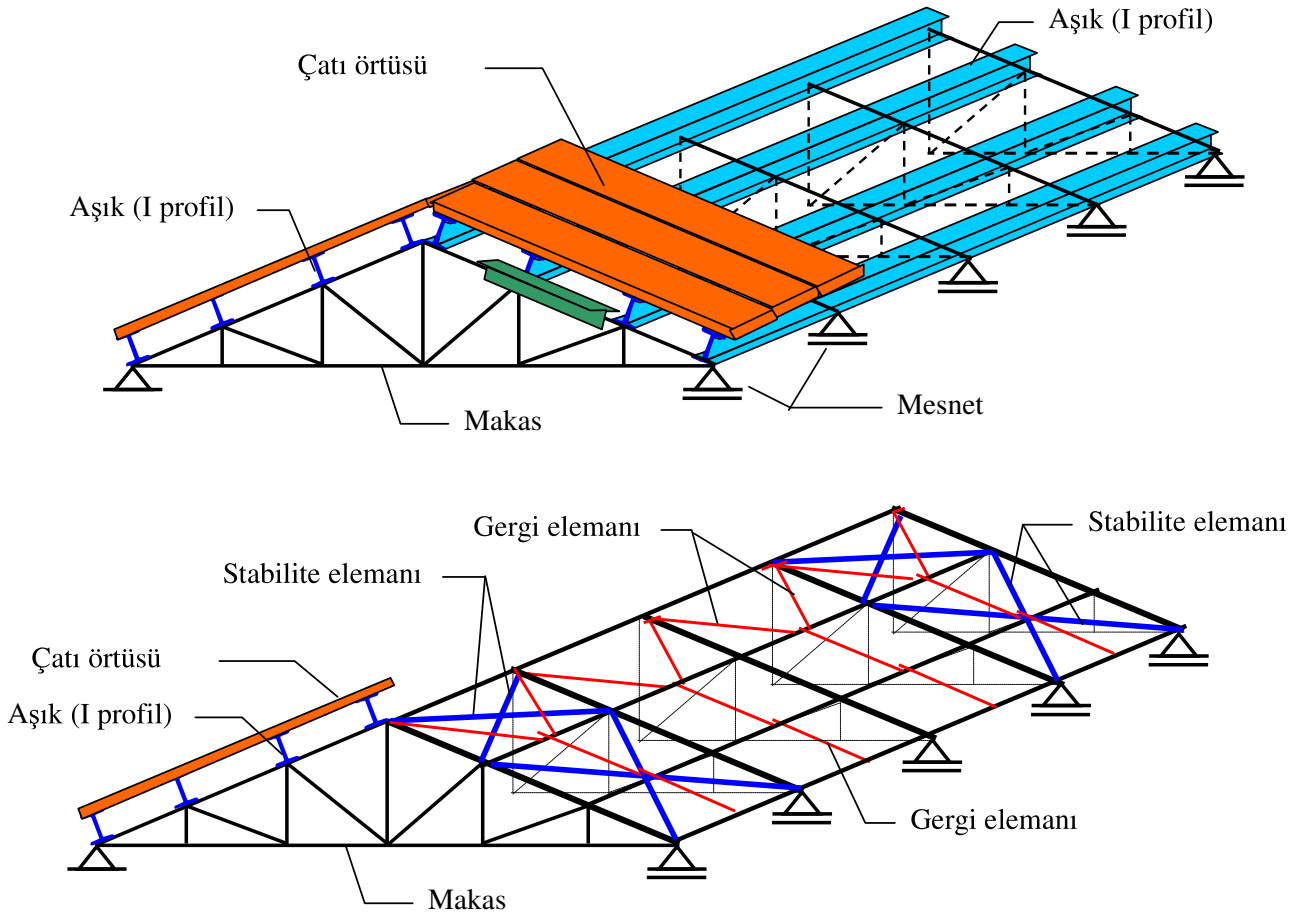


ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİ

Çelik çatı sistemleri aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır.

- ❑ **Kafes kirişler (Makaslar)**
 - ❑ Alt başlık elemanları
 - ❑ Üst başlık elemanları
 - ❑ Dikme elemanları
 - ❑ Diyagonal elemanları
 - ❑ **Aşıklar** (I, U profilleri)
 - ❑ **Gergi elemanları** ($\phi 10$, $\phi 12$ betonarme çeliği)
 - ❑ **Stabilite elemanları** (L profili veya lama)
(yatay ve düşey stabilite elemanları)
 - ❑ **Mesnetler** (Lama, levha)
 - ❑ **Çatı örtüsü**
- Taşıyıcı elemanlar
- Taşınan eleman (ikincil taşıyıcı)



1) Çelik Çatı Taşıyıcı Sisteminin Geometrik Özelliklerinin Belirlenmesi

1.1) Aşık Aralıklarının Çatı Örtüsüne Bağlı Olarak Belirlenmesi

Çatı örtüsünü taşıyan taşıyıcı eleman aşık olarak isimlendirilir. 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 vb 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 kataloglardan 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.

Örnek Hesap:

❑ Çatı örtüsü yükü

Alüminyum Sandviç Panel için;

İlgili teknik broşürden seçilen 50 mm polistren dolgu kalınlığı için $P_{\text{örtü}} = 4,10 \text{ kg / m}^2$

❑ Kar Yüğü :

Proje İnşaat Yeri : Balıkesir (rakım: 150 m)

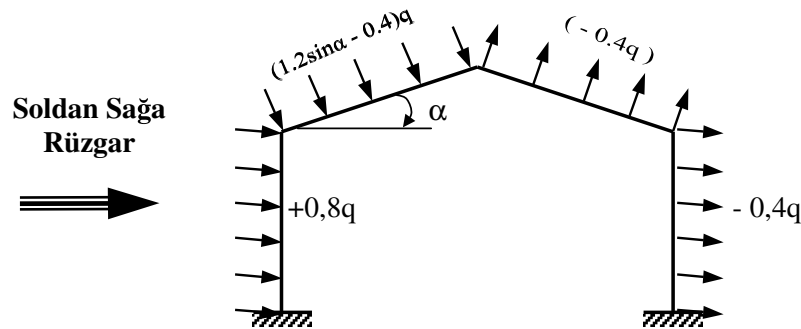
TS 498'deki Kar yükü Tablosundan (haritasından) $P_{\text{kar}} = 75,00 \text{ kg / m}^2$

❑ Rüzgar Yüğü :

Yapı yüksekliği $H = 12.40 \text{ m}$ için TS 498'deki Rüzgar Yüğü tablosundan,

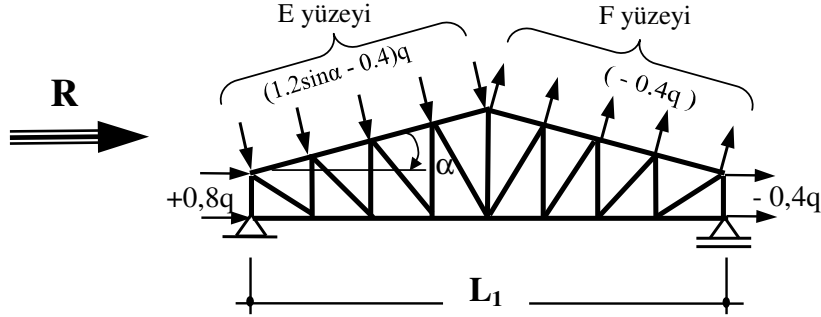
Birim rüzgar yükü $q = 80 \text{ kg / m}^2$ olarak belirlenir.

TS 498'deki Rüzgar Yüğü dağılım şemasından, yapı yüzeylerine etkiyecek yükler belirlenir.



TS 498'deki Rüzgar Yüğü dağılım şeması

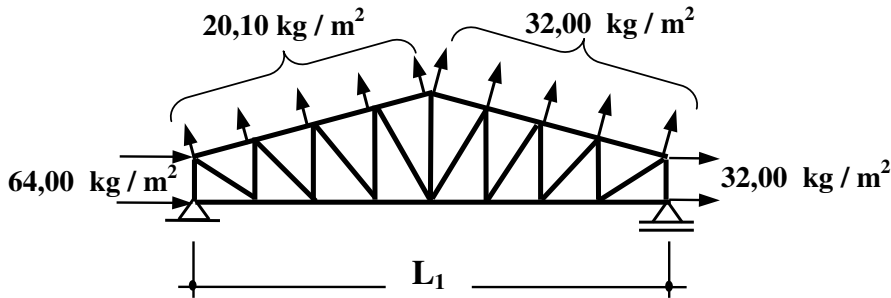
Bu yük dağılımları trapez kafes sistem için uygulanırsa aşağıdaki gibi elde edilir.



Yük dağılımlarının sayısal değerleri hesaplanırsa;

$$L_1 = 16.20 \text{ m} , \quad h_1 = 2.025 \text{ m} , \quad h_2 = 1.0125 \text{ m} \quad \text{ için } \alpha = \arctg(L_1/2(h_1 - h_2)) = 7,125^\circ$$

$$\begin{aligned} P_{rE} &= (1,2 \sin \alpha - 0,4)q = -20,10 \text{ kg / m}^2 \\ P_{rF} &= -(0,4)q = -32,00 \text{ kg / m}^2 \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Her iki yüzeyde de emme etkisi olduğundan çatı yükü} \\ \text{analizinde hesaba katılmaz.} \end{array}$$



(Not: Rüzgar yükünün basınç çıkması halinde çatı yükü analizine katılması gerekir.)

□ **Buz Yükü**

Balıkesir'in Rakımı = 150 m

TS 498'e göre; Rakım=150 m < 400 olduğundan buz yükü almaya gerek yoktur.

(Not: Rakım > 400 m olması halinde, TS 498'de verilen buz yükü esas alınacaktır. TS 498'de, Buz yükü olarak $P_{buz} = 21 \text{ kg / m}^2$ lik yük alınması öngörülmektedir.)

$$\text{Toplam çatı yükü: } P = P_{örtü} + P_{kar} + P_{rüz} + P_{buz} = 79,10 \text{ kg/m}^2$$

Çatı örtüsüne ait teknik broşürden, yukarıdaki yük değeri ($P = 79,10 \text{ kg/m}^2$) kullanılarak maksimum aşık aralığı (t) belirlenir.

İSOPANEL ATERMIT ÜRÜNLERİ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Tablo 1 YÜK TAŞIMA KAPASİTELERİ

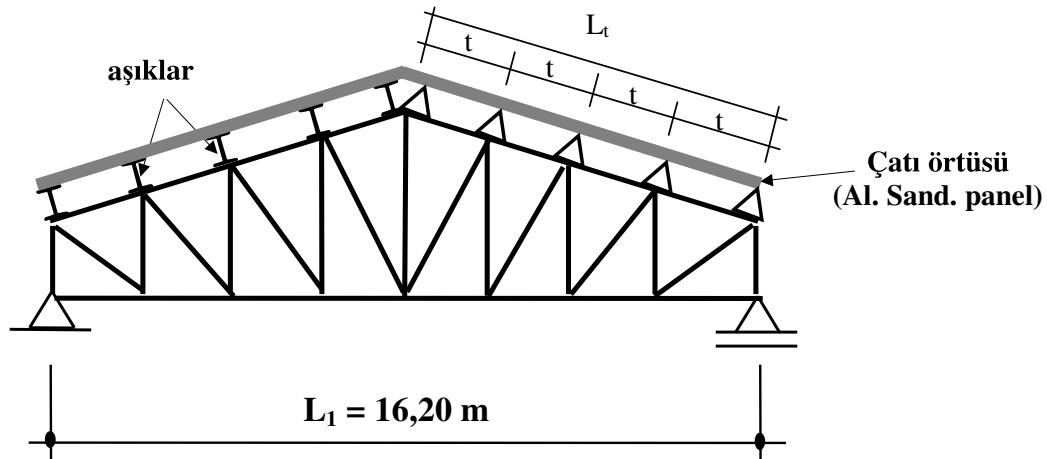
(Kullanılan sehim limiti $L / 200$ 'dür)

Alüminyum levha kalınlığı (mm)	Polistren dolgu kalınlığı (mm)	Polistren yoğunluğu (kg / m ³)	Panel ağırlığı (kg / m ²)	λ değeri (kcal/mh°C)	Geçilebilen açıklık L (cm)									
					P (kg / m ²)					P (kg / m ²)				
					60	80	100	120	150	60	80	100	120	150
üst	alt													
0.50	0.50	40	14	3.9	0.034	240	200	190	180	290	260	240	220	200
0.50	0.50	50	14	4.1	0.034	255	210	200	190	305	275	250	230	210

Tablo 2 İZOLASYON KAZANCININ FREKANSLA DEĞİŞİMİ (d B olarak)

Frekans (Hz)	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
Kalınlık																
40 mm	11	16	13	20	18	20	18	21	19	21	24	26	26	22	22	26

Bu test İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Akustik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



t için ön hesap:

$$L_t = L_1 / 2(\cos \alpha) = 8,163 \text{ m}$$

$P = 79,10 \text{ kg/m}^2$ için teknik broşürden geçilebilecek maksimum aşık aralığı $t_{\text{ön}} = 2,35 \text{ m}$ olarak belirlenir.

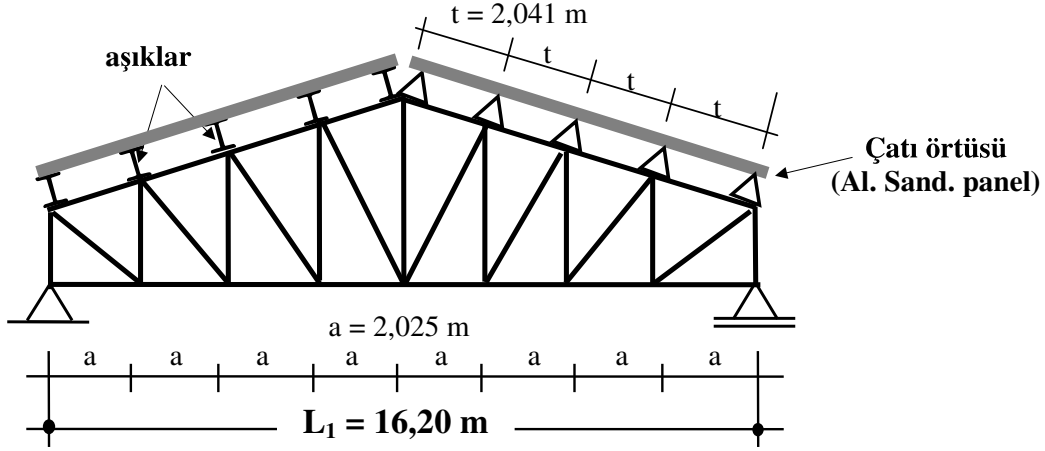
$$\text{Göz sayısı } n = \frac{L_t}{t_{\text{ön}}} = 3,47 \nearrow 4 \text{ elde edilir.}$$

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

$$\text{Aşık aralığı: } t = \frac{L_t}{n} = 2,041 \text{ m olarak belirlenir.}$$

t değeri kullanılarak; $a = t \cdot \cos \alpha = 2,025 \text{ m}$ olarak hesaplanır.

Sonuç olarak, sistemin aşağıdaki gibi **8 göz**lü olarak teşkil edilmesine karar verilmiştir.



Not: Aşık aralığı hesabı yapılırken, panel boyu ve uygulama şekli (bindirme mesafesi vb.) gözönünde bulundurulacak ve minimum zayıt olacak şekilde bir çözüm üretilecektir.

1. 2) Kafes Kiriş Sayısının ve Ara Mesafelerinin Belirlenmesi

Kafes kiriş olarak teşkil edilen çatı sistemlerinin ekonomik olması için kafes kiriş (makas) aralıklarının 3 – 8 m seçilmesi uygun olmaktadır.

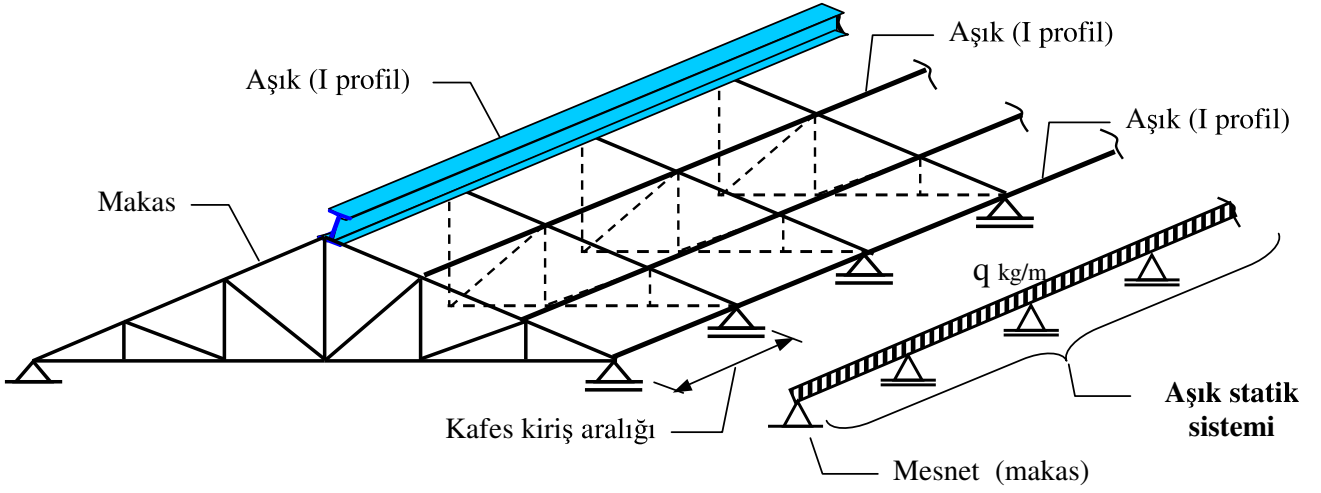
Buna göre;

- ❑ ağır çatı örtüleri (kalın gazbeton plaklar, kiremit vb.) kullanılması durumunda **3 m**'ye yakın açıklıklar,
- ❑ hafif çatı örtüleri (al. sand. panel, trapez. levha, eternit vb.) kullanılması durumunda **8 m**'ye yakın açıklıklar

kullanılması en uygun çözümü vermektedir.

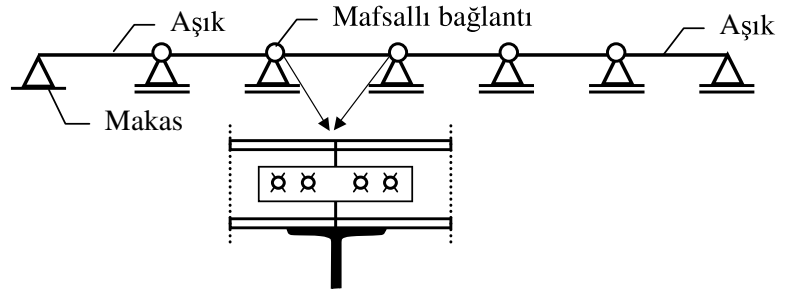
Kafes kiriş aralıklarını belirlerken etkili olan diğer parametreler;

- ❑ **Aşık statik sistemi ve**
- ❑ **Üretilen standart profil boyudur (ihtiyaç miktarına bağlı olarak değişebilmektedir.)**



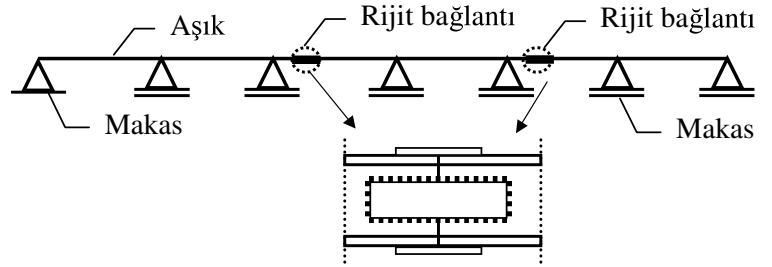
Aşık Statik sistemleri üç farklı şekilde oluşturulabilmektedir. Bunlar;

1) Basit Kiriş

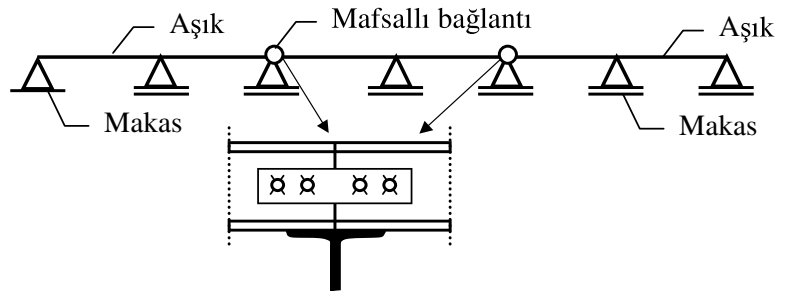


2) Sürekli kiriş

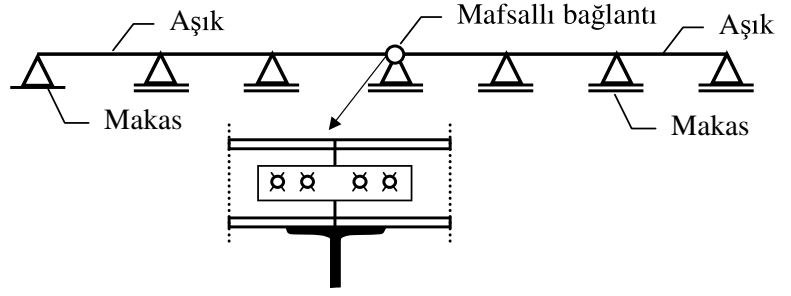
a) Tamamı sürekli kiriş



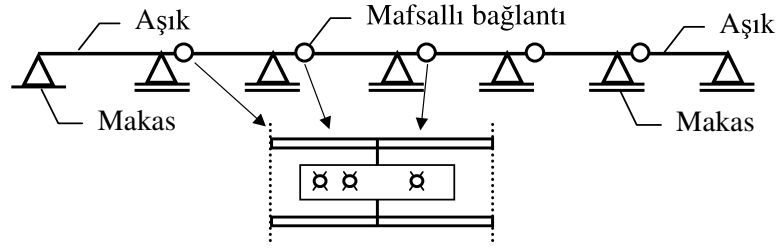
b) İki açıklıkta bir sürekli kiriş



c) Üç açıklıkta bir sürekli kiriş

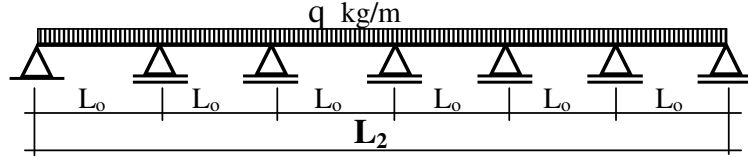


3) Gerber Kirişi



1.2.1) Aşıkların Sürekli Kiriş olarak teşkil edilmesi durumunda makas sayısının ve aralıklarının hesabı

L_2 = Yapı Toplam Uzunluğu
 L_0 = Makaslar arası açıklık



a) İki açıklıkta bir sürekli kiriş için hesap

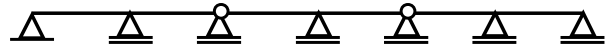
L_0 çatı örtüsüne bağlı olarak seçilir. $L_2 = 2 * n * L_0$ ifadesi ile

İki açıklıklı sürekli kiriş sayısı : $n = \dots\dots\dots$ adet olarak belirlenir.

Bulunan n değeri tekrar ($L_2 = 2 * n * L_0$) ifadesinde yerine konursa;

$L_0 = \dots\dots\dots$ m olarak bulunur.

Kafes Kiriş Sayısı = $2n + 1$ olarak belirlenir.



b) Üç Açıklıkta bir Sürekli Kiriş

L_0 çatı örtüsüne bağlı olarak seçilir. $L_2 = 3 \cdot n \cdot L_0$ ifadesi ile

İki açıklıklı sürekli kiriş sayısı : $n = \dots\dots\dots$ adet olarak belirlenir.

