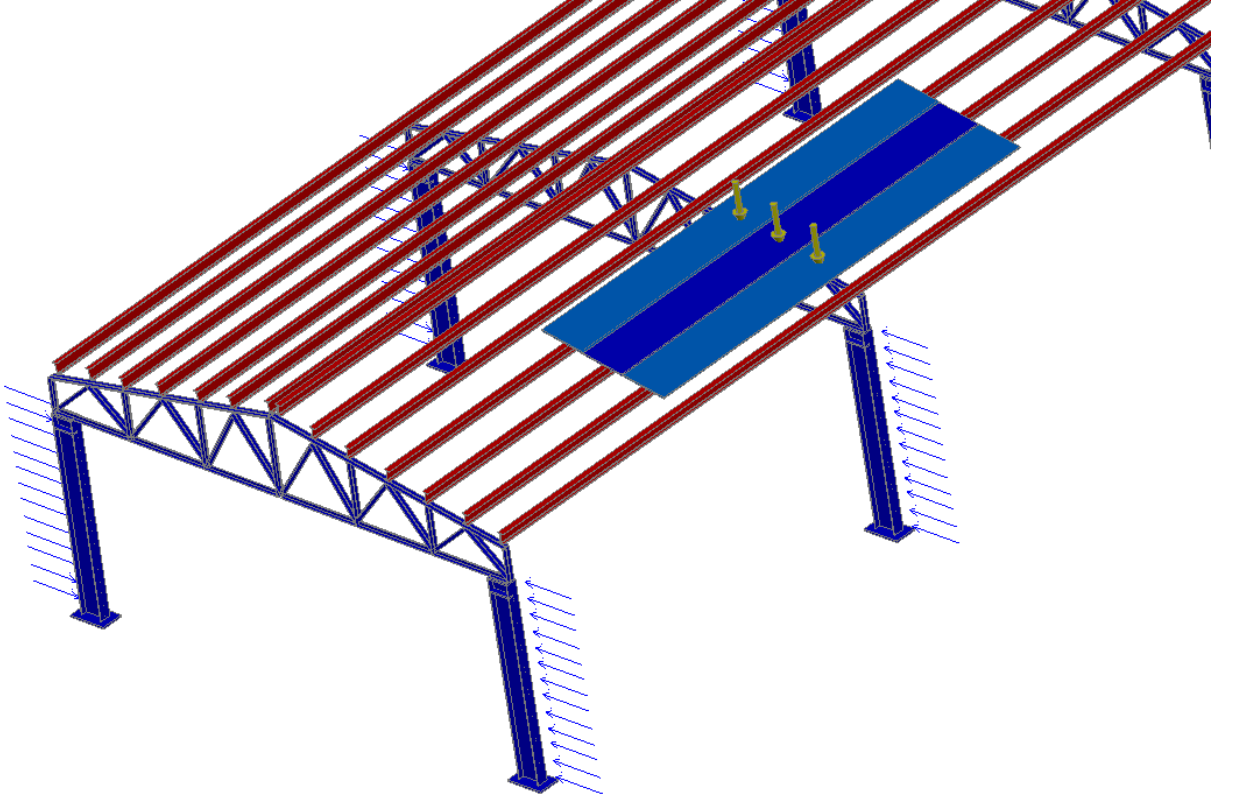


İNŞ 316 ÇELİK YAPILAR II

DERS NOTLARI

Şubat 2024



Doç. Dr. Oğuz DÜĞENCI

İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yapı Anabilim Dalı



Yararlanılan Kaynaklar

- Çelik Yapıların Tasarım Yapım ve Hesap Esaslarına Dair Yönetmelik Hakkında Uygulama Kılavuzu, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017
- **Steel Structures: Design and Behavior**, C. G. Salmon, J. E. Johnson, F. A. Malhas
- **Çelik Yapı Tasarımı-Uygulamaya Yönelik Bir Yaklaşım**, Abi O. Aghayere, Jason Vigil, Çeviri :Bülent Akbaş, Oğuz Özgür Eğilmez
- **Büyük Açıklıklı Çelik Yapılar**, Özlem Eren
- **Çelik Yapılar**, M. Ruhi Aydın, Ayten Günaydın
- Çelik Yapılar I. Cilt II Cilt, Cemal Eyyubov
- Çelik Yapılar, Hilmi Deren, Erdoğan Uzgider, Filiz Piroğlu
- Çelik Yapılar, Zafer Öztürk
- Bazı görseller için web siteleri

Yönetmelik

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esasları Yönetmeliği	2016
Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği	2018

Şartname

İMO-01.R-01/2005	Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimler
İMO-02.R-01/2008	Çelik Yapılar Emniyet Gerilmelerine Göre Hesap ve Proje Esasları

Türk Standartları

TS EN 1991-1-3	Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-3: Genel Etkiler – Kar Yükleri	2007
TS EN 1991-1-4	Yapılar Üzerindeki Etkiler-Bölüm 1-4: Genel Etkiler – Rüzgâr Etkileri	2007
TS 498	Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri	1997
TS EN 1993-1-1~12	(Eurocode 3/1) Çelik yapıların projelendirilmesi, yangına karşı tasarım, malzeme özellikleri için kurallar	
TS EN 1993-2		
TS EN 1993-3-1~2	(Eurocode 3/2) Çelik köprüler	2004
TS EN 1993-4-1~2	(Eurocode 3/3) Kuleler, direkler ve bacalar	
TS EN 1993-5	(Eurocode 3/4) Silolar, depolar ve boru hatları	2010
TS EN 1993-6	(Eurocode 3/5) Kazıklar	
	(Eurocode 3/6) Krane mesnet yapıları	
TS EN 10025	Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri	2006

Uluslararası standartlar

ACI 318-08	Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA.
ANSI/AISC 360-10	Specification for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.
ANSI/AISC 360-16	Specification for Structural Steel Buildings, (Draft), American Institute of Steel Construction, Chicago, Illinois, USA.
ASCE/SEI 7-10	Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE, Reston, Virginia, USA.
Eurocode 3/1	Design of steel building and civil engineering structures (excluding bridges, silos, tanks and pipelines, steel piling, crane supporting structures, and towers and masts)
Eurocode 3/2	Design of steel bridges
Eurocode 3/3	Design of steel towers and masts
Eurocode 3/4	Design of steel silos, tanks and pipelines
Eurocode 3/5	Design of steel piling
Eurocode 3/6	Design of steel crane-supporting structures

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1

KAFES KİRİŞLER	4
1. KAFES KİRİŞ SİSTEM ŞEKİLLERİ VE UYGULAMA ALANLARI	5
1.2. KAFES KİRİŞLER	5
1.3. Kafes Kirişlerin Yaygın Olarak Kullanıldığı Yerler	6

BÖLÜM 2

ÇATI KONSTRÜKSİYONLARI	22
2. ÇATI KONSTRÜKSİYONLARI	23
2.1. ÇELİK ÇATI TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARI	23
2.2. ÇELİK ÇATI KONSTRÜKSİYONLARI HESAPLAMA AŞAMALARI	25
2.2.1. Makas Aralıklarının Belirlenmesi	27
2.2.1.A. Dolu Gövdeli Aşıklar	28
2.2.1.B. Soğuk Hadde Aşıklar	28
2.2.1.C. Düzlemsel Kafes Kirişler	29
2.2.1.D. Uzay Kafes Aşıklar	29
2.2.2. Aşık Aralık ve Açıklıklarının Belirlenmesi, Boyutlandırılması	30
2.2.2.1. Aşıkların Mesnetlenme Durumları	30
2.2.2.2. Aşık Aralıklarının Çati Örtüsüne Bağlı Olarak Belirlenmesi	32
2.3. ÇATI YÜKLERİ VE KAFES KİRİŞLERDE ÇUBUK KUVVETLERİNİN HESABI	33
2.3.1. Aşıklarda Yük Analizi	33
2.3.2. AŞIKLARIN BOYUTLANDIRILMASI	49
UYGULAMA (Aşık Boyutlandırması)	52
2.3.3. Kafes Sistemi Yük Analizi	60
2.3.4. Zati Yük Analizi	63
2.3.5. Kar Yüğü Analizi	65
2.3.6. Rüzgar Yüğü Analizi	66
2.3.7. Kafes Sistem Statik Hesabı	68
2.3.7.1. Boyutlandırmada Esas Alınacak Maksimum Ve Minimum Çubuk Kuvvetlerinin Belirlenmesi (Süperpozisyon tablosunun hazırlanması)	68
2.3.7.2. Düğüm Noktaları Denge Yöntemi ve Ritter (Kesim) Yöntemi ile Statik Analiz	69
2.3.7.3. Bilgisayar Programları ile Statik Analiz	70
2.4. KAFES SİSTEM ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI	71
2.4.1. Çekme Çubuklarının Boyutlandırılması	72
UYGULAMA (Çekme Çubuğu Boyutlandırma)	75
2.4.2. Basınç Çubuklarının Boyutlandırılması	79
2.5. DÜĞÜM LEVHALARI SEÇİM İLKELERİ	79
2.6. STABİLİTE BAĞLANTILARI	83

BÖLÜM 3.

EĞİLMEYE ÇALIŞAN ÇELİK YAPI ELEMANLARI	87
--	----

3. EĞİLMEYE ÇALIŞAN ÇELİK YAPI ELEMANLARI.....	88
3.1. DOLU GÖVDELİ (PROFİL) KİRİŞLER.....	88
3.1.1. Döşeme Kiriş Sistemleri.....	89
3.1.2. Profil (Dolu Gövdeli) Kirişlerin Hesaplanması	93
Eğilmeye Çalışan Elemanların Genel Davranışı	96
3.2. AKMA SINIR DURUMU	103
3.3. YEREL BURKULMA SINIR DURUMU	103
3.4. YANAL BURULMALI-BURKULMA SINIR DURUMU	106
1- Kuvvetli Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki, Kompakt Gövdeli ve Kompakt Olmayan veya Narin Başlıklı Çift Simetri Eksenli I-Enkesitli Elemanlar.....	112
2- Kuvvetli Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki, Kompakt veya Kompakt Olmayan.....	113
Gövdeli Diğer I-Enkesitli Elemanlar	113
3- Kuvvetli Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki, Çift ve Tek Simetri Eksenli Narin Gövdeli I-Enkesitli Elemanlar	116
4- Zayıf Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki I-Enkesitli ve U-Enkesitli Elemanlar	117
b) Yapı Kullanımını Zorlaştıran Elastik Deformasyon (Sehim) Kontrolü	118
3.5. BİRLEŞİK EĞİLME ETKİSİNDE EĞİLMEYE ÇALIŞAN I KESİTLER	122
3.6. AŞIKLARIN BOYUTLANDIRILMASI	122
1. Etkiyen Yüklerin Hesaplanması	122
2. Moment Değerlerinin Hesaplanması	123
3. Aşık Profilinin Seçilmesi.....	127
UYGULAMA 3.1.	132
UYGULAMA 3.2.	136
UYGULAMA 3.3.	141
UYGULAMA 3.4.	145
UYGULAMA 3.5.	150
UYGULAMA 3.5.	154
UYGULAMA 3.6.	156
UYGULAMA 3.7.	158
UYGULAMA 3.8.	160
UYGULAMA 3.9.	162
UYGULAMA 3.10.	165
UYGULAMA 3.11.	168

BÖLÜM 1

KAFES KİRİŞLER

1. KAFES KİRİŞ SİSTEM ŞEKİLLERİ VE UYGULAMA ALANLARI

1.2. KAFES KİRİŞLER

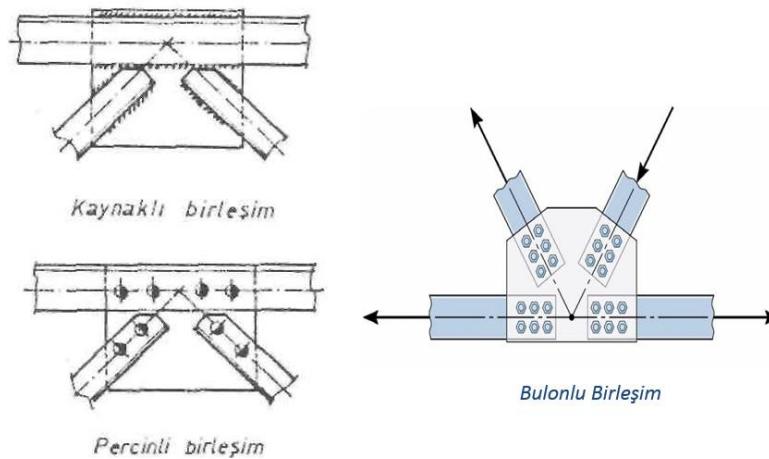
Başlık ve örgü çubuklarının düğüm noktalarında birbirleriyle genellikle üçgen boşluklar oluşturacak şekilde birleştirilmesi ile elde edilen taşıyıcı elemanlara **kafes kirişler** denir. Uzun ve düzlem kafes olarak ikiye ayrılır.

Kafes sistemler, sistemi oluşturan elemanlarda sadece aksel kuvvetlerin oluşturulması için geliştirilmiş sistemlerdir. Başka bir deyişle bu sistemlerin oluşturulmasındaki ana amaç; çelik gibi akma ve çekme dayanımı yüksek olan bir malzeme ile teşkil edilecek kesitlerde, sadece aksel kuvvetlerin oluşturulmasını sağlayarak ekonomik kesitlerin kullanılabilmesini sağlamaktır.

Kafes kirişler büyük açıklıkların geçilmesi gereken tüm mimarilerde ekonomik kesitlerin oluşturulması için gerekli yapısal taşıyıcı sistemlerdir. (Uygulama alanları için bkz. Şekil 1.1.)

Kafes kirişler farklı profiller seçilerek teşkil edilebilir. Basınç veya çekme kuvvetine maruz olan bu çubukların (profiller) perçin, bulon veya kaynakla birbirlerine, genellikle de bağ levhası kullanılarak birbirlerine bağlanır. Çubukların birleştirildikleri yerlere **düğüm noktası** adı verilir.

Düzlem kafes kirişlerde çubukların eksenleri bir düzlem içinde bulunur ve düğüm noktalarında birleşen çubukların eksenleri aynı noktadan geçer.



Şekil 1.1. Düğüm Noktası Teşkilleri



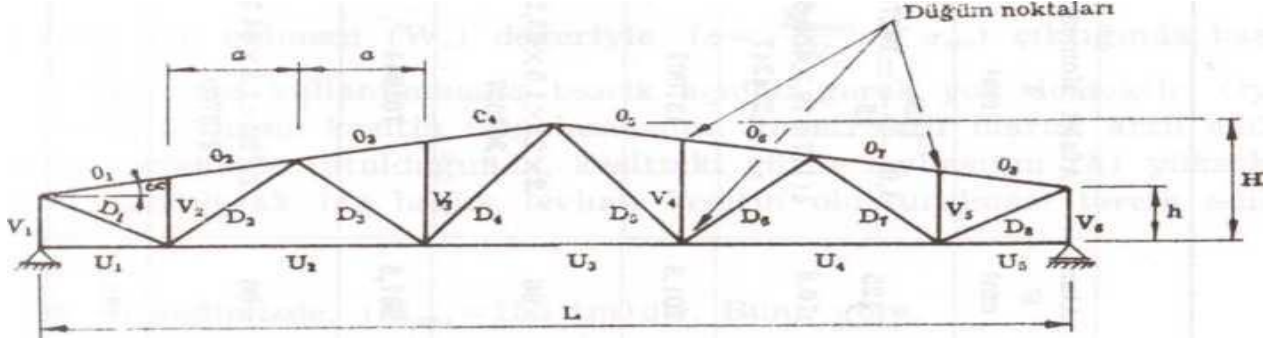
Şekil 1.2. Kafes kiriş uygulama Alanları

1.3. Kafes Kirişlerin Yaygın Olarak Kullanıldığı Yerler

- Çatı makasları ve büyük açıklıklı aşıklar, kirişleri,
- Ağır hal kolonlarında,
- Büyük açıklıklı çerçeveler ve kemerler,
- TV anten kuleleri, yüksek gerilim hattı direkleri,
- Yol ve demiryolu köprüsü ana kirişleri,
- Rüzgâr ve rijitlik bağlamaları.

Düzlem Kafes Kiriş Çubukları ve Adlandırılması

Düzlem kafes kirişlerdeki elemanlar hesaplanmasında sistem elemanlarında oluşan kesit tesirleri



Kafes kirişin üst konturunu sınırlayan çubuklara, üst başlık çubukları ($\bar{U}_i$), alt konturunu sınırlayanlarına, alt başlık çubukları ($\bar{A}_i$), aradakilere de örgü çubukları denir. Örgü çubuklarından düşey duranları dikme çubukları ($\bar{V}_i$), eğimli duranları ise diyaqonal çubukları ($\bar{D}_i$)'dir.

İsimlendirmeler, statik çözüm sonucunda elemanların tanınması bakımından önemlidir. Bu bağlam da yukarıdaki isimlendirmeden bağılı başka farklı kaynaklarda farklı isimlendirmeler verilebilir. Proje sorumlusunun tercihinine bağılı bir durumdur. *Bazı kaynaklarda verilen adlandırma şu şekilde olabilir. üst başlık çubukları ($\bar{O}_i$), alt başlık çubukları ($\bar{U}_i$), dikme çubukları ($\bar{V}_i$), diyaqonal çubukları ($\bar{D}_i$)'dir.*

Kafes Kirişlerin Sınıflandırılması

Sistem Teşkili Açısından

- Düzlem kafes kirişler : Tüm çubuk eksenlerinin aynı düzlem içinde olması.
- Uzay kafes kirişler : Çubuk eksenlerinin değişik düzlemler içinde bulunması.

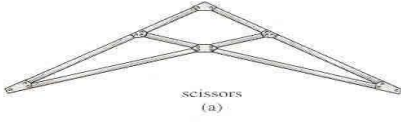
Birleşim Aracı Türü Açısından

- Perçinli veya bulonlu kafes kirişler : Çubukların düğüm noktalarına birleşimlerinde birleşim aracı olarak perçin veya bulon kullanılması.
- Kaynaklı kafes kirişler : Düğüm nokta birleşimlerinde kaynaktan yararlanılması.

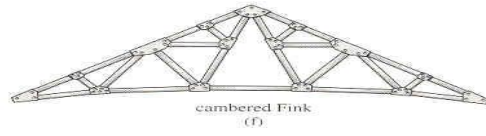
Sistem Şekli Açısından

- Üçgen kafes kirişler
- Trapez kafes kirişler
- Paralel başlıklı kafes kirişler

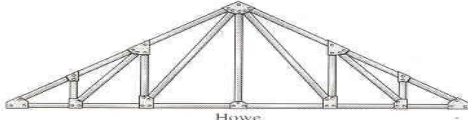
- Değişik başlıklı kafes kirişler



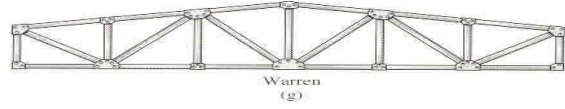
scissors
(a)



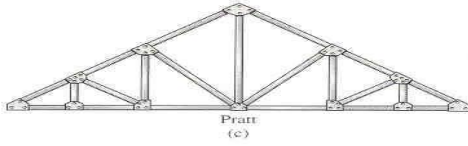
cambered Fink
(f)



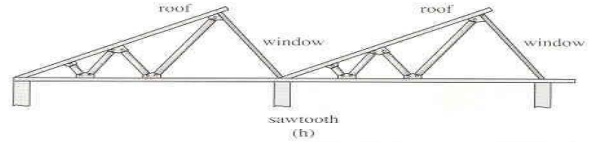
Howe
(b)



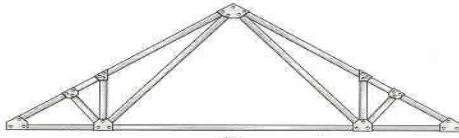
Warren
(g)



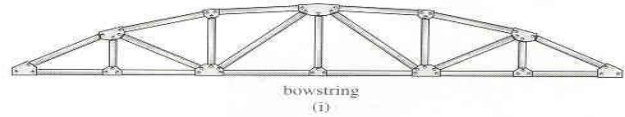
Pratt
(c)



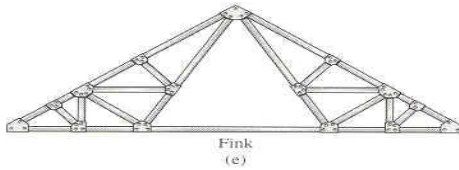
sawtooth
(h)



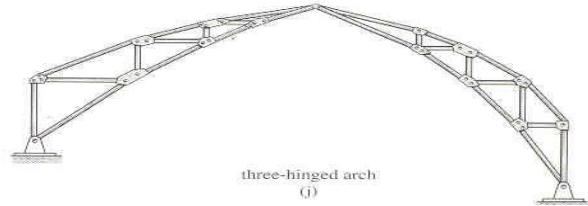
fan
(d)



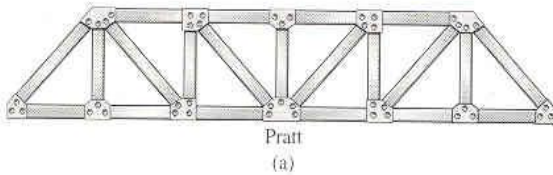
bowstring
(i)



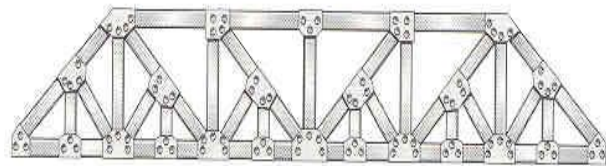
Fink
(e)



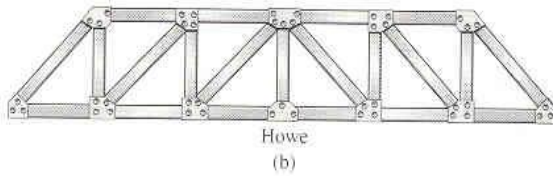
three-hinged arch
(j)



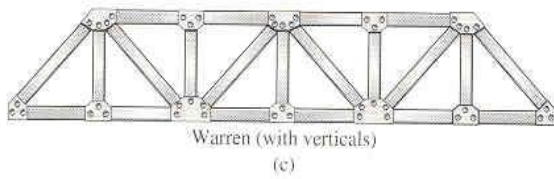
Pratt
(a)



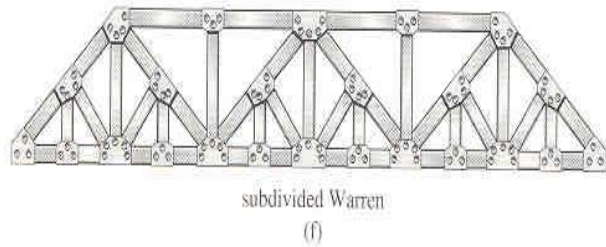
Baltimore
(e)



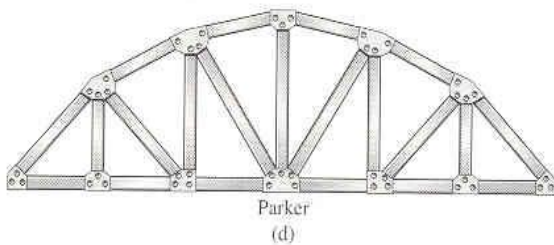
Howe
(b)



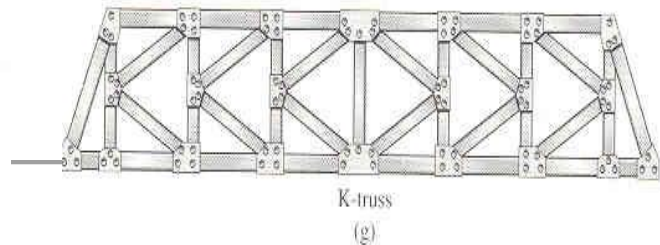
Warren (with verticals)
(c)



subdivided Warren
(f)



Parker
(d)



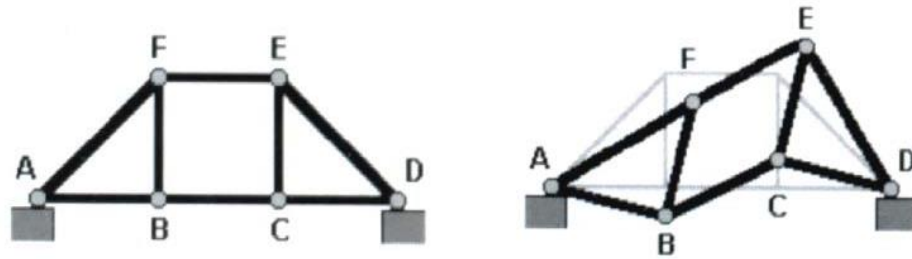
K-truss
(g)

Kafes Kirişlere Ait Konstrüktif Esaslar

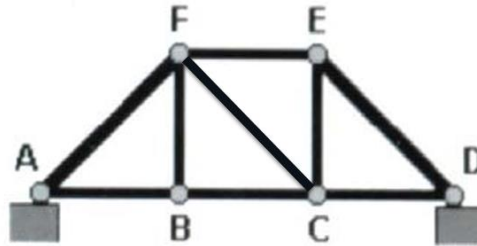
Kafes kirişin hiperstatiklik derecesinin hesabı Kafes kirişi oluşturan çubukların sayısı (s), düğüm noktalarının (k) olmak üzere,

- $s + 3 = 2k$ (statikçe belirli kafes kirişler), (İzostatik)
- $s + 3 > 2k$ (statikçe belirsiz kafes kirişler), (Hiperstatik)
- $s + 3 < 2k$ (kafes kiriş sistemi oluşmamış), (Labil)

şeklinde hesaplanır. Bu sistemler arasında sistemin labil olmaması esastır, bu şekilde yükler ve sistem taşınmıyor demektir. Hiperstatik olması durumunda ise kafesi oluşturan elemanlarda ilave iç kesit tesirleri oluşmaktadır. Bu durumda ekonomik kesitlerin seçilmesi bakımında tercih edilmez. Dolayısıyla kafes sistemlerin izostatik şekilde teşkil edilmesi uygun olmaktadır.



Labil sistem



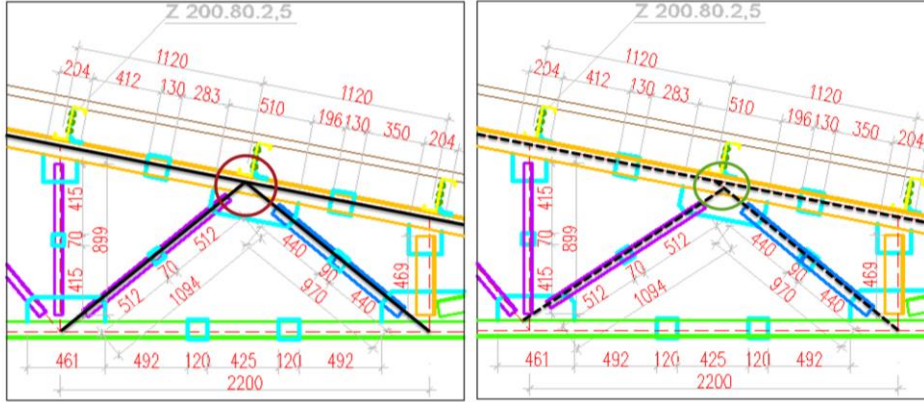
İzostatik sistem

Kafes kirişin hesaplanmasında, **düğüm noktalarının birer mafsallı olduğu varsayımı yapılır.** Pratikte, çubukların, düğüm noktalarına ister perçinli veya bulonlu, ister kaynaklı birleşimlerinden sonra rahatça, mafsaldan beklenecek tarzda dönebildiklerini söylemek zordur.

Serbestçe dönememeleri nedeniyle çubuklarda, eksenel kuvvetten oluşan gerilmeler dışında ilave gerilmeler de meydana gelir ki bunlara **ikincil gerilmeler** adı verilir. Bu ikincil gerilmelerin belli limitleri aşmaması gerekir. **Bunun için konstrüktif açıdan uygulamaya dikkat edilmelidir.**

İkincil Gerilmelerin Oluşmaması İçin Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

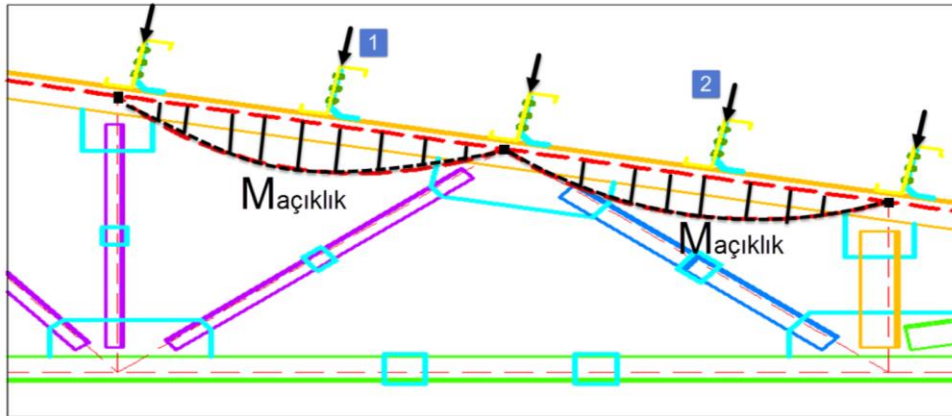
1. Aynı düğüm noktasına birleşen tüm çubukların eksenleri aynı noktada kesişmelidir.



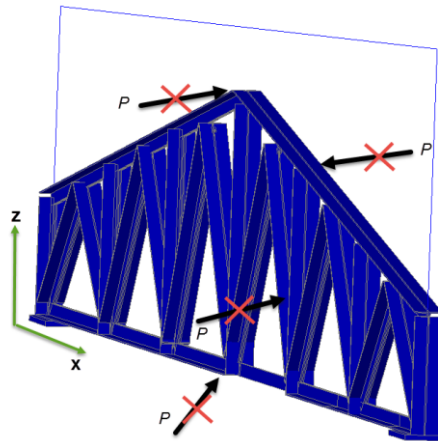
Doğru Uygulama

Yanlış Uygulama

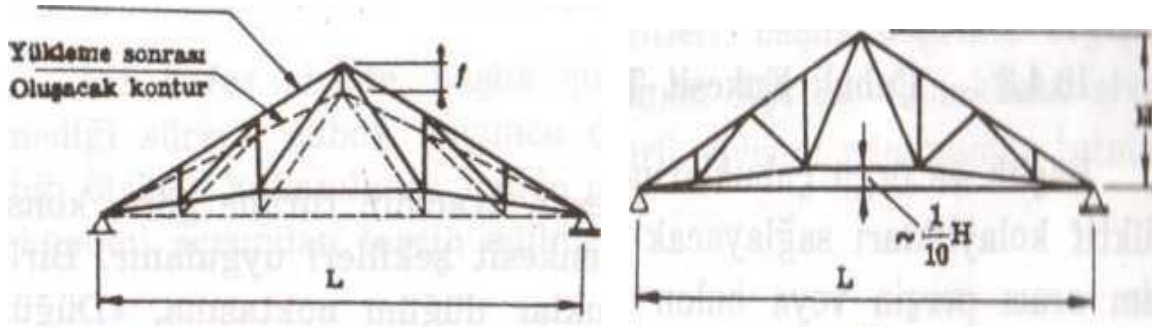
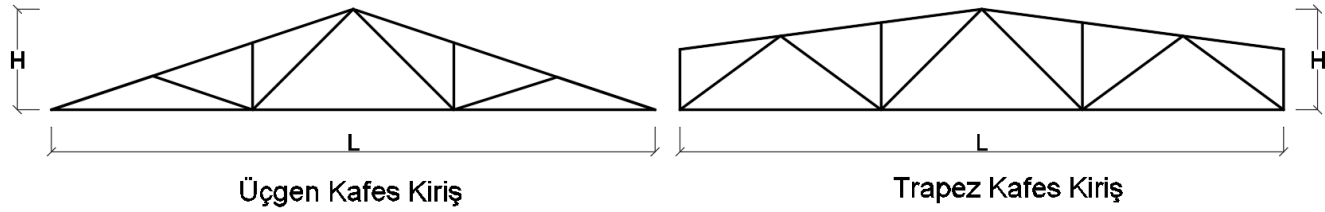
2. Kuvvetler, kafes kirişlere düğüm noktalarından tesir ettirilmelidir. Aksi halde çubuklarda, eksenel etki yanında eğilme etkisi de oluşur. Bu gibi durumlarda, eğilmeden kurtulabilmek amacıyla, kafes kirişe ilâve düğüm noktaları ve çubuklar eklemek yoluna da gidilebilir.



3. Düzlem kafes kirişlerde çubuk eksenleri aynı düzlem içinde bulunduğu gibi, kafes kirişe etkiyen kuvvetler de bu düzlem içinde olmalıdır. Düzlem dışı kuvvet olmamalıdır

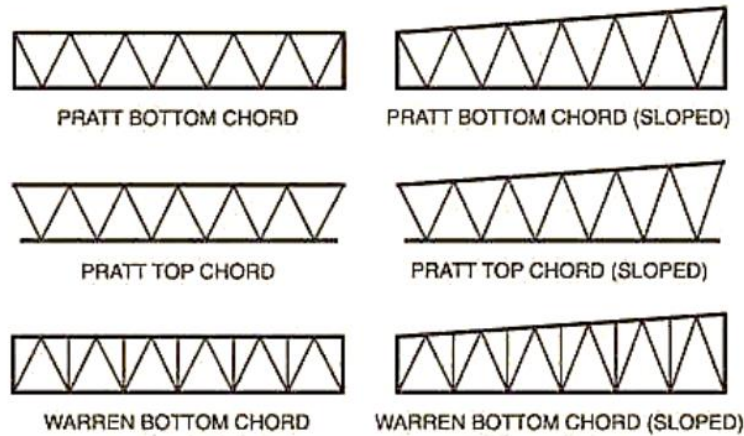


4. Üçgen ve trapez şeklindeki kafes kirişlerde, $H/L = 1/10 \sim 1/12$ kuralının gözetilmesi önerilmektedir. Özellikle bu oranın küçültülmesi ($1/15$ 'e kadar inebilir) halinde sehim sorunu ortaya çıkar. Bu halde düğüm noktalarının aşağı doğru deplasmanı görüntüyü bozabilir ve yönetmeliklerce verilen kullanılabilirlik sınır durumunu aşabilir. Kullanılabilirlik sınır durumunun aşılmasında o kesitlerle tekil edilen kafes kiriş kullanılamaz. Kesitlerin büyütülmesi gerekir. Bununla birlikte bu gibi bir durumun zorunlu olmasında, sisteme imalat sırasında ters sehim verilebilir. *Alt başlık yaklaşık $H/10$ mertebesinde yukarı çekilerek ek yapılır.*

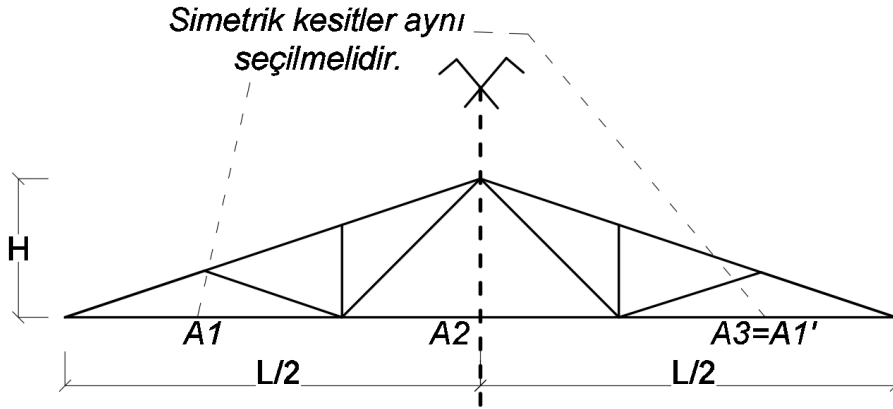


Kafes Kiriş Ters Sehimi verilmesi

5. Paralel, trapez şeklindeki kafes kirişlerde $H/L = 1/7 \sim 1/10$ oranında olmalıdır.

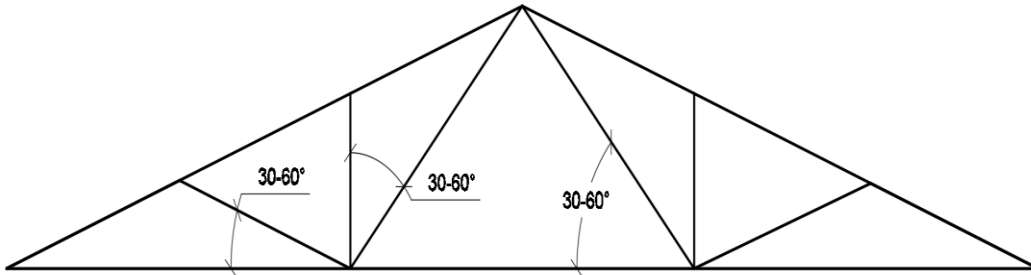


6. Çubuk kesitleri kafes kiriş sistem çizgisine göre simetrik seçilmelidir.

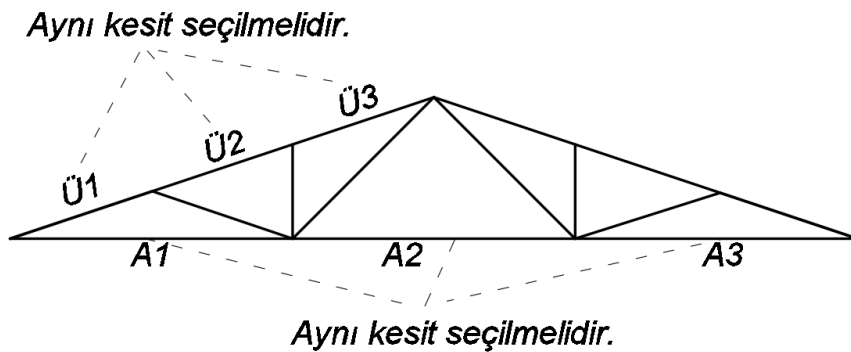


7. Sistem uzunluğu büyük olan çubukların çekmeye, küçük olanların basınca çalışması sağlanmaya çalışılmalıdır.

8. Çubukların aralarındaki açılar çok küçük olmamalıdır. Dar açılar mümkünse 60, değilse 30-60 arasında kalacak şekilde düzenleme yapılmalıdır.

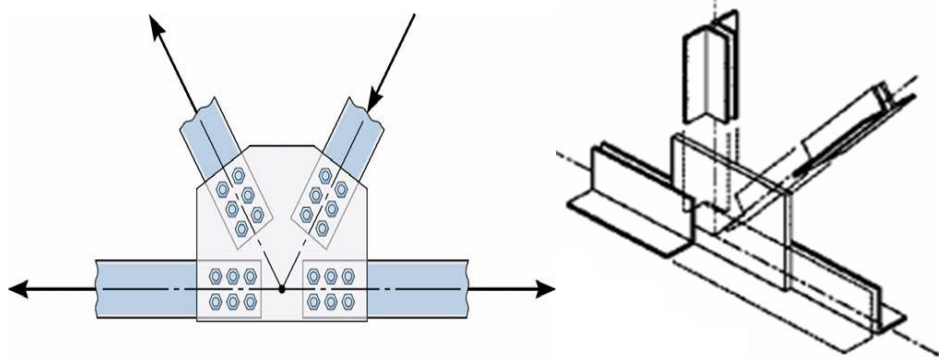


9. Mütemadi devam eden alt ve üst başlık çubukları aynı profilden olmalı, montaj eki dışında mümkün olduğunca eksiz olmalıdır. Bu sebeple düğüm noktaları arası 3m veya 6m olacak şekilde ayarlanmalıdır.



10. Yatay düzlemdeki uzunluğu (iki düğüm noktası arası) $L > 6$ m olan basınç çubuklarında ise, $M = G.L^2/10$ momenti dikkate alınmalıdır. (G: çubuk ağırlığı).

11. Düğüm levhaları basit (en az kesimle elde edilebilecek) şekilli, kenara paralel ve küçük yükseklikli olmalıdır. Büyük levha seçilirse ilave gerilmeler artar. Sivri köşeleri ve gereksiz fazlalıkları olmamalıdır.

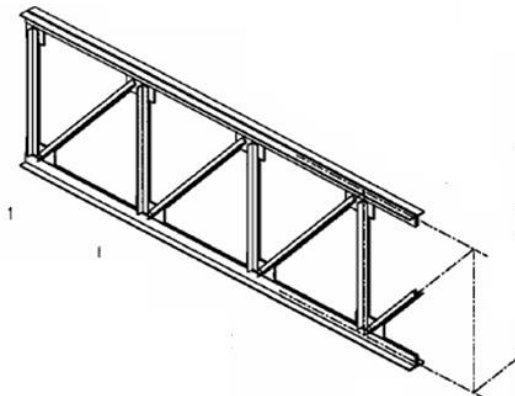


12. Mütemadi başlık çubukları düğüm levhalarına sol ve sağdaki çubuk kuvvetlerinin farkına göre ve minimum şartlar [en az iki perçin veya minimum kaynak boyu $L1 + L2 = 9 + 6 = 15$ cm göz önünde bulundurularak birleştirilmelidir.

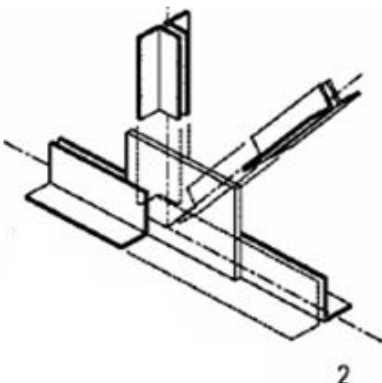
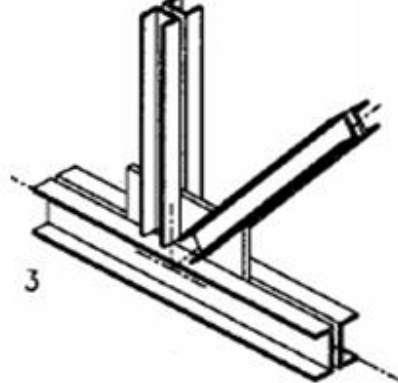
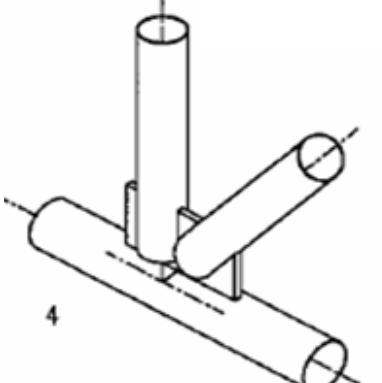
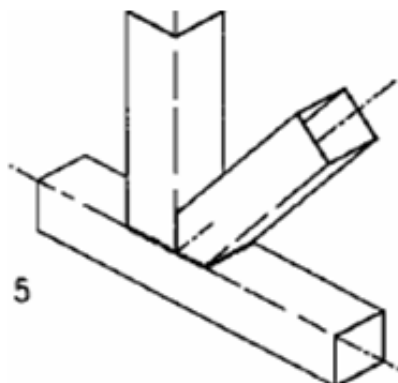
13. Mütemadi başlık çubuklarının ekleri düğüm noktalarının yakınında olmalıdır.

Düğüm Noktaları

Başlık ve örgü çubuklarında, birleşim aracının türüne göre, Konstrüktif kolaylıkları sağlayacak tarzda en kesit şekilleri uygulanır. Birleşim aracı perçin veya bulon ise çubuklar düğüm noktasına, düğüm nokta levhası diye adlandırılan bir levha aracılığıyla bağlanırlar. Kaynaklı teşkillerde ise kefes sistemi oluşturan profillerin türüne göre düğüm nokta levhalarına gereksinim olmadığı durumlar olsa da bazı kesitlerin düğüm levhasına kaynaklanması gereksinimi vardır.



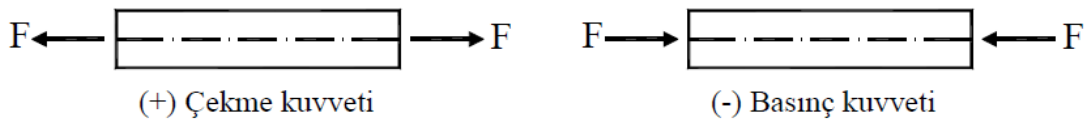
Kafes sistem teşkili

	
Çift korniyerli Düğüm levhalı Birleşim Kaynaklı veya Bulonlu	Çift U profilli Düğüm Levhalı Birleşim Kaynaklı veya Bulonlu
	
Boru Profilli Düğüm Levhalı Birleşim Kaynaklı	Kutu Profil / Düğüm Levhasız Birleşim Kaynaklı

2. KAFES ÇUBUKLARIN HESAP YÖNTEMLERİ

Kafes sistemlerde Çubuk Kuvvetleri İçin İşaretlendirme

Çubuk kesitinin dış normali yönündeki kuvvet çekme kuvveti, aksi basınç kuvveti olarak isimlendirilir.



Kafes Sistemlerin Çözüm Yöntemleri

Analitik Çözüm Yöntemleri:

1. Düğüm noktası yöntemi

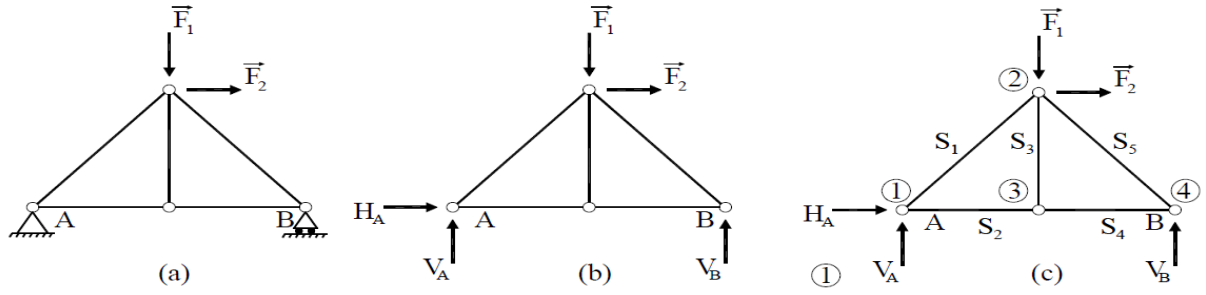
2. Ritter (Kesim) yöntemi
3. Bilgisayar Programları

1. Düğüm Noktası Yöntemi

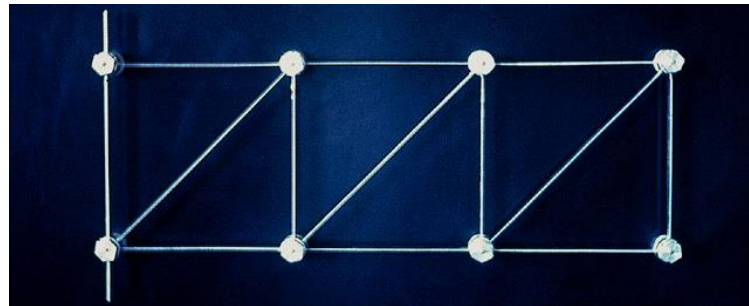
Söz konusu yöntemde her bir düğüm noktası mafsalsal olarak alındığından ve çubuklara düğüm noktaları dışında kuvvet uygulanmadığından düzlemde kesişen kuvvetlere ait iki denge denklemi her bir düğüm noktası için yazılarak tüm çubuk kuvvetleri bulunur.

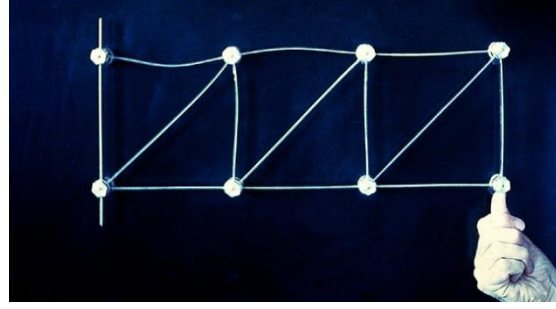
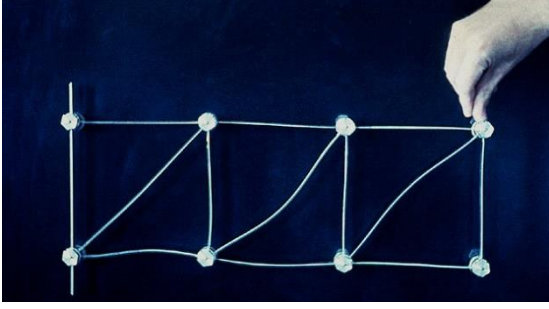
Çözümde İşlem Sırası

- Tüm sistemin serbest cisim diyagramı çizilerek mesnet reaksiyonları bulunur.

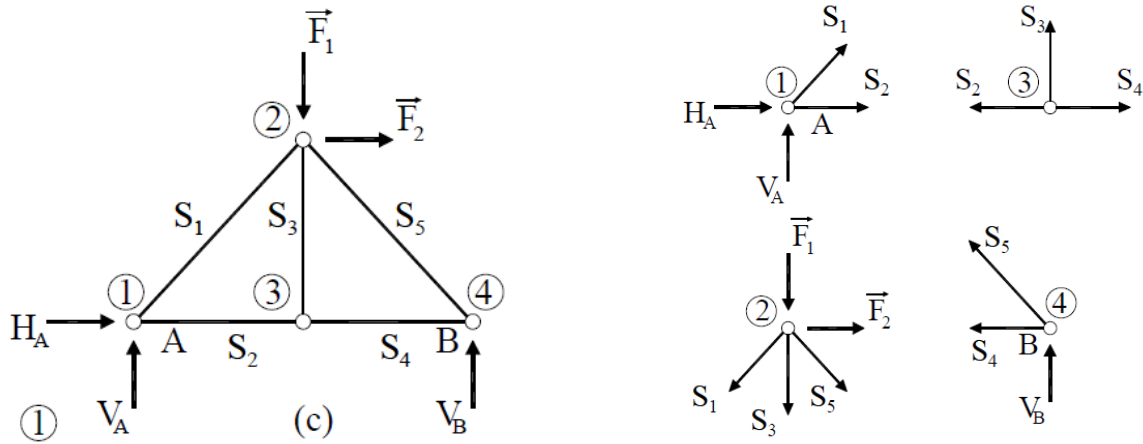


- Her düğüm noktasında bilinmeyen çubuk kuvvetleri çekme olarak alınır. Yani bu kuvvetler düğüm noktasından dışarıya doğru olmalıdır. Bu durumda bulunan çubuk kuvvetlerinin işareti ise (+) ise çekme, (-) ise basınç demektir. Bir düğüm noktasındaki çubuk kuvvetleri bulunduğundan sonra bunların işaretleri de dikkate alınarak çubuk kuvvetleri bulunması istenen düğüm noktasına bilinen kuvvet olarak etki ettirilirler.





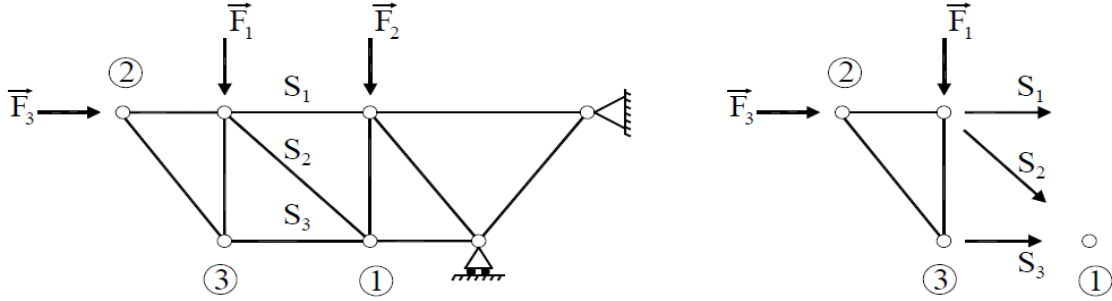
- İki çubuğun kesiştiği bir düğüm noktasından başlanılarak bu noktanın serbest cisim diyagramı çizilir ve bilinen denge denklemleri kullanılarak çubuk kuvvetleri bulunur.



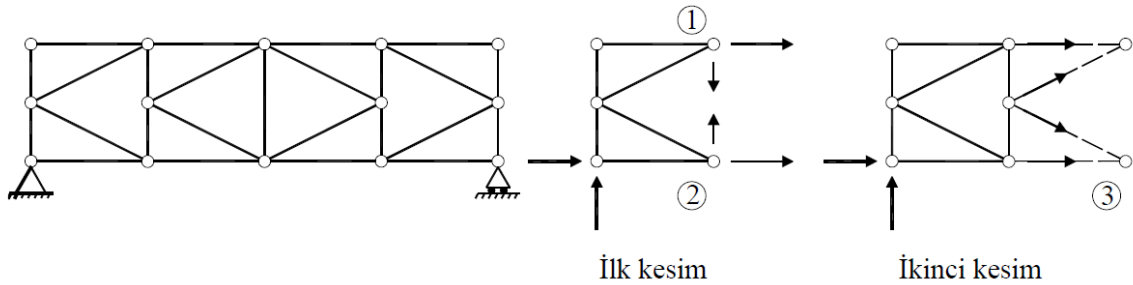
- İlk seçilen düğüm noktasından sonra seçilecek düğüm noktasında da yine bilinmeyen çubuk sayısı en fazla iki olacak şekilde seçilir.

2. Kesim Yöntemi

- Kafes sistemin bazı çubuk kuvvetlerinin bulunması istendiğinde tercih edilmesi gereken bir yoldur.

