.1.23. Tasarım dayanımı (EC0, 6.3.5)

EC0' a uygun olarak bir direncin tasarım değeri;

$$R_d = k_{mod} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (4.9)$$

k_{mod} : Yük süresi ve nem içeriğine bağlı modifikasyon faktörü

γ_M : Malzeme kısmi faktörü

R_k : Yük taşıma kapasitesinin karakteristik değeri

Ahşap için tasarım dayanımına ait daha temsili ifade:

$$F_{Rd} = k_{mod} \frac{F_{Rk}}{\gamma_M} \quad (4.10)$$

4.1.24. Taşıma Gücü Sınır Durumları (EC0, 6.4.1-6.4.5)

Taşıma gücü sınır durumları şunlardır:

- (a) Denge (EQU): Yapının dengede olduğunu doğrulanır.
- (b) Mukavemet (STR): Yapı kuvvet altında geçmeyeceği doğrulanır.
- (c) Geoteknik (GEO): Temellerin gerekli sağlamlığa sahip olduğu doğrulanır.
- (d) Yorgunluk (FAT): Yapının yorulma altında kalmayacağı doğrulanır.

Ahşap için, (a), (b) ve (c) durumları ilgili olacaktır. Yük kombinasyonları, ilgili ULS durumlarının her birine uygulanır. Kısmi faktör yönteminin uygulanmasıyla tasarım değerinin, eşdeğer direncin tasarım değerinden küçük veya ona eşit olduğu doğrulanmalıdır. Örneğin, yapı ve elemanlarının STR dayanım kontrolü göz önüne alındığında, koşul;

$$E_f d = F_{Rd} \quad (4.11)$$

$$E_f d \leq (\Pi k) X_d \quad (4.12)$$

E_{fd} : Eylemlerin etkisinin tasarım değeri

F_{Rd} : Karşılık gelen direncin tasarım değeri

X_d : Malzeme özelliğinin tasarım değeri

Π_k : Tasarım değerini etkileyebilecek değişiklik faktörlerinin ürünüdür.

Her sınır durumu için, eylemlerin etkisinin tasarım değeri türetilmelidir. Bunun için, aynı anda gerçekleşebileceği düşünülen eylemler birleştirilir. Birden fazla değişken eylem varsa, her bir kombinasyon, sırasıyla değişken eylemlerinden birini, öncü değişken eylem kabul ederek elde edilir.

Kalıcı veya geçici tasarım durumlarının birleşimini türetmek için dikkate alınması gereken denklemi şöyledir;

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{EC0 Denklem 6.10}) \quad (4.13)$$

Aşağıdaki kombinasyon ifadelerinden elverişsiz olanı, STR ve GEO limit durumları için (4.13) denklemine alternatif olarak düşünülebilir,

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{EC0 Denklem (6.10a)}) \quad (4.14)$$

$$\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{EC0 Denklem (6.10b)}) \quad (4.15)$$

γ_G : Kalıcı yükleme için kısmi faktör

γ_Q : Değişken yükleme için kısmi faktör

ψ_0 : Değişken bir işlemi kombinasyon değerine dönüştüren faktör

ξ : Olumsuz kalıcı eylemler için azaltma faktörü

G_k : Kalıcı eylem

$Q_{k,1}$: Temel değişken eylem

Q_k : Eşlik eden değişken bir eylem

Kazara tasarım durumlarında, tek bir eylem kombinasyonu tüm sınır durumlarına uygulanır ve EC0 (6.11b) denkleminde verilir,

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + A_d + (\psi_{1,1} \text{ ya da } \psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{EC0 Denklem (6.11b)}) \quad (4.16)$$

A_d : Belirli bir tesadüfi olayın tasarım değeri. $A_d = 0$ durumunda ψ_1 ve ψ_2 , değişken eylemi sırasıyla sık ve yarı-kalıcı değere dönüştürür.

Kalıcı ve geçici tasarım durumları altında EQU ve STR tasarım değerlerini türetmek için kullanılacak γ ve ξ faktörlerinin sayısal değerleri Tablo 4.8.' de ve tesadüfi tasarım durumları altında tüm ULS için geçerli olan değerler Tablo 4.9.' da verilmiştir.

Tablo 4.8. Denge (EQU) ve kuvvet (STR) sınır durumları için etkilerin tasarım değerleri.

ULS (temel kombinasyonlar)	EC0 denklemleri	Kalıcı etkiler		Öncü değişken etki	Eşlik eden değişken etkiler	
		Elverişli	Elverişsiz		Asıl	Diğer
EQU						
(a)*	6.10	1.10G _{k,j,sup}	0.90G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli iken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli iken 0)
(b)** (i) veya (ii)	(i) 6.10	1.35G _{k,j,sup}	1.15G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli iken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli iken 0)
	(ii) 6.10	1.0G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli iken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli iken 0)
STR (jeoteknik etkiler hariç) ***						
(c)	(i) 6.10	1.35G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1} (Elverişli iken 0)	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i} (Elverişli iken 0)
(d)	(ii) 6.10a	1.35G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	----- -----	1.5ψ _{0,1} Q _{k,1}	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i}
	(iii) 6.10.b	0.925 * 1.35G _{k,j,sup}	1.0G _{k,j,inf}	1.5Q _{k,1}	----- ----- -----	1.5ψ _{0,i} Q _{k,i}

* Değerler, bir yapının veya elemanın statik dengesi, yapısal elemanların direncini de içermediğinde geçerlidir. Statik denge yapısal elemanları içeriyorsa, yapısal elemanların bütünlüğünü değerlendirmek için STR (c) (i) tasarım değerleri, EQU (a)' ya ek olarak dikkate alınmalıdır.

** Statik dengenin yapısal elemanların direncini içerdiği durumlarda, yukarıdaki notta belirtilen seçeneğe alternatif olarak, EQU (b) (i) ve EQU (b) (ii) kombinasyonlarından elde edilen maksimum tasarım değerine dayanan birleşik bir doğrulama kabul edilmelidir.

*** STR limit durumunda, tasarımcıya STR (c) (i) veya STR (d) (ii) ve STR (d) (iii)' den daha az elverişli olan tasarım değerlerini kullanma seçeneği verilir. Kitapta verilen örnekler STR (c) (i)' ye dayanmaktadır. || G_k küçük ise, $G_{k,j,sup}$ ve $G_{k,j,inf}$ ortalama yoğunluk değerine bağlı olarak tek bir değer olan $G_{k,j}$ ile değiştirilecektir.

Tablo 4.9. Kazara kombinasyonlar için etkilerin tasarım değerleri.

ULS (kazara etki kombinas yonu altında)	EC0 denklemleri	Kalıcı etkiler		Öncü değişken etki	Eşlik eden değişken etkiler	
		Elverişli	Elverişsiz		Asıl	Diğer
Herhangi bir ULS	6.11a/b	$1.0G_{k,j,sup}$	$1.0G_{k,j,inf}$	A_d	$1.0\psi_{1,1}Q_{k,1}$	$1.0\psi_{2,i}Q_{k,i}$

|| G_k küçük ise, $G_{k,j,sup}$ ve $G_{k,j,inf}$ ortalama yoğunluk değerine bağlı olarak tek bir değer olan $G_{k,j}$ ile değiştirilecektir.

STR sınır durumu için, kalıcı ve geçici eylemler söz konusu iken alternatif eylem kombinasyonları kullanılabilir. Gulvanessian ve Holicky (2005) tarafından yapılan çalışmaya göre, EC5 (6.10) denkleminin kullanılması, en güvenli çözümü verecektir.

En büyük tasarım etkisini oluşturan yük durumunu belirlemek için her değişken, yük kombinasyon denklemlerinde ana değişken olarak değerlendirilir. Ayrıca, değişken yüklerin olmadığı durumlarda, olası tüm kombinasyonların dikkate alınması gerekir. Örneğin; öz ağırlık $G_{k,1}$, kalıcı yük $G_{k,2}$, orta vadeli değişken yük $Q_{k,1}$ ve kısa vadeli değişken yük $Q_{k,2}$ ile yüklenmiş basit destekli kiriş için STR sınır durumu dikkate alınsın. EC5 (6.10), denklemini seçerek alternatif yükleme koşulları E_f olmak üzere;

$$1.35(G_{k1}+G_{k2}) \rightarrow E_{f1} \quad (4.17)$$

$$1.35(G_{k1}+G_{k2}) + 1.5Q_{k1} \rightarrow E_{f2} \quad (4.18)$$

$$1.35(G_{k1}+G_{k2}) + 1.5Q_{k2} \rightarrow E_{f3} \quad (4.19)$$

$$1.35(G_{k1}+G_{k2}) + 1.5Q_{k1} + 1.5\psi_{0,2}Q_{k2} \rightarrow E_{f4} \quad (4.20)$$

$$1.35(G_{k1}+G_{k2}) + 1.5Q_{k2} + 1.5\psi_{0,1}Q_{k1} \rightarrow E_{f5} \quad (4.21)$$

Yük kombinasyonu farklı yük süresi sınıflarına ait eylemlerden oluşuyorsa, yük süresinin ahşap üzerindeki etkisi, k_{mod} modifikasyon faktörü kullanılarak dikkate alınmalıdır. Dayanım özellikleri düşünüldüğünde, kalıcı ve değişken eylemlerin kombinasyonlarının etkileri, sadece kalıcı eylemin etkisine göre daha az olumsuz sonuçlara yol açar. Kalıcı ve birkaç değişken eylemin kombinasyonu dikkate alındığında tasarım koşulu, en kısa süreli değişken eylem tarafından belirlenir. Buna göre, birleşik yük durumunda, en kısa süreli eyleme ait modifikasyon faktörü, dikkate alınan mukavemet özelliğine uygulanır. Etkiler ile

tepkiler arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu durumlarda tasarım koşulu, ilgili k_{mod} faktörü ile bölünmeden sonra en büyük değere sahip olacaktır.

$$E_{fd} = \max \begin{pmatrix} E_{f1}/k_{mod,perm} \\ E_{f2}/k_{mod,med} \\ E_{f3}/k_{mod,short} \\ E_{f4}/k_{mod,short} \\ E_{f5}/k_{mod,short} \end{pmatrix} \quad (4.22)$$

4.1.25. Kullanılabilirlik sınır durumu(SLS): Genel (EC0, 6.5)

Ahşap yapılarda SLS için aşağıdaki durumları dikkate alınacaktır:

- Titreşim
- Deformasyon

Bu durumların her biri için:

$$E_{fd} \leq C_d \quad (\text{EC0 Denklem (6.13)}) \quad (4.23)$$

şartı sağlanmalıdır.

E_{fd} : Eylem etkilerinin tasarım değeri

C_d : İlgili kritere ait sınır değer

SLS' de $\gamma_G = \gamma_Q = 1$ olarak belirlenmiştir ve bu durumlar için kullanılan özel yükleme koşulları, aşağıda özetlenmiştir.

4.1.25.1. Titreşim

EC5 titreşim kriterleri, konut zeminlerinin titreşim davranışı ile sınırlıdır. SLS tasarım yükleme koşulları aşağıdaki gibidir:

- Döşeme kütlesi - Döşeme yapısının en düşük doğal frekansını belirlemek için kullanılır.
- Maksimum düşey sapmaya neden olacak noktaya 1 kN düşey kuvvet uygulanması maksimum ani düşey sapmayı belirlemek için kullanılır.
- (b) maddesinde belirtilen maksimum ani düşey sapma noktasına 1Ns darbe uygulanması düşey zemin titreşim hızının maksimum başlangıç değerini belirlemek için kullanılır.

4.1.25.2. Sapma

SLS' de yer değiştirmenin tasarım değerini veren sapma durumlarıyla ilişkili eylemlerin kombinasyonları EC0' da aşağıdaki başlıklar altında verilmiştir:

- Karakteristik kombinasyon
- Sık görülen kombinasyonu
- Yarı kalıcı bir kombinasyon

(a) Karakteristik kombinasyon:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (\text{EC0 Denklem(6.14b)}) \quad (4.24)$$

Bu kombinasyon kalıcı sınır durumları için kullanılır. (2.13) denkleminde $\gamma_G = \gamma_Q = 1$ olduğunda, (4.24) denklemi ile (4.13) denklemi eşitlenmiş olur.

(b) Sık görülen kombinasyon:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{EC0 Denklem(6.15b)}) \quad (4.25)$$

Bu kombinasyon tersinir sınır durumları için kullanılır (yani aşılmaya neden olan eylem kaldırıldığı zaman bir durum ihlali ortadan kalktığında).

(c) Yarı kalıcı kombinasyon:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (\text{EC0 Denklem(6.16b)}) \quad (4.26)$$

Uzun vadeli kayma etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılır.

Tasarım değerini belirlemek için, karakteristik kombinasyon, maksimum yükleme koşulunun elde edileceği, öncü değişken eylemle birlikte uygulanır. Deformasyon kriterleri için geri dönüşümlü bir limit durumu kabul edilmişse karakteristik kombinasyon yerine sık kombinasyon kullanılır.

Tasarım yükleme durumunun uygulanmasından kaynaklanan tasarım yer değiştirmesi Ef_d , ani bir deformasyon olacaktır. Yani, yapının elastik deformasyonu ve yapıdaki düğüm noktası deformasyonu nedeniyle hemen ortaya çıkacak olan yer değiştirmedir.

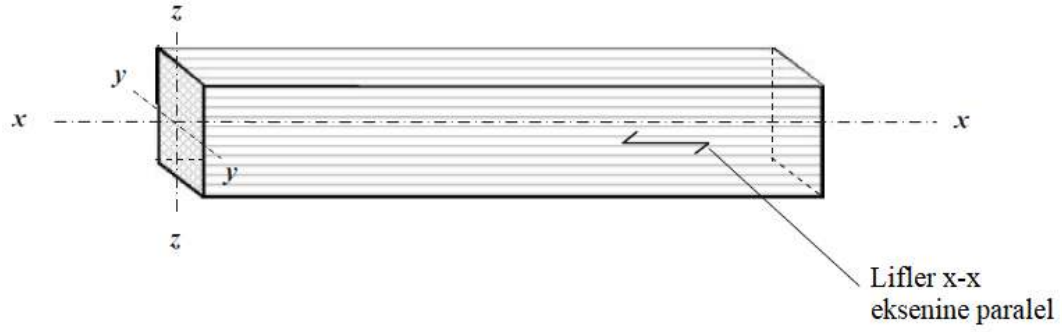
Yapıdaki tüm bileşenler ve bağlantılar aynı kayma davranışına sahip olduğunda yer değiştirmeler arasında doğrusal bir ilişki olduğu varsayımı ile sadece kaymadan kaynaklı yer değiştirmeyi elde etmek için yarı kalıcı yük kombinasyonu kullanılır.

Son deformasyon, ani ve kayma yer değiştirmesinin birleştirilmesiyle elde edilir.

4.2. Eurocode 5: Ahşap Yapıların Tasarımı - Bölüm 1-1: Genel Kurallar Ve Binalar İçin Kurallar

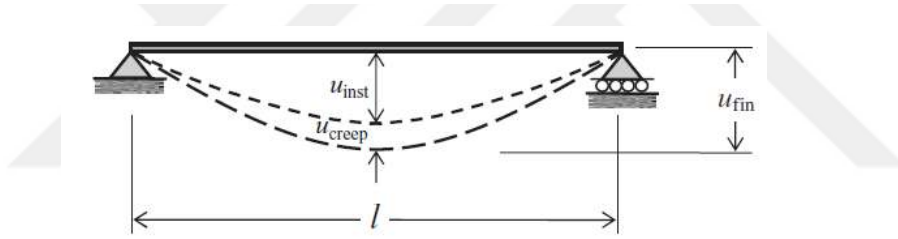
4.2.1. Genel Konular

Eurokodlarda, boyuna eksen x-x eksenidir, y-y ve z-z eksenleri ise kesitin büyük ve küçük eksenleridir.



Şekil 4.5. Eleman eksenleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 76).



Şekil 4.6. Deformasyon.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 77).

4.2.2. Kullanılabilirlik sınır durumları (EC5, 2.2.3)

EC5' te deformasyonu iki aşamada ele alınır:

- Yüklemeye hemen uygulandığında oluşan ani deformasyon: u_{inst}
- Zamana bağlı yer değiştirmelerin (sünme deformasyonu, u_{creep}) gerçekleşmesinden sonra oluşan nihai (son) deformasyon: u_{fin}

Basit mesnetli kiriş için deformasyonlar Şekil 4.6.' da gösterilmiştir.

Deformasyon yapının sünme davranışına bağlı olarak 2 farklı şekilde hesaplanır:

- Aynı sünme davranışına sahip elemanları ve birleşimleri içeren yapılar: Yapı kullanım

ömrü boyunca kalıcı bir yüke maruz kaldığında, ani sapma (u_{inst}) ve sünme sapması (u_{creep}) şöyledir,

$$u_{creep} = k_{def} * u_{inst} \quad (4.27)$$

Yukarıdaki koşullara uyan yapılar veya elemanlar için nihai (son) deformasyon u_{fin} , şöyle yazılabilir.

$$u_{fin} = u_{inst} + u_{creep} = u_{inst} * (1 + k_{def}) \quad (4.28)$$

Tablo 4.10. Servis sınıfı 1, 2 veya 3 için k_{def} değerleri.

Malzeme - standart	k_{def} değeri		
	Servis sınıfı 1	Servis sınıfı 2	Servis sınıfı 3
Masif ahşap - EN 14081-1	0.60	0.80	2.00
Yapıştırma lamine ahşap - EN 14080	0.60	0.80	2.00
LVL - EN 14374, EN 14279	0.60	0.80	2.00
Kontrplak			
• Tip 1: EN 636-1	0.80	-----	-----
• Tip 2: EN 636-2	0.80	1.00	-----
• Tip 3: EN 636-3	0.80	1.00	2.50
OSB			
• OSB/2 - EN 300	2.25	-----	-----
• OSB/3 ve OSB/4 - EN 300	1.50	2.25	-----

Eylem kalıcı olmadığında, sünme etkisini elde etmek için, eşdeğer kalıcı eyleme dönüştürülmelidir. Bunun için yarı kalıcı değer kullanılır.

EC5, ani deformasyon için karakteristik etki kombinasyonunu ve sünme deformasyonunu için yarı kalıcı yük kombinasyonunu kullanır. Ekonomik bir tasarım için, yer değiştirme hesabında karakteristik kombinasyon yerine (4.25) denkleminde verilen sık kombinasyon kullanılmalıdır.

Tersinir olmayan SLS koşullarının geçerli olacağı varsayılarak, kalıcı ve değişken yükleme altındaki son deformasyon aşağıdaki gibi olacaktır:

(i) G, kalıcı etkiler için:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} + u_{creep,G} = u_{inst,G} * (1 + k_{def}) \quad (EC5, denklem (2.3)) \quad (4.29)$$

(ii) Ana değişken etki Q_1 için:

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} + u_{creep,Q,1} = u_{inst,Q,1} * (1 + \psi_2 * k_{def}) \quad (EC5, denklem (2.4)) \quad (4.30)$$

(iii) Q_i değişken etkiler için:

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} + u_{creep,Q,i} = u_{inst,Q,i} * (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} * k_{def}) \quad (EC5, \text{ denklemler (2.5)}) \quad (4.31)$$

(iv) n değişken etkiler için son koşul:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + \sum_{i=1}^2 u_{fin,Q,i} \quad (EC5, \text{ denklemler (2.2)}) \quad (4.32)$$

- (b) Farklı sünme davranışına sahip elemanları ve birleşimleri içeren yapılar: Bu durumda, sünme davranışı, rijitlik ve gerilme dağılımını etkileyecektir. Ani deformasyon 4.2.2.(a)'daki gibi hesaplanır, ancak sünme deformasyonu yalnızca ani yükleme koşulunda (yani yarı kalıcı yük kombinasyonu kullanılmaz) azaltılmış rijitlik özellikleri kullanılarak elde edilir. Azaltılmış rijitlik özellikleri 4.2.4.1.(c)'de verilmiştir.

Yukarıdaki koşullardaki yapılar için, son deformasyon;

$$u_{fin} = u_{(inst+creep)}$$

$u_{(inst+creep)}$: Ani yükleme koşulunda, azaltılmış rijitlik özelliklerine bağlı olarak doğrusal elastik analizden türetilen deformasyondur.

Yukarıdaki (a) ve (b) durumlarının her ikisinde de, kullanılan ahşabın yük altında kuruması muhtemelse, k_{def} değeri 1 artırılmalıdır.

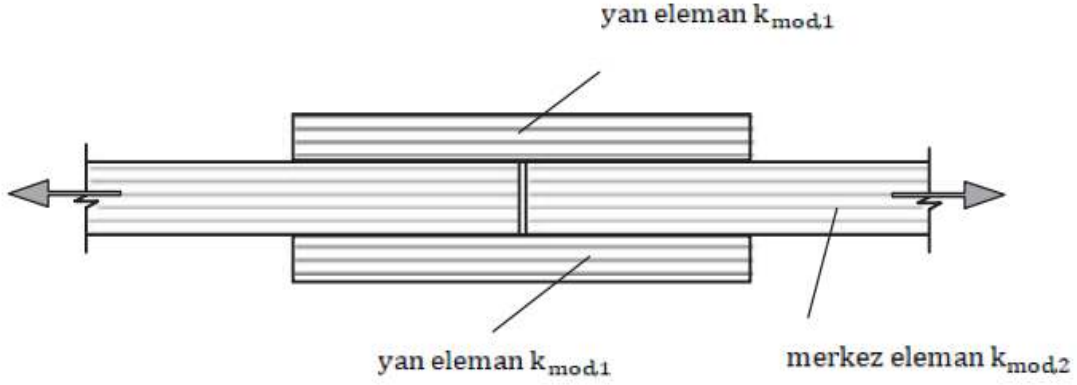
Bir birleşimde aynı sürünme davranışına sahip elemanlar varsa, k_{def} değeri Tablo 4.10.'da verilen değer 2 katı olarak alınmalıdır. Eğer birleşimde farklı sünme davranışına sahip 2 ahşap eleman varsa $k_{def} = 2\sqrt{k_{def,1} * k_{def,2}}$ değeri kullanılmalıdır.

4.2.3. Yük süresi ve dayanımdaki nem etkisi (EC5, 2.3.2.1)

Yüklenme süresi ve nem içeriğinin etkisine bağlı olarak dayanım özelliklerinin ayarlanması için değişiklik faktörü k_{mod} kullanılır.

Birleşimde farklı zamana bağlı davranışa sahip olan 2 eleman varsa, kullanılacak modifikasyon faktörü:

$$k_{mod} = \sqrt{k_{mod,1} * k_{mod,2}} \quad (EC5, \text{ denklemler (2.6)}) \quad (4.33)$$



Şekil 4.7. Zamana bağlı davranışı farklı 2 ahşap eleman içeren bir bağlantı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 80).

4.2.4. Yükleme süresi ve deformasyonlara nem etkisi (EC5, 2.3.2.2)

4.2.4.1. SLS analizleri

SLS’ de, ani ve nihai yer değiştirme koşullarında analizler yapılmalıdır. Yapının farklı bağlı özellikleri farklı elemanlardan veya birleşimlerden oluşması halinde rijitlik özellikleri dikkate alınmalıdır:

- Ani durumda, analiz, karakteristik veya sık eylem kombinasyonunun uygulanıp uygulanmayacağına bağlı olarak (4.24) veya (4.25) denklemi kullanılarak yapılır. Rijitlik özellikleri için uygun elastisite modülü, kayma modülü ve ortalama kayma modülünün kullanılması gerekir.
- Doğrusal elastik davranış altında aynı sünme davranışına sahip olan elemanlar ve birleşimlerden oluşan yapının nihai deformasyon durumundaki analiz için tasarım değeri, eylemlerin toplamı olacaktır. Yani, (a)’ da belirtilen ani durum analizine ilave olarak (4.26) denklemi ile elde edilen yarı kalıcı kombinasyon eklenir. Bu durumda, sünme davranışı gerilme davranışını etkilemeyecektir ve sonuç olarak rijitlik özellikleri ani durum analizi için kullanılanlarla aynı olacaktır.
- Yapı, farklı sürünme davranışına sahip elemanlar ve birleşimlerden oluşuyorsa, yer değiştirme davranışını farklı olacaktır. Bu durumda, son deformasyon analizi için kullanılan yükleme (a) ile aynı olacak ve sünmenin yer değiştirme davranışı üzerindeki etkisi, yapısal elemanlar için azaltılmış rijitlik özellikleri kullanılarak elde edilecektir. Aşağıdaki denklemlerde verildiği gibi, elastisite modülü, kayma modülü ve kayma modülünün ortalama değeri kullanılarak azaltılmış rijitlik özelliklerinin elde edilmesi gerekmektedir.

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad (\text{EC5 Denklem (2.7)}) \quad (4.34)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad (\text{EC5 Denklem (2.8)}) \quad (4.35)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad (\text{EC5 Denklem (2.9)}) \quad (4.36)$$

$E_{\text{mean,fin}}$: Elastisite modülünün son ortalama değeri

E_{mean} : Elastisite modülü ortalama değeri

$G_{\text{mean,fin}}$: Kayma modülü nihai ortalama değeri

G_{mean} : Kayma modülü ortalama değeri

$K_{\text{ser,fin}}$: Nihai (son) kayma modülü

K_{ser} : Kayma modülü

k_{def} : Deformasyon faktörü

Analizde kullanılan rijitlik özelliklerinin tasarım değerleri;

$$E_{\text{d,SLS}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})}, G_{\text{d,SLS}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+k_{\text{def}})}, K_{\text{d,SLS}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+k_{\text{def}})} \quad (4.37)$$

$E_{\text{d,SLS}}$: SLS için elastisite modülünün son ortalama değerinin tasarım değeri

$G_{\text{d,SLS}}$: SLS için kayma modülünün son ortalama değerinin tasarım değeri

$K_{\text{d,SLS}}$: SLS için son kayma modülünün tasarım değeridir.

4.2.4.2. ULS analizleri

ULS' de, mukavemet ve stabilite davranışını doğrulamak için analizler yapılır ve kullanılacak yükleme, 4.2.24.' te belirtilen işlem kombinasyonlarından seçilen en büyük tasarım efektini üretecek olacaktır:

- Birinci dereceden doğrusal elastik analiz gerçekleştirildiğinde ve yapı içindeki rijitlik dağılımı, gerilme dağılımını etkilemediğinde, uygun elastisite modülü, kayma modülü ve kayma modülünün ortalama değerleri, rijitlik özelliklerinin türetilmesi için kullanılacaktır. Bu koşul, tüm elemanların aynı zamana bağlı özelliklere sahip olduğu ve ilgili rijitlik özelliklerinin E_{mean} , G_{mean} , K_{ser} olacağı durumlarda geçerli olacaktır.
- Birinci dereceden doğrusal elastik analizi yapılırken rijitlik dağılımı, gerilme dağılımını etkilediğinde, ani durum için, (a)' da verilen rijitlikle ilgili özellikler yine geçerli olacaktır. Bu durum, yapının farklı zamana bağlı elemanlar ve birleşimlerden oluştuğu

durumda geçerlidir. Nihai durum için, özellikler, uygun esneklik modülü, kayma modülü ve kayma modülünün son ortalama değeri kullanılarak türetilmelidir. Nihai ortalama değerler, mukavemete göre en büyük gerilmeyi veren yük bileşenine göre ayarlanır ve aşağıdaki gibidir:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+\psi_2*k_{\text{def}})} \quad (\text{EC5 Denklem (2.10)}) \quad (4.38)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+\psi_2*k_{\text{def}})} \quad (\text{EC5 Denklem (2.11)}) \quad (4.39)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+\psi_2*k_{\text{def}})} \quad (\text{EC5 Denklem (2.12)}) \quad (4.40)$$

ψ_2 : Yarı kalıcı değer faktörüdür. Kalıcı eylem durumunda 1 değeri kullanılmalıdır. Değerin belirlenmesi karmaşık ise 1 değeri kullanılarak emniyetli tarafta kalınır.

(c) ikinci dereceden doğrusal elastik analizde, rijitlikle ilgili özellikler, uygun elastisite modülü ve kayma modülü tasarım değerleri kullanılarak türetilmelidir. Birleşimlerin kayma modülü için kullanılan değer K_u olacaktır.

Rijitlik ile ilgili özelliklerin yukarıdaki şartlara göre türetilmesinden sonra, ULS analizinde kullanılan tasarım değeri,

(a) durumu için;

$$E_{d,ULS}=E_{\text{mean}} , G_{d,ULS}=G_{\text{mean}} , K_{d,ULS}=K_{\text{ser}} \quad (4.41)$$

(b) durumu için;

$$E_{d,ULS} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1+\psi_2*k_{\text{def}})}, G_{d,ULS} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1+\psi_2*k_{\text{def}})}, K_{d,ULS} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1+\psi_2*k_{\text{def}})} \quad (4.42)$$

(c) durumu için;

$$E_{d,ULS} = \frac{E_{\text{mean}}}{(\gamma_M)}, G_{d,ULS} = \frac{G_{\text{mean}}}{(\gamma_M)}, K_{d,ULS} = K_u \quad (4.43)$$

$E_{d,ULS}$: ULS' de elastisite modülünün tasarım değeri

$G_{d,ULS}$: ULS' de kayma modülünün tasarım değeri

$K_{d,ULS}$: ULS' de kayma modülünün tasarım değeri

γ_M : Malzeme veya birleşim için kısmi faktör

4.2.5. Gerilme-şekil değiştirme ilişkileri (EC5, 3.1.2)

Göçme durumuna kadar yükleme altında ahşap malzemenin gerilme-şekil değiştirme davranışı genel olarak doğrusal olmasa da, karakteristik dayanımların hesabında, doğrusal ilişki olduğu varsayılır. Sonuç olarak, kesitteki tasarım gerilme hesaplanırken (eğilme gerilmesi, aksenal gerilme, kayma gerilmesi gibi) elastik davranışların göçme durumuna kadar uygulanacağı varsayılmalıdır. EC5' göre, dayanımı arttırmak için plastik davranışın dikkate alınacaksa, dayanım doğrulama kurallarına göz önünde bulundurulmalıdır.

4.2.6. Boyut ve gerilme dağılımı etkileri (EC5,3.2,3.3,3.4 ve6.4.3)

Ahşabın homojen olmayan yapısı ve kesit boyunca doğal kusurlardan kaynaklı dayanımda değişkenlikleri de beraberinde getirir. Boyut etkileri, doğal kusurlar, gerilme dağılımları ve yükleme konfigürasyonları gibi etkenlere ait geliştirilen faktörlerin etkisi ve tasarım sürecinde nasıl bir araya gelmeleri gerektiği konusunda tam bir netlik yoktur.

Ahşap kırılğan bir malzeme olduğundan, araştırmalarda kullanılan en yaygın teorik yaklaşım, Weibull dağılımını kullanarak en zayıf halka teorisinin uygulanmasına dayanmaktadır. Bu durumda, en zayıf hacmin dayanımı belirleyici olur. V_1 ve V_2 hacimli iki eleman için:

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/k} \quad (4.44)$$

k: Weibull dağılımının şekil faktörüdür.

Eğilme gerilmeleri için, (4.44) denklemi, kullanılan yükleme konfigürasyonundan kaynaklı eleman uzunluğu boyunca değişen gerilme dağılımı etkisini hesaba katacak şekilde daha da değiştirilmelidir. Ancak, bu etki EC5' te yer almamıştır.

$V_1 = b_1 * h_1 * L_1$ ve $V_2 = b_2 * h_2 * L_2$ olmak üzere;

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^{1/k_b} * \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{1/k_h} * \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{1/k_L}$$

$1/k_b$, $1/k_h$ ve $1/k_L$: Boyut faktörleri

Genişlik etkisi genellikle göz ardı edilir. Derinlik ve uzunluk üstleri tek bir faktörde birleştirilirse;

$$\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{1/k_{hL}}$$

Weibull teorisi, hacim etkilerinin yanı sıra yükleme konfigürasyonlarını araştırmak için de kullanılmıştır. İlgili üstel değerler için kullanılacak değerler konusunda tam netlik yoktur. Bu gibi durumlarda, EC5 basitleştirilmiş bir yaklaşım benimsemiştir.

Betonarme ve çelik tasarımın aksine ahşap tasarımında aynı mukavemet sınıfına sahip elemanlar kullanılsa dahi kusurlardan kaynaklı farklı karakteristik mukavemet değerlerine sahip farklı boyutlarda elemanlar ortaya çıkar.

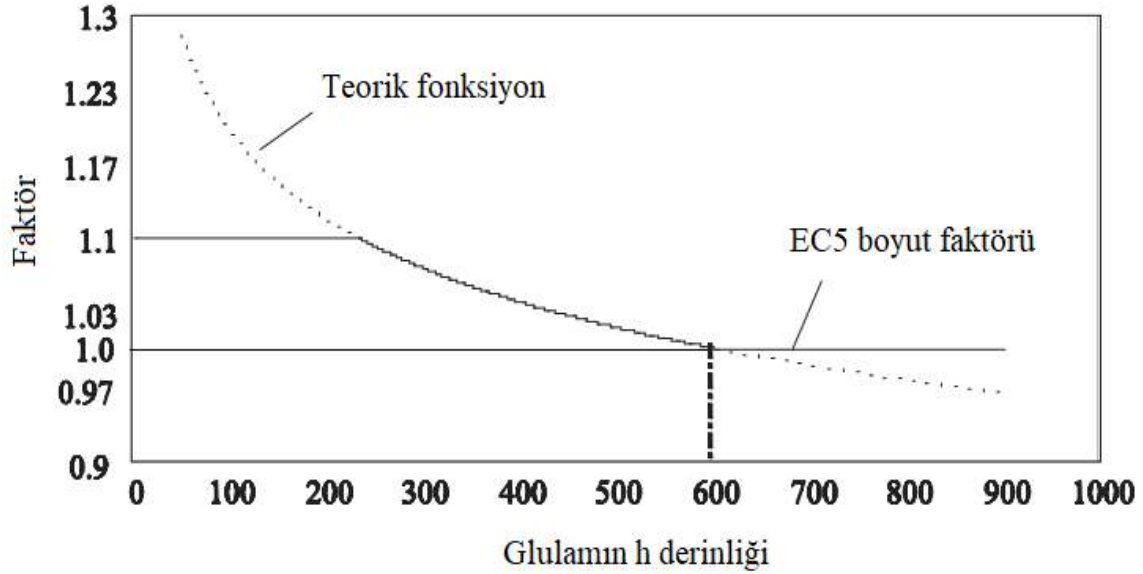
Bu etkileri göz önünde bulundurmak için, mukavemet özelliklerinin karakteristik değerleri referans boyutları ve karakteristik mukavemet kullanılarak elde edilir. Tasarım için kullanılan özelliğin karakteristik mukavemeti, ilgili özelliğe ait karakteristik mukavemet ile eleman büyüklüğü ve $1/k_{hL}$ veya $1/k_L$ faktörlerinden uygun olanı kullanılarak elde edilecek k faktörü ile çarpılmasıyla elde edilir. BS EN 338: 2003' te verilen eğilme ve çekme durumuna ait karakteristik dayanımlar, masif ahşap için 150 mm, glulam için 600 mm referans derinliğini esas alır. BS EN 14374: 2004' te LVL' ye ait eğilmiş referans derinliği ise 300 mm' dir. Düzlemsel eğilmede LVL için boyut faktörü uygulanmaz. LVL' nin çekme dayanımı, elemanın uzunluğundan da etkilenir ve EN14374: 2004' te kullanılan referans uzunluğu 3000 mm' dir.

EC5' te, derinlik ile ilgili olan k_h ve uzunluk ile ilgili olan k_L , eleman boyutuna bölünen referans boyutun üstel fonksiyonlardan türetilen değerdir. Üstel fonksiyonlar $1/k_{hL}$ veya $1/k_L$ ' dir. Referans boyutundan daha büyük boyutlar için faktör 1' den küçüktür, ancak, EC5' te 1' e eşit alınır. Boyutlar referans değerinden daha küçük olduğunda, faktör 1' den daha büyük olacak ve bu da dayanımda bir artışa neden olacaktır. Ayrıca, eleman boyutu azaldıkça, karakteristik eğilme mukavemeti için, masif ahşap, glulam ve LVL' ye ait k_h değerleri sırasıyla 1.3, 1.1 ve 1.2 olarak belirlenirken LVL' nin liflere paralel karakteristik çekme mukavemeti için k_h değeri 1.1 olarak belirlenmiştir. k_h faktörü, masif ahşapta kuvvetli veya zayıf eksende eğilmeye uygulanır, ancak yapıştırılmış lamine ahşapta, kesit düzlemine dik yüklemede derinliğine uygulanır. LVL için, k_h yalnızca kesit kenarı boyunca eğilmeye maruz kaldığında geçerli olacaktır.

Örnek olarak, glulam kirişlerinin karakteristik eğilme ve çekme mukavemetini belirlemek için kullanılacak k_h faktörünün teorik değeri, $(600/h)^{0.1}$ ' dir. h değeri eğilme altında derinlik değeri, çekme altında genişlik değeridir ve $1/k_{hL} = 0.1$. olacaktır. EC5 (3.2) denkleminde verilen ilişki ile teorik değer arasındaki karşılaştırma Şekil 4.8.' de gösterilmiştir. 600 mm' nin üzerinde referans büyüklüğü için $k_h = 1$ alınır ve kiriş büyüklüğü

azaldıkça, maksimum 1.1' alınır ki bu değer glulam elemanlar için 230 mm derinlikte geçerlidir.

EC5'te ahşap, yapıştırılmış lamine ahşap ve LVL için kullanılan boyut etkilerinin ve çift konik, kavisli ve eğimli kamalı yapıştırılmış ahşap ve LVL kirişlerin tepe bölgesindeki hacim ve gerilme dağılımı etkileri, ilgili referans kriterleri ile birlikte Tablo 4.11.' de özetlenmiştir.



Şekil 4.8. Teorik değere kıyasla, eğilme ve çekme altında Glulam kirişleri için EC5 faktörü (k_h).

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 85).

4.2.7. Sistem gücü (EC5, 6.6)

Sürekli bir yük dağıtım sisteminin bir dizi eşit aralıklı benzer elemanı yanal olarak bağladığı durumlarda, dağıtım sistemi elemanlar arasında yük paylaşımının gerçekleşmesini sağlayacaktır. Bu durumda, mukavemet özellikleri k_{sys} faktörü ile çarpılarak arttırılabilir. Faktör, sistemin yükü yeniden dağıtabildiği durumlarda ilgilidir.

Sürekli yük dağıtım sistemi, sistemdeki yükleri bir elemandan komşu elemanlara aktarabilmeli ve bunun için $k_{sys} = 1.1$ olmalıdır. Bu, yük dağıtım sisteminin aşağıdaki gibi olduğu durumlarda uygulanabilir:

- (a) Kirişlere bağlı döşeme Döşemenin en az iki açıklık boyunca sürekli olduğu, en az dört eleman gerektiren ve döşeme içerisindeki herhangi bir derzinin kademeli olduğu döşeme kirişlerine bağlı yapısal döşeme.
- (b) Açıklığı maksimum 610 mm olan kaplamalı saplama duvarlar.
- (c) Makas aralığı 1.2 m' den az olan döşeme takozları, aşıklar ve yapısal paneller.

Yük dağıtım sisteminin, yükü transfer edecek kadar güçlü olduğunu doğrulanacaksa, yükün kısa süreli olduğu varsayılmalıdır.



Tablo 4.11. k_h , k_l , k_{vol} ve k_{dis} değerleri.

Malzeme	Faktör	Tanımlar / koşullar	Karakteristik veya tasarım değeri
Masif ahşap	Eğilme ve çekme için: $k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0.2}, 1.3 \right\}$	Karakteristik yoğunluk $\leq 700 \text{ kg/m}^3$; (i) Eğilme: referans derinlik $h = 150 \text{ mm}$. (ii) Çekme: referans genişlik (maksimum kesit boyutu) $h = 150 \text{ mm}$.	(i) Eğilme dayanımı $= k_h f_{m,k}$ (ii) Liflere paralel çekme dayanımı $= k_h f_{t,0,k}$
Yapıştırılmış lamine ahşap	Eğilme ve çekmede gerilme dağılımı için: $k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0.1}, 1.1 \right\}$ Tüm kaplamalar kiriş eksenine paralel olan çift konik, kavisli ve eğimli bombeli kirişin tepe bölgesinde: $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2}$ Çift konik ve kavisli kirişlerin tepe bölgesinde: $k_{dis} = 1.4$ Eğimli bombeli kirişlerin tepe bölgesinde: $k_{dis} = 1.7$	<i>k_h değerlendirmesi için</i> (i) Eğilme: referans derinlik $h = 600 \text{ mm}$. (ii) Çekme: referans genişlik (maksimum kesit boyutu) $h = 600 \text{ mm}$. <i>k_{vol} değerlendirmesi için</i> (i) Çekme: referans hacim $V_0 = 0.01 \text{ m}^3$. EC5, Şekil 6.9' da tanımlandığı gibi tepe bölgesinin gerilmiş hacmi V' dir. V için kullanılan değer $2 V_b/3$ ' ten büyük olmamalıdır.	(i) Eğilme dayanımı $= k_h f_{m,k}$ (ii) Liflere paralel çekme dayanımı $= k_h f_{t,0,k}$ (i) Liflere dik çekme dayanımı $= k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$
LVL	Kenardan eğilme için çekme ve gerilme dağılımı: $k_h = \min \left\{ \left(\frac{300}{h} \right)^s, 1.2 \right\}$ Uzunluk için: $k_l = \min \left\{ \left(\frac{3000}{l} \right)^{s/2}, 1.1 \right\}$ Tüm kaplamalar kiriş eksenine paralel olan çift konik, kavisli ve eğimli bombeli kirişin tepe bölgesinde: $k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2}$ Çift konik, kavisli kirişlerin ve eğimli bombeli kirişlerin tepe bölgesinde, k_{dis} değerleri yapıştırılmış lamine kirişler ile aynıdır.	<i>k_h değerlendirmesi için;</i> (i) boyut etkisi üssü s ; $s = 2 \text{ (cov)} - 0.25$. Burada cov, test sonuçlarının varyasyon katsayısıdır. (ii) Eğilme: referans derinliği $h = 300 \text{ mm}$. <i>k_l değerlendirmesi için;</i> (i) Çekme: referans uzunluk $k_l = 3000 \text{ mm}$ ve s değeri, k_h için tanımlandığı gibidir. <i>k_{vol} değerlendirmesi için;</i> (i) Çekme: referans hacim $V_0 = 0.01 \text{ m}^3$. EC5, Şekil 6.9' da tanımlandığı gibi tepe bölgesinin gerilmiş hacmi V' dir. V için kullanılan değer $2 V_b/3$ ' ten büyük olmamalıdır.	(i) Eğilme dayanımı $= k_h f_{m,k}$ (i) Lif boyunca çekme dayanımı $= k_l f_{t,0,k}$ (i) Liflere dik çekme dayanımı $= k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}$

5. EĞİLME ELEMANLARININ TASARIMI

Eğilme elemanları, kirişler ve aşıklardır. Diğer örnekler arasında yapıştırılmış ince levha (glulam) kirişler ve kompozit kirişler bulunur ve bu tip elemanların tasarımları Bölüm 7 ve 8’ de ele alınmaktadır. Kirişlerin ve aşıkların tipik örnekleri Şekil 5.1.’ de gösterilmektedir.

Ahşap tasarımı beton ve çelik tasarımı ile esasen aynıdır. Fakat ahşaba özgü malzeme özellikleri ek tasarım kontrollerini zorunlu kılar. Ahşapta liflere paralel ve dik yönde malzeme özellikleri farklılık gösterir ki bu durum ahşabı beton ve çelik gibi homojen ve izotrop olmaktan çıkarır. Aynı zamanda ahşap, diğer malzemelerden farklı olarak nem içeriği ve yükleme süresindeki değişikliklere karşı duyarlıdır.

Bu bölümde, liflere paralel yönde çalışan doğru eksenli sert ahşap veya tek biçimli enine kesitli ahşaptan yapılan eğilme parçalarının tasarımı ele alınacaktır. Eğri eksenli kirişler Bölüm 8’ e bırakılmıştır.



(a) Çapraz sabitlenmiş masif kesitli kirişler



(b) Masif kesit yan kirişler ve döşeme kirişleri



(c) Uzun açıklıklı LVL kirişleri



(d) Aşıklar

Şekil 5.1. Eğilme elemanı örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 102).

5.1. Tasarım

Eğilme elemanlarına ait tasarım kriterleri, ilgili sınır durumları için Tablo 5.1.' de verilmiştir. Denge durumları ve dayanım koşulları (yani eğilme, kayma vb.) taşıma gücü sınır durumlarıdır. Yer değiştirme ve titreşim ise kullanılabilirlik sınır durumlarıdır.

Eğilme elemanlarında dönme-eğilme teorisi uygulanır, elde edilen sonuç EC5'in 10. bölümünde verilen sehim sınırları ile karşılaştırılır.

Tablo 5.1. Eğilme elemanlarına ait sınır durumları için tasarım kriterleri.

Tasarım veya deplasman etkisi	EC5 limit durumu
Statik dengenin korunması (kayma, kaldırma)	ULS
Eğilme gerilmesi ve yanal burulma dengesizliğinin önlenmesi	ULS
Kayma gerilmesi	ULS
Ezilme gerilmesi	ULS
Burulma gerilmesi (ilgili olduğu durumlarda)	ULS
Sehim	SLS
Titreşim	SLS

Genel olarak; eğilme, orta ve uzun açıklıklı kirişler için, dönme ve titreşim, uzun açıklıklı kirişler için, kesme ise ağır yük alan kısa kirişler için kritik özelliktir. Ancak pratikte, tüm tasarım koşulları kontrol edilmelidir.

Mukavemet ile ilgili koşullar için, her bir gerilmenin tasarım değeri hesaplanır ve eşdeğer gerilmenin tasarım değeri ile karşılaştırılır. Kısmi faktör yönteminde, aşağıdaki koşul sağlanmalıdır:

$$\text{Tasarım gerilimi} \leq (\text{Güç faktörleri}) \times \text{Tasarım kuvveti}$$

5.2. Eylem Etkilerinin Tasarım Değeri

Taşıma gücü sınır durumu ve kullanılabilirlik sınır durumlarını karşılamak için, kombinasyonların neden olduğu en büyük etki kullanılmalıdır. Taşıma gücü sınır durumunda, en büyük değerler 4.2.24.' te belirtilen ve Tablo 4.8.' de verilen temel etki kombinasyonunun uygulanmasından elde edilecektir. Tesadüfi durumların tasarlanması gerektiğinde, Tablo 4.9.' da verilen etkilerin kombinasyonu da kullanılmalıdır. Kullanılabilirlik sınır durumları için, 4.2.25.' te ele alınan etkilerin kombinasyonu geçerli olacaktır.

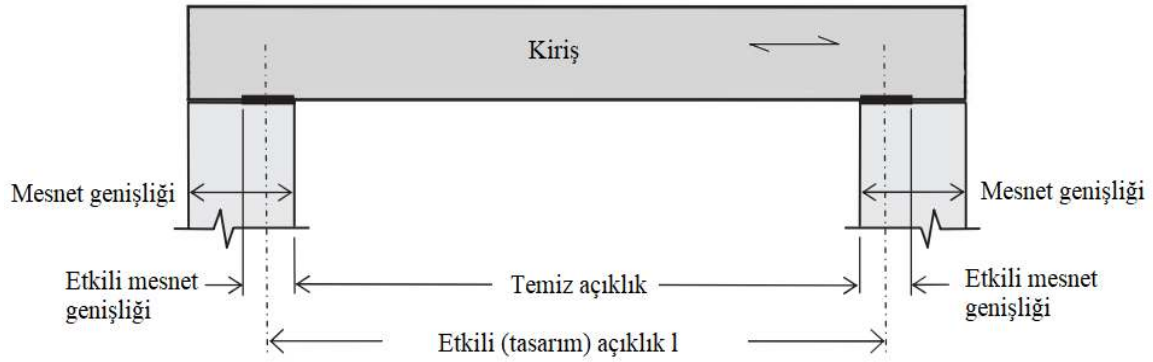
Kuvvet ile ilgili durumlar için, tasarım etkisi ayrıca 4.2.20.' de belirtilen modifikasyon faktörü k_{mod} ' un bir fonksiyonu olacaktır. Bir yük kombinasyonunun, 4.2.24.' te açıklandığı

gibi, farklı yük süresi sınıflarına sahip etkileri içermesi durumunda, en kısa süreye sahip eyleme karşılık gelen modifikasyon faktörü, mukavemet özelliğine uygulanır. Denge ile ilgili durumlarda k_{mod} hesaba katılmayacaktır. SLS için tasarım etkileri deplasman ve titreşim olduğundan bu durum için de modifikasyon faktörü k_{mod} dikkate alınmaz.

Kritik tasarım etkisinin kullanıldığını doğrulayabilmek için, tüm olası yük kombinasyonlarından kaynaklanan tasarım etkileri ele alınmalıdır.

5.3. Eleman Boyutları

EC5' te, kiriş ucundaki ezilme gerilmesi, mesnette eşit olarak dağıtılacak şekilde alınır. Mesnet alanının mukavemet nedenleriyle gerekenden çok daha büyük olduğu basit mesnetli kirişlerde ezilme gerilmesi, kirişin tasarım ezilme mukavemetinin aşılmamasını sağlamak için yeterli alana yayılacak şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 5.2. Kiriş açıklığı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 104).

Bu gibi durumlarda, tasarım açıklığı, yani kirişin etkili açıklığı, Şekil 5.2.' de gösterildiği gibi, net açıklığa her uçtaki mesnet uzunluğunun yarısı ilave edilerek bulunur. Tek parçalı kirişler ve çok parçalı döşeme kirişleri için, net açıklığa 50 mm ilave edilebilir. Aynı şekilde 12 metreye kadar açıklıklı kirişler için net açıklığa 100 mm ilave yapılmalıdır.

5.4. ULS' de Tasarım

ULS' de tasarım, göçme koşulları altında yapılır.

5.4.1. Eğilme

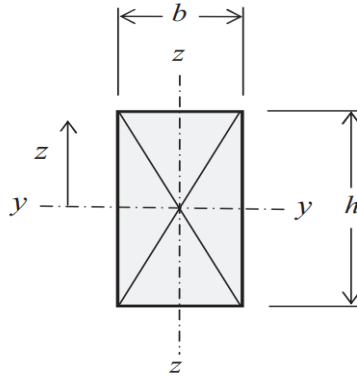
Elastik eğilme teorisine göre, Şekil 5.3.' te gösterilen elaman y-y kuvvetli eksenine göre eğilme momentine maruz kaldığında, bu eksenenden herhangi bir z kadar mesafede kesitin tasarım gerilimi oluşacaktır.

$$\sigma = \frac{M^*z}{I_y} \quad (5.1)$$

I_y/z terimi, kuvvetli eksene göre mukavemet momenti olarak adlandırılır ve W_y sembolü ile belirtilir. W_y ' nin değeri y-y eksenine olan mesafeye bağlıdır ve z için tasarımda kullanılan değerler, maksimum gerilme mesafesi ve kesitin basınç bölgesidir. Şekil 5.3.' te gösterilen dikdörtgen kesit, kuvvetli eksenine göre tasarım eğilme momentine (M_d) maruz kaldığında, tasarım eğilme gerilmesi;

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_d}{W_y} \quad (5.2)$$

formülü ile hesaplanır.



Şekil 5.3. Dikdörtgen kiriş kesiti.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 105).

$$W_y = \frac{I_y}{z} = \frac{bh^3}{12} * \frac{2}{h} = \frac{bh^2}{6} \quad (5.3)$$

z-z zayıf eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi için de benzer ifadeler türetilir.

Eleman, eğilme etkisinde olduğunda, yanal burulma dengesizliğinden dolayı mukavemetinde bir azalma olmaması koşuluyla, tasarım dayanımı, malzemenin eğilme dayanımına bağlı olur. Elemanın basınç tarafı yanal harekete karşı tamamen tutulmadığında ve eğilmede göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,m}$, 0.75' ten büyük ve eşit olduğunda y-y ekseninde eğilmeye maruz kalan bir eleman yanal burulma instabilitesinden etkilenir. Yanal burulma instabilitesinden etkilenmeyecek elemanlar için tasarım 5.4.1.1.' de ele alınmaktadır.

y-y ekseninde eğilmede göreceli narinlik oranı 0.75' i aştığında, yanal burulma kararsızlığının etkisini hesaba katmak için tasarım prosedürü 5.4.1.2.' de verilmiştir.

Kuvvetli ekseninde eğilmede göreceli narinlik oranının belirlenme prosedürü 5.4.1.2.’ de verilmiştir.

5.4.1.1. Eğilme (Asal eksene göre eğilmede göreceli narinlik oranının 0,75’ ten küçük ve eşit olması durumu)

Bir eleman, y-y eksenine göre tek eksenli eğilmeye maruz kaldığında ve bu eksene göre eğilme için göreceli narinlik oranı, 0,75’ ten küçük eşit olduğunda, eğilme için tasarım koşulu, maksimum eğilme gerilmesinin, malzemenin tasarım eğilme dayanımını aşmamasıdır. Bu durum (5.4a) denklemi ile sağlanır:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (5.4a)$$

z eksenine göre tek eksenli eğilmeye maruz kalan bir eleman için, yanal burulma dengesizliği oluşmaz ve tasarım koşulu, kesitteki maksimum eğilme gerilmesinin malzemenin tasarım eğilme dayanımını aşmaması gerektirir. Bu eksene göre eğilme için, denklem (5.4b) sağlanmalıdır:

$$\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (5.4b)$$

Eleman iki eksenli eğilmeye maruz kalırsa ve y-y eksenine göre eğilme için göreceli narinlik oranı, 0,75’ ten küçük veya eşit ise, (5.4c) ve (5.4d) denklemleri sağlanmalıdır:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.11)}) \quad (5.4c)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.12)}) \quad (5.4d)$$

$\sigma_{m,y,d}$ ve $\sigma_{m,z,d}$ Şekil 5.3’ te gösterildiği gibi kuvvetli ve zayıf eksenlerdeki tasarım eğilme gerilmeleridir. Genişliği b(mm), derinliği h(mm) olan dikdörtgen kesit için:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y}$$

$M_{y,d}$, y-y eksenine göre tasarım eğilme momentidir ve $W_y = \frac{bh^2}{6}$ mukavemet momentidir.

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z}$$

$M_{z,d}$, z-z eksenine göre tasarım eğilme momentidir ve $W_z = \frac{hb^2}{6}$ mukavemet momentidir.

$f_{m,y,d}$ ve $f_{m,z,d}$ sırasıyla kuvvetli ve zayıf eksenler için tasarım eğilme dayanımlarıdır ve

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * k_h * f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (5.5)$$

k_{mod} : Modifikasyon faktörü

k_{sys} : Sistem kuvvet faktörü

k_h : Boyut modifikasyon faktörü

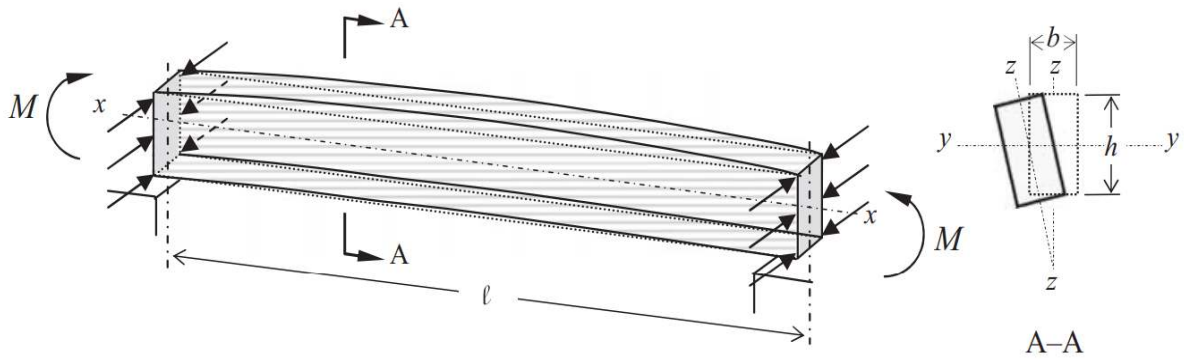
$f_{m,k}$: Karakteristik eğilme dayanımı

γ_M : Malzeme kısmi faktörü

k_m : Yeniden dağılım için modifikasyon faktörü:

- Masif ahşap ve LVL; dikdörtgen kesit için 0,7 ve diğer kesitler için 1,0
- Diğer ahşap ürünler; herhangi bir kesit için 1,0

y-y ve z-z eksenlerine göre atalet momentlerinin aynı değere sahip olduğu kesitlerde yanal burulma düzensizliği oluşmaz ve $f_{m,y,d} = f_{m,z,d}$ olur. Dairesel enkesitte kayma modülü $(\Pi d^3)/32$ olacaktır.



Şekil 5.4. Asal ekseninde uygulanan üniform M uç momentleri etkisinde kirişin yanal burulma burkulması (yanal burkulma konumu dolu olarak gösterilmiştir).

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 107).

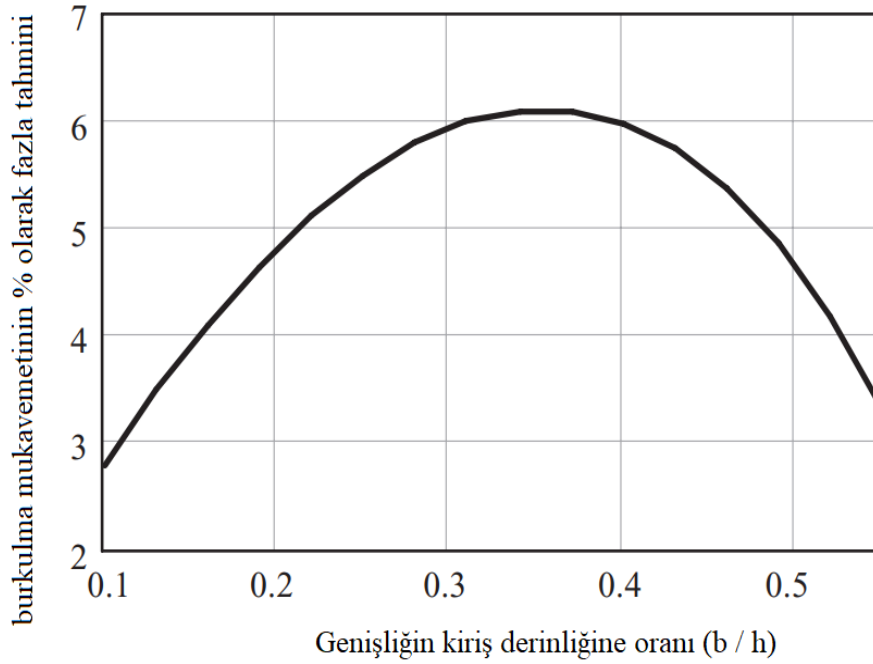
5.4.1.2. Eğilme (Asal eksene göre eğilmede göreceli narinlik oranının 0,75' ten büyük olması durumu)

Düz bir kiriş y-y ekseninde eğilmeye maruz kaldığında, elastik burkulma teorisi ile, kirişin dengesiz olacağı elastik kritik bir yükün olduğu gösterilebilir. Bu durumda kiriş yana doğru ekseninden kayar ve x-x ekseninde ani kırılma gerçekleşir.

Elastik burkulmanın meydana geleceği eğilme momenti, *elastik kritik moment* olarak adlandırılır. Burulmaya karşı tutulmuş, yanal dönme serbestliğine sahip l uzunluğundaki kiriş, y-y ekseninde etkiyen momente maruz kaldığında kritik moment:

$$M_{y,crit} = \frac{\pi}{l} \sqrt{\frac{E_{0.05} I_z G_{0.05} I_{tor}}{(1 - (I_z/I_y))}} \quad (5.6a)$$

formülü ile hesaplanır.



Şekil 5.5. a faktörü göz ardı edildiğinde, dikdörtgen bir kirişin elastik kritik momentinin EC5' e göre yüzde olarak fazla tahmini.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 108).

Genişliği b, derinliği h ve z eksenine göre atalet momenti $I_z = \frac{hb^3}{12}$ olan dikdörtgen kesit için I_{tor} yaklaşık olarak $1/3(b)^3h(1-0.63(b/h))$ ' ya kadar alınabilir. Bu ilişkileri denklem (5.6a)' ya ekleyerek elastik kritik moment şu şekilde yazılabilir:

$$M_{y,crit} = \frac{\Pi(b^3h) \sqrt{E_{0.05} G_{0.05} ((1-0.63(b/h))/(1-(b/h)^2))}}{6l} \quad (5.6b)$$

Tüm masif ahşap kiriş boyutları için, $((1-0.63(b/h))/(1-(b/h)^2))^{0.5}$ faktörü -ki a faktörü olarak anılır- 1' den küçüktür ve burkulma mukavemetini küçük bir yüzde kadar etkiler. Burkulma mukavemetinin büyütülmüş halinin yüzdesi ile genişliğin derinliğe oranı (b/h) arasında çizilen grafik ile Şekil 5.5., a faktörünün dikkate alınmadığı duruma aittir. Elastik burkulma mukavemetinin %3-6 hesaplanacağı ve genişlik-derinlik oranı 0.3 ile 0.4 arasında olduğunda maksimum değer ortaya çıkacağı görülmektedir.

EC5' te a faktörü, masif dikdörtgen yumuşak ahşap için ihmal edilir ve elastik kritik moment şu şekilde olur:

$$M_{y,crit} = \frac{\Pi(b^3h) \sqrt{E_{0.05} G_{0.05}}}{6l} \quad (5.7a)$$

Masif (sert) ahşap, LVL (veya yapıştırılmış lamine ahşap) ile yapılan masif dikdörtgen kesitler için, EC5' te tam burulma rijitliği korunur. Ancak a faktöründeki $(1-(b/h)^2)$ kısmı dikkate alınmaz. Bu malzemeler için elastik kritik moment ilişkisi:

$$M_{y,crit} = \frac{\Pi(b^3h) \sqrt{E_{0.05} G_{0.05} (1-0.63 \frac{b}{h})}}{6l} \quad (5.7b)$$

halini alır.

y-y kuvvetli eksene ait mukavemet momenti W_y olmak üzere, (5.7b) denkleminde hareketle kesitteki gerilme:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{\Pi b^2}{hl} \sqrt{E_{0.05} G_{0.05} (1-0.63 \frac{b}{h})} \quad (5.7c)$$

(5.7c) denklemi, her iki ucunda üniform moment etkisinde olan sert ahşap, LVL(veya yapıştırılmış lamine ahşap) dikdörtgen kesitli kiriş ile ilgilidir ve EC5 (6.31) denklemi ile elde edilen sonuca eşit olacaktır. Yumuşak ahşap dikdörtgen kesitlerde, ahşap için $E_{0.05}/G_{0.05}$ oranı yaklaşık 16' dır. Bu oran (5.7a) denkleminde uygulanarak, kuvvetli eksende eğilmeye maruz dikdörtgen kesitli yumuşak ahşap kirişe ait kritik eğilme gerilmesi (yani burkulma mukavemeti) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{0.78b^2}{hl} E_{0.05} \quad (5.8)$$

(5.7a) ve (5.7b) denklemleri sadece basit mesnetli, yanal deplasmanın engellendiği, dönmeye ve burulmaya karşı tutulmuş kirişe uygulanan tekil moment durumu için geçerlidir. Farklı mesnet koşulları ve momentin diğer türlerinin neden olduğu durumlara ait denklemler, aynı ifade kullanılarak elde edilebilir. Ancak bu durumda l tasarım açıklığı yerine l_{ef} etkili uzunluk değeri kullanılır. Yükleme ve mesnet koşullarındaki değişimin etkisini dikkate alacak tasarım açıklığı için elde edilen etkili uzunluk değerleri Tablo 5.2.' de verilmiştir.

Tek açıklıklı bir kirişin ucunda yanal dönmeye karşı tam bir sınırlama elde etmek son derece zor olduğundan, konsol kirişler hariç (tam kısıtlamanın bulunduğu varsayılır), Tablo 5.2.' de verilen diğer tüm durumlar, kirişin burulma dönmesine karşı tamamen tutulduğunu ancak uçlarında plan olarak dönebildiğini varsaymaktadır.

Masif yumuşak dikdörtgen kirişler tasarlarken, kiriş etkili uzunluğunun kullanımına bağlı olarak, (5.8) denklemi şöyle yazılabilir:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78b^2}{hl_{ef}} E_{0.05} \quad (\text{EC5 Denklem (6.32)}) \quad (5.9a)$$

Sert ahşap, LVL (veya yapıştırılmış lamine) dikdörtgen kirişler için tasarım yaparken, (5.7c) denklemi aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{\pi b^2}{hl_{ef}} \sqrt{E_{0.05} G_{0.05} \left(1 - 0.63 \frac{b}{h}\right)} \quad (5.9b)$$

Bir kirişin $\sigma_{m,crit}$ eğilme mukavemetini, $f_{m,k}$ eğilme dayanımı ile ilişkilendirmek için EC5' te aşağıdaki ilişki kullanılır:

$$(\lambda_{rel,m})^2 \sigma_{m,crit} = f_{m,k}$$

ve EC5 (6.30) denkleminde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (5.10)$$

$\lambda_{rel,m}$: Eğilmede göreceli narinlik oranı

Tablo 5.2. Etkili uzunluğun kiriş tasarım açıklığına oranı (EC5 Tablo 6.1’ deki durumları içeren).

Yanal pozisyonda tutulmuş, burulmaya karşı tutulmuş ve planda dönme serbestliğine sahip kiriş uç durumu	Uygulanan yükleme	l_{ef}/l (EC5)	l_{ef}/l (diğer durumlar)
Basit mesnetli	Sabit moment	1.0	
	Düzgün yayılı yük	0.9	
	Açıklık ortasında konsantre yük	0.8	
	$l/4$ ve $3l/4$ noktalarında noktasal yükler		0.96
	Bir uçta M ve diğer uçta ters yönde M/2 momenti		0.76
	Bir uçta M momenti varken diğer uçta moment sıfır		0.53
İki uçta da sabit	Düzgün yayılı yük		0.78
	Açıklık ortasında konsantre yük		0.64
Açıklık ortasında yanal burulmaya karşı basit mesnetli	Açıklık ortasında konsantre yük		0.28
Konsol	Düzgün yayılı yük	0.5	
	Serbest uçta konsantre yük	0.8	

Etkili uzunluk l_{ef} ile tasarım açıklığı l arasındaki oran, ağırlık merkezinde yüklü bir kiriş için geçerlidir. Yük kirişin basınç yüzeyine uygulanırsa l_{ef} , 2h arttırılırken, yük kirişin çekme yüzeyine uygulanırsa 0.5h azaltılabilir.

Konsolun sabit ucu, yanal konumda burulma için tutulur. Diğer uçta yanal harekete ve dönmeye karşı engellenmiştir yani ankastredir.

(5.10) denklemi kritik eğilme gerilmesi, malzemenin elastik sınırına eşit veya daha az olduğunda geçerlidir. Bu sınırın ötesinde, malzemenin elastik davranışını etkisini hesaba katmak ve yanal burulma burkulmasının oluşmayacağı göreceli narinlik sınırı için minimum değer belirlemek amacıyla bu denklem revize edilmelidir.

EC5’ te $\lambda_{rel,m} = 0.75$ değeri, kirişin yanal yönde burkulmayacak kadar rijit olacağı limit olarak kabul edilmiştir. 0.75’ ten küçük tüm değerler için tasarım koşulu, kesitin

maksimum eğilme gerilmesinin eğilme dayanımını aşmayacaktır. Bu durumda kiriş, 5.4.1.1. şartlarına uymalıdır.

Tablo 5.3. EC5, 10.2’ de belirlenen sınırlardan daha büyük olmayan doğrusallıktan başlangıç sapmasına sahip kirişler için k_{crit} değerleri.

k_{crit}	Göreceli narinlik $\lambda_{rel,m}$
1	$\lambda_{rel,m} \leq 0.75$
$1.56 - 0.75 * \lambda_{rel,m}$	$0.75 < \lambda_{rel,m} \leq 1.4$
$1/\lambda_{rel,m}^2$	$1.4 < \lambda_{rel,m}$

$\lambda_{rel,m} \geq 1.4$ olduğunda kirişin elastik burkulma ile kırıldığı kabul edilir ve elastik kritik eğilme dayanımı, tasarım şartı haline gelir. 0.75 ile 1.4 arasındaki göreceli narinlik değerleri için kesit inelastik tarzda davranıp bozulacaktır. EC5 bu sınırlar içinde göreceli narinlik ve eleman dayanımı arasında doğrusal bir ilişkiyi kabul eder.

$\lambda_{rel,m}$ arttıkça kiriş mukavemetindeki azalmanın etkisini hesaba katmak için, kiriş tasarım eğilme mukavemetine yanal burkulma azaltma faktörü olan k_{crit} uygulanır. Böylece ULS’ de kiriş mukavemeti yani tasarım burkulma dayanımı, $k_{crit} * \text{tasarım eğilme mukavemeti}$ ’nden elde edilecektir. Kullanılacak k_{crit} değerleri Tablo 5.3.’te verilmiştir.

Kirişlerde yanal kararsızlık etkilerinin ortaya çıkabileceği durumlarda, kiriş orta bölgesindeki maksimum sehim, sert ahşap için $l/300$ ve LVL (ve yapıştırılmış lamine ahşap) için $l/500$ ile sınırlıdır.

$\lambda_{rel,m} \leq 0.75$ olduğunda, tasarım dayanımı, elemanın eğilme mukavemetine eşit olacak ve bunun sonucunda da $k_{crit} = 1$ olacaktır. Kirişin doğrusal elastik aralığı içindeki davranışı için (yani $\sigma_{m,crit}/f_{m,k} < 0.51$), yetersizlik yalnızca burkulmada olur ve tasarım dayanımı elastik eğilme gerilmesine eşittir. Bu durumda, k_{crit} :

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{\sigma_{m,crit}}{f_{m,k}} \quad (5.11)$$

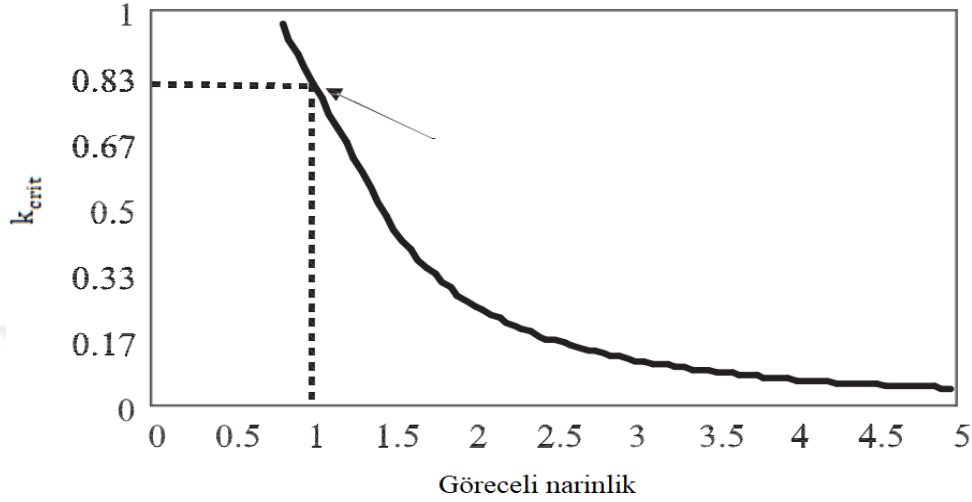
Elastik limit için $\sigma_{m,crit}/f_{m,k} = 0.51$ değeri (5.10) denkleminde yerine koyulursa $\lambda_{rel,m} = 1.4$ olur. (5.11) denklemi $\lambda_{rel,m} \geq 1.4$ ‘ün bütün değerleri için uygundur.

(5.10) denklemi, düz bir kirişin burkulma mukavemetini verecektir. Bununla birlikte, sehim, bu denklemden elde edilen değerden daha düşük olacaktır. Kiriş için EC5’ te verilen

maksimum değerler dikkate alındığında (5.11) denkleminde elde edilen burkulma dayanımı tasarım için uygun olacaktır.

$\lambda_{rel,m}$ 0.75 ile 1.4 arasında olduğunda,

$$k_{crit} = 1.56 - 0.75\lambda_{rel,m} \quad (5.12)$$



Şekil 5.6. $\lambda_{rel,m}$ 'nin farklı değerleri için k_{crit} değerleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 112).

Düzlükten sapmanın etkisi de bu göreceli narinlik aralığında geçerlidir. Ancak (5.12) denkleminde de tanımlandığı üzere doğrusal davranışın benimsenmesi daha uygun olacaktır.

Eğilme için $\lambda_{rel,m}$ göreceli narinlik oranı ile yanal stabilite faktörü k_{crit} arasında çizilen grafik Şekil 5.6.' da gösterilmektedir.

Kirişin yanal burkulmasının oluşmayacağını göstermek için kirişteki eğilme gerilmesi azaltılmış eğilme mukavemetinden daha düşük veya ona eşit olmalıdır. Yani;

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (\text{EC5 Denklemleri (6.33)}) \quad (5.13)$$

Eğilme mukavemeti, (5.5) denklemine göre karakteristik eğilme mukavemetinden türetilir, yani;

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * (k_h * f_{m,k})}{\gamma_M} \quad (5.5)$$

Sonuç olarak, y-y ekseninde eğilme için azaltılmış eğilme dayanımı şöyle yazılabilir:

$$k_{crit} * f_{m,y,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * k_h}{\gamma_M} (k_{crit} * f_{m,k}) \quad (5.14)$$

Göreceli narinlik oranı biliniyorsa, k_{crit} **karakteristik eğilme dayanımı* değeri hesaplama yoluyla elde edilebilir veya yumuşak ahşap türleri için Tablo 3.4.' e bakılabilir.

Tablo 5.4.' teki k_{crit} **karakteristik eğilme dayanımı* değerleri, pratik tasarımlarda kullanılması muhtemel aralık olan 0.75 ile 3.0 arasındaki göreceli narinlik oranlarına sahip kirişler için verilmiştir. Ahşap dayanım sınıfı için, belirli bir göreceli narinlik oranındaki azaltılmış eğilme mukavemeti, malzeme mukavemet sınıfını içeren sütunda verilen değerdir. Örneğin; Göreceli narinlik oranı 2 olan C18 sınıfı dikdörtgen ahşap kiriş için k_{crit} * karakteristik eğilme dayanımı değeri 4.5 N/mm²' dir.

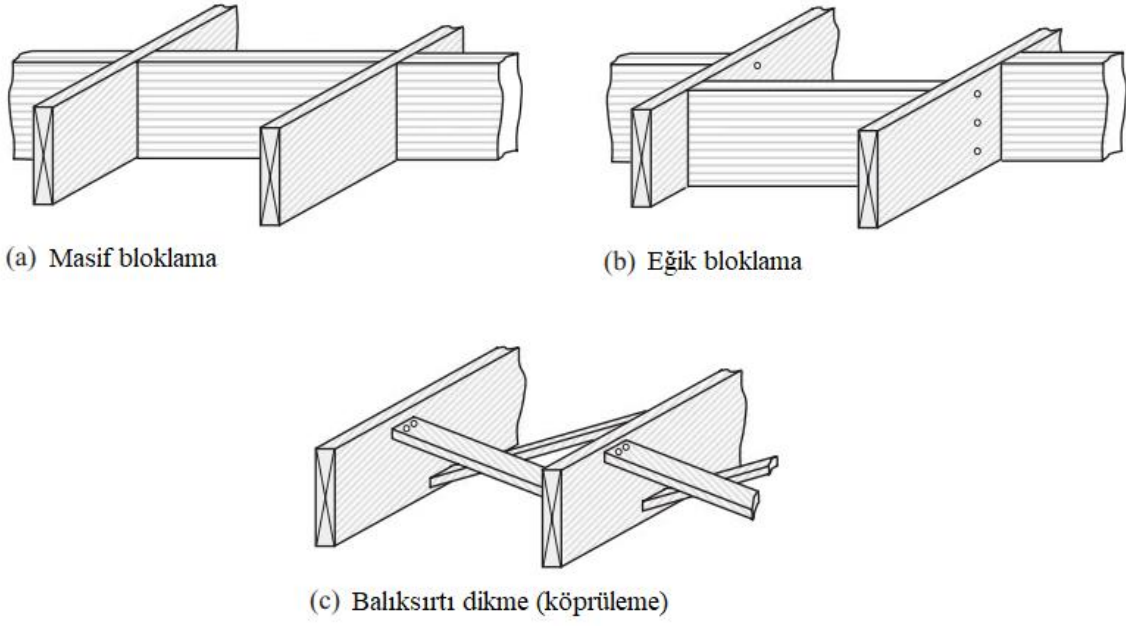


Tablo 5.4. Yumuşak ahşabın C14-C24 dayanım sınıflarına ait eğilmede göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,m}$ ' ye karşı tablo haline getirilmiş k_{crit} * karakteristik eğilme mukavemeti değerleri.

Dayanım sınıfı		C14	C16	C18	C20	C22	C24
Karakteristik eğilme dayanımı (N/mm ²)		14	16	18	20	22	24
Eğilmede göreceli narinlik ($\lambda_{rel,m}$)	k_{crit}	$k_{crit} * f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit} * f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit} * f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit} * f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit} * f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit} * f_{m,k}$ (N/mm ²)
0.75' e kadar	1.0	14	16	18	20	22	24
0.8	0.960	13.440	15.360	17.280	19.200	21.120	23.040
0.85	0.923	12.915	14.760	16.605	18.45	20.295	22.140
0.9	0.885	12.390	14.160	15.930	17.700	19.470	21.240
0.95	0.848	11.865	13.560	15.255	16.950	18.645	20.340
1.0	0.810	11.340	12.960	14.580	16.200	17.820	19.440
1.1	0.735	10.290	11.760	13.230	14.700	16.170	17.640
1.2	0.660	9.240	10.560	11.880	13.200	14.520	15.840
1.3	0.585	8.190	9.360	10.530	11.700	12.870	14.040
1.4	0.510	7.140	8.160	9.180	10.200	11.220	12.240
1.5	0.444	6.222	7.111	8.000	8.889	9.778	10.667
1.6	0.391	5.469	6.250	7.031	7.813	8.594	9.375
1.7	0.346	4.844	5.536	6.228	6.920	7.612	8.304
1.8	0.309	4.321	4.938	5.556	6.173	6.790	7.407
1.9	0.277	3.878	4.432	4.986	5.540	6.094	6.648
2.0	0.250	3.500	4.000	4.500	5.000	5.500	6.000
2.1	0.227	3.175	3.628	4.082	4.535	4.989	5.442
2.2	0.207	2.893	3.306	3.719	4.132	4.545	4.959
2.3	0.189	2.647	3.025	3.403	3.781	4.159	4.537
2.4	0.174	2.431	2.778	3.125	3.472	3.819	4.167
2.5	0.160	2.240	2.560	2.880	3.200	3.520	3.840
2.6	0.148	2.071	2.367	2.663	2.959	3.254	3.550
2.7	0.137	1.920	2.195	2.469	2.743	3.018	3.292
2.8	0.128	1.786	2.041	2.296	2.551	2.806	3.061
2.9	0.119	1.665	1.902	2.140	2.378	2.616	2.854
3.0	0.111	1.556	1.778	2.000	2.222	2.444	2.667

Tablo 5.5. Yumuşak ahşabın C27-C50 dayanım sınıflarına ait eğilmede göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,m}$ 'ye karşı tablo haline getirilmiş k_{crit}^* karakteristik eğilme mukavemeti değerleri.

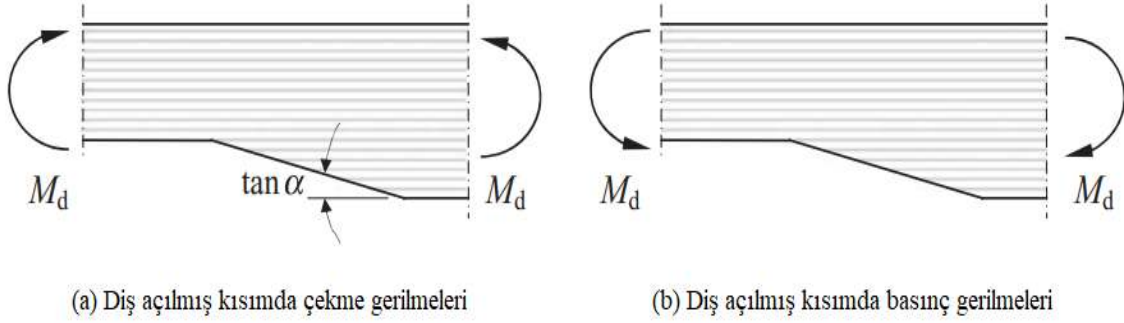
Dayanım sınıfı		C27	C30	C35	C40	C45	C50
Karakteristik eğilme dayanımı (N/mm ²)		27	30	35	40	45	50
Eğilmede göreceli narinlik ($\lambda_{rel,m}$)	k_{crit}	$k_{crit}^* \cdot f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit}^* \cdot f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit}^* \cdot f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit}^* \cdot f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit}^* \cdot f_{m,k}$ (N/mm ²)	$k_{crit}^* \cdot f_{m,k}$ (N/mm ²)
0.75' e kadar	1.0	27	30	35	40	45	50
0.8	0.960	25.920	28.800	33.600	38.400	43.200	48.000
0.85	0.923	24.908	27.675	32.288	36.900	41.513	46.125
0.9	0.885	23.895	26.550	30.975	35.400	39.825	44.250
0.95	0.848	22.883	25.425	29.663	33.900	38.138	42.375
1.0	0.810	21.870	24.300	28.350	32.400	36.450	40.500
1.1	0.735	19.845	22.050	25.725	29.400	33.075	36.750
1.2	0.660	17.820	19.800	23.100	26.400	29.700	33.000
1.3	0.585	15.795	17.550	20.475	23.400	26.325	29.250
1.4	0.510	13.770	15.300	17.850	20.400	22.950	25.500
1.5	0.444	12.000	13.333	15.556	17.778	20.000	22.222
1.6	0.391	10.547	11.719	13.672	15.625	17.578	19.531
1.7	0.346	9.343	10.381	12.111	13.841	15.571	17.301
1.8	0.309	8.333	9.259	10.802	12.346	13.889	15.432
1.9	0.277	7.479	8.310	9.695	11.080	12.465	13.850
2.0	0.250	6.750	7.500	8.750	10.000	11.250	12.500
2.1	0.227	6.122	6.803	7.937	9.070	10.204	11.338
2.2	0.207	5.579	6.198	7.231	8.264	9.298	10.331
2.3	0.189	5.104	5.671	6.616	7.561	8.507	9.452
2.4	0.174	4.688	5.208	6.076	6.944	7.813	8.681
2.5	0.160	4.320	4.800	5.600	6.400	7.200	8.000
2.6	0.148	3.994	4.438	5.178	5.917	6.657	7.396
2.7	0.137	3.704	4.115	4.801	5.487	6.173	6.859
2.8	0.128	3.444	3.827	4.464	5.102	5.740	6.378
2.9	0.119	3.210	3.567	4.162	4.756	5.351	5.945
3.0	0.111	3.000	3.333	3.889	4.444	5.000	5.556



Şekil 5.7. Yanal destek sağlama örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 114).

Yanal sınırlama, kiriş uzunluğu boyunca destekleme ile sağlanabilir (Şekil 5.7.). Bu durumda etkili uzunluk, bitişik destekleme arasındaki kiriş uzunluğuna bağlı olacaktır. Kiriş, basınç flanşı uzunluğu boyunca yanal olarak desteklendiğinde $k_{crit} = 1$ olur.



Şekil 5.8. Eğilme altında dişli kısım.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 115).

5.4.1.3. Dişli elemanların eğilmesi

Elemanlara diş açılması durumunda, diş kısımlarında oluşabilen gerilme konsantrasyonları tasarımda dikkate alınmalıdır. Eğilme altında dişli elemanlar için, gerilme konsantrasyonlarının etkisi aşağıdaki durumlarda göz ardı edilebilir:

- i. Eğilme dışı çekme gerilmelerine neden olur ve dışteki eğim 1:10' dan daha azdır, yani $\tan \alpha \leq 0.1$ (Şekil 5.8a)
- ii. Eğilme, dışı basınç gerilmelerine neden olur (Şekil 5.8b)

5.4.2. Kırma

Kırış yanal olarak yüklendiğinde ve eğilmeye maruz kaldığında, kırma gerilmeleri de ortaya çıkar. Elastik eğilme teorisine göre, kırışın uzunlamasına eksenine paralel ve dik kırma gerilmeleri oluşacaktır (Şekil 5.9a).

Kırma gerilmesinin kırış kesitindeki değeri, elastik teoriden türetildiğine göre;

$$\tau = \frac{V \cdot S}{I \cdot b} \quad (5.15)$$

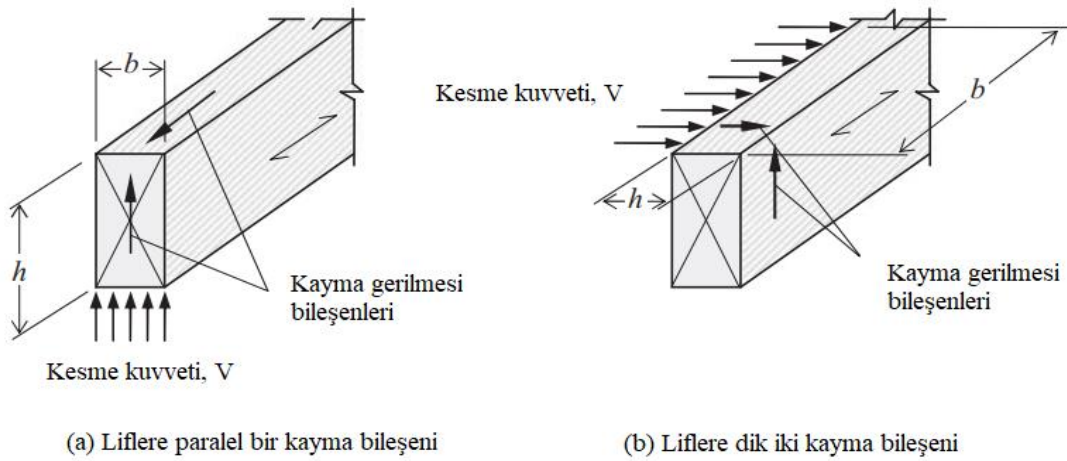
τ : Kırma gerilmesi

V : Kırma kuvveti

S : Tarafsız eksene göre statik alan momenti

I : Tarafsız eksene göre atalet momenti

b : Genişlik



Şekil 5.9. Kırma gerilmesi bileşenleri: (a) liflere paralel bir kırma bileşeni; (b) liflere dik iki kırma bileşeni.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 116).

Kırma gerilmesi kırış kesitinin üst ve alt yüzlerinde sıfır, tarafsız ekseninde maksimum olacaktır. Genişliği b ve derinliği h olan dikdörtgen kesitte maksimum kırma gerilmesi kesit ortasında oluşur ve şu formülle hesaplanır:

$$\tau = \frac{3*V}{2*b*h} \quad (5.16)$$

Liflere paralel bir gerilme bileşenli kayma ve ayrıca liflere dik iki gerilme bileşenli kayma için, aşağıdaki ifadeye uymalıdır:

$$\tau_d = f_{v,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.13)}) \quad (5.17)$$

τ_d : Tasarım kayma gerilmesi

$f_{v,d}$: Tasarım kesme dayanımı

Eğilme elemanlarının kayma mukavemetleri için çatlak etkisi ihmal edilir. Ek-5.2.' de önerilen taslakta, ahşapta çatlakların kayma dayanımı üzerindeki etkisi dikkate alınmaktadır.

5.4.2.1. Liflere paralel bir gerilme bileşeni ile kayma gerilmesi

Şekil 5.9a' da gösterilen liflere paralel gerilme bileşenli, $b*h$ kesitli dikdörtgen kirişin kayma gerilmesi:

a. Dişsiz bir kiriş için (Şekil 5.10a):

$$\tau_d = \frac{3*V_d}{2*b*h} \quad (5.16)$$

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.13)}) \quad (5.17)$$

b. Mesnetin karşı tarafında diş açılmış kiriş için (Şekil 5.10b):

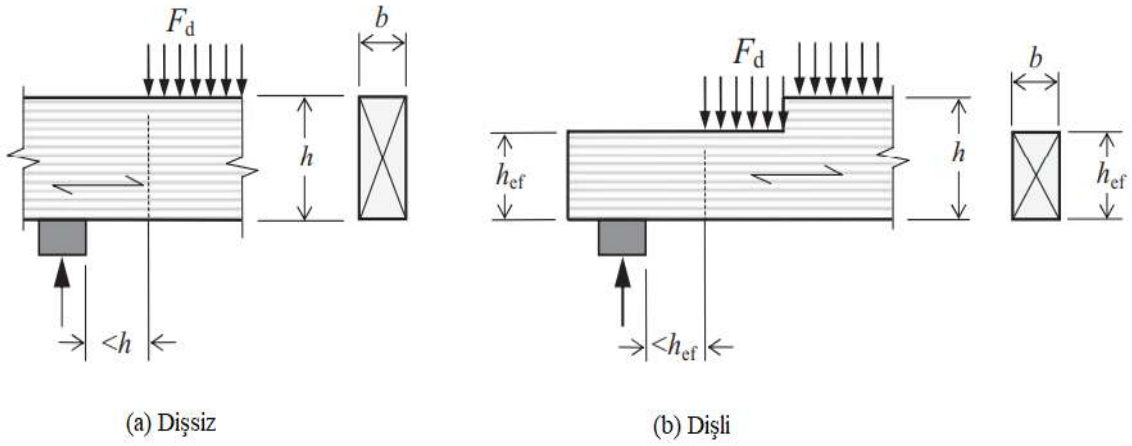
$$\tau_d = \frac{3*V_d}{2*b*h_{ef}} \quad (5.16a)$$

$$\tau_d = k_v f_{v,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.60)}) \quad (5.17a)$$

c. Mesnetle aynı tarafta diş açılmış kiriş için (Şekil 5.11):

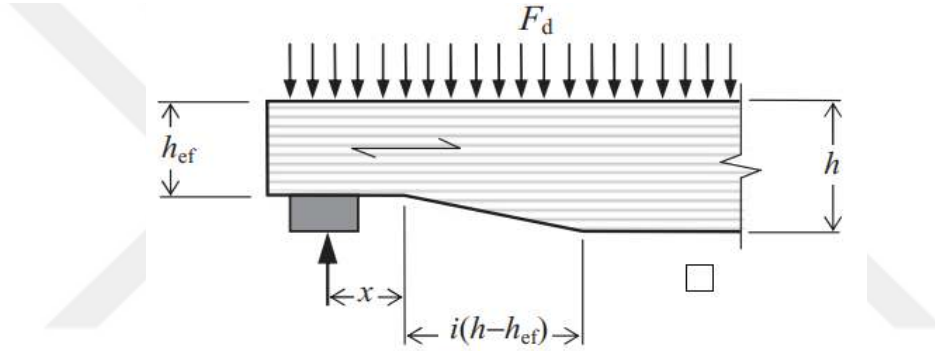
$$\tau_d = \frac{3*V_d}{2*b*h_{ef}} \quad (5.16a)$$

$$\tau_d = k_v f_{v,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.60)}) \quad (5.17a)$$



Şekil 5.10. (a) Dişsiz mesnete sahip dikdörtgen kiriş, (b) Dişli mesnete sahip dikdörtgen kiriş.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 117).



Şekil 5.11. Ucunda diş olan kiriş.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 117).

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (5.18)$$

k_v : Diş etkisini dikkate alan faktördür. Diş mesnetin karşı tarafında ise (Şekil 5.10b) $k_v = 1$ ve diş mesnet ile aynı tarafta ise (Şekil 5.11) k_v aşağıdakilerden küçük olana eşittir:

$$k_v = \min \left\{ \frac{k_n \left(1 + \frac{1.1i^{1.5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left(\sqrt{\alpha^*(1-\alpha) + 0.8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha}}} \right)}, 1 \right. \quad (5.19)$$

i: Diş eğimi

h: Derinlik

x: Mesnet reaksiyonunun etki ettiği nokta ile dişin köşesi arası mesafe

k_n : LVL için 4.5, masif ahşap için 5.0 ve yapıştırılmış lamine ahşap için 6.5 olan bir faktördür

$$\alpha = \frac{h_{ef}}{h}$$

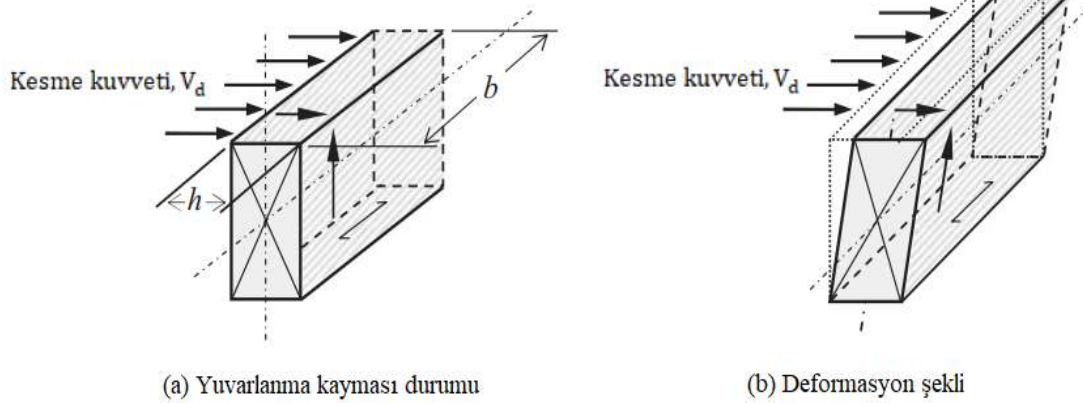
5.4.2.2. Liflere dik her iki gerilme bileşeniyle kayma gerilmesi (yuvarlanma kayması)

Şekil 5.12.' de gösterildiği gibi b uzunluğu boyunca etkiyen V_d kesme kuvveti için kayma gerilmesi:

$$\tau_d = \frac{3 \cdot V_d}{2 \cdot b \cdot h} \quad (5.20)$$

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.13)}) \quad (5.17)$$

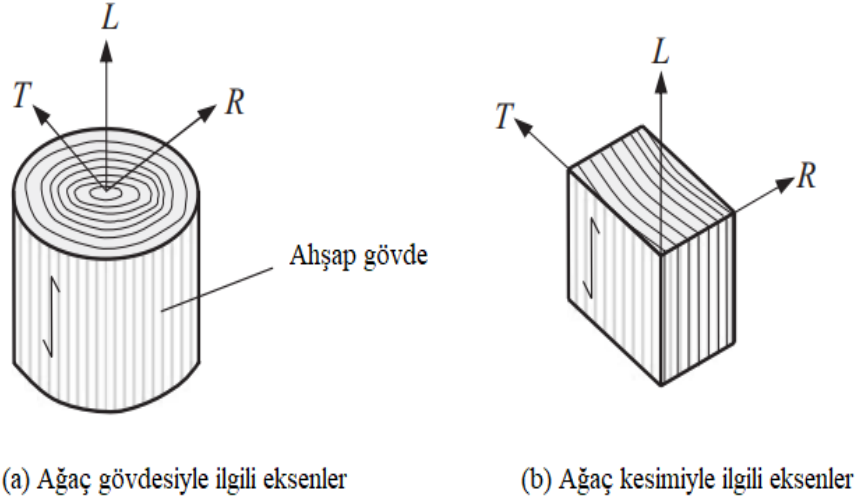
$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} k_{sys} f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (5.21)$$



Şekil 5.12. Liflere dik her iki gerilme bileşeni ile kayma gerilmesi (Porteous ve Kermani, 2007: 119).

5.4.3. Ezilme (liflere dik basınç)

Ahşap anizotropik bir malzeme olmasına rağmen, yapısal amaçlar için kullanıldığında ortotropik yani karşılıklı 3 dik (ortogonal) ekseninde yön özelliklerine sahip kabul edilir. Ortogonal eksenler, Şekil 5.13.' te gösterildiği gibi lif yönü (L), radyal yön (R) ve teğet yön (T) olacak şekildedir.



Şekil 5.13. Asal eksenler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 119).