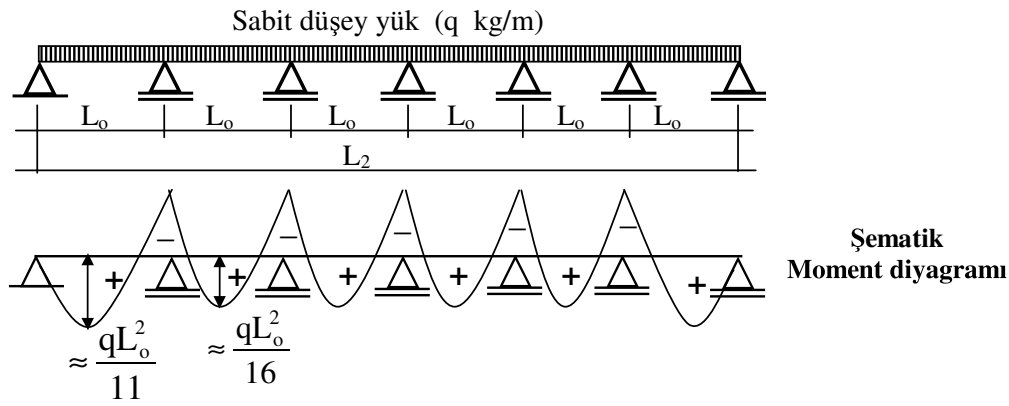
Bulunan n değeri tekrar ($L_2 = 3 \cdot n \cdot L_0$) ifadesinde yerine konursa;

$L_0 = \dots\dots\dots$ m olarak bulunur.

Kafes Kiriş Sayısı = $3n + 1$ olarak belirlenir.



c) Tamamı Sürekli Kiriş



Yukarıda gösterildiği gibi, kenar açıklık momentleri orta açıklık momentlerinden büyüktür. Aşık tasarımının ekonomik olması için iki farklı çözüm uygulanabilir.

- ❑ Aşık, orta açıklık momentine ($qL_0^2/16$) göre tasarlanır, sadece kenar açıklıklarda ilgili momenti ($qL_0^2/11$) karşılayacak şekilde aşığa takviye yapılır.
- ❑ Kenar açıklıklar, moment değerleri orta açıklık momentine eşit olacak şekilde daraltılır ve kafes kiriş aralıkları buna göre belirlenir.

İkinci alternatif için hesap

L_0 çatı örtüsüne bağlı olarak seçilir.

$\frac{qL_k^2}{11} = \frac{qL_0^2}{16}$ eşitliğinden yararlanarak L_k ve L_0 arasındaki oran belirlenir ve bunlar

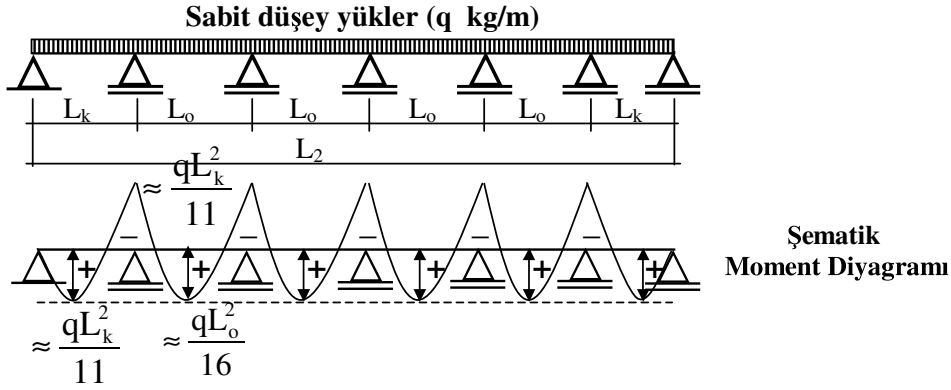
$L_2 = 2 \cdot L_k + n \cdot L_0$ ifadesinde yerine konularak

orta açıklık sayısı : $n = \dots\dots\dots$ adet olarak belirlenir.

Bulunan n değeri tekrar yukarıdaki ifadede yerine konularak;

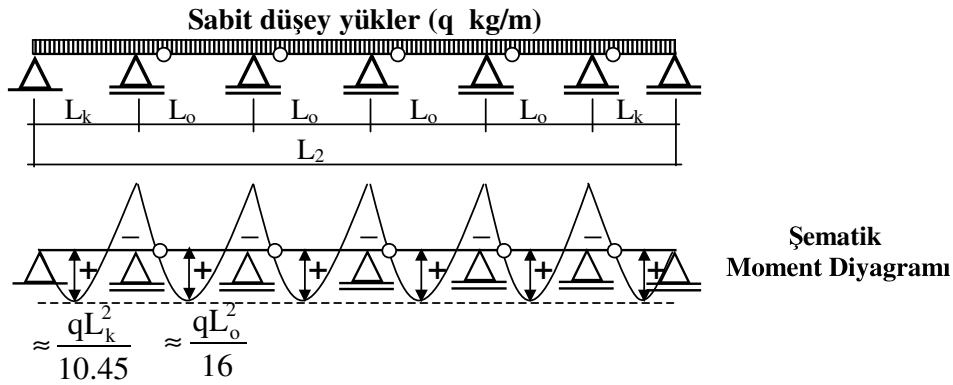
$L_o = \dots\dots\dots$ m ve $L_k = \dots\dots\dots$ m olarak elde edilir.

Kafes Kiriş Sayısı = $n + 3$ olarak belirlenir.



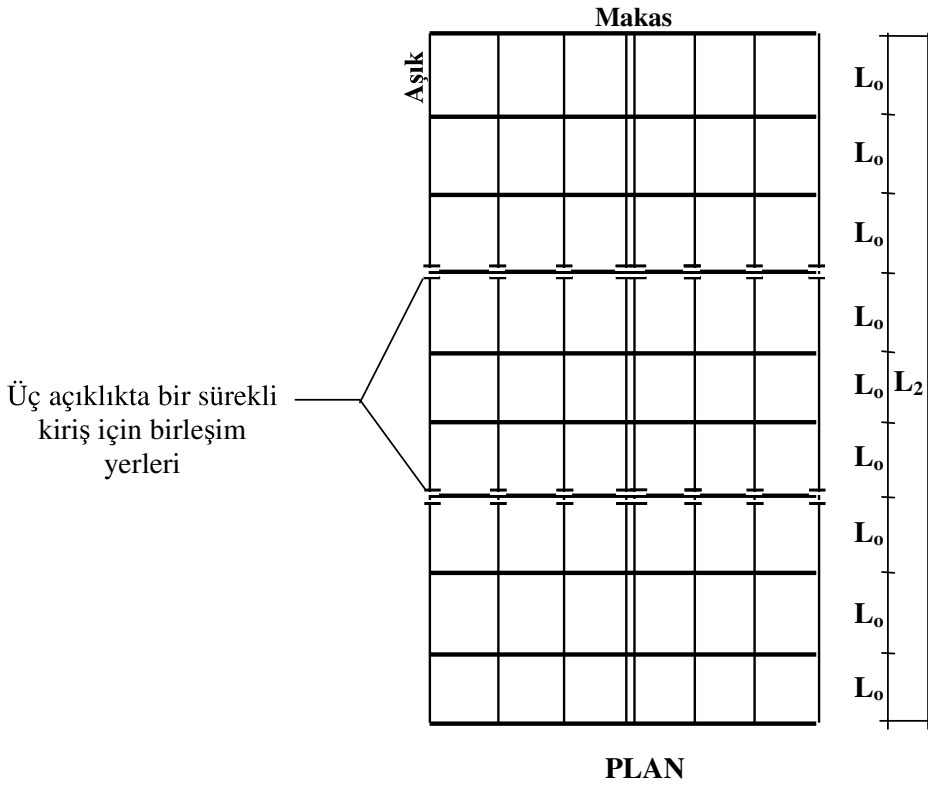
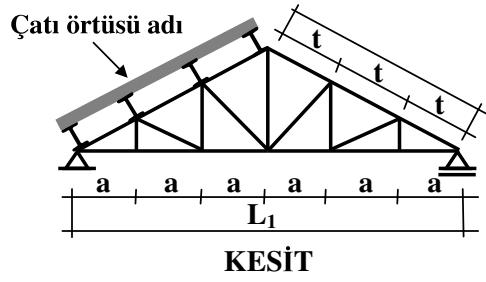
1.2.2) Aşıkların Gerber Kirişi olarak teşkil edilmesi durumunda makas sayısının ve aralıklarının hesabı

Gerber kirişlerde de, tamamı sürekli kirişte uygulanan “kenar açıklıkları azaltarak momentleri eşitleme” yaklaşımı aynen uygulanır. Gerber kirişlerde sürekli kirişlerden farklı olarak, mafsal yerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gerber kirişlerde mafsallar sabit düşey yüklerden oluşan moment değerlerinin sıfır olduğu kesitlere yerleştirilmektedir (Bkz. Yapı Statiği-I Cilt 1, A. Çakıroğlu, E. Çetmeli).



Belirlenen kafes kiriş sistemi ve kafes kiriş aralıkları bir kesit ve plan üzerinde gösterilir (planda aşık ek yerleri (mafsallar ve moment aktaran ekler) belirtilmelidir).

Gerber kirişlerde mafsal yerleri de ölçülendirilmelidir.



Mafsallı birleşim gösterimi :



Sürekli Kiriş birleşimi (rijit) gösterimi :



3 . AŞIK HESABI

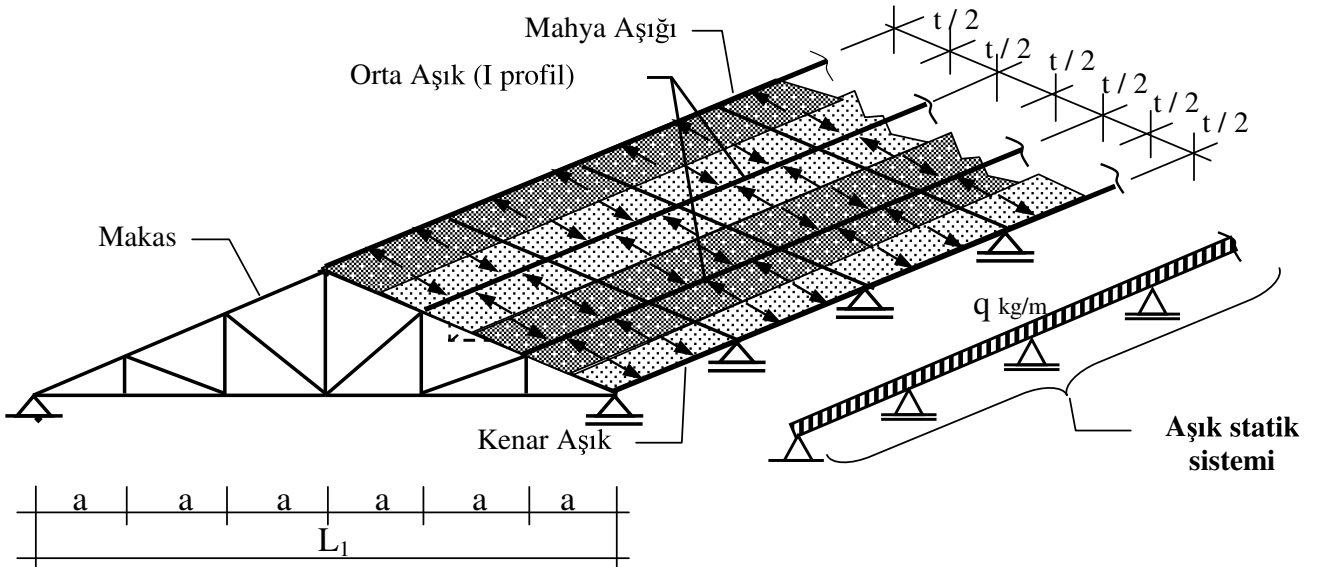
3.1 Aşık Yük Analizi

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

- Orta bölgelerde bulunan aşıklara aşık boyunca (t) genişliğinde bir alan yükü etkir.
- Kenar aşıklara (mahya ve damlalık aşığı) ise aşık boyunca (t/2) genişliğinde bir alan yükü etkir.

Çatı örtüsünün montajının yapılabilmesi için bir düzlem oluşturulması gerektiği için en elverişsiz aşıklar için (orta aşıklar) tasarım yapılır. Kenar aşıklar da aynı boyutta imal edilir. Kenar aşıklardaki bu boyut fazlalığı daha sonraki aşamalarda değerlendirilir.

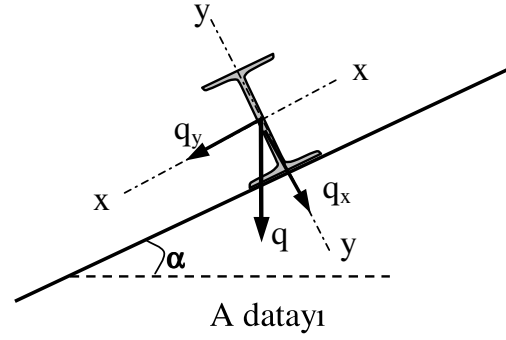
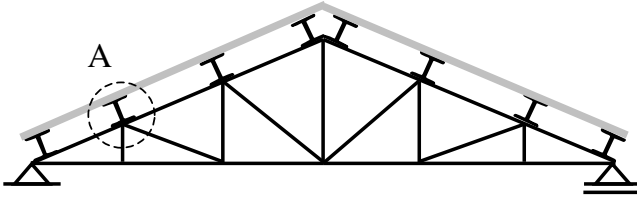
Aşık yük idealleştirmesinin perspektif üzerinde gösterimi



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 TS 648 gereğince iki ayrı yükleme yapılması gerekmektedir. Bunlar;

- Esas yükler (YDI) (H yükleme) [Ölü yükler ve kar yükünü kapsar]
- Esas ve ilave yükler (YDII) (HZ yükleme) [Ölü yükler, kar yükü ve rüzgar yükünü kapsar]



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.

□ ESAS YÜKLER (YDI)

Çatı Örtüsü Ağırlığı: $g_{\text{örtü}}$	[kg/m ²]	$g_{\text{örtü}} * t = \dots\dots\dots$ kg / m
Aşık Ağırlığı : g_a	[10 kg/m ²]	$g_a * a = \dots\dots\dots$ kg / m
Kar Yüğü: P_k	[kg/m ²]	$P_k * a = \dots\dots\dots$ kg / m
Buz Yüğü: P_b (varsa)	[kg/m ²]	$P_b * a = \dots\dots\dots$ kg / m
		+
		$q^{(YDI)} = \dots\dots\dots$ kg / m

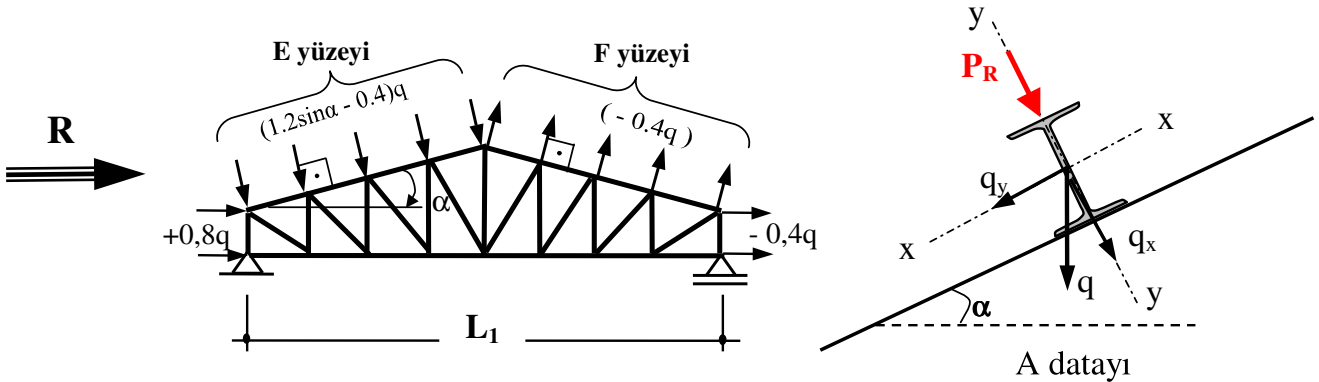
$$q_x^{(YDI)} = q^{(YDI)} * \cos\alpha = \dots\dots\dots \text{ kg / m}$$

$$q_y^{(YDI)} = q^{(YDI)} * \sin\alpha = \dots\dots\dots \text{ kg / m}$$

□ ESAS VE İLAVE YÜKLER (YDII)

Bu yükleme durumunda Esas yüklere ilave olarak rüzgar yükleri de gözönüne alınır. TS 498'de verilen değerler için çatı sistemine etkiyen rüzgar yükü dağılımları belirlenir. Aşık yük analizinde en elverişsiz yük değeri gözönüne alınır.

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



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

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

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

$q_x^{(YDII)} = q_x^{(YDI)} \pm P_R = \dots\dots\dots \text{kg / m}$

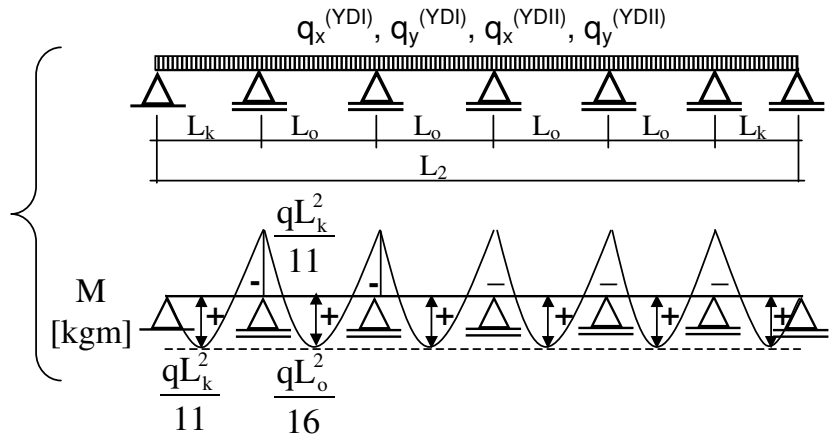
$q_y^{(YDII)} = q_y^{(YDI)} = \dots\dots\dots \text{kg / m} \quad (\text{ Bu yük bileşeni değişmez})$

3.2 Aşık Statik Hesabı

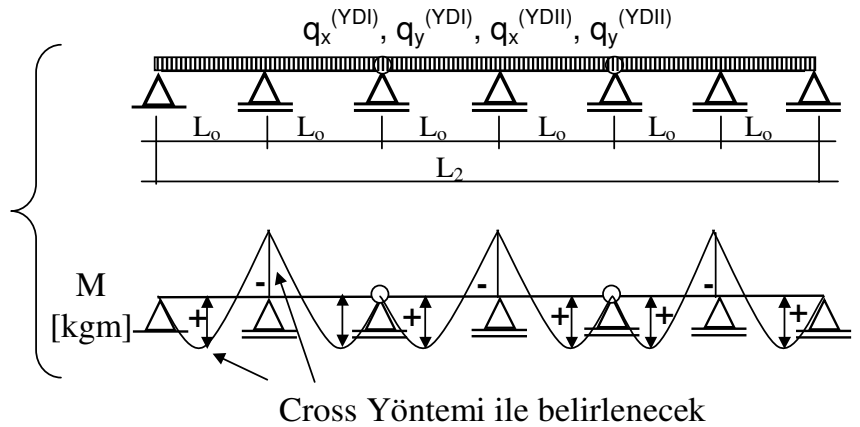
YDI ve YDII yüklemelerinden elde edilen yük bileşenlerinin her biri için ($q_x^{(YDI)}$, $q_y^{(YDI)}$, $q_x^{(YDII)}$, $q_y^{(YDII)}$) aşık statik sisteminin hesabı yapılarak kesit zorları (M, T) belirlenir.

- Sürekli kirişlerin statik hesabında;
 - Açıklık sayısı 3 ve 3'den az ise "Cross Yöntemi" ile kullanılmalıdır.
 - Açıklık sayısı 3'den fazla ise "Yaklaşık Moment Değerleri" kullanılabilir.
- Gerber kirişin statik hesabında "Yaklaşık Moment Değerleri" kullanılabilir.
Gerber mafsallarının teşkilinde kullanılmak üzere **mafsal kuvvetlerinin** de belirlenmesi gerekir.

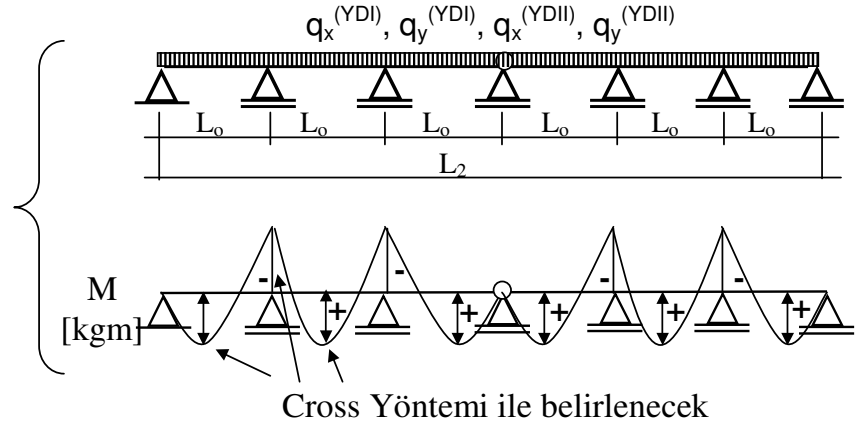
Tamamı sürekli kiriş



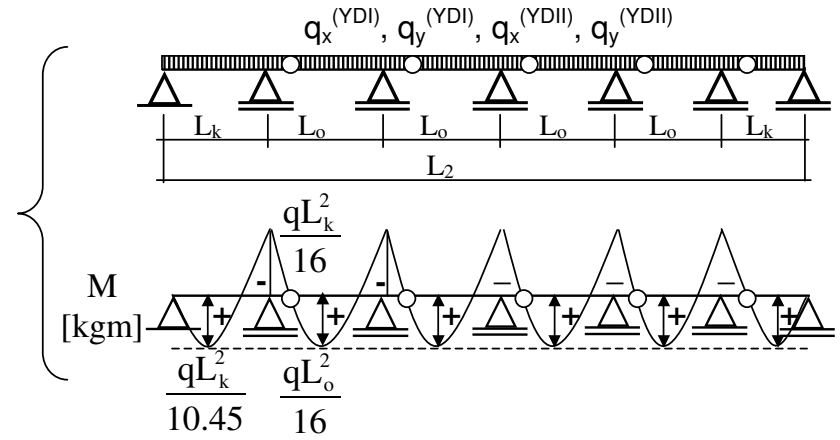
İki açıklıkta bir sürekli kiriş



Üç açıklıkta bir sürekli kiriş



Gerber kirişi



GERGİLER

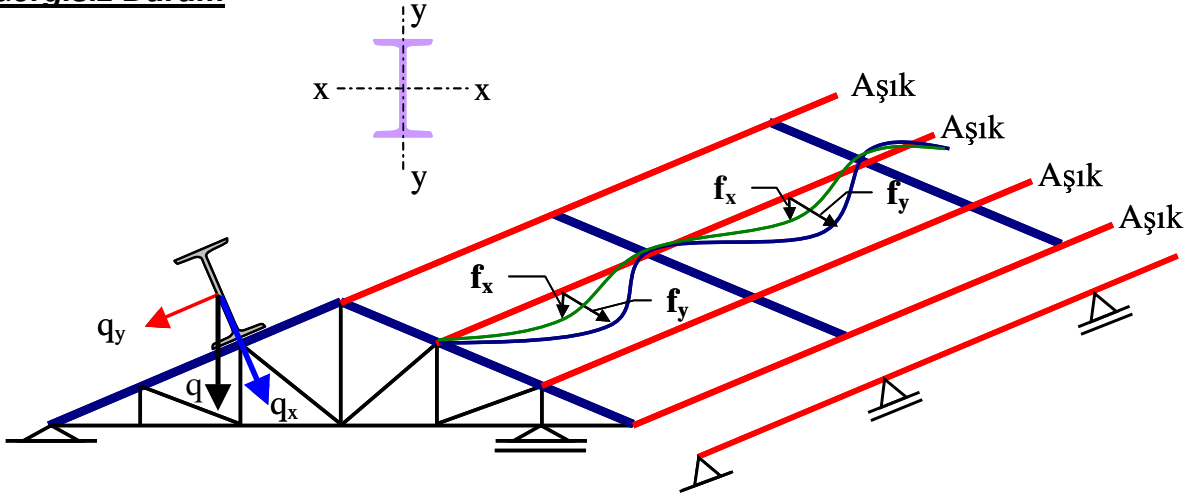
Genellikle NPI enkesitli profilden teşkil edilen ve eğik eğilmeye maruz olan aşıklarda,

NPI kesitinde $I_x \gg I_y$ olması nedeniyle q_y yüklerinden meydana gelen gerilmeler ve sehimler çatı eğimine bağlı olarak çok büyük değerlere ulaşmakta bu nedenle profil enkesitinin büyütülmesi gerekmektedir.