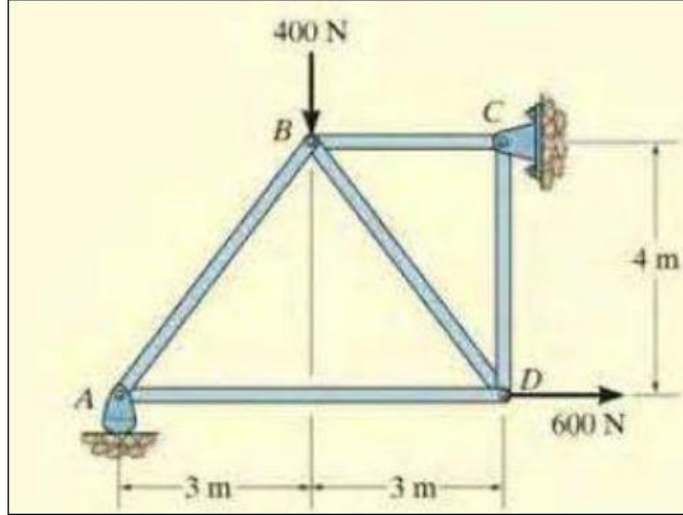


- Genellikle önce mesnet reaksiyonları bulunur. Bazı durumlarda mesnet reaksiyonlarının bulunmasına gerek kalmaz.
- Hangi çubuk kuvvetinin bulunması isteniyorsa bu çubuğu da kesecek şekilde sistem bir a-a kesimiyle en fazla üç çubuk kesilecek şekilde ikiye ayrılır.
- Ortaya çıkan kesilmiş iki parçadan en az işlem gerektiren ve üzerinde denge denklemleri en kolay uygulanabilen bir tanesi alınır ve bu parçaya üç adet denge denklemi uygulanır.
- Kesim yapıldığında çubuklarla ilgili oldukları düğüm noktalarına çekme kuvvetleri olarak etki ettirilirlir. Hesap sonucunda bazı çubuk kuvvetlerinin işaretleri negatif çıkarsa bu çubukların basınç çubukları oldukları anlaşılır.
- Eğer bir kafes sistem ikiye ayrılırken üçten fazla kesim yapılması zorunlu ise bu durumda üç adet denge denklemi bilinmeyenleri bulmak için yeterli olmayıp üçten fazla kesilmiş her çubuk sayısı kadar ilave denkleme ihtiyaç vardır.

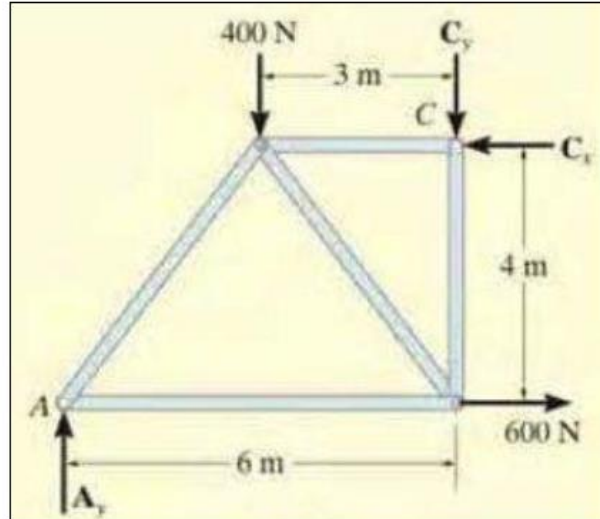


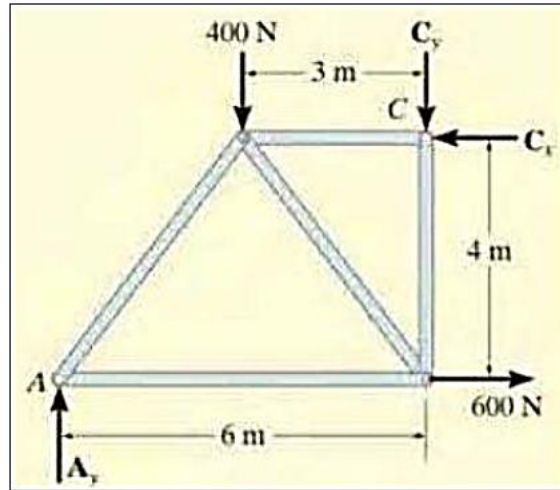
Örnek 1 *Düğüm Noktası Yöntemi*

Şekilde verilen kafes sisteminde etkiyen yüklere göre çubuklarda oluşan kesit tesirlerini düğüm noktası yöntemine göre belirleyiniz. Çubuklarda oluşan kuvvetlerin ekme veya basınç kuvvetleri olduğunu belirtiniz.



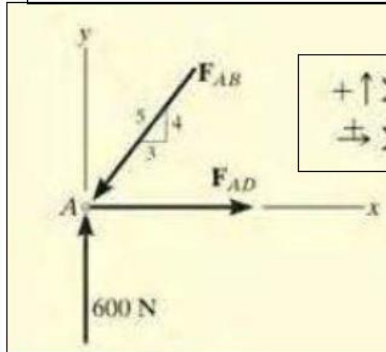
Öncelikle mesnet tepkileri bulunmalıdır. Bunun için kafes sistemin serbest cisim diyağramı çizilmelidir.





$$\begin{aligned} \pm \sum F_x = 0; \quad 600 \text{ N} - C_x &= 0 & C_x &= 600 \text{ N} \\ \zeta + \sum M_C = 0; \quad -A_y(6 \text{ m}) + 400 \text{ N}(3 \text{ m}) + 600 \text{ N}(4 \text{ m}) &= 0 \\ & A_y = 600 \text{ N} \\ + \uparrow \sum F_y = 0; \quad 600 \text{ N} - 400 \text{ N} - C_y &= 0 & C_y &= 200 \text{ N} \end{aligned}$$

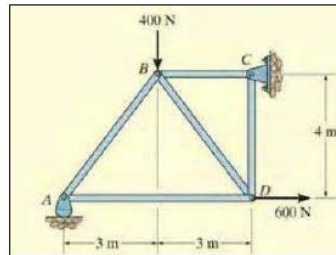
A düğüm noktası



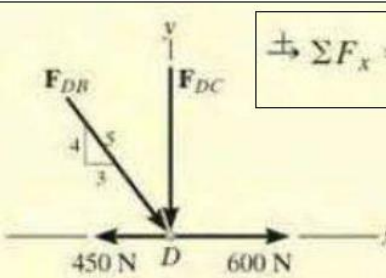
$$\begin{aligned} + \uparrow \sum F_y = 0; \quad 600 \text{ N} - \frac{4}{5} F_{AB} &= 0 & F_{AB} &= 750 \text{ N} \\ \pm \sum F_x = 0; \quad F_{AD} - \frac{3}{5}(750 \text{ N}) &= 0 & F_{AD} &= 450 \text{ N} \end{aligned}$$

basınç

çekme



D düğüm noktası



$$\pm \sum F_x = 0; \quad -450 \text{ N} + \frac{3}{5} F_{DB} + 600 \text{ N} = 0 \quad F_{DB} = -250 \text{ N}$$

$$F_{DB} = 250 \text{ N}$$

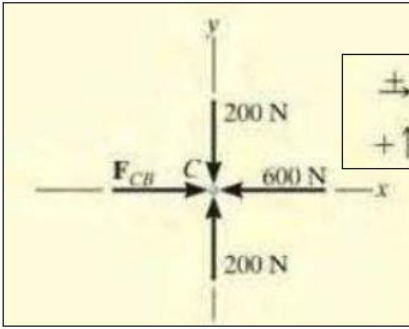
çekme

$$+ \uparrow \sum F_y = 0; \quad -F_{DC} - \frac{4}{5}(-250 \text{ N}) = 0 \quad F_{DC} = 200 \text{ N}$$

basınç

C düğüm noktası

basınç

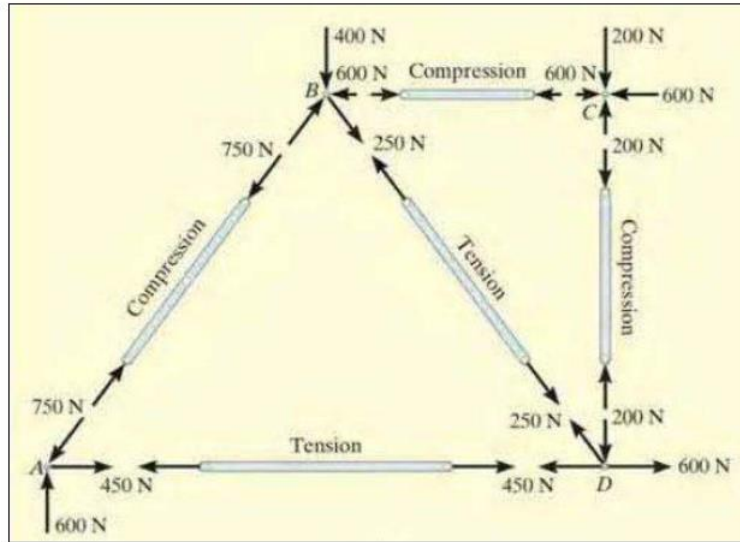
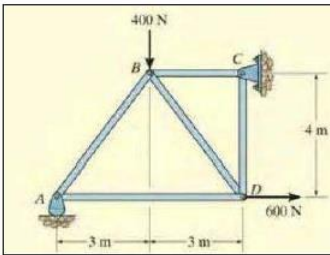


$$\pm \sum F_x = 0;$$

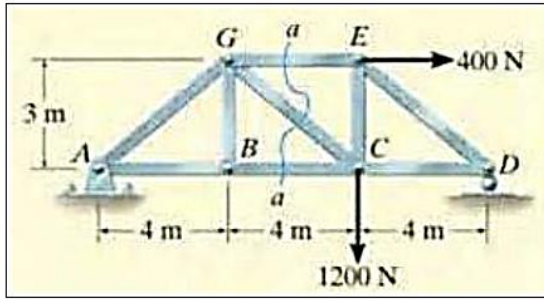
$$+ \uparrow \sum F_y = 0;$$

$$F_{CB} - 600 \text{ N} = 0 \quad F_{CB} = 600 \text{ N}$$

$$200 \text{ N} - 200 \text{ N} = 0$$

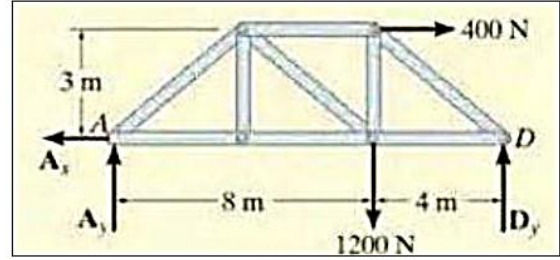


Örnek 2 *Ritter (Kesim) Yöntemi*



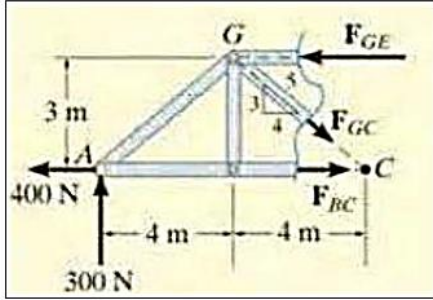
Şekildeki kafes sistemin, GE, GC ve BC çubuklarındaki kuvvetleri belirleyiniz. Çubukların çekme mi, yoksa basınç etkisinde mi olduklarını belirtiniz. (kesim yöntemi ile)

Kesim yöntemini kullanmak için önce, A veya D mesnedindeki tepkilerin belirlenmesi gerekir. Bunun için tüm sistemin serbest cisim diyagramını çizelim:



$$\begin{aligned} \rightarrow \sum F_x &= 0; & 400 \text{ N} - A_x &= 0 & A_x &= 400 \text{ N} \\ \zeta + \sum M_A &= 0; & -1200 \text{ N}(8 \text{ m}) - 400 \text{ N}(3 \text{ m}) + D_y(12 \text{ m}) &= 0 & D_y &= 900 \text{ N} \\ + \uparrow \sum F_y &= 0; & A_y - 1200 \text{ N} + 900 \text{ N} &= 0 & A_y &= 300 \text{ N} \end{aligned}$$

Daha az sayıda bilinmeyen içerdiği için sol kesitin serbest cisim diyagramı kullanılacaktır:



G noktasına göre moment alırsak, F_{GE} ve F_{GC} hesaba girmez, ve F_{BC} için doğrudan çözüm elde edilir.

C noktasına göre moment alırsak, F_{BC} ve F_{GC} hesaba girmez, ve F_{GE} için doğrudan çözüm elde edilir.

$$\begin{aligned} \zeta + \sum M_G &= 0; & -300 \text{ N}(4 \text{ m}) - 400 \text{ N}(3 \text{ m}) + F_{BC}(3 \text{ m}) &= 0 \\ F_{BC} &= 800 \text{ N} \quad (\text{çekme}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \zeta + \sum M_C &= 0; & -300 \text{ N}(8 \text{ m}) + F_{GE}(3 \text{ m}) &= 0 \\ F_{GE} &= 800 \text{ N} \quad (\text{basınç}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} + \uparrow \sum F_y &= 0; & 300 \text{ N} - \frac{3}{5} F_{GC} &= 0 \\ F_{GC} &= 500 \text{ N} \quad (\text{çekme}) \end{aligned}$$

BÖLÜM 2

ÇATI KONSTRÜKSİYONLARI

2. ÇATI KONTRÜKSİYONLARI

Çatı konstrüksiyonları üç ana başlık altında incelenecektir.

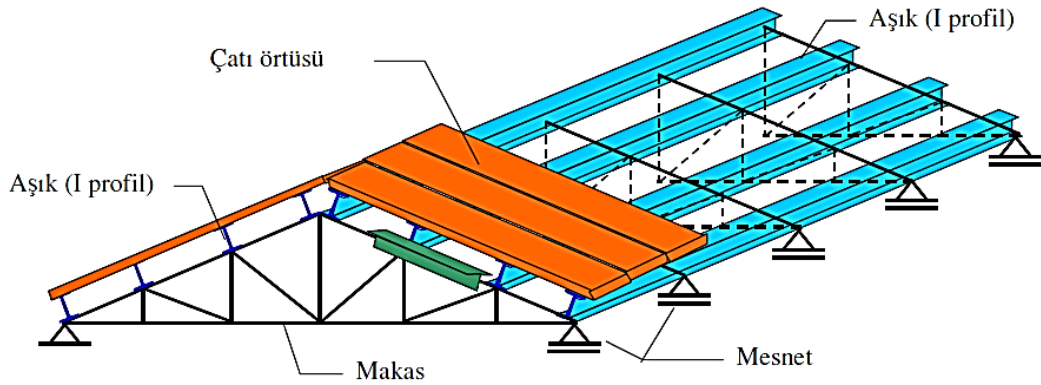
1. Çelik Çatı Taşıyıcı Sistem Elemanları
2. Çatı Yükleri
3. Stabilite Bağlantıları

2.1. ÇELİK ÇATI TAŞIYICI SİSTEM ELEMANLARI

Çatı taşıyıcı sistem elemanları yük aktarım sırasına göre

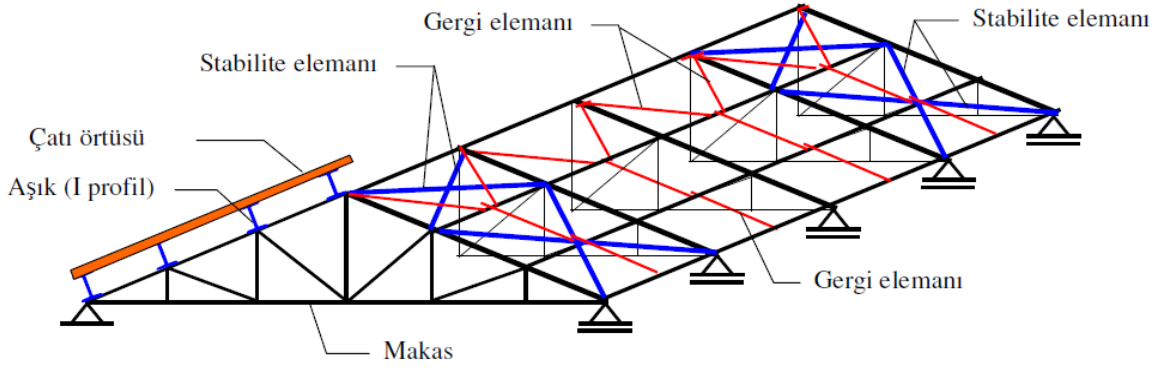
- 1- Çatı örtüsü
- 2- Aşıklar
- 3- Çatı Makası (kafes kiriş)

şeklinde sıralanmaktadır. Bu elemanların hepsi üzerlerine gelen yükleri güvenle taşıyabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır.

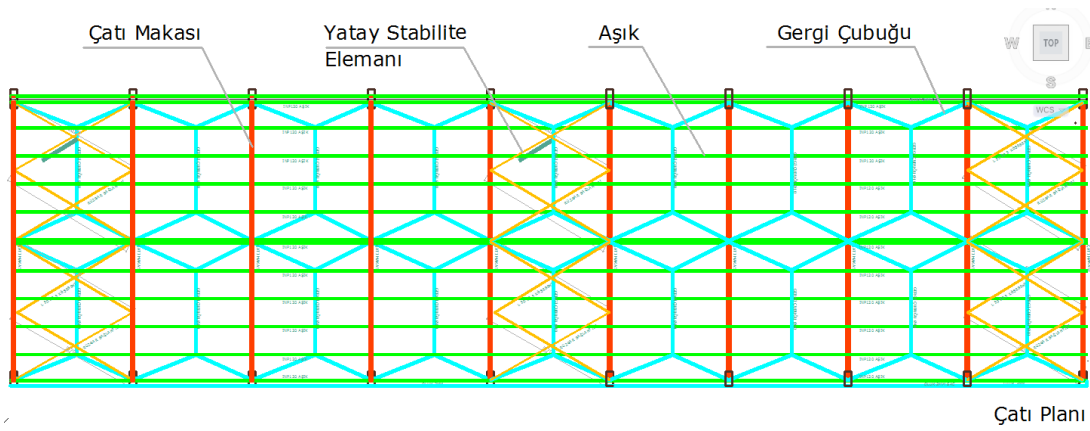


Çelik Çatı taşıyıcı Sistemini oluşturan Başlıca Elemanlar

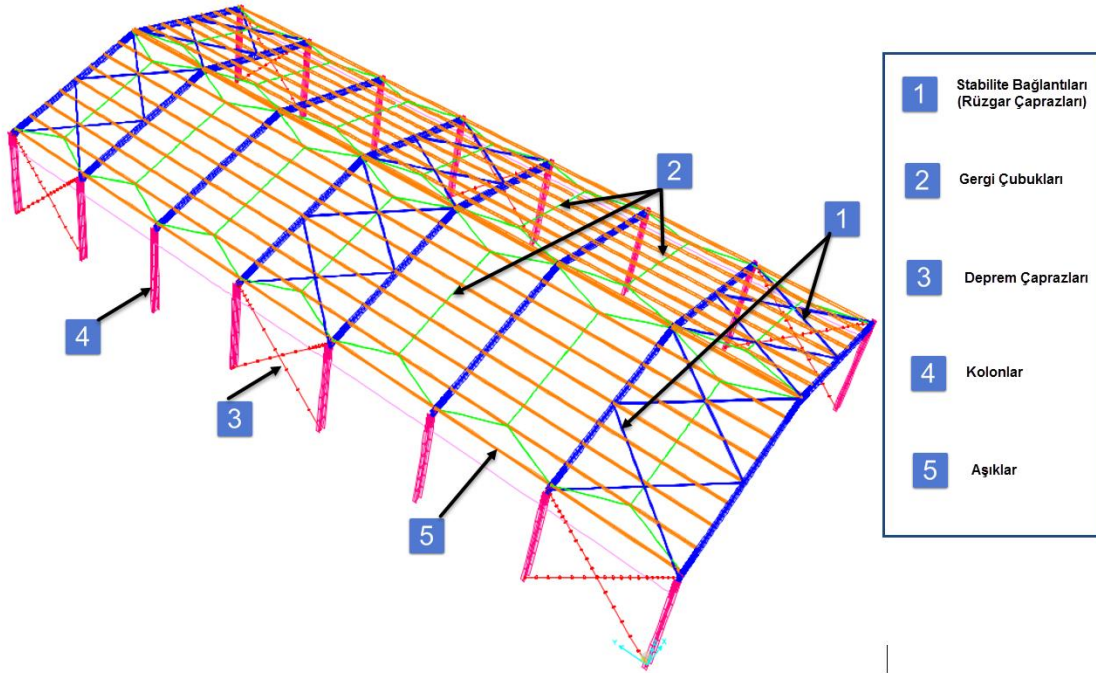
Bununla birlikte esas taşıyıcı niteliği olmasa da sistemin yatay ve düşey stabilitesi için gereken ve bu bakımdan belirli oranda kesite sahip olması gereken yardımcı elemanlar da bulunmaktadır. Stabilite bağlantıları olarak adlandırılan bu elemanlar yapının yatay yönde etkiyen yüklere karşı stabilitesini korumak amacıyla kullanılmaktadır.



Çelik Çatı taşıyıcı Sistemdeki Stabilite elemanları ve Gergi Çubukları / Perspektif Görünümü



Çelik Çatı taşıyıcı Sistemdeki Stabilite elemanları ve Gergi Çubukları/ Plan Görünümü



Çelik Sanayi Yapısı Sistem Elemanları / Perspektif Görünümü



Çelik Sanayi Yapısı Sistem Elemanları

2.2. ÇELİK ÇATI KONSTRÜKSİYONLARI HESAPLAMA AŞAMALARI

Çelik çatı taşıyıcı sistemindeki taşıyıcı elemanlarda yük taşıma sırası

- Çatı kaplaması
- Aşıklar
- Çatı makası (çatı kirişi)
- Kolonlar
- Temel

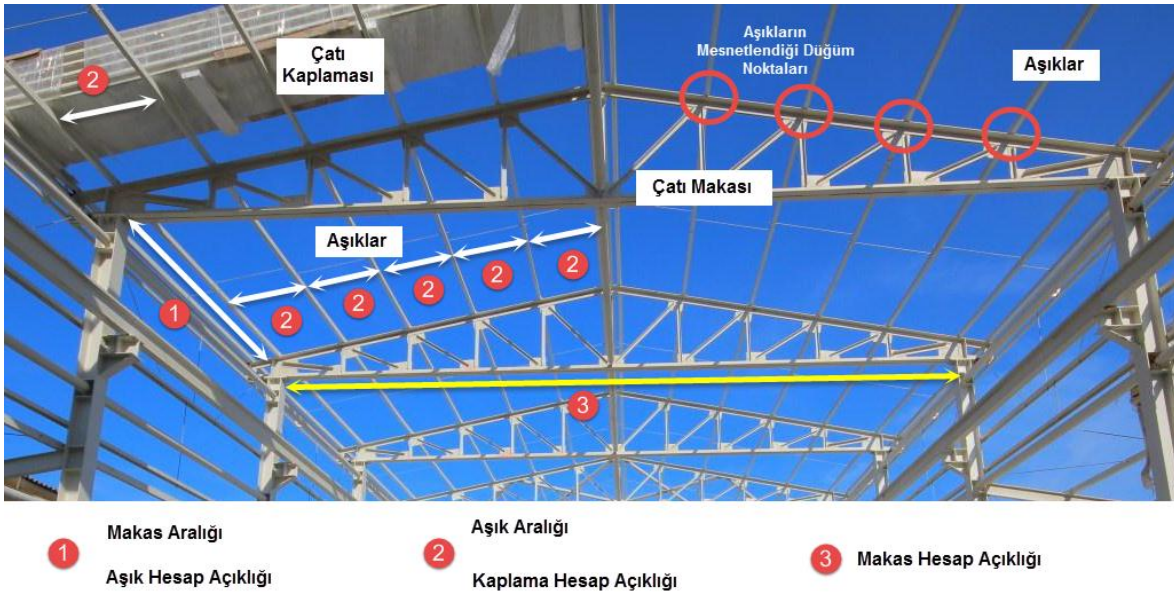
şeklinde sıralanmaktadır. Bu yükleme sırasında yardımcı bağlantı elemanı ve stabilite elemanları olarak gergi çubukları ile rüzgar ve deprem çaprazları kullanılmaktadır.

Boyutlandırma yapılırken yapıya etkiyen yükler ve yük kombinasyonları dikkate alınarak en elverişsiz durum için yukarıda verilen sıralama ile boyutlandırma yapılmaktadır.

Taşıyıcı elemanlarda ilk olarak çatı kaplamasının seçilmesi gerekmektedir. Ancak çatı kaplaması elemanlarının seçilmesinde aşık aralıkları etkilidir. Bunun devamında aşıkların

taşıma kapasitelerinin belirlenmesinde de çatı makası (kafes kiriş) elemanlarının aralıkları etkilidir. Bu sebeple konstrüktif açıdan öncelikle mimari detaylara bağlı kalınarak makas aralıklarının belirlenmesi, bu aralıklara bağlı makasa tipinin seçilmesi gerekmektedir.

Makas aralığının seçimiyle eğilmeye çalışacak aşıkların eğilme açıklıkları ve makas tipinin seçimi sonrasında ise aşıkların birbirleriyle olan aralıkları (aşıklar düğüm noktalarına oturacaktır) belirlenmiş olacaktır. Aşık aralıkları belirlendiğine göre çatı kaplaması seçimi etkileyen yük ve aşık aralığına göre belirlenmiş olur. Dolayısıyla başlangıç öngörülerine göre belirsizlikler giderilmiş olduğu için boyutlandırma yapılabilir.



Çelik çatı sistemlerinde eleman aralık ve açıklıkları

Yukarıdaki şekilde daha net anlaşılacağı üzere öncelikle makas aralıklarının belirlenmesi ile projelendirmeye başlanmalıdır.

2.2.1. Makas Aralıklarının Belirlenmesi

Kafes kiriş olarak teşkil edilen çatı sistemlerinin ekonomik olması için kafes kiriş (makas) aralıklarının 3~8 m aralığında seçilmesi uygun olacağı çoğu literatürde belirtilmektedir. Makas aralıklarının seçiminde da dikkate alındığında en uygun açıklık 6 m olmaktadır. Bununla birlikte yine standart profil üretim uzunlukları dikkate alınarak 12 m olarak teşkil edilmesi de mümkündür.

Makas Aralıklarının Belirlenmesinde Etkili olan Hususlar

1. Çatı Örtüsü Cinsi
2. Aşık Geometrisi ve Statik Sistem Seçimi

1- Çatı örtüsüne cinsine bağlı çatı makası aralıkları seçiminde is aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Çatı makasları üzerine, ağır çatı örtüleri (Kil veya Çimento esaslı kiremitler) kullanılması durumunda, çatı makası aralıkları 3 m civarında yapılabilir.

[Yaklaşık olarak kil esaslı kiremit 48 kg/m², çimento esaslı kiremit ise 42 kg/m² çatıya yük getirir. Tam değerler kullanılacak malzemenin üreticisi tarafından verilmektedir.]

- Çatı makasları üzerine, hafif çatı örtüleri (alüminyum sandviç panel, trapez levha, vb.) kullanılması durumunda, çatı makası aralıkları 8 m'ye kadar yapılabilir.

[Yaklaşık olarak metal esaslı trapez levhaların yük değerleri 5~10 kg/m², sandviç panellerin ortalama ağırlığı ise 15~25 kg/m² olarak değişmektedir. Tam değerler kullanılacak malzemenin üreticisi tarafından verilmektedir.]

2- Makas aralıklarını belirlemede aşık geometrisi önemlidir.

- A. Dolu Gövdeli Aşıklar
- B. Soğuk Hadde Aşıklar
- C. Düzlemsel Kafes Sistem Aşıklar
- D. Uzay Kafes Aşıklar

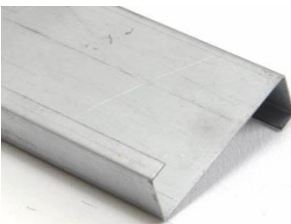
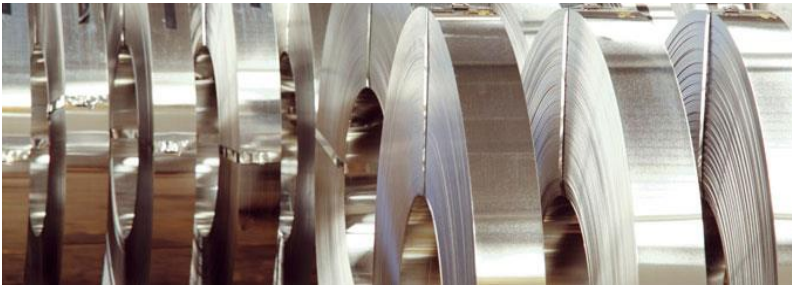
2.2.1.A. Dolu Gövdeli Aşıklar

Sıcak hadde olan bu profiller 6 veya 12 m boyunda imal edilirler. Makas aralıkları 5 ~ 6 m olarak teşkil edildiği takdirde, dolu gövdeli aşıklar kullanılabilir.



2.2.1.B. Soğuk Hadde Aşıklar

Sipariş üzerine istenilen boy ve ebatlarda üretilebilir. Yapının yatay stabilitesine bağlı olarak, makas aralıkları 6 ~ 8 m olarak teşkil edilebilir. Dolu gövdeli aşıklara nazaran ekonomiktir.



2.2.1.C. Düzlemsel Kafes Kirişler

Çatı eğimin olmadığı, üzerinin teras veya çatı olarak kullanıldığı yapılarda tercih edilir, proje gereksinimlerine göre makas aralıkları, düzlemsel kafes kiriş kullanılması durumunda **8 ~ 10 m** ye kadar çıkarılabilir.



2.2.1.D. Uzay Kafes Aşıklar

Makas aralıklarını en üst düzeyde tutmak için kullanılan aşık türüdür. Bu üç boyutlu kafes sistem sayesinde makas aralıkları **8 ~ 12 m** arasında teşkil edilebilir.

Gergi çubuğuna bu aşık sisteminde ihtiyaç yoktur. Mahyada diğer aşık türlerinin tersine tek aşık kullanılır.

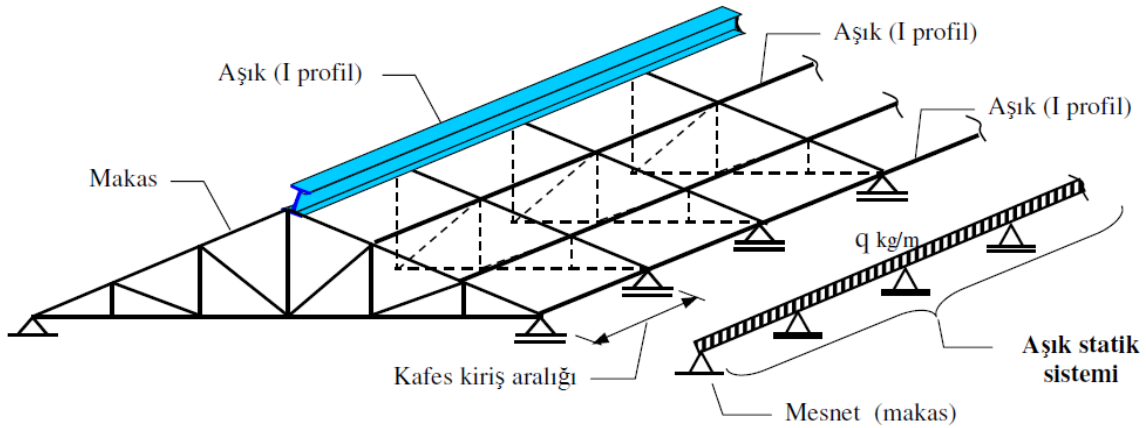


AŞIK STATİK SİSTEM SEÇİMİ

2.2.2. Aşık Aralık ve Açıklıklarının Belirlenmesi, Boyutlandırılması

Yukarıda A, B, C ve D maddelerinde aşık tiplerinden kısaca bahsedilmiştir. Nasıl ki makas aralıklarının seçiminde aşık tipi önemli ise, makas aralıklarının sabit olduğu durumlarda aşık tipi seçimini etkilemektedir. Hangi tip aşık kullanılıyorsa kullanılsın aşıkların hesaplamasında makas aralığının yanı sıra aşıkların mesnetlenme şartlarında önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Aşıklar eğilmeye çalışan elemanlardır. Bu sebeple açıklıklarının miktarı kesitte oluşacak eğilme momenti değerini doğru orantılı olarak artırmaktadır. Bunun yanı sıra aşığı mesnetlenme durumu kesit boyunca mesnet ve açıklık momenti değerlerinde değişmeye sebebiyet verecektir. Bu sebeple aşağıda verilen üç farklı tipteki mesnetlenme durumuna göre boyutlandırma yapılması gerekmektedir.

2.2.2.1. Aşıkların Mesnetlenme Durumları

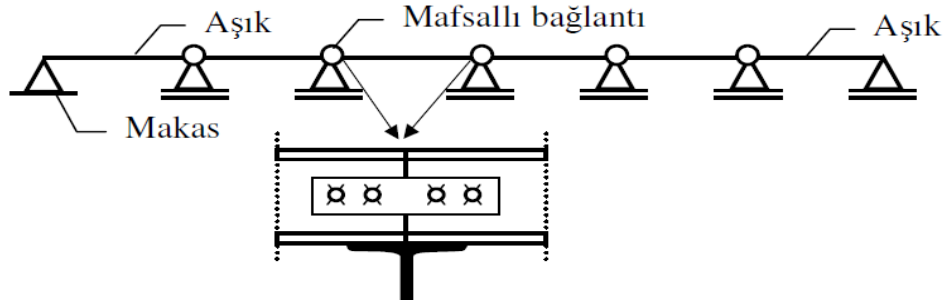


Aşıkların statik sistemleri üç farklı şekilde oluşturulabilmektedir.

- Basit kiriş
- Sürekli kiriş
- Gerber kirişi

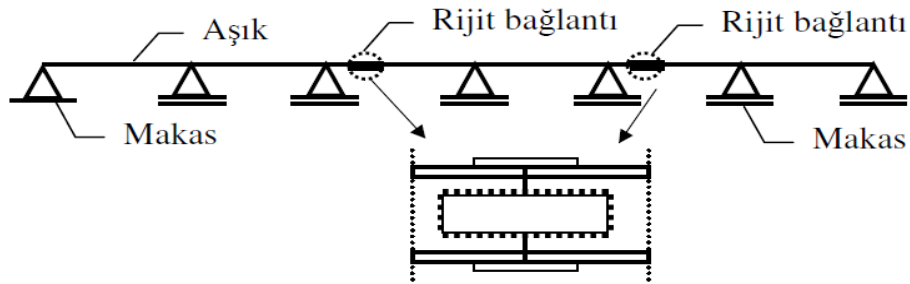
Basit Kiriş

Her açıklıkta mafsallı olarak birleşim yapılır. Tek açıklıklı basit kiriş hesabına göre açıklık momentini $q \cdot l^2/8$ 'dir. Bu değere göre aşıklar seçilerek boyutlandırması yapılmaktadır. Boyutlandırmaya esas aşıklar tipine göre makas aralıklarında artırmaya veya azaltmaya gidilebilir).



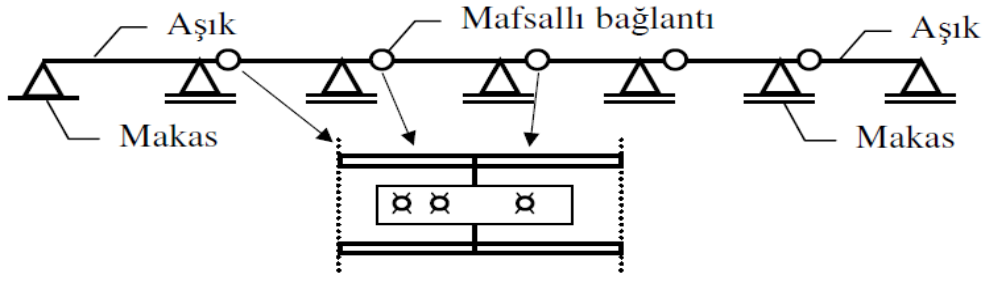
Sürekli kiriş

Aşık, orta açıklık momentine ($q \cdot l^2/16$) göre tasarlanır, sadece kenar açıklıklarda ilgili moment ($q \cdot l^2/11$) karşılayacak şekilde aşığa takviye yapılır. Kenar açıklıklar, moment değerleri orta açıklık momentine eşit olacak şekilde daraltılır ve kafes kiriş aralıkları buna göre belirlenir.



Gerber kirişi

Gerber kirişlerde mafsallar sabit düşey yüklerden oluşan moment değerlerinin sıfır olduğu kesitlere yerleştirilmektedir. Aşık, orta açıklık momentine ($q \cdot l^2/16$) göre tasarlanır, sadece kenar açıklıklarda ilgili moment ($q \cdot l^2/10.45$) karşılayacak şekilde aşığa takviye yapılır. Belirlenen kafes kiriş sistemi ve kafes kiriş aralıkları bir kesit ve plan üzerinde gösterilir.



2.2.2.2. Aşık Aralıklarının Çatı Örtüsüne Bağlı Olarak Belirlenmesi

- Çatı sistemi toplam maliyeti içinde önemli bir yer tutan aşık elemanlarının sayısını en aza indirmek amacıyla, çatı örtüsünün taşıma kapasitesinden maksimum oranda yararlanılır.
- Çatı örtüsü ana taşıyıcı eleman olmamakla birlikte, kar, rüzgar, buz, insan gibi yüklere direkt olarak maruz kalması ve bu yükleri yeterli güvenlikle aşık elemanlarına aktarması nedeniyle ikincil taşıyıcı eleman olarak adlandırılabilir.
- Çatı örtü tiplerinin çeşitliliği nedeniyle, örtülerin uygulama şekilleri ve yük taşıma kapasitelerine bağlı olarak geçebilecekleri maksimum açıklık değerleri, ilgili firmalar tarafından verilen teknik kataloğlardan yararlanılarak belirlenir.

Buna göre;

- Öncelikle çatı örtüsünün maruz kalacağı maksimum yük belirlenir.
- Daha sonra bu yüke bağlı olarak örtülerin geçebilecekleri en büyük aşık aralığı araştırılır.
- Aşık aralığı hesabı yapılırken, panel boyu ve uygulama şekli (bindirme mesafesi vb.) göz önünde bulundurulacak ve minimum zayıt olacak şekilde bir çözüm üretilecektir.

Aşık aralıklarının makas tipine göre seçiminde aşıklar düğüm noktalarına yerleştirileceği için belirli aşık aralığına uygun çatı örtüsü tipi ve kalınlığı seçilmelidir.

2.3. ÇATI YÜKLERİ VE KAFES KİRİŞLERDE ÇUBUK KUVVETLERİNİN HESABI

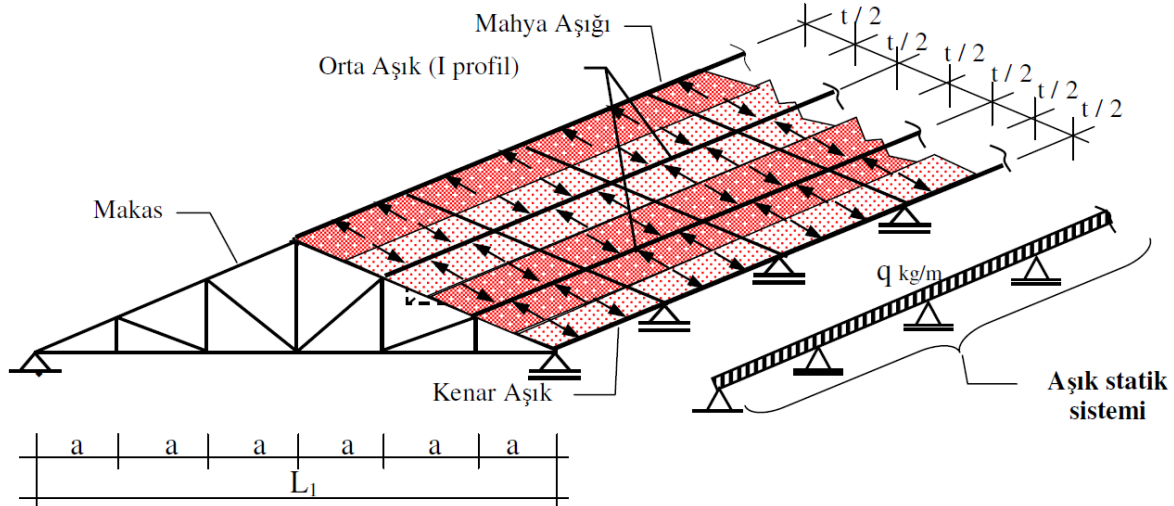
Kafes Sistemlerinin çubuklarının boyutlandırılabilmesi için aşağıdaki işlem sırası takip edilir.

1. Aşıklarda Yük Analizi ve Aşıkların Boyutlandırılması
 - *Zati Yük, Kar Yüğü, Rüzgar Yüğü Analizi*
2. Kafes Sistem Yük Analizi
 - *Zati Yük Analizi*
 - *Kar Yüğü Analizi*
 - *Rüzgar Yüğü Analizi*
3. Kafes Sistem Statik Hesabı
4. Boyutlandırmada Esas Alınacak Maksimum Ve Minimum Çubuk Kuvvetlerinin Belirlenmesi (*Süperpozisyon tablosunun hazırlanması*)
5. Kafes Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması
 - *Çekme çubuklarının boyutlandırılması*
 - *Basınç çubuklarının boyutlandırılması*

2.3.1. Aşıklarda Yük Analizi

Aşıklar makas üzerine basit mesnetli olarak teşkil edildikleri için, çatı örtüsü vasıtasıyla her iki taraftan gelen alan yükünün yarısına maruz kalacakları kabul edilebilir.

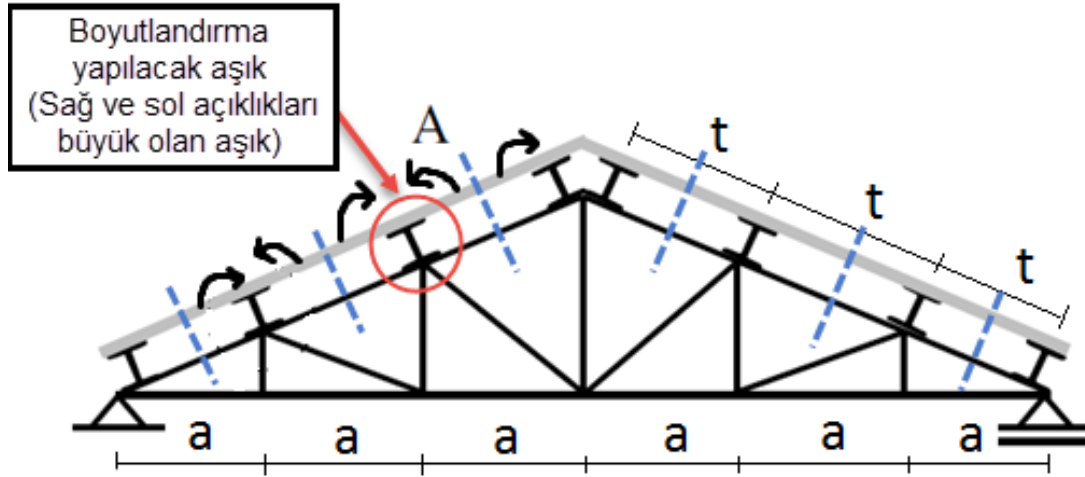
Orta bölgelerde bulunan aşıklara aşık boyunca (t) genişliğinde (t =çatı eğimli yüzeyindeki mesafe) bir alan yükü, kenar aşıklara (mahya ve damlalık aşığı) ise aşık boyunca ($t/2$) genişliğinde bir alan yükü etkir. Boyutlandırma yapılırken en büyük açıklık olan orta bölgelerdeki aşıklara göre boyutlandırma yapılır ve hesaplanan kesit tüm sistemde uygulanır. Tek tip aşık seçilmesinin (profillerin aynı yükseklikte olmasının) bir başka sebebi çatı örtüsünün montajının yapılabilmesi için bir düzlem oluşturulması gerekliliğindendir.



I profilden imal edilecek olan aşıklar çubuk eleman oldukları için, çatı örtüsü vasıtası ile üzerine etkiyen alan yükleri, statik hesaplar için çizgisel yüklere dönüştürülür. Bu aşamada yüklerin özellikleri gözönünde bulundurulur.

Aşıkların tasarımı için ÇYY 2016 da verilen yükleme durumları esas alınmalıdır. Dikkate alınması gereken yükler;

- Ölü yükler (aşı zati ağırlığı ve kaplama ağırlığı), kar yükü ve rüzgar yüküdür.



Aşıklara gelen yükler hesaplanırken mevcut alan yükleri (kg/m^2) aşığın sağ ve sol açıklığının yarısı ile çarpılarak düzlem yayılı yüke ($\text{kg/m}^2 \times \text{m} = \text{kg/m}$) çevrilir. (Aşıklar arası mesafelerin eşit olmadığı durumlarda çatı düzlemindeki sağ ve sol mesafelere dikkat edilmelidir.)

Aşığa Etkiyecek Yükler

Aşık boyutlandırılmasında kullanılacak yükler ve düzgün düzlemsel yayılı yüke çevrilmesiyle ilgili hesap aşağıda verilmektedir. Devamında bu yüklerin nasıl hesaplanacağı verilmiştir.

Çatı örtüsü ağırlığı	: $P_{\text{örtü}} \left[\text{kg} / \text{m}^2 \right],$	$g(\text{örtü}) \times \left(\frac{t_{\text{sol}}}{2} + \frac{t_{\text{sağ}}}{2} \right) = \dots \text{kg} / \text{m}$
Aşık Ağırlığı	: $P_{\text{aşık}} \left[10 \text{ kg} / \text{m}^2 \right],$	$g(\text{aşık}) \times a = \dots \text{kg} / \text{m}$
Kar yükü	: $P_k \left[\text{kg} / \text{m}^2 \right],$	$P_k \times a = \dots \text{kg} / \text{m}$
Rüzgar yükü	: $P_r \left[\text{kg} / \text{m}^2 \right],$	$P_r \times a + \dots \text{kg} / \text{m}$
ToplamYük		$q = \dots \text{kg} / \text{m}$

Toplam aşığa gelen yük

$$P = P_{\text{aşık}} + P_{\text{örtü}} + P_{\text{kar}} + P_{\text{rüz}} (\text{emme olması durumunda}) = \dots \text{ kg/m}$$

Etkiyen bu yüklerin YDKT ile hesap yapılması durumunda yük katsayıları ile çarpılması gerekmektedir. !! GKT ile hesaplama yapılmasında gerek yoktur.

- Rüzgar yükünün emme çıkması durumunda aşık boyutlandırılmasına hesap edilmesine gerek yoktur, ancak çatı makasına etkiyen yükler için yükleme kombinasyonlarına etki ettirilmelidir.
- Aşık boyutlandırılmasında aşık zati ağırlığı belirsiz olmadığı için yaklaşık olarak 10 kg/m² olarak alınır ve boyutlandırma yapılır.

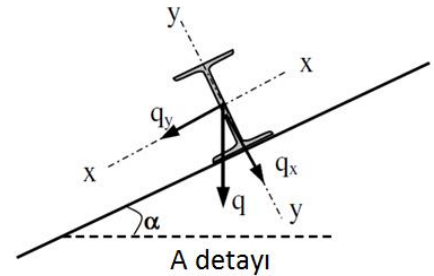
Aşık elemanları çatı düzleminde bulundukları için yerçekimi yükleri altında eğik eğilmeye

maruz kalırlar. Bu nedenle aşıklara etkiyen çizgisel yük değerleri belirlendikten sonra bu yüklerin, profil asal eksenlerine (x, y) karşılık gelen bileşenlerinin elde edilmesi gerekmektedir.

$$q = \dots \text{kg} / \text{m}$$

$$q_x = q \times \cos \alpha = \dots \text{kg} / \text{m}$$

$$q_y = q \times \sin \alpha = \dots \text{kg} / \text{m}$$



- Aşık zati yükü

Hesaplarda kullanılmak üzere ortalama 10 kg/m² alınabilir. Ancak mesleki deneyime bağlı olarak bölgesel yüklere göz önünde bulundurularak yaklaşık profilin tahmin edilebileceği durumlarda profil tablosundan alınabilir.

• **Çatı örtüsü yükünün hesaplanması**

Çatı örtüsü kullanılacak sanayi binasının gereksinimlerine ve iklim koşullarına göre belirlenir. Aynı zamanda yapının mimari projesinde verilmesine göre uygulama yapılacak kaplama malzemesinin ağırlığının belirlenmesi son derece önemlidir. Çatı kaplama malzemelerinin metrekaredeki birim ağırlıkları üretici firmalar tarafından verilen katalog değerlerinden alınmalıdır.

ÇATI 1

ALT VE ÜST ALÜMİNYUM ÇATI PANELİ MAKSİMUM YÜK TAŞIMA KAPASİTESİ												
ALÜ+ ALÜ		EPS KALINLIK	EPS YOĞUNLUK	PANEL AĞIRLIĞI	GEÇİLEBİLEN AÇIKLIK L (m)							
mm		mm	kg/m ³	kg/m ²	 kg/m ²				 kg/m ²			
ÜST	ALT				2.00	2.50	3.00	3.50	2.00	2.50	3.00	3.50
0.50	0.40	45	18	4.00	135	87	60	44	108	69	48	35
0.50	0.40	50	18	4.09	150	97	67	49	120	77	53	39
0.50	0.40	60	18	4.27	180	116	80	59	144	92	64	47
0.50	0.40	70	18	4.45	216	139	96	71	173	110	77	56
0.50	0.40	80	18	4.63	247	159	110	81	198	126	88	64

ÇATI 2

ALT VE ÜST ALÜMİNYUM ÇATI PANELİ MAKSİMUM YÜK TAŞIMA KAPASİTESİ												
ALÜ+ ALÜ		EPS KALINLIK	EPS YOĞUNLUK	PANEL AĞIRLIĞI	GEÇİLEBİLEN AÇIKLIK L (m)							
mm		mm	kg/m ³	kg/m ²	 kg/m ²				 kg/m ²			
ÜST	ALT				2.00	2.50	3.00	3.50	2.00	2.50	3.00	3.50
0.70	0.50	45	18	4.93	166	107	74	54	133	85	59	43
0.70	0.50	50	18	5.02	184	119	93	60	148	95	66	48
0.70	0.50	60	18	5.20	221	143	112	72	178	114	79	58
0.70	0.50	70	18	5.38	258	167	131	84	208	133	92	68
0.70	0.50	80	18	5.56	295	191	150	96	238	152	105	78

ÇATI 3

ÜST GALVANİZLİ SAC ALT ALÜMİNYUM ÇATI PANELİ MAKSİMUM YÜK TAŞIMA KAPASİTESİ												
SAC+ALÜ		EPS KALINLIK	EPS YOĞUNLUK	PANEL AĞIRLIĞI	GEÇİLEBİLEN AÇIKLIK L (m)							
mm		mm	kg/m ³	kg/m ²	 kg/m ²				 kg/m ²			
ÜST	ALT				2.00	2.50	3.00	3.50	2.00	2.50	3.00	3.50
0.50	0.40	45	18	6.65	224	143	99	73	180	115	80	58
0.50	0.40	50	18	6.74	249	159	110	81	200	128	89	65
0.50	0.40	60	18	6.92	299	191	132	97	240	154	107	78
0.50	0.40	70	18	7.10	349	223	154	113	280	180	125	91
0.50	0.40	80	18	7.28	399	255	176	129	320	206	143	104

Örneğin: yukarıda verildiği gibi kataloglardan seçilerek P örtü = kg / m2 olarak bulunur.

