



ÇELİK YAPILAR DERSİ MİM 253

Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ

İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çelik Yapıların Avantajları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Yüksek derecede endüstriyel ön üretim

Hava koşullarından bağımsızlık

Yapım ve yapım ekipmanları için düşük alan gereksinimi

Kısa yapım süresi ve düşük yapım maliyeti

Yüksek mukavemetli yapı elemanları



Düşük eleman kesit boyutları ile geniş açıklıklar geçme imkanı

Kompozit yapılarda yüksek yangın güvenliği

Yüksek hassasiyette boyutlama imkanı, enstalasyon özgürlüğü

Daha sonraki kullanım amacı değişikliklerine basit çözümler sağlayabilme

Yapı Çeliği Malzeme Özellikleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

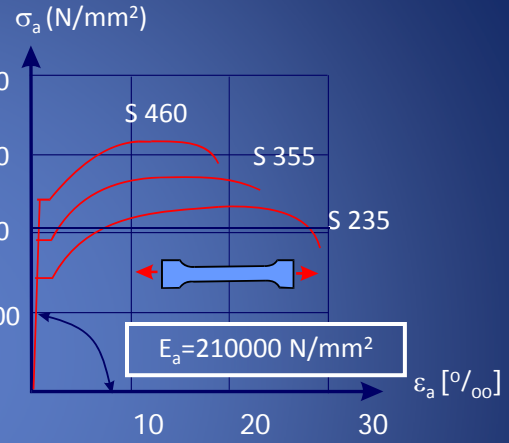
EN 10025'e Göre Akma ve Çekme Dayanımları

Çelik Kalitesi	$t \leq 40$ mm		$40\text{mm} < t \leq 100$ mm	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S235	235	360	215	340
S355	355	510	335	470
S460N/NL	460	550	430	550

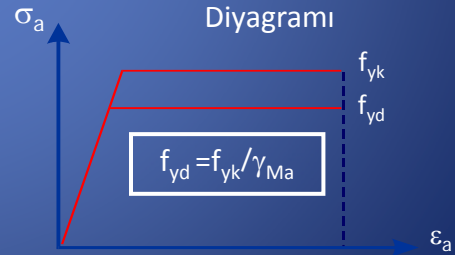
EN 10025: Sıcak haddelenmiş yapı çelikleri

EN 10027: Çeliklerin kısa gösteriliş sistemleri

Norm	EN 10025	DIN 17100	TS 648
Gösterim	S235	St 37	Fe 37
	S355	St 52	Fe 52



Hesap Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramı



Çeşitli Profiller ve Özellikleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Profil		U 200	I 200	IPEa 200	IPE 200	IPEo 200	HEAA-200	HEA-200	HEB-200	HEM-200
h	mm	200	200	197	200	202	186	190	200	220
b	mm	75	90	100	100	102	200	200	200	206
s	mm	8,5	7,5	4,5	5,6	6,2	5,5	6,5	9	15
t	mm	11,5	11,3	7,2	8,5	9,5	8	10	15	25
r	mm	6	4,5	12	12	12	18	18	18	18
A	cm ²	32,2	33,4	23,5	28,5	32,0	44,1	53,8	78,1	131
g	kg/m	25,3	26,2	18,4	22,4	25,1	34,6	42,3	61,3	103
I _y	cm ⁴	1910	2140	1592	1940	2210	2944	3690	5700	10640
W _y	cm ³	191	214	162	194	219	317	389	570	967
I _z	cm ⁴	148	117	117	142	169	1068	1340	2000	3650
W _z	cm ³	27,0	26,0	23,4	28,5	33,1	107	134	200	354
I _T	cm ⁴	11,9	13,5	4,11	7,02	9,41	12,7	21,1	59,5	260
C _M	cm ⁶	9070	10520	10500	12990	15570	84500	108000	171100	346300
N _{pl,k}	kN	773	802	563	684	767	1059	1292	1874	3151
V _{pl,z,k}	kN	222	196	118	149	165	136	162	231	405
M _{pl,y,k}	kNm	57,2	59,7	43,6	53,0	59,9	83,3	103	154	272
M _{pl,y} /M _{el,y}		1,247	1,162	1,121	1,138	1,140	1,095	1,103	1,126	1,172

Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Yük Kabulleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

- Dayanım ve stabilite tahkikleri için yükler, TS 498'den alınmalıdır. Bu konuda yeter bilgi olmayan hallerde, yükler yetkili proje kontrolü ile ortaklaşa tayin edilir.

Bir yapıyı etkileyen yükler, esas yükler ve tali yükler olarak ikiye ayrılır.

- Esas yükler: Öz yükleri, munzam ve hareketli yükleri, kar (rüzgarsız olarak, makinelerin kitle kuvvetlerini kapsar.
- İlave yükler: Rüzgar etkisini, deprem etkisi fren kuvvetlerini, yatay yanal kuvvetleri (kreynlerde) seyrek olarak montaj ve tamir işlerinde kullanılan işler haldeki (kreynlerde) ısı etkilerini (işletmeye bağlı ve atmosferik) kapsar.



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Yükleme Halleri

- Hesaplar ve dayanım tahkikleri için aşağıdaki yükleme durumları hesaba katılır :
 - EY Yüklemesi : Esas yüklerin toplamı,
 - EİY Yüklemesi : Esas ve ilave yüklerin toplamı. Eğer bir yapıya öz yükünden başka yalnız tali yükler tesir ediyorsa tali yüklerden en büyüğü esas yük yerine geçer.

Tahkikler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

- Genel olarak gerilmeler ve mesnet reaksiyonları, her yükleme için ayrı ayrı tespit edilmelidir. Böylece elde edilen değerlerin mümkün olabilen en elverişsiz birleşik etkileri, birbirlerine katılarak bulunur. En kesitler boyutlandırıldıktan sonra, en çok etkili en kesitlerde gerilmelerin en büyük değerleri hesaplanır ve emniyet gerilmesiyle karşılaştırılır. Bu tahkikler EY ve EİY yükleme halleri için ayrı ayrı yapılmalıdır.

Yapılması Gereklı Tahkikler:

Gerilme tahkikleri,
Stabilite tahkikleri,
Devrilme tahkikleri,
Deformasyon tahkikleri.

Yapı Çeliği Emniyet Gerilmeleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ^đ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

	Akma Sınırı	Çekme Emniyet Gerilmesi	Kayma Emniyet Gerilmesi
Fe 37	2400 kg/cm ²	1440 kg/cm ²	831 kg/cm ²
Fe 52	3600 kg/cm ²	2160 kg/cm ²	1247 kg/cm ²

$$\sigma \leq \sigma_{emn}$$

Çelik Birleşim Araçları

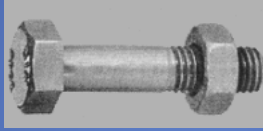


Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

- Perçin



- Bulon (civata)



- Kaynak



Perçinli Birleşimler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Perçinli birleşimler günümüz modern çelik yapılarında artık kullanılmamaktadır. Ancak eski yapıların onarılması aşamasında dönemin uygulamasına sadık kalmak için uygulanmaktadır.

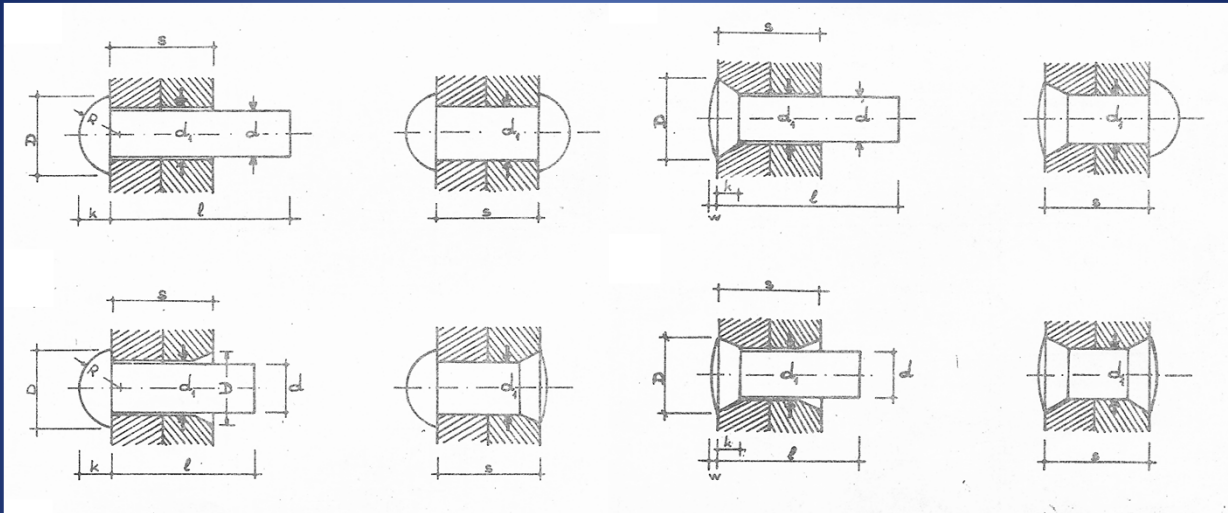
- Perçinler (TS 94)
 - Yuvarlak başlı perçin
 - Küt başlı perçin



Perçinli Birleşimler



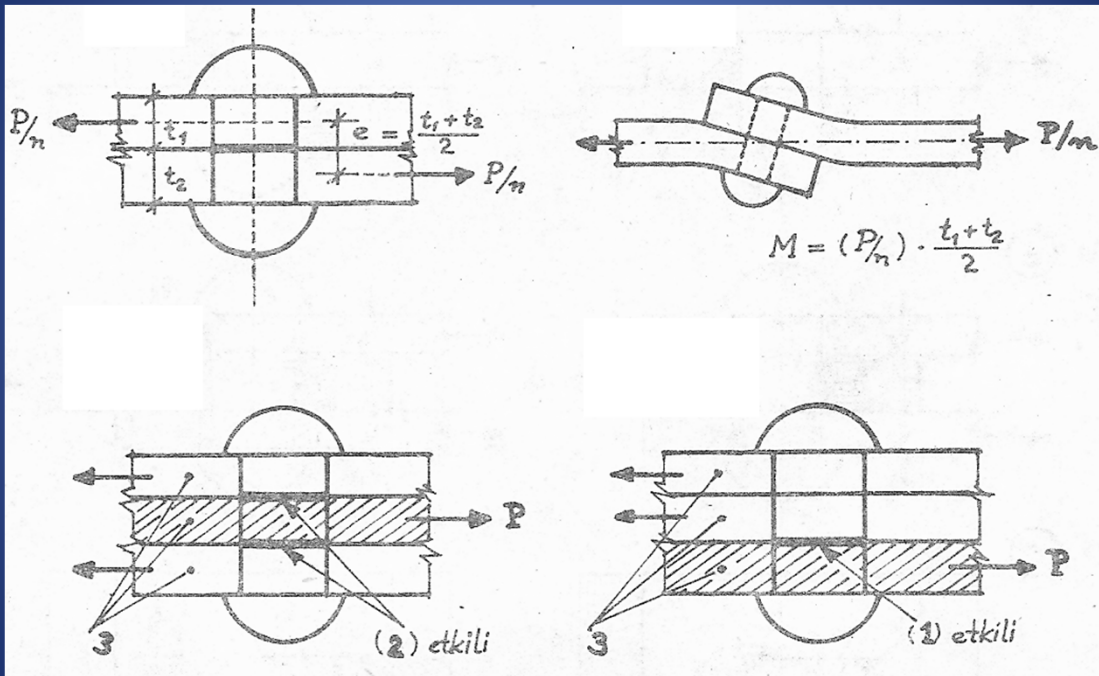
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Perçinli Birleşimler



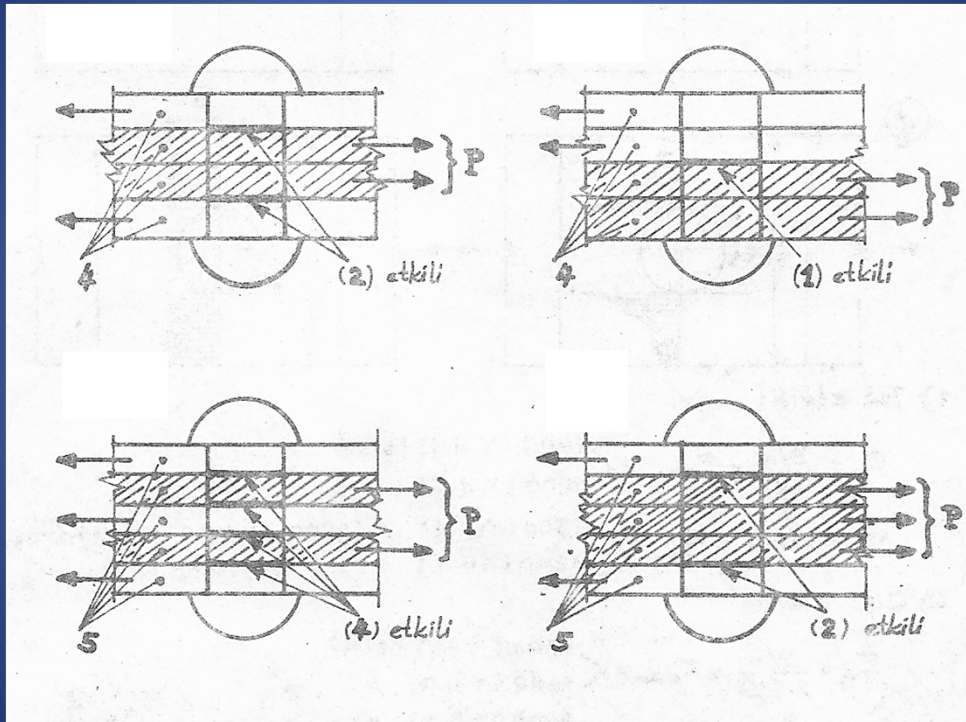
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Perçinli Birleşimler



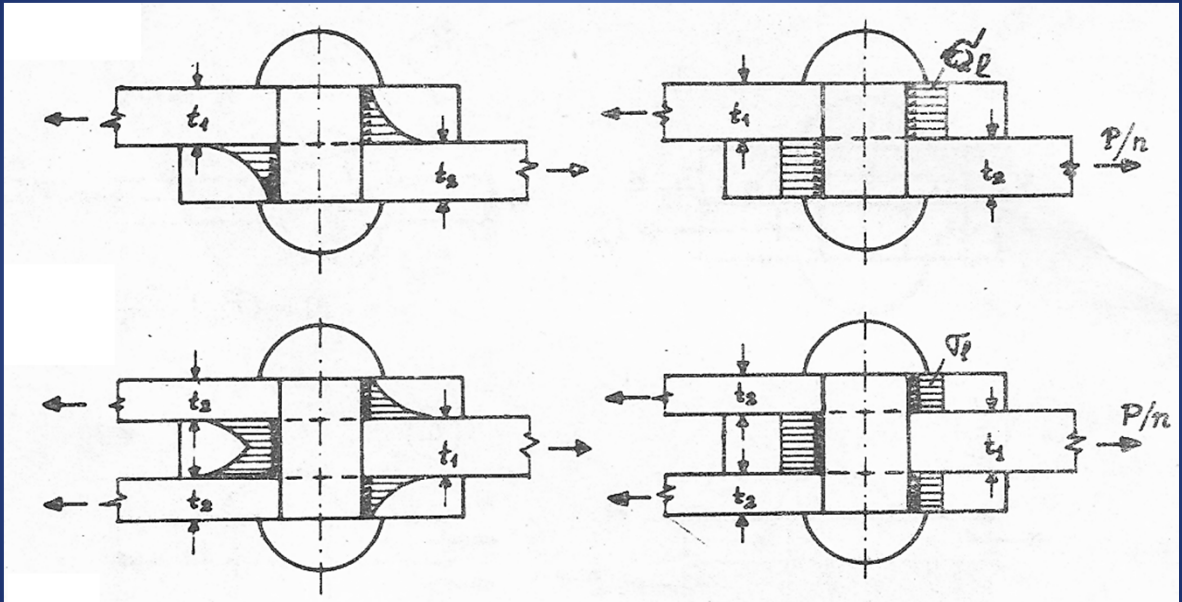
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Perçinli Birleşimler



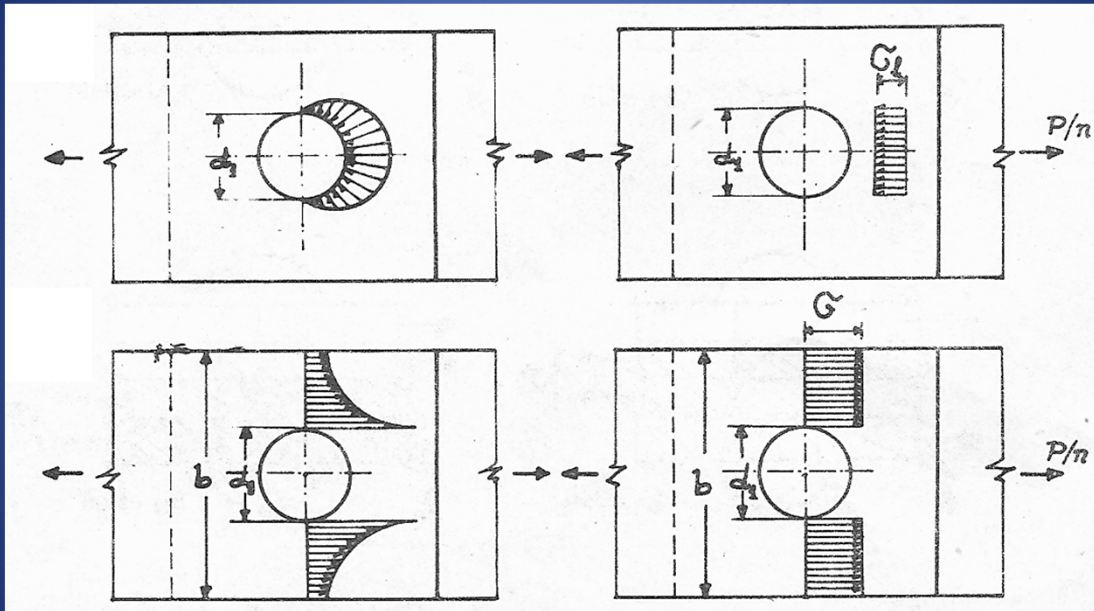
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Perçinli Birleşimler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Bulonlu birleşimler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Çelik yapılarda esas olarak iki tür bulon kullanılır:

- Normal Bulonlar
 - Kaba Bulon
 - Uygun Bulon
- Yüksek mukavemetli bulonlar (HV)

Günümüzde çelik yapılarda en çok kullanılan bulonlar: M12, M16, M20 , M24, M27, M30, M36

DIN ISO 5845'e göre bulonların gösterimi



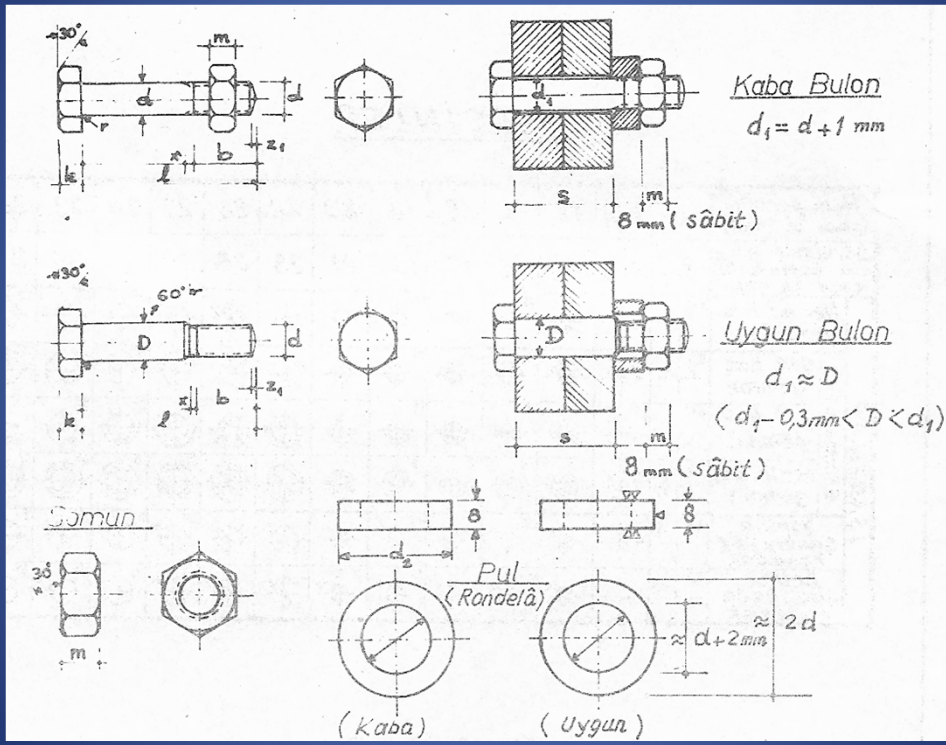
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

	Gösterim				
	Bulon eksenine dik		Bulon eksenine paralel		
	Bulon	Gömme başlıklı bulon		Bulon	Gömme başlıklı bulon
		Ön	Arka		
Bulon atölyede takılacak					
Bulon şantiyede takılacak					
Delik şantiyede açılacak					