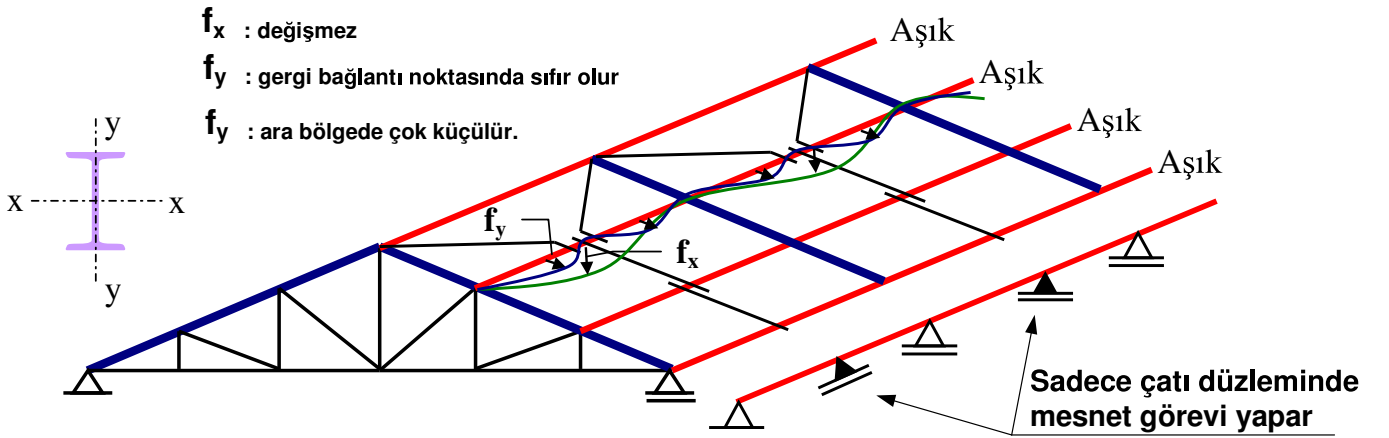
Bu sakıncayı önlemek ve profil boyutlarını makul tutabilmek amacıyla, aşıklara açıklık ortalarında yeter sayıda gergi elemanları bağlanarak, aşıkların **çatı düzlemindeki** (q_y) eğilmesine karşı birer mesnet teşkil edilmektedir. Böylece, kullanılan gergi sayısına bağlı olarak, açıklık değeri ve dolayısıyla Aşık boyutları azaltılmaktadır.

Gergi elemanı olarak genellikle $\phi 10$ 'luk veya $\phi 12$ 'lik betonarme çelikleri kullanılmaktadır.

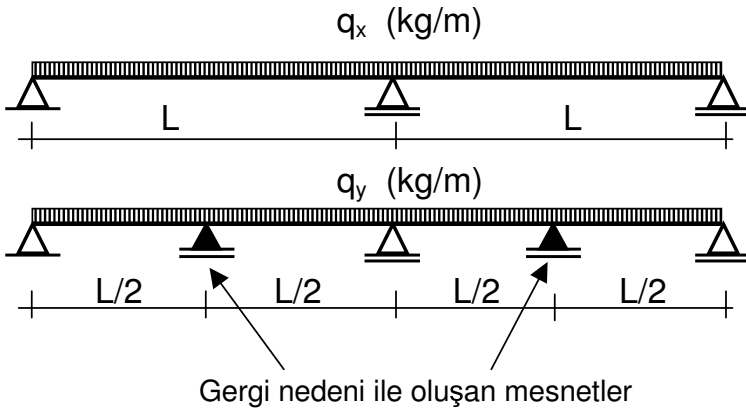
Gergisiz Durum



Tek Gergili Durum



Örneğin **iki açıklıkta bir sürekli** olarak teşkil edilen aşık sisteminde **tek gergi** kullanılması durumunda: q_x ve q_y yükleme için **iki farklı sistem** kullanılır.

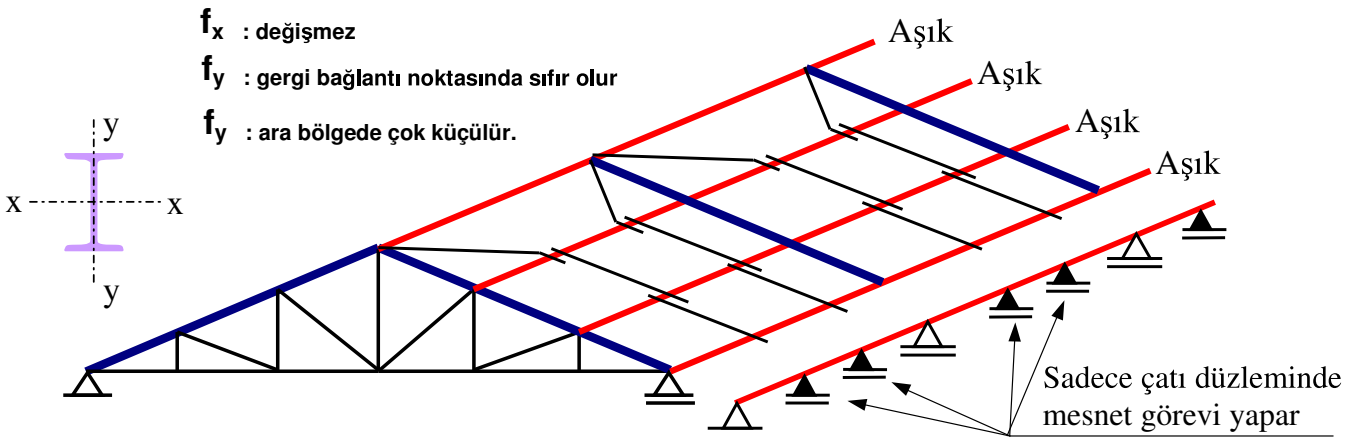


Gerber kiriş olarak teşkil edilen aşık sisteminde **tek gergi** kullanılması durumunda : q_x yüklemesine ait momentler değişmez, bu nedenle gergisiz durum için elde edilen momentler aynen kullanılır. q_y yüklemesine ait momentler ise aşağıdaki bağıntılar yardımı ile belirlenebilir [Bkz. H. Deren vd. (2006)].

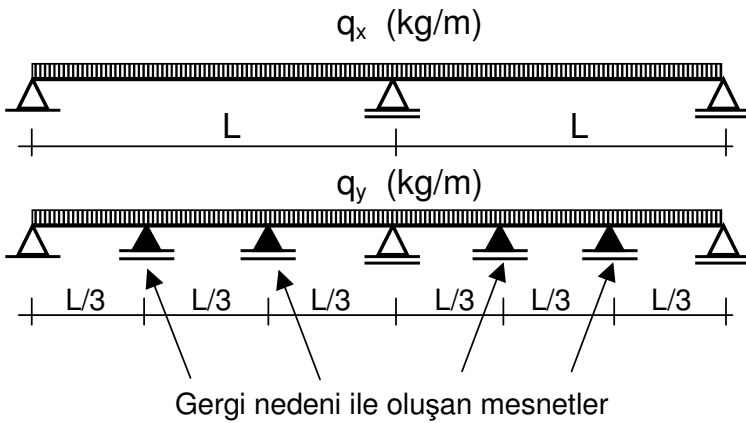
Kenar açıklık için: $M_y = 0.120 * q_y * l_y^2$ $l_y = l_k / 2$ (l_k : kenar açıklık)

Orta açıklıklar ve mesnetler için: $M_y = 0.110 * q_y * l_y^2$ $l_y = l_o / 2$ (l_o : orta açıklık)

Çift Gergili Durum



Örneğin **iki açıklıkta bir sürekli** olarak teşkil edilen aşık sisteminde **çift gergi** kullanılması durumunda: q_x ve q_y yüklemesi için **iki farklı sistem** kullanılır.



Gerber kiriş olarak teşkil edilen aşık sisteminde **çift gergi** kullanılması durumunda :

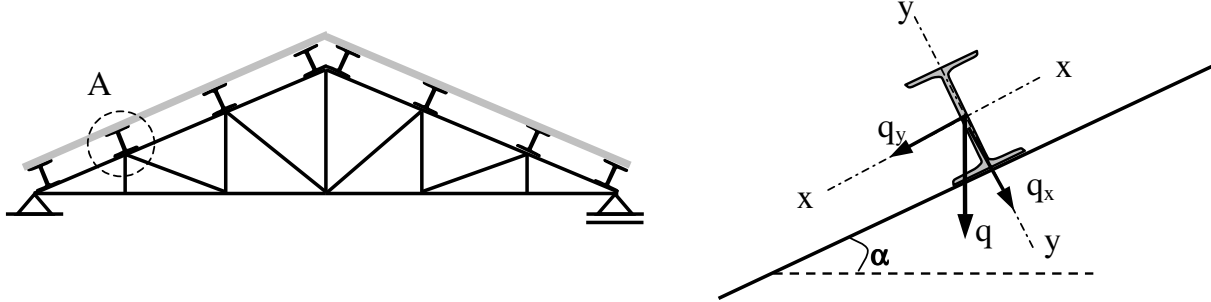
Kenar açıklık için: $M_y = 0.110 * q_y * l_y^2$ $l_y = l_k / 3$ (l_k : kenar açıklık)

Orta açıklıklar ve mesnetler için: $M_y = 0.135 * q_y * l_y^2$ $l_y = l_o / 3$ (l_o : orta açıklık)

3.3 Aşık Boyutlandırması

Eğik eğilmeye maruz **aşık** elemanları, eğilme gerilmesi, kayma gerilmesi ve sehim şartları esas alınarak boyutlandırılmalıdır.

Not: Aşık elemanı için, gergisiz durum, tek gergili durum ve çift gergili durum için ayrı ayrı boyutlandırma yapılmalı ve en ekonomik çözüm uygulanmalıdır.



a) Gergisiz Durum için boyutlandırma

□ Eğilme gerilmesine göre boyutlandırma

Statik hesaplar sonucu elde edilen maksimum moment değerleri (M_x , M_y), aşağıdaki eğik eğilme durumuna ait gerilme ifadesinde yerine konularak, gerekli mukavemet momenti (W) belirlenir ve buna bağlı olarak ilgili profil tablosundan gerekli profil belirlenir. Bu aşamada, ortalama bir (W_x/W_y) değeri kullanılabilir. Bunun için NPI 120 ile NPI 260 profillerine ait W_x W_y değerlerinin ortalaması esas alınabilir.

$$W_x = k_w * W_y$$

(EY yüklemesi için)

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em}^{EY} \implies W_x = \frac{M_x + k_w M_y}{\sigma_{em}^{EY}} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

(EİY yüklemesi için)

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em}^{EIY} \implies W_x = \frac{M_x + k_w M_y}{\sigma_{em}^{EIY}} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

□ Sehim kriterine göre boyutlandırma

Aşık statik sistemine bağlı olarak belirlenen maksimum sehim ifadeleri kullanılarak, gerekli Atalet momenti (I) belirlenir ve buna bağlı olarak ilgili profil tablosundan gerekli profil belirlenir. Bu aşamada, ortalama bir (I_x/I_y) değeri kullanılabilir. Bunun için NPI 120 ile NPI 260 profillerine ait I_x I_y değerlerinin ortalaması esas alınabilir.

$$I_x = k_I * I_y$$

$$\left. \begin{aligned} f_x &= c * \frac{q_x * L^4}{I_x} \\ f_y &= c * \frac{q_y * L^4}{I_y} \end{aligned} \right\} \Rightarrow f_{MAX} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \leq f_{SINIR} \Rightarrow \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

c: Aşık statik sistemine bağlı katsayı (Bkz. Y. Odabaşı, Çelik Çatı El. Ek. Çöz.)

f_{SINIR} : TS 648'den alınır.

Eğilme gerilmesine ve Sehim kriterine göre belirlenen profillerden en elverişsiz (büyük) olanı seçilir. Mukavemet momenti ve atalet momenti oranları için başlangıçta yapılan kabuller (k_w ve k_I) kontrol edilir, gerekirse hesap tekrarlanır.

□ Kayma gerilmesine göre boyutlandırma

Eğilme gerilmesine ve Sehim kriteri esas alınarak seçilen profil kayma gerilmesine göre tahkik yapılır. Bu tahkikte, her iki doğrultudaki maksimum kesme kuvvetleri (T_x , T_y) ve bunlara karşı koyan ilgili profil gövde ve başlık alanları kullanılabilir.

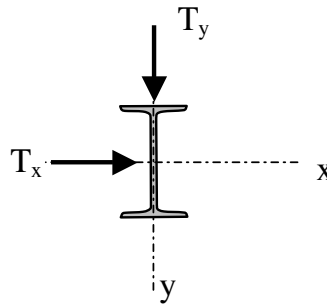
Buna göre; T_y kesme kuvvetinin profil gövde alanı ile, T_x kesme kuvvetinin ise profil başlık alanları ile karşılandığı ve aralarındaki etkileşimin terk edilebileceği kabul edilebilir.

(EY yüklemesi için)

$$\tau_y = \frac{T_y}{F_{gövde}} \leq \tau_{em}^{EY} \quad \tau_x = \frac{T_x}{F_{başlık}} \leq \tau_{em}^{EY}$$

(EİY yüklemesi için)

$$\tau_y = \frac{T_y}{F_{gövde}} \leq \tau_{em}^{EİY} \quad \tau_x = \frac{T_x}{F_{başlık}} \leq \tau_{em}^{EİY}$$



Not: Genellikle Çelik I profillerinde kayma gerilmesi boyutlandırmada etkili olmamaktadır.

b) Tek Gergili Durum için boyutlandırma

□ Eğilme gerilmesine göre boyutlandırma

Tek gergili sisteme ait statik hesaplar sonucu elde edilen maksimum moment değerleri (M_x , M_y), aşağıdaki eğik eğilme durumuna ait gerilme ifadesinde yerine konularak, gerekli mukavemet momenti (W) belirlenir.

Not: Gergi bulunan kesitlerdeki maksimum moment değerleri kullanılmalıdır.

$$W_x = k_w * W_y$$

(EY yüklemesi için)

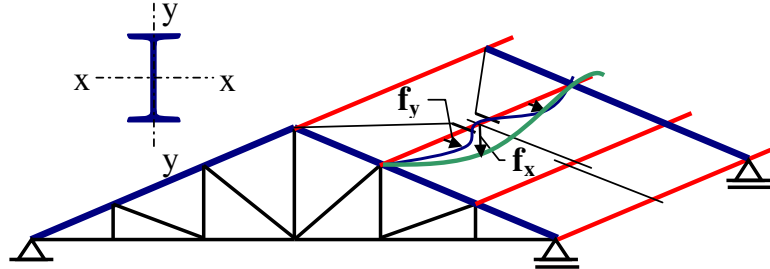
$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em}^{EY} \implies W_x = \frac{M_x + k_w M_y}{\sigma_{em}^{EY}} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

(EİY yüklemesi için)

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em}^{EİY} \implies W_x = \frac{M_x + k_w M_y}{\sigma_{em}^{EİY}} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

□ Sehim kriterine göre boyutlandırma

Aşık statik sistemine bağlı olarak belirlenen maksimum sehim ifadeleri kullanılarak, gerekli Atalet momenti (I) belirlenir ve buna bağlı olarak ilgili profil tablosundan gerekli profil belirlenir.



$$f_x = c * \frac{q_x * L^4}{I_x} \implies f_x \leq f_{SINIR} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

$$f_y \cong 0$$

c: Aşık statik sistemine bağlı katsayı (Bkz. Y. Odabaşı, Çelik Çatı Sist. Ekonomik Çözümleri)

f_{SINIR} : TS 648'den alınır.

Eğilme gerilmesine ve Sehim kriterine göre belirlenen profillerden **en elverişsiz** (büyük) olanı seçilir. Mukavemet momenti ve atalet momenti oranları için başlangıçta yapılan kabuller (k_w ve k_l) kontrol edilir, gerekirse hesap tekrarlanır.

□ Kayma gerilmesine göre boyutlandırma

Eğilme gerilmesine ve Sehim kriteri esas alınarak seçilen profil kayma gerilmesine göre tahkik yapılır. Bu tahkikte, **tek gergili** sisteme ait statik hesaplar sonucu elde edilen maksimum T_x kesme kuvveti ve bunlara karşı koyan ilgili profil gövde ve başlık alanları kullanılabilir. Gergi nedeniyle M_x momenti değişmediği için T_y kesme kuvvetine göre tahkik yapılmasına gerek yoktur.

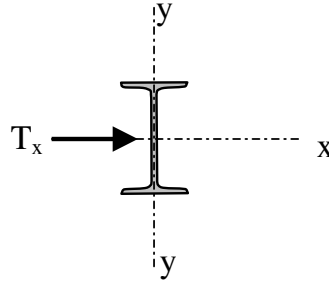
Buna göre; T_y kesme kuvvetinin profil gövde alanı ile, T_x kesme kuvvetinin ise profil başlık alanları ile karşılandığı ve aralarındaki etkileşimin terk edilebileceği kabul edilebilir.

(EY yüklemesi için)

$$\tau_x = \frac{T_x}{F_{\text{baslik}}} \leq \tau_{\text{em}}^{\text{EY}}$$

(EİY yüklemesi için)

$$\tau_x = \frac{T_x}{F_{\text{baslik}}} \leq \tau_{\text{em}}^{\text{EİY}}$$



c) Çift Gergili Durum için boyutlandırma

□ Eğilme gerilmesine göre boyutlandırma

Çift gergili sisteme ait statik hesaplar sonucu elde edilen maksimum moment değerleri (M_x , M_y), aşağıdaki eğik eğilme durumuna ait gerilme ifadesinde yerine konularak, gerekli mukavemet momenti (W) belirlenir.

Not: Gergi bulunan kesitlerdeki maksimum moment değerleri kullanılmalıdır.

$$W_x = k_w * W_y$$

(EY yüklemesi için)

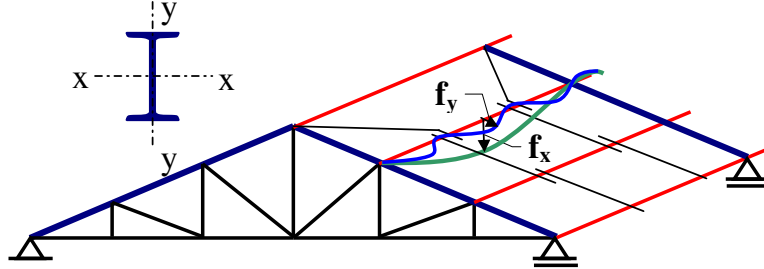
$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{\text{em}}^{\text{EY}} \implies W_x = \frac{M_x + k_w M_y}{\sigma_{\text{em}}^{\text{EY}}} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

(EİY yüklemesi için)

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{\text{em}}^{\text{EİY}} \implies W_x = \frac{M_x + k_w M_y}{\sigma_{\text{em}}^{\text{EİY}}} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

□ Sehim kriterine göre boyutlandırma

Aşık statik sistemine bağlı olarak belirlenen maksimum sehim ifadeleri kullanılarak, gerekli Atalet momenti (I) belirlenir ve buna bağlı olarak ilgili profil tablosundan gerekli profil belirlenir.



$$f_x = c * \frac{q_x * L^4}{I_x} \implies f_x \leq f_{SINIR} \implies \text{Tablodan Profil (NPI) seçilir.}$$

$$f_y \cong 0$$

c: Aşık statik sistemine bağlı katsayı (Bkz. Y. Odabaşı, Çelik Çatı Sist. Ekonomik Çözümleri)

f_{SINIR} : TS 648'den alınır.

Eğilme gerilmesine ve Sehim kriterine göre belirlenen profillerden **en elverişsiz** (büyük) olanı seçilir. Mukavemet momenti ve atalet momenti oranları için başlangıçta yapılan kabuller (k_w ve k_l) kontrol edilir, gerekirse hesap tekrarlanır.

□ Kayma gerilmesine göre boyutlandırma

Eğilme gerilmesine ve Sehim kriteri esas alınarak seçilen profil kayma gerilmesine göre tahkik yapılır. Bu tahkikte, **tek gergili** sisteme ait statik hesaplar sonucu elde edilen maksimum T_x kesme kuvveti ve bunlara karşı koyan ilgili profil gövde ve başlık alanları kullanılabilir. Gergi nedeniyle M_x momenti değişmediği için T_y kesme kuvvetine göre tahkik yapılmasına gerek yoktur.

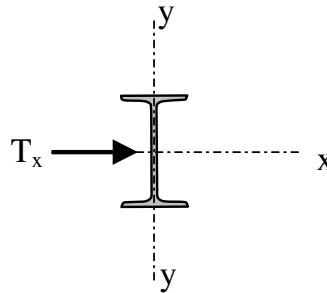
Buna göre; T_y kesme kuvvetinin profil gövde alanı ile, T_x kesme kuvvetinin ise profil başlık alanları ile karşılandığı ve aralarındaki etkileşimin terk edilebileceği kabul edilebilir.

(EY yüklemesi için)

$$\tau_x = \frac{T_x}{F_{baslik}} \leq \tau_{em}^{EY}$$

(EİY yüklemesi için)

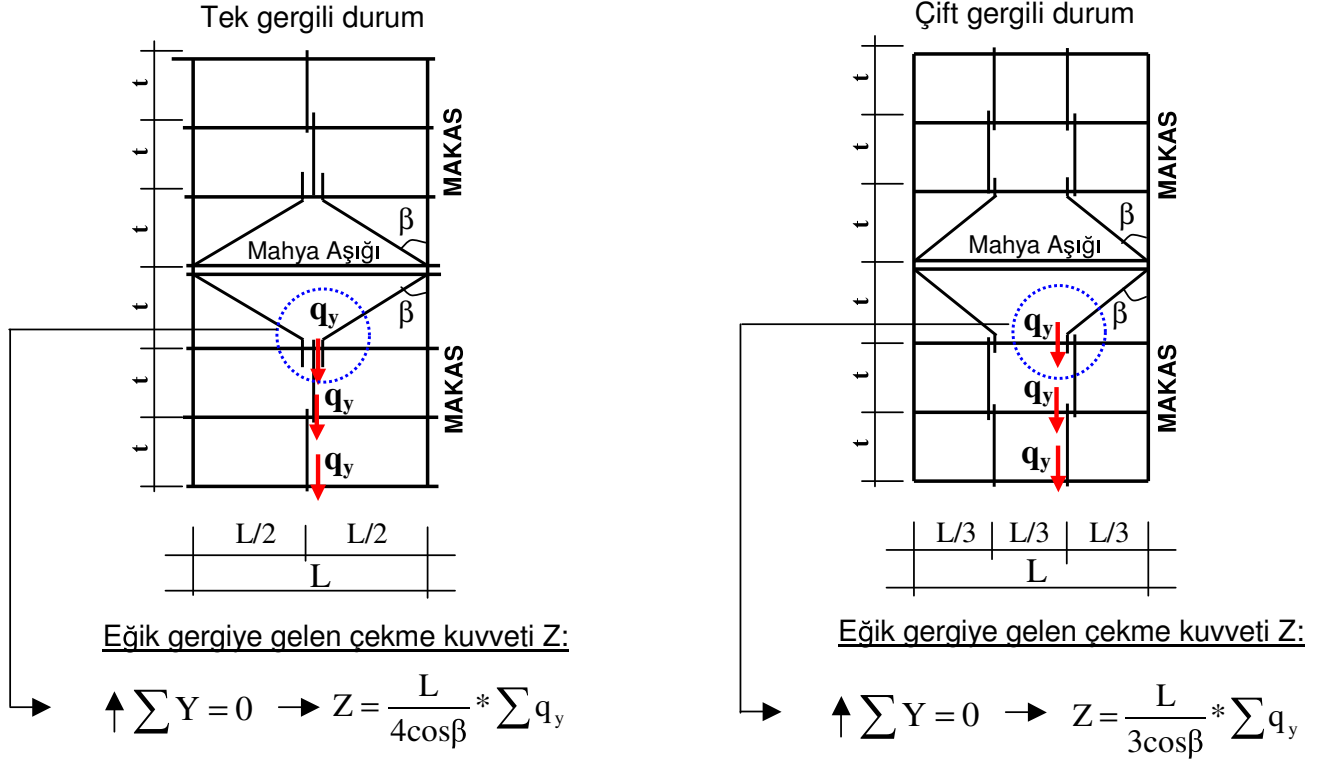
$$\tau_x = \frac{T_x}{F_{baslik}} \leq \tau_{em}^{EİY}$$



3.4 Aşık Gergi Çubuklarının Boyutlandırılması

Betonarme çeliğinden teşkil edilen 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 ve tüm gergiler için aynı boyut kullanılır. En üstte bulunan eğik gergi, altındaki tüm aşıkların q_y yüklerini toplamını aktarabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır (Bkz. H. Deren vd. Çelik Yapılar, 2006).