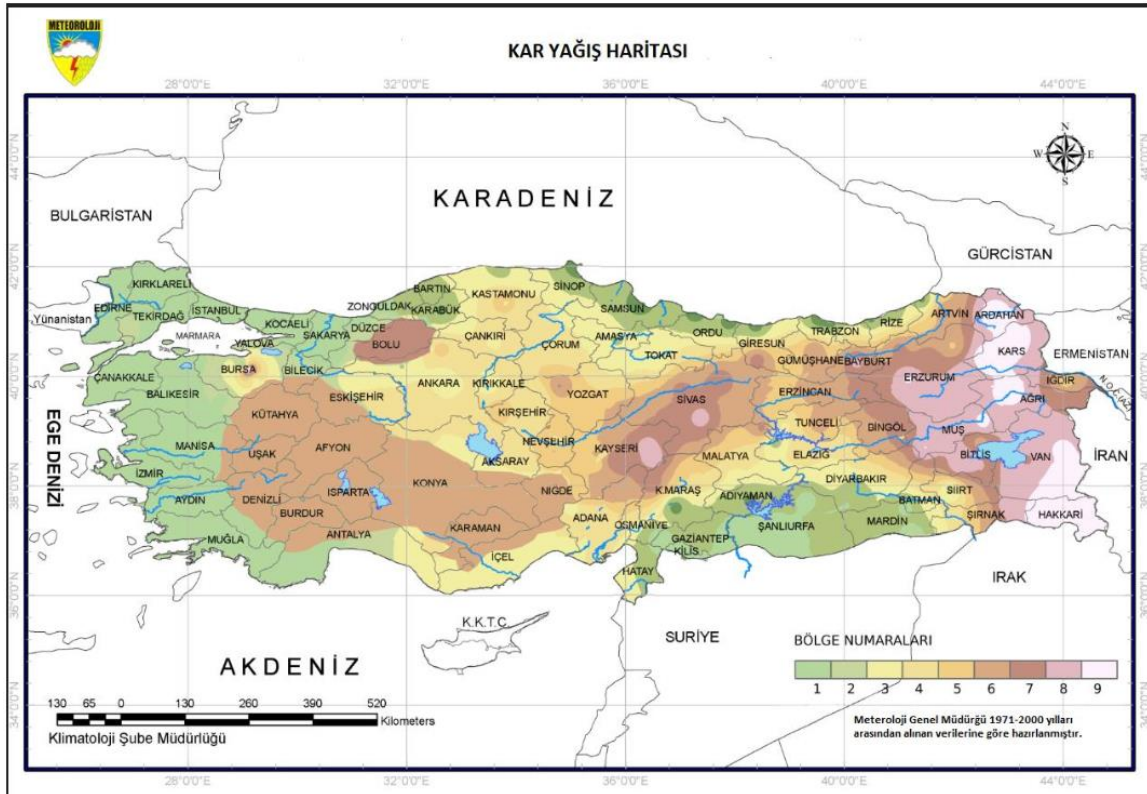
- **Kar Yüğü**

Kar yükü değerleri için halen yürürlükte olan standart TS 498'e bakılmalıdır. Bu standartta ülke geneli 9 farklı bölgeye ayrılmış ve harita üzerinde ve ekindeki bölgeler tablosunda yağış oranlarına bağlı bölge numaraları verilmiştir. Kar yükünün hesabında ayrıca inşaatın yapılacağı bölgenin rakımında önem arz etmektedir. Bununla birlikte TS EN 1991-1-3 Yapılara olan etkiler- Bölüm 1-3- Genel Etkiler-Kar Yükleri standardı da yürürlüktedir.

TS 498 ve TS EN 1991-1-3'de verilen Kar yükü haritalarına göre kar yükü seçimi yapılır.

Örneğin Kayseri ili Kocasinan İlçesi için hesap yapacak olursak, 5. Bölge (rakım 1050 m), TS 498'deki Kar yükü Tablosundan öncelikle yapının inşaa edileceği bölgenin kar yükü sınıfı tablosundan alınması gereken kar yükü tespit edilir. Devamında ise çatı eğimine bağlı yapılacak azaltma çizelgesine bakılır. En sonunda bölgenin rakımına bakılarak yüklere ilaveler yapılması suretiyle sonuç kar yükü belirlenmektedir.

Kayseri için sonuç değer $P_{kar} = 130 \times 1.1 = 143 \text{ kg / m}^2$ olarak hesap edilmektedir.



s Çatı kar yükü (kN/m²)

S_k Dikkate alınan mahaldeki karakteristik zemin kar yükü (kN/m²)

Çizelge 3 — Karakteristik kar yükü S_k değerleri kN/m² (*)

Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER								
m	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0-200	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,80	0,85
300	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,85	0,90
400	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,80	0,90	0,95
500	0,75	0,75	0,75	0,80	0,80	0,80	0,85	0,95	1,00
600	0,75	0,75	0,80	0,85	0,85	0,85	0,90	1,00	1,10
700	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90	0,90	0,95	1,10	1,20
800	0,80	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	1,10	1,20	1,30
900	0,80	0,95	1,05	1,10	1,10	1,10	1,25	1,30	1,40
1000	0,80	1,05	1,10	1,20	1,30	1,35	1,40	1,50	1,60
>1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar %10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde %15 artırılır.								

* Kar yağmayan yerlerde kar yükü hesap değeri sıfır alınır.

• **Rüzgâr Yükü**

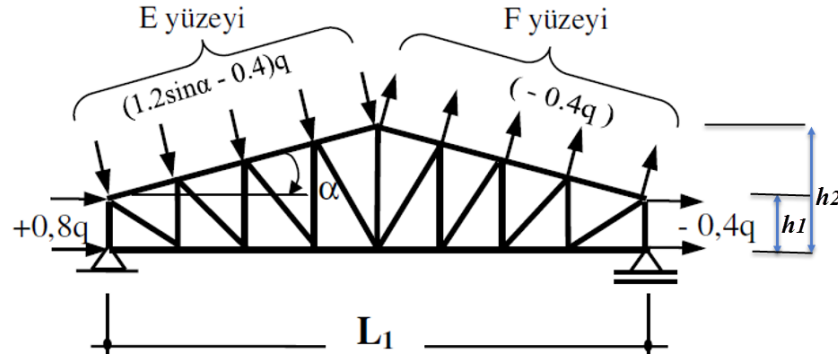
Etkiyen rüzgâr yükü değeri içinde TS 498 ve TS EN 1991-1-4Yapılar üzerindeki etkiler - Bölüm 1-4: Genel etkiler - Rüzgâr Etkileri standartları kullanılmaktadır. Yapı yüksekliği ve geometrisine göre rüzgâr hızına bağlı olarak birim alandaki emme ve ya basınç yükü değerleri bu standartta verilmektedir.

Yapı yüksekliği H=..... m için q değerleri TS(498) Çizelge 4'den alınır.

Çizelge 4 — Yüksekliğe bağlı rüzgâr hızı ve emme basıncı

Zeminden Yükseklik m	Rüzgâr Hızı v m/s	Emme basıncı q (kN/m ²)
0 - 8	28	0,5
9 - 20	36	0,8
21 - 100	42	1,1
> 100	46	1,3

Bu yük dağılımları trapez kafes sistem için uygulanırsa aşağıdaki gibi elde edilir.



Örneğin yapıya sol taraftan etkiyen rüzgar dikkate alındığında trapez kesit kenarlarındaki ve çatının eğimli yüzeylerindeki yük dağılımlarının sayısal değerleri hesaplanırsa;

Makas açıklığı $L1 = 16.20$ m olan, Kenar yükseklik $h1 = 2.025$ m olan Orta yükseklik $h2 = 1,0125$ m olan makas için

Çatı eğimi $\alpha = \arctg(L1/(2(h1 - h2))) = 7.125^\circ$

Eğimli yüzeylere etkiyen yük değerleri

Sol taraf $P_{r,E} = (1,2\sin \alpha - 0,4)q = -20,10 \text{ kg / m}^2$ Emme

Sağ taraf $P_{r,F} = -(0,4)q = -32,00 \text{ kg / m}^2$ Emme

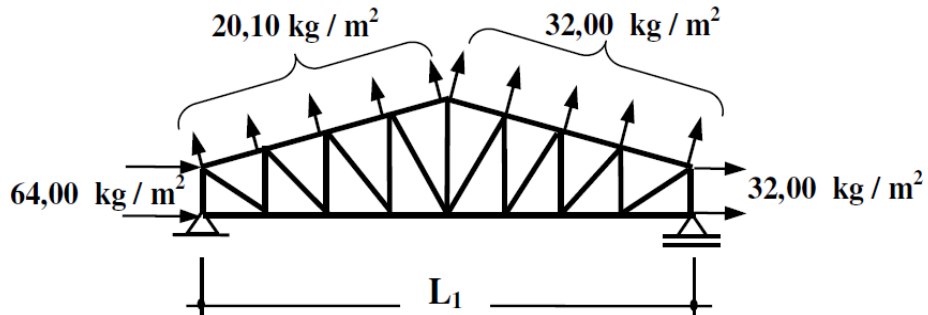
şeklinde hesaplanır.

- Bu durumda azaltıcı etkisi bulunduğundan hesaplamalara dahil edilmeyebilir.

Ancak **Rüzgar yükünün basınç çıkması halinde aşık yükü analizine katılması gerekir.**

-

- !!! Rüzgar kuvvetinin emme çıkması durumunda Bilgisayar programı ile yapılacak analizlerde rüzgar etkisinin görülmesi amacıyla hesaplanan değerler çatı amkasına etkitilecektir. !!!**



• **Kaplama Malzemesinin Taşıma Gücü Kontrolü**

Çatı düzlemine dışarıdan gelecek yükleri ilk taşıyacak olan yapısal eleman çatı kaplamasıdır.

Kaplama malzemesine etkiyen yük

$$P = P_{\text{örtü}} + P_{\text{kar}} + P_{\text{rüz}} (\text{emme durumunda ise}) = \dots \text{ kg/m}^2$$

- Etkiyen toplam yük öncelikler kaplama malzemesi tarafından taşınacak büyüklükte olmalıdır. Aşık aralığı seçiminde en önemli etken bu olmaktadır. Dolayısıyla seçilen malzeme için ürün bilgisi kataloglarından açıklıklara göre taşıma kapasitelerine bakılabilir.

Örneğin bir çatı kaplama ürünü kataloguna bakılarak 5 cm kalınlığında poliüretan dolgulu kaplamalar için ; (Yük değerleri : kg/m², üretici katalogundan alınır)

Yük Taşıma Tabloları

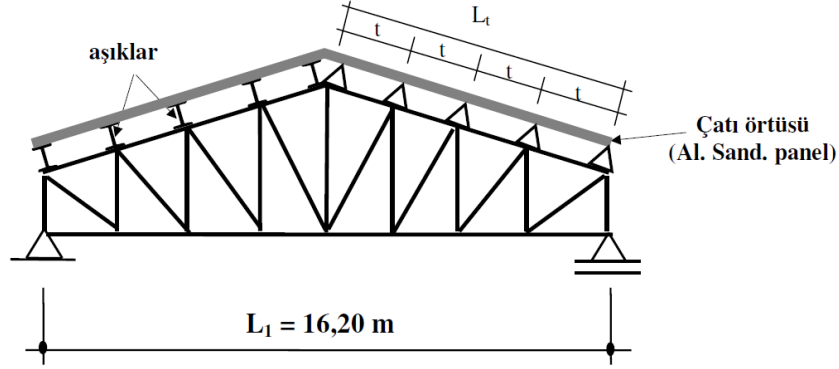
Alüminyum Üst Metal Kalınlığı (mm)	Alüminyum Alt Metal Kalınlığı (mm)	 PUR (mm)	Çok Açıklık								
			150 cm	175 cm	200 cm	225 cm	250 cm	275 cm	300 cm	325 cm	350 cm
0,5	0,4	30	202	134	115	91	74	59	51	40	33
0,5	0,4	40	280	209	162	126	101	83	66	55	46
0,5	0,4	50	371	245	212	166	135	109	89	73	61
0,5	0,4	60	459	298	259	203	168	131	108	90	74
0,5	0,4	70	563	370	321	253	205	166	137	111	93
0,5	0,4	80	619	407	353	278	226	183	151	122	102
0,7	0,5	30	276	205	158	123	98	78	64	53	44
0,7	0,5	40	410	306	236	183	147	117	96	79	67
0,7	0,5	50	537	400	308	239	191	153	125	104	88
0,7	0,5	60	671	502	381	298	237	197	154	129	109
0,7	0,5	70	814	607	468	364	291	233	190	158	133
0,7	0,5	80	895	668	515	400	320	256	209	174	146

Etkiye bu yüke göre aşık aralığı 2.75 m'ye kadar ayarlanabilir. Ancak değer çok yakın olduğu için 2,5 m değerinde düşünülmesi daha uygun olacaktır.

Aşık aralıklarının (yani düğüm noktaları arası uzaklığın) belirlenmiş olduğu durumlarda aşık aralığı ne ise o aralığa uygun malzeme seçilmesi gerekmektedir.

Aşık aralığının belirlenmesi gereken durumlar için

Buradaki hesaplamalar aşık aralıklarının belirli olmadığı durumlarda aşık aralığı seçimindeki yaklaşımı açıklamaktadır.



Aşık aralığının (t) hesap:

$$L(t) = L_1 / (2(\cos \alpha)) = 8.163 \text{ m},$$

$P = 103 \text{ kg/m}^2$ için teknik broşürden geçilebilecek maksimum aşık aralığı

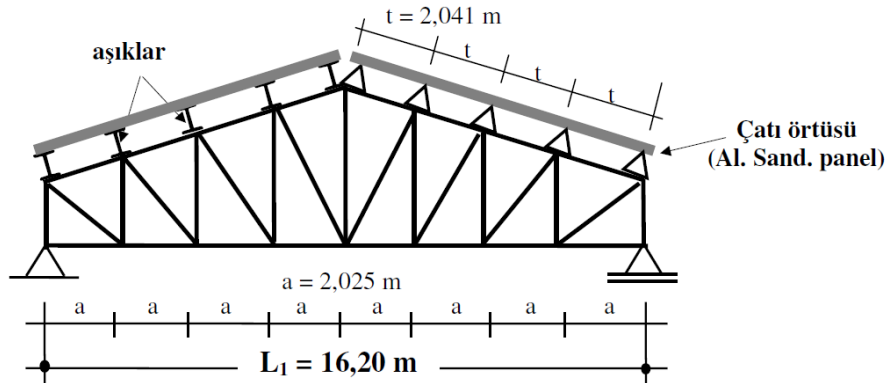
t (katalog) = 2.50 m olarak belirlenir.

Kesin t hesabı için, açıklık bu kez göz sayısına bölünür.

$$n = 8.163 / 2.50 = 3.265 \sim 4 \text{ adet}$$

Aşık aralığı

$$t = L(t) / n = 8.163 / 4 = 2.041 \text{ m olarak belirlenir.}$$



Sonuç olarak, sistemin yukarıdaki gibi 8 gözlü olarak teşkil edilmesine karar verilmiştir.

Burada aşıkların düğüm noktalarına oturtulması gerektiği kuralını vurgulamakta fayda vardır. Yani çatı makası şeklinin nasıl seçilmesi gerektiği konusunda aşık adedine dolayısıyla yerleşimine dikkat etmek gerekmektedir. Dolayısıyla **Ders kapsamındaki proje hesaplamalarında makas tipine bağlı düğüm noktaları arası maksimum mesafe dikkate alınmalıdır.**

Rüzgar yükünün özelliği gereği (TS 498) çatı düzlemine dik etki ettiği kabul edilir. Bu nedenle, rüzgar yükü profilin (y) asal eksenı doğrultusunda etki yapar, diğır doğrultuda herhangi bir etkisi olmaz.

Rüzgar Yükü

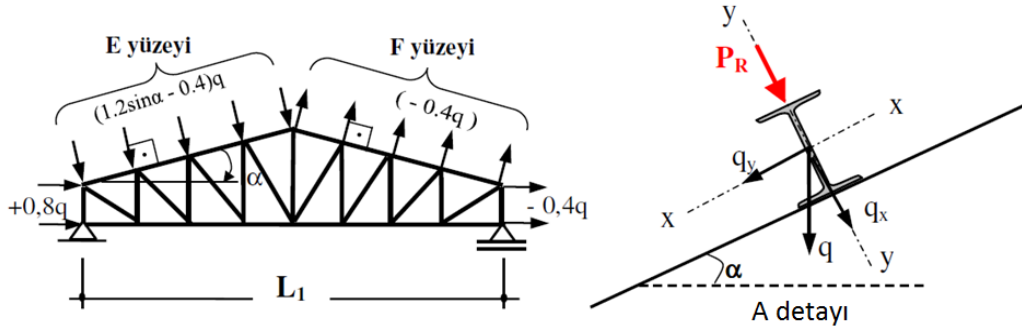
$$E \text{ yüzeyindeki rüzgar yükü} : P_{RE} [(1.2 \sin \alpha - 0.4)q] \text{ kg/m}^2, \quad P_{RE} \times t = \dots \text{kg/m}$$

$$F \text{ yüzeyindeki rüzgar yükü} : P_{RF} [-0.4q] \text{ kg/m}^2, \quad P_{RF} \times t = \dots \text{kg/m}$$

$$\text{Rüzgar yükü} : P_R = \text{en elverişsiz } (P_{RE} ; P_{RF})$$

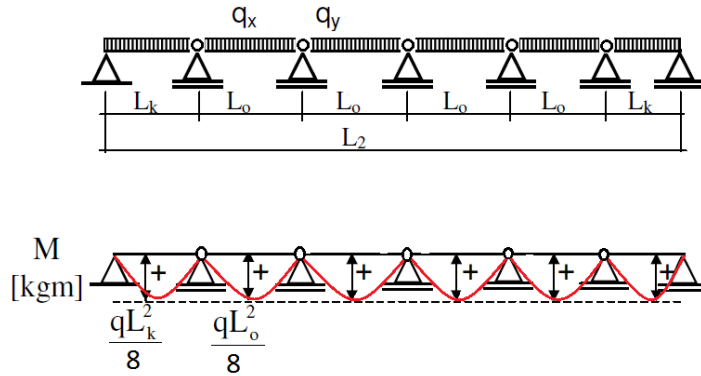
$$q_x = q_x \pm P_R = \dots \text{kg/m}$$

$$q_y = q_y = \dots \text{kg/m} \text{ (Bu yük bileşeni değişmez)}$$



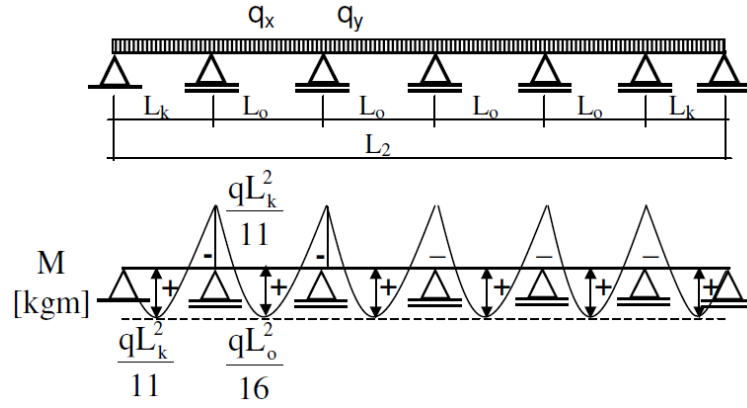
Basit Kiriş

Aşığın basit kiriş teşkil edilmesi durumunda oluşacak moment değerleri;



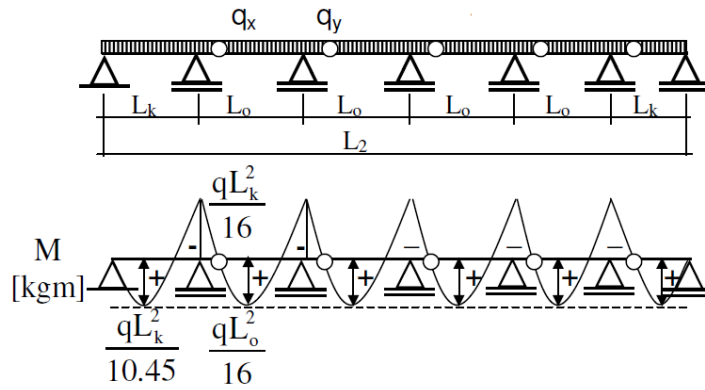
Sürekli Kiriş

Aşık kirişleri en fazla 2 veya 3 açıklıkta sürekli yapılabilir. Böylece, çok açıklı kirişlerde ortaya çıkan ek montaj ve kenar göz takviye sorunları ortadan kalkmış olur. Boyutlandırma kenar açıklık momentine göre yapılır. Bir boy profil ile 2 veya 3 açıklıklı bir aşık kirişinin elde edilmesi olanağı doğabilir.



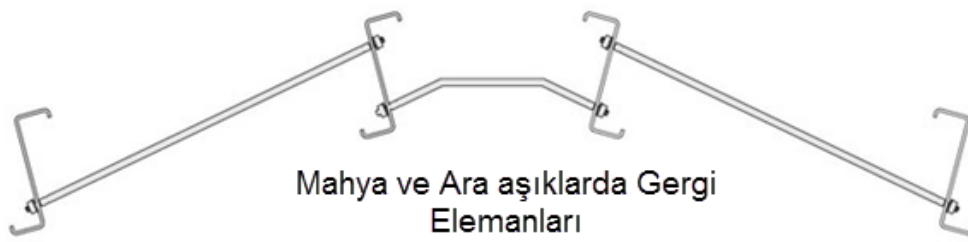
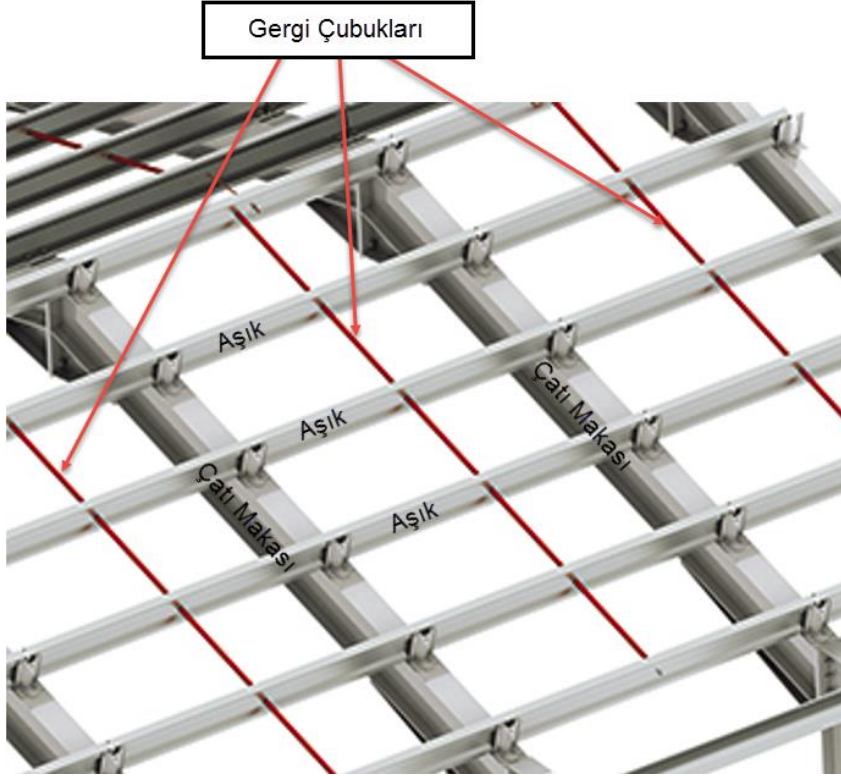
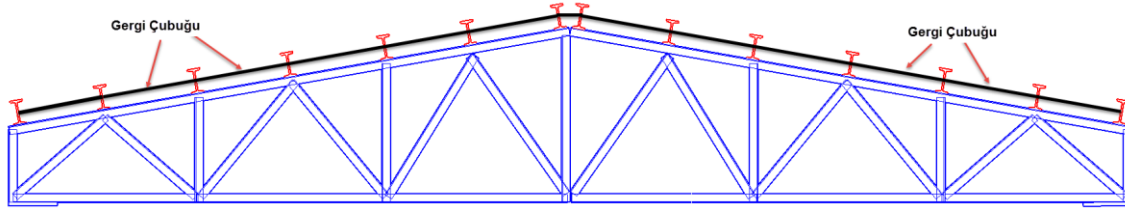
Gerber Kirişı

Gerber kirisin statik hesabında “Yaklaşık Moment Değerleri” kullanılabilir. Gerber mafsallarının teşkilinde kullanılmak üzere mafsal kuvvetlerinin de belirlenmesi gerekir.



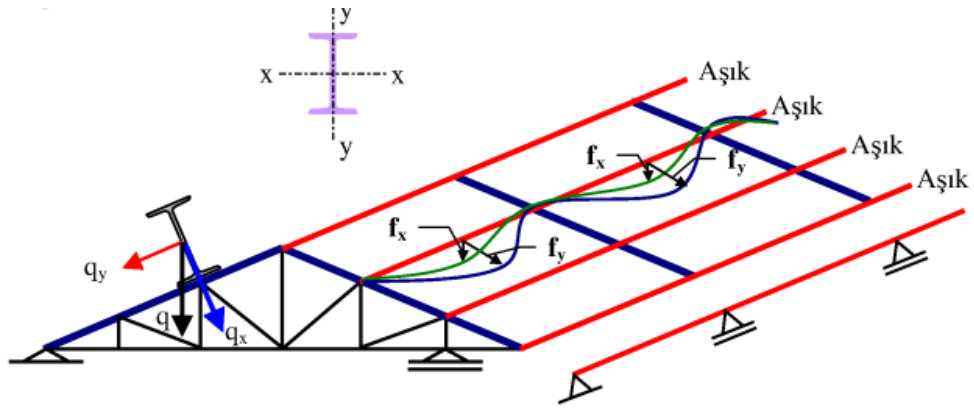
AŞIKLARDA GERGİLER

Çelik çatı sistemlerde çatı aşıklarının genellikle normal I profili kullanılarak teşkil edildiği durumlarda ve eğik eğilmeye maruz bırakılan aşıklarda kesit özelliklerine bağlı olarak zayıf eksende gerilmeler ve sehimler çatı eğimine de bağlı olarak çok büyük değerlere ulaşabilir. Bu sebeple profil enkesitinin oluşan gerilmeleri karşılaması amacıyla büyütülmesi gerekmektedir.





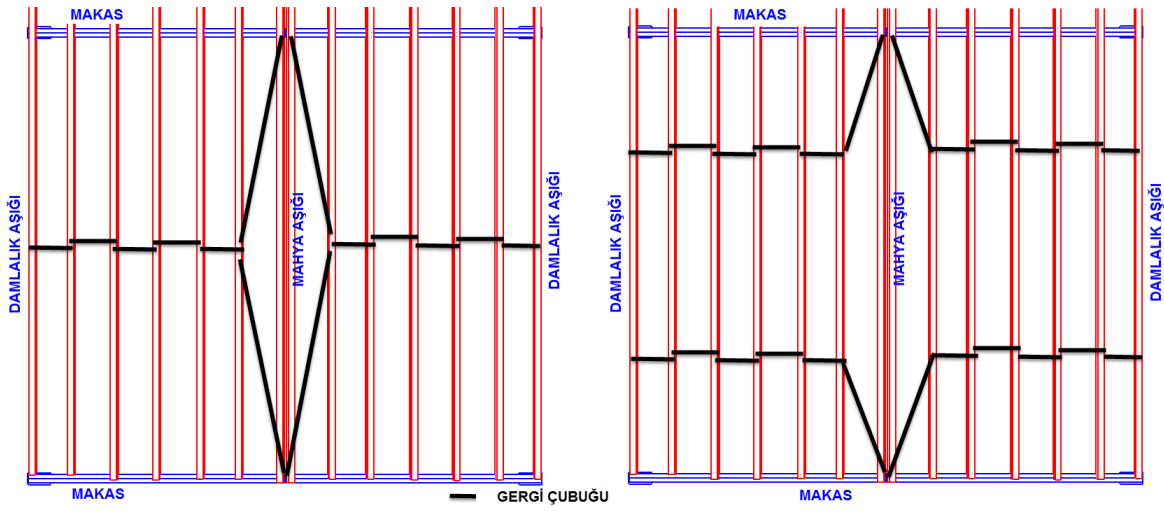
Profil ve çubuk gergi elemanları ve montaj detayları



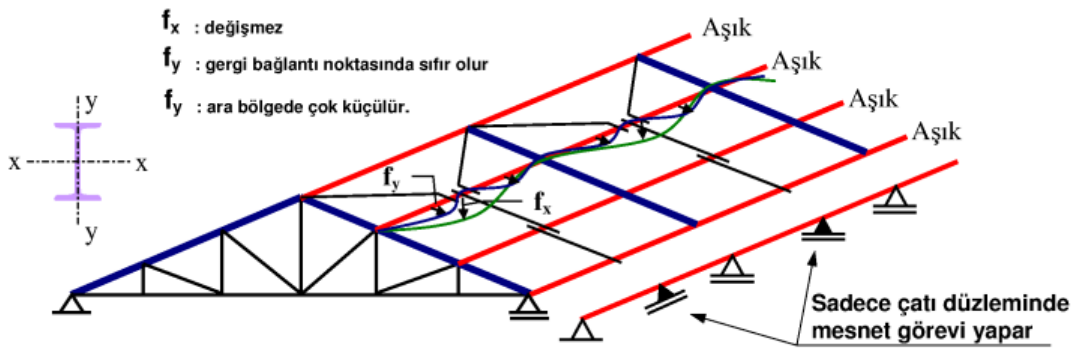
Gergisiz durumda aşıklardaki şekil değiştirme

Ancak bu durumda yapının ekonomiklik sınırı aşılabilmektedir. Bu durumu önlemek adına aşıklara “gergi elemanları” adı verilen elemanlar kullanılarak çatı düzleminde mesnet teşkil edilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde açıklığın ve buna bağlı olarak zayıf kesit düzlemi olan çatı düzleminde oluşan gerilmelerin azaltılması sağlanmaktadır. Kuvvetli eksen yönünde yapılan boyutlandırmaya göre hesap edilen kesiti zayıf eksen yönündeki kuvvetlere göre arttırmaya gerek kalmamaktadır.

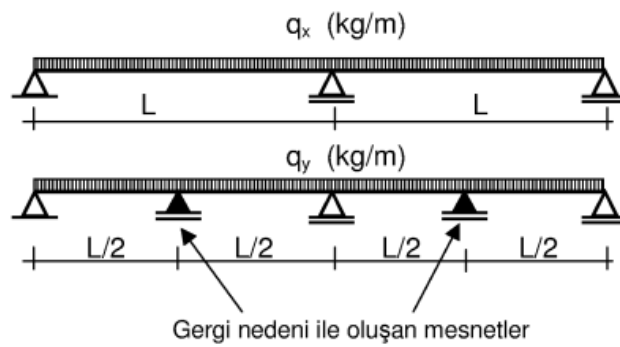
Gergi elemanları genellikle 10 mm veya 12 mm çapındaki betonarme çelikleri ile teşkil edilmektedir. Gergi elemanları açıklıklara bağlı olarak tek veya çift gergili olarak teşkil edilebilirler.

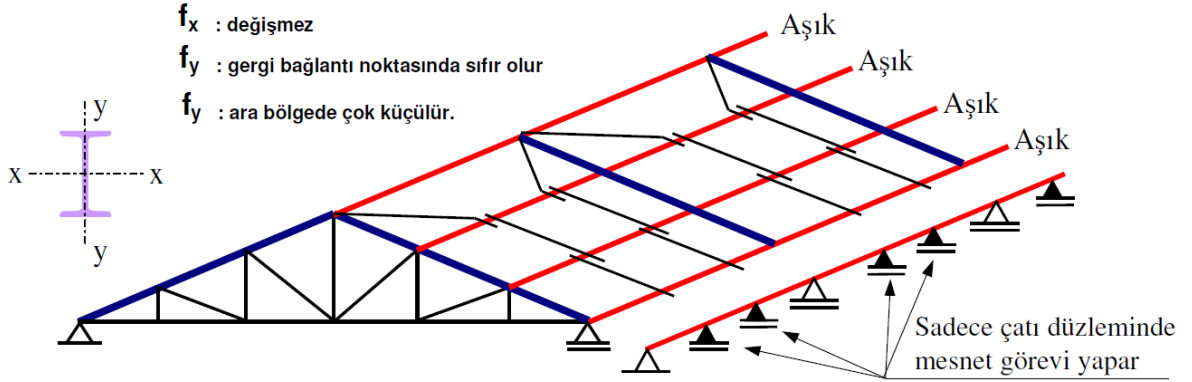


Tek ve Çift gergili Çatı planı

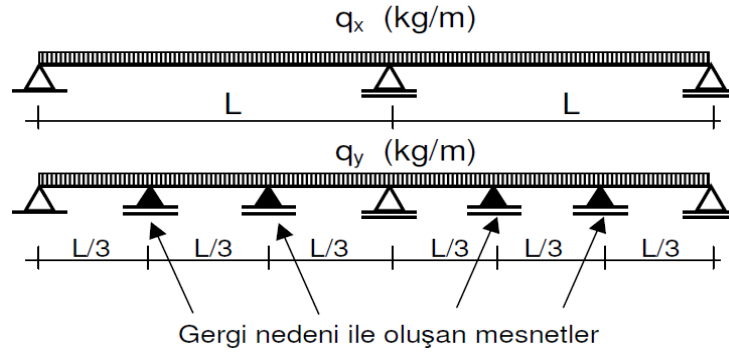


Tek gergili durum





Çift gergili durum



Gergisiz durum için gerilme değerleri

- Basit Kiriş Eğilme Momenti Değerleri: $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 8]$, $[M_y = (q_y \cdot L^2) / 8]$
- Sürekli Kiriş Eğilme Momenti Değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 11]$, $[M_y = (q_y \cdot L^2) / 11]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16]$, $[M_y = (q_y \cdot L^2) / 16]$
- Gerber kirişi Eğilme momenti değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 10,45]$, $[M_y = (q_y \cdot L^2) / 10,45]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16]$, $[M_y = (q_y \cdot L^2) / 16]$

Tek gergili durum için gerilme değerleri

- Basit Kiriş Eğilme Momenti Değerleri: $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 8], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 8]$
- Sürekli Kiriş Eğilme Momenti Değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 11], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 11]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 16]$
- Gerber kirişi Eğilme momenti değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 10,45], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 10,45]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 16]$

Çift gergili durum için gerilme değerleri

- Basit Kiriş Eğilme Momenti Değerleri: $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 8], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 8]$
- Sürekli Kiriş Eğilme Momenti Değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 11], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 11]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 16]$
- Gerber kirişi Eğilme momenti değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 10,45], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 10,45]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 16]$

2.3.2. AŞIKLARIN BOYUTLANDIRILMASI

Eğik eğilmeye maruz aşık elemanları, eğilme gerilmesi ve sehim şartları esas alınarak boyutlandırılmalıdır. Aşık elemanı için, gergisiz durum, tek gergili durum ve çift gergili durum için ayrı ayrı boyutlandırma yapılmalı ve en ekonomik çözüm uygulanmalıdır.

HESAP ADIMLARI

1. Etkiyen Yüklerin Hesaplanması

Kar yükü, çatı hareketli yükü, aşık zati ve kaplama ağırlıkları ile rüzgar yükünün basınç olarak etkimesi durumunda aşıkarak gelen yayılı yükler hesaplanır.

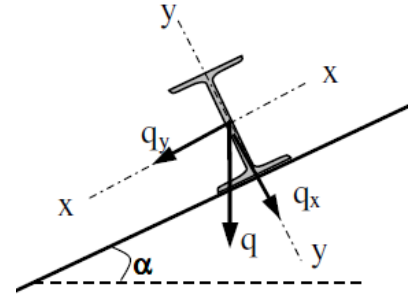
$$P_x = P \times \cos \alpha = \dots\dots \text{ kg / m (kN/m)}$$

$$P_y = P \times \sin \alpha = \dots\dots \text{ kg / m (kN/m)}$$

q: aşığın üzerindeki yayılı yük

P: yük katsayıları ile artırılmış yayılı yük

α : çatı eğimi



Buradaki P değeri YDKT ve GKT için hesaplanan ve rüzgarın emme çıkması durumunda dikkate alınmadığı diğer tüm aşık yüklerinin yük katsayıları ile çarpıldığı değerdir.

2. Moment Değerlerinin Hesaplanması

P_x ve P_y değerlerine göre M_x ve M_y momentleri hesaplanır.

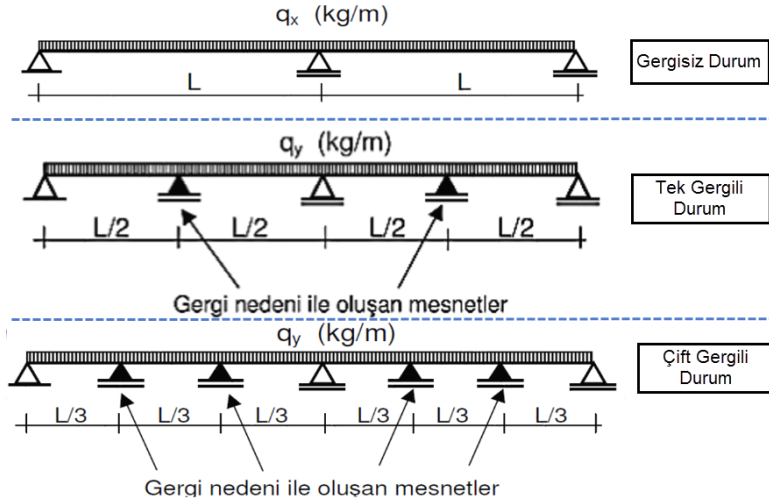
M_x : x yönündeki eğilme momenti değeri

M_y : y yönündeki eğilme momenti değeri

- ✓ **M_y değerleri hesaplanırken aşıklardaki gergi durumu dikkate alınır**
- ✓ **M_x ve M_y değerleri güvenlik oranı 1 kabulü ile YDKT içi ϕ 'ye bölünerek, GKT içi Ω ile çarpılarak artırılır.**

Gergi Çubukları

Aşıklarda gergi elemanlar kullanılacak ise moment değerleri aşığın mesnetlenme şartları ve gergi durumuna bağlı olarak hesaplanmalıdır.



3. Aşık Profilinin Seçilmesi

Sadece x eksenindeki eğilme momenti değerine bağlı olarak akma sınır durumu dikkate alınarak **gerekli plastik mukavemet momenti** değeri hesaplanır.

$$W_{px,gerekli} = \frac{M_x}{F_y}$$

Hesaplanan bu değere en yakın ve üstü değere sahip profil tablodan bakılarak seçilir. Seçilen kesit için gerekli kesit özellikleri tablodan alınır.

Ayrıca !!! Seçilen kesit Tablo 5.1B ye göre kesit narınlığına bakılarak hesaplama durumu belirlenir. !!!

4. Seçilen Profile göre Kuvvetli ve Zayıf Eksenlerde Akma Sınır Durumu İçin Hesap

Akma Sınır Durumunda kesitin plastik moment değeri hesaplanır.

Kuvvetli Eksen
$M_n = M_p = F_y W_{px}$

Zayıf Eksen
$M_n = M_p = W_{py} F_y \leq 1.6 W_{ey} F_y$

Hesaplanan bu değerlerin toplamı bileşik eğilme söz konusu olduğu için toplanır ve sonuç plastik moment değeri hesaplanmış olur.

Birleşik Eğilme
$M_n = M_p = F_y W_{px} + W_{py} F_y$

M_n : Karakteristik eğilme momenti dayanımı.

M_p : Plastik eğilme momenti.

F_y : Karakteristik akma gerilmesi.

W_{px} : x-ekseni etrafında plastik mukavemet momenti.

W_{py} : Zayıf asal eksen etrafında plastik mukavemet momenti.

W_{ey} : Zayıf asal eksen etrafında elastik mukavemet momenti.

5. Sehim kontrolü

Aşık kesitinin gerilmeden çok sehim kriterlerine bağlı olarak belirlendiği durumlarla karşılaşmak oldukça sık rastlanılan bir durumdur. Dolayısıyla eğilme gerilmesi hesabı yanında sehim kontrolü de “kullanılabilirlik sınır durumunun” sağlanmış olması bakımından yapılmalıdır. Seçilmiş olan kesittin sürekli veya tek açıklıklı olmasına bağlı sehimler aşağıdaki gibi hesaplanır.

İki açıklıkta sürekli kirişlerde	Üç açıklıkta sürekli kirişlerde	Tek açıklıklı basit kirişlerde
$f_x = 0,00260 \left(\frac{q_x \cdot L^4}{I_x} \right)$	$f_x = 0,00348 \left(\frac{q_x \cdot L^4}{I_x} \right)$	$f_x = 0,00651 \left(\frac{q_x \cdot L^4}{I_x} \right)$
$f_y = 0,00260 \left(\frac{q_y \cdot L^4}{I_y} \right)$	$f_y = 0,00348 \left(\frac{q_y \cdot L^4}{I_y} \right)$	$f_y = 0,00651 \left(\frac{q_y \cdot L^4}{I_y} \right)$
<i>Buradaki katsayılar elastisite modülü değerinin 200000 MPa alınması durumunda geçerlidir</i>		

f_x : x yönündeki sehim miktarı (cm)

f_y : y yönündeki sehim miktarı (cm)

q_x : x yönündeki aşığa gelen yayılı yük değeri (kg/m)

q_y : y yönündeki aşığa gelen yayılı yük değeri (kg/m)

L : aşık boyu (m)

I_x : x yönündeki atalet momenti değeri (cm⁴)

I_y : y yönündeki atalet momenti değeri (cm⁴)

$$f = \sqrt{(f_x^2 + f_y^2)} \leq f_{mak} = (L / 300)$$

Çatı aşık sisteminin tek qerqili veya çift qerqili olarak teşkil edilmesi durumunda $f_y=0$ alınır.

Bu durumda;

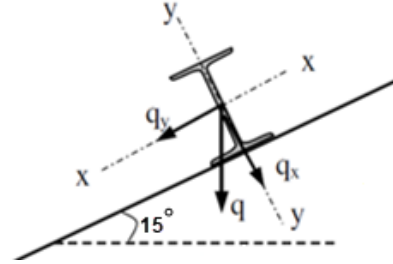
$$f_x \leq f_{mak} = (L / 300).$$

UYGULAMA (Aşık Boyutlandırması)

Çatı eğim açısı 15° olan bir çelik çatıdaki **basit kiriş** olarak mesnetlenecek aşık boyutlandırılacaktır. Etkiyen yükler tabloda verilmiştir.

Yük Türü	Değeri (kg/m^2)
Kaplama Zati Yüğü	12
Kar Yüğü	96
Rüzgar Yüğü	-24
Aşık Zati Yüğü*	10

*Aşık zati yüğü boyutlandırma için yaklaşık verilmiştir.

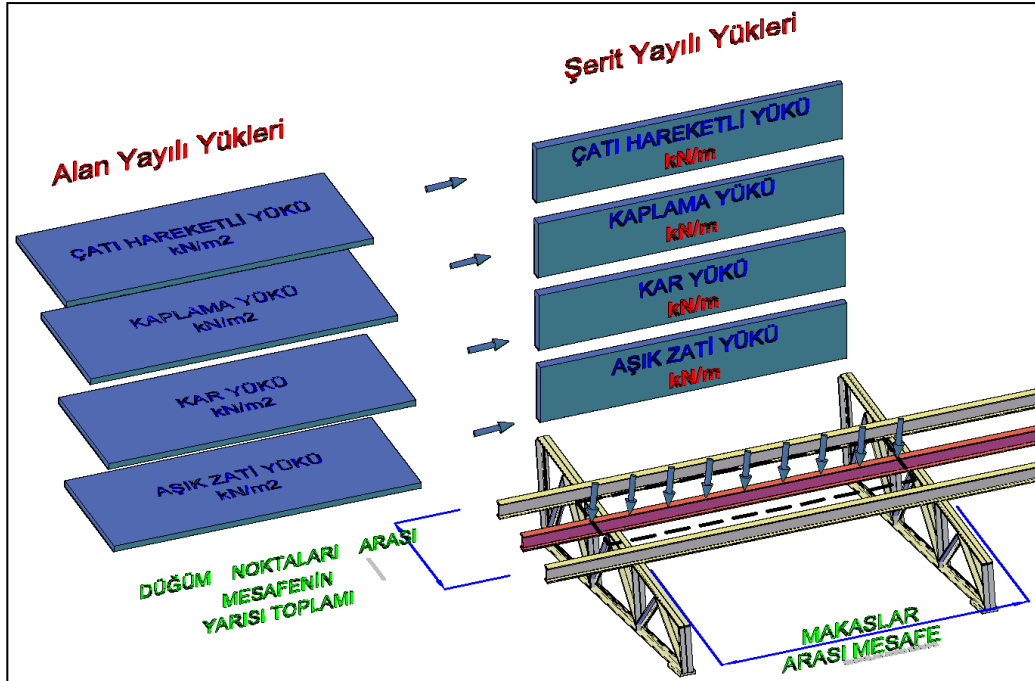


Makaslar arası 6m'dir. Çatı düzleminde düğüm noktaları arası eşit mesafede olup 3 m'dir. Aşığı tek gergili şekilde IPE Profili olarak YDKT'ye göre boyutlandırınız. (Malzeme S235)

ÇÖZÜM

Bir çatıda en büyük yük alan aşık boyutlandırılır ve tüm aşıklar bu profil olarak seçilir. En çok yük alan aşık kendisine sağ ve soldan komşu aşıklarla ara mesafesi en fazla olan aşık demektir.

Boyutlandırma yapabilmek için kesitte oluşabilecek maksimum momentin (gerekli dayanım momentinin) hesaplanması gerekir. Bu sebeple etkiyen yükler şerit yayılı yüke çevrilmelidir. Şerit yüke çevrilirken aşığı etkileyen alan yükleri sağ ve sol komşu açıklıklarının yarısının toplamı ile çarpılır (Burada aşıklar arası 3 m olduğundan $1.5+1.5=3\text{m}$ şeklinde alınır / Çatı düzlemindeki açıklıkların alınması daha uygundur).

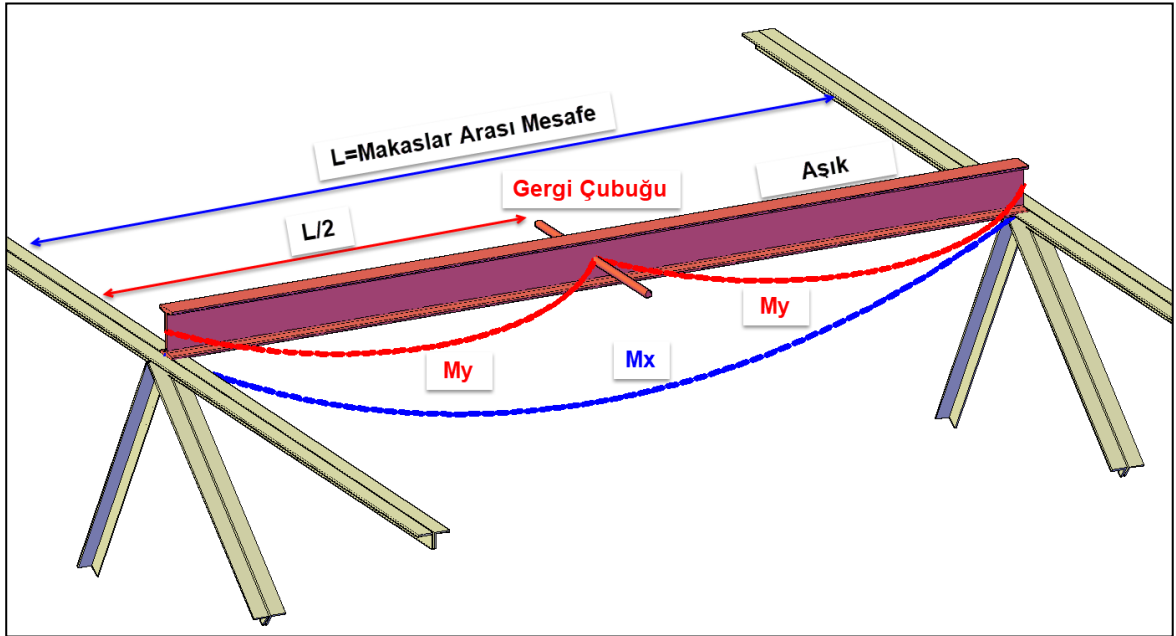


Şekil 1. Alan Yüklerinin şerit yayılı yüklere dönüştürülmesi

Yük Türü	Değeri (kg/m ²)	Şerit Yayılı Değeri (kN/m)
Kaplama Zati Yüğü	12	(G) 0,12×3=0,36
Kar Yüğü	96	(S) 0,96×3=2,88
Rüzgar Yüğü	-24	(-) Dikkate alınmayacak
Aşık Zati Yüğü*	10	(G) 0,10×3=0,30

Gerekli Eğilme Dayanımı Momenti (Kesitte oluşan maksimum moment)

Moment değerleri her iki eksen için hesaplanır. Zayıf eksendeki zorlanma unutulmamalıdır. Zayıf eksende tek gergi olduğu için açıklık makaslar arası mesafenin yarısı olmaktadır (bkz Şekil 2.)



Şekil 2. Tek gergili durumda aşık momentleri

Kuvvetli Eksende Eğilme

$$w_x = (1,2 \times w_G + 1,6 \times w_S) \times \cos 15$$

$$w_x = [(1,2 \times (0,36 + 0,30)) + (1,6 \times 2,88)] \times \cos 15$$

$$w_x = 5,21 \text{ kN / m}$$

$$M_x = \frac{w_x \times L^2}{8} = \frac{5,21 \times 6^2}{8} = 23,4 \text{ kNm}$$

Zayıf Eksende Eğilme

$$w_y = (1,2 \times w_G + 1,6 \times w_S) \times \sin 15$$

$$w_y = [(1,2 \times (0,36 + 0,30)) + (1,6 \times 2,88)] \times \sin 15$$

$$w_y = 1,39 \text{ kN / m}$$

$$M_y = \frac{w_y \times L^2}{8} = \frac{1,39 \times 3^2}{8} = 1,56 \text{ kNm}$$

Tek gergili olduğu için L=3m alınmıştır!

Aşık Profilinin Seçilmesi

Gerekli dayanım momentlerine göre x-x ve y-y eksenleri için gerekli başlangıç plastik mukavemet momentleri hesaplanır. *Kuvvetli ve zayıf eksende hesap yapılırken profil tablolarının farklı eksen isimleri kullanılabileceği unutulmamalıdır!*

Sadece **x-x eksenindeki (Kuvvetli eksen)** eğilme momenti değerine bağlı olarak akma sınır durumu dikkate alınarak gerekli plastik mukavemet momenti değeri

$$W_{px,gerekli} = \frac{M_x}{F_y} = \frac{23,4 \times 10^6}{235} = 99574,4 \text{ mm}^3 = 99,57 \text{ cm}^3$$

Sadece **y-y eksenindeki (zayıf eksen)** eğilme momenti değerine bağlı olarak akma sınır durumu dikkate alınarak gerekli plastik mukavemet momenti değeri

$$W_{py,gerekli} = \frac{M_y}{F_y} = \frac{1,56 \times 10^6}{235} = 6638,29 \text{ mm}^3 = 6,63 \text{ cm}^3$$

Seçilen IPE profili: IPE 160

Profil	Kütle G kg/m	Boyutlar							Kesit Alanı A mm ²	Kesit Özellikleri									
		d mm	h mm	h _w mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		y-y eksen					z-z eksen				
										I _y x10 ⁴ mm ⁴	W _{el,y} x10 ³ mm ³	W _{pl,y} x10 ³ mm ³	i _y mm	I _z x10 ⁴ mm ⁴	W _{el,z} x10 ³ mm ³	W _{pl,z} x10 ³ mm ³	i _z mm	I _t x10 ⁴ mm ⁴	C _w x10 ³ cm ³
IPE A 100	6.9	98	74.6	88.6	55	3.6	4.7	7	878	141.2	28.81	32.98	40.1	13.12	4.77	7.54	12.2	0.77	0.28
IPE 100	8.1	100	74.6	88.6	55	4.1	5.7	7	1032	171	34.20	39.41	40.7	15.92	5.79	9.15	12.4	1.20	0.35
IPE A 120	8.7	117.6	93.4	107.4	64	3.8	5.1	7	1103	257.4	43.77	49.87	48.3	22.39	7.00	10.98	14.2	1.04	0.71
IPE 120	10.4	120	93.4	107.4	64	4.4	6.3	7	1321	317.8	52.96	60.73	49.0	27.67	8.65	13.58	14.5	1.74	0.89
IPE A 140	10.5	137.4	112.2	126.2	73	3.8	5.6	7	1339	434.9	63.30	71.60	57.0	36.42	9.98	15.52	16.5	1.36	1.58
IPE 140	12.9	140	112.2	126.2	73	4.7	6.9	7	1643	541.2	77.32	88.34	57.4	44.92	12.31	19.25	16.5	2.45	1.98
IPE A 160	12.7	157	127.2	145.2	82	4.0	5.9	9	1618	689.3	87.81	99.09	65.3	54.43	13.27	20.70	18.3	1.96	3.09
IPE 160	15.8	160	127.2	145.2	82	5.0	7.4	9	2009	869.3	108.7	123.9	65.8	68.31	16.66	26.10	18.4	3.60	3.96
IPE A 180	15.4	177	146.0	164.0	91	4.3	6.5	9	1958	1063	123.9	143.9	68.3	74.4	17.7	28.7	19.1	2.70	5.93

➤ Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{82}{(2 \times 7,4)} = 5,54 \leq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 11,08$$

Gövde parçası (Tablo 5.1 B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{127,5}{5,0} = 25,5 \leq \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 109,69$$

Profil Tabloları Tip II'den h değeri alınacaktır. Tip I kullanılması durumunda h-2c alınmalıdır.

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1 B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, enkesit **(IPE160) kompakt** olarak

değerlendirilir. Kesit kompakt çıktığı için zayıf ekseninde yerel burkulma sınır durumuna bakmaya gerek yoktur.