L yönündeki özellikler liflere paralel özellikler, R ve T yönündeki özellikler liflere dik özellikler olarak adlandırılır. L eksenindeki özellikler, R ve T eksenlerindekiyle göre çok daha güçlüdür. EC5’ te liflere paralel ve dik basınç dayanımı özellikleri için kullanılan semboller şunlardır:

$\sigma_{c,0,k}$: Liflere paralel karakteristik basınç dayanımı

$\sigma_{c,90,k}$: Liflere dik karakteristik basınç dayanımı

İndisler;

- c veya t: Basınç için c , çekme için t
- 0 veya 90: Liflere paralel yön için 0, liflere dik yön için 90
- k veya d: Karakteristik dayanım için k, tasarım dayanımı için d.

Mesnetlerde oluşabilecek ezilmelere ait örnekler Şekil 5.14.’ te gösterilmektedir.

Liflere dik basınç şartı:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.3)}) \quad (5.22)$$

$\sigma_{c,90,d}$: Liflere dik etkili tasarım basınç gerilmesidir ve $V_d/b \cdot l$ ’ ye eşittir.

V_d : Tasarım ezilme kuvveti

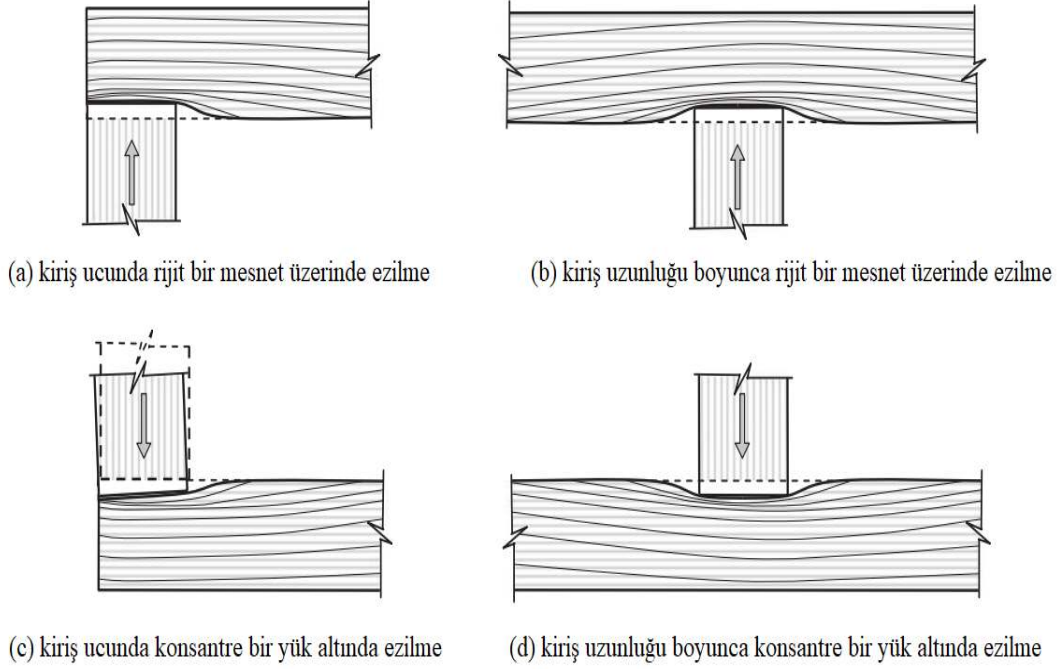
b: Mesnet genişliği

l: Mesnet uzunluğu

Liflere dik tasarım basınç dayanımı ise şöyledir:

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (5.23)$$

$k_{c,90}$: Bölünme riskini ve gerilme deformasyonunu dikkate alan faktör. Normal koşullarda $k_{c,90} = 1$ ’ dir ve maksimum 4’ e yükseltilebilir.



Şekil 5.14. Liflere dik ezilme (basınç) göçmesi.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 121).

5.4.3.1. Mesnetlerde ezilme gerilmesi

Şekil 5.15.’ te gösterilen bir kiriş için:

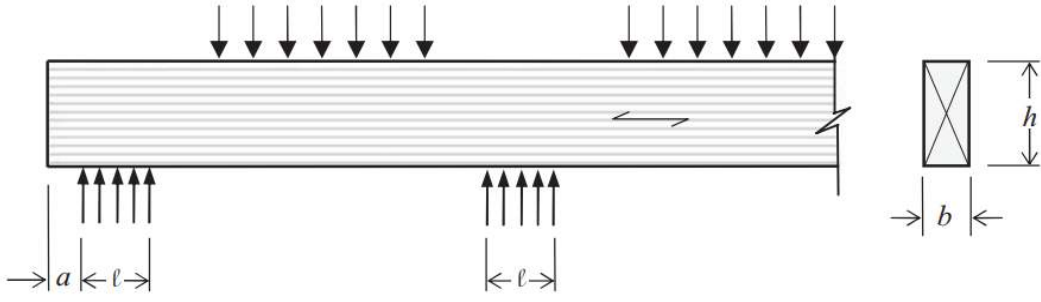
- i. Kirişin ucundan mesnet yüzüne kadar olan mesafe, $a \leq h/3$;

$$k_{c,90} = \left(2.38 - \frac{l}{250} \right) * \left(1 + \frac{h}{12 * l} \right) \quad (\text{EC5 Denklem (6.4)}) \quad (5.24)$$

- ii. $a > h/3$ olduğunda ve iç mesnetlerde;

$$k_{c,90} = \left(2.38 - \frac{l}{250} \right) * \left(1 + \frac{h}{6 * l} \right) \quad (\text{EC5 Denklem (6.5)}) \quad (5.25)$$

l: Mesnet yüzeyinin temas uzunluğu



Şekil 5.15. Mesnetlere oturan kiriş.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 122).

5.4.3.2. Sürekli mesnette ezilme gerilmesi

Sürekli mesnetlenme durumunda $h/b \leq 2.5$ iken:

i. Şekil 5.16a için;

$$k_{c,90} = \left(2.38 - \frac{1}{250} \right) * \left(\frac{l_{ef}}{1} \right)^{0.5} \quad (5.26)$$

$$l_{ef} = l + \frac{h}{3} \quad (5.27)$$

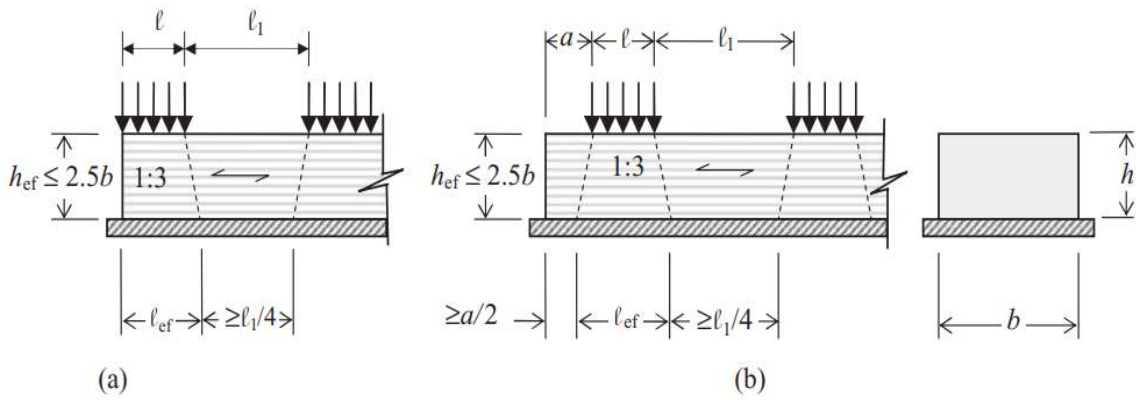
h değeri 40 mm' den az olamaz.

ii. Şekil 5.16b için;

$$k_{c,90} = \left(2.38 - \frac{1}{250} \right) * \left(\frac{l_{ef}}{1} \right)^{0.5} \quad (5.26)$$

$$l_{ef} = l + \frac{2*h}{3} \quad (5.28)$$

h değeri 40 mm' den az olamaz.



Şekil 5.16. Sürekli mesnete oturan kirişte ezilme gerilmeleri $h/b \leq 2.5$.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 122).

5.4.4. Burulma

Maksimum burulma gerilmesi τ ve birim uzunluk başına dönme açısı v/l aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\tau_{tor} = \frac{2 \cdot T}{\pi \cdot r^3} \quad (5.29)$$

$$\frac{v}{l} = \frac{2 \cdot T}{\pi \cdot r^4 \cdot G} \quad (5.30)$$

r: Kesit yarıçapı

G: Kayma modülü

Dikdörtgen kesit için;

$$\tau_{tor} = \frac{T}{k_2 \cdot h \cdot b^2} \quad (5.31)$$

$$\frac{v}{l} = \frac{T}{k_1 \cdot h \cdot b^3 \cdot G} \quad (5.32)$$

Kesitte $h > b$ dir.

k_1 ve k_2 sabitleri, h/b değişken oranları için Tablo 5.5.' te verilmiştir.

$h/b \geq 1.5$ olan dikdörtgen kesitler için, k_1 aşağıdaki değerlere yaklaşabilir:

$$k_1 = \frac{1}{3} \cdot \left(1 - 0.63 \cdot \frac{b}{h} \right) \quad (5.33)$$

ve $h/b \geq 2.5$ olduğunda, k_1/k_2 ' ye eşit olan k faktörü 1 alınabilir.

k ve k_1 değerleri aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$k = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^2 \cdot \cosh(nh\pi/2b)}$$
$$k_1 = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{192}{\pi^5} \cdot \frac{b}{h} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{1}{n^5} \cdot \tanh\left(\frac{n\pi h}{2b}\right) \right) \quad (5.34)$$

Tablo 5.6. Timoshenko ve Goodier denklemlerine dayalı olarak gerilme için k_1 ve dönme için k_2 faktörleri.

h/b	k	k_1	$k_2 = \frac{k_1}{k}$
1	0.675	0.1406	0.208
1.2	0.759	0.166	0.219
1.3	0.793	0.177	0.223
1.5	0.848	0.196	0.231
1.7	0.888	0.211	0.237
2.0	0.930	0.229	0.246
2.5	0.968	0.249	0.258
3.0	0.985	0.263	0.267
4.0	0.997	0.281	0.282
5.0	0.999	0.291	0.291
6.0	0.9999	0.298	0.298
8.0	1.000	0.307	0.307
10.0	1.000	0.312	0.312
∞	1.000	0.333	0.333

Hiperstatik yapılarda burulma gerilmesi, (5.31) denkleminde elde edilen gerilmelerden küçük olacaktır.

Burulma için sınır durumu ULS' dir ve verilen tasarım şartı:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} * f_{v,d} \quad (EC5 \text{ Denklem (6.14)}) \quad (5.35)$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (5.18)$$

$\tau_{tor,d}$: Dairesel ve dikdörtgen kesitler için tasarım burulma gerilmesi

k_{shape} : Şekil faktörü

$$k_{shape} = \begin{pmatrix} 1.2 \\ \min\left(1 + 0.15\left(\frac{h}{b}\right)\right) \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{dairesel kesit için} \\ \text{dikdörtgen kesit için} \end{matrix} \quad (5.36)$$

Kesitte, $h > b$ dir.

5.4.5 Birleşik kesme ve burulma

EC5 yalnızca kesme veya burulma etkisindeki elemanları dikkate alır, birleşik kesme ve burulma durumlarını kapsamaz.

Birleşik kesme ve burulma durumunda, gerilmeler birleştirilir. Birleşik gerilme durumu için yapılan araştırmalarda ve aşağıdaki göçme kriterinin uygulanabileceği ileri sürülmüştür:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} * f_{v,d}} + \left(\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (5.37)$$

(5.37) denklemi, kesitin birleşik kayma direncini artırarak, gerilmenin yeniden dağılımını sağlar. Alternatif olarak, göçme kriterinin aşağıdaki gibi olacağı yaklaşım benimsenebilir:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} * f_{v,d}} + \frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (5.38)$$

Burulmalı kayma gerilmeleri, eğilme, basınç, çekme veya ezilme gerilmeleriyle etkileşime girmez. Bu gerilmelere maruz kalan elemanlarda, burulmalı kayma gerilmesi koşulu (5.35) denkleminde göre kontrol edilmelidir.

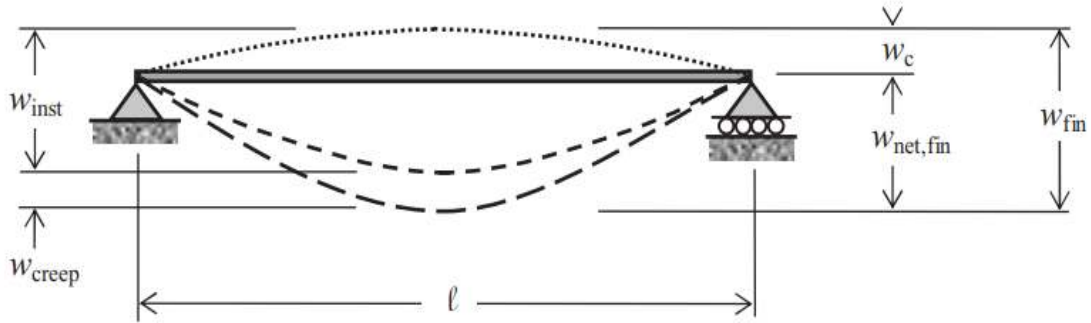
5.5. Kullanılabilirlik Sınır Durumları (SLS) İçin Tasarım

SLS' de, kontrol edilecek şartlar dönme ve titreşim davranışlarıdır. Bu durumlar için, γ_G , γ_Q ve γ_M kısmi faktörleri 1 alınmalıdır.

5.5.1. Deformasyon

5.5.1.1. Eğilme ve kaymaya bağlı deformasyon

Ahşap kiriş deformasyonu birkaç bileşenden oluşur. SLS tasarımına göre bu bileşenlerin sınır değerlerine ait semboller şunlardır (Şekil 5.17.):



Şekil 5.17. Sehim bileşenleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 126).

w_c : Önkamber

w_{inst} : Ani deformasyon

w_{creep} : Sünme (kayma) deformasyonu

w_{fin} : Nihai (son) deformasyon

$w_{net,fin}$: Net nihai (son) deformasyon

Net nihai (son) deformasyon şu şekilde yazılabilir:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c \quad (5.39)$$

ya da

$$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c \quad (5.40)$$

Basit mesnetli kirişlerin ve konsolların deformasyonu için önerilen sınır değerler Tablo 5.7.' dedir.

Tablo 5.7. EC5 Tablo 7.2.' de verilen düşey sehîm sınırlarına ilişkin kılavuz.

Kaynak / Durum	Eleman	w_{inst}	w_{fin}	$w_{net,fin}$
EC5 Tablo 7.2	İki mesnetli kiriş	1/300 ila 1/500	1/150 ila 1/300	1/250 ila 1/350
	Konsol kiriş	1/150 ila 1/250	1/75 ila 1/150	1/125 ila 1/175
Sıvalı veya alçıpan tavanlı çatı veya zemin elemanları	İki mesnetli kiriş			1/250
	Konsol kiriş			1/125
Sıvasız veya alçıpan tavansız çatı veya zemin elemanları	İki mesnetli kiriş			1/150
	Konsol kiriş			1/75

EC5' te, SLS' deki deplasmanlar için kullanılan tasarım yükleme, karakteristik etki kombinasyonundan elde edilir. Karakteristik etki kombinasyonu ile tasarım, tersinir olmayan SLS için geçerlidir.

Yapıdaki deplasmanı tanımlamak için EC5' te kullanılan terminoloji, Şekil 5.17.' de sınır yer değıştirmeler için kullanılan ile aynıdır, ancak w harfi u ile değıştirilir. Ani sehîm u_{inst} ve son sehîm u_{fin} değıerleri aşğıdaki şekilde elde edilecektir:

i) u_{inst} : Karakteristik etki kombinasyonu kullanılarak elde edilir.

ii) u_{fin} : Ani sehimi ve kayma sehimi birleştirilerek elde edilir.

Kalıcı G eylemleri için:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} + u_{creep,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def}) \quad (5.41)$$

Q_1 Öncü değişken eylem için:

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} + u_{creep,Q,1} = u_{inst,Q,1}(1 + \psi_2 k_{def}) \quad (5.42)$$

Q_i Eşlik eden değişken eylemleri için, ($i > 1$):

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} + u_{creep,Q,i} = u_{inst,Q,i}(\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad (5.43)$$

Ve son şart:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + \sum_{i=2}^n u_{fin,Q,i} \quad (5.44)$$

Ahşapta kayma, yükleme süresi, nem içeriği, sıcaklık ve birleşik gerilme etkileri nedeniyle ortaya çıkar. 50 °C' nin altında olmak kaydıyla sıcaklığın kayma üzerindeki etkisi göz ardı edilebilir.

Eleman kesme kuvvetleri nedeniyle eğilmeye maruz kaldığında, hem eğilme momentinin hem de kesme kuvvetinin etkisine bağlı deformasyon gerçekleşir. Örneğin, derinliği h , tasarım açıklığı l olan ve açıklık ortasında tekil yük ile yüklenmiş basit mesnetli dikdörtgen bir kiriş için kesmeden kaynaklı ani sehimin, eğilme momentinden kaynaklı ani sehime oranı:

$$\frac{u_{inst,v}}{u_{inst,m}} = 1.2 \frac{E_{0,mean}}{G_{mean}} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \quad (5.45)$$

Yapısal çelik için, $E_{0,mean}/G_{mean}$ oranı yaklaşık olarak 2' dir ve sonuç olarak çelik tasarımda, kayma deformasyon etkisi göz ardı edilir. Bununla birlikte, ahşap için $E_{0,mean}/G_{mean}$ oranı yaklaşık 16' dır. Elverişli kiriş tasarımı için, h/l oranı 0.1 ile 0.05 arasında değişir ve bu da eğilme değerinin %5-20' si arasında bir kayma deformasyonuna neden olacaktır. Bu önemli bir yüzde olduğundan, ahşap yapıların tasarımı yapılırken kayma deformasyonunun etkisi göz önünde bulundurulmalıdır.

Kayma deformasyonu, kayma büyütme faktörü ile çarpılan eğilme sapması ile ifade edilebilir. Bazı standart yük durumları için genişliği b , derinliği h , tasarım uzunluğu l olan basit mesnetli dikdörtgen kiriş ile ilgili kayma büyütme faktörü değerleri Tablo 5.7.' de verilmiştir. Seçilen yük durumu için kirişteki birleştirilmiş kayma ve eğilme sehimleri, eğilme sehiminin kayma büyütme faktörü ile çarpılmasıyla elde edilir.

5.5.1.2. Mesnetlerde basınç nedeniyle oluşan deformasyon

Ezilme gerilmesi faktörü $k_{c,90}$, mesnette 1 olduğunda ezilme deformasyonu yaklaşık %2-3 olacaktır. Bu yüzden göz ardı edilebilir. Bununla birlikte, ULS' de gerekli ezilme mukavemetini elde etmek için yüksek bir $k_{c,90}$ değerine ihtiyaç duyulursa, gerilme %10 kadar yüksek olabilir ve SLS' deki bu gibi durumlarda mesnetlerde basıncın neden olduğu deformasyon tasarımı dikkate alınmalıdır.

EC5 EkC 6.1.5'te özetlenen taslakta önerilen değişikliğe göre, liflere dik yönde yüksek basınç deformasyonları ortaya çıkmaz ve normal tasarım koşulları için mesnetlerde basınç deformasyonları dikkate alınmaz.

Tablo 5.8. Dikdörtgen kesitli basit mesnetli veya konsollu kirişlerde standart yük durumları için eğilme sehim ve kayma büyütme faktörleri.

Yük durumu	Eğilme sehim (mm)	Kesme büyütme faktörü
Basit mesnetli kirişin uzunluğu boyunca, Q (kN) yüküne eşit olacak şekilde dağıtılmış düzgün yayılı yük (udl)	$\frac{5Ql^3}{32E_{0,mean}bh^3}$	$\left(1 + 0.96 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}}\right) \left(\frac{h}{l}\right)^2\right)$
Basit mesnetli kirişin açıklık ortasında noktasal P (kN) yükü	$\frac{Pl^3}{48E_{0,mean}bh^3}$	$\left(1 + 1.20 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}}\right) \left(\frac{h}{l}\right)^2\right)$
Konsol ucundaki noktasal P (kN) yükü	$\frac{4Pl^3}{3E_{0,mean}bh^3}$	$\left(1 + 0.3 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}}\right) \left(\frac{h}{l}\right)^2\right)$
Basit mesnetli kirişin 1/4 ve 3l/4 noktasında noktasal P (kN) yükü	$\frac{11Pl^3}{32E_{0,mean}bh^3}$	$\left(1 + 0.873 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}}\right) \left(\frac{h}{l}\right)^2\right)$
Basitçe mesnetli kirişin 1/4, 1/2 ve 3l/4 noktasında nokta P (kN) yükü	$\frac{19Pl^3}{32E_{0,mean}bh^3}$	$\left(1 + 1.011 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}}\right) \left(\frac{h}{l}\right)^2\right)$

5.5.2. Titreşim

EC5'e göre SLS yükleme koşulları için yapının titreşimi kabul edilebilir ölçüde olmalıdır. Titreşime karşı kabul edilebilirlik sınırlarını etkileyen ana faktörler şunlardır:

- Makine titreşimleri
- Ayak titreşimleri
- Titreşime yakınlık

5.5.2.1. Makine titreşimleri

Makine titreşimlerine ait kabul edilebilir seviyeler ISO 2631: 2' den elde edilecektir. Titreşimlerin kabul edilebilir seviyeyi aşması durumunda, makine ile yapı arasına titreşim önleyici bağlantılar monte edilmelidir.

5.5.2.2. Ayak titreşimleri

EC5 yalnızca 8 Hz' den fazla temel frekansa sahip konut zeminleri ile ilgilenir. Bu frekansın altındaki zeminler özel inceleme gerektirir ve EC5 kapsamı dışındadır.

$l \cdot b$ boyutlu, basit mesnetli dikdörtgen zemin için, temel frekansın yaklaşık değerini şu şekilde hesaplanır:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_1}{m}} \quad (\text{EC5 Denklem 7.5))} \quad (5.46)$$

- l : Tasarım açıklığı
- $(EI)_1$: Zeminin eğilme rijitliği
- m : Zeminin birim alan kütlesi

(a) Düşük frekans etkileri:

Zeminde frekans 8 Hz' den daha azdır. Zeminin ortasına uygulanan 1 kN statik yük için a sehimini;

$$a \leq 1.8(\text{mm}) \text{ yer döşemeleri için } \leq 4000 \text{ mm} \quad (5.47)$$

$$a \leq \frac{16500}{l^{1.1}} (\text{mm}) \text{ yer döşemeleri için } > 4000 \text{ mm} \quad (5.48)$$

$$a = \frac{1000 k_{\text{dist}}^3 k_{\text{kamp}}}{48(EI)_{\text{joist}}} (\text{mm}) \quad (\text{Denklem (NA.1)}) \quad (5.49)$$

- k_{dist} , tek bir kiriş tarafından desteklenen 1 kN yükün oranını verir. Kullanılacak değer:

$$k_{\text{dist}} = \max \left\{ k_{\text{strut}} \left[0.38 - 0.08 \ln \left[\frac{14(EI)_b}{s^4} \right] \right], 0.30 \right\} \quad (5.50)$$

$k_{\text{strut}} = 1$ ' dir. Zeminde dikme kullanıldığında $k_{\text{strut}} = 0.97$ ' dir.

$(EI)_b$: Kirişlere dik döşemenin eğilme rijitliği

s : Kiriş aralığı

- l_{eq} : Döşeme kirişleri açıklığı. Basit mesnetli kirişler için, $l_{eq} = l$, sürekli kirişlerin uç kısımları için $l_{eq} = 0.9l$ ve sürekli kirişlerin iç açıklıkları için, $l_{eq} = 0.85l$ alınmalıdır.
- k_{amp} , masif ahşap ve yapıştırılmış ince gövdeli kirişlerde kayma deformasyonu etkilerini veya mekanik birleşimli döşemede birleşim kayması etkilerini dikkate alan büyütme faktörüdür:
 Basit mesnetli masif ahşap kirişler için 1.05,
 Sürekli masif ahşap kirişler için 1,10,
 Basit mesnetli yapıştırılmış ince gövdeli kirişler için 1.15,
 Sürekli yapıştırılmış ince gövdeli kirişler için 1,30,
 Basit mesnetli mekanik birleşimli döşemeler için 1.30
 Sürekli mekanik birleşimli döşemeler için 1,45
- EI_{joist} : Eğilme rijitliğidir. Kiriş elastisite modülünün ortalama değeri kullanılarak hesaplanır.

$(EI)_b$ ile ilgili notlar

- (1) Eğilme rijitliği, zemin döşemesinin elastisite modülünün ortalama değeri kullanılarak $(EI)_b$ olarak hesaplanır. Zemin döşemelerinin uçlarındaki veya döşeme panellerinin kenarlarındaki süreksizlikler ihmal edilir.
- (2) Alçıpan tavanların doğrudan döşeme kirişlerinin alt kısmına sabitlendiği durumlarda, alçıpanın eğilme rijitliği eklenebilir. $E_{alçıpan}=2000 \text{ N/mm}^2$ olduğu varsayılmalıdır.
- (3) Zeminin, orta açıklıktan 0.11 içindeki kirişlere sabitlenmiş sürekli bir enine eleman ile donatılmış açık gövdeli kirişlerinden oluştuğu durumlarda $(EI)_b$, l açıklığına bölünen enine elemanın eğilme rijitliği eklenerek arttırılabilir.

(b) Yüksek frekanslı etkiler

Zemin merkezinde 1.0 Ns' lik birim darbe kuvveti altında, zemin titreşim hızı v' nin maksimum başlangıç değeri:

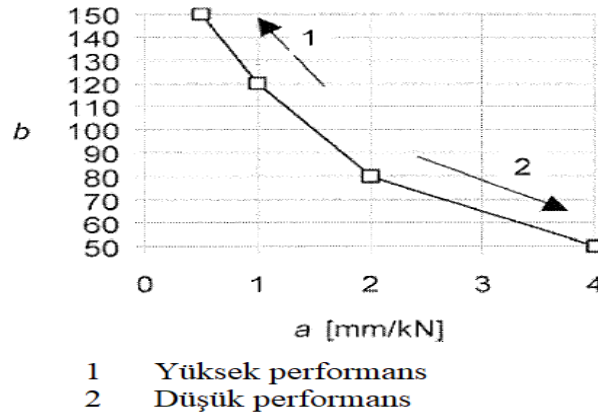
$$v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)} \text{ (m/Ns}^2\text{)} \quad (\text{EC5 Denklem (7.4)}) \quad (5.51)$$

- v : Birim darbe hızı tepkisidir.

- b: Zemin sapması a ile ilgili olan birim darbe tepkisinin kontrolü için bir sabittir ;

$$a \leq 1 \text{ mm olduğunda} \quad b = 150 - \left(\frac{30(a-0.5)}{0.5} \right) = 180 - 60a \quad (5.52)$$

$$a > 1 \text{ mm olduğunda} \quad b = 150 - \left(\frac{30(a-0.5)}{0.5} \right) = 180 - 60a \quad (5.53)$$



Şekil 5.18. Önerilen aralık ve a ile b arasındaki ilişki.

Kaynak: (EN 1995-1-1:2004, 54).

- f_1 : Zeminin Hz cinsinden doğal frekansı
- ζ : Zeminin modal sönümleme oranı

Yapının gerçek birim darbe hızı tepkisini türetmek için EC5'in şartı aşağıdaki gibidir:

$l \cdot b$ ölçülerine sahip ve basit mesnetli dikdörtgen bir zemin için, v' nin yaklaşık değeri;

$$v = \frac{4(0.4 + 0.6n_{40})}{mbl + 200} \quad (\text{EC5 Denklem (7.6)}) \quad (5.54)$$

b: Genişlik

l: Tasarım açıklığı

n_{40} : Doğal frekansları 40 Hz' e kadar olan birinci derece titreşim modlarının sayısıdır.

$$n_{40} = \left(\left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right)^{0.25} \quad (\text{EC5 Denklem (7.7)}) \quad (5.55)$$

$(EI)_l$: Levha eğilme rijitliğidir. $(EI)_b < (EI)_l$ 'dir.

6. EKSENEL VEYA BİRLEŞİK EKSENEL VE EĞİLME ETKİSİNDEKİ ELEMANLAR VE DUVARLARIN TASARIMI

Ahşap elemanlar genellikle eksenel kuvvete ya da hem eksenel kuvvet hem de eğilme momentine maruz kalacak şekilde kullanılır. Örneğin makaslar, kolonlar, destek elemanları (Şekil 6.1.). Bu bölümde düz kesimli ahşap tasarımı ele alınmış, yapıştırılmış lamine kesitli kolonların ve yapma kolonların tasarımı sırasıyla Bölüm 7 ve 9’ de değerlendirilmiştir.

6.1. Tasarım

Eksenel yüklü elemanların tasarımıyla ilgili sınır durumları Tablo 6.1.’ de verilmiştir. Denge durumları ve dayanım koşulları taşıma gücü sınır durumlarıdır ve yer değiştirme koşulu kullanılabilirlik sınır durumudur.

Dayanım koşulları için, tasarım gerilmesi hesaplanır ve dayanım faktörleri yardımıyla değiştirilen tasarım dayanımı ile karşılaştırılır. Tasarım gerilmesi tasarım dayanımı aşmamalıdır.

Tablo 6.1. Eksenel yüklü elemanlar için ana tasarım kriterleri ve ilgili EC5 sınır durumları.

Tasarım veya deplasman etkisi	EC5 sınır durumu
Statik dengenin korunması (kayma, devrilme, kaldırma)	ULS
Yanal kararsızlığın etkisi de dahil eksenel gerilme	ULS
Sehim	SLS



(a) Basit kolon (direk)



(b) Eksantrik yüklü kolon



(c) Kafes sistemi



(d) Kiriş - kolon



(e) Saplama duvar ve çoklu dikmeler



(f) Kafes sistem

Şekil 6.1. Kolon, direk ve dikme duvar örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 149).

6.2. Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanların Tasarımı

6.2.1. Eksenel basınç etkisindeki elemanlar



Şekil 6.2. Eksenel basınç.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 150).

Şekil 6.2.' de gösterildiği gibi, liflere paralel x-x ekseni boyunca etkiyen basınç kuvvetine maruz elemanlardır. Örneğin; kolonlar, dikmeler, makas dikmeleri.

Basınç kuvveti durumunda, göçme kuvveti çeşitli faktörlere bağlıdır:

- Dayanım ve rijitlik
- Geometri
- Mesnet koşulları
- Geometrik kusurlar
- Malzeme kusurları

Eksenel yük durumunda, narinlik oranı λ arttıkça, burkulma olayı gözlenir. (Şekil 6.3.)

$$\lambda = \frac{L_e}{i} \quad (6.1)$$

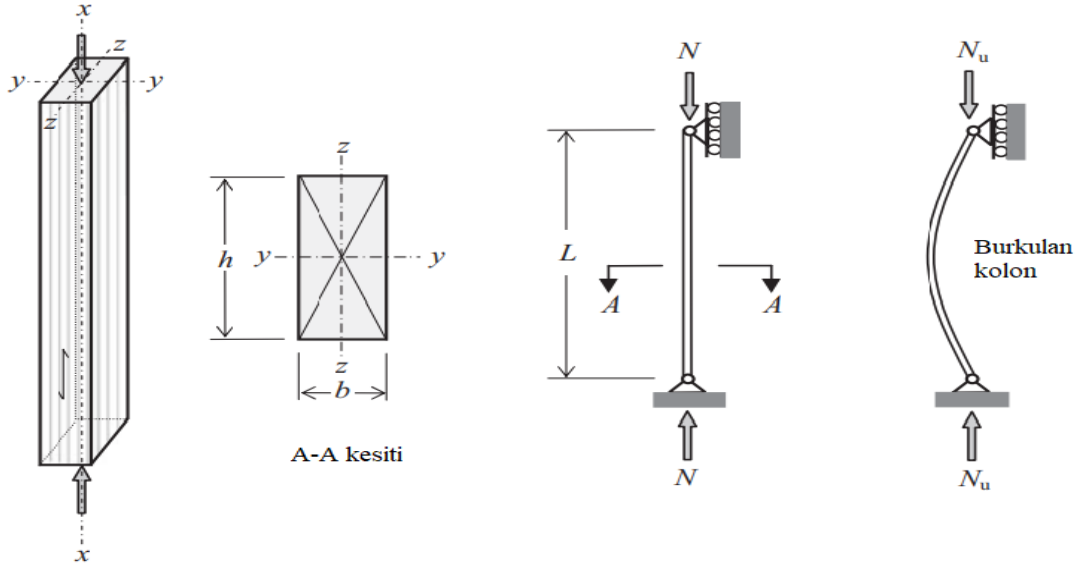
L_e : Etkili uzunluk

i : Eğrilik yarıçapı.

$$i = \sqrt{I/A}$$

I : Atalet momenti

A : Kesit alanı



Şekil 6.3. Kolon burkulması.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 151).

Şekil 6.3.' te gösterilen dikdörtgen kesitli elemanın A-A kesiti için, y-y eksenine göre narinlik oranı λ_y ve z-z eksenine göre narinlik oranı λ_z

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i_y} = \frac{L_{e,y}}{h/\sqrt{12}} \quad \text{ve} \quad \lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i_z} = \frac{L_{e,z}}{b/\sqrt{12}}$$

formülleri ile hesaplanır.

$L_{e,y}$: y-y eksenine göre etkili uzunluk

$L_{e,z}$: z-z eksenine göre etkili uzunluk

Basınç altındaki elemanın etkili uzunluğu L_e ' dir. Tablo 6.2.' de, mesnet koşullarına göre etkili uzunluk L_e ' nin gerçek uzunluk L ' ye oranı verilmiştir.

Tablo 6.2. Basınç elemanlarının etkili uzunluğu.

Uçlarda mesnet koşulu	L_e/L
İki uç ta dönmeye ve deplasman karşı tutulmuş	0.7
Bir uç dönme ve deplasmana karşı tutulmuş, diğer uç deplasmana karşı tutulmuş	0.85
İki uç ta deplasmana karşı tutulmuş	1
Bir uç dönme ve deplasmana karşı tutulmuş diğer uç dönmeye karşı tutulmuş	1.5
Bir uç dönme ve deplasmana karşı tutulmuş, diğer uç boşta	2

İdeal bir kesitte y-y ve z-z eksenlerine ait Euler burkulma yükü;

$$P_{E,y} = \frac{\pi^2 * E_{0.05} * A}{\lambda_y^2} \text{ ve } P_{E,z} = \frac{\pi^2 * E_{0.05} * A}{\lambda_z^2} \quad (6.2)$$

$E_{0.05}$: Karakteristik elastisite modülü

Euler burkulma yüklerinin A kesit alanına bölünmesi ile y-y ve z-z eksenlerine ait burkulma gerilmeleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

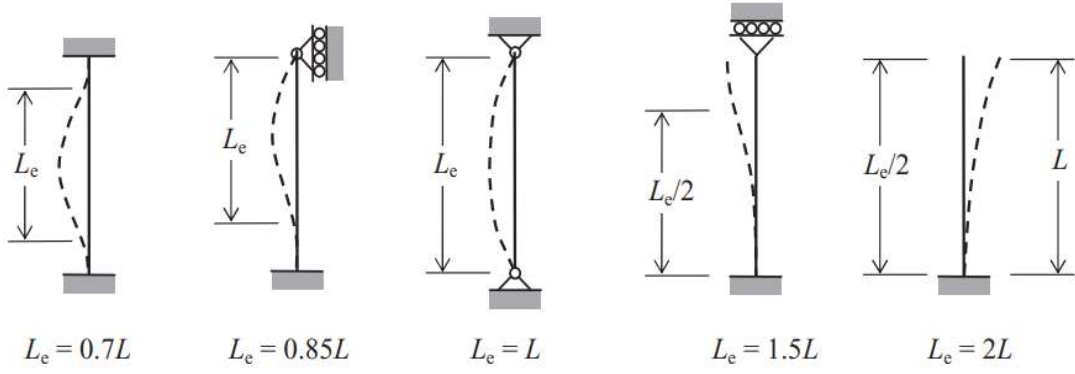
$$\sigma_{E,y} = \frac{\pi^2 * E_{0.05}}{\lambda_y^2} \quad \text{ve} \quad \sigma_{E,z} = \frac{\pi^2 * E_{0.05}}{\lambda_z^2} \quad (6.2a)$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} \quad \text{ve} \quad \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}} \quad (6.3)$$

$\lambda_{rel,y}$: y-y ekseninde eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı

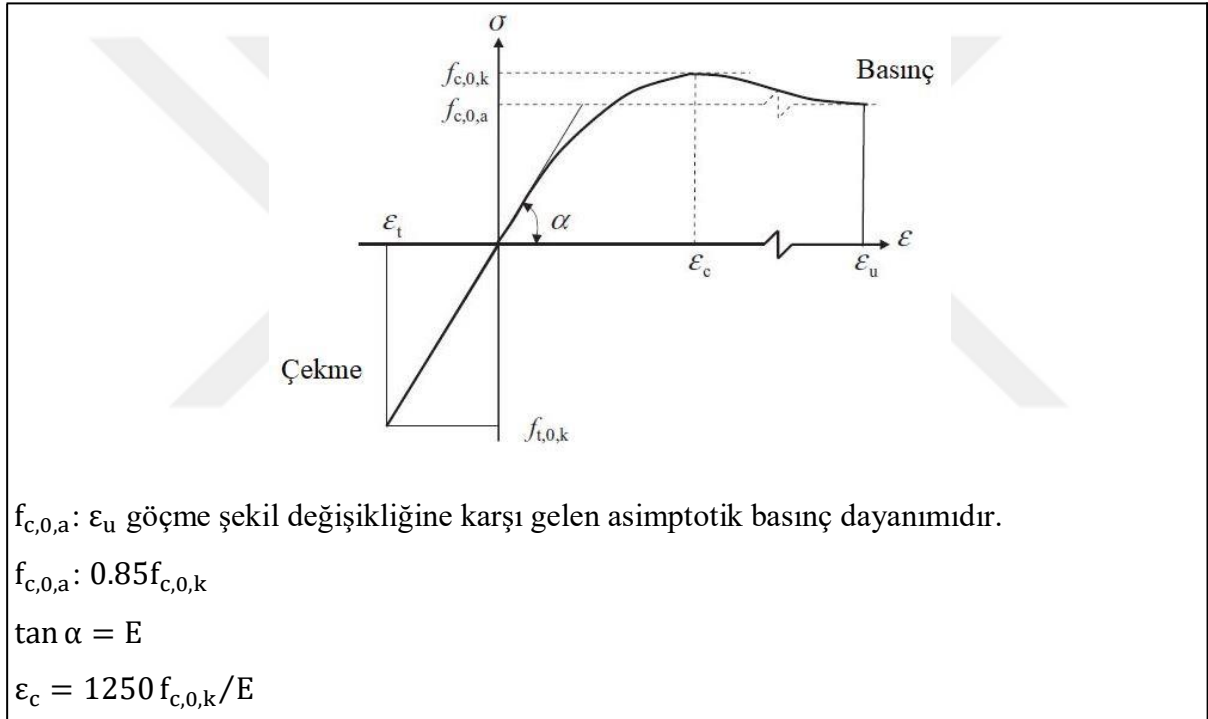
$\lambda_{rel,z}$: z-z ekseninde eğilmeye karşılık gelen göreceli narinlik oranı

Eleman kısa boylu ve bodur yapılı olduğunda burkulma meydana gelmez. Gerilme altında ahşabın zayıflığından dolayı göçme olur. EC5' e göre bu durum y-y ve z-z eksenlerine göre göreceli narinlik oranlarının ($\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z}$) ≤ 0.3 olmasına bağlıdır. Yumuşak ahşap türleri için, $\lambda_{rel} \leq 0.3$ olduğunda, $f_{c,0,k}$ ve $E_{0.05}$ karakteristik değerlerinin (6.3) denkleminde yerine koyulması ile maksimum narinlik oranı 16.2 ile 18.1 arasında hesaplanır. Bu oran sert ahşap türleri için daha yüksektir. En küçük boyutu b olan dikdörtgen enine kesitli bir eleman için, etkili uzunluk sırasıyla 4.66b ve 5.23b kolon uzunluklarını veren $L_E = b/\sqrt{12\lambda_{rel}}$ den elde edilecektir. Bu sonuçlardan açıkça anlaşılmaktadır ki, tasarımda burkulma problemi gerilme problemine göre daha büyük önem arz etmektedir.



Şekil 6.4. Etkili uzunluk ve mesnet koşulları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 152).

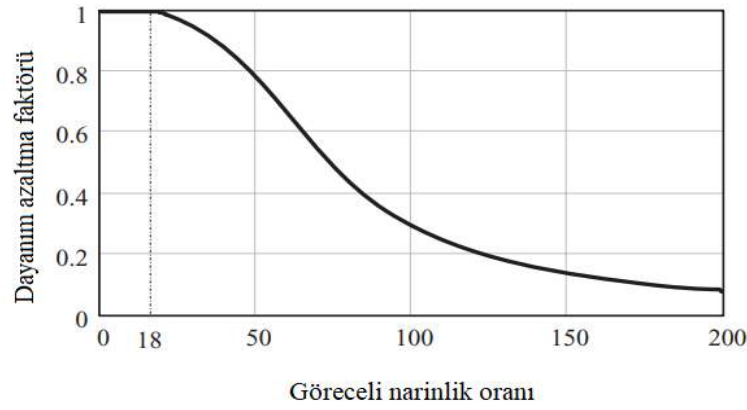


Şekil 6.5. Gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 153).

$\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z}$ değerleri 0.3' ü aştığında, burkulma etkisi hesaba katılmalıdır. $\lambda_{rel} = 0.3$ olduğunda, Euler burkulma yükü altında burkulmadan kaynaklı göçme ile basınçtan kaynaklı göçme arasındaki güvenlik faktörü yaklaşık 11' dir. Bu durum, hiçbir kusur olmadığını varsayan ideal bir duruma yakındır ve elastik davranış için geçerlidir.

Eksenel yük altında ahşap için gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 6.5.' te, narinlik oranının artması ile mukavemetin düşüşü gösteren grafik Şekil 6.6.' da gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Narinlik oranı arttıkça masif ahşabın basınç elemanındaki mukavemet azalmasını gösteren tipik bir grafik.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 154).

Mukavemet özellikleri ve geometrik kusurlar göz önünde bulundurularak, ahşap için değişken uzunluk oranlarındaki burkulma dayanımları elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre, eksenel basınç altındaki elemanlar için, narinlik oranı cinsinden burkulma mukavemeti azaltma faktörü elde edilmiştir. Denklemler şu şekildedir;

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (\text{EC5 Denklem (6.25)}) \quad (6.4a)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (\text{EC5 Denklem (6.26)}) \quad (6.4b)$$

$$k_y = 0.5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0.3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad (\text{EC5 Denklem (6.27)}) \quad (6.5a)$$

$$k_z = 0.5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0.3) + \lambda_{rel,z}^2) \quad (\text{EC5 Denklem (6.28)}) \quad (6.5b)$$

β_c , sehim sınırlarına uygun dikdörtgen elemanlar için geçerlidir. Sehim, ahşap elemanlar için $\leq 1/300$ ve LVL (ve glulam) için ise $\leq 1/500$ olmalıdır. Bu durumda;

$$\beta_c = \begin{cases} \text{sert ahşap için} & 0.2 \\ \text{glulam ve LVL için} & 0.1 \end{cases} \quad (6.6)$$

Yukarıdaki açıklamalara göre, tasarım kuvveti aşağıdaki gibi olacaktır;

$$y\text{-}y \text{ eksenine göre burkulma dayanımı} = k_{c,y} * f_{c,0,d} \quad (6.7a)$$

$$z\text{-}z \text{ eksenine göre burkulma dayanımı} = k_{c,z} * f_{c,0,d} \quad (6.7b)$$

(6.4)-(6.6) denklemlerini kullanarak hesaplanan $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri, dayanım sınıfı ve narinlik oranına göre oluşturulan tablolardan da bulunabilir. Bu tablolarda narinlik oranı λ ,

görelî narinlik oranı λ_{rel} yerine kullanılmıştır. C14-C50 dayanım sınıflarının sert ahşap elemanları için, 180' e kadar olan bir narinlik oranlarına ait değerler Tablo 6.3.' te verilmiştir.

Tablo 6.3.' te, her bir dayanım sınıfı için verilen narinlik oranının en düşük değeri, burkulmanın oluşmayacağı ve $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ ' nin 1 alınacağı değerdir.

y-y ve z-z eksenlerine ait göreceli narinlik oranını değerlendirmek için verilen prosedür aşağıdaki gibidir.

(a) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ olması durumu:

Bu durumda burkulma olmayacak, eleman zorlanmayacak ve tasarım gerilmesi tasarım dayanımının altında kalacaktır.

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.2)}) \quad (6.8)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad (6.9)$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (6.10)$$

k_{mod} : Modifikasyon faktörü

k_{sys} : Sistem güç faktörüdür. Kolonlar için geçerli değildir ve 1 alınır.

γ_M : Malzeme kısmi faktörü

$f_{c,0,k}$: Liflere paralel karakteristik basınç dayanımı

(b) $\lambda_{rel,y}$ veya $\lambda_{rel,z}$ (veya her ikisi de) > 0.3 olması durumu:

Bu durumda burkulma olur. Kararsızlık faktörlerinin etkisi göz önüne alındığında, elemandaki basınç gerilmesi, elemanın basınç kuvvetinden daha azdır.

$$\lambda_{rel,y} > 0.3 \text{ olduğunda } \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.11a)$$

$$\lambda_{rel,z} > 0.3 \text{ olduğunda } \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.11b)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} * f_{c,0,d} \quad (6.12)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} * f_{c,0,d} \quad (6.13)$$

Tablo 6.3. $\beta_c = 0.2$ iken C14, C16 ve C18 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C14			C16			C18		
$f_{c,0,k} = 16 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 4700 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 17 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 5400 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 6000 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
16.153	0.300	1.000	16.797	0.300	1.000	17.207	0.300	1.000
20	0.371	0.984	20	0.357	0.987	20	0.349	0.989
25	0.464	0.960	25	0.446	0.965	25	0.436	0.968
30	0.557	0.932	30	0.536	0.939	30	0.523	0.943
35	0.650	0.899	35	0.625	0.908	35	0.610	0.914
40	0.743	0.856	40	0.714	0.870	40	0.697	0.878
45	0.836	0.804	45	0.804	0.823	45	0.785	0.834
50	0.929	0.741	50	0.893	0.766	50	0.872	0.781
55	1.021	0.673	55	0.982	0.702	55	0.959	0.720
60	1.114	0.605	60	1.072	0.636	60	1.046	0.655
65	1.207	0.540	65	1.161	0.572	65	1.133	0.591
70	1.300	0.482	70	1.250	0.512	70	1.220	0.531
75	1.393	0.430	75	1.339	0.459	75	1.308	0.477
80	1.484	0.387	80	1.429	0.412	80	1.395	0.429
85	1.579	0.347	85	1.518	0.371	85	1.482	0.387
90	1.671	0.313	90	1.607	0.336	90	1.569	0.351
95	1.764	0.284	95	1.697	0.305	95	1.656	0.318
100	1.857	0.258	100	1.786	0.278	100	1.743	0.290
105	1.950	0.236	105	1.875	0.254	105	1.831	0.265
110	2.043	0.217	110	1.965	0.233	110	1.918	0.244
115	2.136	0.199	115	2.054	0.214	115	2.005	0.224
120	2.229	0.184	120	2.143	0.198	120	2.092	0.207
125	2.322	0.170	125	2.232	0.183	125	2.179	0.192
130	2.414	0.158	130	2.322	0.170	130	2.266	0.178
135	2.507	0.147	135	2.411	0.158	135	2.354	0.166
140	2.600	0.137	140	2.500	0.148	140	2.441	0.155
145	2.693	0.128	145	2.590	0.138	145	2.528	0.145
150	2.786	0.120	150	2.679	0.129	150	2.615	0.136
155	2.879	0.113	155	2.768	0.122	155	2.702	0.127
160	2.972	0.106	160	2.858	0.114	160	2.789	0.120
165	3.064	0.100	165	2.947	0.108	165	2.877	0.113
170	3.157	0.094	170	3.036	0.102	170	2.964	0.107
175	3.250	0.089	175	3.125	0.096	175	3.051	0.101
180	3.343	0.084	180	3.215	0.091	180	3.138	0.095

Tablo 6.4. $\beta_c = 0.2$ iken C22, C24 ve C27 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C22			C24			C27		
$f_{c,0,k} = 20 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 6700 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 22 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 7700 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
17.250	0.300	1.000	17.692	0.300	1.000	17.632	0.300	1.000
20	0.348	0.989	20	0.339	0.991	20	0.340	0.991
25	0.435	0.968	25	0.424	0.971	25	0.425	0.970
30	0.522	0.944	30	0.509	0.948	30	0.510	0.947
35	0.609	0.915	35	0.593	0.920	35	0.596	0.919
40	0.696	0.879	40	0.678	0.887	40	0.681	0.886
45	0.783	0.835	45	0.763	0.846	45	0.766	0.844
50	0.870	0.782	50	0.848	0.796	50	0.851	0.794
55	0.957	0.721	55	0.933	0.739	55	0.936	0.736
60	1.043	0.657	60	1.017	0.676	60	1.021	0.674
65	1.130	0.593	65	1.102	0.614	65	1.106	0.611
70	1.217	0.533	70	1.187	0.554	70	1.191	0.551
75	1.304	0.479	75	1.272	0.499	75	1.276	0.496
80	1.391	0.431	80	1.357	0.450	80	1.361	0.447
85	1.478	0.389	85	1.441	0.406	85	1.446	0.404
90	1.565	0.352	90	1.526	0.368	90	1.531	0.366
95	1.652	0.320	95	1.611	0.335	95	1.616	0.333
100	1.739	0.291	100	1.696	0.305	100	1.701	0.303
105	1.826	0.267	105	1.780	0.279	105	1.787	0.278
110	1.913	0.245	110	1.865	0.256	110	1.872	0.255
115	2.000	0.225	115	1.950	0.236	115	1.957	0.235
120	2.087	0.208	120	2.035	0.218	120	2.042	0.217
125	2.174	0.193	125	2.120	0.202	125	2.127	0.201
130	2.261	0.179	130	2.204	0.188	130	2.212	0.186
135	2.348	0.167	135	2.289	0.175	135	2.297	0.174
140	2.435	0.155	140	2.374	0.163	140	2.382	0.162
145	2.522	0.145	145	2.459	0.153	145	2.467	0.152
150	2.609	0.136	150	2.544	0.143	150	2.552	0.142
155	2.696	0.128	155	2.628	0.134	155	2.637	0.133
160	2.783	0.120	160	2.713	0.126	160	2.722	0.126
165	2.870	0.113	165	2.798	0.119	165	2.807	0.118
170	2.956	0.107	170	2.883	0.112	170	2.892	0.112
175	3.043	0.101	175	2.967	0.106	175	2.978	0.106
180	3.130	0.096	180	3.052	0.101	180	3.063	0.100

Tablo 6.5. $\beta_c = 0.2$ iken C30, C35 ve C40 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C30			C35			C40		
$f_{c,0,k} = 23 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 8000 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 8700 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 26 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 9400 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
17.577	0.300	1.000	17.582	0.300	1.000	17.920	0.300	1.000
20	0.341	0.991	20	0.341	0.991	20	0.335	0.992
25	0.427	0.970	25	0.427	0.970	25	0.419	0.972
30	0.512	0.947	30	0.512	0.947	30	0.502	0.950
35	0.597	0.919	35	0.597	0.919	35	0.586	0.923
40	0.683	0.885	40	0.683	0.885	40	0.670	0.890
45	0.768	0.843	45	0.768	0.843	45	0.753	0.851
50	0.853	0.793	50	0.853	0.793	50	0.837	0.803
55	0.939	0.734	55	0.938	0.734	55	0.921	0.747
60	1.024	0.671	60	1.024	0.672	60	1.004	0.686
65	1.109	0.608	65	1.109	0.608	65	1.088	0.624
70	1.195	0.548	70	1.194	0.549	70	1.172	0.564
75	1.280	0.494	75	1.280	0.494	75	1.256	0.509
80	1.365	0.445	80	1.365	0.445	80	1.339	0.459
85	1.451	0.402	85	1.450	0.402	85	1.423	0.415
90	1.536	0.364	90	1.536	0.364	90	1.507	0.376
95	1.621	0.331	95	1.621	0.331	95	1.590	0.342
100	1.707	0.302	100	1.706	0.302	100	1.674	0.312
105	1.792	0.276	105	1.792	0.276	105	1.758	0.286
110	1.877	0.253	110	1.877	0.253	110	1.841	0.263
115	1.963	0.233	115	1.962	0.233	115	1.925	0.242
120	2.048	0.216	120	2.048	0.216	120	2.009	0.223
125	2.133	0.200	125	2.133	0.200	125	2.093	0.207
130	2.219	0.185	130	2.218	0.185	130	2.176	0.192
135	2.304	0.173	135	2.304	0.173	135	2.260	0.179
140	2.389	0.161	140	2.389	0.161	140	2.344	0.167
145	2.475	0.151	145	2.474	0.151	145	2.427	0.156
150	2.560	0.141	150	2.559	0.141	150	2.511	0.147
155	2.645	0.133	155	2.645	0.133	155	2.595	0.138
160	2.731	0.125	160	2.730	0.125	160	2.267	0.130
165	2.816	0.118	165	2.815	0.118	165	2.762	0.122
170	2.901	0.111	170	2.901	0.111	170	2.846	0.115
175	2.987	0.105	175	2.986	0.105	175	2.930	0.109
180	3.072	0.099	180	3.071	0.100	180	3.013	0.103

Tablo 6.6. $\beta_c = 0.2$ iken C45 ve C50 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C45			C50		
$f_{c,0,k} = 27 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 10000 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 29 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 10700 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
17.920	0.300	1.000	17.920	0.300	1.000
20	0.331	0.993	20	0.331	0.993
25	0.413	0.973	25	0.414	0.973
30	0.496	0.951	30	0.497	0.951
35	0.579	0.925	35	0.580	0.925
40	0.662	0.894	40	0.663	0.893
45	0.744	0.855	45	0.746	0.855
50	0.827	0.809	50	0.829	0.808
55	0.910	0.755	55	0.911	0.754
60	0.992	0.695	60	0.994	0.694
65	1.075	0.633	65	1.077	0.632
70	1.158	0.574	70	1.160	0.572
75	1.240	0.518	75	1.243	0.517
80	1.323	0.468	80	1.326	0.467
85	1.406	0.424	85	1.409	0.422
90	1.489	0.384	90	1.491	0.383
95	1.571	0.350	95	1.574	0.348
100	1.654	0.319	100	1.657	0.318
105	1.737	0.292	105	1.740	0.291
110	1.819	0.268	110	1.823	0.267
115	1.902	0.247	115	1.906	0.246
120	1.985	0.229	120	1.989	0.228
125	2.067	0.212	125	2.071	0.211
130	2.150	0.197	130	2.154	0.196
135	2.233	0.183	135	2.237	0.183
140	2.316	0.171	140	2.320	0.170
145	2.398	0.160	145	2.403	0.159
150	2.481	0.150	150	2.486	0.149
155	2.564	0.141	155	2.569	0.140
160	2.646	0.133	160	2.651	0.132
165	2.729	0.125	165	2.734	0.124
170	2.812	0.118	170	2.817	0.118
175	2.894	0.112	175	2.900	0.111
180	2.977	0.106	180	2.983	0.105

Tablo 6.7. $\beta_c = 0.1$ iken C14, C16 ve C18 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C14			C16			C18		
$f_{c,0,k} = 16 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 4700 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 17 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 5400 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 6000 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
16.153	0.300	1.000	16.797	0.300	1.000	17.207	0.300	1.000
20	0.371	0.992	20	0.357	0.993	20	0.349	0.994
25	0.464	0.980	25	0.446	0.982	25	0.436	0.984
30	0.557	0.965	30	0.536	0.968	30	0.523	0.971
35	0.650	0.945	35	0.625	0.951	35	0.610	0.954
40	0.743	0.918	40	0.714	0.927	40	0.697	0.932
45	0.836	0.878	45	0.804	0.894	45	0.785	0.902
50	0.929	0.822	50	0.893	0.846	50	0.872	0.859
55	1.021	0.750	55	0.982	0.782	55	0.959	0.800
60	1.114	0.671	60	1.072	0.708	60	1.046	0.730
65	1.207	0.595	65	1.161	0.632	65	1.133	0.655
70	1.300	0.526	70	1.250	0.562	70	1.220	0.584
75	1.393	0.466	75	1.339	0.500	75	1.308	0.521
80	1.484	0.416	80	1.429	0.445	80	1.395	0.465
85	1.579	0.371	85	1.518	0.399	85	1.482	0.417
90	1.671	0.333	90	1.607	0.359	90	1.569	0.375
95	1.764	0.301	95	1.697	0.324	95	1.656	0.339
100	1.857	0.273	100	1.786	0.294	100	1.743	0.308
105	1.950	0.249	105	1.875	0.268	105	1.831	0.281
110	2.043	0.227	110	1.965	0.245	110	1.918	0.257
115	2.136	0.209	115	2.054	0.225	115	2.005	0.236
120	2.229	0.192	120	2.143	0.207	120	2.092	0.217
125	2.322	0.177	125	2.232	0.191	125	2.179	0.201
130	2.414	0.164	130	2.322	0.177	130	2.266	0.186
135	2.507	0.153	135	2.411	0.165	135	2.354	0.173
140	2.600	0.142	140	2.500	0.154	140	2.441	0.161
145	2.693	0.133	145	2.590	0.143	145	2.528	0.150
150	2.786	0.124	150	2.679	0.134	150	2.615	0.141
155	2.879	0.117	155	2.768	0.126	155	2.702	0.132
160	2.972	0.110	160	2.858	0.118	160	2.789	0.124
165	3.064	0.103	165	2.947	0.111	165	2.877	0.117
170	3.157	0.097	170	3.036	0.105	170	2.964	0.110
175	3.250	0.089	175	3.125	0.099	175	3.051	0.104
180	3.343	0.084	180	3.215	0.094	180	3.138	0.098

Tablo 6.8. $\beta_c = 0.1$ iken C22, C24 ve C27 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C22			C24			C27		
$f_{c,0,k} = 20 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 6700 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 7400 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 22 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 7700 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
17.250	0.300	1.000	17.692	0.300	1.000	17.632	0.300	1.000
20	0.348	0.995	20	0.339	0.996	20	0.340	0.995
25	0.435	0.984	25	0.424	0.985	25	0.425	0.985
30	0.522	0.971	30	0.509	0.973	30	0.510	0.973
35	0.609	0.954	35	0.593	0.958	35	0.596	0.957
40	0.696	0.933	40	0.678	0.938	40	0.681	0.937
45	0.783	0.903	45	0.763	0.910	45	0.766	0.909
50	0.870	0.860	50	0.848	0.872	50	0.851	0.870
55	0.957	0.802	55	0.933	0.819	55	0.936	0.817
60	1.043	0.732	60	1.017	0.754	60	1.021	0.751
65	1.130	0.658	65	1.102	0.682	65	1.106	0.679
70	1.217	0.587	70	1.187	0.611	70	1.191	0.608
75	1.304	0.523	75	1.272	0.546	75	1.276	0.543
80	1.391	0.467	80	1.357	0.489	80	1.361	0.486
85	1.478	0.419	85	1.441	0.438	85	1.446	0.436
90	1.565	0.377	90	1.526	0.395	90	1.531	0.393
95	1.652	0.341	95	1.611	0.357	95	1.616	0.355
100	1.739	0.309	100	1.696	0.324	100	1.701	0.322
105	1.826	0.282	105	1.780	0.296	105	1.787	0.294
110	1.913	0.258	110	1.865	0.271	110	1.872	0.269
115	2.000	0.237	115	1.950	0.249	115	1.957	0.247
120	2.087	0.218	120	2.035	0.229	120	2.042	0.228
125	2.174	0.202	125	2.120	0.212	125	2.127	0.210
130	2.261	0.187	130	2.204	0.196	130	2.212	0.195
135	2.348	0.174	135	2.289	0.182	135	2.297	0.181
140	2.435	0.162	140	2.374	0.170	140	2.382	0.169
145	2.522	0.151	145	2.459	0.159	145	2.467	0.158
150	2.609	0.141	150	2.544	0.149	150	2.552	0.148
155	2.696	0.133	155	2.628	0.139	155	2.637	0.138
160	2.783	0.125	160	2.713	0.131	160	2.722	0.130
165	2.870	0.117	165	2.798	0.123	165	2.807	0.122
170	2.956	0.111	170	2.883	0.116	170	2.892	0.115
175	3.043	0.105	175	2.967	0.110	175	2.978	0.109
180	3.130	0.099	180	3.052	0.104	180	3.063	0.103

Tablo 6.9. $\beta_c = 0.1$ iken C30, C35 ve C40 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C30			C35			C40		
$f_{c,0,k} = 23 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 8000 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 25 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 8700 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 26 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 9400 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
17.577	0.300	1.000	17.582	0.300	1.000	17.920	0.300	1.000
20	0.341	0.995	20	0.341	0.995	20	0.335	0.996
25	0.427	0.985	25	0.427	0.985	25	0.419	0.986
30	0.512	0.972	30	0.512	0.972	30	0.502	0.974
35	0.597	0.957	35	0.597	0.957	35	0.586	0.959
40	0.683	0.936	40	0.683	0.936	40	0.670	0.940
45	0.768	0.908	45	0.768	0.908	45	0.753	0.914
50	0.853	0.869	50	0.853	0.869	50	0.837	0.878
55	0.939	0.815	55	0.938	0.815	55	0.921	0.828
60	1.024	0.748	60	1.024	0.749	60	1.004	0.765
65	1.109	0.676	65	1.109	0.676	65	1.088	0.694
70	1.195	0.605	70	1.194	0.605	70	1.172	0.623
75	1.280	0.540	75	1.280	0.540	75	1.256	0.558
80	1.365	0.483	80	1.365	0.483	80	1.339	0.500
85	1.451	0.433	85	1.450	0.434	85	1.423	0.449
90	1.536	0.390	90	1.536	0.390	90	1.507	0.404
95	1.621	0.353	95	1.621	0.353	95	1.590	0.366
100	1.707	0.321	100	1.706	0.321	100	1.674	0.332
105	1.792	0.292	105	1.792	0.292	105	1.758	0.303
110	1.877	0.267	110	1.877	0.268	110	1.841	0.277
115	1.963	0.246	115	1.962	0.246	115	1.925	0.255
120	2.048	0.226	120	2.048	0.226	120	2.009	0.235
125	2.133	0.209	125	2.133	0.209	125	2.093	0.217
130	2.219	0.194	130	2.218	0.194	130	2.176	0.201
135	2.304	0.180	135	2.304	0.180	135	2.260	0.187
140	2.389	0.168	140	2.389	0.168	140	2.344	0.174
145	2.475	0.157	145	2.474	0.157	145	2.427	0.163
150	2.560	0.147	150	2.559	0.147	150	2.511	0.152
155	2.645	0.138	155	2.645	0.138	155	2.595	0.143
160	2.731	0.129	160	2.730	0.129	160	2.679	0.134
165	2.816	0.122	165	2.815	0.122	165	2.762	0.126
170	2.901	0.115	170	2.901	0.115	170	2.846	0.119
175	2.987	0.108	175	2.986	0.108	175	2.930	0.113
180	3.072	0.103	180	3.071	0.103	180	3.013	0.107

Tablo 6.10. $\beta_c = 0.1$ iken C45 ve C50 mukavemet sınıflarına ait $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri.

C45			C50		
$f_{c,0,k} = 27 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 10000 \text{ N/mm}^2$			$f_{c,0,k} = 29 \text{ N/mm}^2$ $E_{0,05} = 10700 \text{ N/mm}^2$		
λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$	λ	λ_{rel}	$k_{c,y}(k_{c,z})$
17.920	0.300	1.000	17.920	0.300	1.000
20	0.331	0.997	20	0.331	0.996
25	0.413	0.987	25	0.414	0.986
30	0.496	0.975	30	0.497	0.975
35	0.579	0.960	35	0.580	0.960
40	0.662	0.942	40	0.663	0.942
45	0.744	0.917	45	0.746	0.917
50	0.827	0.883	50	0.829	0.882
55	0.910	0.835	55	0.911	0.834
60	0.992	0.774	60	0.994	0.773
65	1.075	0.705	65	1.077	0.703
70	1.158	0.635	70	1.160	0.633
75	1.240	0.569	75	1.243	0.567
80	1.323	0.510	80	1.326	0.509
85	1.406	0.459	85	1.409	0.457
90	1.489	0.413	90	1.491	0.412
95	1.571	0.374	95	1.574	0.373
100	1.654	0.340	100	1.657	0.339
105	1.737	0.310	105	1.740	0.309
110	1.819	0.284	110	1.823	0.283
115	1.902	0.261	115	1.906	0.260
120	1.985	0.240	120	1.989	0.239
125	2.067	0.222	125	2.071	0.221
130	2.150	0.206	130	2.154	0.205
135	2.233	0.191	135	2.237	0.191
140	2.316	0.178	140	2.320	0.178
145	2.398	0.167	145	2.403	0.166
150	2.481	0.156	150	2.486	0.155
155	2.564	0.146	155	2.569	0.146
160	2.646	0.137	160	2.651	0.137
165	2.729	0.129	165	2.734	0.129
170	2.812	0.122	170	2.817	0.122
175	2.894	0.115	175	2.900	0.115
180	2.977	0.109	180	2.983	0.109

6.2.2. Liflere göre açılı basınç kuvvetine maruz elemanlar

Taşıma gücü sınır durumu ile ilgilidir. Liflere göre α açısında etkiyen kuvvet durumunda (Şekil 6.7.);

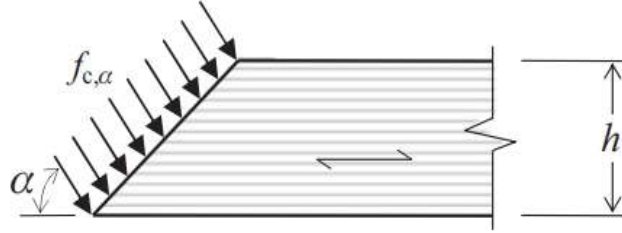
$$f_{c,\alpha} \leq \frac{f_{c,0} f_{c,90}}{f_{c,0} \sin^n \alpha + f_{c,90} \cos^n \alpha}$$

n değeri ahşap için 2 kabul edilir ve liflere dik basınca maruz elemanlar için $k_{c,90}$ ve $f_{c,90,d}$ değerleri kullanılarak;

$$f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90}f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.14)$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90}f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (\text{EC5 Denklem (6.16)}) \quad (6.15)$$

$$\sigma_{c,\alpha,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{N_d \cos \alpha}{bh}$$



Şekil 6.7. Liflere göre α açısında yüklü bir elemanın basınç dayanımı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 162).

6.2.3. Eksenel çekme etkisindeki elemanlar

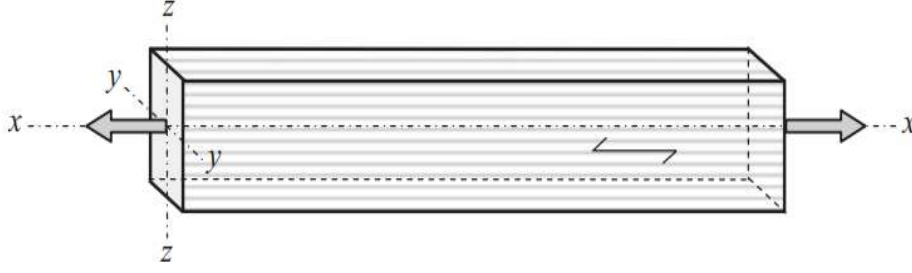
Liflere paralel, x-x eksenini boyunca çekme kuvvetine maruz kalan elemanlardır (Şekil 6.8.). Normalde ahşap elemanın çekme dayanımı, basınç dayanımından büyüktür. Fakat çekme dayanımından kaynaklı göçme durumları, sünek değil gevrek ve bu yüzden çekme dayanımı basınç dayanımından düşük olur. Bununla beraber çekme elemanlarında burkulma olmaz.

Çekme elemanı kesitin en zayıf noktasında yani birleşim bölgelerinde kontrol edilmelidir. Çekme elemanlarının yeterliliği, birleşimdeki kesit kaybı dikkate alınarak değerlendirilir. Ön delme olmadan ve 6 mm veya daha küçük çapta çivi ve vidalar kullanıldığında, kesit kaybı göz ardı edilebilir. Bununla beraber, liflere paralel minimum bağlantı elemanı aralığının yarısı içindeki tüm delikler dikkate alınır.

Eksenel yüklü elemanların tasarımı için EC5 kriterleri şunlardır:

Tasarım çekme gerilmesi, tasarım çekme dayanımından küçük veya eşit olmalıdır.

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (\text{EC5 Denklem (6.1)}) \quad (6.16)$$



Şekil 6.8. Eksenel çekme.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 162).

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{net}} \quad (6.17)$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * k_h * f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (6.18)$$

$\sigma_{t,0,d}$: Tasarım çekme gerilmesi

$f_{t,0,d}$: Liflere paralel tasarım çekme dayanımı

k_h : Çekme kuvveti altındaki elemanlar için boyut etkisi modifikasyon faktörüdür. LVL için k_1 olarak tanımlanır ve uzunluk ile ilişkilendirilir.

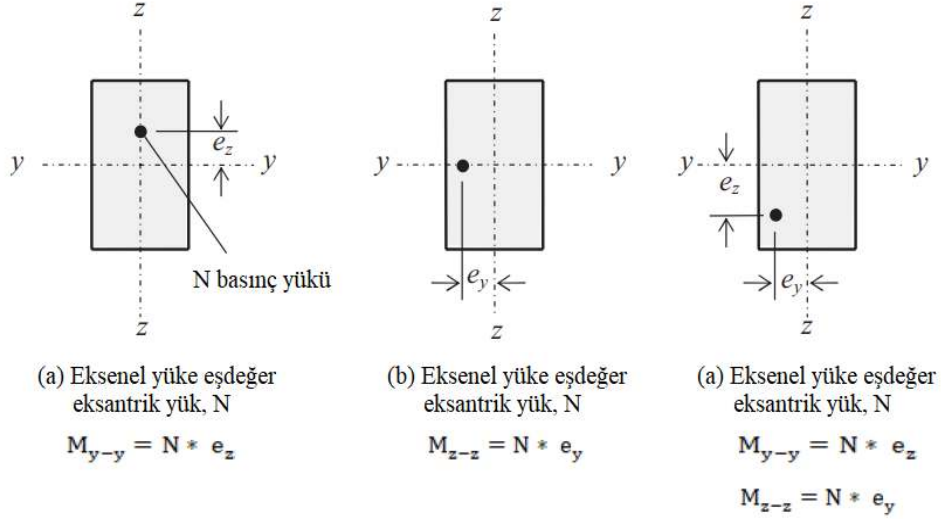
$f_{t,0,k}$: Liflere paralel karakteristik çekme dayanımı

6.3. Birleşik Eğilme ve Eksenel Kuvvet Etkisindeki Elemanlar

Birleşik eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altındaki kolonun tasarımı, aynı etkiler altındaki bir kiriş tasarımından farklıdır. Aşağıdaki verilen tasarım prosedürü, birleşik eksenel basınç ve eğilme etkisindeki elemanlar için geçerlidir.

6.3.1. Asal eksene göre eğilme nedeniyle yanal burulma karasızlığının olmadığı durum

Basınç ve eğilme etkisinde olan ve yanal burulma karasızlığının oluşmadığı elemanlar için geçerlidir. Asal eksene göre eğilmede göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,m}$, 0.75' ten küçük ve eşittir. Birleşik eksenel ve yanal yükleme etkisinde olan veya Şekil 4.9.' da gösterildiği gibi, x-x eksenine göre eksantrik basınç etkisinde olan elemanlar bu kategoriye girer.



Şekil 6.9. Eksantrik yükleme.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 164).

Yanal burulma karasızlığının oluşmadığı durumlarda 2 tip göçme modu ortaya çıkabilir:

- (a) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ olduğunda, burkulma davranışı uygun değildir ve göçme olayı elemanın basınç dayanımına bağlı olarak gerçekleşir.
- (b) $\lambda_{rel,y}$ veya $\lambda_{rel,z} > 0.3$ ise, burkulma ortaya çıkabilir. Bu durumda, basınç kuvvetinin ilgili instabilite faktörü, $k_{c,y}$ veya $k_{c,z}$ ile çarpılması ile elde edilen sonuç göçme ile ilişkilendirilir.

Yukarıdaki koşullar için EC5’ teki tasarım şartları aşağıdaki gibidir:

- (a) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ durumu:

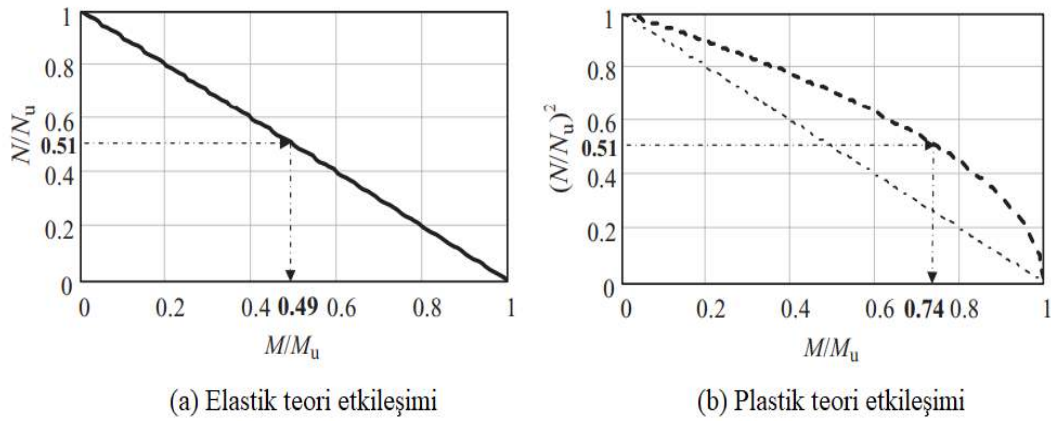
Burkulma nedeniyle mukavemet azalması olmadığından, basınç gerilmeleri altında ahşabın plastik davranışıyla ilişkili mukavemet avantajlarından yararlanılır.

Şekil 6.10., elastik ve plastik teorinin uygulanmasına dayanan, birleşik eğilme momenti ve aksenal basınç etkisinde kalan bir eleman için etkileşim diyagramlarını göstermektedir. Elastik teoriye göre, elemandaki birleşik basınç gerilmesi malzemenin basınç dayanımına ulaştığında göçme olur. Plastik teoride malzeme, kesitteki gerilmenin yüzey üzerinde yayılmasına ve mukavemetini arttırmasına izin veren basınç dayanımına ulaştığında akmaya uğrar.

Elastik teori yaklaşımında, birleşik aksenal kuvvet ve eğilme gerilmesinin toplamı 1’ i geçemez. Bununla birlikte, plastik teori çözümü ile aksenal gerilme-dayanım oranı, eğilme

gerilmesi-dayanım oranı için daha yüksek bir değer veren sonuçlanan kare fonksiyon haline gelir. Örneğin, 0.51 eksenel gerilme-dayanım oranı için, elastik teori yerine plastik teori kullanıldığında mukavemet artışı yaklaşık %50' dir.

Basınç altında ahşabın plastik davranışı nedeniyle, $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ olduğunda plastik teori yaklaşımını benimsenir. z-z eksenine göre momentlerin oranına uygulanan k_m faktörü ile birleşik eğilme ve eksenel basınç etkisinde olan elemanların tasarımı için etkileşim şeması Şekil 6.11.' de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 6.10. Birleşik eğilme ve eksenel basınç etkisi altında etkileşim diyagramları.

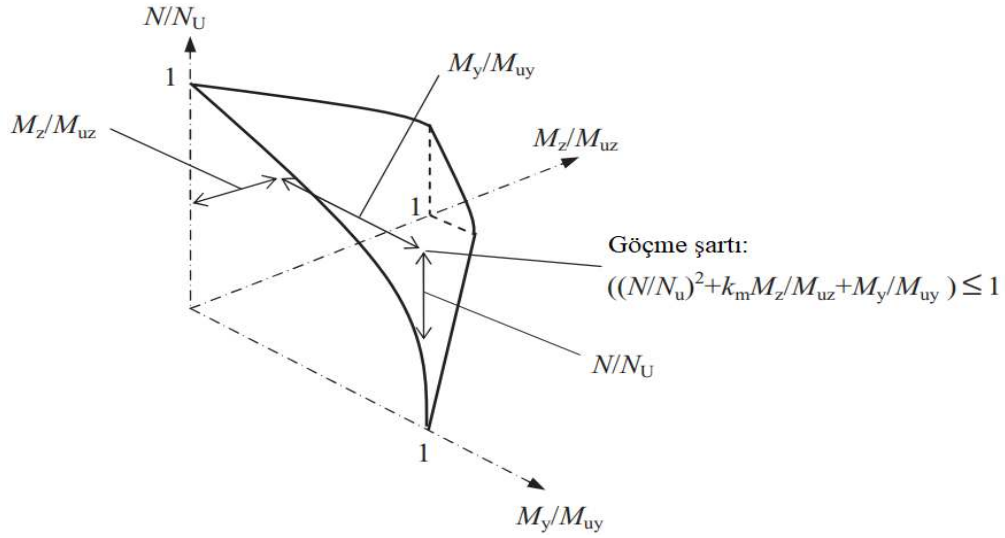
Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 165).

z-z eksenine göre momentlerin oranına uygulanan k_m , Şekil 6.11.' de gösterildiği gibi olacaktır. Bu durum için ve k_m faktörünün y-y eksenine göre momentlerin oranına uygulandığı diğer durum için tasarım denklemleri şunlardır:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.19)}) \quad (6.19)$$

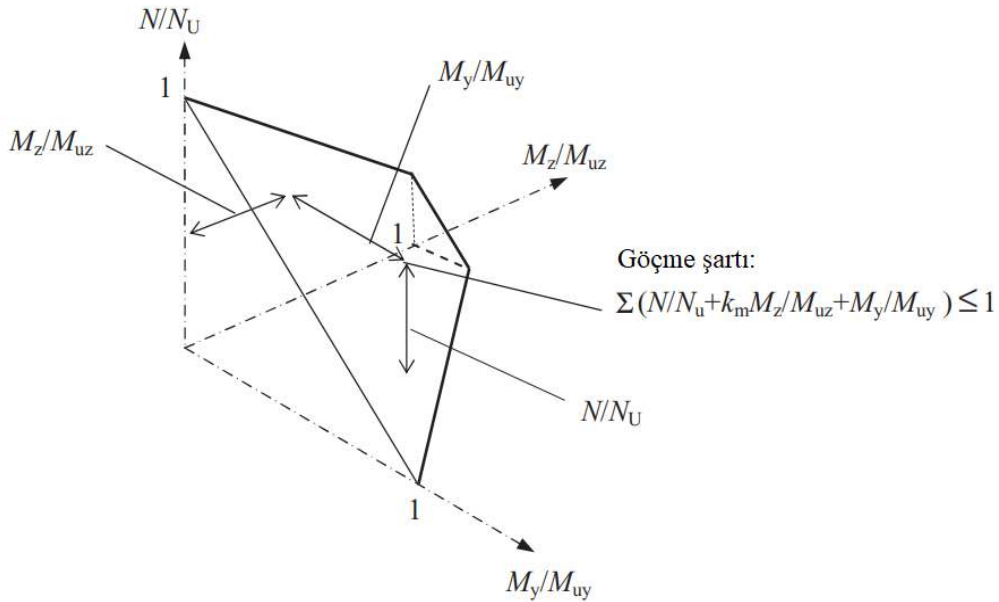
$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.20)}) \quad (6.20)$$

(6.19) ve (6.20) denklemleri, yanal burulma instabilitesinin etkilerini içermediğinden, sadece elemanın yanal burulma burkulmasının oluşmadığı durumlar için geçerlidir. Yanal burulma instabilitesi oluşabiliyorsa, denklemler zayıf eksene göre burkulma olduğunda geçerlidir.



Şekil 6.11. $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ olduğunda ve z-z eksenine göre momentlerin oranına k_m faktörü uygulandığında iki eksenli eğilme için eksenel kuvvet-moment etkileşim eğrisi .

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 165).



Şekil 6.12. $\lambda_{rel,y}$ veya $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olduğunda ve z-z eksenine göre momentlerin oranına k_m faktörü uygulandığında iki eksenli eğilme için eksenel kuvvet-moment etkileşim eğrisi .

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 166).

(b) $\lambda_{rel,y}$ ve/veya $\lambda_{rel,z} > 0.3$ durumu:

Bu şart altında, burkulma etkilerinin dikkate alınması gerektiğinden plastik davranıştan hiçbir fayda sağlanmaz. Bu durum, Şekil 6.10a.' da gösterilen elastik teori etkileşim yaklaşımı ile uyumludur.

$\lambda_{rel,y}$ ve/veya $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olduğunda birleşik eğilme ve eksenel basınç altında elemanların tasarımı prosedürü Şekil 4.12.' de gösterildiği gibidir.

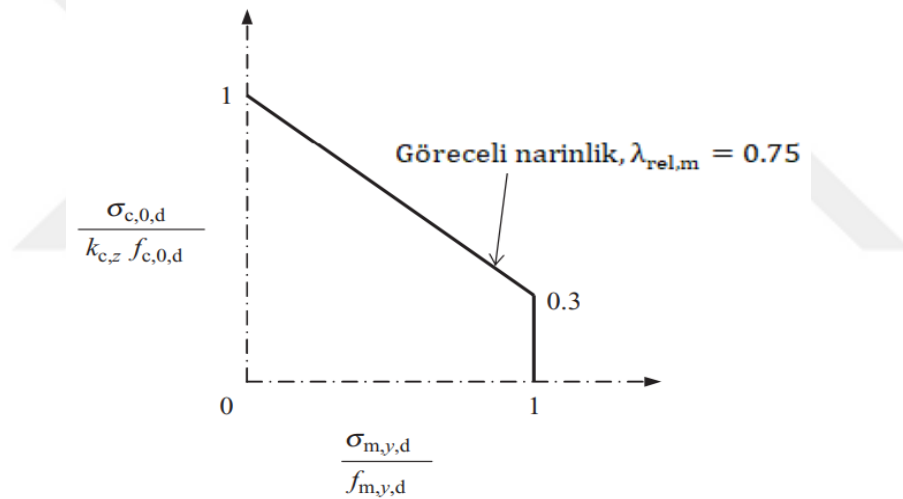
$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.23)}) \quad (6.21)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.24)}) \quad (6.22)$$

6.3.1.(a)' da olduğu gibi, (6.21) ve (6.22) denklemleri, yanal burulma burkulmasının gerçekleşmeyeceği durumlar için geçerlidir, aksi takdirde eleman sadece zayıf ekseninde eğilmeye maruz kalabilir.

Eksenel yükleme ve sadece asal y-y ekseninde eğilme durumunda, mukavemet doğrulama denklemleri (6.23)' teki gibi olacaktır:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$



Şekil 6.13. y-y eksenine göre birleşik eksenel yükleme ve eğilme için etkileşim diyagramı .

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 167).

(6.23) denklemi, yanal burulma burkulmasının meydana gelmeyeceği durum için geçerlidir,(yani $\lambda_{rel,m} \leq 0.75$, $k_{crit} = 1$). Bu durum için, masif ahşap, LVL (veya glulam) dikdörtgen kesitlerin kullanımına dayanan (6.23) denkleminin sınır koşulu, Şekil 6.13.' te sürekli çizgi ile tanımlandığı gibi olacaktır.

Eğilme için göreceli narinlik oranının 0.75' i aştığı durumlarda, EC5 mukavemet kriterleri 6.3.2.' de verilen gibi olacaktır.

6.3.2. Asal eksene göre eğilme etkisi altında yanal burulma instabilitesi

Asal ekseninde basınç ve eğilme kombinasyonuna maruz kalan ve elemanın yanal burulma instabilitesinin ortaya çıkabileceği durumlar için geçerlidir. Asal ekseninde eğilmeye ait göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,m}$ 'nin 0.75' ten büyük olduğu elemanlar için geçerli olacaktır. y-y ve x-x eksenlerine göre eğilme ve eksenel basınç etkisinde bir eleman için herhangi bir koşul yoktur ve $\lambda_{rel,m}$ 0.75' ten büyüktür.

Bir elemanın asal ekseninde doğrudan basınca ve eğilmeye maruz kalması ve yanal burulma instabilitesi oluşabilmesi için, eksenel yükün etkileri altında plastik davranışa izin verilmez, ancak moment etkisi altında izin verilir. Eksenel yük ile göçme anındaki moment arasındaki ilişki, Şekil 6.10.(b)' de gösterilen plastik davranışı içeren bir çözüme dayanır ve tasarım şartı:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.35)}) \quad (6.24)$$

$\sigma_{m,d}$: y-y kuvvetli eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi. $\sigma_{m,d} = M_{y,d}/W_y$ şeklinde hesaplanır.

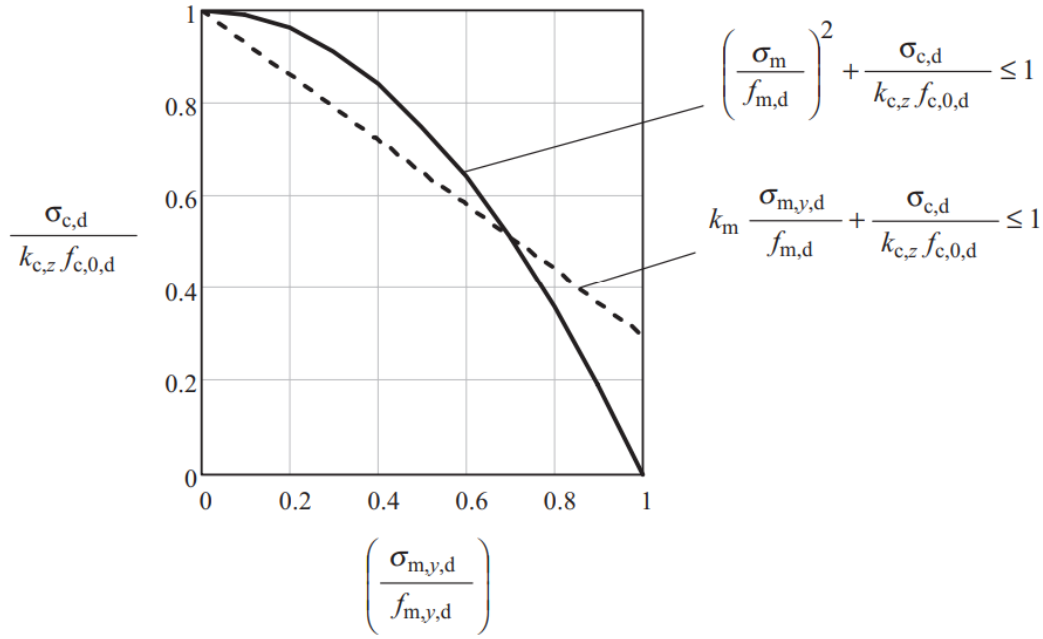
$M_{y,d}$: y-y eksenine göre tasarım eğilme momenti

W_y : İlgili kesit modülü

$\sigma_{c,d}$: Tasarım basınç gerilmesi

k_{crit} : Yanal burkulma nedeniyle azaltılmış eğilme mukavemetini dikkate alan faktör

(6.24) denklemi uygulanırken z-z ekseninde eğilme yoksa elemanın $\lambda_{rel,m}$ göreceli narinlik oranının 0.75' e yakın olur. Bu durumda (6.23) denkleminde ele alınan koşul kabul edilebilir. (6.23) ve (6.24) denklemlerinin karşılaştırılması Şekil 6.14.' te gösterilmiştir.



Şekil 6.14. $k_{crit} = 1$ olduğunda (6.23) denklemi ve (6.24) denklemi arasında karşılaştırma .

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 168).

Böyle bir durum için $\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} \leq 0.7$ olduğunda (4.23) denklemi, $\sigma_{m,y,d}/f_{m,y,d} > 0.7$ olduğunda ise (6.24) denklemi dikkate alınmalıdır.

6.3.3. Birleşik eğilme ve eksenel gerilme altında elemanlar

Eğilme nedeniyle plastik davranışa izin verilmesine rağmen, elemanlar çekme altında gevrek modda kırıldığından, uç lifte göçme mukavemetine ulaşıldığından nihai yükün elde edileceği yaklaşımı benimsenir. Bu durum, Şekil 6.10.(a)' da gösterilen elastik teori çözüm ile uyumludur.

Birleşik eğilme ve eksenel kuvvet altında elemanlar için tasarım şartı:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.17)}) \quad (6.25)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.18)}) \quad (6.26)$$

(6.25) ve (6.26) denklemleri, y-y asal ekseninde eğilmede elemanın yanal burulma burkulmasının önlendiğini varsayar.

6.4. Saplama Duvarların Tasarımı

Ahşap çerçevede duvarların ana görevi, zemin ve çatı yapıları için düşey destek, rüzgar etkilerinin neden olduğu yanal yüklemelere karşı mukavemet ve stabilite sağlamaktır.

Düşey yükleme ve düzlem dışı yanal etkiler altındaki duvarlar ile kaplamanın duvardan bağımsız çalışacağı saplama duvarlar bu bölümde ele alınmıştır. Kaplama ve saplamaların kompozit çalıştığı duvarlar Bölüm 9’ da ve bir duvarın düzlem içi raf kuvveti Bölüm 8’ de ele alınmıştır. Düzlemsel eğilme ve eksenel yük altında duvarların yanal sapmasının nasıl hesaplanacağı bu bölümde gösterilmiştir. Şekil 6.15.’ te saplama duvar örnekleri vardır.



Şekil 6.15. Saplama duvarlar.

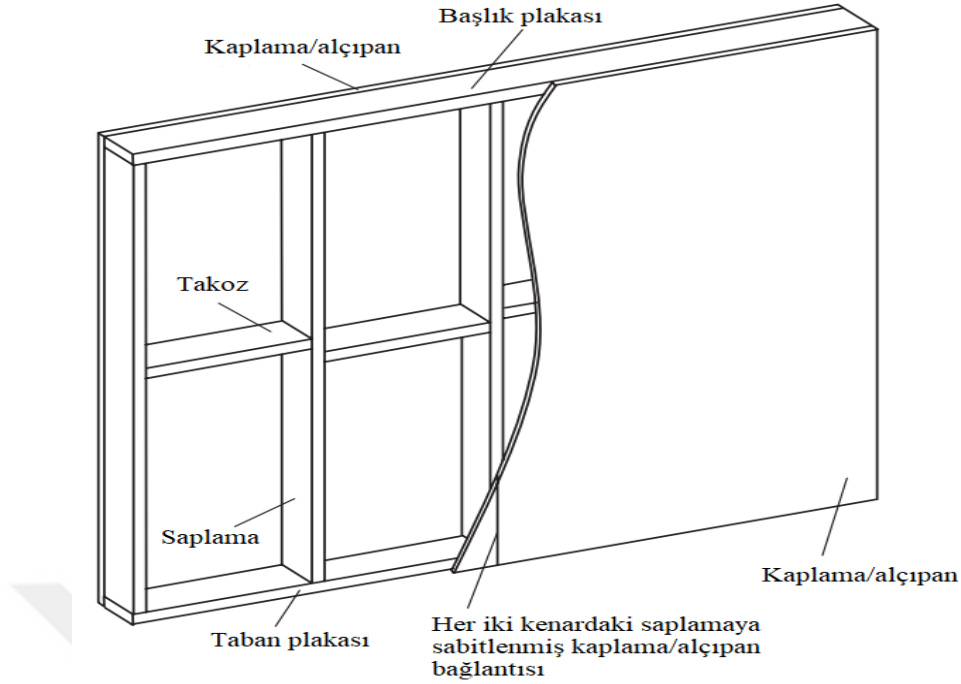
Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 169).

6.4.1. Taşıyıcı duvarların tasarımı

Eksenel gerilme ve düzlem dışı hareketlerin etkisine bağlı olarak eksenel gerilme ve eğilme gerilmesinin kombinasyonu altında duvarların tasarımını kapsar.

Taşıyıcı duvarlar, aralıklı düşey elemanlar kullanılarak inşa edilir ve uçlarda başlık ve taban plakalarına sabitlenir. (Şekil 6.16.)

Düşey elemanlara *saplama* denir ve duvarlar genellikle *saplama duvarlar* olarak adlandırılır. Saplamalar, y-y kuvvetli ekseninde duvar yüzüne paraleldir ve Şekil 6.17.’ de gösterildiği gibi başlık ve taban plakaları tarafından sabitlenir. Düzlem içi kısıtlama, çapraz veya eşdeğer destek elemanları tarafından yanal hareket önlenerek sağlanır. Duvar kaplaması yeterli yanal direnç sağlayamazsa, diyagonal veya eşdeğer destek kullanıldığında, saplamanın z-z eksenine göre etkili uzunluğu, plaka ile takoz arasındaki en büyük uzunluğuna bağlı olacaktır. Kaplama malzemesinin yeterli yanal kısıtlama sağlayabildiği durumlarda, z-z ekseninde saplamaların burkulma riski göz ardı edilebilir. Kaplama, uygun şekilde saplamalara ve plakalara sabitlenirse, yeterli yanal direnç sağlanmış olacaktır. Kaplama, duvarın bir tarafına sabitlenmişse, saplamalar yanal olarak tamamen kısıtlanmayacaktır ve azaltılmış etkili uzunluk kullanılacaktır.



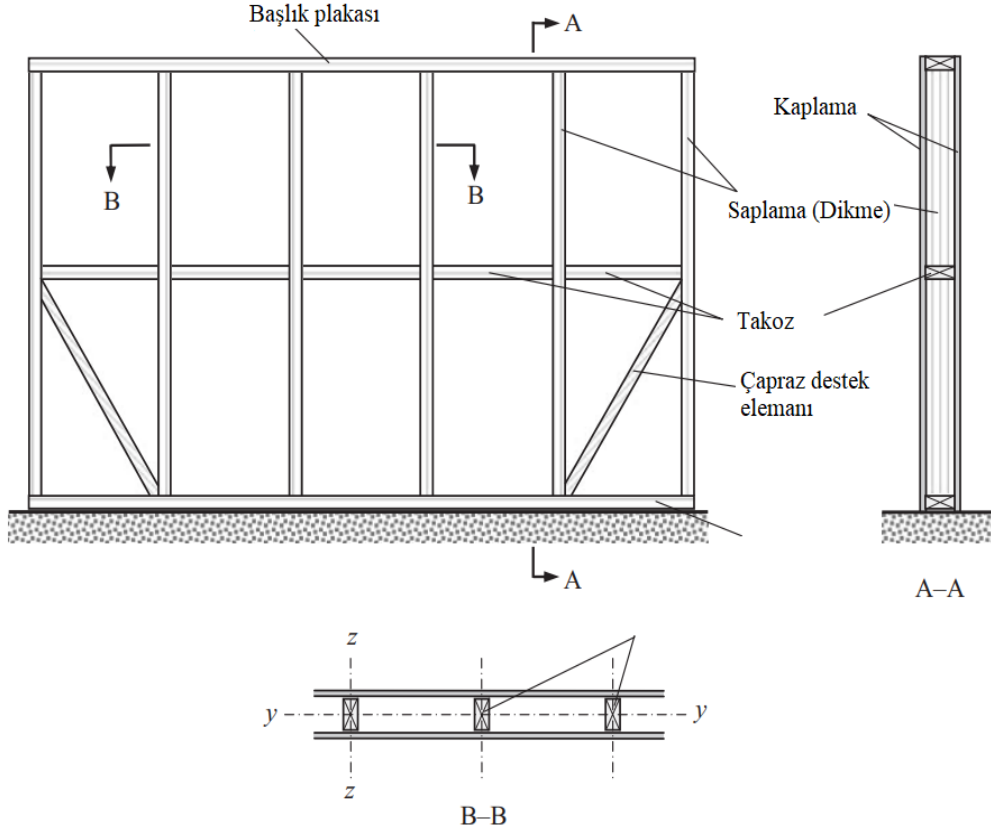
Şekil 6.16. Tipik bir saplama duvar detayları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 170).