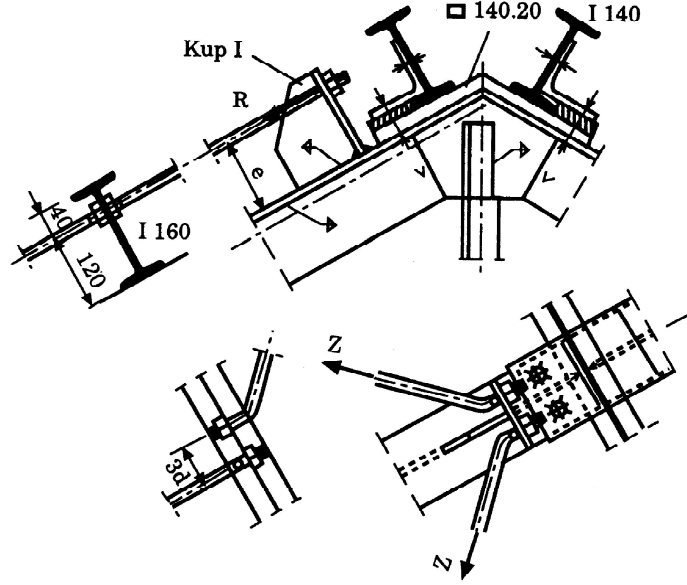
$\sum q_y$: Bir makas aralığında mahya dışındaki bütün aşıkların q_y yük bileşenlerinin toplamıdır.

F_{gergi} : Gergi çubuğu enkesit alanı ($F = \frac{\pi * D^2}{4}$ D: çubuk çapı)

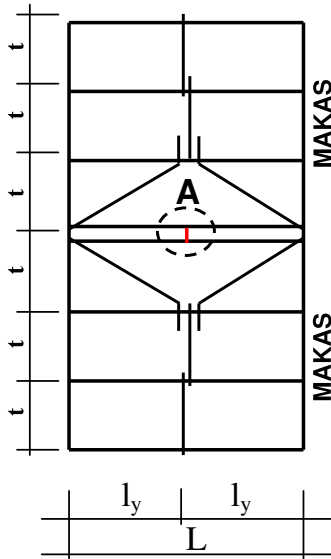
Gergi çubuğunda oluşan gerilme : $\sigma = \frac{Z}{F_{\text{gergi}}} \leq \sigma_{\text{em}}$ F_{gergi} hesaplanır ve

Uygun gergi çubuğu çapı belirlenir. $\Rightarrow \phi \dots\dots\dots$ (Ör. $\phi 10$ veya $\phi 12$)

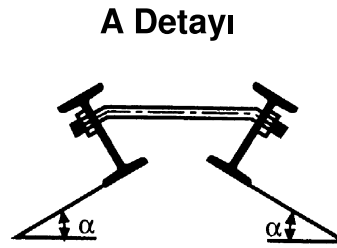
- Eğik gergi çubuğunun makas üst başlığına bağlantısı, artan aşık parçaları kullanılarak teşkil edilir. Bu bağlantı, eğik gergi kuvvetlerinin bileşke değeri ($R=2*Z*\cos\beta$) ve bu kuvvetin oluşturduğu moment ($R.e$) gözönüne alınarak yapılmalıdır.



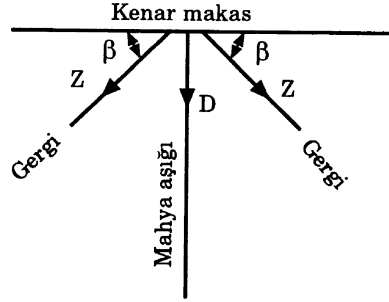
- Mahya aşıkları da gergisiz durum için tahkik edilir. Bu aşamada, kenar aşık yüklerinin orta aşıkların yükünün yarısı kadar olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Gerektiği durumda, aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi tek veya çift gergi uygulaması yapılır.



Tek gergili durum



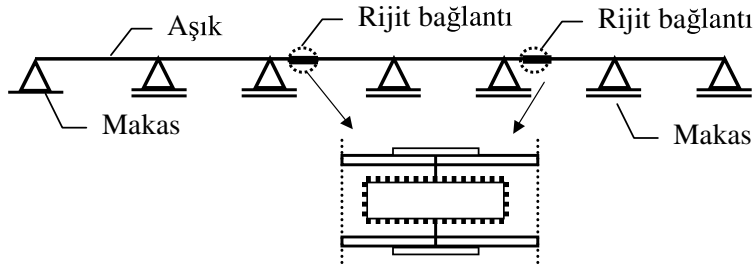
- Kenar açıklardaki mahya aşıkları, eğik gergi çubuklarından kaynaklanan basınç kuvveti ($D=2*Z*\sin\beta$) için de tahkik edilerek yeterli olduğu gösterilmelidir. Aksi durumda bu mahya aşıkları takviye edilmelidir.



- Aşık ek hesapları yapılır ve detay resimleri hazırlanır (Bkz. H. Deren vd. Çelik Yapılar, 2006).

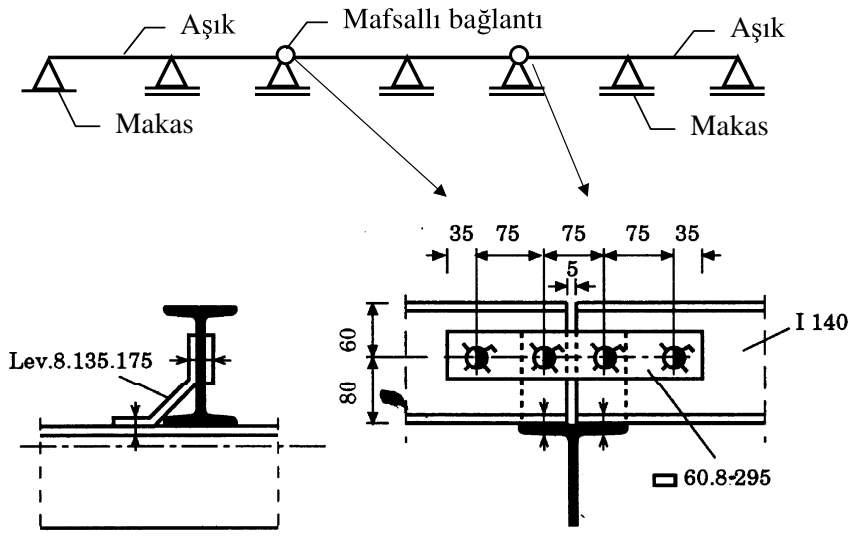
Tamamı sürekli kiriş

Düşey yükler altında momentin en küçük olduğu yerlerde, aşığın elastik moment taşıma kapasitesine eşdeğer **moment aktarabilen ek** hesabı yapılır.

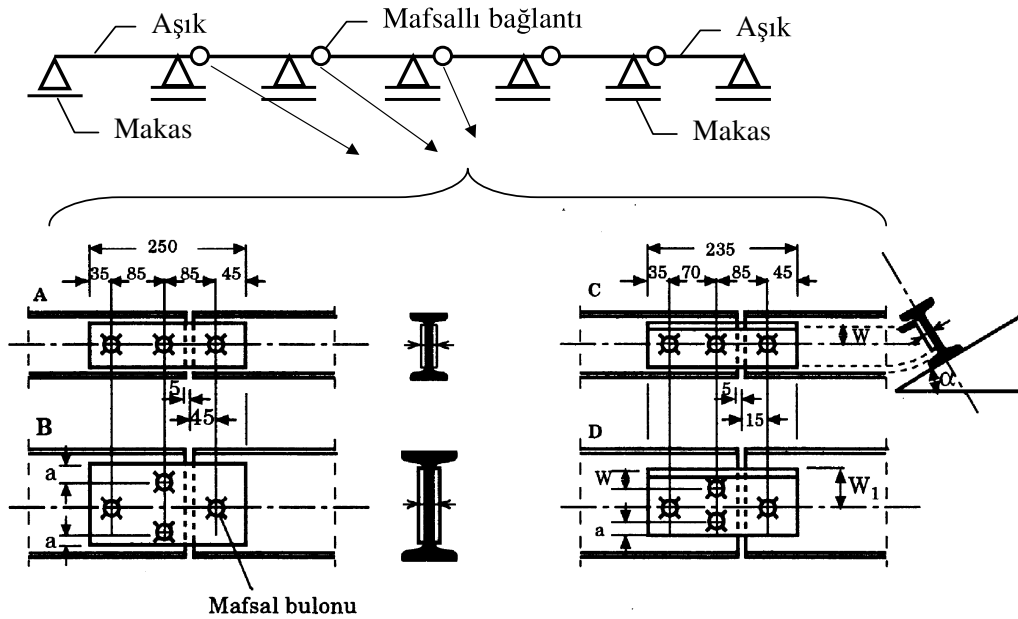


İki açıklıkta bir sürekli kiriş, Üç açıklıkta bir sürekli kiriş

Konstrüktif bir ek oluşturulur, tahkiki statbilite hesaplarından sonra yapılır.



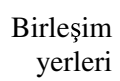
Maksimum mafsal kuvvetine göre **mafsallı ek** hesabı yapılır.



Gerber mafsalları için bileşen özellikleri

Aşık Profili I	Çift Lamalı Mafsalsal (bkz. Şek. 10.22 A,B)					Tek Korniyerli Mafsalsal (bkz. Şek. 10.22 C, D)						
	Teşkil	Lama	a	Tesbit bulonları	Mafsalsal bulonlu	Teşkil	Korniyer	w	w ₁	a	Tesbit bulonları	Mafsalsal bulonlu
80	A	55.5		M20	M20	C	40.50.5	30			M12	M12
100		70.5		M20	M20		50.65.5	35			M20	M20
120		90.5		M22	M22		40.80.6	45			M22	M22
140	B	100.6	25	M16	M22	D	50.100.6	30	53	24	M16	M22
160		120.6	30	M20	M27		50.100.6	30	53	24	M16	M22
180		140.6	30	M20	M27		65.100.7	35	54	30	M20	M27
200		150.7	35	M20	M27		65.100.7	35	54	30	M20	M27
220		170.7	35	M22	M27		65.100.7	35	54	30	M20	M27
240		190.7	35	M22	M27		65.100.7	35	54	30	M20	M27

- ❑ Gerber kirişlerde mafsal yerleri ve gergi aralıkları da ölçülendirilmelidir.



4 . KAFES (KİRİŞ) SİSTEM HESABI

4.1 Kafes Sistem Yük Analizi

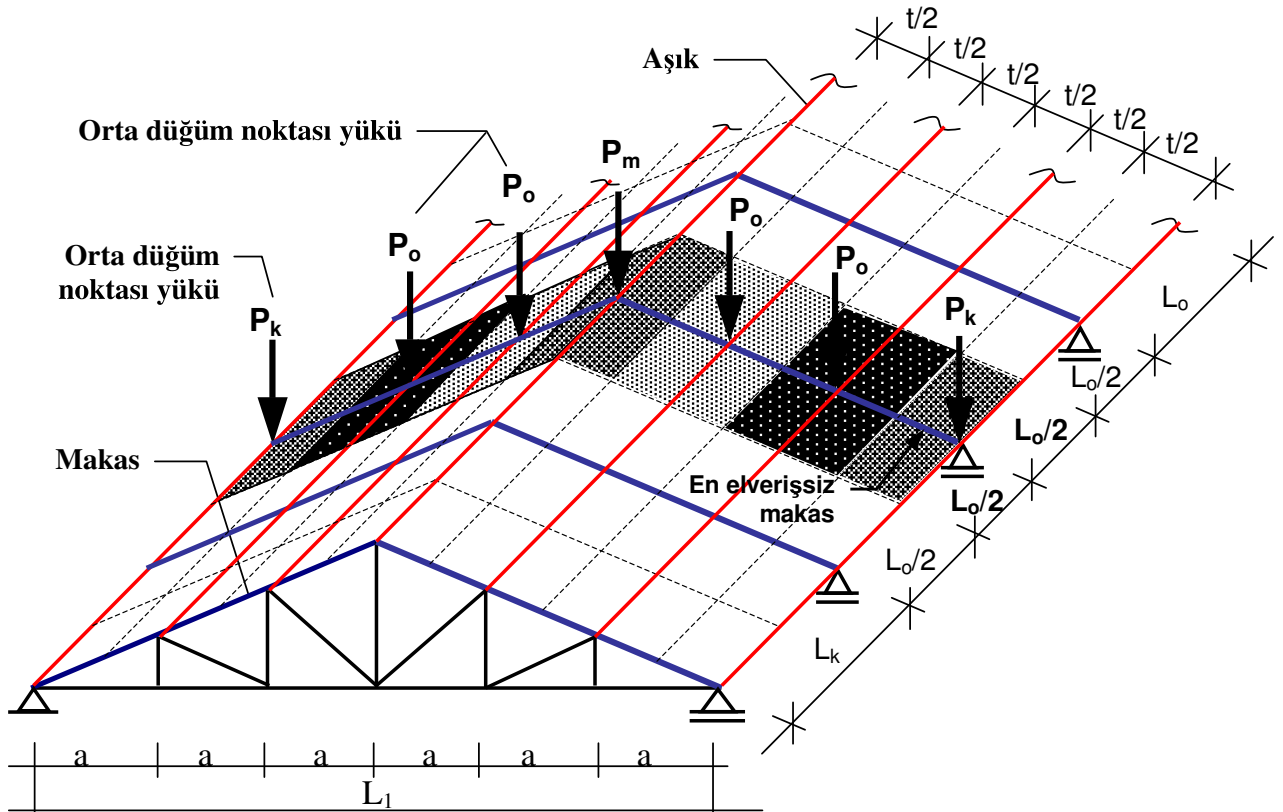
Kafes kirişler (makaslar), aşıkları, çatı örtüsünü ve çatı örtüsü üzerine etkiyen dış yükleri (rüzgar, kar) taşırlar ve bu yükleri aşıklar vasıtasıyla kafes kiriş düğüm noktalarına aktarırlar. Aşıklar makas üzerinde basit mesnetli olarak teşkil edildikleri için, kafes kirişteki her bir düğüm noktasına, makas aralığı (L_o , L_k) ve aşık aralığı (a veya t) ile orantılı alan yüklerinin etkiyeceği kabul edilebilir. Bu durumda;

- 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).

Bu aşamada yüklerin özellikleri de (örn. kar yükü için a kullanılmalıdır) gözönünde bulundurulur. Çatı örtüsünün montajının yapılabilmesi için bir düzlem oluşturulması gerektiğinden en elverişsiz kafes kiriş belirlenir ve onun için tasarım yapılır. En elverişsiz makas, 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.

Not: Kafes sisteme etkiyen yükler daha detaylı olarak belirlenmek istenirse; aşıkların statik analizi sonucu elde edilen mesnet tepkileri ilgili düğüm noktalarına etkililerek makas yükleri belirlenebilir.

Kafes Kiriş yük idealleştirmesinin perspektif üzerinde gösterimi



Kafes sistemin tasarımı için gereğince iki ayrı yükleme yapılması gerekmektedir (TS 648). Bunlar;

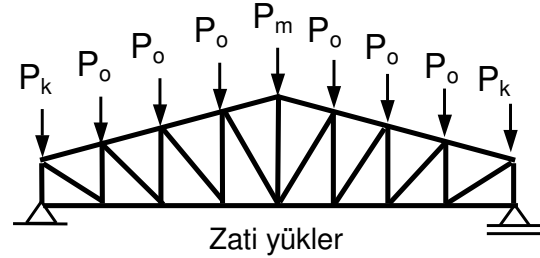
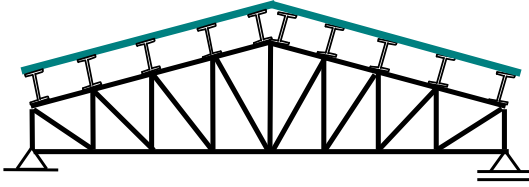
- Esas yükler (YDI) (H yüklemesi) [Ölü yükler ve kar yükünü kapsar]
- Esas ve ilave yükler (YDII) (HZ yüklemesi) [Ölü yükler, kar yükü ve rüzgar yükünü kapsar]

Ancak çatı sistemlerinin özelliği nedeniyle,

- 1) Kar yüklemesi için el elverişsiz durumun (soldan kar, sağdan kar, tam kar) araştırılması,
- 2) Rüzgar yüklemesi için el elverişsiz durumun (soldan rüzgar, sağdan rüzgar) 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 en elverişsiz durumları belirlemek amacıyla süperpoze (kombinasyon) edilir.

4.1.1 Zati Yük Analizi



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]

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

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]

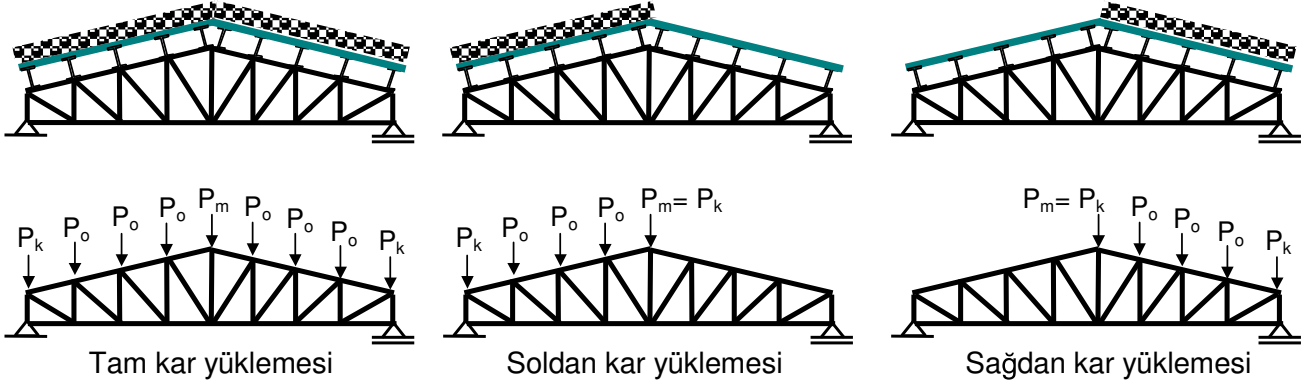
$$\begin{aligned} g_{örtü} * L_o * t/2 &= \text{ kg} \\ g_a * L_o &= \text{ kg} \\ g_m * L_o * a/2 &= \text{ kg} \\ + \\ \mathbf{P_k} &= \text{ kg} \end{aligned}$$

Mahya düğüm noktasına etkiyen yük (P_m)

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

4.1.2 Kar Yüğü Analizi

Aşağıda gösterildiğı gibi üç farklı kar yükleme (tam, soldan ve sağdan yükleme) yapılması gerekmektedir.



Orta düğüm noktasına etkiyen yük (P_o)

Kar Yüğü: P_k [kg/m^2]

Buz Yüğü: P_b (**varsa**) [kg/m^2]

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

Kenar düğüm noktasına etkiyen yük (P_k)

$$P_k = P_o / 2$$

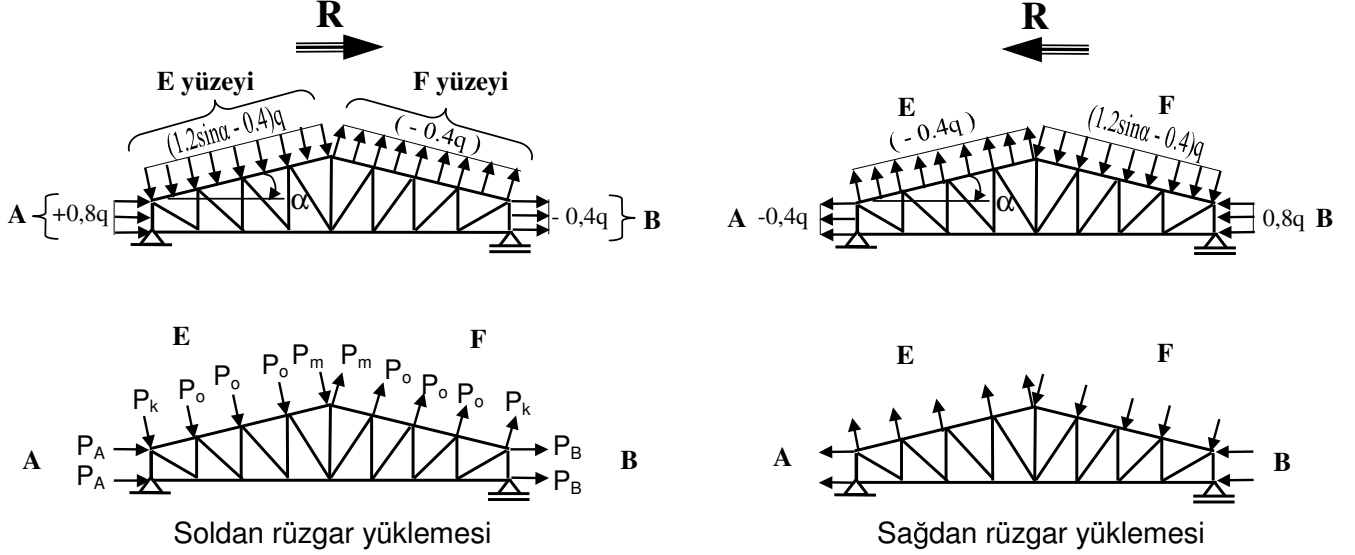
Mahya düğüm noktasına etkiyen yük (P_m)

Tam kar yükleme için : $P_m = P_o$

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

4.1.3 Rüzgar Yükü Analizi

Aşağıda gösterildiği iki farklı rüzgar yüklemesi (soldan ve sağdan yükleme) yapılması gerekmektedir.



Soldan rüzgar yüklemesi

Orta düğüm noktasına etkiyen yük (P_o)

E yüzeyi için: $P_{RE} [(1.2\sin\alpha - 0.4)q \text{ kg/m}^2]$ $P_o = P_{RE} * L_o * t = \dots \text{ kg}$

F yüzeyi için: $P_{RF} [-0.4q \text{ kg/m}^2]$ $P_o = P_{RF} * L_o * t = \dots \text{ kg}$

Kenar düğüm noktasına etkiyen yük (P_k)

E yüzeyi için: $P_k = P_{RE} * L_o * t / 2 = \dots \text{ kg}$

F yüzeyi için: $P_k = P_{RF} * L_o * t / 2 = \dots \text{ kg}$

Mahya düğüm noktasına etkiyen yük (P_m)

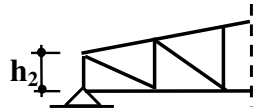
E yüzeyi için: $P_m = P_k = P_{RE} * L_o * t / 2 = \dots \text{ kg}$

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

Yan düğüm noktalarına etkiyen yükler (P_A, P_B)

A yüzeyi için: $P_{RA} [0.8q \text{ kg/m}^2]$ $P_A = P_{RA} * L_o * h_2 / 2 = \dots \text{ kg}$

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



Sağdan rüzgar yüklemesi

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

4.2 Kafes Sistem Statik Hesabı

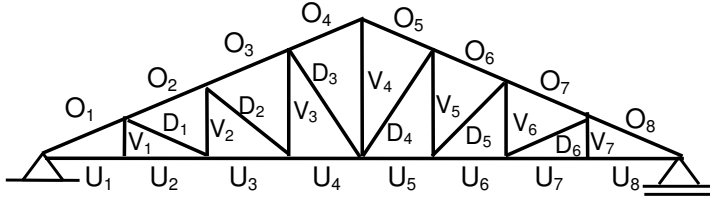
Her bir yük analizinden elde edilen yüklemeler için kafes sistemin statik hesabı yapılarak tüm çubuklardaki iç kuvvetler (normal kuvvet) belirlenir. Verilen kafes sistemlerin izostatik olması nedeniyle çubuk kuvvetleri, çubukların enkesit özelliklerine gereksinim duyulmadan aşağıda verilen iki yöntemden herhangi biri kullanılarak belirlenebilir (Bkz. A.Çakıroğlu, E.Çetmeli, Yapı Statiği, Cilt-1, 1990).

İzostatik kafes sistem hesabında kullanılan sayısal yöntemler:

- ❑ **Düğüm noktaları denge yöntemi**
- ❑ **Ritter (kesim) yöntemi**

Statik hesap öncesinde sistemdeki bütün çubuklar isimlendirilir ve numaralandırılır. Kafes sistem çubuklarının isimlendirilmesinde genellikle aşağıdaki harfler 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** ($D_1, D_2, D_3 \dots$)



Her bir yüklemeye ait statik hesaplar sonucu elde edilen çubuk kuvvetleri işaretlerine bağlı olarak tablo halinde gösterilir.