Bulonlu Birleşimler



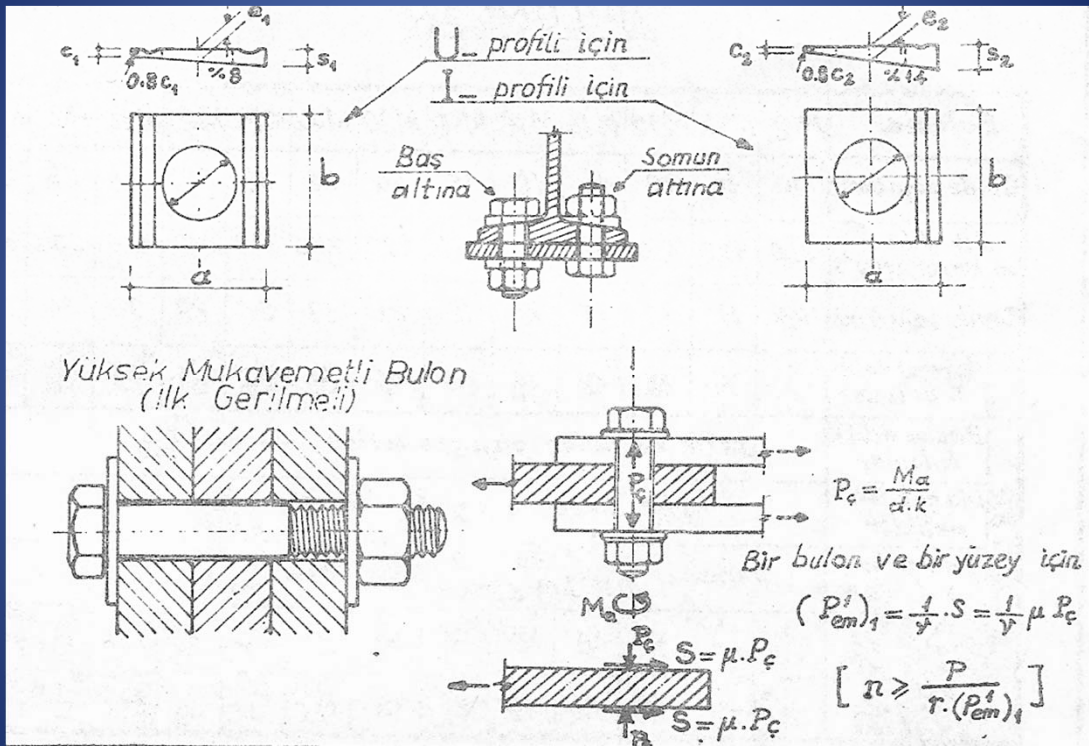
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Bulonlu Birleşimler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Perçin ve Bulon Emniyet Gerilmeleri Normal Yapı Çeliği İçin (Fe 37)



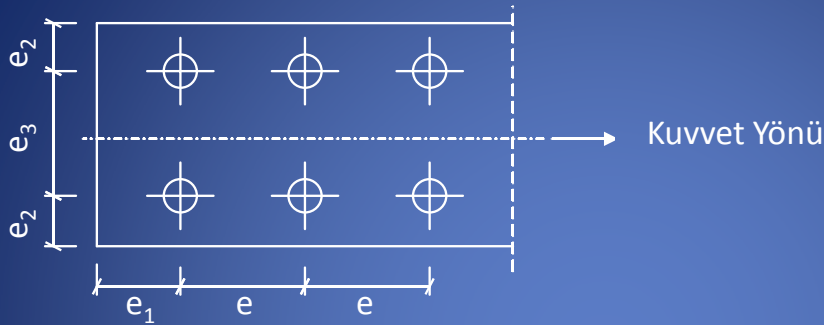
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Yükleme Hali		Perçin		Uygun Bulon		Kaba Bulon	
		EY	EIY	EY	EIY	EY	EIY
Kayma τ_{em}	kg/cm ²	1400	1600	1400	1600	1120	1260
Ezilme σ_{ez}	kg/cm ²	2800	3200	2800	3200	2400	2700
Çekme $\sigma_{çem}$	kg/cm ²	400	540	1120	1120	1120	1120

Bulon Aralıkları ve Kenar Uzaklıkları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



	Minimum	Maksimum
e	$2.2d_L$	$6d_L$ veya $12t^{1)}$
e_1	$1.2d_L^{2)}$	$3d_L$ veya $6t$
e_2	$1.2d_L^{3)}$	$3d_L$ veya $6t$
e_3	$2.4d_L$	$6d_L$ veya $12t^{1)}$

Zımbalama ile açılmış deliklerde e_1, e_2 : min. $1.5d_L$, e, e_3 : min. $3.0 d_L$

¹⁾ Lokal buruşma tehlikesi yoksa $10d_L$ veya $20t$

²⁾ Tek etkili, tutulmamış birleşimlerde $e_1 \geq 2.0d_L$

³⁾ Tek etkili, tutulmamış birleşimlerde $e_2 \geq 1.5d_L$

d_L : Levhada açılan delik çapı
 t : Levha kalınlığı

Bulonlu ve Perçinli Birleşim Analizi



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Her iki birleşim türünde makaslama ve ezilme tahkiki yapılır.

Makaslama Tahkiki:

$$\tau = \frac{P_1}{m \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} \leq \tau_{em}$$

P_1 : Bir bulon veya perçine gelen yük

m : Etki sayısı

d : Bulon veya perçin çapı

Bulonlu ve Perçinli Birleşim Analizi



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Ezilme Tahkiki:

$$\sigma = \frac{P_1}{d \cdot t_{\min}} \leq \sigma_{ez}$$

P_1 : Bir bulon veya perçine gelen yük

d : Bulon veya perçin çapı

t_{\min} : Birleştirilen parçalardan kalınlığı küçük olanı

Kaynaklı Birleşimler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

- **Kaynak**, malzemelerin ısı ve/veya basınç uygulanarak birleştirilmesine denir.
- Bazı kaynak yöntemlerinde kaynak elektrodu, kaynak teli gibi ilaveler kullanılır.
- Kaynak işlemi koruyucu gaz, kaynak tozu yada pasta gibi kaynak yardımcı malzemeleri ile kolaylaştırılabilir. Kaynak için gereken enerji birleşime dışarıdan uygulanır.
- Kaynaklı birleşimler hasar vermeden çözülemeyen birleşim türleridir.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Başlıca iki tür kaynak vardır.

- Basınç Kaynakları
- Ergitme Kaynakları



Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Basınç Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Basınç Kaynakları

Bu kaynak türünde, parçaların birbirine kaynaklanacak kısımları plastik kıvama (kızıl dereceye) kadar ısıtılıp, basınç veya darbe kullanılarak birleştirilir.

Aslında bu yöntem yüzyıllardır demircilerin ocakta parçaları ısıtıp, örs üzerinde çekiçle vurup birleştirdikleri bir yöntemidir. Ancak bu yöntemin bu şekilde çelik yapılarda uygulanması söz konusu değildir.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Basınç Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

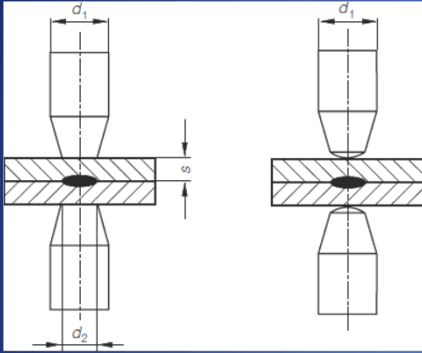
Basınç kaynaklarının modern çelik yapılarda yegane kullanımı **elektrik direnç kaynağı** şeklindedir. Elektrik direnç kaynağında elektrik akımına kısa devre yaptırılarak kaynak için gerekli ısı sağlanır.

Hafif çelik yapılarda ince levhaların **nokta kaynak** ile birleştirilmesi ve kompozit yapılarda başlıklı saplamaların **elektrik arkı saplama kaynağı** ile profillere kaynaklanması elektrik direnç kaynağı yönteminin çelik yapılardaki uygulamalarıdır.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Basınç Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

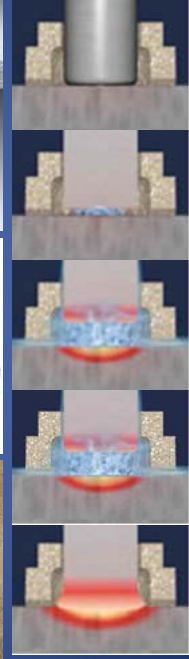


Nokta Kaynak
(*Point Welding*)

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Basınç Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Elektrik Arkı Saplama Kaynağı

(Drawn Arc Stud Welding)

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Ergitme Kaynakları

Ergitme kaynağında kaynaklanacak bölgeler ile varsa ilave metal (kaynak teli, elektrodu) ergitme derecesine (3000° - 5000°C) kadar ısıtılır ve ergiyerek birleşen kısımların soğuması sonunda birleşim sağlanmış olur. Isı kaynağı olarak, elektrik enerjisi, gaz alevi, elektron ışını ve lazer ışını kullanılır.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Ergitme Kaynakları

- Elektrik arkı kaynakları
 - Standart elektrik arkı kaynağı (elektrod kaynağı)
 - Özlü elektrodlu elektrik arkı kaynağı
 - Toz altı elektrik arkı kaynağı
 - Gaz altı elektrik arkı kaynağı
 - WIG (*wolfram inert gas*) kaynağı
 - MIG (*metal inert gas*) kaynağı
 - MAG (*metal active gas*) kaynağı
- Gaz Kaynağı
- Lazer Işın Kaynağı
- Elektron Işın Kaynağı

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

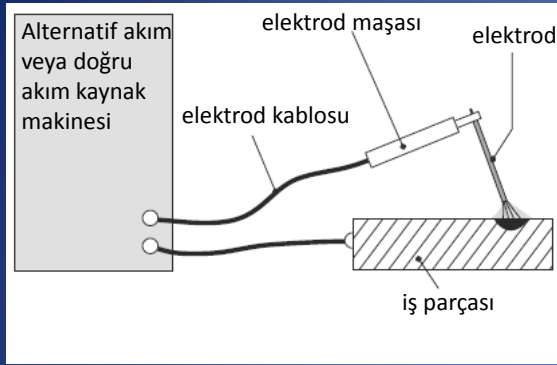
Standart elektrik arkı kaynağı

Elektrod kaynağı olarak da bilinen bu kaynak metodunda, elektrod bir kablo ile kaynak makinesinin (-) kutbuna, kaynaklanacak parça ise bir kablo ile kaynak makinesinin (+) kutbuna bağlıdır. Kaynakçı ustası elektrod maşası aracılığı ile tuttuğu elektrodun ucu kaynaklanacak bölgeye yaklaştırınca elektrodun ucu ile kaynaklanacak parçalar arasında elektrik arkı meydana gelir.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Kaynak Makineleri:

- Kaynak jeneratörleri
- Kaynak redresörleri
- Kaynak transformatörleri

Kaynak için elverişli elektrik akımının karakteristikleri 10~60 V ve 60~600A'dır.

Elektrodlar:

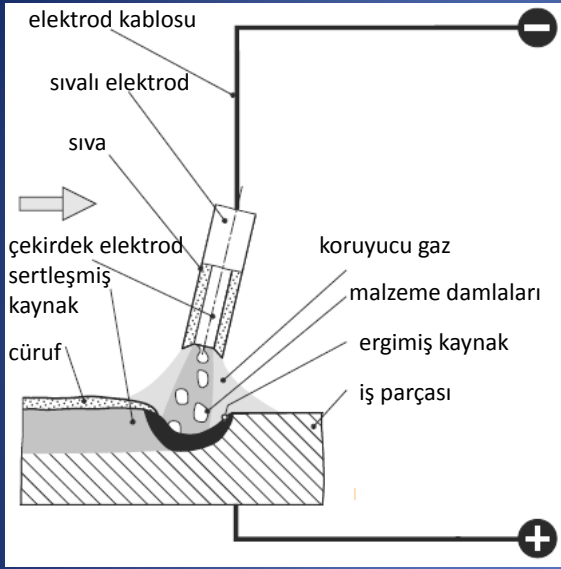
Sıvalı ve çıplak olmak üzere iki çeşit elektrod mevcuttur. Çıplak elektrodlar sadece önemsiz tespit dikişlerinde doğru akım ile uygulanabilir. Kuvvet aktaran kaynak dikişlerinde kullanılmamalıdır.



Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Sıvalı Elektrodlar:

Bu elektrodlarda, sıva maddesinin yanmasından oluşan koruyucu gazlar kaynak bölgesinden havayı uzaklaştırarak elektrik arkını stabilize ederler. Bu sayede muntazam dikişler çekilebilir. Sıva, kaynak dikişi üzerinde bir cüruf tabakası oluşturarak ergimiş haldeki malzemenin çabuk soğumasına engelleyerek dikiş içinde gaz hâbeciklerinin kalmasını ve kaynak dikişlerinde ilave kaynak gerilmelerinin oluşmasını önler.

EN 499'a göre sıvalı elektrodların sıva sınıflandırması:

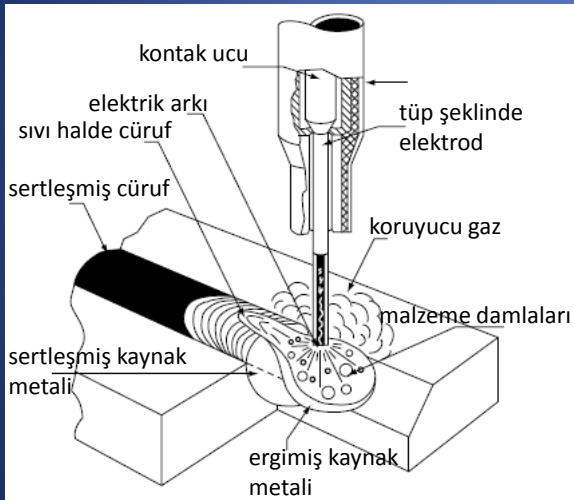
A (Asidik), B (Bazik), C (Selülozik), R (Rutil), RR (Rutil kalın), RC (Rutil Selülozik), RA (Rutil Asidik), RB (Rutil Bazik)

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Özlu elektrodlu elektrik arkı kaynağı



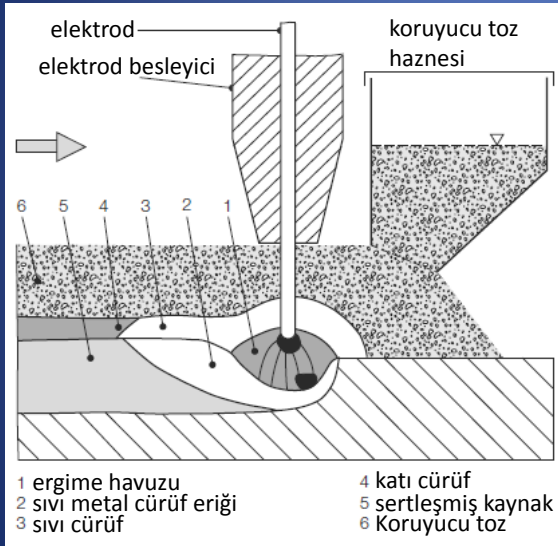
Özlu elektrodlar, sıvalı elektrodların ters yüz edilmiş halidir. Yani elektrodların dış kısmında yer alan sıva maddesi, bunlarda kaynak telidir. Bu kaynak türünün ek koruyucu gaz gerektiren ve gerektirmeyen olarak iki çeşidi vardır. Bu kaynak türleri özellikle çok katlı yapıların birleşimlerinde kullanılırlar ve yüksek kaynak nüfuziyeti sağlarlar. Sürekli bir proses olduğundan standart elektrik kaynağına göre daha hızlı ve ekonomik bir yöntemdir.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Toz altı elektrik arkı kaynağı



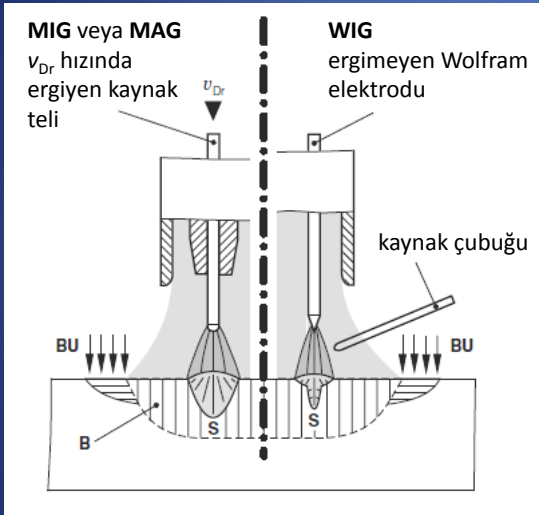
Bu yöntemde kaynak tozu elektrodun önce kaynak derzine yerleştirilir. Bu şekilde oluşan ark kaynağı tozu içine gömülü kalır ve operatör tarafından görülmez. Bu yöntem özellikle uzun kaynaklar (>90cm) için uygundur. Bu yöntem, ince ve kalın et kalınlıklı çelik profiller için kullanılabilir ve yüksek kaliteli köşe, yarım ve tam nüfuziyetli küt kaynak işlemine uygundur. Ancak yöntem yatay kaynak pozisyonları için uygundur.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Gaz altı elektrik arkı kaynağı



WIG: İnce levhaların, boru ve hazen türü yapıların kaynaklanması

MIG: Yüksek alaşımlı çelik ve alüminyum kaynaklanması

Manüel veya otomatik olarak uygulanan bu yöntemde elektrik arkı ergiyen bir kaynak teli veya ergimeyen Wolfram elektrodu ile kaynaklanan metal arasında oluşur. Bu yöntemde koruyucu gaz ergime havuzunu, kaynak ek malzemesi, elektrod ucu ve yüksek derecede ısıtılan kısımları atmosferden (oksijen, azot ve hidrojen) korumak için dışarıdan verilir. Koruyucu gaz olarak MIG ve WIG yönteminde Argon, Helyum veya bunların kombinasyonları, MAG yönteminde CO_2 veya Ar ve O_2 kombinasyonları kullanılır.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Gaz Kaynağı (Otojen Kaynak)



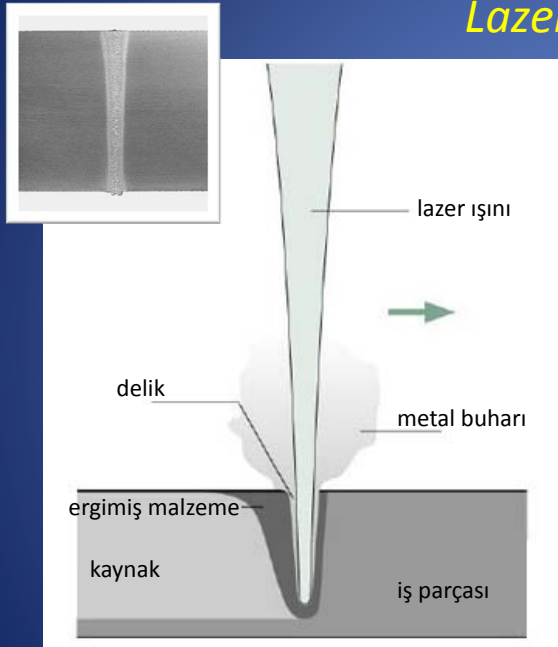
Bu yöntemde yüksek ısı gaz aleviyle sağlanır. Kullanılan gaz genelde asetilen gazı olup, propan veya bütan gazları da kullanılmaktadır. Gaz alevi, şalümo denen bir aletin ucunda yakılır. Şalümoya bir lastik boru ile yanıcı gaz, diğer bir lastik boru ile oksijen tüpünden oksijen gelir. Bu gazlar karışmış olarak şalümo ucundan çıkar ve $\sim 3000^{\circ}\text{C}$ ısı sağlayan bir alev meydana gelir. Şalümo alevi kaynaklanacak parçaların ve kaynak telinin ucunu ergitme durumuna getirerek kaynak dikişinin çekilebilmesini sağlar.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Lazer Işın Kaynağı



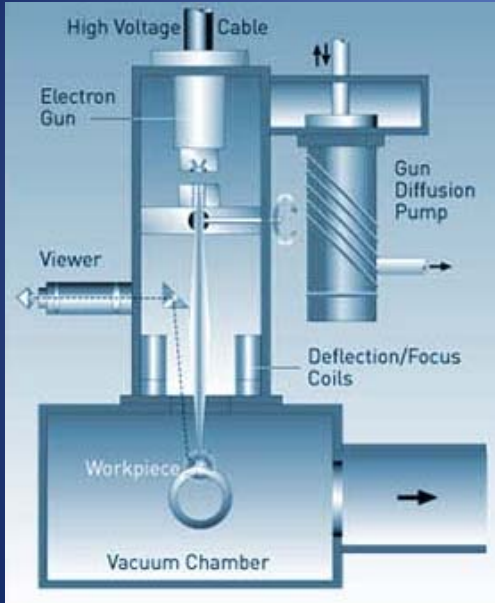
Bu yöntemde ergitme için gerekli ısı yüksek ısı lazer ışını (CO_2 veya YAG) ile sağlanır. Lazer ışını ile kaynak, monokromatik ışınların yüksek enerjilerinden yararlanılarak malzemelerin bir kısmının eritilmesi ve buharlaşması esasına dayanmaktadır. Teknikte bu yöntemden, kaynak işleminin yanı sıra kesme, delme ve ısıl işlemlerde de yararlanılmaktadır. İşlemler karakteristik olarak, metal esaslı ve metal olmayan malzemelere uygulanabilmesi dışında, ısı tesiri altında kalan bölgelerin diğerleri ile kıyaslanamayacak derecede dar olması ve ulaşılan yüksek hızları ile dikkati çekmektedirler. Bu kaynak türü çelik yapılarda paslanmaz çelik profilleri işlemede ve kalınlığı 5mm geçmeyen CrNi-çeliklerde kullanılabilir.

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Türleri – Ergitme Kaynakları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Elektron Işın Kaynağı



Bu yöntemde yüksek ivme kazandırılmış elektronların, kaynaklanacak malzeme yüzeyinde frenlenmesi ile kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüştürülmesi sağlanarak ergitme için gerekli ısı elde edilir. Vakumlu veya atmosfer ortamında uygulanan yöntemleri vardır. Bu tür kaynaklar 20 mm kalınlığa kadar CrNi çelikler için uygundur.



Kaynaklı Birleşimler Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri



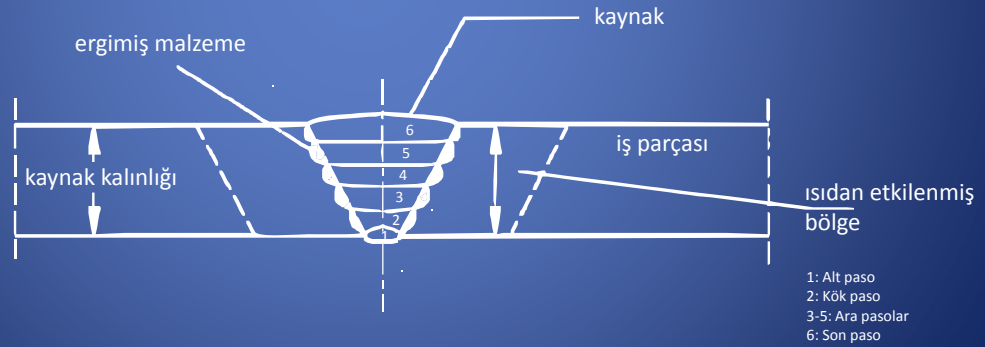
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Kaynak Dikişleri

Ergitme kaynağı yöntemleriyle çekilen kaynak dikişleri başlıca iki çeşittir:

Küt kaynak dikişleri: Aynı düzlemde bulunan iki levhanın yan yana getirilen kenarları boyunca çekilen kaynak dikişleri küt kaynak dikişleridir. Levha kenarlarının işleniş biçimlerine göre özel isimler alırlar.