Bu duruma göre “Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosunda”

- ✓ Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki,
- ✓ gövde ve başlık parçaları kompakt sınıfında olan
- ✓ çift simetri eksensli I-enkesitli elemanlar

ile

- ✓ Zayıf asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki I-enkesitli elemanlar

durumlarını içeren ilk satır ve beşinci satırı birlikte içerdikleri için kuvvetli ve zayıf eksenlerin her birinde

- Akma sınır durumu kontrolü
- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu kontrolü yapılmalıdır

<u>Kuvvetli Ekseninde Akma Sınır Durumu İçin Hesap</u> $M_n = M_p = F_y \times W_{px}$ $= 235 \times 123,9 \times 10^{-3}$ $= 29,1 \text{ kNm}$	<u>Zayıf Eksenlerde Akma Sınır Durumu İçin Hesap</u> $M_n = M_p = F_y \times W_{py} \leq 1,6 F_y \times W_{ey}$ $= 235 \times 26,1 \times 10^{-3} \leq 1,6 \times 235 \times 16,66 \times 10^{-3}$ $= 6,13 \text{ kNm} \leq 6,26 \text{ kNm}$ $M_n = 6,13 \text{ kNm}$ <i>Bu şartın sağlamadığı durumlarda profili artırmak yerine öncelikle gergi sayısını artırmak suretiyle momentin azaltılması yoluna gidilmelidir.</i>
<u>Birleşik Eğilme Etkisinde Akma Sınır Durumu Karakteristik Eğilme Dayanımı</u> $M_n = M_p = F_y \times W_{px} + F_y \times W_{py}$ $= 29,1 + 6,13 = 35,23 \text{ kNm}$ Hesaplanan bu değerlerin toplamı bileşik eğilme söz konusu olduğu için toplanır ve sonuç plastik moment değeri hesaplanmış olur.	
• <u>Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı (kuvvetli eksen)</u> $L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $= 1,76 \times 1,84 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 944,7 \text{ mm}$ $L_p = 944,7 \text{ mm} \leq L_b = 3000 \text{ mm}$ olduğu için diğer sınır uzunluk olan L_r hesaplanmalıdır.	• <u>Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı (zayıf eksen)</u> $L_p = 1,76 \times i_x \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $= 1,76 \times 6,58 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 3378,5 \text{ mm}$ $L_p = 3378,5 \text{ mm} > L_b = 3000 \text{ mm}$ olduğu için Yerel burulmalı burkulma hesabı yapmaya gerek yoktur. $M_n = 6,13 \text{ kNm}$

****Kuvvetli ekseninde hesaba devam edilir. Zayıf ekseninde hesap yapmaya gerek yoktur.**

Etkin Atalet Yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{h \times t_w}{b_f \times t_f}\right)}} = \frac{82}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{127 \times 5}{82 \times 7,4}\right)}} = 21,84 \text{ mm}$$

$$h_0 = d - t_f = 160 - 7,4 = 152,6 \text{ mm}$$

$$c = 1,0$$

Sınır Uzunluk

$$L_r = 1,95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \times \sqrt{\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_0}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1,95 \times 21,84 \times \frac{200000}{0,7 \times 235} \times \sqrt{\frac{3,6 \times 10^4 \times 1}{109 \times 10^3 \times 152,6} + \sqrt{\left(\frac{3,6 \times 10^4 \times 1}{109 \times 10^3 \times 152,6}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times 235}{200000}\right)^2}} = 5405,3 \text{ mm}$$

$$L_p = 944,7 \text{ mm} \leq L_b = 3000 \text{ mm} \leq L_r = 5405,3 \text{ mm}$$

$L_r \geq L_b \geq L_p$ olduğu durumda karakteristik eğilme momenti dayanımı (b) formülünden,

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1 \times \left[29,1 \times 10^6 - (29,1 \times 10^6 - 0,7 \times 235 \times 109 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{3000 - 944,7}{5405,3 - 944,7} \right) \right] = 31,2 \text{ kNm}$$

Akma Sınır Durumu	$M_n = 29,1 \text{ kNm}$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Küçük Değer } M_n = 29,1 \text{ kNm}$
Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu	$M_n = 31,2 \text{ kNm}$	

YDKT
Gerekli Moment Dayanımı
$M_u = M_{\max} = 23,4 \text{ kNm}$
Tasarım Moment Dayanımı
$M_d = 0,9 \times (29,1) = 26,19 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{23,4}{26,19} = 0,89 \leq 1 \quad \checkmark$

Sehim Kontrolü

Sehim hesabında hesaplama tablolarında verilen yükleme durumuna göre sehim formülleri kullanılabilir.

- Sehim kontrolü artırılmamış yüklere göre yapılır (YDKT de hesap yapılırsa dahi).
- Hesaplamalar yapılırken N ve mm değerlerinin kullanılması gerekmektedir.

Oluşan sehim değeri $\delta_{yayılı} = \frac{5}{384} \times \frac{5,21 \times 6000^4}{200000 \times 869 \times 10^4} = 50,6 \text{ mm}$

Sehim sınırı $\frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} < \delta_{yayılı} = 50,6 \text{ mm}$

Sehim sınırı aşılmıştır. ☒ Profil artırılmalıdır.

- **Gerekli atalet momenti hesaplanırsa,**

$$I_x = \frac{5}{384} \times \frac{5,21 \times 6000^4}{200000 \times (\delta = 20)} = 2198 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Yeni seçilen profil IPE 220 olur ($I_x=2772 \text{ cm}^4$ kuvvetli atalet)

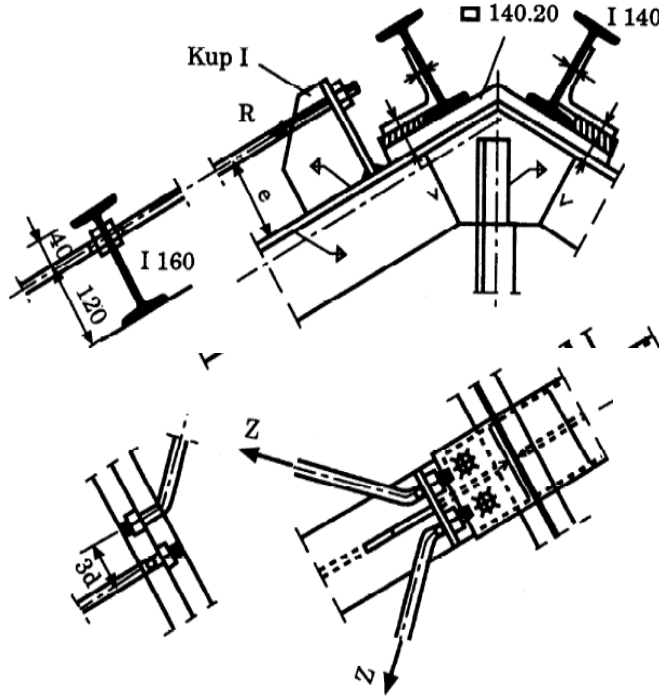
$$\delta_{yayılı} = \frac{5}{384} \times \frac{5,21 \times 6000^4}{200000 \times 2772 \times 10^4} = 15,82 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} > \delta_{yayılı} = 15,82 \text{ mm} \quad \text{Sehim sınırı sağlanmıştır. ☑}$$

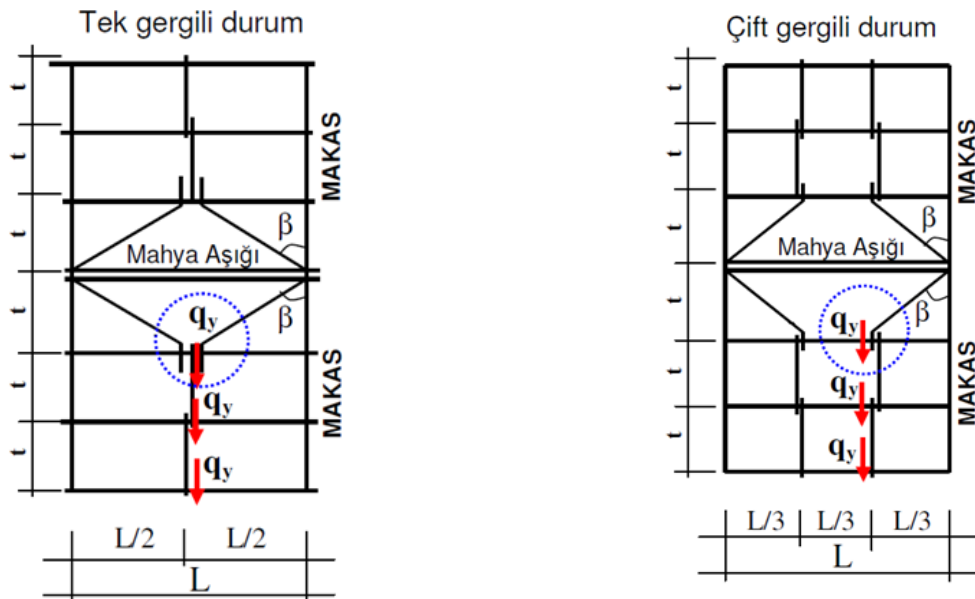
Hem dayanım hem de sehim durumu göz önüne alınarak seçilen profil IPE220 dir.

Gergi Çubuklarının Boyutlandırılması

Betonarme çeliğinden teşkil edilebilen gergi elemanları en alt aşıktan başlayarak, mahya aşığına kadar olan (mahya aşığı hariç) tüm aşıklara bağlanır ve en üst aşık aralığında eğik bir gergi vasıtasıyla üst başlığa sabitlenir. Gergiler içinde en elverişsiz olan eğik gergi boyutlandırılır. Tüm gergiler için aynı boyut kullanılır. En üstte bulunan eğik gergi, altındaki tüm aşıkların q_y yüklerini aktarabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır.



Gergi Elemanları Bağlantı Detayları



Z_{max}
en büyük çekme kuvveti eğik gergi çubuğunda oluşur.

$$Z_{max} = \frac{1}{\cos\beta} * \frac{1}{2} (q_y * \frac{L}{2} * \frac{n-3}{2})$$

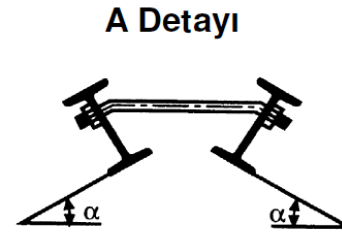
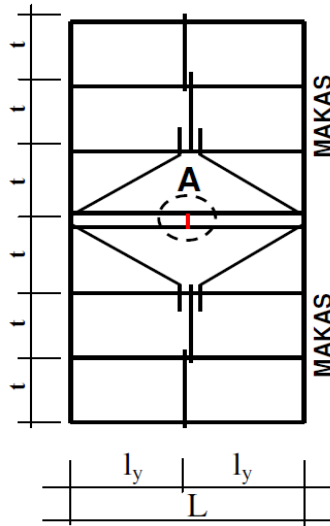
$$Z_{max} = \frac{1}{\cos\beta} (q_y * \frac{L}{3} * \frac{n-3}{2})$$

$$F_z = \pi \frac{(0.86d)^2}{4}, \sigma = \frac{Z_{max}}{F_z} \leq \sigma_{çem}$$

n: Bir çatı makası üzerinde yer alan toplam aşık adedidir.

d: Seçilen gergi çubuğunda yuvarlak demir çapı

Mahya aşıkları birbirine açıklık ortasından bağlanır ancak mahya aşıkları gergisiz durum için tahkik edilebilir. Bu aşamada, kenar aşık yüklerinin orta aşıkların yükünün yarısı kadar olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Gerekli durumda, yukardaki şekilde gösterildiği gibi tek veya çift gergi uygulaması yapılır.



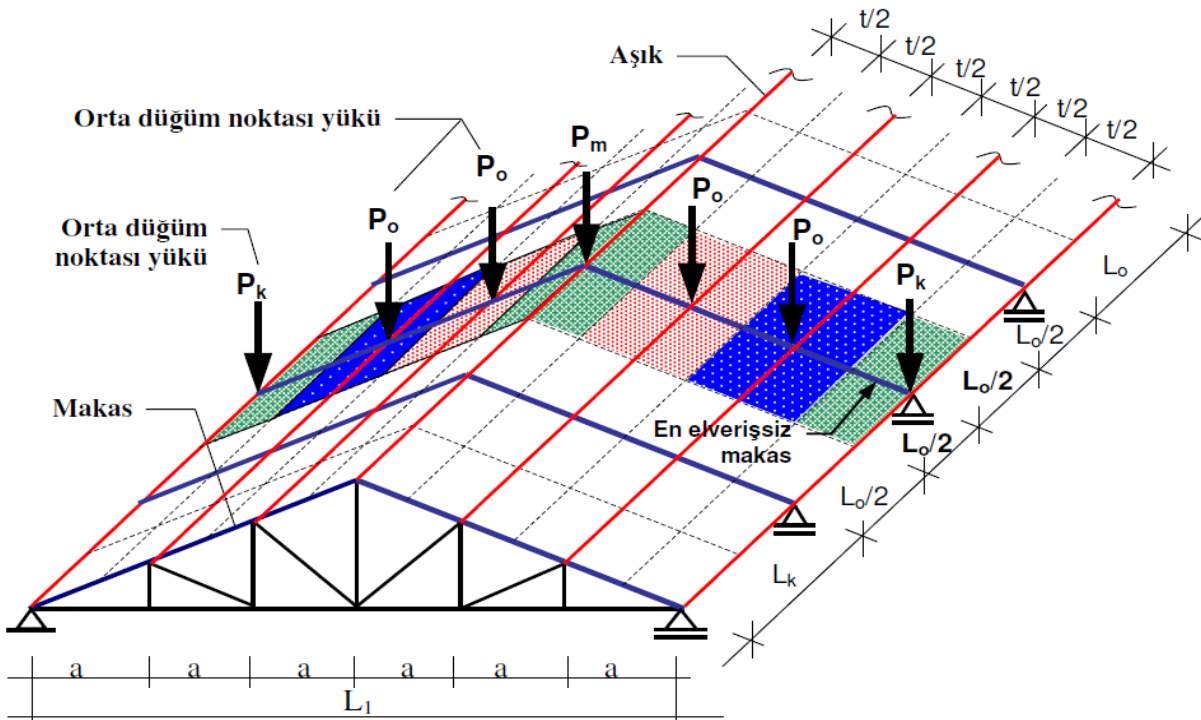
Mahya aşıklarında gergi bağlantısı

2.3.3. Kafes Sistemi Yük Analizi

Kafes kirişler (makaslar), aşıkları, çatı örtüsünü ve çatı örtüsü üzerine etkiyen dış yükleri (rüzgar, kar) taşırlar. Dış yükler öncelikle kaplama tarafından taşınır. Kaplama üzerine etkiyen yüklerle birlikte kendi ağırlığını aşıklara aktarır. Her bir aşık kendisine komşu kenarlardaki yükün yarısını üzerine alır. Devamında ise aşıkların aktardığı yüke aşık ağırlığı da ilave edilerek makas üst düğüm noktalarından etkiyecek şekilde yükler makasa aktarılmış olur **(bkn. Şekil)**

Aşıklar makas üzerinde genellikle basit mesnetli olarak teşkil edildikleri için, kafes kirişteki her bir düğüm noktasına, makas aralığı (L_o , L_k) ve aşık aralığı (a veya t) ile orantılı alan yüklerinin etkiyeceği kabul edilebilir.

En elverişsiz yüklemeye maruz kalan çatı makası, tüm açıklıkların eşit olması durumunda iç makaslardan herhangi biri, kenar açıklıkların daha küçük olması durumunda, kenardan itibaren 3. iç makas veya daha iç makaslardan herhangi birisidir. Orta makaslara göre daha az yüke maruz kalan kenar makaslar da aynı boyutta imal edilir.



Çatı düzleminde aşıklara ve makas düğüm noktalarına yük aktarım şeması

L_1 : Makas açıklığı

L_o : Kenar makas aralığı

L_k : Orta makas aralığı

a : Aşık aralığı (yatay) t : Aşık Aralığı (çatı düzleminde)

- Kafes kirişin orta düğüm noktalarına ($t \times L_o$) boyutlarında bir alan yükü etkir (P_o).
- Kafes kirişin kenar düğüm noktalarına ($\frac{t}{2} \times L_o$) boyutlarında bir alan yükü etkir (P_k).
- Kafes kirişin mahya düğüm noktasına ise ($\frac{t}{2} \times L_o$) + ($\frac{t}{2} \times L_o$) boyutlarında bir alan yükü etkir (P_m).

Kafes sistemin tasarımı için yapıya etkiyen yükler hesaplanarak, bunlar için gerekli elverişsiz yük kombinasyonları, göre çözüm yapılmak istenen hesap yöntemine göre (YDKT veya GKT ye göre) ÇYY-2016 dan alınarak hesaplanması gerekir. Taşıyıcı eleman boyutlandırmasında kullanılabilirlik sınır durumunun da mutlaka göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT)

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, R_u , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

- (1) $1.4G$
- (2) $1.2G + 1.6Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (3) $1.2G + 1.6(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + (Q \text{ veya } 0.8W)$
- (4) $1.2G + 1.0Q + 0.5(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 1.6W$
- (5) $1.2G + 1.0Q + 0.2S + 1.0E$
- (6) $0.9G + 1.6W$
- (7) $0.9G + 1.0E$

Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT)

Bu tasarım yönteminde gerekli dayanım, R_a , aşağıdaki yük birleşimleri ile belirlenecektir.

- (1) G
- (2) $G + Q$
- (3) $G + (Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (4) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
- (5a) $G + 1.0W$
- (5b) $G + 0.7E$
- (6a) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(W)$
- (6b) $G + 0.75Q + 0.75(Q_r \text{ veya } S \text{ veya } R) + 0.75(0.7E)$
- (7) $0.6G + W$
- (8) $0.6G + 0.7E$

Kullanılabilirlik Sınır Durumu İçin Tasarım

- (1) $G + Q$
- (2) $G + 0.5 S$
- (3) $G + 0.5 Q$
- (4) $G + 0.5 Q + W$

G : sabit yük	W : rüzgar yükü
Q : hareketli yük	E : deprem etkisi
Q_r : çatı hareketli yükü	F : akışkan madde basınç yükü
S : kar yükü	T : sıcaklık değişmesi ve/veya mesnet çökmesi etkileri
R : yağmur yükü	H : yatay zemin basıncı, zemin suyu basıncı, yığılı madde basıncı

Ancak çatı sistemlerinin özelliği nedeniyle,

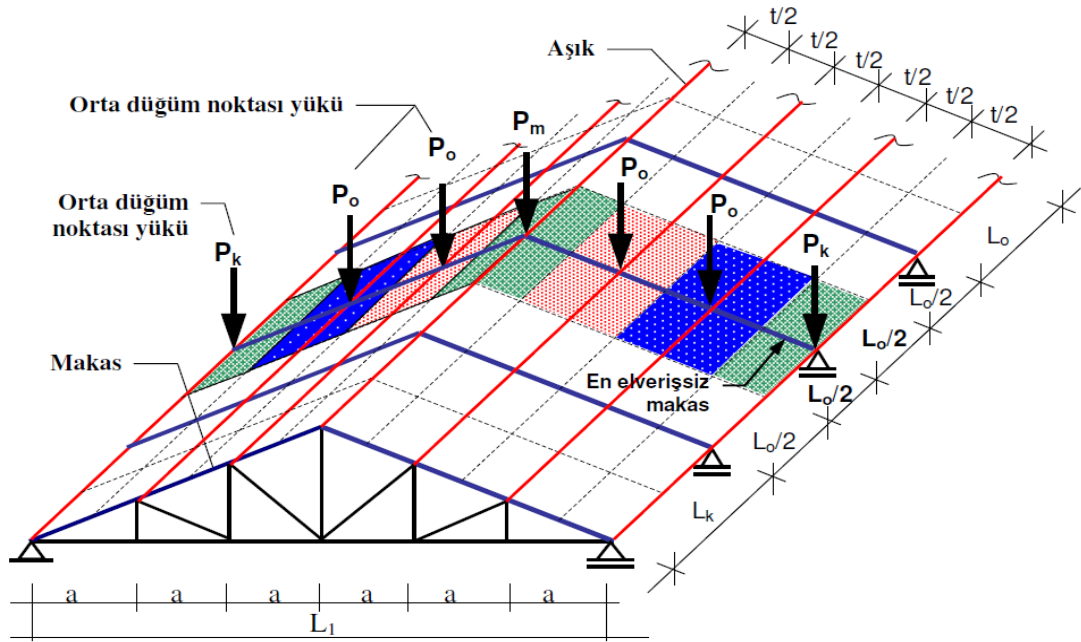
- 1) Kar yüklemesi için el elverişsiz durumun (soldan kar, sağdan kar, tam kar yüklemesi olması) araştırılması,
- 2) Rüzgar yüklemesi için el elverişsiz durumun (soldan rüzgar, sağdan rüzgar yüklemesi) araştırılması

3) Rüzgar ve/veya kar yükleri nedeniyle davranış değiştiren (çekme çubuğu iken basınç çubuğuna veya basınç çubuğu iken çekme çubuğuna dönüşen) eleman olup olmadığının araştırılması gerekmektedir.

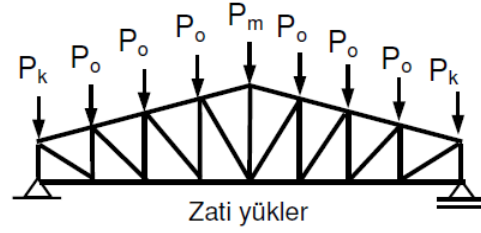
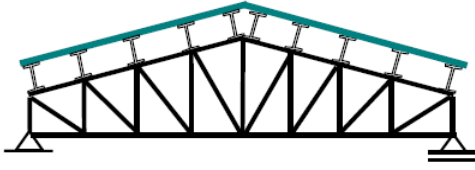
Bu sebeplerle, zati yükleme, kar yüklemeleri (soldan, sağdan ve tam yükleme) ve rüzgar yüklemeleri (soldan ve sağdan yükleme) ayrı ayrı yapılarak, elde edilen iç kuvvetler, yukarıda belirtilen ve yönetmelikte verilen yük katsayıları ile en elverişsiz durumları belirlemek amacıyla süperpoze (**kombinasyon**) edilir.

Kafes sisteme etkiyen yükler içerisinde aşık ağırlıkları bulunduğu için öncelikle kaplama, kar ve rüzgar yüklerine göre aşıkların boyutlandırılması gerekmektedir. Bu konu devamında aşık boyutlandırılması anlatılacak olup kafes kiriş için yük hesaplamalarına daha sonra devam edilecektir.

2.3.4. Zati Yük Analizi



!!! Aşağıda verilen formüllerdeki t değerleri makaslar arası mesafelerin eşit olması durumundaki genel ifadelerdir. Aşıklar arası (üst düğüm noktaları arası) mesafelerin aşığın sağında ve solunda olması durumunda $\left(\frac{t_{sol}}{2} + \frac{t_{sağ}}{2} \right)$ değerleri alınmalıdır.



Orta düğüm noktasına etkiyen yük (P_o)

Çatı Örtüsü Ağırlığı: $g_{örtü}$ [kg/m²]
Aşık Ağırlığı : g_a (I profil için) [... kg/m]
Makas öz Ağırlığı: g_m [15 kg/m²]

$$\begin{aligned} g_{örtü} * L_o * t &= \text{ kg} \\ g_a * L_o &= \text{ kg} \\ g_m * L_o * a &= \text{ kg} \\ + & \\ P_o &= \text{ kg} \end{aligned}$$

Kenar düğüm noktasına etkiyen yük (P_k)

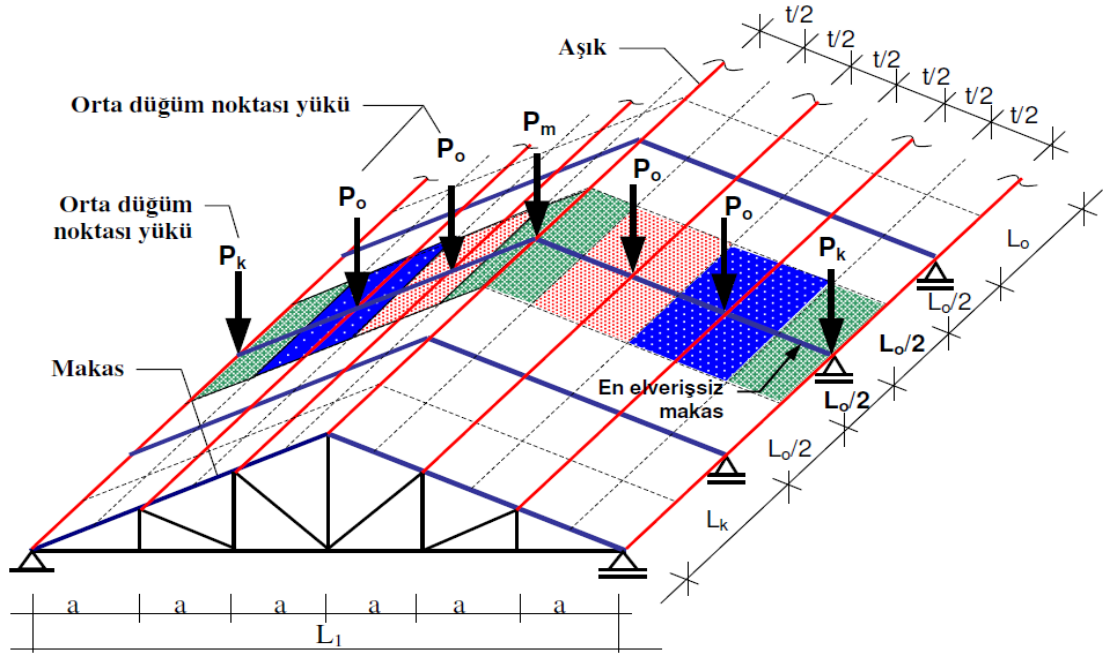
Çatı Örtüsü Ağırlığı: $g_{örtü}$ [kg/m²]
Aşık Ağırlığı : g_a (I profil için) [... kg/m]
Makas öz Ağırlığı: g_m [15 kg/m²]

$$\begin{aligned} g_{örtü} * L_o * t/2 &= \text{ kg} \\ g_a * L_o &= \text{ kg} \\ g_m * L_o * a/2 &= \text{ kg} \\ + & \\ P_k &= \text{ kg} \end{aligned}$$

Mahya düğüm noktasına etkiyen yük (P_m)

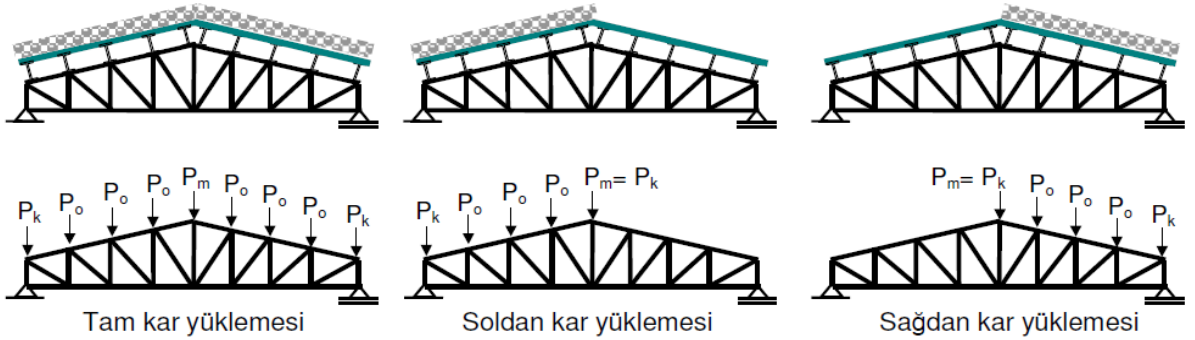
$P_m = 2 \times P_k$ (Mahya düğüm noktasına etkiyen zati yük kenar noktaya etkiyen yükün yarısıdır)

2.3.5. Kar Yüğü Analizi



!!! Aşağıda verilen formüllerdeki t değerleri makaslar arası mesafelerin eşit olması durumundaki genel ifadelerdir. Aşıklar arası (üst düğüm noktaları arası) mesafelerin aşığın sağında ve solunda

olması durumunda $\left(\frac{t_{sol}}{2} + \frac{t_{sağ}}{2} \right)$ değerleri alınmalıdır.



Orta düğüm noktasına etkiyen yük (Po)

Kar Yüğü: P_k [kg/m²]
Buz Yüğü: P_b (varsa) [kg/m²]

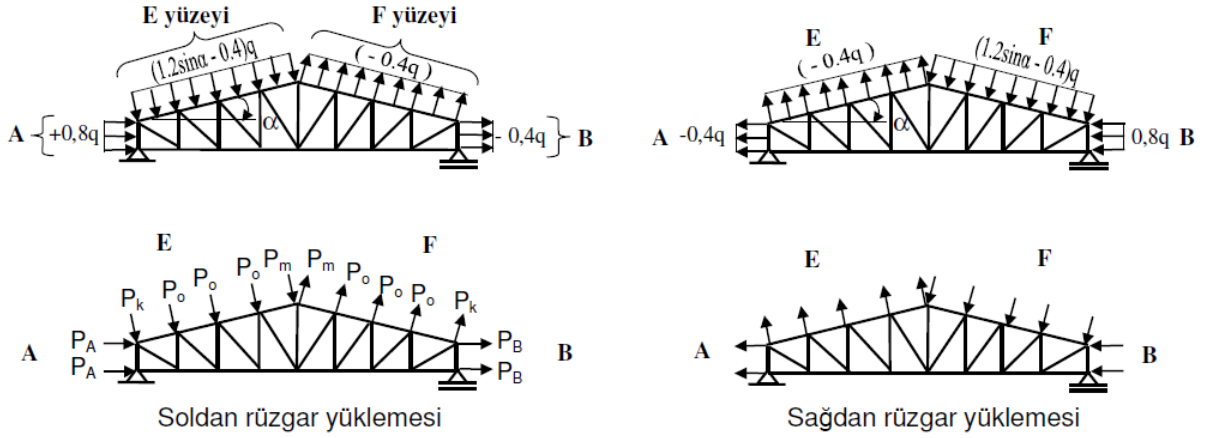
$$\begin{aligned} P_k * L_o * a &= \dots \text{ kg} \\ P_b * L_o * a &= \dots \text{ kg} \\ \hline P_o &= \dots \text{ kg} \end{aligned}$$

Kenar düğüm noktasına etkiyen yük (Pk)

$$P_k = P_o / 2$$

Mahya düğüm noktasına etkiyen yük (Pm)

Tam kar yüklemesi için : $P_m = P_o$
Soldan ve sağdan kar yüklemesi için : $P_m = P_k = P_o / 2$

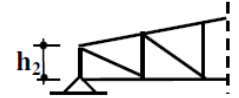


Mahya düğüm noktasına etkiyen yük (P_m)

E yüzeyi için: $P_m = P_k = P_{RE} \cdot L_o \cdot t / 2 = \dots\dots\dots \text{kg}$
F yüzeyi için: $P_m = P_k = P_{RF} \cdot L_o \cdot t / 2 = \dots\dots\dots \text{kg}$

Yan düğüm noktalarına etkiyen yükler (P_A , P_B)

A yüzeyi için: $P_{RA} [0.8q \text{ kg/m}^2]$ $P_A = P_{RA} \cdot L_o \cdot h_2 / 2 = \dots\dots\dots \text{kg}$
B yüzeyi için: $P_{RB} [-0.4q \text{ kg/m}^2]$ $P_B = P_{RB} \cdot L_o \cdot h_2 / 2 = \dots\dots\dots \text{kg}$

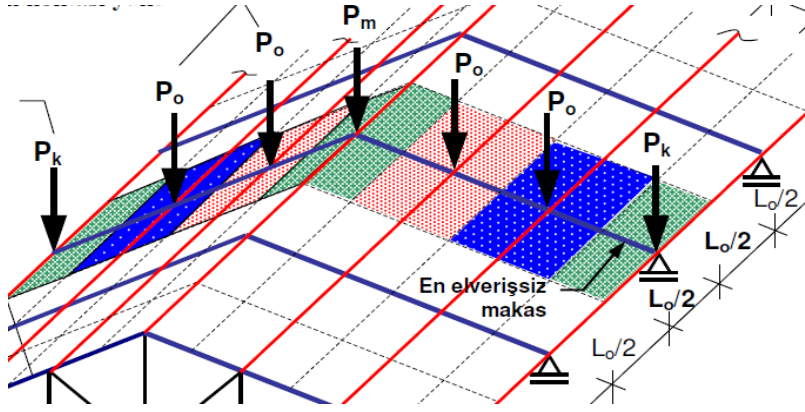


Sağdan rüzgar yüklemesi

Soldan rüzgar yüklemesi için elde edilen yükler, sisteme yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi etkililerek sağdan rüzgar yüklemesi elde edilir.

2.3.7. Kafes Sistem Statik Hesabı

Yapının inşaa edileceği yerin bölgesel ve depremsel konum dikkate alınarak hesaplanan yükleme durumları hesaplandıktan sonra her bir yükleme için ayrı ayrı düğüm noktalarına etkiyen kuvvet değerleri hesaplanır.



Başka bir deyişle yukarıdaki şekle göre P_m , P_o ve P_k değerleri çatı kaplaması zati, aşık zati ağırlığı, kar yükü ve rüzgar yükleri için ayrı ayrı tekil yük olacak şekilde belirlenir. Belirlenen bu kuvvetler çatı makası geometrisine bağlı alınarak makastaki tüm çubuklardaki iç kuvvetler (normal kuvvet veya eksenel kuvvet) belirlenmesi amacıyla düğüm noktalarına etkitilir.

Statik analizi yapılacak kafes sistem izostatik şekilde teşkil edilmelidir. Bu nedenle sistemdeki çubuk kuvvetleri, çubukların enkesit özelliklerine gereksinim duyulmadan aşağıda verilen yöntemlerden herhangi biri kullanılarak belirlenebilir.

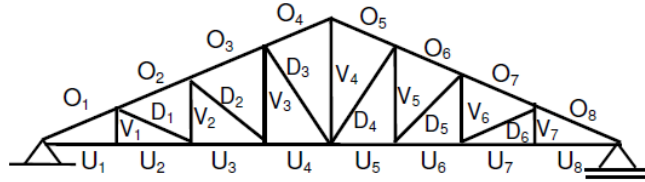
- Düğüm Noktaları Denge Yöntemi
- Ritter (Kesim) Yöntemi
- Bilgisayar Programları

2.3.7.1. Boyutlandırmada Esas Alınacak Maksimum Ve Minimum Çubuk Kuvvetlerinin Belirlenmesi (Süperpozisyon tablosunun hazırlanması)

2.3.7.2. Düğüm Noktaları Denge Yöntemi ve Ritter (Kesim) Yöntemi ile Statik Analiz

Bu yöntemlerin kullanılması durumunda birim yükleme yapılarak çözüm yapılır. Birim yüklemeye bağlı olarak çubuklarda yük katsayıları belirlenmiş olur. Elde edilen bu katsayılar her bir yükleme durumu için (zati, kar, rüzgar) gerçek yük değeri ile çarpılarak çubuklarda yükleme durumlarına göre oluşacak gerçek kesit tesiri değerleri hesaplanır ve tablo halinde ayrı ayrı verilir. Ancak statik hesap yapılırken hesaplama öncesinde **sistemdeki bütün çubuklar isimlendirilir ve numaralandırılması yapılmalıdır.** Kafes kiriş çubuklarının isimlendirilmesinde **genellikle** aşağıda verilen harflendirmeler kullanılır.

- Üst başlık çubukları için **O** ($O_1, O_2, O_3 \dots$)
- Alt başlık çubukları için **U** ($U_1, U_2, U_3 \dots$)
- Dikme çubukları için **V** ($V_1, V_2, V_3 \dots$)
- Diyagonal çubukları için **D** ($D_1, D_2, D_3 \dots$)



İsimlendirme daha öncede bahsedildiği üzere projeyi yapan kişi tarafından anlaşılır olması kaydıyla serbesttir. Buradaki amaç elemanlarda oluşan kesit tesirleri sonuçlarının karıştırılmamasıdır.

Zati Yük (kg)		
Çubuk adı	Çekme (+)	Basınç (-)
O ₁	-	14300
...		
V ₁	9560	-
...		
D ₁	-	9780
...		
U ₁	11490	-
...		

Tam kar (kg)		
Çubuk adı	Çekme (+)	Basınç (-)
O ₁	-	23300
...		
V ₁	16760	-
...		
D ₁	-	2380
...		
U ₁	14490	-
...		

Soldan Rüzgar (kg)		
Çubuk adı	Çekme (+)	Basınç (-)
O ₁	12345	-
...		
V ₁	-	4579
...		
D ₁	9090	-
...		
U ₁	-	9890
...		

Bu tabloların oluşturulmasından sonra her bir çubuk için kesit tesirinin çekme ve basınç olması dikkate alınarak boyutlandırmada esas alınacak maksimum ve minimum çubuk kuvvetleri aşağıda verildiği şekilde bir tablo yapılarak hesaplanmış olur.

Süperpozisyon Tablosu

Çubuk Adı	YÜKLEMELER												Maksimum Çubuk Kuvveti				Minimum Çubuk Kuvveti (kg)	
	Zati Yük (kg)		Kar Yükleri (kg)						Rüzgar Yükleri (kg)				YD I (H) (kg)		YD II (HZ) (kg)			
			Soldan		Sağdan		Tam		Soldan		Sağdan							
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
O ₁	---	15300	---	5800	---	8200	---	14000	---	7800	9600	---	---	29300	---	37100	---	5700
V ₁	---	8900	---	2200	---	4700	---	6900	8300	---	---	4500	---	15800	---	20300	---	600
D ₁	6500	---	7400	---	6700	---	14100	---	---	9900	---	11400	20600	---	10700	---	---	4900
U ₁	5800	---	6500	---	9500	---	16000	---	3050	---	6300	---	21800	---	28100	---	5800	---

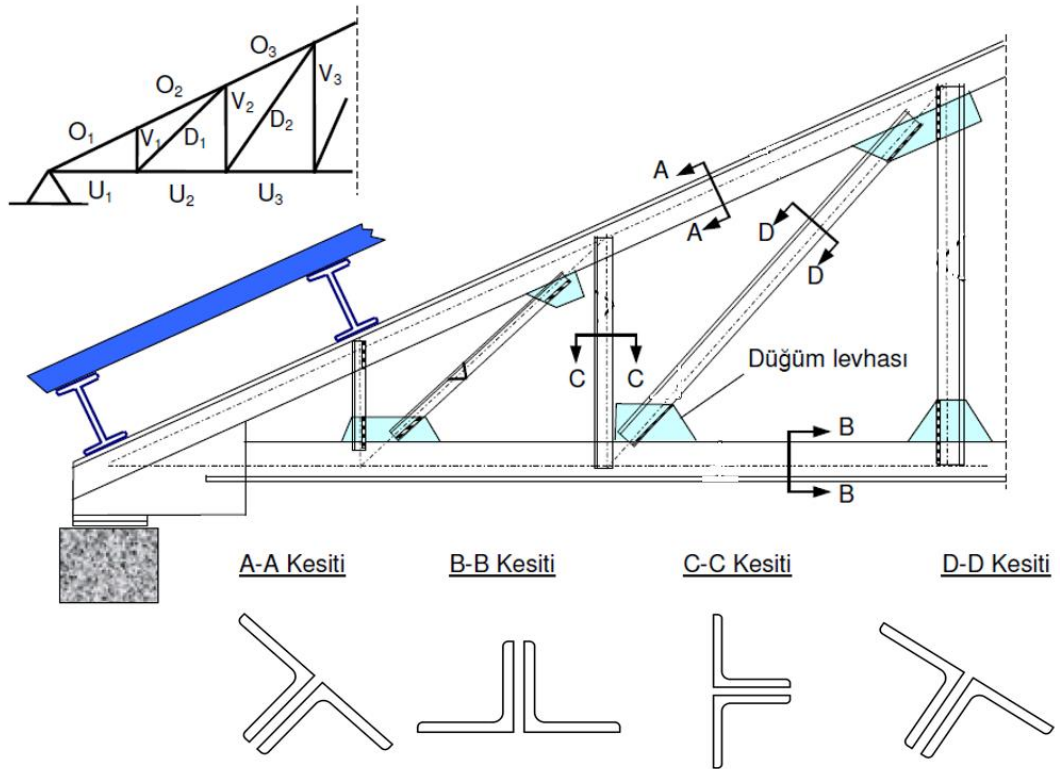
2.3.7.3. Bilgisayar Programları ile Statik Analiz

Çatı makası statik modelleme ve yükleme yapılacak herhangi bir programda geometrisine bağlı olarak modellenir. Hesaplanmış olan düğüm noktası yükleri ilgili düğüm noktalarına her bir yükleme durumu için tanımlanır. Süperpozisyon çubuk kuvvetlerinin elde edilmesi zati yükler, kar yüklemeleri ve rüzgar yüklemeleri için YDKT ve GKT yükleme kombinasyon katsayıları dikkate alınarak programın yük kombinasyonları bölümünden tanımlanır ve böylelikle **maksimum** çubuk kuvvetleri hesaplanır. Ayrıca statik analiz sonucunda **minimum** çubuk kuvvetleri de elde edilmiş olur. Burada dikkat edilmesi gereken husus yükleme kombinasyonlarında çubuk davranışlarının değişip değişmediğini, yani çekme çubuğu iken basınç çubuğuna veya basınç çubuğu iken çekme çubuğuna dönüşüp dönüşmediğini belirlemek ve değişim mevcut ise ilgili elemanları her iki davranış için de boyutlandırmak amacıyla hesaplanmaktadır.

- ✓ *Boyutlandırma hesapları yönetmeliğe göre elle yapılacağından çatı makası zati ağırlığı modelleme esnasında program tarafından alınmayacak, yaklaşık olarak makas ağırlığı makas açıklığına göre; örneğin makas açıklığı 30 m ise 30 kg/m² şeklinde alınabilir.*

2.4. KAFES SİSTEM ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI

- Kafes sistem elemanları (alt ve üst baslık çubukları, dikme ve diyagonal çubukları), yükleme durumlarına ait süperpozisyon kuvvetleri esas alınarak boyutlandırılır.
- Kafes sistemlerde üst ve alt baslık elemanları için genellikle, $\frac{1}{2}$ KUP, INP profil, T profil veya çift L profil kullanılmaktadır. Dikme ve diyagonal elemanları için ise genellikle, tek L profil veya çift L profil kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra kutu ve boru kesitlerden de teşkili çok yaygındır.
- Üst ve alt baslık çubuklarının her biri ($O_1, O_2, \dots U_1, U_2, \dots$) ayrı ayrı boyutlandırılacak ancak, düzgün bir çatı yüzeyi elde edebilmek ve imalat kolaylığını sağlamak amacıyla, tüm üst baslık için tek profil (gerekli en büyük kesit) ve alt baslık için tek profil (gerekli en büyük kesit) kullanılacaktır.



2.4.1. Çekme Çubuklarının Boyutlandırılması

Hesaplama Adımları

Çubuk üzerinde yükleme kombinasyonlarına göre oluşabilecek en büyük eksenel çekme kuvveti değeri P_u veya P_a 'dır.

YDKT Gerekli çekme kuvveti dayanımı	GKT Gerekli çekme kuvveti dayanımı
$P_u = \text{En elverişsiz kombinasyon değeri}$	$P_a = \text{En elverişsiz kombinasyon değeri}$

$\frac{P_u}{T_d} = 1.00$ ve ya $\frac{P_a}{T_g} = 1.00$ kabulü ile karakteristik çekme dayanımı kuvveti (Yani seçilecek kesitin taşıyabileceği en yüksek yük değeri)

$$P_u = T_d = \phi \times T_n \quad P_a = T_g = \frac{T_n}{\Omega} \quad \text{olacak şekilde}$$

$$T_n = \frac{P_u}{\phi} \quad T_n = P_a \times \Omega$$

gerekli karakteristik dayanım değeri hesaplanır.

Boyutlandırma sonrasında birleşimin karakteristik dayanımı (kaynak veya bulonlu birleşimlerdeki karakteristikler) ile çekmedeki sınır durumları (akma, kopma, blok kırılma sınır durumları) dikkate alınmalıdır. Bu sebeple bu sınır durumları için yönetmelikçe öngörülen ϕ ve Ω katsayılarından karakteristik dayanım değeri (R_n veya T_n) değerini en büyük yapacak katsayıya göre hesap yapılmalıdır.

Kaynaklı birleşim esas alındığında bu katsayılar aşağıdaki gibidir. (Bulonlu birleşim için ayrıca hesaplama tablolarına bakılmalıdır)

Tasarım dayanımı	Güvenli dayanım
<i>Kaynak metali için</i> $\phi = 0,75$	<i>Kaynak metali için</i> $\Omega = 2,00$

A.S.D.da çekme	$\phi = 0,90$	A.S.D.da çekme	$\Omega = 1,67$
K.S.D.da çekme	$\phi = 0,75$	K.S.D.da çekme	$\Omega = 2,0$
Blok K.S.D.da çekme	$\phi = 0,75$	Blok K.S.D.da çekme	$\Omega = 2,0$
Küçük olan değer seçilir		Büyük olan değer seçilir	

Belirlenen en büyük karakteristik dayanım değeri esas alınarak akma sınır durumuna göre bürüt kesit alanı belirlenir.

Gerekli minimum enkesit alanı

$$T_n = \frac{P_u}{\phi} = F_y A_g \quad \Rightarrow \quad A_g = A_{ger} = \frac{T_n}{F_y} = \frac{P_u}{F_y \phi}$$

Gerekli atalet yarıçapı

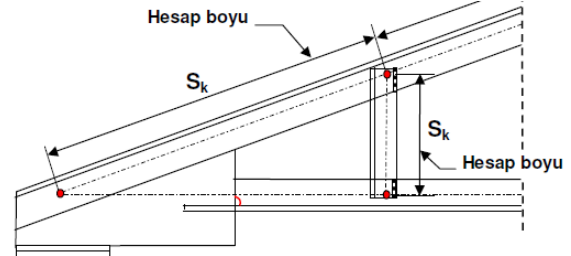
Çekme çubukları boyutlandırılırken narinlik değerleri

$$\frac{L}{i} \leq 300$$

olacak şekilde gerekli kesit alanı ve atalet yarıçapı değerlerine göre boyutlandırılır. Bu sebeple çubuğun hesap boyuna göre gerekli atalet yarıçapı değer

$$i_{ger} \geq \frac{L}{300}$$

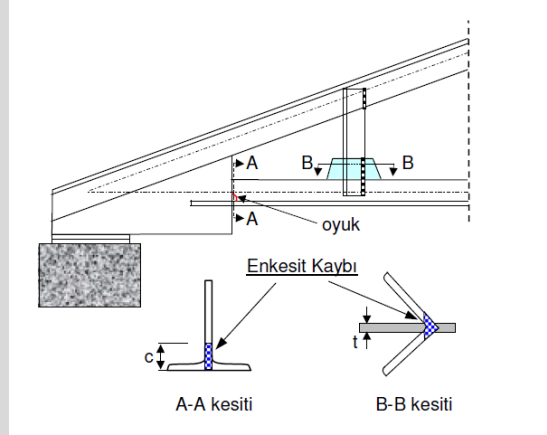
hesaplanır.



Hesaplanan bu iki değere göre profil tablosundan bu enkesit alanına ve atalet yarıçapına eşit veya üzerindeki profil seçilir. (Çift korniyer ola durumunda hesaplanan bu alanın yarısı tek korniyer için alınır.)

Profil seçimi yapıldıktan sonra düğüm noktası birleşimi teşkil edilerek geriye dönük tahkikler yapılır. Tahkik sonucunda tüm sınır durumlar için hesaplanan tasarım ve güvendi çekme dayanımı değerlerinin 1 den küçük olması gerekmektedir. Sağlamaması durumunda profil boyutları artırılarak hesap tekrarlanır. Bu hesaplamalar da ekonomiklik şartının sağlaması da esastır.

Not: Çekme çubuklarının boyutlandırılmasında düğüm noktalarında yapılacak birleşim özellikleri göz önünde bulundurularak gerek kaynaklı gerekse bulonlu birleşimlerde **enkesit kayıpları** belirlenmelidir.



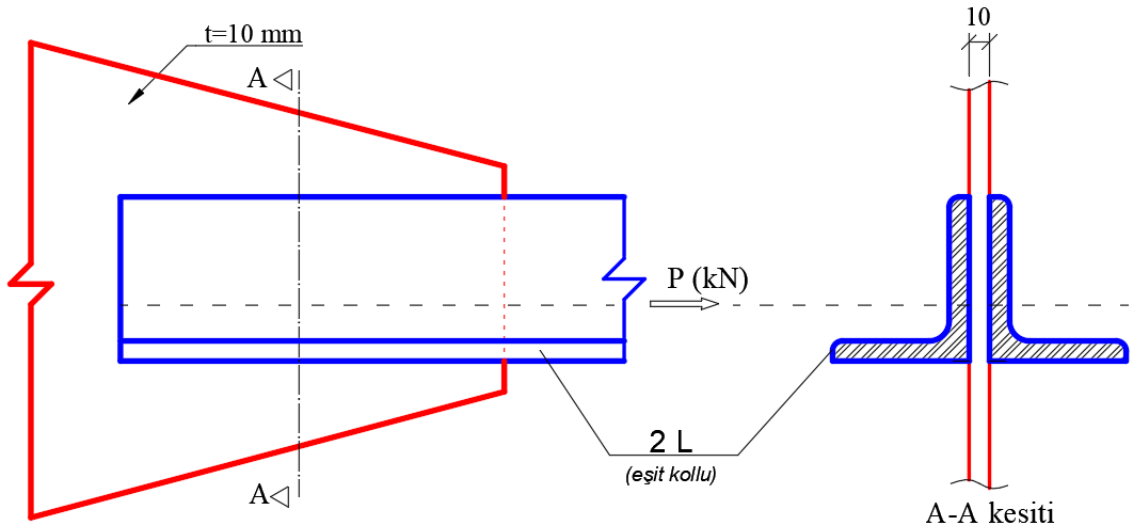
Kaynaklı birleşen bazı kesitlerde kesit kayıpları

UYGULAMA (Çekme Çubuğu Boyutlandırma)

Şekildeki eşit kollu 2L profili 10 mm kalınlığındaki bağ levhasına bağlanacaktır. Çubuk boyu 4500 mm, sisteme etkiyen çekme kuvveti $P_g=500$ kN ve $P_q=350$ kN olduğuna göre

- Çekme Çubuğunu boyutlandırınız (Uygun bir profil seçiniz)
- Birleşimi köşe kaynakla teşkil ediniz.
- Kaynaklı birleşim ile birlikte çekme çubuğu tahkiklerini YDKT veya GKT'ye göre yapınız.
- Birleşimi bulonlu şekilde teşkil ediniz.
- Bulonlu birleşim ile birlikte çekme çubuğu tahkiklerini YDKT veya GKT'ye göre yapınız.

Malzeme	Seçilecek
Kaynak metali	Seçilecek
Bulon sınıfı	Seçilecek
	Diş açılmış kısım kesme düzlemi içinde veya dışında
Bulon çapı	Uygun çap seçilecek



Boyutlandırmada P_u veya P_a değerine göre karakteristik dayanımın belirlenmesi gerekmektedir.

Karakteristik dayanım birleşim ve çekme çubuğu birlikte düşünüldüğünde hesaplanması gereken bütün karakteristik dayanımlar dikkate alınarak belirlenmelidir. Başka bir deyişle taşınması gereken en büyük yük değeri hesaplanmalıdır. Bu sebeple

$$\frac{P_u}{R_d} = 1 \rightarrow R_d = 1 \Rightarrow R_d = \phi \cdot R_n \quad \phi = R_n ' \text{ yi en büyük yapacak değer}$$

$$\frac{P_d}{R_g} = 1 \rightarrow R_g = 1 \Rightarrow R_g = R_n / \Omega \quad \Omega = R_n ' \text{ yi en büyük yapacak değer}$$

ϕ ve Ω değerleri tüm karakteristik değerleri için dikkate alınır.

Kaynaklı birleşim		Bulonlu Birleşim	
Kaynak Metali	$\phi=0,75$ $\Omega=2,00$	Bulon Kesilmesi	$\phi=0,75$ $\Omega=2,00$
		Ezilme Dayanımı	$\phi=0,75$ $\Omega=2,00$
Akma Sınır Durumu	$\phi=0,90$ $\Omega=1,67$	Akma Sınır Durumu	$\phi=0,90$ $\Omega=1,67$
Kopma Sınır Durumu	$\phi=0,75$ $\Omega=2,00$	Kopma Sınır Durumu	$\phi=0,75$ $\Omega=2,00$
Blok Kırılma Sınır Durumu	$\phi=0,75$ $\Omega=2,00$	Blok Kırılma Sınır Durumu	$\phi=0,75$ $\Omega=2,00$

Bu duruma göre $\phi=0,75$ veya $\Omega=2,00$ değerleri istenilen karakteristik değeri için uygun katsayılardır.

a) Çekme Çubuğunun Boyutlandırılması

Çekme Çubuğu belirlenmesinde hesap adımları şı şekildedir.

- Yukarıda açıklandığı üzere $\phi=0,75$ veya $\Omega=2,00$ değerlerine göre en büyük karakterisitik değeri hesaplanır.
- Hesaplanan bu değer Çekme Çubuğunun Akma Karakteristik Dayanım Kuvveti kabul edilir.
- Gerekli alan hesaplanır.
- Narinlik sınırına göre profilin gerekli atalet yarıçapı hesaplanır.

Böylelikle gerekli alan ve atalet yarıçapına göre uygun profil seçilmiş olur. Bu hesaplama profil tipi ne olursa olsun bu şekilde yapılır.