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
...		

4.3 Boyutlandırmada esas alınacak maksimum ve minimum çubuk kuvvetlerinin belirlenmesi (Süperpozisyon tablosunun hazırlanması)

Her bir yükleme için yapılan statik hesaplar sonucu elde edilen çubuk kuvvetleri aşağıda verilen süperpozisyon tablosuna aktarılır.

Süperpozisyon çubuk kuvvetlerinin elde edilmesi

- Öncelikle zati yükler ve kar yüklemeleri gözönüne alınarak, “**Esas Yükler**” yüklemesi (YD1) için maksimum çubuk kuvvetleri hesaplanır.
- Zati yükler, kar yüklemeleri ve rüzgar yüklemeleri gözönüne alınarak, “**Esas ve İlave Yükler**” yüklemesi (YD2) için maksimum çubuk kuvvetleri hesaplanır.
- Zati yükler ve/veya kar yüklemeleri ve/veya rüzgar yüklemeleri gözönüne alınarak, minimum çubuk kuvvetleri hesaplanır.

Minimum çubuk kuvvetleri, YDI ve YDII yüklemeleri sonucu bulunan 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.

Çekme Çubuklarının
Boyutlandırılması

$$\sigma_{\xi} = \frac{N}{F_{net}} \leq \sigma_{\xi}^{(H),(HZ)}$$

$F_{net} = F - \Delta F$
F: Enkesit alanı
 ΔF : Enkesit kaybı

Basınç Çubuklarının
Boyutlandırılması

$$\sigma_b = \frac{N \cdot \omega}{F} \leq \sigma_{bem}^{(H),(HZ)}$$

F: Enkesit alanı
 ω : Narinlik çarp
N: ElemanÇubuk kuv

Süperpozisyon Tablosu

Çubuk Adı	YÜKLEMELER												Maksimum Çubuk Kuvveti				Minimum Çubuk Kuvveti (kg)	
	Zatî 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	---

YDII

5 . KAFES SİSTEM ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASI

Kafes sistem elemanları (alt ve üst başlık çubukları, dikme ve diyagonal çubukları), yükleme durumlarına ait süperpozisyon kuvvetleri (EY, EIY ve min çubuk kuvvetleri) esas alınarak boyutlandırılır.

Kafes sistemlerde üst ve alt başlık elemanları için genellikle, ½ KUP I profil, T profil veya çift L profil kullanılmaktadır. Dikme ve diyagonal elemanları için ise genellikle, tek L profil veya çift L profil kullanılmaktadır.

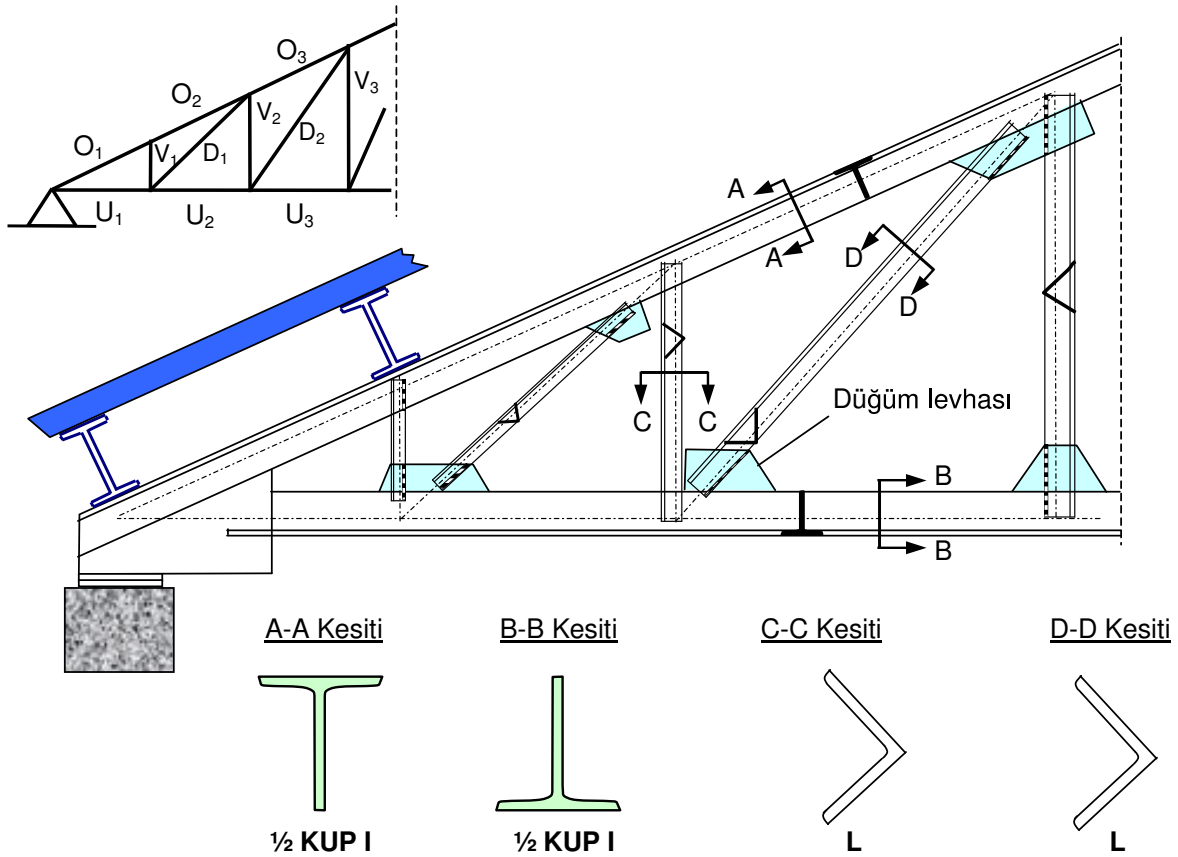
Proje kapsamında,

- Alt ve Üst başlık elemanları (O, U çubukları) ½ **KUP I** profili ile (Yarım NPI)
- Dikme ve Diyagonal elemanları (V ve D çubukları) **tek L** profili (eşit kollu) ile (Not: Tek L profilin yetersiz kalması durumunda çift L kullanılacaktır)

teşkil edilecektir.

Üst ve alt başlık 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 başlık için tek profil (gerekli en büyük kesit) ve alt başlık için tek profil (gerekli en büyük kesit) kullanılacaktır.

Dikme ve diyagonal elemanları için ise farklı boyutlar kullanılabilir ancak, zayıfatı azaltmak amacıyla emniyeti tarafta kalınacak şekilde, boyutlar çeşitli gruplar halinde düzenlenebilir.



Basit mesnetli üçgen ve trapez tip kafes sistemlerde, “Esas Yükler” yüklemesi (EY) altında genellikle alt başlıklarda çekme kuvvetleri, üst başlıklarda basınç kuvvetleri oluşmakta, dikme ve diyagonal elemanlarında ise örgü şekline göre çekme veya basınç kuvvetleri oluşabilmektedir. “Esas ve İlave Yükler” (EİY) yüklemesi altında ise, çatı eğimine ve çatı örtüsü ağırlığına bağlı olarak çubuklar işaret değiştirebilmektedir.

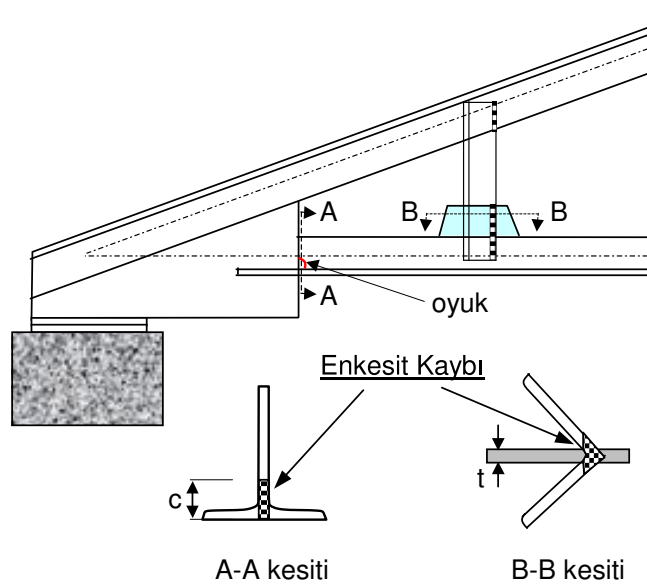
5.1 Çekme Çubuklarının Boyutlandırılması

Çekme çubuklarının boyutlandırılmasında, düğüm noktalarında yapılacak birleşim özellikleri gözönünde bulundurularak, **enkesit kayıpları** belirlenmelidir.

$$\text{Çekme gerilmesi : } \sigma_{\text{ç}} = \frac{N}{F_{\text{net}}} \leq \sigma_{\text{çem}}^{(EY),(EİY)} \Rightarrow F_{\text{net}} \geq \frac{N}{\sigma_{\text{çem}}^{(EY),(EİY)}} \Rightarrow \text{profil seçilir}$$

$F_{\text{net}} = F - \Delta F$
 F : Enkesit alanı
 ΔF : Enkesit kaybı

- **Alt başlık** çubuklarının mesnet düğüm noktası birleşimlerinde, ½ KUP I profilin boyun bölgesinin oyulması nedeniyle bir enkesit kaybı oluşmaktadır (A-A kesiti).
- **Diyagonal** ve **dikme** çubuklarının birleşiminde, köşe bölgelerinin kesilerek çıkarılması nedeniyle enkesit kaybı oluşmaktadır (B-B kesiti).



Başlangıçta profil belirli olmadığından, enkesit kayıplarının hesabı için gerekli büyüklükler de (gövde kalınlığı, kaynak kalınlığı vb.) belirli değildir. Bu nedenle öncelikle, enkesit kaybı düşünülmezsizin gerekli enkesit (profil boyutu) belirlenip, daha sonra bu profile oluşacak enkesit kayıpları gözönüne alınarak söz konusu profil tahkik edilerek boyutlandırma yapılabilir.

Çekme çubukları boyutlandırıldıktan sonra narinlik değerleri (λ_{max}) hesaplanmalı ve 250'den küçük olup olmadıkları kontrol edilmelidir. Büyük olması durumunda enkesit boyutları artırılarak narinlikleri 250'nin altına indirilmelidir. (TS 648).

Not: Enkesit kayıplarının belirlenmesinde belirli profiller için hazırlanmış tablolardan yararlanılabilir (Bkz. Y Odabaşı, Çelik Çatı Elemanlarının Ekonomik Çözümleri, 1981).

5.2 Basınç Çubuklarının Boyutlandırılması

Basınç çubuklarının boyutlandırılmasında, çubukların narinlik özellikleri gözönünde bulundurulmalıdır.

Çubukların narinlikleri belirlenirken düğüm noktaları arasındaki hesap boyları esas alınacaktır.

Üst başlıkların **toptan burkulmaya** karşı tahkikleri stabilite hesapları ile birlikte yapılacaktır.

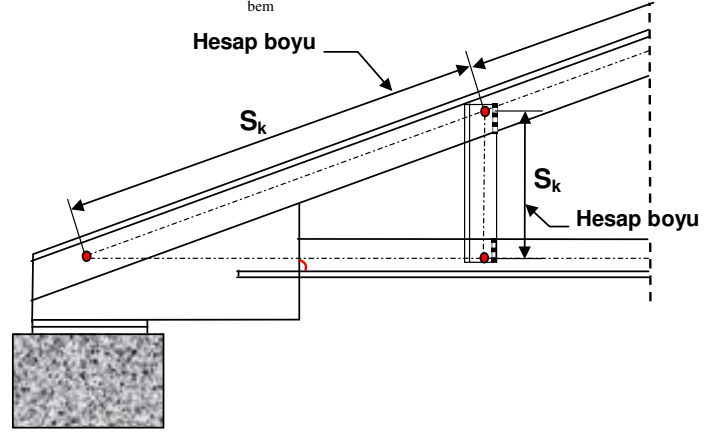
$$\text{Basınç gerilmesi : } \sigma_b = \frac{N \cdot \omega}{F} \leq \sigma_{\text{bem}}^{(EY),(EIY)} \Rightarrow F \geq \frac{N \cdot \omega}{\sigma_{\text{bem}}^{(EY),(EIY)}} \Rightarrow \text{profil seçilir}$$

F : En kesit alanı

ω : Narinlik çarpanı

(Narinlik oranı λ 'ya bağlı olarak belirlenir)

N : Eleman çubuk kuvveti



Boyutlandırmada aşağıdaki ardışık yaklaşım yolu (ω metodu) kullanılabilir.

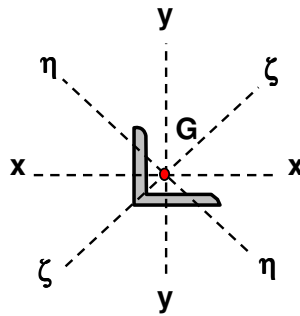
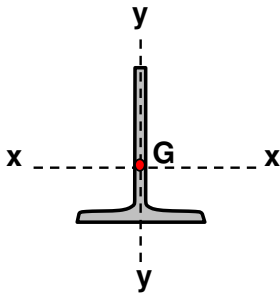
1) ω başlangıçta bilinmediğinden tahmin edilir (örneğin 2 alınabilir).

2) $F \geq \frac{N \cdot \omega}{\sigma_{\text{bem}}^{(EY),(EIY)}}$ ifadesinden yararlanarak profil seçilir.

3) Seçilen profilin mukavemet özellikleri kullanılarak (i_x , i_y , veya $i_{\min}$) narinlik oranları λ belirlenir.

□ Üst başlık çubuklarında, iki asal eksendeki burkulma boyları ve ilgili atalet yarıçapları esas alınır.

□ Diyagonal ve dikme elemanlarında, minimum atalet yarıçapı esas alınır.



Üst başlık elemanlarında

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y}$$

Dikme ve Diyagonal elemanlarında

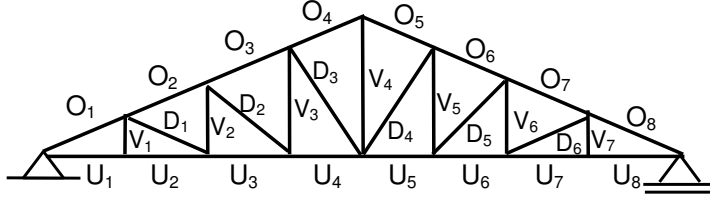
$$\lambda_{\max} = \frac{S_k}{i_{\min}} \quad i_{\min} = \min(i_x, i_y, i_{\xi}, i_{\eta})$$

S_k : Burkulma Boyu = Hesap boyu

i : Atalet yarıçapı

- 4) Narinlik oranına bağılı olarak ilgili tablodan narinlik çarpanı ω belirlenir. Bu ω değeri için (2.) hesap adımı tekrarlanarak yeni bir profil seçilir. Farklı bir profil çıkması durumunda , yeni profil için (3.) hesap adımı tekrarlanır. Ardışık iki adımda aynı profil bulununcaya kadar işlem tekrarlanarak gerekli profil belirlenir. başlangıçta seçilen değere yeter derecede yakın mukavemet özellikleri kullanılarak (i_x , i_y , veya i_{min}) narinlik oranları λ belirlenir.

Kafes sistem elemanlarının boyutları belirlendikten sonra aşağıda gösterildiği gibi tablolaştırılarak, uygun kesit seçimi yapılır.



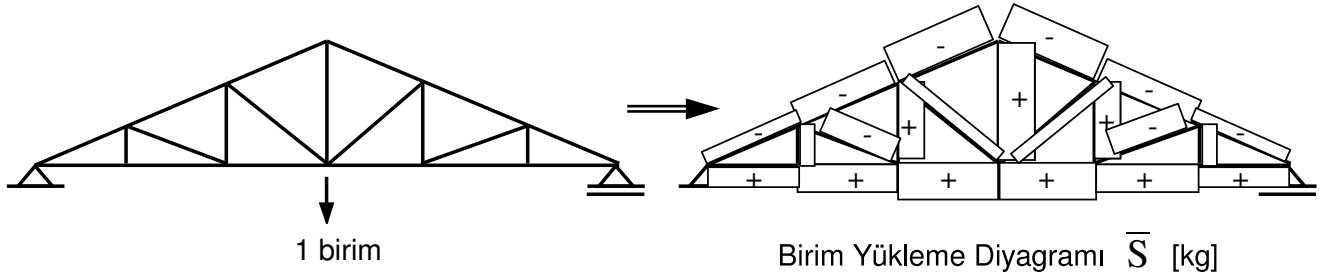
Kafes Sistem Elemanlarının Boyutları

Çubuk			Gerekli olan profil	Seçilen Profil
Adı	No	Hesap Boyu (cm)		
Üst Başlık elemanları	O ₁	145	½ KUP I 160	½ KUP I 160
	O ₂	145	½ KUP I 140	
	O ₃	145	½ KUP I 120	
	..			
	O ₈	145	½ KUP I 160	
Alt Başlık elemanları	U ₁	-	½ KUP I 140	½ KUP I 140
	U ₂	-	½ KUP I 120	
	U ₃	-	½ KUP I 100	
	...	-	...	
	U ₈	-	½ KUP I 140	
Diyagonal elemanları	D ₁		L 60.60.6	L 60.60.6
	D ₂		L 65.65.6	L 65.65.6
	...	...	...	...
	D ₆		L 70.70.6	L 70.70.6
Dikmel elemanları	V ₁	-	L 50.50.6	L 50.50.6
	V ₂	-	L 55.55.6	L 55.55.6
	...	...		
	V ₇	-	L 65.65.6	L 65.65.6

5.3 Kafes Sistem Sehim Kontrolü

Boyutlandırılan kafes sistemde, “Esas Yükler” yüklemesi (EY) ve “Esas ve İlave Yükler” (EIY) yüklemesi altında oluşan maksimum sehim değerleri hesaplanarak, yönetmelik (TS 648) koşulu ile karşılaştırılmalıdır. Yönetmelikte öngörülen sehim sınırının aşılması durumunda, gerekli oranda kesit büyütülmesi yapılarak, oluşan sehim, sınırın altına indirilmelidir.

Kafes sistemlerin sehim hesabında, “**Virtüel İş Teoremi**” kullanılabilir. Buna göre; maksimum sehimin oluşması beklenen kafes giriş orta noktasına birim yükleme yapılır. Bu yüklemeden elde edilen çubuk kuvvetleri ($\bar{S}$), EY ve EIY yüklemelerine ait çubuk kuvvetleri (S) ile birlikte aşağıdaki bağıntıda yerine koyularak, maksimum sehim hesaplanır.



$$\text{Maksimum sehim: } f_{\max.} = \int \bar{S} \frac{ds}{EF} = \sum \bar{S} S \frac{L}{EF} \leq f_{\text{SINIR}} \quad (\text{TS 648})$$

L : Çubuk hesap boyu
F : Çubuk enkesit alanı
E: Çelik elastisite modülü

Sehim Hesap Tablosu

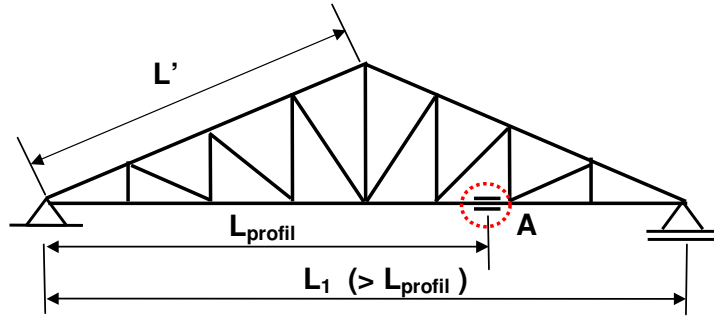
Çubuk adı	L (cm)	F (cm ²)	Birim Yükleme	EY	EIY	EY	EIY
			$\bar{S}$ (kg)	S (kg)	S (kg)	$\bar{S} S \frac{L}{EF}$	$\bar{S} S \frac{L}{EF}$
O ₁							
O ₂							
...							
V ₁							
V ₂							
...							
D ₁							
D ₂							
...							
U ₁							
U ₂							
...							
			$f_{\max} =$		...		

5.4 Alt ve Üst Başlık Elemanlarının Ekleri

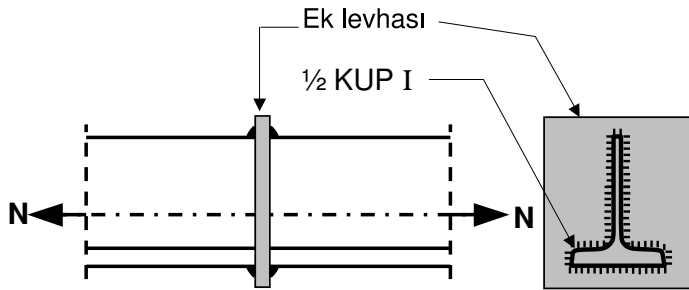
Alt ve üst başlık elemanlarının toplam boyları, profil üretim (standart) üretim boyları ile karşılaştırılır. Gerekli olması durumunda, üst başlık için basınç kuvveti aktaran ek, alt başlık için ise çekme kuvveti aktaran ek teşkil edilir.

Söz konusu ekler, **kaynaklı enine levhalı ek** veya **kaynaklı lamalı ek** olarak teşkil edilebilirler (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006).

Ek hesaplarında, ilgili elemanın elastik çekme veya basınç kuvveti taşıma **kapasitesi** esas alınmalıdır.

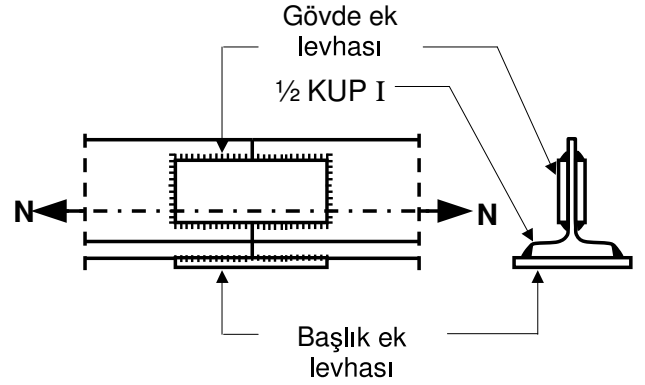


Kaynaklı Enine Levhalı ek



A Detayı

Kaynaklı Lamalı ek

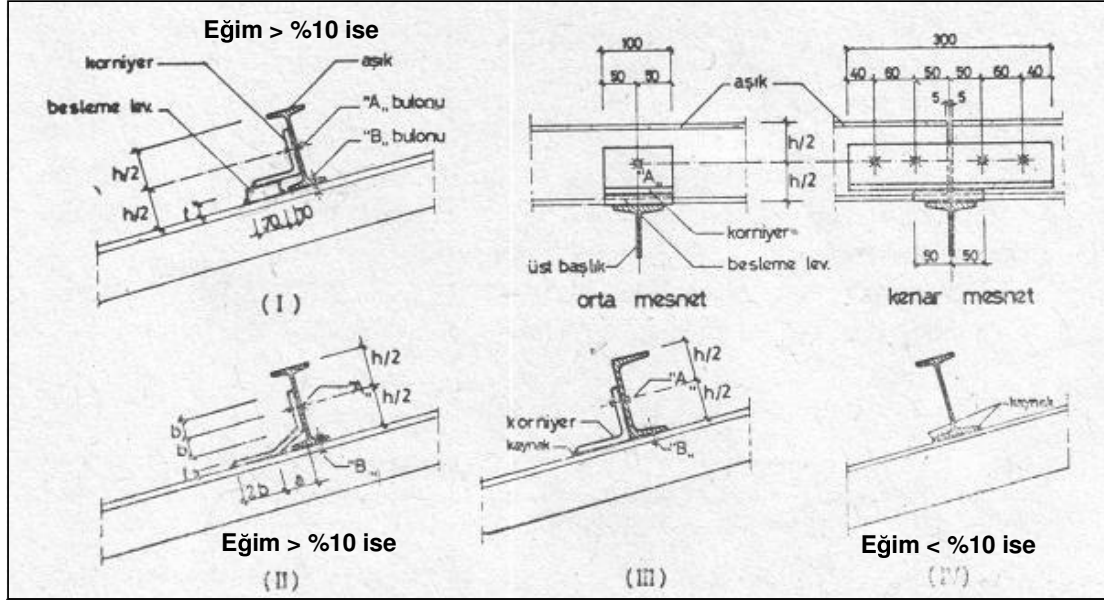


A Detayı

Not: Gerçekleştirilen eklerin yerleri kafes sistem kesiti üzerinde gösterilmelidir.