Köşe kaynak dikişleri: İki çelik elemanın birbirine dik veya en az 60 teşkil eden yüzeyleri arasındaki köşelere çekilen dikişlere köşe kaynak dikişleri denir.



Kaynaklı Birleşimler Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Dikiş türleri	Gösterim	Sembol
V – Dikişi		∇
Yarım V – Dikişi		∇
Çift V – Dikişi		X
Çift Yarım V – Dikişi (K)		K
Y – Dikişi		Y
Yarım Y – Dikişi		Y
Çift Y – Dikişi		X
Çift Yarım Y – Dikişi		K
Köşe Kaynak Dikişi		△
Çift Köşe Kaynak Dikişi		△

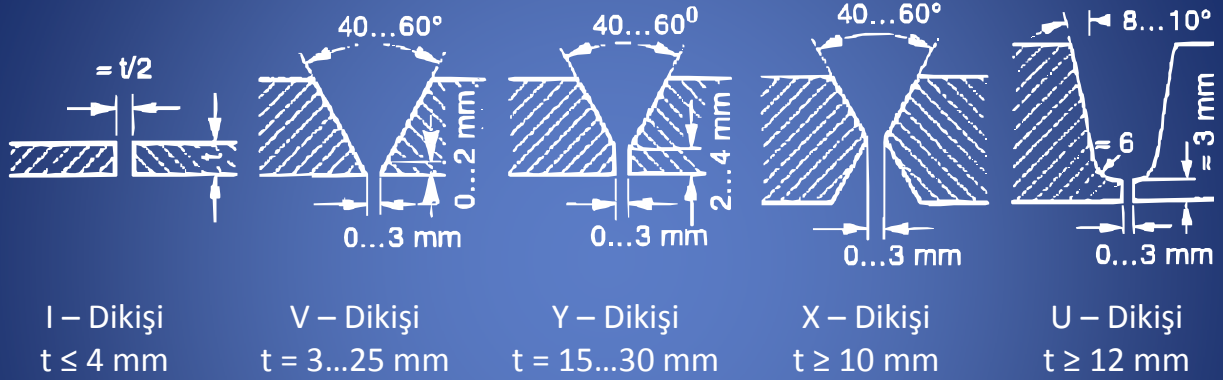
Kaynaklı Birleşimler

Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Küt kaynak dikişleri



Kaynaklı Birleşimler

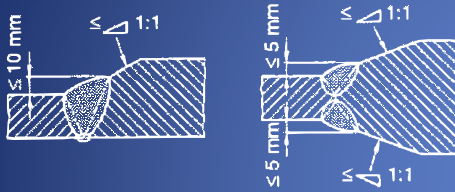
Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri



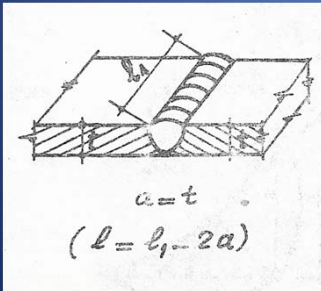
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Küt kaynak dikişleri

Farklı kalınlıktaki levhalarda
küt kaynak



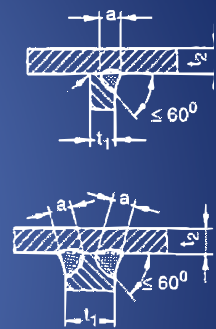
$$a = \min t$$



Yarım V
Dikişleri



Yarım V
Dikişi



Yarım V
Dikişi

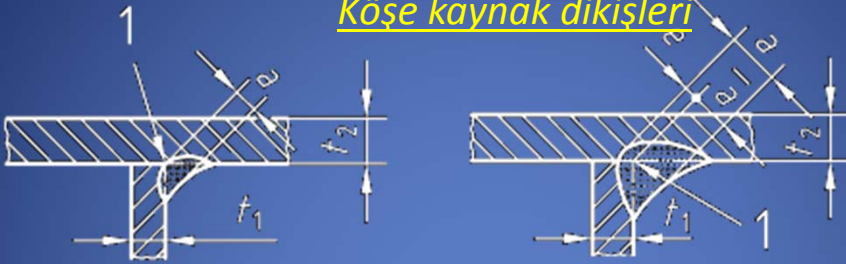
Hesap kaynak boyu: $l = l_1 - 2a$
Minimum $a = 3 \text{ mm}$
Maksimum $a = 0.7 \cdot t_{\min}$

Kaynaklı Birleşimler Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri

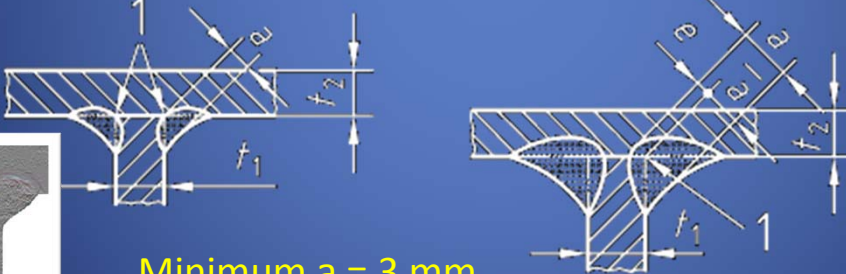


Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Köşe kaynak dikişleri



Hesap kaynak boyu: $l = l_1 - 2a$



$$a = \bar{a} + e$$

Minimum $a = 3 \text{ mm}$
Maksimum $a = 0.7 \cdot t_{\min}$

Kaynaklı Birleşimler Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Köşe kaynak dikişleri

DIN 18800-1'e göre hesap kaynak boyu:

$$\left(\begin{array}{c} 6a \\ 30mm \end{array} \right) \leq l \leq \left(\begin{array}{c} 150a^{(S235,S355)} \\ 100a^{(S460)} \end{array} \right)$$

TS 3357'ye göre hesap kaynak boyu:

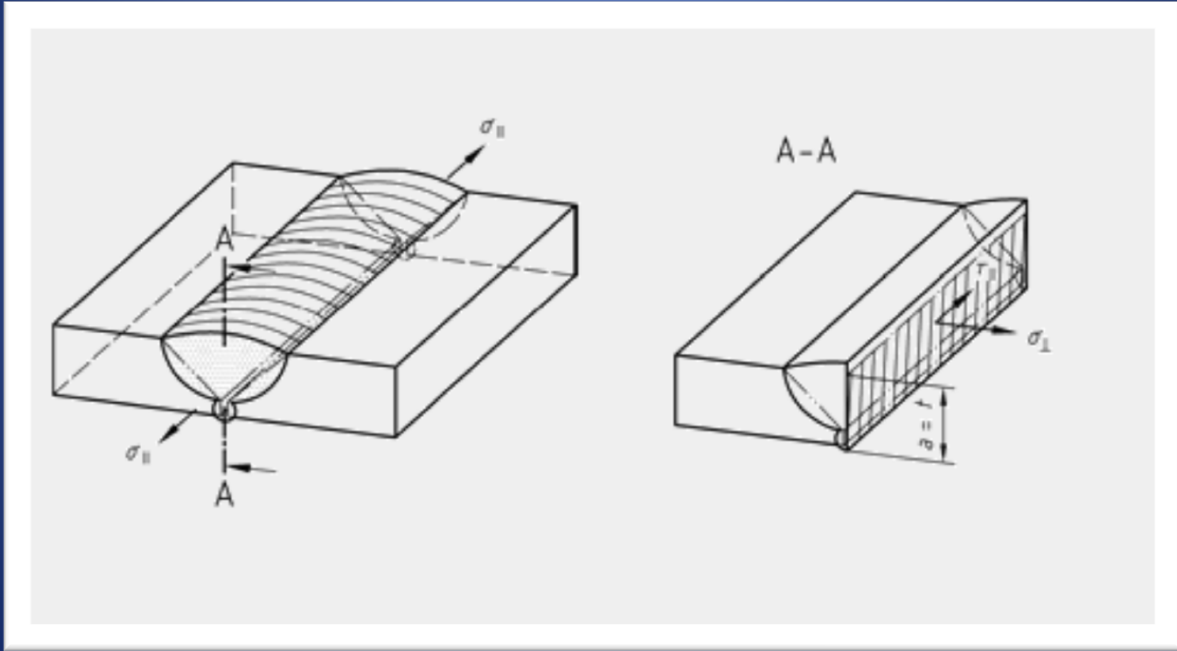
$$15a \leq l \leq 100a$$

Kaynaklı Birleşimler Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Küt kaynak dikişi gerilmeleri

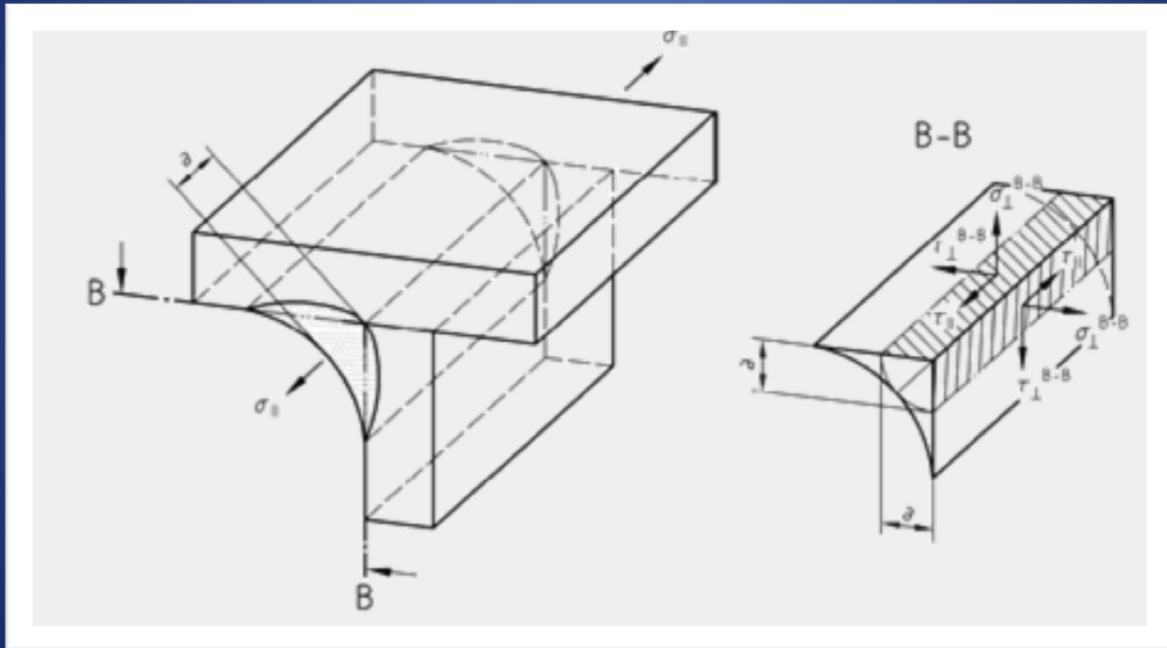


Kaynaklı Birleşimler Ergitme Kaynakları – Kaynak Dikişleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Köşe kaynak dikişi gerilmeleri



Kaynaklı Birleşimler Kaynak Dikişleri Emniyet Gerilmeleri (TS 3357)



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Dikiş Çeşidi	Dikiş Niteliği	Gerilme	Çelik Cinsi			
			Fe 37		Fe 52	
			EY	EİY	EY	EİY
Küt kaynak	Muayene edilmiş veya edilmemiş	Basınç ve eğilme basıncı	1400 kg/cm ²	1600 kg/cm ²	2400 kg/cm ²	2700 kg/cm ²
Çift Yarım Y Köşe Kaynağı	Muayene edilmiş	Çekme ve kaynak yönüne dik eğilme çekmesi	1400 kg/cm ²	1600 kg/cm ²	2400 kg/cm ²	2700 kg/cm ²
Yarım Y Köşe Kaynağı	Muayene edilmemiş		1100 kg/cm ²	1250 kg/cm ²	1700 kg/cm ²	1900 kg/cm ²
Köşe Kaynağı Yarım Y Köşe Kaynağı	Muayene edilmiş veya edilmemiş	Basınç ve eğilme basıncı, çekme ve eğilme çekmesi	1100 kg/cm ²	1250 kg/cm ²	1700 kg/cm ²	1900 kg/cm ²
Bütün Kaynak Dikişleri		Kayma	1100 kg/cm ²	1250 kg/cm ²	1700 kg/cm ²	1900 kg/cm ²

Kaynaklı Birleşimler Kaynak Gerilmesi Analizi



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Kaynak dikişinin normal veya kayma gerilmesi tahkiki:

$$\left. \begin{array}{l} \sigma_K \\ \tau_K \end{array} \right\} = \frac{P}{\Sigma(a \cdot l)} \leq \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{Kem} \\ \tau_{Kem} \end{array} \right.$$

P: Kaynak dikişine dik (çekme veya basınç) veya paralel kuvvet

a: Kaynak dikişi kalınlığı

l: Kaynak hesap boyu $l = l_1 - 2a$

Çekme Çubukları



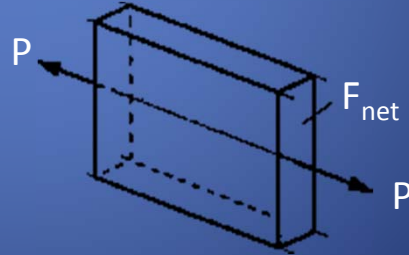
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Çekme Çubukları

Boyuna doğrultuda çekme kuvveti taşıyan çubuklara “çekme çubukları” denir. Çekme kuvveti etkisindeki kafes giriş elemanları, gergiler, askılar çekme çubuklarına örnek olarak gösterilebilir.

Çekme çubuklarının taşıma gücü malzeme ve çubuk net enkesit alanına bağlıdır.

$$\sigma = \frac{P}{F_{\text{net}}} \leq \sigma_{\text{em}}$$

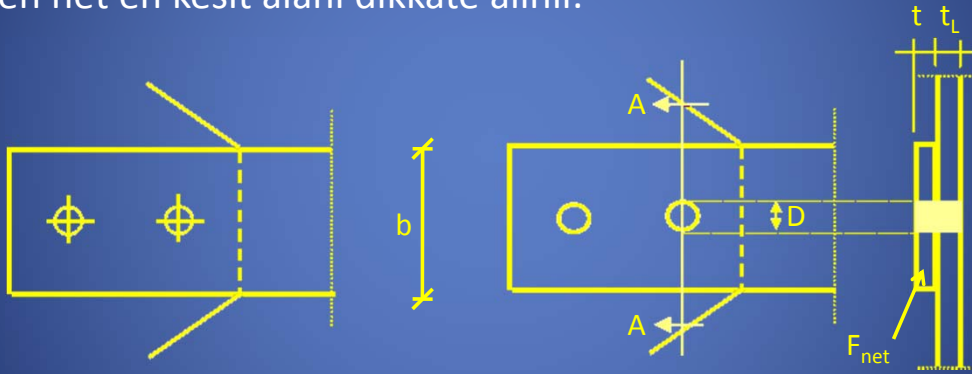


Çekme Çubukları Net Enkesit Alanı



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Çekme çubuklarında, çubuğun bağlanma ya da eklenme biçimi nedeniyle en kesit alanında azalma / zayıflama olabilir. Bu durumda hesaplarda kesitteki kaybın düşülmesi yoluyla elde edilen net en kesit alanı dikkate alınır.

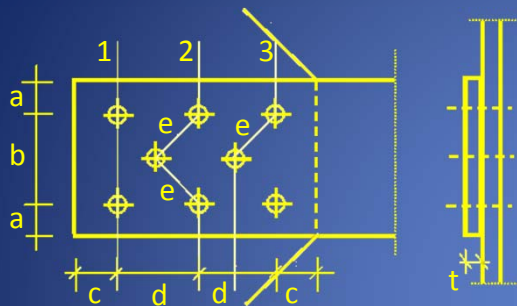


$$F_{\text{net}} = b \times t - D \times t$$

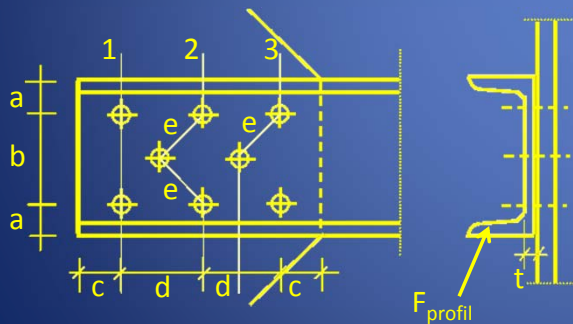
Çekme Çubukları Net Enkesit Alanı



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



$$F_{\text{net}} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{\text{net},1} = (b+a+a) \times t - 2 \times d \times t \\ F_{\text{net},2} = (e+e+a+a) \times t - 3 \times d \times t \\ F_{\text{net},3} = (e+a+a + \frac{b}{2}) \times t - 2 \times d \times t \end{array} \right.$$



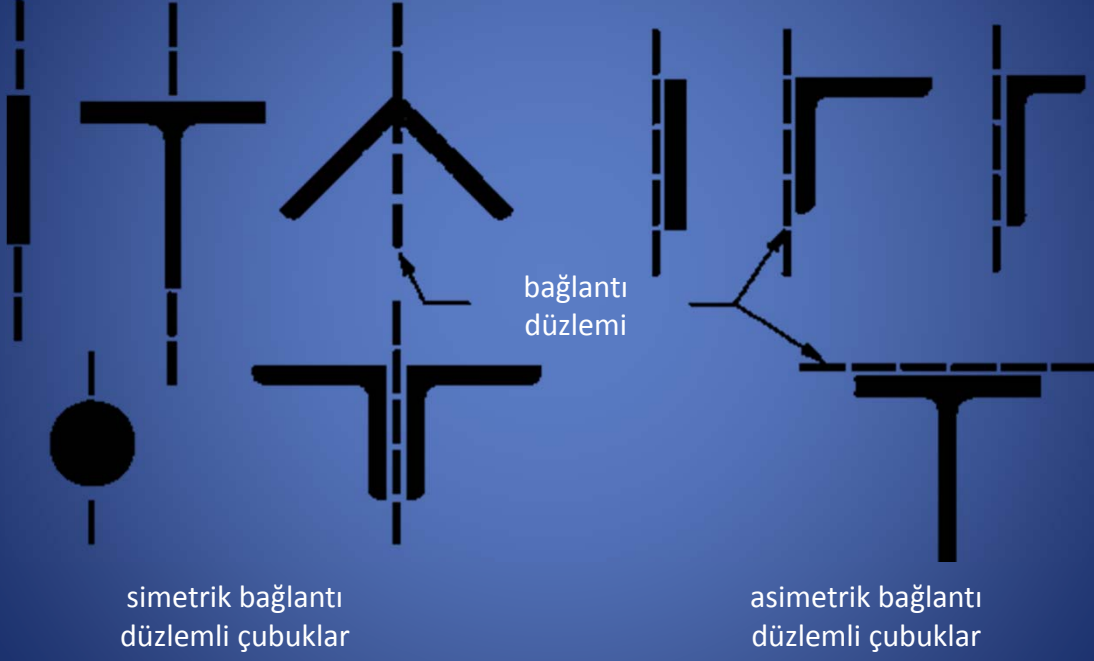
$$F_{\text{net}} = \min \left\{ \begin{array}{l} F_{\text{net},1} = F_{\text{profil}} - 2 \times d \times t \\ F_{\text{net},2} = F_{\text{profil}} - b \times t + (e+e) \times t - 3 \times d \times t \\ F_{\text{net},3} = F_{\text{profil}} - \frac{b}{2} \times t + e \times t - 2 \times d \times t \end{array} \right.$$

Çekme Çubukları Enkesitler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Küçük ve orta büyüklükte çekme kuvveti etkisinde enkesitler

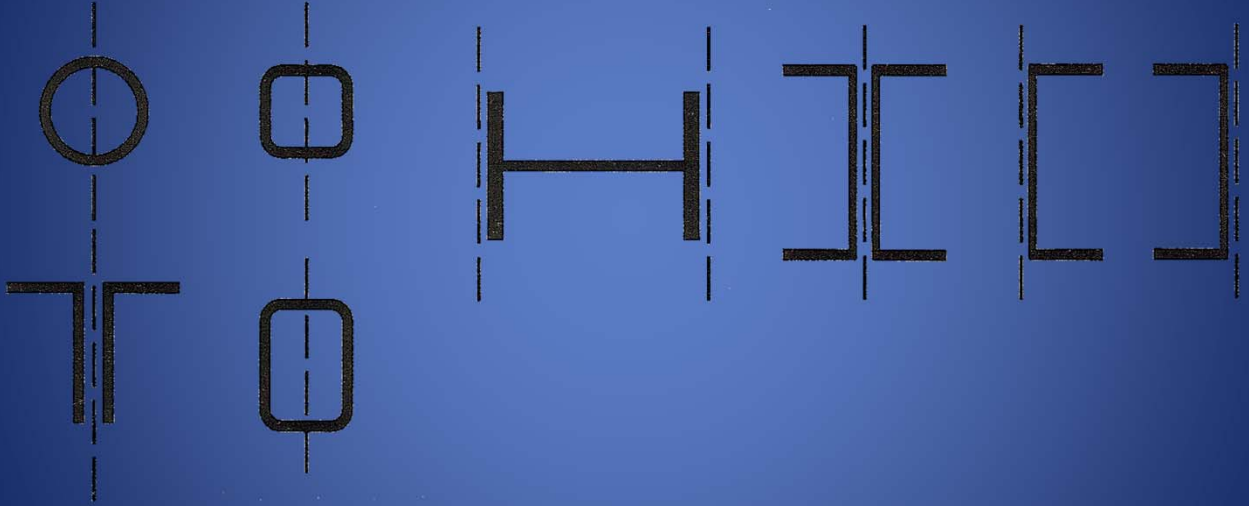


Çekme Çubukları Enkesitler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

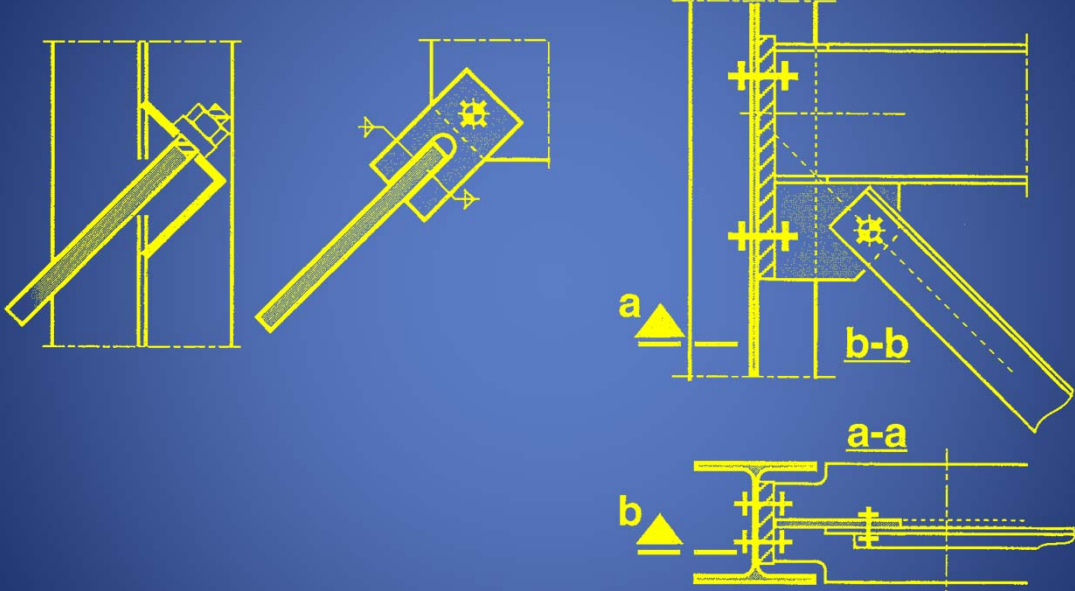
Büyük çekme kuvveti etkisinde enkesitler