Gerekli Çekme Kuvveti

YDKT	GKT
Gerekli Çekme Kuvveti $P_u = 1,2(500) + 1,6(350) = 1160 \text{ kN}$	Gerekli Çekme Kuvveti $P_a = 500 + 350 = 850 \text{ kN}$
Gerekli Karakteristik Dayanım (Akma) $\frac{P_u = 1160}{(\phi = 0,75)R_n} = 1 \Rightarrow R_n = 1546,6 \text{ kN}$	Gerekli Karakteristik Dayanım (Akma) $\frac{P_a = 850}{R_n/(\Omega = 2,0)} = 1 \Rightarrow R_n = 1700 \text{ kN}$
Gerekli Çekme Çubuğu Alanı $R_n = T_n = F_y A_g \Rightarrow A_g = \frac{T_n}{F_y}$ $A_g = \frac{1546,6 \times 10^3}{235} = 6581,27 \text{ mm}^2$ Tek profil için $6581,27 / 2 = 3290,63 \text{ mm}^2$	Gerekli Çekme Çubuğu Alanı $R_n = T_n = F_y A_g \Rightarrow A_g = \frac{T_n}{F_y}$ $A_g = \frac{1700 \times 10^3}{235} = 7237,0 \text{ mm}^2$ Tek profil için $7237 / 2 = 3618,5 \text{ mm}^2$
Gerekli Atalet Yarıçapı $\frac{L_c}{i} \leq 300 \Rightarrow i \geq \frac{4500 \cdot (1)}{300} = 15 \text{ mm}$ Bu tek profil içinde geçerlidir.	Gerekli Atalet Yarıçapı $\frac{L_c}{i} \leq 300 \Rightarrow i \geq \frac{4500 \cdot (1)}{300} = 15 \text{ mm}$ Bu tek profil içinde geçerlidir.
Seçilen Profil L120x15 A=3390 mm² i=36,3 mm	Seçilen Profil L100x20 A=3620 mm² i=29,3 mm

Profil boyutlandırıldıktan sonra birleşim hesaplarına geçilebilir.

Bu kısımda konunun daha iyi anlaşılması adına sayısal olarak hesaplama yapılmıştır.

Devam eden hesaplamalar için ÇYI Notları Uygulama 4.6. , 4.7., ve 4.9. a bakılabilir.

BİRLEŞİMİN OLUŞTURULMASI

Çekme çubuğu seçiminden sonra Kaynak veya bulonlu şekilde birleşim teşkil edilir.

Kaynak ve bulon hesaplarında birleşim için gerekli dayanım kuvveti için, çekme çubuğu için hesaplanan gerekli dayanım kuvveti alınacaktır.

Gerekli Karakteristik Dayanım Kuvveti	Gerekli Karakteristik Dayanım Kuvveti
$\frac{P_u = 1160}{(\phi = 0,75)R_n} = 1 \Rightarrow R_n = 1546,6 \text{ kN}$	$\frac{P_u = 850}{R_n / (\Omega = 2,0)} = 1 \Rightarrow R_n = 1700 \text{ kN}$

b) ve c) Kaynaklı birleşimlerde hesaplama sırası

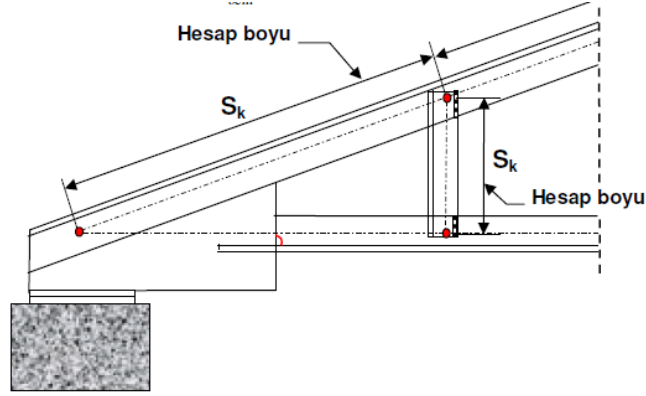
- ✓ Kaynak kalınlığı seçilmesi (min. ve maks. Kalınlıklara göre)
- ✓ Kaynak boylarının hesaplanması (L profillerde eksantriste oluşturmayacak şekilde)
Bu hesaplama taşınacak en büyük yüke göre belirlenir. Bu yük profil boyutlandırılması için daha önce hesaplanmış olan yük değeridir.
- ✓ Kaynak boylarının kontrolü yapılır
- ✓ **Kaynak metaline göre birleşimin karakterisitik dayanımı** hesaplanır. YDKT veya GKT kontrolü yapılır. Sağlamadığı durumda hesaplar düzeltilir.
- ✓ **Çekme Çubuğunun karakteristik dayanımları** (Akma, Kopma ve Blok kırılma) hesaplanır. YDKT veya GKT kontrolü yapılır. Sağlamadığı durumda hesaplarda gerekli düzeltmeler yapılır. (Gerekirse profil alanı büyütülür veya kalınlığı artırılır gibi)
- ✓ Hesaplama aşamasının bu bölümü için Uygulama 4.6 ve 4.7. ye bakılabilir.

d) ve e) Bulonlu birleşimlerde hesaplama sırası

- ✓ Yaklaşık bulon çapı belirlenir.
- ✓ Bulon sınıfı belli ise ona göre değilse bulon sınıfı da belirlenir.
- ✓ Seçilen çap ve sınıf değerlerine göre birleşimin tek ve veya çift tesirli olası da göz önünde bulundurularak bir adet bulonun kesmeye göre dayanımı hesaplanır.
- ✓ Yük profil boyutlandırılması için daha önce hesaplanmış “taşınacak en büyük yük” değeri bir adet bulonun kesme dayanım kuvvetine bölünür ve gerekli bulon adedi hesaplanır.
- ✓ Belirlenen bulon adedi minimum bulon deliği mesafeleri dikakte alınarak yerleştirilir. Bu durumda birleşim teşkil edilmiş olur.
- ✓ **Birleşimin kesme ve ezilmeye göre karakteristik dayanımları** hesaplanır. Sonrasında YDKT veya GKT kontrolü yapılır. Sağlamadığı durum olursa hesaplar düzeltilir.
- ✓ **Çekme Çubuğunun karakteristik dayanımları** (Akma, Kopma ve Blok kırılma) hesaplanır. YDKT veya GKT kontrolü yapılır. Sağlamadığı durumda hesaplarda gerekli düzeltmeler yapılır. (Gerekirse profil alanı büyütülür veya kalınlığı artırılır gibi)
- ✓ Hesaplama aşamasının bu bölümü için Uygulama 4.9 a bakılabilir.

2.4.2. Basınç Çubuklarının Boyutlandırılması

Eksenel basınç etkisindeki çubukların boyutlandırma esaslarına bağlı kalınarak boyutlandırma yapılmaktadır. Çubukların burkulma boyu olarak her bir çubuğun tarafsız eksenlerinin kesişme noktaları arası mesafeler dikkate alınmaktadır.



Esas alınan bu burkulma boyuna göre hesaplamalar “Basınç çubukları” konusunda verildiği şekilde seçilen profil enkesitine bağlı olarak **eğilmeli burkulma, burulmalı burkulma veya eğilmeli-burulmalı burkulma hesaplarına bağlı kalınarak yapılır.**

Daha Detaylı Hesaplamalar İçin ÇYI Bölüm 5 Basınç Çubukları uygulamalarına bakınız

2.5. DÜĞÜM LEVHALARI SEÇİM İLKELERİ

Düğüm noktalarında çubukları birbirine birleştirebilmek için birleştirme vasıtasına göre düğüm levhası kullanılabilir. Bulonlu birleşimlerde düğüm levhası kullanmak şarttır. Kaynaklı birleşimlerde düğüm levhalı ve levhasız düğüm noktası teşkili söz konusu olabilmektedir.

- Kaynaklı birleşimlerde düğüm noktaları seçim ilkeleri
- Bulonlu birleşimlerde düğüm noktaları seçim ilkeleri

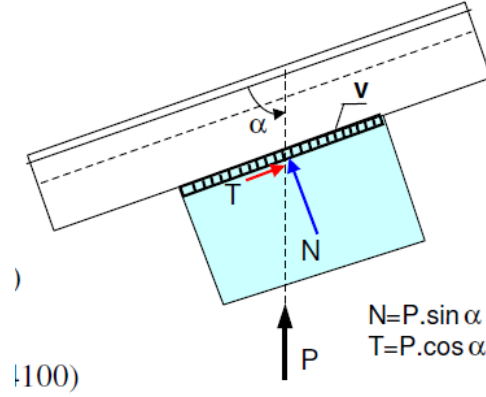
Kaynaklı Birleşimlerde Düğüm Noktaları Seçim İlkeleri

Düğüm levhasını alt veya üst başlık elemanlarına bağlayan küt kaynak dikişleri, dikme veya diyagonallerin birleşme açısına bağlı olarak **normal gerilmeye ve/veya kayma**

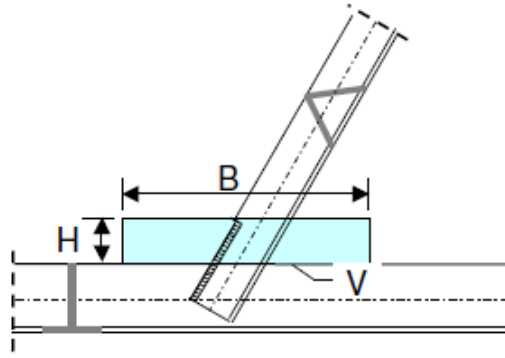
gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bu kaynakların boyutlandırılmasında aşağıda verilen gerilme ifadeleri kullanılır.

Köşe kaynaklı birleşimlerde de yine normal gerilme ve kayma gerilmeleri dikkate alınmaktadır.

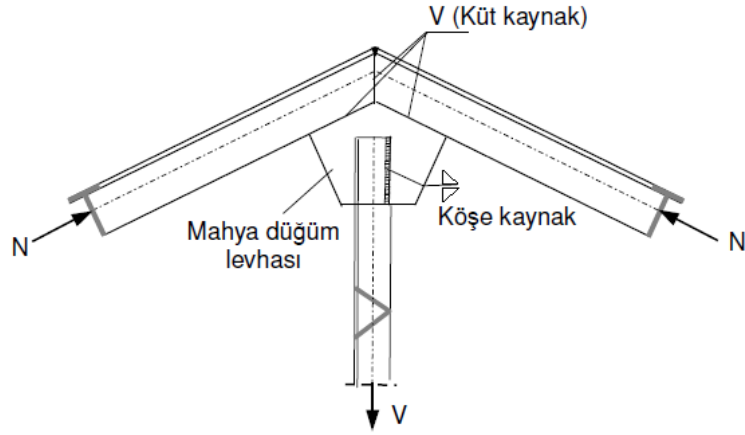
Elemanın yerleşim açısına bağlı olarak üst başlık elemanlarında bu gerilmeleri oluşturacak kuvvetler birleşim açısına bağlı olarak hesap edilebilir.



- Düğüm levhasının kalınlığı, birleştirildiği elemanın gövde kalınlığına yakın seçilir. Küt kaynak kalınlığı ve tipi (I, V, Y, X gibi) belirlenir ($a = t_{\min}$: en ince levha kalınlığıdır).
- Düğüm levhasının geometrisi mümkün olduğunca az işçilik gerektiren bir geometride seçilmelidir. Levhanın boyutları (B,H) ise küt kaynak uzunluğuna ve üzerindeki dikme veya diyagonal çubuğun köşe kaynak uzunluğuna bağlı olarak belirlenir.



- Dikme veya diyagonalin bir kısmının başlık elemanına, bir kısmının düğüm levhasına bağlanması durumunda, düğüm levhasını başlık gövdesine bağlayan **küt dikişler** düğüm levhasındaki köşe kaynakların aktardığı kuvvete göre boyutlandırılır. Bu kuvvet, toplam dikme veya diyagonal kuvvetinin kaynak uzunluğu ile lineer orantılı olarak dağıtılmasıyla elde edilebilir.

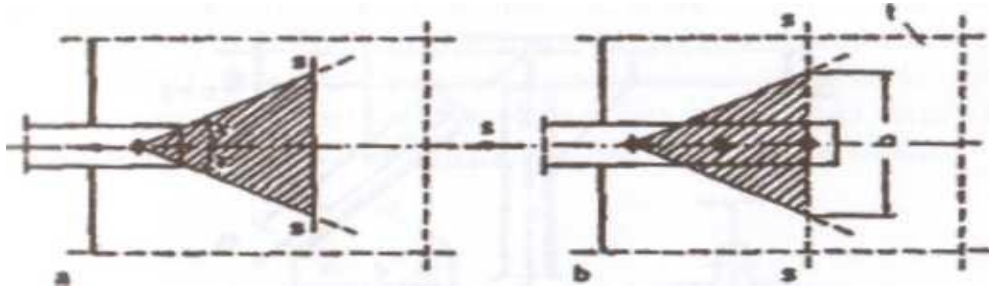


Bulonlu Birleşimlerde Düğüm Noktaları Seçim İlkeleri

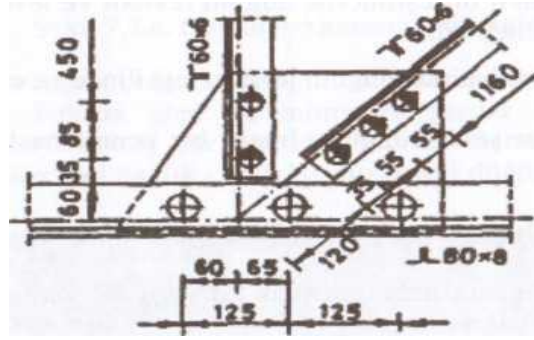
- Düğüm levhası şekli düzgün olmalı, bir kenarı başlık çubuğuna paralel olmalıdır.
- Sivri çıkıntı köşeleri ve gereksiz fazla kısımları bulunmamalıdır.
- Kenar bulon etrafında çizilecek $2d$ yarıçaplı daire yayları düğüm levhasının içinde kalmalıdır.
- Kesilip atılacak küçük levha parçaları işçiliğin artmasının dışında bir fayda sağlamayacağı ve düğüm levhasının dikdörtgen levhadan kesilerek elde edileceği göz önünde bulundurularak en az kesimle elde edilebilecek şekilde olmalıdır.



- Düğüm levhası için de kuvvetin 30° lik açı yaparak yayıldığı kabul edilir.

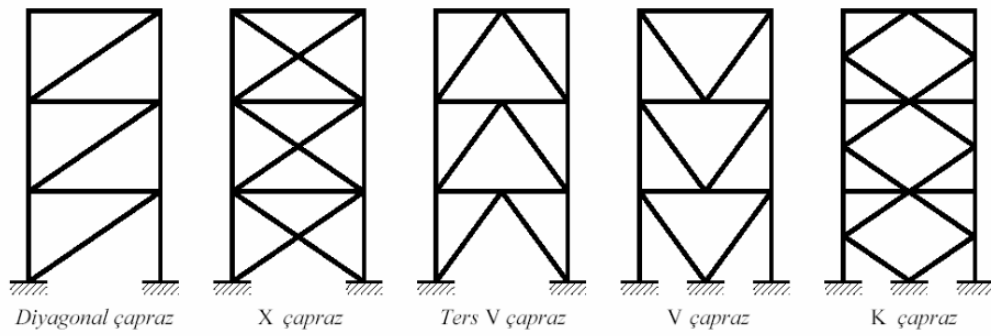


- Düğüm levhasının şekli belirlenirken, dikdörtgene tamamlandığında ebatları büyütülmek şartıyla bulon ara mesafelerinde ayarlama yapılabilir, maksimum ara mesafenin artması durumunda bulon sayısı artırılabilir.

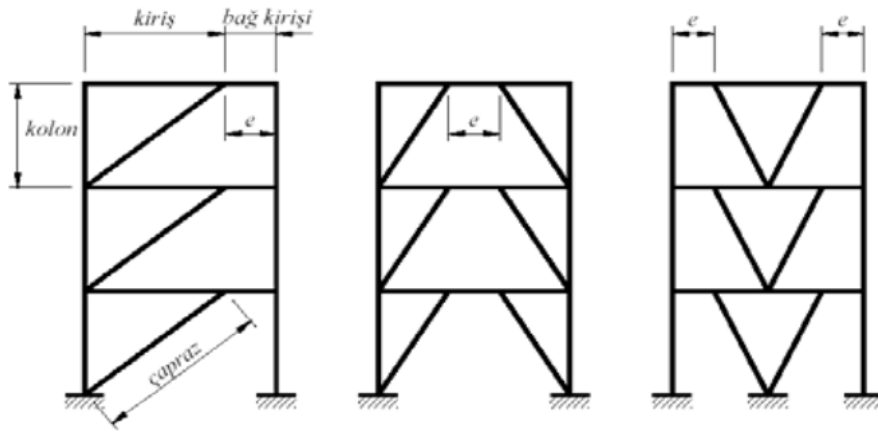


2.6. STABİLİTE BAĞLANTILARI

Stabilite bağlantıları diğer adıyla kararlılık bağlantıları çelik konstrüksiyonlarda yatayda ve düşeyde olmak üzere iki şekilde teşkil edilir. Bu elemanlar çerçeveler arası çapraz elemanlardır. Merkezi ve dış merkezi olarak iki ana başlık altında toplanabilir. Bunlarda kendi aralarında bağlantı şekillerine göre diagonal, X şekilli, V şekilli, Ters V şekilli ve K şekilli olarak gruplandırılabilir.



Merkezi Çaprazlar (Stabilite Bağlantıları)



Dış Merkezi Çaprazlar (Stabilite Bağlantıları)

Merkezi olmayan çaprazlar ise aynı merkezi çaprazlardaki şekillerde olduğu gibi ancak tam olarak düğüm noktasında birleşmezler. Merkezi olmayan çaprazlar merkezi çaprazlara göre daha sünek stabilite bağlantı elemanlarıdır.

Çelik çaprazlar yalnızca basınca ve yalnızca çekmeye çalıştığı için çekme ve basınç kapasitelerine göre birleşim detayları çözülmelidir. Deprem sonrası yapıda ilk önce çelik çaprazların burkulması veya uzaması istenir. Çaprazlar bir çeşit yapının sigortası olarak da nitelendirilebilir.

Stabilite bağlantılarının amacı,

- Yapı elemanlarının düzlemlerine dik gelen yanal etkileri almak.
- Elemanların hesaplarına temel olan başlangıç konumlarını korumalarını sağlamak.
- Montaj süresince devrilmeyi önlemek.
- Elemanların basınç başlıklarının yanal burkulma boylarını azaltmaktır.

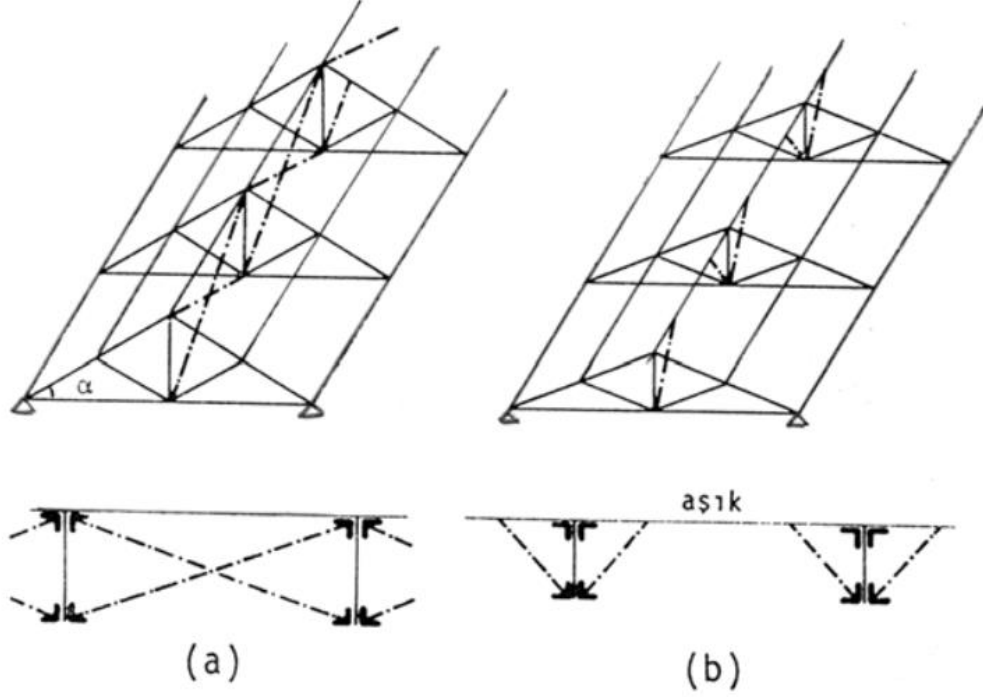
Çatı Konstrüksiyonlarında Stabilite Bağlantıları

Çatılarda kullanılan stabilite bağlantıları da genel bağlantılara benzer şekilde teşkil edilebilir. En çok kullanılanı X çaprazlardır. Bu teşkiller makaslar arası çatı düzleminde olabileceği gibi yine makaslar arası düşey düzlemde (makasa dik yönde ayrı bir makas gibi) teşkil edilebilirler.

Düşey düzleminde;

- Çatıyı hesap düzleminde tutmak
- Makas alt başlık çubuklarının düzlem dışı burkulma boyunu azaltmak

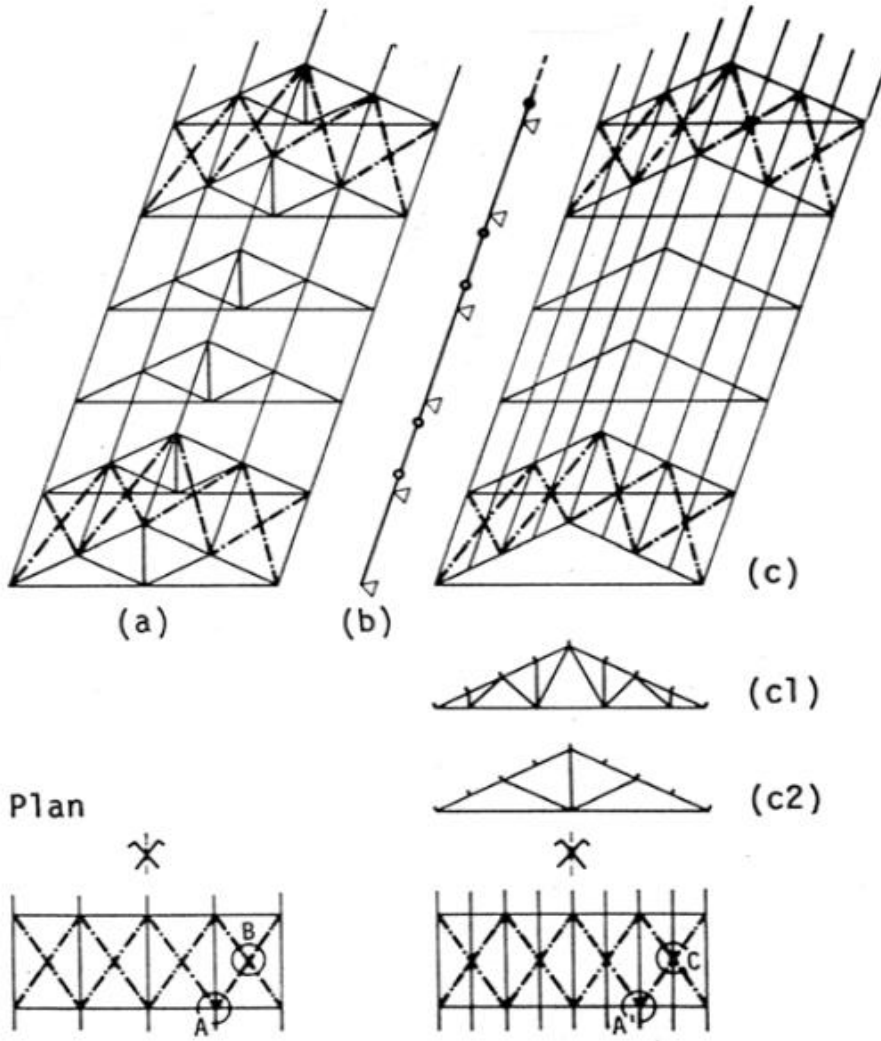
amacıyla kullanılmaktadır.



Catı düzleminde

- Yatay etkileri yan duvarlara iletmek
- Üst başlık çubuklarının düzlem dışı burkulma boyunu kısaltmak
- Devrilmeyi önlemek

amacıyla kullanılmaktadır.



BÖLÜM 3.

EĞİLMEYE ÇALIŞAN ÇELİK YAPI ELEMANLARI

3. EĞİLMEME ÇALIŞAN ÇELİK YAPI ELEMANLARI

Yapı taşıyıcı sistemlerinde sadece eğilmeye çalışan yapı elemanları genellikle kirişler ve aşıklardır. Farklı konstrüksiyon özelliklerine sahip olan kirişlerin kullanım alanları köprüler, iskeleler, endüstri yapıları, spor tesisleri, çok katlı yüksek binalar, anten yapıları, iletişim ve yüksek gerilim hatlarını ve benzerlerini kapsamaktadır.

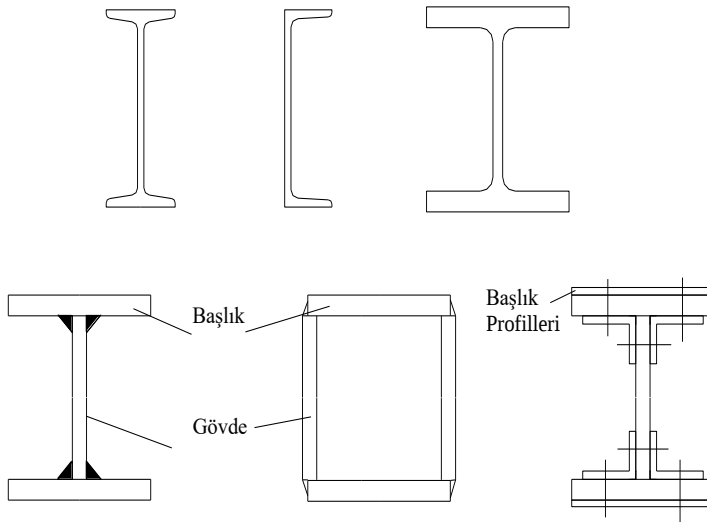
Kirişler konstrüksiyon özelliklerine bağlı olarak dolu gövdeli ve kafes kirişler olarak sınıflandırılabilir. Ancak kafes kiriş sistemler kirişlerden daha farklı hesap esaslarına sahiptir. Bu bağlamda ayrı bir konu olarak eğilmeye çalışan elemanlar dışında işlenecektir.

Dolu gövdeli kirişler ana taşıyıcı kirişler olarak kullanılabileceği gibi döşeme sistemlerinde de döşeme kirişi olarak teşkil edilmesi mümkündür.

3.1. DOLU GÖVDELİ (PROFİL) KIRIŞLAR

Dolu gövdeli kirişler özellikle eğilmeye çalışan çubuklardır. Profil seçiminde esas etken eğilme doğrultusundaki kesit özellikleridir (atalet momenti gibi). İkinci etken ise montaj kolaylığıdır. Bu sebeple en çok tercih edilen profil kesitleri I, [ve kutu profilleridir.

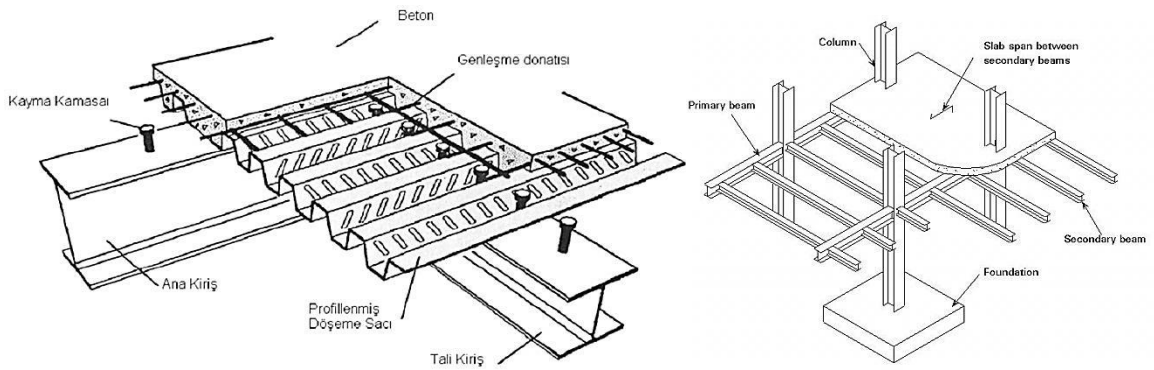
Dolu gövdeli kirişler hem hadde ürün profilleri hem de bu hadde profillerinin birlikte farklı şekillerde kaynaklı yada perçinli birleşimler yardımıyla teşkil edilmesi sonucu yapma kesitler şeklinde de kullanılmaktadır.



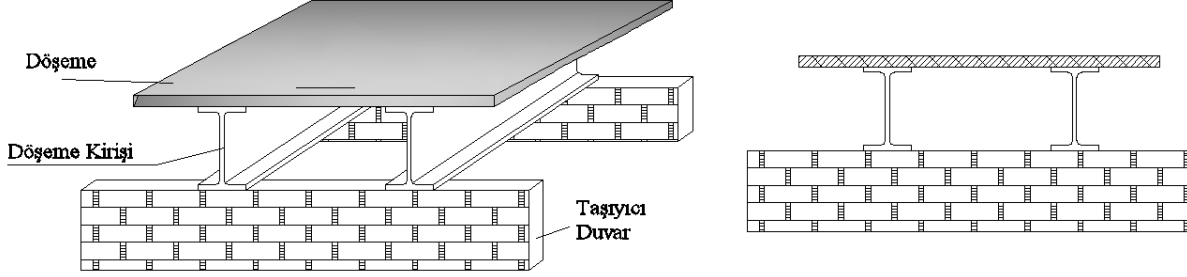
Etkiye yükler göz önünde bulundurulduğunda kirişler, bir açıklıklı, sürekli ve konsol kirişler olarak üç farklı sınıfa ayrılmaktadır. Hesaplamalarda daha çok bir açıklıklı kiriş kullanılmaktadır. Sürekli kiriş hesaplamalarında, mesnet bölgelerinde oluşan moment değerleri açıklık momentlerinde azalmaya sebep olmaktadır. Bu kiriş uzunluğu boyunca eğilme momentleri üniforma yakın bir dağılım göstermektedir. Ancak sürekli kirişlerin mesnet bölgelerindeki çökme deformasyonları ve sıcaklık değişimine bağlı kesit üzerinde ilave gerilmelerin oluşumu bu tip kirişler için dezavantaj oluşturabilmektedir.

3.1.1. Döşeme Kiriş Sistemleri

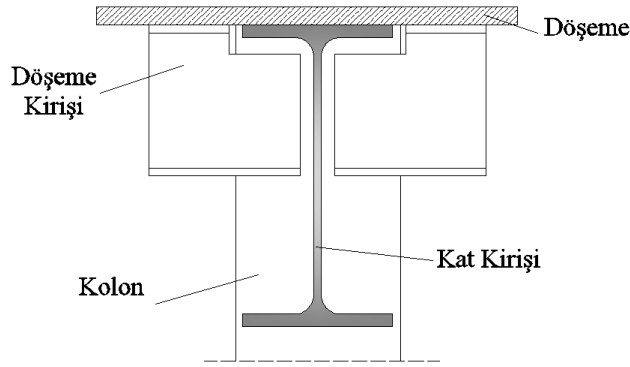
Çelik yapılarda kullanılan döşeme sistemleri basit, normal ve karma olmak üzere üç farklı şekilde düzenlenmektedir. Döşeme sistemi seçiminde başlıca etkenler etkiyen yük değerleri e gereksinim duyulan açıklık değeridir.



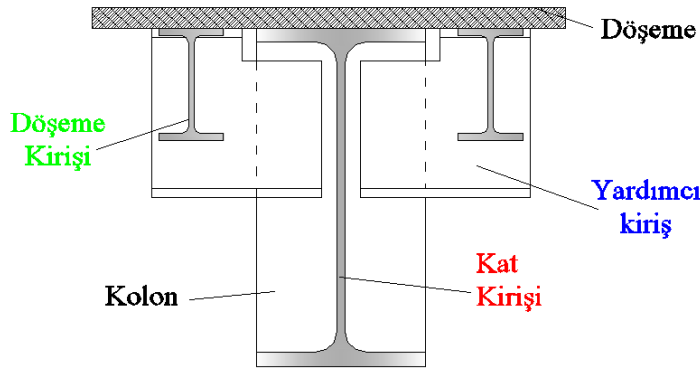
Basit kiriş düzenlenmesinde döşeme kirişleri (özellikle sanayi yapılarında) doğrudan doğruya duvar taşıyıcı elemanlarına oturtulmaktadır. Kısa açıklıklı döşeme tasarımında bu tür kiriş sistemini alınması daha faydalıdır.



Normal kiriş düzenlemesinde ise döşemeden gelen yükler kat kirişleri üzerine oturan döşeme kirişlerine aktarılır. Kat kirişleri ise duvar üstü hatılları veya kolonlara bağlatılı teşkil edilmektedir.



Karma kiriş düzenlenmesinde ise döşemeden gelen yük yardımcı kirişlere aktarılmaktadır. Yardımcı kirişler ise kat kirişlerine bağlanmaktadır. Açıklığın veya döşeme yüklerinin büyük olduğu durumlarda tercih edilen döşeme sistemidir.



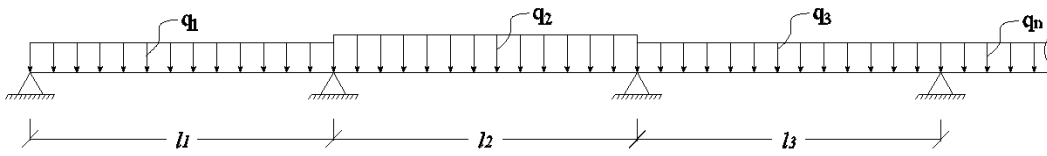
Kirişlerde Oluşan Kesit Tesirlerinin Genel Hesap Yöntemi

Kirişlerin hesaplanmasında ilk aşama, kirişe etkiyen yük durumunu belirlemektir. Daha sonra bu yükler altında moment ve kesme kuvveti değerleri hesaplanır.

Basit kiriş sistemler için iç kesit tesirlerinin (moment ve kesme kuvveti) hesaplanması kolaydır.

Ancak sürekli kirişlerde hesaplamalar elastisite teorisine dayalı statik yöntemlerden birinin kullanılması söz konusudur. Bazı özel sürekli kirişlerde ise momentler, yönetmeliklerde de yer aldığı üzere, taşıma gücü metodu yardımıyla ve kolay bağlantılarla hesaplanabilir.

➤ **Yalnız yayılı yüklerin etkimesi durumu**



Sadece düzgün yayılı yüklere maruz sürekli kirişlerde en küçük yükün ve açıklığın en büyük yüke ve açıklığa oranı 0.80 den büyük ise (aralarındaki fark % 20'den az ise)

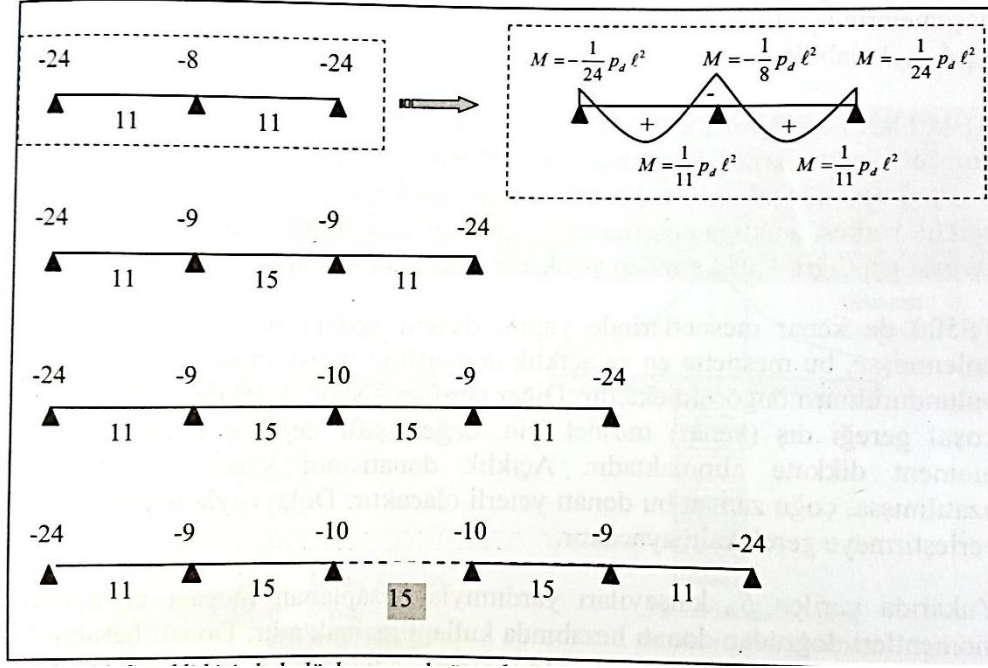
$$\frac{q_{\text{küçük}}}{q_{\text{büyük}}} > 0,80 \text{ ve } \frac{l_{\text{küçük}}}{l_{\text{büyük}}} > 0,80$$

Kenar açıklıkta moment $M_k = \frac{q_k \cdot l_k^2}{11}$

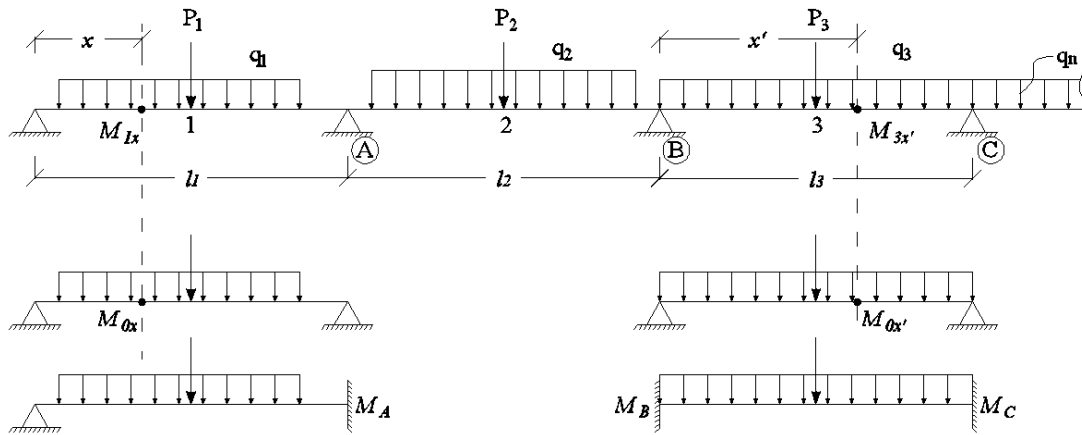
İç açıklıkta moment $M_n = \frac{q_n \cdot l_n^2}{15}$

şeklinde hesaplanabilir. Moment değerleri hesaplanırken hesap yapılan açıklık değeri ve o açıklıktaki yük değeri alınır. Eğer kiriş boyunca aynı kesit kullanılacaksa en büyük moment değerine göre hesap yapılmalıdır.

Bu katsayılar açıklık ve mesnet bölgelerinde farklı sayıda açıklık için aşağıdaki şekilde verilmektedir.



➤ Yayılı yüklerle birlikte tekil yüklerin etkimesi durumu



Düzgün yayılı yükler ile birlikte tekil yüklere de maruz sürekli kirişlerde en küçük yükün ve açıklığın en büyük yüke ve açıklığa oranı yine 0.80 den büyük ise (aralarındaki fark % 20'den az

ise) $\frac{q_{\text{küçük}}}{q_{\text{büyük}}} > 0,80$ ve $\frac{l_{\text{küçük}}}{l_{\text{büyük}}} > 0,80$

Herhangi bir açıklığın sol mesnedinden x mesafesindeki kesitinde oluşan moment değeri

$$M_{1x} = M_{ox} - 0,6 \cdot M_A \cdot \frac{x}{l_1}$$

$$M_{3x'} = M_{ox'} - 0,75 \left(M_B \cdot \frac{l_3 - x'}{l_3} + M_C \cdot \frac{x'}{l_3} \right)$$

şeklinde hesaplanır. Burada $(M_{0x}, M_{0x'})$ değerleri, ilgili açıklıkta kiriş basit kiriş şeklinde düşünülerek istenilen kesitteki hesaplanan moment değerleridir. M_A , M_B ve M_C değerleri ise kirişin ankastre mesnet momenti değeridir.

3.1.2. Profil (Dolu Gövdeli) Kirişlerin Hesaplanması

Dolu gövdeli kirişlerin hesaplanması öncelikle kirişin statik durumu belirlenir. Bu ilk aşamada, mesnetlenme türü, bunlara göre hesap açıklıkları ve yükler saptanmaktadır. Kirişlerde hesap açıklığı, mesnetlerinin eksenleri arasındaki mesafedir. Kiriş duvar veya kolon üzerine doğrudan oturuyorsa, hesap açıklığı olarak net açıklığın (temiz açıklığın) % 20 artırılmış değeri kullanılmalıdır. Bu artırma işleminde min 12 cm değeri alınmalıdır.

Kirişin statik konumunun belirlenmesinden sonra kirişe ait moment ve kesme kuvveti değerleri belirlenir. Bu belirleme işleminden sonra enkesit seçimine geçilir. En kesit belirlenmesi kesitte oluşan iç kuvvetlere bağlı olarak gerilme kontrolü ve sehim kontrolü şeklinde yapılmaktadır.

Etkiyen yüklerden kaynaklı oluşan moment, kesitte asal çekme ve asal basınç gerilmeleri oluşturmaktadır. Bununla birlikte kirişte oluşan kesme kuvvetine değerine bağlı da kiriş kesitinde kayma gerilmeleri meydana gelecektir. Etkiyen yüke ve çelik sınıfına göre gerekli tahkikler sınır durumlar dikkate alınarak yapılabilmektedir.

a) Eğilmeye Çalışan Kesitlerde Oluşan Gerilmeler

a.1) Eğilme Gerilmesi

Dolu gövdeli kirişler eğilmeye çalışan çubuk şeklinde hesaplanmaktadır. Boyutlandırmada esas olan yöntem taşıma gücü yöntemidir. Kirişe etkiyen yükler altında kirişte oluşan eğilme momenti ve kesme kuvvetine değerlerine bağlı olarak emniyet gerilmesi değerlerine göre kıyaslama yapılarak boyutlandırma yapılmaktadır. Yani kesitte oluşan iç kuvvet değerleri kesitin taşıma gücü değerini aşmamalıdır. Emniyet gerilmesi değerleri ile birlikte kirişin şartnamelerde verilen maksimum sehim şartlarını da sağlaması gerekmektedir.

Elastik sınırdaki eğilmeye çalışan yapı elemanlarının bir asal düzlemde eğilme dayanımı

$$F_y \geq \frac{M_{mak}}{W_{ex,min}} \quad veya \quad F_y \geq \frac{M_{mak}}{I_x} y_{max}$$

şartlarının sağlanmasıyla temin edilebilir.

Burada,

M_{mak} : Etkiyen yüklerden dolayı elemanın tehlikeli kesitine oluşan eğilme momenti değeri

I_x : Kiriş kesitin eğilme doğrultusundaki atalet momenti

$W_{ex,min}$: Zayıflatılmış kesitin mukavemet momenti

S : Kesitin kaymaya çalışan kısmının tarafsız eksene göre statik momenti

F_y : Çelik malzemesinin akma gerilmesi değeri

τ : Çelik malzemesinin akma sınırındaki çekme emniyet gerilmesi değerleri

Dolu gövdeli kirişe her iki yönde de eğilme momenti etkimesi durumunda ise emniyet gerilmesi ifadesi,

$$F_y \geq \frac{M_{x,mak}}{I_x} y_{max} \pm \frac{M_{y,mak}}{I_y} x_{max}$$

şeklinde tahkik edilmektedir.

a.2) Makaslama (Kayma) Gerilmesi

Kiriş kesitinde dış yüklerden dolayı oluşan kesme kuvvetine karşı dayanım şartı

$$\tau \geq \frac{Q_{mak} \cdot S}{b \cdot I_x} \quad \tau = 0,6 \cdot F_y$$

değerlerinin sağlanması durumunda elde edilmektedir. Burada,

Q_{mak} : hesaplama yüklerine göre elemanın tehlikeli kesitine göre uygun yük birleşimi sonucu elde edilen kesme kuvveti değerleri

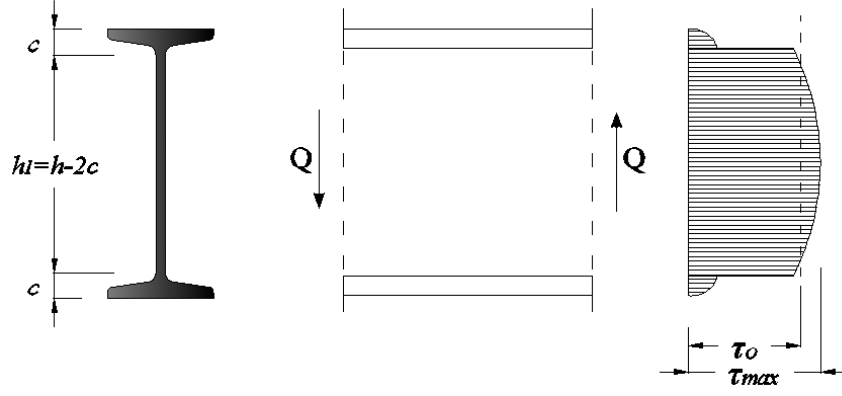
τ : çelik malzemesinin akma sınırındaki kayma gerilmesi değeri

I_x : kiriş kesitin eğilme doğrultusundaki atalet momenti

S : kesitin kaymaya çalışan kısmının tarafsız eksene göre statik momenti

b : gerilme hesaplanan yerdeki en kesit genişliği

I kesitli bir kirişte, etkiyen yüklere bağlı olarak kesitte τ (kayma) gerilmeleri gövde üzerinde başlıktakinden daha fazla oluşmaktadır. Aşağıdaki şekilde I kesit üzerindeki kayma gerilme dağılımı görülmektedir.

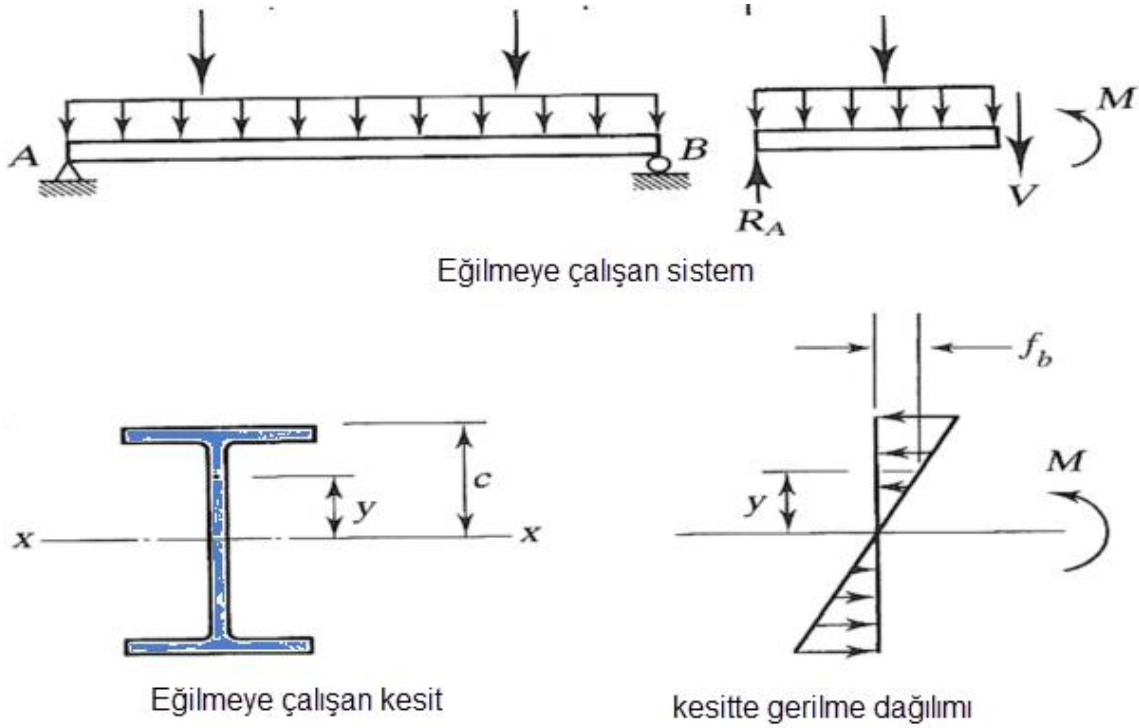


Şekilden anlaşılacağı üzere kesite etkiyen Q kesme kuvveti pratik olarak gövde tarafından karşılanmaktadır. τ diyagramının gövde üzerindeki parabol eğrisi çok yatık olduğu için τ_{mak} maksimum makaslama gerilmesi τ_o ortalama gerilmeye eşit alınabilir.

$$\tau_{mak} \cong \tau_o = \frac{Q}{A_{göv}} \qquad \tau_o = \frac{Q_{mak}}{h_1 \cdot t_g} \leq \tau$$

Burada $A_{göv}$ kirişin gövde enkesit alanıdır. Oluşan bu gerilme değerinin şartını sağlaması gerekmektedir.

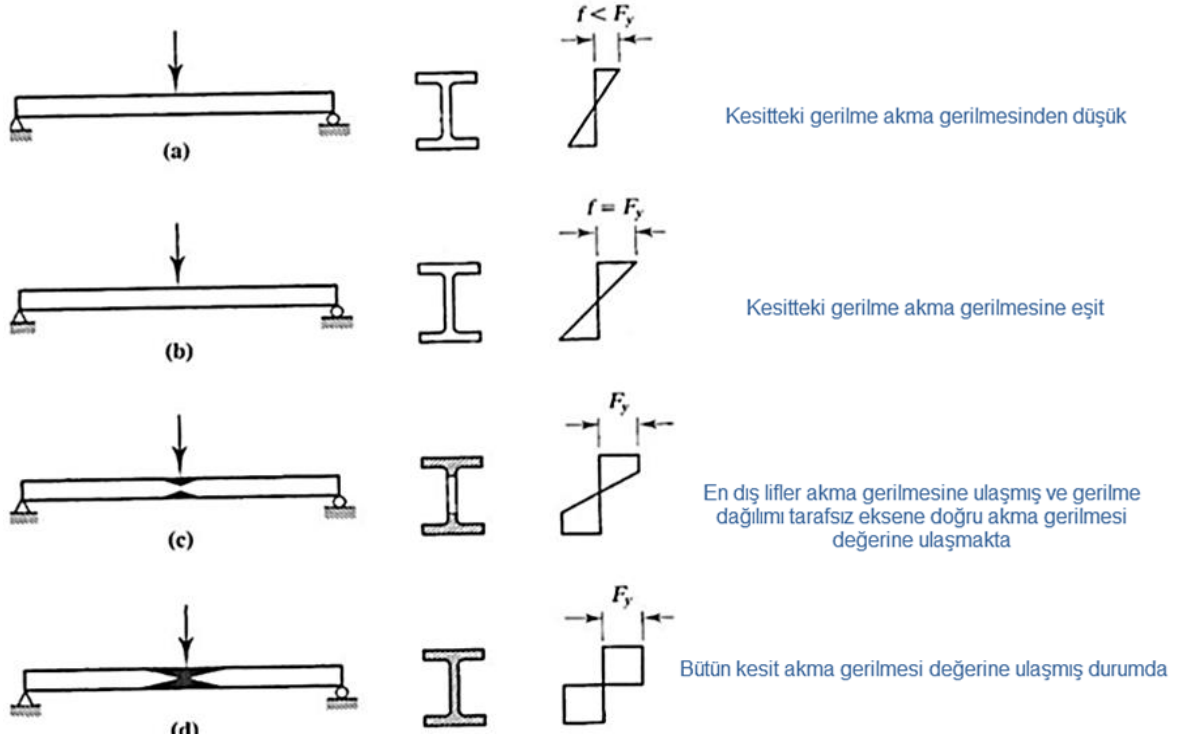
Eğilmeye Çalışan Elemanların Genel Davranışı



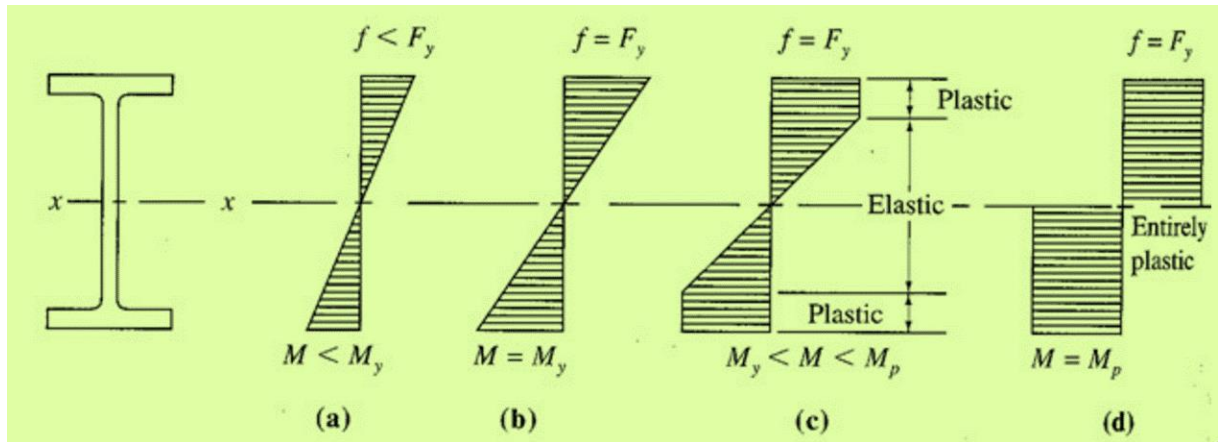
x-ekseninde eğilme etkisi altındaki I-enkesitli eleman boyunca tarafsız eksenin altında ve üstünde kalan eleman lifleri boy değiştirir.