Saplamalar y-y ekseninde düzlem dışı burkulmaya karşı kısıtlandığı kabul edilir, ancak yanal yönde dönmeye serbesttir. Bu eksenle ilgili hesaplamalarda etkili uzunluk, saplama duvarın yüksekliğine eşit alınır.

Duvarın mukavemeti öncelikle saplamalardan elde edilir ve birleşik yükleme, başlık plakasının yayılma alanına değil, doğrudan saplamaların üzerine yerleştirilmelidir. Açıklıktaki herhangi bir yükleme için plaka, kiriş olarak kontrol edilmelidir veya yükü taşımak için ek saplamalar yerleştirilmelidir.

Birden fazla eşit aralıklı benzer eleman sürekli bir yük dağıtım sistemi ile yanal olarak bağlandığında, mukavemet özellikleri k_{sys} sistem mukavemet faktörü ile çarpılabilir. Saplama duvarlarda, kaplamanın saplamalara ve plakalara sabitlenmesi koşuluyla, k_{sys} faktörünün kullanılması sürekli bir yük dağıtım sistemi oluşturur. Başlık ve taban plakaları tek eleman olduğundan k_{sys} faktörü bu elemanlar için geçerli olmayacaktır. Ancak basınç mukavemeti $f_{c,0,k}$ ve eğilme mukavemeti $f_{m,k}$ etkisinde olan saplamalar için geçerli olacaktır. Saplama aralığının merkezden merkeze 610 mm' den fazla olmadığı, 4 veya daha fazla duvar saplamasının bulunduğu yapılarda $k_{sys} = 1.1$ alınabilir. Saplama aralığının 610mm' den büyük olması ve duvar kaplamasının güvenli olmaması hali için faktör $k_{sys} = 1$ alınmalıdır.



Şekil 6.17. Tipik saplama duvar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 171).

6.4.1.1. Eksenel basınç etkisindeki saplama duvarlarının tasarımı

6.4.1.1.1. Saplama tasarımı

(a) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olması durumu

Bu durum kaplama olmadığında veya saplamalara ve plakalara yeterince sabitlenmediğinde uygulanır. Tasarım şartı:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} \leq 1 \text{ ve } \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.27)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} * f_{c,0,d} \quad (6.28a)$$

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} * f_{c,0,d} \quad (6.28b)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \quad (6.29)$$

$\sigma_{c,0,d}$: Liflere paralel tasarım basınç gerilmesi

N_d : Eksenel yük

A: Kesit alanı

$f_{c,0,d}$: Saplamanın liflere paralel tasarım basınç dayanımı

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (6.30)$$

Kaplamanın saplamalara yeterince sabitlenmediği durumlar için $k_{sys} = 1$ alınır.

Tasarım, eksenel yük altında bir basınç elemanının tasarımı için 6.2.1.' de açıklandığı gibidir. (6.28a) ve (6.28b) denklemlerinden elde edilen kritik tasarım koşulu, en düşük instabilite faktörü değeri ve saplamanın en yüksek narinlik oranı ile ilişkilendirilecektir.

(b) $\lambda_{rel,y} > 0.3$ ve $\lambda_{rel,y} \leq 0.3$ olması durumu

Kaplama saplamalara uygun şekilde sabitlenmişse, $k_{c,z}$ her zaman $k_{c,y}$ ' yi aşacaktır ve tasarım durumu:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} * f_{c,0,d} \quad (6.31)$$

(c) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ olması durumu

Bu durumun pratikte ortaya çıkması pek olası değildir. Olası bir durumda $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri 1 alınır ve tasarım koşulu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.32)$$

(b) ve (c) durumlarındaki $f_{c,0,d}$ değerini türetmek için kullanılan k_{sys} faktörü, en az 4 saplamanın olduğu ve saplama aralığının 610 mm' den büyük olmadığı durumlarda 1.1 alınabilir.

6.4.1.1.2. Plaka tasarımı

Başlık ve taban plakaları, saplamaların uçlarında yanal kısıtlama sağlar ve bu pozisyonlarda taşıyıcı elemanlar olarak çalışır. Saplamalar ve plakalarda yeterli yanal kısıtlama sağlanacaktır ve tasarım durumu genellikle, liflere dik basınç altındaki plakaların mukavemeti ile ilgilidir. Saplamalar arasında doğrudan plakalara herhangi bir yükleme varsa, eğilme ve kesme kuvvetleri için de kontrol yapılacaktır. Saplama duvarlar genellikle bu şekilde yükleme etkisinde olmadığından, bu tasarım durumu dikkate alınmamıştır.

Liflere dik basınç kuvveti için sağlanacak koşul:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{f_{c,90,d}} \leq 1 \quad (6.33)$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} * k_{c,90} * f_{c,90,k}}{\gamma_M} \quad (6.34)$$

$\sigma_{c,90,d}$: Liflere dik tasarım basınç gerilmesi

N_d : Saplamaadaki tasarım eksenel yük

A: Kesit alanı

$f_{c,90,d}$: Liflere dik tasarım basınç dayanımı

$f_{c,90,k}$: Liflere dik karakteristik basınç dayanımı

6.4.1.2. Birleşik düzlem dışı eğilme ve eksenel basınç etkisindeki saplama duvarların tasarımı

Eksenel yükün yanı sıra düzlem dışı rüzgar yüklemesinin etkisindeki saplama duvarlar için söz konusu olur. Saplamlar için tasarım prosedürü, eğilme momenti etkisindeki basınç elemanlarının tasarımı için 6.3.' te verilen yöntem ile aynıdır.

6.4.1.2.1. Saplama tasarımı

(a) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olması durumu

Kaplama z-z ekseninde tam burkulma kısıtlamasına sahip olmadığında geçerli olacaktır.

- i) Her saplamanın eğilmesi için göreceli narinlik oranının ≤ 0.75 olduğu durumlarda (yani saplamanın yanal burulma burkulması ortaya çıkmayacaktır), tasarım durumu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.23), } \sigma_{m,z,d} = 0) \quad (6.35)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.24), } \sigma_{m,z,d} = 0) \quad (6.36)$$

$\sigma_{m,y,d}$: Saplamanın y-y eksenine göre tasarım eğilme gerilmesi. $M_{y,d}/W_y$ şeklinde hesaplanır.

$M_{y,d}$: y-y eksenine göre tasarım eğilme momenti.

W_y : Kesit modülü. $bh^2/6$ şeklinde hesaplanır

$f_{m,y,d}$: y-y eksenine göre tasarım eğilme mukavemeti

$$f_{m,y/z,d} = \frac{k_{mod} * k_h * k_{sys} * f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (6.37)$$

Kaplamanın saplamlara yeterince sabitlenmediği durumlar için $k_{sys} = 1$ ’ dir.

- ii) Her saplamanın eğilmesi için göreceli narinlik oranının > 0.75 olduğu durumlar için (yani saplamanın yanal burulma burkulması ortaya çıkabilir), tasarım durumu:

$$\left(\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit}f_{m,y,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z}f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.38)$$

Bir saplama duvarının birleşik eğilme ve eksenel basınca maruz kaldığı durumlar için $\lambda_{rel,z} > 0.3$ olur ve $\lambda_{rel,m}$ 0.75’ e yaklaşır. Bu durumda (6.35), (6.36) ve (6.38) denklemleri geçerli olacaktır.

- (b) $\lambda_{rel,y} > 0.3$ ve $\lambda_{rel,y} \leq 0.3$ olması durumu

Bu durum için $k_{c,z} = 1$ olacak ve yanal burulma burkulmasının ortaya çıkmayacaktır. Tasarım koşulu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (6.39)$$

k_{sys} , en az 4 saplamanın olduğu ve saplama aralığının 610 mm’ den büyük olmadığı durumlarda 1.1 alınabilir.

- (c) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ olması durumu

Bu durumun pratikte ortaya çıkması pek olası değildir, ancak olası bir durumda $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ değerleri 1 olacaktır. Bu durum için, her saplamanın eğilmesi için göreceli narinlik oranının da ≤ 0.75 olacağı anlayışıyla, tasarım koşulu:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5 Denklem (6.19), } \sigma_{m,z,d} = 0) \quad (6.40)$$

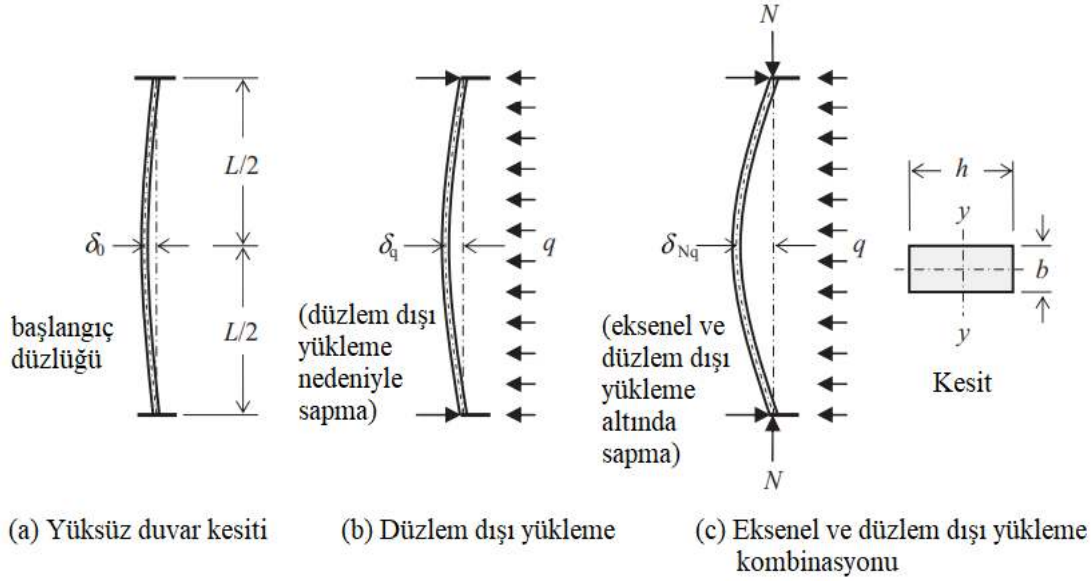
k_{sys} : En az 4 saplamanın olduğu ve saplama aralığının 610 mm’ den küçük olduğu durumlarda 1.1 alınabilir.

6.4.1.2.2. Plaka tasarımı

Tasarım, 6.4.1.1.2.’ de açıklandığı gibidir.

6.4.2. Taşıyıcı saplama duvarların ve kolonların düzlemden sapması

Düzlem dışı sapmaya bağlı deformasyonun hesaplanmasına ait metodoloji aşağıda verilmektedir.



Şekil 6.18. Düşey ve düzlem dışı yükleme altında duvarın deformasyonu.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 178).

Düzlem yer değiştirmesi olan bir eleman eksenel yüke maruz kaldığında elemanda oluşan ek moment nedeniyle yer değiştirme arttırılacaktır. Bir saplama duvar, yer değiştirme halinde δ_0 sapmasına sahiptir. Buna ilaveten düzlem dışı yükleme söz konusu ise ek bir yer değiştirme δ_q sapması da dikkate alınacaktır (Şekil 6.18).

Maksimum başlangıç sapması, masif ahşap için $l/300$ ve yapıştırılmış lamine ahşap veya LVL için $l/500$ ü geçemeyecektir.

Maksimum sapma açıklık ortasında olur. Klasik elastik stabilite teorisine göre, bir saplama duvar, düzlem sapması δ_0 olan elemanlar içeriyor ve her bir saplama N_d eksenel tasarım yüküne maruz kalıyorsa, düzlem sapma δ_{N0} 'a yükselecektir.

$$\delta_{N0} = \alpha \delta_0 \quad (6.41)$$

$$\alpha = \left(\frac{1}{1 - N_d / P_E} \right) \quad (6.42)$$

$$P_E = \frac{\pi^2 E_{0.05} (bh^3 / 12)}{L^2}$$

α : Büyütme faktörü

P_E : y-y eksenine göre Euler burkulma yükü

l : Saplamanın etkili uzunluğu

b : Saplama genişliği

h : Saplama derinliği

Yukarıdaki durum için duvar sapmasındaki artış, δ_{N0} :

$$\delta_{N0} = \alpha\delta_0 - \delta_0 = \delta_0(\alpha - 1) \quad (6.43)$$

Duvarda düzlem dışı yükleme ve kesme deformasyonu dikkate alınarak, q yükünün neden olduğu duvarın orta yüksekliğindeki saplama başına δ_q sapması:

$$\delta_q = \frac{5qL^4}{32E_{0,mean}bh^3} \left(1 + 0.96 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right) \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right) (S_p) \quad (6.44)$$

δ_q : Düzlem sapma

l : Duvar yüksekliği

$E_{0,mean}$: Liflere paralel ortalama elastisite modülü

b : Saplama genişliği

h : Saplama derinliği

S_p : Saplamaların yanal aralığı

(6.42) denkleminde, her duvar saplaması N_d tasarım eksenel yüküne maruz kaldığında, δ_q değeri $\alpha\delta_q$ 'ye artırılacak ve son sapma değeri δ_{Nq} :

$$\delta_{Nq} = \alpha\delta_0 + \alpha\delta_q \quad (6.45)$$

Birleşik eksenel yük ve yanal yük etkisi nedeniyle net sapma δ_{net} :

$$\delta_{net} = \frac{(N_d/P_E)\delta_0 + \delta_q}{(1 - N_d/P_E)} \quad (6.46)$$

Duvar veya kolon düz ise, δ_0 sıfıra eşit olacak ve eksenel yük yoksa, ek sapma δ_{net} (6.44) ile hesaplanacaktır.

7. YAPIŞTIRILMIŞ LAMİNE ELEMANLARIN TASARIMI

Yapıştırılmış lamine elemanın (glulam) kullanılması, mükemmel mukavemet, rijitlik ve yangın direnci sağlar. Yapıştırılmış lamine yapı örnekleri Şekil 7.1.' de gösterilmiştir. Glulam elemanların temel avantajlarından bazıları şöyledir:

- (a) Karmaşık şekiller üretmek mümkündür. İstenilen boyut ve şekillerde üretilirler.
- (b) Kusurların eşit olarak dağılmıştır.
- (c) Ön kamber oluşturmak kolaydır.

Bu bölümde, yapıştırılmış lamine ahşap elemanlar için tasarım prosedürü verilmiştir.

7.1. Tasarım

Yapıştırılmış lamine elemanlar, birleşik eğilme ve eksenel yüklemeye maruz kalırlar. Tasarıma ait sınır durumları Tablo 7.1.' de verilmiştir.

Glulamlar, üretim çeşidi olarak 2 tiptir. Homojen glulam aynı sınıf ve türdeki laminasyonlar ile oluşturulurken kombine glulam farklı sınıf ve türdeki laminasyonlar ile oluşturulur. Tasarım şartları glulamin üretim cinsine bağlı olarak değişir.

Tablo 7.1. Yapıştırılmış lamine elemanlar için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.

Eleman	Tasarım veya yer değiştirme etkisi	EC5 sınır durumu
Kirişler	Tablo 5.1. gibi	Tablo 5.1. gibi
Kolonlar	Tablo 6.1. gibi	Tablo 6.1. gibi



(a) Düz kiriş



(b) Eğimli yapı



(c) Eğimli kolonlar



(d) Eğimli portal



(e) Portal çerçeve



(f) Çatı



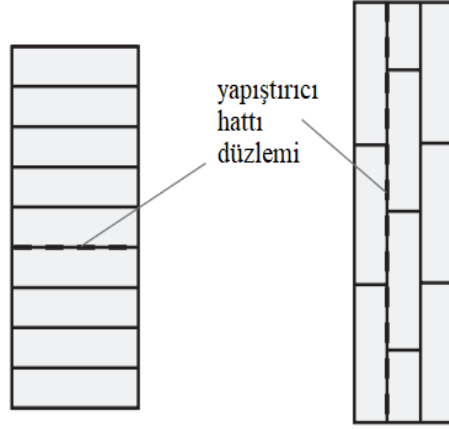
(g) Yaya köprüsü



(h) Eğri kolonlar

Şekil 7.1. Yapıştırılmış lamine yapı örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 206).



Şekil 7.2. Yatay ve düşey glulam.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 207).

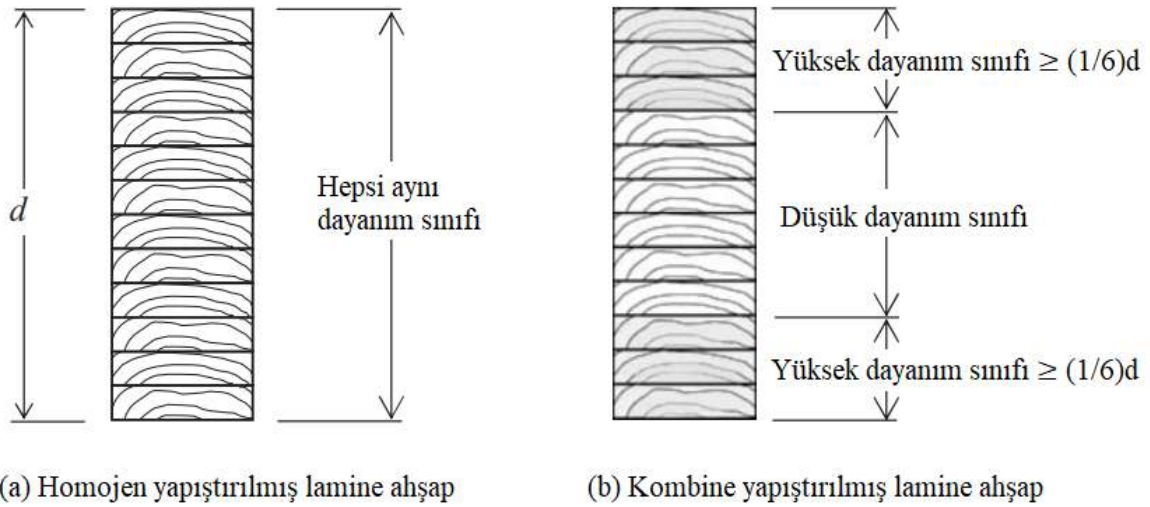
7.2. Genel

7.2.1. Yatay ve düşey yapıştırılmış lamine ahşap

Yapıştırma hatları yatay glulamda kesitin uzun kenarına, düşey glulamda ise, kesitin kısa kenarına diktir. (Şekil 7.2.)

7.2.2. Tasarım

Yapıştırılmış lamine ahşap BS EN386 ve BS EN 1194: 1999 şartlarına uygun olmalıdır. BS EN 1194, glulam mukavemet sınıflarını tanımlar ve karakteristik değerlerinin nasıl elde edileceğini belirtir. Mukavemet sınıfları homojen ve kombine yapıştırılmış lamine ahşap için verilir.(Şekil 7.3.)



Şekil 7.3. Homojen ve kombine yapıştırılmış lamine ahşap.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 208).

Mukavemet sınıfları aşağıdaki gibi tanımlanır:

Homojen yapıştırılmış lamine ahşap: Bölümdeki tüm laminasyonlar aynı mukavemet sınıfındadır.

Kombine yapıştırılmış lamine ahşap: Laminasyonlar farklı mukavemet sınıfındadır. Dış taraftaki laminasyonlar yüksek mukavemet sınıfına sahiptir ve her iki taraftaki eleman derinliğinin en az altıda birine eşittir.

BS EN 1194: 1999’ da GL 24, GL 28, GL 32 ve GL 38 olarak tanımlanan 4 mukavemet sınıfı vardır. Malzeme homojen ise h soneki, malzeme kombine ise c soneki kullanılır. Bazı mukavemet sınıflarının özellikleri Tablo 7.2.’ de verilmiştir.

Yapıştırılmış lamine ahşabın mekanik özellikleri, kullanılan yumuşak ahşap laminasyonlarının eşdeğer özelliklerinden elde edilebilir. Malzemeler arasındaki ilişkiler Tablo 7.3.’ te özetlenmiştir.

Tablo 7.3.’ teki denklemler yumuşak ağaç laminasyonlarından yapılan homojen glulam için geçerlidir, ancak standartta verilen 4 mukavemet sınıfından herhangi birine uymayan yapıştırılmış lamine ahşap özelliklerini hesaplamak için de kullanılabilir.

Kombine yapıştırılmış lamine elemanın mekanik özelliklerinin gerekli olduğu durumlarda, farklı laminasyon bölgelerinin kiriş derinliğinin en az altıda birine (Şekil 7.3b) veya iki laminasyona eşit olması temelinde (hangisi daha büyükse), Tablo 7.3.’ te verilen ilişkiler, elemanın enine kesitinin tek tek parçalarının özelliklerine uygulanacaktır.

BS EN 1194’ te Tablo 7.2. şartlarına uygun kiriş örnekleri verilmektedir. Kesitteki laminasyonların özellikleri BS EN 338:2003’ teki karakteristik değerler kullanılarak türetilmiş ve bunlar Tablo 7.4.’ te özetlenmiştir.

Tablo 7.2. Homojen ve kombine glulam dayanım sınıflarının mukavemet, rijitlik ve yoğunluk değerleri.

Glulam mukavemet sınıfı	Homojen glulam			Birleşik glulam		
	GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 24c	GL 28c	GL 32c
Eğilme mukavemeti						
$f_{m,g,k}$ (N/mm ²)	24	28	32	24	28	32
Çekme mukavemeti						
$f_{t,0,g,k}$ (N/mm ²)	16.5	19.5	22.5	14	16.5	19.5
$f_{t,90,g,k}$ (N/mm ²)	0.4	0.45	0.5	0.35	0.4	0.45
Basınç mukavemeti						
$f_{c,0,g,k}$ (N/mm ²)	24	26.5	29	21	24	26.5
$f_{c,90,g,k}$ (N/mm ²)	2.7	3.0	3.3	2.4	2.7	3.0
Kesme mukavemeti						
$f_{v,g,k}$ (N/mm ²)	2.7	3.2	3.8	2.2	2.7	3.2
Elastisite modülü						
$E_{0,g,mean}$ (kN/mm ²)	11.6	12.6	13.7	11.6	12.6	13.7
$E_{0,g,0.05}$ (kN/mm ²)	9.4	10.2	11.1	9.4	10.2	11.1
$E_{90,g,mean}$ (kN/mm ²)	0.39	0.42	0.46	0.32	0.39	0.42
Kayma modülü						
$G_{g,mean}$ (kN/mm ²)	0.72	0.78	0.85	0.59	0.72	0.78
Yoğunluk						
$\rho_{g,k}$ (kg/m ³)	380	410	430	350	380	410

Not: Mukavemetle ilgili hesaplamalar için $G_{g,0.05} = E_{g,0.05}/16$ alınmalıdır. Ortalama yoğunluk, iç ve dış laminasyonların yoğunluğunun ortalaması olarak alınır.

Tablo 7.2.' deki karakteristik eğilme mukavemeti $f_{m,g,k}$, minimum 600 mm derinliğe ve minimum 150 mm kalınlığa sahip elemanlar içindir. Liflere paralel çekme mukavemeti $f_{t,0,g,k}$ ise, minimum 600 mm genişliğe ve minimum 150 mm kalınlığa sahip elemanlar içindir. Daha küçük boyutlu elemanlar için boyut etkisi faktörü kullanılarak tabloda verilen kuvvetler artırılabilir. Boyut faktörü sadece eğilme derinliğine ve çekme genişliğine uygulanabilir. Faktörün değeri:

$$k_h = \min \left(\frac{(600/h)^{0.1}}{1.1} \right) \quad (\text{EC5 Denklem (3.2)}) \quad (7.1)$$

Tablo 7.3. Kullanılan yumuşak ahşap laminasyonların özelliklerinden elde edilen homojen yapıştırılmış lamine ahşabın karakteristik mukavemet, rijitlik ve yoğunluk değerleri.

Karakteristik özellik	BS EN 1194: 1999 ilişkisi (yumuşak ağaç laminasyonlarının özelliklerine göre)
Eğilme mukavemeti	
$f_{m,g,k}$ (N/mm ²)	$7 + 1.15 * f_{t,0,1,k}$
Çekme mukavemeti	
$f_{t,0,g,k}$ (N/mm ²)	$5 + 0.8 * f_{t,0,1,k}$
$f_{t,90,g,k}$ (N/mm ²)	$0.2 + 0.015 * f_{t,0,1,k}$
Basınç mukavemeti	
$f_{c,0,g,k}$ (N/mm ²)	$7.2 * f_{t,0,1,k}^{0.45}$
$f_{c,90,g,k}$ (N/mm ²)	$0.7 * f_{t,0,1,k}^{0.5}$
Kesme mukavemeti	
$f_{v,g,k}$ (N/mm ²)	$0.32 * f_{t,0,1,k}^{0.8}$
Elastisite modülü	
$E_{0,g,mean}$ (kN/mm ²)	$1.05 * E_{0,1,mean}$
$E_{0,g,0.05}$ (kN/mm ²)	$0.85 * E_{0,1,mean}$
$E_{90,g,mean}$ (kN/mm ²)	$0.035 * E_{0,1,mean}$
Kayma modülü	
$G_{g,mean}$ (kN/mm ²)	$0.065 * E_{0,1,mean}$
Yoğunluk	
$\rho_{g,k}$ (kg/m ³)	$1.10 * \rho_{l,k}$

$f_{t,0,1,k}$: Yumuşak ahşap laminasyonunun karakteristik çekme dayanımı

$E_{0,1,mean}$: Liflere paralel laminasyonun elastisite modülünün ortalama değeri

$\rho_{l,k}$: Yumuşak ahşap laminasyonunun karakteristik yoğunluğu

(7.1) denkleminde h , eğilme altında glulam derinliği ve çekme altında glulam genişliğidir.

BS EN 1194:1999’ da verilen mukavemet sınıflarına uygun homojen yapıştırılmış lamine ahşap veya kombine yapıştırılmış lamine ahşap kullanıldığında, geleneksel eğilme teorisi uygulanacaktır. Eğilme, kesme, burulma ve eksenel yükleme altında doğru kesitli elemanlar için Tablo 7.2.’ de verilen ilgili mukavemet özelliği, doğrulanan mukavemet durumunda kullanılacaktır.

GL 24c-GL 38c arasındaki mukavemet sınıflarının dışında elemanlar kullanılacak ise elastisite modülü analizleri ve kesitteki her noktada eğilme mukavemeti testleri yapılmalıdır. Bu amaçla eşdeğer kesit yaklaşımı için kullanılabilir. Bu yöntemde, iç veya dış laminasyonlarda bir malzeme seçilir ve diğer malzemenin eşdeğer alanı ile değiştirilir, böylece değiştirilen materyaldeki kesitin eğilmesinden kaynaklanan tarafsız eksenenden herhangi bir mesafede bulunan kuvvet, orijinal malzemenin aynı konumda alınacağı kuvvet

ile aynı olacaktır. Bu yöntemle, bir malzemeli kesit oluşturulur ve eğilme teorisi, seçilen malzemedeki gerilmenin doğrudan bulunmasını sağlayarak uygulanabilir. Dönüştürülen laminasyonlar için, bu elemanlardaki hesaplanan gerilmenin, orijinal malzemenin E değerinin seçilen malzemenin E değerine (modüler oran olarak adlandırılır) oranı ile çarpılmasıyla gerilme elde edilir. Glulam gerilme sınıfının ortalama değeri, $E_{0,g,mean}$, analizde kullanılmalıdır.

Tablo 7.4. Karakteristik özelliklerin Tablo 7.3.' te verilen denklemlerden türetildiği Tablo 7.2.' ye uygun kiriş döşeme örnekleri.

Glulam dayanım sınıfı	GL 24	GL 28	GL 32
Homojen glulam - laminasyon mukavemeti sınıfı	C24	C30	C40
Kombine glulam: dış / iç - laminasyon dayanım sınıfları	C24/C18	C30/C24	C40/C30

Yapıştırılmış lamine elemanların tasarım değerleri, malzeme faktörleri kullanılarak sert ahşap kesitlerdeki gibi elde edilir. Örneğin, tasarım eğilme mukavemetini elde etmek için,

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot k_h \cdot k_{sys} \cdot f_{m,g,k}}{\gamma_M} \quad (7.2)$$

k_{mod} : Modifikasyon faktörü

k_h : Boyutu etkisi modifikasyon faktörü

k_{sys} : Sistem mukavemet faktörü

$f_{m,g,k}$: Karakteristik eğilme mukavemeti

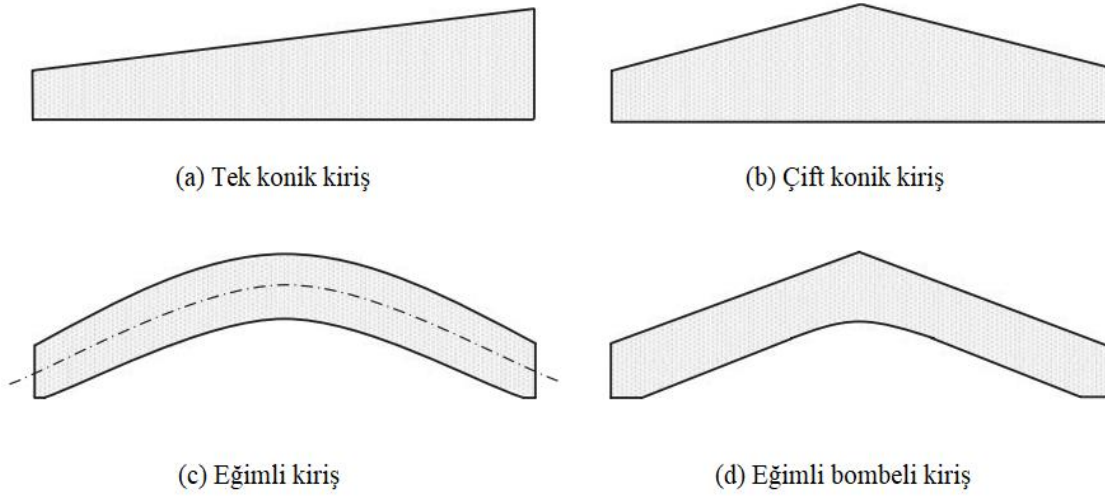
γ_M : Malzeme kısmi faktörü

7.3. Konik, Eğimli veya Eğimli Bombeli Yapıştırılmış Lamine Elemanların Tasarımı (LVL Elemanlar İçin De Geçerlidir)

Yapıştırılmış lamine ve LVL kirişler, mimari gereksinimleri karşılamak, eğimli çatılar sağlamak, maksimum iç boşluk elde etmek için konik veya eğimli olabilir. En yaygın formlar dikdörtgen kesitli çift konik kirişler ve eğimli kirişlerdir. (Şekil 7.4.)

Eğimli yüzeylerde eğilme gerilmesi dağılımı doğrusal değildir. Şekil 7.4b ve Şekil 7.4d' de gösterilen kiriş tiplerinin tepe noktalarında, liflere dik radyal gerilmeler oluşur. Eğilme momenti eğrilik yarıçapını artırma eğiliminde ise, radyal gerilmeler liflere dik çekme

gerilmesi olur. Eğilme momenti eğrilik yarıçapını azaltma eğiliminde ise, radyal gerilmeler liflere dik basınç gerilmesi olur.

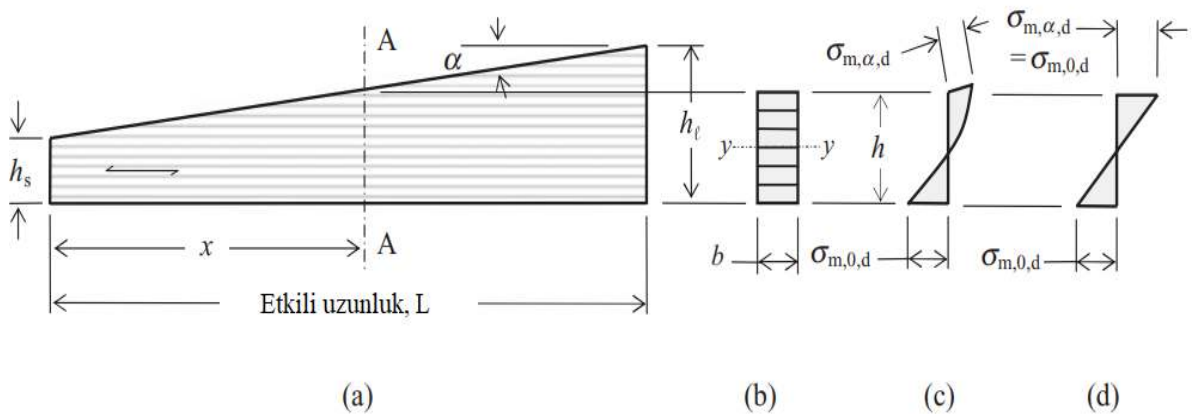


Şekil 7.4. Tek ve çift konik, eğimli ve eğimli bombeli kirişler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 212).

7.3.1. Tek konik kirişlerin tasarımı

Dikdörtgen kesitli olup bir ucundan diğerine doğrusal eğimlidirler (Şekil 7.5.). Eğim açısı α için üst sınır yoktur, ancak pratikte 0 ile 10° arasında olacaktır. Bu tip kirişler çatı yapımında kullanılır. Kritik tasarım kontrolleri, ULS’ de maksimum kayma gerilmesi ve maksimum eğilme gerilmesi için, SLS’ de ise sehim için yapılır.



Şekil 7.5. Tek konik kiriş: (a) görünüş; (b) A-A kesiti; (c) eğilme gerilmesi (d) A-A kesiti için eğilme gerilmesi dağılımı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 212).

Koniklik nedeniyle, kayma gerilmesinin dağılımı derinlik ve uzunluk boyunca değişecektir. Düzgün yayılı yük veya açıklık ortasında noktasal yük durumunda, maksimum kayma gerilmesi kirişin orta yüksekliğinde oluşur. Kiriş derinliği h_s için:

$$\tau_{v,d} = \frac{1.5V_d}{bh_s} \quad (7.3)$$

V_d : Tasarım kesme kuvveti

Konik dikdörtgen kirişin tasarım kayma mukavemeti:

$$f_{v,g,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{v,g,k}}{\gamma_M} \quad (7.4)$$

$f_{v,g,k}$: Karakteristik kesme mukavemeti

Koniklik nedeniyle kesit boyunca eğilme gerilmesi dağılımı da doğrusal olmayacaktır. Riberholt (1979) tarafından yapılan analize göre, konik kiriş boyunca herhangi bir kesitte, konik yüzdeki konikliğe paralel maksimum gerilme ve yatay yüzdeki maksimum yatay çekme gerilmesi:

$$\text{Konik yüz eğilme gerilmesi : } (1 - 3.7 \tan^2 \alpha) M/W_y \quad (7.5a)$$

$$\text{Paralel yüz eğilme gerilmesi : } (1 + 3.7 \tan^2 \alpha) M/W_y \quad (7.5b)$$

Tasarım sürecini basitleştirmek için konik etki göz ardı edilir ve gerilmeler geleneksel elastik eğilme teorisi kullanılarak elde edilir. Şekil 7.5c' de gösterilen konik gerilmeler, Şekil 7.5d' de gösterildiği gibi düz varsayılarak eğilme gerilmelerine eşit alınır.

Kiriş derinliğinin h_s olduğu uçtan ölçülen bir x mesafesinde, tasarım M_d momenti altında, kiriş konik yüzünde α açısında, en dıştaki lifte maksimum eğilme gerilmesi:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{M_d}{W} \quad (\text{EC5, denklem (6.37)}) \quad (7.6)$$

$\sigma_{m,\alpha,d}$: Şekil 7.5d' de gösterildiği gibi liflere göre α açısında tasarım eğilme gerilmesi

$\sigma_{m,0,d}$: Şekil 7.5d' de gösterildiği gibi liflere paralel tasarım eğilme gerilmesi

W : Kesit modülü. $bh^2/6$ ' ya eşittir.

b : Genişlik

h : Derinlik

Tablo 7.5. Farklı yükleme koşullarında tek konik kirişte maksimum eğilme gerilmesinin konumu ve değeri.

Basit mesnetli konik kirişte yükleme durumu	Derinliğin h_s olduğu uçtan ölçülen maksimum eğilme gerilmesi konumu	Maksimum gerilme konumunda mukavemet momenti	Kesit x konumunda maksimum eğilme gerilmeleri $\sigma_{m,\alpha,d}$, $\sigma_{m,0,d}$
Düzensiz yayılı yük q_d	$x = \frac{L}{\left(1 + \frac{h_1}{h_s}\right)}$	$W_x = \frac{2b}{3} \left(\frac{h_1}{\left(1 + \frac{h_1}{h_s}\right)} \right)^2$	$\frac{q_d x (L-x)}{2W_x}$
Açıklık ortasında noktasal yük Q_d	$\frac{h_1}{h_s} \leq 3$ için; $x = \frac{L}{2}$	$W1_x = \frac{b(h_1 + h_s)^2}{24}$	$\frac{Q_d x}{2(W1_x)}$
	$\frac{h_1}{h_s} > 3$ için; $x = \frac{L}{\left(\frac{h_1}{h_s} - 1\right)}$	$W2_x = \frac{2}{3} b h_s^2$	$\frac{Q_d x}{2(W2_x)}$

Bu gerilmeler, yükleme tipi ve kiriş geometrisinin bir fonksiyonu olacaktır. Şekil 7.5.’te gösterilen kiriş için x mesafesi, Tablo 7.5.’de verilen değere sahip olduğunda maksimum gerilme durumu ortaya çıkacaktır. x konumunda maksimum gerilme değerleri de tabloda verilmiştir. Konik kenarın en dış lifinde tasarım gerilme:

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} * f_{m,d} \quad (\text{EC5, denklem (6.38)}) \quad (7.7)$$

$f_{m,d}$: Tasarım eğilme mukavemeti

$k_{m,\alpha}$:

(a) kirişin konik yüzüne paralel çekme gerilmeleri için:

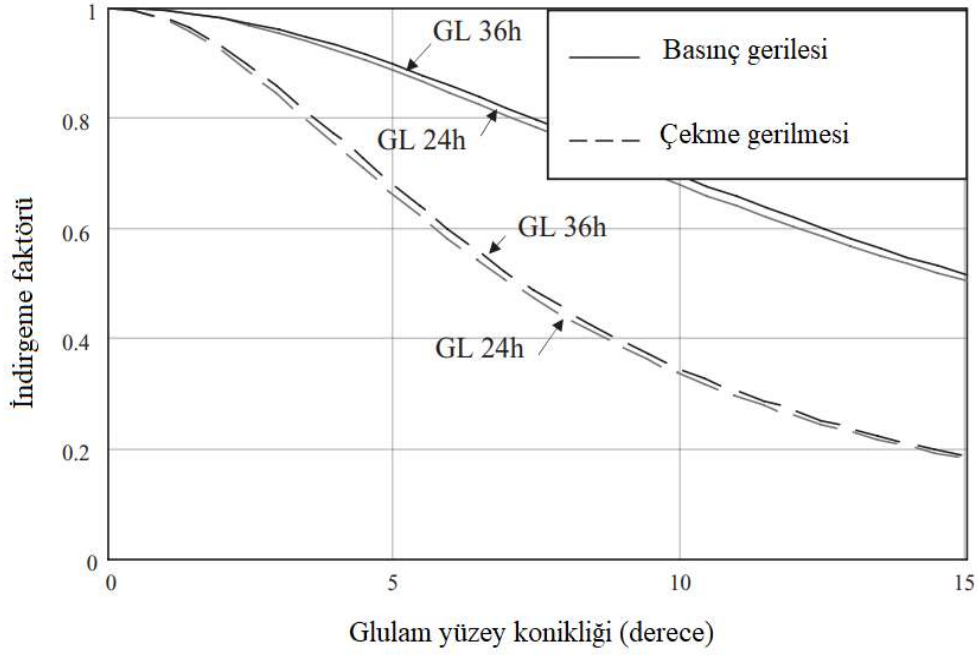
$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + (f_{m,d}/(0.75 * f_{v,d}) \tan \alpha)^2 + ((f_{m,d}/f_{t,90,d}) \tan^2 \alpha)^2}} \quad (\text{EC5, denklem (6.39)}) \quad (7.8)$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{v,g,k}}{\gamma_M}$$

$$f_{t,90,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{t,90,g,k}}{\gamma_M}$$

$f_{v,d}$: Tasarım kayma mukavemeti

$f_{t,90,d}$: Tasarım çekme mukavemeti



Şekil 7.6. Konik glulam elemanları için dayanım azaltma faktörü $k_{m,\alpha}$.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 215).

(b) kirişin konik yüzüne paralel basınç gerilmeleri için:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1.5 \cdot f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (\text{EC5, denklem (6.40)}) \quad (7.9)$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c,90,g,k}}{\gamma_M}$$

$f_{c,90,d}$: Liflere dik tasarım basınç mukavemeti

$f_{v,g,k}$: Karakteristik kayma mukavemeti

$f_{t,90,g,k}$: Liflere dik karakteristik çekme mukavemeti

$f_{c,90,g,k}$: Liflere dik karakteristik basınç mukavemeti

Şekil 7.6., homojen glulam kirişlerine uygulanan $k_{m,\alpha}$ azaltma faktörünün etkisini göstermektedir. $k_{m,\alpha}$ faktörü çekme kuvvetleri için kesikli çizgi ile basınç kuvvetleri için sürekli çizgi ile temsil edilir. $k_{m,\alpha}$ kirişin konik açısına bağlıdır ve en büyük mukavemet azalması, konik yüz çekme kuvvetleri etkisindeyken oluşacaktır.

Eğilmede basınç gerilmesi altında, yanal instabilite etkisi de dikkate alınmalıdır ve bu koşullar için:

$$\sigma_{m,0,d} \leq k_{crit} * f_{m,d}$$

ve/veya

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{crit} * k_{m,\alpha} * f_{m,d} \quad (7.10)$$

k_{crit} : Yanal burulma kararsızlık faktörü

Konik kesitlerde sehim hesapları, düzgün kesitli olanlardan daha karmaşıktır. Üniform yayılı yük veya açıklık ortasında noktasal yük altında kirişe ait eğilme ve kayma sehimini hesaplamak için gerekli denklemler Ek-1’ de verilmiştir ve maksimum sehim, kiriş açıklığının merkezinde gerçekleşir.

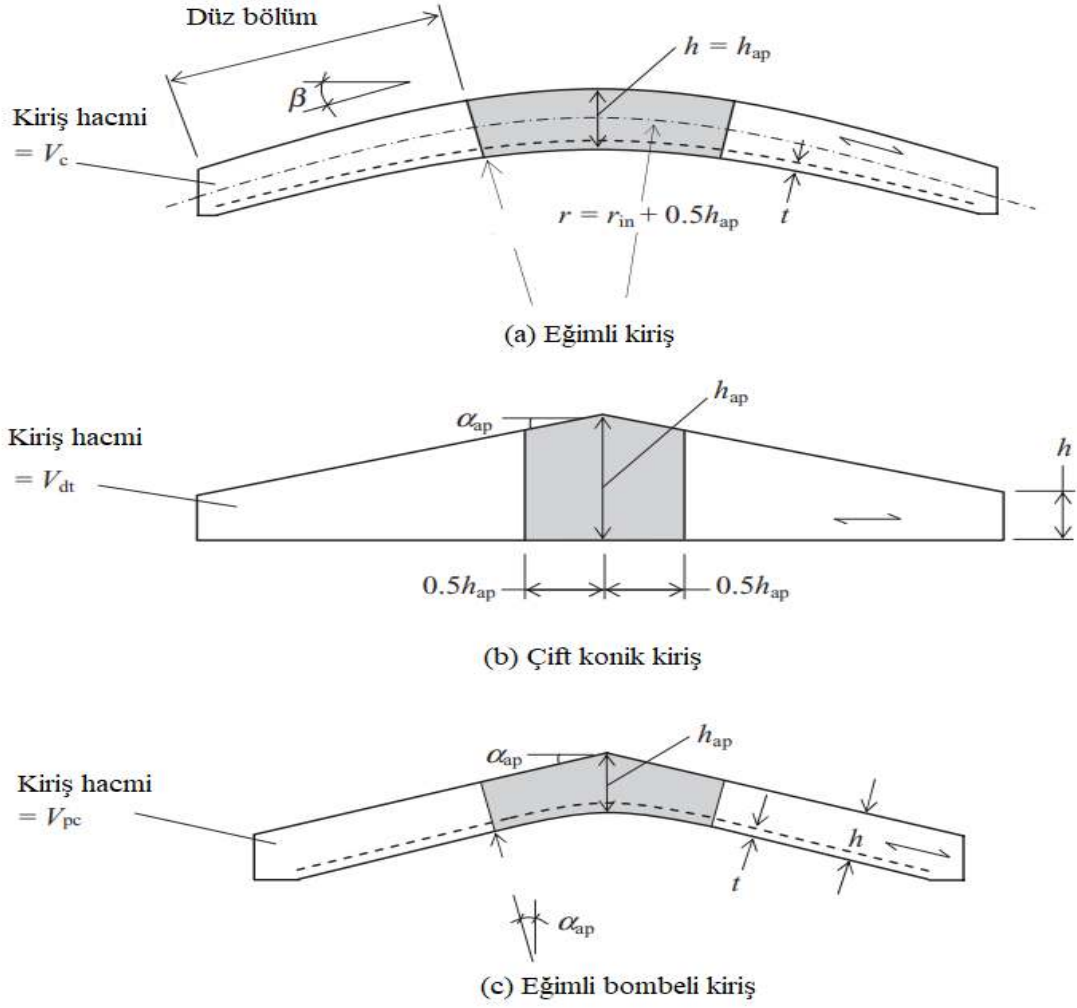
7.3.2. Çift konik kirişler, kavisli ve eğimli bombeli kirişlerin tasarımı

Bu tür kirişler dikdörtgen kesite sahiptirler (Şekil 7.7.). Tasarım kontrolleri, tek konik kirişler için belirtilenlerle aynıdır. ULS’ de kayma gerilmesi ile eğilme gerilmesi, SLS’ de sehim durumu kontrol edilmelidir. Tasarım kontrollerine ek olarak, tepe bölgesindeki gerilme durumu da göz önünde bulundurulmalıdır.

Tepe noktasında radyal gerilmeler etkisinde olan bölge Şekil 7.7.’ de gösterilmiştir. Tepe bölgesi maksimum $2/3 V_b$ ile sınırlı olmalıdır.

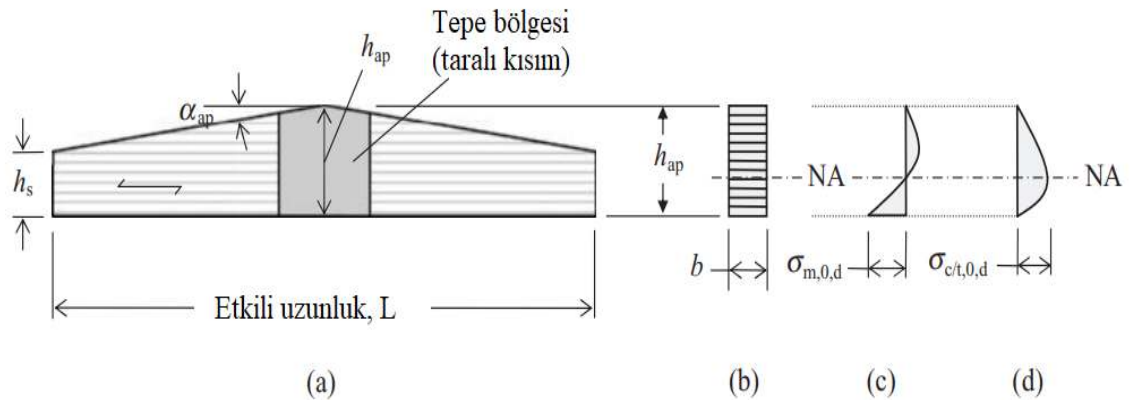
7.3.2.1. Çift konik ve eğimli bombeli kirişler için tepe bölgesinde eğilme gerilmeleri ve radyal gerilmeler

Çift konik kirişlerin ve eğimli bombeli kirişlerin tepe bölgelerinde, eğilme gerilmesi dağılımı doğrusal değildir (Şekil 7.8.). Tepe bölgesinde eğilme gerilmesi sıfırdır (Şekil 7.8c). Kesitte oluşan radyal gerilme, tarafsız ekseninde maksimum olacaktır (Şekil 7.8d).



Şekil 7.7. Eğimli, çift konik ve eğimli bombeli kirişler için tepe bölgeleri taralı gösterilmiştir.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 217).



Şekil 7.8. Çift konik kirişin tepe bölgesinde eğilme gerilmeleri ve radyal gerilmeler: (a) çift konik kiriş (b) tepe bölgesi kesiti (c) tepe bölgesinde eğilme gerilmesi (d) tepe bölgesinde radyal gerilme.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 217).

7.3.2.1.1. Tepe bölgesinde eğilme gerilmesi

$M_{ap,d}$ tasarım momenti altında tepe bölgesinde maksimum eğilme gerilmesi $\sigma_{m,0,d}$ Şekil 7.8c' de gösterilmiştir.

$$\sigma_{m,0,d} = k_1 * \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (\text{EC5, denklem (6.42)}) \quad (7.11)$$

b: Tepe bölgesi genişliği

h_{ap} : Tepe bölgesi derinliği

k_1 :

$$k_1 = k_1 + k_2 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3 \quad (\text{EC5, denklem (6.43)}) \quad (7.12)$$

$$k_1 = 1 + 1.4 \tan(\alpha_{ap}) + 5.4 \tan^2(\alpha_{ap}) \quad (\text{EC5, denklem (6.44)}) \quad (7.13)$$

$$k_2 = 0.35 - 8 \tan(\alpha_{ap}) \quad (\text{EC5, denklem (6.45)}) \quad (7.14)$$

$$k_3 = 0.6 + 8.3 \tan(\alpha_{ap}) - 7.8 \tan^2(\alpha_{ap}) \quad (\text{EC5, denklem (6.46)}) \quad (7.15)$$

$$k_4 = 6 \tan^2(\alpha_{ap}) \quad (\text{EC5, denklem (6.47)}) \quad (7.16)$$

$$r = r_{in} + 0.5h_{ap} \quad (\text{EC5, denklem (6.48)}) \quad (7.17)$$

r_{in} : Kirişin iç yarıçapı

k değeri Şekil Ek.2.1.' den de elde edilebilir. Şekildeki fonksiyon, 0 ile 0.5 arasında h_{ap}/r_{in} oranlarına ait α_{ap} açıları için çizilir.

7.3.2.1.2. Tepe bölgesinde radyal gerilme

Çift konik ve eğimli bombeli kirişteki radyal gerilme, tarafsız ekseninde maksimum alınıp üst ve alt yüzlerde sıfıra indirilir (Şekil 7.8d). $M_{ap,d}$ tasarım momenti altında, tepe bölgesindeki kritik radyal gerilme liflere dik maksimum çekme gerilmesi $\sigma_{t,90,d}$ olacaktır.

$$\sigma_{t,90,d} = k_p * \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (\text{EC5, denklem (6.54)}) \quad (7.18)$$

b: Tepe bölgesinde kesit genişliği

h_{ap} : Tepe bölgesinde kesit derinliği

Çift konik bir kiriş için: $k_p = 0.2 \tan(\alpha_{ap})$

Eğimli bir bombeli kiriş için :

$$k_p = k_5 + k_6 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 \quad (\text{EC5, denklem (6.56)}) \quad (7.19)$$

$$k_5 = 0.2 \tan(\alpha_{ap}) \quad (\text{EC5, denklem (6.57)}) \quad (7.20)$$

$$k_6 = 0.25 - 1.5 \tan(\alpha_{ap}) + 2.6 \tan^2(\alpha_{ap}) \quad (\text{EC5, denklem (6.58)}) \quad (7.21)$$

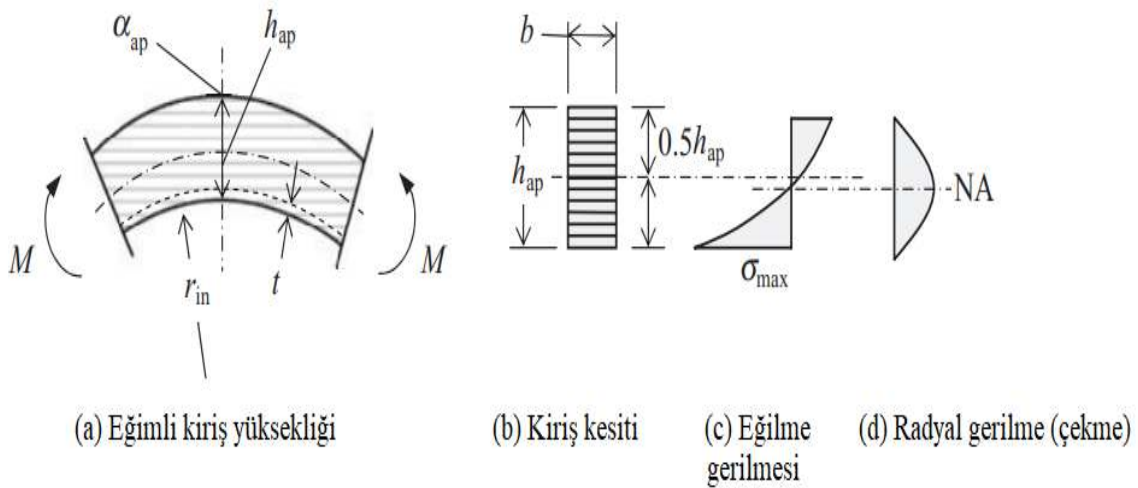
$$k_7 = 2.1 \tan(\alpha_{ap}) - 4 \tan^2(\alpha_{ap}) \quad (\text{EC5, denklem (6.59)}) \quad (7.22)$$

$$r = r_{in} + 0.5h_{ap} \quad (7.17)$$

k_p değeri Şekil Ek.2.2' den de elde edilebilir. Şekildeki fonksiyon, 0 ile 0.5 arasında h_{ap}/r_{in} oranlarına ait α_{ap} açıları için çizilir.

7.3.2.2. Kavisli bir kirişin tepe bölgesinde eğilme gerilmeleri ve radyal gerilmeler

Eğilme gerilmesi dağılımı doğrusal olmayacaktır (Şekil 7.9.). Tarafsız eksenin konumu merkez eksenin altında olacak ve eğilme gerilmesi iç yarıçap konumunda meydana gelecektir. Kesitteki radyal çekme gerilmesi dış kısımlarda sıfır, tarafsız eksende maksimum olur (Şekil 7.9d).



Şekil 7.9. Kavisli bir kirişte eğilme gerilmeleri ve radyal gerilmeler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 219).

7.3.2.2.1. Tepe bölgesinde eğilme gerilmesi

Maksimum eğilme gerilmesinin iç yarıçap konumunda meydana gelir (Şekil 7.9c). $M_{ap,d}$ momenti etkisinde genişliği b ve derinliği h_{ap} olan kavisli kirişin tepe bölgesindeki iç yarıçap noktasında maksimum gerilme oluşur. α_{ap} açısı sıfır alınarak:

$$\sigma_{m,0,d} = k_{curve,b} * \frac{6M_d}{bh_{ap}^2} \quad (7.23)$$

$$k_{curve,b} = 1 + 0.35 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + 0.6 * \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 \quad (7.24)$$

$$r = r_{in} + 0.5h_{ap} \quad (7.17)$$

$k_{curve,b}$ değeri Şekil Ek.2.1' den de elde edilebilir ki bu durumda $\alpha_{ap} = 0$ alındığında fonksiyonun değeri k_1 değerine eşittir.

7.3.2.2.2. Tepe bölgesinde radyal gerilme

Çift konik ve eğimli bombeli kirişlerde olduğu gibi, tarafsız ekseninde radyal gerilme maksimum alınabilir ve Şekil 7.9d' de gösterildiği gibi üst ve alt yüzlerde sıfıra düşecektir. $M_{ap,d}$ tasarım momenti altında, genişliği b ve derinliği h_{ap} olan kavisli kirişin tepe noktasının tarafsız ekseninde oluşacak olan liflere dik maksimum çekme gerilmesi $\sigma_{t,90,d}$ (7.25) denklemi ile hesaplanır. α_{ap} koniklik açısı sıfır alındığında:

$$\sigma_{t,90,d} = k_{curve,t} * \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (EC5, denklem (6.54)) \quad (7.25)$$

$$k_{curve,t} = 0.25(h_{ap}/r)$$

$$r = r_{in} + 0.5h_{ap} \quad (7.17)$$

7.3.2.2.3. Çift konik kirişler, kavisli kirişler ve eğimli bombeli kirişler için tepe bölgesinde eğilme mukavemeti

Kavisli veya eğimli bombeli glulam kirişi oluşturmak için laminatlar gerekli eğrilığe büküldüğünde eğilme gerilmesi oluşur. Bu etki, çift konik kirişler için geçerli değildir.

Oluşan eğilme gerilmesini hesaba katmak için, glulam kirişinin eğilme mukavemetine, gerilme azaltma faktörü uygulanır. Azaltılmış tasarım eğilme mukavemeti $f_{r,m,0,d}$:

$$f_{r,m,0,d} = k_r * f_{m,0,d} \quad (EC5, denklem (6.41)) \quad (7.26)$$

k_r : Azaltma faktörü. Çift konik kirişlerde azaltma olmadığından, bu tip için $k_r = 1$ alınır. Kavisli ve eğimli bombeli kirişler için, faktör r_{in}/t oranına bağlıdır ve EC5' e göre:

- $r_{in}/t \geq 240$ olduğunda azaltma gerekmez,
- $r_{in}/t < 240$ olduğunda modifikasyon faktörü $0.76 + 0.001(r_{in}/t)$ ' dir.

r_{in} , kavisli kiriş iç yarıçapı ve t laminasyon kalınlığı

7.3.2.4. Çift konik kirişler, kavisli kirişler ve eğimli bombeli kirişler için tepe bölgesinde radyal çekme mukavemeti

Larsen (1986) ve Colling (1986), bu kiriş tipleri için, kesitin tepe bölgesindeki çekme dayanımının gerilme ve hacim etkilerine bağlı olduğunu göstermiştir. Bu etkiler için faktörler geliştirilmiştir. EC5' te, liflere dik açılarda tasarım çekme mukavemeti $f_{r,t,90,d}$:

$$f_{r,t,90,d} = k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d} \quad (7.27)$$

k_{dis} : Tepe bölgesinde gerilme dağılım faktörü. Çift konik ve kavisli kirişler için 1.4 ve eğimli bombeli kirişler için 1.7' dir.

k_{vol} : Hacim faktörü. Masif ahşap için 1 ve yapıştırılmış lamine ahşap ve LVL için ise;

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0.2}$$

olur. Bu durum tüm kaplamalar kiriş eksenine paralelken geçerlidir.

V_0 : Üstel fonksiyonun türetildiği referans hacmi. 0.01 m^3 ' e eşittir.

V : Tepe bölgesinin m^3 cinsinden gerilme hacmi. Maksimum $2V_{beam}/3$ ' tür.

V_{beam} : Kiriş hacmi

Tepe bölgesinin geometrisinden, Şekil 7.7.' de gösterilen b kalınlığına sahip kiriş tiplerinin gerilme altındaki hacimleri V , Tablo 7.6.' da verilmiştir.

Tablo 7.6. Tepe bölgesinin gerilmeli hacmi.

Şekil	Kiriş tipi	Gerilmeli hacim	Gerilmeli hacmin izin verilen maksimum değeri
6.7.a	Kavisli kiriş	$\frac{\pi b}{180} b(h_{ap}^2 + 2h_{ap}r_{in})$	$\frac{2}{3} V_c$
6.7.b	Çift konik kiriş	$bh_{ap}^2(1 - 0.25 \tan(\alpha_{ap}))$	$\frac{2}{3} V_{dt}$
6.7.c	Eğimli bombeli kiriş	$b \left(\sin(\alpha_{ap}) \cos(\alpha_{ap}) (r_{in} + h_{ap})^2 - r_{in}^2 \frac{\alpha_{ap}\pi}{180} \right)$	$\frac{2}{3} V_{pc}$

7.3.2.5. Çift konik kirişler, kavisli kirişler ve eğimli bombeli kirişler için eğilme gerilmesi kriterleri

Kiriş tepe bölgesindeki tasarım eğilme gerilmesi, azaltılmış tasarım eğilme mukavemetinden daha büyük olmamalıdır:

$$\sigma_{m,0,d} = k_r * f_{m,0,d} \quad (\text{EC5, denklem (6.41)}) \quad (7.28)$$

$\sigma_{m,0,d}$: Tepe bölgesinde tasarım çekme eğilme gerilmesi

$k_r * f_{m,0,d}$: Tepe bölgesinin azaltılmış tasarım eğilme mukavemeti

5.3.2.6. Çift konik kirişler, kavisli kirişler ve eğimli bombeli kirişler için radyal çekme gerilmesi kriterleri

Tepe bölgesinde liflere dik tasarım çekme gerilmesi, azaltılmış tasarım çekme mukavemetinden daha büyük olmamalıdır:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d} \quad (\text{EC5, denklem (6.50)}) \quad (7.29)$$

$\sigma_{t,90,d}$: Tepe bölgesindeki tasarım çekme gerilmesi.

$k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}$: Tepe bölgesinin azaltılmış tasarım çekme mukavemeti.

7.3.3. Birleşik kesme ve liflere dik çekme etkisinde çift konik, kavisli ve eğimli bombeli kirişlerin tasarımı

Çift konik kirişler, kavisli kirişler ve tepe noktasında genişliği b ve derinliği h_{ap} olan eğimli bombeli kirişler, birleşik kesme ve liflere dik çekme gerilmelerine maruz kaldığında, bu gerilmeler etkileşime girer ve EC5 tasarım koşulunda şu şekilde olur:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (\text{EC5, denklem (6.53)}) \quad (7.30)$$

$$\tau_d = \frac{3F_d}{2bh_{ap}}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{v,g,k}}{\gamma_M}$$

τ_d : Tepe noktasındaki tasarım kayma gerilmesi.

$f_{v,d}$: Tasarım kayma mukavemeti

$\sigma_{t,90,d}$: Tepe bölgesinde kiriş üzerindeki tasarım çekme gerilmesi

$k_{dis} * k_{vol} * f_{t,90,d}$: Kirişin liflere dik azaltılmış çekme mukavemeti

7.4. Dişli Birleşimler

Dişli birleşimler hizmet sınıfı 1 ve 2 için uygun olup BS EN 387:2001 şartlarına göre tasarlanmalıdırlar.



8. KOMPOZİT AHŞAP KESİTLERİN TASARIMI

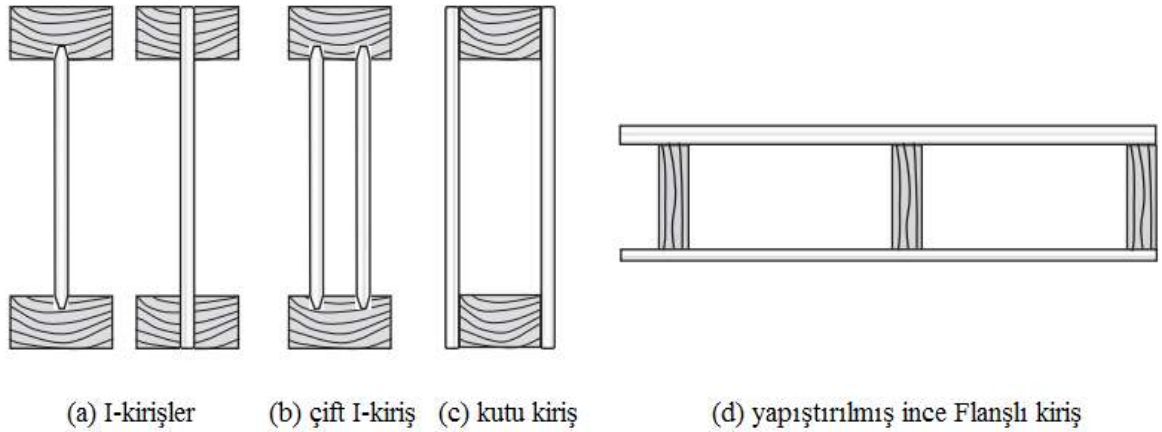
Yapı tasarımında, yüksek rijitliğe sahip minimum öz ağırlık için en büyük yükü taşıyabilen yapısal kesitler kullanılarak en yüksek verimlilik elde etmek esastır. Bu amaca uygun en yaygın kesitler, kompozit I ve kompozit kutu kirişleri olarak adlandırılan ince gövdeli kirişler ve ince flanşlı kirişlerdir. Kompozit kesit oluşturmada 2 yöntem vardır:

- (a) Yapıştırılmış derzler kullanılarak oluşturulan kompozit kesitler
- (b) Mekanik birleşimler kullanılarak oluşturulan kompozit kesitler

Ahşap yapılarda yaygın olarak kullanılan bazı kompozit kesitler Şekil 8.1.' de, kullanım örnekleri ise Şekil 8.2.' de verilmiştir.

Tasarım kuralları, birleşim bölgelerinde elemanlar arasında kayma olmayacağı varsayımı üzerine formüle edilmiştir. Mekanik birleşimli kompozit kesitlerde elemanlar, çivi, vida veya dübel vb. kullanılarak birleştirilir. Bu tip kesitlerde elemanlar arasında kayma ortaya çıkacaktır. Bu bölümde sadece yapıştırılarak oluşturulan kompozit kesitler ele alınacaktır.

Gövde ve flanşlar farklı malzemelerden yapılır. Örneğin, kompozit I-kirişlerin gövdeleri genellikle kontrplak, OSB veya yonga levha gibi ahşap esaslı panel malzemelerinden yapılırken flanşlar yapısal ahşap, LVL veya yapıştırılmış lamine ahşaptan yapılır.



Şekil 8.1. Kompozit kesit örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 249).

8.1. Tasarım

Kompozit kesitler, eğilme elemanları olarak işlev görecektir. Eğilme elemanlar için verilen tasarım kurallarına uyulacaktır. Tasarıma ait sınır durumları Tablo 5.1.' de verilenlerle aynıdır.

Kompozit kesitlerde farklı elastisite modülüne sahip elemanlar kullanıldığından küçük eğim-sehim teorisi bu kesitler için değiştirilmelidir. Kompozit kesitler ile masif kesitler arasındaki temel fark budur. Bu durum, mukavemetle ilgili özellikler için tasarım sürecini etkiler. Diğer taraftan elastisite modülündeki değişim de rijitlik davranışını etkiler.

8.2. Yapıştırılmış Kompozit Kesit Tasarımı

8.2.1. Yapıştırılmış ince gövdeli kirişler

Kesitteki gerilme, derinlik boyunca doğrusal olarak değişir. Elastisite modülü, kesitteki her malzeme için farklı olacağından, eğilme teorisi doğrudan uygulanamaz. Analiz için eşdeğer kesit yaklaşımı (bazen modüler oran yaklaşımı olarak anılacaktır) kabul edilebilir ve bu bölümde kullanılan tasarım prosedürü olarak benimsenmiştir.

Bu yöntemde kompozit kesitteki malzemelerden biri seçilir ve diğerleri, seçilen malzemenin eşdeğer alanları ile değiştirilir. Böylece eğilme altında, değiştirilen malzemelerdeki kuvvet, tarafsız eksenden herhangi bir mesafede, orijinal malzemeler tarafından aynı konumda alınanla aynı olacaktır. Bu sayede eşdeğer homojen bir kesit oluşturulur ve eğilme teorisi uygulanabilir. Seçilen malzemenin eğilme gerilmesi gerilme analizinden bulunacaktır. Değiştirilen malzeme için, kompozit kesitte kullanılan gerçek malzemenin elastisite modülünün seçilen malzemenin elastisite modülüne oranı ile eşdeğer homojen kesitte eğilme gerilmesinin çarpılmasıyla gerilme elde edilir. Bu oran modüler oran olarak adlandırılır. Hesaplama, her bir malzemenin ortalama elastisite modülü E_{mean} kullanılmalıdır. Yaklaşım aksenal gerilme koşulları için de geçerlidir.



(a) I-kirişler zemin kirişleri



(b) Eğimli çatılarda I-kirişler
(APA'nın izniyle, The Engineered Wood Association)



(c) I-kirişler (APA'nın izniyle,
The Engineered Wood Association)



(d) Eğimli kutu kiriş (fotoğraf Fred Bosveld ve
Peter Yttrup'un izniyle)



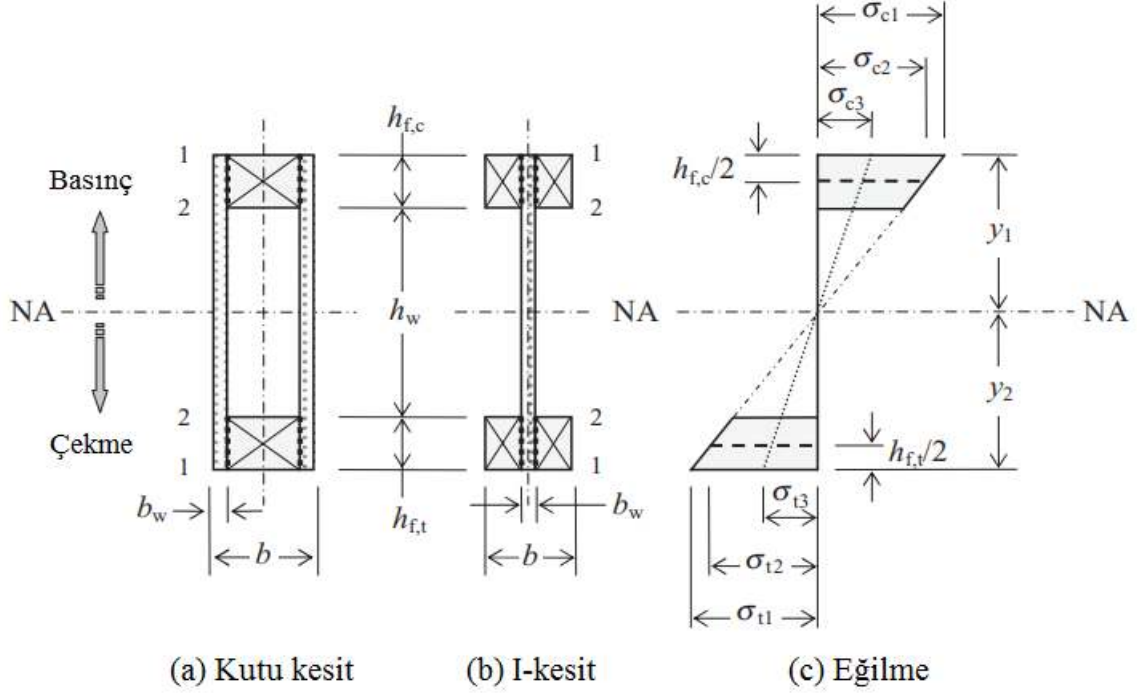
(e) LVL ile oluşturulan geniş açıklıklı kutu kiriş
ve I-kirişler (Avustralya Mühendislik Ahşap
Ürünleri Birliği'nin (EWPA) izniyle)



(f) LVL ile oluşturulan geniş açıklıklı kutu portal çerçeveleri
(Avustralya Mühendislik Ahşap Ürünleri Birliği'nin
(EWPA) izniyle)

Şekil 8.2. Kompozit ahşap ve ahşap esaslı kesitlerin kullanım örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 250).



Şekil 8.3. İnce gövdeli kesitler ve EC5 gerilmeleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 251).

Flanş genişliği ile uzunluk arasındaki oran küçük olduğundan flanşlardaki kayma gecikmesi etkisi göz ardı edilebilir ve mukavemet hesaplamalarında tam flanş genişliği kullanılır.

Yanal rijitlik düşük olduğundan, zeminde kullanıldıklarında ve zeminin temel frekansının üzerindeki titreşimlere maruz kaldıklarında, olumsuz titreşim etkileri ortaya çıkacaktır. Bu etkiyi azaltmak ve aynı zamanda yanal ve burulma instabilitesine karşı destek sağlamak için, Bölüm 5' te gösterildiği gibi destekler yapılır.

8.2.1.1. Yapıştırılmış ince gövdeli kirişlerin mukavemet analizi

Mukavemet analizi taşıma gücü sınır durumlarında yapılır. Eğilme altında tipik ince gövdeli kesitlerde elastik gerilme dağılımı Şekil 8.3.' te gösterilmiştir.

Kompozit kesitteki malzemelerin farklı kayma davranışı nedeniyle, kesitteki eğilme gerilmeleri yük ve nem içeriğine göre değişecektir ve bu etki analizde dikkate alınmalıdır. Gerilme dağılımı ani durumda belirlenir ve kayma davranışından kaynaklanan durum için analiz, nihai ortalama rijitlik değerleri kullanılarak yapılır. Tasarım rijitlik değeri aşağıdaki gibi olacaktır:

(a) Ani durumda

$$E_{d,ULS} = E_{mean} , G_{d,ULS} = G_{mean} \quad (8.1)$$

(b) Rijitliğin nihai ortalama değeri ile ilgili olduğu durumda

$$E_{d,ULS} = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 * k_{def})}, G_{d,ULS} = \frac{G_{mean}}{(1+\psi_2 * k_{def})} \quad (8.2)$$

- $E_{d,ULS}$: ULS' de elastisite modülünün tasarım değeri
- $G_{d,ULS}$: ULS' de kayma modülünün tasarım değeri
- E_{mean} : Elastisite modülünün ortalama değeri
- G_{mean} : Kayma modülünün ortalama değeri
- k_{def} : Deformasyon faktörü
- ψ_2 : En büyük gerilmeyi veren yarı kalıcı etki faktörü. Kalıcı etki durumunda 1' dir.

Şekil 8.3.' te gösterilen kesitler için, flanş malzemesini eşdeğer kesit için seçilen malzeme olarak düşünülür ve aşağıdakileri varsayımlar dikkate alınır:

- her flanşta aynı malzeme kullanılır. Deformasyon faktörü $k_{def,f}$ ve ortalama elastisite modülü $E_{mean,f}$ ' dir.
- ortalama elastisite modülü değeri $E_{mean,w}$ ile bağlantılar için deformasyon faktörü $k_{def,w}$ ' dir.

Eşdeğer kesit alanı A_{ef} ve dönüştürülmüş kesitin atalet momenti I_{ef} aşağıdaki gibi olacaktır:

(a) Ani durumda:

$$A_{ef,inst} = A_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * A_w \quad (8.3)$$

$$I_{ef,inst} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * I_w \quad (8.4)$$

(b) Rijitliğin nihai ortalama değeri ile ilişkili durumda:

(i) Kalıcı etkinin tasarım koşulunu ürettiği durumda:

$$A_{ef,fin} = A_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * \left(\frac{1+k_{def,f}}{1+k_{def,w}} \right) * A_w \quad (8.5)$$

$$I_{ef,fin} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * \left(\frac{1+k_{def,f}}{1+k_{def,w}} \right) * I_w \quad (8.6)$$

(ii) Değişken etkinin Q_i ' nin tasarım koşulunu ürettiği durumda:

$$A_{ef,fin} = A_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * \left(\frac{1+\psi_{2,i} * k_{def,f}}{1+\psi_{2,i} * k_{def,w}} \right) * A_w \quad (8.7)$$

$$I_{ef,fin} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * \left(\frac{1+\psi_{2,i} * k_{def,f}}{1+\psi_{2,i} * k_{def,w}} \right) * I_w \quad (8.8)$$

A_f : Toplam flanş alanıdır ve

Şekil 8.3a için;

$$A_f = (b - 2 * b_w) * (h_{f,c} + h_{f,t})$$

Şekil 8.3b için;

$$A_f = (b - b_w) * (h_{f,c} + h_{f,t})$$

A_w : Gövde alanıdır ve

Şekil 8.3a için;

$$A_w = 2 * b_w * (h_w + h_{f,c} + h_{f,t})$$

Şekil 8.3b için;

$$A_w = b_w * (h_w + h_{f,c} + h_{f,t})$$

$\psi_{2,i}$: Değişken etki Q_i ' nin yarı kalıcı değer faktörü

I_f : Tarafsız eksene göre her iki flanşın atalet momenti

I_w : Tarafsız eksene göre dönüştürülmemiş gövdenin atalet momenti

M_d tasarım eğilme momenti etkisinde ve gövde elastisite modülünün flanşın elastisite modülünden daha küçük olduğu durumda, flanştaki eğilme gerilmeleri artacak ve gövdedekiler zamanla azalacaktır. Bu durum için, sadece nihai ortalama değer koşulunda flanşlardaki gerilmelerin ve ani durumda gövdedeki gerilmelerin kontrol edilmesi gerekecektir. Bununla birlikte, gövdenin elastisite modülü flanşinkinden daha büyükse, eğilme gerilmeleri flanşlarda ani durum için ve gövdede nihai ortalama değer durumu için kontrol edilmelidir. Simetrik kesitler için gerilme farklılıkları küçük olacaktır.

Aşağıdaki bölümlerde, flanşlar ve gövde için hem ani hem de nihai ortalama değer koşulundaki gerilme denklemleri, moment ve kesme koşullarına maruz kalan kesitler için ve EC5 tasarım koşulları ile birlikte verilmiştir.

8.2.1.1.1. Flanşlarda gerilmeler

(a) Eğilme gerilmeleri

Eğilmeye bağlı maksimum gerilme, tarafsız eksenden y_1 veya y_2 mesafesindeki en uç lif konumunda meydana gelecektir (Şekil 8.3c). Kesit y-y eksenine göre simetrik olduğunda, $y_1 = y_2$, simetrik olmadığında $y_1 \neq y_2$ olacaktır. Ayrıca, kesit y-y eksenine göre simetrik

olmadığında, tarafsız eksenin konumu ani ve nihai ortalama değer koşullarında farklı olacaktır ve bu durumlardaki y_1 ve y_2 'nin ilgili değerleri de farklılık gösterecektir. Bu değerler ani durum için $y_{1,inst}$ ve $y_{2,inst}$, nihai ortalama değer durumu için ise $y_{1,fin}$ ve $y_{2,fin}$ olarak sembolize edilecektir.

Eğilme nedeniyle maksimum tasarım basınç gerilmesi y_1 ' de olacak ve:

Ani durum için;

$$\sigma_{f,inst,c,max,d} = \sigma_{c,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * y_{1,inst} \right) \quad (8.9a)$$

Nihai ortalama değer durumu için;

$$\sigma_{f,fin,c,max,d} = \sigma_{c,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * y_{1,fin} \right) \quad (8.9b)$$

Maksimum tasarım çekme gerilmesi y_2 ' de olacak ve:

Ani durum için;

$$\sigma_{f,inst,t,max,d} = \sigma_{t,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * y_{2,inst} \right) \quad (8.10a)$$

Nihai ortalama değer durumu için;

$$\sigma_{f,fin,t,max,d} = \sigma_{t,1} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * y_{2,fin} \right) \quad (8.10b)$$

(8.9) ve (8.10) denklemlerindeki tasarım gerilmeleri, tasarım eğilme mukavemetine eşit veya küçük olmalıdır. Yani:

$$\sigma_{f,inst,c,max,d}, \sigma_{f,fin,c,max,d} \text{ ve } \sigma_{f,inst,t,max,d}, \sigma_{f,fin,t,max,d} \leq f_{m,d} \quad (8.11)$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} * k_h * k_{sys} * f_{m,k}}{\gamma_M}$$

k_{mod} : Modifikasyon faktörü

k_{sys} : Sistem mukavemet faktörü

k_h : Boyutu etkisi için modifikasyon faktörü

$f_{m,k}$: Flanşın karakteristik eğilme mukavemeti

γ_M : Malzeme kısmi faktörü

(b) Basınç gerilmeleri

EC5' te, kesitin yanal stabilitesinin yalnızca basınç flanşının burkulma mukavemeti ile sağlandığı kabul edilir. Tasarım şartı, flanştaki basınç gerilmesinin basınç mukavemetine eşit veya daha az olmasıdır. Basınç gerilmesi, eğilme nedeniyle flanştaki basınç gerilmesinin ortalama değeri olarak alınır ve:

Ani durum için;

$$\sigma_{f,inst,c,d} = \sigma_{c,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * \left(y_{1,inst} - \frac{h_{f,c}}{2} \right) \right) \quad (8.12a)$$

Nihai ortalama değer durumu için;

$$\sigma_{f,fin,c,d} = \sigma_{c,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * \left(y_{1,fin} - \frac{h_{f,c}}{2} \right) \right) \quad (8.12b)$$

EC5 tasarım şartı, tasarım gerilmesinin değiştirilmiş tasarım basınç mukavemetine eşit veya daha az olmasıdır. Yani;

$$\sigma_{f,inst,c,d} \text{ ve } \sigma_{f,fin,c,d} \leq k_c * f_{c,0,d} \quad (8.13)$$

ve

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (8.14)$$

$f_{c,0,d}$: Flanşın tasarım basınç dayanımı

$f_{c,0,k}$: Flanşın liflere paralel karakteristik basınç dayanımı

k_c : Yanal kararsızlık faktörü

b derinliğine sahip dikdörtgen kiriş, z-z eksenine göre $b/\sqrt{12}$ ' lik dönme yarıçapına sahiptir ve kesitin narinlik oranı $\sqrt{12 * (I_c/b)}$ olacaktır. I_c yanal mesnetin kesit uzunluğudur. Döşeme tarafından yanal kısıtlama sağlandığında, (yani $k_c = 1$ iken), kirişlerin yanal hareketini önlemek için yeterli sabitlemelerin kullanılması esastır.

(c) Çekme gerilmeleri

Çekme flanşında ortalama tasarım çekme gerilmesinin, tasarım çekme mukavemetinden daha az olacağı da kontrol edilmelidir.

Ani durum için;

$$\sigma_{f,inst,t,d} = \sigma_{t,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * \left(y_{2,inst} - \frac{h_{f,t}}{2} \right) \right) \quad (8.15a)$$

Nihai ortalama değer durumunda;

$$\sigma_{f,fin,t,d} = \sigma_{t,2} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * \left(y_{2,fin} - \frac{h_{f,t}}{2} \right) \right) \quad (8.15b)$$

EC5 tasarım şartı, tasarım gerilmesinin, tasarım çekme mukavemetine eşit veya daha az olmasıdır. Yani;

$$\sigma_{f,inst,t,d} \text{ ve } \sigma_{f,fin,t,d} \leq f_{t,0,d} \quad (8.16)$$

ve

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * k_h * f_{t,0,k}}{\gamma_M} \quad (8.17)$$

$f_{t,0,d}$: Flanşın liflere paralel tasarım basınç dayanımı

$f_{t,0,k}$: Flanşın liflere paralel karakteristik çekme mukavemeti

k_h : Boyut etkisi modifikasyon faktörü

8.2.1.1.2. Gövdede eğilme, kesme ve burkulma gerilmeleri

Gövdenin ana görevi, kesme gerilmelerini emniyetle aktarmak olsa da eğilme nedeniyle basınç ve çekme gerilmelerine maruz kaldığı için bu gerilmelere de dayanabilmelidir. Ayrıca, kesme gerilmelerinden dolayı burkulma olmayacağı ve gövde ile flanşlar arasında kesitteki yatay kesme gerilmelerinin aktarabileceği de doğrulanmalıdır.

(a) Eğilme gerilmeleri

Eğilme nedeniyle gövdede maksimum gerilmeler, tarafsız eksenin en uç lifte, y_1 ve y_2 konumlarında oluşacaktır (Şekil 8.3c).

Gövdede kesitin basınç bölgesindeki maksimum tasarım eğilme gerilmesi y_1 ' de olacaktır:

Ani durumda:

$$\sigma_{w,inst,c,d} = \sigma_{c,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * y_{1,inst} \right) * \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \quad (8.18a)$$

Nihai ortalama değer durumunda:

$$\sigma_{w,fin,c,d} = \sigma_{c,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * y_{1,fin} \right) * \left(\frac{E_{mean,w} * (1 + \psi_2 * k_{def,f})}{E_{mean,f} * (1 + \psi_2 * k_{def,w})} \right) \quad (8.18b)$$

Gövdede kesitin çekme bölgesindeki maksimum tasarım eğilme gerilmesi y_2 ’ de olacaktır:

Ani durumda:

$$\sigma_{w,inst,t,d} = \sigma_{t,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * y_{2,inst} \right) * \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \quad (8.19a)$$

Nihai ortalama değer durumunda:

$$\sigma_{w,fin,t,d} = \sigma_{t,3} = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * y_{2,fin} \right) * \left(\frac{E_{mean,w} * (1 + \psi_2 * k_{def,f})}{E_{mean,f} * (1 + \psi_2 * k_{def,w})} \right) \quad (8.19b)$$

Gövde, eşdeğer kesitte flanş malzemesine dönüştürüldüğü için, bu elemandaki herhangi bir gerilmeyi elde etmek için, hesaplanan gerilmenin (8.18) ve (8.19) denklemlerinde gösterildiği gibi deformasyon durumu için uygun modüler oran ile çarpılması gerekir.

EC5 tasarım şartına göre:

(8.18) denkleminde elde edilen tasarım basınç eğilme gerilmesinin, gövdenin tasarım basınç eğilme mukavemeti $f_{c,w,d}$ ’ den küçük veya eşit olması gerekir.

$$\sigma_{w,inst,c,d} \quad \text{ve} \quad \sigma_{w,fin,c,d} \leq f_{c,w,d} \quad (8.20)$$

$$f_{c,w,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{c,w,k}}{\gamma_M} \quad (8.22)$$

(8.19) denkleminde elde edilen tasarım çekme eğilme gerilmesinin, gövdenin tasarım çekme eğilme mukavemeti $f_{t,w,d}$ ’ den küçük veya eşit olması gerekir.

$$\sigma_{w,inst,t,d} \quad \text{ve} \quad \sigma_{w,fin,t,d} \leq f_{t,w,d} \quad (8.21)$$

$$f_{t,w,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{t,w,k}}{\gamma_M} \quad (8.23)$$

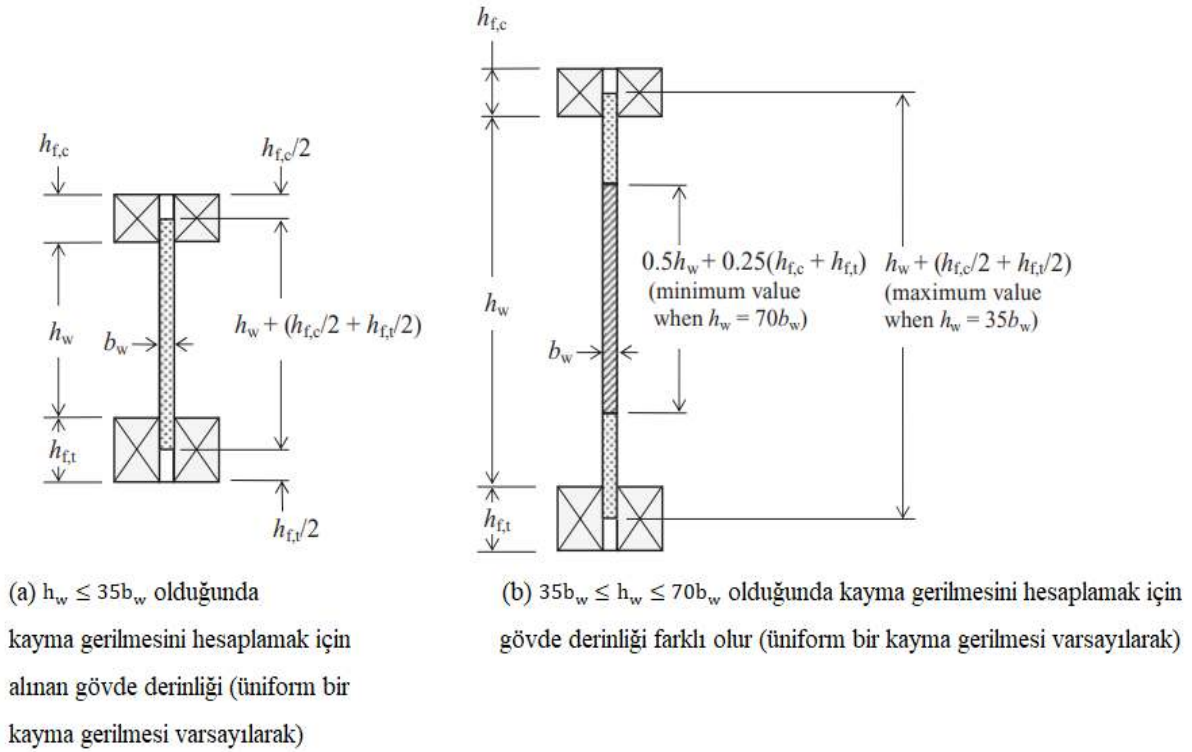
$f_{c,w,k}$: Gövdenin karakteristik basınç eğilme mukavemeti

$f_{t,w,k}$: Gövdenin karakteristik çekme eğilme mukavemeti

(b) Gövdede burkulma ve kayma gerilmesi kontrolü

Gövdenin burkulma dayanımını kontrol için tam bir burkulma analizi yapılabilir; ancak alternatif olarak EC5 9.1.1(7)' de verilen burkulma kriterleri de kullanılabilir. EC5 yaklaşımı elverişli ve kolaydır. Bu şart:

$$h_w \leq 70 * b_w \quad (\text{EC5, denklem (9.8)}) \quad (8.24)$$



Şekil 8.4. EC5 gövde dayanımı kriterleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 257).

Gövdede kayma gerilmesi değişse de, $h_w \leq 35 * b_w$ olduğunda, üniform kayma gerilmesi dağılımı varsayımı ile, kesmeye karşı etkili olduğu düşünülen gövde derinliği Şekil 6.4a' da gösterildiği gibi $(h_w + 0.5 * (h_{f,t} + h_{f,c}))$ olacaktır. Bununla birlikte, $35b_w < h_w \leq 70b_w$ aralığında kayma dayanımı, burkulma instabilitesi etkileri nedeniyle azalır ve bu aralıktaki bir I kesit veya kutu kesit için, yine üniform kayma gerilmesi dağılımı varsayılarak, gövde derinliği, Şekil 8.4b' de gösterildiği gibi h_w ' ye bağlı olacaktır.

EC5' in tasarım şartları:

$$F_{v,w,ED} = \begin{cases} b_w h_w * \left(1 + \frac{0.5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w}\right) * f_{v,0,d} & , h_w \leq 35b_w \\ 35b_w^2 * \left(1 + \frac{0.5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w}\right) * f_{v,0,d} & , 35b_w < h_w \leq 70b_w \end{cases}$$

(EC5, denklem (9.9)) (8.25)

$$f_{v,0,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{v,k}}{\gamma_M} \quad (8.26)$$

$F_{v,w,ED}$: Her bir gövdeye etkiyen tasarım kesme kuvveti

$f_{v,0,d}$: Gövdenin tasarım panel kesme mukavemeti

$f_{v,k}$: Gövdenin karakteristik panel kesme mukavemeti

(c) Gövde ve flanşlar arasındaki yapıştırılmış derzlerde yatay kayma gerilmeleri

Flanşta oluşan yatay kayma gerilmeleri, gövde ve flanşlar arasında yapıştırılmış arayüz bağlantısı üzerinden aktarılır. Bağlantıdaki yapıştırıcı bu gerilmeleri alabilecek ve sınırlayıcı tasarım koşulu gövdenin yuvarlanma kayma dayanımı olacaktır.

Tasarım kayma gerilmesi aşağıdaki gibidir:

Ani durumda;

$$\tau_{inst,mean,d} = \frac{V_d * S_{f,inst}}{I_{ef,inst} * (nh_f)} \quad (8.27a)$$

Nihai ortalama değer durumunda;

$$\tau_{fin,mean,d} = \frac{V_d * S_{f,fin}}{I_{ef,fin} * (nh_f)} \quad (8.27b)$$

- $\tau_{inst,mean,d}$: Ani deformasyon durumunda tasarım yatay kayma gerilmesi
- $\tau_{fin,mean,d}$: Nihai deformasyon durumunda tasarım yatay kayma gerilmesi
- V_d : Maksimum kayma pozisyonunda tasarım kesme kuvveti
- $S_{f,inst}$: Ani deformasyon koşullarında tarafsız eksene göre flanşın statik momenti
- $S_{f,fin}$: Son deformasyon koşullarında tarafsız eksene göre flanşın statik momenti
- h_f : Flanş yüksekliği. ($h_{f,c}$ veya $h_{f,t}$ ’ den uygun olanı)
- n : Flanş ve gövde arasındaki yapıştırıcı hattı arayüzlerinin sayısı

Flanş yüksekliği $4b_{ef}$ ’ ten büyük olduğunda Şekil 8.3(a) ve (b)’ de 2 pozisyonunda gövde ile flanş arayüzündeki gerilme konsantrasyonlarının etkisi dikkate alınır ve tasarım mukavemeti şartları:

$$\tau_{inst,mean,d} \text{ ve } \tau_{fin,mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & , h_f \leq 4b_{ef} \\ f_{v,90,d} * \left(\frac{4b_{ef}}{h_f}\right)^{0.8} & , h_f > 4b_{ef} \end{cases} \quad (EC5, \text{ denklem (9.10)}) \quad (8.28)$$

$$f_{v,90,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{r,k}}{\gamma_M} \quad (8.29)$$

$f_{v,90,d}$: Gövdenin tasarım düzlemsel (yuvarlanma) kayma mukavemeti

$f_{r,k}$: Gövdenin karakteristik düzlemsel (yuvarlanma) kayma mukavemeti

$$b_{ef} = \begin{cases} b_w, & \text{kutu kirişler için} \\ \frac{b_w}{2}, & \text{I – kirişler için} \end{cases}$$

8.2.1.2. Kullanılabilirlik sınır durumlarında (SLS) yer değiştirme

Ani durumda, deformasyon analizi, karakteristik veya kalıcı etki kombinasyonunun uygulanıp uygulanmayacağına bağlı olarak, (4.24) veya (4.25) denklemleri kullanılarak gerçekleştirilir. Rijitlik özelliklerini elde etmek için ortalama elastisite modülü E_{mean} ve ortalama kayma modülü G_{mean} değerleri kullanılmalıdır.

Son deformasyon analizi, ani deformasyon için kullanılanla aynı olacaktır. Kaymanın yer değiştirme üzerindeki kayma etkisi, (4.34) ve (4.35) denklemlerinde verilen azaltılmış rijitlik özellikleri kullanılarak elde edilir. Yani;

$$E_{mean,fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (EC5, \text{ denklem (2.7)}) \quad (4.34)$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (EC5, \text{ denklem (2.8)}) \quad (4.35)$$

- $E_{mean,fin}$: Elastisite modülünün son ortalama değeri
- E_{mean} : Elastisite modülünün ortalama değeri
- $G_{mean,fin}$: Kayma modülünün son ortalama değeri
- G_{mean} : Kayma modülünün ortalama değeri
- k_{def} : Deformasyon faktörü

Eğilme nedeniyle sehimi için, denklemde kullanılan atalet momenti, dönüştürülmüş kesitin değeri olacaktır. Kesme sehimi için kesme alanı, dönüştürülmüş alanın değil, gövdenin gerçek kesit alanı olacaktır.

Eşdeğer kesit yaklaşımında kullanılmak üzere seçilen malzeme flanş alınarak, eğilmeden kaynaklı deformasyon hesabında kullanılacak atalet momenti aşağıdaki gibi olacaktır:

(a) Ani durumda;

$$I_{ef,inst} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * I_w \quad (8.4)$$

(b) Nihai deformasyon durumunda;

$$I_{ef,fin} = I_f + \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * \left(\frac{1+k_{def,f}}{1+k_{def,w}} \right) * I_w \quad (8.6)$$

Sehim, dikdörtgen kirişler için Bölüm 5' te açıklandığı gibi hesaplanır ki böylece kesme deformasyonu dikkate alınmış olur. İnce gövdeli kirişlerin kayma deformasyonunu elde etmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Kiriş için şekil faktörünün 1 alındığı ve tüm kesmenin sadece gövde tarafından taşındığı düşünülen Roark (1989) gerilme ve şekil değiştirme formüllerinde verilen yaklaşık yöntem kullanıldığında, ani durumdaki kayma sehimi şu şekilde yazılabilir:

$$u = \frac{M_d}{G_{w,mean} * A_w} \quad (8.30)$$

u: Kirişin orta açıklığında ani kayma deformasyonu

M_d : Açıklık ortasında tasarım moment

$G_{w,mean}$: Gövdenin ortalama kayma modülü

A_w : Kesitteki dönüştürülmemiş gövde kesit alanı

Tablo 8.1.' de, eğilme ve kesme etkilerinden dolayı ani ve nihai deformasyon koşullarında basit mesnetli ve konsollu kompozit kirişlerin sehimi için denklemler verilmiştir.