Çekme Çubukları Düğüm Noktası Bağlantıları



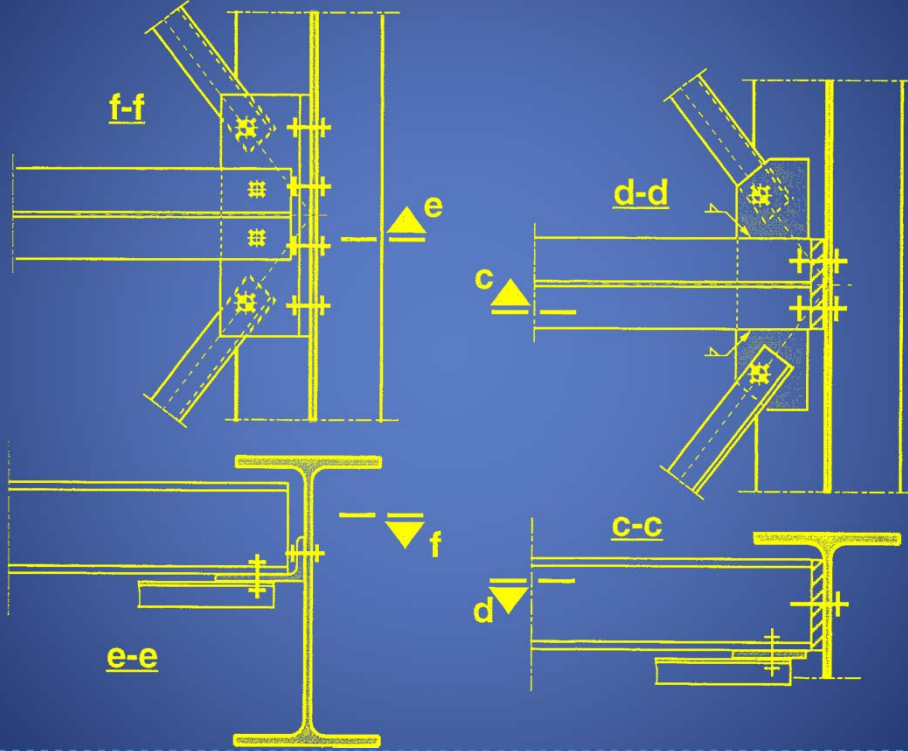
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çekme Çubukları Düğüm Noktası Bağlantıları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



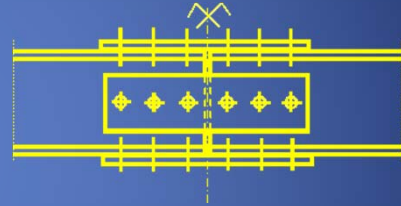
Çekme Çubukları Ekler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Profil ve lamaların standart boyları sınırlı olduğundan uzun çekme çubuklarının (örn. kafes giriş alt başlık çubukları) teşkili için ek yapılması gerekir. Çekme çubuklarının ekleri üç tiptir:

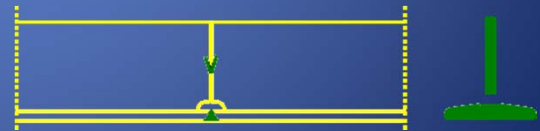
– Lamalı ek (kaynaklı veya bulonlu)



– Enleme levhali ek (kaynaklı)



– Küt ek (kaynaklı)



Basınç Çubukları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Basınç Çubukları

Boyuna doğrultuda basınç kuvveti taşıyan çubuklara “basınç çubukları” denir. Kolonlar, basınç etkisindeki kafes giriş elemanları basınç çubuklarına örnek olarak gösterilebilir. İdeal şartlarda tam olarak ağırlık ekseninde tesir ettiği varsayılan aksenal kuvvet gerçekte var olamaz. Kesit zorunun çok küçük de olsa belli bir dış merkezilikle etki etmesi kaçınılmazdır. Bu dış merkezilik ise ufak da olsa bir eğilme etkisi yaratır, ancak ideal yükleme koşuluna yeterince yaklaşılmışsa bu etkiler ihmal edilir.

Basınç çubuklarının taşıma gücünün hesabında burkulma olayı esas olduğundan bir “stabilite problemi” söz konusudur ve burkulma yükünün hesabı önem arz etmektedir.

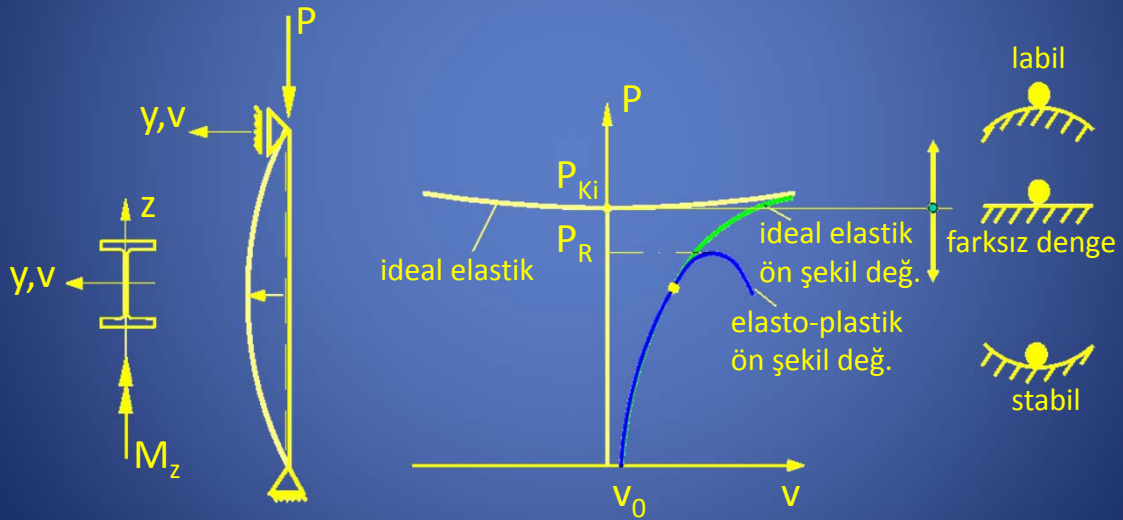
Merkezi basınç kuvveti etkisinde, malzemesi Hooke kanununa uyan, iki ucu mafsallı, prizmatik bir çubuk için ideal eğilme burkulması yükü ilk olarak 1757’de İsviçreli matematikçi Leonhard Euler tarafından hesaplanmıştır.

Basınç Çubukları Burkulma Stabilité Durumu Karakteristiđi



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündađ¹
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Euler burkulma yükü: $P_{Ki} = \frac{\pi^2 EI}{S_K^2}$ s_K : burkulma boyu



Basınç Çubuklarının Hesabı Burkulma Sayıları Metodu



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

TS 648 basınca çalışan çubuklarda basınç gerilmesi kontrolü için iki yöntem verilmiştir. Bunlardan birincisi “ ω ” burkulma sayıları metodudur. Burkulma sayıları metodu ile hesapta basınca çalışan çubuklarda her seferinde farklı bir basınç emniyet gerilmesi kullanılmaz. Bu metot sadece Fe 37 ve Fe 52 çelikleri için geçerlidir.

$$\sigma = \omega \frac{P}{F} \leq \sigma_{\zeta,em}$$

$$\omega = \frac{\sigma_{\zeta,em}}{\sigma_{b,em}} \longrightarrow \text{TS 648 Çizelge 6 ve 7}$$

P: Çubuğa etkiyen basınç kuvveti

F: Çubuk net enkesit alanı

ω : Burkulma katsayısı (Çubuğun narinliğine (λ) bağlı olarak Çizelge 6 ve 7’den alınır

$\sigma_{\zeta,em}$: İncelenen yükleme ve malzemeye göre çekme emniyet gerilmesi

$\sigma_{b,em}$: İncelenen yükleme ve malzemeye göre basınç emniyet gerilmesi

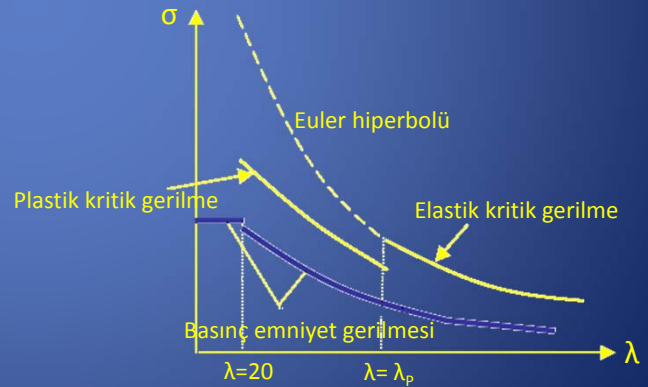
Basınç Çubuklarının Hesabı Basınç Emniyet Gerilmesi Metodu



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Basınç emniyet gerilmesi için çeşitli teorik yaklaşımlarla kritik gerilme hesaplanır ve elde edilen gerilmeler emniyet katsayılarına bölünür. Hesaplar sırasında dikkate alınan λ , çubuğun maksimum narinlik oranıdır. Narinliğin 20'den küçük olduğu çubuklar çok kavi olduklarından burkulma hesabı yapılmaz, yani bunlar için $\omega = 1$ 'dir. Ayrıca TS 648'e göre basınç çubuklarının narinliği hiçbir zaman 250 değerini aşmamalıdır.

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \sigma_{b,em}$$



Basınç Çubuklarının Hesabı Basınç Emniyet Gerilmesi Metodu



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \sigma_{b,em} = \frac{\left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^2 \right] \sigma_a}{n}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}}$$

$$\lambda > \lambda_p \rightarrow \sigma_{b,em} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda < 20 \rightarrow n = 1.67$$

$$20 < \lambda < \lambda_p \rightarrow n = 1.5 + 1.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right) - 0.2 \left(\frac{\lambda}{\lambda_p} \right)^3$$

$$\lambda \geq \lambda_p \rightarrow n = 2.5$$

Basınç Çubuklarının Hesabı Burkulma Boyu ve Narinlik



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Basınca çalışan çubukların mesnetlenme koşullarına bağlı olarak farklı burkulma boyları (s_K) olabilir. Burkulma boyu, çubuğun gerçek boyunu (L), burkulma katsayısı (β) ile çarparak hesaplanır.

$$s_K = \beta \cdot L \quad \lambda = \frac{s_K}{i} \quad i = \sqrt{\frac{I}{F}}$$

Çubuk burkulması enkesitin asal eksen düzlemlerinden birisine dik olarak gerçekleşecektir, eğer çubuğun birbirine dik düzlemlerdeki sınır şartları (burkulma boyları) aynı ise çubuk zayıf eksenini etrafında burkulur. Bunun nedeni zayıf ekseninin atalet yarı çapı küçük olduğundan bu eksen düzlemine dik burkulma durumu için çubuk narinliğinin yüksek olmasıdır. Ancak çubuğun birbirine dik düzlemlerdeki mesnetlenme durumları nedeniyle farklı burkulma boyları mevcutsa, her iki eksen düzlemine dik burkulma durumu için hesap yaparak elde edilen narinlik değerlerinden büyük olanı dikkate alınır.

Basınç Çubuklarının Hesabı Burkulma Katsayıları (β)



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Teorik burkulma boyu katsayısı	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Tavsiye edilen burkulma boyu katsayısı	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
Mesnet koşulları	<p> Dönme ve öteleme önlenmiş Dönme serbest ve öteleme önlenmiş Dönme önlenmiş ve öteleme serbest Dönme ve öteleme serbest </p>					

Basınç Çubukları Sınıflandırma

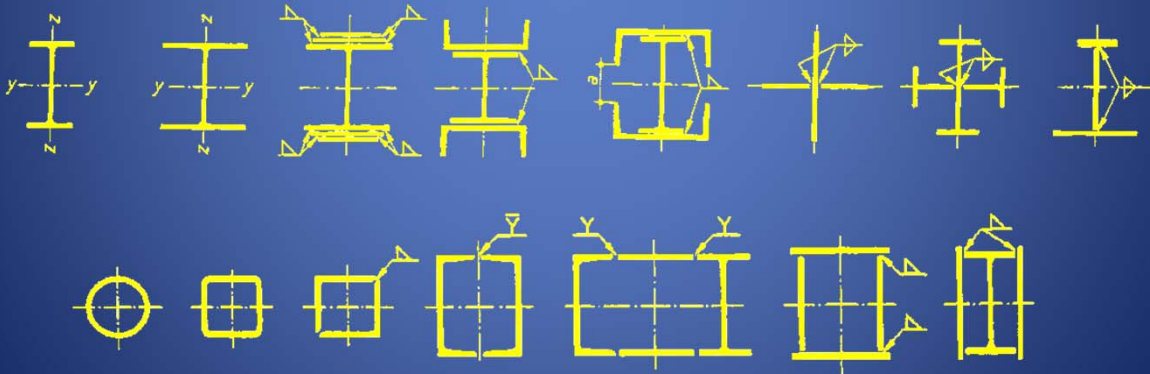


Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Basınç çubukları enkesit özellikleri ve hesaplanma esaslarına bağlı olarak iki ana gruba ayrılır:

- Tek parçalı ve sürekli birleşik parçalardan oluşan basınç çubukları
- Parçaları arasında aralık bulunan çok parçalı basınç çubukları

Tek parçalı basınç çubukları enkesit şekilleri



Basınç Çubukları

Çok Parçalı Basınç Çubukları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

İki veya daha çok profilin birbirlerine süresiz / aralıklı olarak bağlanması ile teşkil edilen basınç çubuklarına çok parçalı basınç çubukları denir.

Statik fonksiyonu açısından çok parçalı basınç çubukları ikiye ayrılır:

- Çerçeve bağlantılı çubuklar
- Kafes bağlantılı çubuklar

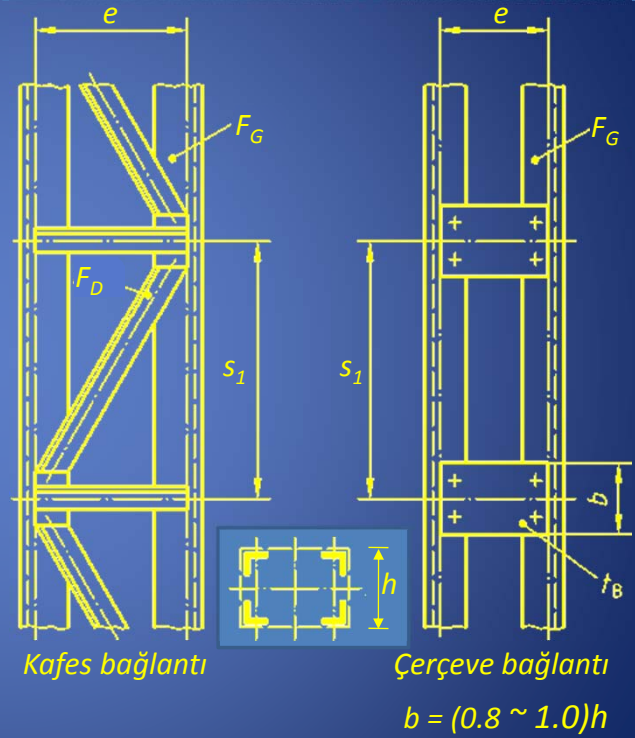
Avantajları:

- Hafif konstrüksiyon
- Yüksek rijitlik
- Kreatif filigran açık bir görünüm
- Kesitler arası tesisat geçişi imkanı

Dezavantajları:

- Montaj maliyeti
- Alan gereksinimi
- Korozyona açık çok fazla yüzey alanı

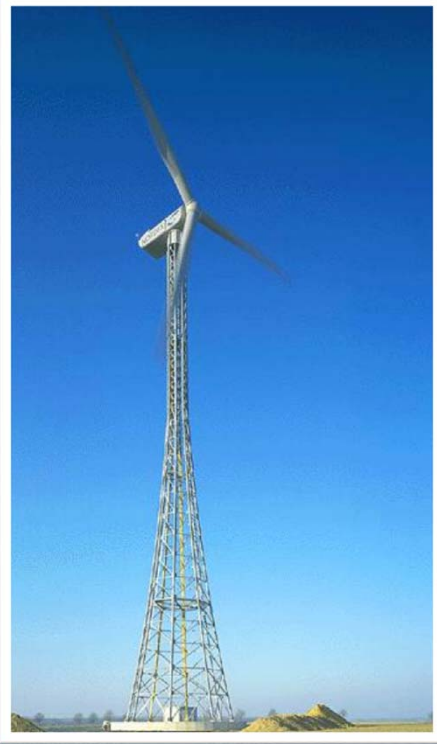
Uygulama alanları: Anten ve elektrik direkleri, rüzgar türbini kuleleri



Basınç Çubukları Çok Parçalı Basınç Çubukları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Basınç Çubukları

Çok Parçalı Basınç Çubukları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Çerçeve bağlantılı çubuklarda, bağlantı elemanları (bağ levhaları), çubuğu teşkil eden profillere bulonlu veya kaynaklı bir şekilde rijit olarak bağlanır. Bağ levhaları ile profiller rijit bir çerçeve oluştururlar. Bağ levhalarının yüksekliği (b), h profil yüksekliği olmak üzere $b = (0.8 \sim 1.0)h$ olarak seçilmesi uygundur. Çerçeve bağlantılı çubuklarda profiller, çubuk uçlarında ve en az uzunluklarının 1/3 noktalarında bağlanmış olmalıdır.

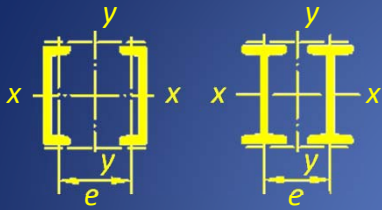
Kafes bağlantılı çubuklarda ise, bağlantı elemanları (örgü çubukları) çubuğu teşkil eden profillere basit (rijit olmayan) bulonlu veya kaynaklı bir şekilde bağlanır. Bağlantı levhaları ile çubuk profiller bir kafes sistem oluştururlar. Örgü çubukları korniyerlerle veya bazen de lama enkesitli elemanlarla teşkil edilir. Örgü çubuklarının profillere bağlantısı tek bulonla yapılabilir. Ancak profil I kesitli ise en az iki bulon kullanılmalıdır. Örgü çubukları profillere köşe kaynak dikişleriyle de bağlanabilir. Konstrüktif kolaylık sağlanması açısından ve profillerin örgü çubuklarından daha büyük rijitliğe sahip olmalarından dolayı çubuk eksenlerinin bir noktada kesişme prensibine uyulmayabilir. Diyagonal çubuklar mümkün olduğu kadar dar 45° eğimle teşkil edilmelidir ve iki taraftaki örgü çubukları aynı hizada ve paralel olmalıdır. Kafes bağlantı tarzında da çubuk uçlarına bağ levhaları konur.

Basınç Çubukları

Çok Parçalı Basınç Çubukları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çok parçalı basınç çubuklarının enkesitleri farklı karakterlerde asal eksenler gösterirler. Şekilde ki enkesitte (x-x) eksenini çubuğu teşkil eden profil enkesitlerinin hepsini kesmektedir. Bundan dolayı (x-x) eksenine **malzemeli eksen** denir. (y-y) eksenini ise çubuğu teşkil eden hiçbir profili kesmemektedir. Bundan dolayı (y-y) eksenine **malzemesiz eksen** denir.

Çubuğun malzemeli eksene dik eğilmesi sırasında parçalar arasında herhangi bir kayma meydana gelmez. Dolayısıyla malzemeli eksene dik burkulma sırasında yapılacak burkulma hesabı tek parçalı basınç çubukları ile aynıdır.

Ancak çok parçalı basınç çubuklarında malzemesiz eksen etrafındaki eğilme durumunda parçalar arasında mesafe bulunduğundan, kesme kuvvetinin etkisiyle deformasyonlar meydana gelecektir ve bu kayma deformasyonlarının kritik yük hesabında mutlaka dikkate alınması gerekmektedir. Elemanların kayma deformasyonlarını hesaba katmak kritik yükte ihmal edilemeyecek mertebede azalma meydana getirdiğinden, malzemesiz eksene dik burkulma durumunda farklı bir hesap yapılır.