5.5 Aşıkların Makas Üstü Birleşimlerinin Teşkili

Aşıkların, kafes sistem üst başlık elemanlarına birleşimi bu aşamada yapılmalıdır. Bunun için çatı eğimine bağlı olarak aşağıda verilen birleşim alternatiflerinden uygun olanı kullanılır.



Kullanılan birleşim araçlarının (kaynak, bulon) tahkikinde, aşıklardaki **q_y yük bileşeni** esas alınmalıdır.

Her bir aşığın mesnet hesabı için aşağıda belirtilen yük değerleri esas alınabilir.

Gergisiz durumda; ($q_y \cdot L_o$) yükü,
Tek gergili durumda ($q_y \cdot L_o/2$) yükü,
Tek gergili durumda ($q_y \cdot L_o/3$) yükü,

Ayrıca, rüzgarın emme etkisinin yaratabileceği büyük aşıkların mesnet reaksiyonları nedeniyle, **zati yükler ve rüzgar yükleri** altında mesnetlerde oluşan reaksiyon kuvvetleri de kontrol edilmeli ve gerekiyorsa birleşim bu yüklere göre de (q_y yükleri de gözönüne alınarak) tahkik edilmelidir.

Birleşim tasarlandıktan sonra detay resimleri çizilmelidir.

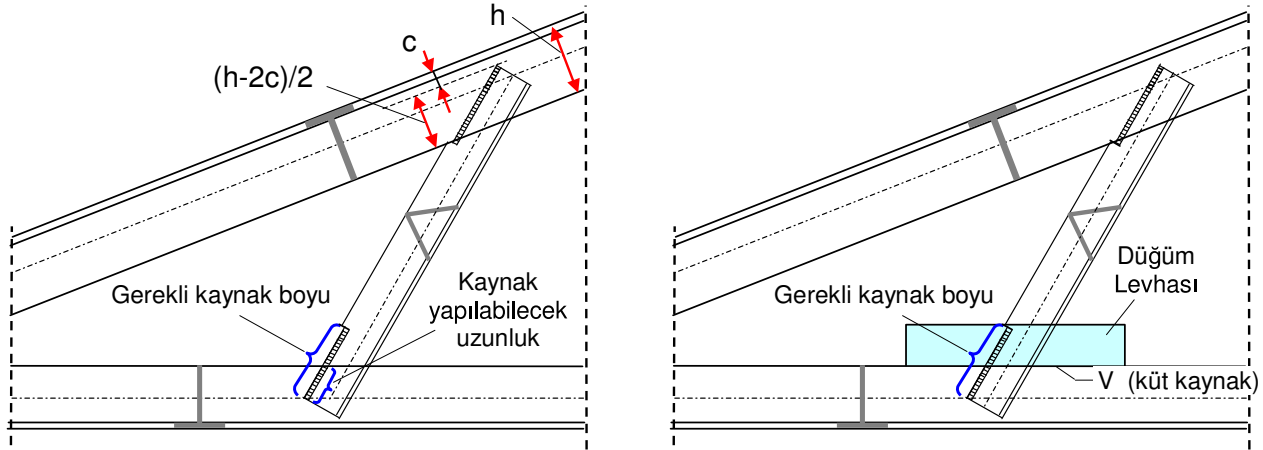
6 . KAFES SİSTEM DÜĞÜM NOKTALARININ BİRLEŞİM HESAPLARI

Kafes sistem düğüm noktalarının teşkili, boyutları belirlenmiş olan kafes sistem elemanlarındaki (alt ve üst başlık çubukları, dikme ve diyagonal çubukları), süperpozisyon kuvvetleri (EY, EIY ve min çubuk kuvvetleri) esas alınarak yapılır.

Proje kapsamında birleşim aracı olarak kaynak kullanılacaktır.

Tek L korniyer olarak teşkil edilen dikme ve diyagonal çubukları aşağıda gösterildiği gibi köşelerinden yarılarak alt ve üst başlık çubuklarının ($\frac{1}{2}$ KUP I profil) gövdelerine birleştirilir. Ancak I profillerde başlık ve gövdenin birleştiği boyun bölgelerinde kaynak yapılması uygun olmadığı için, korniyerlerin bu bölgeye (c) geçmemelerine özen gösterilmelidir.

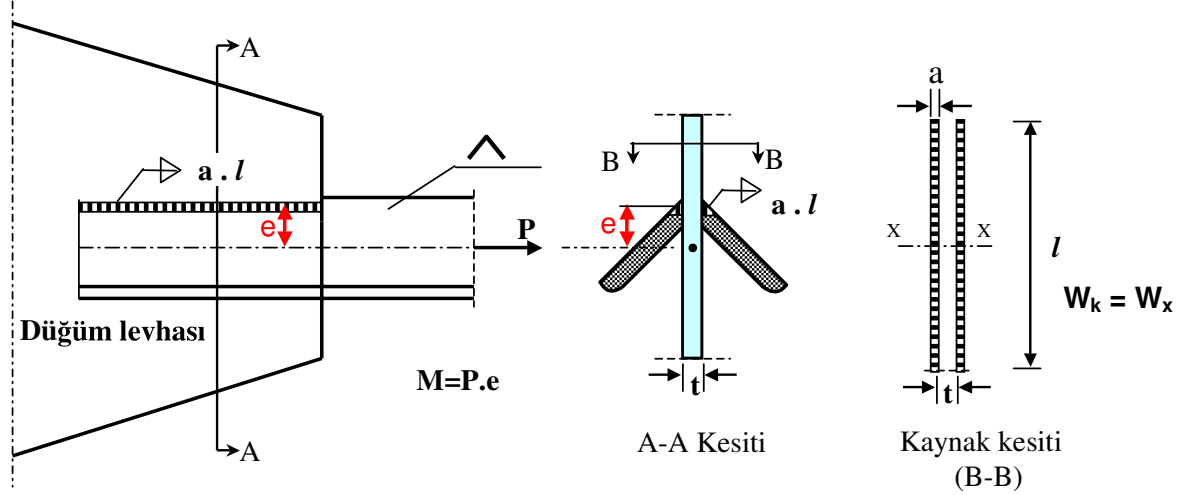
Gerekli kaynak boyu için gerekli bölgenin, yukarıda sözü edilen sebeple veya profillerin geometrik özellikleri nedeniyle yetersiz olması durumunda, düğüm levhasından yararlanılır. Düğüm levhası alt veya üst başlık elemanının gövdesine küt kaynak ile birleştirilerek, kaynak için ilave alan elde edilir.



Bu aşamada yapılan hesaplar, kaynak yapılabilecek bölgenin tespiti ve levha geometrisinin belirlenebilmesi için milimetrik kağıt üzerinde ölçekli olarak gerçekleştirilir. Genellikle $1/5$ ölçekli çizim yeterli olmaktadır.

Dikme ve diyagonal birleşimlerinin teşkili

Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi teşkil edilen dikme ve diyagonal birleşimlerindeki köşe kaynaklar kesme kuvvetine (P) ve eğilme momentine (M) maruz kalmaktadır. Buna bağlı olarak kaynak dikişlerinde normal, kayma ve kıyaslama (asal) gerilmeleri oluşacaktır. (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006).



Bu üç gerilme durumunu sağlayan kaynak kalınlığını ve boyunu belirlemek için bir ardışık yaklaşım yolu izlenebilir. Buna göre;

- Öncelikle sınır koşullar gözönünde bulundurularak bir kaynak kalınlığı (a) seçilir. (min a = 3 mm, max a = 0.7 t_{min} , t_{min} : en ince levha kalınlığı)
- σ_k ve τ_k gerilme ifadelerinden yararlanarak, gerekli kaynak boyları belirlenir.
- Büyük olan kaynak boyu esas alınarak kıyaslama gerilmesi tahkiki yapılır. Tahkikin sağlaması durumunda kaynak boyu belirlenmiş olur. Sağlamaması durumunda ise kaynak boyu oluşan kıyaslama gerilmesi tahkiki sağlayıncaya kadar belirli oranlarda arttırılır.
- Sonuçta belirlenen kaynak boyu, yan köşe dikişleri için öngörülen sınır koşullar bakımından tahkik edilir (15 a ≤ l ≤ 100 a).

Kayma gerilmesi tahkiki

$$\tau_k = \frac{P}{F_k} = \frac{P}{\sum (a.l)} \leq \tau_{kem} \quad (a: \text{ kaynak kalınlığı, } l: \text{ kaynak hesap uzunluğu})$$

Normal gerilme tahkiki

$$\sigma_k = \frac{M}{W_k} \leq \sigma_{kem} \quad (W_k: \text{ kaynak kesitinin mukavemet momenti, } M=P.e)$$

Kıyaslama gerilmesi tahkiki

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} \leq \sigma_{vem}$$

Kıyaslama gerilmesi tahkiki yerine DIN 4100 de öngörülen asal gerilme tahkiki de yapılabilir.

▪ Asal gerilme tahkiki

$$\sigma_h = \frac{1}{2}(\sigma_k + \sqrt{\sigma_k^2 + 4\tau_k^2}) \leq \sigma_{hem}$$

Not: σ_k ve τ_k gerilmelerinin her biri sınır gerilme olan σ_s değerinden küçük ise kıyaslama gerilmesi (σ_v) tahkiki gerekmez (TS 648). (EY, EİY yüklemesi ve St 37 Çeliği için $\sigma_s = 750 \text{ kg/cm}^2$)

Düğüm levhası birleşimlerinin teşkili

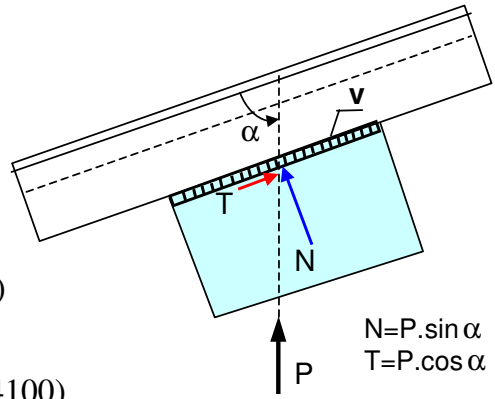
Düğüm levhasını alt veya üst başlık elemanlarına bağlayan küt kaynak dikişleri, dikme veya diyagonalin birleşme açısına bağlı olarak normal gerilmeye ve/veya kayma gerilmesine maruz kalmaktadır. Bu kaynakların boyutlandırılmasında aşağıda verilen gerilme ifadeleri kullanılır ve yukarıda anlatılan ardışık yaklaşım uygulanabilir.

Normal gerilme : $\sigma_k = \frac{N}{\sum(a \cdot l)} \leq \sigma_{kem}$

Kayma gerilmesi : $\tau_k = \frac{T}{\sum(a \cdot l)} \leq \tau_{kem}$

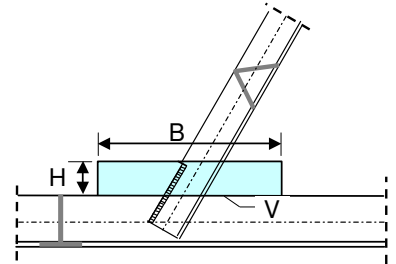
Kıyaslama gerilmesi : $\sigma_v = \sqrt{\sigma_k^2 + \tau_k^2} \leq \sigma_{vem} \text{ (TS 3357)}$

Asal gerilme : $\sigma_h = \frac{1}{2}(\sigma_k + \sqrt{\sigma_k^2 + 4\tau_k^2}) \leq \sigma_{hem} \text{ (DIN 4100)}$



- Düğüm levhasının kalınlığı, birleştirildiği elemanın gövde kalınlığına yakın seçilir. Küt kaynak kalınlığı ve tipi (I, V, Y, X gibi) belirlenir ($a = t_{min}$, 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.

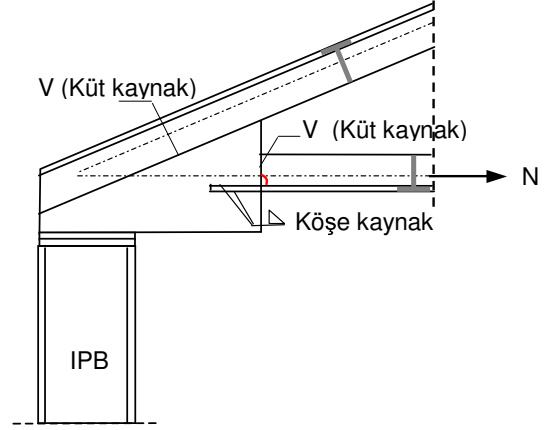
Mesnet düğüm noktalarının teşkili

Mesnet düğüm noktalarındaki düğüm levhalarının başlık elemanlarına küt kaynak ile birleşimi, diğer düğüm noktalarındakine benzer şekilde yapılabilir. Ancak, mesnet bölgesinde büyük mesnet reaksiyonları nedeniyle lokal burkulma oluşmaması için gerekli takviyenin yapılması gerekmektedir.

Alt başlık elemanlarının mesnet düğüm levhasına birleşimi aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi, küt ve köşe kaynaklarının birlikte kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Bu tür birleşimlerde toplam kaynak alanı hesaplanırken, DIN 4100'e göre; köşe kaynak alanının yarısı ile küt kaynak alanının toplamının esas alınması ve küt kaynağa ait emniyet gerilmelerinin kullanılması öngörülmektedir. (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006).

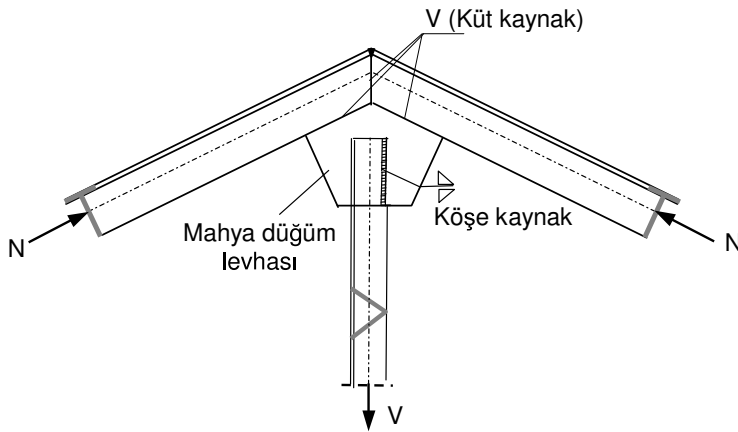
$$\sigma_k = \frac{N}{\sum F_k} \leq \sigma_{kem} \quad (\text{Küt kaynağa ait})$$

$$\sum F_k = F_k^{Küt} + \frac{1}{2} F_k^{Köşe}$$



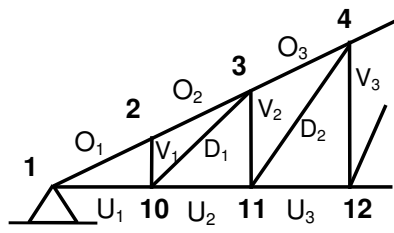
Mahya düğüm noktasının teşkili

Mahya düğüm noktasında iki üst başlık elemanı ve bir dikme elemanının birleşimi söz konusu olmaktadır. Üst başlık elemanlarındaki basınç kuvvetlerini karşılayabilmek için genellikle aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi bir birleşim teşkil edilmektedir. Mahya düğüm levhasının boyutları gerekli kaynak boylarına bağlı olarak belirlenir.



Düğüm levhasını başlık elemanlarına bağlayan küt kaynak dikişleri için normal gerilme ve kayma gerilmesine maruz kalırlar. Bu kaynak dikişleri, başlık elemanlarını birbirine bağlayan küt kaynak dikişleri ile birlikte çalıştıklarından, başlıklardaki kuvvetler (N) gözönüne alınarak tahkik edilmelidir. (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006).

Bütün düğüm noktalarına ait birleşim hesapları yapıldıktan sonra, sonuçları özetleyen aşağıdaki gibi bir Tablo hazırlanmalıdır.



Düğüm noktası birleşim hesapları özeti

Düğüm Noktası No	Çubuk		Küt Kaynak		Köşe Kaynak		Düğüm levhası ölçüleri
	Adı	Kesiti	a (mm)	l' (mm)	a (mm)	l' (mm)	
1	O ₁	½ KUP I 240	..	..	..	..	
	U ₁	½ KUP I 200	..	..	..	..	
2	O ₁	½ KUP I 240	..	..	..	..	
	O ₂	½ KUP I 240	..	..	..	..	
	V ₁	L 65.65.8	..	..	..	..	
3	--	--	--	--	--	--	--
4	--	--	--	--	--	--	--

Not: Tüm birleşim yapıldıktan sonra çekmeye çalışan dikme ve diyagonallerdeki enkesit kayıpları, bu elemanların tasarımında gözönüne alınan enkesit kayıpları ile karşılaştırılmalı ve güvensiz bir durumun oluşmadığı gösterilmelidir.

7. KAFES SİSTEM MESNET HESAPLARI

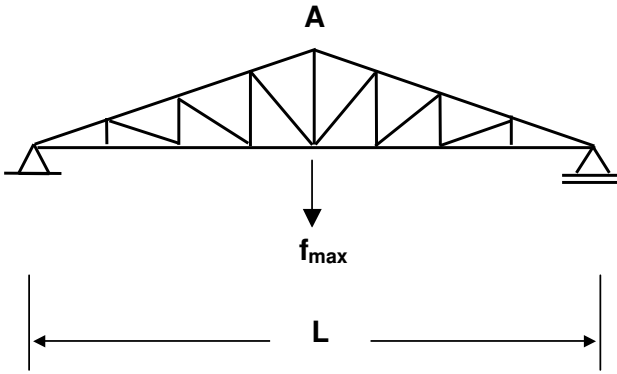
Proje kapsamında ele alınan çatı sistemindeki kafes kirişlerde bir sabit bir kayıcı mesnet bulunmaktadır. Bu mesnetlerin birer çelik kolon (IPB) üzerinde teşkil edilecekleri kabul edilecektir.

Öncelikle, çatı sisteminin yükler altındaki davranışına bağlı olarak mesnetlerin tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Mesnet tiplerinin belirlenmesinde kafes sistemlerin maksimum düşey sehim (f_{max}) değerlerinden yararlanılır (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006). Buna göre;

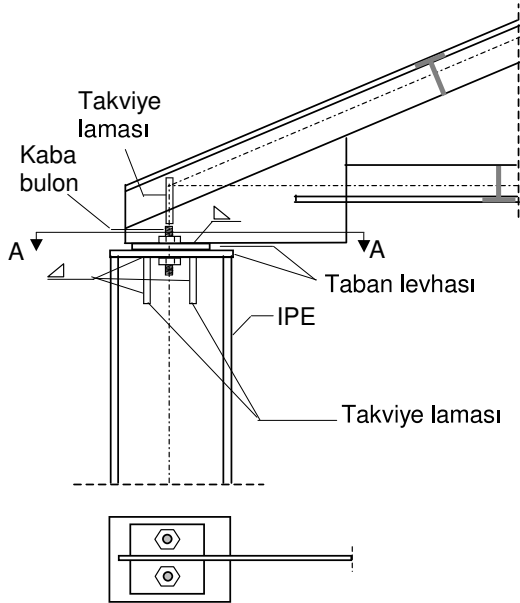
□ $f_{max} \leq (L / 500)$ ise *Bulonlu basit mesnet* (Düşük dönme özelliğine sahip mesnet)

□ $f_{max} > (L / 500)$ ise *Merkezilik parçalı basit mesnet* (Yüksek dönme özelliğine sahip mesnet)

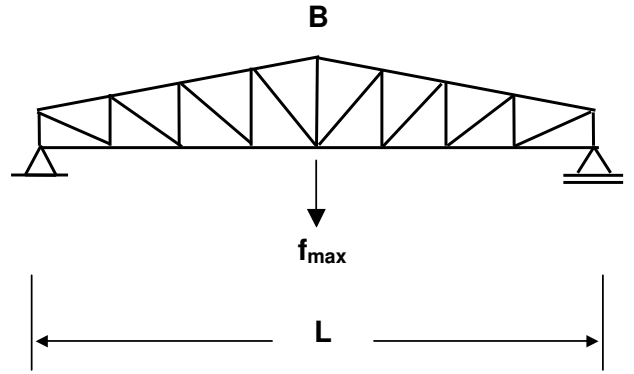
kullanılır.



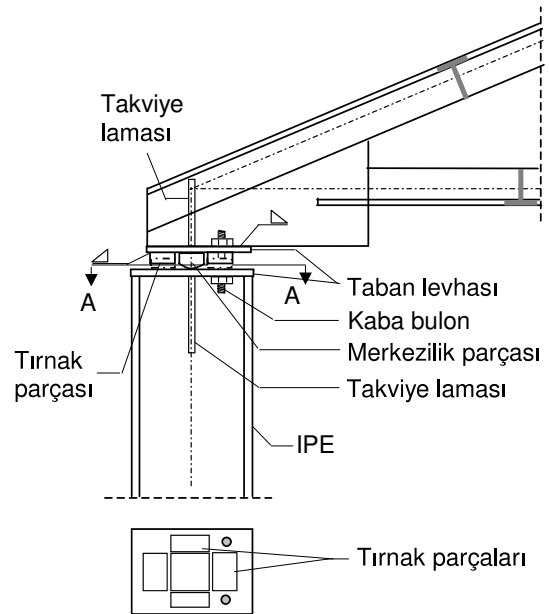
Bulonlu basit mesnet



A-A Kesiti (Sabit mesnet)



Merkezilik parçalı basit mesnet

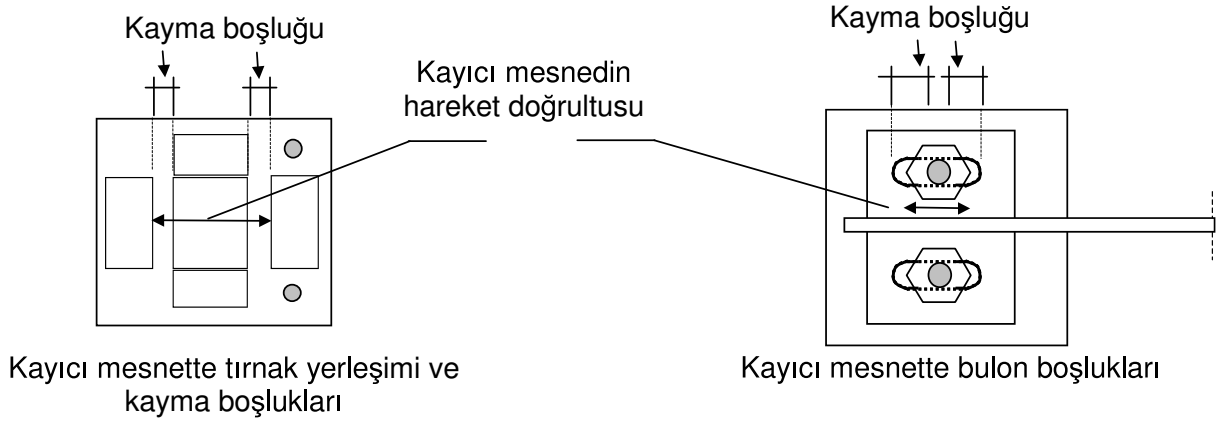


A-A Kesiti (Sabit mesnet)

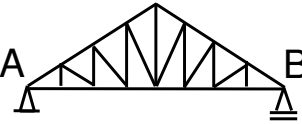
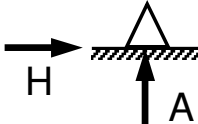
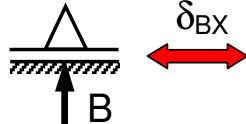
Bütün yükleme durumları gözönünde bulundurularak, en elverişsiz mesnet tepkileri ve kayıcı mesnette meydana gelen yatay yerdeğıştirmeler belirlenir. Kayıcı mesnedin yatay doğrultudaki yerdeğıştirmelerini belirlemek için dış yüklerin (zati, kar, rüzgar) yanı sıra düzgün sıcaklık değışmesi için de hesap yapılmalıdır.