SLS' de basit mesnetli ince gövdeli kutu kirişi l uzunluğu boyunca q_d tasarım yükü etkisinde olduğunda; her flanşın elastisite modülünün ortalama değeri E_f , ani durumdaki atalet momenti $I_{ef,inst}$ ve nihai deformasyon durumdaki atalet momenti $I_{ef,fin}$, iki gövdenin toplam kesit alanı A_w , ortalama kayma modülü G_w olmak üzere, (8.2) denkleminde tanımlanan $k_{def,f}$ ve $k_{def,w}$ için SLS tasarım yükü nedeniyle orta açıklıktaki sehimi aşağıdaki gibi olacaktır:

Ani durumda;

$$u_{\text{inst}} = q_d * \left(\frac{5l^4}{384E_f * I_{\text{ef,inst}}} + \left(\frac{l^2}{8} \right) * \frac{1}{G_w * A_w} \right) \quad (8.31)$$

Nihai deformasyon durumunda;

$$u_{fin} = q_d * \left(\frac{5l^4 * (1 + k_{def,f})}{384 E_f * I_{ef,fin}} + \left(\frac{l^2}{8} \right) * \frac{(1 + k_{def,w})}{G_w * A_w} \right) \quad (8.32)$$

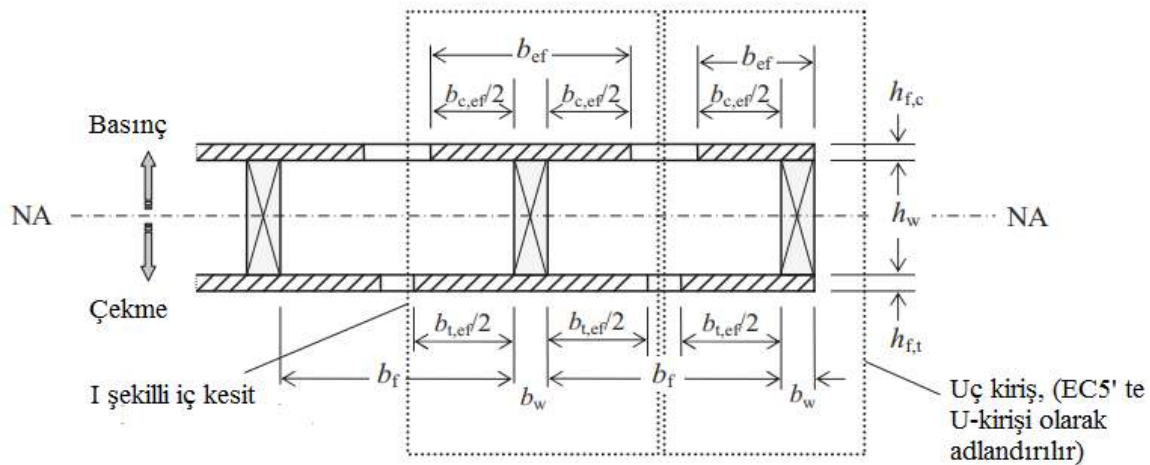
 $k_{def,f}$: Flanş için deformasyon faktörü $k_{def,w}$: Gövde için deformasyon faktörü

8.2.2. Yapıştırılmış ince flanşlı kirişler (gerilmeli kaplama panelleri)

Gerilmeli bir kaplama paneli, eğilmeye maruz kaldığında, ince flanşlı bir kiriş olarak davranır. Gerilmeli kaplama paneller, gövdenin ahşap malzeme ve panellerin kontrplak, OSB veya yonga levha olduğu yapısal elemanlardır.

Flanş ve gövde arasındaki bağlantı, yapıştırma tekniği ile yapılabildiği gibi mekanik bağlantı elemanları da kullanılabilir. Mekanik bağlantı elemanları kullanılıyorsa flanş ve gövde arasında kayma oluşacaktır ve bu etki dikkate alınmalıdır.

Yapıştırılmış ince gövdeli kirişlerde olduğu gibi, yapıştırılmış ince flanşlı kirişler de kompozit bölümü oluşturmak için farklı malzemelerden oluşabilir ve analizlerde eşdeğer kesit yaklaşımı kullanılır. Aşağıdaki alt bölümler, dönüştürülmüş kesit olarak flanş malzemesinin kullanımına dayanmaktadır ve her iki flanşın da aynı elastisite modülüne sahip olduğu varsayılmaktadır.



Şekil 8.5. Yapıştırılmış ince flanşlı kiriş.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 262).

Tablo 8.1. Basit mesnetli veya konsol kompozit kirişin ani ve son durumda eğilme ve kayma deformasyonu.

Yükleme durumu	Eğilme deformasyonu	Kayma deformasyonu
Açıklık boyunca düzgün yayılı yük q_d (kN/m):	Orta açıklıkta:	Orta açıklıkta:
- Ani durum;	$\frac{5q_d l^4}{384E_{\text{mean},f}I_{\text{ef},\text{inst}}}$	$\frac{q_d l^2}{8A_w G_{w,\text{mean}}}$
- Son deformasyon durumu;	$\frac{5q_d l^4(1 + k_{\text{def}})}{384E_{\text{mean},f}I_{\text{ef},\text{fin}}}$	$\frac{q_d l^2(1 + k_{\text{def}})}{8A_w G_{w,\text{mean}}}$
Açıklık ortasında noktasal yük V_d (kN):	Orta açıklıkta:	Orta açıklıkta:
- Ani durum;	$\frac{V_d l^3}{48E_{\text{mean},f}I_{\text{ef},\text{inst}}}$	$\frac{V_d l}{4A_w G_{w,\text{mean}}}$
- Son deformasyon durumu;	$\frac{V_d l^3(1 + k_{\text{def}})}{48E_{\text{mean},f}I_{\text{ef},\text{fin}}}$	$\frac{V_d l(1 + k_{\text{def}})}{4A_w G_{w,\text{mean}}}$
Konsol ucunda noktasal yük V_d (kN):	Konsol ucunda:	Konsol ucunda:
- Ani durum;	$\frac{V_d l^3}{3E_{\text{mean},f}I_{\text{ef},\text{inst}}}$	$\frac{V_d l}{A_w G_{w,\text{mean}}}$
- Son deformasyon durumu;	$\frac{V_d l^3(1 + k_{\text{def}})}{3E_{\text{mean},f}I_{\text{ef},\text{fin}}}$	$\frac{V_d l(1 + k_{\text{def}})}{A_w G_{w,\text{mean}}}$

Not: (1) A_w , dönüşümden önce kesitteki gövde enine kesit alanıdır.

(2) Kesme sehminin daha doğru bir değerlendirmesinin gerekli olduğu ve I veya kutu kesitin aynı kalınlıkta flanşlara sahip olduğu ve kutu kesitin gövdelerinin her ikisinin de aynı kalınlıkta olduğu durumlarda, kesme deformasyonu için Tablo 8.1.' de verilen sehim ifadesi değiştirilmelidir. Bunun için, sadece gövde alanı yerine kesit alanı (yani gövde ve flanşların toplam alanı) kullanılmalı ve ayrıca Roark gerilme-deformasyon formüllerinde verilen aşağıdaki faktör ile çarpılmalıdır:

$$F = \left(1 + \frac{3(D_2^2 - D_1^2)D_1}{2D_2^3} \left(\frac{b_{wt}}{b} - 1 \right) \right) \frac{4D_2^2}{10r^2}$$

D_1 : Asal eksen den flanşın en yakın yüzeyine olan mesafe

D_2 : Asal eksen den uç life olan mesafe

b : Gövdenin dönüştürülmüş kalınlığı (veya kutu kirişlerde birleşik gövde kalınlıkları)

b_{wt} : Flanş genişliği

r : Asal eksene göre kesitin dönme yarıçapı

8.2.2.1. Etkili flanş genişliği

Kiriş eğilmeye maruz kaldığında, gerilmeler gövde ve flanş arasında kesme gerilmeleri ile aktarılır. Kesme deformasyonu nedeniyle, gövdeden uzaklaştıkça flanşlardaki gerilmeler azalır. Basit eğilme teorisini kullanırken oluşacağı varsayılan üniform gerilme profilinden ayrılma, kayma gecikmesi etkisi olarak adlandırılır. Bunu dikkate almak için flanşın ‘etkili genişliği’ kullanılır.

Şekil 8.5.’ te gösterilen etkili flanş genişliği b_{ef} , basınç ve çekme altındaki flanşlar için geçerlidir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

- I şeklinde iç kısımlar için:

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \text{ ya da } b_{ef} = b_{t,ef} + b_w \quad (\text{EC5, denklemler (9.12)}) \quad (8.33)$$

- U-kirişler için (yani, Şekil 6.5.’ deki uç kirişleri):

$$b_{ef} = 0.5b_{c,ef} + b_w \text{ ya da } b_{ef} = 0.5b_{t,ef} + b_w \quad (\text{EC5, denklemler (9.13)}) \quad (8.34)$$

Kayma gecikme etkilerini dikkate alarak, $b_{c,ef}$ ve $b_{t,ef}$ değerleri Tablo 8.2.’ de verilen değerleri aşmamalıdır.

Kontrplak flanşları için etkili flanş genişliğinin saptanmasında, teorik çözümün Tablo 8.2.’ de verilen EC kriterleri ile karşılaştırılması Şekil 8.6.’ da verilmiştir. Bu tür kirişler için b_f/l , 0.2-0.3 aralığında olacak ve etkili flanş yaklaşımı genellikle elverişli bir sonuç verecektir.

Tablo 8.2. Kayma gecikmesi ve plaka burkulmasının etkisi ile etkili flanş genişlikleri için alınacak maksimum değerler.

Flanş malzemesi	Plaka burkulması	Kayma gecikmesi
OSB	$25h_f$	$0.15*1$
Kontrplak (plywood): - Gövdeye paralel dış katmanlar; - - Gövdeye dik dış katmanlar;	$20h_f$ $25h_f$	$0.1*1$ $0.1*1$
Sunta veya lif levha	$30h_f$	$0.2*1$

8.2.2.2. Plaka burkulması

Basınç flanşı için, Tablo 8.2.' deki kayma gecikme kriterlerine uymanın yanı sıra, plaka burkulmasını önlemek için $b_{c,ef}$ Tablo 8.2.' de verilen maksimum etkili genişlik kriterlerine de uymalıdır. Ayrıca, tam bir burkulma analizi yapılmadığı sürece, net flanş genişliği b_f , Tablo 8.2.' de plaka burkulma kriterlerinden türetilen etkili flanş genişliğinin 2 katından daha büyük olmamalıdır.

8.2.2.3. Kesit özellikleri

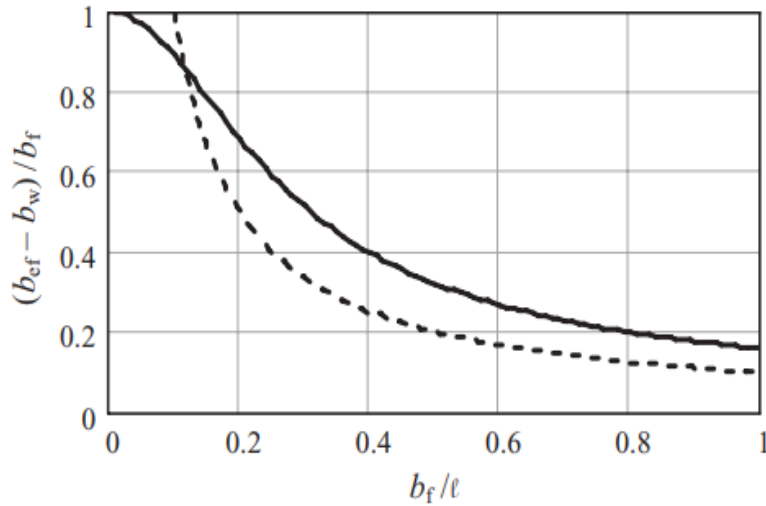
Kesit özelliklerinin belirlenmesi, ince gövdeli kirişler için 8.2.1.' de verilenler ile aynı şekildedir. Bunun için (8.3) - (8.8) denklemleri uygulanacaktır, ancak bu durumda flanşların ve gövdenin alanı aşağıdaki gibi olacaktır:

- A_f : Toplam flanş alanı

$$A_f = h_{f,c} * (b_{c,ef} + b_w) + h_{f,t} * (b_{t,ef} + b_w)$$

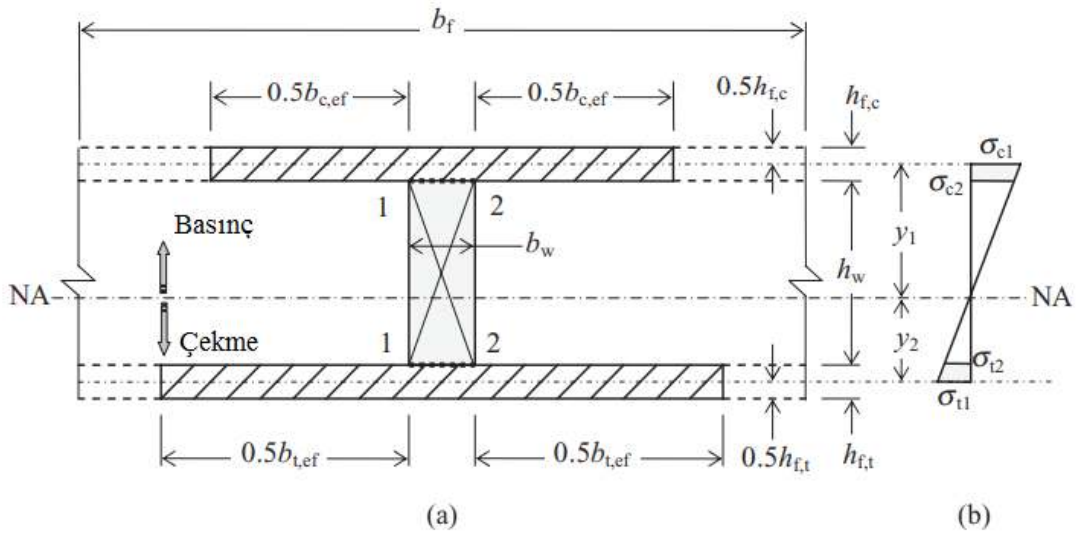
- A_w : Gövde alanı

$$A_w = b_w * h_w$$



Şekil 8.6. Kontrplak flanşları için etkili flanş genişliği (teorik çözümün (sürekli çizgi) Tablo 8.2.' de verilen EC kriterleri ile (kesikli çizgi) karşılaştırılması).

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 263).



Şekil 8.7. Üst ve alt yüzünde flanş olan ince gövdeli kesit.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 264).

Tasarım koşulları altında, kesitlerdeki gerilmeler, elastik teoremin geçerli olduğu varsayılarak elde edilir. Kayma etkisi nedeniyle, ince gövdeli kirişlerde olduğu gibi, gerilmeler hem ani hem de nihai ortalama değer koşullarında türetilmelidir.

8.2.2.4. Flanşlarda gerilmeler

Moment etkisi altında yapılandırılmış ince flanşlı iç I-kirişi Şekil 8.7.' de gösterilmiştir. Flanşlar ince olduğundan, eğilme nedeniyle etkili olan gerilme aksenal gerilmedir ve tasarım değeri flanş kalınlığı boyunca ortalama değer olarak alınır.

M_d tasarım momenti altında maksimum basınç ve çekme gerilmesi tarafsız eksenin sırasıyla y_1 ve y_2 ' de oluşur (Şekil 8.7b). Basınç ve çekme flanşlarının alanları farklı olduğunda, y_1 ve y_2 farklı değerlere sahip olacaktır. Ayrıca, tarafsız eksenin konumu ani ve nihai ortalama değer koşullarında aynı olmayacaktır, dolayısıyla y_1 ve y_2 ' nin ilgili değerleri her koşul için farklı olacaktır. Bu değerler, ani durum için $y_{1,inst}$ ve $y_{2,inst}$ ve nihai ortalama değer durumu için $y_{1,fin}$ ve $y_{2,fin}$ olacaktır.

(a) Basınç flanşında gerilme

Basınç flanşında ortalama tasarım basınç gerilmesi aşağıdaki gibi olacaktır:

- Ani durumda:

$$\sigma_{f,inst,c,max,d} = (\sigma_{c,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * y_{1,inst} \right) \quad (8.35)$$

- Nihai ortalama değer durumunda:

$$\sigma_{f,fin,c,max,d} = (\sigma_{c,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * y_{1,fin} \right) \quad (8.36)$$

EC5 tasarım şartına göre, ortalama flanş tasarım basınç gerilmesi, tasarım basınç mukavemetinden küçük veya eşit olmalıdır. Yani;

$$\sigma_{f,inst,c,max,d} \quad \text{ve} \quad \sigma_{f,fin,c,max,d} \leq f_{c,d} \quad (8.37)$$

$$f_{c,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{c,k}}{\gamma_M} \quad (8.38)$$

$f_{c,k}$: Flanş malzemesinin karakteristik basınç mukavemeti

k_{sys} : Sistem mukavemet faktörü. Bu durum için 1.0 olacaktır.

(b) Çekme flanşında gerilme

Çekme flanşındaki ortalama tasarım çekme gerilmesi aşağıdaki gibi olacaktır:

- Ani durumda:

$$\sigma_{f,inst,t,mean,d} = (\sigma_{t,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * y_{2,inst} \right) \quad (8.39)$$

- Nihai ortalama değer durumunda:

$$\sigma_{f,fin,t,mean,d} = (\sigma_{t,1}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * y_{2,fin} \right) \quad (8.40)$$

EC5 tasarım şartı, tasarım gerilmesinin tasarım çekme mukavemetine eşit veya daha az olmasıdır. Yani;

$$\sigma_{f,inst,t,mean,d} \quad \text{ve} \quad \sigma_{f,fin,t,mean,d} \leq f_{t,d} \quad (8.41)$$

$$f_{t,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{t,k}}{\gamma_M} \quad (8.42)$$

$f_{t,k}$: Flanş malzemesinin karakteristik çekme mukavemeti

8.2.2.5. Gövdede gerilmeler

Gövdede kesme gerilmesi kabul edilebilir olmalıdır. Aynı zamanda gövde, eğilme gerilmelerini ve gövde ile flanşlar arasındaki yatay kesme gerilmelerini aktarabilmelidir.

(a) Eğilme gerilmeleri

Eğilmeye bağlı maksimum gerilmeler tarafsız eksenenden $(y_1 - 0.5 * h_{f,c})$ veya $(y_2 - 0.5 * h_{f,t})$ uzaktaki uç lifte ortaya çıkacaktır (Şekil 6.7b).

Gövdenin basınç tarafında maksimum tasarım gerilme:

- Ani durumda;

$$\sigma_{w,inst,c,d} = (\sigma_{c,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * (y_{1,inst} - 0.5 * h_{f,c}) \right) * \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \quad (8.43)$$

- Nihai ortalama değer durumunda;

$$\sigma_{w,fin,c,d} = (\sigma_{c,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * (y_{1,fin} - 0.5 * h_{f,c}) \right) * \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * \left(\frac{1+\psi_2 k_{def,f}}{1+\psi_2 k_{def,w}} \right) \quad (8.44)$$

Gövdenin çekme tarafında maksimum tasarım gerilme:

- Ani durumda;

$$\sigma_{w,inst,t,d} = (\sigma_{t,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,inst}} * (y_{2,inst} - 0.5 * h_{f,t}) \right) * \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) \quad (8.45)$$

- Nihai ortalama değer durumunda;

$$\sigma_{w,fin,t,d} = (\sigma_{t,2}) = \left(\frac{M_d}{I_{ef,fin}} * (y_{2,fin} - 0.5 * h_{f,t}) \right) * \left(\frac{E_{mean,w}}{E_{mean,f}} \right) * \left(\frac{1+\psi_2 k_{def,f}}{1+\psi_2 k_{def,w}} \right) \quad (8.46)$$

Gövde eşdeğer kesite dönüştürüldüğünden, hesaplanan gerilme modüler oran ile çarpılmalıdır.

EC5 tasarım şartı,

- (8.43) ve (8.44) denklemlerinden elde edilen tasarım gerilmeleri, gövdenin tasarım basınç eğilme mukavemeti $f_{c,w,d}$ ’ den küçük veya eşit olmalıdır.
- (8.45) ve (8.46) denklemlerinden elde edilen tasarım gerilmeleri, tasarım çekme eğilme mukavemeti $f_{t,w,d}$ ’ den küçük veya eşit olmalıdır.

Gövde malzemesi ahşap ise;

$$\sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d} \quad (8.47a)$$

$$\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d} \quad (8.47b)$$

$$f_{c,w,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * k_h * f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (8.48)$$

$$f_{t,w,d} = f_{c,w,d} \quad (8.49)$$

(b) Gövdede kesme gerilmesi kontrolü

En büyük kayma gerilmesi gövdede ortaya çıkar ve kayma mukavemeti kontrolü yapılmalıdır. Maksimum kayma gerilmesi tarafsız ekseninde oluşur ve buradaki değer $\tau_{v,d}$ aşağıdaki şekilde belirlenir:

- Ani durumda;

$$\tau_{v,inst,d} = \frac{V_d * S_{f,inst,NA}}{I_{ef,inst} * b_w} \quad (8.50)$$

- Nihai ortalama değer durumunda;

$$\tau_{v,fin,d} = \frac{V_d * S_{f,fin,NA}}{I_{ef,fin} * b_w} \quad (8.51)$$

V_d : Maksimum kesme pozisyonundaki tasarım kesme kuvveti

$S_{f,inst,NA}$: Ani durumda tarafsız eksene göre statik moment

$S_{f,fin,NA}$: Nihai ortalama değer durumunda tarafsız eksene göre statik moment

b_w : Gövde kalınlığı

Kayma mukavemeti için tasarım şartı şu şekilde olacaktır;

$$\tau_{v,inst,d} \quad \text{ve} \quad \tau_{v,fin,d} \leq f_{v,d} \quad (8.52)$$

$f_{v,d}$: Gövdenin tasarım kayma mukavemeti

(c) Gövde ve flanşlar arasındaki yapıştırılmış birleşimlerde yatay kayma gerilmeleri

Gövdedeki kayma gerilmesi, Şekil 8.7.' de gösterilen 1-2 pozisyonlarında, yapıştırılmış bağlantı aracılığıyla flanşlara aktarılır. Ahşap flanş için tasarım koşulu, flanşın yuvarlanma kayma mukavemeti olacaktır. Arayüz boyunca kayma gerilmesinin üniform olduğu varsayılır ve aşağıdaki gibi türetilir:

- Ani durumda;

$$\tau_{v,inst,d} = \frac{V_d * S_{f,inst}}{I_{ef,inst} * b_w} \quad (8.53)$$

- Nihai ortalama değer durumunda;

$$\tau_{v,fin,d} = \frac{V_d * S_{f,fin}}{I_{ef,fin} * b_w} \quad (8.54)$$

V_d : Maksimum kesme pozisyonundaki tasarım kesme kuvveti

$S_{f,inst}$: Ani durumda tarafsız eksene göre flanş statik momenti

$S_{f,fin}$: Nihai ortalama değer durumunda tarafsız eksene göre flanş statik momenti

İç I-şekilli bir kesit için EC5 tasarım şartları;

$$\tau_{mean,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & , b_w \leq 8h_f \\ f_{v,90,d} * \left(\frac{8h_f}{b_w}\right)^{0.8} & , b_w > 8h_f \end{cases} \quad (EC5, \text{denklem (9.14)}) \quad (8.55)$$

$$f_{v,90,d} = \frac{k_{mod} * k_{sys} * f_{r,k}}{\gamma_M} \quad (8.56)$$

h_f : Yatay kayma gerilmesini için kullanılan statik moment ile ilişkili flanş kalınlığıdır.

$b_w \leq 8h_f$ olan kesitler için flanş ve gövde arasındaki yapıştırılmış birleşimdeki gerilme konsantrasyonlarının etkisi göz ardı edilebilir. Bununla birlikte $b_w > 8h_f$ olduğunda, gerilme konsantrasyonu etkilerinin dahil edilmesi gerekir ve bu durum $(8h_f/b_w)^{0.8}$ kuvvet fonksiyonu ile sağlanır.

U şeklinde bir uç kiriş kesiti için aynı ifadeler uygulanır, ancak $8h_f$ yerine $4h_f$ kullanılır.

8.2.2.6. SLS' de sehim

Sehim, 8.2.1.2.' de verilen yapıştırılmış ince gövdeli kirişler için tarif edildiği gibi hesaplanır. Kaymadan kaynaklı sehim hesapları için gövde derinliği, ince flanşlı kirişin gövde derinliği h_w ya bağlı olmalıdır.

9. YAPMA KOLON TASARIMI

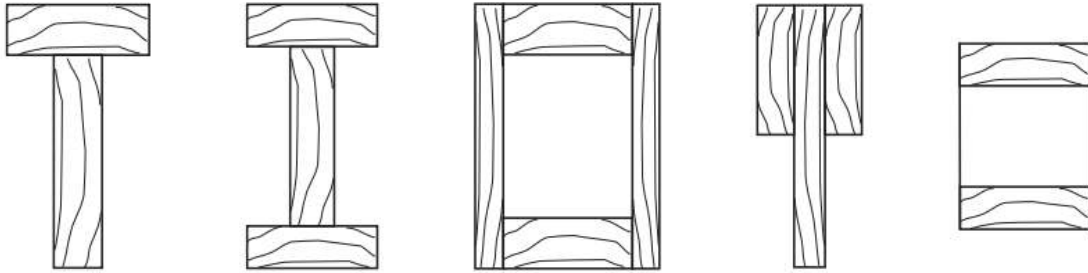
Tek parçalı kolonlar için EC5 tasarım koşulları masif ahşap ve yapıştırılmış lamine kesitler için Bölüm 6 ve 7’ de ele alınmıştır. Bu bölümde yapma kolonlar için kullanılan prosedürlere yer verilmiştir.

Yapma kolonlar, yapıştırıcılar veya mekanik bağlantı elemanları ile birleştirilen 2 veya daha fazla ahşap elemandan oluşurlar. Bu tür kolonların mukavemeti, tekil kolonların mukavemetinden daha yüksektir. Yapıştırıcılar kullanıldığında, birleşimlerde kayma oluşmazken mekanik bağlantı elemanları kullanıldığında kayma oluşur ki bu durum yük taşıma kapasitesinde azalmaya neden olur. Yapma kolon örnekleri Şekil 9.1. ve 9.2.’ de gösterilmiştir.

EC5’ te yapma kolonlar için tasarım prosedürü verilmiştir. Tasarım kurallarının kompozit kesitlere ve boşluklu ve kafes tipi kolonlara uygulanması bu bölümde ele alınmıştır. Prosedür, yapıştırma veya mekanik elemanlar ile birleştirilen yapma kolonları kapsar.

9.1. Tasarım

Eksenel yüklü yapma kolonlar için sınır durumları Tablo 7.1’ de verilenlerle aynıdır. Denge durumları ve dayanım koşulları göçme durumlarıyla ilgili olduğundan taşıma gücü sınır durumu şartlarını karşılamalıdır.



Şekil 9.1. Yapma kolon kesit örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 293).

EC5 tasarım şartı, eksenel yükleme veya eksenel yüklemenin yanında küçük momentlerin de olduğu durumlar için geçerlidir.

9.2. Genel

EC5’ e göre yapma kolonlar uzunlukları boyunca eksiz olmalı ve her iki uçta yanal yönde tutulmalıdır.



(a) glulam kesitli yapıştırılmış boşluklu kolonlar



(b) masif kesitli civatalı boşluklu kolonlar

Şekil 9.2. Tipik yapma (boşluklu) kolonlar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 293).

9.3. Yapma Kolonların Eğilme Rijitliği

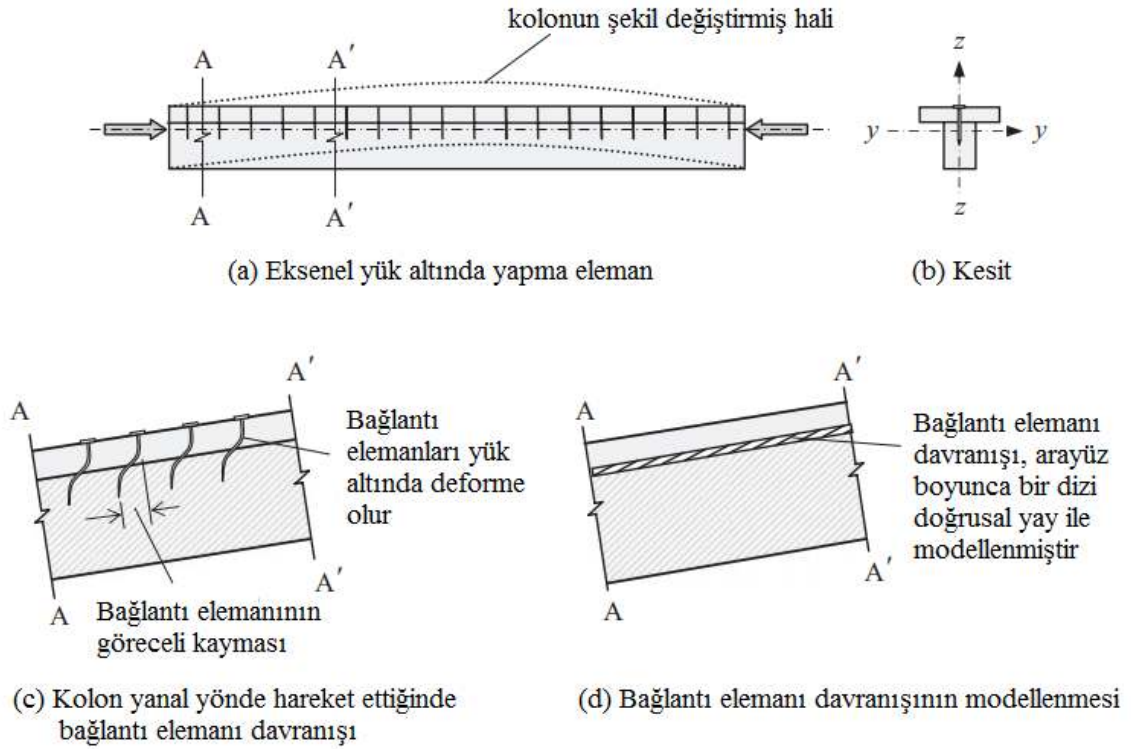
Tasarım dayanımı burkulma dayanımı tarafından belirlenir. Aşağıdaki nedenlerden dolayı yapma kolonların burkulma dayanımının belirlenmesi önemlidir.

- Farklı özelliklere sahip malzemeler birleştirilebilir.
- Mekanik bağlantı elemanları kullanıldığında kayma oluşur.
- Yerel kararsızlık etkileri riski söz konusudur.

Mekanik bağlantı elemanları ile oluşturulan birleşimlerde eğilme altında, kayma oluşacak ve elemanların eğrilmesi farklılık gösterecektir. Bu durumlarda kayma etkisi dikkate alınmalıdır. Kesitin eğilme rijitliğini belirlemek için klasik eğilme teorisi kullanılamaz. Bu nedenle, her bir bağlantı elemanının davranışı modellenerek ve sonlu elemanlar analizi yapılmalıdır. Diğer bir yöntem ise, geleneksel eğilme teorisini, yapma kolondaki her bir elemana uygulamak, her arayüzde yapma kolon elemanlarının eğrilmesinde ve yer değiştirmesinde uyumluluğu varsaymak ve bu arayüzlerdeki kayma etkisini, bu bölgelerdeki bağlantı elemanı direncinin doğrusal yay elemanları ile temsil edilebileceğini varsayarak simüle etmektir. Yayların rijitliği sonsuz ise, yapıştırılmış arayüzlere sahip bir yapma kesitin eğilme rijitliği elde edilir ve eğer yay rijitliği sıfır ise, eğilme rijitliği elemanların bağlı olmadığı bir kesite eşit olacaktır.

Bağlantı elemanları ile birleştirilen yapma T kesite uygulanan modellemenin bir örneği Şekil 9.3.' te gösterilmiştir. Şekil 9.3a.' da gösterildiği gibi z-z ekseninde kesitin yer

değiştirmesi için, bağlantı elemanları tarafından sağlanan mukavemet, Şekil 9.3c' de gösterildiği gibi arayüzdeki elemanlar arasındaki göreceli kayma ile çarpılan bağlantı elemanı rijitliğine eşit olacaktır. Analizde, bağlantı elemanı rijitliği ile birim uzunluk başına aynı rijitliğe sahip olan bir yay düzeni, Şekil 9.3d' de gösterildiği gibi kiriş ile flanş arasındaki arayüze monte edilmiştir. Basit eğilme teorisini modele uygulayarak ve doğrusal elastik teori ilkelerini kullanarak, yapı analiz edilebilir ve kompozit kolon kesitinin eğilme rijitliğinin makul bir tahmini elde edilebilir. Yöntem, EC5' te rijitliğin etkili eğilme rijitliği olarak adlandırıldığı ve $(EI)_{ef}$ olarak tanımlandığı durumda kullanılır.



Şekil 9.3. Arayüzlerde kayma modellemesi.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 295).

Kolonlar ULS' ye göre tasarlanmalıdır ve elemanların mekanik bağlantı elemanları kullanılarak bağlandığı yerlerde, birim uzunluk başına bağlantı elemanı rijitliği, kesme düzlemi başına ULS kayma modülü k_u olarak alınır ve bağlantı elemanı aralığına bölünür. Kesme düzlemi başına ULS kayma modülü:

$$K_u = \frac{2}{3} * K_{ser} \quad (9.1)$$

K_{ser} : SLS' de, bağlantı elemanı başına kayma düzlemi başına kayma modülü

EC5' te kullanılan analiz aşağıdaki varsayımları içermektedir:

(a) eleman her iki uçta mafsallıdır.

(b) s bağlantı elemanı aralığı olmak üzere; ya sabittir veya $s_{\min}$ ve $s_{\max}$ arasında $s_{\max} \leq 4s_{\min}$ olacak şekilde kesme kuvveti dağılımına uygun olarak değişir.

Yapma kolonlar için yaygın olarak kullanılan kesitlerden bazıları Şekil 9.4.' te gösterilmiştir.

9.3.1. Yapma kolonların kuvvetli y-y eksenine göre etkili eğilme rijitliği

y-y eksenine göre eğilme altında, Şekil 9.4.' te gösterilen profillerle oluşturulan kolonların etkili eğilme rijitliği:

$$(EI)_{ef,y} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad (EC5, Ek B, denklem (B. 1)) \quad (9.2)$$

EI : i elemanın ortalama elastisite modülü

A_i : i elemanın kesit alanıdır, yani $A_i = b_i * h_i$

I_i : i elemanın eğilme eksenine göre atalet momenti olmak üzere;

$I_i = b_i * h_i^3 / 12$ şeklinde hesaplanır.

$\gamma_i : \gamma_2 = 1$ ve $i=1$ veya 3 için bağlantı verimliliği faktörüdür.

$$\gamma_i = [1 + \pi^2 * E_i * A_i * s_i / (K_i * I^2)]^{-1} \quad (EC5, denklem (B.5)) \quad (9.3)$$

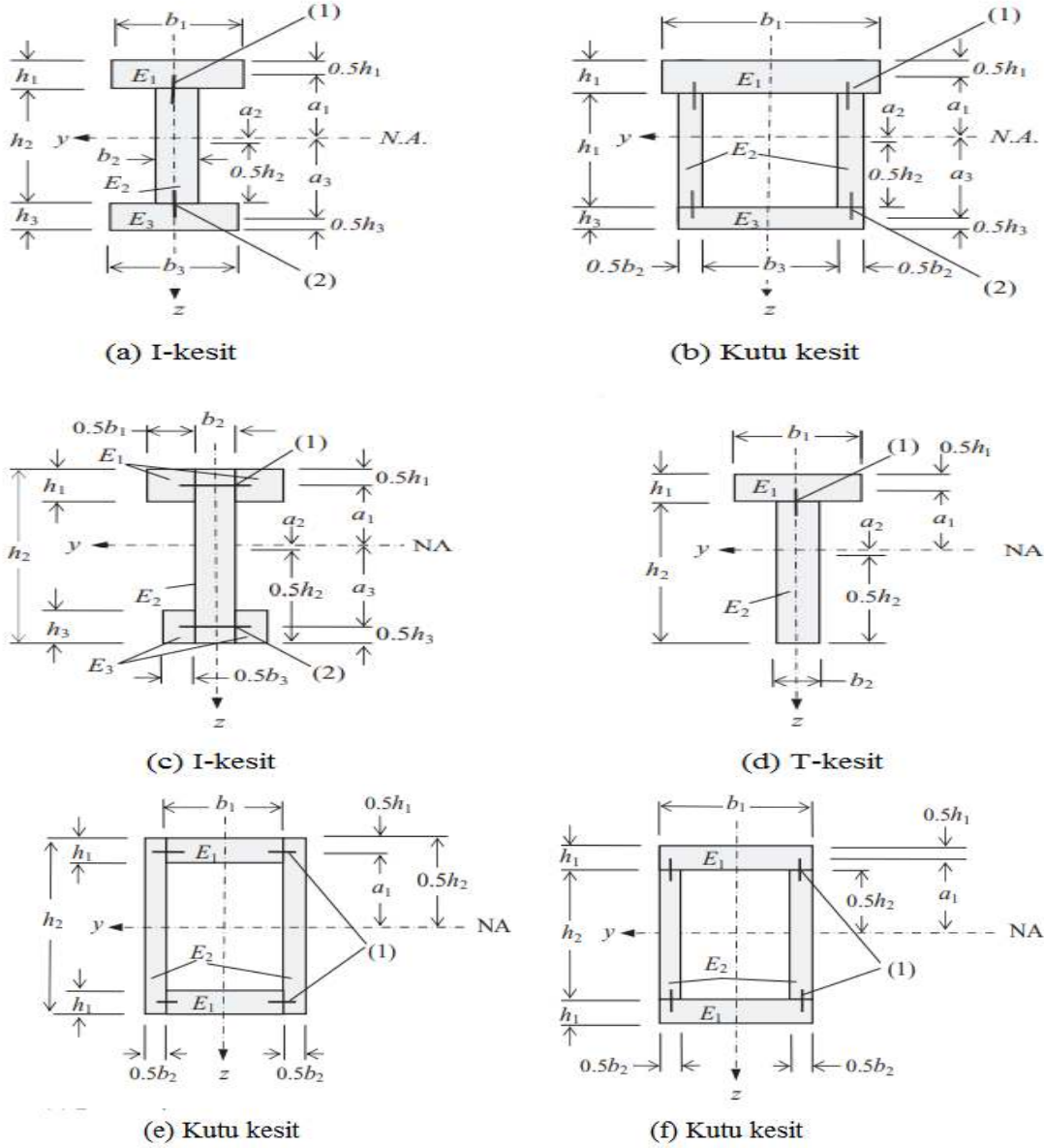
- s_i : i bağlantısında bağlantı elemanları aralığıdır. Kesme kuvveti dağılımına ve $s_{\max} \leq 4s_{\min}$ şartına uyacak şekilde değişken bir aralık kullanıldığında, Ceccotti (2003) tarafından etkili bir aralık olan $s_{ef} = 0.75 * s_{\min} + 0.25 * s_{\max}$ ' in kullanılabileceği önerilmektedir.
- (Şekil 9.4c) veya (Şekil 9.4e) için, s_i birleştirme düzlemlerinin her birinde kullanılan birim uzunluk başına bağlantı elemanı aralığı 1/2 olacaktır. Başka bir deyişle, bağlantı rijitliği, birleştirme düzlemlerinin her birinde bağlantı elemanı rijitliğinin iki katı olacaktır.
- K_i : Birleşme düzlemine göre i bağlantı elemanının rijitliğidir ve ULS ile ilgili hesaplamalar için $K_{u,i}$ ' ye eşittir.
- I : Kolon uzunluğu.
- Yapıştırılmış bir arayüz için; $K_i = \infty$ olduğunda $\gamma_i = 1$ ve $K_i = 0$ olduğunda $\gamma_i = 0$ olacaktır.

a_i : i elemanın alanının merkezinden kompozit kesitin tarafsız eksenine olan mesafe.

Şekil 9.4.' te, (e) ve (f) profilleri için $a_2 = 0$ ve (a) - (d) profilleri için:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i} \quad (\text{EC5, denklem (B. 6)}) \quad (9.4)$$

Diğer mesafeler kesit geometrisinden hesaplanabilir ve (d) profilindeki T-kesiti için h_3 değeri (9.4) denkleminde sıfır olacaktır.



Bağlantı elemanı 1' de: s_1 aralık, K_1 kayma modülü, F_1 bağlantı elemanı yükü

Bağlantı elemanı 2' de: s_2 aralık, K_2 kayma modülü, F_2 bağlantı elemanı yükü.

a_2 hariç tüm ölçler pozitifdir. a_2 şekilde gösterildiği gibi olursa pozitif olur.

Şekil 9.4. Yapma kolonlar için EC5 tasarım kurallarının uygulanacağı profiller.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 296).

Tablo 9.1. y-y eksenine göre etkili eğilme rijitliği.

Şekil 9.4' teki kesit	y – y eksenine göre etkili eğilme rijitliği ($EI_{ef,y}$)
(a) ve (b) kesitleri	$(EI_{ef,y}) = E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_2 \frac{b_2 h_2^3}{12} + E_3 \frac{b_3 h_3^3}{12} + \gamma_1 E_1 (b_1 h_1) a_1^2 + E_2 (b_2 h_2) a_2^2 + \gamma_3 E_3 (b_3 h_3) a_3^2$ (a) kesiti için; $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{s_1}{K_1} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$ $\gamma_3 = \left[1 + \pi^2 E_3 (b_3 h_3) \left(\frac{s_3}{K_3} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$ (b) kesiti için; $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{s_1}{2K_1} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$ $\gamma_3 = \left[1 + \pi^2 E_3 (b_3 h_3) \left(\frac{s_3}{2K_3} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$
(c) kesiti	$(EI_{ef,y}) = E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_2 \frac{b_2 h_2^3}{12} + E_3 \frac{b_3 h_3^3}{12} + \gamma_1 E_1 (b_1 h_1) a_1^2 + E_2 (b_2 h_2) a_2^2 + \gamma_3 E_3 (b_3 h_3) a_3^2$ $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{s_1}{2K_1} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$ $\gamma_3 = \left[1 + \pi^2 E_3 (b_3 h_3) \left(\frac{s_3}{2K_3} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$
(d) kesiti	$(EI_{ef,y}) = E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_2 \frac{b_2 h_2^3}{12} + \gamma_1 E_1 (b_1 h_1) a_1^2 + E_2 (b_2 h_2) a_2^2$ $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{s_1}{K_1} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$
(e) kesiti	$(EI_{ef,y}) = 2E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_2 \frac{b_2 h_2^3}{12} + 2\gamma_1 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{h_2}{2} - \frac{h_1}{2} \right)^2$ $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{s_1}{2K_1} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$
(f) kesiti	$(EI_{ef,y}) = 2E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_2 \frac{b_2 h_2^3}{12} + 2\gamma_1 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_1}{2} \right)^2$ $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_1 (b_1 h_1) \left(\frac{s_1}{2K_1} \right) \frac{1}{I^2} \right]^{-1}$

9.3.2. Yapma kesitlerin z-z eksenine göre etkili eğilme rijitliği

Yapma kesit y-y eksenine göre asimetric olduğunda (Şekil 9.4(a)-(d)) elemanlar bireysel değerlendirilmelidir.

Kolon kapasitesi, bireysel elemanların güçlü yanlarının toplamı olarak belirlenir. Bununla birlikte, kesit y-y eksenine göre simetrik ise etkili eğilme rijitliği, bölüm 9.3.1.' de anlatıldığı şekilde elde edilebilir. z-z eksenine göre etkili eğilme rijitliği değerleri Tablo 9.2.' de verilmiştir.

Tablo 9.2. z-z eksenine göre etkili eğilme rijitliği.

Şekil 9.4' teki kesit	z – z eksenine göre etkili eğilme rijitliği ($EI_{ef,z}$)
(a) kesiti; $E_1 = E_3$ $b_1 = b_3$ $h_1 = h_3$	$(EI_{ef,z}) = 2E_1 \frac{b_1 h_1^3}{12} + E_2 \frac{b_2 h_2^3}{12}$
(c) kesiti; $E_1 = E_3$ $b_1 = b_3$ $h_1 = h_3$	$(EI_{ef,z}) = 4E_1 \frac{h_1(0.5b_1)^3}{12} + E_2 \frac{h_2 b_2^3}{12} + 4\gamma_1 E_1 (h_1 0.5b_1) \left(\frac{b_2}{2} + \frac{b_1}{4}\right)^2$ $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_1 (h_1 b_1) \left(\frac{s_1}{2K_1}\right) \frac{1}{l^2}\right]^{-1}$
(e) kesiti	$(EI_{ef,z}) = 2E_1 \frac{h_1 b_1^3}{12} + 2E_2 \frac{h_2(0.5b_2)^3}{12} + 2\gamma_1 E_2 \left(\frac{b_2 h_2}{2}\right) \left(\frac{b_1}{2} + \frac{b_2}{4}\right)^2$ $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_2 (0.5b_2 h_2) \left(\frac{s_1}{2K_1}\right) \frac{1}{l^2}\right]^{-1}$
(f) ve (b) kesitleri; $E_1 = E_3$ $b_1 = b_2 + b_3$ $h_1 = h_3$	$(EI_{ef,z}) = 2E_1 \frac{h_1 b_1^3}{12} + 2E_2 \frac{h_2(0.5b_2)^3}{12} + 2\gamma_1 E_2 \left(\frac{b_2 h_2}{2}\right) \left(\frac{b_1}{2} - \frac{b_2}{4}\right)^2$ $\gamma_1 = \left[1 + \pi^2 E_2 \left(\frac{b_2 h_2}{2}\right) \left(\frac{s_1}{2K_1}\right) \frac{1}{l^2}\right]^{-1}$

9.3.3. Tasarım Prosedürü

Yapma kesit $F_{c,d}$ eksenel basınç tasarım kuvvetine tabi tutulduğunda, kesitteki gerilme kompozit kesitin etkili eksenel rijitliğine $(EA)_{ef}$ bağlı olacaktır:

$$(EA)_{ef} = \sum_{i=1}^n E_i * A_i \quad (9.5)$$

n: Enine kesitteki eleman sayısı

E_i : i elemanının liflere paralel ortalama elastisite modülü

A_i : i elemanının kesit alanı

EC5' e göre eksenel tasarım kuvveti altında yapma kesit üniform bir gerilmeye maruz kalacak ve elemanlar arasında kayma gerilmesi oluşmayacaktır. Kesitin her i elemanındaki eksenel gerilme:

$$\sigma_{c.0.d.i} = \frac{E_i * F_{c,d}}{\sum_{i=1}^n E_i * A_i} \quad (9.6)$$

$\sigma_{c.0.d.i}$: Yapma kesitin i elemanındaki eksenel gerilme

Elastisite modülü kesitteki tüm elemanlar için aynı ise:

$$\sigma_{c.0.d.i} = \frac{F_{c,d}}{A_{tot}} \quad (EC5, denklem (C. 2)) \quad (9.7)$$

olacaktır yani eksenel gerilme tüm elemanlarda aynı olacaktır.

A_{tot} : Toplam kesit alanıdır.

Burkulma dayanımı, kesitin etkili narinlik oranı λ_{ef} e bağlıdır ve pim eklemlerinin uzunluğu l olan bir yapma kesit için:

$$\lambda_{ef} = \frac{l}{\sqrt{\frac{(EI)_{ef}}{\sum_{i=1}^n E_i A_i}}} \quad (9.8)$$

y-y ve z-z eksenlerine göre λ_{ef} hesaplanıp etkili eğilme rijitliği $(EI)_{ef}$, 9.3.1 ve 9.3.2' de belirtilen şartlara göre belirlenecektir.

Yapma kesitin etkili eksenel rijitliği, kesiti oluşturan elemanların ortalamasına dayanan bir eksenel rijitlik değeri E_{mean} ile değiştirilir:

$$\sum_{i=1}^n E_i A_i \rightarrow E_{mean} A_{tot} \quad (9.9)$$

$E_{mean} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$ dir ve n , kesitteki eleman sayısını ifade eder.

E_{mean} değeri (9.8) denkleminde yerine koyulduktan sonra, yerleşik kolondaki her bir elemanın etkili narinlik oranı:

$$\lambda_{ef} = \frac{l}{\sqrt{(EI)_{ef}/E_{mean}A_{tot}}} \quad (EC5' te (C.3) ve (C.4) denklemlerinin kombinasyonu) \quad (9.10)$$

Eksenel yüklü tekil kolonun tasarımı için Bölüm 7' de verilen yaklaşıma göre, kesitin i elemanının göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,i}$:

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_{ef}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c.0.k.i}}{E_i}} \quad (9.11)$$

$f_{c.0.k.i}$: Liflere paralel yüklü i elemanının karakteristik basınç dayanımı

Yapma kesitler için elastisite modülünün %5 değeri ($E_{0.05}$) kullanılır. Böylece (9.11) denklemi:

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_{ef}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c.0.k.i}}{E_{0.05,i}}} \quad (9.12)$$

halini alır.

Tekil kolonlar için verilen belirtilen $k_{c,y}$ ve $k_{c,z}$ stabilite faktörleri, kesitteki her eleman için türetilir.

Eksenel yükleme altındaki elemanın dönmesinden kaynaklı kesme kuvveti bileşeni olan V_d oluşacaktır. Birleşimde yapıştırıcı kullanılmışsa kesme kontrolü yapılmalıdır. Kesme kuvveti F_i , V_d 'nin bir fonksiyonu olacaktır ve aşağıdaki gibi elde edilecektir:

$$F_i = \frac{\gamma_i * E_i * A_i * a_i * S_i}{(EI)_{ef}} * V_d \quad (\text{EC5, denklem (B. 10)}) \quad (9.13)$$

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120k_c}, & \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d}\lambda_{ef}}{3600k_c}, & 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60k_c}, & \lambda_{ef} \geq 60 \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (C. 5)}) \quad (9.14)$$

$F_{c,d}$: Kolondaki tasarım eksenel yük

Yatay kesmenin kontrolü geleneksel elastik teori kullanılarak kontrol edilecek ve V_d olarak alınacaktır.

9.3.3.1. Yapma kesitler için tasarım kriteri

Yapma kolonlar için, EC5 tasarım kriterleri aşağıdaki gibidir:

(a) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} \leq 0.3$ durumu:

Bu koşul altında yapma kesitte burkulma olmaz, ancak basınç dayanımı yetersizdir. Yani:

$$\sigma_{c,0,d,i} \leq f_{c,0,d,i} \quad (9.15)$$

- $\sigma_{c,0,d,i}$: i elemanında liflere paralel tasarım basınç gerilmesi:

$$\sigma_{c,0,d,i} = \frac{E_i * F_{c,d}}{\sum_{i=1}^n E_i * A_i} \quad (9.16)$$

$F_{c,d}$: Kolondaki tasarım eksenel yük

E_i : i elemanının liflere paralel elastisite modülünün ortalama değeri

A_i : i elemanının kesit alanı

- $f_{c,0,d,i}$: i elemanının liflere paralel tasarım basınç dayanımı:

$$f_{c,0,d,i} = \frac{k_{mod,i} * k_{sys} * f_{c,0,k,i}}{\gamma_{M,i}} \quad (9.17)$$

$k_{mod,i}$: i elemanının modifikasyon faktörü

k_{sys} : Sistem kuvvet faktörüdür ve 1 alınır.

$\gamma_{M,i}$: i elemanına ait malzeme kısmi faktörü

$f_{c,0,k,i}$: i elemanının liflere paralel karakteristik basınç dayanımı

(b) $\lambda_{rel,y}$ ve $\lambda_{rel,z} > 0.3$ durumu:

Eleman burkulabilir ve bu durumda tasarım şartı aşağıdaki gibi olacaktır:

(i) $\lambda_{rel,z} > 0.3$ ve yapma kesit y-y eksenine göre simetrik olmadığında:

y-y eksenine göre simetrik olmayan kesitler için kolondaki eksenel yük $F_{c,d}$, yapma kesitin z-z eksenine paralel tarafsız ekseninde eğilmiş bireysel elemanların yük taşıma kapasitelerinin toplamına eşit veya daha az olmalıdır.

(ii) $\lambda_{rel,z} > 0.3$ ve yapma kesit y-y eksenine göre simetrik olduğunda:

Yapma kesitte burkulma olacaktır:

$$\sigma_{c.0.d.i} \leq k_{cz,i} * f_{c.0.d.i} \quad (9.18)$$

- $\sigma_{c.0.d.i}$: i elemanının eksenel gerilmesi
- $k_{cz,i}$: i elemanının kararsızlık faktörü. Göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,z,i}$ ile belirlenir:

$$\lambda_{rel,z,i} = \frac{\lambda_{ef,z}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c.0.k,i}}{E_{0.05,i}}} \quad ((9.12) \text{ denklemi gibi})$$

$\lambda_{ef,z}$, z-z eksenine göre narinlik oranıdır:

$$\lambda_{ef,z} = \frac{1}{\sqrt{(EI)_{ef,z} / (E_{mean} * A_{tot})}}$$

(iii) $\lambda_{rel,y} > 0.3$:

Bu durumda, kesit z-z eksenine göre simetrik olmalı ve tasarım durumu:

$$\sigma_{c.0.d.i} \leq k_{cy,i} * f_{c.0.d.i} \quad (9.19)$$

- $\sigma_{c.0.d.i}$: i elemanının eksenel gerilmesi
- $k_{cy,i}$: i elemanının kararsızlık faktörü. Göreceli narinlik oranı $\lambda_{rel,y,i}$ ile belirlenir:

$$\lambda_{rel,y,i} = \frac{\lambda_{ef,y}}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c.0.k,i}}{E_{0.05,i}}} \quad ((9.12) \text{ denklemi gibi})$$

$\lambda_{ef,y}$, y-y eksenine göre narinlik oranıdır:

$$\lambda_{ef,y} = \frac{1}{\sqrt{(EI)_{ef,y} / (E_{mean} * A_{tot})}}$$

(c) Eksenel yüke ek olarak, öz ağırlığa bağlı küçük momentlerin de ortaya çıkması durumu:

EC5' in 6.3.2(3) maddesinde verilen ilişki her bir eleman için kontrol edilmelidir.

9.3.4. Yapma kesitler – Boşluklu kolonlar

Mekanik bağlantı elemanları tarafından yapıştırılmış veya sabitlenmiş olan ara parça paketleri veya köşebent plakaları ile ayrılmış ve bağlanmış iki veya daha fazla elemanın (şaftlar olarak anılacaktır) bulunduğu kolonlardır.



Şekil 9.5. Boşluklu kolon şaftları arasında yerleştirilen kirişler ile oluşturulan kiriş – kolon (direk) konstrüksiyonu.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 304).

Boşluklu kolon, tekil kolondan daha yüksek bir yük taşıma kapasitesine sahiptir, ekonomiktir ve Şekil 9.5.’ te gösterildiği gibi, diğer elemanların rahatça yerleştirilebileceği uygun yapı sağlamaktadır.

Yapıştırıcılar kullanıldığında, ara parça paketleri (veya köşebentler) ile şaftlar arasında kayma veya dönme olmayacaktır. Mekanik bağlantı elemanları kullanıldığında kayma meydana gelecek ve bunun dikkate alınması gerekir. Boşluklu kolon örnekleri Şekil 9.6.’ da gösterilmiştir.

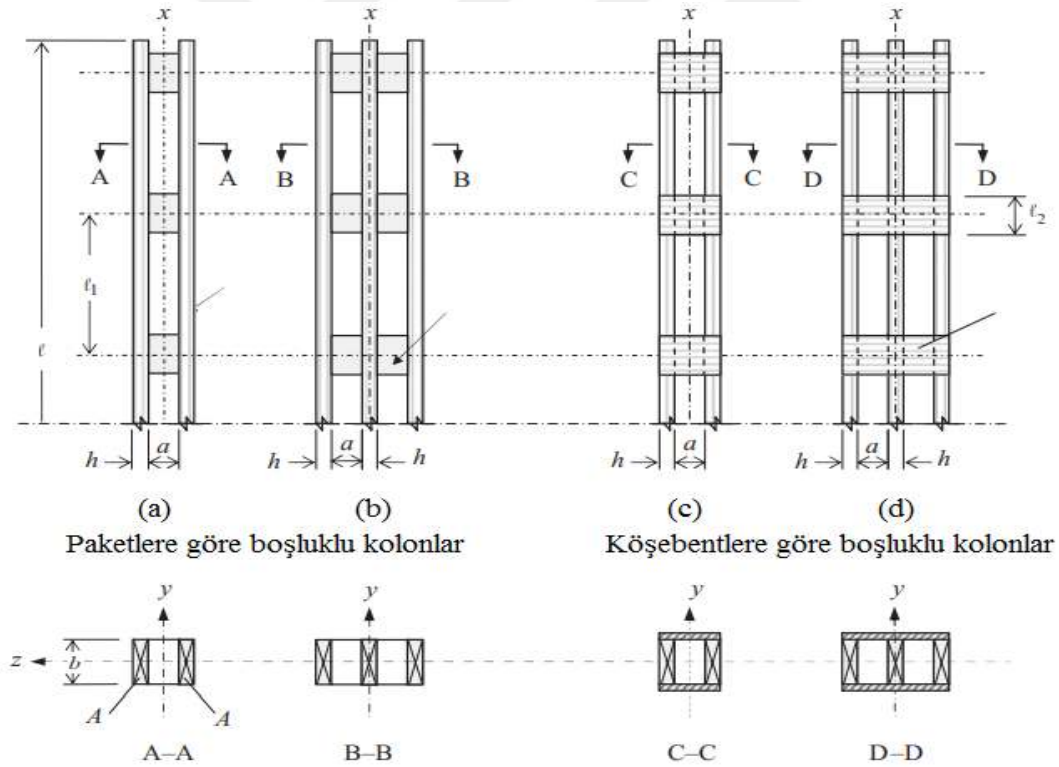
Aralıklı kolonların tasarımı için EC5 şartları Ek C, Madde C. 3. 1’ de verilmiş ve aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Kolonlar eksenel yük etkisindedir.
- Şaftlar birbirine paralel olmalıdır.

- Kolon kesiti 2,3 veya 4 özdeş şafttan oluşmalıdır.
- Kolon kesitleri y-y ve z-z eksenlerine göre simetrik olmalıdır.
- Yükseklik boyunca en az 3 sınırlandırılmamış bölme olmalıdır. Bunu karşılamak için şaftlar en azından uçlara ve üçüncü noktalara bağlanmalıdır.
- Ara parça paketleri kullanılıyorsa $a \leq 3h$ ve köşebent plakaları kullanılıyorsa $a \leq 6h$ ’dır. a şaftlar arasındaki serbest mesafe ve h şaftın kalınlığıdır.
- Birleşimler, paketler ve köşebent plakaları (9.13) ve (9.14) denklemlerine uygun tasarlanmalıdır.
- Paket uzunluğu l_2 , $1.5a$ ’ya eşit veya daha büyük olmalıdır.

Her kayma düzleminde en az konektörlü 4 çivi veya 2 cıvata olmalıdır.

- Çivilerin kullanıldığında, kolonun x-x eksen yönünde her iki ucunda üst üste en az 4 çivi bulunmalıdır.



Şekil 9.6. Boşluklu kolonlar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 305).

9.3.4.1. Aralıklı kolonlar için tasarım prosedürü

z-z eksenine göre Şekil 9.6.' da gösterilen aralıklı kolonun burkulma davranışı göz önüne alındığında, şaftlar bireysel elemanlar olarak davranır ve kolon dayanımı, z-z eksenine göre her milin dayanımının toplamı olacaktır.

y-y eksenine göre burkulma için, her şafttaki kesme kuvveti ve paket/köşebent plakalarındaki kesme deformasyonu şaftlarda ek eğilme yer değiştirmesine neden olur ve bu etkiden kaynaklanan dayanım azalması tasarımda dikkate alınmalıdır. Dikkate alınacak etkili narinlik :

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta * \frac{n}{2} * \lambda_1^2} \quad (\text{EC5, denklem (C. 10)}) \quad (9.20)$$

- λ , boşluklu kolonla aynı l uzunluğuna sahip masif kolonun narinlik oranıdır. A bir şaftın kesit alanı, n mil sayısı olmak üzere y-y eksenine göre aynı atalet momenti için:

$$\lambda = l * \sqrt{A_{tot}/I_{tot}} \quad (\text{EC5, denklem (C. 11)}) \quad (9.21)$$

$$A_{tot} = n * A$$

$$A = b * h$$

ve, Şekil 9.6.' da gösterilen kesitler için,

$$I_{tot} = \frac{b \cdot h^3}{6} + 2bh * \left(\frac{a+h}{2}\right)^2 \quad \text{A-A ve C-C bölümleri için} \quad (9.22)$$

$$I_{tot} = \frac{b \cdot h^3}{4} + 2bh * (a + h)^2 \quad \text{B-B ve D-D bölümleri için} \quad (9.23)$$

- λ_1 , bitişik paket / köşebent plaka pozisyonları arasındaki en büyük mesafeye sahip şaft uzunluğuna bağlı olarak, her şaftın narinlik oranıdır:

$$\lambda_1 = \sqrt{12} * \frac{l_1}{h} \text{ ve } \geq 30 \text{ olmalıdır} \quad (\text{EC5, denklem (C. 12)}) \quad (9.24)$$

Elde edilen değer 30' dan küçükse, (9.20) denkleminde en az 30 değeri kullanılmalıdır.

- n, aralıklı kolondaki mil sayısıdır.
- η , değerleri Tablo 9.3.' te verilen bir bağlantı faktörüdür. Faktör, paketlerin veya köşebent plakalarının kullanılıp kullanılmadığına, yapıştırılarak veya mekanik

olarak bağlanıp bağlanmadığına ve yükleme süresine bağlıdır. Bağlantı ne kadar sert olursa, faktörün değeri o kadar düşük olur.

Tablo 9.3. η birleşim faktörü.

	Paketler			Köşebentler	
	Yapıştırıcı	Çivi	Cıvata (konektörlü)	Yapıştırıcı	Çivi
Kalıcı / uzun vadeli yükleme	1	4	3.5	3	6
Orta / kısa vadeli yükleme	1	3	2.5	2	4.5

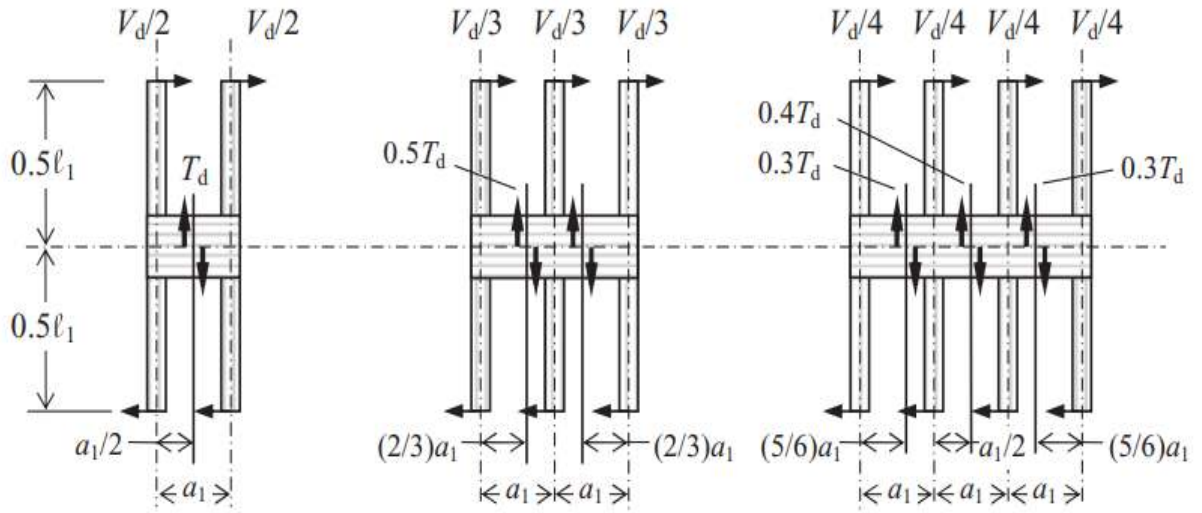
Aralıklı kolonun yük taşıma kapasitesi, y-y ve z-z eksenlerine göre kolonun narinlik oranlarının daha yüksek olmasıyla elde edilir ve bu durum için aşağıdakilerin doğrulanması gerekir:

$$\sigma_{c.0.d} \leq k_c * f_{c.0.d} \quad (9.25)$$

- $f_{c.0.d}$: Önceden tanımlanmıştır.
- $\sigma_{c.0.d}$: Kolon üzerindeki doğrudan gerilme:

$$\sigma_{c.0.d} = \frac{F_{c.d}}{A_{tot}}$$

- $F_{c.d}$: Aralıklı kolona etkiyen eksenel yükün tasarım değeridir
- A_{tot} : (9.21) denkleminde tanımlandığı gibidir.
- k_c : Kritik eksenle (yani maksimum narinlik oranına sahip eksen) ilişkili kararsızlık faktörüdür ve 5.3.1' e göre belirlenir.



Şekil 9.7. Kesme kuvveti dağılımı ve paketler ve köşebentler üzerindeki yükler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 307).

Şaft dayanımını kontrol etmenin yanı sıra, paketlerin, köşebent plakalarının ve mekanik bağlantıların (kullanıldığında) dayanımını da kontrol edilmelidir. Paketlerdeki veya köşebentlerdeki kesme kuvvetleri, rijit gövde davranışı varsayılarak türetilir ve Şekil 9.7.' de gösterildiği gibi elde edilir.

Temel statiklerden, Şekil 9.7.' de gösterilen kesme kuvveti:

$$T_d = \frac{V_d \cdot l_1}{a_1} \quad (\text{EC5, denklem (C. 13)}) \quad (9.26)$$

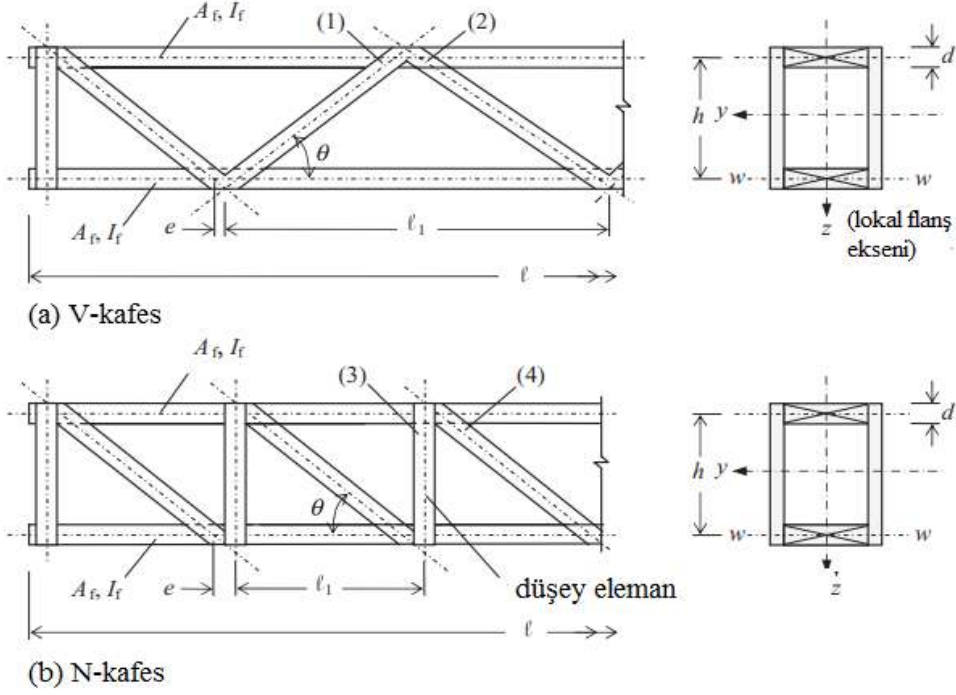
a_1 bitişik millerin merkez çizgileri arasındaki mesafedir ve V_d (9.27) denkleminde elde edilir;

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120k_c}, & \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d}\lambda_{ef}}{3600k_c}, & 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60k_c}, & \lambda_{ef} \geq 60 \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (C. 5)}) \quad (9.27)$$

$F_{c,d}$: Aralıklı kolon üzerindeki tasarım eksenel yükü

k_c : y-y eksenine göre burkulma ile ilişkili kararsızlık faktörü

λ_{ef} : (9.20) denkleminde tanımlanan etkili narinlik oranı



Şekil 9.8. Kafes kolonlar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 308).

Paket veya köşebent plakaları ve millere bağlantıları Şekil 9.7.' de gösterilen kesme kuvvetinin etkileri için tasarlanmalıdır. Şaft birleşimindeki moment, paket veya köşebent plakasındaki kesme kuvvetinin, paketler kullanıldığında şaftın yüzüne olan uzaklığı veya köşebent plakaları kullanıldığında şaftın merkezine olan uzaklığı ile çarpılarak elde edilir.

9.3.5. Yapma kesitler-kafesli kolonlar

Kafes kolon, yapıştırılmış veya çivilenmiş birleşimlerle elemanlara sabitlenmiş N veya V kafes üyeleri tarafından ayrılmış ve bağlanmış iki özdeş üyenin bulunduğu yerleşik bir sütundur. N ve V kafes konfigürasyonlarına sahip yapıştırılmış kafesli kolon örnekleri Şekil 9.8.' de gösterilmiştir.

Kafes kolon tasarımı için EC5 koşulları EC5, Madde C.4.1, EK C' de verilmiştir ve aşağıdaki gibidir:

- Yapı y-y ve z-z eksenlerine göre simetrik olmalıdır.
- Kafes kolonun her iki tarafındaki kafes, $l_1/2$ uzunluğuna göre birbirine göre kademeli olabilir. l_1 bitişik düğümler arasındaki mesafedir.
- Kolonda en az üç kafesli kolon yuvası olmalıdır. Yani $l = 3 * l_1$

- Kafes elemanlarının flanşlara çivilendiği yerlerde, her düğüm noktası bağlantısında her diyagonal olarak kesme düzlemi başına en az dört çivi bulunmalıdır.
- Kafes kolonun her bir ucu çaprazlanmalıdır. Yani yanal olarak sabitlenmelidir.
- Bitişik düğüm bağlantıları arasındaki tek bir flanş için (Şekil 9.8.' de l_1 uzunluğu), narinlik oranı 60' dan büyük olmamalıdır.
- Kolon uzunluğuna l_1 ' e karşılık gelen flanşların burkulması gerçekleşmez.
- Dikey (bir N makas - Şekil 9.8b' de gösterildiği gibi, (3) pozisyonu) ve flanş arasındaki bağlantıda çivi sayısı $n \sin \theta$ ' dan büyük olmalıdır. n, bitişik diyagonal bağlantıdaki çivi sayısıdır (Şekil 9.8b, (4) konumu) ve θ , diyagonal eğim açısıdır.

9.3.5.1. Kafes kolonlar için tasarım prosedürü

Şekil 9.8.' de gösterilen kafes kolon yapıları z-z eksenine göre burkulduğunda (yani sehim y eksenine yönündedir), flanşlar bireysel elemanlar olarak davranır ve kolonun dayanımı, flanşların z-z eksenine göre dayanımının toplamı olacaktır.

y-y eksenine göre burkulma meydana geldiğinde (yani sehim z eksenine yönündedir), kafes elemanlarındaki kuvvetler flanşlarda ek yanal yer değiştirmeye yol açar ve bunun neden olduğu dayanım azalması tasarım prosedüründe dikkate alınır. Bu durum, aralıklı kolonlarda olduğu gibi, EC5' te aşağıdaki gibi elde edilen etkili bir narinlik oranı λ_{ef} kullanılarak elde edilir:

$$\lambda_{ef} = \max \left\{ \begin{array}{l} \lambda_{tot} * \sqrt{1 + \mu} \\ 1.5 \lambda_{tot} \end{array} \right. \quad (\text{EC5, denklem (C. 14)}) \quad (9.28)$$

- λ_{tot} : Kafes kolon ile aynı uzunluğa sahip masif bir kolon için narinlik oranıdır. Aynı kesit alanı $A_{tot} = \sum_{i=1}^n A_f$ (A_f , her flanşın enine kesit alanıdır, bd) ve aynı atalet momenti $I_{tot} = (A_f/2) * ((d^2/3) + h^2)$. Buna göre:

$$\lambda_{tot} = \frac{2l}{\sqrt{h^2 + \frac{d^2}{3}}} \quad (9.29)$$

En pratik kolon kesitleri için, $d^2/3$ değeri h^2 değerinden çok küçüktür ve EC5' te göz ardı edilerek:

$$\lambda_{tot} = \frac{2l}{h} \quad (\text{EC5, denklem (C. 15)}) \quad (9.30)$$

- μ , bağlantının rijitliğini dikkate alan bir faktördür:

(a) yapıştırılmış birleşimler için μ aşağıdaki gibi olacaktır:

i) V – makaslar:

$$\mu = 4 * \frac{e^2 A_f}{I_f} * \left(\frac{h}{l}\right)^2 \quad (\text{EC5, denklem (C. 16)}) \quad (9.31)$$

ii) N – makaslar:

$$\mu = \frac{e^2 A_f}{I_f} * \left(\frac{h}{l}\right)^2 \quad (\text{EC5, denklem (C. 16)}) \quad (9.32)$$

e: Dügümlerdeki destek elemanının eksantrikliği

A_f : Flanş alanı

I_f : Lokal w-w eksenine göre flanşın atalet momenti

L: Kafes kolonun yüksekliği

h: Flanşların merkez hatları arasındaki mesafe

(b) Çivili birleşimler için μ aşağıdaki gibi olacaktır:

i) V – Makaslar

$$\mu = 25 * \frac{h E_{\text{mean}} A_f}{l^2 n K_u \sin 2\theta} \quad (\text{EC5, denklem (C. 18)}) \quad (9.33)$$

ii) N – Makaslar

$$\mu = 50 * \frac{h E_{\text{mean}} A_f}{l^2 n K_u \sin 2\theta} \quad (\text{EC5, denklem (C. 19)}) \quad (9.34)$$

- n diyagonal çivi sayısıdır. Bir diyagonal iki veya daha fazla parçadan oluşuyorsa, n kesme düzlemi başına çivi sayısı değil, çivi sayısı olarak alınmalıdır.
- E_{mean} kerestenin elastikiyet modülünün ortalama değeridir
- K_u bir çivin uls kayma modülüdür.

Kafes kolonun yük taşıma kapasitesi, y-y ve z-z eksenlerine göre kolonun narinlik oranlarının yüksek olanı kullanılarak elde edilecek ve bu durum için (9.25) denklemi doğrulanacak. Ayrıca, bir kolon uzunluğu l_1 ’ e karşılık gelen flanşların burkulmasının gerçekleşmemesi için, eksenel yüklü kolon prosedürleri kullanılarak, bitişik düğüm bağlantıları arasındaki her flanşın dayanımının kafesli kolon dayanımının %50’ sini aşacağı gösterilmelidir.

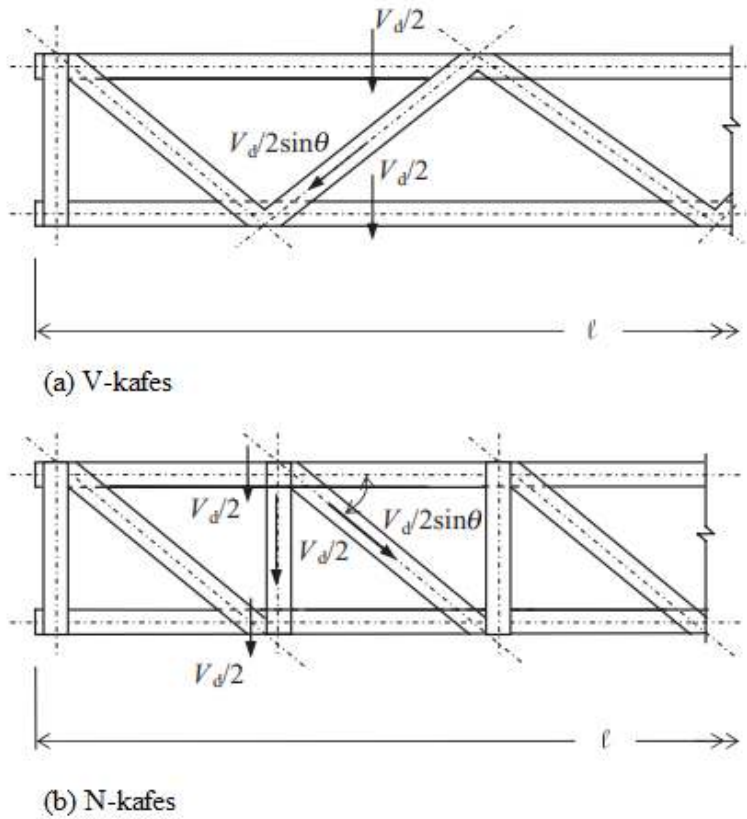
Destek elemanları ve millere bağlantıları, EC5, (C2.2)' de verilen denklemlerden türetilen kesme kuvveti V_d ' nin etkisi için tasarlanmalıdır.

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120k_c}, & \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d}\lambda_{ef}}{3600k_c}, & 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60k_c}, & \lambda_{ef} \geq 60 \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (C. 5)}) \quad (9.35)$$

$F_{c,d}$: Kafes kolonun ağırlık merkezi boyunca etkiyen tasarım eksenel yükü.

λ_{ef} : (9.28) denkleminde tanımlanan etkili narinlik oranı.

Yukarıdaki kesme kuvveti, Şekil 9.9.' da gösterildiği gibi destek elemanları ve bağlantıları tarafından alınacaktır. Destekdeki kuvvetler çekme veya basınç olabilir ve elemanlar ve bağlantılar daha kritik tasarım koşulları için tasarlanmalıdır.



Şekil 9.9. Kesme ve bağlantı kuvvetleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 311).

Destek elemanlarındaki ve bağlantılarındaki tasarım kuvveti(force):

$$\text{Yatay destek} \quad \frac{V_d}{2} \quad (9.36)$$

$$\text{Diyagonal destek} \quad \frac{V_d}{2 \sin \theta} \quad (9.37)$$

9.4. Birleşik Eksenel Yükleme ve Moment

Yapıştırma veya mekanik bağlantılar ile oluşturulmuş bir kolon için tasarım prosedürü, sadece yapma kesitin ağırlık merkezi boyunca etkiyen eksenel yükleme ve ek olarak sadece küçük momentlerin (örneğin öz ağırlık ağırlık nedeniyle) olduğu durumlarda uygulanabilir. Bu koşullar altında, yapma kolonlar için tasarım şartları, masif kesitler için olanlarla aynıdır.

İzin verilen küçük moment koşulu nedeniyle, yanal burulmalı burkulma etkileri göz ardı edilebilir. λ_{ef} ve λ_z 'nin 0.3' ü aşan göreceli narinlik oranlarına neden olacağı uyulması gereken dayanım denklemleri şunlardır:

$$\frac{\sigma_{c.o.d}}{k_{c.y} f_{c.o.d}} + \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + k_m \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1 \quad (\text{EC5, denklem (6.23)}) \quad (9.38)$$

$$\frac{\sigma_{c.o.d}}{k_{c.z} f_{c.o.d}} + k_m \frac{\sigma_{m.y.d}}{f_{m.y.d}} + \frac{\sigma_{m.z.d}}{f_{m.z.d}} \leq 1 \quad (\text{EC5, denklem (6.24)}) \quad (9.39)$$

$$k_{c.y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel.y}^2}} \quad (\text{EC5, denklem (6.25)}) \quad (9.40)$$

$$k_{c.z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} \quad (\text{EC5, denklem (6.26)}) \quad (9.41)$$

$$\lambda_{rel.y} = \frac{\lambda_{ef}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c.o.k}}{E_{0.05}}} \quad \text{ve} \quad \lambda_{rel.y} = \frac{\lambda_{ef}}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c.o.k}}{E_{0.05}}} \quad (9.42)$$

9.5. ULS' de Kayma Etkisi

Yapma kolonun basınç elemanlarının farklı elastisite modülü değerlerine sahip olduğu ve/veya kolon birleşimlerinin tutkal yerine bağlantı elemanları kullanılarak yapıldığı durumlarda, kayma davranışı nedeniyle, yapma kolonun elemanlarındaki basınç gerilmeleri, yük süresi ve nem içeriğine bağlı olarak değişir. Bu koşullar altında, EC5 2.2.2.' ye göre, birinci dereceden doğrusal elastik analiz yapılırken, kayma davranışının etkisi dikkate alınmalıdır.

9.4.' teki analiz prosedürü, malzemelerin elastisite modülünün ortalama değeri ve kayma modülünün ani değeri kullanılarak elde edilen rijitlik özelliklerine dayalı yapma kolondaki gerilmelerin türetilmesi ile ilgilidir.

Kayma davranışından dolayı gerilmenin yeniden dağıtılmasının etkisini dikkate alınırken, EC5, 2.3.4.2(b)' de tanımlanan rijitlik özelliklerinin nihai ortalama değerlerinin kullanılmasını gerektirir. Yaklaşım, kolonun gerçek davranışına bir yaklaşım verir ve bu durum için ilgili modüllerin nihai ortalama değerleri aşağıdaki gibidir:

(a) Elastisite Modülü:

$$E_{\text{mean.fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{1+\psi_2 k_{\text{def}}} \quad (\text{EC5, denklem (2.10)}) \quad (9.43)$$

- E_{mean} : Malzemenin elastisite modülünün ortalama değeri
- k_{def} : Deformasyon faktörü
- ψ_2 : Yarı kalıcı değer faktörüdür. Kalıcı bir etki için 1 değeri kullanılmalıdır.

(b) Mekanik bağlantı elemanları:

$$K_{\text{fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{1+\psi_2 k_{\text{def}}} \quad (\text{EC5, denklem (2.12)}) \quad (9.44)$$

K_{ser} : SLS için kesme düzlemi başına bağlantı elemanının kayma modülü

Bağlantı aynı kayma davranışına sahip elemanlardan oluşursa, k_{def} için kullanılan değer Tablo 4.10.' da verilen değer iki katı olacaktır ve eğer bağlantı $k_{\text{def.1}}$ ve $k_{\text{def.2}}$ gibi farklı kayma davranışına sahip iki ahşap esaslı elemandan oluşuyorsa:

$$k_{\text{def}} = 2\sqrt{k_{\text{def.1}} * k_{\text{def.2}}} \quad (9.45)$$

Yukarıdakilere göre, (9.3) denkleminde belirtilen bağlantı verimliliği faktörü, γ_i :

$$\gamma_i = \left(1 + \frac{\pi^2 E_i A_i a_i (1+2\psi_2 k_{\text{def.connection.i}}) S_i}{(1+\psi_2 k_{\text{def.i}}) K_{\text{ser}} l^2} \right)^{-1} \quad (9.46)$$

• $k_{\text{def.connection.i}}$: i bağlantısındaki bağlantı elemanı için deformasyon faktörüdür ve eğer bağlantı, $k_{\text{def.1}}$ ve $k_{\text{def.2}}$ gibi farklı kayma davranışlarına sahip iki ahşap esaslı eleman içeriyorsa;

$$k_{\text{def.connection.i}} = \sqrt{k_{\text{def.1}} * k_{\text{def.2}}}$$

- $k_{\text{def.i}}$: i elemanı için deformasyon faktörüdür.
- K_{ser} : Kullanılan bağlantı elemanı tipi için kayma modülüdür.

10. STABİLİTE DESTEKLERİ, ZEMİN VE DUVAR DİYAFRAMLARININ TASARIMI

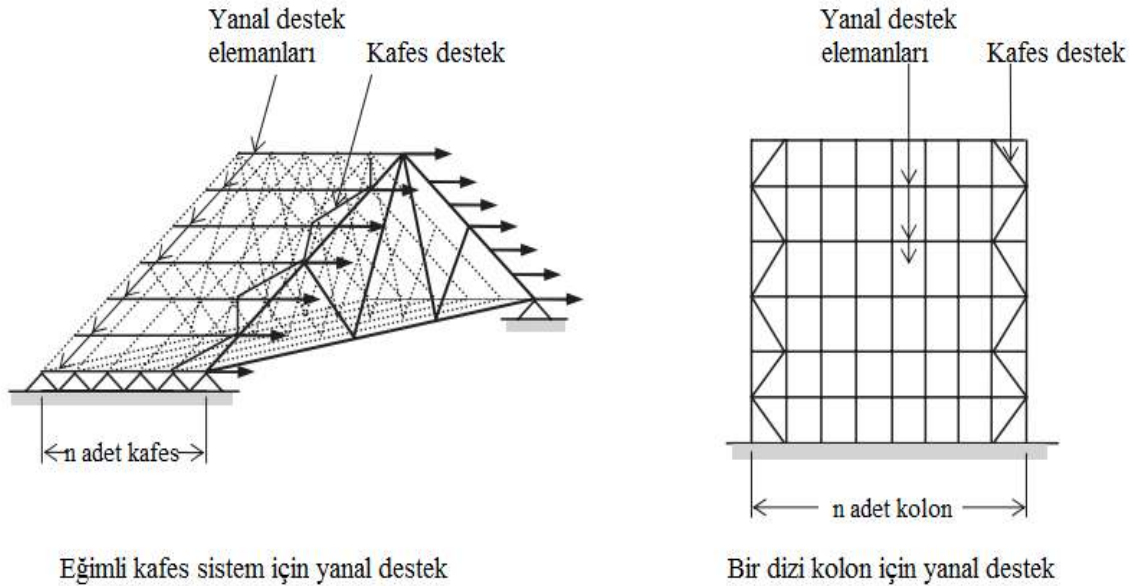
Bu bölümde, yanal stabilite sağlayan veya yapı boyunca yanal etkileri aktarmak için diyafram görevi gören yapısal elemanların tasarımı ele alınmıştır. Bir yapıya stabilite veya yanal destek sağlanabilmesinin çeşitli yolları vardır ve ahşap yapılarda en sık kullanılan yöntemler şunlardır:

- (a) Yanal destek elemanlarının düzenlenmesi,
- (b) Çatı veya zemin diyaframlarının kullanımı,
- (c) Duvar diyaframlarının kullanımı.

Yapıdaki bir eleman basınç etkisinde olup yanal yönde yetersiz rijitliğe sahip olduğunda, elemanın yanal olarak desteklenmesi gerekebilir. Ahşap yapılarda yanal stabilite desteklemesinin gerekli olduğu durumların örnekleri, Şekil 10.1.' de gösterilmektedir.

Ahşap çerçeveli binalarda zemin veya çatı seviyesindeki yanal kuvvetler zemin ve/veya çatı diyaframları ile karşılanır. Bu diyaframlara ait reaksiyon kuvvetleri tipik olarak Şekil 10.2.' de gösterilmiştir. Kuvvetler raf dayanımı ile temele aktarılır. Bu elemanlar için tasarım prosedürleri EC5 9.2.3 ve 9.2.4' te yer almaktadır.

Bu bölümde, stabilite sağlayan veya yapı yoluyla etkileri aktarmak için diyafram görevi gören yapısal elemanların tasarımı ele alınmıştır.



Şekil 10.1. Basınç elemanlarının yanal olarak desteklenmelerinin gerekli olduğu örnekler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 339).

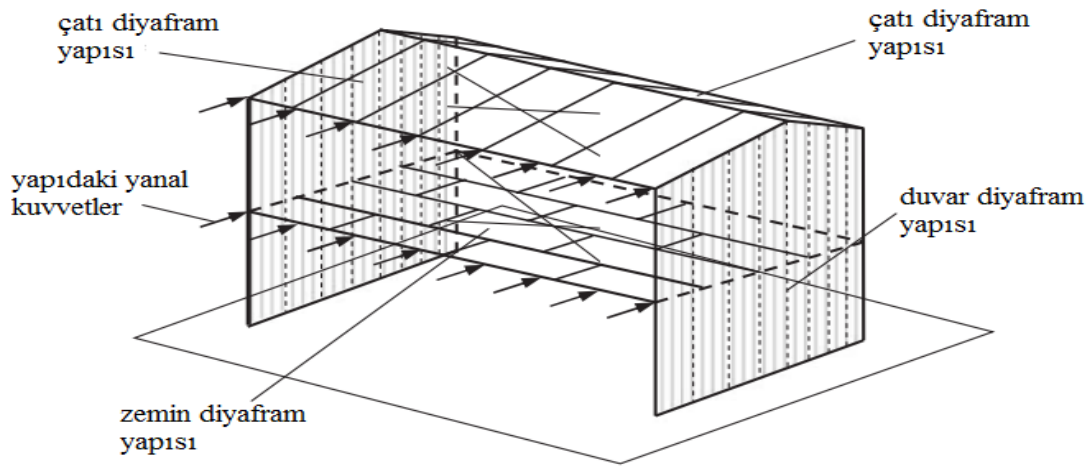
10.1. Tasarım

Tasarıma ait sınır durumları Tablo 10.1.' de verilmiştir. Denge durumları ve dayanım koşulları göçme durumlarıyla ilgilidir ve ULS olarak değerlendirilir. SLS ile ilgili kriter yoktur.

10.2. Yanal Destek

10.2.1. Genel

EC5 tasarım şartları, basınç elemanlarının yapıda tekil elemanlar olarak çalıştığı durumu kapsar.



Şekil 10.2. Zemin, çatı ve duvar diyaframları (gösterildiği gibi etki eden yanal kuvvetler için).

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 339).

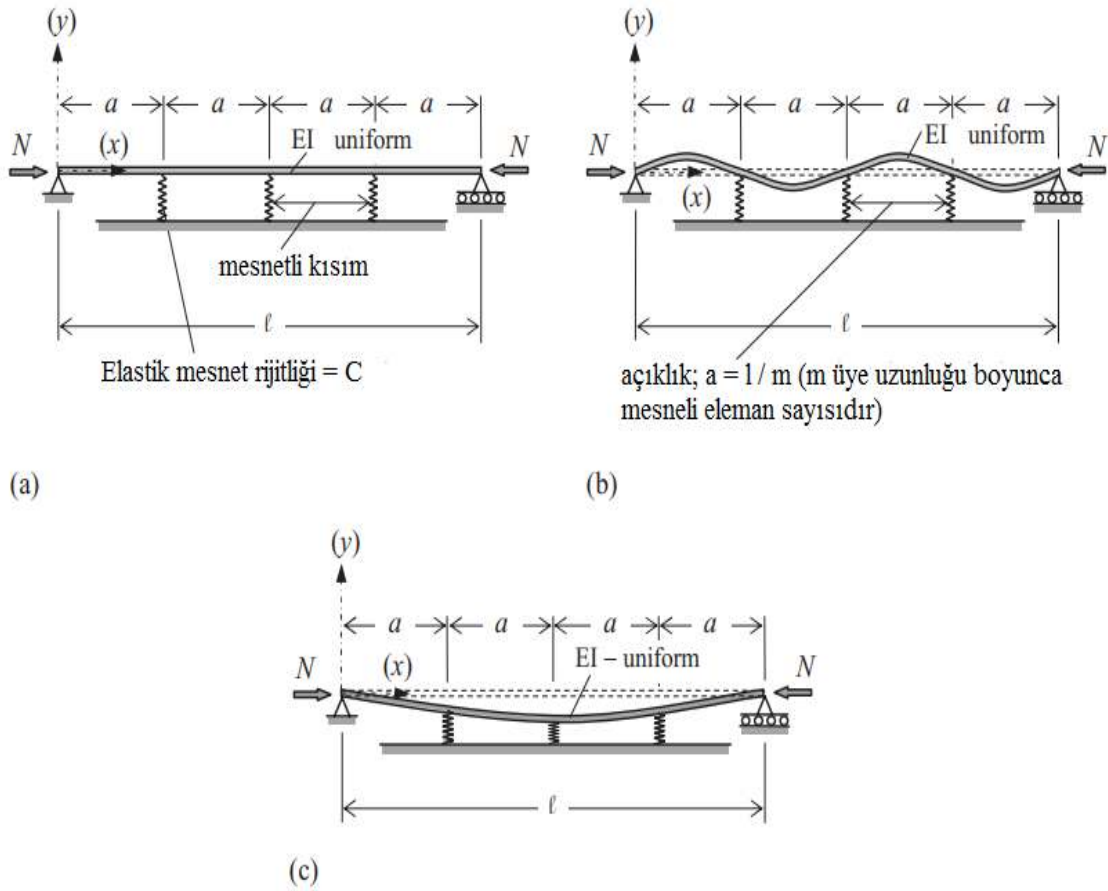
Tablo 10.1. Destek ve diyafram yapıları için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.

Eleman	Tasarım veya yer değiştirme etkisi	EC5 sınır durumu
Destek elemanlar	Yanal kararsızlığın etkisi de dahil eksenel gerilme	ULS
	Sehim	ULS
Diyafram zeminler ve çatılar	Statik dengenin korunması (kayma, kaldırma (çatılar için))	ULS
	Eğilme gerilmesi	ULS
	Kayma gerilmesi	ULS
Diyafram duvarlar	Statik dengenin korunması (kayma, kaldırma)	ULS
	Raf direnci	ULS

Müsaade edilen sehim sınırı masif ahşap için $l/300$ ve yapıştırılmış lamine ahşap veya lamine kaplama ahşap için $l/500$ ' dür.

Yanal destek, yanal hareketi önlemek ve burkulma mukavemetini arttırmak zorundadır. Bu yüzden destek elemanlarının konumlarında tutulması için yeterli dayanım ve rijitliğin sağlanması gerekir. Tekil elemanlar veya birleştirilmiş kısım (örneğin çatı makasları) yanal olarak çaprazlanmalıdır. Kuvvetler, basınç elemanlarının sinüzoidal modda deforme olacağı ve analizde kullanılan varsayımlara uyacağı düşünülerek belirlenir. Destek sisteminin maksimum deformasyonu, $l/500$ ' ü geçmemelidir.

Basınç altındaki elemanların tasarım prosedürü, eğilme momenti nedeniyle basınç kuvvetine maruz elemanlar için kullanılanlardan farklıdır. Doğrudan basınç etkisindeki elemanlar için, destek elemanındaki tasarım kuvveti, elemandaki tasarım basınç kuvvetinden türetilir. Eğilme momenti etkisindeki elemanlar söz konusu olduğunda, sınırsız yanal burulmalı burkulma mukavemeti dikkate alınır ve destek tarafından karşılanacak tasarım kuvveti, elemandaki tasarım basınç kuvvetidir.



Şekil 10.3. Elastik mesnetli bir elemanın yanal burkulma modlarının plan görünümü .

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 341).

Yanal burkulma instabilite faktörü k_{crit} ile M_d tasarım momenti etkisinde, derinliği h olan dikdörtgen kesit için N_d tasarım basınç kuvvetini belirlemek için EC5' te kullanılan yaklaşık çözüm:

$$N_d = (1 - k_{crit}) * \frac{M_d}{h} \quad (\text{EC5, denklem (9.36)}) \quad (10.1)$$

10.2.2. Doğrudan basınç etkisindeki tekil elemanların yerel desteklerle desteklenmesi

EC5' te verilen yöntem, basınç altındaki tekil elemanı yanal olarak destekleyen takviye elemanlarının tasarımı için geçerlidir.

Desteklemenin amacı, yanal burkulma mukavemetini arttırmaktır. Burkulma mukavemeti hesabında, burkulma uzunluğu bitişik destek elemanları arasındaki mesafe olarak alınmalıdır.

Şekil 10.3a.' da, her biri aynı aksel rijitliğe sahip, uzunluğu boyunca yanal olarak tutturulmuş 1 uzunluğundaki basınç elemanı verilmektedir. Basınç elemanı, z-z zayıf ekseninde burkulur. Bu durum için göçme modu Şekil 10.3b.' de gösterildiği gibi olacaktır. Destek pozisyonlarında sağlanacak rijitlik teorik olarak sonsuz olacak ve destek elemanları ve bağlantılarındaki kuvvet sıfır olacaktır. Destek ve bağlantıların rijitliği küçük olduğunda, eleman yanal olarak yer değiştirecektir.