TS 648'de çok parçalı basınç çubukları hesap bakımından üç gruba ayrılmıştır:

- I. Grup Basınç Çubukları
- II. Grup Basınç Çubukları
- III. Grup Basınç Çubukları

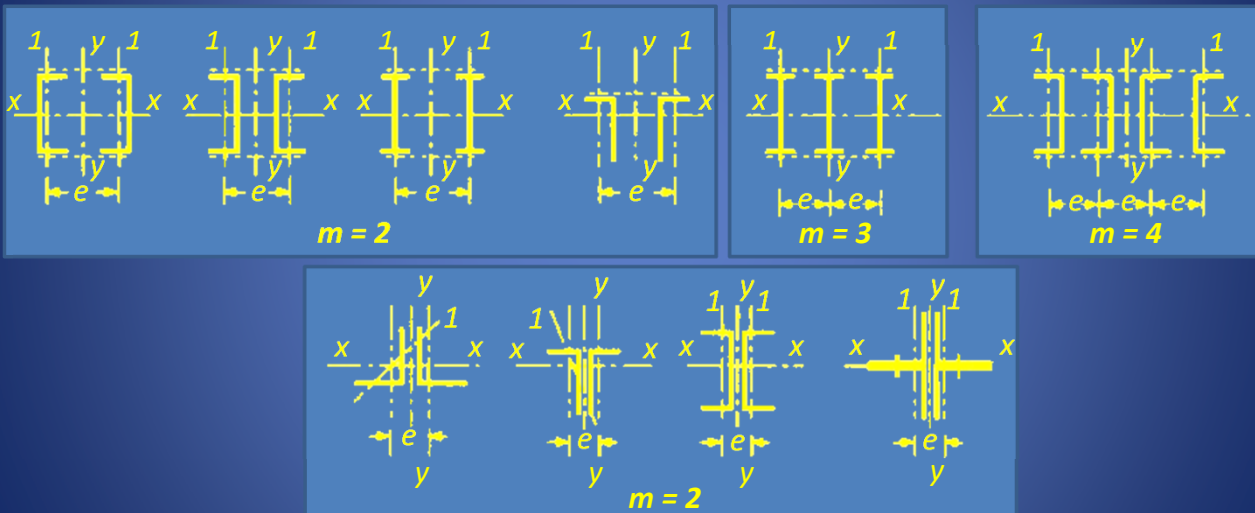
Basınç Çubukları

Çok Parçalı Basınç Çubukları / I. Grup



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

I. Grup Çok Parçalı Basınç Çubukları: Enkesitlerinin asal eksenlerinden bir malzemeli, diğeri malzemesiz olan çubuklardır.



Basınç Çubukları Çok Parçalı Basınç Çubukları / I. Grup



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Malzemeli eksene (x-x) dik burkulma tahkiki

I. Grup basınç çubuklarının hesabında malzemeli eksene (x-x eksenine) dik burkulma durumunda parçalar arasında kayma meydana gelmeyeceğinden narinlik derecesi hesabı tek parçalı basınç çubuklarındaki gibi yapılır.

$$\lambda_x = \frac{s_{kx}}{i_x} \rightarrow \omega_x \rightarrow \sigma_x = \omega_x \frac{P}{F} \leq \sigma_{em} \quad i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}} = \sqrt{\frac{n \cdot I_{1x}}{n \cdot F_1}} = \sqrt{\frac{I_{1x}}{F_1}} = i_{1x}$$

- s_{kx} : (x-x) eksenine dik burkulmadaki burkulma boyu,
 λ_x : (x-x) eksenine dik burkulmadaki narinlik,
 P : çubuğa etkiyen merkezi basınç kuvveti,
 F : çubuğun toplam enkesit alanı
 i_x : çubuk enkesit alanının (x-x) eksenine göre atalet yarıçapı

Basınç Çubukları

Çok Parçalı Basınç Çubukları / I. Grup



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Malzemesiz eksene (y-y) dik burkulma tahkiki

I. Grup basınç çubuklarının malzemesiz eksene (y-y eksenine) dik burkulma durumunda ise itibari narinlik derecesi (λ_{yi}) hesaplanmalıdır.

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \cdot \lambda_1^2} \rightarrow \omega_{yi} \rightarrow \sigma_y = \omega_{yi} \frac{P}{F} \leq \sigma_{em}$$

$$\lambda_y = \frac{s_{ky}}{i_y} \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}}$$

Çerçeve bağlantılı çubuklarda

$$\lambda_1 = \frac{s_1}{i_{1,min}}$$

s_{ky} : (y-y) eksenine dik burkulmadaki burkulma boyu,
 λ_y : (y-y) eksenine dik burkulmadaki narinlik,
 P : çubuğa etkiyen merkezi basınç kuvveti,
 F : çubuğun toplam enkesit alanı
 I_y : çubuk enkesit alanının (y-y) eksenine göre atalet yarıçapı
 $i_{1,min}$: tek bir profil enkesit alanının minimum atalet yarıçapı
 m : basınç çubuğunu teşkil eden parçaların veya sürekli birleşik parçalardan oluşup tek parça gibi çalışan grupların sayısı
 s_1 : bağ levhalarının çubuk boyunca aralığı

Ayrıca bağ levhası aralığının uygun seçilmesi ve bu amaçla λ_1 için aşağıdaki üst sınırın sağlanması da zorunludur:

$$\frac{\lambda_x}{2} > 50 \Rightarrow \lambda_1 \leq \frac{\lambda_x}{2} \quad \frac{\lambda_x}{2} \leq 50 \Rightarrow \lambda_1 \leq 50$$

Basınç Çubukları

Çok Parçalı Basınç Çubukları / I. Grup



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Malzemesiz eksene (y-y) dik burkulma tahkiki

Kafes bağlantılı çubuklarda

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{F}{z \cdot F_D} \cdot \frac{d^3}{s_1 \cdot e^2}}$$

Kafes bağlantıda λ_1 için bir üst sınır yoktur.

- F : toplam enkesit alanı
- F_D : bir diyagonal örgü çubuğunun enkesit alanı
- z : paralel düzlemlerde bulunan kafes örgü sistemlerinin sayısı
- d : diyagonal örgü çubuğunun sistem boyu
- s_1 : kafes örgü düğüm noktalarının çubuk doğrultusundaki aralığı
- e : çubuk profillerinin eksenleri arasındaki uzaklıktır

Basınç Çubukları Çok Parçalı Basınç Çubukları / II. Grup



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

II. Grup Çok Parçalı Basınç Çubukları: Köşeleme komşu iki korniyerle teşkil edilen basınç çubuklarıdır. Bu çubukların sadece malzemeli eksene (x-x eksenine) dik burkulma tahkiklerinin yapılması yeterli olur.

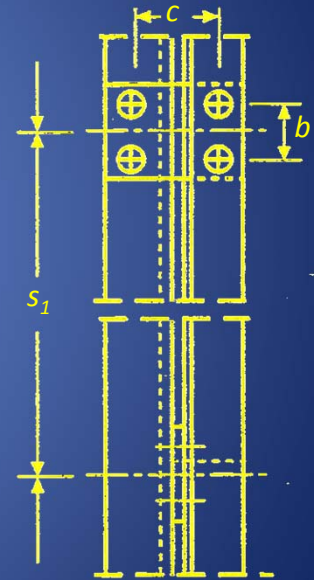
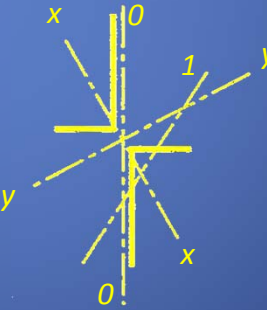
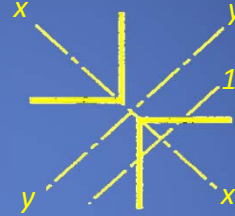
$$\lambda_x = \frac{s_k}{i_x} \rightarrow \omega_x \rightarrow \sigma_x = \omega_x \frac{P}{F} \leq \sigma_{em}$$

s_k : çubuğun taşıyıcı sistem düzlemi içindeki burkulma boyu ile bu düzleme dik burkulma boylarının aritmetik ortalaması
 λ_x : (x-x) eksenine dik burkulmadaki narinlik,
 P : çubuğa etkiyen merkezi basınç kuvveti,
 F : çubuğun toplam enkesit alanı
 i_x : çubuk enkesit alanının (x-x) eksenine göre atalet yarıçapı

Eşit kollu korniyer durumunda: $i_x = i_\xi$

Farklı kollu korniyer durumunda: $i_x \approx \frac{i_0}{1.15}$

$$\frac{s_1}{i_{1,\min}} \leq 50$$



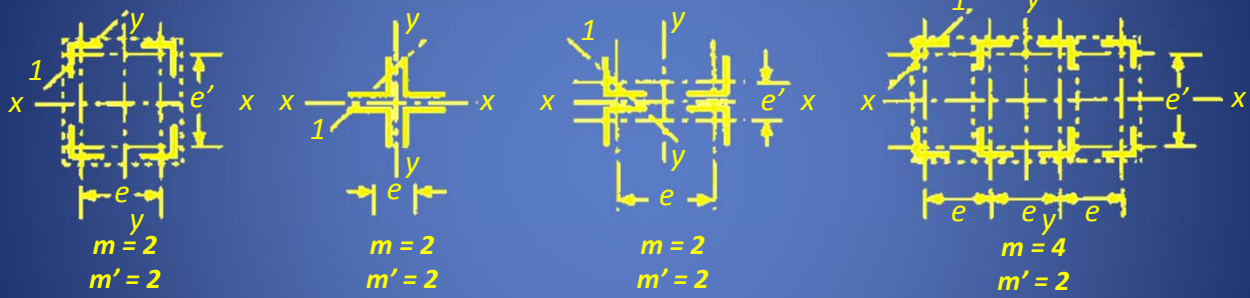
Basınç Çubukları

Çok Parçalı Basınç Çubukları / III. Grup



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

III. Grup Çok Parçalı Basınç Çubukları: Enkesitlerinin asal eksenlerinin her ikisi de malzemesiz eksen olan basınç çubuklarıdır. Her iki eksene dik burkulma tahkikleri itibari narinlik dereceleriyle yapılır. Enkesitin konstrüktif özelliklerine bağlı olarak, enkesitin her iki asal eksenine paralel teşkil edilen bağlantı elemanlarının tamamı çerçeve bağlantı veya tamamı kafes bağlantı tarzında olabileceği gibi; bir asal eksene paralel bağlantılar çerçeve tarzında iken diğer asal eksene paralel olanlar kafes tarzında olabilir.



$$\lambda_{xi} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m'}{2} \cdot \lambda_{1x}^2} \rightarrow \omega_{xi} \rightarrow \sigma_x = \omega_{xi} \frac{P}{F} \leq \sigma_{em}$$

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \cdot \lambda_{1y}^2} \rightarrow \omega_{yi} \rightarrow \sigma_y = \omega_{yi} \frac{P}{F} \leq \sigma_{em}$$

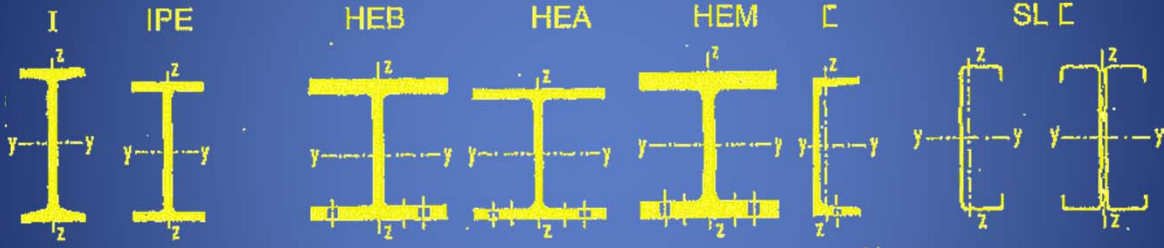
Dolu Gövdeli Kirişler



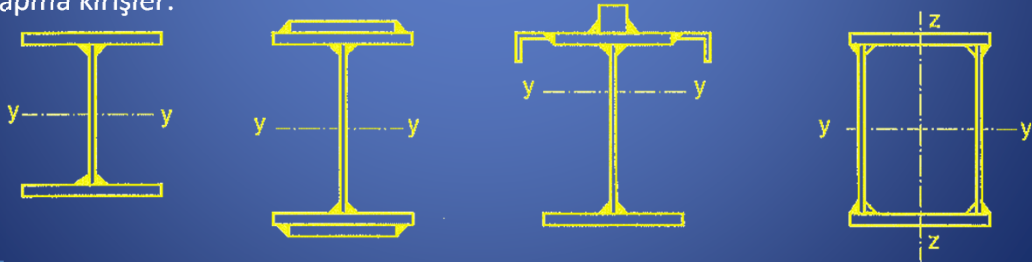
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Dolu gövdeli kirişler ağırlıklı olarak eğilmeye çalışan kirişlerdir. Bu kirişler taşıyıcı sistem içerisinde ana kiriş, tali kiriş, çatı aşığı gibi şekillerde karşımıza çıkar. Hadde kirişleri şeklinde tek profille teşkil edilebildikleri gibi, kaynaklı yapma kirişler şeklinde de teşkil edilebilirler.

Hadde kirişleri:



Kaynaklı yapma kirişler:



Dolu Gövdeli Kirişler Hadde Kirişleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Özellikle bina türü yapılarda kaynaklı yapma kirişlere kıyasla düşük atölye maliyeti nedeniyle sıcak veya soğuk haddelenmiş profiller tercih edilmektedir. En çok kullanılan profiller çift simetrik I profillerdir. U profiller daha çok kenar kirişlerinde ve çatı aşıklarında kullanılır ve bu profillerin burulmadan dolayı dönmesini engellemek için konstruktif önlemler alınmalıdır.

Hadde profillerin enkesitlerinin yeterli olmaması durumunda bu profillerin başlıklarına levhalar kaynaklanarak *eğilme mukavemetleri* artırılabilir. Ayrıca büyük kesme kuvveti etkisindeki kısa kirişlerde *kayma mukavemeti* gövdenin bir veya iki tarafına levha kaynaklayarak artırılabilir.



Dolu Gövdeli Kirişler Kaynaklı Yapma Kirişler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Kaynaklı yapma kirişler hadde profillerinin yeterli veya ekonomik olmadığı durumlarda tercih edilir. Bu kirişler tek ve ya çift simetrik veya tek veya çift gövdeli olarak teşkil edilirler. Tek simetrik kirişler kreyn kirişlerinde söz konusudur. Kirişin büyük burulma rijitlikli olması isteniyorsa çift gövdeli veya sandık kesitli kirişler söz konusudur. Bu tür kirişler daha çok köprülerde karşımıza çıkmaktadır.

Kalın başlık levhaları kaynak ısısını hızlı bir şekilde ilettiklerinden ve yüksek soğuma hızından dolayı sertleşmelere sebep olduklarından başlık levhalarının kalınlıkları sınırlandırılmıştır. Ayrıca kaynak öz gerilmelerinden dolayı çok eksenli gerilme durumu ortaya çıkmaktadır ve kalınlık ve malzeme kalitesi arttıkça gevrek kırılma tehlikesi de artmaktadır. Bu nedenle başlık levhası kalınlıkları Fe37 için 50 mm'yi , Fe 52 için 30 mm'yi aşmamalıdır. Ayrıca başlık levhasının genişliği, kalınlığının 15 katından fazla olmamalıdır.

Kaynaklı yapma kirişlerin ön boyutlamasında kiriş yüksekliği h , geçilen açıklık l 'ye bağlı olarak şu şekilde dikkate alınabilir:

$$\text{Kreyn kirişleri: } h \approx \left(\frac{1}{7} \dots \frac{1}{12} \right) \cdot l$$

$$\text{Bina türü yapılarıdaki normal kirişler: } h \approx \left(\frac{1}{15} \dots \frac{1}{25} \right) \cdot l$$

$$\text{Karayolu köprü kirişleri: } h \approx \left(\frac{1}{20} \dots \frac{1}{30} \right) \cdot l$$

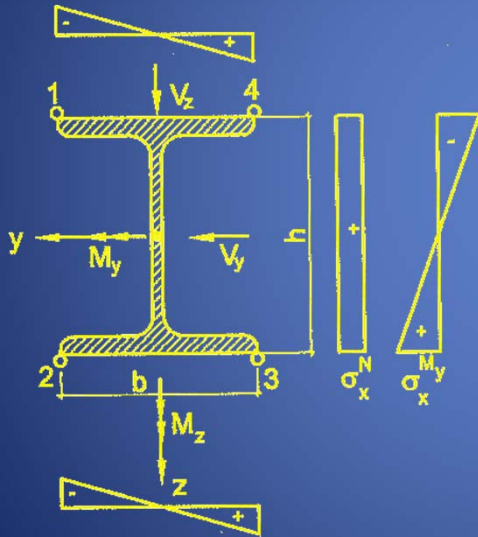
Dolu Gövdeli Kirişler Gerilme Tahkiki



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Dolu gövdeli kirişlerin elastisite teorisine göre kesit, ek ve birleşim hesapları normal gerilmelerin kiriş yüksekliğince linear dağıldığı kabulüne dayanır.

İki eksenli eğilme ve aksenal kuvvet etkisinde normal gerilmelerin kesitte dağılımı:

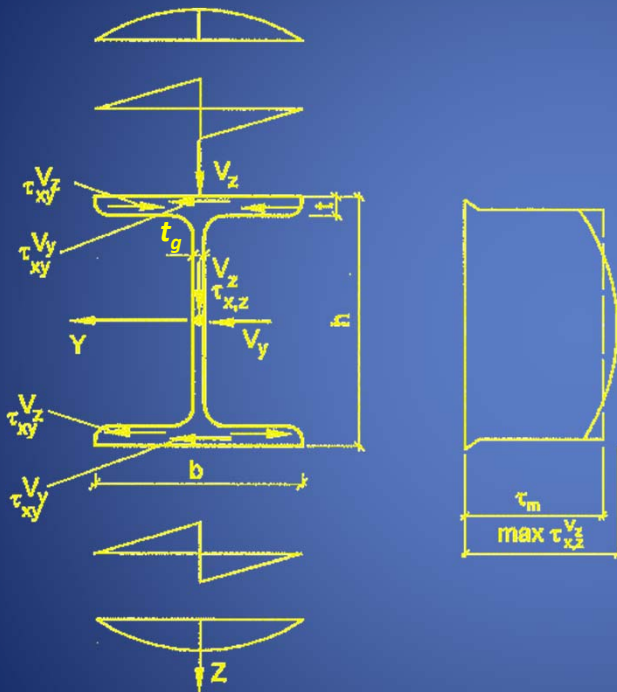


$$\sigma_x = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{I_y} \cdot z - \frac{M_z}{I_z} \cdot y$$

Dolu Gövdeli Kirişler Gerilme Tahkiki



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



$$\tau_{xz} = \frac{V_z \cdot S_y}{I_y \cdot t_g}$$

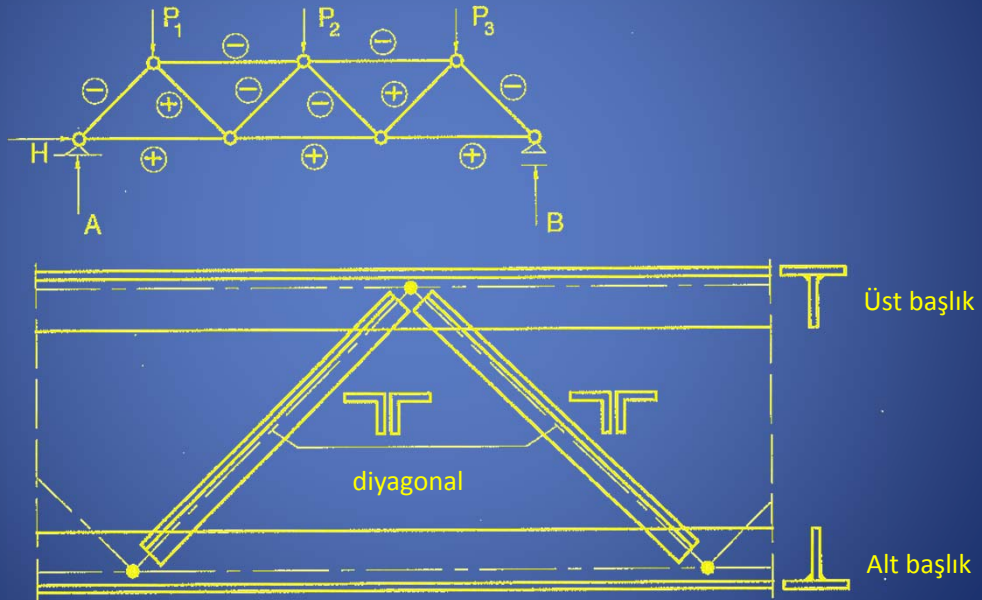
$$\tau_{xy} = \frac{V_y \cdot S_z}{I_z \cdot t}$$

Kafes Kirişler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Çekme ve basınç çubuklarından oluşan taşıyıcı sistemlere kafes kiriş denir. Çubuk eksenleri aynı düzlemde olan kirişlere *düzlem kafes kirişler* denir. Çubukların birleşim yerlerine *düğüm noktaları* denir.



Kafes Kirişler



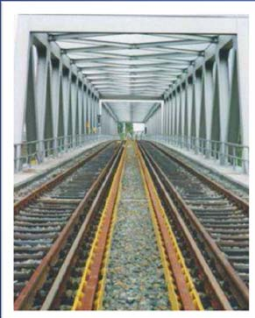
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Kafes kirişlerde çubuk eksenleri düğüm noktalarında, geometrik anlamda bir noktada kesiştirilerek çubuklara aksenal kuvvet gelmesi sağlanmış olur.

Düğüm noktalarının teşkilinde çubukların birleşimlerinin, kafes kiriş teorisindeki sürtünmesiz mafsal kabulüne uygun olmamasından dolayı meydana gelecek ikincil momentler ihmal edilebilecek düzeydedir.

Büyük açıklık ve büyük kiriş yüksekliği hallerinde kafes kirişler dolu gövdeli kirişlere tercih edilir. Yüksek yapılarda yaklaşık olarak 15 m'den büyük açıklık ve 1.5 m'den büyük kiriş yüksekliği halinde dolu gövdeli kirişler ekonomik olmaz.