Gözönüne alınan kiriş enkesitinde uygulanan eğilme momenti için alt lifler çekmede iken, üst lifler basınçta olacaktır.

Çekme ve basınç etkilerine maruz eğilmeye çalışan elemanlarda akma momenti ve plastik moment değerlerinin hem tahkik hemde boyutlandırma için bilinmesi, başka bir deyişle hesap edilmesi gerekmektedir.

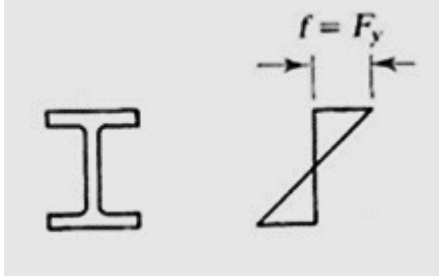


Eğilme momenti artışına göre kesitteki gerilme dağılışı (1)



Eğilme momenti artışına göre kesitteki gerilme dağılışı (2)

Akma Momenti



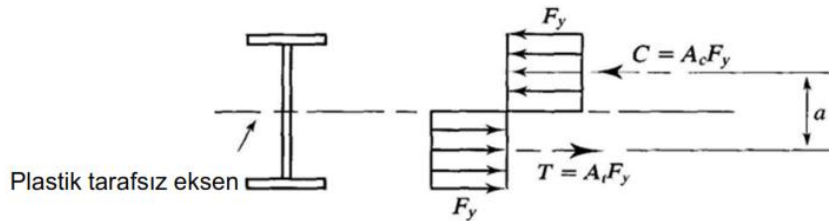
$$f_{\max} = \frac{M_x y_{\max}}{I_x} = \frac{M_x}{I_x / y_{\max}} = \frac{M_x}{W_{ex}}$$

$$M_x = f W_{ex}$$

M_x : x-ekseninde eğilme etkisindeki enkesitin en dış lifinde akma gerilmesine ulaşıldığı akma momenti

Plastik Moment

Plastik moment değeri bütün enkesitin (en çok zorlanan enkesitte) akma gerilmesi değerine ulaştığı anda çekmeye ve basınca çalışan kesitlerdeki gerilmelerin dengesi şeklinde karşımıza çıkar. Kesitin üstü çekmeye çalışırken, tarafsız eksenin altı basınca çalışmaktadır. I profil için çekmeye ve basınca çalışan alanlar eşit olacağı için plastik moment değeri plastik mukavemet momenti ile akma gerilmesinin çarpımı şeklinde ifade edilebilir.



$$C = T$$

$$A_c F_y = A_t F_y$$

$$M_p = F_y A_c a = F_y A_t a = F_y \frac{A}{2} a = F_y W_{px}$$

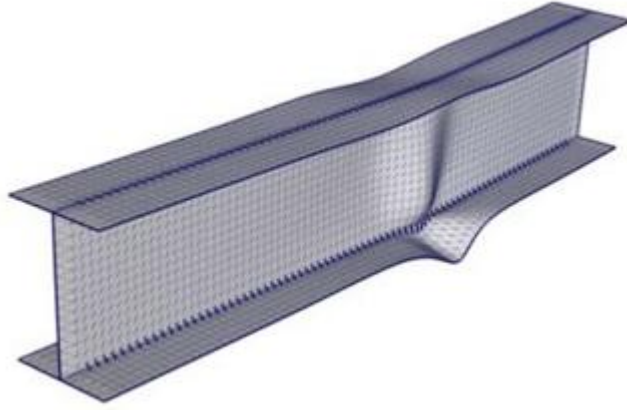
A : Toplam enkesit alanı

a : Plastik tarafsız eksenin iki tarafındaki alanların ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık

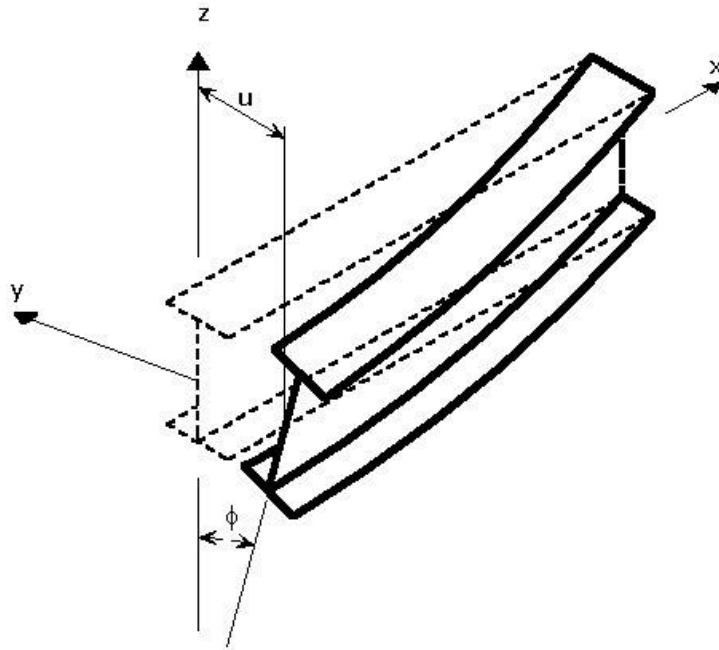
W_{px} : x-ekseni etrafında plastik mukavemet momenti

M_p : Plastik eğilme momenti

Akma momenti ve plastik moment değerlerinin birbiri ile ilişkisi vardır. Bu ilişki enkesit şekline bağlı olarak şekil faktörü ile adlandırılır. Şekil faktörü akma momentinden sonra enkesitin sahip olduğu ilave eğilme momenti dayanımının bir göstergesi olarak tanımlanamamaktadır ve plastik momentin akma momenti değerine oranı olarak hesap edilir.



Yerel burkulma



Yanal burulmalı burkulma

EĞİLMEYE ÇALIŞAN ELAMANLARIN HESAPLANMASINDA GENEL ESASLAR

Tüm eğilme etkisindeki elemanlar için

$$\phi_b = 0,90 \quad YDKT \quad \Omega_b = 1,67 \quad GKT \quad \text{alınarak}$$

tasarım eğilme momenti dayanımı, $\phi_b M_n$, veya güvenli eğilme dayanımı, M_n / Ω_b belirlenir.

Eğilme etkisindeki elemanların karakteristik eğilmem momenti dayanımı, M_n , olası her bir göçme sınır durumu için belirlenecek dayanımların en küçüğü alınarak hesap edilir. Bu hesaplamalar için yönetmelikte verilen sınır durumları, eğilme etkisine maruza elemanın enkesit özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Bu tabloda verilen sınır durumları;

- 1) Akma sınır durumu
- 2) Yerel burkulma sınır durumu
- 3) Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
- 4) Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu
- 5) Basınç başlığı akma sınır durumu
- 6) Çekme başlığı akma sınır durumu

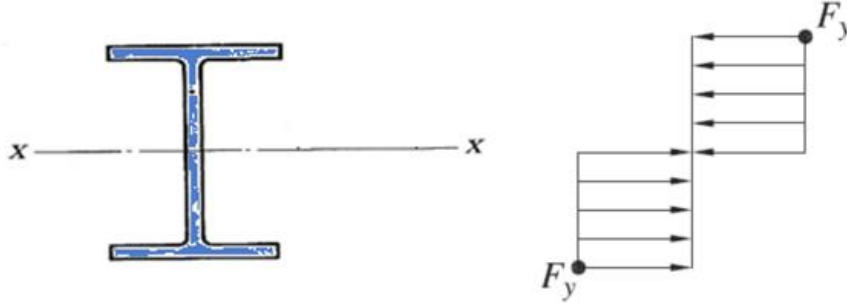
şeklindedir.

Hesaplamalarda daha çok akma, yanal burulmalı burkulma, ve yerel burkulma sınır durumları hesap edilmektedir. Bu sınır durumların hangi parametrelere bağlı oldukları ve hesaplama esasları sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır.

Eleman Tanımı	Karakteristik Eğilme Momenti İçin Dikkate Alınacak Sınır Durumlar
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, gövde ve başlık parçaları <i>kompakt</i> sınıfında olan U-enkesitli ve çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	- Akma sınır durumu - Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, enkesitin gövde parçası <i>kompakt</i> ve başlık parçaları <i>kompakt olmayan</i> veya <i>narin</i> sınıfında olan çift simetri eksenli I enkesitli elemanlar	- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu - Yerel burkulma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, enkesitin gövde parçası <i>kompakt olmayan</i> çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar ile gövde parçası <i>kompakt</i> veya <i>kompakt olmayan</i> , gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli (farklı başlık enkesitine sahip) elemanlar	- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu - Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu - Basınç başlığı akma sınır durumu - Çekme başlığı akma sınır durumu
Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, <i>narin</i> gövde parçasına sahip, çift simetri eksenli elemanlar ve gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli elemanlar	- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu - Basınç başlığı yerel burkulma sınır durumu - Basınç başlığı akma sınır durumu - Çekme başlığı akma sınır durumu
Zayıf asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, U-enkesitli ve I-enkesitli elemanlar	- Akma sınır durumu - Yerel burkulma sınır durumu
Kutu enkesitli elemanlar	- Akma sınır durumu - Başlığın yerel burkulma sınır durumu - Gövdenin yerel burkulma sınır durumu
Boru enkesitli elemanlar	- Akma sınır durumu - Yerel burkulma sınır durumu
Simetri düzleminde yük etkisindeki çift korniyer ve T-enkesitli elemanlar	- Akma sınır durumu - Yanal burulmalı burkulma sınır durumu - Başlığın yerel burkulma sınır durumu - Gövdenin yerel burkulma sınır durumu
Tek korniyerler	- Akma sınır durumu - Yanal burulmalı burkulma sınır durumu - Yerel burkulma sınır durumu
Dolu enkesitli elemanlar	- Akma sınır durumu - Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
Simetri enkesiti olmayan enkesite sahip elemanlar	- Akma sınır durumu - Yanal burulmalı burkulma sınır durumu - Yerel burkulma sınır durumu

3.2. AKMA SINIR DURUMU

Kiriş enkesiti tam olarak plastikleşene kadar stabil kalacak şekilde (yerel ve yanal burkulma sınır durumuna ulaşılmadan) boyutlandırılırsa, kiriş enkesitinde plastik moment dayanımına ulaşabilir. Bu durumda, kirişin karakteristik moment dayanımı plastik moment dayanımına eşit alınabilir.



Bu durumda akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p = F_y \cdot W_p$$

şeklinde hesaplanır. Burada;

M_n : Karakteristik eğilme momenti dayanımı.

M_p : Plastik eğilme momenti.

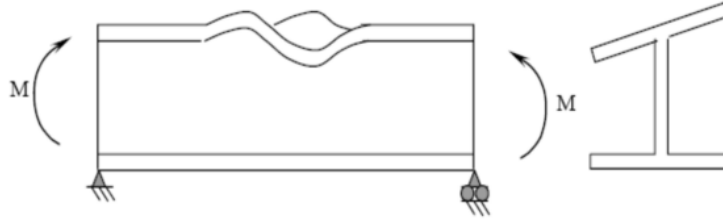
F_y : Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi.

W_p : eğilme eksenine etrafında plastik mukavemet momenti.

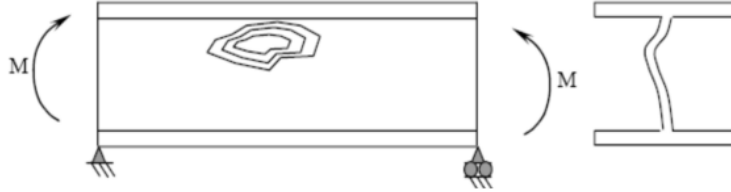
3.3. YEREL BURKULMA SINIR DURUMU

Yerel burkulma enkesit parçaları düşünüldüğünde gövdede veya başlıkta gerçekleşir. Salt aksenal basınca maruz elemanlarda olduğu gibi bu elemanların da narinlikleri eğilme burkulması bakımından önemlidir. Ancak eğilme burkulmasında yönetmelikçe farklı gruplandırmalar yapılmış ve hesaplamalarda bunların dikkate alınması istenmektedir.

Eğilme burkulması sınır durumunda enkesit parçaları sınır narinlik değerlerine göre kompakt enkesit parçası, kompakt olmayan enkesit parçası veya narin enkesit parçası olarak 3'e ayrılmaktadır.



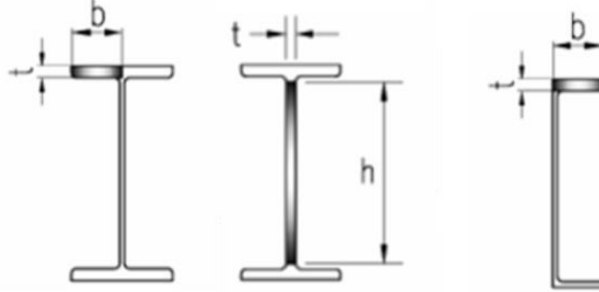
Başlık elemanında yerel burkulma



Gövde elemanında yerel burkulma

Bir kesit parçasının kompakt, kompakt olmayan ve narin enkesit parçası olup olmadığına Tablo 5.1B de verilen sınır narinlik değerlerinin hesaplanmasıyla karar verilmektedir.

λ : başlık veya gövde parçaları için genişlik/kalınlık oranı(=h/t veya b/t) olmak üzere kesite bağlı hesaplanan kesit narinlik değeridir.



Hesaplanan enkesit parçası narinliği ilgili tablodan (Tablo5.1B) alınacak

λ_p : kompakt/kompakt olmayan enkesit parçası için sınır narinlik

λ_r : kompakt olmayan/narin enkesit parçası için sınır narinlik

değerlerine göre kıyaslanarak kesitin durumu

$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow$ kompakt enkesit parçası

$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r \rightarrow$ kompakt olmayan enkesit parçası

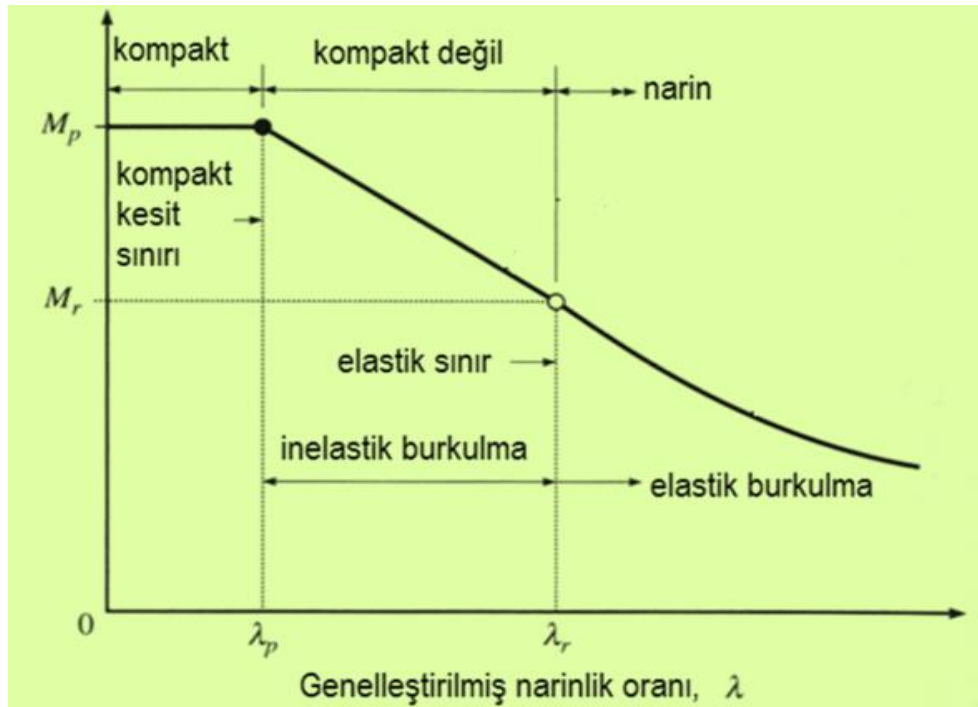
$\lambda \geq \lambda_r \rightarrow$ narin enkesit parçası

şeklinde belirlenir ve gerekli hesaplamalar yapılır.

Tablo 5.1B
Eğilme Momentinin Basınç Bileşeni Etkisindeki Enkesit Parçaları için
Genişlik / Kalınlık Oranları

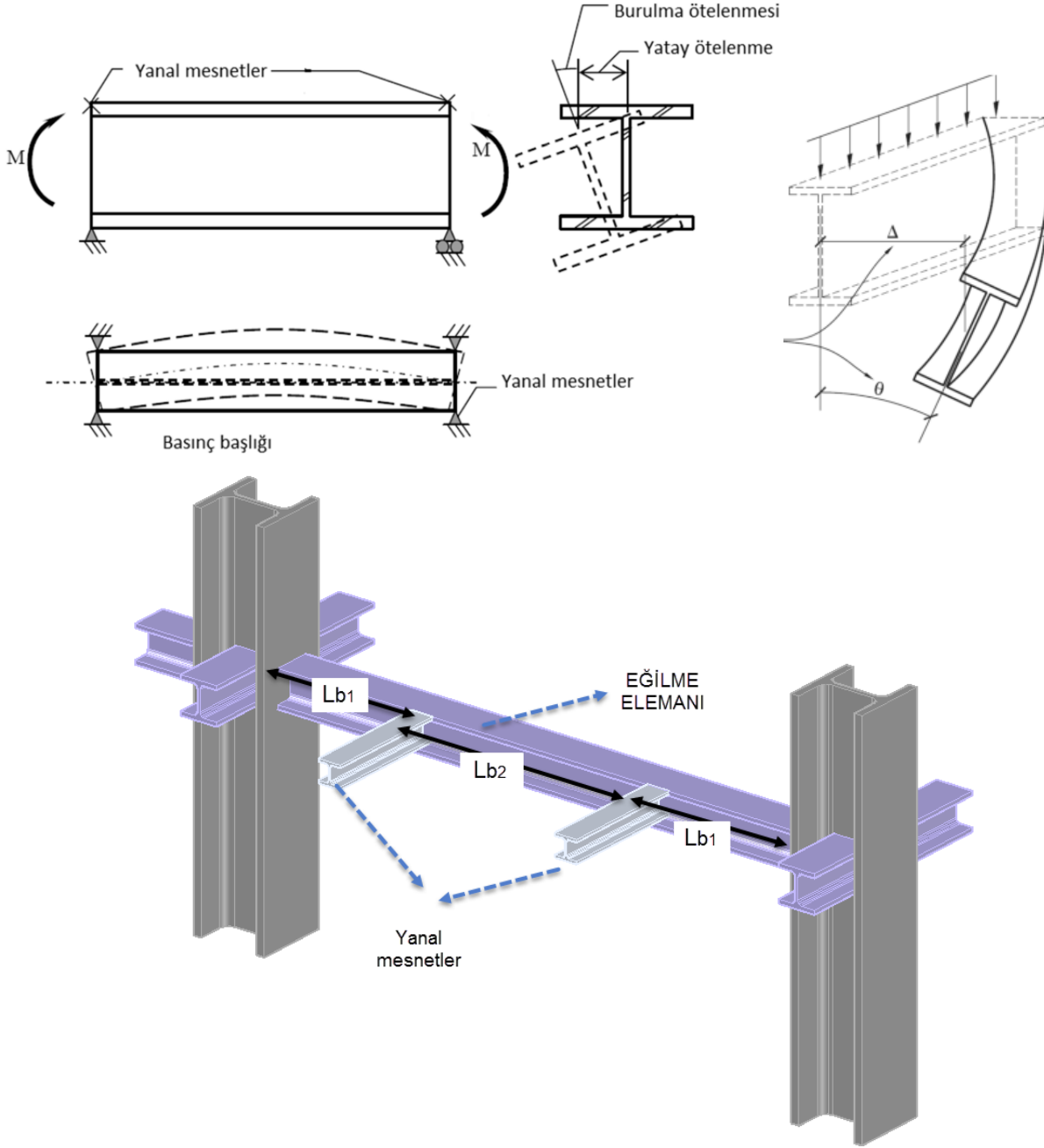
	Durum	Tanım	Genişlik/ Kalınlık Oranı, λ	Genişlik / Kalınlık Oranı Sınır Değerleri		Enkesit
				λ_p (kompakt / kompakt olmayan)	λ_r (kompakt olmayan / narin)	
Rijitleştirilmiş Enkesit Parçası	10	Hadde I-profiller, U-profiller ve T-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Tek ve çift simetri eksenli yapma I-enkesitli elemanların başlıkları	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ [a] [b]	
	12	Tek korniyerlerin kolları	b/t	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Zayıf eksen etrafında eğilme etkisindeki tüm I-enkesitli elemanlar ve U-profiller	b/t	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	T-enkesitli elemanların gövdeleri	d/t	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

$M_n = M_p$ olabilmesi için kiriş enkesit parçalarının kompakt eleman koşullarına uygun olması gerekir. Enkesit parçaları kompakt değilse, narinlik oranına bağlı olarak kiriş enkesitinde ulaşılabilecek moment değeri M_p ile M_r arasında değişecektir.



Karakteristik moment dayanımı-narinlik oranı ilişkisi

3.4. YANAL BURULMALI-BURKULMA SINIR DURUMU



Enkesitin hem burulma sonucu dönme hemde burkulma sonucu yatay ötelenme gerçekleşmesiyle oluşan göçme durumudur.

L_b : Basınç başlığında yanal yerdeğiştirmenin ve enkesit burulmasının önleendiği noktalar arasındaki eleman uzunluğu (stabilite bağlantısı ile desteklenmeyen eleman uzunluğu).
 L_p : Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk.
 L_r : Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk.

olmak üzere kirişin basınç başlığının yanal olarak desteklenme durumu L_b 'nin L_p 'ye göre

$L_b \leq L_p$ ise kiriş basınç başlığı yanal olarak desteklenmiş
 $L_b > L_p$ ise kiriş basınç başlığı yanal olarak desteklenmemiş

şeklinde olmasıyla belirlenir.

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu için, aşağıda (a), (b) ve (c) maddelerinde tanımlanan göçme sınır durumları için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

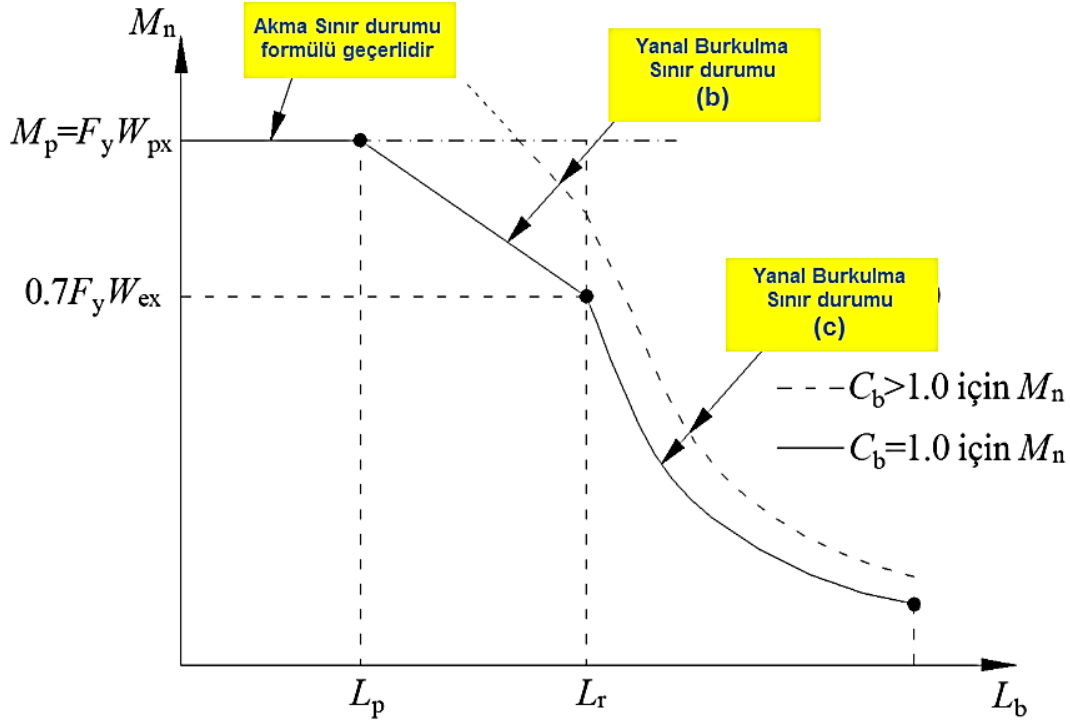
(a) $L_b \leq L_p$ ise bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur. (Diğer sınır durumlara bakılır)

(b) $L_p \leq L_b \leq L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

(c) $L_b > L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = F_{cr} \cdot W_{ex} \leq M_p$$



Basınç başlığının yanal olarak desteklenmeyen uzunluğa bağlı olarak karakteristik eğilme momenti dayanımı

(a), (b) ve (c) maddelerinde yer alan formüller içerisindeki ifadeler için

Kritik gerilme F_{cr} :

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{Jc}{W_{ex} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}}\right)^2}$$

L_p ve L_r sınır uzunlukları

$$L_p = 1,76 \cdot i_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1,95 \cdot i_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex} h_o}\right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E}\right)^2}}$$

Kesit durumuna bağlı olarak yukarıdaki formülde alınacak c katsayıları

(i) Çift simetri eksenli I enkesitlerde: $c = 1$

(ii) U enkesitlerde $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

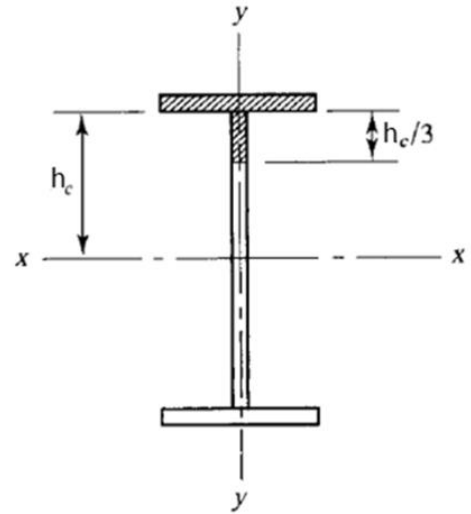
$h_o = d - t_f$ (başlık ağırlık merkezleri arası mesafe)

Etkin Atalet Yarıçap i_{ts}

Genel ifade olarak $i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ex}}$ şeklinde hesaplanır.

Ancak çift simetri eksenli I-enkesitlerde, güvenli tarafta kalınarak, etkin atalet yarıçapı, i_{ts} , için enkesit basınç başlığı ve gövdesinin (1/6) sı ile tanımlanan parçasının düşey simetri eksenine göre aşağıdaki şekilde hesaplanan atalet yarıçapı kullanılabilir.

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}}$$



C_b Katsayıları (Moment Düzeltme Katsayıları)

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda, yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki uzunluk boyunca, eğilme momenti yayılımının olumlu katkısı moment düzeltme katsayısı, C_b, ile hesaba katılabilir.

C_b katsayısı çift simetri eksenine sahip, tüm elemanlar ve tek simetri eksenine sahip tek eğrilikli eğilme etkisinde olan elemanlar için kullanılabilir. Çift eğrilikli eğilme etkisindeki tek simetri eksenli elemanlar için, C_b değeri analizle belirlenmelidir.

Yüklemeye durumlarına göre belirli noktalarda tekil yük ve düzgün yayılı yük yüklü elemanlar için C_b katsayıları aşağıdaki abakta verilmektedir.

Yüklemeye şekline benzer yüklemelerde yanda verilen katsayılar alınabilir ancak farklı yüklemeye durumları için yukarıda verilen formül kullanılmalıdır.

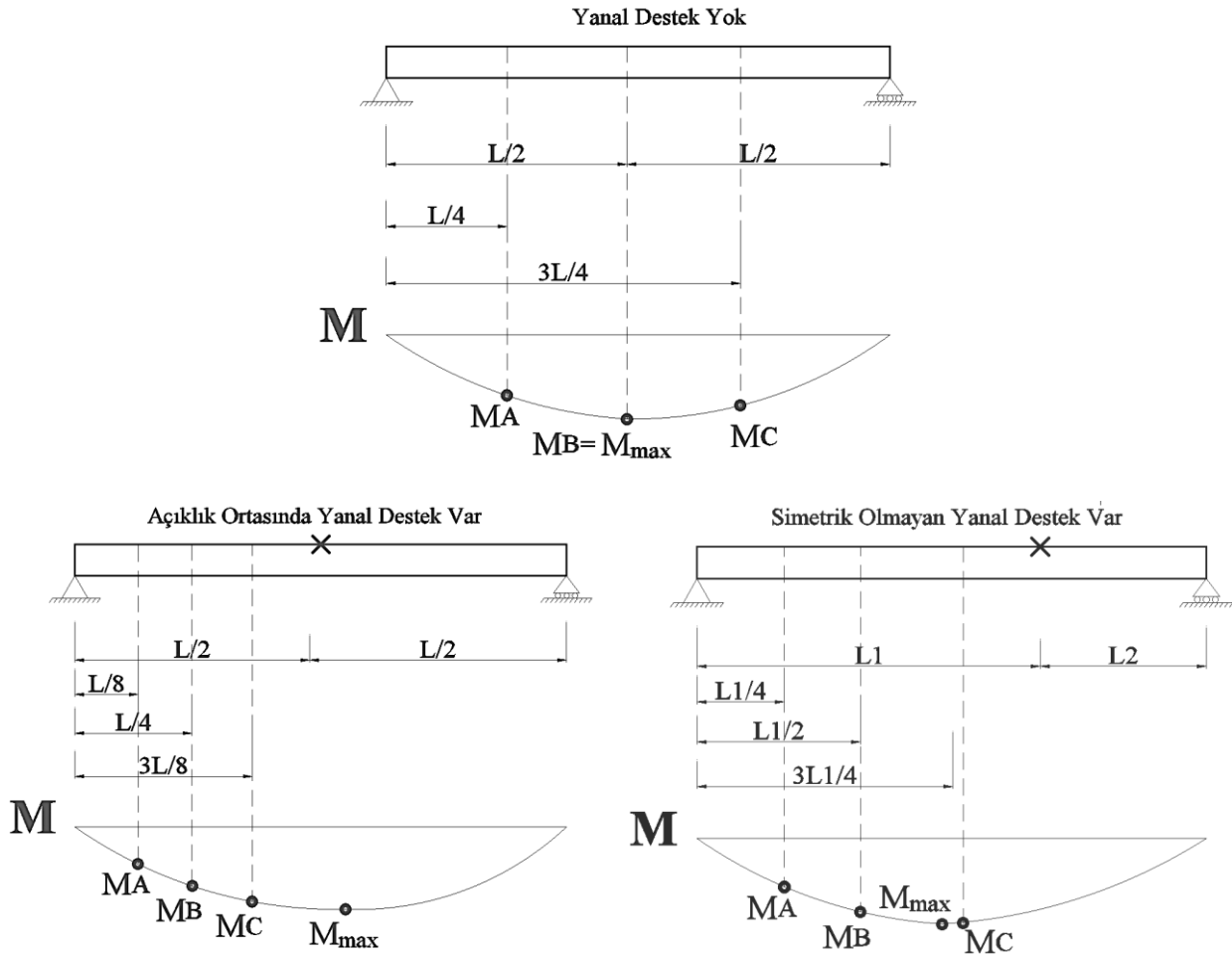
$$C_b = \frac{12.5M_{maks}}{2.5M_{maks} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

M_{maks} :Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğu boyunca en büyük eğilme momentinin mutlak değeri.

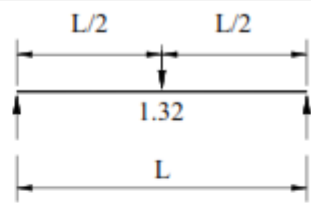
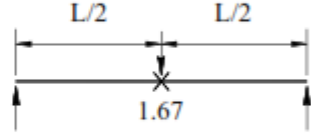
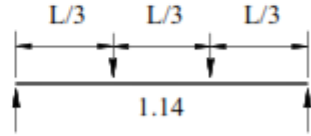
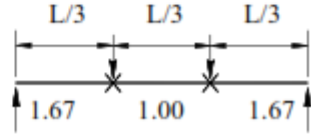
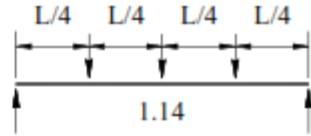
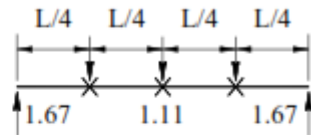
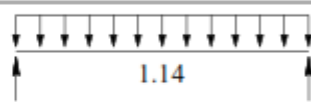
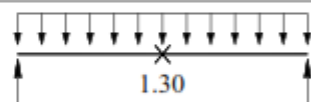
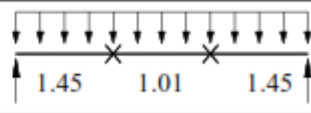
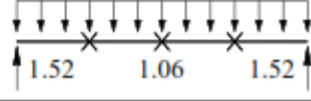
M_A :Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğunun $\frac{1}{4}$ noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri.

M_B :Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğunun $\frac{1}{2}$ noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri.

M_C :Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğunun $\frac{3}{4}$ noktasındaki eğilme momentinin mutlak değeri.



Farklı aralıklı yanal destek düzenlemelerine göre C_b moment düzeltme katsayısı değerleri

Yükleme Durumu	Yanal Destek Düzeni	C_b
Kiriş ortasında tekil yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş ortasında tekil yük	Açıklık ortasında yanal destek var	
Kiriş açıklığının 1/3 noktalarında tekil yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş açıklığının 1/3 noktalarında tekil yük	Açıklığın 1/3 noktalarında yanal destek var	
Kiriş açıklığının 1/4 noktalarında tekil yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş açıklığının 1/4 noktalarında tekil yük	Açıklığın 1/4 noktalarında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklıkta yanal destek yok	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklık ortasında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklığın 1/3 noktalarında yanal destek var	
Kiriş boyunca düzgün yayılı yük	Açıklığın 1/4 noktalarında yanal destek var	
Not: Yukarıdaki tüm düzenlemelerde mesnetlerde de yanal destek sağlanmaktadır.		

1- Kuvvetli Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki, Kompakt Gövdeli ve Kompakt Olmayan veya Narin Başlıklı Çift Simetri Eksenli I-Enkesitli Elemanlar

Karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

- Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu
- Yerel Burkulma Sınır Durumu

sınır durumlar için hesaplanan değerlerin küçüğü olarak alınır.

Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

Yanal burulmalı burkulma sınır durumu için, aşağıda (a), (b) ve (c) maddelerinde tanımlanan göçme sınır durumları için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

(a) $L_b \leq L_p$ ise bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

(b) $L_p \leq L_b \leq L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

(c) $L_b > L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p$$

Yerel Burkulma Sınır Durumu

(a) I-enkesitin gövde parçasının kompakt olması ve başlık parçalarının kompakt olmayan koşulunu sağlaması durumunda, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = M_p - \left(M_p - 0.7F_y W_{ex} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

λ_f flanş narinliği (b_f / t_f), λ_{rf} ve λ_{pf} sınır kesit narinliği (Tablo 5.1B)

(b) I-enkesitin gövde parçasının kompakt olması ve başlık parçalarının narin olması durumunda, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = \frac{0.9E k_c W_{ex}}{\lambda_r^2}$$

2- Kuvvetli Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki, Kompakt veya Kompakt Olmayan

Gövdeli Diğer I-Enkesitli Elemanlar

Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, Tablo 5.1B ye göre, enkesitin gövde parçası kompakt olmayan, çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar ile gövde parçası kompakt veya kompakt olmayan, gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli elemanların karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

- Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu
- Basınç Başlığı Yerel Burkulma Sınır Durumu
- Basınç Başlığı Akma Sınır Durumu
- Çekme Başlığı Akma Sınır Durumu

durumları için hesaplanan değerlerin en küçüğü olarak alınacaktır.

Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

(a) $L_b \leq L_p$ ise bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

(b) $L_p < L_b \leq L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = C_b \left[R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L W_{exc}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} M_{yc}$$

(c) $L_b > L_r$ olması durumunda, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = F_{cr} W_{exc} \leq R_{pc} M_{yc}$$

Basınç başlığının dış lifinde akma gerilmesine ulaşıldığı *akma momenti*, M_{yc} ,

$$M_{yc} = F_y W_{exc}$$

Gövde plastikleşme katsayısı, R_{pc} , gövde narinliğine bağlı olarak verilmektedir.

(1) $I_{yc} / I_y > 0.23$ olması durumunda,

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$$

$$R_{pc} = \frac{M_p}{M_{yc}}$$

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$$

$$R_{pc} = \left[\frac{M_p}{M_{yc}} - \left(\frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}}$$

(2) $I_{yc} / I_y \leq 0.23$ olması durumunda $R_{pc} = 1.0$

Basınç Başlığı Yerel Burkulma Sınır Durumu

(a) Başlık parçaları kompakt olduğunda bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

(b) Başlıkları kompakt olmayan **enkesitler** için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = \left[R_{pc} M_{yc} - \left(R_{pc} M_{yc} - F_L W_{exc} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right]$$

(c) Başlıkları narin olan enkesitler için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = \frac{0.9 E k_c W_{exc}}{\lambda_f^2}$$

Basınç Başlığı Akma Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = R_{pc} M_{yc} = R_{pc} F_y W_{exc}$$

Çekme Başlığı Akma Sınır Durumu

(a) $W_{\text{ext}} \geq W_{\text{exc}}$ için bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

(b) $W_{\text{ext}} < W_{\text{exc}}$ için çekme başlığı dayanımı kritik olabileceğinden, karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = R_{pt} M_{yt}$$

Burada, dış çekme lifinde akma gerilmesine ulaşıldığı *akma momenti*, M_{yt} ,

$$M_{yt} = F_y W_{\text{ext}}$$

Gövde plastikleşme katsayısı, R_{pt} , gövde narinliğine bağlı olarak verilmektedir.

(1) $I_{yc} / I_y > 0.23$ olması durumunda,

$$\lambda_w = \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$$

$$R_{pt} = \frac{M_p}{M_{yt}}$$

$$\lambda_w = \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$$

$$R_{pt} = \left[\frac{M_p}{M_{yt}} - \left(\frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \left(\frac{\lambda_w - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yt}}$$

(2) $I_{yc} / I_y \leq 0.23$ olması durumunda $R_{pt} = 1.0$

M_n : Karakteristik eğilme momenti dayanımı.

M_p : Plastik eğilme momenti.

M_{yc} : Dış basınç lifinde akma gerilmesine ulaşıldığı akma momenti.

M_{yt} : Dış çekme lifinde akma gerilmesine ulaşıldığı akma momenti.

3- Kuvvetli Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki, Çift ve Tek Simetri Eksenli Narin Gövdeli I-Enkesitli Elemanlar

Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki, Tablo 5.1B ye göre narin gövde parçasına sahip, çift simetri eksenli elemanlar ve gövde düzlemine göre tek simetri eksenli I-enkesitli elemanların karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

- Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu
- Basınç Başlığı Yerel Burkulma Sınır Durumu
- Basınç Başlığı Akma Sınır Durumu
- Çekme Başlığı Akma Sınır Durumu

sınır durumlar için hesaplanan değerlerin en küçüğü olarak alınacaktır. Son üç sınır durum Madde 2 de verildiği şekilde hesaplanır.

Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

Karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = R_{pg} F_{cr} W_{exc}$$

(a) $L_b \leq L_p$ için bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

(b) $L_p < L_b \leq L_r$ olması durumunda kritik gerilme, F_{cr} ,

$$F_{cr} = C_b \left[F_y - (0.3F_y) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y$$

(c) $L_b > L_r$ olması durumunda kritik gerilme, F_{cr} ,

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_t} \right)^2} \leq F_y$$

R_{pg} : Eğilme dayanımı azaltma katsayısı
 W_{exc} : Basınç bölgesi için x-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti.

L_p ve L_r sınır uzunlukları,

$$L_p = 1.1 i_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = \pi i_t \sqrt{\frac{E}{0.7 F_y}}$$

Eğilme dayanımı azaltma katsayısı, R_{pg}

$$R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1200 + 300a_w} \left(\frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

$$a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \leq 10$$

4- Zayıf Eksenleri Etrafında Eğilme Etkisindeki I-Enkesitli ve U-Enkesitli Elemanlar

Karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

- Akma Sınır Durumu
- Yerel Burkulma Sınır Durumu

esasları doğrultusunda hesaplanan değerlerin küçüğü olarak alınacaktır.

Akma Sınır Durumu

Karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = M_p = W_{py} F_y \leq 1.6 W_{ey} F_y$$

Yerel Burkulma Sınır Durumu

(a) Enkesitin başlık parçalarının **Tablo 5.1B** ye göre, **kompakt** olma koşulunu sağlaması durumunda, bu sınır durum gözönüne alınmayacaktır.

(b) Başlık parçaları **Tablo 5.1B** ye göre **kompakt olmayan** enkesitler için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = M_p - \left(M_p - 0.7 F_y W_{ey} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

(c) Başlık parçaları **Tablo 5.1B** ye göre **narin** enkesitler için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = F_{cr} W_{ey} \quad F_{cr} = \frac{0.69 E}{(\lambda_f)^2}$$

λ_{pf} : Kompakt başlık parçası için narinlik sınır değeri, (**Tablo 5.1B**).

λ_{rf} : Kompakt olmayan başlık parçası için narinlik sınır değeri, (**Tablo 5.1B**).

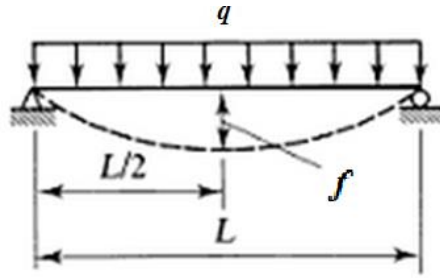
W_{py} : Zayıf asal eksen etrafında plastik mukavemet momenti.

W_{ey} : Zayıf asal eksen etrafında elastik mukavemet momenti.

b) Yapı Kullanımını Zorlaştıran Elastik Deformasyon (Sehim) Kontrolü

Eğilmeye çalışan yapı elemanlarında etkiyen yükler altında yönetmeliklerde öngörülen sehim kontrollerinin yapılması gerekmektedir. Sehim değerleri şartnamelerde verilen müsaade edilebilir sehim değerine eşit veya onda küçük olmalıdır.

Basit eğilmeye çalışan tek açıklıklı basit kiriş sisteminde sehim değeri;


$$f = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI}$$

şeklinde hesap edilebilir.

Eğilmeye çalışan yapı elemanlarında düşey sehim sınır değerleri standart veya şartnamelerde verilmektedir Kirişlerde açıklık ortası için 1/300 verilmektedir.

Sehim Sınır Şartları, SNIP II-23-81 "Çelik Yapıların Tasarım Kuralları, (Rusya),1988

Yapı Elemanı		Sehimin Eleman açıklığına oranı (f/L)
Çok Katlı Yapıların döşeme kirişleri, sanayi binası çalışma alanı kirişleri	• Esas Kirişler	1/400
	• Döşeme Kirişleri	1/250
	• Çelik döşeme	1/150
Krenaltı Kirişleri	• Ağır Çalışma Rejimi altında olan yapılarda	1/600
	• Orta çalışma rejimi olan yapılarda	1/500
Çatı kirişleri	• Kirişlere kullanım sistemi ve tertibatları asılması durumunda	Özel araştırma ve ölçüm gerektirir
	• Kirişlere kullanım sistemi ve tertibatları asılmaması durumunda	1/250
	• Aşıklar	1/200
	• Özel Çelik çatı Döşemesi	1/150

Sehim Sınır Şartları, International Building Code (ICB 2000), Amerika Birleşik Devletleri

Members	Max. Live Load defl.	Max. dead+live load defl.	Max. Snow or Wind Load defl.
Roof Beam:			
Supporting plaster ceiling	$L / 360$	$L / 240$	$L / 360$
Supporting non-plaster ceiling	$L / 240$	$L / 180$	$L / 240$
Not supporting a ceiling	$L / 180$	$L / 120$	$L / 180$
Floor Beam	$L / 360$	$L / 240$	-----
Note: L = Span Length			

Sehim Sınır Şartları, ENV 1993-1-1:1992, European Norm

Table 4.1 — Recommended limiting values for vertical deflections

Conditions	Limits (see Figure 4.1)	
	δ_{max}	δ_2
Roofs generally	$L/200$	$L/250$
Roofs frequently carrying personnel other than for maintenance	$L/250$	$L/300$
Floors generally	$L/250$	$L/300$
Floors and roofs supporting plaster or other brittle finish or non-flexible partitions	$L/250$	$L/350$
Floors supporting columns (unless the deflection has been included in the global analysis for the ultimate limit state)	$L/400$	$L/500$
Where δ_{max} can impair the appearance of the building	$L/250$	—

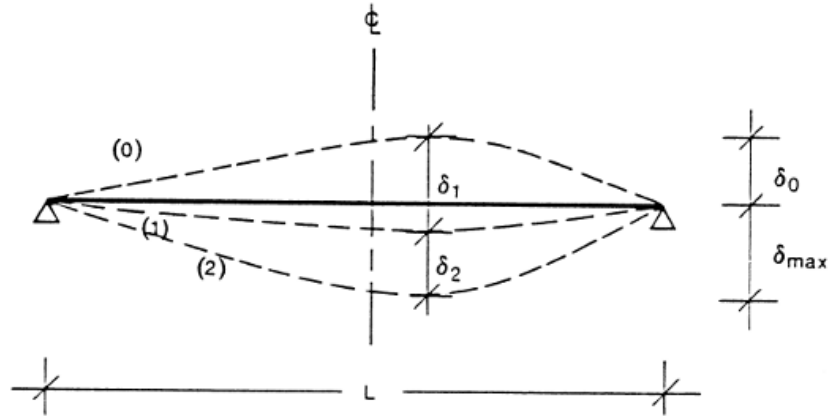
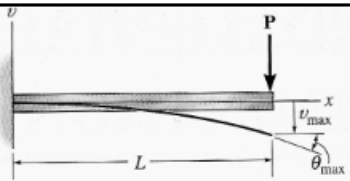
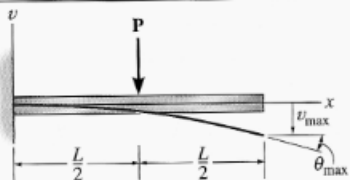
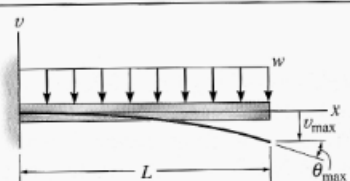
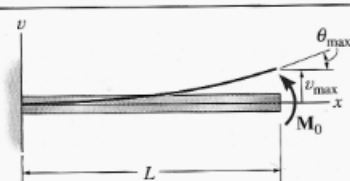
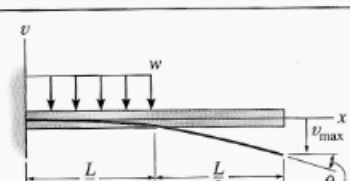
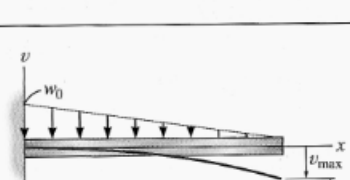
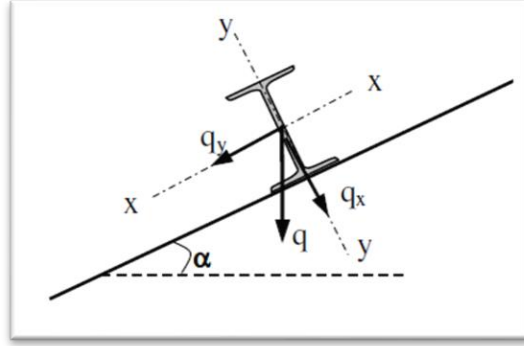


Figure 4.1 — Vertical deflections to be considered

ANKASTRE (KONSOL) KİRİŞLER CANTILEVER BEAMS			
KİRİŞ Beam	EĞİM Slope	SEHİM Deflection	ELASTİK EĞRİ Elastic Curve
	$\theta_{\max} = \frac{-PL^2}{2EI}$	$v_{\max} = \frac{-PL^3}{3EI}$	$v = \frac{-Px^2}{6EI} (3L - x)$
	$\theta_{\max} = \frac{-PL^2}{8EI}$	$v_{\max} = \frac{-5PL^3}{48EI}$	$v = \frac{-Px^2}{6EI} (\frac{3}{2}L - x) \quad 0 \leq x \leq L/2$ $v = \frac{-PL^2}{24EI} (3x - \frac{1}{2}L) \quad L/2 \leq x \leq L$
	$\theta_{\max} = \frac{-wL^3}{6EI}$	$v_{\max} = \frac{-wL^4}{8EI}$	$v = \frac{-wx^2}{24EI} (x^2 - 4Lx + 6L^2)$
	$\theta_{\max} = \frac{M_0L}{EI}$	$v_{\max} = \frac{M_0L^2}{2EI}$	$v = \frac{M_0x^2}{2EI}$
	$\theta_{\max} = \frac{-wL^3}{48EI}$	$v_{\max} = \frac{-7wL^4}{384EI}$	$v = \frac{-wx^2}{24EI} (x^2 - 2Lx + \frac{3}{2}L^2) \quad 0 \leq x \leq L/2$ $v = \frac{-wL^3}{192EI} (4x - L/2) \quad L/2 \leq x \leq L$
	$\theta_{\max} = \frac{-w_0L^3}{24EI}$	$v_{\max} = \frac{-w_0L^4}{30EI}$	$v = \frac{-w_0x^2}{120EI} (10L^3 - 10L^2x + 5Lx^2 - x^3)$

BASIT DESTEKLİ KIRIŞLAR <i>SIMPLY SUPPORTED BEAMS</i>			
KIRIŞ <i>Beam</i>	EĞİM <i>Slope</i>	SEHİM <i>Deflection</i>	ELASTİK EĞRİ <i>Elastic Curve</i>
	$\theta_{\max} = \frac{-PL^2}{16EI}$	$v_{\max} = \frac{-PL^3}{48EI}$	$v = \frac{-Px}{48EI} (3L^2 - 4x^2)$ $0 \leq x \leq L/2$
	$\theta_1 = \frac{-Pab(L+b)}{6EIL}$ $\theta_2 = \frac{Pab(L+a)}{6EIL}$	$v \Big _{x=a} = \frac{-Pba}{6EIL} (L^2 - b^2 - a^2)$	$v = \frac{-Pbx}{6EIL} (L^2 - b^2 - x^2)$ $0 \leq x \leq a$
	$\theta_1 = \frac{-M_0L}{3EI}$ $\theta_2 = \frac{M_0L}{6EI}$	$v_{\max} = \frac{-M_0L^2}{\sqrt{243EI}}$	$v = \frac{-M_0x}{6EIL} (x^2 - 3Lx + 2L^2)$
	$\theta_{\max} = \frac{-wL^3}{24EI}$	$v_{\max} = \frac{-5wL^4}{384EI}$	$v = \frac{-wx}{24EI} (x^3 - 2Lx^2 + L^3)$
	$\theta_1 = \frac{-3wL^3}{128EI}$ $\theta_2 = \frac{7wL^3}{384EI}$	$v \Big _{x=L/2} = \frac{-5wL^4}{768EI}$ $v_{\max} = -0.006563 \frac{wL^4}{EI}$ at $x = 0.4598L$	$v = \frac{-wx}{384EI} (16x^3 - 24Lx^2 + 9L^3)$ $0 \leq x \leq L/2$ $v = \frac{-wL}{384EI} (8x^3 - 24Lx^2 + 17L^2x - L^3)$ $L/2 \leq x < L$
	$\theta_1 = \frac{-7w_0L^3}{360EI}$ $\theta_2 = \frac{w_0L^3}{45EI}$	$v_{\max} = -0.00652 \frac{w_0L^4}{EI}$ at $x = 0.5193$	$v = \frac{-w_0x}{360EIL} (3x^4 - 10L^2x^2 + 7L^4)$

3.5. BİRLEŞİK EĞİLME ETKİSİNDE EĞİLMEYE ÇALIŞAN İ KESİTLER



Hem kuvvetli hemde zayıf ekseninde eğilme etkisine maruz elemanlarda M_x ve M_y momentleri oluşur. Bu durumda gerek tahkik gerek boyutlandırma yaparken her iki moment durumu değerlendirilmelidir. Özellikle çatı aşıklarında bu durum söz konusu olup çatı eğim açısına bağlı olarak açı değeriyle orantılı bir şekilde aşıkların zayıf ekseninde daha büyük momentlere maruz kalacağı kesindir.

Zayıf ekseninde oluşacak moment değeri ne kadar büyük olursa o profil kesitin taşıma kapasitesi o derece düşük olacaktır. Çatı sistemlerindeki aşıklarda aşığın yerleştirilme geometrisine bağlı olarak zayıf eksenlerinde ilave yanal destekler konularak oluşacak moment değerlerinin azaltılması yoluna gidilmelidir. Bu sebeple gergi çubukları kullanılır.

3.6. AŞIKLARIN BOYUTLANDIRILMASI

Eğik eğilmeye maruz aşıkların elemanları, eğilme gerilmesi ve sehim şartları esas alınarak boyutlandırılmalıdır. Aşık elemanı için, gergisiz durum, tek gergili durum ve çift gergili durum için ayrı ayrı boyutlandırma yapılmalı ve en ekonomik çözüm uygulanmalıdır.