Elemanın dayanımını optimize etmek için, destekle elde edilecek tasarım koşulu, Şekil 10.3b' de gösterilene eşdeğerdir. Şekil 10.3c.' de gösterilen mod için destek elemanlarının rijitliğini arttırarak, elemanı her destekte etkili bir şekilde tutacak bir değere ulaşana kadar simüle edilebilir.

Tablo 10.2. Basınç elemanındaki m bölme sayısına karşı k_s değeri.

$m = l/a$	2	3	4	5	6	8	10	∞
$k_s = 1/\gamma$	2	3	3.41	3.62	3.73	3.80	3.90	4

Klasik elastik stabilite teorisine dayanarak, tamamen düz bir eleman varsayarak, Timošenko ve Gere (1961), her bir destek elemanı tarafından sağlanacak minimum yay rijitliğinin aşağıdaki gibi olacağını göstermiştir:

$$C = \frac{m * N_e}{l * \gamma} \quad (10.2)$$

- C: Yay aksel rijitliği

- m: Basınç elemanının uzunluğu boyunca desteklenen ögelerin sayısı
- N_e : Kritik burkulma yüküdür. Yani uzunluğu l/m olan elemanın Euler burkulma yüküdür. Ahşap eleman için $N_e = \pi^2 EI / (l/m)^2$ dir.
 - EI: Elemanın z-z eksenine göre eğilme rijitliği
 - E: Liflere paralel elastisite modülünün %5 değeri
- l: Elemanın toplam uzunluğu
- γ : Yanal olarak desteklenen elemanın desteklenen bölümlerinin sayısına bağlı olan sayısal bir faktördür ve $\gamma = (1/2)(1 + \cos(\pi/m))$

γ değerini ve $l/m = a$ değerini (8.2) denkleminde yazarak Şekil 8.3b' de gösterilen durum için:

$$C = \frac{2(1+\cos(\pi/m))*N_e}{a} \quad (10.3)$$

N_e ' den küçük yükler için, rijitliğin doğrusal olarak azaltılmasına izin verilir ve ULS' de N_d ortalama tasarım yükü altında, gerekli minimum yay rijitliği şu şekilde yazılır:

$$C = k_s * \frac{N_d}{a} \quad (\text{EC5, denklem (9.34)}) \quad (10.4)$$

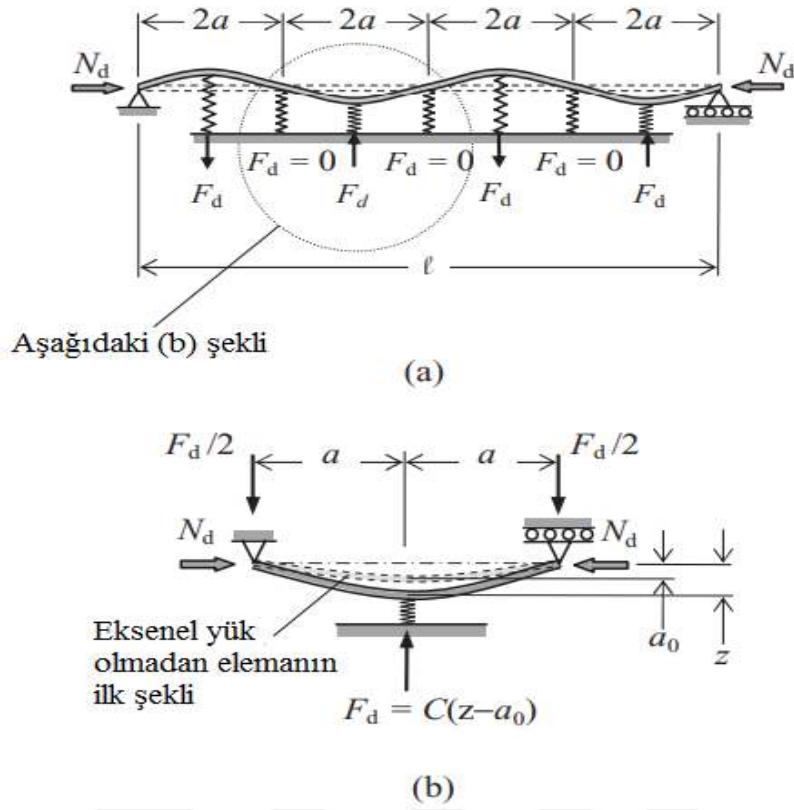
$k_s = 1/\gamma$: Modifikasyon faktörü

Artan m değerleri için k_s değeri Tablo 10.2.' de verilir. m, 10' dan büyük olduğunda maksimum 4 alınır.

Destek elemanlarının rijitliğinin belirlenmesinde, basınç elemanının düzlükten sapma etkisi göz ardı edilmiştir, ancak destek elemanları tarafından alınacak kuvvetin belirlenmesinde dikkate alınmalıdır.

Elemandaki tasarım basınç kuvveti N_d ' den kaynaklanan destek elemanlarındaki eksenel kuvvet F_d , başlangıç sapması ve ikinci dereceden lineer elastik analiz nedeniyle arttırılacaktır:

$$F_d \leq 2.6N_d \frac{a_0}{a} \quad (10.5)$$



Şekil 10.4. Destek elemanının mukavemetini analiz etmek için EC5’ te verilen burkulma modu.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 343).

EC5 10.2’ de destekler arasındaki izin verilen düzlükten başlangıç sapmasının maksimum değerini (yani masif ahşap için $2a/300$ ve glulam veya LVL için $2a/500$), (10.5) denkleminde kullanarak, destek elemanı için tasarım kuvveti aşağıdaki gibi elde edilir:

- Masif ahşap için;

$$F_d \leq 5.2N_d \frac{2a}{300} * \frac{1}{2a} = \left(\frac{1}{57.69} \right) N_d$$

- Glulam veya LVL için;

$$F_d \leq 5.2N_d \frac{2a}{500} * \frac{1}{2a} = \left(\frac{1}{96.15} \right) N_d$$

N_d tasarım kuvvetine uygulanan faktörler masif ahşap için $1/k_{f,1}$ ve yapıştırılmış lamine ahşap veya LVL için $1/k_{f,2}$ ’ dir. Tasarım kuvveti aşağıdaki gibi elde edilir:

- Masif ahşap için;

$$F_d = \frac{N_d}{k_{f,1}} \quad (\text{EC5, denklem (9.35)}) \quad (10.6a)$$

- Glulam veya LVL için;

$$F_d = \frac{N_d}{k_{f,2}} \quad (\text{EC5, denklem (9.35)}) \quad (10.6b)$$

EC5' te $k_{f,1} = 60$ ve $k_{f,2} = 100$ verilmiştir.

N_d tasarım basınç kuvveti ile bağlantı elemanındaki yanal kuvvet F_d arasında aşağıdaki ilişki olacaktır:

$$F_d = \frac{a_0}{(a/2N_d - 1/C)} = \frac{4N_d a_0}{a} \quad (10.7)$$

(10.7) denklemi kullanıldığında destek elemanındaki yanal kuvvet, EC5 (10.35) denkleminden elde edilenden daha büyük olacaktır. Çünkü (10.4) denklemi belirlenirken düzlükten sapma dikkate alınmamıştır.

Destek elemanındaki kuvvet çekme veya basınç olabilir. Bu yüzden destek elemanı ve uç bağlantıları her iki koşulda da dayanıklı olacak şekilde tasarlanmalıdır.

10.2.3. Eğilme etkisindeki tekil elemanların yerel destek tarafından desteklenmesi

Yöntem, eğilmeden kaynaklı basınç etkisindeki destek elemanları için geçerlidir. Doğrudan basınç etkisinde olan yanal olarak desteklenmiş tekil elemanlar için (10.4) ve (10.6) denklemlerinde verilen ilişkiler hala geçerli olacaktır. Bununla birlikte, N_d için kullanılacak değer, 10.2.1.' de açıklandığı gibi belirlenmelidir.

Derinliği h olan dikdörtgen bir kesit için N_d (10.1) denklemine uygun olarak türetilir, yani:

$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \quad (\text{EC5, denklem (9.36)}) \quad (10.1)$$

k_{crit} : Yanal burkulma faktörü

M_d : Maksimum tasarım momenti

h : Kiriş derinliği

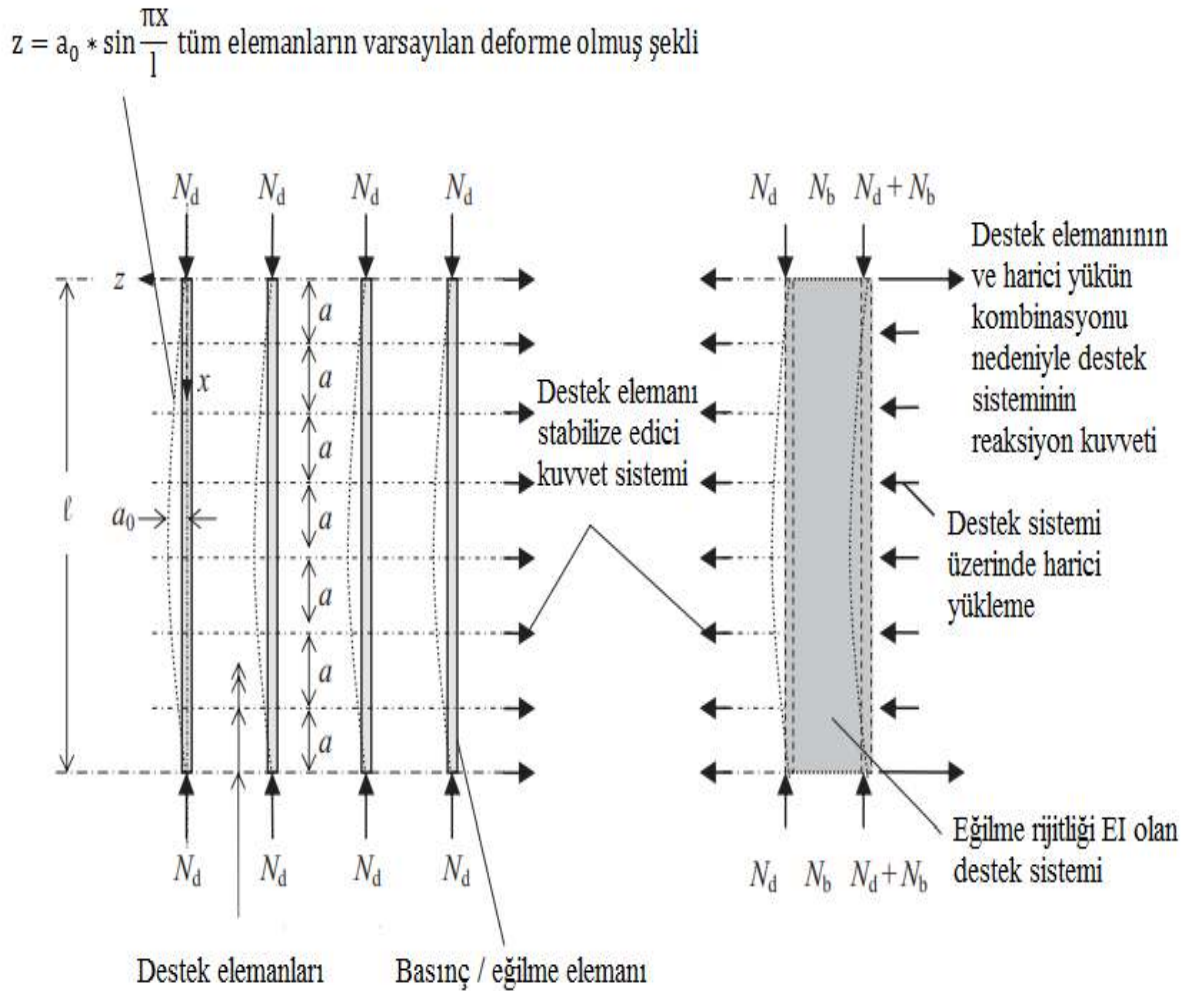
$k_{crit} = 1$ ise $1 - k_{crit} = 0$ olur, bunun manası kirişin burkulmayacağı ve uzunluğu boyunca yanal desteğe gerek olmayacağıdır. $k_{crit} < 1$ olduğunda, yanal burulmalı burkulma ortaya çıkabilir ve N_d , (10.1) denkleminde türetilir. Kirişler için tasarım basınç kuvveti, kesitteki tasarım momentin maksimum değeri kullanılarak türetilir.

Tasarım kuvveti belirlendikten sonra, destek rijitliği ve N_d tasarım eksenel kuvveti 10.2.2.' de açıklandığı gibi türetilmiştir.

10.2.4. Kiriş, makas veya kolon sistemleri için destek

Yanal stabilite sağlamak için kafes veya plaka etkisi kullanılarak rijitliği artırma yöntemi kullanılabilir. Yapının yanal rijitliği, elemanların ve destek sisteminin yanal rijitliğinin bir kombinasyonu olmasına rağmen, EC5' te eleman rijitliği göz ardı edilir ve ayrıca kesme deformasyonlarının etkisi dikkate alınmaz.

Yapıdaki her eleman, Şekil 10.5.' te gösterildiği gibi, $z = a_0 \sin(\pi x/l)$ şeklinde sinüzoidal deforme olmuş varsayılır. a_0 , düzlükten maksimum sapma, n desteklenen eleman sayısı ve N_d basınç kuvvetidir. Tüm elemanların katkısı dikkate alındığında toplam basınç yükü $n * N_d$ olacaktır. Bu yük altında, destek sisteminin saptmasını orta uzunlukta z_1 olarak maksimum değer, $nN_d(a_0 + z_1)$ olacaktır.



Şekil 10.5. Bir dizi basınç veya eğilme elemanı için destek sistemi.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 346).

Eğilme momenti diyagramı aynı olacak şekilde başta düz bir konumda iken, destek sisteminde yanal yük etkisine eşdeğer etki ile destek sisteminin deplasman davranışında düzlükten başlangıç sapma etkisi değiştirilerek yukarıdaki sorun alternatif olarak düzeltilebilir ki bu Timoşenko ve Gere (1961) tarafından gösterilmiştir. Eşdeğer yanal yük de bir sinüs fonksiyonu olması gerektiğinden, şu şekilde ifade edilebilir:

$$q = q_d \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \quad (10.8)$$

q_d : Birim uzunluk başına eşdeğer yanal yükün maksimum değeri.

q altında, destek sisteminin ek yanal sapması:

$$z_q = q_d \frac{l^4}{\pi^4 EI} \sin\left(\frac{\pi x}{l}\right) \quad (10.9)$$

ve orta açıklıktaki sapma:

$$z_1 = q_d \frac{l^4}{\pi^4 EI}$$

Eşdeğer yanal yük nedeniyle maksimum eğilme momenti $q_d l^2 / \pi^2$ olacaktır ve bunu eksenel yüklü destek sisteminde maksimum eğilme momenti ile eşitleyerek:

$$\frac{q_d l^2}{\pi^2} = n N_d (a_0 + z_1) \quad (10.10)$$

İlave sapma z_1 , q_d 'nin bir fonksiyonu olmasına rağmen, etkisi ihmal edilebilecek kadar küçük ise, (10.10) denklemi aşağıdaki ifadeye indirgenir:

$$q_d = \frac{\pi^2}{l^2} n N_d a_0 \quad (10.11)$$

(10.11) denklemi, açıklık ortasında maksimum yanal yük için (10.8) denkleminde kullanılacak değeri verir. (10.11) denkleminin türetilmesinde, destek sistemi üzerindeki yanal kuvvet azaltılacaktır.

EC5' te q_d , birim uzunluk başına dahili stabilite yükü olarak adlandırılır ve destek sisteminin tam uzunluğu boyunca üniform bir yük olarak uygulanır. (10.11) denkleminde $(\pi^2/l^2) a_0$ fonksiyonu ile ilişkili $k_{f,3}$ modifikasyon faktörü ve k_1 faktörü birleştirilerek aşağıdaki denklem elde edilir:

$$q_d = k_1 \frac{n N_d}{k_{f,3} l} \quad (\text{EC5, denklem (9.37)}) \quad (10.12)$$

- q_d : Destek sistemine uygulanacak iç stabilite yüküdür.
- n : Sistem tarafından desteklenecek basınç veya eğilme elemanlarının sayısıdır.

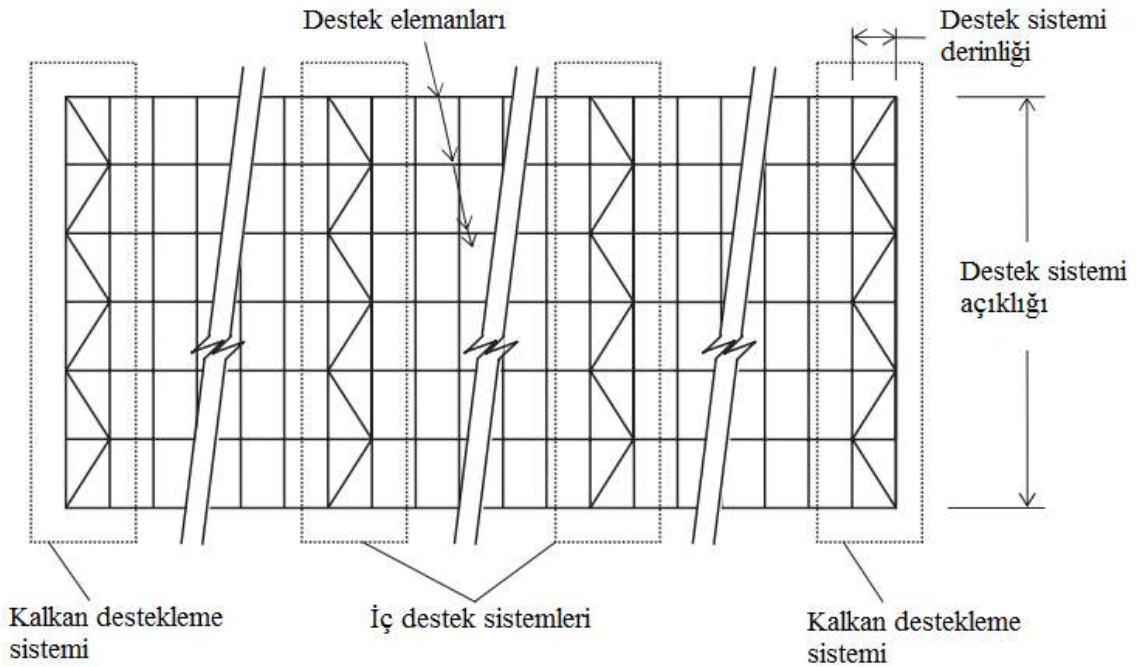
- N_d : Her basınç veya eğilme elemanında ortalama tasarım basınç kuvvetidir.
- k_l : 15 m' den daha uzun elemanlar için modifikasyon faktörü:

$$\min \left\{ \frac{1}{\sqrt{\frac{15}{l}}} \right\}$$

- $k_{f,3}$: Modifikasyon faktörü:
 - Basınç veya eğilme elemanları ≤ 600 mm aralıklı olduğunda: 50
 - Basınç veya eğilme elemanları > 600 mm aralıklı olduğunda: 40
- l : Destek sisteminin açıklığı

Şekil 10.5.' te gösterildiği gibi, basınç veya eğilme elemanları, destek sisteminin bir parçası olduğunda, yanal yüklemekten kaynaklanan ek eksenel kuvvet N_b ' ye tabi tutulacaktır. Şekil 10.5.' te yapı için en büyük yanal sehim veran yüklem kombinasyonu, destek elemanları çekme altındayken olacaktır.

Çekmeye çalışacak destek elemanları tasarlamak daha ekonomiktir. Bu durum Şekil 10.6.' da gösterildiği gibi, iç destek sistemleri ile birlikte her iki uçta bir destekleme sistemi sağlayarak başarılabilir.



Şekil 10.6. Bir dizi basınç veya eğilme elemanı için çoklu destek sistemleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 348).

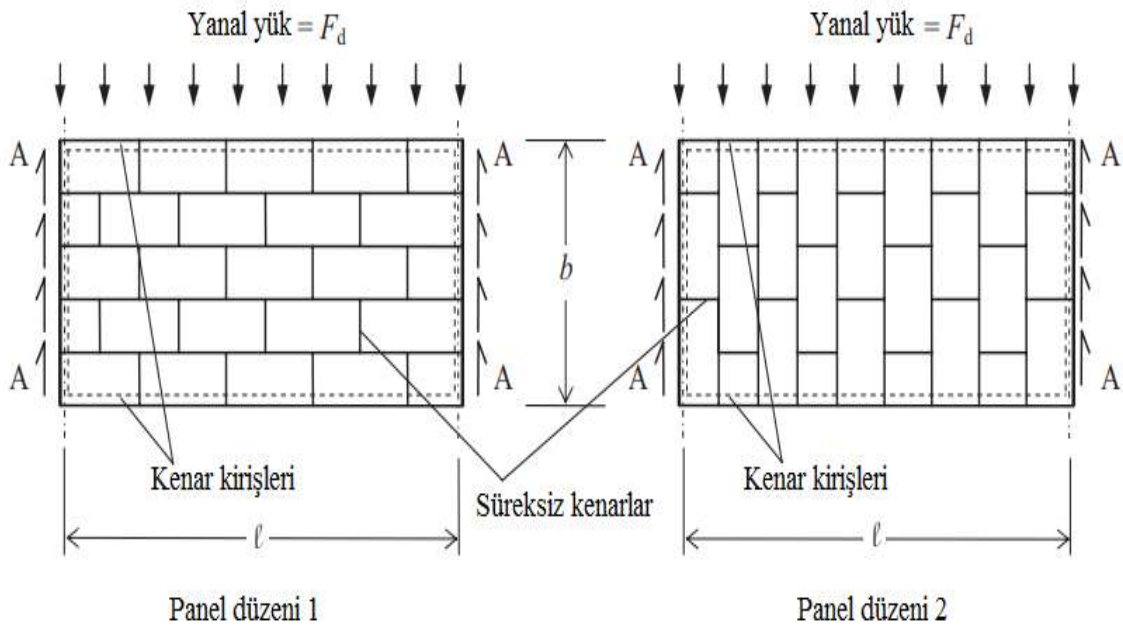
q_d ile birlikte herhangi bir dış yükleme nedeniyle, destek sistemindeki maksimum sehim $l/500$ ü geçmiyorsa teorik yaklaşıma göre yanal deformasyon etkisi göz ardı edilebilir.

10.3. Zemin ve Tavan Diyaframları

Ahşap çerçeveli bir yapıya mekanik bağlantı elemanları ile sabitlenmiş ahşap paneller ile oluşturulan diyaframlar için geçerlidir. Mekanik bağlantıların yanal mukavemeti %20 oranında arttırılabilir.

10.3.1. Yöntemin uygulanabilirliği ile ilgili sınırlamalar

Tipik yatay zemin veya tavan diyaframları Şekil 10.7.' de gösterilmiştir. Uzunluğu l , genişliği b olan diyafram yanal yüklemeye maruz kaldığında A-A boyunca kiriş görevi görür.



Şekil 10.7. Yatay diyaframlara yükleme ve mesnetler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 349).

EC5' te verilen basitleştirilmiş yöntemi uygulayabilmek için aşağıdaki koşullar gerekmektedir:

- (a) l uzunluğu $2b$ ve $6b$ arasında olmalıdır.
- (b) ULS tasarım koşulunda, bağlantı elemanları göçmeye uğrasa dahi kirişler veya panellerde göçme olmamalıdır.

(c) Paneller desteklerine sabitlenmelidir. Bağlantılarda, vidalar veya çiviler (düz çiviler dışında) kullanılmalı ve panel kenarları boyunca maksimum boşluk, destekler boyunca 150 mm ve 300 mm olmalıdır.

10.3.2. Basitleştirilmiş tasarım prosedürü

Diyafram, eğilme, kayma ve yanal tasarım mukavemeti açısından kontrol edilmelidir. Tasarım, uzunluğu l , genişliği b ve tasarım yanal yükü F_d olan diyaframlar için geçerlidir.

(a) eğilme mukavemeti (sadece yanal yük etkisinde):

Eğilmelerin kenar kirişler tarafından alındığı varsayılır. Kenar kirişinin sürekli olduğu, genişliği w ve derinliği h olan durum için, düşük olan mukavemet çekme mukavemeti olacaktır. Bu durumda:

$$\frac{F_d l}{8(wh)b} \leq f_{t.0.d} \quad (10.13)$$

$$f_{t.0.d} = \frac{k_{mod} k_h f_{t.0.k}}{\gamma_M}$$

- $f_{t.0.d}$: Tasarım çekme mukavemeti
- k_{mod} : Modifikasyon faktörü
- k_h : Çekme altındaki elemanlar için boyut etkisi modifikasyon faktörüdür.
- γ_M : Malzeme kısmi faktörü
- $f_{t.0.k}$: Liflere paralel karakteristik çekme mukavemetidir.

(b) Diyaframın A-A kenarları boyunca kayma mukavemeti:

Kesmenin tamamı panel tarafından alınmalıdır. Kayma gerilmesinin diyaframın genişliği boyunca üniform olduğu ve panel malzemesinin t kalınlığında olduğu varsayılırsa:

$$\frac{F_d}{2(bt)} \leq f_{v.d} \quad (10.14)$$

$$f_{v.d} = \frac{k_{mod} f_{v.k}}{\gamma_M}$$

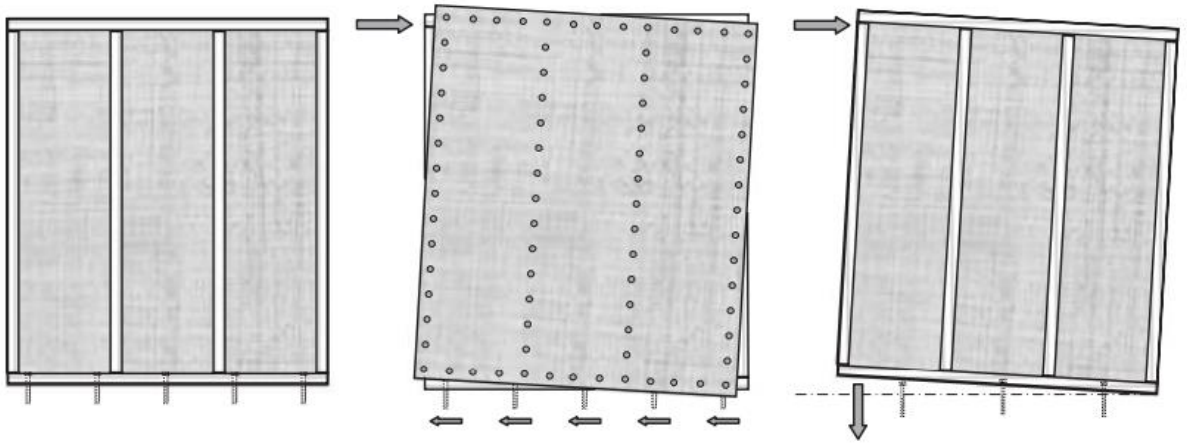
- $f_{v.d}$: Tasarım panel kesme mukavemeti
- $f_{v.k}$: Karakteristik panel kesme mukavemeti

(c) A-A kenarları boyunca yapı sabitlemeleri desteklemek için panelin yanal mukavemeti

Diyaframdaki reaksiyonlar, panelleri yapıya sabitleyen bağlantı elemanları ile destekleyici yapıya aktarılmalıdır. Bağlantı elemanları desteğin uzunluğu boyunca s aralıklı olduğunda:

$$\frac{F_d}{2} \leq \frac{R_d b}{s k_{\text{panel}}} \quad (10.15)$$

- R_d : Bir bağlantı elemanının tasarım yanal mukavemeti
- k_{panel}
 - Bitişik panel kenarlarının aynı destekleyici çita ile çivilendiği veya vidalandığı veya bitişik panel kenarlarının yapıştırılmış lamba ve yivli derzlerle birleştirildiği durumda: 1
 - Lamba ve yivli panel kenarlarının çitalar tarafından desteklenmediği ve yapıştırılmadığı durumda: 1.5



Şekil 10.8. Raf yüklerine dirençli duvar diyaframı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 351).

10.4. Yatay ve Düşey Yük Altında Ahşap Duvarların Düzlem İçi Raf Direnci

Saplama duvarlar genellikle kaplamalarla oluşturulur ve böylece duvarın rijit diyafram olarak hareket etmesi sağlanır. Yanal dış kuvvet, Şekil 10.8b.' de gösterildiği gibi uygulandığında, sabitleme parçaları (örneğin çiviler), ahşapta ezilme ve çivi deformasyonu yoluyla raf direncinin büyük kısmını karşılar. Duvarın yatay yönde kayması, taban plakası boyunca yerleştirilen çiviler veya cıvatalar gibi ankrajlarla karşılanmaktadır. Şekil 8.8c' de gösterildiği gibi, uygun sabitleme tertibatları olmazsa devrilme de meydana gelebilir.

Ahşap tasarımda, duvar diyaframının düzlem içi yanal dayanımı raf direnci olarak adlandırılır ve bazı diyafram duvar örnekleri Şekil 10.9.' da gösterilmiştir. Şekil 8.9c' de, yeterli raf mukavemeti olmayışından kaynaklı tipik bir göçme gösterilmiştir.

Yapılacak ilk analiz ile, kuvvetlerin temellere kadar yük yolları belirlenecek ve yanal stabilite ve devrilme direnci sağlamak üzere tasarlanacak diyaframlar belirlenecektir. Bir duvarın raf direnci, testlerle veya hesaplama ile elde edilebilir. EC5' te, A Yöntemi ve B

Yöntemi olarak 2 basitleştirilmiş hesaplama yöntemi verilir. A Yöntemi Avrupa’ da geliştirilmiştir. B Yöntemi ise Birleşik Krallık’ ta geliştirilen ve BS 5268’ de verilen prosedürün bir dönüşümüdür. EC5, A Yönteminin kullanılmasını önermesine rağmen, EC5 UKNA NA. 2.9 B Yönteminin kullanılması gerektiğini belirtir.

Duvar diyaframlarının raf direncini belirlemek için BS 5268’ de kullanılan yöntem, izin verilen bir gerilme yaklaşımına dayanır ve duvarlardaki raf testlerinin sonuçları dikkate alınarak geliştirilmiştir. Ne yazık ki, sınır durum metodolojisini sınırlamak için dönüşüm sürecinde, araştırmacılar İngiliz prosedüründe bazı önemli faktörleri yanlış yorumlamıştır ve yöntem doğru bir sonuç vermemektedir (Griffiths vd., 2005). Metodolojideki eksikliklerden ve A Yöntemi ile B Yönteminin tasarım aşamalarını tam kapsamadığını varsayarak bu iki yöntem yerine birleşik bir yöntem tercih edilmelidir. Önerilen Birleşik yöntem, açıklıkların etkisini ve raf mukavemetini belirlerken alçı levhanın kullanımından elde edilen katkıyı da dikkate alacaktır.



(a) Ahşap duvar montajı



(b) Devrilmeyi önlemek için tutma gergisi



(c) Yeterli raf mukavemetinin olmaması göçmeye neden olur (fotoğraf Apa, Engineered Wood Association izniyle)

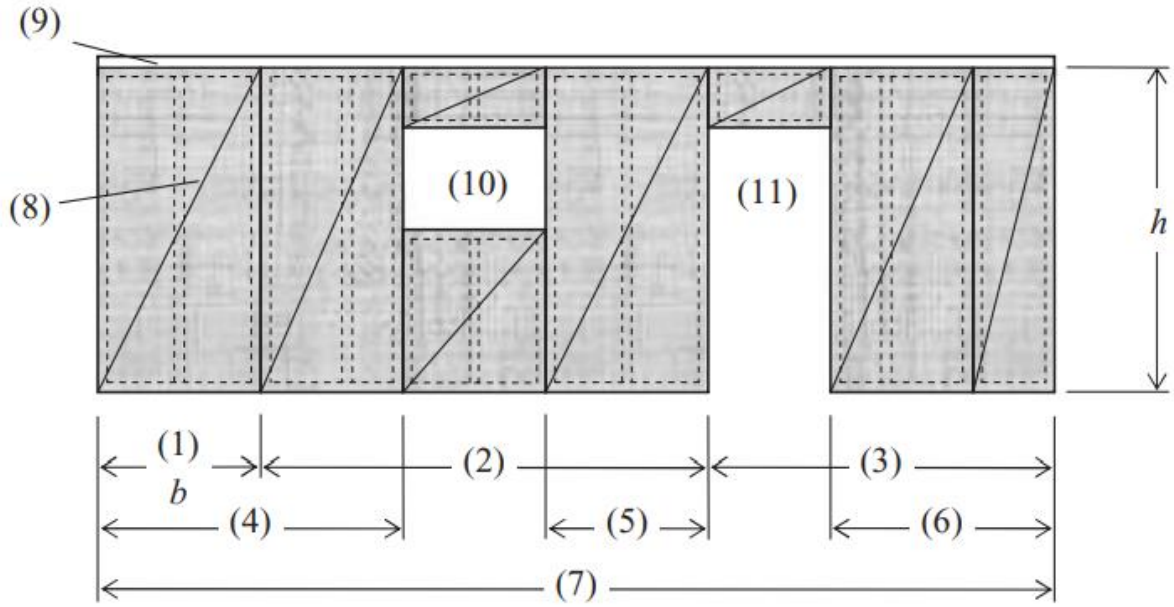
Şekil 10.9. Ahşap duvar örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 352).

Aşağıdaki bölümde, B Yöntemi, duvarın raf direncini hesaplamak için kullanılmıştır. Yukarıda verilen nedenle, elde edilen değer, raf direncinin doğru bir değerlendirmesi olmayacaktır, ancak, birleşik yöntemin B yönteminde kullanılabilecek bir yaklaşım benimsemesi muhtemel olduğundan, yöntemin nasıl uygulandığını göstermek için verilmiştir.

10.4.1. EC5’ te verilen B yöntemi kullanılarak ahşap duvarların düzlem içi raf direncinin hesabı

Ahşap duvarlar bir veya daha fazla panelden oluşabilir.



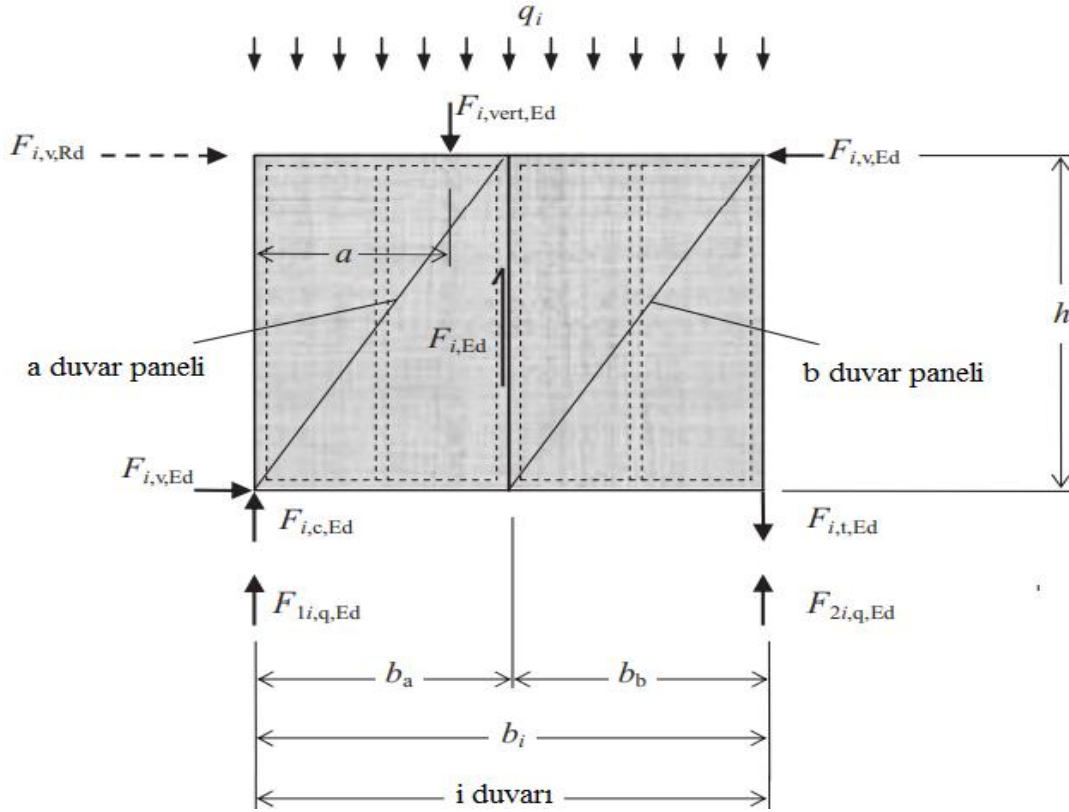
- (1) Duvar paneli 1; (2) Duvar paneli 2; (3) Duvar paneli 3; (4) Duvar 1;
 (5) Duvar 2 (6) Duvar 3; (7) Duvar montajı; (8) Levha;
 (9) Baş bağlayıcı; (10) Pencere; (11) Kapı.

Şekil 10.10. Birkaç panel içeren duvar tertibatı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 353).

Duvarlarda alçıpan kullanılsa da bu malzemenin raf direncine katkısı yoktur. Panel, genişliği yüksekliğinin en az 4’ te 1’ ine eşit olduğunda, duvarın düzlemsel dayanımına katkıda bulunabilir. Kaplama ile ahşap çerçeve arasındaki bağlantı elemanları çivi veya vida olmalıdır ve levha çevresi etrafında eşit aralıklarla yerleştirilmelidir. İç bağlantıların aralığı, çevre bağlantı elemanı aralığının 2 katını geçmemelidir. Panelde kapı veya pencere boşlukları oluşturulduğunda, açıklığın her iki tarafındaki panel uzunlukları ayrı paneller olarak kabul edilmelidir. Paneller bir duvar oluşturmak için birleştirildiğinde:

- (a) panellerin üst kısımları birleşim boyunca bağlanmalıdır,
- (b) bitişik paneller arasında düşey bağlantı dayanımı en az 2.5 kN/m olmalıdır,
- (c) duvar, devrilme ve kayma kuvvetlerine dayanabilmelidir.



Şekil 10.11. Tipik bir duvar düzeni ve bununla ilişkili eylemler ve reaksiyonlar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 354).

i duvarının raf mukavemeti $F_{i,v,Rd}$, duvarın yanal dayanma kabiliyetidir ve Şekil 10.11.' de gösterildiği gibi duvarın üst kısmında oluşacak maksimum kuvvetine eşdeğer kabul edilebilir. EC5 (9.33) denkleminin sağlanması koşuluyla, yük altında burkulan duvar levhalarının riski göz ardı edilebilir. Yani:

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 100 \quad (EC5, \text{denklem (9.33)}) \quad (10.16)$$

b_{net} : Duvarın temiz açıklığı

t: Kaplama kalınlığı

n duvardan yapılan bir duvar tasarım raf direnci aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F_{v,Rd} = \sum_{i=1}^n F_{i,v,Rd} \quad (EC5, \text{denklem (9.24)}) \quad (10.17)$$

Sağlanması gereken koşul:

$$F_{v.Rd} \geq F_{v.Ed}$$

$F_{v.Ed}$: Duvar düzeneğinde yatay tasarım kuvveti

i duvarının tasarım raf dayanımı $F_{i.v.Rd}$, EC5 (9.25) denkleminde aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_{i.v.Rd} = \frac{F_{f.Rd} b_i}{s_0} k_d k_{i.q} k_s k_n \quad (\text{EC5, denklem (9.25)}) \quad (10.18)$$

- $F_{f.Rd}$: Yanal kesmede bireysel bağlantı elemanının tasarım kapasitesi
- b_i : Duvar uzunluğu
- s_0 : Bağlantı elemanı aralığı:

$$s_0 = \frac{9700d}{\rho_k}$$

boyutsal doğruluk için, bağlantı elemanının d çapı metre cinsinden olmalıdır, ρ_k ahşap duvarın yoğunluğudur ve birimi kg/m^3 tür. Böylece s_0 aralığı metre cinsinden olur ve $F_{f.Rd} b_i / s_0$ ifadesinde b_i ve s_0 için aynı birimlerin kullanılması sağlanır.

- k_d : Duvarın boyut faktörüdür ve en boy oranının değişken bir fonksiyonudur:

$$k_d = \begin{cases} \frac{b_i}{h} & , \quad \frac{b_i}{h} \leq 1 \\ \left(\frac{b_i}{h}\right)^{0.4} & , \quad \frac{b_i}{h} > 1 \text{ ve } b_i \leq 4.8\text{m} \\ \left(\frac{4.8}{h}\right)^{0.4} & , \quad \frac{b_i}{h} > 1 \text{ ve } b_i > 4.8\text{m} \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (9.27)}) \quad (10.19)$$

- $k_{i.q}$: Düzgün yayılı yük faktörüdür. Düşey yüklemenin bir fonksiyonudur ve düşey yükleme olmadığında 1' dir:

$$k_{i.q} = 1 + (0.083q_i - 0.0008q_i^2) \left(\frac{2.4}{b_i}\right)^{0.4} \quad (\text{EC5, denklem (9.28)}) \quad (10.20)$$

q_i : Duvara etkileyen düşey yüke eşdeğer düzgün yayılı yük (kN/m). Kalıcı ve rüzgar etkisi ve birleşik kuvvetlerden kaynaklanan etkiler kullanılarak elde edilir. Birleşik kuvvetler, duvarın rijit olduğu varsayılarak düzgün yayılı yüke dönüştürülür. Bu durumda, Şekil 10.11.' de duvara etkileyen birleşik yük $F_{i.vert.Ed}$ için, eşdeğer düzgün yayılı yük q_i :

$$q_i = \frac{2aF_{i.vert.Ed}}{b_i^2} \quad (\text{EC5, denklem (9.31)}) \quad (10.21)$$

- k_s : Bağlantı elemanı aralık faktörü:

$$k_s = \frac{1}{0.86(s/s_0) + 0.57} \quad (\text{EC5, denklem (9.29)}) \quad (10.22)$$

s bağlantı elemanlarının levhaların çevresine olan aralıklarıdır ve s ve s₀ aynı birimlerdir. İzin verilen maksimum aralık çivi için 150 (mm) ve vidalar için 200 (mm)' dir.

- k_n: Kaplama malzemesi faktörüdür ve karşıt yüzlerde farklı malzemelerin kullanıldığı durumlarda, zayıf panelin mukavemetinin sadece %50' sinin kullanılmasına izin verilir.

- Bir tarafta kaplama için

$$k_n = 1 \quad (10.23a)$$

- Her iki tarafta kaplama için

$$k_n = \frac{F_{i.v.Rd.max} + 0.5F_{i.v.Rd.min}}{F_{i.v.Rd.max}} \quad (10.23b)$$

F_{i.v.Rd.max}: kuvvetli kaplamanın tasarım raf dayanımı

F_{i.v.Rd.min}: zayıf kaplamanın tasarım raf dayanımı

Şekil 10.11.' deki örnekte gösterilen duvar-yapı bağlantısının yatay kesme kuvveti F_{i.v.Ed}' nin, basınç kuvveti F_{i.c.Ed} ve çekme kuvveti F_{i.t.Ed}' yi tabana aktarabilmesi de gerekmektedir.

Duvardaki devrilme kuvvetleri:

$$F_{i.c.Ed} = F_{i.t.Ed} = \frac{F_{i.v.Ed} * h}{b_i} \quad (EC5, denklem (9.32)) \quad (10.24)$$

Duvarda birden fazla panel varsa, paneller duvardaki düşey kesme kuvvetini veya en az 2.5 kN/m' lik bir tasarım kuvvetini aktarabilmelidir. Şekil 10.11.' de gösterilen örnek için, a paneli ve b paneli arasında düşey kesme kuvveti F_{1.i.Ed} aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F_{1.i.Ed} = F_{i.t.Ed} - F_{2.i.q.Ed} + q_i * b_b \quad (10.25)$$

F_{1.i.Ed} ve F_{2.i.q.Ed} düşey yükleme nedeniyle köşe noktalarındaki reaksiyonlardır. Şekil 8.11.' de gösterilen düşey yükleme durumu için:

$$F_{1.i.q.Ed} = \frac{q_i b_i}{2} + \frac{F_{i.vert.Ed} * (b_i - a)}{b_i} \quad (10.26a)$$

$$F_{2.i.q.Ed} = \frac{q_i b_i}{2} + \frac{F_{i.vert.Ed} * a}{b_i} \quad (10.26b)$$

Duvardaki yanal yükleme, Şekil 10.11.' de gösterilene ters yönde olduğunda, devrilme kuvvetlerinin yönü tersine dönecektir. Bu durum için a paneli ve b paneli arasında düşey kesme kuvveti $F2_{i.Ed}$ aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F2_{i.Ed} = F_{i.t.Ed} + F2_{i.q.Ed} - q_i * b_b \quad (10.27)$$

Düşey kesme kuvveti tasarım koşulu aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F_{i.Ed} = \max(F1_{i.Ed}, F2_{i.Ed}, 2.5 * h) \text{ kN} \quad (10.28)$$

Duvar saplamaları, Bölüm 6' da verilen şartlara uygun olarak duvardaki eksenel kuvvetler için de tasarlanmalı ve yatay elemanları taşıdıkları durumlarda, liflere dik basınç gerilmeleri de Bölüm 5' te açıklandığı gibi doğrulanmalıdır.



11. METAL DÜBEL TİPİ BAĞLANTILARIN TASARIMI

Ahşap mühendisliğinde birleşimler, yapı tasarımında kritik rol oynar. Yapının mukavemeti bağlantıların mukavemeti ile belirlenecektir. Eleman boyutları kullanılan bağlayıcı tipinin sayısı ve fiziksel özellikleri ile saptanacaktır. Ahşap birleşimlerde kullanılan en yaygın 2 tür vardır:

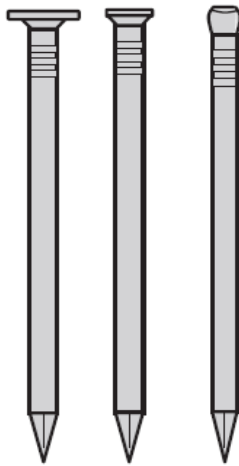
- Metal dübel tipi bağlantı elemanları: Yükün dübel hareketi ile aktarıldığı tiptir. Örneğin çiviler, vidalar, dübeller ve cıvatalar, zımbalar vb.
- Ezilme tipi bağlantı elemanları: Yükün öncelikle elemanın yüzeyine yakın ahşapta ezilme ile aktarıldığı tiptir. Örneğin delikli metal plaka, bölme halkası vb.

Bu bölümde, yanal yük ve/veya eksenel yük etkisindeki metal dübel tipi bağlantıların tasarımı dikkate alınır. Ezilme tipi bağlantılar Bölüm 12’ de, moment etkisi altındaki bağlantılar Bölüm 13’ te ele alınmaktadır.

11.1. Metal Dübel Tipi Bağlantı Elemanları

11.1.1. Çiviler

Çivileme, en yaygın kullanılan yöntemdir. Çiviler, genellikle sivri ve başlı olan düz ve ince bağlantı elemanlarıdır. En sık kullanılan tip düz çivi, parlak, pürüzsüz, çelik tel türüdür. Dairesel kesit alanına sahip olup, 600 N/mm^2 minimum çekme mukavemetine sahip telden imal edilirler. Çiviler, kullanılacakları duruma göre emaye, elektroliz, galvanizli veya polimer kaplı olabilirler.



(a) Düz yuvarlak



(b) Dairesel halkalı



(c) Helisel dişli

Şekil 11.1. Çivi türleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 373).

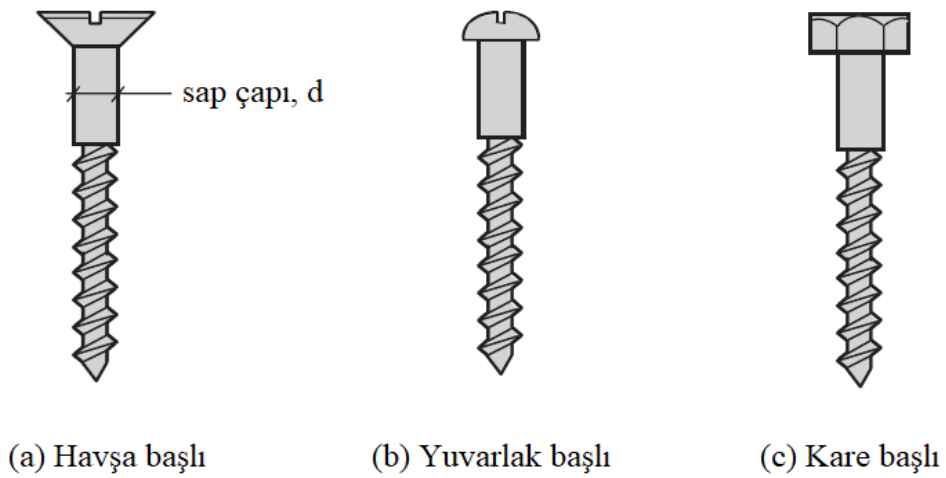
Çivili bağlantıların oluşturulması kolaydır. Duvarlarda, teraslarda, zeminlerde, çatılarda ve hafif yüklü yapılarda ince elemanların birleştirilmesinde kullanılırlar. Dairesel halkalı saplı veya helisel dişli saplı çivileri oluşturmak için çivi sapı mekanik olarak deforme edilerek çivinin yanıl yük ve çekme yükü altındaki performansı artırılabilir. Bu çiviler, aynı boyuttaki düz çivilerden daha yüksek çekme dayanımına sahiptirler. Çivi türleri Şekil 11.1.'de gösterilmiştir.

11.1.2. Vidalar

Ahşap vidalar, daha yüksek kapasiteler gerektiren uygulamalarda, özellikle daha büyük çekme kapasitesinin gerekli olduğu durumlarda çivi yerine kullanılır. Ahşap-ahşap birleşimleri için kullanılabilirler, ancak özellikle çelik-ahşap ve panel-ahşap birleşimleri için uygundur. Vidalar dövülerek uygulanmamalı her zaman ahşap içine dişli tarafından sabitlenmelidir. Yumuşak ahşap birleşimlerinde ve vidanın düz sap çapının 6 mm veya daha az olduğu durumlarda ön delme gerekmez. Sert ahşap birleşimlerde ve yumuşak ahşap bağlantılarının 6 mm' den büyük çaplı vidalar ile yapıldığı durumlarda vidalar için ön delme kullanılmalıdır. Ön delme durumunda aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır:

- Sap için önceden açılmış deliğin çapı sap çapına eşit, uzunluğu da sap uzunluğuna eşit olmalıdır.
- Vidanın dişli kısmı için önceden açılmış delik çapı, sap çapının yaklaşık %70' i olmalıdır.

En yaygın ahşap vida türleri, Şekil 11.2.'de gösterilen havşa başlı vida, yuvarlak başlı vida ve kare başlı vidadır.



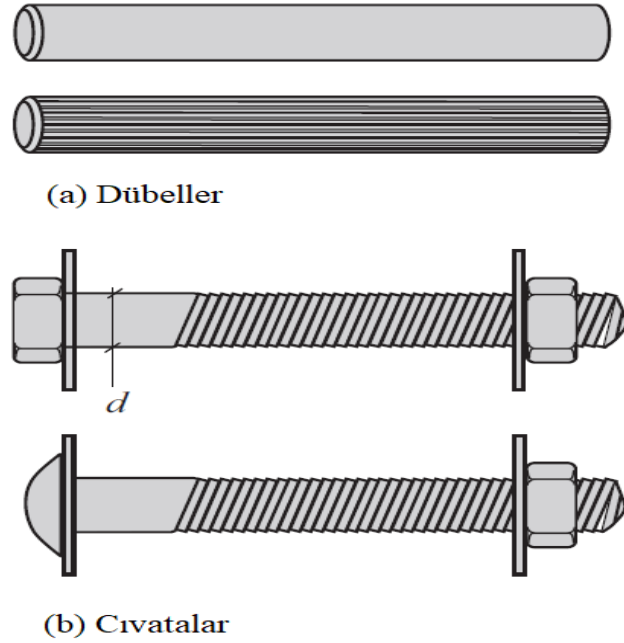
Şekil 11.2. Yaygın ahşap vida türleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 374).

11.1.3. Dübeller ve Cıvatalar

Dübeller çelikten yapılmış silindirik çubuklardır. Düz veya çizgili bir yüzeye sahiptirler ve 6 mm' den 30 mm' ye kadar çaplarda bulunurlar. Cıvatalar, altıgen veya yarı küresel başlı ve altıgen somunlu dişli dübellerdir ve çapları 30 mm' ye kadar olan boyutlarda değişir. Dübeller ve cıvatalar, çivi veya vidalara göre daha yüksek yanal yük taşıma kapasitesi gerektiren birleşimlerde kullanılırlar. Eksenel yüklü çekme birleşimlerde cıvatalar kullanılabilir, ancak dübeller kullanılamaz.

Dübeller ve cıvatalar 2 elemanlı bağlantılarda kullanılabilir, ancak en yaygın birleşim tipi çoklu kesme düzeninde 3 veya daha fazla elemanın olduğudur. İkincil elemanlar ahşap veya çelik olabilir. Cıvatalar kullanıldığında, yükleri dağıtmak için pullar gerekir. Dübellerin ve cıvataların tipik örnekleri, Şekil 11.3.' te gösterilmektedir.



Şekil 11.3. Tipik dübeller ve cıvatalar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 374).

Tablo 11.1. Yanal veya eksenel yükleme altındaki metal dübel tipi bağlantılar için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.

Tasarım veya yer değiştirme etkisi	EC5 sınır durumu
Yanal ve/veya eksenel yükleme mukavemeti	ULS
Yer değiştirme	SLS

Dübelli birleşimlerin imalatı kolaydır. Dübel çapından daha büyük olmayan bir çapa sahip önceden delinmiş deliklere sokulurlar. Cıvatalı birleşimlerde, ahşapta önceden açılan deliğin çapı, cıvata çapından 1 mm' den daha fazla olmamalıdır. Birleşimlerde çelik plakaların kullanıldığı durumlarda, plakadaki delik çapındaki tolerans (yani plakadaki önceden açılmış delik boyutu ile cıvata çapı arasındaki fark) bağlantının karakteristik mukavemetini etkileyecektir ve bu durum Bölüm 11.3.' te ele alınmıştır.

Metal dübel tipi bağlantı elemanları ile oluşturulan örnekler Şekil 11.4.' te gösterilmiştir.

11.2. Tasarım

Metal dübel tipi bağlantılara ait tasarım sınır durumları Tablo 11.1.' de verilmiştir. Mukavemet koşulları göçme durumlarıyla ilgilidir ve bu nedenle taşıma gücü sınır durumlarıdır, deplasman koşulları ise kullanılabilirlik sınır durumlarıdır. EC5' te bağlantılar için deplasman sınırı verilmez, ancak yapının bağlantılarındaki hareketin, yapının ani ve son yer değiştirmelerinin tespitinde dikkate alınması şarttır. Ayrıca, bağlantıdaki deplasmanın yapıdaki rijitlik dağılımını etkileyeceği durumlarda, ULS' de oluşan gerilme dağılımını belirleyebilmek için bu hareketin rijitlik özellikleri üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerekir.

11.3. Metal Dübel Tipi Bağlantı Elemanları Kullanılarak Oluşturulan Yanal Yüklü Bağlantılar İçin Göçme Teorisi ve Mukavemet Denklemleri

Yanal yük altında, metal dübel bağlantı elemanları kullanılarak oluşturulan bir birleşim gevrek veya sünek bir modda kırılabilir. Tasarım kuralları, kırılmanın gevrek değil sünek olmasını sağlamak için geliştirilmiştir.

Bağlantı elemanları için minimum aralıklar, kenar ve uç mesafeleri, yanal yük altında bağlantı bölünmesini önlemek içindir. Ayrıca, liflere göre açılı bir tasarım kuvveti altında, birleşimdeki herhangi bir elemanın bölünme kapasitesinin, liflere dik tasarım çekme kuvvetini aşması gerekir.

Dübelli birleşimlerde yük, dübelde eğilme ve kayma ile ahşapta kayma ve ezilme ile aktarılır. Dübelli birleşimlere ait sünek göçme teorisine göre, bağlantı elemanı ve ahşap, Şekil 11.5.' te gösterilen mukavemet-yer değiştirme ilişkilerine göre rijit plastik malzemeler olarak davranmalıdır.



(a) çivilenmiş tutma kayışı



(b) Çivii OSB köşebent eklemleri



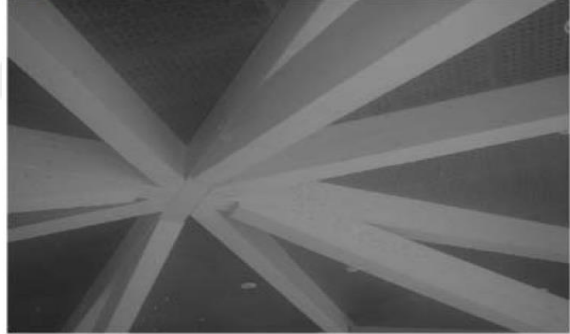
(c) cıvatalı ahşap-ahşap birleşim



(d) cıvatalı ahşap-ahşap ve cıvatalı çelik askı desteği



(e) kayma levhali cıvatalı bağlantı



(f) gömme dübelli kayma levhali birleşim



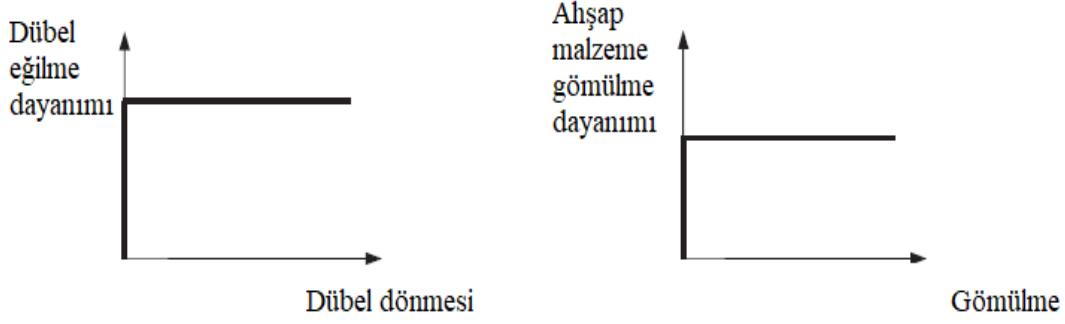
(g) Dübelli birleşim



(h) cıvatalı çelik-ahşap birleşim

Şekil 11.4. Metal dübel tipi bağlantı elemanları kullanılarak oluşturulan birleşim örnekleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 376).



Şekil 11.5. Dübel bağlantıları için kullanılan dayanım/gerilme ilişkileri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 377).

Bu varsayım, sünek göçme analizini oldukça kolaylaştırır. Johansen (1949), ahşap dübel tipi bağlantı elemanları için mukavemet denklemlerini türetmiştir. Olası göçme modları Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' te gösterilmiştir. İlgili bağlantı mukavemet denklemleri, geometriye, ahşabın gömülme ve eğilme mukavemetine bağlıdır. Ahşap-çelik birleşimlerde, çelik plakaların mukavemetinin de bağlantı mukavemetini aştığı gösterilmelidir.

Ahşap-çelik birleşimlerde çelik levha kalınlığı $0,5 \cdot d'$ ye eşit veya daha ince plaka olarak sınıflandırılırken, d' ye eşit veya daha büyük olduğunda ve dübel deliği için tolerans payı $0,1 \cdot d'$ den az olduğunda kalın plaka olarak sınıflandırılır. Mukavemet denklemleri, her bir plaka tipi için türetilmiştir.

Çift tesirli birleşimler için verilen denklemler sadece simetrik durum için geçerlidir. Simetrik olmayan birleşimler kullanılırsa, yeni denklemler geliştirilmeli veya yaklaşık çözümler kullanılmalıdır.

Bağlantılar, tek veya çift tesirli bağlantı elemanları ile oluşturulabilir ve her türden örnekler Şekil 11.6.' da gösterilmiştir. Tek tesirli bağlantıda, bağlantı elemanı başına bir kesme düzlemi vardır ve çift tesirli bağlantıda bağlantı elemanı başına iki kesme düzlemi vardır. Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' te verilen denklemlerin, kesme düzlemi başına bir bağlantı elemanının karakteristik yük taşıma kapasitesine işaret ettiğini belirtmek gerekir.

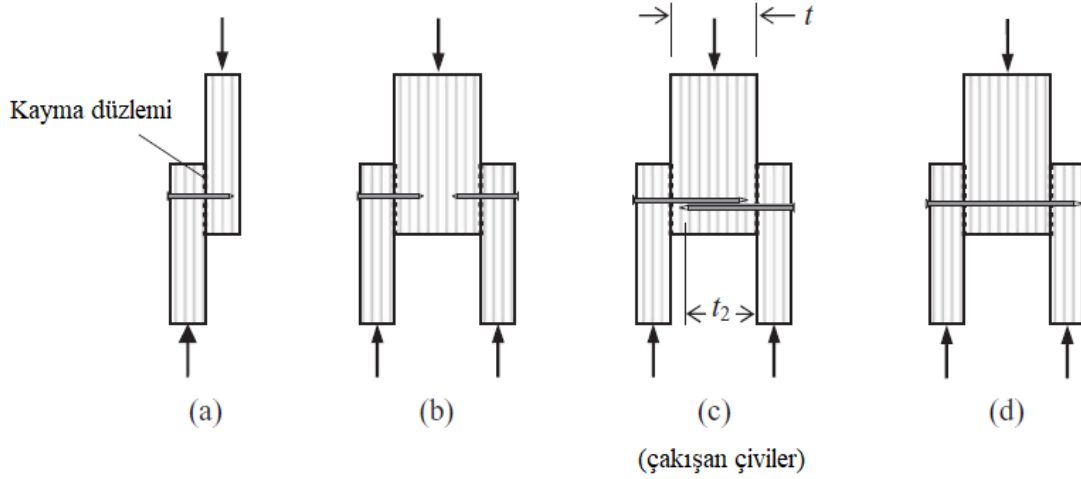
Tek tesirli bağlantılar için, bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına karakteristik yük taşıma kapasitesi $F_{v,Rk}$ Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' te verilen ilgili tek tesirli durumlar için minimum değer denklemi olacaktır. Sadece bir kesme düzlemi olduğundan, bu değer aynı zamanda bağlantıdaki bağlantı elemanı başına yük taşıma kapasitesine eşit olacaktır ve göçme modu, ilgili tabloda gösterildiği gibi minimum değer denklemiyle ilişkili mod olacaktır.

Tablo 11.2. Ahşap-ahşap ve ahşap-ahşap esaslı ürün birleşimleri için kesme düzlemi başına bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi.

Göçme modu	Şekil	Karakteristik yük
Tek tesirli birleşim		
(a) modu		$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} * t_1 * d$
(b) modu		$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} * t_2 * d$
(c) modu		$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(d) modu		$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * t_1^2 * d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(e) modu		$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} * t_2 * d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * t_2^2 * d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(f) modu		$F_{v,Rk} = 1.15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
Çift tesirli birleşim		
(g) modu		$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} * t_1 * d$
(h) modu		$F_{v,Rk} = 0.5f_{h,2,k} * t_2 * d$
(j) modu		$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} * t_1 * d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * t_1^2 * d}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(k) modu		$F_{v,Rk} = 1.15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$

Tablo 11.3. Çelik-ağşap bağlantılar için kesme düzlemi başına bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi.

Göçme modu	Şekil	Karakteristik yük
Tek tesirli birleşimler		
(a) modu	 (a)	$F_{v,Rk} = 0.4f_{h,k} * t_1 * d$
(b) modu	 (b)	$F_{v,Rk} = 1.15 * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(c) modu	 (c)	$F_{v,Rk} = f_{h,k} * t_1 * d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,k} * t_1^2 * d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(d) modu	 (d)	$F_{v,Rk} = 2.3\sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(e) modu	 (e)	$F_{v,Rk} = f_{h,k} * t_1 * d$
Çift tesirli birleşimler		
(f) modu	 (f)	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} * t_1 * d$
(g) modu	 (g)	$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} * t_1 * d \left[\sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * t_1^2 * d}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(h) modu	 (h)	$F_{v,Rk} = 2.3\sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(j/l) modu	 (j/l)	$F_{v,Rk} = 0.5f_{h,2,k} * t_2 * d$
(k) modu	 (k)	$F_{v,Rk} = 1.15 * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$
(m) modu	 (m)	$F_{v,Rk} = 2.3\sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,2,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$



(a), (b) ve (c)' de gösterilen birleşimler tek tesirli birleşimlerdir.

Çiviler kullanıldığında, (c)' de gösterildiği gibi çakışma durumu olabilir ki bu durumda $(t - t_2) > 4 * \text{çivi çapı}$ şartı sağlanmalıdır.

(d)' de gösterilen birleşim çift tesirli birleşimdir.

Şekil 11.6. Tek ve çift tesirli yanal yüklü metal dübel tipi bağlantı elemanları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 382).

Çift tesirli simetrik bağlantılar için, bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına karakteristik yük taşıma kapasitesi $F_{v,Rk}$ Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' te verilen ilgili çift tesirli durumlar için minimum değer denklemi olacak ve göçme modu bu denklemle ilişkili mod olacaktır. Bununla birlikte, bağlantı elemanı başına iki kesme düzlemi olduğundan, bağlantı elemanı başına karakteristik yük taşıma kapasitesi:

$$\text{Çift makaslı bir bağlantı elemanının karakteristik yük taşıma kapasitesi} = 2 * F_{v,Rk} \quad (11.1)$$

Mukavemet denklemlerinde d dübel çapı, $M_{y,Rk}$ bağlantı elemanı karakteristik akma momenti ve $f_{h,i,k}$ karakteristik gömülme mukavemetidir.

11.3.1. Dübel Çapı

Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' teki denklemlerde dübel çapı için kullanılacak değer, kullanılan bağlantı elemanının türüne bağlıdır ve Tablo 11.4' te farklı tipler için verilir.

Tablo 11.4. Bağlantı elemanı çapı için EC5 gereklilikleri.

Bağlantı elemanı	d (mm)
Çiviler	
- Düzgün yuvarlak çiviler (EC5, 8.3.1.1 (4))	EN 14592’ de tanımlanan çivi çapı
- Kare ve yivli çiviler (EC5, 8.3.1.1(3))	Yan boyut
Zimbalar	
- Yuvarlak ayaklı (EC5, 8.4(1))	Bacak çapı
- Dikdörtgen kesitli (EC5, 8.4 (2))	Her iki boyutun çarpımının karekökü
Cıvatalar (EC5, 8.5.1.1 (2))	Cıvata çapı
Dübeller (EC5, 8.6 (1))	Dübel çapı
Vidalar (EC5, 8.7.1)	
- Genel	Vida çapı (sap / dış dişli çap)
- Vidanın akma momentini belirlerken, vidanın dişli kısmı nedeniyle azaltılmış eğilme mukavemeti, aşağıdaki gibi etkili bir çap kullanılarak dikkate alınır:	
(a) Pürüzsüz şaft vidaları-dış dişli çapın (d), şaft çapına eşit olduğu ve düz şaftın uç elemana en az 4d nüfuz ettiği durumlarda:	Etkili çap d_{ef} , sap çapı d’ dir.
(b) (a)’ daki koşulların karşılanmadığı durumlarda:	Etkili çap d_{ef} , dişli kök çapının 1.1 katıdır.

11.3.2. Bağlantı elemanı karakteristik akma momenti ($M_{y,Rk}$)

Johansen’ in orijinal denklemlerinde akma momenti, bağlantı elemanının elastik sınırındaki moment olarak kabul edilir ve akma mukavemeti ile bağlantı elemanının elastisite modülünün çarpımından türetilmiştir. Bu, daha düşük bir bağlantı kuvveti değeri vermiştir ve daha sonra diğer araştırmacılar tarafından elasto-plastik kuvvet kullanılmıştır. Bağlantı elemanının çekme mukavemeti için şekil değişikliği, malzeme mukavemetindeki değişim ve göçme durumunda dönme miktarı da dikkate alınır.

Metal bağlantı elemanlarının farklı tipleri için karakteristik akma momenti $M_{y,Rk}$ Tablo 11.5.’ te özetlenmiştir.

Tablo 11. 5. $M_{y,Rk}$ için EC5 denklemleri.

Bağlantı elemanı	$M_{y,Rk}$ (Nmm)
Çiviler	
- Düzgün yuvarlak çiviler	$0.3f_u d^{2.6}$
- Kare çiviler	$0.45f_u d^{2.6}$
Zimbalar	$240d^{2.6}$
Cıvatalar	$0.3f_{u,k} d^{2.6}$
Dübeller	Cıvatalarda olduğu gibi
Vidalar (EC5, 8.7.1)	
- Düz şaft çapı $d \leq 6$ mm olan düz şaftlı vidalar	Çivilerde olduğu gibi
- Düz şaft çapı $d > 6$ mm olan düz şaftlı vidalar	Çivilerde olduğu gibi

d , çivi, cıvata, zimba veya dübelin çapıdır. Dikdörtgen kesitli zimbalar için d , bacak boyutlarının çarpımının kareköküdür ve vidalar için d , Tablo 11.3.' te belirtilen etkili çaptır.

f_u , çivi telinin (veya vidanın) çekme mukavemetidir.

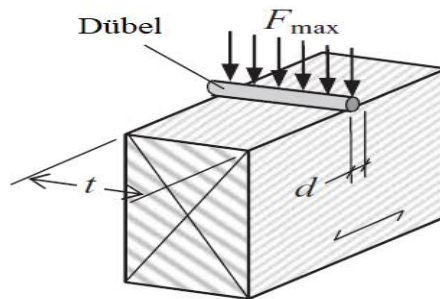
$f_{u,k}$, cıvatanın (veya vidanın) karakteristik çekme mukavemetidir.

11.3.3. Karakteristik gömülme mukavemeti (f_h)

Ahşabın gömülme mukavemeti f_h , yük altında düz dübel etkisi ile ahşabın ortalama basınç dayanımıdır (Şekil 11.7.). Çapı d , kalınlığı t olan, maksimum F_{max} yükü altında gömülme mukavemeti şu şekilde tanımlanır:

$$f_h = \frac{F_{max}}{d \cdot t} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (11.2)$$

Gömülme, dübelin ahşabı bastırdığı mesafedir. Gömülme mukavemeti malzeme özelliği değildir. Kullanılan bağlantı elemanı türü de dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı bir sistem özelliğidir. Metal dübel bağlantı elemanlarının farklı türleri kullanıldığında EC5' te verilen ahşap gömülme mukavemeti $f_{h,k}$ için elde edilen değer aşağıdaki alt bölümlerde özetlenmiştir.



Şekil 11.7. Ahşap malzemenin gömülme mukavemeti.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 384).

11.3.3.1. 8 mm' den küçük veya eşit çaplı çiviler kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti

Gömülme mukavemeti, kullanılan çivinin çapına, bağlantıda kullanılan malzeme türlerine ve ön delme işleminin olup olmadığına bağlı olarak değişir. Tasarımda ortaya çıkan olası varyasyonlar için gömülme mukavemetleri Tablo 11.6.' da verilmiştir.

11.3.3.2. Zımba kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti

Gömülme mukavemeti, çiviler için Tablo 11.6.' da verilen ifadeler kullanılarak türetilir. Zımba dikdörtgen ise d çapı, bacak uzunluğunun karekökü olarak alınmalıdır.

Tablo 11. 6. Çiviler kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti.

Durum	$f_{h,k}$ (N/mm ²)
8 mm çapa kadar çivilerin kullanıldığı ahşap ve LVL bağlantıları için; - Ön delmesiz - Ön delmeli	$f_{h,k} = 0.082\rho_k d^{-0.3}$ $f_{h,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k$
8 mm' den büyük çaplı çivilerin kullanıldığı ahşap ve LVL bağlantıları için	Cıvatalar için verilen ifadeler geçerli olacaktır
En az 2d kafa çapına sahip çivili panel-ahşap bağlantılarda panel malzemesi; - Kotrplak - Sunta - Yonga levha veya OSB	$f_{h,k} = 0.11\rho_k d^{-0.3}$ $f_{h,k} = 30d^{-0.3}t^{0.6}$ $f_{h,k} = 65d^{-0.7}t^{0.1}$

d: çivi çapı, t: panel kalınlığı

ρ_k : Ahşap, LVL veya panel malzemesinin karakteristik yoğunluğu

11.3.3.3. Cıvatalar, 8 mm' den büyük çaplı çiviler ve dübeller kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti

Ahşap-ahşap veya ahşap-LVL kullanıldığında, cıvataların, 8 mm' den büyük çaplı çivilerin ve dübellerin gömülme mukavemeti, uygulanan yükün liflere göre yönüne bağlıdır. Bu tür bağlantı elemanları için gömülme mukavemeti, 6.2.2.' ye göre belirlenir.

Şekil 11.8.' de gösterildiği gibi bağlantı elemanı liflere göre α açısıyla yüklendiğinde, karakteristik gömülme mukavemetini belirlemek için Hankinson (1921) denkleminin uygulanması ile:

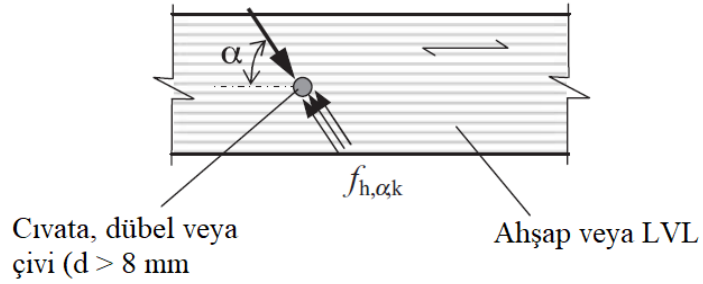
$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k} * f_{h,90,k}}{f_{h,0,k} * \sin^2 \alpha + f_{h,90,k} * \cos^2 \alpha} \quad (11.3)$$

$f_{h,\alpha,k}$: Liflere α açısında karakteristik gömülme mukavemeti

$f_{h,0,k}$: Liflere paralel karakteristik gömülme mukavemeti

$f_{h,90,k}$: Liflere dik karakteristik gömülme mukavemeti

Bağlantı elemanı üzerindeki göçme yükü, F_k



Şekil 11.8. Liflere göre α açısında yüklenmiş bir cıvata, dübel veya 8 mm'den büyük çaplı çivinin gömülme mukavemeti.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 385).

Tablo 11.7. Cıvatalar, çapı 8 mm' den büyük çiviler veya dübeller kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti.

Durum	$f_{h,k}$ (N/mm ²)
Ahşap ve LVL için; - Liflere paralel yükleme - Liflere göre α açısında yükleme	$f_{h,0,k} = 0.082(1 - 0.01d)\rho_k$ $f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$
Panel malzemesinin kontrplak olduğu ve yüzey lifine göre herhangi bir açıda yüklenen ahşap-panel için, panel malzemesindeki karakteristik gömülme mukavemeti	$f_{h,\alpha,k} = f_{h,k} = 0.11(1 - 0.01d)\rho_k$
Panel malzemesinin yonga levha veya OSB olduğu ve yüzey lifine göre herhangi bir açıda yüklenen ahşap-panel için, panel malzemesindeki karakteristik gömülme mukavemeti	$f_{h,\alpha,k} = f_{h,k} = 50d^{-0.6}t^{0.2}$

d: Bağlantı elemanı çapı

ρ_k : Karakteristik yoğunluk

t: Panel kalınlığı

α : Bağlantı elemanındaki yükün liflere göre açısı

$$k_{90} = \begin{cases} \text{yumuşak ahşap için;} & (1.35 + 0.015d) \\ \text{LVL için;} & (1.3 + 0.015d) \\ \text{sert ahşap için} & (0.9 + 0.015d) \end{cases}$$

EC5’ te, yukarıdaki denklem şu şekilde azaltılır:

$$f_{h.\alpha.k} = \frac{f_{h.0.k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (\text{EC5, denklem (8.31)}) \quad (11.4)$$

$k_{90} = f_{h.0.k}/f_{h.90.k}$ ‘dır ve yumuşak ahşap, LVL ve sert ahşap için değerler Tablo 11.7.’ de verilmiştir.

Cıvatalı panel-ahşap bağlantıları için, panel malzemesindeki gömülme mukavemeti, k_{90} faktörünü 1’ e eşitleyen tüm yük açıları için aynıdır ve (11.34) denklemi panel malzemesinin gömülme mukavemetini basitleştirir.

Ahşap, LVL ve panel bağlantılarında 30 mm çapa kadar cıvatalar, 8 mm çapından büyük çiviler ve 6-30 mm çaplı dübelller için karakteristik gömülme mukavemeti Tablo 11.7.’ de verilmiştir.

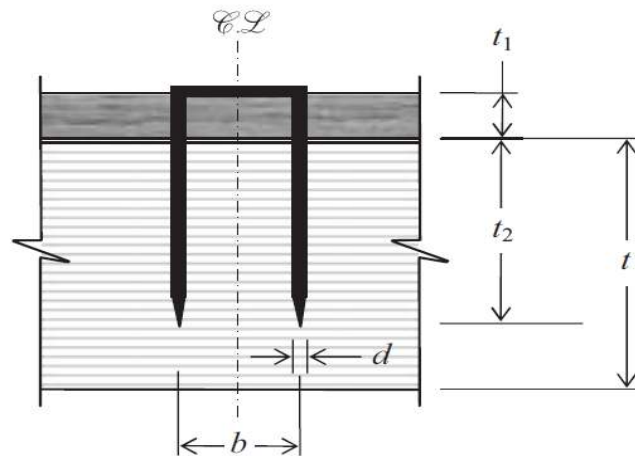
11.3.3.4. Vidalar kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti

Vidalar kullanıldığında karakteristik gömülme mukavemeti:

- çap ≤ 6 mm olan düz saplı vidaları için çivilerde olduğu gibidir
- çap > 6 mm olan düz saplı vidalar için cıvatalarda olduğu gibidir

11.3.4. Eleman kalınlığı t_1 ve t_2

Bağlantıda elemanlar Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.’ te gösterildiği gibi eleman 1 ve eleman 2 olarak sınıflandırılır ve aşağıdaki alt bölümlerde tanımlanır.



Şekil 11.9. Zimba boyutları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 387).

11.3.4.1. Çivili bağlantıda t_1 ve t_2

t_1 :

- tek tesirli birleşimde çivi başı yan malzeme kalınlığı
- çift tesirli birleşimde minimum çivi başı yan malzeme kalınlığı ve çivi penetrasyonu

t_2 :

- tek tesirli birleşimde dış penetrasyonu
- çift tesirli birleşimde merkezi eleman kalınlığı

Çivi baş malzemesi kalınlığı, çivi başlığını içeren parçanın kalınlığı ve çivi nokta kalınlığı, çivinin sivri ucunun bir elemana nüfuz ettiği mesafedir.

11.3.4.2. Zımbalı bağlantıda t_1 ve t_2

t_1 ve t_2 Şekil 11.9.' da gösterildiği gibidir.

11.3.4.3. Cıvatalı bağlantıda t_1 ve t_2

t_1 , bağlantı tek tesirli veya çift tesirli olduğunda cıvata başı yan eleman kalınlığıdır (bağlantının simetrik olduğu varsayılarak).

t_2 , bağlantı tek tesirli olduğunda cıvata dişli uç eleman kalınlığıdır ve bağlantı çift tesirli olduğunda merkezi eleman kalınlığıdır.

11.3.4.4. Dübelli bağlantıda t_1 ve t_2

t_1 :

- tek tesirli birleşimde eleman 1' in dübel uzunluğu
- çift tesirli birleşimde dış elemanlardaki minimum dübel uzunluğu

t_2 :

- tek tesirli birleşimde eleman 2' nin dübel uzunluğu
- çift tesirli birleşimde merkezi eleman kalınlığı

11.3.4.5. Vidalı bağlantıda t_1 ve t_2

Çivi için verilen tanımlar uygulanacaktır.

11.3.5. Sürtünme etkileri ve bağlantı elemanının aksel çekilmesi

Tek veya çift tesirli bağlantılarda her bir göçme modu için temel Johansen akma denklemi, statik analiz ile veya çelik yapıların plastik analizinde yaygın olarak kullanılan virtüel iş yaklaşımı ile elde edilebilir. Denklemleri basitleştirmek için, bağlantıdaki eleman 2' nin karakteristik gömülme mukavemeti $f_{h.2.k}$ ' nin eleman 1' in karakteristik gömülme mukavemeti $f_{h.1.k}$ ' ye oranı kullanılır:

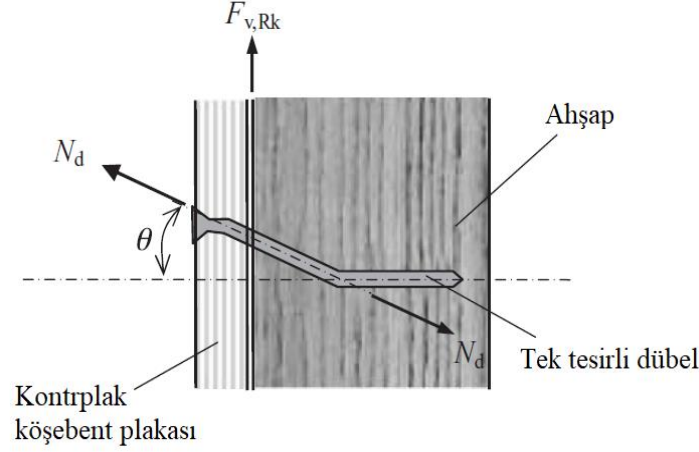
$$\beta = \frac{f_{h.2.k}}{f_{h.1.k}} \quad (\text{EC5, denklem (8.8)}) \quad (11.5)$$

Bu denklemlerin türetilmesinde, bağlantı elemanlarının geri çekilme dayanımının yanı sıra bağlantının elemanları arasındaki sürtünme kuvvetleri göz ardı edilir. EC5' te Johansen akma denklemleri mukavemet denklemlerinin temelini oluşturur, ancak bağlantı elemanının elde edilmesini içeren göçme modları için denklemler sürtünme ve çekilme etkilerini içerecek şekilde modifiye edilmiştir.

Bir bağlantıda ortaya çıkabilecek 2 tür sürtünme etkisi vardır. Biri elemanlar montajda temas halinde ise, diğeri ise bağlantı elemanları yanal yük altında deforme olup akma suretiyle çekilmeye maruz kaldığında ortaya çıkar. İlk sürtünme tipi, rötre durumunda ortadan kaldırılacak ve bu nedenle EC5 mukavemet denklemlerine dahil edilmeyecektir. İkinci tip sürtünme, göçme modlarında her zaman ortaya çıkacaktır ve bu durum, EC5 denklemlerine dahil edilmiştir.

Örneğin, Şekil 11.10.' da verilen dübel kullanılarak oluşturulan bağlantıda yanal kesme kuvveti altında, bağlantı elemanının köşebent plakasında ve ahşap elemanda θ açısı kadar döner ve köşebent plakası ile ahşap arasındaki sürtünme katsayısının μ olur. Bağlantı elemanı eğilme etkisinin yanı sıra, geri çekilme etkisi nedeniyle bir N_d çekme kuvvetine maruz kalacaktır. N_d kuvveti yatay bileşen $N_d \cos \theta$ ve düşey bileşen $N_d \sin \theta$ ' ya sahiptir. Bağlantı elemanındaki $F_{v.Rk}$ kuvveti bağlantıdaki düşey kuvvetlerin toplamına eşit olacaktır:

$$F_{v.Rk} = N_d(\sin \theta + \mu \cos \theta) + \text{birleşim için Johansen akma yükü } (F_{y.Rk}) \quad (11.6)$$



Şekil 11.10. Göçme durumunda tek tesirli dübel tipi bağlantı elemanlı birleşim.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 389).

Göçme durumunda, N_d bağlantı elemanının geri çekilme kapasitesi olacak ve EC5' te $N_d \sin \theta$ bileşeni $F_{ax,Rk}/4$ olarak alınacaktır. $F_{ax,Rk}/4$ bağlantı elemanının karakteristik geri çekilme kapasitesidir. $N_d \mu \cos \theta$ bileşeni, Johansen akma yükü olan $F_{y,k}$ yüzdesine eşittir. Bu etkileri dikkate alarak, EC5' te bağlantı elemanının karakteristik yanal yük taşıma kapasitesi $F_{v,Rk}$ aşağıdaki biçimde yazılmıştır:

$$F_{v,Rk} = \text{sürtünme faktörü} * \text{Johansen akma yükü} + (\text{geri çekilme kapasitesi}/4) \quad (11.7)$$

EC5' te sürtünme faktörü için kullanılan değerler, bağlantı elemanının kısmi akmaları için (Tablo 11.2. (d) ve (e) modları) %5' tir ve bağlantı elemanının tam akmaları için (Tablo 11.2. (f) modu) %15' tir. Bu faktörlerin kullanımı Tablo 11.2. (d)-(f), (j), (k) modlarına ait denklemlerde ve Tablo 11.3. (b)-(d), (h)-(m) modlarına ait denklemlerde görülebilir. Tablo 11.3.' teki (d), (h) ve (m) modlarına ait denklemlerde, sayısal katsayı, bu etki için 1,15 faktörünü içerir.

Johansen akma yükü ile bir bağlantıdaki birleşik çekilme ve sürtünme kuvvetleri arasında ayırım yapmak için, ikincisi yaygın olarak halat etkisi kuvvetleri olarak adlandırılır, bununla birlikte EC5 bu etkinin katkısını $F_{ax,Rk}/4$ olarak alır.

Geri çekilmeye karşı potansiyel olarak duyarlı olan bağlantı elemanları için, ahşapta izin verilen minimum penetrasyon aşağıdaki alt bölümlerde belirtilmiştir.

11.3.5.1. Çivi kullanıldığında minimum penetrasyon (EC5, 8.3.1.2 ve 8.3.2)

1. Düz çiviler: Minimum nokta kenarı penetrasyonu 8d' dir, ancak bu değerde çivinin nokta kenarı çekilme kapasitesi sıfır olarak alınır. Nokta kenarı penetrasyonunun en az 12d olduğu durumlarda, çekilme mukavemetinin tam karakteristik değeri kullanılabilir ve 8d ile 12d arasında çekilme mukavemeti $(t_{pen}/4d - 2)$ ile çarpılmalıdır.

2. Diğer çiviler: Minimum nokta kenarı penetrasyonu 6d' dir ve bu değerde çivinin nokta tarafı çekilme kapasitesi sıfır alınır. Bu çivilerde nokta penetrasyonu en az 8d olduğunda, geri çekilme mukavemetinin tam karakteristik değeri kullanılabilir ve 6d ile 8d arasında geri çekme mukavemeti, $(t_{pen}/2d - 3)$ ile çarpılmalıdır.

3. Uç lifteki çiviler: EC5 8.3.1.2 (4)' de verilen özel kurallar geçerlidir.

11.3.5.2. Zimba kullanıldığında minimum penetrasyon (EC5, 8.4 (3))

1. Minimum nokta kenarı penetrasyonu 14*zimba çapıdır.

11.3.5.3. Vidaların minimum penetrasyonu (EC5, 8.7.2 (3))

1. Vidanın dişli kısmının minimum kenar penetrasyon uzunluğu, dişli kısım üzerinde ölçülen vidanın dış çapının 6 katı olmalıdır.

EC5, 8.2.2 (2)' de, $F_{ax,Rk}/4$ değeri için bir üst limit de belirlenmiştir. Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' te verilen mukavemet denklemlerinin birinci teriminin yüzdesi şu şekildedir:

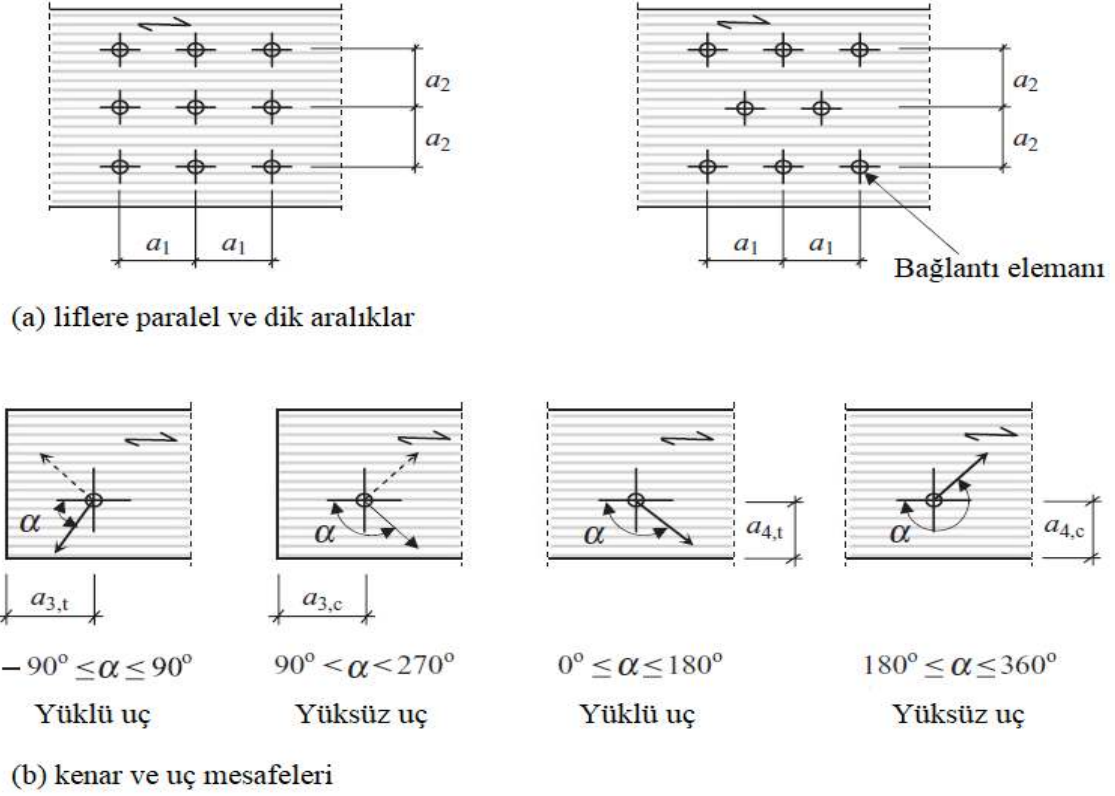
$$\text{yüzde} \leq \begin{cases} \%15, \text{ Yuvarlak çivi} \\ \%20, \text{ Kare çivi} \\ \%50, \text{ Diğer çiviler} \\ \%100, \text{ Vidalar} \\ \%25, \text{ Cıvatalar} \\ \%0, \text{ Dübeller} \end{cases}$$

Maksimum artış, vidalar içindir. Çiviler kullanıldığında tek tesirli bağlantılarında, $F_{ax,Rk}$, bağlantı elemanı baştarafı çekme mukavemeti ile nokta tarafı çekme mukavemetinin düşük olanı alınır. Cıvatalar için EC5 10.4.3' te tanımlanan rondelalar tarafından sağlanan katkı dikkate alınmalıdır.

11.3.6. Gevrek kırılma

Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' teki denklemler ahşabın erken bölünmesi (yarılması) durumunda geçerlidir ki bu durumda gevrek kırılma gerçekleşir. Bu tür kırılma riskini ortadan kaldırmak için, çivi, zimba, cıvata, dübel ve vida için minimum kenar, uç ve aralık kriterleri Tablo 11.8. ve Tablo 11.9.' da verilmiştir. Bu tablolarda belirtilen aralıklar ve uzunluklar

Şekil 11.11.' de gösterilmiştir. Ayrıca, çapı 6 mm' den büyük çiviler ve çapı 6 mm' den büyük düz vidalar kullanıldığında ahşap yarılmasını önlemek için ön delme kullanılmalıdır. Yoğunluğu büyük olan ahşapta ön delme yapılmalıdır.



Şekil 11.11. Bağlantı elemanı aralık ve mesafeleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 391).

Çivili ve/veya zımbalı birleşimler için boşluk, kenar ve uç mesafeleri için kurallar Tablo 11.8.' de özetlenmiş ve aşağıda verilmektedir.

EC5' teki ek şartlar:

(a) Yanal yüklü çivili bağlantılar

Aşağıdaki şartlarda, ahşapta ön delme yapılmalıdır;

- karakteristik yoğunluk $> 500 \text{ kg/m}^3$
- çivi çapı $> 8d$ (bu değer $6d$ olmalıdır).

Çivili ahşap-ahşap bağlantıları:

Ahşap elemanların kalınlığı aşağıda verilen t ' den küçük olduğunda, ön delme yapılmalıdır;

$$t = \max \left\{ \begin{array}{l} 7d \\ (13d - 30)\rho_k/400 \end{array} \right. \quad (\text{EC5, denklem (8.18)})$$

Tablo 11.8. Ahşap-ahşap bağlantılarda d çaplı çiviler ve zımbalar için minimum aralıklar, kenar ve uç mesafeleri.

Aralık ve α açısı	Minimum aralık			
	Çiviler			Zımbalar
	Ön delmesiz		Ön delmeli $d > 6 \text{ mm}$ $\rho_k > 500 \text{ kg/m}^3$	
	$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$		
Liflere paralel aralık a_1 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm} ; (5 + 5 \cos \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm} ; (5 + 7 \cos \alpha)d$	$(7 + 8 \cos \alpha)d$	$(4 + \cos \alpha)d$	$\theta \geq 30^\circ ; (10 + 5 \cos \alpha)d$ $\theta < 30^\circ ; (15 + 5 \cos \alpha)d$
Liflere dik aralık a_2 $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3 + \sin \alpha)d$	$15d$
Yüklü uç mesafesi $a_{3,t}$ $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha)d$	$(15 + 15 \cos \alpha)d$	$(7 + 5 \cos \alpha)d$	$(15 + 5 \cos \alpha)d$
Yüksüz uç mesafesi $a_{3,c}$ $-90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$	$15d$
Yüklü kenar mesafesi $a_{4,t}$ $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm} ; (5 + 2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm} ; (5 + 5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm} ; (7 + 2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm} ; (7 + 5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm} ; (3 + 2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm} ; (3 + 4 \sin \alpha)d$	$(15 + 5 \sin \alpha)d$
Yüksüz kenar mesafesi $a_{4,c}$ $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$	$10d$

α : Çivi kuvvetinin yönü ile lif arasındaki açı

Tablo 11.9. Ahşap-ahşap, panel-ahşap ve çelik-ahşap bağlantılarda cıvatalar ve dübeller için minimum aralıklar, kenar ve uç mesafeleri.

Aralık ve α açısı	Minimum aralık	
	Cıvata	Dübel
Liflere paralel aralık a_1 ; $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha)d$	$(3 + 2 \cos \alpha)d$
Liflere dik aralık a_2 ; $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4d$	$3d$
Yüklü uç mesafesi $a_{3,t}$; $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$
Yüksüz uç mesafesi $a_{3,c}$; $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max[(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d]$ $4d$ $\max[(1 + 6 \sin \alpha)d; 4d]$	$\max[(a_{3,t} \sin \alpha)d; 3d]$ $3d$ $\max[(a_{3,t} \sin \alpha)d; 3d]$
Yüklü kenar mesafesi $a_{4,t}$; $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d]$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha)d; 3d]$
Yüksüz kenar mesafesi $a_{4,c}$; $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$	$3d$

α : Çivi kuvvetinin yönü ile lif arasındaki açı

(b) Çivili panel-ahşap bağlantıları

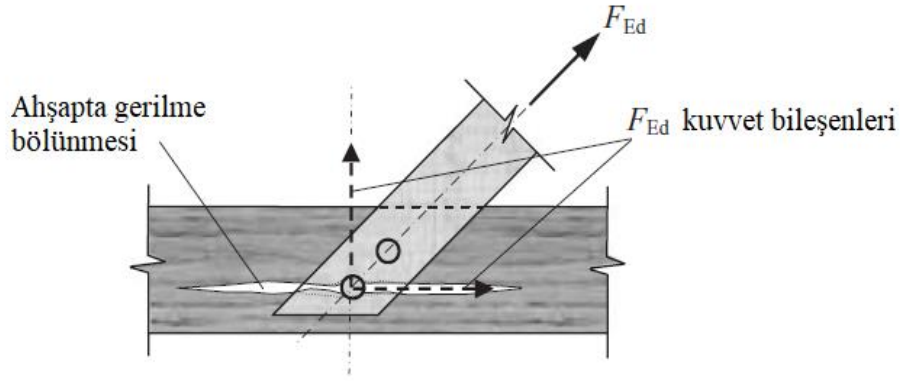
Çivili panel-ahşap bağlantıları için minimum çivi aralıkları, Tablo 11.8.' de 0.85 faktörü ile çarpılanlardır. Kontrplak elemanlardaki minimum kenar ve uç mesafeleri, yüksüz kenar için $3d$ ve yüklü kenar için $(3 + 4 \sin \alpha)d$ olmalıdır.