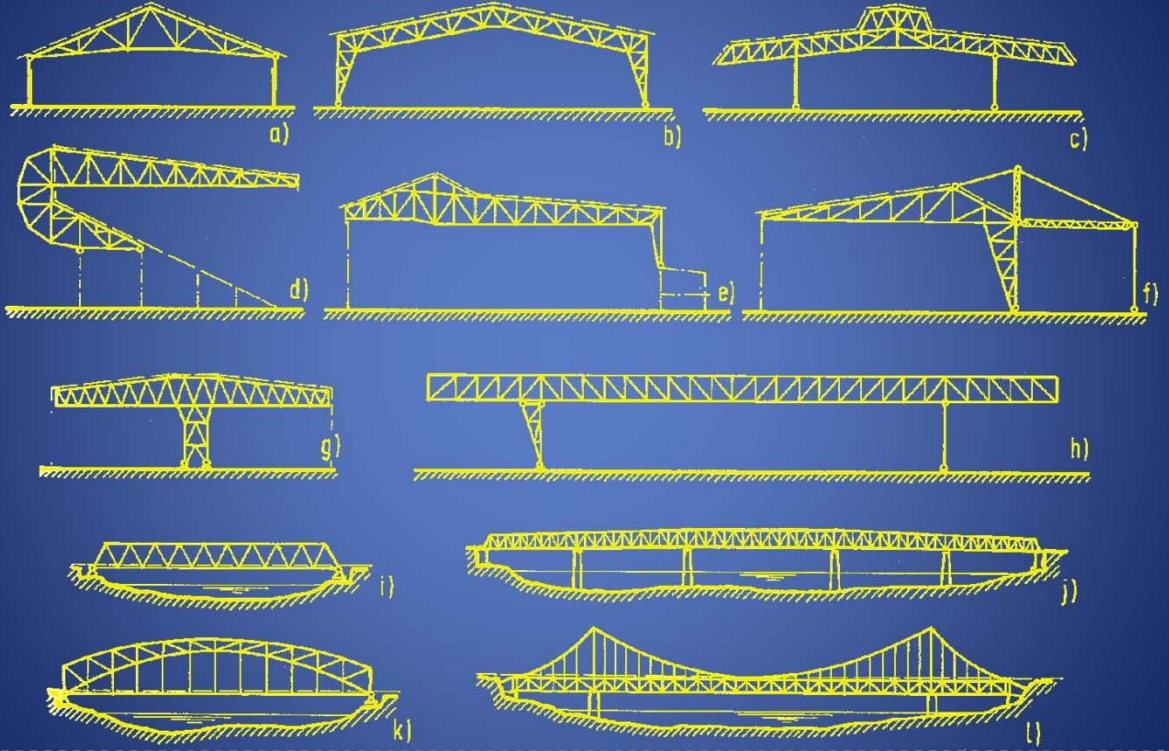
Düzlem kafes kirişler üst ve alt başlık çubukları ile bunların arasında bulunan örgü çubuklarından oluşur. Düşey örgü çubuklarına *dikme*, eğik örgü çubuklarına *diyagonal* denir.



Kafes Kirişler Çeşitli Uygulama Alanları



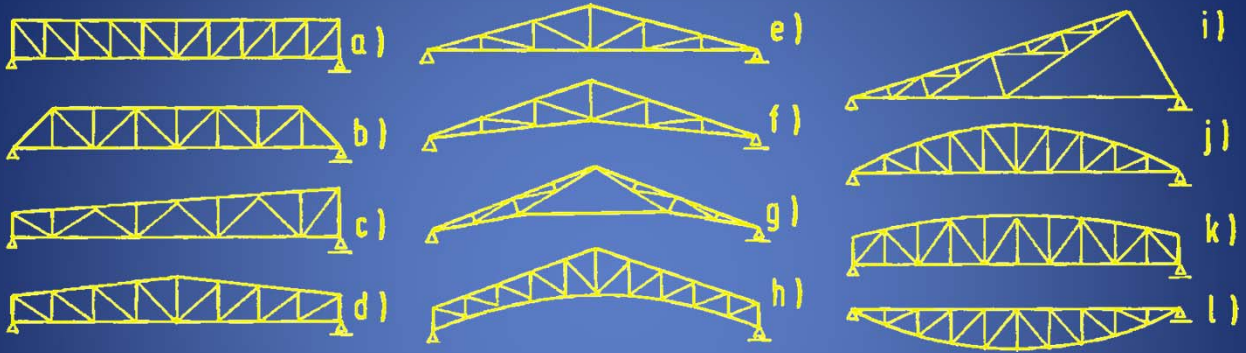
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Kafes Kirişler Sistem Şekilleri



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



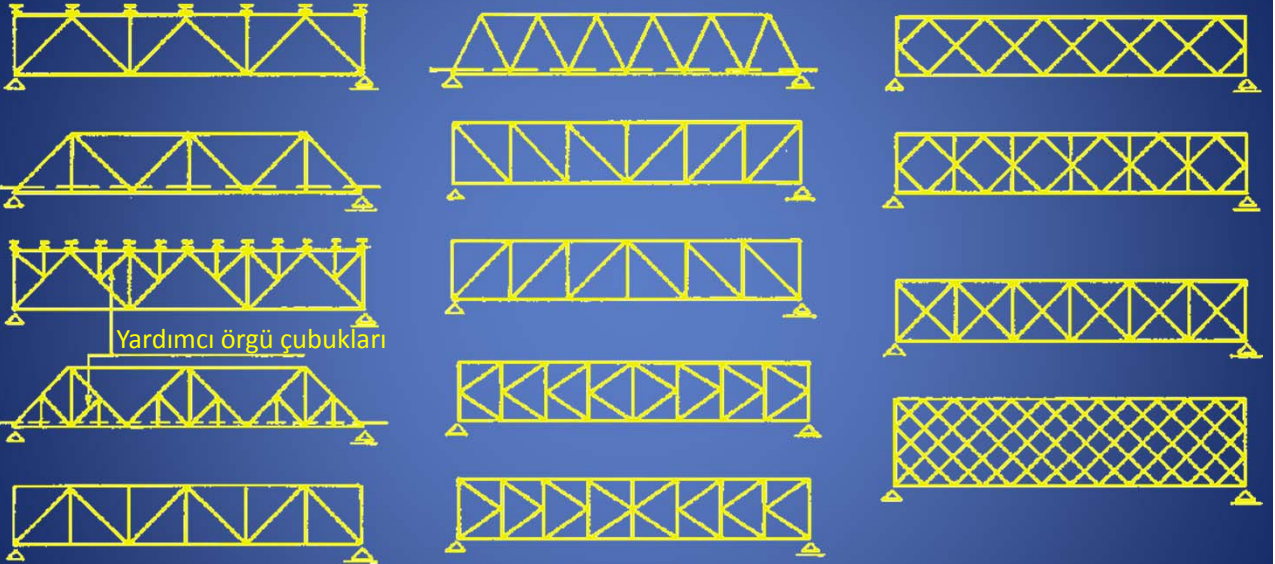
- | | |
|-----------------|-----------------------|
| a),b): | Paralel başlıklı |
| c),d): | Trapez |
| e),f),g),h),i): | Üçgen |
| j), k): | Üst başlığı parabolik |
| l): | Alt başlığı parabolik |

Kafes Kirişler

Paralel Başlıklı Kafes Kirişler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



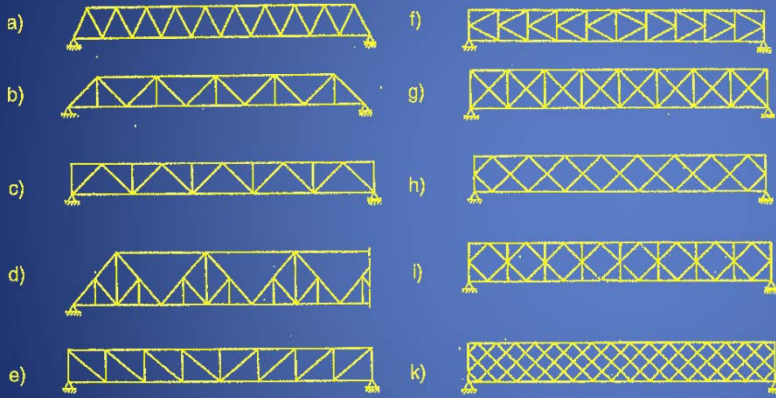
Kafes Kirişler

Paralel Başlıklı Kafes Kirişler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Paralel başlıklı kafes kirişler yüksek yapılarda aşık, stabilite bağlantısı, rüzgar kirişi, düz çatılarda ve şed sistemi çatılarda çatı makası ve döşeme ana kirişi olarak, köprülerde de ana kiriş ve yatay rüzgar kirişi olarak kullanılır. Kullanış yerine bağlı olarak örgü çubuklarının teşkili farklı olur.



a) - f) kafes kirişleri basit kafes kirişlerdir, çubuklar birbirlerini kesmez ve sistem statik açıdan belirlidir. g) - k) kirişlerinde ise çubuklar birbirine keser ve sistem statik açıdan belirli veya belirsiz olabilir.

a) kafes kirişi açık görünümünden dolayı çok tercih edilen bir kafes kiriştir. Diyagonallerin açıları 50° - 65° 'dir. Kolon açıklığı ve ona bağlı olarak sistem yüksekliği arttıkça dikmeler yerleştirilir.

b) kafes kirişinde dikmeler örneğin köprü enine kirişlerinden dolayı, c) kafes kirişinde dikmeler çatı aşık mesafelerinden dolayı gerekir. Çok büyük açıklıklarda d)'de olduğu gibi yardımcı kafes sistemler kullanılır. Bunlar basın çubuklarının burkulma boylarını azaltırlar.

Kafes Kirişler Ekonomik Sistem Seçimi

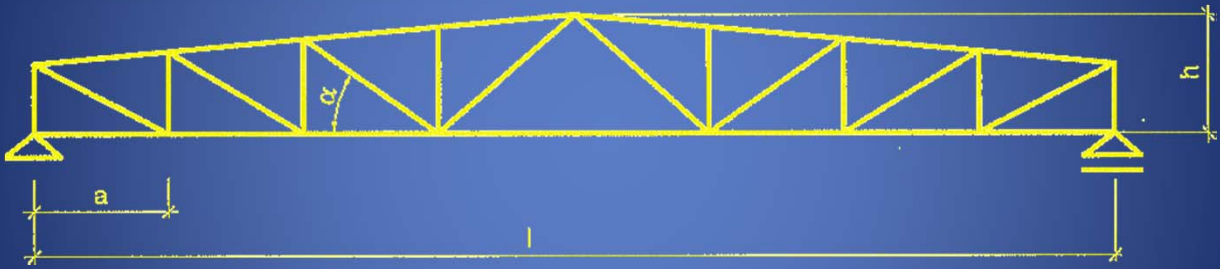


Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Sistem boyutlarının ekonomik seçiminde

- sistem yüksekliği h 'nin kolon ara mesafesi l 'ye oranı,
- düğüm noktası ara mesafesi a ,
- diyagonaller ve alt başlık arasındaki açı α ($45^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ$)

etkilidir.



Sistem yüksekliği h

Basit kirişler için

$$h \approx \left(\frac{1}{8} \dots \frac{1}{12} \right) \cdot l$$

Sürekli kirişler için

$$h \approx \left(\frac{1}{10} \dots \frac{1}{20} \right) \cdot l$$

Düğüm noktası ara mesafesi a

Çatı makasları için

1.5 m
2.0 m
2.4 m
3.0 m

Köprüler için

3.5 m ... 10.0 m

Kafes Kirişler Çubuk Enkesitler



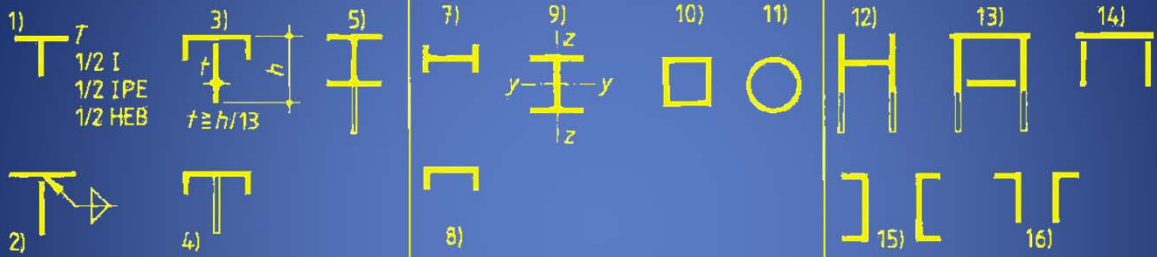
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Tek gövdeli

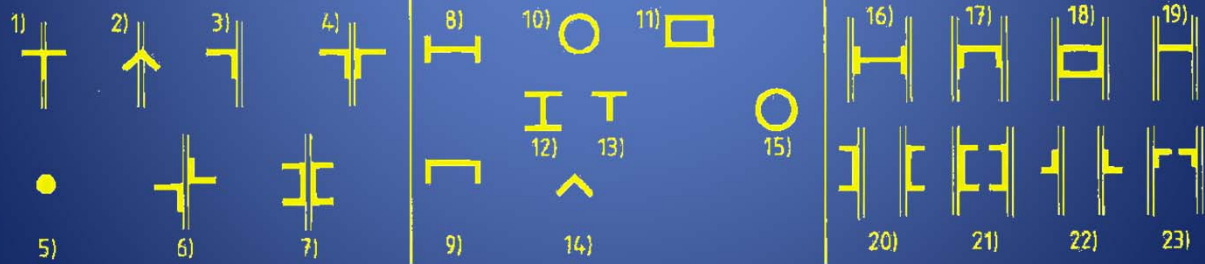
Düğüm nokta levhasız

Çift gövdeli

Başlık çubukları



Örgü çubukları



Kafes Kirişler Çubukların Boyutlandırılması



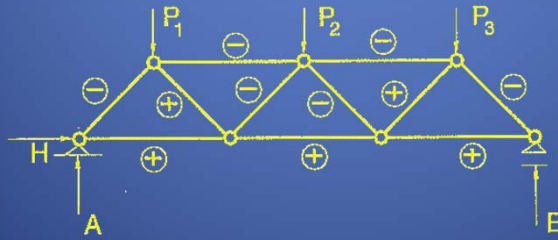
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Kafes kiriş çubuklarının boyutlandırılmasında aşağıdaki adımlar izlenir:

- Yükler belirlenir: Ağırlık, rüzgar, kar, deprem v.b.
- Çubuk kuvvetleri hesaplanır: Çatı kafes kirişlerinde olduğu gibi sabit yükler taşıyan kafes kirişlerin çubuk kuvvetleri Cremona, Ritter yöntemleri veya bilgisayar programları ile, köprü ana kirişi, kren kirişi gibi hareketli yüklerin etkisindeki kafes kirişlerin maksimum çubuk kuvvetleri de tesit çizgilerinden faydalanılarak veya bilgisayar programları ile hesaplanır.
- Çubuk enkesit seçimi ve boyutlama

$$\sigma \leq \sigma_{emn}$$

(Basınç çubuklarında her iki doğrultuda burkulma boylarına dikkat edilmelidir.)

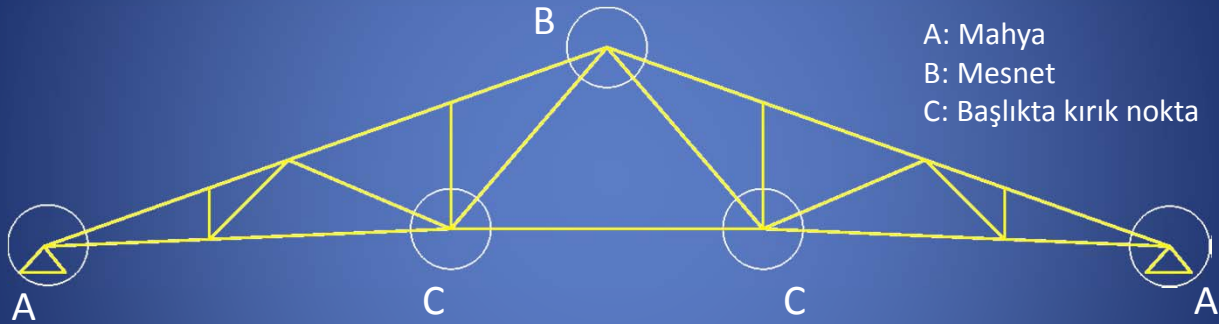


Kafes Kirişler Düğüm Noktaları Teşkili



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Düğüm noktalarındaki birleşimlerin, genelde birleşimlerle ilgili olarak öğrenilen kurallarla yapılır. Burada hesabın özellik gösteren yanları vurgulanacaktır.



A, B, C türü başlıkların süreksizlik gösterdiği noktalar *özel düğüm noktaları*, diğerleri ise *olağan düğüm noktaları* olarak adlandırılır.

Kafes Kirişler Bulonlu Düğüm Noktaları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Olağan Düğüm Noktaları

- Başlık çubuğu sürekli, örgü çubukları başlık çubuğuna bayrak levhası adı verilen düğüm noktası levhası aracılığı ile bağlanır.
- Örgü çubuklarını bayrak levhasına bağlayan birleşim aracı (bulon) sayısı örgü çubuğu kuvvetine göre saptanır.
- Başlık çubuğunu bayrak levhasına bağlayan bulon sayısı ise, bu çubuğun düğüm noktasına her iki taraftan getirdiği çubuk kuvvetlerinin farkına göre hesaplanır. Çeşitli yükleme durumları göz önünden bulundurulur

$$P_{hesap} \cong 1.5 \left| \left(\max N_{sol} - \max N_{sağ} \right) \right| \leq |N_{max}|$$

alınması güvenli olur

- Başlık çubuğu sürekli gittiğinden, bayrak levhasının çubuk eksenleri ile yaptığı açı $\geq 30^\circ$ olduğu sürece bu levhada kontrol gereksizdir. Bayrak levhası kalınlığı, bütün düğüm noktalarında eşit olmak üzere 8, 10, 12 veya çok ender 14 mm'dir. Bayrak levhalarında ideal biçim dikdörtgendir, en azından iki kenarı birbirlerine paralel olmalıdır. Çıkıntılı köşe bulunmamalıdır.

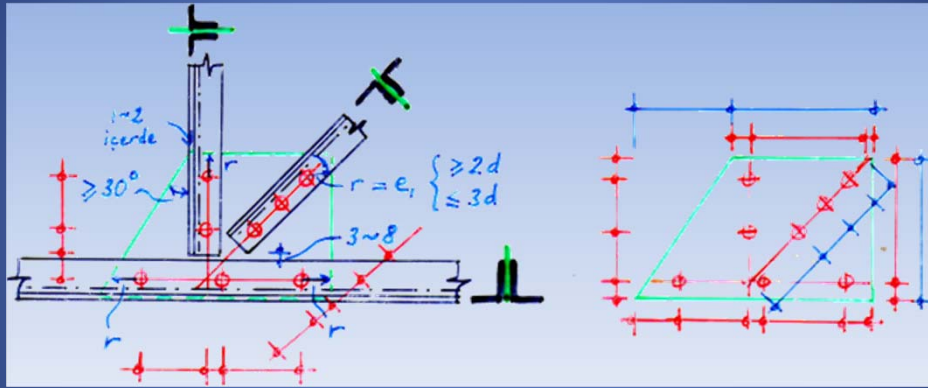
Kafes Kirişler Bulonlu Düğüm Noktaları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Düğüm noktası çizim adımları:

- Çubuklar eksenleriyle çizilir. (İmalat kolaylığı açısından bulon delik eksenleri bir noktada kesiştirilir.)



- Çubuk kenar çizgileri çizilir, aralarında 3 – 8 mm kalacak şekilde örgü çubukları uçları belirlenir.
- Bulon aralıkları minimuma yakın seçilerek örgü çubukları yerleştirilir ve bayrak levhası boyutlanır.
-Gerekli boyutlar yazılır.

Kafes Kirişler Bulonlu Düğüm Noktaları



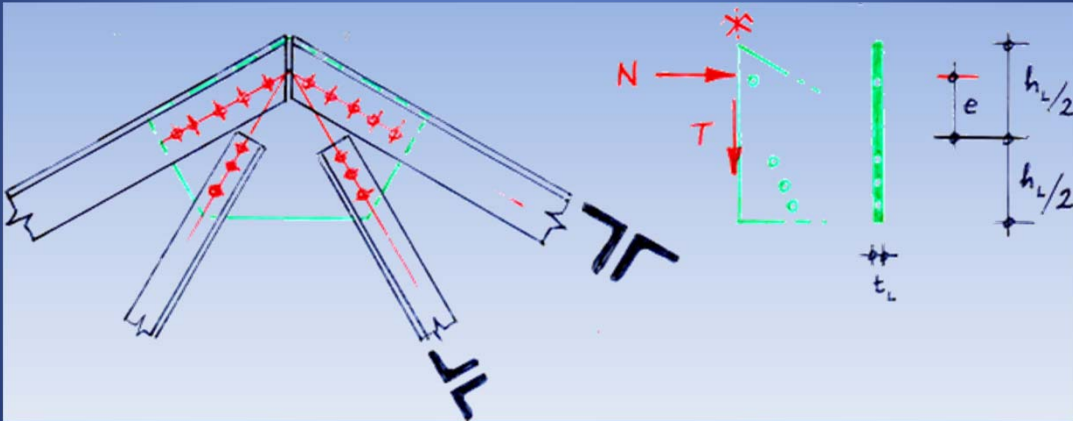
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Özel Düğüm Noktaları

Bu noktalarda başlık çubukları da süreksiz olduklarından, bütün çubuklar bayrak levhalarına aktardıkları maksimum kuvvete göre bağlanırlar.

- **Mahya düğüm noktası:**

Olağan düğüm noktasından farklı olarak bayrak levhası kontrol edilir.