HESAP ADIMLARI

1. Etkiyen Yüklerin Hesaplanması

Kar yükü, çatı hareketli yükü, aşıkların zati ve kaplama ağırlıkları ile rüzgar yükünün basınç olarak etkimesi durumunda aşık olarak gelen yayılı yükler hesaplanır.

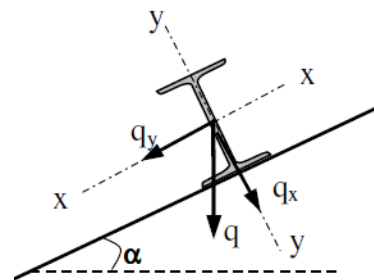
$$P_x = P \times \cos \alpha = \dots \text{ kg / m (kN/m)}$$

$$P_y = P \times \sin \alpha = \dots \text{ kg / m (kN/m)}$$

q : aşığın üzerindeki yayılı yük

P : yük katsayıları ile artırılmış yayılı yük

α : çatı eğimi



Buradaki P değeri YDKT ve GKT için hesaplanan ve rüzgarın emme çıkması durumunda dikkate alınmadığı diğer tüm aşık yüklerinin yük katsayıları ile çarpıldığı değerdir.

2. Moment Değerlerinin Hesaplanması

P_x ve P_y değerlerine göre M_x ve M_y momentleri hesaplanır.

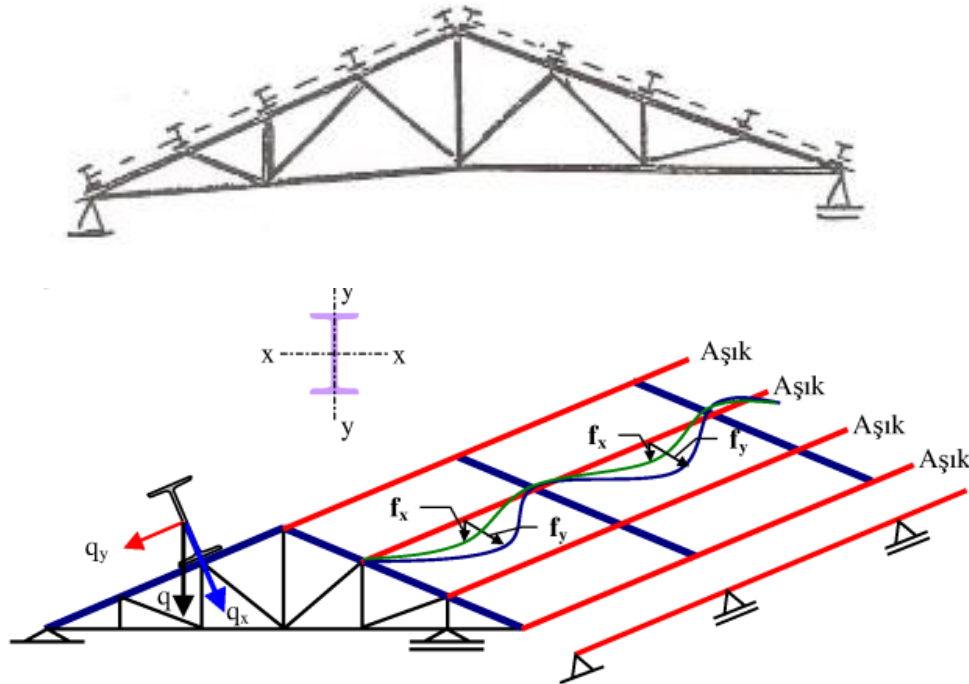
M_x : x yönündeki eğilme momenti değeri

M_y : y yönündeki eğilme momenti değeri

- ✓ M_y değerleri hesaplanırken aşıklardaki gergi durumu dikkate alınır
- ✓ M_x ve M_y değerleri güvenlik oranı 1 kabulü ile YDKT içi ϕ' 'ye bölünerek, GKT içi Ω ile çarpılarak artırılır.

Gergi Çubukları

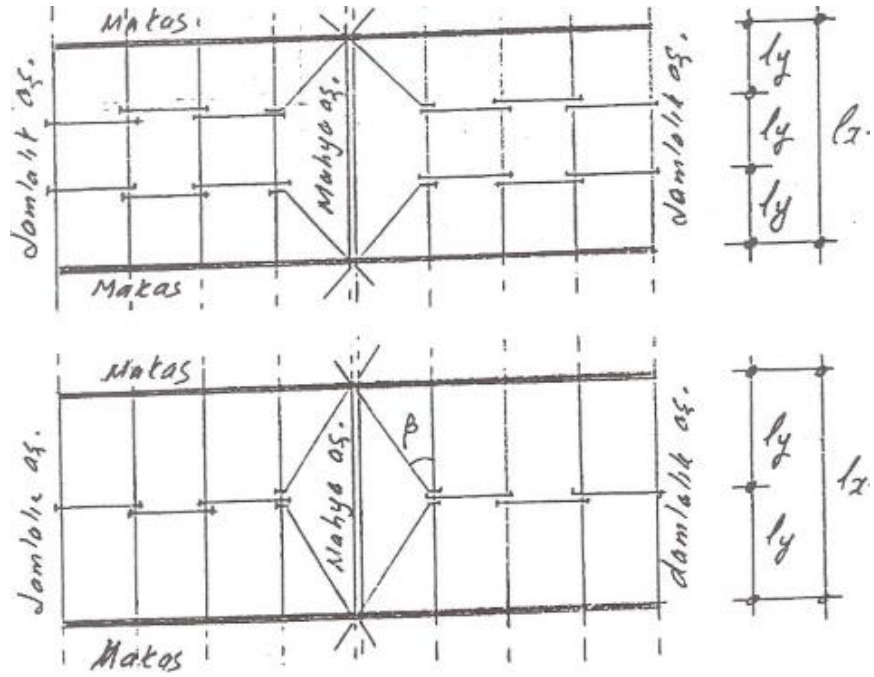
Çelik çatı sistemlerde çatı aşıklarının genellikle normal I profili kullanılarak teşkil edildiği durumlarda ve eğik eğilmeye maruz bırakılan aşıklarda kesit özelliklerine bağlı olarak zayıf eksende gerilmeler ve sehimler çatı eğimine de bağlı olarak çok büyük değerlere ulaşabilir. Bu sebeple profil enkesitinin oluşan gerilmeleri karşılaması amacıyla büyütülmesi gerekmektedir.



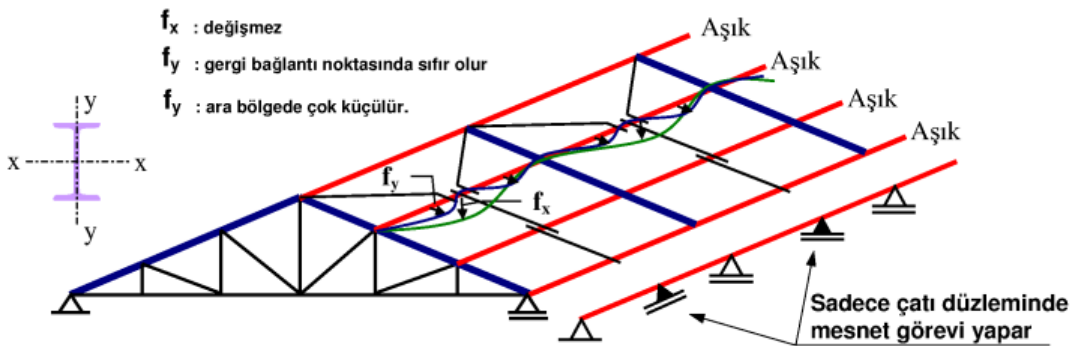
Gergisiz durumda aşıklardaki şekil değiştirme

Ancak bu durumda yapının ekonomiklik sınırı aşılabilmektedir. Bu durumu önlemek adına aşıklara “gergi elemanları” adı verilen elemanlar kullanılarak çatı düzleminde mesnet teşkil edilmesi sağlanmaktadır. Bu şekilde açıklığın ve buna bağlı olarak zayıf kesit düzlemi olan çatı düzleminde oluşan gerilmelerin azaltılması sağlanmaktadır. Kuvvetli eksen yönünde yapılan boyutlandırmaya göre hesap edilen kesiti zayıf eksen yönündeki kuvvetlere göre arttırmaya gerek kalmamaktadır.

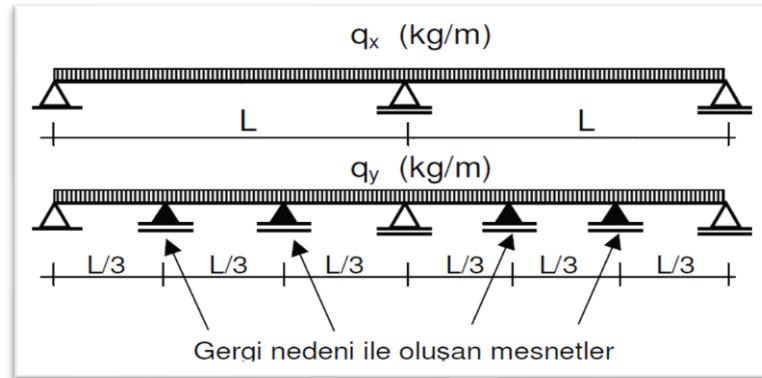
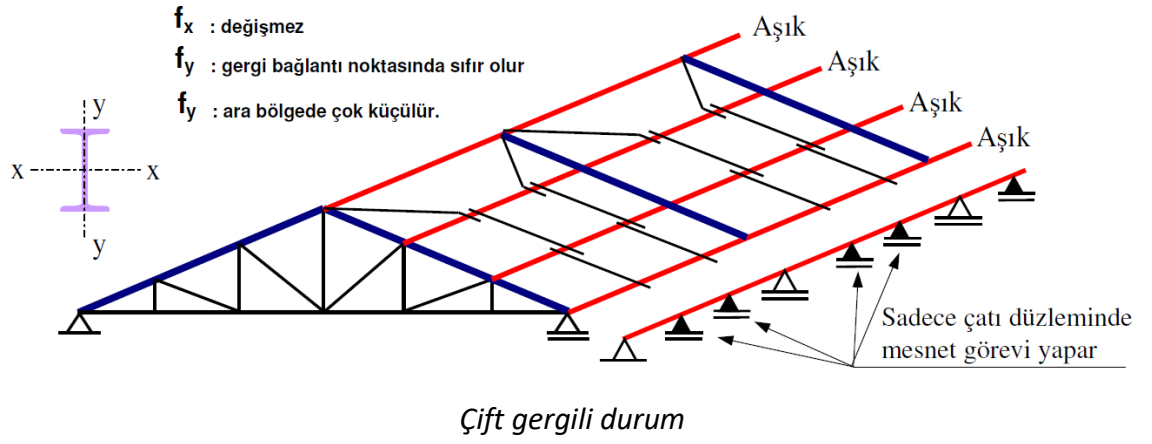
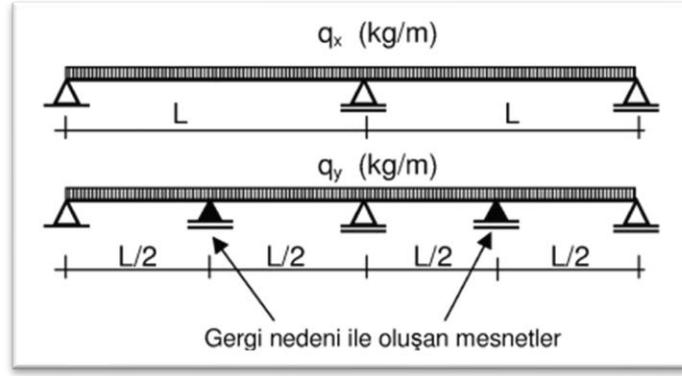
Gergi elemanları genellikle 10 mm veya 12 mm çapındaki betonarme çelikleri ile teşkil edilmektedir.



Gergi elemanları açıklıklara bağlı olarak tek veya çift gergili olarak teşkil edilebilirler.



Tek gergili durum



Gergisiz durum için gerilme değerleri

- Basit Kiriş Eğilme Momenti Değerleri: $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 8], [M_y = (q_y \cdot L^2) / 8]$
- Sürekli Kiriş Eğilme Momenti Değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 11], [M_y = (q_y \cdot L^2) / 11]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot L^2) / 16]$
- Gerber kirişi Eğilme momenti değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 10,45], [M_y = (q_y \cdot L^2) / 10,45]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot L^2) / 16]$

Tek gergili durum için gerilme değerleri

- Basit Kiriş Eğilme Momenti Değerleri: $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 8], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 8]$
- Sürekli Kiriş Eğilme Momenti Değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 11], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 11]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 16]$
- Gerber kirişi Eğilme momenti değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 10,45], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 10,45]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/2)^2) / 16]$

Çift gergili durum için gerilme değerleri

- Basit Kiriş Eğilme Momenti Değerleri: $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 8], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 8]$
- Sürekli Kiriş Eğilme Momenti Değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 11], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 11]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 16]$
- Gerber kirişi Eğilme momenti değerleri:
Kenar açıklık için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 10,45], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 10,45]$
Orta açıklıklar için : $[M_x = (q_x \cdot L^2) / 16], [M_y = (q_y \cdot (L/3)^2) / 16]$

3. Aşık Profilinin Seçilmesi

Sadece x eksenindeki eğilme momenti değerine bağlı olarak akma sınır durumu dikkate alınarak **gerekli plastik mukavemet momenti** değeri hesaplanır.

$$W_{px,gerekli} = \frac{M_x}{F_y}$$

Hesaplanan bu değere en yakın ve üstü değere sahip profil tablodan bakılarak seçilir Seçilen kesit için gerekli kesit özellikleri tablodan alınır.

Ayrıca !!! Seçilen kesit Tablo 5.1B ye göre kesit narinliğine bakılarak hesaplama durumu belirlenir. !!!

1. Seçilen Profile göre Kuvvetli ve Zayıf Eksenlerde Akma Sınır Durumu İçin Hesap

Akma Sınır Durumunda kesitin plastik moment değeri hesaplanır.

Kuvvetli Eksen
$M_n = M_p = F_y W_{px}$
Zayıf Eksen
$M_n = M_p = W_{py} F_y \leq 1.6 W_{ey} F_y$

Hesaplanan bu değerlerin toplamı bileşik eğilme söz konusu olduğu için toplanır ve sonu plastik moment değeri hesaplanmış olur.

M_n : Karakteristik eğilme momenti dayanımı.

M_p : Plastik eğilme momenti.

F_y : Karakteristik akma gerilmesi.

W_{px} : x-ekseni etrafında plastik mukavemet momenti.

W_{py} : Zayıf asal eksen etrafında plastik mukavemet momenti.

W_{ey} : Zayıf asal eksen etrafında elastik mukavemet momenti.

Birleşik Eğilme
$M_n = M_p = F_y W_{px} + W_{py} F_y$

2. Yanal burulmalı burkulma ve Yerel Burkulma Sınır Durumu

Kuvvetli Eksende yanal burulmalı burkulma (Başlık ve Gövde kompakt olma durumunda)

(a) $L_b \leq L_p$ ise bu sınır durumun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

(b) $L_p < L_b \leq L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

(c) $L_b > L_r$ olması durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = F_{cr} W_{ex} \leq M_p$$

Kritik gerilme, F_{cr} ,

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{J}{W_{ex} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2}$$

Kök içindeki ifade güvenli tarafta kalan bir yaklaşımla 1 e eşit olarak alınabilir.

L_p ve L_r sınır uzunlukları ise sırasıyla

$$L_p = 1.76 i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_r = 1.95 i_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J c}{W_{ex} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J c}{W_{ex} h_o} \right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E} \right)^2}}$$

c katsayısı

(i) Çift simetri eksenli I-enkesitlerde: $c = 1.0$

(ii) U-enkesitlerde: $c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}}$

Etkin atalet yarıçapı, i_{ts} ,

$$i_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{W_{ex}}$$

Çift simetri eksenli I-enkesitlerde, güvenli tarafta kalınarak, etkin atalet yarıçapı, i_{ts} , için enkesit basınç başlığı ve gövdesinin (1/6) sı ile tanımlanan parçasının düşey simetri eksenine göre hesaplanan atalet yarıçapı kullanılabilir.

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{6} \frac{h t_w}{b_f t_f} \right)}}$$

- M_n : Karakteristik eğilme momenti dayanımı.
 M_p : Plastik eğilme momenti.
 F_y : Karakteristik akma gerilmesi.
 W_{ex} : x-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti.
 W_{exc} : Basınç bölgesi için x-ekseni etrafında elastik mukavemet momenti.
 E : Çelik elastisite modülü (200000 MPa)
 I_y : y- eksteni etrafında atalet momenti.
 C_b : **Denk.(9.1)** ile tanımlanan moment düzeltme katsayısı.
 L_b : Basınç başlığında yanal yerdeğiştirmenin ve enkesit burulmasının önleendiği noktalar arasındaki eleman uzunluğu (stabilite bağlantısı ile desteklenmeyen eleman uzunluğu).
 L_p : Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk.
 L_r : Elastik olmayan yanal burulmalı burkulmada sınır uzunluk.
 i_y : y-eksenine göre atalet yarıçapı.
 i_{ts} : Etkin atalet yarıçapı.
 J : Burulma sabiti.
 C_w : Çarpılma sabiti.
 h_o : Enkesit başlıklarının ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık ($= d - t_f$).

Zayıf Eksende Yerel Burkulma

- (a) Enkesitin başlık parçalarının **Tablo 5.1B** ye göre, *kompakt* olma koşulunu sağlaması durumunda, bu sınır durum gözönüne alınmayacaktır.
(b) Başlık parçaları **Tablo 5.1B** ye göre *kompakt olmayan* enkesitler için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = M_p - \left(M_p - 0.7 F_y W_{ey} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

- (c) Başlık parçaları **Tablo 5.1B** ye göre *narın* enkesitler için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = F_{cr} W_{ey}$$

Burada *kritik gerilme*, F_{cr} ,

$$F_{cr} = \frac{0.69 E}{(\lambda_f)^2}$$

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

- λ_f : Başlık parçası narınlığı, ($\lambda_f = b/t_f$).
 b : I- ve U-enkesitler için **Tablo 5.1B** de verilen başlık elemanı genişliği.
 t_f : Başlık kalınlığı.
 λ_{pf} : Kompakt başlık parçası için narınlık sınırı, (**Tablo 5.1B**).
 λ_{rf} : Kompakt olmayan başlık parçası için narınlık sınırı, (**Tablo 5.1B**).
 W_{py} : Zayıf asal eksen etrafında plastik mukavemet momenti.
 W_{ey} : Zayıf asal eksen etrafında elastik mukavemet momenti.

Akma Sınır Durumu ve Yanal burulmalı burkulma ve yerel burkulma durumları dikkate alınarak hesaplanan M_n karakteristik eğilme dayanımlarının en küçüğüne göre YDKT ve GKT kontroller yapılır. Kontrolün sağlamadığı durumlarda kesit artırılarak sağlayıncaya kadar devam edilir.

Sehim kontrolü

Aşık kesitinin gerilmeden çok sehim kriterlerine bağlı olarak belirlendiği durumlarla karşılaşmak oldukça sık rastlanılan bir durumdur. Dolayısıyla eğilme gerilmesi hesabı yanında sehim kontrolü 'de yapılmalıdır. Kesit seçilerek, iki açıklıklı sürekli kirişlerde ;

$$f = \sqrt{(f_x^2 + f_y^2)} \leq f_{mak} = (L / 300)$$

$$f_x = 0,00248 \left(\frac{q_x \cdot L^4}{I_x} \right) , \quad f_y = 0,00248 \left(\frac{q_y \cdot L^4}{I_y} \right)$$

f_x : x yönündeki sehim miktarı (cm)

f_y : y yönündeki sehim miktarı (cm)

q_x : x yönündeki aşığa gelen yayılı yük değeri (kg/m)

q_y : y yönündeki aşığa gelen yayılı yük değeri (kg/m)

L : aşık boyu (m)

I_x : x yönündeki atalet momenti değeri (cm⁴)

I_y : y yönündeki atalet momenti değeri (cm⁴)

- **İki açıklıklı sürekli kirişlerde ;**

$$f_x = 0,00248 \left(\frac{q_x \cdot L^4}{I_x} \right) , \quad f_y = 0,00248 \left(\frac{q_y \cdot L^4}{I_y} \right)$$

- **Üç açıklıklı sürekli kirişlerde ;**

$$f_x = 0,00322 \left(\frac{q_x \cdot L^4}{I_x} \right) , \quad f_y = 0,00322 \left(\frac{q_y \cdot L^4}{I_y} \right)$$

- **Tek açıklıklı basit kirişlerde ;**

$$f_x = 0,00620 \left(\frac{q_x \cdot L^4}{I_x} \right), \quad f_y = 0,00620 \left(\frac{q_y \cdot L^4}{I_y} \right)$$

(Buradaki katsayılar elastisite modülü değerinin 210000 MPa alınması durumunda geçerlidir.)

Çatı aşık sisteminin tek gergili veya çift gergili olarak teşkil edilmesi durumunda **f_y=0** alınır.

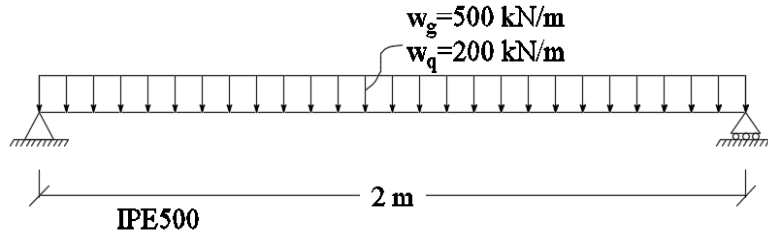
Bu durumda;

$$f_x \leq f_{mak} = (L / 300) \quad \text{dır. .}$$

UYGULAMA 3.1.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen IPE500 enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli ekseninde dik olmak üzere, sırasıyla $W_G = 500 \text{ kN/m}$ ve $W_Q = 200 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş başlıkları sadece mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)
- Sehim kontrolünü $L/250$ 'ye göre yapınız.



S275

Enkesit IPE500

$$I_x = 48200 \text{ cm}^4$$

$$W_{ex} = 1928 \text{ cm}^3$$

$$W_{px} = 2194 \text{ cm}^3$$

$$J = 89.29 \text{ cm}^4$$

$$d = 426 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b_f = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 16 \text{ mm}$$

$$t_w = 10.2 \text{ mm}$$

$$i_y = 4.21 \text{ cm}$$

Çözüm

Gerekli eğilme Momenti Dayanımı

YDKT

$$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$$

$$w_u = 1,2 \times 500 + 1,6 \times 200 = 920 \text{ kN/m}$$

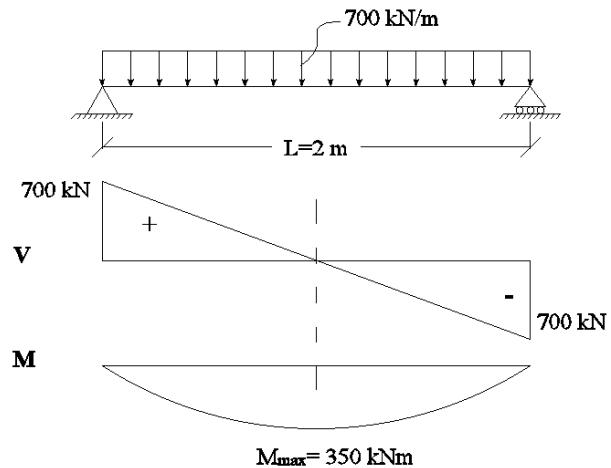
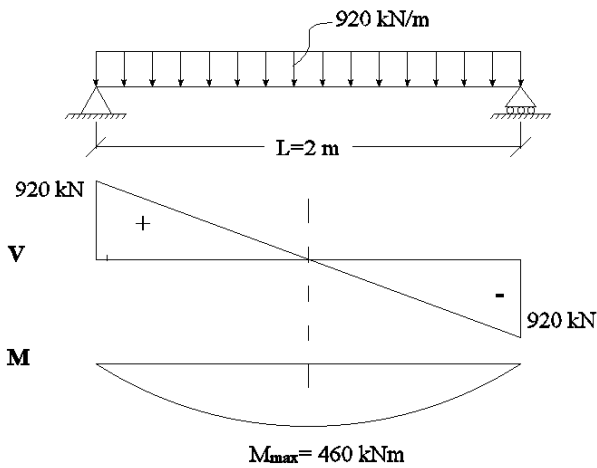
$$M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{920 \times 2^2}{8} = 460 \text{ kNm}$$

GKT

$$w_a = W_G + W_Q$$

$$w_a = 500 + 200 = 700 \text{ kN/m}$$

$$M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{700 \times 2^2}{8} = 350 \text{ kNm}$$



a. Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

- Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosuna göre hangi sınır durumlarına göre hesap yapılması gerektiğini belirlemek adına ilk olarak yerel burkulma sınır durumuna bakılır

Yerel Burkulma Kontrolü

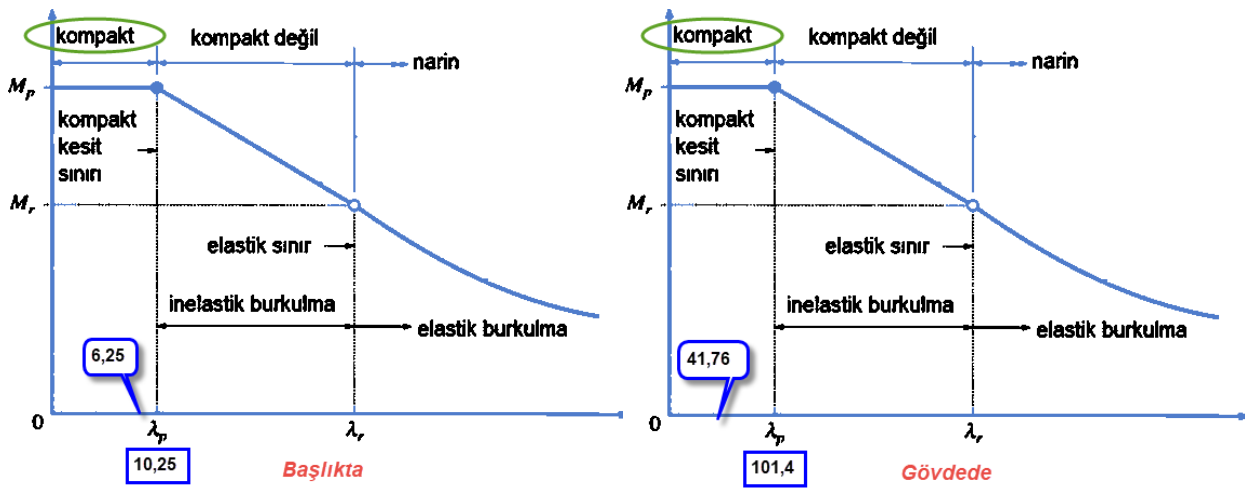
Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{200}{(2 \times 16)} = 6,25 \leq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10,25$$

Gövde parçası (Tablo 5.1 B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{426}{10,2} = 41,76 \leq \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101,40$$

Profil Tabloları Tip II' den h değeri alınacaktır. Tip I kullanılması durumunda $h-2c$ alınmalıdır.



Bu duruma göre “Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosunda”

- ✓ Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki,
- ✓ gövde ve başlık parçaları kompakt sınıfında olan
- ✓ çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar

durumlarını içeren ilk satır için

- Akma sınır durumu kontrolü
- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu kontrolü yapılmalıdır

• Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = M_p = F_y \times W_{pl} = 275 \times (2194 \times 10^3) \times 10^{-6} = 603,35 \text{ kNm}$$

• Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı.

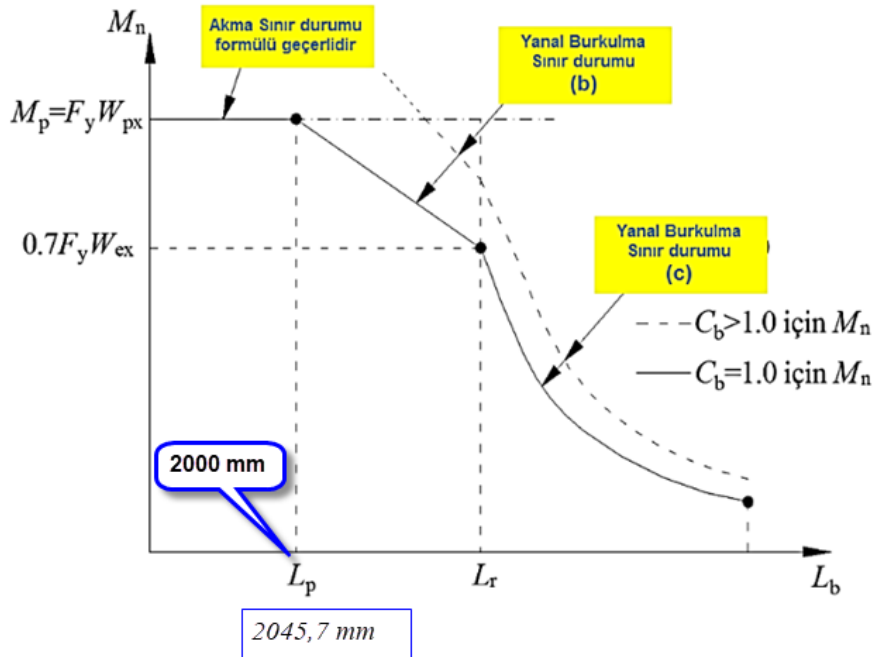
•

$$L_b = 2000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 43,1 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 2045,7 \text{ mm}$$

$$L_p = 2045,7 \text{ mm} \geq L_b = 2000 \text{ mm}$$

olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumunun göz önüne alınmasına gerek yoktur.



Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = M_p = 603,35 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme	Momenti dayanımı
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 500 + 1,6 \times 200 = 920 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{920 \times 2^2}{8} = 460 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 500 + 200 = 700 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{700 \times 2^2}{8} = 350 \text{ kNm}$
Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \theta_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 603,35 = 543,02 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{603,35}{1,67} = 361,29 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{460}{543,03} = 0,85 \leq 1 \quad \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{350}{361,29} = 0,97 \leq 1 \quad \checkmark$

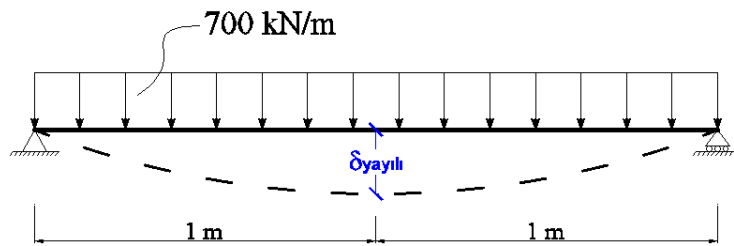
Sehim Kontrolü

Sehim hesabında hesaplama tablolarında verilen yükleme durumuna göre sehim formülleri kullanılabilir.

Sehim kontrolü artırılmamış yüklere göre yapılır (YDKT de hesap yapılırsa dahi).

Burada açıklık ortası noktaları için sehim hesaplanmaktadır.

Hesaplamalar yapılırken N ve mm değerlerinin kullanılması gerekmektedir.



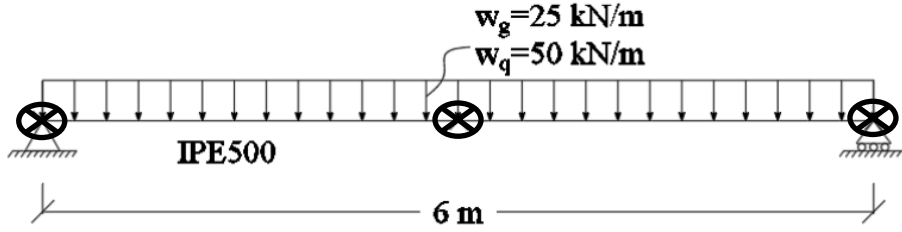
$$\delta_{yayili} = \frac{5}{384} \times \frac{700 \times 2000^4}{200000 \times 48200 \times 10^4} = 1,51 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{250} = \frac{2000}{250} = 8 \text{ mm} \geq \delta_{yayili} = 1,51 \text{ mm}$$

Sehim sınırı aşılmamıştır. $\checkmark$

UYGULAMA 3.2.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen IPE 500 enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli ekseninde dik olmak üzere, sırasıyla $W_G = 25 \text{ kN/m}$ ve $W_Q = 50 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. **Basınç etkisindeki kiriş başlığı mesnetlerde ve açıklıkta yanal olarak desteklenmiştir.**



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)
- Sehim sınırı $L/300$ 'e göre kontrol yapınız.

S275

Enkesit IPE500

$$I_x = 48200 \text{ cm}^4$$

$$W_{ex} = 1928 \text{ cm}^3$$

$$W_{px} = 2194 \text{ cm}^3$$

$$J = 89.29 \text{ cm}^4$$

$$d = 426 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b_f = 200 \text{ mm}$$

$$t_f = 16 \text{ mm}$$

$$t_w = 10.2 \text{ mm}$$

$$i_y = 4.31 \text{ cm}$$

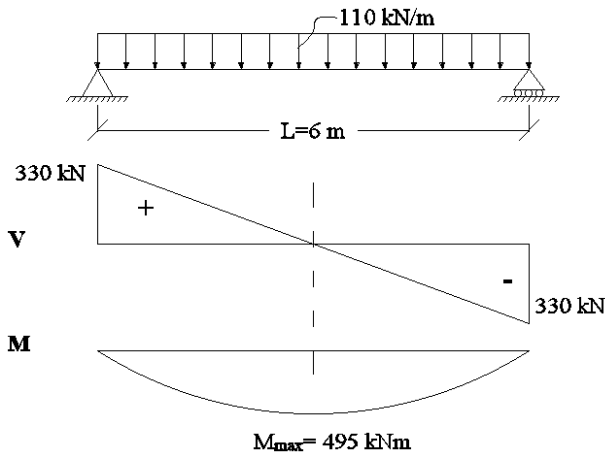
Çözüm

YDKT

$$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$$

$$w_u = 1,2 \times 25 + 1,6 \times 50 = 110 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{110 \times 6^2}{8} = 495 \text{ kNm}$$

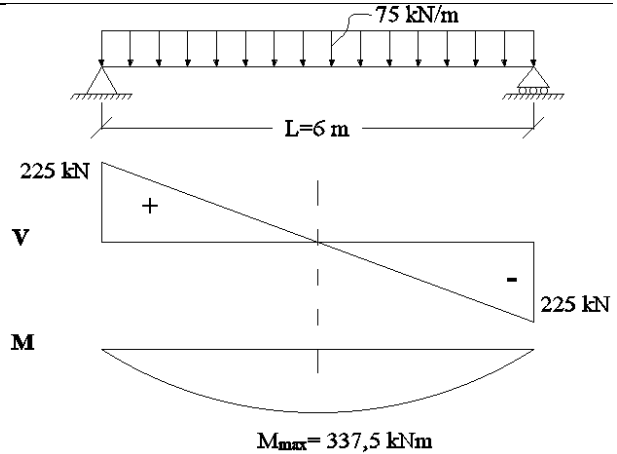


GKT

$$w_a = W_G + W_Q$$

$$w_a = 25 + 50 = 75 \text{ kN/m}$$

$$M_a = \frac{w_a \times L^2}{8} = \frac{75 \times 6^2}{8} = 337,5 \text{ kNm}$$



a. Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

- Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosuna göre hangi sınır durumlarına göre hesap yapılması gerektiğini belirlemek adına ilk olarak yerel burkulma sınır durumuna bakılır

➤ Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

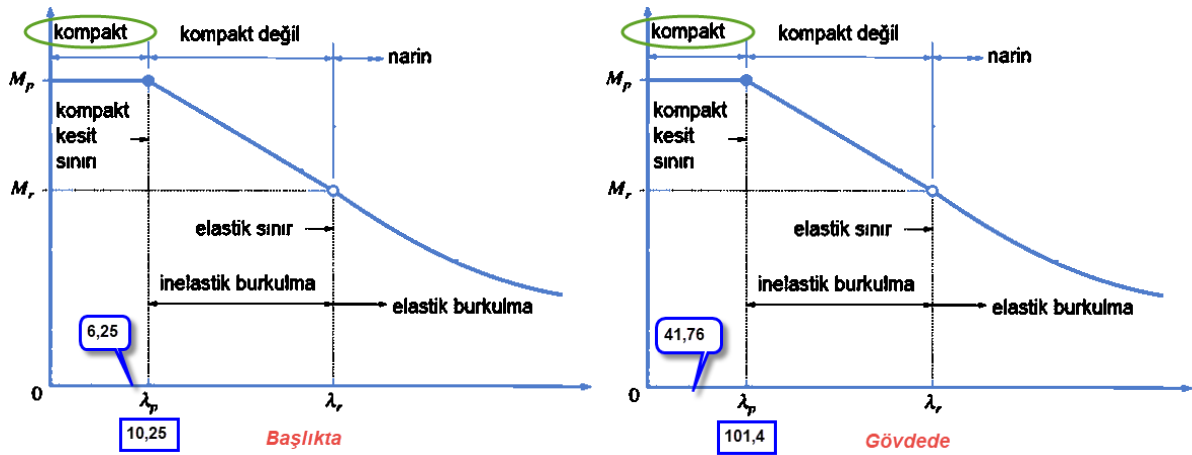
Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{200}{(2 \times 16)} = 6,25 \quad \leq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10,25$$

Gövde parçası (Tablo 5.1 B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{426}{10,2} = 41,76 \quad \leq \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101,40$$

Profil Tabloları Tip II'den h değeri alınacaktır. Tip I kullanılması durumunda $h=2c$ alınmalıdır.



Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1 B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, enkesit **(IPE500) kompakt** olarak değerlendirilir.

Bu duruma göre “Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosunda”

- ✓ Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki,
- ✓ gövde ve başlık parçaları kompakt sınıfında olan
- ✓ çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar

durumlarını içeren ilk satır için

- Akma sınır durumu kontrolü
 - Yanal burulmalı burkulma sınır durumu kontrolü
- yapılmalıdır

• Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 275 \times 2194 \times 10^{-3} = 603,35 \text{ kNm}$$

• Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı.

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 43.1 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 2045,68 \text{ mm}$$

$$L_p = 2045,68 \text{ mm} \leq L_b = 3000 \text{ mm}$$

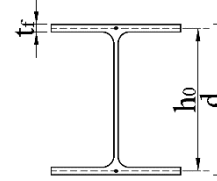
olduğu için diğer sınır uzunluk olan L_r hesaplanmalıdır.

• Etkin Atalet Yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{h \times t_w}{b_f \times t_f}\right)}} = \frac{200}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{426 \times 10,2}{200 \times 16}\right)}} = 52,14 \text{ mm}$$

$$h_0 = d - t_f = 500 - 16 = 484 \text{ mm}$$

$$c = 1,0$$



değerleri ile elastik olmayan yanal burkulma sınır uzunluk değeri, L_r hesaplanır.

$$L_r = 1,95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \times \sqrt{\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_0}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1,95 \times 52,14 \times \frac{200000}{0,7 \times 275} \times \sqrt{\frac{89,29 \times 10^4 \times 1}{1928 \times 10^3 \times 484} + \sqrt{\left(\frac{89,29 \times 10^4 \times 1}{1928 \times 10^3 \times 484}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times 275}{200000}\right)^2}} = 6369,25 \text{ mm}$$

$$L_p = 2045,68 \text{ mm} \leq L_b = 3000 \text{ mm} \leq L_r = 6369,25 \text{ mm}$$

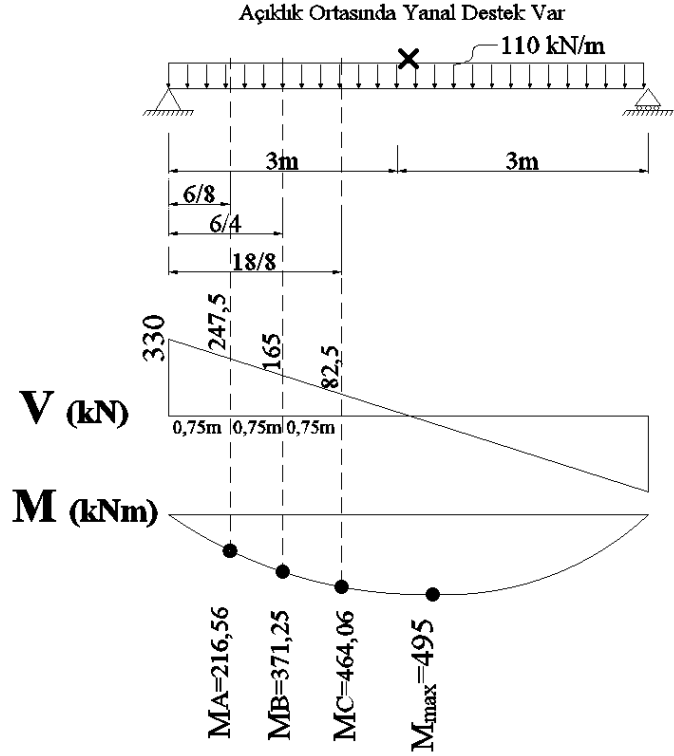
$L_r \geq L_b \geq L_p$ olduğu durumda karakteristik eğilme momenti dayanımı (b) formülünden,

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

Moment düzeltme katsayısı.

1- Genel Formüle Göre Hesap

Yanal stabilite bağlantısı ile desteklenen noktalar arasındaki kiriş uzunluğu boyunca en büyük eğilme momenti M_{maks} , Herhangi Bir Yükleme Değerine Göre M_A , M_B ve M_C değerleri birlikte hesaplanır. Hesaplanan bu değerler C_b formülünde yerine yazılır. Moment grafiğinin çizilmesi ve belirlenen mesafelerdeki moment değerlerinin hesaplanması gerekmektedir.



$$C_b = \frac{12,5 \times M_{maks}}{2,5 \times M_{maks} + 3 \times M_A + 4 \times M_B + 3 \times M_C} =$$

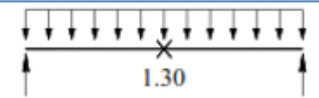
$$C_b = \frac{12,5 \times 495}{2,5 \times 495 + 3 \times 216,56 + 4 \times 371,25 + 3 \times 464,06} \cong 1,30$$

2- Tablodan Değer Alınması

Hesap abaklarından “Farklı aralıklı yanal destek düzenlemelerine göre C_b moment düzeltme katsayısı değerleri” tablosuna bakıldığında uygulamadaverilen ortanoktada tutulu ve düzgün yayılı yük olması durumu içi

Kiriş boyunca düzgün yayılı yük

Açıklık ortasında yanal destek var



$$C_b = 1,30 \quad \text{alınır.}$$

Bu değerlere göre yanal burulmalı burkulma sınır durumu için karakteristik eğilme dayanımı,

$$M_n = 1,3 \times \left[603,35 - \left(603,35 - \underbrace{0,7 \times 275 \times 1928 \times 10^{-3}}_{\text{birimin kNm olması için}} \right) \times \left(\frac{3000 - 2045,68}{6369,25 - 2045,68} \right) \right] = 717,72 \text{ kNm}$$

$$M_n = 717,72 \text{ kNm} \leq M_p = 603,35 \text{ kNm} \quad \boxed{\times}$$

olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik moment dayanımı,

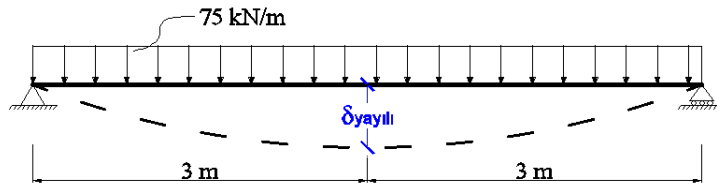
$$M_n = M_p = 603,35 \text{ kNm}$$

En küçük eğilme momenti dayanımı, M_n , akma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	Gerekli eğilme momenti dayanımı
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 25 + 1,6 \times 50 = 110 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{110 \times 6^2}{8} = 495 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 25 + 50 = 75 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{w_a \times L^2}{8} = \frac{75 \times 6^2}{8} = 337,5 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 603,35 = 543,02 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{603,35}{1,67} = 361,29 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{495}{543,03} = 0,91 \leq 1 \quad \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{337,5}{361,3} = 0,93 \leq 1 \quad \checkmark$

Sehim Kontrolü

Sehim hesabında hesaplama tablolarında verilen yükleme durumuna göre sehim formülleri kullanılabilir. Sehim kontrolü artırılmamış yüklere göre yapılır (YDKT de hesap yapılsa dahi). Hesaplama tabloları da verilen yükleme durumuna göre sehim formülleri kullanılabilir. Burada açıklık ortası noktaları için sehim hesaplanmaktadır. Hesaplamalar yapılırken N ve mm değerlerinin kullanılması gerekmektedir.



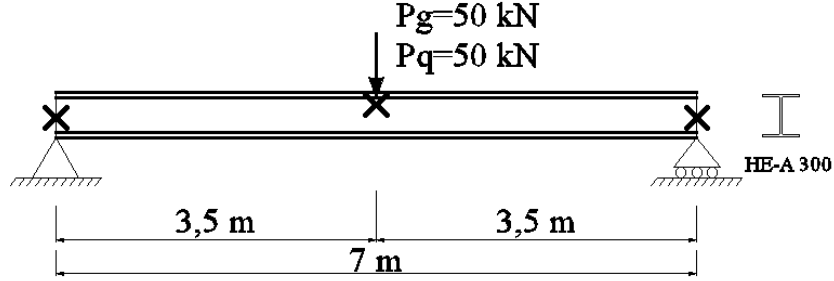
$$\delta_{yayili} = \frac{5}{384} \times \frac{75 \times 6000^4}{200000 \times 48200 \times 10^4} = 13,13 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} \geq \delta_{yayili} = 13,13 \text{ mm}$$

Sehim sınırı aşılmamıştır. $\checkmark$

UYGULAMA 3.3.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen, HE 300 A enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli ekseninde dik olmak üzere, sırasıyla $P_G = 50 \text{ kN}$ ve $P_Q = 50 \text{ kN}$ olan tekil yüklerin etkisindedir. Basınç etkisindeki kiriş başlığı mesnetlerde ve açıklık ortasında yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)
- Sehim sınırı $L/300$ 'e göre kontrol yapınız

Çelik sınıfı S275 $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$ (Tablo 2.1 A)

Enkesit HE 300 A

$I_x = 18260 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 1260 \text{ cm}^3$	$W_{px} = 1383 \text{ cm}^3$	$J = 85,17 \text{ cm}^4$
$d = 208 \text{ mm}$	$h = 290 \text{ mm}$	$b_f = 300 \text{ mm}$	$t_f = 14 \text{ mm}$
$t_w = 8,5 \text{ mm}$	$i_y = 7,49 \text{ cm}$		

Çözüm

Gerekli eğilme Momenti Dayanımı

YDKT	GKT
$P_u = 1,2 \times P_G + 1,6 \times P_Q$ $P_u = 1,2 \times 50 + 1,6 \times 50 = 140 \text{ kN}$ $M_u = \frac{P_u \times L}{4} = \frac{140 \times 7}{4} = 245 \text{ kNm}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 50 + 50 = 100 \text{ kN}$ $M_a = \frac{P_a \times L}{4} = \frac{100 \times 7}{4} = 175 \text{ kNm}$

a. Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

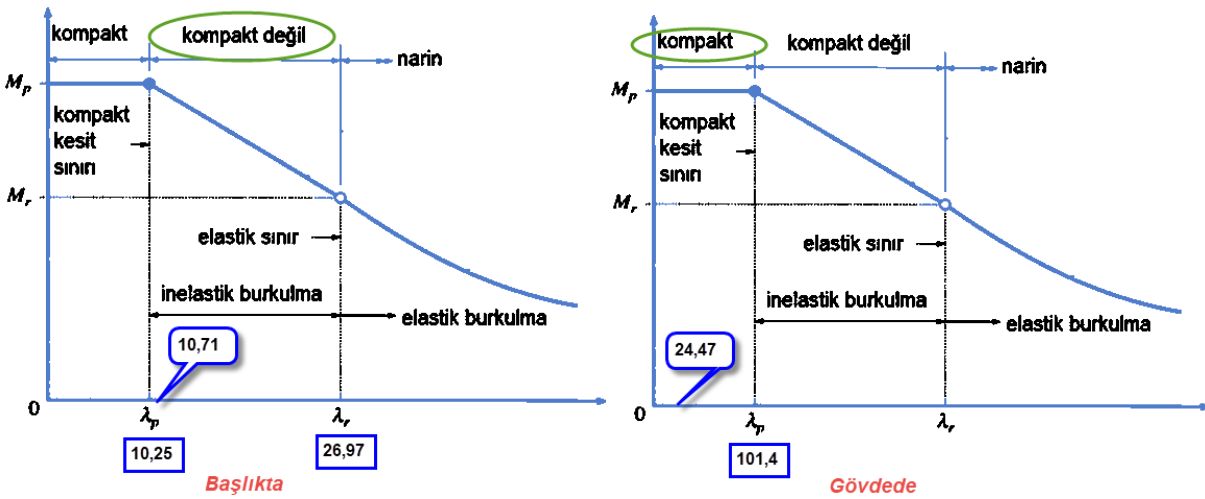
Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{300}{(2 \times 14)} = 10,71 \geq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10,25$$

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{300}{(2 \times 14)} = 10,71 \leq \lambda_r = 1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 26,97$$

Gövde parçası (Tablo 5,1 B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,47 \leq \lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101,40$$



Tablo 5,1 B ye göre başlık parçaları kompakt olmayan , gövde parçası kompakt enkesit parçasıdır. Bu duruma göre “Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosunda”

- ✓ Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki,
- ✓ gövde parçası kompakt ve başlık parçaları kompakt olmayan veya narin sınıfında olan
- ✓ çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar

durumlarını içeren ikinci durum için

- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu
- Yerel burkulma sınır durumu kontrolü yapılmalıdır

Ancak, yanal burulmalı burkulma sınır durumu için Akma sınırı durumu formülü ile plastik moment değeri hesaplanmalıdır.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı

$$M_n = M_p = F_y \times W_{px} = 275 \times 1383 \times 10^{-3} = 380,33 \text{ kNm}$$

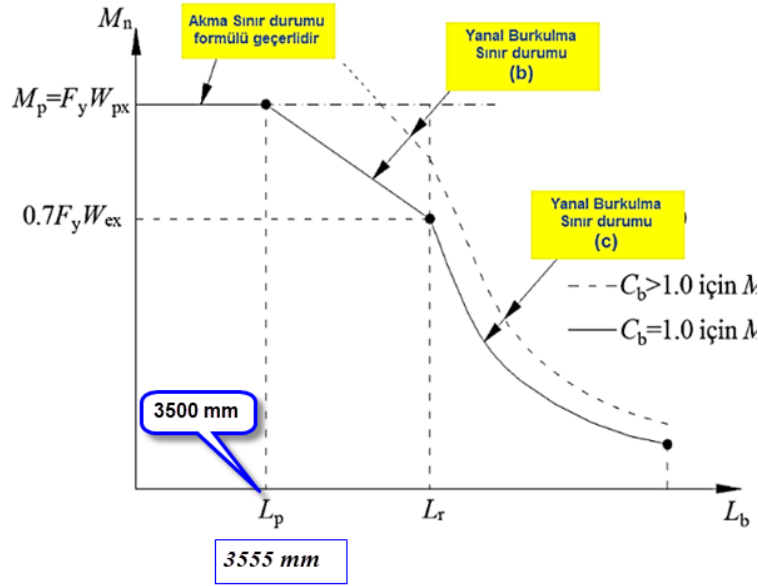
• Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı.

Kiriş başlığı mesnet noktaları ve açıklık ortasında yanal olarak desteklendiğinden,

$L_b = 3500 \text{ mm}$ olarak belirlenir.

$$L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$= 1,76 \times 74,9 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 3555 \text{ mm} \geq L_b = 3500 \text{ mm}$$



olduğundan, yanal burulmalı burkulma sınır durumunun göz önüne alınmasına gerek yoktur.

• Yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı.

I – enkesitli Elemanın başlık elemanı kompakt olmayan, gövde elemanı da kompakt sınıfında olduğundan, yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n ,

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7 \times F_y \times W_{ex}) \times \left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right]$$

$$M_n = \left[380,33 - (380,33 - (0,7 \times 275 \times 1260 \times 10^{-3})) \times \left(\frac{10,71 - 10,25}{26,97 - 10,25} \right) \right] = 376,48 \text{ kNm}$$

$$M_n = 376,48 \text{ kNm} \leq M_p = 380,33 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

En küçük eğilme momenti dayanımı, M_n , yerel burkulma sınır durumunda elde edildiğinden, dayanım hesabında bu sınır durum belirleyicidir.

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$P_u = 1,2 \times P_G + 1,6 \times P_Q$ $P_u = 1,2 \times 50 + 1,6 \times 50 = 140 \text{ kN}$ $M_u = \frac{P_u \times L^2}{8} = \frac{140 \times 7^2}{8} = 245 \text{ kNm}$	$P_a = P_G + P_Q$ $P_a = 50 + 50 = 100 \text{ kN}$ $M_a = \frac{P_a \times L^2}{8} = \frac{100 \times 7^2}{8} = 175 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 376,48 = 338,83 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = 376,48 / 1,67 = 225,44 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{245}{338,83} = 0,72 \leq 1 \quad \checkmark$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{175}{225,44} = 0,78 \leq 1 \quad \checkmark$

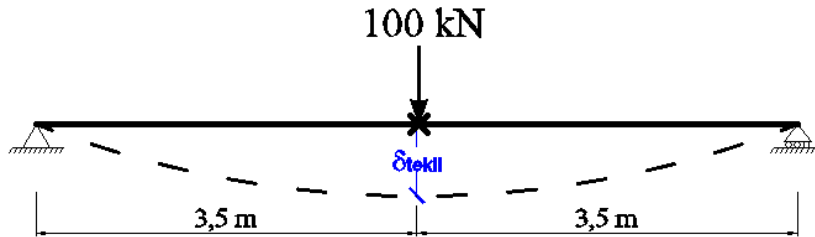
Sehim Kontrolü

Sehim hesabında hesaplama tablolarında verilen yükleme durumuna göre sehim formülleri kullanılabilir.