(c) Çivili çelik-ahşap bağlantıları

Minimum çivi aralıkları, Tablo 11.8.' de 0.7 faktörü ile çarpılanlardır. Minimum kenar ve uç mesafeleri değişmeden kalır.

Cıvatalı ve/veya dübelli birleşimler için aralık, kenar ve uç mesafeleri kuralları Tablo 11.9.' da özetlenmiştir. Vidalı birleşimler için boşluk, kenar ve uç mesafe kuralları aşağıdaki gibidir:

- Çapı 6 mm' den büyük olan düz vidalar için cıvata kuralları uygulanacaktır.
- Çapı 6 mm veya daha az olan düz vidalar için Tablo 11.8.' de verilen çivi kuralları uygulanacaktır.



Şekil 11.12. Liflere göre açılı çekme altında eleman yükü.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 394).

Yukarıdakilerde d çapı vidanın sap çapı olacaktır.

Çelik-ahşap bağlantısında ahşap elemanın ucuna yakın çoklu dübel tipi bağlantılar liflere paralel olarak yüklendiğinde, blok kayma nedeniyle gevrek kırılma riski vardır. Bu tür bir kırılmaya EC5 8.2.3(5)' te atıfta bulunulur. Söz konusu atıf yalnızca:

- liflere paralel bir sırada 6 mm' den küçük veya eşit çaplı 10 veya daha fazla metal dübel tipi bağlantı elemanı olan bağlantılar,
- liflere paralel bir sırada > 6 mm' den büyük çaplı 5 veya daha fazla metal dübel tipi bağlantı elemanı olan bağlantılar

için geçerlidir.

11.3.6.1. Liflere göre açılı bağlantı kuvvetleri nedeniyle gevrek kırılma

Bu gevrek kırılma şekli, bağlantı elemanlarının, Şekil 11.12' de gösterildiği gibi, liflere dik kuvvet bileşeninin neden olduğu yarıma olasılığıyla sonuçlanan, liflere göre açılı yük uyguladığında ortaya çıkabilir. Bu kırılma, bağlantı elemanlarının tasarım kapasitesinden daha az bir yükte ortaya çıkabilir.

EC5 kuvvet denklemi, doğrusal elastik kırılma mekaniğinin uygulanmasından geliştirilmiştir ve aşağıdaki şekilde ele alınmaktadır.

ULS için;

$$F_{v.Ed} \leq F_{90.Rd} \quad (11.8a)$$

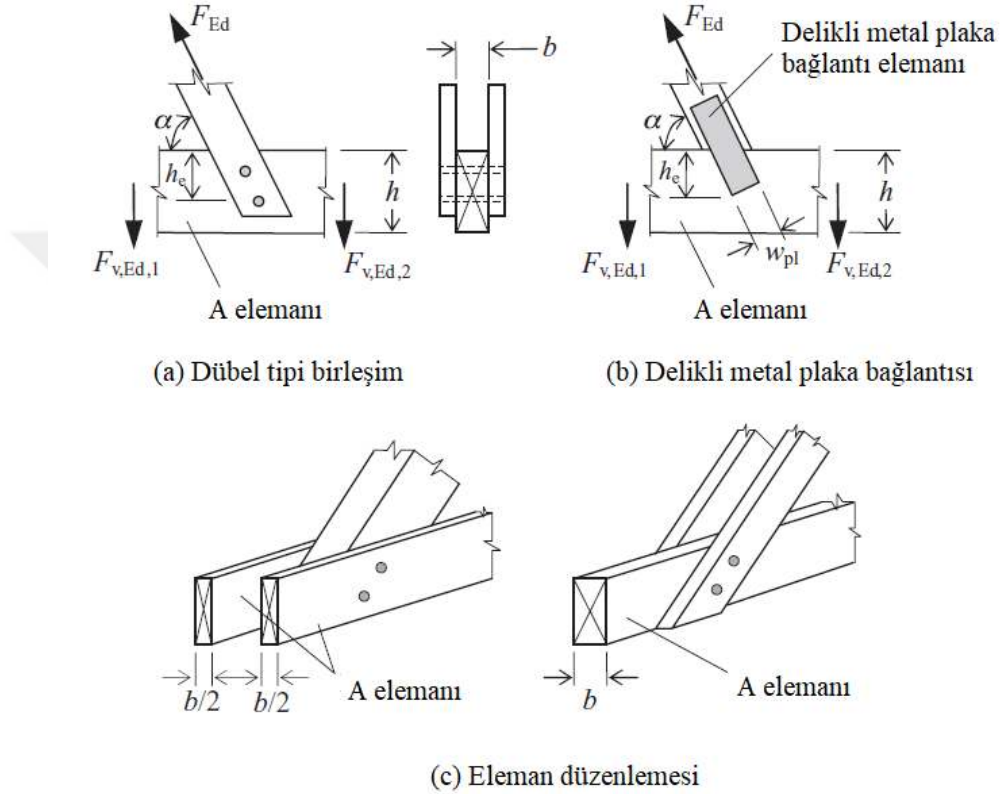
$$F_{v.Ed} = \max(F_{v.Ed.1}, F_{v.Ed.2}) \quad (11.8b)$$

- $F_{90.Rd}$: Tasarım yarıılma kapasitesidir;

$$F_{90.Rd} = k_{mod} \frac{F_{90.Rk}}{\gamma_M} \quad (11.8c)$$

$F_{90.Rk}$, yumuşak ağaç için aşağıda tanımlanmaktadır.

- $F_{v.Ed,1}$ ve $F_{v.Ed,2}$, Şekil 11.13.' te gösterildiği gibi bağlantının her iki tarafındaki tasarım kesme kuvvetleridir.



Şekil 11.13. Bir birleşime gelen açılı kuvvet.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 395).

Ahşap kafesler normalde yumuşak ahşaptan imal edilir. Doğrusal elastik kırılma yaklaşımına dayanarak Şekil 11.13.' te gösterilen yumuşak ahşapta A elemanlarının karakteristik yarıılma kapasitesi:

$$F_{90.Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{(1-(h_e/h))}} \quad (EC5, denklem (8.4)) \quad (11.8d)$$

Zımbalanmış metal plaka bağlantı elemanları için $w = \max\left(\left(w_{pl}/100\right)^{0.35}, 1\right)$ ve diğer tüm bağlantı elemanları için $w = 1$

$F_{90.Rk}$: Karakteristik yarıılma kapasitesi

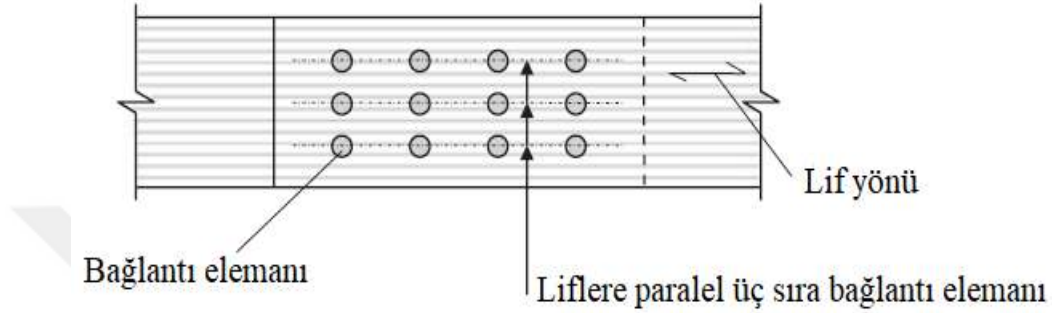
w: Değişiklik faktörü

h_e : En uzak birleşimden veya delikli metal plaka bağlantı elemanının kenarından yüklü kenara kadar olan mesafe

h: Yüksekliği

b: Kalınlık

w_{pl} : Zımbalanmış metal plaka bağlantı elemanının liflere paralel genişlik



Şekil 11.14. Bağlantı elemanı sıraları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 396).

11.4. Yanal Yük Altında Çoklu Dübel Bağlantı Elemanları

Şekil 11.14.' te gösterildiği gibi, lif yönüne paralel bir çizgi boyunca uzanan bağlantı elemanları, liflere paralel bir bağlantı elemanı sırası olarak adlandırılır.

Sırada sadece tek bir bağlantı elemanı olduğunda, kesme düzlemi başına sıranın tasarım dayanımı, kesme düzlemi başına bağlantı elemanının tasarım yanal yük taşıma kapasitesi olacaktır. Bu tür sıralar için, kesme düzlemi başına liflere paralel bağlantının tasarım dayanımı:

$$\text{Kesme düzlemi başına bağlantının tasarım yanal kapasitesi} = r * \text{Kesme düzlemi başına bağlantı elemanının tasarım yanal kapasitesi}$$

Liflere paralel sıra başına birden fazla bağlantı elemanı olduğunda, sıranın dayanımı, bağlantı elemanının rijitliğine ve bağlantı yapılan ana malzemenin dayanımına bağlıdır. Genel olarak bağlantı elemanı ne kadar rijitse, sıranın tasarım dayanımı o kadar büyüktür. Liflere, paralel bir dizi bağlantı elemanının etkili karakteristik yük taşıma kapasitesi:

$$F_{v.ef.Rk} = n_{ef} * F_{v.Rk} \quad (EC5, \text{denklem (8.1)}) \quad (11.9)$$

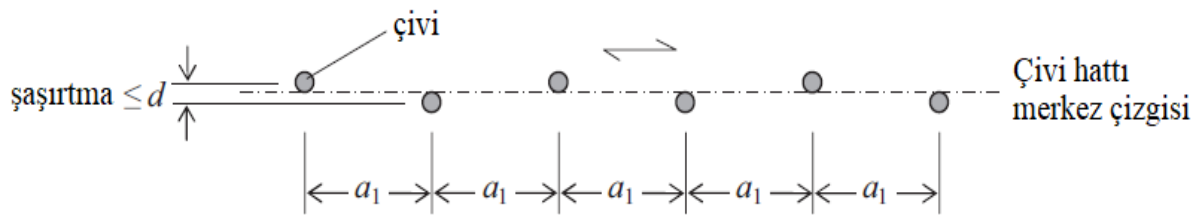
$F_{v.ef.Rk}$: Liflere paralel bir sıra bağlantı elemanının kesme düzlemi başına etkili karakteristik yanal yük taşıma kapasitesi

n_{ef} : Liflere paralel sırada kesme düzlemi başına etkili bağlantı elemanı sayısı

$F_{v,Rk}$: Kullanılan bağlantı elemanı tipinin kesme düzlemi başına karakteristik yanal yük taşıma kapasitesi.

11.4.1. Etkili bağlantı elemanı sayısı

Bir bağlantıdaki etkili bağlantı elemanı sayısı, bağlantı elemanının tipine ve liflere göre yükleme yönüne bağlıdır ve aşağıdaki alt bölümlerde ele alınmıştır.



(a) şaşırtmalı olarak ($\leq d$) yerleştirilen çivilerle oluşturulan çivi hattı

Şekil 11.15. Art arda çiviler (liflere paralel çivi aralığı için Tablo 11.8.' e bakınız).

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 397).

11.4.1.1. Çiviler

(a) Liflere paralel yüklemede: Şekil 11.15.' te gösterildiği gibi, çivilerin çivi çapındandaha az bir sırayla dizildiği durumlarda, hepsi sıranın bir parçasını oluşturacaklar ve eğer çivi çapından daha büyük bir mesafe ile kademeli hale getirilirse, 2 ayrı sıra oluşturulacaktır.

Bağlantıdaki liflere paralel yüklü bir sıradaki çiviler için:

- Tek veya çift tesirli birleşimde tekli çivi kullanırken:

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (\text{EC5, denklem (8.17)}) \quad (11.10)$$

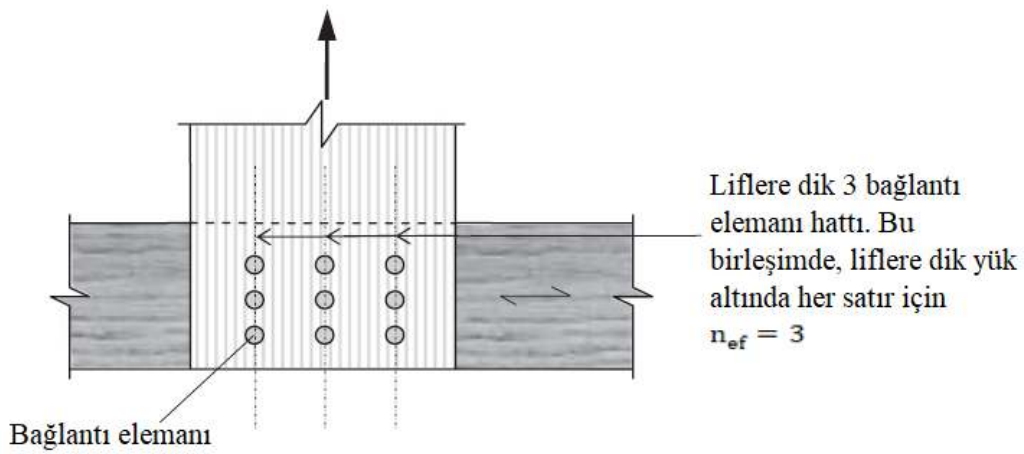
- Çakışan çivileri kullanırken:

$$n_{ef} = n_p^{k_{ef}} \quad (11.11)$$

- n_{ef} : Liflere paralel bir sıradaki çivilerin etkili sayısı
- n : Liflere paralel bir sıradaki çivilerin sayısı (tek çiviler için)
- n_p : Liflere paralel sıradaki çakışan çivilerin sayısı (çakışan çiviler iki çividen oluşur)
- k_{ef} : Çivi aralığına ve ön delmenin kullanılıp kullanılmadığı bağlı katsayı olup Tablo 11.10.' da verilmektedir.

Tablo 11.10. (11.43) ve (11.44) denklemlerindeki üstel k_{ef} değerleri.

Aralık	k_{ef}	
	Ön delmeli	Ön delmesiz
$a_1 = 14d$	1.0	1.0
$a_1 = 12d$	0.925	0.925
$a_1 = 10d$	0.85	0.85
$a_1 = 9d$	0.8	0.8
$a_1 = 8d$	0.75	0.75
$a_1 = 7d$	0.7	0.7
$a_1 = 4d$	0.5	-



Şekil 11.16. Liflere dik bağlantı elemanı hatları.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 398).

(b) Liflere dik yüklü: Şekil 11.16' da gösterildiği gibi, tek veya çift tesirli bağlantıda çiviler liflere dik yük altında, çivilerin her satırındaki etkili çivi sayısı n_{ef} , tek çivi kullanılıyorsa n çivi sayısına, çakışan çiviler kullanılıyorsa çakışan çivi sayısına eşit alınmalıdır. Bu şekilde yük altında bağlantı malzemesinin bölünme riski vardır. Bağlantı kapasitesi, çekme kuvvetine maruz elemanların bölünme kapasitesi ve bağlantı elemanlarının mukavemetinin toplamından elde edilen bağlantı mukavemetinden daha az olacaktır.

(c) Liflere göre açılı yük altında: Tek veya çift tesirli birleşimde çiviler liflere göre açılı yanal yük altında, kuvvet bileşenleri liflere paralel ve liflere dik elde edilmelidir:

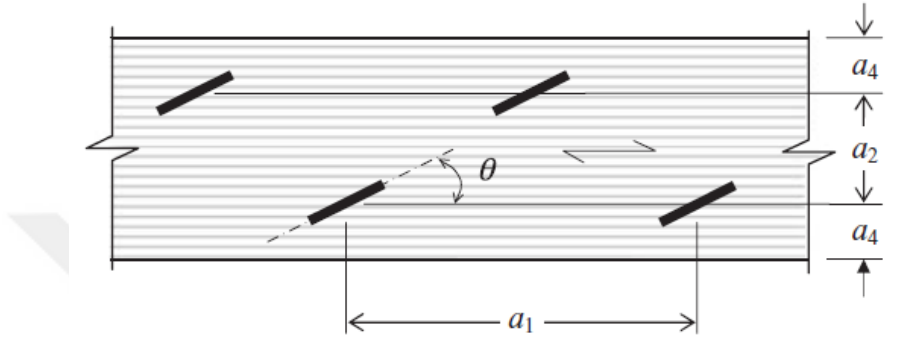
(i) Liflere paralel tasarım kuvvetinin bileşeni, bağlantıdaki sıra başına çivilerin etkili sayısının kullanımına dayanarak yük taşıma kapasitesini aşmamalıdır.

(ii) Liflere dik tasarım kuvvetinin bileşeni, yük taşıma kapasitesini aşmamalıdır.

11.4.1.2. Zimba

Zimba kullanımında n , liflere paralel sıradaki zimba sayısının 2 katına eşittir ve Şekil 11.17.' de gösterildiği gibi, zimba tepesi ile ahşabın lif yönü arasındaki θ açısı 30° dan büyük olduğunda, (11.43.) denklemi uygulanacaktır. Eğer θ açısı 30° dan küçük ise, yukarıdakiler tekrar uygulanacaktır ancak bu durumda yanal yük taşıma kapasitesi 0.7 ile çarpılmalıdır.

Bir sırada birden fazla zimba için n_{ef} değeri çivilerdeki gibi belirlenir.



Şekil 11.17. Zimba mesafeleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 399).

11.4.1.3. Cıvata ve dübeller

(a) Liflere göre paralel yük altında: Cıvata ve dübeller, çivi veya zimbalarından daha sert olduğundan, tek veya çift tesirli bağlantılar için, liflere paralel sıra kapasitesinde azalma daha azdır ve:

$$n_{ef} = \max \left(n, n^{0.9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \right) \quad (\text{EC5, denklem (8.34)}) \quad (11.12)$$

n_{ef} : Liflere paralel bir sırada cıvata veya dübel etkili sayısı

a_1 : Lif yönünde cıvata/dübel aralığı

d : Cıvata/dübel çapı

n : Sıradaki cıvata/dübel sayısı

(b) Liflere göre dik yük altında: Liflere dik yükleme için, tek veya çift tesirli bağlantıda azalma yoktur ve:

$$n_{ef} = n \quad (\text{EC5, denklem (8.35)}) \quad (11.13)$$

(c) Liflere göre açılı yük altında: Liflere paralel veya dik yük taşıma kapasitesi, çivilerle aynı şekilde belirlenecektir. $0 < \alpha < 90$ için, n_{ef} (11.45) ve (11.46) denklemleri arasında doğrusal enterpolasyon ile belirlenebilir.

11.4.1.4. Vidalar

Vidanın düz sap çapı 6 mm veya daha az olduğunda, çivi kuralları uygulanır ve 6 mm' den büyük olduğunda, cıvata kuralları uygulanır.

11.4.2. Bağlantılarda alternatif kuvvetler

Bağlantı uzun veya orta vadeli etkiler nedeniyle alternatif kuvvetlere maruz kalırsa, bağlantının karakteristik yük taşıma kapasitesi azaltılacaktır. Bu gibi durumlarda, bağlantıdaki tasarım kuvveti, çekme değeri $F_{t.Ed}$ ve basınç değeri $F_{c.Ed}$ arasında değişirse, bağlantı şu şekilde tasarlanmalıdır:

$$\text{Tasarım çekme kuvveti} = (F_{t.Ed} + 0.5F_{c.Ed}) \quad (11.14)$$

$$\text{Tasarım basınç kuvveti} = (0.5F_{t.Ed} + F_{c.Ed}) \quad (11.15)$$

11.5. Yanal Yüklü Metal Dübel Bağlantısının Tasarım Mukavemeti

Aşağıda verilen mukavemet denklemleri, bağlantı elemanlarının tasarım kesme mukavemetinin, tasarım kapasitesini her zaman aşacağını varsaymaktadır. Bağlantı elemanının kesme mukavemetinin gerekli olduğu durumlarda, EN 1993-1-1, Eurocode 3, Çelik yapıların tasarımı, binalar için genel kurallar kullanılabilir.

11.5.1. Liflere paralel yüklemede

Yanal yüklü tek bir bağlantı elemanı tasarım kuvveti $F_{v.Rd}$, yanal yüklü bağlantı elemanının karakteristik yük taşıma kapasitesinden aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_{v.Rd} = \frac{k_{mod} F_{v.Rk}}{\gamma_M} \quad (11.16)$$

- k_{mod} : Modifikasyon faktörüdür ve bağlantının $k_{mod.1}$ ve $k_{mod.2}$ olmak üzere iki ahşap eleman içerdiği durumda kullanılan değer $k_{mod} = \sqrt{k_{mod.1} * k_{mod.2}}$ olacaktır.
- γ_M : Bağlantılar için kısmi faktördür. Delikli metal plaka bağlantı elemanlarının plaka mukavemetini belirlerken, değeri 1.3 olacaktır.

- $F_{v,Rk}$: Yanal yük altında kesme düzlemi başına bağlantı elemanının karakteristik yük taşıma kapasitesidir, yani Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' te verilen ilgili denklemlerden belirlenen en düşük değerdir.

Liflere paralel yanal yük altında r_{pl} sıra bağlantı elemanı içeren bir bağlantıda, her bir sıra, kesme düzlemi başına tasarım mukavemeti $F_{v,Rd}$ olan, aynı boyutta n eşit aralıklı bağlantı elemanı içerdiğinde, liflere paralel etkili yanal yük tasarım kapasitesi $F_{v,ef,Rd}$:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{sp} * r_{pl} * n_{ef} * F_{v,Rd} \quad (11.17)$$

n_{ef} : Liflere paralel her sıradaki bağlantıda bağlantı elemanları etkili sayısı

n_{sp} : Bağlantıdaki kesme düzlemlerinin sayısı

11.5.2. Liflere dik yüklemede

Liflere dik yüklü bağlantı elemanları tarafından ahşapta yük oluştuğunda, 2 tip göçme olur:

- a) Çekme altında ahşap bölünmesi ile: Bu durum 11.3.6.1.' de ele alınmaktadır.
- b) Bağlantı elemanının sünek akması ile: Bu durumda aynı boyutta n bağlantı elemanları içeren r_{pr} satırları için:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{sp} * r_{pr} * n * F_{v,Rd} \quad (11.18)$$

- $F_{v,ef,Rd}$: Liflere dik ve yanal yük altında kesme düzlemi başına bağlantı elemanının etkili tasarım mukavemeti
- n_{sp} : Bağlantıdaki kesme düzlemlerinin sayısı
- n : Liflere dik her bir bağlantı elemanı sırasındaki bağlantı elemanı sayısıdır. Çakışan çiviler kullanılıyorsa, n (11.11) denkleminde tanımlandığı şekilde çakışan çivilerin sayısı olacaktır.
- $F_{v,Rd}$: Liflere dik yüklemede kesme düzlemi başına yanal yüklü tekil bağlantı elemanının tasarım yük taşıma kapasitesidir. 8 mm' den küçük ve eşit çaplı çiviler ve çapı 6 mm' den küçük ve eşit düz saplı vidaların kapasitesi, liflere paralel yüklü bağlantı elemanı için aynı olacaktır. Cıvata ve dübellerin yanı sıra ahşap veya LVL kullanıldığında çapı 6 mm' den büyük düz saplı vidalar ve çapı 8 mm' den büyük çiviler için Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' deki kuvvet denklemlerinden elde edilen kapasite, (11.4) denkleminin gerekliliklerini dikkate almak zorundadır ve bağlantıdaki ahşap veya LVL' nin karakteristik gömülme mukavemeti:

$$f_{h.90.k} = \frac{f_{h.o.k}}{k_{90}} \quad (\text{denklem (11.4)' te } \theta = 90 \text{ olduğunda}) \quad (11.19)$$

Yukarıdakilerden, liflere dik yüklü bir bağlantının tasarım yük taşıma kapasitesi:

$$\text{Bağlantı tasarım kapasitesi} = \min(F_{90.Rd}, F_{V.ef.Rd}) \quad (11.20)$$

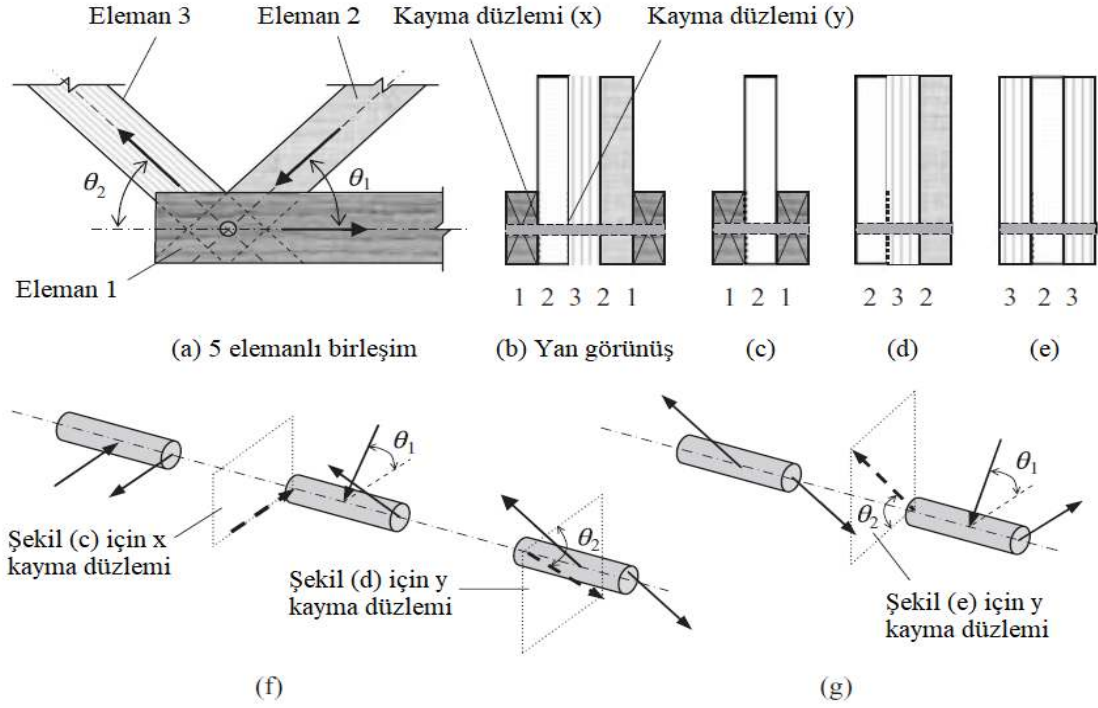
$F_{90.Rd}$: Ahşabın tasarım bölünme kapasitesidir ve yumuşak ağaç için (11.8c) denkleminden elde edilir.

11.6. Çoklu Kesme Düzlemi Bağlantıları

Bir bağlantının birden fazla kesme düzlemi içermesi ve bağlı elemanların birbirlerine göre farklı açılarda olması durumunda, Tablo 11.2. ve Tablo 11.3.' te verilen denklemler doğrudan uygulanamaz. Bu gibi durumlar için EC5' te verilen kurala göre, her bir kesme düzleminin dayanımının, bağlantıdaki kesme düzleminin bir dizi 3 elemanlı bağlantının bir parçasını oluşturduğu ve bağlantı mukavemetinin, birbiriyle uyumlu olan bu göçme modlarının mukavemet değerleri birleştirilerek elde edilir. Tablo 11.2 (a), (b), (g) ve (h) göçme modları veya Tablo 11.3 (e), (f) ve (j/l) modlarının diğer göçme modlarıyla birleştirilmemelidir.

Bu yaklaşımı kullanarak, çok düzlemlili bir bağlantıda her bir kesme düzleminin dayanımını değerlendirmek için bağlantının bir tarafından başlanarak bir dizi 3 elemanlı simetrik bağlantı oluşturulur. Böylece her bağlantının merkez elemanı asıl ortak elemandır ve dış elemanlar bitişik elemanlardır. Bitişik elemanların farklı özelliklere sahip olduğu durumlarda, bağlantının sağ tarafındaki eleman, simetriyi oluşturmak için sol taraftaki eleman ile değiştirilir. Kayma düzleminde iletilecek tasarım kuvvetinin değeri ve yönü, bağlantı elemanının rijit olduğu varsayılarak türetilir. Tasarım kuvvetinin yönünü bilerek, her bir kesme düzlemi için, göçme mukavemeti, Tablo 11.2.' de (veya 11.3.' te) verilen mukavemet denklemleri ile belirlenebilir. Sol taraftaki kesme düzlemi ile başlayan kesme düzlemi mukavemeti, en düşük değere sahip mod mukavemeti olacaktır ve kalan kesme düzlemlerinde uyumsuz ve kabul edilemez göçme modu kombinasyonlarını sildikten sonra, birleşim mukavemeti belirlenebilir. Her bir kesme düzleminin mukavemetinin ilişkili tasarım kuvvetine eşit veya daha büyük olduğu gösterilmelidir.

Örnek olarak Şekil 11.18a' da gösterilen şekilde etkiyen tasarım eksenel kuvvetler altında 5 elemanlı cıvata birleşiminde 1, 2 ve 3 elemanları farklı özelliklere sahiptir. Tasarım kuvvetinin değeri ve her bir kesme düzlemindeki yönü, Şekil 11.18 f-g' de gösterildiği gibi elde edilebilir.



Şekil 11.18. Çoklu kayma düzlemi birleşim yöntemi.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 402).

Birleşimin sol tarafından 3 elemanlı bağlantı oluşturulmuştur. 1 ve 2 elemanları arasındaki x kesme düzlemi göz önünde bulundurulsun. Şekil 11.18c' de gösterildiği gibi diğer tarafa eleman 1' i ekleyerek 3 elemanlı bir çift kesme bağlantısı oluşturulur. x kesme düzleminin mukavemeti hesaplanır. Böylece, bağlı her bir elemanın gömülme mukavemetinde, kesme düzlemi yükünün lif yönüne göre açısı da hesaba katılır. Örneğin, Şekil 11.18c' de eleman 1 liflere paralel ve eleman 2 liflere göre θ_1 açısıyla yüklenecektir.

2 ve 3 elemanları arasındaki kayma düzlemi y kabul edilir. Şekil 11.18d' de gösterildiği gibi, dış eleman olarak 2 kullanılarak eleman 3 etrafında 3 elemanlı simetrik bir birleşim oluşturulur ve diğer elemanlar göz ardı edilir. Bu durumda, birleşim simetrik olduğundan gerçek birleşim elemanlarının kullanılabileceğini unutulmamalıdır. Daha sonra kesme düzleminin dayanımı yukarıdaki gibi türetilir. Kayma düzlemi y için olası tüm göçme modlarını göz önüne almak için, Şekil 11.18e' de gösterildiği gibi her iki tarafta eleman 3 ile merkezi eleman olarak eleman 2' yi içeren çift tesirli bir bağlantı da önceki simülasyonlarda olduğu gibi analiz edilmelidir.

Göçme modlarının birleşim boyunca uyumluluğunu dikkate alarak, bu analizlerden, x kesme düzlemi ve y kesme düzleminin minimum mukavemeti belirlenecektir. Değerlendirilen

birleşim için gerekli şartlara ait bir örnek Tablo 11.11’ de gösterilmiştir. x kesme düzleminde minimum kuvvete sahip olan mod, (h) modudur. Dolayısıyla x kesme düzleminde x kayma dayanımı 4,5 kN olacaktır. (j) ve (k) modları, (h) moduyla uyumlu olmadığından, değerlendirilmeleri gerekmez (tablodaki parantez içindeki değerlere bakın) ve alternatif kesme düzlemin y’ deki (h) modu, en düşük değere sahip olduğundan y düzlemi kesme göçme modu olur.

Tablo 11.11. Bağlantıdaki kesme düzlemleri arasında göçme modlarının uyumluluğu.

Çift tesirli birleşimler için göçme modu	x kesme düzleminin yanal yük kapasitesi (kN)	y kesme düzleminin yanal yük kapasitesi (kN)	Alternatif kesme (y) düzleminin yanal yük kapasitesi (kN)
(g) modu	14.46	7.44	19.99
(h) modu	4.5	10	3.72
(j) modu	26.68	38.07	47.09
(k) modu	37.36	7.44	3.72

Yukarıdaki kontrole ek olarak, kesme düzlemindeki tasarım kuvveti, liflere göre açılı bir kuvvet bileşeni doğurursa, 11.3.6.1. gerekliliklerine uygun olarak kontrol edilmelidir.

11.7. Metal Dübel Bağlantı Sistemlerinin Eksenel Yüklenmesi

Aşağıdaki kuvvet denklemleri, bağlantı elemanlarının çekme mukavemetinin, çekilme kapasitesini aşacağını varsayar.

11.7.1. Eksenel yüklü çiviler

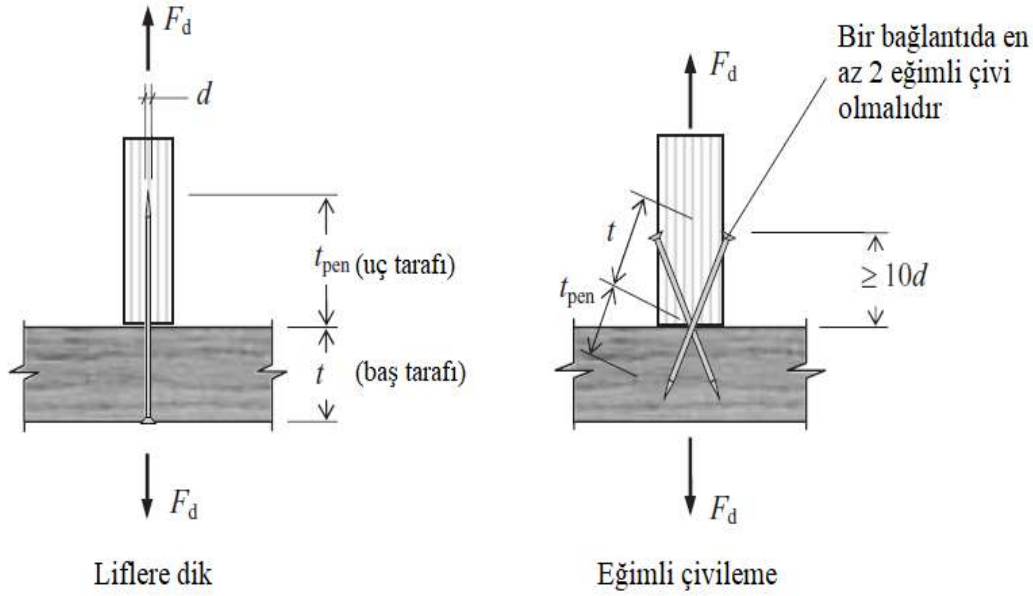
Eksenel yüklü çivilerin çekilme kapasitesi, kullanılan çivi türüne bağlıdır. Düz çiviler en düşük sonucu verir ve dişli çivilerde kapasite büyüktür. Bununla birlikte, tip ne olursa olsun, çiviler uç lifte eksenel yükü taşıyabilme yeteneğine sahip değildir.

Kalıcı veya uzun süreli yükleme içeren durumlarda eksenel yüklü düz çivilerin kullanılmasına izin vermez ve dişli çiviler kullanıldığında, sadece çivinin dişli kısmı çivi mukavemetini belirlemek için dikkate alınır.

Çivinin çekme kırılmasını göz ardı ederek, eksenel yük altında 2 olası göçme modu vardır:

- çivinin nokta çekilmesi
- çivi başının çekilmesi

Çiviler, liflere dik veya eğimli çakılabilir (Şekil 11.19.). Çiviler için, sadece çivinin dişli kısmı eksenel yükü iletebilir. Düz çivilerle, nokta penetrasyonuna karşı çekilme dayanımı olacak ve baştarafı dayanımı, hem baştarafı çekme mukavemetini hem de çivinin başındaki sap sürtünme direncini hesaba katar.



Şekil 11.19. Çekme gerilmesi altında çivileme.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 404).

Çivide F_d eksenel kuvvet altında, aşağıdaki koşul sağlanmalıdır:

$$F_d \leq F_{ax.Rd} \quad (11.21)$$

Çivi tasarım çekilme kapasitesi, karakteristik çekilme kapasitesi $F_{ax.Rk}$ ' dan aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_{ax.Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{ax.Rk}}{\gamma_M} \quad (11.22)$$

En 14592' de tanımlandığı gibi, düz çiviler dışındaki çiviler için:

$$F_{ax.Rk} = \min \left(\begin{matrix} f_{ax.k} d t_{pen} \\ f_{head.k} d_h^2 \end{matrix} \right) \quad (EC5, denklem (8.23)) \quad (11.23)$$

Düz çiviler için:

$$F_{ax.Rk} = \min \left(\begin{matrix} f_{ax.k} d t_{pen} \\ f_{ax.k} d t + f_{head.k} d_h^2 \end{matrix} \right) \quad (EC5, denklem (8.24)) \quad (11.24)$$

- $f_{ax.k}$: Karakteristik nokta çekilme dayanımı
- $f_{head.k}$: Karakteristik çivi başı çekme dayanımı
- d : Çivi çapı ve kare veya yivli çiviler için yan boyut
- t_{pen} : Nokta penetrasyonu veya dişli parçanın uzunluğu
- t : Çivi başı yan eleman kalınlığı
- d_n : Çivi kafasının çapıdır. Düz tel çiviler için; 2.65 mm' den 3.75 mm çapa kadar 2.25d ve 3.75' ten büyük çaplar için 2d' dir.

12d' lik bir nokta penetrasyonu için düz çivilere ait aşağıdaki değerler verilir:

$$f_{ax.k} = 20 * 10^{-6} \rho_k^2 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{EC5, denklem (8.25)}) \quad (11.25)$$

$$f_{head.k} = 70 * 10^{-6} \rho_k^2 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{EC5, denklem (8.26)}) \quad (11.26)$$

Çivi nokta penetrasyonu 12d' den az ise, çivinin çekilme kapasitesi $((t_{pen}/4d) - 2)$ faktörü ile çarpılarak azaltılmalıdır. Düz çiviler için minimum 8d çivi penetrasyonu kullanıldığında, faktör sıfır olacak ve eksenel çekilme dayanımı olmayacaktır. Bu prosedür aynı zamanda, sap sürtünmesinden baş tarafı dayanımına doğru mukavemet katkısını belirlemek için çivinin baş tarafı penetrasyonuna da uygulanmalıdır.

Dişli çiviler kullanıldığında, sapın yivli veya deforme uzunluğu en az 6d ve nokta penetrasyon da en az 6d olmalıdır. 8d yivli bir nokta çivi penetrasyonu için karakteristik çekilme mukavemetinin tam değeri kullanılabilir ve bundan daha düşük değerler için mukavemet $((t_{pen}/2d) - 3)$ ile çarpılarak azaltılır.

Yapısal ahşabın hizmet sınıfı 1 veya 2 koşullarında çalışacak şekilde tasarlandığı durumlarda $f_{ax.k}$ ve $f_{head.k}$ değerleri, 2/3 ile çarpılmalıdır.

Eksenel yüklü çiviler için boşluklar, uç ve kenar mesafeleri, yanal yüklü çiviler için verilenlerle aynıdır.

Tablo 11.12. Eksenel yüklü vidalar için, Şekil 11.20.' de gösterilen minimum aralıklar ve kenar mesafeleri.

Vidanın sürüldüğü yön	Bitişik vidalar arasındaki minimum mesafe a_1	Vidaya minimum kenar mesafesi a_2
Liflere dik açılarda	4d	4d
Lif sonunda	4d	2.5d

d vidanın çapıdır ve vidanın dişli kısmının minimum kenar penetrasyonu 6d olmalıdır.

11.7.2. Eksenel yüklü cıvatalar

Eksenel yüklü cıvatalarda, bağlantı dayanımı, cıvatanın çekme mukavemetine ve cıvata dişlerinin üzerinde malzemenin ezilme mukavemetine bağlıdır. Cıvata dişlerindeki ezilme kapasitesi, ahşabın liflere dik karakteristik mukavemetinde %300 artış olduğu varsayılarak hesaplanmalıdır (yani $f_{c,k} = 3 * f_{c,90,k}$). Çelik levhalar, 12t' den veya 4d' den küçük çaplı dairesel bir cıvatanın ezilme kapasitesini aşmamalıdır.

11.7.3. Eksenel yüklü dübeller

Dübeller çekme yükü için kullanılamaz.

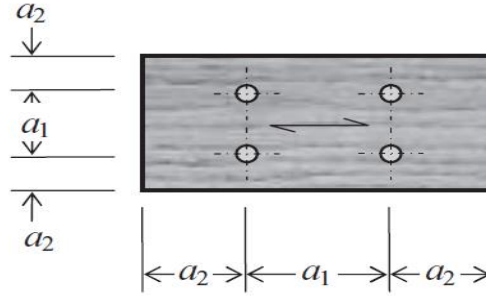
11.7.4. Eksenel yüklü vidalar

Vidalarda 5 göçme modu olduğu belirtilmiştir:

- vida dişli parçasının geri çekilmesi
- çelik plakalarda, vida başının yırtılma riski
- vida başının ahşaptan çekilmesi
- vidanın çekmeye maruz kalması
- çelik plakalarla birlikte kullanıldığında, blok kayma göçmesi

Çelikte veya vidanın etrafındaki ahşaptaki göçme modları gevrek tip modlardır ve bu durum eksenel yük altında bağlantı tasarımında dikkate alınmalıdır.

Blok göçmelerini kontrol etmek ve minimum çekilme direncinin elde edilmesini sağlamak için eksenel yüklü vidalara ait minimum aralık ve penetrasyon gereksinimleri belirtilir. Vidanın dişli uzunluğunun minimum nokta penetrasyonu 6d olmalıdır. Aralık kriterleri Tablo 11.12.' de verilmiştir ve liflere dik açılarda vidalar için Şekil 11.20.' de gösterilmiştir.



Şekil 11.20. Eksenel yüklü vidalar için liflere dik açılarda mesafe.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 407).

Vida eksenel tasarım kuvveti F_d altında iken, aşağıdaki koşulun yerine getirilmesi gerekir:

$$F_d \leq F_{ax.\alpha.Rd} \quad (11.27)$$

$F_{ax.\alpha.Rd}$: Liflere göre α açısında eksenel yük altında vidanın tasarım çekilme kapasitesidir.

Vidanın tasarım çekilme kapasitesi, karakteristik çekilme kapasitesi $F_{ax.\alpha.Rk}$ ' dan aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_{ax.\alpha.Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{1ax.\alpha.Rk}}{\gamma_M} \quad (11.28)$$

$F_{1ax.\alpha.Rk}$: Liflere göre α açısında vidanın karakteristik çekilme kapasitesidir ve:

$$F_{1ax.\alpha.Rk} = (\pi d l_{ef})^{0.8} \cdot f_{ax.\alpha.k} \quad (11.29)$$

- d : Dişli parça üzerinde ölçülen vidanın dış çapı
- l_{ef} : Vidanın dişli kısmının eksi bir vida çapının nokta penetrasyonudur ve en az 6d olmalıdır.
- $f_{ax.\alpha.k}$: Liflere göre açı α açısında karakteristik çekilme mukavemetidir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f_{ax.\alpha.k} = \frac{f_{ax.k}}{\sin^2 \alpha + 1.5 \cos^2 \alpha} \quad (EC5, \text{denklemler (8.39)}) \quad (11.30)$$

- $f_{ax.k}$: Liflere dik karakteristik çekilme mukavemetidir ve $3.6 \cdot 10^{-3} \rho_k^{1.5} \text{ N/mm}^2$ değerine eşittir.

Ek – 5.4' te özetlenen EC5 için önerilen taslak değişikliğe, eksenel yüklü bir vidanın karakteristik çekilme mukavemetinin değerlendirilmesi için bir ifade verilmiştir ve bu da (11.29) denkleminde bir değişikliğe neden olacaktır. (11.29) denklemi sadece vidanın yivli kısmının nokta tarafındaki eksenel çekilme mukavemeti ile ilgilidir. Vida başının eksenel geri

çekilme mukavemeti, baş tarafı çekilme mukavemeti denklemi kullanılarak ve (11.26) denkleminde verilen karakteristik çekilme mukavemeti kullanılarak (11.23) denkleminde elde edilecektir. Vida çapı 6 mm' den büyükse, baş tarafı çekilme kuvveti, bir cıvatanın eksenel çekilme kapasitesini hesaplama kurallarına uymalıdır.

Nokta penetrasyonu 10d' den küçük olan vidaların çekme mukavemeti bağlantıların kopma mukavemetini belirleyemez. Penetrasyon 10d' den büyük ise, vidanın dişli alanında çekme mukavemeti kontrol edilmelidir.

Sap ekseninde etkiyen kuvvetle yüklenmiş bir grup vida kullanılarak bağlantı oluşturulduğunda, gruptaki etkili vida sayısı:

$$n_{ef} = n^{0.9} \quad (\text{EC5, denklem (8.41)}) \quad (11.31)$$

n_{ef} : Etkili vida sayısı

n : Bağlantıda birlikte çalışan gerçek vida sayısı

Eksenel çekme yükü altında bağlantıdaki her vidanın mukavemeti, noktasal penetrasyon uzunluğunun mukavemeti ile belirlenir. n vidaları eksenel yüklendiğinde her bir vida sapı, liflere göre α lif açısına sahip olduğunda:

$$F_{ax.\alpha.Rk} = n_{ef} * (\pi d_{ef})^{0.8} * f_{ax.\alpha.k} \quad (\text{EC5, denklem (8.38)}) \quad (11.32)$$

$$F_{ax.\alpha.Rd} = \frac{k_{mod} * F_{ax.\alpha.Rk}}{\gamma_M} \quad (11.33)$$

Vidalar eksenel yük altındayken, (11.32) denklemi aşağıdaki şekilde azaltılır:

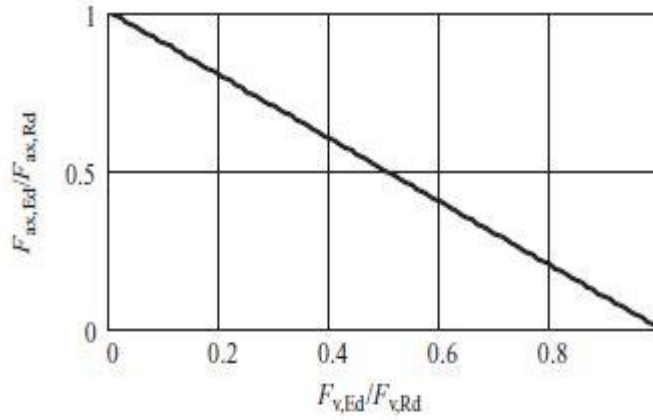
$$F_{ax.Rk} = n_{ef} * (\pi d_{ef})^{0.8} * f_{ax.k} \quad (11.34)$$

$$F_{ax.Rd} = \frac{k_{mod} * F_{ax.Rk}}{\gamma_M} \quad (11.35)$$

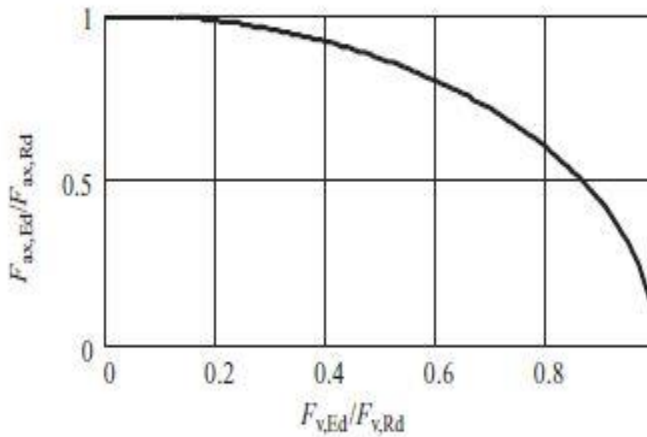
11.8. Birleşik Yanal ve Eksenel Yüklü Metal Dübel Bağlantıları

Çivili veya vidalı bağlantılar, yanal tasarım yükü $F_{v.Ed}$ ve eksenel tasarım yükü $F_{ax.Ed}$ kombinasyonuna tabi tutulduğunda, Şekil 11.21.' de gösterilen etkileşim ilişkilerine uymalıdır.

Düz çiviler için, birleşik tasarım kuvveti-mukavemet oranları elastik aralıkta kalmalı ve bu da denklem (11.36) uyarınca doğrusal bir ilişki oluşturmalıdır. Diğer çivi tipleri ve vidalar için birleşik oranlar elastik sınırın ötesine uzanabilir, ancak (11.37) denkleminde uyulmalıdır.



$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right) + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right) \leq 1 \quad (11.36)$$



$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (11.37)$$

Şekil 11.21. Eksenel ve yanal yüklü bağlantılar için etkileşim diyagramları. Doğrusal ilişki düz çiviler için, kavisli grafik ise çiviler (düz çiviler hariç) ve vidalar içindir.

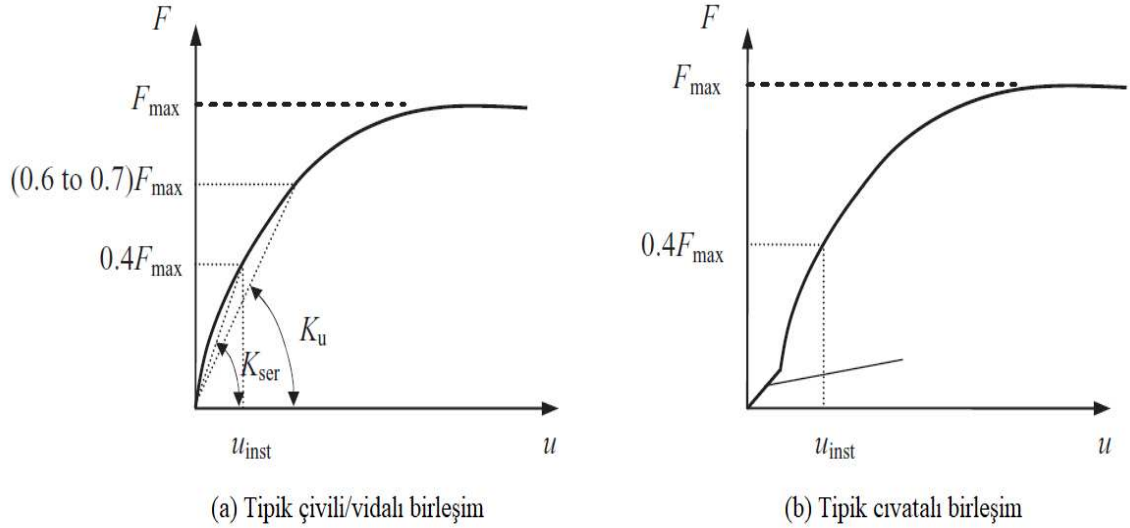
Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 409).

11.9. SLS ve ULS' de Metal Dübel Bağlantılarının Yanal Rijitliği

Mekanik bağlantı elemanları yanal yük altında kaymaya başlayacaktır. Kayma miktarı, kullanılan bağlantı elemanı tipine bağlı olarak değişecektir. Çivili, vidalı ve cıvatalı bir bağlantı için tipik kayma eğrileri Şekil 11.22.' de gösterilmiştir.

Cıvatalarda ön delme nedeniyle hemen bir kayma oluşur ve bu Şekil 11.22b' de gösterilmiştir.

Ahşap tasarımda birleşimler için kayma sınırı 0.4 mm' dir. EC5' te, SLS durumunda K_{ser} ve ULS durumunda K_u için farklı rijitlik değerleri verilir, ancak birleşim kayması için sınır yoktur.



$F_{\max}$: birleşim tarafından alınan maksimum yük

u_{inst} : SLS durumunda ani kayma

Şekil 11.22. Metal dübel bağlantı elemanları ile oluşturulan birleşimlerin tipik ani yük-kayma davranışı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 410).

EC5' te, SLS durumu için ani kayma modülü K_{ser} , bağlantı elemanı tarafından alınabilecek maksimum yükün yaklaşık %40' lık bir yük seviyesinde yük-deplasman eğrisinin sekant modülü olarak alınır (Ehlbeck ve Larsen, 1993) ve Şekil 11.22a' da çivili bir bağlantı için gösterilmiştir. Bu sınıra kadar, düz çizgi ilişkisi bağlantı elemanının gerçek yük-kayma davranışına önemli ölçüde uyar.

Test sonuçlarına göre, birleşimlerde maksimum yükün yaklaşık %40' ında ani kayma görülür. Ayrıca, etkili biçimde tasarlanmış bir bağlantıda en yaygın göçme modları olan bağlantı elemanlarının ve ahşap ürünün tam akmasına yol açan göçme modlarını benimseyerek (genellikler tip 3 göçme modları olarak anılır, örneğin Tablo 11.2' deki (f) ve (k) modları), bağlantı mukavemeti değerlendirilebilir. Sonucun 0.4 ile çarpılmasıyla SLS dayanımı elde edilir. Bu verilerden, farklı metal dübel tipi bağlantı elemanları için servis yükü altında bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına kayma modülü türetilmiş ve ilişkiler Tablo 11.13.' te verilmiştir.

Tablo 11.13. Ahşap-ahşap ve ahşap panel-ahşap birleşimlerde birleşim elemanları için K_{ser} değerleri.

Birleşim elemanı tipi	SLS kayma modülü K_{ser}
Çivi	
- Ön delmesiz	$\rho_m^{1.5} d^{0.8} / 30$
- Ön delmeli	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Zımba	$\rho_m^{1.5} d^{0.8} / 80$
Vida	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Boşluklu veya boşluksuz cıvata	$\rho_m^{1.5} d / 23$
Dübel	$\rho_m^{1.5} d / 23$

Boşluklu cıvatalarda boşluk payı, birleşim kayma modülüne eklenmelidir.

K_{ser} , bağlantı elemanının çapı d' ye ve birleşimde aynı ahşap malzemenin kullanıldığı durumlarda ortalama yoğunluk ρ_m ' ye bağlıdır. Bağlantının ρ_{m1} ve ρ_{m2} olmak üzere farklı yoğunluklarda malzemelerden oluştuğu durumlarda, Tablo 11.13.' teki ifadelerde kullanılacak ρ_m :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m1} * \rho_{m2}} \quad (\text{EC5, denklem (7.1)}) \quad (11.38)$$

Birleşimdeki ani kayma u_{inst} , birleşimi oluşturan ilgili elemanlardaki kaymanın toplamıdır. Şekil 11.23a.' daki tek tesirli ahşap-ahşap bağlantısı için, ani kayma Şekil 11.23b.' de gösterildiği gibi olacaktır. Eleman 1' de kayma u_{inst1} ve eleman 2' de kayma u_{inst2} olacak ve toplam kayma:

$$u_{inst} = u_{inst1} + u_{inst2} \quad (11.39)$$

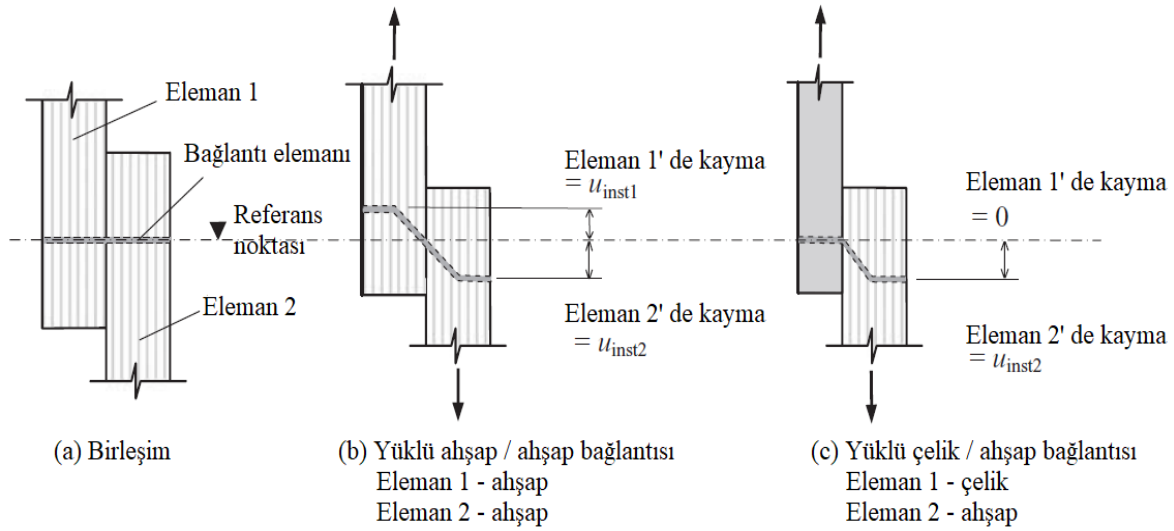
Elemanların aynı özelliklere sahip olduğu ve eleman 2' nin varsayıldığı durumlarda,

$$u_{inst} = u_{inst1} + u_{inst2} = 2 * u_{inst2} \quad (11.40)$$

Elemanlardan biri çelik ise, aynı yük altında çelik elemandaki kayma sıfır olurken, eleman 2' deki kayma daha önce olduğu gibi kalacaktır ve bu durum için:

$$u_{inst} = 0 + u_{inst2} = u_{inst2}$$

Çelik-ahşap bağlantısı için, ani kayma ahşap-ahşap bağlantısının yarısı olacaktır ve sonuç olarak rijitlik ahşap-ahşap bağlanın kayma modülünün 2 katı olacaktır. EC5, çelik-ahşap ve beton-ahşap bağlantıları için kayma modülünün $2 * K_{ser}$ olarak alınabileceğini belirtse de, daha küçük bir değerin kullanılması önerilir.



Şekil 11.23. Birleşimde ani kayma.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 412).

Liflere dik yüklü çoklu metal dübel tipi bağlantı elemanı bağlantısının mukavemetini elde ederken, bağlantıdaki gerçek bağlantı elemanı sayısı n , birleşim mukavemeti denkleminde kullanılır ve liflere paralel mukavemeti türetirken, etkili bağlantı elemanı sayısı n_{ef} kullanılmalıdır. EC5' te, bağlantının rijitliği için kural yoktur ve yük açısına bakılmaksızın, tek ve çift tesirli bağlantılar için, n gerçek bağlantı elemanı sayısının kullanılması önerilir.

K_{ser} için Tablo 11.13.' te verilen rijitlik değerleri, bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına rijitliktir ve kesme düzlemi başına n bağlantı elemanı olan bağlantılar için rijitlik, tek tesirli için $K_{ser.sc}$ ve çift tesirli için $K_{ser.dc}$ Şekil 11.24.' te verilmiştir.

Bağlantı elemanının montajında tolerans boşluğu ek kayma oluşturur. Sağlanan tolerans c ise tek tesirli bağlantı için ani kayma:

$$u_{inst} = \frac{F}{K_{ser}} + c \quad (11.41)$$

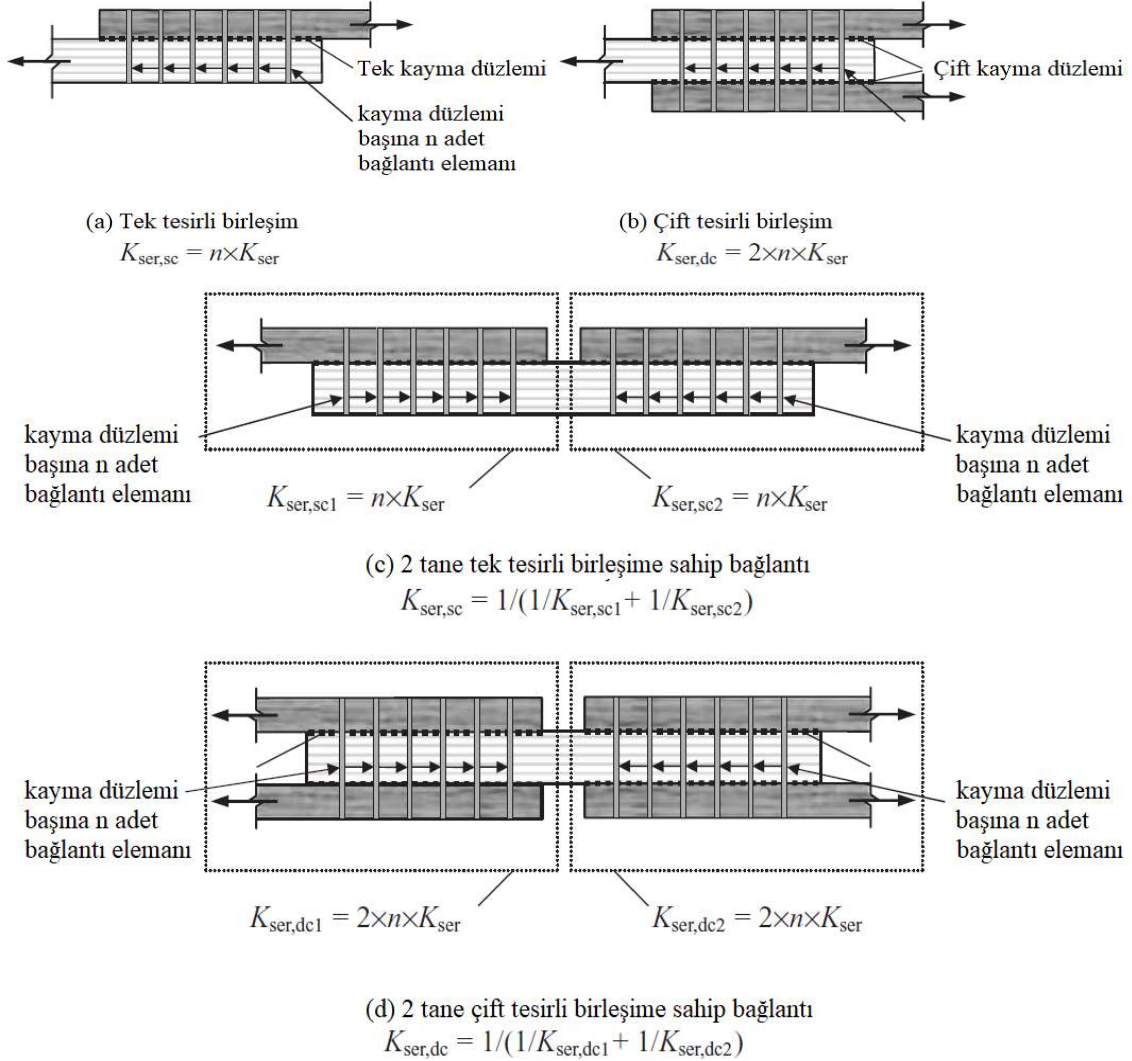
F: Bağlantıdaki SLS yükü

K_{ser} : SLS' de kesme düzlemi başına bağlantı elemanının kayma modülü

Kalıcı etki G_k , karakteristik değişken etki $Q_{k,1}$ ve ikincil değişken etki $Q_{k,1}$ altında SLS de bağlantı tasarım yükü F_d :

$$G_k + Q_{k,1} + \sum_{i=2}^n \psi_{0,i} * Q_{k,i} \rightarrow F_d \quad (11.42)$$

$\psi_{0,i}$: Değişken eylem $Q_{k,i}$ için kombinasyon faktörü



Şekil 11.24. Tek ve çift tesirli birleşim rijitliği.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 413).

Bir bağlantının nihai deformasyonunu veren analiz yöntemi, elemanların aynı zamana bağlı özelliklere sahip olup olmadığına bağlı olacaktır.

Aynı kayma davranışına sahip elemanlar, bileşenler ve bağlantıları içeren yapılar için son deformasyon, birleşik karakteristik ve yarı kalıcı etki kombinasyonunun uygulanmasıyla

elde edilir. Bu durumda, karakteristik kombinasyon nedeniyle bağlantı üzerindeki tasarım yükü F_{cd} :

$$G_k(1 + k_{def}) + Q_{k.1}(1 + \psi_{2.1} * k_{def}) + Q_{k.i}(\psi_{0.i} + \psi_{2.i} * k_{def}) \rightarrow F_{cd} \quad (11.43)$$

$\psi_{2.i}$: Yarı kalıcı değer faktörü

k_{def} : Deformasyon faktörü

Aynı kayma davranışı olan elemanlar, bileşenler ve bağlantıları içeren bir yapı için tek bir kesme düzleminde SLS koşulunda son deformasyon:

$$u_{fin} = \frac{F_{cd}}{K_{ser}} + c \quad (11.44)$$

Yukarıda verilenler, bağlantıların elemanlar ile farklı kayma davranışına sahip olduğu izostatik yapılar için de geçerlidir.

Farklı kayma davranışına sahip elemanlar, bileşenler ve bağlantıları içeren ve kayma etkisinin rijitlik dağılımını etkileyeceği yapılar için yukarıdaki yaklaşım uygulanamaz. Bu durumlarda son deformasyon, etkilerin karakteristik kombinasyonuna maruz kalan yapının analizinden belirlenecektir ve elemanların, bileşenlerin ve bağlantıların rijitlik özellikleri azaltılacaktır. EC5' te son ortalama değerler olarak adlandırılan azaltılmış rijitlik özellikleri (4.34), (4.35) ve (4.36) denklemlerinde verilmiştir ve aşağıdaki gibidir:

$$E_{mean.fin} = \frac{E_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (EC5, \text{denklem (2.7)}) \quad (4.34)$$

$$G_{mean.fin} = \frac{G_{mean}}{(1+k_{def})} \quad (EC5, \text{denklem (2.8)}) \quad (4.35)$$

$$K_{ser.fin} = \frac{K_{ser}}{(1+k_{def})} \quad (EC5, \text{denklem (2.9)}) \quad (4.36)$$

Bağlantılar için k_{def} faktörü değiştirilmelidir. k_{def} ' deki değişiklikler aşağıdaki gibidir:

i) Birleşimde zamana bağlı davranışı aynı elemanlar varsa, k_{def} değeri Tablo 4.10' da verilen değer 2 katı olarak alınmalıdır.

ii) Birleşimde zamana bağlı davranışı farklı 2 ahşap eleman varsa:

$$k_{def} = 2 * \sqrt{k_{def.1} * k_{def.2}} \quad (EC5, \text{denklem (2.13)}) \quad (11.45)$$

iii) Ahşap yük altında kuruma olasılığı bulunan bir ortamda kullanılacaksa, Tablo 4.10' daki k_{def} değeri 1 arttırılmalıdır.

Birleşimlerde deformasyon faktörü olarak $2 * k_{def}$ in kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır ki bu durumda emniyetli tarafta kalınabilir.

ULS' de analiz prosedürü, gerilmelerin rijitlik dağılımından etkilenip etkilenmediğine bağlıdır. Yapıdaki birleşimler mafsallı olacak şekilde tasarlanmadıkça, gerilmeler rijitlik dağılımından etkilenecek ve rijitlik özelliklerinin son ortalama değerleri aşağıdaki gibi kullanılacaktır:

$$E_{mean.fin} = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 * k_{def})} \quad (EC5, \text{ denklemler (2.10) ve (2.11)}) \quad (4.38)$$

$$G_{mean.fin} = \frac{G_{mean}}{(1+\psi_2 * k_{def})} \quad (EC5, \text{ denklemler (2.11) ve (2.12)}) \quad (4.39)$$

$$K_{ser.fin} = \frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 * k_{def})} \quad (EC5, \text{ denklemler (2.12) ve (2.13)}) \quad (4.40)$$

ψ_2 : Yarı kalıcı değer faktörü

Bu durumda ani kayma modülü K_u , maksimum yükün %60 ila %70' i arasında bir yükte, yük kayma eğrisinin sekant modülü olarak alınır ve Şekil 11.17a' da çivili veya vidalı bir bağlantı için gösterilir. EC5' e göre ise:

$$K_u = \frac{2}{3} * K_{ser} \quad (EC5, \text{ denklemler (2.1) ve (2.2)}) \quad (11.46)$$

K_{ser} : Bağlantı elemanı başına kesme düzlemi başına ani kayma modülü

11.10. Metal Dübel Bağlantı Elemanlı Bağlantılarda Yanal Hareketin Etkisini İçeren Çerçeve Analizi

11.9.' da SLS ve ULS için bağlantıların rijitliği tanımlanır ve yanal yük altında bağlantıdaki yer değiştirmeyi belirlemek için bir yöntem de verilir.

Bağlantılardaki kaymanın neden olduğu yer değiştirme etkisi dikkate alınmalıdır. Yapı izostatik olmadıkça, bağlantılardaki kayma da gerilme dağılımını etkileyecektir. Ayrıca, bağlantıların farklı kayma davranışına sahip olması ULS' de gerilme sonuçlarını da etkiler.

12. KONEKTÖRLÜ BİRLEŞİMLERİN TASARIMI

Konektörler bağlantı cıvatası ile yerinde tutulan dişli plakalar, diskler veya halkalardan oluşur. Yanal yük etkisindeki bağlantılar için kullanılırlar ve yük, birleşim elemanları arasında ezilme ile aktarılır. Ezilme alanı arttırılarak, büyük yükler taşınabilir. Konektör cıvataları elemanları bir arada tutar ancak bağlantının yük taşıma kapasitesine katkıda bulunmaz. Çeşitli ahşap mevcuttur. En yaygın olarak kullanılan konektör tipleri dişli plaka, ayırık halka ve kesme plakası konektörleridir.

12.1. Tasarım

Yanal yük altındaki konektörler kullanılarak oluşturulan birleşimlerin tasarımı bu bölümde, moment etkisi altındaki konektörlerin tasarımı Bölüm 13’ de ele alınmıştır.

Konektörlü bağlantıların tasarım kurallarına ait sınır durumları Tablo 12.1.’ de verilmiştir. Konektörler için mukavemet ve yer değiştirme gereksinimleri, metal dübel tipi bağlantılar için verilenlerde aynıdır.

12.2. Dişli Plaka Konektörleri

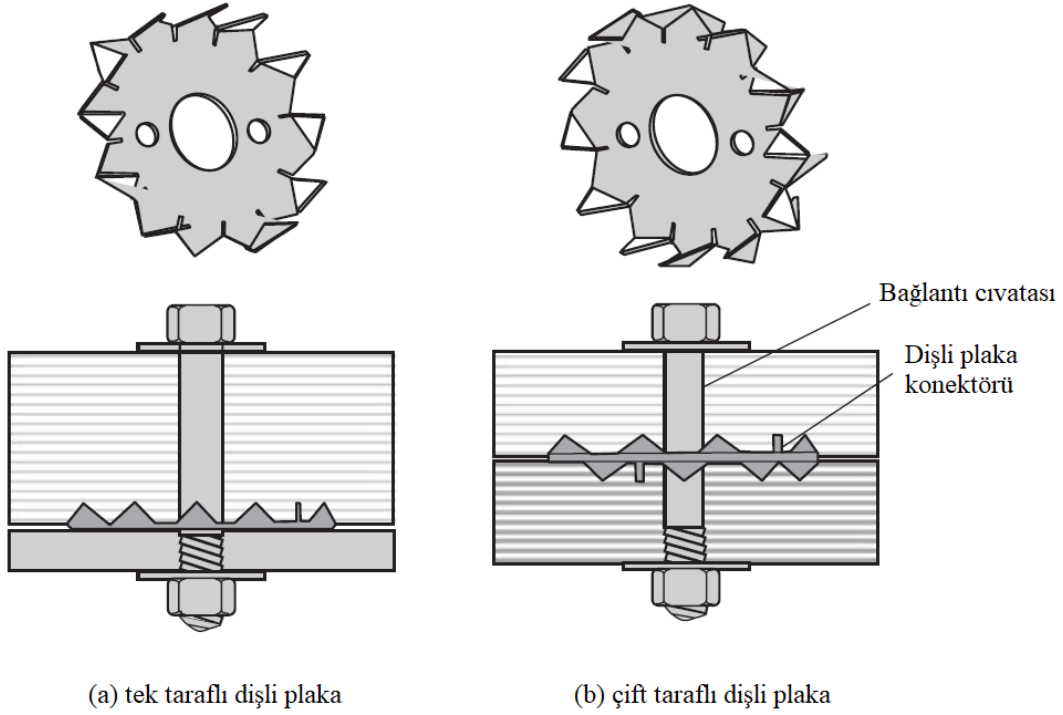
12.2.1. Mukavemet davranışı

Dişli plaka konektörleri, dairesel, kare, sekizgen şekilli olup 38 ila 165 mm arasında değişen boyutlarda üretilirler. C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11 olarak adlandırılan 11 tip konektör vardır. Bu konektörler, kullanılan malzemeye ve tek veya çift taraflı olup olmadığına göre sınıflandırılırlar.

Tablo 12.1. Yanal yükleme altındaki konektörler için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.

Tasarım veya yer değiştirme etkisi	EC5 sınır durumu
Yanal yükleme mukavemeti	ULS
Yer değiştirme	SLS

Dişli plakalar bağlayıcı türüne göre, soğuk haddeli düşük karbonlu çelikten, sıcak daldırma galvanizli yumuşak çelikten veya dövülebilir dökme demirden yapılır. Çelik konektörlerde konektör plakasının kenarları üçgen çıkıntılı dişler oluşturmak üzere bükülür. Dökme demir konektörlerde konik sivri uçlar bir veya her iki yüzde bir uca sahiptir. Bir veya her iki tarafta çıkıntılı dişlere sahip çelik plakalı dairesel dişli plaka konektörüne ait örnek Şekil 12.1.’ de gösterilmiştir.



Şekil 12.1. Dişli plaka konektörleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 453).

Tek taraflı dişli plakalı konektörler, ahşabı çeliğe bağlamak için kullanılabilir veya bağlantıların ahşap-ahşap birleşimlerinde sökülebilir olması gerekiyorsa, çiftler halinde sırt sırta kullanılabilirler. Çift taraflı dişli plakalar, sökülemeyen ahşap-ahşap bağlantıları için uygundur.

Montaj için, cıvata deliği oluşturulur, konektör yerine yerleştirilir ve bağlantı mekanik olarak birbirine bağlanır. Düşük yoğunluklu ahşapta bağlama, büyük pullarla donatılmış yüksek mukavemetli cıvata ile yapılır. Konektör, tasarım kapasitesini artırmak için ahşaba tamamen bastırılmalıdır. Ahşabın konektör dişlerinin penetrasyonuna karşı direnci, ahşabın yoğunluğu arttıkça artacağından, dişli plaka konektörleri, karakteristik yoğunluğu yaklaşık 500 kg/m^3 ’ ten daha büyük ahşap için uygun değildir.

Çift taraflı dişli plaka ile oluşturulan bir bağlantıda yük, elemanlardan birinden gömülme gerilmeleriyle konektörün dişlerine ve oradan bağlantı plakası içindeki kesme gerilmeleriyle karşı taraftaki dişlere ve gömülme gerilmeleri yoluyla da diğer elemanlara aktarılır. Konektör dişlerindeki gömülme kayması ahşap elemanların cıvata üzerinde ezilmesine neden olur ve birleşim mukavemeti dişli plaka konektörü ve cıvata tarafından taşınan kuvvetin bir kombinasyonu olarak alınır. Cıvata ayrıca, bağlantı elemanlarının ahşaba

tamamen gömülü kalmasını sağlamak için elemanları bir arada tutar. Cıvatanın kesme mukavemeti, ahşaptaki gömülme mukavemetini veya herhangi bir gevrek kırılma mekanizmasının mukavemetini önemli ölçüde aştığı için, EC5’ te verilen mukavemeti değerlendirme denklemlerinde dikkate alınmaz.

Tek taraflı dişli plaka konektörü kullanıldığında, konektörün dişli tarafından gelen yük aktarma mekanizması, çift taraflı konektör ile aynı olacaktır. Bundan sonra yük, konektör ve cıvata arasındaki ezilme gerilmeleri ve konektör dişlerindeki gömülme kayması ile doğrudan cıvataya aktarılır. Burada cıvata, dübelli bir bağlantı görevi görür. Yine bu bağlantı tipinde, birleşim mukavemeti dişli plaka konektörü ve cıvatanın mukavemetinin kombinasyonudur.

Sünek kırılma mekanizmaları gevrek kırılma önlendiğinde ortaya çıkacaktır. Bunu sağlamak için Bölüm 9’ da metal dübel tipi bağlantı elemanları için belirtildiği gibi, EC5’ te verilen minimum aralıklar, uç ve kenar mesafeleri kullanılmalıdır. Dişli plaka konektörleri için minimum aralıklar Tablo 12.2.’ de ve konektör cıvataları için minimum aralıklar Tablo 11.9.’ da verilmiştir. Eleman kalınlıkları ile ilgili olarak minimum gereksinimler şunlardır:

$$t_1 \geq 2.25h_e \quad (\text{EC5, Madde 8.10(3)}) \quad (12.1)$$

$$t_2 \geq 3.75h_e \quad (\text{EC5, Madde 8.10(3)}) \quad (12.2)$$

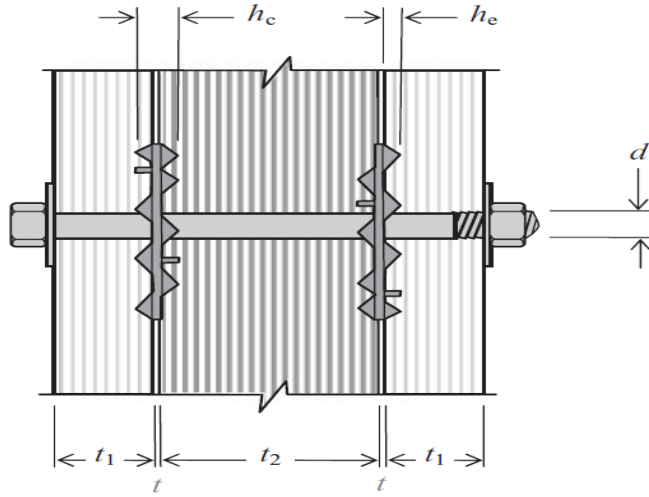
Tablo 12.2. C1-C11 tipi dişli plakalı konektörler, ayrıık halka konektörleri ve kesme plakalı konektörler için minimum aralık, kenar ve uç mesafeleri.

Aralık ve α açısı	Minimum aralık		
	Dişli plakalı konektörler		Ayrıık halka ve kesme plakalı konektörler
	Tip C1-C9	Tip C10 ve C11	
Liflere paralel aralık a_1 : $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.3 \cos \alpha)d_c$	$(1.2 + 0.8 \cos \alpha)d_c$	$(1.2 + 0.8 \cos \alpha)d_c$
Liflere dik aralık a_2 : $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2d_c$	$1.2d_c$	$1.2d_c$
Yüklü uç mesafesi $a_{3,t}$: $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2d_c$	$2d_c$	$1.5d_c$
Yüksüz uç mesafesi $a_{3,c}$: $90^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$ $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ $210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.9 + 0.6 \sin \alpha)d_c$ $1.2d_c$ $(0.9 + 0.6 \sin \alpha)d_c$	$(0.4 + 1.6 \sin \alpha)d_c$ $1.2d_c$ $(0.4 + 1.6 \sin \alpha)d_c$	$(0.4 + 1.6 \sin \alpha)d_c$ $1.2d_c$ $(0.4 + 1.6 \sin \alpha)d_c$
Yüklü kenar mesafesi $a_{4,t}$: $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0.6 + 0.2 \sin \alpha)d_c$	$(0.6 + 0.2 \sin \alpha)d_c$	$(0.6 + 0.2 \sin \alpha)d_c$
Yüksüz kenar mesafesi $a_{4,c}$: $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6d_c$	$0.6d_c$	$0.6d_c$

α : Konektör kuvvetinin yönü ile lif arasındaki açı

t_1 : Birleşimde dış elemanların kalınlığı

t_2 : Birleşimde iç eleman kalınlığıdır. Dikkate alınan elemandaki dişli plaka konektör dişlerinin gömülme derinliğidir, yani çift taraflı bir konektör için $(h_c - t)/2$ ve tek taraflı bir konektör için $(h_c - t)$ ’ dir. h_c konektör yüksekliği ve t konektör için kullanılan metalin kalınlığıdır.



Şekil 12.2. Dişli plaka konektörlü birleşimler için boyutlar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 455).

Dişli plaka konektörü kullanılarak oluşturulan bir bağlantının karakteristik mukavemeti:

$$F_{v.Rk.connection} = F_{v.Rk} + F_{v.Rk.bolt} \quad (12.3)$$

$F_{v.Rk.connection}$: Dişli plaka bağlantısının karakteristik mukavemeti

$F_{v.Rk}$: Dişli plaka konektörünün karakteristik yük taşıma kapasitesi

$F_{v.Rk.bolt}$: Konektör cıvatasının karakteristik mukavemeti

C2, C4, C7, C9 ve C11 tip dişli plaka konektörleri tek taraflı, C1, C3, C5, C6, C8 ve C10 tip plaka konektörleri çift taraflıdır ve her tip için farklı mukavemet denklemleri uygulanır. Yanal yüklü dişli plaka konektörünün mukavemeti, yük-lif açısından bağımsızdır, ancak konektör cıvatasının yanıl mukavemeti, life göre yük açısının bir fonksiyonu olduğundan, dişli plaka bağlantısının mukavemeti yük-lif açısına bağılı olacaktır.

Gevrek kırılmayı önlemek için EC5' te izin verilen minimum eleman kalınlıkları şunlardır:

- dış ahşap elemanlar için: $2.25h_e$
- iç ahşap elemanlar için: $3.75h_e$

h_e : Gömülme derinliğidir ve çift taraflı dişli plaka konektör için Şekil 12.2.' de gösterilir.

Yoğunluk ve yüklü uç mesafesi kriterleri de test programına dahil edilmiştir ve aşağıdaki ilişki benimsenmiştir:

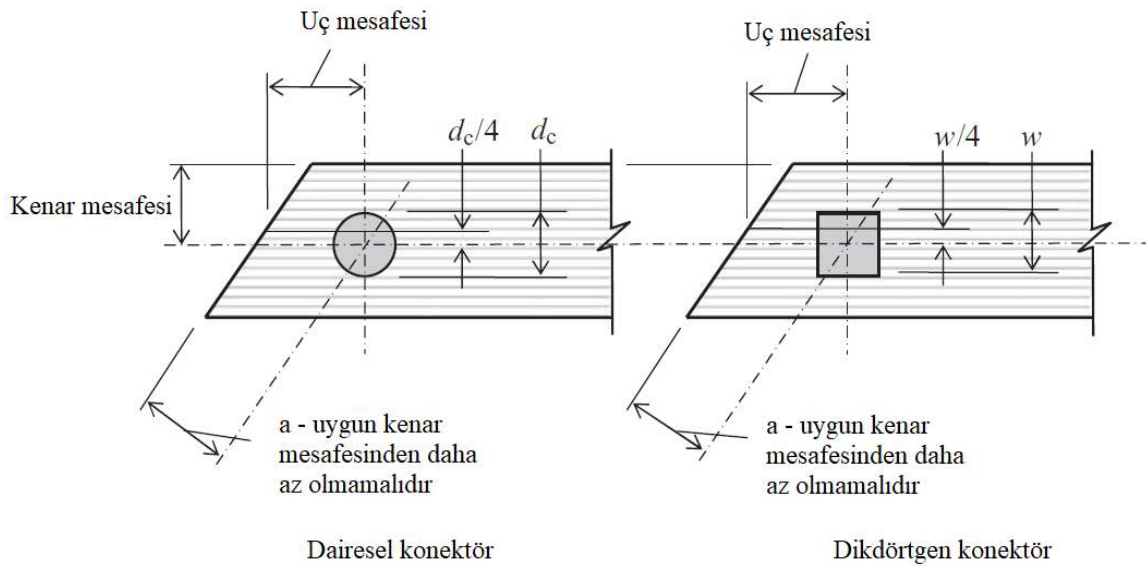
$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 18k_1k_2k_3d_c^{1.5}, & \text{tek taraflı tipler için} \\ 25k_1k_2k_3d_c^{1.5}, & \text{çift taraflı tipler için} \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (8.72)}) \quad (12.4)$$

- $F_{v,Rk}$: Dişli plaka konektörünün karakteristik yük taşıma kapasitesi
- d_c :
 - C1, C2, C6, C7, C10 ve C11 tipleri için dişli plaka konektör çapı
 - C5, C8 ve C9 tipleri için dişli plaka konektörü yan uzunluğu
 - C3 ve C4 tipleri için her iki kenar uzunluğun çarpımının kare kökü
- k_1 : Eleman kalınlığının etkisi için modifikasyon faktörüdür:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ t_1/3h_e \\ t_2/5h_e \end{array} \right. \quad (\text{EC5, denklem (8.73)}) \quad (12.5)$$

t_1 ve t_2 Şekil 10.2.' de tanımlandığı gibidir. h_e diş penetrasyon derinliğidir. t_1 ve t_2 ' nin izin verilen minimum değerleri kullanılıyorsa, bağlantının mukavemeti tam değerinin %75' ine düşecektir. Ayrıca, t_1 ve t_2 sırasıyla $3h_e$ ve $5h_e$ ' yi aştığında, birleşim mukavemetinde bir artış olmayacaktır.

- k_2 : Yüklü uç mesafesi $a_{3,t}$ için modifikasyon faktörüdür ve eğimli uçlu bir eleman için, Şekil 12.3.' te gösterilen şekilde alınabilir. Faktör sadece yüklü bir uca sahip elemanlar için geçerlidir ve aşağıdaki gibi kullanılan dişli plaka konektörünün türüne bağlıdır.



Şekil 12.3. Konektörler için uç ve kenar mesafeleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 457).

C1 --- C9 tipleri için, minimum yüklü uç mesafesi Tablo 12.2.' de $2d_c$ olarak verilir; ancak, mukavemet denkleminde $1.1d_c$ ile cıvatalar için izin verilen minimum yüklü uç mesafesi kriterlerinden küçük olanının kullanılmasına izin verilir. $2d_c$ ' den küçük yüklü uç mesafesi kullanılırsa, k_2 değeri şöyle olur:

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{a_{3,t}/1.5d_c} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.74)}) \quad (12.6)$$

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.1d_c \\ 7d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.75)}) \quad (12.7)$$

Konektör cıvatası için gereken minimum yüklü uç mesafesinin, konektör için gereken minimum yüklü uç mesafesinden büyük olması koşuluyla k_2 , $1.5d_c$ ' den büyük konektör yüklü uç mesafesi için 1' e eşit alınacaktır. Mesafe $1.5d_c$ ' den küçük olduğunda 1'den küçük olacak ve $1.1d_c$ ' nin izin verilen minimum uç mesafesinde 0.73 değerine düşürülecektir. Başka bir deyişle konektör, yüklü uç mesafesi Tablo 12.2.' de verilen $2d_c$ minimum değerinden düşük olduğunda sünek davranış göstermeye devam edecektir. Bununla birlikte, mesafe $1.5d_c$ ' den az olduğunda karakteristik mukavemet azalacak ve $1.1d_c$ ' de minimum bir değere ulaşacaktır.

C10 ve C11 tipleri için benzer bir durum geçerlidir, ancak bu konektörler için yüklü uç mesafesi $a_{3,t}$ sadece $1.5d_c$ ' ye düşürülebilir, yani:

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{a_{3,t}/2d_c} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.76)}) \quad (12.8)$$

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.5d_c \\ 7d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.77)}) \quad (12.9)$$

Bu konektörlerle, konektör cıvatası için gereken minimum yüklü uç mesafesi, dişli plakalı konektör için gereken yüklü uç mesafesinden daha az olması koşuluyla, konektör yüklü uç mesafesi $2d_c$ (veya daha büyük) olduğunda $k_2 = 1$ olur ve mesafe $2d_c$ ' den az olduğunda 1' den küçük olacaktır. $1.5d_c$ ' nin izin verilen minimum yüklü uç mesafesinde 0.75 değerine düşecektir.

- k_3 : Ahşap yoğunluğu için bir modifikasyon faktörüdür ve:

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1.5}{\rho_k/350} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.78)}) \quad (12.10)$$

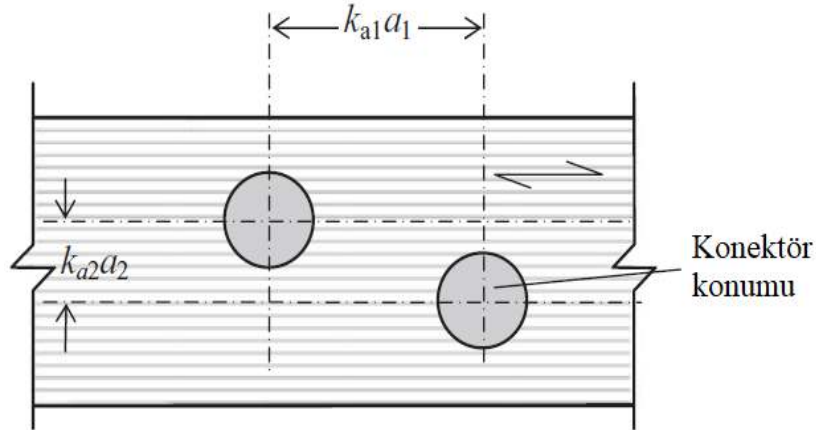
(12.4) mukavemet denklemleri, yoğunluğu 350 kg/m^3 olan C14 ahşap mukavemet sınıfına sahip birleşim içindir. k_3 faktörü daha yüksek mukavemet sınıfı ahşap kullanıldığında konektörün mukavemetini artıracak ve karakteristik yoğunluk 525 kg/m^3 olduğunda maksimum %50 artış sağlayacaktır. Bu durum, yumuşak ahşap için tüm mukavemet sınıflarını ve ayrıca sert ahşap için D30 mukavemet sınıfını kapsayacaktır. D35 ve D40 mukavemet sınıflarının bu tip bir konektör ile kullanılabilmesi muhtemel olsa da, D50 ila D70 mukavemet sınıfları, ahşabın konektör dişlerinin penetrasyonuna karşı sert olmasından ötürü uygun değildir.

C1, C2, C6 ve C7 konektörlerinin kullanıldığı ve Şekil 12.4.' te gösterildiği gibi kademeli oldukları yerlerde, Tablo 12.2.' deki a_1 ve a_2 minimum aralıkları, sırasıyla k_{a1} ve k_{a2} faktörleri ile azaltılabilir:

- liflere paralel minimum aralık = $k_{a1} * a_1$
- liflere dik minimum aralık = $k_{a2} * a_2$

k_{a1} ve k_{a2} azaltma faktörlerinin aşağıdaki kriterlere uyması gerekir:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad \text{ve} \quad \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (8.69)}) \quad (12.11)$$



Şekil 12.4. Kademeli dişli plakalı konektörleri için azaltılmış mesafeler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 458).

Bağlantının liflere paralel bir sıra konektör içerdiği durumlarda, her dişli plaka konektörünün tam mukavemeti, konektörler bu yönde yüklendiğinde kullanılabilir. Tek veya çift tesirli bağlantılar için, konektör tipine bakılmaksızın, bağlantı mukavemetinin hesabında, kesme düzlemi başına konektör sayısı, konektör cıvatalarının sayısına eşit alınacaktır. Bu durum, konektörler liflere paralel veya dik yüklendiğinde geçerli olacaktır. Bununla birlikte, konektör cıvatalarının mukavemetini belirlerken, liflere paralel yüklemeye etkili cıvata sayısı ve liflere dik yüklemeye gerçek konektör cıvataları sayısı kullanılacaktır.

12.3. Halka ve Kesme Plakası Konektörleri

12.3.1. Mukavemet davranışı

Halka ve kesme plakası konektörleri dairesel şekilde olup alüminyum alaşımı, sıcak haddelenmiş çelik veya dökme demirden üretilirler. Dişli plaka konektörlere göre çok daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptirler.

Mukavemet denklemleri 200 mm' den küçük çaplı konektörler için geçerlidir. d_c ' nin 216 mm, 236mm ve 260 mm olduğu 3 tip A5 ayırık halka konektör hariç, standarttakilerin tümü bu sınıra uygundur.

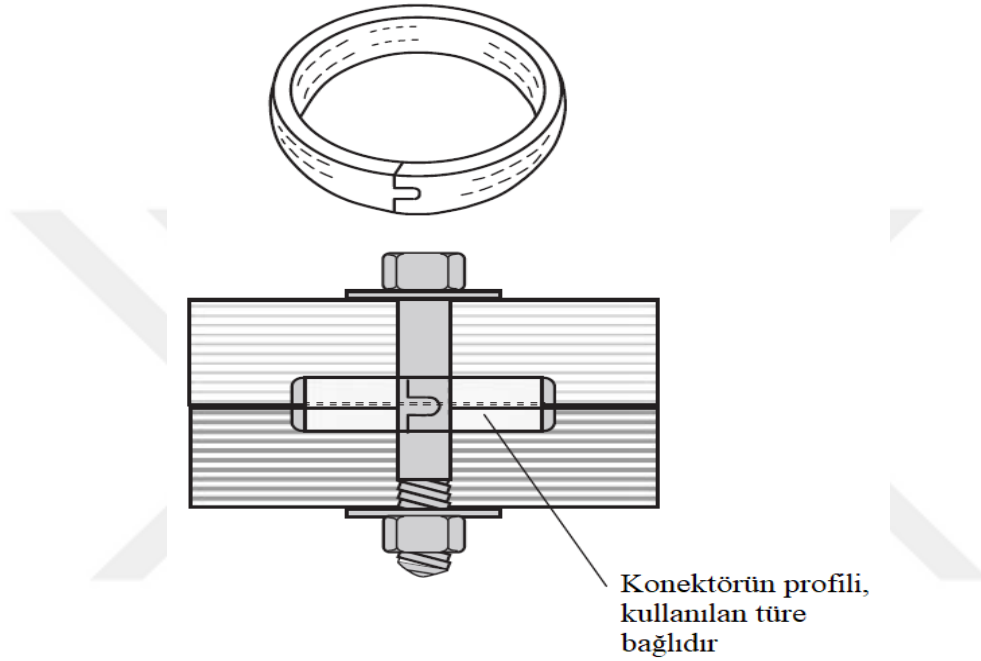
Halka konektörler, enine kesite sahiptir ve kesit boyunca kesim ile oluşturulduklarında ayırık halka konektörleri olarak adlandırılırlar. Bölme, konektörün takılmasının daha kolay olmasını sağlar ve ayrıca nem içeriğindeki değişiklikler nedeniyle montajdan sonra birleşimde oluşabilecek bozulmayı karşılamak için avantaj sağlar. EC5' teki tasarım kuralları, halka ve ayırık halka formları için aynıdır.

Bu konektörler sadece ahşap-ahşap bağlantıları için uygundur (Şekil 12.5.). Tip A1 ila A6 olarak adlandırılırlar. EC5 mukavemet denklemlerinin uygulanacağı çaplar minimum 60 mm maksimum 200 mm' dir. Konektörler, cıvatalar ve rondelalar ile yerinde tutulur, ancak dişli plaka konektörlerinden farklı olarak, cıvatalar ve rondelalar bağlantının yanal mukavemetine katkıda bulunmaz.

Halka konektörü kullanılarak oluşturulan bir bağlantıda, yük bir elemandan gömülme gerilmeleri ile halkaya geçirilir ve ikinci elemandaki halkanın parçasına kesme aktarımından sonra gömülme gerilmeleri ile o elemana geçer. Konektör cıvatasının işlevi, halkanın elemanlara tamamen gömülü kalmasını sağlamaktır.

Kesme plakası konektörleri, ahşap-çelik veya ahşap-beton bağlantısı için sökülebilen birleşim durumlarında kullanılır.

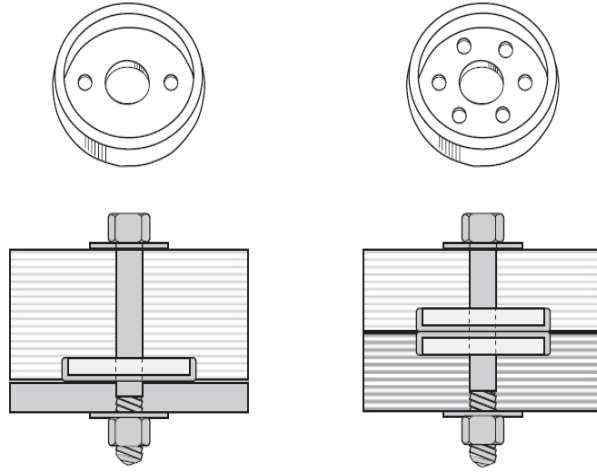
Kesme plakası konektör tipleri B1 ila B6 olarak adlandırılır, çapları 65 ila 190 mm arasında değişir ve cıvatalar ve pullarla yerinde tutturulur. Bu tip konektörlerde, cıvatanın kesme mukavemeti, yanal yükün bağlantı boyunca aktarılmasında önemli bir unsurdur. Bununla birlikte, bu konektörlerle kullanım için belirtilen cıvatanın kesme mukavemeti daima konektörün yanal mukavemetini aşacağından, EC5 cıvata kesme mukavemetinin kontrol edilmesini gerektirmez. Ayrıca, bir halka konektörde olduğu gibi, konektör cıvatasının konektörün yanal mukavemetine katkıda bulunduğu düşünülmemektedir.