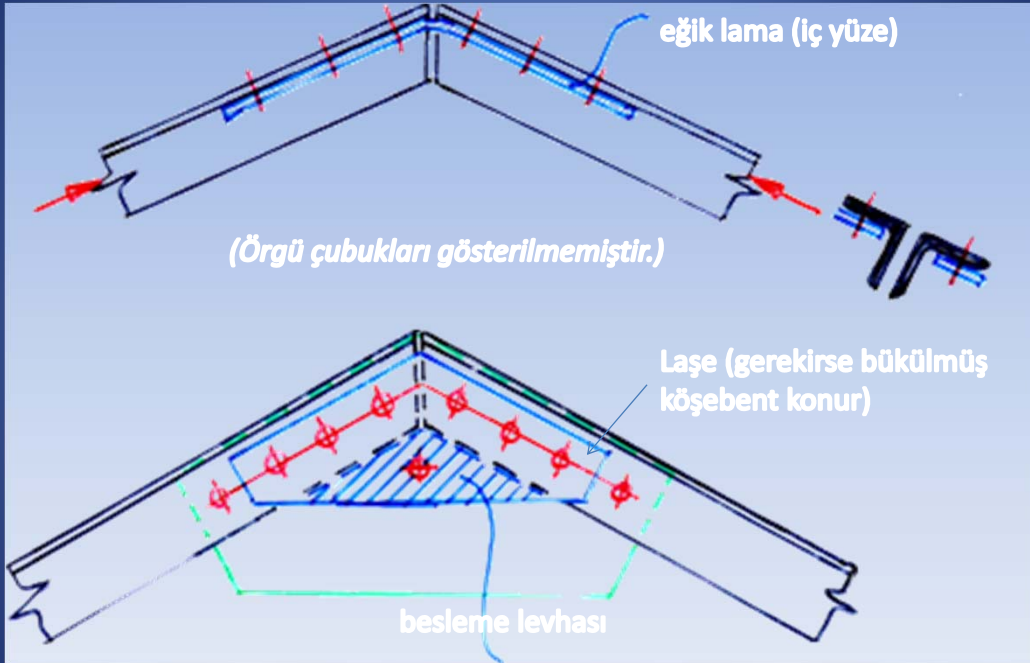


(N, T: Levhanın bir taraftan diğer tarafa aktardığı kuvvetlerin yatay ve düşey bileşenleridir.)

Kafes Kirişler Bulonlu Düğüm Noktaları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

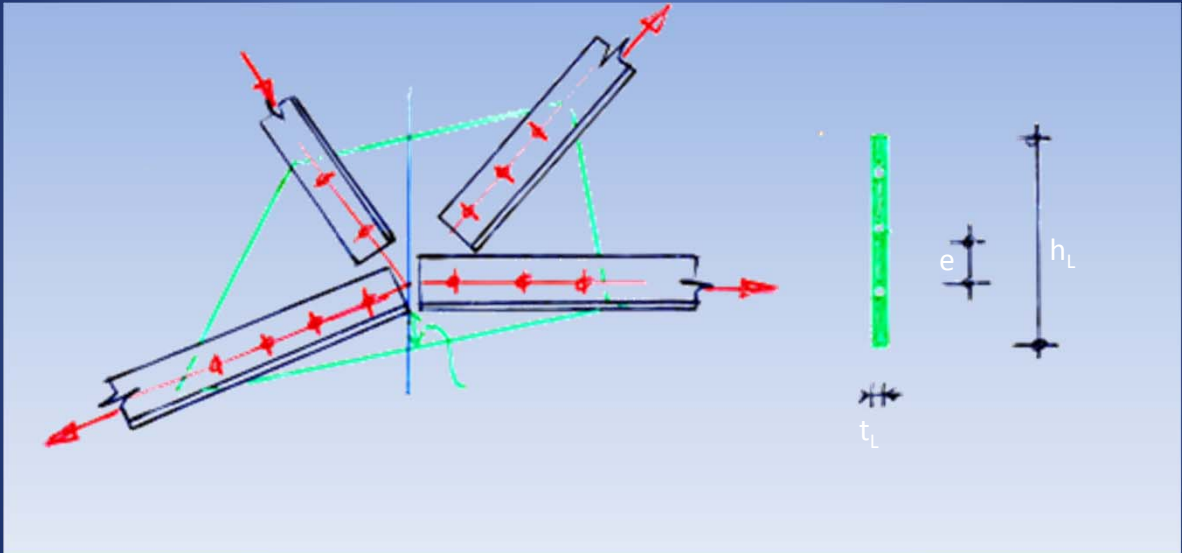


Kafes Kirişler Bulonlu Düğüm Noktaları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

- Alt başlık kırık noktaları

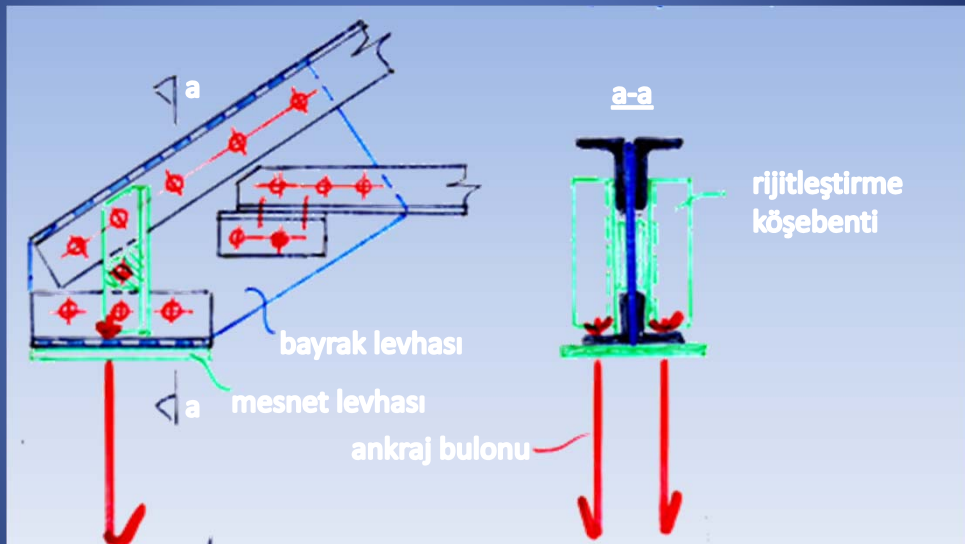


Kafes Kirişler Bulonlu Düğüm Noktaları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

- Mesnet düğüm noktası



Kafes Kirişler Kaynaklı Düğüm Noktaları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Olağan Düğüm Noktaları

$l' \leq \frac{h-(t+r)}{\sin \beta}$
 olmalı

Yetmezse:

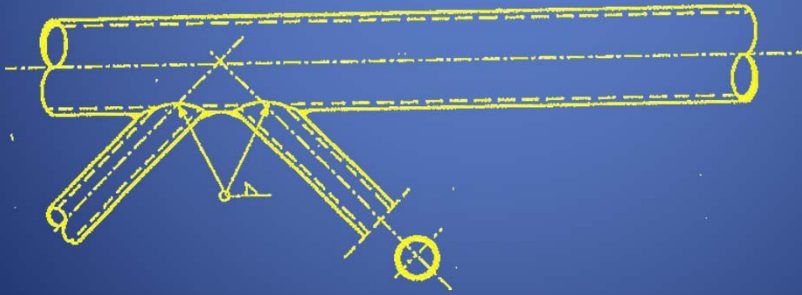
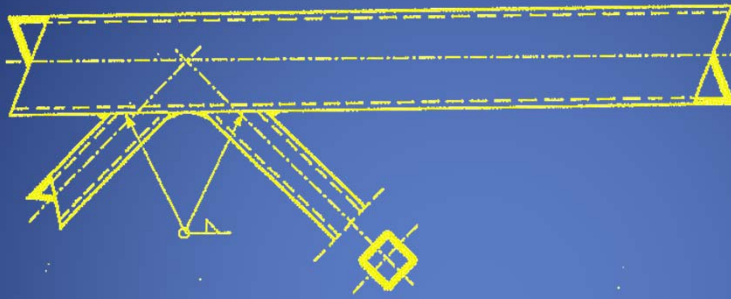
Küt kaynakta : $P' = \frac{l_1}{l} P$
 $N = P' \sin \beta$
 $T = P' \cos \beta$ } kontrol yapılır
 (küt kaynak orta noktası birleşime göre ortalanırsa M olmaz)

Farklı enkesitli örgü çubuklarında da benzer uygulama yapılır. T enkesitli örgü çubuklarında birleşimde karma kaynak dikişi bulunur.

Kafes Kirişler Kaynaklı Düğüm Noktaları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



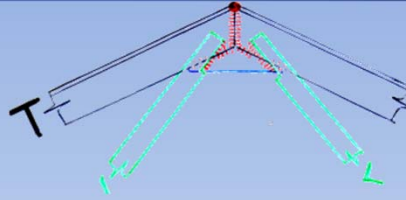
Kafes Kirişler Kaynaklı Düğüm Noktaları



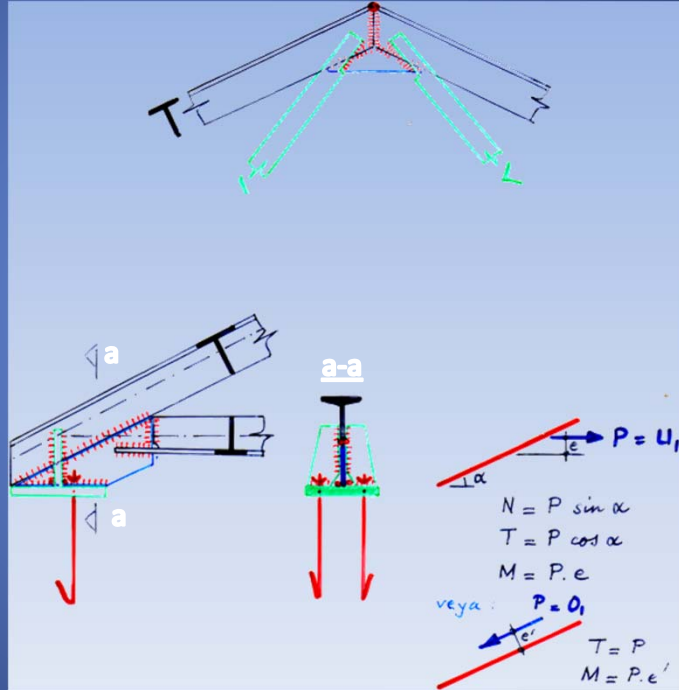
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Özel Düğüm Noktaları

- Mahya Düğüm Noktası



- Mesnet Düğüm Noktası



Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Çelik endüstri yapıları ve bina türü tapılar kolon ve kirişlerden oluşurlar. Yapıların yatay yükler altında stabilitesinin sağlanması için yeterli taşıma gücü ve rijitliğe sahip elemanlara gereksinimi vardır. Yapıya etkiyen yatay yükleri şu şekilde sınıflandırabiliriz:

Dış yatay yükler: Rüzgar yükleri, yer hareketleri, kren kirişlerinden kaynaklanan yükler, makinelerden kaynaklanan yükler, çarpma, patlama yükleri, deprem yükleri.

İç yatay yükler: Basınç etkisindeki yapı elemanların veya enkesit parçalarının, eğik duruşundan ve ön eğilmesinden kaynaklanan, etkileri geometrik ve fiziksel lineer olmayan taşıyıcı sistem davranışını arttıracı yükler.

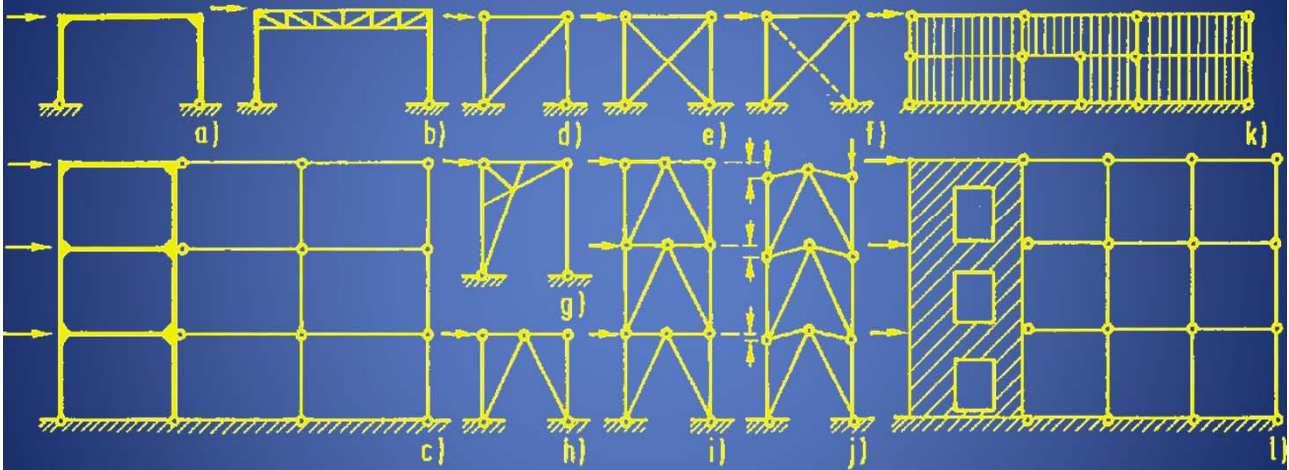
Isı etkileri: Statik açıdan belirsiz rijitleştirme sistemlerinde zorlamalara neden olabilecek yükler.

Ön germe: Rijitleştirme sistemlerinde belirli bir yükleme durumu için planlı olarak uygulanan, basınç dayanımı zayıf çekme elemanlarının devre dışı kalması olasılığını azaltan veya tamamen ortadan kaldıran yükleme durumu.

Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Sistemler



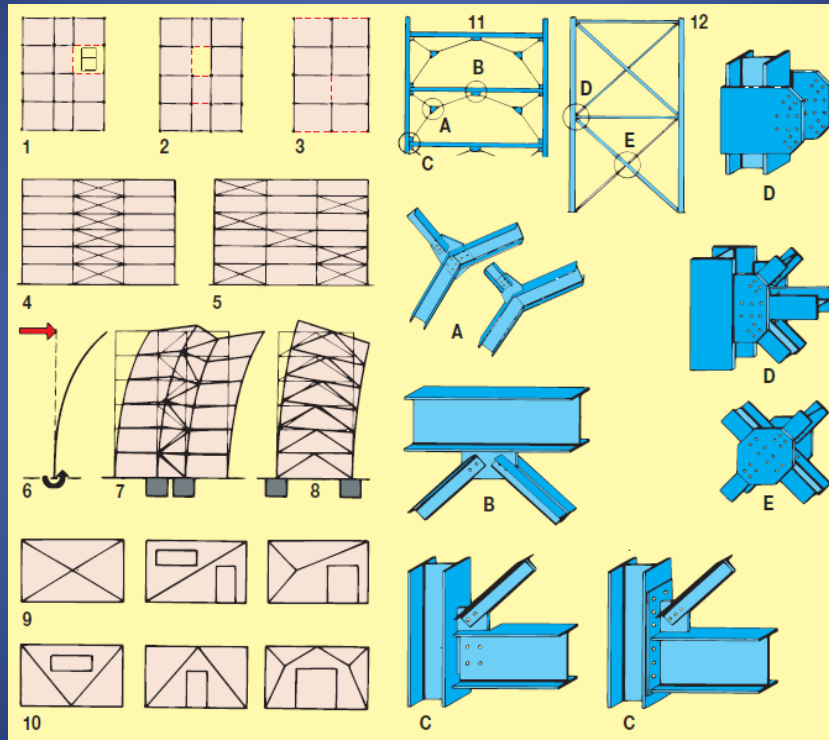
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Çaprazlar ile rijitleştirme



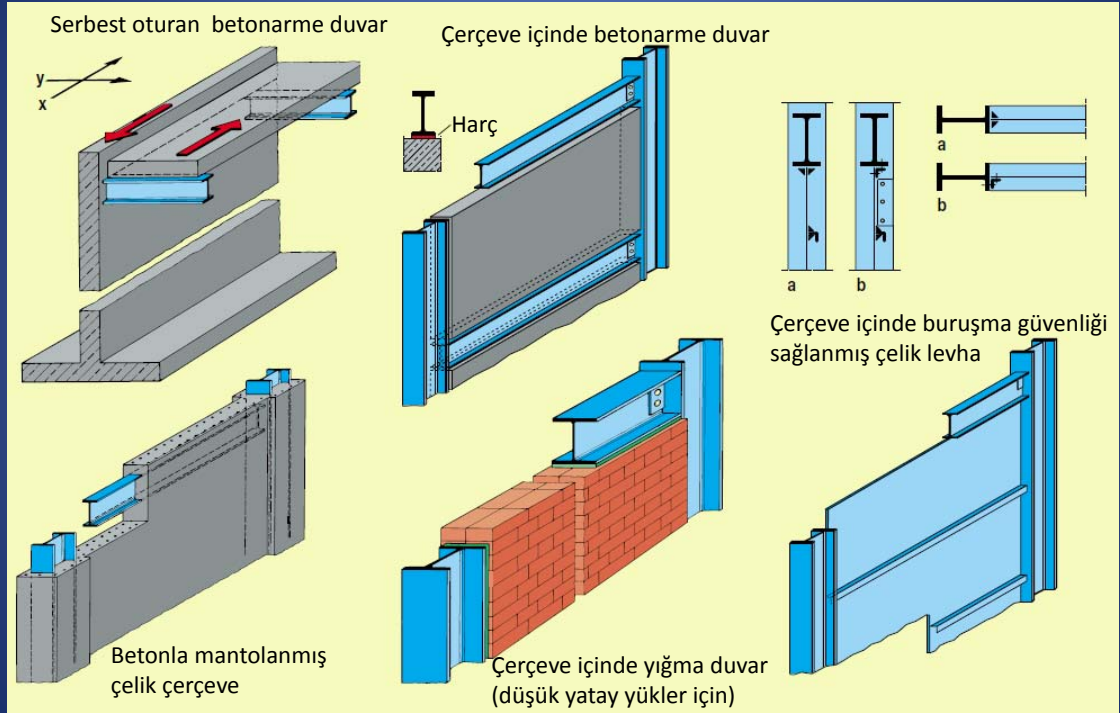
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Plaklar ile rijitleştirme



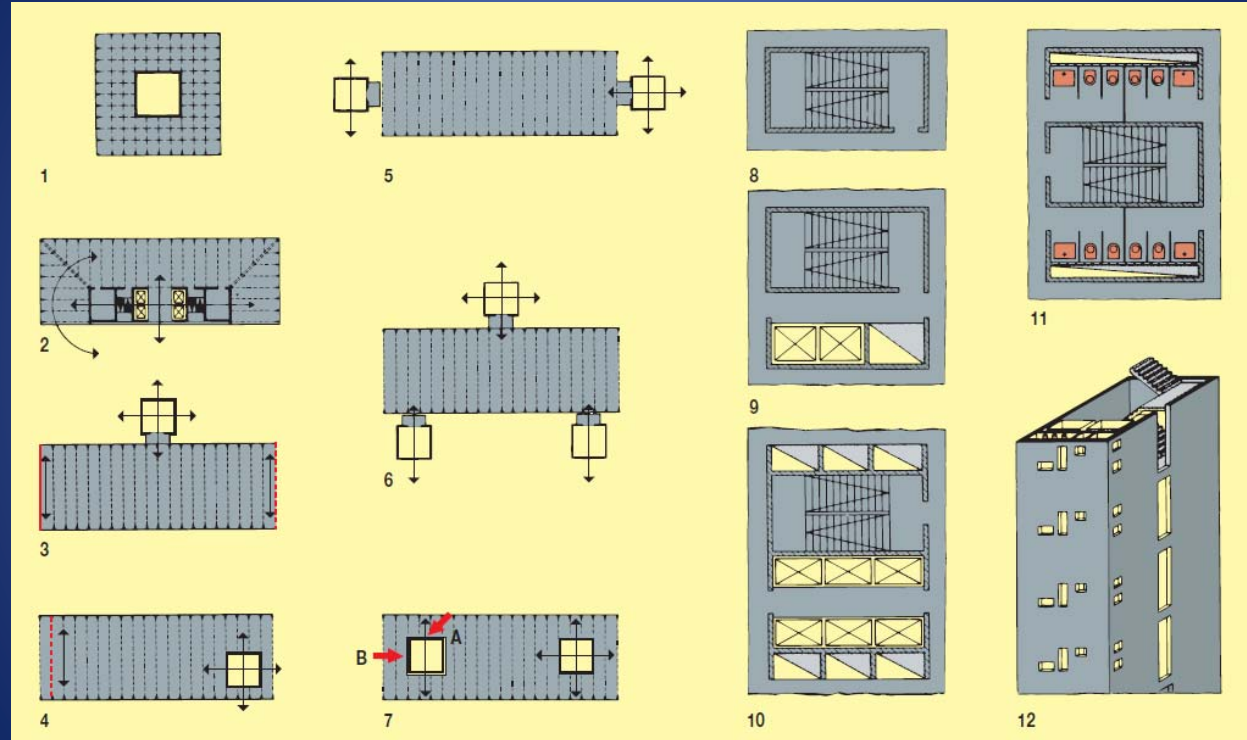
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Çekirdekler ile rijitleştirme



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

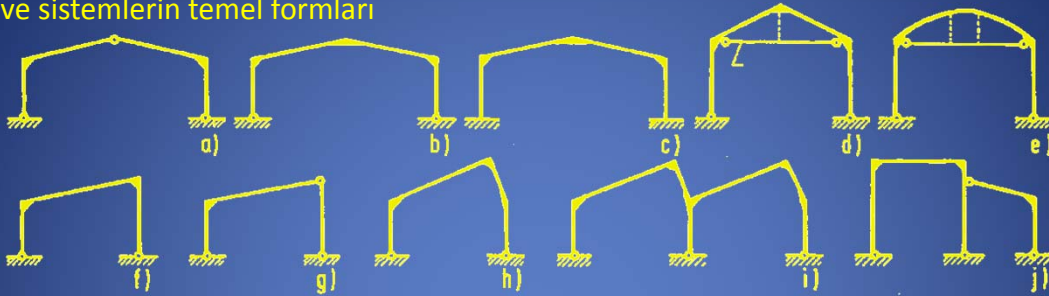


Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Endüstri yapıları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

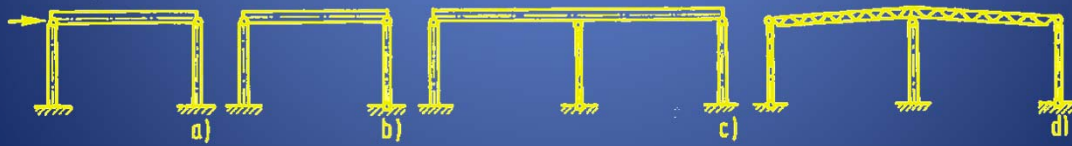
Çerçeve sistemlerin temel formları



Kolon ve kirişlerin teşkili



Temele ankastre kolonlarla teşkil edilmiş sistemler

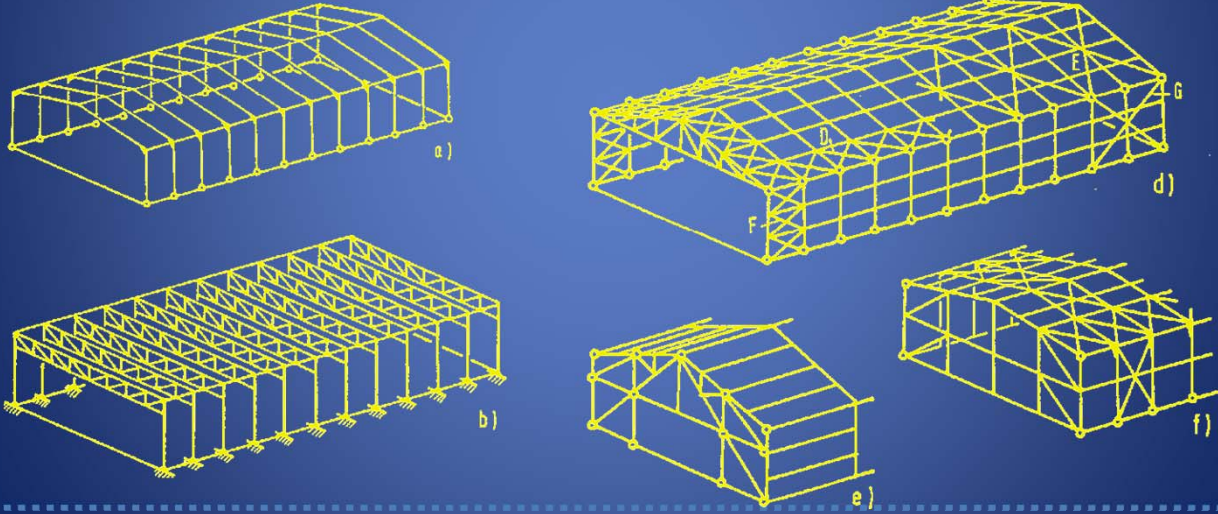


Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Endüstri yapıları – Enine rijitleştirme



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

Çelik endüstri yapıları yapılarında tek ve çok açıklıklı olarak teşkil edilirler. Kolonsuz bir iç hacim elde etmek için enine doğrultuda çoğunlukla çerçeve sistemler seçilir. Enine doğrultuda rijitleştirmede genelde çaprazlar, diyagonaller kullanılsa da, nadir de olsa temele ankastre, çatı kirişlerine mafsallı veya moment aktaracak şekilde bağlı kolonlar seçilebilir. Bu temele ankastre kolonlarla oluşturulan sistemler diğer çaprazlarla veya plak türü rijitleştirmelerle oluşturulan sistemlere göre daha az rijittir ve malzeme açısından ekonomik değildir. Bu sistemlerin yerine kısa endüstri yapılarında çatı düzleminde boyuna doğrultuda çaprazlar teşkil edilerek yatay yüklerin kalkan duvara aktarılması mümkün olmaktadır.