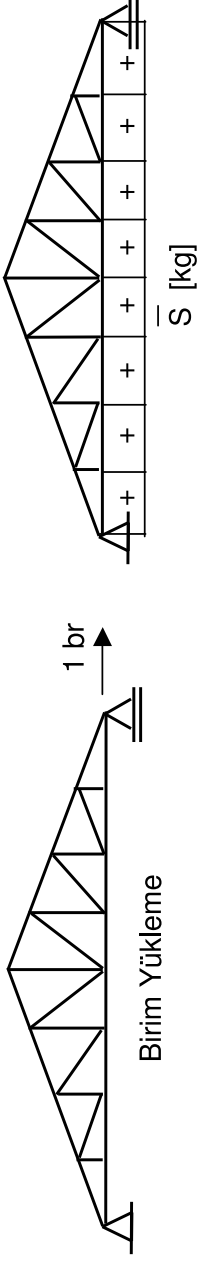
Kayıcı mesnetteki yerdeğıştirmelerin belirlenmesinde Virtüel İş Teoreminden yararlanılabilir. Bunun için, yatay doğrultuda birim yükleme yapılarak çubuk kuvvetleri belirlenir. Daha sonra her bir yükleme durumu için aşağıdaki bağıntı ile ilgili yerdeğıştirme değeri belirlenir. Hesaplanan yatay yerdeğıştirmelere bağılı olarak, kayıcı mesnette kayma boşlukları bırakılır. Yükleme göre kayma boşluğu belirlendikten sonra bu değere en az 20 mm emniyet payı da eklenerek tasarım yapılmalıdır.

$$\text{Maksimum yatay yerdeğıştirme} : f_{\max.} = \int \bar{S} \frac{ds}{EF} = \sum \bar{S} \frac{L}{EF}$$



MESNET TEPKİLERİ ve YATAY YERDEĞİŞTİRME TABLOSU

 YÜKLEME DURUMU				
	H (kg)	A (kg)	B (kg)	δ_{BX} (mm)
Zati Yükleme				---
Tam Kar Yükleme				---
Soldan Rüzgar Yükleme				
Sağdan Rüzgar Yükleme				
Sıcaklık değışmesi (t) etkisi	---	---	---	
Esas Yükler				
Esas ve İlave Yükler				
Minimum Mesnet Tepkileri				



Çubuk adı	L (cm)	F (cm ²)	Birim Yük. (kg)	EY (kg)	EIY (kg)	Zati+Sol Rüz.Y. (kg)	Zati+Sağ Rüz.Y. (kg)	EY	EIY	Zati+Sol Rüz.Y. (kg)	Zati+Sağ Rüz.Y. (kg)	Sıcaklık Değişmesi (t) Etkisi
O ₁			$\bar{S}$ (kg)	S (kg)	S (kg)	S (kg)	S (kg)	$\bar{S} \frac{L}{EF}$	$\bar{S} \frac{L}{EF}$	$\bar{S} \frac{L}{EF}$	$\bar{S} \frac{L}{EF}$	$\bar{S} \cdot \alpha_t \cdot t \cdot L$
O ₂												
...												
V ₁												
V ₂												
...												
D ₁												
D ₂												
...												
U ₁												
U ₂												
...												
f_{max} =												...

α_t : Çelik ısısal genleşme katsayısı (10^{-5} m/m C⁰)

t : Düzgün sıcaklık değişmesi (Yapının maruz kalabileceği maksimum ve minimum sıcaklıklar arasındaki farktır. Yapının bulunduğu bölgenin meteorolojik özelliklerine göre belirlenir.)

Bulonlu Basit mesnetlerin tasarımı

- Mesnette kaba bulon kullanılmalı ve belirlenen mesnet tepkilerine bağlı olarak, bulonlar makaslama, ezilme ve gövdede eksenel çekme gerilmeleri esas alınarak tasarlanmalıdır (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006).

$$\tau_s = \frac{N}{2 \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \leq \tau_{sem} \quad \sigma_l = \frac{N}{d \cdot t_{min}} \leq \sigma_{lem} \quad \sigma_z = \frac{Z}{F_{çek}} \leq \sigma_{zem}$$

N: Bir bulona etkiyen makaslama ve ezilme kuvveti

Z: Bir bulona etkiyen eksenel çekme kuvveti

t_{min} : minimum eleman kalınlığı

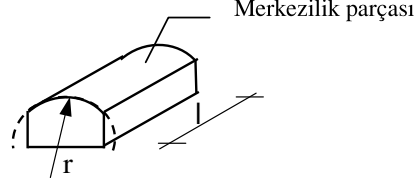
$F_{çek}$: Bulon çekirdek (dişdibi) alanı

- Taban levhasının boyutları (A,B) ve kalınlığı mesnetlendiği kolon profili (IPB) geometrisi esas alınarak belirlenmelidir (Kalınlık 1.5 cm seçilebilir).
- Mesnette kullanılan düğüm levhası, ilgili temas yüzeyi esas alınarak kontrol edilmeli, gerekiyorsa kalınlığı artırılmalıdır. Ayrıca, mesnet ekseninde lokal burkulmayı önlemek amacıyla lama veya korniyer ile çift taraflı takviye yapılmalıdır.
- Mesnet elemanlarını birleştiren kaynak dikişleri ilgili gerilmelere göre tasarlanmalıdır.
- Kolon gövdesinde de takviye lamaları atılmalıdır.

Merkezilik parçalı Basit mesnetlerin tasarımı

- Merkezilik parçası, belirlenen mesnet tepkilerine bağlı olarak, Hertz ifadesi kullanılarak tasarlanmalıdır (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006).

$$\text{Temas gerilmesi} : \sigma_T = 0.418 \sqrt{\frac{A \cdot E}{l \cdot r}}$$



A : Mesnet reaksiyon kuvveti (kg), E : Elastisite Modülü , l : Merkezlik parçasının boyu
r : Silindirik yüzün eğrilik yarıçapı

- Taban levhasının boyutları (A,B) ve kalınlığı mesnetlendiği kolon profili (IPB) geometrisi esas alınarak belirlenmelidir (Kalınlık 1.5 cm seçilebilir).
- Tırnak parçalarının kalınlıkları tipik Hertz elemanına bağlı olarak seçilmeli ve diğer boyutları, kendisini taban levhasına bağlayan kaynak dikişlerinin boylarına bağlı olarak belirlenmelidir. Söz konusu kaynak dikişleri ise mesnet tepkilerine göre tasarlanmalıdır.
- Mesnette kaba bulon kullanılmalı ve belirlenen mesnet tepkilerine bağlı olarak, gövdede eksenel çekme gerilmeleri esas alınarak tasarlanmalıdır.
- Mesnet elemanlarını birleştiren kaynak dikişleri ilgili gerilmelere göre tasarlanmalıdır.
- Kolon gövdesinde de takviye lamaları atılmalıdır.

Not: Mesnet hesapları tamamlandıktan sonra tüm mesnet detayları yaklaşık ölçekli olarak çizilmelidir.

8 . STABİLİTE HESAPLARI

Çatı sistemlerinde;

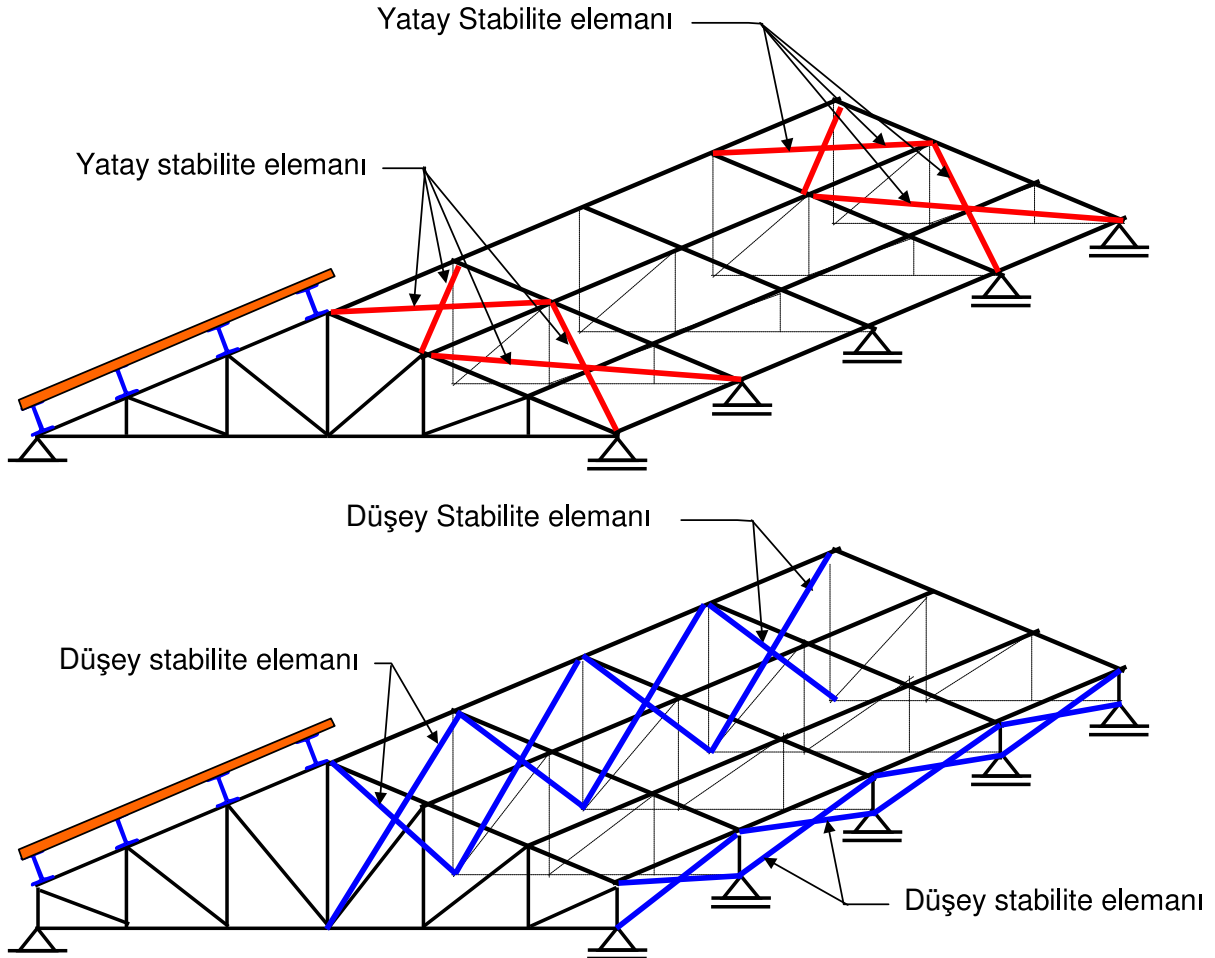
- Kafes kirişlerin (makasların) montaj aşamasında ve kafes düzlemine dik rüzgar ve deprem etkileri altında, mesnetlerini birleştiren eksen etrafında dönerek devrilmelerini engellemek,
- Üst başlık (ve basınç çıkması durumunda alt başlık) elemanlarındaki kafes kiriş düzlemine dik burkulma boylarını azaltarak ekonomik kesitlerin elde edilmesini sağlamak,

amaçlarıyla stabilite bağlantıları adı verilen çapraz bağlantılar düzenlenir. Stabilite elemanları olarak genellikle L Profiller (L45.45.5 ila L 60.60.6) ve lamalar ($\square$ 50.5 ila $\square$ 60.6) kullanılır.

Stabilite bağlantıları uygulandıkları düzleme göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar;

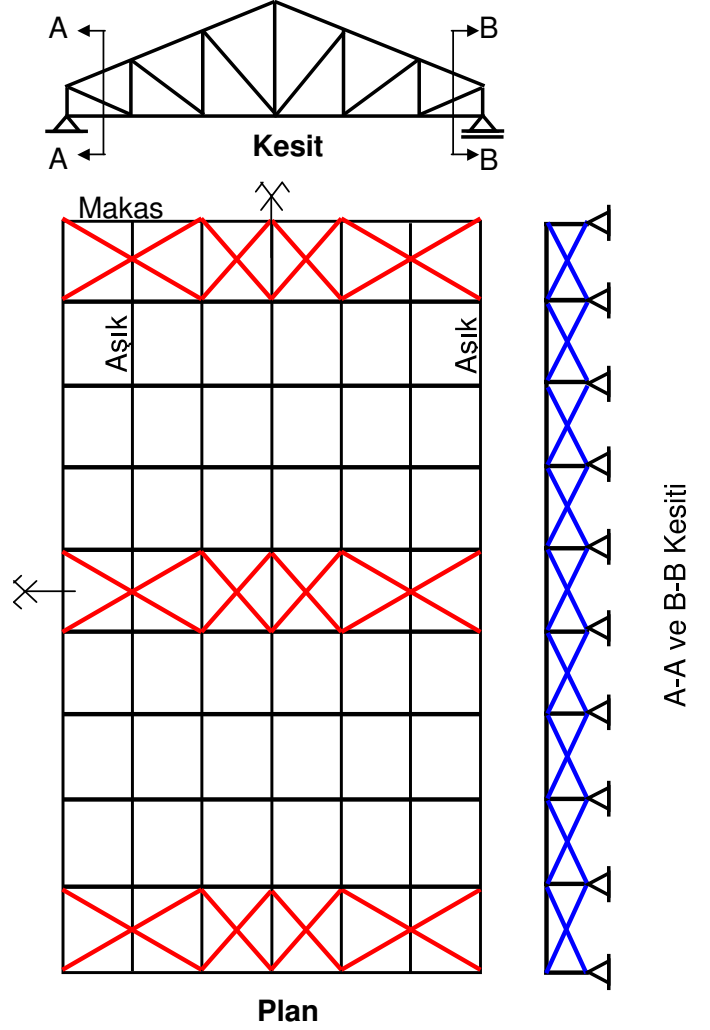
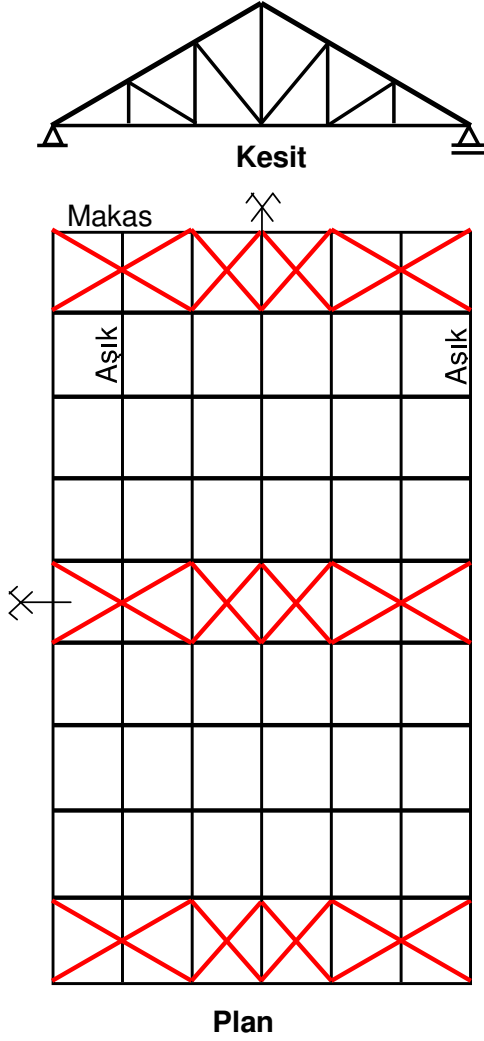
1) Yatay Stabilite bağlantıları : Çatı düzleminde uygulanarak, üst başlık çubuklarının kafes kiriş düzlemine dik burkulma boylarını azaltan stabilite bağlantılarıdır.

2) Düşey Stabilite bağlantıları : Kafes kiriş düzlemlerine dik olarak uygulanan, alt başlık elemanlarının kafes kiriş düzlemine dik burkulma boylarını azaltan stabilite bağlantılarıdır. Ayrıca, trapez tipi kafes kirişlerde, yatay stabilite bağlantılarını mesnetlere bağlamak amacıyla da düşey stabilite bağlantıları kullanılmaktadır.



Stabilite bağlantılarının uygulanmasında dikkat edilecek noktalar

- Yatay stabilite bağlantıları 3-5 makas aralığında bir uygulanmalıdır.
- Düşey stabilite bağlantıları her makas aralığına uygulanmalıdır.
- Stabilite bağlantılarının plandaki yerleşiminin simetrik olmasına özen gösterilmelidir.
- Aşık statik sistemi gerber olan durumlarda, stabilite bağlantıları eğer mümkün ise mafsalların bulunmadığı açıklarda uygulanmalıdır.



8.1 Yatay Stabilite Bağlantılarının Uygulanması

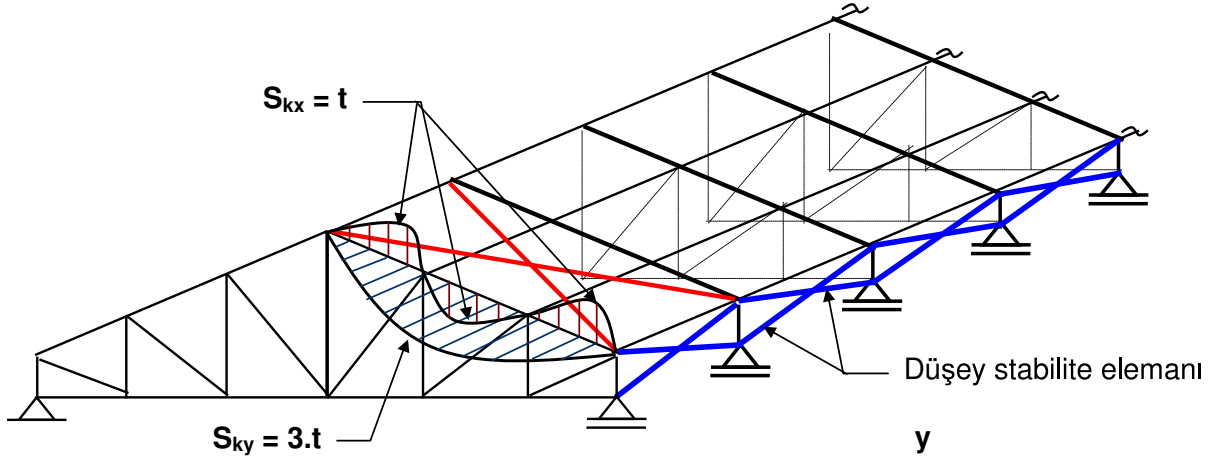
Kafes sistem üst başlıkların boyutlandırılmasında çubuk burkulma boyları olarak, düğüm noktaları arasındaki hesap boyları esas alınmaktadır. Buna karşılık, tüm üst başlık elemanlarında basınç kuvveti bulunması nedeniyle, tüm üst başlıkların **toptan burkulması** veya **kısmi olarak burkulması** söz konusu olabilmektedir.

Aşık bağlantılarının ve çatı örtüsünün kendi düzlemi içindeki büyük rijitliğinin toptan burkulmaya belirli oranda engel olabileceği bilinmekle birlikte, bunun mertebesini belirlemek (aşık ve çatı örtüsü bağlantılarının rijitliği vb.) mümkün olmadığından söz konusu etkiler ihmal edilerek, üst başlık elemanlarının burkulma boylarının sadece stabilite bağlantıları ile kontrol altında tutulduğu kabul edilir.

Çatı sistemlerinde yatay stabilite bağlantıları farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Ancak, en ekonomik çözümü (alternatifi) belirlemek için bir araştırma yapılması gerekmektedir. Üst başlığın tümü en büyük üst başlık eksenel kuvvetine göre tasarlandığı için, bazı üst başlık elemanlarında belirli bir boyut fazlalığı bulunmaktadır. Bu boyut fazlalığı değerlendirilecek şekilde bir stabilite uygulaması araştırılır.

Buna göre; aşağıda örnek olarak ele alınan bir çatı sisteminde uygulanabilecek yatay stabilite alternatifleri ve yapılması gereken hesaplar gösterilmiştir.

1. Yatay Stabilite Uygulaması



Üçlü Stabilitede

$$S_{kx} = t, \quad S_{ky} = 3.t$$

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (\lambda_{\max} \leq 250 \text{ olmalıdır})$$

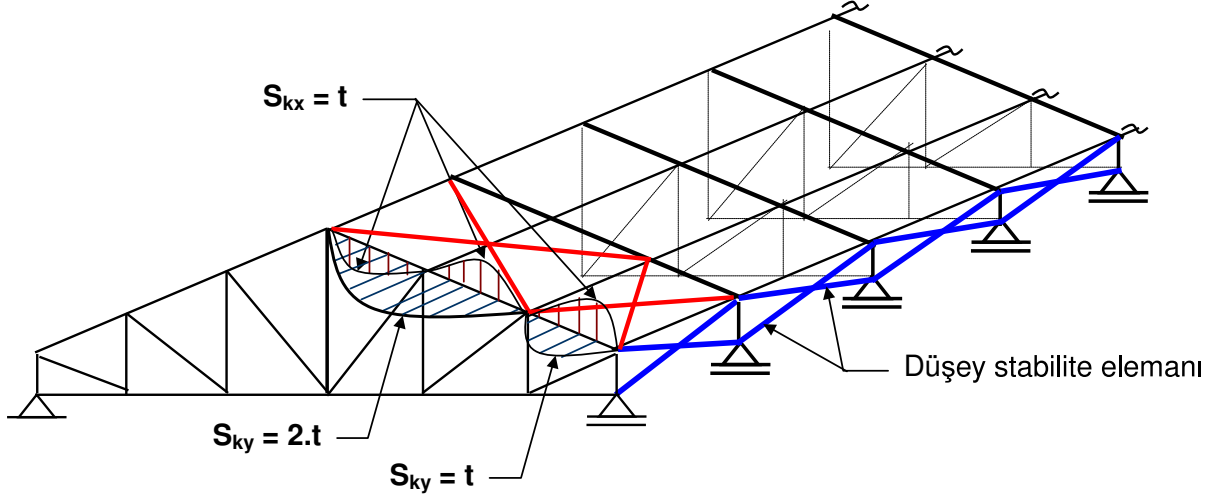
$$N = \max (N_{O4}, N_{O5}, N_{O6})$$

Basınç gerilmesi tahkiki

$$\sigma_b = \frac{N \cdot \omega}{F} \leq \sigma_{\text{bem}}^{(EY), (EIY)}$$

i_x, i_y : Atalet yarıçapı
 F : Çubuk enkesit alanı

2. Yatay Stabilite Uygulaması



İkili Stabilitede

$$S_{kx} = t, \quad S_{ky} = 2.t$$

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (\lambda_{\max} \leq 250 \text{ olmalıdır})$$

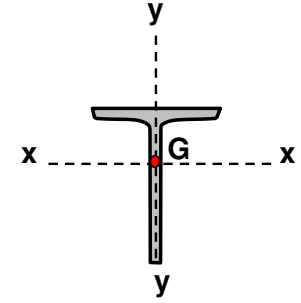
$$N = \max (N_{O4}, N_{O5})$$

Basınç gerilmesi tahkiki:

$$\sigma_b = \frac{N \cdot \omega}{F} \leq \sigma_{\text{bem}}^{(EY), (EIY)}$$

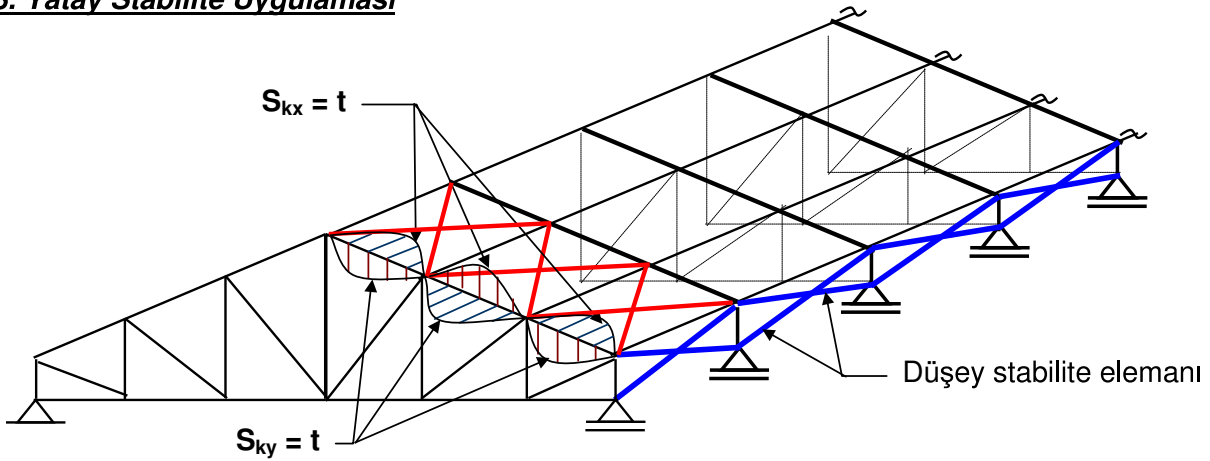
Tekli Stabilitede

$S_{kx} = t, \quad S_{ky} = t$ olduğu için hesap yapmaya gerek yoktur.



i_x, i_y : Atalet yarıçapı
 F : Çubuk enkesit alanı

3. Yatay Stabilite Uygulaması

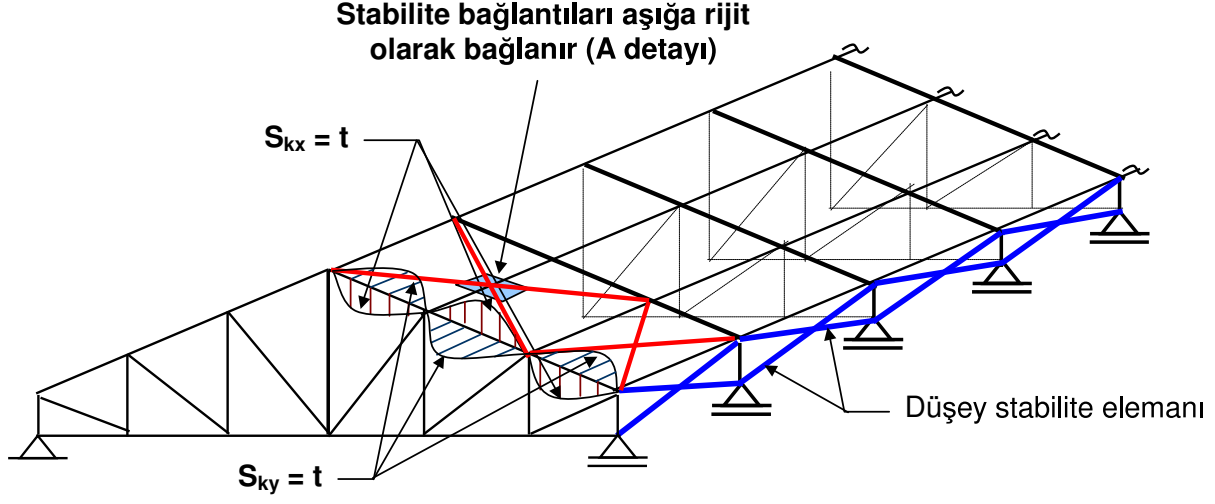


Tekli Stabilitede

$S_{kx} = t, \quad S_{ky} = t$ olduğu için hesap yapmaya gerek yoktur.