Sehim kontrolü artırılmamış yüklere göre yapılır (YDKT de hesap yapılsa dahi).

Burada açıklık ortası noktaları için sehim hesaplanmaktadır. Tekil yük kiriş ortasındadır.

Hesaplamalar yapılırken N ve mm değerlerinin kullanılması gerekmektedir.



$$\delta_{tekil} = \frac{1}{48} \times \frac{(100 \times 10^3) \times 7000^3}{200000 \times 18260 \times 10^4} = 19,6 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{7000}{300} = 23,3 \text{ mm} \geq \delta_{tekil} = 19,6 \text{ mm}$$

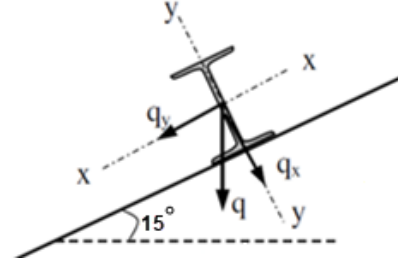
Sehim sınırı aşılmamıştır. $\checkmark$

UYGULAMA 3.4.

Çatı eğim açısı 15° olan bir çelik çatıdaki **basit kiriş** olarak mesnetlenecek aşık boyutlandırılacaktır. Etkiyen yükler tabloda verilmiştir.

Yük Türü	Değeri (kg/m ²)
Kaplama Zati Yükü	12
Kar Yükü	96
Rüzgar Yükü	-24
Aşık Zati Yükü*	10

*Aşık zati yükü boyutlandırma için yaklaşık verilmiştir.



Makaslar arası 6m'dir. Çatı düzleminde düğüm noktaları arası eşit mesafede olup 3 m'dir. Aşığı tek gergili şekilde IPE Profili olarak YDKT'ye göre boyutlandırınız. (S235)

Çözüm

Yük Türü	Değeri (kg/m ²)	Şerit Yayı Değeri (kN/m)
Kaplama Zati Yükü	12	(G) $0,12 \times 3 = 0,36$
Kar Yükü	96	(S) $0,96 \times 3 = 2,88$
Rüzgar Yükü	-24	(-) Dikkate alınmayacak
Aşık Zati Yükü*	10	(G) $0,10 \times 3 = 0,30$

$$\begin{aligned}
 &\text{Kuvvetli Eksende Eğilme} \\
 &w_x = (1,2 \times w_G + 1,6 \times w_S) \times \cos 15 \\
 &w_x = [(1,2 \times (0,36 + 0,30)) + (1,6 \times 2,88)] \times \cos 15 \\
 &w_x = 5,21 \text{ kN / m} \\
 &M_x = \frac{w_x \times L^2}{8} = \frac{5,21 \times 6^2}{8} = 23,4 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &\text{Zayıf Eksende Eğilme} \\
 &w_y = (1,2 \times w_G + 1,6 \times w_S) \times \sin 15 \\
 &w_y = [(1,2 \times (0,36 + 0,30)) + (1,6 \times 2,88)] \times \sin 15 \\
 &w_y = 1,39 \text{ kN / m} \\
 &M_y = \frac{w_y \times L^2}{8} = \frac{1,39 \times 3^2}{8} = 1,56 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Aşık Profilinin Seçilmesi

Sadece **x-x eksenindeki** eğilme momenti değerine bağlı olarak akma sınır durumu dikkate alınarak gerekli plastik mukavemet momenti değeri

$$W_{px,gerekli} = \frac{M_x}{F_y} = \frac{23,4 \times 10^6}{235} = 99574,4 \text{ mm}^3 = 99,57 \text{ cm}^3$$

Sadece **y-y eksenindeki** eğilme momenti değerine bağlı olarak akma sınır durumu dikkate alınarak gerekli plastik mukavemet momenti değeri

$$W_{py,gerekli} = \frac{M_y}{F_y} = \frac{1,56 \times 10^6}{235} = 6638,29 \text{ mm}^3 = 6,63 \text{ cm}^3$$

Seçilen IPE profili: IPE 160

Profil	Kütle	Boyutlar							Kesit Alanı	Kesit Özellikleri										
										y-y eksen					z-z eksen					
		G kg/m	d mm	h mm	h_w mm	b mm	t_w mm	t_f mm		r mm	A mm ²	I_y x10 ⁴ mm ⁴	$W_{pl,y}$ x10 ³ mm ³	$W_{el,y}$ x10 ³ mm ³	i_y mm	I_z x10 ⁴ mm ⁴	$W_{pl,z}$ x10 ³ mm ³	$W_{el,z}$ x10 ³ mm ³	i_z mm	I_t x10 ⁴ mm ⁴
IPE 160	15.8	160	127.2	145.2	82	5.0	7.4	9	2009	869.3	108.7	123.9	65.8	68.31	16.66	26.10	18.4	3.60	3.96	

➤ Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{82}{(2 \times 7.4)} = 5.54 \leq \lambda_p = 0.38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 11.08$$

Gövde parçası (Tablo 5.1 B, Durum 15)

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{127.5}{5.0} = 25.5 \leq \lambda_p = 3.76 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 109.69$$

Profil Tabloları Tip II'den h değeri alınacaktır. Tip I kullanılması durumunda $h-2c$ alınmalıdır.

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1 B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, enkesit **(IPE160) kompakt** olarak değerlendirilir. Kesit kompakt çıktığı için zayıf eksenle yerel burkulma sınır durumuna bakmaya gerek yoktur.

Bu duruma göre “Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosunda”

- ✓ Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki,
- ✓ gövde ve başlık parçaları kompakt sınıfında olan
- ✓ çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar

ile

✓ Zayıf asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki I-enkesitli elemanlar durumlarını içeren ilk satır ve beşinci satırı birlikte içerdikleri için kuvvetli ve zayıf eksenlerin her birinde

- Akma sınır durumu kontrolü
- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu kontrolü yapılmalıdır

<u>Kuvvetli Eksende Akma Sınır Durumu İçin Hesap</u> $M_n = M_p = F_y \times W_{px}$ $= 235 \times 123,9 \times 10^{-3}$ $= 29,1 \text{ kNm}$	<u>Zayıf Eksenlerde Akma Sınır Durumu İçin Hesap</u> $M_n = M_p = F_y \times W_{py} \leq 1,6 F_y \times W_{ey}$ $= 235 \times 26,1 \times 10^{-3} \leq 1,6 \times 235 \times 16,66 \times 10^{-3}$ $= 6,13 \text{ kNm} \leq 6,26 \text{ kNm}$ $M_n = 6,13 \text{ kNm}$
<u>Birleşik Eğilme Etkisinde Akma Sınır Durumu Karakteristik Eğilme Dayanımı</u> $M_n = M_p = F_y \times W_{px} + F_y \times W_{py}$ $= 29,1 + 6,13$ $= 35,23 \text{ kNm}$ Hesaplanan bu değerlerin toplamı bileşik eğilme söz konusu olduğu için toplanır ve sonuç plastik moment değeri hesaplanmış olur.	
• <u>Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı.</u> $L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $= 1,76 \times 1,84 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 944,7 \text{ mm}$ $L_p = 944,7 \text{ mm} \leq L_b = 3000 \text{ mm}$ olduğu için diğer sınır uzunluk olan L_r hesaplanmalıdır.	• <u>Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı.</u> $L_p = 1,76 \times i_x \times \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $= 1,76 \times 6,58 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 3378,5 \text{ mm}$ $L_p = 3378,5 \text{ mm} > L_b = 3000 \text{ mm}$ olduğu için Yerel burulmalı burkulma hesabı yapmaya gerek yoktur. $M_n = 6,13 \text{ kNm}$

****Kuvvetli ekseninde hesaba devam edilir. Zayıf ekseninde hesap yapmaya gerek yoktur.**

Etkin Atalet Yarıçapı

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{h \times t_w}{b_f \times t_f}\right)}} = \frac{82}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1}{6} \times \frac{127 \times 5}{82 \times 7,4}\right)}} = 21,84 \text{ mm}$$

$$h_0 = d - t_f = 160 - 7,4 = 152,6 \text{ mm}$$

$$c = 1,0$$

$$L_r = 1,95 \times i_{ts} \times \frac{E}{0,7 \times F_y} \times \sqrt{\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_0} + \sqrt{\left(\frac{J \times c}{W_{ex} \times h_0}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1,95 \times 21,84 \times \frac{200000}{0,7 \times 235} \times \sqrt{\frac{3,6 \times 10^4 \times 1}{109 \times 10^3 \times 152,6} + \sqrt{\left(\frac{3,6 \times 10^4 \times 1}{109 \times 10^3 \times 152,6}\right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times 235}{200000}\right)^2}} = 5405,3 \text{ mm}$$

$$L_p = 944,7 \text{ mm} \leq L_b = 3000 \text{ mm} \leq L_r = 5405,3 \text{ mm}$$

$L_r \geq L_b \geq L_p$ olduğu durumda karakteristik eğilme momenti dayanımı (b) formülünden,

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1 \times \left[29,1 \times 10^6 - (29,1 \times 10^6 - 0,7 \times 235 \times 109 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{3000 - 944,7}{5405,3 - 944,7} \right) \right] = 31,2 \text{ kNm}$$

Akma Sınır Durumu

$$M_n = 29,1 \text{ kNm}$$

Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$M_n = 31,2 \text{ kNm}$$

Küçük Değer $M_n = 29,1 \text{ kNm}$

YDKT
Gerekli Moment Dayanımı
$M_u = M_{\max} = 25,4 \text{ kNm}$
Tasarım Moment Dayanımı
$M_d = 0,9 \times (29,1) = 26,19 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{25,4}{26,19} = 0,96 \leq 1 \quad \checkmark$

Sehim Kontrolü

Sehim hesabında hesaplama tablolarında verilen yükleme durumuna göre sehim formülleri kullanılabilir. Sehim kontrolü artırılmamış yüklere göre yapılır (YDKT de hesap yapılsa dahi). Hesaplamalar yapılırken N ve mm değerlerinin kullanılması gerekmektedir.

$$\delta_{yayılı} = \frac{5}{384} \times \frac{5,21 \times 6000^4}{200000 \times 869 \times 10^4} = 50,6 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} < \delta_{yayılı} = 50,6 \text{ mm}$$

Sehim sınırı aşılmıştır. ☒ Profil artırılmalıdır.

- **Gerekli atalet momenti hesaplanırsa,**

$$I_x = \frac{5}{384} \times \frac{5,21 \times 6000^4}{200000 \times (\delta = 20)} = 2198 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Yeni seçilen profil IPE 220 olur ($I_x=2770 \text{ cm}^4$)

$$\delta_{yayılı} = \frac{5}{384} \times \frac{5,21 \times 6000^4}{200000 \times 2270 \times 10^4} = 15,87 \text{ mm}$$

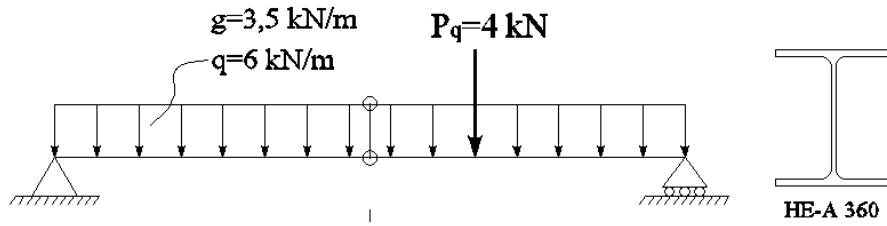
$$\frac{L}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} > \delta_{yayılı} = 15,87 \text{ mm}$$

Sehim sınırı aşılmamıştır. ☑

UYGULAMA3.5.

Şekilde yükleme durumu verilen basit kirişte etkiyen sabit yayılı yük 3,5 kN/m, hareketli yayılı yük 6 kN/m'dir. Ayrıca kirişte 4 kN'luk tekil hareketli yük bulunmaktadır. Kiriş HE-A 360 profilinden teşkil edilmiş olup mesnetlerde 4 m mesafelerde yanal harekete karşı tutulmuştur.

- Gerekli kontrolleri yaparak kirişi tahkik ediniz. ($C_b = 1$ alınabilir)
- Kirişin YDKT için kontrolleri yapınız.
- Verilen sehım sınırına göre sehım kontrolünü yapınız.
(Malzeme S275, E:200000 N/mm² sehım sınırı L/300)



Kesit Özellikleri

$$I_y = 33090.10^4 \text{ mm}^4 \quad i_z = 74,3 \text{ mm} \quad h - 2c = 261 \text{ mm}$$

$$W_{ely} = 1891.10^3 \text{ mm}^3 \quad t_f = 17,5 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm} \quad b = 300 \text{ mm}$$

$$W_{ply} = 2088.10^3 \text{ mm}^3 \quad J = 148,8.10^4 \text{ mm}^4$$

Cözüm

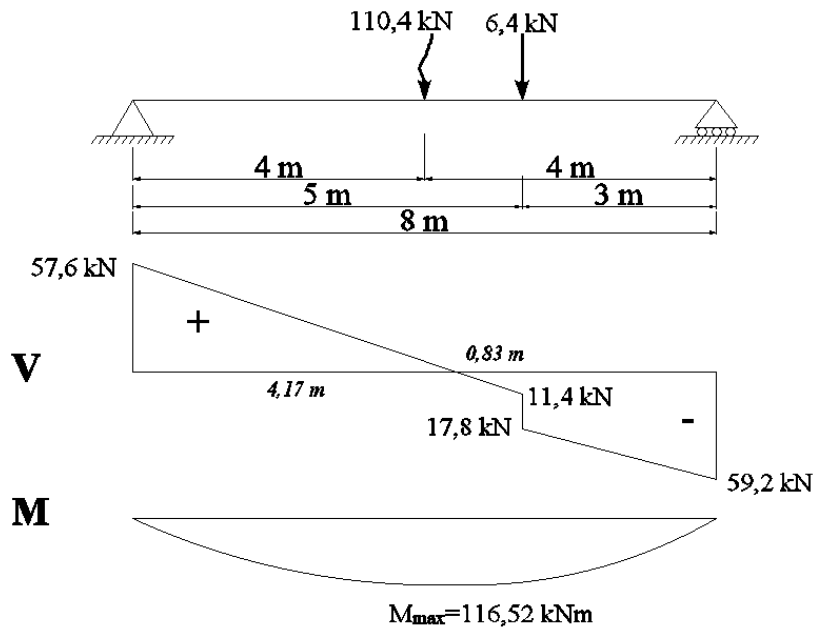
Kesme ve moment diyagramları ilk olarak oluşturulmalıdır. Bu diyagramlar eğer YDKT için hesap yapılacaksa artırılmış yüklere göre çizdirilmelidir.

Buna göre artırılmış yük değerleri;

$$g = 1,2 \times 3,5 = 4,2 \text{ kN / m}$$

$$q = 1,6 \times 6 = 9,6 \text{ kN / m}$$

$$P_q = 1,6 \times 4 = 6,4 \text{ kN}$$

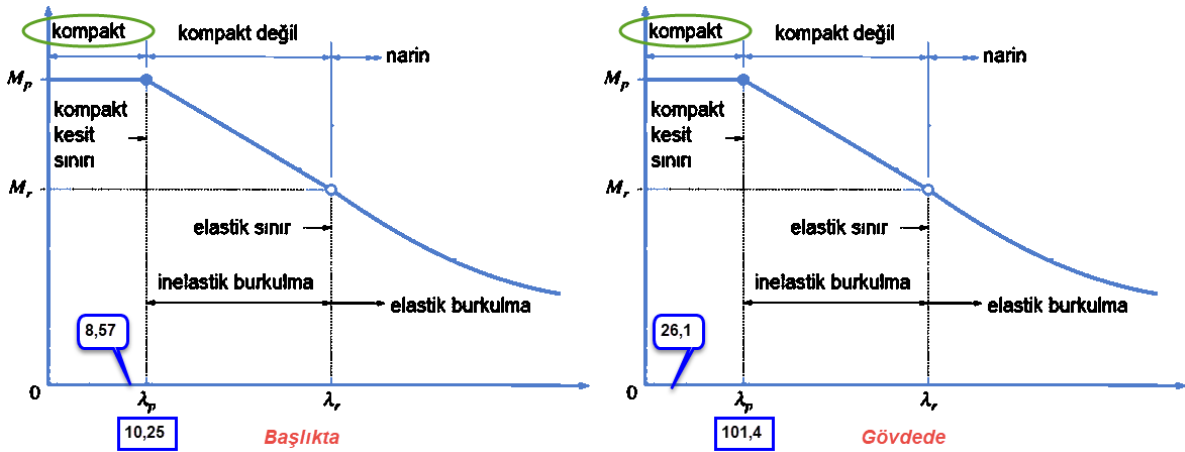


- Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosuna göre hangi sınır durumlarına göre hesap yapılması gerektiğini belirlemek adına ilk olarak yerel burkulma sınır durumuna bakılır

• Yerel Burkulma Kontrolü

$$\text{Başlık} \Rightarrow \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 17,5} = 8,57 \leq 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10,25 \Rightarrow \text{Kompakt}$$

$$\text{Gövde} \Rightarrow \frac{h-2c}{t_w} = \frac{261}{10} = 26,1 \leq 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 101,4 \Rightarrow \text{Kompakt}$$



Bu duruma göre “Eğilmeye çalışan elemanlarda sınır durumları Tablosunda”

- ✓ Kuvvetli asal eksenleri etrafında eğilme etkisindeki,
- ✓ gövde ve başlık parçaları kompakt sınıfında olan
- ✓ çift simetri eksenli I-enkesitli elemanlar

durumlarını içeren ilk satır için

- Akma sınır durumu kontrolü
- Yanal burulmalı burkulma sınır durumu kontrolü yapılmalıdır

• Akma Sınır Durumu

$$M_n = M_p = F_y \times W_{pl} = 275 \times (2088 \times 10^3) \times 10^{-6} = 574,2 \text{ kNm}$$

• Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu

$$L_b = 4000 \text{ mm}$$

$$L_p = 1,76 \times i_z \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 74,3 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 3526,55 \text{ mm}$$

$$L_p = 3526,55 \text{ mm} < L_b = 4000 \text{ mm} \quad L_r \text{ hesaplanmalıdır.}$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1 \times h \times t_w}{6 \times b_f \times t_f} \right)}} = \frac{300}{\sqrt{12 \times \left(1 + \frac{1 \times 261 \times 10}{6 \times 300 \times 17,5} \right)}} = 83,22 \text{ mm}$$

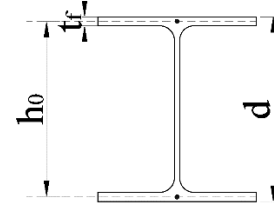
$$L_r = 1,95 \cdot i_{ts} \cdot \frac{E}{0,7F_y} \sqrt{\frac{Jc}{W_{ex}h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{W_{ex}h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7F_y}{E} \right)^2}}$$

$$h_o = d - t_f = 350 - 17,5 = 332,5 \text{ mm}$$

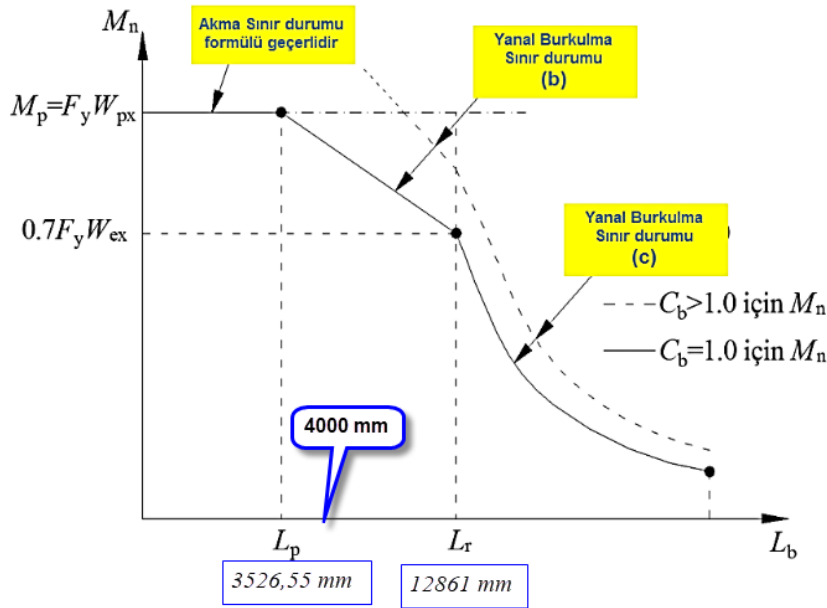
$$I_y = 33090.10^4 \text{ mm}^4 \quad i_z = 74,3 \text{ mm} \quad h - 2c = 261 \text{ mm}$$

$$W_{ely} = 1891.10^3 \text{ mm}^3 \quad t_f = 17,5 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm} \quad b = 300 \text{ mm}$$

$$W_{ply} = 2088.10^3 \text{ mm}^3 \quad J = 148,8.10^4 \text{ mm}^4$$



$$L_r = 1,95 \times 83,22 \times \frac{200000}{0,7 \times 275} \sqrt{\frac{148,8 \times 10^4 \times 1}{1891 \times 10^3 \times 332,5} + \sqrt{\left(\frac{148,8 \times 10^4 \times 1}{1891 \times 10^3 \times 332,5} \right)^2 + 6,76 \times \left(\frac{0,7 \times 275}{200000} \right)^2}} = 12861 \text{ mm}$$



$L_r \geq L_b \geq L_p$ olduğu durumda karakteristik eğilme momenti dayanımı (b) formülünden, M_n

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0,7 F_y W_{ex}) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$C_b = 1$ alınabilir uygulamada belirtilmiştir. (belirtilmediği durumda ilgili tabloya veya formüle göre hesaplanmalıdır.)

$$M_n = 1 \times \left[574,2 \times 10^6 - \left(574,2 \times 10^6 - 0,7 \times 275 \times 1891 \times 10^{-3} \right) \times \left(\frac{4000 - 3526,55}{13090 - 3526,55} \right) \right] = 563,8 \text{ kNm}$$

Akma Sınır Durumu	$M_n = 574,2 \text{ kNm}$	$\left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \text{Küçük Değer } M_n = 563,8 \text{ kNm}$
Yanal Burulmalı Burkulma Sınır Durumu	$M_n = 563,8 \text{ kNm}$	

YDKT
Gerekli Moment Dayanımı
$M_u = M_{\max} = 116,52 \text{ kNm}$
Tasarım Moment Dayanımı
$M_d = 0,9 \times (563,8) = 507,42 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{116,52}{507,42} = 0,23 \leq 1 \quad \checkmark$

Sehim Kontrolü

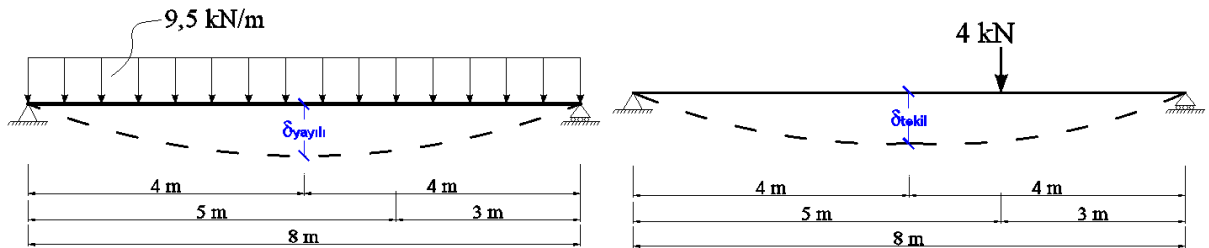
Sehim hesabında hesaplama tablolarında verilen yükleme durumuna göre sehim formülleri kullanılabilir. Sehim kontrolü artırılmamış yüklere göre yapılır (YDKT de hesap yapılsa dahi).

Yayılı yüklerden ve tekil yüklerde oluşan sehim ayrı ayrı hesaplanarak toplanır.

Burada açıklık ortası noktaları için sehim hesaplanmaktadır.

Tekil yük için hesap yapılacak x konumu $x=a=4000 \text{ mm}$ için yapılmalıdır.

Hesaplamalar yapılırken N ve mm değerlerinin kullanılması gerekmektedir.



$$\delta_{yayılı} = \frac{5}{384} \times \frac{9,5 \times 8000^4}{200000 \times 33090 \times 10^4} = 7,66 \text{ mm}$$

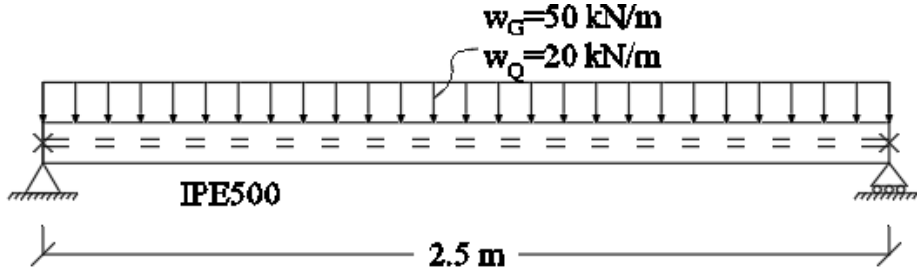
$$\delta_{tekil} = \frac{-4 \times 5000 \times (x = 4000)}{6 \times 200000 \times 33090 \times 10^4 \times 8000} \left(8000^2 - 5000^2 - (x = 4000)^2 \right) = 0,589 \text{ mm} \cong 0,59 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{300} = \frac{8000}{300} = 26,67 \text{ mm} \geq \delta_{yayılı} + \delta_{tekil} = 7,66 + 0,59 = 8,25 \text{ mm}$$

Sehim sınırı aşılmamıştır. $\checkmark$

UYGULAMA 3.5.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen, *IPE 500* enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında zayıf eksenine dik olmak üzere, sırasıyla $w_G = 50 \text{ kN/m}$ ve $w_Q = 20 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

Celik sınıfı S275 $F_y = 275 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 430 \text{ N/mm}^2$ (Tablo 2.1 A)

Enkesit IPE500

$I_x = 48200 \text{ cm}^4$	$W_{ex} = 1928 \text{ cm}^3$	$W_{px} = 2194 \text{ cm}^3$	$J = 89.29 \text{ cm}^4$
$d = 426 \text{ mm}$	$h = 500 \text{ mm}$	$b_f = 200 \text{ mm}$	$t_f = 16 \text{ mm}$
$t_w = 10.2 \text{ mm}$	$i_y = 4.31 \text{ cm}$	$W_{ey} = 214.2 \text{ cm}^3$	$W_{py} = 335.9 \text{ cm}^3$

Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{200}{(2 \times 16)} = 6.25 \leq \lambda_p = 0.38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 10.25$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre, enkesitin başlık parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, başlık parçaları kompakt olarak sınıflandırılır. Zayıf asal ekseninde eğilme etkisindeki, *I* – *enkesitli* elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , Yönetmelik 9.6 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

$$M_n = M_p = F_y \times w_{py} \leq 1,6 \times F_y \times w_{ey}$$

$$M_n = 275 \times 335,9 \times 10^{-3} = 92,37 \text{ kNm} \leq 1,6 \times 275 \times 214,5 \times 10^{-3} = 94,25 \text{ kNm} \quad (9.6a)$$

Yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

Enkesitin başlık parçaları kompakt olarak sınıflandırıldığından, Yönetmelik 9.6.2(a) uyarınca, bu sınır durumunun göz önüne alınmasına gerek yoktur.

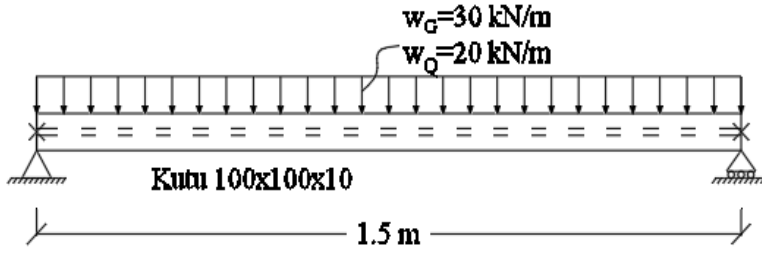
Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = M_p = 92,37 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme	Momenti dayanımı
$W_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $W_u = 1,2 \times 50 + 1,6 \times 20 = 92 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{W_u \times L^2}{8} = \frac{92 \times 2,5^2}{8} = 71,88 \text{ kNm}$	$W_a = W_G + W_Q$ $W_a = 50 + 20 = 70 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{70 \times 2,5^2}{8} = 54,69 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \theta_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 92,37 = 83,14 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{92,37}{1,67} = 55,31 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{71,88}{83,14} = 0,86 \leq 1$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{54,69}{55,31} = 0,99 \leq 1$

UYGULAMA 3.6.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen Kutu $100 \times 100 \times 10$ enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında kuvvetli ekseninde dik olmak üzere, sırasıyla $W_G = 30 \text{ kN/m}$ ve $W_Q = 20 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

Celik sınıfı

S235 $F_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 360 \text{ N/mm}^2$ (Yönetmelik Tablo 2.1 B)

Enkesit

TS EN 10219- Elektrik Direnç Kaynaklı

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca, $t = 0,93 = 0,93 \times (10) = 9,3 \text{ mm}$ için

Kutu $100 \times 100 \times 10$

$W_e = 82,2 \text{ cm}^3$ $W_p = 105 \text{ cm}^3$

Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 17)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{100 - 3 \times (0,93 \times 10)}{(0,93 \times 10)} = 7,75 \leq \lambda_p = 1,12 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 32,67$$

Gövde parçası (Tablo 5.1 B, Durum 19)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{100 - 3 \times (0,93 \times 10)}{(0,93 \times 10)} = 7,75 \leq \lambda_p = 2,42 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \times \sqrt{\frac{200000}{235}} = 70,6$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1 B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, enkesit parçaları kompakt olarak değerlendirilir.

Eğilme etkisindeki, kutu enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n Yönetmelik 9.7 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

$$M_n = M_p = F_y \times w_p = 235 \times 105 \times 10^{-3} = 24,68 \text{ kNm} \quad (9.43)$$

Kutu 100×100×10 enkesitli eğilme elemanının enkesit parçaları kompakt olarak sınıflandırıldığından, elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesinde, Yönetmelik 9.7.2(a) ve 9.7.3(a) uyarınca başlık ve gövde yerel burkulma sınır durumlarının gözönüne alınmasına gerek yoktur.

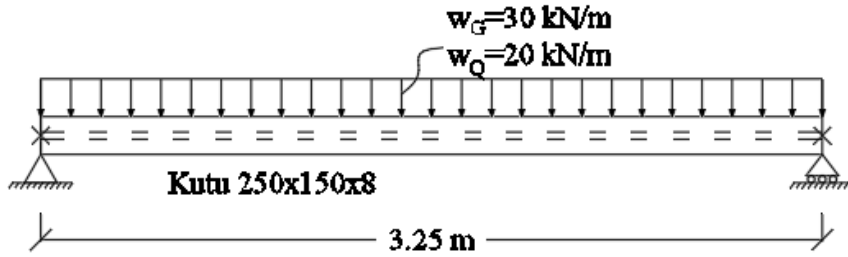
Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur.

$$M_n = M_p = 24,68 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme	momenti dayanımı
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 30 + 1,6 \times 20 = 68 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{68 \times 1,5^2}{8} = 19,13 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 30 + 20 = 50 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{50 \times 1,5^2}{8} = 14,06 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \theta_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 24,68 = 22,21 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{24,68}{1,67} = 14,78 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{19,13}{22,21} = 0,86 \leq 1$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{14,06}{14,78} = 0,95 \leq 1$

UYGULAMA 3.7.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen Kutu $250 \times 150 \times 8$ enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında zayıf eksenine dik doğrultuda olmak üzere, sırasıyla $W_G = 30 \text{ kN/m}$ ve $W_Q = 20 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

S275

Enkesit Kutu $250 \times 150 \times 8$

TS EN 10219- Elektrik Direnç Kaynaklı, Yönetmelik 5.4.2 uyarınca,

$t = 0,93 = 0,93 \times (8) = 7,44 \text{ mm}$ için

$W_{ey} = 391 \text{ cm}^3$ $W_{py} = 482 \text{ cm}^3$

Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 17)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{250 - 3 \times (0,93 \times 8)}{(0,93 \times 8)} = 30,60 \geq \lambda_p = 1,12 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 30,2$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{250 - 3 \times (0,93 \times 8)}{(0,93 \times 8)} = 30,60 \leq \lambda_p = 1,40 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,40 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 37,76$$

Gövde parçası (Tablo 5.1 B, Durum 19)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{150 - 3 \times (0,93 \times 8)}{(0,93 \times 8)} = 17,16 \leq \lambda_p = 2,42 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,42 \times \sqrt{\frac{200000}{275}} = 65,26$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık ve gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1 B de verilen λ_p ve λ_r sınır değeri arasında kaldığından, başlık parçaları kompakt olmayan enkesit parçası olarak sınıflandırılır.

Enkesitin gövde parçalarının genişlik/kalınlık oranları Tablo 5.1B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, gövde parçaları kompakt enkesit parçası olarak değerlendirilir.

Eğilme etkisindeki, kutu enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n Yönetmelik 9.7 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

$$M_n = M_p = F_y \times w_p = 275 \times 482 \times 10^{-3} = 132,55 \text{ kNm}$$

Başlık yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

$$M_n = \left[M_p - (M_p - F_y \times W_{ey}) \times (3,57 \times \frac{b}{t_f} \times \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4) \right] \leq M_p$$

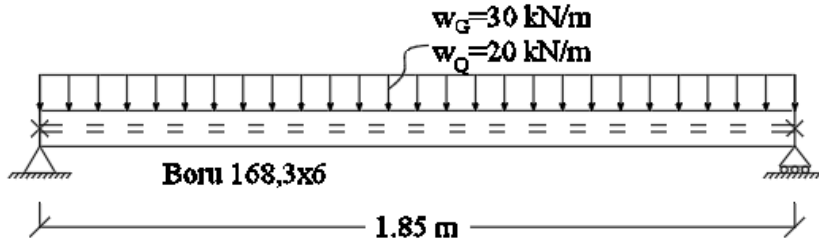
$$M_n = \left[132,55 - (132,55 - 275 \times 391 \times 10^{-3}) \times (3,57 \times 30,6 \times \sqrt{\frac{275}{200000}} - 4) \right]$$

$$M_n = 131,27 \text{ kNm} \leq M_p = 132,55 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme	momenti dayanımı
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 30 + 1,6 \times 20 = 68 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{68 \times 3,25^2}{8} = 89,78 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 30 + 20 = 50 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{50 \times 3,25^2}{8} = 66,02 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \theta_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 131,27 = 118,14 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{131,27}{1,67} = 78,61 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{89,78}{118,14} = 0,76 \leq 1$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{66,02}{78,61} = 0,84 \leq 1$

UYGULAMA 3.8.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen Boru 168,3×6 enkesitli basit kiriş, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla $W_G = 30 \text{ kN/m}$ ve $W_Q = 20 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş enkesiti mesnetlerde yanal olarak desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

Celik sınıfı

$$S235 \quad F_y = 235 \text{ N/mm}^2 \quad F_u = 360 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{Yönetmelik Tablo 2.1 B})$$

Enkesit TS EN 10219- Elektrik Direnç Kaynaklı

Yönetmelik 5.4.2 uyarınca, $t = 0,93 = 0,93 \times (6) = 5,58 \text{ mm}$ için

Boru 168,3×6

$$W_p = 158 \text{ cm}^3$$

Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 9.8 uyarınca,

Boru enkesitin çap/kalınlık oranı kontrolü

$$\frac{D}{t} = \frac{168,3}{(0,93 \times 6)} = 30,16 \leq 0,45 \times \frac{E}{F_y} = 0,45 \times \frac{200000}{235} = 382,98$$

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

(Tablo 5.1 B, Durum 17)

$$\lambda = \frac{D}{t} = \frac{168,3}{(0,93 \times 6)} = 30,16 \leq \lambda_p = 0,07 \times \frac{E}{F_y} = 0,07 \times \frac{200000}{235} = 59,57$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin çap/kalınlık oranı Tablo 5.1 B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, enkesit kompakt olarak değerlendirilir.

Eğilme etkisindeki, boru enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , Yönetmelik 9.8 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

$$M_n = M_p = F_y \times w_p = 235 \times 158 \times 10^{-3} = 37,13 \text{ kNm} \quad (9.43)$$

Enkesit kompakt olarak sınıflandırıldığından, elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesinde, Yönetmelik 9.8.1(a) uyarınca yerel burkulma sınır durumunun gözönüne alınmasına gerek yoktur.

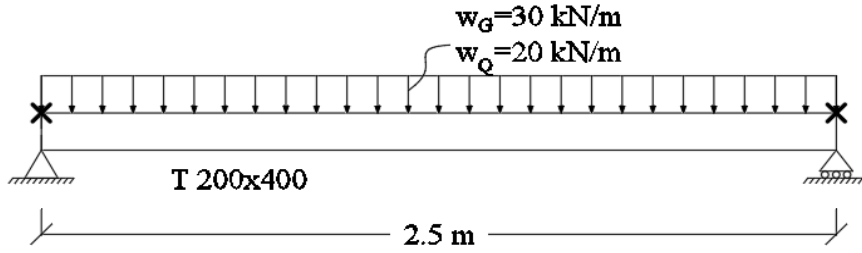
Bu durumda, karakteristik eğilme momenti dayanımı akma sınır durumu ile belirlenen değere eşit olur

$$M_n = M_p = 37,13 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme	momenti dayanımı
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 30 + 1,6 \times 20 = 68 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{68 \times 1,85^2}{8} = 29,09 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 30 + 20 = 50 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{50 \times 1,85^2}{8} = 21,39 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \theta_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 37,13 = 33,42 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{37,13}{1,67} = 22,23 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{29,09}{33,42} = 0,87 \leq 1$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{21,39}{22,23} = 0,96 \leq 1$

UYGULAMA 3.9.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen $T 200 \times 400$ enkesitli basit kiriş, simetri düzlemi içinde ve gövde parçasının serbest ucu çekme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında, sırasıyla $W_G = 30 \text{ kN/m}$ ve $W_Q = 20 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş başlığı yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

Celik sınıfı

S355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $t_w = 13 \text{ mm}$ (Yönetmelik Tablo 2.1 B)

Enkesit

$T 200 \times 400$

$$W_{ext} = 148 \text{ cm}^3 \quad W_{exc} = 772 \text{ cm}^3 \quad W_{px} = 276 \text{ cm}^3 \quad I_y = 11210 \text{ cm}^4 \quad J = 151 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 101 \text{ mm} \quad d = 200 \text{ mm} \quad b_f = 400 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm} \quad t_w = 13 \text{ mm}$$

Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 5.4 uyarınca,

Yerel burkulma sınır durumu için enkesitin sınıflandırılması

Başlık parçası (Tablo 5.1 B, Durum 10)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{400}{2 \times 21} = 9,52 \geq \lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 9,02$$

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{400}{2 \times 21} = 9,52 \leq \lambda_p = 1 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 23,73$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre enkesitin başlık parçasının genişlik/kalınlık oranları Yönetmelik Tablo 5.1 B de verilen λ_p sınır değeri ile λ_r sınır değeri arasında kaldığından, başlık parçası kompakt olmayan enkesit parçası olarak sınıflandırılır.

Simetri düzlemi içindeki yükleme durumu x-ekseni etrafında eğilme etkisindeki, tek simetri eksenli T 200x400 enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , Yönetmelik 9.9 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

$$M_n = M_p = \quad (9.52)$$

T-enkesitin gövdesi çekme etkisinde olduğundan Yönetmelik 9.9.1 (a) uyarınca,

$$M_p = F_y \times W_{px} \leq 1,6 \times M_y = 1,6 \times (F_y \times W_{ex})$$

$$M_p = F_y \times W_{px} = 355 \times (276) \times 10^{-3} = 97,98 \text{ kNm}$$

$$1,6 \times M_y = 1,6 \times (F_y \times W_{ex}) = 1,6 \times 355 \times 148 \times 10^{-3} = 84,06 \text{ kNm}$$

$$M_p = 97,98 \text{ kNm} \leq 1,6 \times M_y = 84,06 \text{ kNm} \quad \text{X}$$

Olduğundan, bu sınır durum için karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = 84,06 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

Kiriş başlığı mesnet noktalarından yanal olarak desteklendiğinden, $L_b = 2500 \text{ mm}$ 'dir.

$$L_b = 2500 \leq L_p = 1,76 \times i_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 101 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 4219 \text{ mm} \quad (9.56a)$$

Olduğundan, Yönetmelik 9.9.2(a) uyarınca, bu sınır durumun göz önüne alınmasına gerek yoktur.

Başlık yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

T-enkesitin başlığı kompakt olmayan enkesit parçası olarak sınıflandırıldığından, yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n , Yönetmelik 9.9.3(a)(2) uyarınca,

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0,7 \times F_y \times W_{exc}) \times \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq 1,6 \times M_y$$

$$M_n = \left[97,98 - (97,98 - 0,7 \times 355 \times 772 \times 10^{-3}) \times \left(\frac{9,52 - 9,02}{23,74 - 9,02} \right) \right] = 94,79 \text{ kNm}$$

$$94,79 \text{ kNm} \leq 1,6 \times M_y = 84,06 \text{ kNm} \quad \text{X}$$

Olduğundan, bu sınır durum için karakteristik eğilme momenti dayanımı,

$$M_n = 84,06 \text{ kNm}$$

Gövdenin yerel burkulma sınır durumundan karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

T-enkesitin gövde parçası çekme etkisinde olduğundan, Yönetmelik 9.9.4(a) uyarınca, bu sınır durumun göz önüne alınması gerek yoktur.

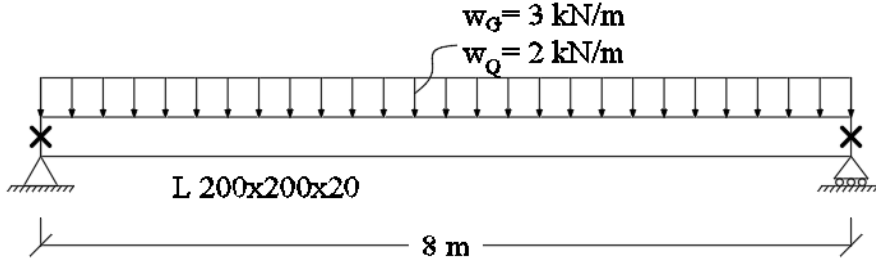
Bu durumda, Yönetmelik 9.9 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını akma sınır durumu belirler.

$$M_n = 84,06 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 30 + 1,6 \times 20 = 68 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{68 \times 2,5^2}{8} = 53,13 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 30 + 20 = 50 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{50 \times 2,5^2}{8} = 39,06 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \theta_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 84,06 = 75,66 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{84,06}{1,67} = 50,34 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{53,13}{75,66} = 0,7 \leq 1$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{39,06}{50,34} = 0,78 \leq 1$

UYGULAMA 3.10.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen $L 200 \times 200 \times 20$ enkesitli basit kiriş, x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla $w_G = 3 \text{ kN/m}$ ve $w_Q = 2 \text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş mesnetlerde yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir. Korniyerin yükleme doğrultusuna paralel olan kolunun uç bölümü basınç etkisindedir.



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

Çelik sınıfı

S355 $F_y = 355 \text{ N/mm}^2$ $F_u = 510 \text{ N/mm}^2$ (Yönetmelik Tablo 2.1 A)

Enkesit

$L 200 \times 200 \times 20$ $w_{ex} = 199,10 \text{ cm}^3$

Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Yönetmelik 9.10 uyarınca

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

Eşit kollu korniyer x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olduğundan, Yönetmelik 9.10.2(ii) uyarınca,

$$M_y = 0,8 \times F_y \times W_{ex} = 0,8 \times 355 \times 199,10 \times 10^{-3} = 56,54 \text{ kNm}$$

Akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = 1,5 \times M_y = 1,5 \times 56,54 = 84,82 \text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

Eşit kollu tek korniyer x-geometrik eksenini etrafında eğilme etkisinde ve eğilme düzlemine paralel doğrultudaki kolunun uç bölümü çekme etkisinde olduğundan elastik yanal burulmalı burkulma momenti, M_{cr} , Yönetmelik 9.10.2(2)(ii) uyarınca belirlenir.

$$M_{cr} = \frac{0,58 \times E \times t \times b^4 \times C_b}{L_b^2} \times \left(\sqrt{1 + 0,88 \times \left(\frac{L_b \times t}{b^2} \right)^2} - 1 \right)$$

$$M_{cr} = \frac{0,58 \times 200000 \times 20 \times 200^4 \times 1,14}{8000^2} \times \left(\sqrt{1 + 0,88 \times \left(\frac{8000 \times 20}{200^2} \right)^2} - 1 \right) \times 10^{-6} = 190,64 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_y}{M_{cr}} = \frac{56,54}{190,64} = 0,3 \leq 1,0$$

Olduğundan, Yönetmelik 9.10.2(2) ile karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = \left[1,92 - 1,17 \times \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right] \times M_y \leq 1,5 \times M_y$$

$$M_n = \left[1,92 - 1,17 \times \sqrt{0,3} \right] \times 56,54 = 72,54 \text{ kNm} \leq 1,5 \times 56,54 = 84,82 \text{ kNm}$$

$$M_n = 72,54 \text{ kNm}$$

Korniyerin kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

Korniyer kolunun korniyerin eğilme düzlemine paralel olan kolunun uç bölümü basınç etkisinde olduğundan, Yönetmelik 5,4 uyarınca,

Korniyer kolu (Tablo 5.1B, Durum 12)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{200}{20} = 10 \leq \lambda_p = 0,54 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0,54 \times \sqrt{\frac{200000}{355}} = 12,82$$

Yerel burkulma sınır durumuna göre korniyer kolunun genişlik/kalınlık oranı Tablo 5.1B de verilen λ_p sınır değerini aşmadığından, enkesit kompakt olarak sınıflandırılır. Bu durumda Yönetmelik 9.10.3(a) uyarınca, bu sınır durumun göz önüne alınmasına gerek yoktur.

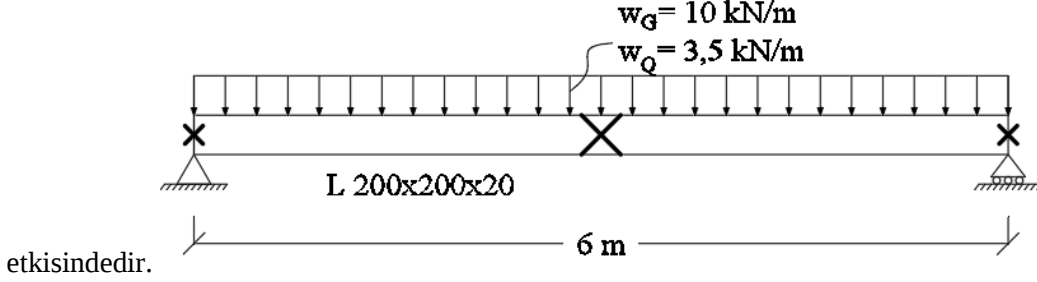
Yönetmelik 9.10 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını yanal burulmalı burkulma sınır durumu belirler.

$$M_n = 72,54 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme	momenti dayanımı
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 3 + 1,6 \times 2 = 6,8 \text{ kN / m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{6,8 \times 8^2}{8} = 54,4 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 3 + 2 = 5 \text{ kN / m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{5 \times 8^2}{8} = 40 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \phi_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 72,54 = 65,28 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{72,54}{1,67} = 43,43 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{54,4}{65,18} = 0,83 \leq 1$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{40}{43,43} = 0,92 \leq 1$

UYGULAMA 3.11.

Aşağıdaki şekilde sistemi ve yükleme durumu verilen $L\ 200 \times 200 \times 20$ enkesitli basit kiriş, x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olacak şekilde, sabit ve hareketli yükler altında sırasıyla $W_G = 10\text{ kN/m}$ ve $W_Q = 3,5\text{ kN/m}$ üniform yayılı yük etkisindedir. Kiriş mesnetlerde ve açıklık ortasında yanal burulmalı burkulmaya karşı desteklenmiştir. Korniyerin yükleme doğrultusuna paralel olan kolunun uç bölümü basınç



- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi
- Tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü (YDKT)
- Güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü (GKT)

Çelik sınıfı

S355 $F_y = 355\text{ N/mm}^2$ $F_u = 510\text{ N/mm}^2$ (Yönetmelik Tablo 2.1 A)

Enkesit

$L\ 200 \times 200 \times 20$ $w_{ex} = 199,10\text{ cm}^3$

Çözüm

- Kirişin karakteristik eğilme momenti dayanımının belirlenmesi

Eğilme etkisindeki, $L\ 200 \times 200 \times 20$ enkesitli elemanın karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n Yönetmelik 9.10 uyarınca belirlenecektir.

Akma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

Eşit kollu korniyer x-ekseni etrafında eğilme etkisinde olduğundan, Yönetmelik 9.10.2(ii) uyarınca,

$$M_y = F_y \times W_{ex} = 355 \times 199,10 \times 10^{-3} = 70,68\text{ kNm}$$

Akma sınır durumu için karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = 1,5 \times M_y = 1,5 \times 70,68 = 106,02\text{ kNm}$$

Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

Eşit kollu tek korniyer x-geometrik eksenini etrafında eğilme etkisinde ve eğilme düzlemine paralel doğrultudaki kolunun uç bölümü çekme etkisinde olduğundan elastik yanal burulmalı burkulma momenti, M_{cr} , Yönetmelik 9.10.2(2)(ii) uyarınca belirlenir.

$$M_{cr} = \frac{0,58 \times E \times t \times b^4 \times C_b}{L_b^2} \times \left(\sqrt{1 + 0,88 \times \left(\frac{L_b \times t}{b^2} \right)^2} - 1 \right)$$

$$M_{cr} = \frac{0,58 \times 200000 \times 20 \times 200^4 \times 1,30}{3000^2} \times \left(\sqrt{1 + 0,88 \times \left(\frac{3000 \times 20}{200^2} \right)^2} - 1 \right) \times 10^{-6} = 389,4 \text{ kNm}$$

Korniyer, en büyük eğilme momenti etkisindeki enkesit hizasında (açıklık ortasında) yanal olarak desteklendiğinden, Yönetmelik 9.10.2(2)(ii) uyarınca $1,25 \times M_{cr}$ alınabilir. Bu durumda, akma momenti, M_y i ilgili geometrik eksene göre belirlenen akma momenti olarak alınarak,

$$\frac{M_y}{1,25 \times M_{cr}} = \frac{70,68}{1,25 \times 389,4} = 0,14 \leq 1,0$$

Olduğundan, Yönetmelik 9.10.2(2) ile karakteristik eğilme momenti dayanımı, M_n

$$M_n = \left[1,92 - 1,17 \times \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right] \times M_y \leq 1,5 \times M_y$$

$$M_n = \left[1,92 - 1,17 \times \sqrt{0,14} \right] \times 70,68 = 104,76 \text{ kNm} \leq 1,5 \times 70,68 = 106,02 \text{ kNm}$$

$$M_n = 104,76 \text{ kNm}$$

Korniyerin kolunun yerel burkulma sınır durumunda karakteristik eğilme momenti dayanımı. M_n

Korniyerin eğilme düzlemine paralel doğrultudaki kolunun uç bölümü çekme etkisinde olduğundan, bu sınır durumun göz önüne alınmasına gerek yoktur.

Bu durumda, Yönetmelik 9.10 uyarınca, karakteristik eğilme momenti dayanımını yanal burulmalı burkulma sınır durumu belirler.

$$M_n = 104,76 \text{ kNm}$$

YDKT	GKT
Gerekli eğilme momenti dayanımı	Gerekli eğilme momenti dayanımı
$w_u = 1,2 \times W_G + 1,6 \times W_Q$ $w_u = 1,2 \times 10 + 1,6 \times 3,5 = 17,6 \text{ kN/m}$ $M_u = \frac{w_u \times L^2}{8} = \frac{17,6 \times 6^2}{8} = 79,2 \text{ kNm}$	$w_a = W_G + W_Q$ $w_a = 10 + 3,5 = 13,5 \text{ kN/m}$ $M_a = \frac{W_a \times L^2}{8} = \frac{13,5 \times 6^2}{8} = 60,75 \text{ kNm}$
b. Kirişin tasarım eğilme momenti dayanımının kontrolü	c. Kirişin güvenli eğilme momenti dayanımının kontrolü
$M_d = \theta_b \times M_n$ $M_d = 0,9 \times 104,76 = 94,28 \text{ kNm}$	$M_g = \frac{M_n}{\Omega_b}$ $M_g = \frac{104,76}{1,67} = 62,73 \text{ kNm}$
$\frac{M_u}{M_d} = \frac{79,2}{94,28} = 0,84 \leq 1$	$\frac{M_a}{M_g} = \frac{60,75}{62,73} = 0,97 \leq 1$