Şekil 12.5. Bölünmüş halka konektörü.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 460).

Bir kesme plakası bağlantısında, yük gömülme gerilmeleri ile bir elemandan kesme plakasına oradan da ezilme gerilmeleri ile cıvataya geçer. Daha sonra, ahşap-ahşap bağlantısında, kesme gerilmeleri ile cıvatadan ikinci kesme plakasına veya ahşap-çelik(veya beton) bağlantısında, doğrudan çelik (veya beton) elemana aktarılır. Bu tip konektörlerin kullanımına örnek Şekil 12.6.' da gösterilmiştir.



Şekil 12.6. Kesme plakası konektörleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 461).

Ayrık halka ve kesme plakası konektörleri için tasarım gereksinimleri EC5 8.9' da verilmiştir. Bu konektörler kullanılarak oluşturulan birleşim için kabul edilen mukavemet modeli, konektör liflere paralel yüklendiğinde, konektördeki ahşabın gömülme göçmesi veya bağlantının yüklü ucundaki ahşabın kesme bloğu göçmesi nedeniyle bağlantı mukavemetinin düşük olacağı varsayımına dayanır.

Konektör tarafından sınırlanan alandaki ahşap, bağlantı göçme yüküne ulaşmadan önce bozulur ve dayanıma katkıda bulunmaz. Bir kesme plakası bağlantısında, 2 elemanlı bir bağlantıda B elemanı için doğrulanması gereken tasarım şartları Şekil 12.7.' de gösterilmiştir.

2 tür kırılma modu mümkündür. Bunlar, yüklü uçtaki konektörün gömülme kırılması ve kesme bloğu kırılmasıdır. Ahşabın gömülme dayanımı, kesme bloğunun dayanımından büyükse kesme bloğu kırılması mukavemeti belirleyecektir, daha küçükse gömülme kırılması meydana gelecektir. Kesme bloğu kırılması gevrek bir kırılma mekanizması olduğundan, sünek olan gömülme kırılması tercih edilir. Kesme bloğu kırılmasının meydana gelmediği durumlarda, mukavemet hesabında sadece gömülme kırılması önemli olacaktır.

Bu tür bağlantılarda gevrek kırılmanın diğer tiplerini önlemek için EC5' te verilen minimum aralıklar, uç ve kenar mesafeleri ile minimum eleman kalınlıklarını kullanılmalıdır. Aralıklar ve mesafeler için şartlar Tablo 12.2.' de verilmiştir.

Minimum eleman kalınlıkları EC5 8.9(2)' de verilir ve karşılanması gereken kriterler dişli plaka konektörleriyle aynıdır. Gereksinimler aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

$$t_1 \geq 2.25h_e \quad (12.12)$$

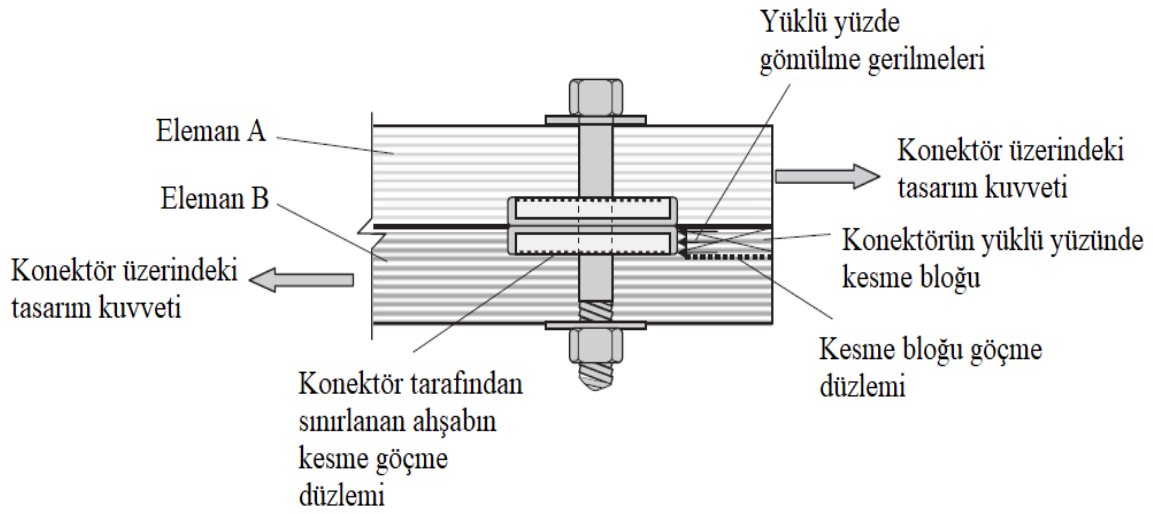
$$t_2 \geq 3.75h_e \quad (12.13)$$

Kalınlıklar Şekil 12.8.' de gösterildiği gibidir.

t_1 : Bağlantıdaki dış ahşap eleman kalınlığı

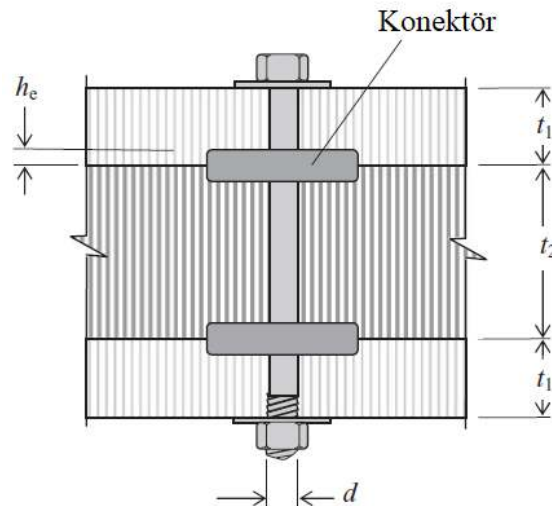
t_2 : Bağlantıdaki iç ahşap eleman kalınlığı

h_e : Halka veya kesme plakasının gömülme derinliği



Şekil 12.7. Yüklü uçta konektör gerilmesi.

Kaynak: (Porteous ve Kerman, 2007: 461).



Şekil 12.8. Ayrık halka ve kesme plakası konektörleri ile oluşturulan birleşimler için kullanılan ilgili boyutlar.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 462).

350kg/m³ karakteristik yoğunluğa sahip ahşap ile oluşturulan bir bağlantı için, 2d_c yüklü bir uç mesafesi, 3h_e yan eleman kalınlığı ve 5h_e merkezi eleman kalınlığı için aynı denklemler ayırık halka konektörü ve kesme plakası konektörünün karakteristik mukavemetini belirlemek için kullanılır:

- liflere paralel çekme altında, yüklü uçtaki kesme bloğunun karakteristik mukavemeti:

$$F_{1v.0.Rk} = 35d_c^{1.5} \quad (12.14)$$

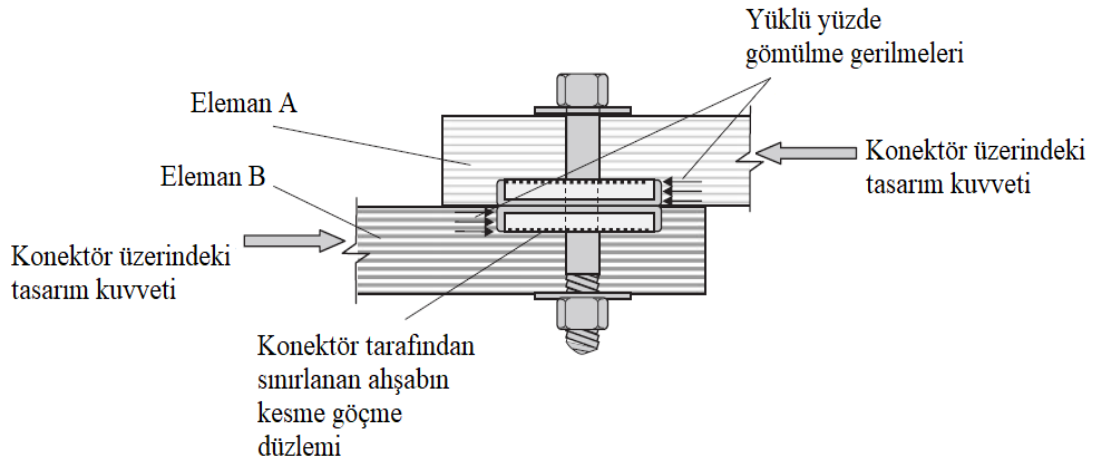
d_c: Konektör çapı (mm cinsinden)

- konektörün yüklü yüzünde ahşabın karakteristik gömülme mukavemeti:

$$F_{2v.0.Rk} = 31.5d_ch_e \quad (12.15)$$

h_e: Konektör gömülme derinliği

Konektör mukavemeti, (12.14) ve (12.15) denklemlerinden elde edilen minimum değer olacaktır. Konektörün Şekil 12.9.' da gösterildiği gibi 'yüksüz' uç koşulunda yüklendiği bir bağlantı için (yani $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$), kesme bloğu göçmesi ortaya çıkmaz ve mukavemet sadece (12.15) denkleminde dayanır.



Şekil 12.9. 'Yüksüz' uç koşulunda yüklenen ayırık halka konektörleri kullanılan bir birleşim.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 463).

Birleşimde çelik eleman kullanıldığında, (12.14) ve (12.15) denklemlerine modifikasyon faktörleri uygulanmalıdır. Faktörler birleştirilerek, liflere paralel karakteristik yük taşıma kapasitesi:

$$F_{v.0.Rk} = \min \begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35d_c^{1.5}) & \text{(a) (blok kesme)} \\ k_1 k_3 (31.5d_ch_e) & \text{(b) (gömülme)} \end{cases} \quad \text{(EC5, denklem (8.61))} \quad (12.16)$$

- d_c : konektör çapı
- k_1 : Eleman kalınlığının etkisini dikkate alan modifikasyon faktörü

$$k_1 = \min \left\{ \frac{1}{t_1/3h_e}, \frac{1}{t_2/5h_e} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.62)}) \quad (12.17)$$

t_1 ve t_2 'nin izin verilen minimum değerleri kullanılıyorsa, bağlantının mukavemeti %25 oranında azaltılır. Ayrıca, t_1 ve t_2 sırasıyla $3h_e$ ve $5h_e$ 'yi aştığında, birleşim mukavemetinde bir artış olmayacaktır.

- k_2 : Sadece yüklü bir uçtaki blok kesme mukavemeti için geçerlidir ve yük açısı $-30 \leq \alpha \leq 30$ arasında olmadıkça 1' dir:

$$k_2 = \min \left\{ k_a, \frac{a_{3,t}}{2d_c} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.63)}) \quad (12.18)$$

kesme düzlemi başına bir konektöre sahip bağlantılar için $k_a = 1.25$. Kesme düzlemi başına birden fazla konektöre sahip bağlantılar için $k_a = 1$.

- k_3 : Ahşap yoğunluğu için bir modifikasyon faktörüdür ve:

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1.75}{\rho_k/350} \right\} \quad (\text{EC5, denklem (8.65)}) \quad (12.19)$$

k_3 faktörü, daha yüksek mukavemete sahip ahşap kullanıldığında konektörün mukavemetini artıracaktır. Bu tip konektörlerle, karakteristik yoğunluk en az 613 kg/m^3 olduğunda maksimum %75 artış elde edilecektir. Bu durum tüm yumuşak ahşap sınıfları ve D30-D40 sert ahşap mukavemet sınıfları için geçerlidir.

- k_4 : Sadece kesme bloğu kırılma denklemi (12.16, denklem a) için geçerli olan bir modifikasyon faktörüdür. Aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$k_4 = \begin{cases} 1, & \text{ahşap - ahşap bağlantıları için} \\ 1.1, & \text{çelik - ahşap bağlantıları için} \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (8.66)}) \quad (12.20)$$

Konektör liflere göre α açısında yüklendiğinde, kesme düzlemi başına konektör başına karakteristik yük taşıma kapasitesi $F_{v,\alpha,Rk}$:

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (\text{EC5, denklem (8.67)}) \quad (12.21)$$

$$k_{90} = 1.3 + 0.001d_c \quad (\text{EC5, denklem (8.68)}) \quad (12.22)$$

Halka ve kesme plakası konektörleri için minimum aralıklar, kenar ve uç mesafeleri, semboller Şekil 11.11. ve Şekil 12.3.' tekiler ile aynı olmak üzere Tablo 12.2.' de belirtildiği gibi olacaktır.

Dişli plaka konektörlerinde olduğu gibi, halka veya kesme plakası konektörlerinin kademeli olduğu durumlarda, liflere paralel ve dik minimum aralıklar aşağıdaki kurallara uyarak azaltılabilir:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad \text{ve} \quad \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases} \quad (\text{EC5, denklem (8.69)}) \quad (12.23)$$

Gerekirse, liflere paralel aralık $k_{a1}a_1$, $0.5 \leq k_{s,\text{red}} \leq 1$ olmak üzere $k_{s,\text{red}}$ faktörü ile çarpılarak daha da azaltılabilir ve her konektörün yük taşıma kapasitesi $F_{v.0.Rk.\text{connector}}$:

$$F_{v.0.Rk.\text{connector}} = k_{r,\text{red}} * F_{v.0.Rk} \quad (12.24)$$

$$k_{r,\text{red}} = 0.2 + 0.8 * k_{s,\text{red}} \quad (\text{EC5, denklem (8.70)})$$

İzin verilen en büyük indirgemeyi kullanarak (yani $k_{s,\text{red}} = 0.5$) her bir konektörün mukavemeti, tam mukavemetin %60' ına düşecektir.

k_{a1} faktörü $k_{s,\text{red}}$ ile azaltılırsa, liflere paralel ve dik minimum aralık koşulları sağlanmalıdır.

$$(k_{s,\text{red}} * k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad \text{ve} \quad \begin{cases} 0 \leq k_{s,\text{red}} * k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases} \quad (12.23a)$$

Tek sıralı ayrıık halka konektörü veya liflere paralel kesme plakası konektörleri kullanıldığında ve sırada 2' den fazla konektör olduğunda, liflere paralel yüklemde kesme düzlemi başına konektörlerin mukavemeti azalır. Bu durum için, etkili konektör sayısı n_{ef} , aşağıdaki gibi alınmalıdır:

Tek veya çift tesirli bağlantılar için, kullanılan konektör türüne bakılmaksızın, konektör sayısı, sıradaki konektör cıvatalarının sayısına eşit alınır:

$$n_{\text{ef}} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right) * (n - 2) \quad (\text{EC5, denklem (8.71)}) \quad (12.25)$$

$k_{a2}a_2 < 0.5k_{a1}a_1$ olduğunda, konektörlerin aynı sırada olduğu düşünülmelidir.

Bağlantıda liflere paralel birden fazla konektör sırası varsa, etkili konektör sayısı, her sıradaki etkili konektör sayısının toplamı olarak alınacaktır. Konektörler liflere dik yüklendiğinde, etkili konektör sayısı bağlantıdaki konektör cıvatalarının sayısına eşit olacaktır.

Halka veya kesme plakası konektörleri için kullanılan cıvatalar ve rondelalar, bağlantının yanıl mukavemetine katkıda bulunmasa bile, konektörleri yerlerinde tutmaları ve EC5 şartlarına uymaları gerekir. Bu tip konektörlerle kullanım için izin verilen minimum ve

maksimum cıvata çapı Tablo 12.3.' te verilmiştir. d_c konektörün çapı, d cıvatanın çapı ve d_1 konektörün orta deliğinin çapıdır.

Tablo 12.3. Halka ve kesme plakası konektörlerinde kullanılan cıvata boyutları için gereksinimler.

	Konektör tipi		
	A1 ila A6	A1, A4, A6	B
Konektör çapı d_c	≤ 130	> 130	
Minimum cıvata çapı $d_{\min}$	12	$0.1d_c$	$d_1 - 1$
Maksimum cıvata çapı $d_{\max}$	24	24	d_1

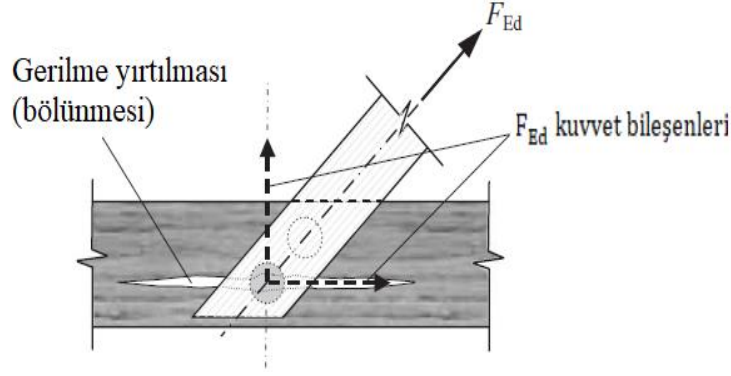
12.4. Çoklu Kesme Düzlem Bağlantıları

Bağlantının birden fazla kesme düzlemi içermesi ve bağlı elemanların birbirine göre farklı açılarda olması halinde, dişli plaka konektörleri için Bölüm 12.2.' de ve halka veya ayırık halka konektörleri için Bölüm 12.3.' te verilen birleşim mukavemeti denklemlerini doğrudan uygulamak mümkün değildir. Bu durum için, bağlantıdaki her kesme düzleminin mukavemeti, kesme düzleminin bir dizi 3 elemanlı bağlantının bir parçasını oluşturduğu varsayımıyla elde edilir. Daha sonra bağlantı mukavemeti, bulunan mukavemet değerleri birleştirilerek elde edilir. Halka ve kesme plakası konektörlerinde, tüm göçme modları uyumlu olacaktır. Bununla birlikte, dişli plakalı konektör cıvatasıyla ilişkili göçme modları düşünüldüğünde, Tablo 11.2' deki (a), (b), (g) ve (h) modlarının veya Tablo 11.3' deki (e), (f) ve (j/l) modlarının diğer göçme modlarıyla birleştirilmemesi gerekir.

Konektörler ile oluşturulan birden çok elemanlı birleşimlerde birleşim mukavemetini belirlemek, metal dübel tipi bağlantı elemanları kullanılarak oluşturulan birden çok elemanlı birleşimler için kullanılan yöntem ile aynı olacaktır.

12.5. Liflere Göre Açılı Bağlantı Kuvvetleri Nedeniyle Gevrek Kırılma

Bu tip gevrek kırılma, konektörlere açılı bir kuvvet uyguladığında ortaya çıkar (Şekil 12.10.). Açılı kuvvetin dik bileşeni bölünmeye sebep olabilir. Kırılma, bağlantı elemanlarının tasarım kapasitesinden daha az bir yükte meydana gelebilir.



Şekil 12.10. Liflere göre açılı yük altında bir eleman.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 466).

Bir çekme bileşeninin liflere dik açılarda oluşabileceği bir konektörün bölünme mukavemeti (11.41d) denkleminde elde edilir.

12.6. Bağlantılarda Alternatif Kuvvetler

Uzun veya orta vadeli kuvvetler nedeniyle karakteristik yük taşıma kapasitesi azaltılır.

12.7. Yanal Yüklü Bir Bağlantının Tasarım Mukavemeti

12.7.1. Liflere paralel yüklü

Yanal yüklü konektörün tasarım mukavemeti $F_{v,Rd}$, aşağıdaki gibi elde edilir:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad (12.26)$$

- $F_{v,Rk}$: Yanal yük altında kesme düzlemi başına konektörün karakteristik yük taşıma kapasitesidir.

Tek veya çift tesirli bir bağlantıda, her bir sıra aynı tip ve boyutta eşit aralıklarla yerleştirilmiş n adet konektöre sahip olduğunda, liflere paralel yanal yük altında konektörlerin r_{pl} sırası için, konektörlerin her biri $F_{v,Rd}$ tasarım kuvveti etkisindeyken liflere paralel kesme düzlemi başına birleşimin etkili yanal yük taşıma tasarım kapasitesi:

$$F_{v,ef,Rd} = n_{sp} r_{pl} \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd} \quad (12.27)$$

n_{ef} : Liflere paralel her sırada bağlantıdaki konektörlerin etkili sayısı:

- (a) Dişli plakalı konektörlerin etkili sayısı; Sıradaki konektör cıvatalarının sayısına eşit olacaktır.

- (b) Halka veya kesme plakası konektörlerin etkili sayısı; (12.25) denkleminde elde edilir.

n_{sp} : Bağlantıdaki kesme düzlemlerinin sayısı

12.7.2. Liflere dik yüklü

Liflere dik yüklü konektörler ile ahşaba yük aktarımında, 2 olası göçme şekli vardır:

- (a) Çekmede ahşap bölünmesi
(b) Konektörün sünek akması; bu durumda, her bir hattın hepsi aynı boyutta n konektör içeren r_{pr} konektör hatları varsa,

$$F_{v.ef.Rd} = n_{sp} r_{pr} * n_{ef} * F_{v.Rd} \quad (12.28)$$

- $F_{v.ef.Rd}$: Liflere dik ve yanal yük altında kesme düzlemi başına konektörün etkili tasarım mukavemeti
- n_{sp} : Bağlantıdaki kesme düzlemlerinin sayısı
- n_{cb} : Liflere dik olan sıra başına konektör cıvatalarının sayısı
- $F_{v.Rd}$: Liflere dik yük altında, kesme düzlemi başına yanal yüklü tek bir konektörün tasarım yük taşıma kapasitesidir. Yani dişli plaka konektörleri için 12.2.' de veya halka ve kesme plakası konektörleri için 12.3.' te ilgili mukavemet denklemlerinden belirlenen en düşük değerdir.

Liflere dik yüklü bir bağlantının tasarım yük taşıma kapasitesi:

$$\text{Bağlantı tasarım kapasitesi} = \min(F_{90.Rd}, F_{v.ef.Rd}) \quad (12.29)$$

$F_{90.Rd}$, yumuşak ahşap için tasarım bölünme kapasitesidir.

12.7.3. Liflere göre açılı yüklemede

Konektörler liflere göre açılı yük altındayken, liflere paralel ve dik kuvvet bileşenleri türetilmelidir ve:

- (i) Liflere paralel tasarım kuvvetinin bileşeni, 12.7.1.' de tanımlandığı şekilde belirlenen bağlantının yük taşıma kapasitesini aşmamalıdır.
(ii) Liflere dik tasarım kuvvetinin bileşeni, 12.7.2.' de tanımlandığı şekilde belirlenen bağlantının yük taşıma kapasitesini aşmamalıdır.

12.8. Dişli Plaka, Halka ve Kesme Plakası Konektörlerinin Rijitlik Davranışı

Dişli plaka, halka ve kesme plakası konektörlerinin yanal rijitliği, metal dübel tipi bağlantı elemanları için verilenlerle aynıdır.

SLS' de konektör başına kesme düzlemi başına kayma modülü K_{ser} Tablo 12.4.' te verilmiştir. Birleşim, ortalama yoğunlukları $\rho_{m.1}$ ve $\rho_{m.2}$ olan ahşap elemanlardan oluşuyorsa, denklemlerde kullanılan ρ_m :

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m.1} * \rho_{m.2}} \quad (\text{EC5, denklem (7.1)}) \quad (12.30)$$

Tablo 12.4. Ahşap-ahşap ve ahşap panel-ahşap birleşimlerde konektörler için kayma modülü K_{ser} değerleri.

Konektör tipi	K_{ser}
Dişli plaka konektörleri: - C1 ila C9	$1.5\rho_m d_c / 4$
- C10 ve C11	$\rho_m d_c / 2$
A tipi bölünmüş halka konektörleri	$\rho_m d_c / 2$
B tipi kesme plakası konektörleri	$\rho_m d_c / 2$

Bağlantı çelik-ahşap veya beton-ahşap ise, K_{ser} ahşap elemanın ortalama yoğunluğu ρ_m ' e bağlıdır. Çelik veya beton elemanda kayma olmaması için, K_{ser} değeri 2 ile çarpılabilir.

Metal dübel tipi bağlantı elemanları için, ULS' de ani kayma modülü K_u :

$$K_u = \frac{2}{3} * K_{ser} \quad (\text{EC5, denklem (2.1)}) \quad (12.31)$$

Arka arkaya konumlandırılmış tek taraflı konektörler kullanılarak bir bağlantı oluşturulduğunda (örneğin tek taraflı dişli plakalı konektörler veya kesme plakası konektörleri), her bir konektör çiftinin rijitliği, Tablo 12.4.' te belirtildiği gibi tek taraflı konektörün rijitliği olarak alınmalıdır.

Cıvatanın takılabilmesi için dişli plakalı konektörlerde cıvata deliğinin çapına bir miktar tolerans eklenmelidir. Bu yüzden tek taraflı konektörlerle yapılan birleşimler, yük altında küçük bir başlangıç kaymasına sahip olurlar. Bu küçük kaymayı da göz önünde bulundurarak, sapma hesabında tolerans yapılmalıdır.

Metal dübel tipi bağlantı elemanları kullanılarak oluşturulan bağlantılarda olduğu gibi, yükleme açısına bakılmaksızın tüm konektörlerin rijitliğe katkıda bulunacağı varsayılarak bağlantı rijitliğinin hesaplanması önerilir.

12.9. Dişli Plaka, Ayrık Halka veya Kesme Plakası Konektörleri Kullanılarak Oluşturulan Bağlantılarda Yanal Hareketin Etkisini İçeren Çerçeve Analizi

Dişli plaka, ayrık halka veya kesme plakası konektörleri ile oluşturulan bağlantılarda kayma etkisinin yapının analizine dahil edilmesi gerektiğinde, 11.10’ da verilenler uygulanacaktır.



13. METAL DÜBEL TİPİ BAĞLANTI ELEMANLARI VEYA KONEKTÖRLER İLE OLUŞTURULAN BAĞLANTILARIN MOMENT KAPASİTESİ

Yapıdaki bir bağlantı, bağlantı elemanları arasında göreceli hareket olmaması koşuluyla, dönmeye maruz kaldığında, tüm elemanlar aynı dönmeye tabi tutulacaktır. Bu koşul altında, bağlantı rijit olarak sınıflandırılır ve yapıya maksimum dönme rijitliği sağlar. Bağlantıdaki elemanların sabit tutulduğu ancak birbirlerine göre serbestçe dönebildiği diğer uçta, moment aktarılamaz ve bu durum mafsallı olarak sınıflandırılır. Birleşimdeki sabitlik derecesi bu durumlar arasında olduğunda, yarı rijit olarak sınıflandırılır.

Ahşap tasarımı, bağlantıların rijit veya mafsallı olduğunu varsaymak normal bir uygulamadır, ancak pratikte değişen derecelerde yarı rijit davranışlar görülür. Birleşim moment etkisindeyken, gerilmeler bağlantı elemanları ve/veya konektörler arasında aktarılır. Birleşimdeki deformasyon ise, bağlantı elemanlarının ve/veya konektörlerin gömülmesi ile deformasyonunun kombinasyonu olacaktır. Genellikle elemanların rijitliği, bağlantı elemanı konfigürasyonunun rijitliğine göre büyüktür. Bu nedenle eğilme, eksenel yük ve kaymadan kaynaklı şekil değiştirmeler, bağlantı elemanı/konektör deformasyonundan kaynaklı şekil değiştirmelere kıyasla küçüktür ve ihmal edilir.

Bu bölümde, metal dübel tipi bağlantı elemanları veya konektörler ile oluşturulan ve yanal yüklemeden kaynaklı moment etkisindeki rijit ve yarı rijit bağlantılar için tasarım ele alınmaktadır.

13.1. Tasarım

Moment etkisindeki bağlantılar için ana tasarıma ait sınır durumları Tablo 13.1.' de verilmiştir.

Tablo 13.1. Yanal yükleme nedeniyle oluşan moment etkisindeki birleşimler için ana tasarım gereksinimleri ve ilgili EC5 sınır durumları.

Tasarım veya yer değiştirme etkisi	EC5 sınır durumu
Yanal yükleme nedeniyle moment mukavemeti	ULS
Yer değiştirme (dönme)	SLS

Konektörler için mukavemet ve yer değiştirme gereksinimleri, metal dübel tipi bağlantılar için gerekli olanlarla aynıdır. Yer değiştirme etkisi dönme hareketi ile ilgilidir.

13.2. Moment Bağlantısında Sıradaki Etkili Bağlantı Elemanı Sayısı

Moment etkisi altında, bağlantıda her bir bağlantı elemanındaki kuvvetin yönü değişir. Bağlantı elemanları için:

- (a) bir sıradaki 2 veya daha fazla bağlantı elemanından gelen kuvvet bileşeninin, bağlı elemanlardan herhangi birinde liflere paralel olduğu bir sıra yok ise;
- (b) yukarıdaki durumun ortaya çıkacağı sıralar var ancak liflere paralel bağlantı elemanları arasındaki boşluk Tablo 13.2.' de verilen kriterlere uygun ise;

birleşimde bağlantı elemanlarının tam sayısı kullanılabilir. Yukarıdaki koşullar geçerli değilse, liflere paralel yüklü bağlantı elemanlarının kapasitesine ilişkin kontroller için, Bölüm 11 ve Bölüm 12' de tanımlanan, bir sıradaki bağlantı elemanlarının etkili sayısı kullanılmalıdır.

Tablo 13.2. Bir sıradaki tüm birleşim elemanlarının mukavemet hesaplamalarında kullanılacak kriterler.

Birleşim tipi	Liflere paralel kuvvet bileşeni etkisinde sıradaki birleşim elemanları için kriter
≤ 8 mm çaplı çiviler ve ≤ 6 mm çaplı vidalar	Liflere paralel bitişik birleşim elemanları için aralık $\geq 14d$ olmalıdır.
> 8 mm çaplı çiviler, > 6 mm çaplı vidalar, cıvatalar veya dübelller	$n^{0.94} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} > 1$ olmalıdır.
Dişli plaka konektörler	Her zaman tam sayıda konektör kullanılmalıdır.
Halka ve kesme plakası konektörleri	Kesme düzlemi başına en fazla 2 konektörün bulunduğu yerde, liflere paralel bileşene sahip bir sıra olmalıdır.

Tablo 13.3. Ahşap-ahşap moment bağlantılarında kullanılan birleşim elemanları için minimum kenar, uç ve aralık kriterleri.

Birleşim elemanı	Kenar mesafesi ($a_{4,t}$ ve $a_{3,c}$)	Yüklü uç mesafesi ($a_{3,t}$)	Yanal aralık (a_1 ve a_2)
Çivi ve vida ($\rho_k \leq 420$ kg/m ³)	$d \geq 5$ mm; 10d $d < 5$ mm; 7d	$d \geq 5$ mm; 15d $d < 5$ mm; 15d	$d \geq 5$ mm; 12d $d < 5$ mm; 10d
Çivi ve vida (420 kg/m ³ < $\rho_k \leq 550$ kg/m ³)	$d \geq 5$ mm; 12d $d < 5$ mm; 9d	$d \geq 5$ mm; 20d $d < 5$ mm; 20d	$d \geq 5$ mm; 15d $d < 5$ mm; 15d
Ön delmeli çivi ve vida	$d \geq 5$ mm; 7d $d < 5$ mm; 5d	$d \geq 5$ mm; 12d $d < 5$ mm; 12d	$d \geq 5$ mm; 5d $d < 5$ mm; 5d
Cıvata, dübel ve vida	4d	$\max \begin{cases} 7d \\ 80 \text{ mm} \end{cases}$	6d

Tablo 13.3. devam ediyor

Dişli plaka konektörü	d_c	$2d_c$	$2d_c$
Halka veya kesme plakası konektörü	d_c	$2d_c$	$2d_c$

13.3. Gevrek Kırılma

Moment etkisindeki bir bağlantının sünek mukavemeti, ahşabın erken bölünmesinden kaynaklı gevrek kırılma yoksa elde edilebilir.

Gevrek kırılmanın önlenmesi için, metal dübel tipi bağlantı elemanları ve yanal yüklü konektörler ile kullanım için minimum kenar, uç ve aralık kriterleri belirlenmiştir. Bunlar minimum değerler olarak kabul edilmelidir ve eğer mümkünse daha büyük değerler kullanılmalıdır. Tablo 13.3.' te, moment bağlantılarında yaygın olarak kullanılan bağlantı elemanı türleri için önerilen kriterler verilmiştir. 6 mm' den büyük çaplı çiviler kullanıldığında veya ahşabın yoğunluğu 500 kg/m^3 ' ten büyük olduğunda bölünmeyi önlemek için ön delme yapılmalıdır.

13.4. Ahşap Bağlantılarda Moment Davranışı: Rijit Model Davranışı

Bağlantının mukavemetinin doğrulanması 2 aşamada gerçekleştirilir. Gerilmeleri belirlemek için yapı analizi yapılır ve daha sonra bağlantının bu gerilmelere dayanacak kadar güçlü olduğunu gösteren tasarım prosedürleri uygulanır.

Yapı izostatik ise, bağlantıların rijit veya yarı rijit oluşuna bağlı olarak, yapıdaki kuvvet dağılımı farklı olacaktır. Rijit davranış sergileyen bağlantılarla oluşturulmuş izostatik ahşap yapıların elastik analizi, geleneksel yöntemlerle veya yazılımlar kullanılarak kolayca gerçekleştirilebilir.

13.4.1. Bağlantı tasarımında varsayımlar

Moment etkisinde ahşap bağlantı tasarlarken, bağlantı genellikle bağlantı elemanlarına göre daha rijit olduğundan, analizi basitleştirmek için elemanların rijit davrandığını varsayılır. Bunun için eğilme gerilmelerinin küçük olması sağlanmalıdır.

Deplasman, bağlantı elemanındaki yer değiştirmeden kaynaklanır. Rijit model yaklaşımında aşağıdaki varsayımlar yapılır:

- (a) Bağlantı elemanlarının dönme merkezi sabittir.

- (b) Her bir bağlantı elemanı yanal kesme kuvvetinden eşit pay alacaktır. Dolayısıyla, bağlantıdaki kesme düzlemi başına kesme kuvveti H_d ise ve kesme düzlemi başına n bağlantı elemanı varsa, kesme düzlemindeki her bir bağlantı elemanı tarafından alınan yanal kuvvet $F_{h,d}$ aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F_{h,d} = \frac{H_d}{n} \quad (13.1)$$

- c) Tüm bağlantı elemanları aynı doğrusal yük-rijitlik davranışına sahiptir. Bu durum, bağlantı mukavemetinin bağlantı elemanı rijitliğinden bağımsız olacağı anlamına gelse de, çözümün geliştirilmesinde ULS kayma modülü kullanılacaktır.

Bağlantı elemanları dönme merkezi etrafında dönecek ve bağlantıdaki diğer elemanlara gömülme gerilmeleri ile yük aktarılacaktır.

Bağlantı elemanı dönme merkezinden ne kadar uzak olursa, C ilişkili yer değiştirme miktarı daha fazla olacaktır ve Şekil 13.1.' de gösterildiği gibi maksimum yer değiştirme, merkezden en uzak bağlantı elemanında meydana gelecektir. Birleşim ϑ dönmesine maruz kaldığında, i bağlantı elemanının ağırlık merkezinden r_i mesafesindeki yer değiştirmesi:

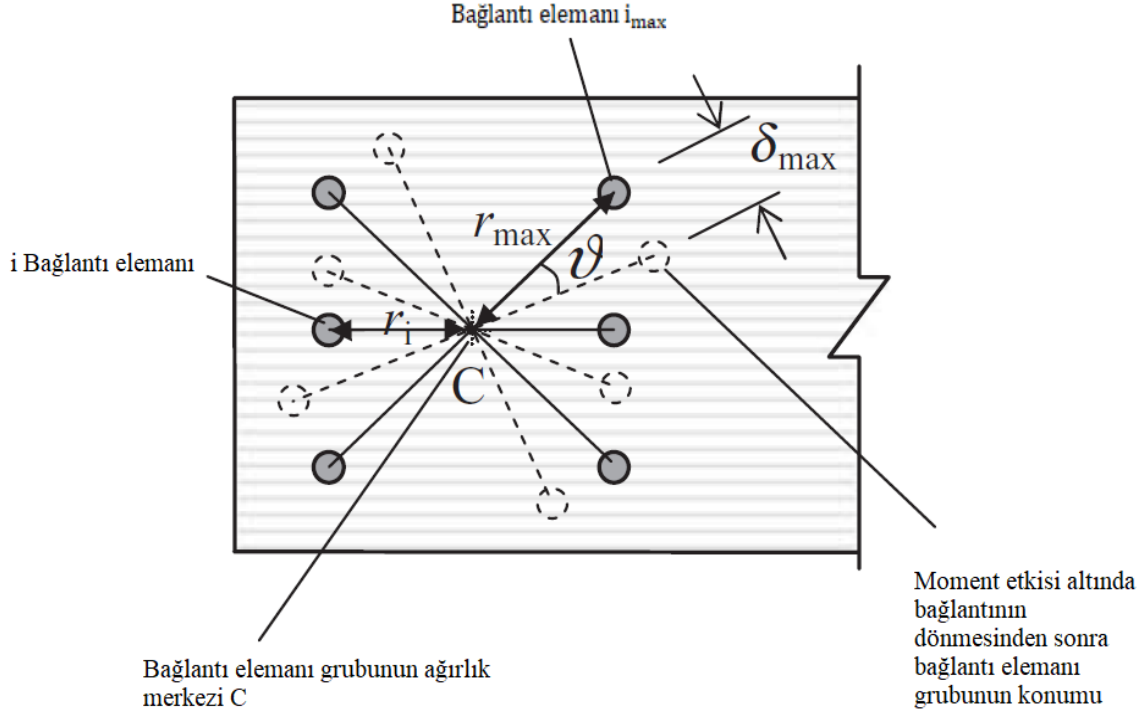
$$\delta_i = \frac{r_i}{r_{\max}} * \delta_{\max} \quad (13.2)$$

$r_{\max}$: Dönme merkezinden en uzak mesafe

$\delta_{\max}$: En büyük yer değiştirme

- d) Bağlantı elemanlarının doğrusal yük-rijitlik davranışı EC5' in rijitlik şartlarına uygundur.
- e) Bağlantı elemanlarının aralığı, ahşabın erken bölünmesinin gerçekleşmeyeceği şekildedir.

Yukarıdaki varsayımları tasarım dahil eden elastik teori, moment davranışını analiz etmek için kullanılabilir ve bağlantı mukavemetinin kabul edilebilir bir değerlendirmesi elde edilebilir.



Şekil 13.1. Bağlantı elemanlarının dönme davranışı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 487).

13.4.2. Bağlantı tasarımı

n adet bağlantı elemanının olduğu tek veya çift tesirli birleşim Şekil 13.2.' de gösterilmektedir.).

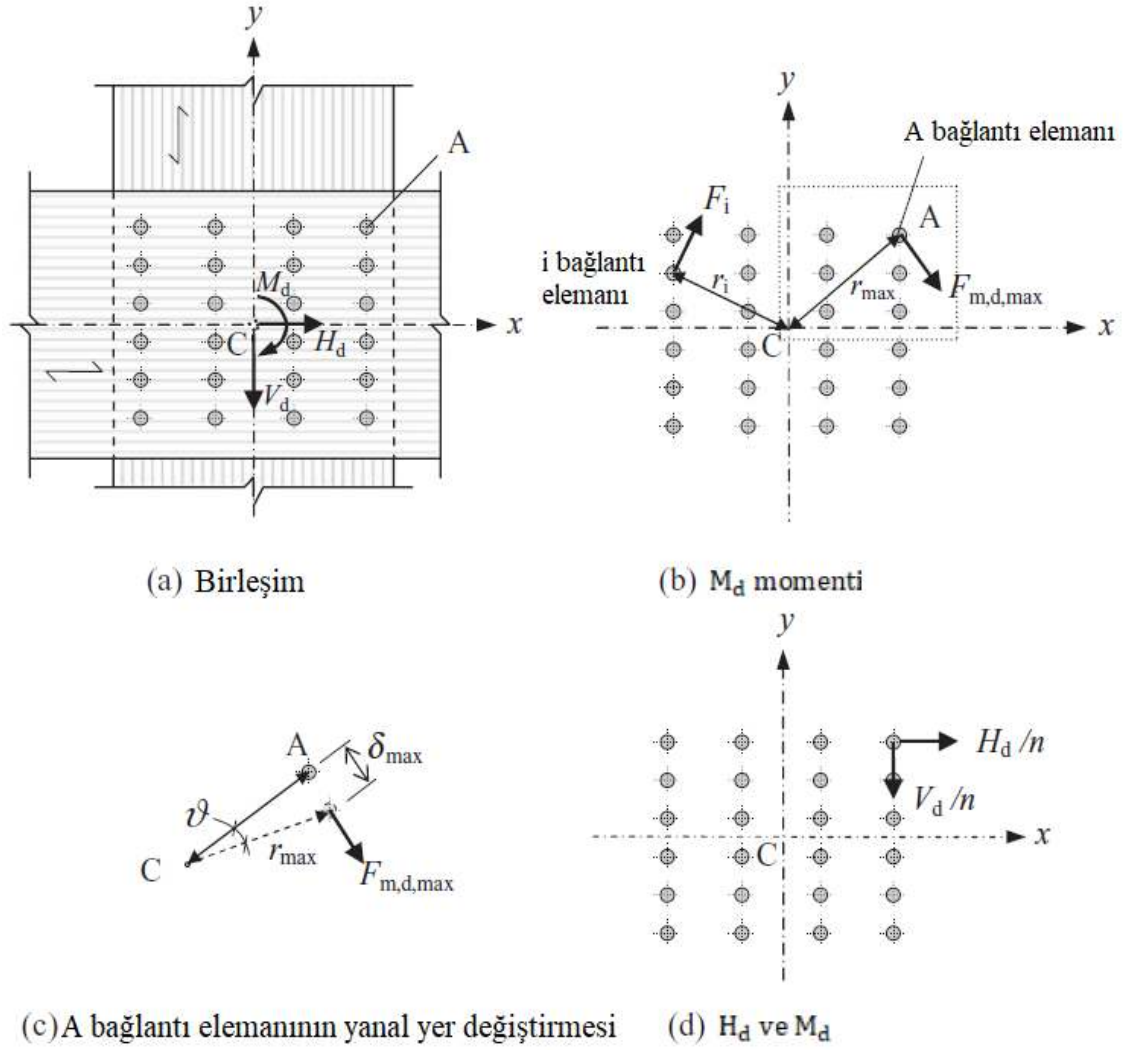
ULS tasarım koşulunda bağlantının her bir kesme düzlemi M_d momenti ile H_d ve V_d yanal kuvvetleri etkisindedir. Merkezden en uzak mesafedeki bağlantı elemanı, moment etkisi altında maksimum harekete sahip olacaktır. Şekil 13.2a' daki A bağlantı elemanı en büyük kuvvet etkisinde kalacaktır.

Şekil 13.2b ve Şekil 13.2c' de gösterildiği gibi, kesme düzlemi başına etkiyen M_d momentinin A bağlantı elemanında ϑ dönmesine ve δ_{max} yanal deplasmanına neden olduğu durumda, her bir bağlantı elemanının ULS kayma modülünün K olduğunu varsayarak, bu yükleme konfigürasyonu için maksimum kuvvet $F_{m.d.max}$ A bağlantı elemanında olacak ve şu şekilde yazılacaktır:

$$F_{m.d.max} = K * \delta_{max} = K * r_{max} * \vartheta \quad (13.3)$$

ϑ : M_d etkisi altında bağlantının dönmesi

r_{max} : Merkezden A bağlantı elemanına olan radyal mesafe



Şekil 13.2. Moment ve yanal kuvvetlerin etkisin altında birleşim.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 488).

Herhangi bir i bağlantı elemanındaki kuvvet:

$$F_i = K * \delta_i = K * r_{\max} * v * \frac{r_i}{r_{\max}} \quad (13.4)$$

Herhangi bir i bağlantı elemanındaki moment:

$$M_i = F_i * r_i = K * r_{\max} * v * \frac{r_i^2}{r_{\max}} = F_{m,d,\max} * \frac{r_i^2}{r_{\max}} \quad (13.5)$$

Bağlantıdaki kesme düzlemi başına n bağlantı elemanları tarafından alınan moment:

$$M_d = \frac{F_{m,d,\max}}{r_{\max}} \sum_{i=1}^n r_i^2 \quad (13.6)$$

Moment etkisi altında kesme düzlemi başına maksimum kuvvet $F_{m.d.max}$:

$$F_{m.d.max} = M_d \frac{r_{max}}{\sum_{i=1}^n r_i^2} \quad (13.7)$$

Her bir bağlantı elemanının kesme düzlemi başına yanal kuvvet bileşenleri:

$$F_{h.d} = \frac{H_d}{n} \quad \text{ve} \quad F_{v.d} = \frac{V_d}{n} \quad (13.8)$$

M_d , H_d ve V_d etkisi altında, en büyük kuvvet A bağlantı elemanında olacak ve (13.7) ve (13.8) denklemlerinden hesaplanan kuvvetlerin vektör toplamından elde edilecektir. Vektör kuvvetleri Şekil 13.3.' te gösterilmiştir ve kesme düzlemi başına bu bağlantı elemanındaki maksimum kuvvet F_d :

$$F_d = \sqrt{(F_{v.d} + F_{m.d.max} \cos \beta)^2 + (F_{h.d} + F_{m.d.max} \sin \beta)^2} \quad (13.9)$$

F_d ' nin yatay eksenden açısı α :

$$\alpha = \arccos \left(\frac{F_{h.d} + F_{m.d.max} \sin \beta}{F_d} \right) \quad (13.10)$$

Moment dayanıklılığı için bağlantı elemanları dairesel bir düzende sıralanır. Bu durumda, yukarıdaki denklemler basitleştirilebilir. Şekil 13.4.' te, en büyük yüke sahip bağlantı elemanı A olacaktır ve bu bağlantı elemanındaki kesme düzlemi başına kuvvet F_d ve bu kuvvetin yatay eğim açısı α olup aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

$$F_d = \sqrt{(F_{v.d} + F_{m.d})^2 + F_{h.d}^2} \quad (13.11)$$

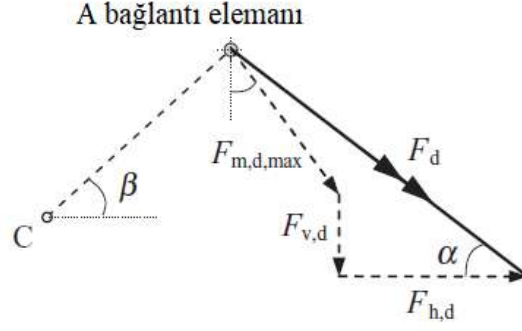
$$\alpha = \arccos \left(\frac{F_{h.d}}{F_d} \right) \quad (13.12)$$

$$F_{m.d} = \frac{M_d}{nr} \quad (13.13)$$

n: Daire içindeki bağlantı elemanlarının sayısı

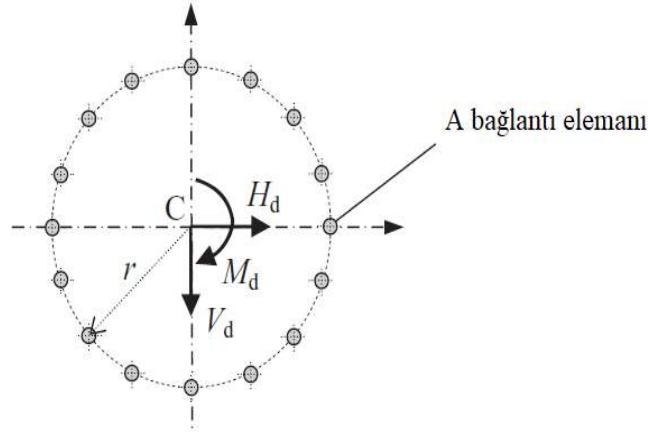
r: Bağlantı elemanı grubunun yarıçapı

Bölüm 11 ve 12' de açıklandığı gibi elde edilen kesme düzlemi başına maksimum yüklü bağlantı elemanındaki kuvvetin, bağlantı elemanının kesme düzlemi başına yanal tasarım mukavemetinden daha küçük olduğu gösterilmelidir.



Şekil 13.3. A bağlantı elemanındaki kuvvetlerin vektörel toplamı.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 490).



Şekil 13.4. Birleşimde bağlantı elemanlarının dairesel grubu.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 490).

13.4.3. Moment ve yanal kuvvetler etkisindeki bağlantılarda kesme mukavemeti ve kuvvet bileşeni kontrolleri

13.4.3.1. Kesme mukavemeti

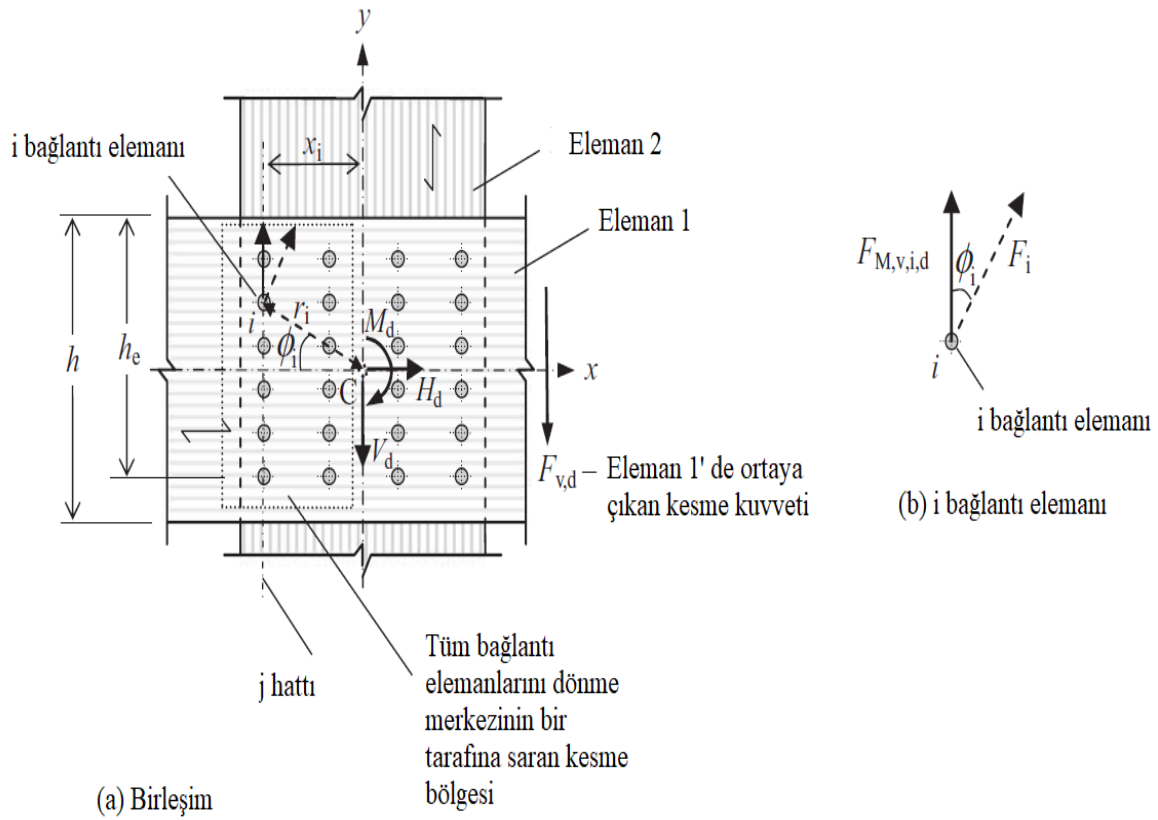
13.4.2.' de anlatılan tipik bağlantıda, bağlantı elemanlarındaki kuvvetlerin düşey ve yatay bileşenleri, bağlantı elemanlarında kesme kuvvetleri oluşturur ve bunların bir elemanda liflere dik etki ettiği durumlarda kesme mukavemeti kontrol edilmelidir. Dairesel bir bağlantı elemanları sisteminden ziyade dikdörtgen bir sistem kullanılacaksa, köşe bölgelerinde kuvvetler nedeniyle ahşap bölünme riski daha büyüktür. Şekil 13.5.' te gösterilen bağlantı için, eleman 1 ve eleman 2' de liflere dik kuvvet bileşenleri olacaktır ve her iki eleman için mukavemet kontrolleri gereklidir.

Eleman 1 dikkate alındığında, Şekil 13.5.' te gösterilen kuvvet konfigürasyonu altında, liflere dik maksimum kesme kuvveti, dönme merkezinin solunda gerçekleşir.

M_d momenti ile H_d ve V_d yanal kuvvetleri altında bağlantıdaki her bir kesme düzlemi için, sadece tasarım momenti etkisi altında, bağlantı elemanlarında yanal kuvvetler oluşacak ve kesme bölgesinde i bağlantı elemanındaki kuvvet Şekil 13.5a' da gösterildiği gibi olacaktır. Bağlantının elemanının bağlantı merkezinden yarıçapı r_i ' dir ve yatayla ϕ_i açısına sahiptir. Şekil 13.5b' de gösterilen bağlantı elemanında kesme düzlemi başına düşey tasarım kuvveti şu şekilde yazılabilir:

$$F_{M,v,i,d} = F_i * \cos\phi_i = F_{m.d.max} * \frac{r_i}{r_{max}} * \frac{|x_i|}{r_i} = F_{m.d.max} * \frac{|x_i|}{r_{max}} \quad (13.14)$$

$|x_i|$: i bağlantı elemanının x koordinatının mutlak değeridir. Koordinat sisteminin orjini, bağlantı elemanı konfigürasyonunun dönme merkezidir.



Şekil 13.5. Kesme düzlemi başına M_d momenti etkisindeki eleman 1' in kesme kuvveti analizi.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 491).

Tasarım momenti M_d ’ den kaynaklı olarak dönme merkezinin sol tarafında her bir j hattındaki bağlantı elemanlarındaki kuvvetlerin düşey bileşenlerinin toplamı:

$$F_{M.v.d,j} = \frac{F_{m.d.max}}{r_{max}} \sum^{j \text{ hattı}} |x_i| = \frac{F_{m.d.max}}{r_{max}} * n_j * |x_i| \quad (13.15)$$

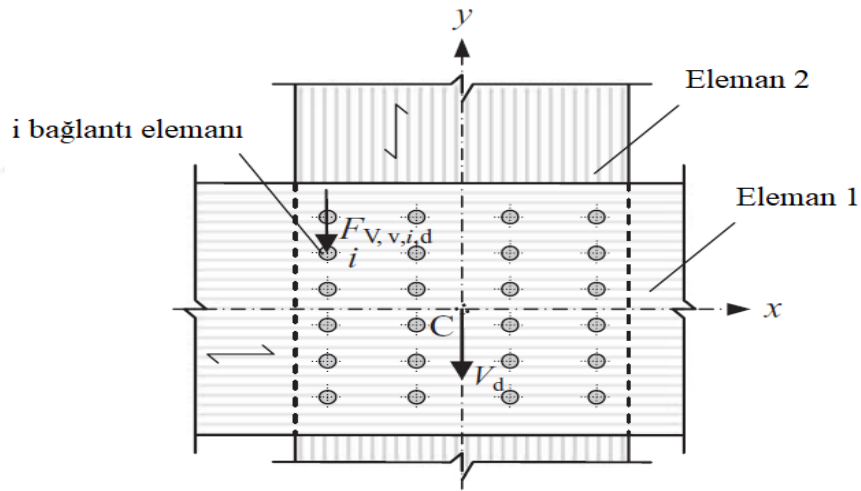
$F_{M.v.d,j}$: M_d momentinden kaynaklanan bölgedeki her j satırındaki kesme düzlemi başına düşey kesme kuvveti

n_j : j satırındaki kesme düzlemindeki bağlantı elemanları sayısı

Bağlantı 13.4.1(b)’ deki varsayıma uygun olarak düşey tasarım kuvveti V_d ’ ye tabi tutulursa, Şekil 13.6.’ da gösterilen kesme düzlemindeki her bir bağlantı elemanı tarafından alınan düşey yanal kuvvet $F_{V.v.i.d}$:

$$F_{V.v.i.d} = \frac{V_d}{n} \quad (13.16)$$

n : Kesme düzlemindeki bağlantı elemanı sayısı

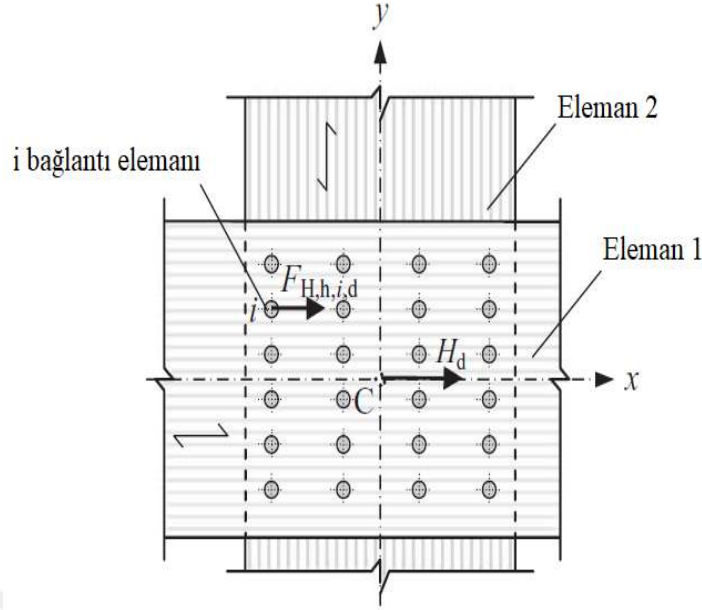


Şekil 13.6. Kesme düzlemi başına V_d düşey kuvveti nedeniyle her bağlantı elemanındaki kesme kuvveti.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 492).

Bağlantı H_d yatay tasarım kuvveti etkisindeyken, Şekil 13.7.’ de gösterilen her bir bağlantı elemanı tarafından alınan yatay kuvvet $F_{H.h.i.d}$:

$$F_{H.h.i.d} = \frac{H_d}{n} \quad (13.17)$$



Şekil 13.7. Kesme düzlemi başına H_d yatay kuvveti nedeniyle her bağlantı elemanındaki kesme kuvveti.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 492).

Sadece eleman 1 dikkate alındığında, elemandaki düşey kesme kuvvetine katkıda bulunan kuvvetler, tasarım momenti M_d ve düşey tasarım kesme kuvveti V_d ' nin uygulanmasından kaynaklanan kuvvetler olacaktır.

Eleman 1 üzerindeki kesme düzlemi başına düşey tasarım kesme kuvveti $F_{V,v,d}$, kesme bölgesinde maksimum kesme kuvveti olacaktır. Maksimum değer, bağlantı elemanı konfigürasyonuna ve düşey kesme tasarım kuvveti değeri V_d ' ye bağlıdır. Şekil 13.5.' te gösterilen durum için maksimum değer $F_{V,v,d}$:

- Bağlantı elemanlarının ilk satırında:

$$F1_{V,v,d} = \frac{F_{m,d,max}}{r_{max}} * n_{l1} * |x_1| - \frac{n_{l1}}{n} * V_d \quad (13.18)$$

- Bağlantı elemanlarının ikinci satırında:

$$F2_{V,v,d} = F1_{V,v,d} + \frac{F_{m,d,max}}{r_{max}} * n_{l2} * |x_2| - \frac{n_{l2}}{n} * V_d \quad (13.19)$$

- Maksimum değer:

$$F_{V,v,d} = \max\{F1_{V,v,d}, F2_{V,v,d}\} \quad (13.20)$$

Kullanılan örnek için ilk satır merkezden en uzak hat ve ikinci satır merkeze en yakın hattır. Kesme düzlemindeki bağlantı elemanlarının sayısı ilk satırda n_{l1} ve ikinci satırda n_{l2} ’ dir.

Eleman 1’ deki kesme kuvveti, bağlantının sınır alanı içinde elemanda bölünme kuvvetleri oluşturacaktır, ancak EC5’ teki bölünme denklemi bu yükleme koşulu için geçerli değildir. Bölünmenin kritik olmayacağını varsayarsak, mukavemet kontrolü, elemanın sınır alanı içindeki kesme mukavemetinin aşılmadığının tespiti içindir ve eleman 1 için bu durum aşağıdaki gibi olacaktır:

$$F_{V.v.d} \leq \frac{3}{3} * \frac{(b h_{ef}) * k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_{M.connection}} \quad (13.21)$$

Dikdörtgen kesitli bir eleman için,

b: kalınlık

h: derinlik

k_{mod} : Modifikasyon faktörü

γ_M : Malzeme kısmi faktörü

$f_{v,k}$: Karakteristik kayma mukavemeti

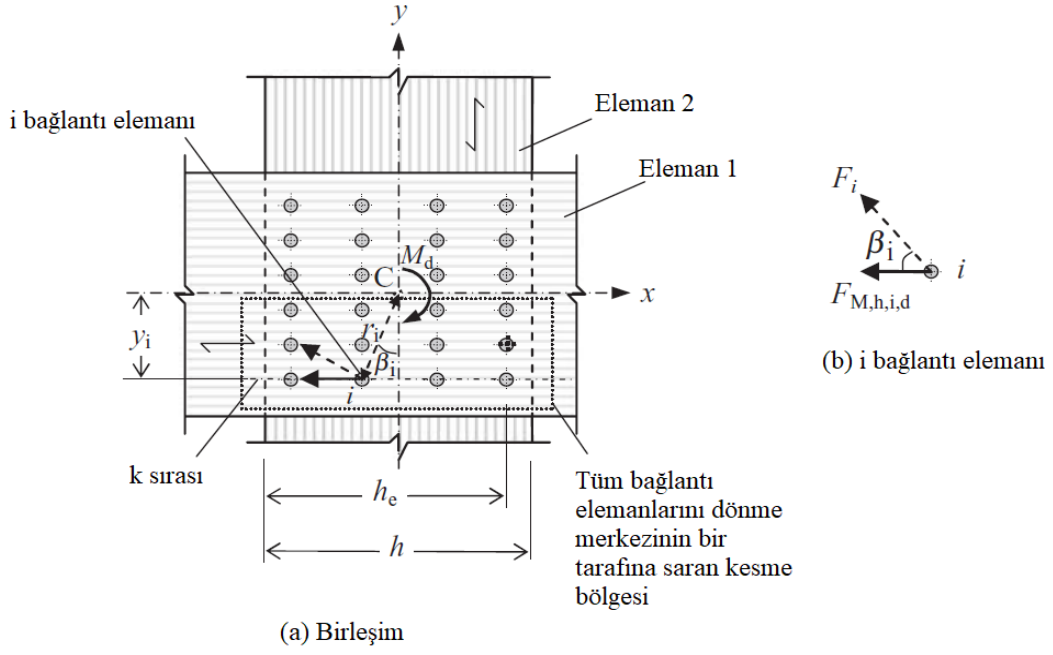
h_{ef} : Bağlantı deliklerine izin veren etkili derinlik

Eleman 2 için liflere dik maksimum kesme kuvveti, Şekil 13.8a.’ da gösterildiği gibi dönme merkezinin altındaki kesme bölgesinde meydana gelecektir.

Eleman 1’ e gelince, bağlantı moment ve yanal kuvvetlere ayrı ayrı tabi tutulduğunda, tasarım momenti M_d ’ nin etkisi altında, i bağlantı elemanının yanal kuvveti Şekil 13.8a’ da gösterildiği gibi olacaktır. Bağlantı elemanının, bağlantının merkezinden yarıçapı r_i ’ dir ve düşeyde β_i açısına sahiptir. Şekil 13.8b’ de gösterilen bağlantı elemanındaki kesme düzlemi başına yatay tasarım kuvveti $F_{M.h.i.d}$:

$$F_{M.h.i.d} = F_i * \cos\beta_i = F_{m.d.max} * \frac{r_i}{r_{max}} * \frac{|y_i|}{r_i} = F_{m.d.max} * \frac{|y_i|}{r_{max}} \quad (13.22)$$

$|y_i|$: i bağlantı elemanının y koordinatının mutlak değeri



Şekil 13.8. Kesme düzlemi başına M_d momenti etkisindeki eleman 2' nin kesme kuvveti analizi.

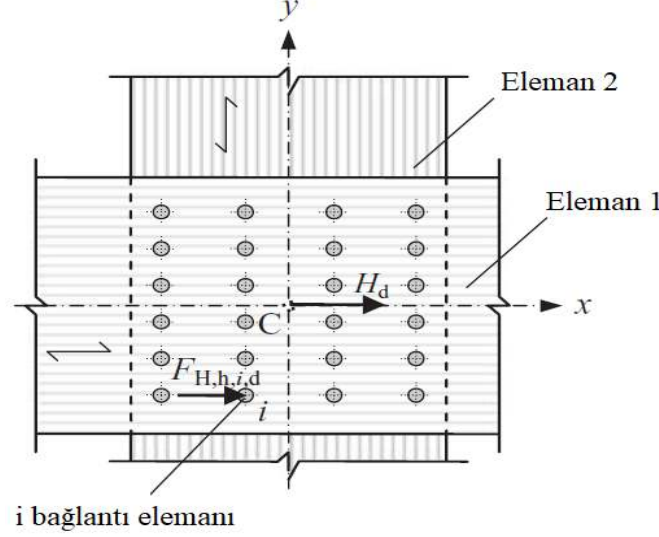
Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 494).

Tasarım momenti M_d ' den kaynaklanan eleman 2' de liflere dik etkiyen her k sırasındaki bağlantı elemanlarındaki kuvvetlerin yatay bileşeninin toplamı:

$$F_{M,h,d,k} = \frac{F_{M,d,max}}{r_{max}} \sum^{k \text{ sırası}} |y_i| = \frac{F_{M,d,max}}{r_{max}} * n_k * |y_i| \quad (13.23)$$

$F_{M,h,d,k}$: M_d momentinden kaynaklanan k satırında kesme düzlemi başına yatay kesme kuvveti

n_k : k satırında kesme düzlemi başına bağlantı elemanı sayısı



Şekil 13.9. Kesme düzlemi başına H_d yatay kuvveti nedeniyle her bağlantı elemanındaki kesme kuvveti.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 494).

Bağlantı 13.4.1(b)' deki varsayıma uygun olarak yatay tasarım kuvveti H_d ' ye tabi tutulursa, Şekil 13.9.' da gösterilen kesme düzlemindeki her bir bağlantı elemanı tarafından alınan yatay yanal kuvvet:

$$F_{H,h,i,d} = \frac{H_d}{n} \quad (13.24)$$

V_d nedeniyle bağlantı elemanlarında düşey kuvvetler olmasına rağmen, bunlar yatay kesme kuvvetini etkilemeyecektir ve dikkate alınmazlar. Eleman 2' deki kesme düzlemi başına yatay tasarım kesme kuvveti $F_{H,h,d}$, maksimum kesme kuvveti olacaktır. Maksimum değer, bağlantı elemanı konfigürasyonuna ve uygulanan yatay kesme kuvvetinin değerine bağlı olacaktır. Şekil 13.5.' de gösterilen durum için maksimum değer $F_{H,h,d}$, aşağıdaki gibi olacaktır:

- Bağlantı elemanlarının ilk satırında,

$$F1_{H,h,d} = \frac{F_{M,d,max}}{r_{max}} * n_{r1} * |y_1| - \frac{n_{r1}}{n} * H_d \quad (13.25a)$$

- Bağlantı elemanlarının ikinci satırında,

$$F2_{H,h,d} = F1_{H,h,d} + \frac{F_{M,d,max}}{r_{max}} * n_{r2} * |y_2| - \frac{n_{r2}}{n} * H_d \quad (13.25b)$$

- Bağlantı elemanlarının üçüncü satırında,

$$F3_{H,h,d} = F2_{H,h,d} + \frac{F_{M,d,max}}{r_{max}} * n_{r3} * |y_3| - \frac{n_{r3}}{n} * H_d \quad (13.25c)$$

- Maksimum değer,

$$F_{H,h,d} = \max\{F1_{H,h,d}, F2_{H,h,d}, F3_{H,h,d}\} \quad (13.25d)$$

Kullanılan örnek için ilk satır merkezden en uzak, ikinci satır merkezin yanındaki ve üçüncü satır merkeze en yakın satırdır. Kesme düzlemindeki bağlantı elemanlarının sayısı birinci satırda n_{r1} , ikinci satırda n_{r2} ve üçüncü satırda n_{r3} ' tür.

Eleman 1 için, bağlantının sınır alanı içindeki elemanın kayma mukavemeti aşağıdaki gibi kontrol edilmelidir:

$$F_{V.v.d} \leq \frac{2}{3} * \frac{(b_{hef}) * k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_{M.connection}} \quad (13.26)$$

b: Eleman kalınlığı

h: Eleman derinliği

Bağlantıda n_{sp} kesme düzlemleri varsa (örneğin, eleman 2' nin diğer yüzüne tutturulmuş başka bir eleman 1 ile oluşturulan 3 elemanlı bir bağlantıda $n_{sp} = 2$ ' dir.), eleman 2 tarafından alınacak tasarım kuvveti, n_{sp} ile çarpılan kesme düzlemi başına kuvvet olacaktır.

13.4.3.2. Liflere paralel bağlantı elemanlarının bir satırda kuvvet bileşeni kontrolleri

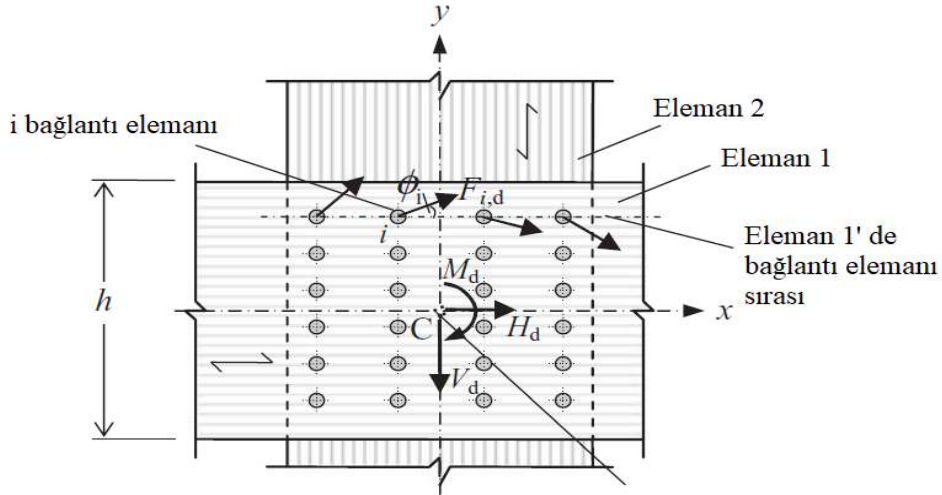
Bağlantıdaki bağlantı elemanı konfigürasyonunun:

- (a) Bağlı elemanların herhangi birinde, liflere paralel sırada 2 veya daha fazla bağlantı elemanından gelen kuvvet bileşeni olduğunda *sıra yok* kabul edilir.
- (b) Yukarıdaki durumun olduğu ancak eleman lifine paralel bağlantı elemanları arasındaki aralığın Tablo 13.2.' de verilen kriterlere uygun olduğu durumda *sıra var* kabul edilir.

Buna göre (a) ve (b) durumlarında bağlantıdaki bağlantı elemanlarının tam sayısı kullanılabilir.

Yukarıdaki kriterler sağlanmazsa, bağlantı elemanları liflere göre açılı olduğunda, sıraya paralel kuvvet bileşeni, n_{ef} kullanılarak hesaplanan sıranın yük taşıma kapasitesine eşit veya daha az olmalıdır. Bu durum için, sıradaki her bir bağlantı elemanının azaltılmış kapasitesi, liflere paralel yük altında, bağlantı elemanının tasarım yanal kapasitesinin, n_{ef}/n ile çarpılmasıyla elde edilecektir. Bulunan sonuç, liflere paralel sıradaki bağlantı elemanı kuvvet bileşeni değerine eşit veya büyük olmalıdır. Örneğin, Şekil 13.10.' da gösterildiği gibi birleşik moment ve yanal kuvvet etkisindeki bağlantıda, i bağlantı elemanındaki kuvvet $F_{i.d}$:

$$F_{h.i.d} = F_{i.d} * \cos\phi_i \quad (13.30)$$



Şekil 13.10. Birleşik moment ve yanal yük altında birleşimde bir sırada bağlantı elemanlarındaki kuvvetler.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 496).

Sıradaki her bağlantı elemanının kapasitesi $F_{v,d}$:

$$F_{v,d} = \frac{n_{ef}}{n} * \frac{k_{mod} * F_{v,Rk}}{\gamma_{M,connection}} \quad (13.31)$$

$F_{v,Rk}$: Bağlantı elemanının karakteristik yük taşıma kapasitesidir.

EC5 tasarım koşulu,

$$\max\{F_{h,i,d}, \cos\phi_i\} \leq F_{v,d}$$

$\max\{F_{h,i,d}, \cos\phi_i\}$: En büyük kuvvet bileşenidir. Normal bir dizilişte, tüm bağlantı elemanları için aynı olacaktır.

13.5. Yarı Rijit Bağlantılı Yapıların Analizi

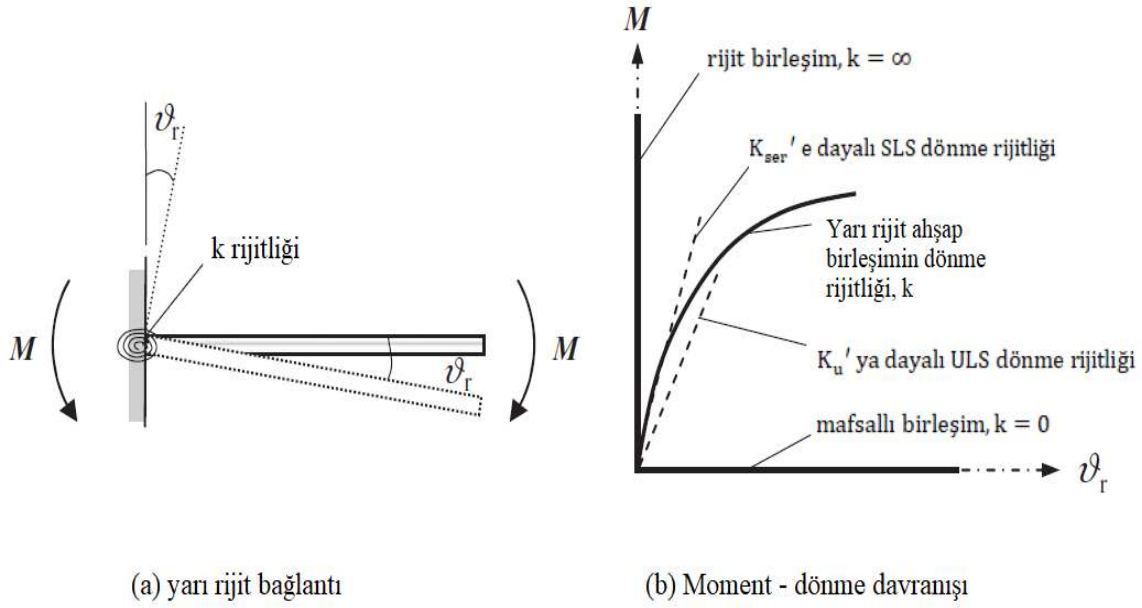
İzostatik bir yapıdaki bağlantılar yarı rijit davranış gösteriyorsa, yapı rijitliğinde bir azalma olacaktır. Yarı rijitliğin etkisi dikkate alınarak, analiz sürecinde yapının moment dağılımı ve yer değiştirme davranışının daha gerçekçi bir değerlendirmesi elde edilecektir. EC5, analizde yeterli sünekliğe sahip bağlantı deformasyonlarının hesaba katılmasına izin verir.

Yarı rijit dönme davranışı için, kesme düzlemindeki M momenti ile bitişik bağlantı elemanları arasındaki göreceli dönme θ_r arasında aşağıdaki ilişki vardır:

$$M = k * \theta_r \quad (13.32)$$

k : Sekant dönme rijitliğidir ve bağlantının dönme rijitliği olarak anılacaktır. Rijit, mafsallı veya yarı rijit bir bağlantının dönme rijitliği Şekil 13.11.' de gösterilmiştir.

Rijit bağlantıda, momentin değerine bakılmaksızın, bağlantı elemanlarının dönmesi sıfır olacak ve $M - \vartheta_r$ ilişkisi, Şekil 13.11b' de gösterildiği gibi orijin boyunca uzayan düşey bir çizgi olacaktır. Bu durum için dönme rijitliği sonsuzdur. Mafsallı bir bağlantıda moment oluşmaz ve $M - \vartheta_r$ ilişkisi, orijin boyunca uzayan yatay bir çizgi olacaktır. Bu durum için dönme rijitliği sıfırdır. Bu sınırlar arasındaki tüm koşullar yarı rijit dönme davranışını oluşturacaktır.



Şekil 13.11. Ahşap birleşimde farklı tip k dönme rijitlikleri.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 498).

13.5.1. Yarı rijit moment bağlantılarının rijitliği

Yarı rijit moment bağlantılarının bir yapının davranışı üzerindeki etkisini hesaba katmak için olası bir yöntem, her bir bağlantının dönme rijitliğini bir yay ile temsil etmektir.

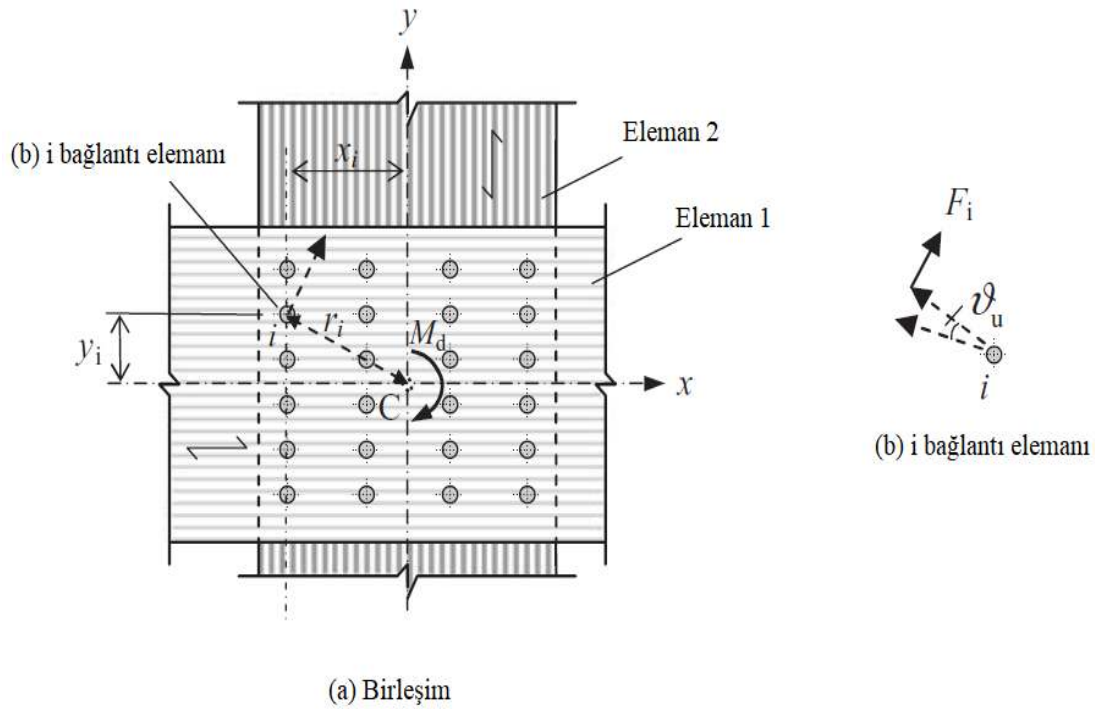
Dönme rijitliğinin değiştiği durumlarda, nonlineer davranışı hesaba katmak için analize bir yineleme prosedürü dahil edilmelidir. Bununla birlikte, dönme rijitliğinin doğrusal olduğu düşünüldüğünde bu prosedür gerekli değildir. Sonuç olarak, dönme rijitliği doğrusal olacaktır ve dikkate alınan sınır durumlarına göre, SLS' de K_{ser} veya ULS' de K_u kayma modülüne bağlıdır.

K_{ser} ' e bağlı dönme rijitliği, bağlantı elemanının SLS' deki davranışını gerçekçi bir şekilde kapsayacaktır. Bağlantı elemanı bu durumun ötesinde yüklendiğinde, dönme rijitliği

azalacak ve ULS' de K_u ' ya bağılı olacaktır. Birkaç bağlantı elemanı kullanılarak oluşturulan bağlantılar için, birçok bağlantı elemanının sadece SLS durumuna yaklaşan seviyelerde gerilmesi muhtemeldir ve aşağıdaki yaklaşımda bağlantıdaki tüm bağlantı elemanlarının dönme rijitliğinin K_{ser} ile alakalı olduğu varsayılacaktır.

M_i , ULS' de i bağlantı elemanındaki moment olmak üzere, Şekil 13.12.' de gösterildiği gibi, düzenli dizilişe sahip tek veya çift tesirli bağlantı için kuvvet dağılımı, bağlantının dönme davranışından etkilenir. Bu yüzden analiz için kullanılacak rijitlik özellikleri, nihai ortalama değerlere bağılı olarak (4.38), (4.39) ve (4.40) denklemlerinde verilenlerdir. Her bir bağlantı elemanının rijitliği için (4.40) denklemindeki ilişkiyi benimseyip bağlantıda bir ϑ_u dönmesini varsayarak, (13.5) denkleminde verilen moment-dönme ilişkisi şu şekilde ifade edilebilir:

$$M_i = \left(\frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \right) * \vartheta_u * r_i^2 \quad (13.33)$$



Şekil 13.12. M_d tasarım momenti etkisinde yarı-rijit birleşim.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 499).

Bağlantı tarafından alınan kesme düzlemi başına moment M_{sp} :

$$M_{sp} = \left(\frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \right) \sum_{i=1}^n r_i^2 \vartheta_u \quad (13.34)$$

veya

$$M_{sp} = \left(\frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \right) \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \vartheta_u \quad (13.35)$$

x_i ve y_i : i bağlantı elemanı koordinatları

n : Bağlantıdaki kesme düzlemi başına bağlantı elemanlarının sayısıdır. Kesme düzlemi başına bağlantının dönme rijitliği aşağıdaki gibi olacaktır:

- ULS tasarım durumunda;

$$k_u = \left(\frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \right) \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \quad (13.36)$$

- SLS tasarım durumunda;

$$k_{ser} = \left(\frac{K_{ser}}{(1+k_{def})} \right) \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \quad (13.37)$$

k_u : ULS' de kesme düzlemi başına bağlantının dönme rijitliği

k_{ser} : SLS' de kesme düzlemi başına bağlantının dönme rijitliği

Bağlantı aynı zamanda düşey ve yanal tasarım kuvvetlerine maruz kaldığında, ULS' deki i bağlantı elemanının yanal rijitliği şu şekilde yazılabilir:

$$V_i = \left(\frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \right) * \delta_{v.i.u} \quad \text{ve} \quad H_i = \left(\frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \right) * \delta_{h.i.u} \quad (13.38)$$

Yatay deplasman $K_{H.u}$ ve düşey deplasman $K_{V.u}$ için ULS' de bağlantının kesme düzlemi başına yanal rijitliği şu şekilde olacaktır:

$$K_{H.u} = n * \frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad \text{ve} \quad K_{V.u} = n * \frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def})} \quad (13.39)$$

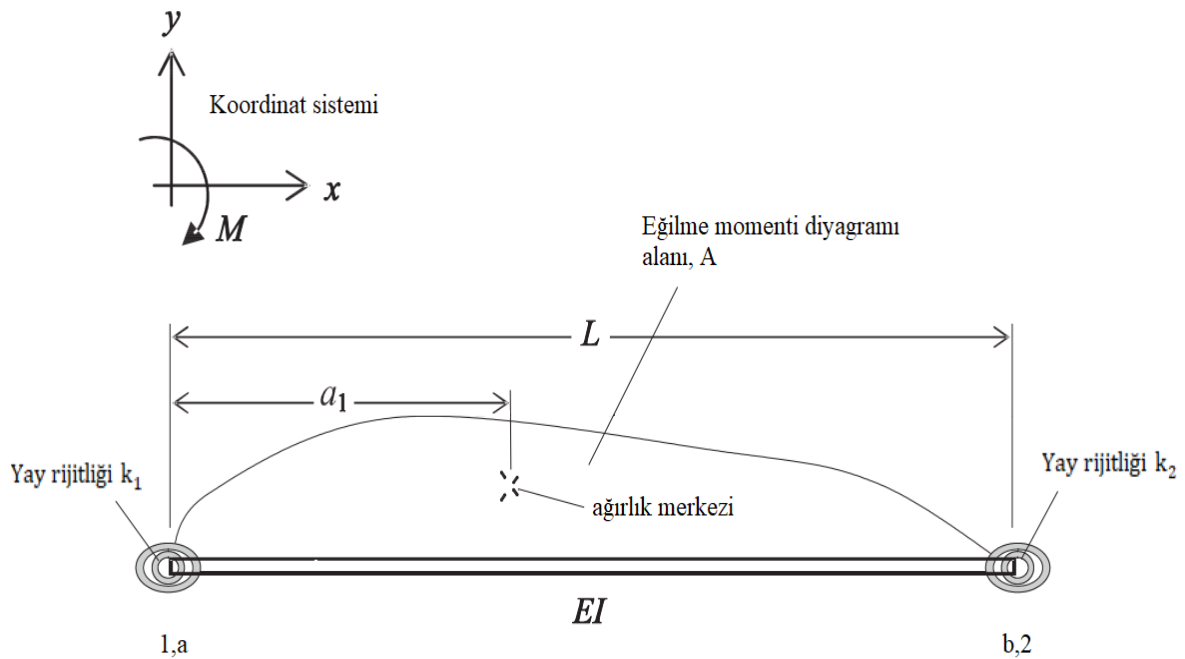
Yukarıdaki ifadeleri kullanarak bağlantıların yarı rijit davranışı yapısal analizde dikkate alınabilir.

Bilgisayar tabanlı bir çerçeve analizinin kullanılması durumunda, bağlantı pozisyonlarında doğrusal elastik yay elemanların kullanılmasıyla yanal kayma etkileri temsil edilebilir. Dönmeden kaynaklı kaymayı simüle etmek için, her biri modellenen bağlantının dönme rijitliğine sahip olan doğrusal elastik dönme yayları kullanılabilir.

13.5.2. Yarı rijit uç bağlantılı kirişlerin analizi

Aşağıdaki analizde, yarı rijit dönme davranışı gösteren ve yanal yer değiştirme etkilerinin göz ardı edilebileceği uç bağlantıları olan kirişlerin davranışı dikkate alınır. Bu durum genellikle ahşap yapılarda ortaya çıkar.

Bir yapıda uzunluğu l , eğilme rijitliği EI olan ve her iki ucunda tek veya çift kesme bağlantıları bulunan prizmatik ab elemanı için, her bir bağlantıdaki dönme yay rijitliği, kesme düzlemi başına k_1 ve k_2 ' dir ve Şekil 13.13.' te gösterildiği gibi her biri ihmal edilebilir uzunluğa sahiptir. Eksenel yükleme nedeniyle instabilite etkileri göz ardı edilir.



Şekil 13. 13. Her iki ucunda dönme yayları olan eleman.

Kaynak: (Porteous ve Kermani, 2007: 501).

1 ve 2 uçları, bağlantı elemanlarının yapıya sıkı bir şekilde bağlandığı konumlardır ve 1,a ve b,2, bağlantı elemanları ile her bir uçta bağlantı davranışını simüle eden dönme yay elemanlarıdır. Yapıda uç momentlerin etkisi altında, bağlantı elemanları dönecek ve bu elemanlar ile kiriş uçları arasında θ_r dönmesi olacaktır. 1 ve 2 uçlarındaki birleşim dönmeleri sırasıyla θ_1 ve θ_2 olarak adlandırılır ve her bir uçtaki yayların göreceli dönmesi sırasıyla θ_{r1} ve θ_{r2} olacaktır.

Birim dönme oluşturmak için uygulanması gereken moment *eleman rijitliği* olarak adlandırılır. Uzunluğu l , deformasyon faktörü $k_{def,m}$, elastisite modülü $E = \frac{E_{mean}}{(1+\psi_2 k_{def})}$ ve

eğilme eksenine göre atalet momenti I olan bir eleman için, eleman rijitliğinin $4EI/L$ olacağı söylenebilir. Eleman rijitliği için, her bir uçtaki yay dönme rijitliği aşağıdaki gibi yazılır:

$$k_1 = \frac{EI}{L} \beta_a \quad \text{ve} \quad k_2 = \frac{EI}{L} \beta_b \quad (13.40)$$

$k_1 = M_1/\theta_{r1}$ ve $k_2 = M_2/\theta_{r2}$ ' dir.

M_1 ve M_2 : Kiriş uç momentleri

θ_{r1} ve θ_{r2} : Sırasıyla a ve b uçlarında yay dönmeleri

β_a ve β_b : Sırasıyla a ve b' deki birleşim bağlantısının sekant dönme rijitlik katsayıları

(13.36) ve (13.37) denklemlerinden ahşap yapılarda bir bağlantı için sekant dönme rijitlik katsayısı şu şekilde yazılabilir;

$$\beta = \frac{L}{EI} n_{sp} K \sum_{i=1}^n (x_i^2 + y_i^2) \quad (13.41)$$

K: Kayma modülüdür. ULS için $\frac{K_{ser}}{(1+\psi_2 k_{def,c})}$ ve SLS için $\frac{K_{ser}}{(1+k_{def,c})}$.

$k_{def,c}$: Deformasyon faktörü

n_{sp} : Bağlantıdaki kesme düzlemlerinin sayısı

Serbest eğilme momenti diyagramının alanı A olan ve alan merkezinin a ucuna a_1 kadar mesafesi olacak şekilde yüklenmiş bir kiriş için 1 ucunda θ_1 dönmesi ve 2 ucunda θ_2 dönmesi varken ve y yönünde deplasman olmadığında:

$$M_1 = \left(\frac{1}{1+(3EI/k_1L)} \right) \left(\frac{3EI\theta_1}{L} + \frac{M_2}{2} - \frac{3A(L-a_1)}{L^2} \right) \quad (13.42)$$

$$M_2 = \left(\frac{1}{1+(3EI/k_2L)} \right) \left(\frac{3EI\theta_2}{L} + \frac{M_1}{2} + \frac{3Aa_1}{L^2} \right) \quad (13.43)$$

$\left(\frac{1}{1+(3EI/k_1L)} \right)$ ve $\left(\frac{1}{1+(3EI/k_2L)} \right)$ fonksiyonları, Monforton ve Wu (1963) tarafından sabitleme faktörleri ve Kermani (1996) tarafından rijitlik faktörleri olarak adlandırılır. Boyutsuz parametrelerdir ve ilgili yay dönme rijitliği ile kirişin rijitlik özelliklerinin fonksiyonlarıdır.

Rijitlik faktörlerini γ cinsinden:

- Kirişin 1 ucunda;

$$\gamma_1 = \left(\frac{1}{1+(3EI/k_1L)} \right) = \frac{1}{1 + \frac{3EI}{L(n_{sp1} K_1 \sum_{i=1}^{n1} (x_i^2 + y_i^2))}} \quad (13.44)$$

- Kirişin 2 ucunda;

$$\gamma_2 = \left(\frac{1}{1 + (3EI/k_2L)} \right) = \frac{1}{1 + \frac{3EI}{L(n_{sp2}K_2 \sum_{i=1}^{n_2} (x_i^2 + y_i^2))}} \quad (13.45)$$

n_{sp1} ve n_1 : Kesme düzlemlerinin sayısı ve a ucunda bir kesme düzlemindeki bağlantı elemanlarının sayısı

n_{sp2} ve n_2 : Kesme düzlemlerinin sayısı ve b ucunda bir kesme düzlemindeki bağlantı elemanlarının sayısı

K_1 : a ucunda bağlantının kayma modülü

K_2 : b ucunda bağlantının kayma modülü

M_1 ve M_2 için (13.42) ve (13.43) denklemleri rijitlik faktörleri açısından şu şekilde yazılabilir:

$$M_1 = \left(\frac{6\gamma_1}{(4-\gamma_1\gamma_2)} \right) \frac{EI}{L} \left(2\theta_1 + \gamma_2\theta_2 - \frac{A}{EIL} (2(L-a_1) - \gamma_2a_1) \right) \quad (13.46)$$

$$M_2 = \left(\frac{6\gamma_2}{(4-\gamma_1\gamma_2)} \right) \frac{EI}{L} \left(2\theta_2 + \gamma_1\theta_1 + \frac{A}{EIL} (2a_1 - \gamma_1(L-a_1)) \right) \quad (13.47)$$

Yukarıdakiler modifiye eğim denklemleri olarak adlandırılır ve Monforton ve Wu tarafından geliştirilen ve her bir elemanın uçlarında göreceli yanal harekete izin veren daha genelleştirilmiş formatın basitleştirmeleridir. Serbest eğilme momenti içeren denklemlerdeki bu bileşenler, kirişteki uç sabitleme momentleridir ve şu şekilde yazılabilir:

$$M_{F1} = \frac{6A}{L^2} \frac{\gamma_1}{(4-\gamma_1\gamma_2)} (2(L-a_1) - \gamma_2a_1) \quad (13.48)$$

$$M_{F2} = \frac{6A}{L^2} \frac{\gamma_2}{(4-\gamma_1\gamma_2)} (2a_1 - \gamma_1(L-a_1)) \quad (13.49)$$

M_{F1} ve M_{F2} : Kirişin 1 ve 2 uçlarında modifiye uç sabitleme momentleri

Kiriş uç dönmeleri θ_1 ve θ_2 sıfır olduğunda, (13.48) ve (13.49) denklemleri, kirişteki uç momentleri verecektir.

Yukarıdaki ifadeler, uçlarında rijit yaylara sahip prizmatik elemanlara uygulanabilen genel ilişkilerdir. Bağlantı elemanları ile kiriş ucu arasındaki bağlantı rijit ise, $k = \infty$ ve $\gamma = 1$ olacaktır, bağlantı mafsallı ise $k = \gamma = 0$ olacaktır.

Tablo 13.4.' te, sık görülen yük durumları için serbest eğilme momenti diyagramının alanı ve ağırlık merkezinin sol mesnete uzaklığı verilmiştir.

Tablo 13.4. Tipik yük durumları için serbest eğilme momentinin alanı ve ağırlık merkezinin konumu.

Yükleme durumu (kiriş açıklığı L (m))	Eğilme momenti diyagramı alanı: A (kNm ²)	Alanın ağırlık merkezine olan mesafe: a ₁ (m)
Açıklık ortası momentinin M olduğu düzgün yayılı yük	$\frac{2}{3}ML$	$\frac{L}{2}$
Açıklık ortası momentinin M olduğu açıklık ortası noktasal yükü	$\frac{M}{2L}$	$\frac{L}{2}$
Kirişin sol ucundan x mesafesinde noktasal yük ve nokta yükte M momenti	$\frac{M}{2L}$	$\frac{1}{3}(L + x)$

Yarı rijit analiz ile, bağlantıdaki son moment oldukça küçük olacak ve daha ekonomik bir bağlantı tasarımı elde edilecektir. Kiriş sehiminin daha gerçekçi bir değerlendirmesi elde edilip açıklık ortasında mukavemet, artan açıklık momentine karşı kontrol edilecektir. Ayrıca, bağlantı tamamen sabit momente karşı tasarlanmış olsa bile, bağlantıda dönme olacaktır. Bağlantı yarı-rijit tasarlandığında elde edilenden daha az olsa da ek moment kiriş açıklığına aktarılacak ve ayrıca açıklık ortası sehiminde bir artış olacaktır. Bu etkiler rijit analizde dikkate alınmayacaktır.

14. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Eurocode 5 kapsamında ahşap yapı tasarımı için prosedürler ele alınmıştır. Tasarımın mantığı ve amaçları üzerinde durulmuştur. Eurocode 5, inşaat mühendisliği yapılarında ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin tasarımı için kullanılacak ilkeleri ve tasarım kurallarını açıklar.

18 Mart 2018 tarihinde yayımlanan Türkiyede Bina Deprem Yönetmeliği' nde (TBDY 2018), ahşap yapıların tasarımı için emniyet gerilmelerine göre tasarım esasına dayanan TS 647 yönetmeliğinin yerine sınır durumlarına göre tasarım esasına dayanan Eurocode 5 kabul edilmiştir. Bu kapsamda eski tasarım esasları değişmiştir.

Sınır durumlarının, malzeme özelliklerinin ve hesaplama esaslarının detaylı bir şekilde ele alındığı bu çalışma, ahşap tasarımı konusunda en temel bilgileri içerisinde bulundurmakta ve bu bilgileri örneklerle pekiştirmektedir.

Ülkemizde ahşap yapı mühendisliği konusunda ilerleme kaydetmek ve daha güvenli yapılar inşa etmek için, tasarım esasları sektörün her aşamasında anlaşılır kılınmalıdır.

KAYNAKLAR

- BS 5268-6.1:1996.** *Yapısal Ahşabın Kullanımı. Bölüm 6: Ahşap Çerçevesi Duvarlar için Uygulama Kuralları. Bölüm 6.1: 4 Kattan Az Konutlar*, İngiliz Standartları Enstitüsü.
- BS 5268-2:2002.** *Yapısal Ahşabın Kullanımı. Bölüm 2: İzin Verilen Gerilme Tasarımı, Malzemeler ve İşçilik için Uygulama Kuralları*, İngiliz Standartları Enstitüsü.
- BS EN 636: 2003.** *Kontrplak-Özellikler*, İngiliz Standartları Enstitüsü.
- BS EN 1194:1999.** *Ahşap Yapılar – Tutkallı Lamine Ahşap – Mukavemet Sınıfları ve Karakteristik Değerlerinin Belirlenmesi*, İngiliz Standartları Enstitüsü.
- Ceccotti, A. (2003).** *Kompozit Yapılar*. Thelandersson, S., Larsen, H.J. (eds), *Timber Engineering*. Wiley, London.
- Colling, F. (1986).** *Hacim ve gerilme dağılımının liflere dik kesme mukavemeti ve çekme mukavemeti üzerindeki etkisi*. The Proceedings of the CIBW18Meeting, Floransa, İtalya.
- Çalışkan Ö., Yüncüler M., & Meriç E. (2019).** Ahşap ve Ahşap Yapıların Dünyü, Bugünü ve Yarını. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*.
- Ehlbeck, J. & Larsen, H.J. (1993).** EC5 – Ahşap Yapıların Tasarımı: Birleşimler. *Proceedings of International Workshop on Wood Connectors, No. 7361, Forest Products Society, Madison, WI, pp. 9–23*.
- Griffiths, B., Enjily, V., Blass, H. & Kallsner, B. (2005).** Eurocode 5'e Dahil Edilmek Üzere Ahşap Çerçevesi Duvarların Raf Direnci İçin Birleşik Tasarım Yöntemi. *CIB-W18/38- 15-11, Karlsruhe, Almanya*.
- Gulvanessian, H., & Holicky, M. (2005).** Eurocodes: Eylem Etkilerini Birleştirmek İçin Güvenilirlik Analizinin Kullanılması. *Proceedings of the I.C.E., Ağustos 2005, ISSN 0965 0911*.
- Hankinson, R.L. (1921).** *Ladin'in Liflere Göre Değişen Açılarda Ezilme Mukavemetinin İncelenmesi*. Air Service Information Circular, Vol. 3, No. 259 (Material Section Paper No. 130).
- Johansen, K. W. (1949).** *Ahşap Birleşim Teorisi*. IABSE, Publication No. 9, Bern, İsviçre, 249–262.

Kermani, A. (1996). *Ahşap Portal Çerçevelerdeki Çivili Bağlantıların Yarı Rijit ve Doğrusal Olmayan Davranışı Üzerine Bir Çalışma.* Journal of Forest Engineering, Vol. 7, No. 2, pp. 17–33.

Larsen, H.J. (1986). *Eurocode 5 ve CIB Yapısal Ahşap Tasarım Kuralları.* The Proceedings of the CIB W18 Meeting, Floransa, İtalya.

Monforton, G.R. & Wu, T.S. (1963). Yarı Rijit Bağlantılı Çerçevelerin Matris Analizi. *Journal of the Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vol. 89, Sayı ST6, pp. 13–42.*

Riberholt, H. (1979). *Konik Ahşap Kirişler.* The Proceedings of the CIB W18 Meeting.

Porteous J., & Kermani A. (2007). Eurocode 5' e Göre Yapısal Ahşap Tasarımı. *Blackwelly Publishing ISBN 978 1405146388.*

Timoshenko, S.P. & Gere, J.M. (1961). Elastik Stabilite Teorisi. International Student Edition 2. baskı. *McGraw-Hill Yayınları, New York.*

Young, W. C. (1989). *Roark Gerilme ve Şekil Değiştirme Formülleri (6. Baskı).* McGraw-Hill International Editions, New York.

EKLER

EK – 1. Açıklık ortasında noktasal yük veya üniform yayılı yük etkisinde olan basit mesnetli konik ve çift konik kirişler için sehimi formülleri

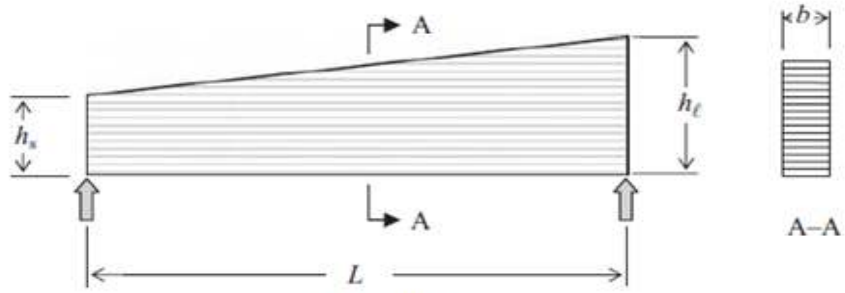
Açıklık ortasından noktasal yük veya düzgün yayılı yük altında eğilme momenti nedeniyle oluşan sehimi denklemleri ve basit mesnetli tek konik ve çift konik kirişlerde açıklık ortasındaki kesme sehimi denklemleri Tablo Ek.1.1. ve Tablo Ek.1.2.' de verilmiştir. Açıklık ortasında noktasal yük altında konik bir kirişin maksimum sehimi merkezden uzak olmasına rağmen, merkezi sehimin kullanılması tasarım için uygundur.

Tablo Ek.1.1. Yayılı yük veya açıklık ortasında tekil yüke sahip basit mesnetli konik ve çift konik kirişlerin eğilme sehimi formülleri.

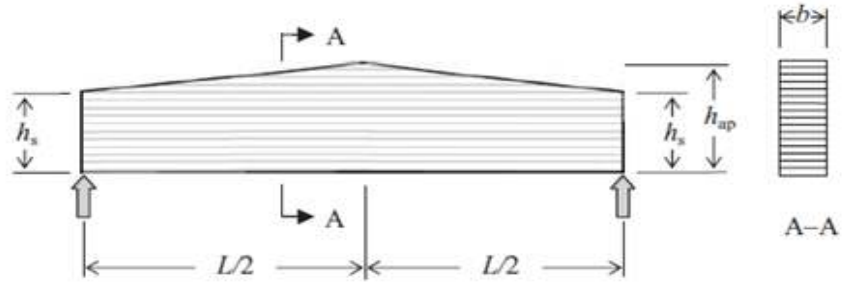
Kiriş Tipi ve Yükleme Durumu	Açıklık ortasında eğilme sehimi
Açıklık ortasında F_d tekil yükü ve $M_d = \frac{F_d L}{4}$ momenti olan konik kiriş	$\frac{5M_d L^2 k_{1\delta b}}{96E_{0,g,mean} I_{hs}}$ $k_{1\delta b} = 19.2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \left(\ln a - 2 \left(\frac{a-1}{a+1} \right) \right)$
q_d yayılı yükü ve $M_d = \frac{F_d L^2}{8}$ momenti olan konik kiriş	$\frac{5M_d L^2 k_{2\delta b}}{48E_{0,g,mean} I_{hs}}$ $k_{2\delta b} = 19.2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^4 \left(3(a+1) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) - (2a+1) \ln a - \left(\frac{(a-1)^2}{2(a+1)} \right) \right)$
Açıklık ortasında F_d tekil yükü ve $M_d = \frac{F_d L}{4}$ momenti olan çift konik kiriş	$\frac{5M_d L^2 k_{3\delta b}}{96E_{0,g,mean} I_{hs}}$ $k_{3\delta b} = 38.4 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \left(\ln \left(\frac{a+1}{2} \right) + \frac{4}{(a+1)} - \frac{2}{(a+1)^2} - 1.5 \right)$
q_d yayılı yükü ve $M_d = \frac{F_d L^2}{8}$ momenti olan konik kiriş	$\frac{5M_d L^2 k_{4\delta b}}{48E_{0,g,mean} I_{hs}}$ $k_{4\delta b} = 19.2 \left(\frac{1}{a-1} \right)^3 \left(2 \left(\frac{a+1}{a-1} \right) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) + \frac{3}{(a+1)} - \frac{2}{(a+1)^2} - 4 \right)$

Tablo Ek.1.2. Yayılı yük veya açıklık ortasında tekil yüke sahip basit mesnetli konik ve çift konik kirişlerin kayma sehim formülleri.

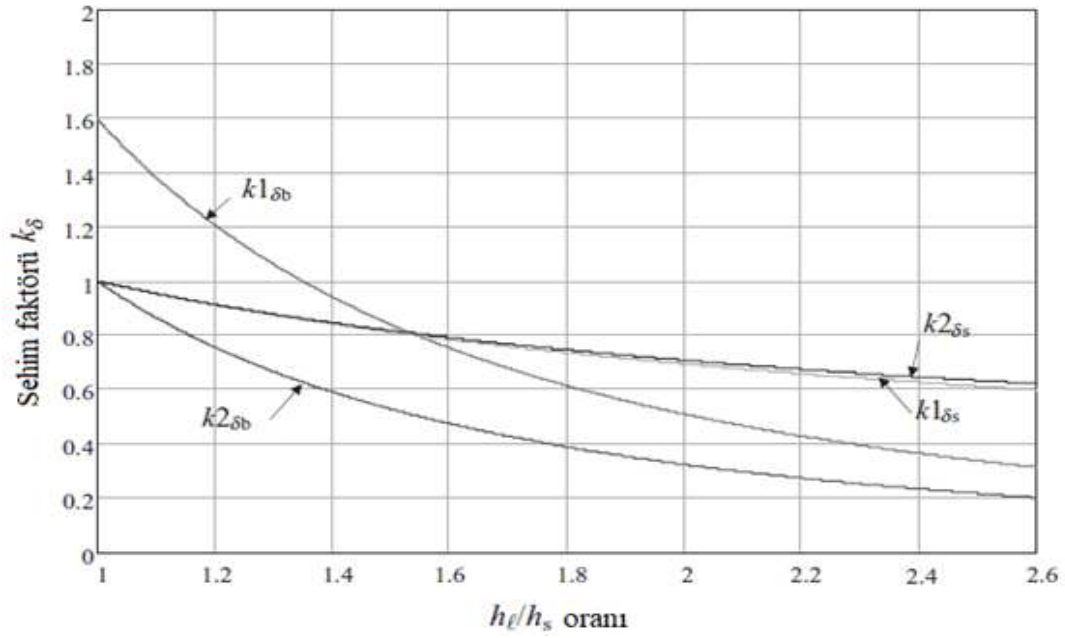
Kiriş Tipi ve Yükleme Durumu	Açıklık ortasında kayma sehim
Açıklık ortasında F_d tekil yükü ve $M_d = \frac{F_d L}{4}$ momenti olan konik kiriş	$\frac{1.2M_d k1_{\delta s}}{G_{g,mean} A_{hs}}$ $k1_{\delta s} = \frac{1}{a-1} \ln a$
q_d yayılı yükü ve $M_d = \frac{F_d L^2}{8}$ momenti olan konik kiriş	$\frac{1.2M_d k2_{\delta s}}{G_{g,mean} A_{hs}}$ $k2_{\delta s} = \frac{2(a+1)}{(a-1)^2} \ln \frac{(a+1)^2}{4a}$
Açıklık ortasında F_d tekil yükü ve $M_d = \frac{F_d L}{4}$ momenti olan çift konik kiriş	$\frac{1.2M_d k3_{\delta s}}{G_{g,mean} A_{hs}}$ $k3_{\delta s} = \frac{2}{a-1} \ln \left(\frac{a+1}{2} \right)$
q_d yayılı yükü ve $M_d = \frac{F_d L^2}{8}$ momenti olan konik kiriş	$\frac{1.2M_d k4_{\delta s}}{G_{g,mean} A_{hs}}$ $k4_{\delta s} = \frac{4}{a-1} \left(\left(\frac{a+1}{a-1} \right) \ln \left(\frac{a+1}{2} \right) - 1 \right)$



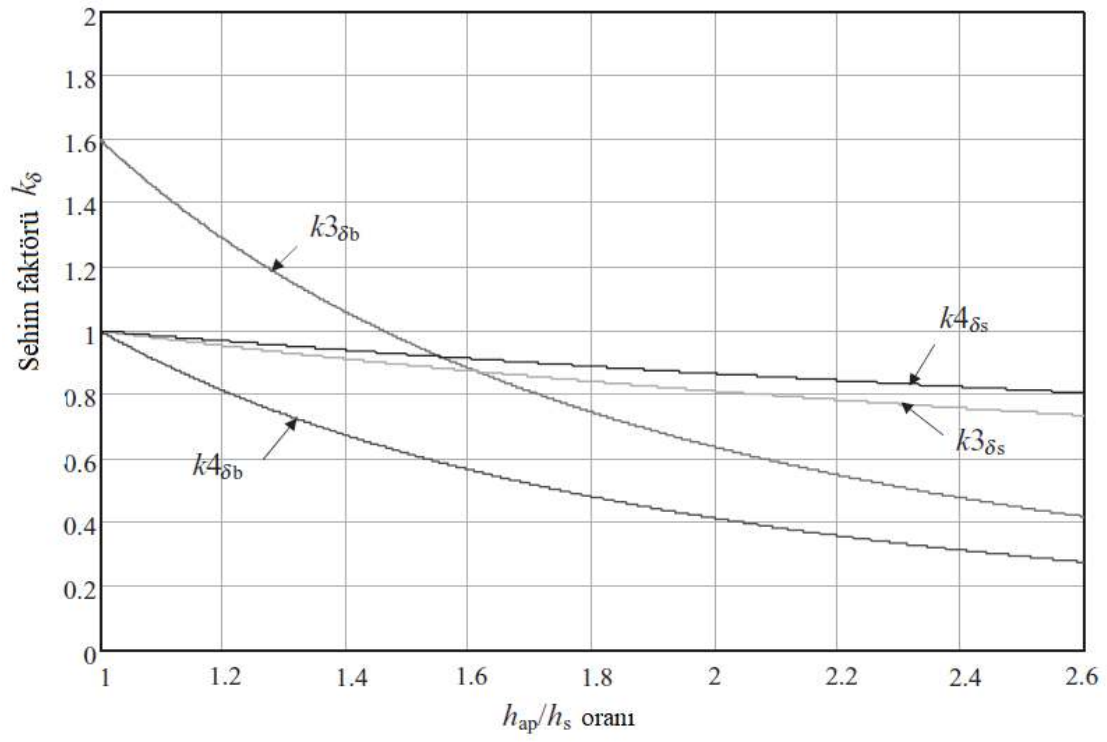
a) Tek konik kiriş



b) Çift konik kiriş

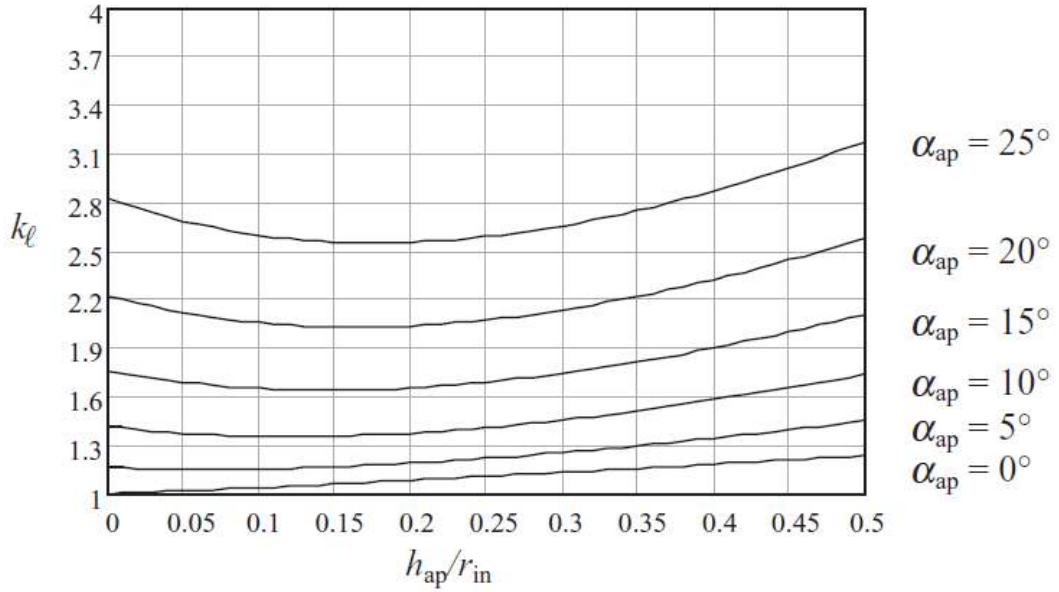


Şekil Ek.1.1. Tek konik kirişler için $k_{\delta b}$ ve $k_{\delta s}$ değerleri (Porteous ve Kermani, 2007: 224).

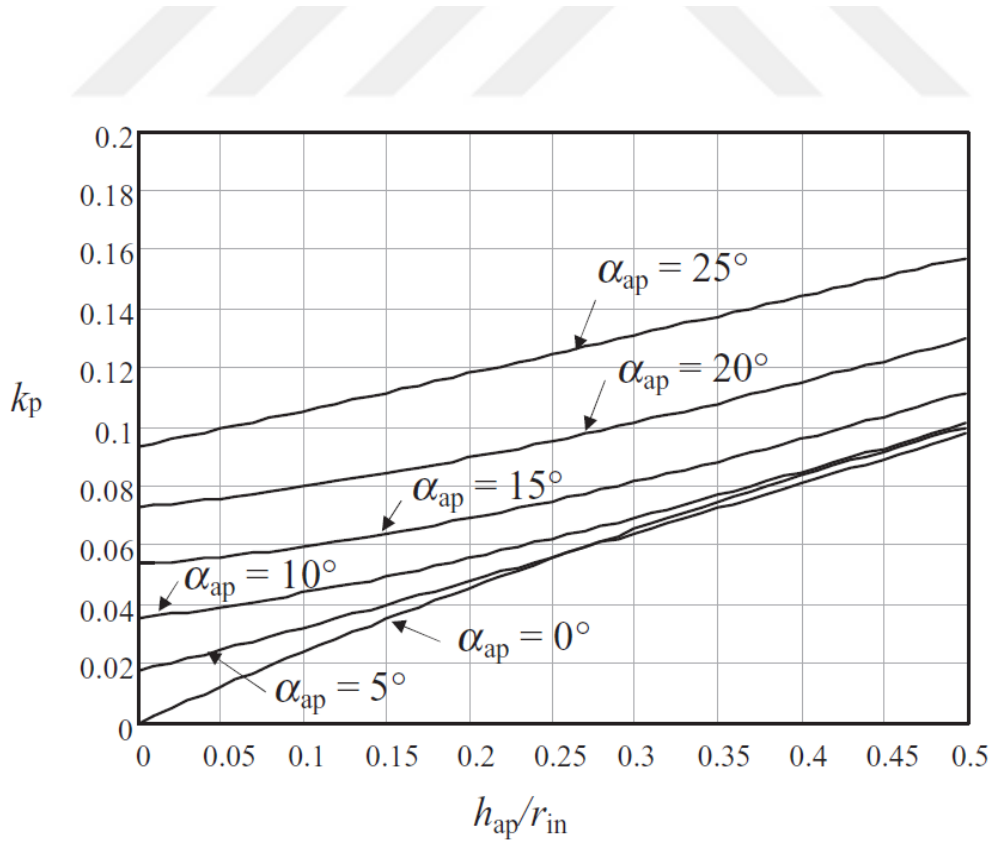


Şekil Ek.1.2. Tek konik kirişler için $k_{\delta b}$ ve $k_{\delta s}$ değerleri (Porteous ve Kermani, 2007: 225).

EK – 2. Çift konik kavisli ve eğimli bombeli kirişlerin tepe bölgesinde eğilme gerilmeleri ve radyal gerilmelerin türetilmesinde kullanılan k_l ve k_p faktörlerinin grafiksel gösterimi



Şekil Ek.2.1. α_{ap} 'nin değişen açıları için h_{ap}/r_{in} oranlarına karşılık gelen k_l değerleri (Porteous ve Kermani, 2007: 225).



Şekil Ek.2.2. α_{ap} 'nin değişen açıları için h_{ap}/r_{in} oranlarına karşılık gelen k_p değerleri (Porteous ve Kermani, 2007: 226).

EK – 3: Yapı Malzemelerinin Ağırlıkları

Malzeme yoğunluğunun ortalama değerine bağlı olarak, G_k yükünün karakteristik değeri Tablo Ek.3.1.' de verilmiştir. Değerler BS 648:1964 içeriğine dayanmaktadır.

Tablo Ek.3. 1. Yapı malzemelerinin ağırlıkları.

Malzeme	Değer
Asfalt İki kat çatı kaplama, 19 mm kalınlığında Nem tutucu, 19 mm kalınlığında	42 kg/m ² 41 kg/m ²
Bitüm çatı keçeleri Katman başına mineral yüzeyli bitüm	44 kg/m ²
Cam elyaf Levha, 25 mm kalınlığında	2.0-5.0 kg/m ²
Alçı paneller ve bölmeler Yapı panelleri, 75 mm kalınlığında	44 kg/m ²
Kurşun Levha, 2.5 mm kalınlığında	30 kg/m ²
Linolyum 3 mm kalınlığında	6 kg/m ²
Alçı İki kat alçı, 13 mm kalınlığında	22 kg/m ²
Plastik kaplama Oluklu	4.5 kg/m ²
Kontrplak mm kalınlık başına	0.7 kg/m ²
Sıva Çimento: kum (1:3), 13 mm kalınlığında	30 kg/m ²
Kayrak fayans Kalınlığa ve kaynağa bağlı olarak	24-78 kg/m ²
Çelik Sert (Hafif) Oluklu çatı kaplama levhası, mm kalınlık başına	7850 kg/m ³ 10 kg/m ²
Kırmataşlı asfalt 25 mm kalınlığında	60 kg/m ²
Döşeme Kil, çatı için	70 kg/m ²
Ahşap Yumuşak ahşap Masif (sert) ahşap	590 kg/m ³ 1250 kg/m ³
Su	1000 kg/m ³
Ağaç lifi Levha, 25 mm kalınlığında	15 kg/m ²

EK – 4: Binalarda Ahşap Mühendisliği için İlgili İngiliz Standartları

Eurocode 0

BS EN 1990: Eurokod – Yapısal tasarımın temeli

Eurocode 1: Yapılar üzerindeki eylemler

BS EN 1991-1-1: Yoğunluklar, binaların zati ağırlıkları ve maruz kaldığı diğer yükler

BS EN 1991-1-2: Yangına maruz kalan yapılar üzerindeki etkiler

BS EN 1991-1-3: Kar yükleri

BS EN 1991-1-4: Rüzgar etkileri

BS EN 1991-1-5: Isıl etkiler

BS EN 1991-1-6: Uygulama esnasında oluşan etkiler

BS EN 1991-1-7: Kazara oluşan etkiler

Eurocode 5: Ahşap yapıların tasarımı

BS EN 1995-1-1: Genel kurallar ve bina kuralları

BS EN 1995-1-2: Genel kurallar – Yangına karşı yapı tasarımı

BS EN 1995-2: Köprüler

BS EN standartları

BS EN 300: Yönlendirilmiş lif levhalar (osb) - Tarifler , sınıflandırma ve özellikler

BSEN301: Yapıştırıcılar - Fenolik ve aminoplastik - yük taşıyıcı ahşap yapılar için - sınıflandırma ve performans özellikleri

BS EN 312: Yonga levhalar – Özellikler

BS EN 335-1: Ahşap ve ahşap esaslı mamullerin dayanıklılığı. Kullanım sınıflarının tanımı. Genel

BS EN 336: Yapı kerestesi – Ölçüler, müsaade edilen sapmalar

BS EN 338: Yapısal kerestesi – Mukavemet sınıfları

BS EN 386: 2001: Tutkallanmış lâmine kereste- performans özellikleri ve asgarî imalat şartları

- BS EN 387: Tutkallı lamine ahşap-Geniş kama dişli birleştirmeler-Performans ve asgari üretim özellikleri
- BS EN 408: Ahşap yapılar - Yapı kerestesi ve tutkallanmış lamine kereste - Bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini
- BS EN 636: Kontrplak – Özellikler
- BS EN 912: Ahşap bağlayıcıları- Ahşap bağlayıcıların özellikleri
- BS EN 1193: Ahşap yapılar - Yapısal ahşap ve yapıştırılmış lamine ahşap - Liflere dik kesme mukavemeti ve mekanik özelliklerin belirlenmesi
- BS EN 1194: Yapı keresteleri- Yapıştırılmış lamine kereste- Mukavemet sınıfları ve karakteristik değerlerin tayini
- BS EN 12369-1: Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 1: OSB, yonga levhalar ve lif levhalar
- BS EN 12369-2: Ahşap esaslı levhalar - Yapısal amaçlı tasarım için karakteristik değerler - Bölüm 2: Kontrplâk
- BS EN 14081-1: Ahşap yapılar - Mukavemet sınıflandırması yapılmış dikdörtgen enine kesitli yapısal kereste - Bölüm 1: Genel gerekler
- BS EN 14081-2: Ahşap yapılar - Mukavemet sınıflandırması yapılmış dikdörtgen enine kesitli yapısal kereste - Bölüm 2: Makine ile sınıflandırma; Başlangıç tip deneyi için ilave gerekler

İngiliz Standartları

- BS 4471: Biçilmiş ve işlenmiş yumuşak ahşap boyutları için şartname
- BS 4978: Yumuşak ahşabın görsel mukavemet derecelendirmesi için şartname
- BS 5268-2: Ahşabın yapısal kullanımı. Bölüm 2: izin verilen gerilme tasarımı, malzeme ve işçilik için uygulama kuralları
- BS 5359: Tedarik kaynakları da dahil olmak üzere ticari ağaçların isimlendirilmesi
- BS 5756: Sert ağaçların görsel mukavemet derecelendirmesi için şartname
- BS 8417: Ahşabın korunması-Öneriler

EK – 5: EN 1995-1-1’ e göre A1 Taslağına Önerilen Değişiklik

Değişiklik taslakları EC5’ te kullanılan bölüm numarasına göre verilmiştir.

Ek – 5.1. Liflere dik basınç

Bir eleman $F_{c,90,d}$ tasarım yükü ile liflere dik yüklendiğinde, ezilme gerilmesi oluşur. Bu konumda liflere dik tasarım basınç gerilmesi:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (\text{Ek – 5.1})$$

- A_{ef} : *Liflere dik etkili temas alanı* olarak adlandırılır. Alan, temas bölgesi genişliğinin *etkili temas uzunluğu* ile çarpılmasıyla elde edilir. Etkili temas uzunluğu, gerçek temas uzunluğu l olabilir veya gerçek temas uzunluğunun her bir ucuna 30 mm eklenerek türetilir, ancak a veya l ‘den fazla olamaz.

Doğrulama gereksinimi şöyle olacaktır:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} * f_{c,90,d} \quad (\text{Ek – 5.2})$$

- $k_{c,90}$: EC5’ te tanımlandığı gibidir. Ancak faktör için değerlendirme yöntemi değiştirilecektir. Değer 1 alınmalıdır. Bununla birlikte Şekil Ek.5.1.’ de gösterilen mesnet koşulları için $l_1 \geq 2 * h$ (h elemanın derinliği), masif yumuşak ahşap ve yapıştırılmış lamine ahşap elemanlar için Tablo Ek.5.1.’ de verilen daha yüksek bir değer kullanılabilir.
- $f_{c,90,d}$: Liflere dik tasarım basınç dayanımıdır.

Tablo Ek.5.1. Liflere dik basınç etkisinde masif ahşap ve yapıştırılmış lamine ahşap elemanlar için $k_{c,90}$ değeri

Mesnet koşulu	Masif yumuşak ahşap	Temas uzunluğunun $l \geq 400$ mm olduğu yapıştırılmış lamine ahşap eleman
Sürekli mesnet (Şekil Ek.5.1.a)	$k_{c,90} = 1.25$	$k_{c,90} = 1.5$
Ayrık mesnet (Şekil Ek.5.1.b)	$k_{c,90} = 1.5$	$k_{c,90} = 1.75$

Ek – 5.2. Kesme

Eğilmeye maruz kalan elemanların kesme mukavemeti üzerinde çatlakların etkisini dikkate almak için, eleman genişliği b ' nin k_{cr} modifikasyon faktörü ile çarpılarak azaltılması gerekir. Elemanın etkili genişliği:

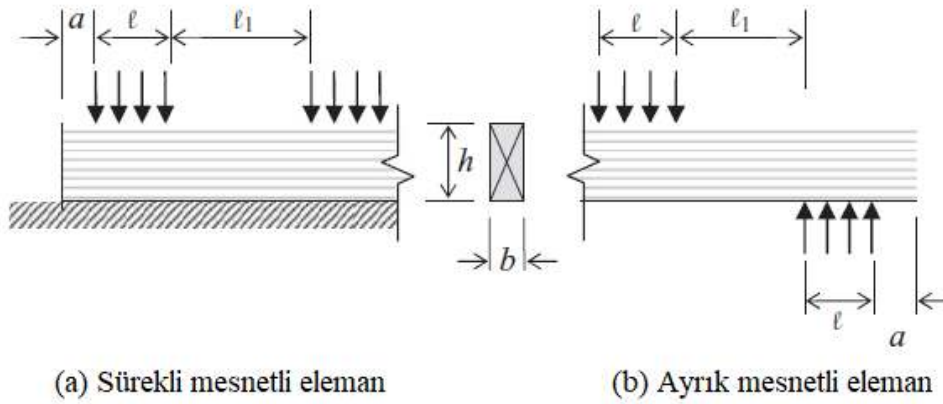
$$b_{ef} = b * k_{cr}$$

- b : Eleman genişliği
- k_{cr} : Tablo Ek.5.2.' de farklı malzemeler için verilen modifikasyon faktörü

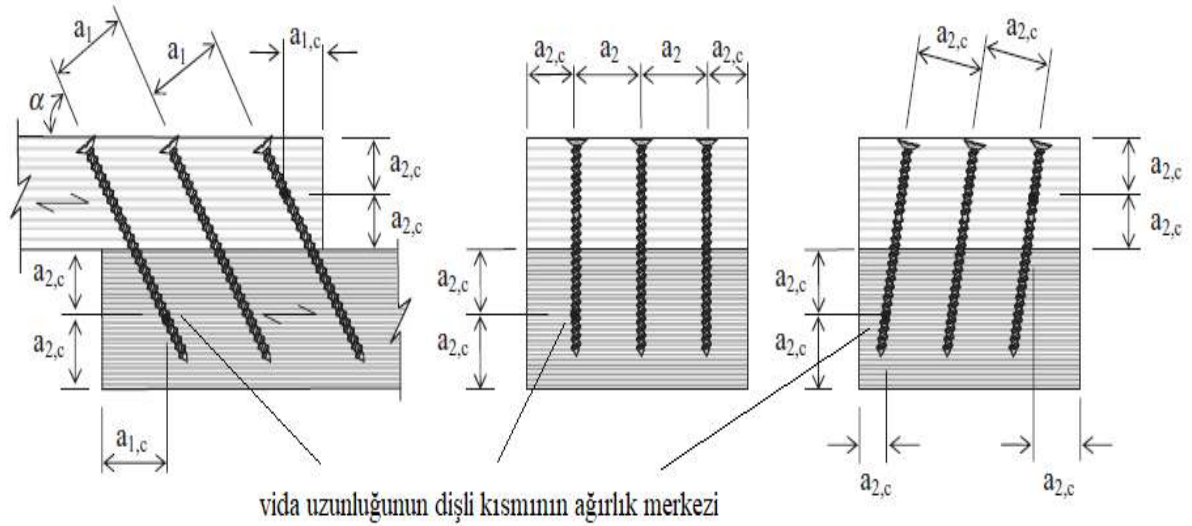
Kayma gerilmesinin türetilmesi daha önce açıklandığı gibidir. Ancak elemandaki çatlakların etkisinin dikkate alınması gerektiğinde, b eleman genişliği yerine b_{ef} kullanılacaktır. Kesme mukavemetinin türetilmesi değişmez.

Ek – 5.3. Yanal yüklü çiviler

Yanal yüklü bir çivinin çapı, d , 6 mm' yi aştığında, ahşapta ön delme yapılmalıdır. Bu, durum EC5' te 8 mm olarak verilmiş ancak 6 mm olmalıdır.



Şekil Ek.5.1. Sürekli veya ayrık mesnete sahip elemanlar (Porteous ve Kermani, 2007: 533).



Şekil Ek.5.2. Vidalar için boşluklar, kenar ve uç mesafeleri (Porteous ve Kermani, 2007: 534).

Tablo Ek.5.2. Masif ahşap, yapıştırılmış lamine ahşap veya diğer ahşap esaslı ürünlerden oluşan eğilme elemanları için k_{cr} değeri.

Eleman Malzemesi	k_{cr}
Masif ahşap	0.67
Yapıştırılmış lamine ahşap	0.67
Diğer ahşap ürünler	1

Ek – 5.4. Eksenel yüklü vidalar

EC5’ teki Tablo 8.6’ nın içeriği değiştirilmelidir. Minimum uç ve kenar mesafeleri, ilgili elemandaki vidanın dişli kısmının ağırlık merkezine olan mesafeye bağlı olmalıdır.

d vida çapı olmak üzere ahşap kalınlığının $\geq 12 d$ olması koşuluyla, Şekil Ek.5.2.’ de gösterildiği gibi oluşturulan birleşimler için minimum boşluk, kenar ve uç mesafeleri aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Liflere paralel bir düzlemde minimum vida aralığı, $a_1 = 5d$
- Liflere paralel düzleme dik minimum vida aralığı, $a_2 = 5d$

- Elemandaki vidanın dişli kısmının ağırlık merkezinin minimum uç mesafesi,
 $a_{1,c} = 5d$
- Elemandaki vidanın dişli kısmının ağırlık merkezinin minimum kenar mesafesi,
 $a_{2,c} = 4d$

a_1 , a_2 , $a_{1,c}$ ve $a_{2,c}$ Şekil Ek.5.2.' de gösterildiği gibidir.

Eksenel yüklü vidalarla oluşturulan bağlantıların karakteristik çekme kapasitesini hesaplamak için EC5 denklem (8.38)' de verilen prosedürün, minimum 6d çapa sahip vidalara uygulanabilir alternatif bir ifadeyle değiştirilmesi gerekir. Minimum 6d çapa sahip eksenel yüklü vidalarla oluşturulan bağlantı için, karakteristik çekme kapasitesi:

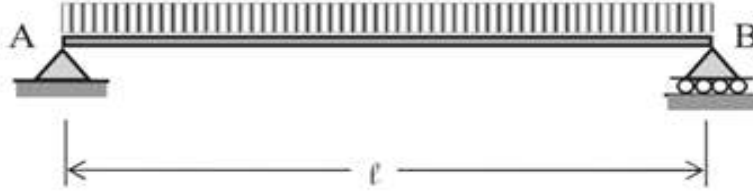
$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} * \frac{0.52d^{0.5} * l_{ef}^{0.9} * \rho_k^{0.8}}{1.2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$$

- l_{ef} : Vidanın dişli kısmının penetrasyon uzunluğu
- ρ_k : Karakteristik yoğunluk
- α : Vida eksenini ile lif yönü arasındaki açı

Ayrıca, $\alpha \leq 30^\circ$ olduğunda, yalnızca kısa süreli yüklemeye izin verilecektir.

EK – 6: Örnekler

Ek – 6.1. Örnek 1.



Şekil Ek.6. 1. Basit kiriş (Porteous ve Kermani, 2007: 134).

Verilenler:

- Bir ofis alanındaki basit mesnetli dikdörtgen kiriş, Servis sınıfı: 1
- Karakteristik kalıcı yük: $G_k = 0.6 \text{ kN/m}$
- Karakteristik orta süreli değişken yük: $Q_{k,1} = 1.2 \text{ kN/m}$
- Karakteristik ani değişken yukarı yönlü rüzgar yükü: $Q_{k,2} = 0.6 \text{ kN/m}$
- $k_{\text{mod.perm}} = 0.60$, $k_{\text{mod.med}} = 0.80$, $k_{\text{mod.inst}} = 1.1$

İstenenler:

- Taşıma gücü sınır durumları için (ULS) tasarım yük durumlarını belirleyiniz.
- ULS’de eğilme, kayma, ezilme kuvveti için, tasarım yük durumlarını belirleyiniz.
- Kullanılabilirlik sınır durumunda (SLS) kirişin ani sapması için, tasarım yük durumlarını belirleyiniz.

Çözüm:

1. Kiriş üzerindeki etkiler:

$$G_k = 0.6 \text{ kN/m} , Q_{k,1} = 1.2 \text{ kN/m} , Q_{k,2} = 0.6 \text{ kN/m}$$

2. Kısmi güvenlik faktörleri:

$$Q_{k,1} \text{ için kombinasyon değer faktörü: } \psi_{0.1} = 0.7$$

$$Q_{k,2} \text{ için kombinasyon değer faktörü: } \psi_{0.1} = 0.5$$

a. ULS için kısmi faktörler:

$$\text{Kalıcı olumlu eylemler için: } \gamma_{G.e} = 0.9$$

Değişken elverişsiz eylemler için: $\gamma_{Q.e.u} = 1.5$

Değişken olumlu eylemler için: $\gamma_{Q.e.f} = 0$

b. ULS için mukavemet kısmi faktörleri:

Kalıcı olumsuz eylemler için: $\gamma_{G.u} = 1.35$

Kalıcı olumlu eylemler için: $\gamma_{G.f} = 1$

Olumsuz değişken işlemler için: $\gamma_{Q.u} = 1.5$

Olumlu değişken işlemler için: $\gamma_{Q.f} = 0$

c. SLS için kısmi faktörler:

Kalıcı ve değişken eylemler için kısmi faktörler = 1

3. Modifikasyon faktörleri:

Servis Sınıfı 1 için;

Kalıcı süre yüklemesi için yük süresi faktörü: $k_{mod.perm} = 0.60$

Orta süreli yükleme için yük süresi faktörü: $k_{mod.med} = 0.80$

Anlık süre yüklemesi için yükleme süresi faktörü: $k_{mod.inst} = 1.1$

4. Tasarım etkileri için kritik yükleme koşulları

a) Denge durumları:

- i. Tablo 4.8, EQU (a) denklemi: Kalıcı eylemin olumsuz olduğu tüm yük durumları göz ardı edilerek, sekiz alternatif yük durumu göz önünde bulundurulmalıdır ve kritik yük durumu aşağıdaki gibidir:

Kalıcı (uygun) G_k + öncü değişken (elverişsiz) $Q_{k,2}$ + eşlik eden değişken (elverişli) $Q_{k,1}$:

$$Equi1_d = \gamma_{G.e} * G_k - \gamma_{Q.e.u} * Q_{k,2} + \gamma_{Q.e.f} * \psi_{0.1} * Q_{k,1}$$

$$Equi1_d = 0.9 * 0.6 - 1.5 * 0.6 + 0 * 0.7 * 1.2 = -0.36 \text{ kN/m}$$

- ii. Tablo 4.8, STR (c), (i) denklemi: Kalıcı eylemin olumsuz olduğu tüm yük durumlarını göz ardı edilerek, sekiz alternatif yük durumu göz önünde bulundurulmalıdır ve kritik yük durumu aşağıdaki gibidir:

Kalıcı (uygun) G_k + öncü değişken (elverişsiz) $Q_{k,2}$ + eşlik eden değişken (elverişli) $Q_{k,1}$:

$$Equi2_d = \gamma_{G.f} * G_k - \gamma_{Q.u} * Q_{k,2} + \gamma_{Q.f} * \psi_{0.1} * Q_{k,1}$$

$$Equi2_d = 1 * 0.6 - 1.5 * 0.6 + 0 * 0.7 * 1.2 = -0.3 \text{ kN/m}$$

b) Mukavemet durumları: Tablo 4.8, STR (c), (i) denklemi:

Tasarım yükleme durumu / k_{mod} aşağıdaki gibi olacaktır:

i. Üst yüzdeki eğilme basınç, makaslama ve ezilme için:

$$STR1_d = \frac{G_k(\text{elverişsiz}) + Q_{k,1}(\text{elverişsiz}) + Q_{k,2}(\text{elverişli})}{k_{mod,med}}$$

$$STR1_d = \frac{\gamma_{G,u} * G_k + \gamma_{Q,u} * Q_{k,1} - \gamma_{Q,f} * \psi_{0,2} * Q_{k,2}}{k_{mod,med}}$$

$$STR1_d = \frac{1.36 * 0.6 + 1.5 * 1.2 - 0 * 0.5 * 0.6}{0.8} = 3.26 \text{ kN/m}$$

$$DL1_d = STR1_d * k_{mod,med} = 3.26 * 0.8 = 2.61 \text{ kN/m}$$

ii. Alt yüzdeki eğilme basınç:

$$STR2_d = \frac{G_k(\text{elverişli}) + Q_{k,2} + Q_{k,1}(\text{elverişli})}{k_{mod,inst}}$$

$$STR2_d = \frac{\gamma_{G,f} * G_k - \gamma_{Q,u} * Q_{k,2} + \gamma_{Q,f} * \psi_{0,1} * Q_{k,1}}{k_{mod,inst}}$$

$$STR2_d = \frac{1 * 0.6 - 1.5 * 0.6 + 0 * 0.7 * 1.2}{1.1} = -0.27 \text{ kN/m}$$

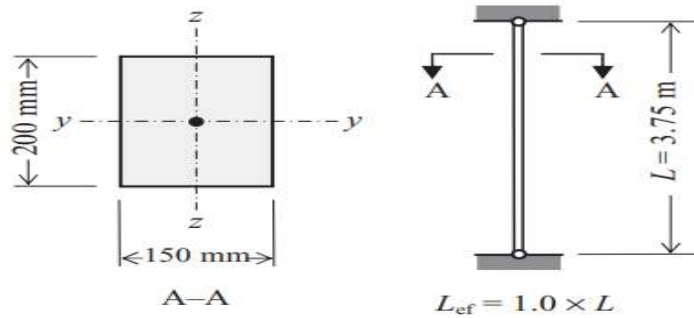
$$DL2_d = STR2_d * k_{mod,inst} = -0.27 * 1.1 = -0.3 \text{ kN/m}$$

c) Sapma durumları - geri dönüşü olmayan sınır durumu koşulunun benimsenmesi:

Tasarım koşulu şöyle olacaktır:

$$DL3_d = G_k + Q_{k,1} = 0.6 + 1.2 = 1.8 \text{ kN/m}$$

Ek – 6.2. Örnek 2.



Şekil Ek.6. 2. Basın altında kolon (Porteous ve Kermani, 2007: 177).

Verilenler:

- Şekilde gösterilen kolonun kesiti 150*200 (mm), yüksekliği L=3.75 m
- Mukavemet sınıfı: C18, Hizmet sınıfı: 2
- Karakteristik kalıcı eksenel basınç yükü= 30 kN
- Karakteristik değişken orta vadeli eksenel basınç yükü= 50 kN

İstenenler:

- Taşıma gücü sınır durumları için (ULS) kolonda gerekli tahkikleri yapınız.

Çözüm:

1. Kolon geometrik özellikleri:

Uzunluk:	$L = 3.75 \text{ m}$
y-y eksenine göre etkili uzunluk:	$L_{e,y} = 1.0 * L = 3.75 \text{ m}$
z-z eksenine göre etkili uzunluk:	$L_{e,z} = 1.0 * L = 3.75 \text{ m}$
Genişlik:	$b = 150 \text{ mm}$
Derinlik:	$h = 200 \text{ mm}$
Kesit alanı:	$A = b * h = 30000 \text{ mm}^2$
y-y eksenin göre atalet momenti:	$I_y = \frac{b * h^3}{12} = 100000000 \text{ mm}^4$
y-y eksenin göre atalet yarıçapı:	$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 57.74 \text{ mm}$
y-y eksenine göre narinlik oranı:	$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i_y} = 64.95$
z-z eksenin göre atalet momenti:	$I_z = \frac{h * b^3}{12} = 56300000 \text{ mm}^4$
z-z eksenin göre atalet yarıçapı:	$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 43.3 \text{ mm}$
z-z eksenine göre narinlik oranı:	$\lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i_z} = 86.6$

2. Ahşap özellikleri:

Mukavemet sınıfı C18 için:

Liflere paralel karakteristik basınç mukavemeti:	$f_{c,0,k} = 18 \text{ N/mm}^2$
Liflere paralel elastikiyetin beşinci yüzdelik modülü:	$E_{0.05} = 6.0 \text{ kN/mm}^2$

3. Kısmi güvenlik faktörleri:

Kalıcı etkiler için:	$\gamma_G = 1.35$
Değişken etkiler için:	$\gamma_Q = 1.5$
Masif ahşap malzeme faktörü:	$\gamma_M = 1.3$

4. Etkiler:

$$\begin{aligned}\text{Karakteristik kalıcı basınç etkisi:} & G_k = 30 \text{ kN} \\ \text{Karakteristik orta vadeli basınç etkisi:} & Q_k = 50 \text{ kN} \\ \text{Kritik yük kombinasyonu için tasarım basınç etkisi} & N_d = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k \\ & N_d = 116000 \text{ N}\end{aligned}$$

5. Modifikasyon faktörleri:

$$\begin{aligned}\text{Orta süreli yükleme ve hizmet sınıfı 2 için:} & k_{\text{mod.med}} = 0.8 \\ \text{Sistem dayanım faktörü:} & k_{\text{sys}} = 1\end{aligned}$$

6. Kolonun basınç kuvveti:

ULS' deki kritik tasarım yükü durumu, kalıcı ve olumsuz orta süreli değişken eylemin birleşiminden kaynaklanacaktır:

$$\begin{aligned}\text{Tasarım basınç gerilmesi:} & \sigma_{c.0.d} = \frac{N_d}{A} = 3.85 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Tasarım basınç mukavemeti:} & f_{c.0.d} = \frac{k_{\text{mod.med}} * k_{\text{sys}} * f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 11.08 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Burkulma mukavemeti durumu:

$$\begin{aligned}\text{y-y eksenine göre narinlik oranı:} & \lambda_{\text{rel.y}} = \frac{\lambda_y}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.13 \\ \text{z-z eksenine göre narinlik oranı:} & \lambda_{\text{rel.z}} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.51\end{aligned}$$

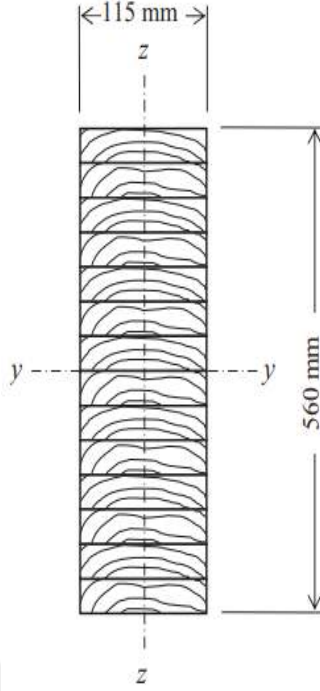
Her iki göreceli narinlik oranı 0.3' ten büyük olduğundan:

$$\begin{aligned}\text{Maksimum göreceli narinlik oranı:} & \lambda_{\text{rel.z}} = 1.51 \\ \text{Masif ahşap için } \beta_c \text{ faktörü:} & \beta_c = 0.2 \\ k_z \text{ faktörü:} & k_z = 0.5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{\text{rel.z}} - 0.3) + \lambda_{\text{rel.z}}^2] = 1.76 \\ \text{İnstabilite faktörü:} & k_{c.z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel.z}}^2}} * 0.37 \\ \text{Tasarım burkulma kuvveti:} & k_{c.z} * f_{c.0.d} = 4.15 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Tasarım gerilme / tasarım burkulma mukavemeti oranı:}\end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} * f_{c.0.d}} = 0.93$$

Tasarım gerilme, tasarım burkulma mukavemetinden daha azdır; bu nedenle, C18 mukavemet sınıfındaki 150*200 (mm) boyutlarındaki ahşap kesit, EC5' in ULS gereksinimlerini karşılar.

Ek – 6.3. Örnek 3.



Şekil Ek.6. 3. Glulam kirişi (Porteous ve Kermani, 2007: 227).

Verilenler:

- Bir dizi glulam kiriş sergi salonu çatı yapımında kullanılmaktadır.
- 115 mm genişlik, 560 mm derinlik, 10.5 m etkili uzunluk.
- Çatı üzerinde yumuşak ahşap zemin kaplaması bulunmaktadır.
- Zemin kaplaması kirişe tam yanal destek sağlayacaktır, ancak kirişler arasındaki yük paylaşımının uygulanmadığı varsayılmaktadır.
- Glulam mukavemet sınıfı GL 24h, Hizmet sınıfı: 1
- Kiriş uçlarındaki mesnet uzunluğu: 155 mm
- Ani koşulda düşey sehim sınırı: Açıklık/300
- Nihai koşulda düşey sehim sınırı: Açıklık/250
- Karakteristik kalıcı yük: 1.4 kN/m
- Karakteristik kısa vadeli değişken yük: 2.5 kN/m

İstenenler:

- Kirişler için gerek ön kamberi belirleyiniz.
- Kirişlerde gerekli tahkikleri yapınız.

Çözüm:

1. Glulam kiriş geometrik özellikleri:

Genişlik:	$b=115 \text{ mm}$
Derinlik:	$h=560 \text{ mm}$
Etkili uzunluk:	$l=10.5 \text{ m}$
Mesnet uzunluğu:	$l_b = 155 \text{ mm}$
y-y eksenine göre kesit modülü:	$W_y \frac{b \cdot h^2}{6} = 6010000 \text{ mm}^3$

2. Glulam özellikleri:

Homojen sınıf GL 24h için:

Karakteristik eğilme mukavemeti:	$f_{m.g.k} = 24 \text{ N/mm}^2$
Karakteristik kesme mukavemeti:	$f_{v.g.k} = 2.7 \text{ N/mm}^2$
Karakteristik ezilme mukavemeti:	$f_{c.90.g.k} = 2.7 \text{ N/mm}^2$
Liflere paralel ortalama elastisite modülü:	$E_{0.g.mean} = 11.6 \text{ kN/mm}^2$
Ortalama kesme modülü:	$G_{0.g.mean} = 0.72 \text{ kN/mm}^2$
Kiriş ortalama yoğunluğu:	$\rho_m = 456 \text{ kg/m}^3$

3. Kısmi güvenlik faktörleri:

Taşıma gücü sınır durumları için (ULS):

Kalıcı eylemler:	$\gamma_G = 1.35$
Değişken eylemler:	$\gamma_Q = 1.5$

Değişken eylemin yarı kalıcı değeri için faktör: $\psi_2 = 0$

Malzeme faktörü: $\gamma_M = 1.25$

4. Etkiler:

Öz ağırlık:	$G_{k.selfwt} = b \cdot h \cdot g \cdot \rho_m = 0.29 \text{ kN}$
Öz ağırlık etkisi:	$F_{d.selfwt} = \gamma_G \cdot G_{k.selfwt} = 0.39 \text{ kN/m}$
Karakteristik kalıcı etki:	$G_{k.p} = 1.4 \text{ kN/m}$
Karakteristik değişken kısa vadeli etki:	$Q_{k.p} = 2.75 \text{ kN/m}$

ULS' deki kritik yük durumu: (kalıcı eylem + kısa vadeli eylem+ öz ağırlık)

$$F_{d.p} = \gamma_G \cdot G_{k.p} + \gamma_Q \cdot Q_{k.p} + \gamma_G \cdot G_{k.selfwt} = 6.4 \text{ kN/m}$$

5. Modifikasyon faktörleri:

Kısa süreli yükleme ve hizmet sınıfı 1 için: $k_{mod.short} = 0.9$

600 mm'den daha az derinlik için boyut faktörü:

$$k_h = \begin{cases} 1 & h \geq 600 \text{ mm} \\ \left(\frac{600 \text{ mm}}{h}\right)^{0.1} & 1.1 \leq \left(\frac{600 \text{ mm}}{h}\right)^{0.1} \\ 1.1 & \end{cases} = 1.1$$

Kirişin yanal stabilitesi: $k_{\text{crit}} = 1$

Ezilme faktörü: $k_{\text{c.90}} = 1$

Deformasyon faktörü: $k_{\text{def}} = 1$

Yük paylaşım faktörü: $k_{\text{sys}} = 1$

6. Eğilme mukavemeti: Tasarım yük durumu, kiriş öz ağırlığı ile kalıcı ve değişken yüklerin kombinasyonu olacaktır:

Tasarım eğilme momenti: $M_d = \frac{F_{d.p} \cdot l^2}{8} = 88.25 \text{ kNm}$

Tasarım eğilme gerilmesi: $\sigma_{m.y.d} = \frac{M_d}{W_y} = 14.68 \text{ N/mm}^2$

Tasarım eğilme mukavemeti: $f_{m.y.d} = \frac{k_{\text{mod.short}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot k_h \cdot f_{m.g.k}}{\gamma_M} = 19.01 \text{ N/mm}^2$

Yanal burulmalı burkulma etkisi dikkate alınarak tasarım eğilme mukavemeti:

$$f_{m.r.y.d} = k_{\text{crit}} \cdot f_{m.y.d} = 19.01 \text{ N/mm}^2$$

Eğilme mukavemeti eğilme gerilmesinden büyük olduğundan eğilme durumu kritik değildir.

7. Kesme mukavemeti: Tasarım yük durumu, öz ağırlık, kalıcı ve değişken yüklerin kombinasyonu olacaktır:

Uç kesme kuvvetinin tasarım değeri: $V_d = \frac{F_{d.p} \cdot l}{2} = 33.62 \text{ kN}$

Tasarım kayma gerilmesi: $\tau_{v.d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_d}{b \cdot h} = 0.78 \text{ kN/mm}^2$

Tasarım kayma mukavemeti: $f_{v.d} = \frac{k_{\text{mod.short}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{v.g.k}}{\gamma_M} = 1.94 \text{ N/mm}^2$

8. Ezilme mukavemeti: Tasarım yük durumu, öz ağırlık, kalıcı ve değişken yüklerin kombinasyonu olacaktır:

Reaksiyonun tasarım değeri: $\text{Reac}_d = V_d = 33.62 \text{ kN}$

Tasarım ezilme gerilmesi: $\sigma_{c.90.d} = \frac{\text{Reac}_d}{b \cdot l_b} = 1.89 \text{ N/mm}^2$

Tasarım ezilme mukavemeti: $f_{c.90.d} = \frac{k_{\text{mod.short}} \cdot k_{\text{sys}} \cdot f_{c.90.g.k}}{\gamma_M} = 1.94 \text{ N/mm}^2$

Faktörlü tasarım ezilme mukavemeti: $k_{c.90} \cdot f_{c.90.d} = 1.94 \text{ N/mm}^2$

Ezilme mukavemeti uygun olmadığından için $k_{c.90}$ daha yüksek bir değer kullanmaya gerek yoktur.

9. Kiriş Sehim:

SLS' de kısmi güvenlik faktörü 1' dir. Kesit aynı kayma özelliklerine sahip malzemelerden oluştuğu için, rijitliğin ortalama değeri, kirişin ani ve son sehimini elde etmek için kullanılacaktır. SLS' deki ani sehimin en büyük değeri, en büyük eğilme momenti değeri ile ilişkilendirilecek ve öz ağırlık, kalıcı ve değişken yüklemenin karakteristik kombinasyonundan kaynaklanacaktır.

Eğilme ve kesme etkilerinden dolayı sehim hesabı aşağıdaki gibi yapılır:

Kirişte ani yükleme:

$$u_{inst.dl} = \frac{5 \cdot (G_{k.selfwt} + G_{k.p}) \cdot l^4}{32 \cdot E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} + \left(1 + 0.96 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right) \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right) = 14.29 \text{ mm}$$

$$u_{inst.Q} = \frac{5 \cdot Q_{k.p} \cdot l^4}{32 \cdot E_{0,mean} \cdot b \cdot h^3} + \left(1 + 0.96 \left(\frac{E_{0,mean}}{G_{0,mean}} \right) \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right) = 23.27 \text{ mm}$$

Kiriş orta açıklığında ani sehim:

$$u_{inst} = u_{inst.dl} + u_{inst.Q} = 37.56 \text{ mm}$$

Ani sehim sınırı (açıklık / 300):

$$w_{inst} = \frac{l}{300} = 35 \text{ mm}$$

$u_{inst} \geq w_{inst}$ olduğundan kiriş sehim sınırı aşıyor.

Kalıcı eylemler nedeniyle son sehim:

$$u_{fin.G} = u_{inst.dl} \cdot (1 + k_{def}) = 22.86 \text{ mm}$$

Değişken ve yarı kalıcı eylemler nedeniyle son sehim:

$$u_{fin.Q} = u_{inst.Q} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) = 23.27 \text{ mm}$$

Kalıcı ve yarı kalıcı eylemler nedeniyle son sehim:

$$u_{net.fin} = u_{fin.G} + u_{fin.Q} = 46.13 \text{ mm}$$

EC5 sehim sınırı (açıklık/250):

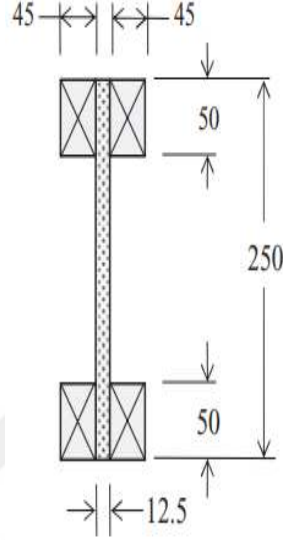
$$w_{net.fin} = \frac{l}{250} = 42 \text{ mm}$$

Önkamber hesabı:

$$\max[(u_{\text{inst}} - w_{\text{inst}}), (u_{\text{net.fin}} - w_{\text{net.fin}})] = 4.13 \text{ mm}$$

10 mm önkamber gerekmektedir.

Ek – 6.4. Örnek 4.



Şekil Ek.6. 4. Yapıştırılmış ince gövdeli kiriş (Porteous ve Kermani, 2007: 269).

Verilenler:

- Konut zemini, hizmet sınıfı 2' de olup etkili uzunluk 4 m' dir ve 450 mm aralıklarla döşenmiş yapıştırılmış ince gövdeli kirişlerden oluşmaktadır.
- Kirişler tam uzunlukta yanal olarak desteklenir ve yanal burulma rijitliğini sağlamak için uçlara masif ahşaptan blokaj da takılmıştır.
- Yapının öz ağırlığına izin veren kirişler, 0.9 kN/m²' lik bir karakteristik kalıcı yüklemeyi ve 2.0 kN/m²' lik bir karakteristik değişken orta vadeli yüklemeyi destekler.
- Flanşların mukavemet sınıfı C18' dir. Gövde 12.5 mm kalınlığında 5 kat kanada yumuşak ahşap kontrplak olup, ön katları uzunluk yönüne dik olarak hizalanmıştır.
- Gövde sürekli yapıştırılmış olup ek plakaları gerekli değildir.

İstenenler:

- Gerekli tahkikleri yapınız.

Çözüm:

1. Geometrik özellikler:

Etkili açıklık:	$L_e = 4 \text{ m}$
Derinlik:	$H = 250 \text{ mm}$
Aralık:	$B_s = 0.45 \text{ m}$
Flanş genişliği:	$b_f = 45 \text{ mm}$
Flanş yüksekliği:	$h_f = 50 \text{ mm}$
Kontrplak gövde kalınlığı:	$b_w = 12.5 \text{ mm}$
Flanşlar arasındaki net yükseklik:	$h_w = H - 2h_f = 150 \text{ mm}$
Gövde alanı:	$A_w = b_w * H = 0.00313 \text{ mm}^2$
I-kirisi için:	$b_{ef} = \frac{b_w}{2} = 6.25 \text{ mm}$

2. Malzeme özellikleri:

C18 mukavemet sınıfı için:

Karakteristik eğilme mukavemeti:	$f_{m.k} = 18 \text{ N/mm}^2$
Liflere paralel karakteristik basınç dayanımı:	$f_{c.0.k} = 18 \text{ N/mm}^2$
Liflere paralel karakteristik çekme dayanımı:	$f_{t.0.k} = 11 \text{ N/mm}^2$
Liflere paralel ortalama elastisite modülü:	$E_{0.mean} = 9 \text{ kN/mm}^2$

12.5 mm kalınlığında 5 katlı kanada yumuşak ahşap kontrplak için;

Karakteristik basınç dayanımı:	$f_{p.c.90.k} = 9.7 \text{ N/mm}^2$
Karakteristik çekme dayanımı:	$f_{p.t.90.k} = 7.4 \text{ N/mm}^2$
Karakteristik panel kesme çekme dayanımı:	$f_{p.v.k} = 3.5 \text{ N/mm}^2$
Karakteristik yuvarlanma kesme çekme dayanımı:	$f_{p.r.k} = 0.64 \text{ N/mm}^2$
Ortalama elastisite modülü:	$E_{p.c.90.mean} = 3.96 \text{ kN/mm}^2$
Ortalama rijitlik modülü:	$G_{w.mean} = 0.430 \text{ kN/mm}^2$

Analizde, dönüştürülmüş kesit, kesit boyunca flanş malzemesinin kullanımına dayanmaktadır. Ahşabın ortalama elastisite modülü değeri (9 kN/mm^2), kontrplağın ortalama elastisite

modülü değerinden (3.96 kN/mm^2) daha büyüktür. Bu yüzden sadece eğilme gerilmeleri – ki flaş için nihai koşulda ve gövde için ani koşulda olacak – kontrol edilecektir.

3. Kısmi güvenlik faktörleri:

ULS için:

$$\text{Kalıcı etkiler:} \quad \gamma_G = 1.35$$

$$\text{Değişken etkiler:} \quad \gamma_Q = 1.5$$

Kategori A için:

$$\text{Değişken etkinin yarı kalıcı değeri için faktör:} \quad \psi_2 = 0.3$$

$$\text{ULS' de masif ahşap için malzeme faktörü:} \quad \gamma_M = 1.3$$

$$\text{ULS' de kontrplak gövde için malzeme faktörü:} \quad \gamma_{\rho M} = 1.2$$

4. Etkiler:

$$\text{Karakteristik kalıcı etki:} \quad G_k = 0.9 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Karakteristik değişken orta vadeli etki:} \quad Q_{k,p} = 2 \text{ kN/m}^2$$

i. ULS:

Kritik yük kombinasyonu nedeniyle tasarım yükü:

$$F_d = (\gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k) * B_s = 1.9 \text{ kN/m}$$

Tasarım momenti:

$$M_d = \frac{F_d * L_e^2}{8} = 3.79 \text{ kN/m}$$

Tasarım kesme kuvveti:

$$V_d = \frac{F_d * L_e}{2} = 3.79 \text{ kN}$$

ii. SLS:

Kalıcı etki nedeniyle tasarım yükü:

$$F_{SLS,G} = G_k * B_s = 0.41 \text{ kN/m}$$

Değişken etki nedeniyle tasarım yükü:

$$F_{SLS,Q} = Q_k * B_s = 0.9 \text{ kN/m}$$

5. Modifikasyon faktörleri:

$$\text{Kalıcı etki ve hizmet sınıfı 2 için:} \quad k_{\text{mod.perm}} = 0.6$$

$$\text{Orta süreli etki ve hizmet sınıfı 2 için:} \quad k_{\text{mod.med}} = 0.8$$

$$\text{Yük paylaşım faktörü:} \quad k_{\text{sys}} = 1$$

$$\text{Masif ahşap için derinlik faktörü:} \quad k_h = \min \left[\left(\frac{150 \text{ mm}}{h_f} \right)^{0.2}, 1.3 \right] = 1.25$$

Masif ahşap ve hizmet sınıfı 2 için deformasyon faktörü: $k_{def} = 1$

Kontrplak ve hizmet sınıfı 2 deformasyon faktörü: $k_{def.w} = 1$

Burkulma direnci durumu $k_c = 1$

6. Dönüştürülmüş kesitler için geometrik özellikler:

Ani etkiler için dönüştürülmüş kesit özellikleri:

Dönüştürülmüş gövde kalınlığı:

$$b_{w.tfd} = \left(b_w * \frac{E_{p.c.90.mean}}{E_{0.mean}} \right) = 5.5 \text{ mm}$$

Flanşların atalet momenti:

$$I_{ef.f} = \frac{2*b_f*H^3}{12} - \frac{2*b_f*(H-2*h_f)^3}{12}$$

Gövde atalet momenti:

$$I_{ef.w} = \frac{b_{w.tfd}*H^3}{12}$$

Dönüştürülmüş kesitin ani atalet momenti:

$$I_{ef} = I_{ef.f} + I_{ef.w} = 99000000 \text{ mm}^4$$

Nihai etkiler için dönüştürülmüş kesit özellikleri:

Dönüştürülmüş gövde kalınlığı: En büyük gerilme-kuvvet oranı, kalıcı etki/ $k_{mod.perm}$ ile kombine kalıcı ve değişken etki/ $k_{mod.med}$ değerinden büyük olanı olacaktır. Birinin diğerine oranı r olsun:

$$r = \frac{\gamma_G * G_k}{k_{mod.perm}} * \frac{k_{mod.med}}{\gamma_Q * Q_k + \gamma_G * G_k} = 0.38$$

Yani $r = 0.38 < 1$ olduğundan, değişken yükleme daha yüksek gerilme/kuvvet oranı üretir, bu yüzden ψ_2 faktörü değişken yükleme ile ilişkili olacaktır. $\psi_2 = 0.3$ olmak üzere:

$$b_{c.w.tfd} = \left(b_w * \frac{E_{p.c.90.mean}}{E_{0.mean}} \right) * \frac{1+\psi_2*k_{def.f}}{1+\psi_2*k_{def.w}} = 5.25 \text{ mm}$$

Gövde atalet momenti: $I_{c.ef.w} = \frac{b_{c.w.tfd}*H^3}{12} = 6835937.5 \text{ mm}^4$

Nihai durum için dönüştürülmüş kesitin atalet momenti:

$$I_{c.ef} = I_{ef.f} + I_{c.ef.w} = 98700000 \text{ mm}^4$$

7. Flanşlar ve gövdede eğilme gerilmesi kontrolü:

Flanşın ortalama elastisite modülü gövdeninkinden daha büyük olduğundan, sadece nihai deformasyon durumunda flanş gerilmeleri ve ani durumda gövde gerilmeleri kontrol edilecektir.

ULS' de kritik tasarım yükü, kalıcı ve olumsuz orta vadeli değişken etkinin birleşiminden kaynaklanmaktadır:

a) Eğilme nedeniyle flanşta gerilme – nihai durum için:

i. Üst ve alt flanşta eğilme gerilmesi:

$$\sigma_{f.c.max.d.c} = \frac{M_d}{I_{c.ef}} * \frac{H}{2} = 4.8 \text{ N/mm}^2$$

ii. Flanşın eğilme mukavemeti:

$$f_{m.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * k_h * f_{m.k}}{\gamma_M} = 13.8 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{f.c.max.d.c} \leq f_{m.d}$ olduğundan flanşlarda eğilme durumu uygundur.

b) Eğilme nedeniyle gövdede gerilme – ani durum için:

i. Gövdede eğilme gerilmesi:

$$\sigma_{w.c.d} = \frac{M_d}{I_{ef}} * \frac{H}{2} * \left(\frac{E_{p.c.90.mean}}{E_{0.mean}} \right) = 2.11 \text{ N/mm}^2$$

ii. Basınçta gövdenin eğilme mukavemeti:

$$f_{c.w.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * k_h * f_{p.c.90.k}}{\gamma_{\rho M}} = 6.47 \text{ N/mm}^2$$

iii. Çekmede gövdenin eğilme mukavemeti:

$$f_{t.w.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * f_{p.t.90.k}}{\gamma_{\rho M}} = 4.93 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_{w.c.d} \leq \begin{cases} f_{c.w.d} \\ f_{t.w.d} \end{cases}$ olduğundan gövdede eğilme durumu uygundur.

c) Eksenel gerilme nedeniyle flanştaki – nihai durum için:

i. Üst ve alt flanşta eksenel gerilme:

$$\sigma_{f.c.d.c} = \frac{M_d}{I_{c.ef}} * \left(\frac{H}{2} - \frac{h_f}{2} \right) = 3.84 \text{ N/mm}^2$$

ii. Basınçta eksenel gerilme:

$$f_{c.o.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * f_{c.o.k}}{\gamma_M} = 11.08 \text{ N/mm}^2$$

iii. Yanal instabilite dikkate alınarak eksenel mukavemet:

$$k_c * f_{c.o.d} = 11.08 \text{ N/mm}^2$$

iv. Çekmede aksenal mukavemet:

$$f_{t.0.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * k_h * f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 8.43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{f.c.d.c} \leq \begin{cases} f_{c.0.d} \\ k_c * f_{c.0.d} \end{cases} \text{ olduğundan flanşlarda aksenal kuvvet durumu uygundur.}$$

8. Gövdede burkulma ve kayma gerilmesi kontrolü:

EC5' te gövde için burkulma şartı:

$$\text{oran} = \frac{h_w}{b_w} = 12 < 70 \text{ olduğundan burkulma durumu uygundur.}$$

a) Gövdede kesme mukavemeti:

i. Gövdede panel kesme mukavemeti:

$$f_{v.0.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * f_{p.v.k}}{\gamma_{pM}} = 2.33 \text{ N/mm}^2$$

ii. Gövde tarafından alınabilecek tasarım kesme kuvveti:

$$F_{v.w.Ed} = \begin{cases} b_w * h_w * \left[1 + \frac{0.5 * (h_{f.t} + h_{f.c})}{h_w} \right] * f_{v.0.d}, & h_w \leq 35b_w \\ 35h_w^2 * \left[1 + \frac{0.5 * (h_{f.t} + h_{f.c})}{h_w} \right] * f_{v.0.d}, & 35b_w < h_w \leq 70b_w \end{cases}$$

$$F_{v.w.Ed} = 5830 \text{ N}$$

$$\text{Gövdede tasarım kesme kuvveti: } V_d = 3790 \text{ N}$$

$$V_d \leq F_{v.w.Ed} \text{ olduğundan gövdede kesme durumu uygundur.}$$

b) Gövde ve flanşlar arasındaki yapıştırılmış birleşimin kesme mukavemeti:

i. Ani durumda:

$$\text{Tasarım kesme kuvveti: } V_d = 3790 \text{ N}$$

Tarafsız eksene göre flanşın statik momenti:

$$S_f = 2 * b_f * h_f * \left(\frac{H}{2} - \frac{h_{ef}}{2} \right) = 0.00045 \text{ m}^3$$

$$\text{Flanştaki tutkal hattının toplam uzunluğu: } 2h_f = 0.1 \text{ m}$$

Tutkal hattında kayma gerilmesi:

$$\tau_{mean.d} = \frac{V_d * S_f}{I_{ef} * 2h_f} = 0.17 \text{ N/mm}^2$$

ii. Nihai durumda:

Tutkal hattında kayma gerilmesi:

$$\tau_{c.mean.d} = \frac{V_d * S_f}{I_{c.ef} * 2h_f} = 0.17 \text{ N/mm}^2$$

Gövdenin yuvarlanma kesme dayanımı:

$$f_{v.1.90.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * f_{p.r.k}}{\gamma_{pM}} = 0.43 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{v.90.d} \leq \begin{cases} f_{v.1.90.d} & , h_f \leq 4b_{ef} \\ f_{v.1.90.d} * \left(\frac{4b_{ef}}{h_f}\right)^{0.8} & , h_f > 4b_{ef} \end{cases}$$

$$f_{v.90.d} = 0.25 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{c.mean.d} \leq \begin{cases} f_{v.1.90.d} \\ f_{v.90.d} \end{cases} \text{ olduğundan gövdede kesme durumu uygundur.}$$

9. SLS' de giriş sehim:

SLS' de karakteristik yükleme kombinasyonu için kısmi güvenlik faktörü 1' dir. Ani durum ve nihai durum için ayrı ayrı analiz yapılmalıdır.

a) Ani deformasyon durumunda:

$$u_{inst.G} = \frac{5}{384} * \frac{(F_{SLS.G} + F_{SLS.Q}) * L_e^4}{E_{0.mean} * I_{ef}} + \left(\frac{F_{SLS.G} + F_{SLS.Q}}{8}\right) * L_e^2 * \frac{1}{G_{w.mean} * A_w} = 6.82 \text{ mm}$$

İzin verilen sehim:

$$u_{inst.SLS.all} = \frac{L_e}{300} = 13.33 \text{ mm}$$

b) Nihai deformasyon durumunda:

Rijitlik özelliği:

$$b1_{c.w.tfd} = \left(b_w * \frac{E_{p.c.90.mean}}{E_{0.mean}}\right) * \frac{1+k_{def.f}}{1+k_{def.w}} = 4.95 \text{ mm}$$

Gövdenin atalet momenti:

$$I1_{c.ef.w} = \frac{b1_{c.w.tfd} * H^3}{12} = 6445312.5 \text{ mm}^4$$

Kesitin dönüştürülmüş atalet momenti:

$$I1_{c.ef} = I_{ef.f} + I1_{c.ef.w} = 98300000 \text{ mm}^4$$

$$u_{fin} = \frac{5}{384} * \frac{(F_{SLS.G} + F_{SLS.Q}) * L_e^4}{E_{0.mean} * I1_{c.ef}} * (1 + k_{def.f}) + \left(\frac{F_{SLS.G} + F_{SLS.Q}}{8}\right) * L_e^2 * \frac{1+k_{def.w}}{G_{w.mean} * A_w}$$

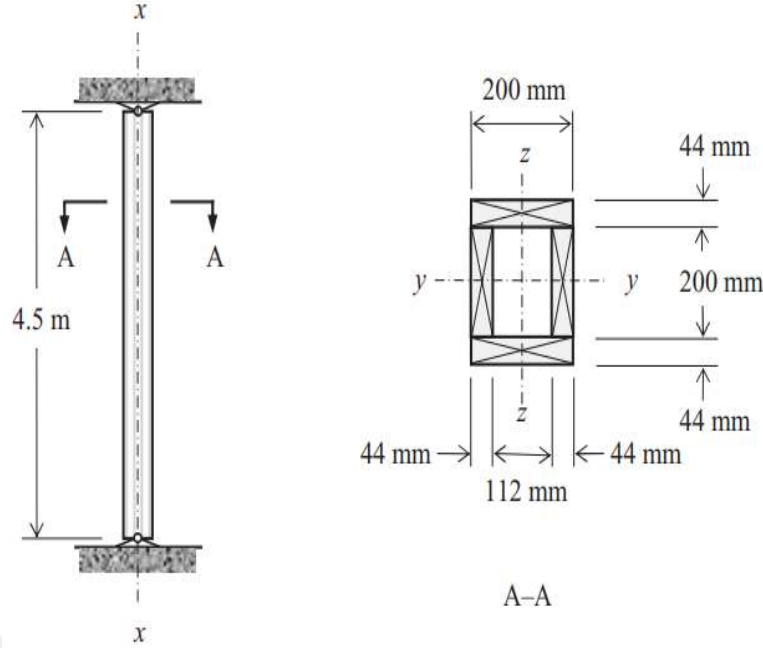
$$u_{fin} = 12.73 \text{ mm}$$

İzin verilen son sehim:

$$u_{fin.SLS.all} = \frac{L_e}{250} = 16 \text{ mm}$$

$u_{fin} \leq u_{fin.SLS.all}$ olduğundan sehim durumu uygundur.

Ek – 6.5. Örnek 5.



Şekil Ek.6. 5. Yapıştırılmış yapma kutu kesitli kolon (Porteous ve Kermani, 2007: 214).

Verilenler:

- Yapıştırılmış yapma kutu kesit, 200*44 (mm) ebatlarında masif elemanlardan oluşuyor.
- Mukavemet sınıfı C16, servis sınıfı 2' dir ve kesit 4.50 m boyundadır.
- Kesit eksenel basınç etkisindedir.
- İki uç mafsallı olup yanal yönde tutulmuştur.
- Kalıcı yük 40 kN, orta vadeli değişken yük 80 kN.

İstenenler:

- ULS' de EC5' in mukavemet kontrollerini yapınız.

Çözüm:

1. Geometrik özellikler:

Kolon uzunluğu	$L=4.50 \text{ m}$
y-y ekseninde etkili uzunluk	$L_{e,y} = 1 * L = 4.5 \text{ m}$
z-z ekseninde etkili uzunluk	$L_{e,z} = 1 * L = 4.5 \text{ m}$
Eleman 1' in genişliği	$b_1 = 200 \text{ mm}$
Eleman 1' in kalınlığı	$h_1 = 44 \text{ mm}$

Eleman 2' nin genişliği

$$h_2 = 200 \text{ mm}$$

Eleman 2' nin kombine kalınlığı

$$b_2 = 88 \text{ mm}$$

Enine kesit alanı

$$A_{\text{tot}} = 2 * \left(b_1 h_1 + h_2 \frac{b_2}{2} \right) = 3.52 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

z-z eksenine göre atalet momenti:

$$I_z = \frac{2h_1 * b_1^3}{12} + \frac{2h_2 * \left(\frac{b_2}{2}\right)^3}{12} + 2h_2 * \frac{b_2}{2} * \left(\frac{b_1}{2} - \frac{b_2}{4}\right)^2 = 1.69 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

z-z eksenine göre atalet yarıçapı:

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A_{\text{tot}}}} = 69.21 \text{ mm}$$

z-z eksenine göre narinlik oranı:

$$\lambda_z = \frac{L_{e,z}}{i_z} = 65.02$$

y-y eksenine göre atalet momenti:

$$I_y = \frac{2b_1 * h_1^3}{12} + \frac{b_2 * h_2^3}{12} + 2b_1 * h_1 * \left(\frac{h_2}{2} + \frac{h_1}{2}\right)^2 = 3.23 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

y-y eksenine göre atalet yarıçapı:

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_{\text{tot}}}} = 95.86 \text{ mm}$$

y-y eksenine göre narinlik oranı:

$$\lambda_y = \frac{L_{e,y}}{i_y} = 46.94$$

Kritik tasarım şartı için narinlik:

$$\lambda = \max(\lambda_y, \lambda_z) = \max(46.94, 65.02) = 65.02$$

Kiritik tasarım koşulu λ_z ' dir.

2. Malzeme özellikleri:

C16 mukavemet sınıfı için:

Liflere paralel karakteristik basınç dayanımı:

$$f_{c,0,k} = 17 \text{ N/mm}^2$$

Liflere paralel elastisite modülünün %5' i:

$$E_{0,05} = 9 \text{ kN/mm}^2$$

3. Kısmi güvenlik faktörleri:

ULS için:

Kalıcı etkiler:

$$\gamma_G = 1.35$$

Değişken etkiler:

$$\gamma_Q = 1.5$$

Masif ahşap malzeme faktörü:

$$\gamma_M = 1.3$$

4. Yükler:

Karakteristik kalıcı yük:

$$G_k = 40 \text{ kN}$$

Karakteristik değişken orta vadeli yük:

$$Q_k = 80 \text{ kN}$$

Tasarım basınç yükü:

$$N_d = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k = 1.74 \times 10^5 \text{ N}$$

5. Modifikasyon faktörleri:

Orta vadeli yük ve servis sınıfı 2 için:

$$k_{\text{mod.med}} = 0.8$$

Sistem kuvvet faktörü:

$$k_{\text{sys}} = 1$$

6. Kolon basınç mukavemeti:

ULS' de kritik tasarım yük durumu kalıcı yük ile elverişsiz orta vadeli değişken yükün kombinasyonu olacaktır.

Tasarım basınç gerilmesi: $\sigma_{c.0.d} = \frac{N_d}{A_{tot}} = 4.94 \text{ N/mm}^2$

Tasarım basınç dayanımı: $f_{c.0.d} = \frac{k_{mod.med} * k_{sys} * f_{c.0.k}}{\gamma_M} = 10.46 \text{ N/mm}^2$

Burkulma koşulu (5.3.1):

z-z eksenine göre göreceli narinlik oranı:

$$\lambda_{rel.z} = \frac{\lambda_z}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c.0.k}}{E_{0.05}}} = 1.16$$

Göreceli narinlik oranı 0.3' ten büyük olduğu için, 5.3.1(b)' deki koşullar geçerli olacaktır.

Masif ahşap için faktör: $\beta_c = 0.2$

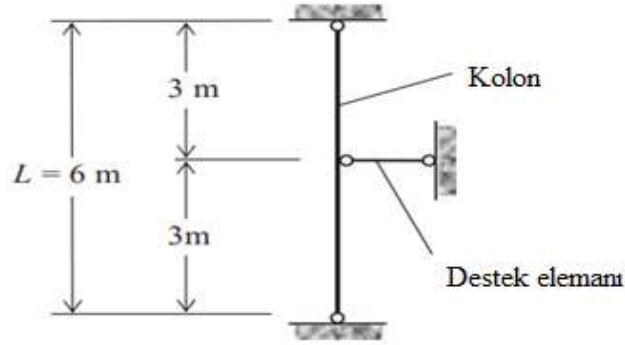
İnstabilite faktörü: $k_z = 0.5 * [1 + \beta_c * (\lambda_{rel.z} - 0.3) + \lambda_{rel.z}^2] = 1.26$

İnstabilite faktörü: $k_{c.z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel.z}^2}} = 0.57$

İnstabilite faktör koşulu: $\frac{\sigma_{c.0.d}}{k_{c.z} * f_{c.0.d}} = 0.83$

0.83<1 olduğundan C16 mukavemet sınıfındaki birleşik kesit, mevcut yükler altındaki durum için uygundur. (Yapıştırılmış birleşimlerde kesme gerilmesinin de kabul edilebilir olduğunu gösterilmelidir.)

Ek – 6.6. Örnek 6.



Şekil Ek.6. 6. Eksenel basınç altında kolon (Porteous ve Kermani, 2007: 358).

Verilenler:

- 6 m uzunluğunda masif ahşap kolon 100 kN' luk eksenel basınç etkisindedir.
- Şekilde gösterildiği gibi orta yükseklikte zayıf ekseninde yanal olarak destekleme yapılmıştır.

İstenenler:

- Destekleme elemanı tarafından sağlanacak minimum rijitlik ve elemandaki denge kuvveti nedir?

Çözüm:

1. Geometrik özellikler:

Kolon uzunluğu: $L=6$ m

Bölme uzunluğu: $a = \frac{L}{2} = 3$ m

2. Yükler:

Tasarım eksenel yük: $N_d = 100$ kN

3. Modifikasyon faktörleri:

Destek rijitliği için (EC5 Tablo 9.2): $k_s = 4$

Masif ahşap için (EC5 Tablo 9.2): $k_{f,1} = 60$

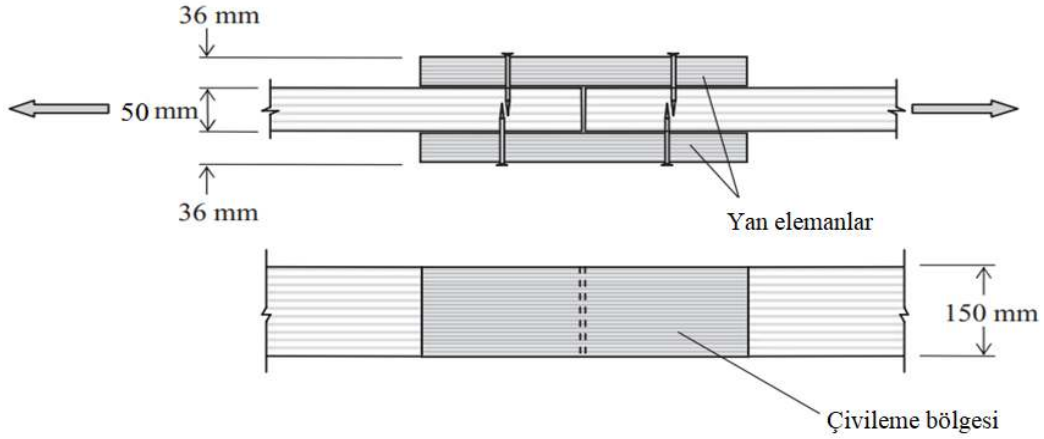
4. Destek elemanı rijitliği:

Minimum rijitlik: $C = k_s * \frac{N_d}{a} = 133.33$ N/mm

5. Destek elemandaki dengeleyici kuvvet:

Dengeleyici eksenel kuvvet: $F_d = \frac{N_d}{k_{f,1}} = 1.67$ kN

Ek – 6.7. Örnek 7.



Şekil Ek.6. 7. Çivili çekme birleşimi (Porteous ve Kermani, 2007: 417).

Verilenler:

- 2 adet 50*150 (mm) ahşap eleman çekme birleşimi ile ek yapılarak bağlanacaktır.
- Ahşap mukavemet sınıfı C22, hizmet sınıfı 2' dir.
- 36*150 (mm) 2 adet ahşap ek eleman kullanılacaktır.
- Ön delme olmadan 65 mm uzunluğunda 3.35 mm çapında düz yuvarlak çiviler kullanılıp her iki taraftan da orta elemanda üst üste binecek şekilde sürülecektir.
- Çivilerin çekme dayanımı 600 N/mm²' dir.
- Kalıcı yük 2,5 kN ve orta vadeli değişken yük 3,5 kN

İstenenler:

- EC5' e göre çivi sayısı ve aralığı belirleyip çizim üzerinde gösteriniz.

Çözüm:

1. Geometrik özellikler:

Yan elemanların kalınlığı:	$t_1 = 36 \text{ mm}$
İç elemanların kalınlığı:	$t_2 = 50 \text{ mm}$
Genişlik:	$h=150 \text{ mm}$
Yan eleman kesit alanı:	$A_{yan} = h * t_1 = 5400 \text{ mm}^2$
İç eleman kesit alanı:	$A_{iç} = h * t_2 = 7500 \text{ mm}^2$
Çivi çapı:	$d=3.35 \text{ mm}$
Çivi başı çapı:	$d_b = 2.25 * d = 7.54 \text{ mm}$

- Çivi uzunluğu: $l_{\text{civi}} = 65 \text{ mm}$
- Çivi ucu penetrasyonu: $t_{\text{uç}} = l_{\text{civi}} - t_1 = 29 \text{ mm}$
- Maksimum çivi ucu penetrasyonu: $t_2 - t_{\text{uç}} > 4 * d$
 $21 \text{ mm} > 13.4 \text{ mm}$ olduğundan uygun
- İç ahşapta minimum uç penetrasyon: $t_{\text{uç,pen}} = 8 * d = 26.8 \text{ mm}$
 $\frac{t_{\text{uç,pen}}}{t_{\text{uç}}} = 0.92 < 1$ olduğundan uygun

2. Ahşap ve çivi malzeme özellikleri:

C22 mukavemet sınıfı için:

Liflere paralel karakteristik çekme dayanımı: $f_{t.0.k} = 13 \text{ N/mm}^2$

Ahşap yoğunluğu: $\rho_k = 340 \text{ kg/m}^3$

Çivi çekme dayanımı: $f_u = 600 \text{ N/mm}^2$

3. Kısmi güvenlik faktörleri:

ULS için:

Kalıcı etkiler: $\gamma_G = 1.35$

Değişken etkiler: $\gamma_Q = 1.5$

Masif ahşap malzeme faktörü $\gamma_M = 1.3$

Birleşim malzeme faktörü $\gamma_{M.\text{birleşim}} = 1.3$

4. Yükler:

Karakteristik kalıcı yük: $G_k = 2.5 \text{ kN}$

Karakteristik değişken yük: $Q_k = 3.5 \text{ kN}$

Tasarım çekme yükü: $F_d = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k = 8.63 \text{ kN}$

5. Modifikasyon faktörleri:

Orta vadeli yük ve servis sınıfı 2 için: $k_{\text{mod.med}} = 0.8$

Masif ahşap için çekme elemanı genişlik faktörü: $k_h = 0.8$

6. Ahşap çekme mukavemeti:

ULS' de kritik tasarım yük durumu kalıcı yük ile elverişsiz orta vadeli değişken yükün kombinasyonu olacaktır.

Çiviler, ön delme olmadan çakılmıştır ve çap 6 mm' den küçüktür. Bu yüzden alan kaybı etkisi göz ardı edilebilir.

Yan elemanlarda liflere paralel tasarım çekme gerilmesi:

$$\sigma_{1t.0.d} = \frac{F_d}{2 \cdot A_{yan}} = 0.8 \text{ N/mm}^2$$

İç elemanlarda liflere paralel tasarım çekme gerilmesi:

$$\sigma_{2t.0.d} = \frac{F_d}{A_{iç}} = 1.15 \text{ N/mm}^2$$

Liflere paralel tasarım çekme mukavemeti:

$$f_{t.0.d} = \frac{k_{mod.med} \cdot k_h \cdot f_{t.0.k}}{\gamma_M} = 8 \text{ N/mm}^2$$

Tasarım mukavemeti tasarım gerilmelerini aştığından uygundur.

7. Ahşap gömülme mukavemeti:

Liflere paralel tasarım gömülme mukavemeti: $f_{h.k} = 19.4 \text{ N/mm}^2$

Ahşapta baş taraf karakteristik gömülme mukavemeti: $f_{h.1.k} = 19.4 \text{ N/mm}^2$

Ahşapta uç taraf karakteristik gömülme mukavemeti: $f_{h.2.k} = 19.4 \text{ N/mm}^2$

8. Çivi akma momenti:

Çivinin karakteristik akma momenti: $M_{y.Rk} = 0.3 \cdot f_u \cdot d^{2.6} = 4170 \text{ Nmm}$

9. Çekilme (sıyırılma) momenti:

Çivi uç penetrasyonu / çivi çapı: $\frac{t_{uç}}{d} = 8.66$

$8.66 < 12 \cdot d = 40.2$ olduğundan uygun

Çivi baş penetrasyonu / çivi çapı: $\frac{t_1}{d} = 10.75$

$10.75 < 12 \cdot d = 40.2$ olduğundan uygun

Uç tarafı karakteristik çekilme mukavemeti:

Uç penetrasyon faktörü: $D_p = \left(\frac{t_{uç}}{4d} - 2 \right) = 0.16 \text{ mm}$

$$f_{p_{ax.k}} = 0.00002 \cdot (\rho_k)^2 \cdot D_p = 0.38 \text{ N/mm}^2$$

Baş tarafı karakteristik çekilme mukavemeti:

Baş penetrasyon faktörü: $D_h = \left(\frac{t_1}{4d} - 2 \right) = 0.69 \text{ mm}$

$$f_{h_{ax.k}} = 0.00002 \cdot (\rho_k)^2 \cdot D_h = 1.59 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik baş tarafı kurtulma mukavemeti:

$$f_{baş.k} = 0.00007 \cdot (\rho_k)^2 = 8.09 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristik çekilme kapasitesi:

$$F_{ax,Rk1} = f_{p_{ax,k}} * d * t_{uç} = 36.88 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk2} = f_{h_{ax,k}} * d * t_1 + f_{baş,k} * d_h^2 = 651.17 \text{ N}$$

$$F_{ax,Rk} = \min(F_{ax,Rk1}, F_{ax,Rk2}) = 36.88 \text{ N}$$

10. Birleşimin yük taşıma kapasitesi:

Birleşim Tablo 11.2' deki göçme modlarını karşılamak zorundadır.

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 1 \text{ ve } t_2 = t_{uç} \text{ olmak üzere:}$$

a. Göçme modu (a): $F_{v,Rk,a} = f_{h,1,k} * t_1 * d = 2340 \text{ N}$

b. Göçme modu (b): $F_{v,Rk,b} = f_{h,2,k} * t_2 * d = 1880 \text{ N}$

c. Göçme modu (c):

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

$$F_{v,Rk,c} = 892.71 \text{ N}$$

d. Göçme modu (d):

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

$$F_{v,Rk,d} = 945.53 \text{ N}$$

e. Göçme modu (e):

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

$$F_{v,Rk,e} = 812.12 \text{ N}$$

f. Göçme modu (f):

$$F_{v,Rk,f} = 1.15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 856.09 \text{ N}$$

(e) ve (f) modlarında, ilgili denklemlerin Johansen kısmının $(F_{ax,Rk}/4)$ atılıp % 15 sınırlama yaparak:

$$F_{v,Rk,ee} = 1.15 * 1.05 \frac{f_{h,1,k} * t_2 * d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * t_2^2 * d}} - \beta \right] = 923.34 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk,ff} = 1.15 * 1.15 * \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} * \sqrt{2M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} = 973.91 \text{ N}$$

Çivi başına kesme düzlemi başına karakteristik yanıl direnç:

$$F_{v,Rk} = \min(F_{v,Rk,a}, F_{v,Rk,b}, F_{v,Rk,c}, F_{v,Rk,d}, F_{v,Rk,e}, F_{v,Rk,f}, F_{v,Rk,ee}, F_{v,Rk,ff})$$

$$F_{v,Rk} = 812.12 \text{ N} \quad (e) \text{ göçme modu etkilidir.}$$

Kesme düzlemi başına çivi başına tasarım dayanımı:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod,med} * F_{v,Rk}}{\gamma_{M,birleşim}} = 499.77 \text{ N}$$

Her bir taraf için gereken çivi sayısı:

$$N_{çivi} = \frac{F_d}{F_{v,Rd} * 2} = 8.63 \quad 9 \text{ adet çivi gerekir.}$$

11. Çivi aralıkları:

Liflere göre yük açısı: $\alpha = 0$

$d < 5 \text{ mm}$ ve $\rho_k = 420 \text{ kg/m}^3$ için liflere paralel minimum aralık:

$$a_{1_1} = (5 + 5|\cos \alpha|) * d = 33.5 \text{ mm}$$

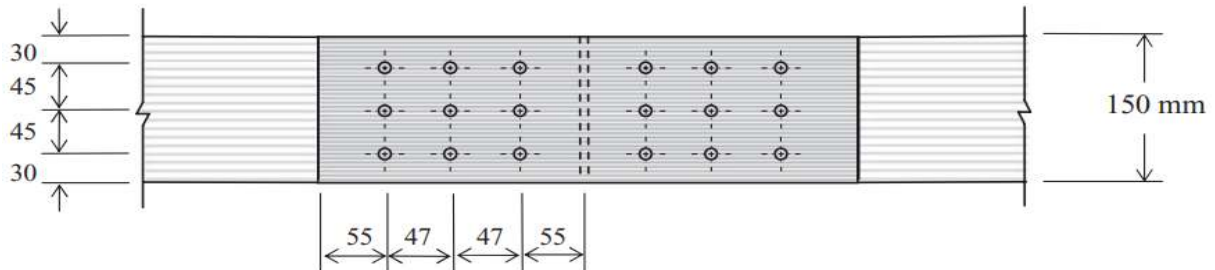
Çivi aralığının etkisini ortadan kaldırmak için $k_{ef} = 1$ alarak EC5 Tablo 8.1' den:

$$a_1 = 14 * d = 46.9 \text{ mm}$$

Liflere dik minimum aralık: $a_2 = 5 * d = 16.75 \text{ mm}$

Minimum yüklü uç mesafesi: $a_{3,t} = (10 + 5 * \cos \alpha) * d = 50.25 \text{ mm}$

Minimum yüksüz kenar mesafesi: $a_{4,c} = 5 * d = 16.75 \text{ mm}$



Şekil Ek.6. 8. Çivi yerleşimi.