4. Yatay Stabilite Uygulaması

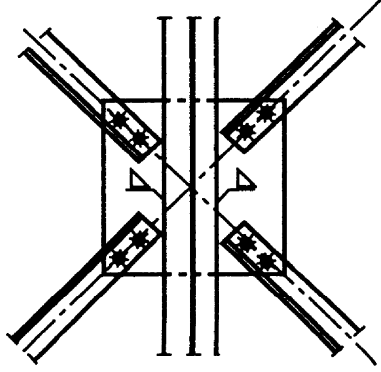
Bu stabilite bağlantısı 3. uygulamanın alternatifidir.



Tekli Stabilite

$S_{kx} = t$, $S_{ky} = t$ olduğu için hesap yapmaya gerek yoktur.

A detayı

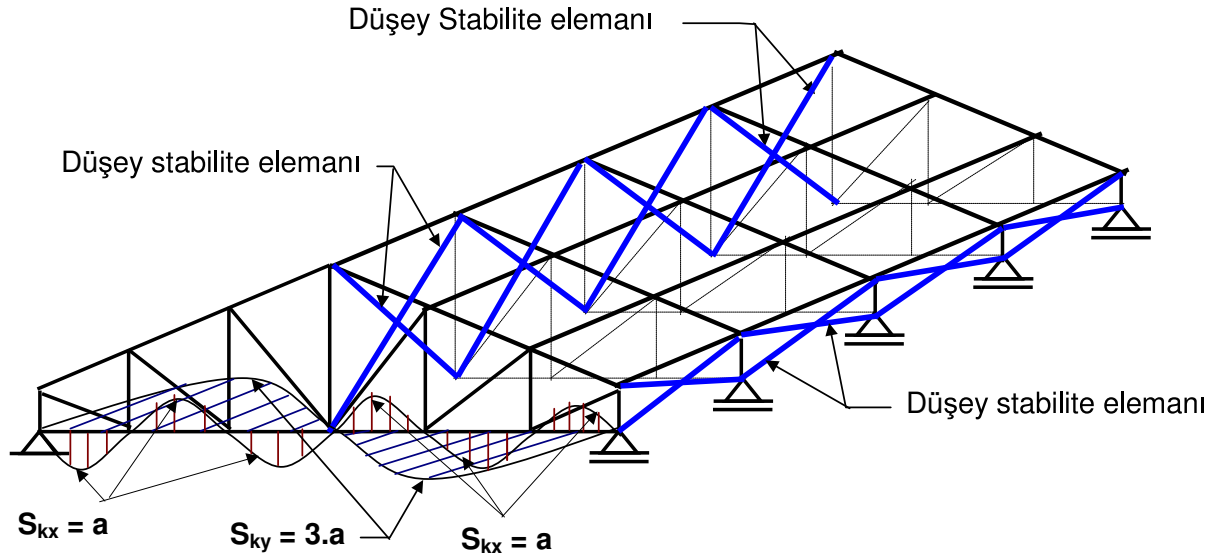


8.2 Düşey Stabilite Bağlantılarının Uygulanması

Kafes sistem alt başlık çubuklarının rüzgar yüklemeleri nedeniyle çekme iken basınca dönüşmesi durumunda, alt başlık çubuklarının burkulma boyları da önem kazanır ve genellikle mevcut çubuk bayutları yetersiz kalır. Bu gibi durumlarda alt başlık çubuklarının kafes düzlemi dışına olan burkulma boylarını (S_{ky}) azaltmak amacıyla düşey stabilite bağlantıları uygulanması gerekir.

Aşağıda örnek olarak ele alınan bir çatı sisteminde uygulanabilecek iki farklı düşey stabilite alternatifi ve yapılması gereken hesaplar gösterilmiştir.

1. Düşey Stabilite Uygulanması



Üçlü Stabilitede

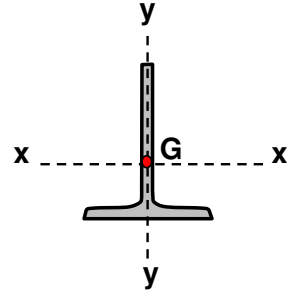
$$S_{kx} = a, \quad S_{ky} = 3.a$$

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (\lambda_{\max} \leq 250 \text{ olmalıdır})$$

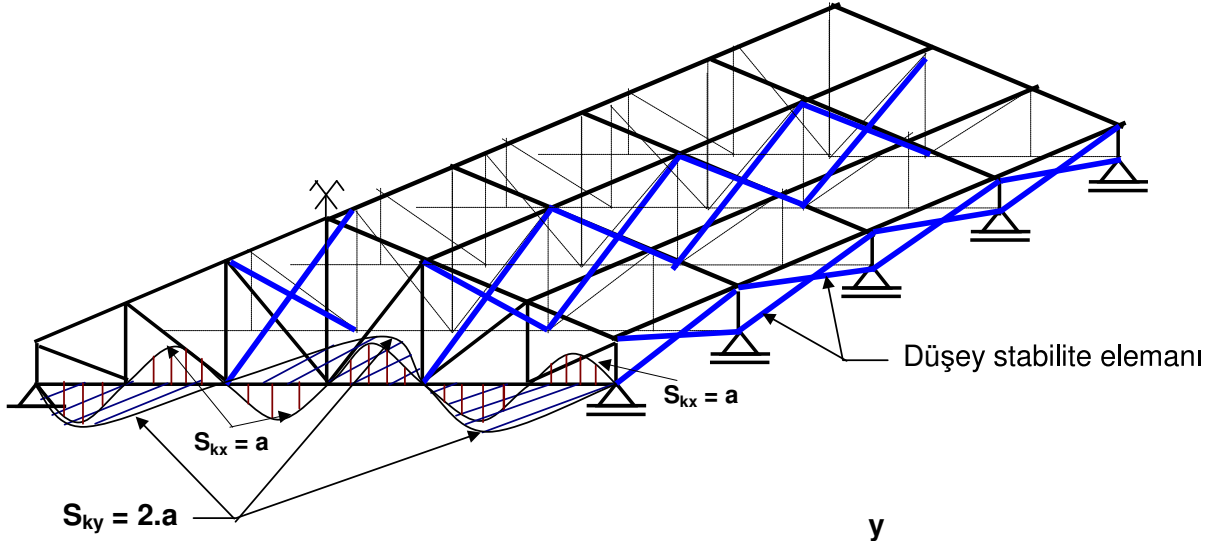
$$N = \max (N_{U1}, N_{U2}, N_{U3})$$

Basınç gerilmesi tahkiki:

$$\sigma_b = \frac{N \cdot \omega}{F} \leq \sigma_{\text{bem}}^{(EY), (EIY)}$$



2. Düşey Stabilite Uygulaması



Her bir İkili Stabilitede

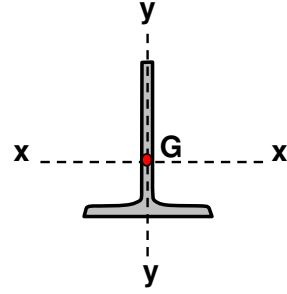
$$S_{kx} = a, \quad S_{ky} = 2.a$$

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (\lambda_{\max} \leq 250 \text{ olmalıdır})$$

İlgili eksenel kuvvetler için;
 $N = \max (N_U, N_D)$

Basınç gerilmesi tahkiki:

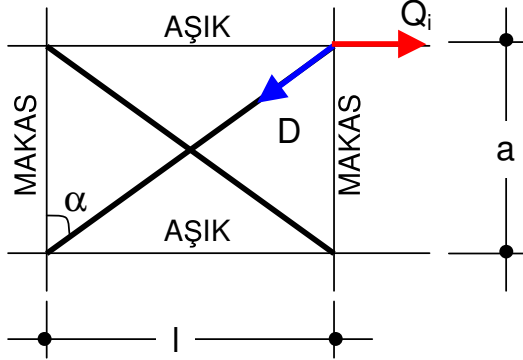
$$\sigma_b = \frac{N \cdot \omega}{F} \leq \sigma_{\text{bem}}^{(EY), (EIY)}$$



Bu iki alternatif uygulama sonucunda alt başlıkların hala yetersiz olması halinde, yatay stabilite uygulamalarında olduğu gibi daha sık düşey stabilite uygulamaları için araştırma yapılmalıdır.

8.3 Yatay ve Düşey Stabilite Bağlantılarının Boyutlandırılması

Stabilite elemanı olarak L45.45.5 ila L 60.60.6) profillerinin ve 50.5 ila 60.6) lamalarının kullanılması durumunda, stabilite elemanlarının genellikle yeterli olmasına rağmen, aşağıdaki ifadelerde verilen diyagonal kuvvetine göre tahkik edilmesinde yarar vardır.



$$Q_i = \frac{\sum F \cdot \sigma_{em}}{80}$$

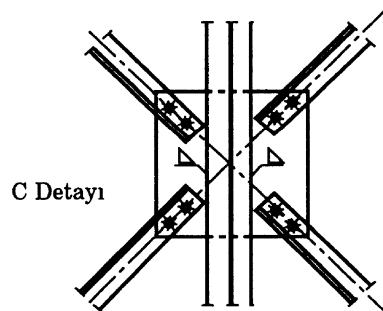
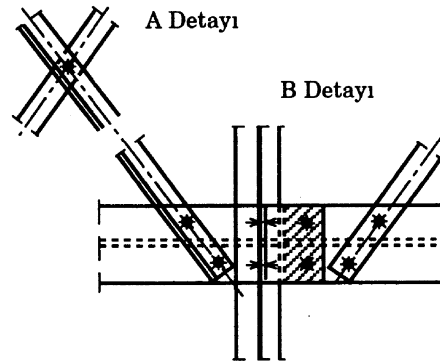
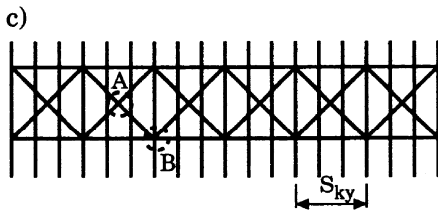
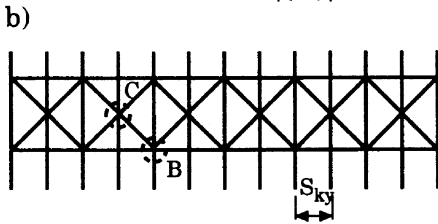
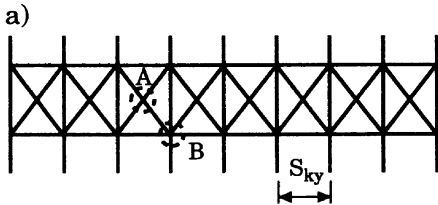
$$D = Q_i / \sin \alpha$$

$$\sigma_{\varphi} = \frac{D}{F_{net}} \leq \sigma_{\varphi_{cem}}$$

Stabilite elemanının
net enkesit alanı
(Korniyer ve Lama)

ΣF : Bağlantı tarafından stabilize edilen makasların üst başlık enkesit alanlarının toplamıdır. (Düşey stabilite durumunda alt başlık enkesit alanlarının toplamıdır)

- ❑ Diyagonal kuvveti (D) hesaplanırken, sadece çekme diyagonellerinin çalıştığı kabul edilir.
- ❑ Stabilite elemanları, kesiştikleri yerde birbirlerine bulon veya kaynak ile bağlanmalı ve birleşim araçları diyagonal kuvvetine (D) göre tahkik edilmelidir. Bulonlar ezilme ve makaslama gerilmeleri esas alınarak, kaynaklar kayma gerilmeleri esas alınarak boyutlandırılmazdır. (Bkz. H. Deren ve Diğ., Çelik Yapılar, 2006).
- ❑ Stabilite elemanları üst başlık elemanlarına bulon veya kaynak ile bağlanma ve birleşim araçları diyagonal kuvvetine (D) göre tahkik edilmelidir.
- ❑ Stabilite bağlantılarının açıklık ortasında aşağıya bağlandığı bir uygulama yapıldığında, birleşim araçları (kaynak veya bulon) diyagonal kuvvetine (D) göre tahkik edilmelidir.



9. METRAJ VE MALİYET HASAPLARI

Projesi hazırlanan çelik çatı sisteminin imalatı için gerekli malzeme miktarının belirlenmesi metraj olarak adlandırılır. Ancak çelik eleman boyutlarının standart olması nedeniyle, çatı sisteminin imalatı sonunda belirli miktarda malzeme zayi olmaktadır. Buna göre çatı sistemi için;

$$\text{Toplam zayıat} = \text{Gerekli (satın alınan) malzeme miktarı} - \text{Kullanılan malzeme miktarı}$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

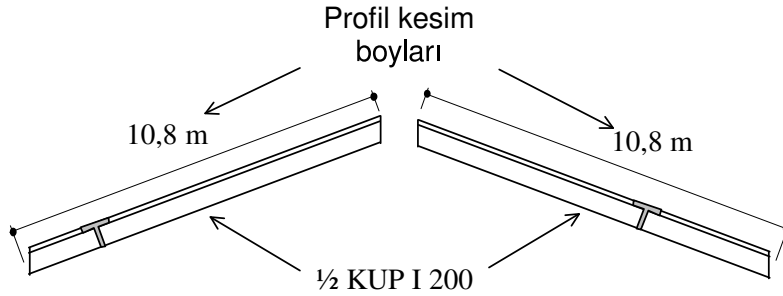
Çatı sisteminin maliyeti, gerekli malzeme miktarının ilgili malzeme birim fiyatları ile çarpımı sonucunda elde edilmektedir.

Proje kapsamında,

- Yapılacak metraj ve maliyet hesabında kaynak miktarı (elektrot sayısı) ve işçilik gözönüne alınmayacaktır.
- Maliyet hesabında, "Bayındırlık ve İskan Bakanlığı 2007 Birim Fiyatları" veya Çelik Yapı Malzemeleri Ticaretini Yapan Özel Firma Fiyat Katalogları kullanılacaktır.

Metraj-Maliyet Hesabı Örneği

Aşağıda, üst başlık elemanı için metraj ve maliyet hesabı örnek olarak gösterilmiştir.



Üst başlık elemanı : 1/2 KUP I 200

Birim ağırlık : $G = 13,1 \text{ kg/m}$

Birim fiyat : $F = 0,7 \text{ YTL/kg}$

Çatı sistemindeki makas sayısı = 13

Standart profil boyu = 12 m

Profil kesim boyu = 10,8 m

Bir makas için gerekli standart profil adedi = 1 (profil ortadan ikiye kesilecektir)

Bir makas için üst başlık zayıatı = $2(12-10,8) = 2,4 \text{ m } 1/2 \text{ KUP I 200}$

Çatı sistemi için gerekli profil adedi = 13 ($13 \times 12 \times 26,2 = 4087,2 \text{ kg}$)

Çatı sistemi için gerekli profil maliyeti = $4087,2 \times 0,7 = \mathbf{2861,04 \text{ YTL}}$

Çatı sistemi için üst başlık zayıatı = 31,2 m ($31,2 \times 13,1 = 408,72 \text{ kg}$)

Çatı sistemi için üst başlık zayıat maliyeti = $408,72 \times 0,7 = \mathbf{286,104 \text{ YTL}}$

Çatı sistemini oluşturan tüm elemanlar için benzer şekilde metraj, maliyet ve zayıat hesabı yapılacak ve aşağıdaki tabloda gösterildiği sonuçlar özetlenecek ve tüm maliyetler toplanarak, toplam maliyet belirlenecektir. Ayrıca her bir eleman için maliyet oranı (eleman maliyeti/Toplam maliyet) hesaplanacaktır.

ÇATI SİSTEMİNİN METRAJ ve MALİYET HESABI TABLOSU (ÖZET)

Çatı sistemi elemanının adı	Türü/tipi	Standart Boyut (m, m ²)	Birim fiyatı (YTL)	Gerekli Miktar (kg, m, m ² , adet)	Zayıt miktarı (kg, m, m ² , adet)	Zayıt Maliyeti (YTL)	Maliyet (YTL)	Eleman Maliyeti / Toplam maliyet
Çatı Örtüsü	Gazbeton							
Aşık	I 140							
Üst Başlık	½ KUP I 240							
Alt Başlık	½ KUP I 200							
Diyagonal	D1	L 50.50.5						
	D2	L 60.60.5						
	D3	L 70.70.8						
	D4	L 55.55.6						
Dikme	V1	L 50.50.5						
	V2	L 60.60.5						
	V3	L 70.70.8						
	V4	L 55.55.6						
Gergi Çubuğu	φ 12							
Stabilite Bağlantıları	L 60.60.5							
	60 X 8							
Bulonlar	M 16							
	M 20							
	M 27							
Levhalar	t= 0,8 mm							
	t= 1,0 mm							
	t= 1,2 mm							
			Toplam					
Çatı sistemi toplam maliyeti :							YTL	

10. PROJE UYGULAMA ÇİZİMLERİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

- Tüm çizimler Rapido tipi kalemler kullanılarak A0 boyutundaki Aydinger kağıtlarına el ile yapılacaktır. Bilgisayar programı ile yapılan çizimler kabul edilmeyecektir.
- Paftalara yapılan tüm çizimler “Teknik Resim” kurallarına uygun olacaktır.
- Çizimlerdeki yazılar için uygun sablonlar kullanılacaktır.
- Her paftaya, projeyi yapan öğrencinin Adı, Soyadı, Numarası, Bölümü, Öğretimi, e-mail adresi bilgileri içeren bir antet yapılacaktır.
- Aydinger paftaları, A4 kağıdı boyutunda ve ozalit kopya formatında katlanarak teslim edilecektir.

Pafta içerikleri

Proje uygulama çizimlerinin yapılacağı pafta sayısı çatı sistemi boyutlarına ve detaylara bağlı olarak değişecektir. Ancak çatı planı, kafes sistem kesiti ve düğüm noktası detayları çizimleri I. Paftaya, diğer tüm detay çizimleri II. veya gerekirse III. Paftalara yapılacaktır.

Plan çizimi (I. Paftaya)

- ❑ Çatı planı paftaya 1/100 veya 1/200 ölçeğinde çizilecektir.
- ❑ Çatı planı üzerinde Çatı örtüsünün yerleşimi, gergi çubukları, stabilite bağlantıları, Aşık boyutları, Aşık ekleri, gerber mafsalları vb. tüm detaylar gösterilecektir.
- ❑ Gerekli tüm görünüş ve kesitler çatı planına paralel olarak gösterilecektir.
- ❑ Planda, görünüşlerde ve kesitlerdeki tüm ölçülendirmeler (İç ölçü, dış ölçü, kotlamalar vb.) “Teknik Resim” kurallarına uygun olacaktır.
- ❑ Pafta üzerinde, çatı sisteminde kullanılan malzemelerin isimleri ve kullanılan malzeme miktarları LEJANT (tablo) yapılarak gösterilecektir.

Kafes sistemin kesiti çizimi (I. Paftaya)

- Kafes sistemin kesiti 1/20 veya 1/25 ölçeğinde çizilecektir. Sistem simetrik olduğundan sistemin yarısının çizilmesi yeterlidir.
- Kafes sistem elemanlarının adları ve tipleri ve boyları gösterilecektir.
- Kafes sistemde aşık, çatı örtüsü, mesnet birleşimi, düğüm noktası levhaları (varsa) gösterilecektir. Kaynaklar gösterilmeyecektir.
- Kafes sistemin çiziminde tüm ölçülendirmeler (iç ölçü, dış ölçü, kotlamalar vb.) “Teknik Resim” kurallarına uygun olarak yapılacaktır.

Kafes sistem düğüm noktası detay çizimleri (I. Paftaya)

- Kafes sistemdeki düğüm noktası birleşimlerinin detayları 1/5 ölçeğinde ayrı ayrı çizilecektir.
- Detaydaki elemanların adları, enkesiti, kullanılan levha boyutları, kaynak tipi, kaynak kalınlığı, kaynak boyu vb. detaylar gösterilecektir.

Detay çizimleri (II. Paftaya)

Aşağıda belirtilen detaylar çizimleri 1/2 veya 1/5 ölçeğinde yapılacaktır. Tüm detaylara ilgili yerinde (planda, kafes kesitinde, yan görünüşte vb.) isim verilecek (A, B, C gibi) ve detay paftasında bu isimlerle anılacaktır.

- *Aşık ek detayı*
(Birleşimin detayı, enaz bir kesit ve tüm detaylar gösterilecektir)
- *Aşıkların makas üstü birleşimi detayı*
(En az iki görünüş ve tüm birleşim detaylar gösterilecektir)
- *Gergi çubuklarının birleşim detayları*
(Tüm gergi çubuklarının aşık , makas bağlantıları ve gergi çubuklarının boyları, açılacak somun boyları vb. tüm gergi detayları gösterilecektir.)
- *Alt ve Üst başlık ek detayları*
(Birleşimin detayı, en az bir kesit, kaynak, levha vb. tüm detaylar gösterilecektir.)
- *Çatı örtüsünün Aşık ile birleşiminin teşkili*
- *Sabit ve Kayıcı mesnet detayları*
Kullanılan mesnet tipinin (bulonlu, merkezilik parçalı) gerekli tüm görünüşleri ve kesitleri gösterilecektir.
Kullanılan levha boyutları, kaynak tipleri, kalınlıkları, boyları vb. tüm detaylar gösterilecektir.
- *Stabilite bağlantılarının detayları*
Yatay ve düşey tüm stabilite bağlantılarına ait birleşimlerde, stabilite—stabilite, stabilite—makas birleşimi vb. için, kullanılan levha boyutları, kullanılan kaynak tipleri, kalınlıkları, boyları gösterilecektir.

Çelik Yapıların Analiz, Tasarım ve Proje Çizimleri için (Yaygın) Kullanılan Bilgisayar Programları

Program adı	Program Özelliği				TS 648 ve Türk Deprem Yönetmeliğine göre tasarım
	Sistem analizi	Eleman tasarımı	Birleşim Tasarımı	Proje Çizimi	
Steel	<i>var - Genel</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>
Çelik-pro	<i>var - Endüstri Y.</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>
RAM -Structural -Connection -Cad Studio	<i>var - Genel</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	---
Staad-Pro -Real steel -Steelexpress	<i>var - Genel</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	---
Prokon	<i>var - Genel</i>	<i>var</i>	<i>var</i>	---	---
SAP2000	<i>var - Genel</i>	<i>var</i>	---	---	---
ETABS	<i>Var - Bina</i>	<i>var</i>	---	---	---
X-Steel	---	---	---	<i>var</i>	---
Limcon	---	---	<i>var</i>	<i>var</i>	---