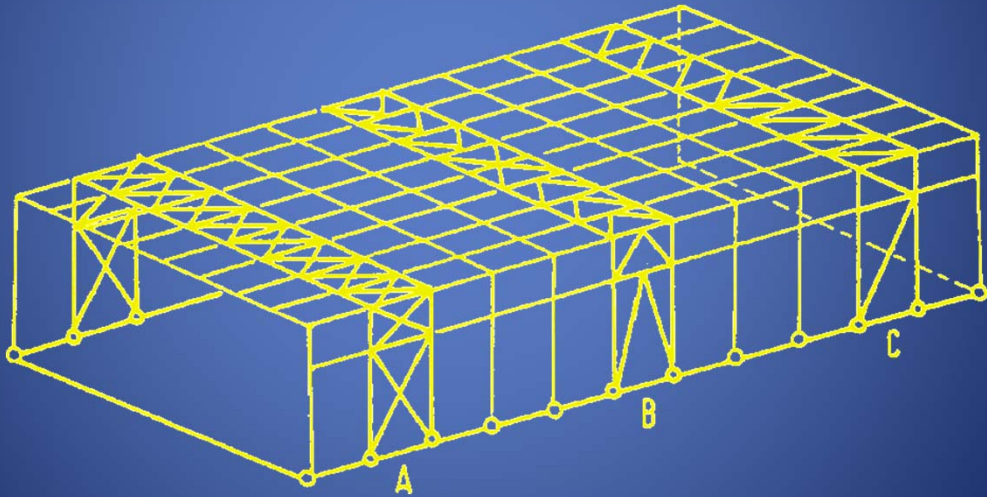


Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Endüstri yapıları – Boyuna rijitleştirme



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

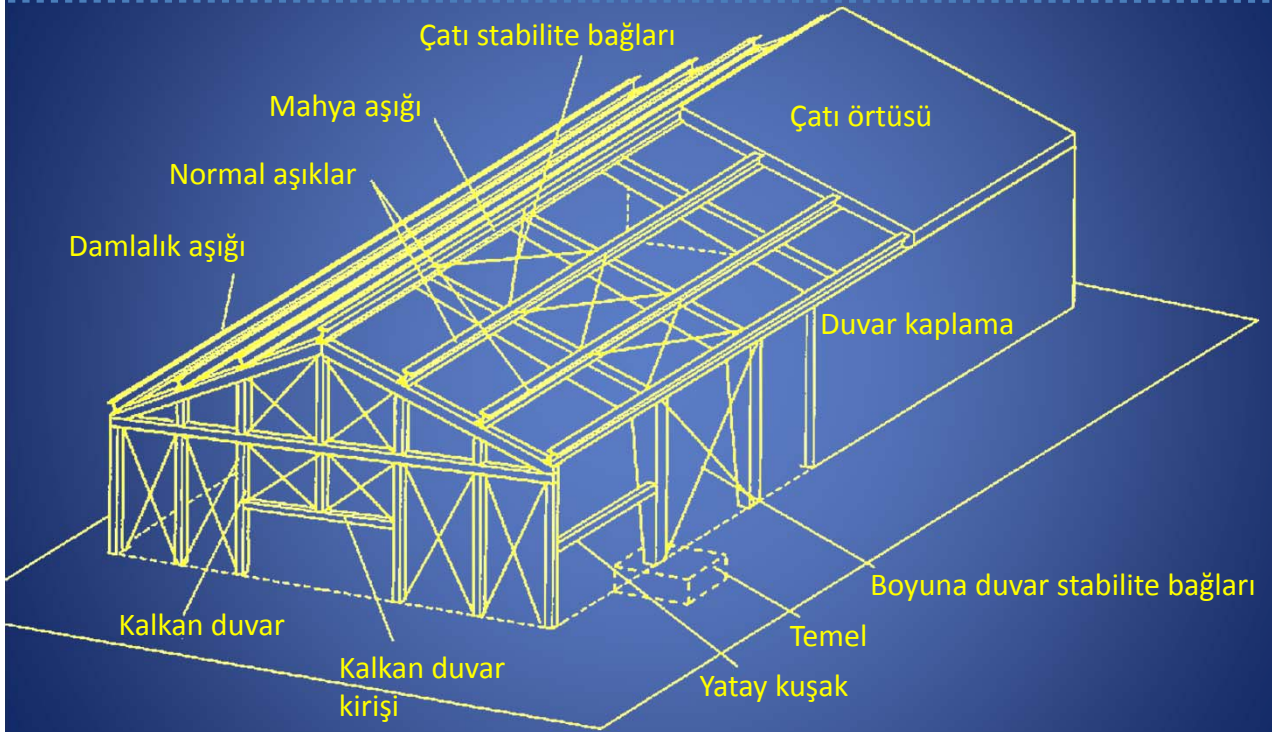
Çelik endüstri yapıları yapılarının boyuna doğrultuda rijitleştirilmesinde genel olarak çapraz duvarlar kullanılır. Çatı çaprazları kalkan duvarlara etkiyen rüzgar yüklerini boyuna doğrultudaki duvarlara aktarır. Bunun ötesinde çatı çaprazları basınç etkisindeki kalkan duvar kolon ve çatı makası üst başlıkları stabilize kuvvetlerini karşılar. Çatı çaprazlarından boyuna doğrultuda duvarlara aktarılan kuvvetlerin taşınması düşey çaprazlar, K-diyagonaller ile sağlanır.



Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Endüstri yapıları



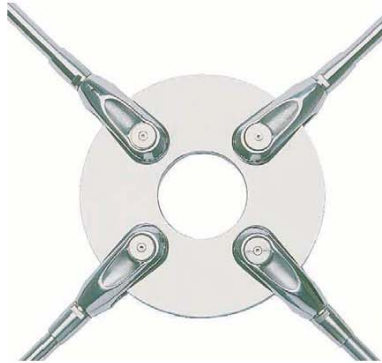
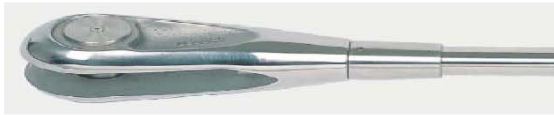
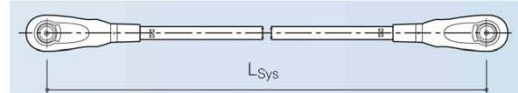
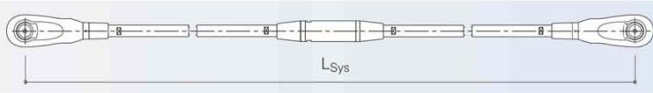
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çelik Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Ön üretimli gergi çubukları



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Gergi çubuğu hesap sınır çekme kuvveti

	M 12	M 16	M 20	M 24	M 27	M 30	M 36	M 42	M 45	M 48	M 52	M 56	M 60	M 64	M 68	
ASDO 350-S	31	58	91	131	168	207	299	406	467	531	623	723	830	944	1.065	kN
ASDO 520-S	31	80	125	179	234	285	416	571	665	750	895	1.033	1.202	1.362	1.555	kN
ASDO 690-S														1.479	1.689	kN

	M 72	M 76	M 80	M 85	M 90	M 95	M 100	M 105	M 110	M 115	M 120	M 130	M 140	M 150	M 160	
ASDO 350-S	1.195	1.331	1.475	1.665	1.866	2.080	2.304	2.540	2.788	3.047	3.318	3.894	3.753	4.308	4.736	kN
ASDO 520-S	1.761	1.980	2.212	2.519	2.734	3.046	3.375									kN
ASDO 690-S	1.912	2.150	2.401	2.735	3.090	3.467	3.866	4.005	4.418	4.851	5.305	6.273	7.322	8.453	9.664	kN

Gergi çubuğu maksimum standart boyu

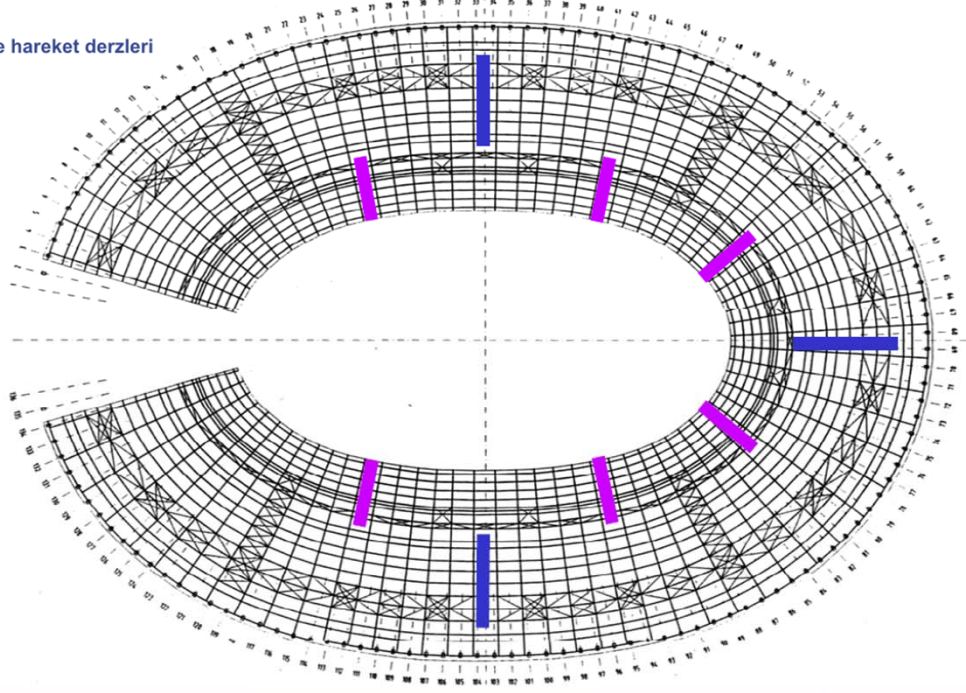
	M 12 - M 36	M 42 - M 60	M 64 - M 100	M 105 - M 160	
ASDO 350-S	12.000		16.000		mm
ASDO 520-S	12.000		16.000		mm
ASDO 690-S				12.000	mm

Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Uygulama – Berlin Olimpiyat Stadi



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

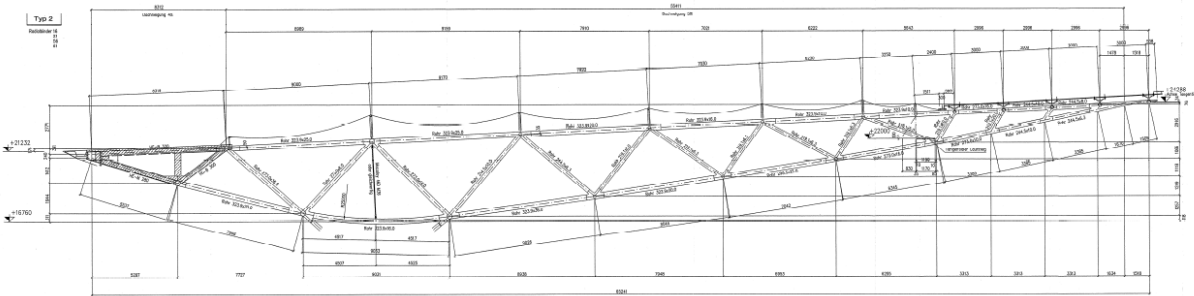
Stabilite bağları ve hareket derzleri



Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Uygulama – Berlin Olimpiyat Stadı



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Uygulama – Berlin Olimpiyat Stadı



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Taşıyıcı Sistemin Rijitleştirilmesi Uygulama – Berlin Olimpiyat Stadı



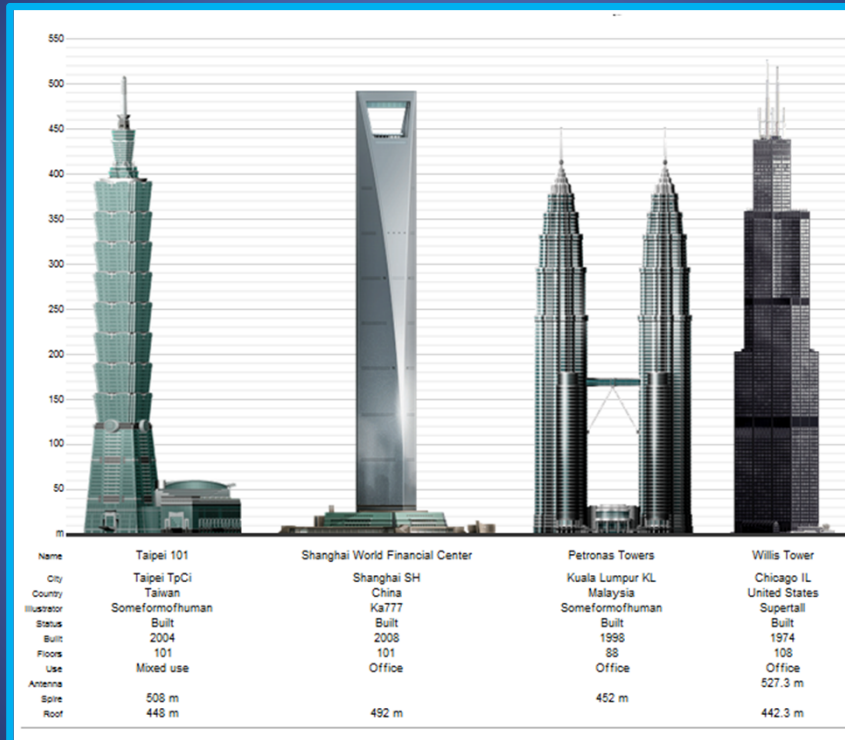
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çok Katlı Çelik Yapılar



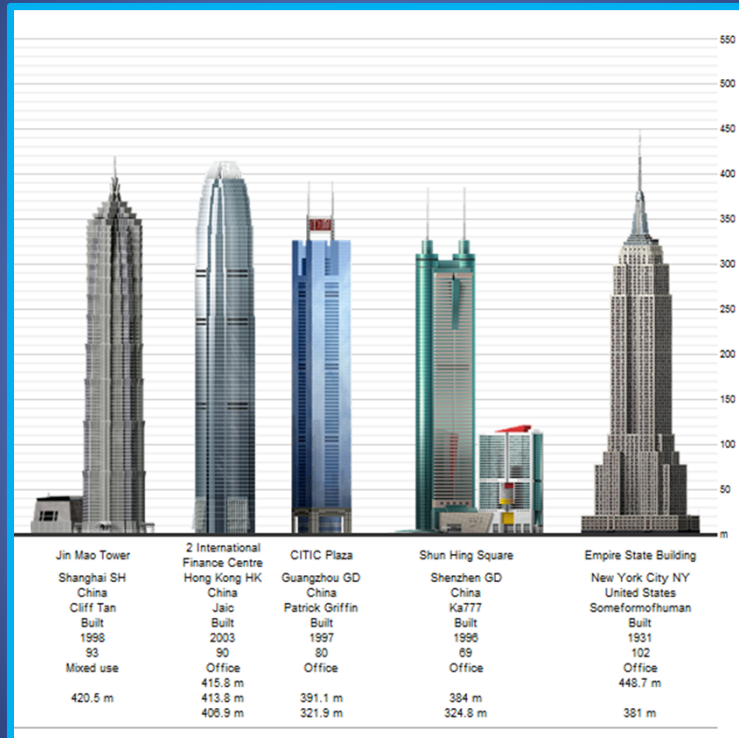
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çok Katlı Çelik Yapılar



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çok Katlı Çelik Yapılar Sistem Tipleri



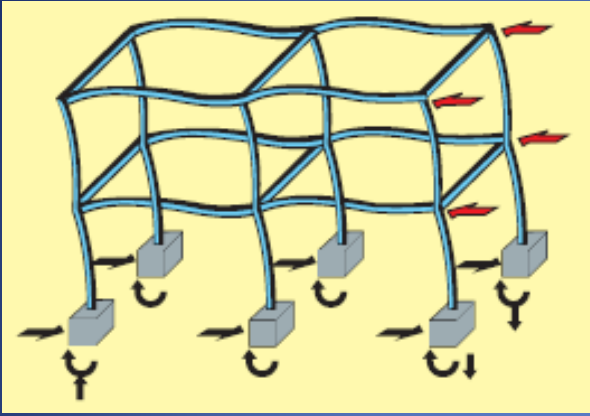
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çok Katlı Çelik Yapılar Rijit çerçeveler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Rijit çerçevelerde kolon ve kirişler birbirlerine moment aktaracak şekilde bağlanmıştır. Bu tür sistemler 20 kattan yüksek yapılar için efektif değildir.

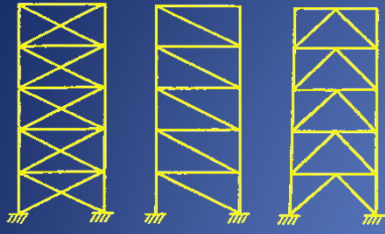
Lever House, New York, USA, 1952



Çok Katlı Çelik Yapılar Çaprazlı çerçeveler



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

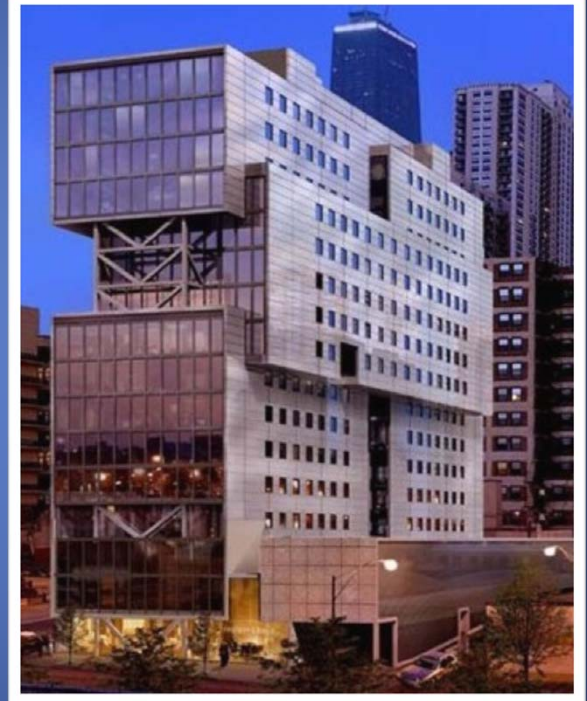
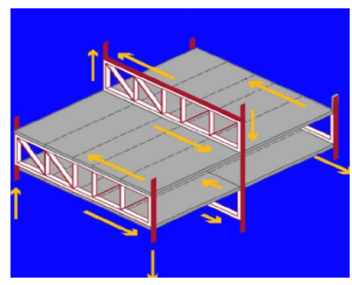
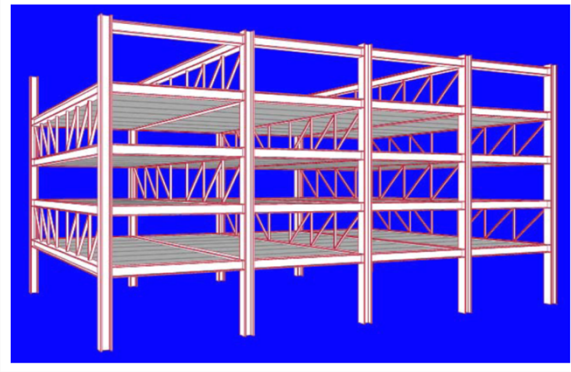


Empire State Building, New York, USA, 1931

Çok Katlı Çelik Yapılar Şaşırtmalı kafes kirişli sistem



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

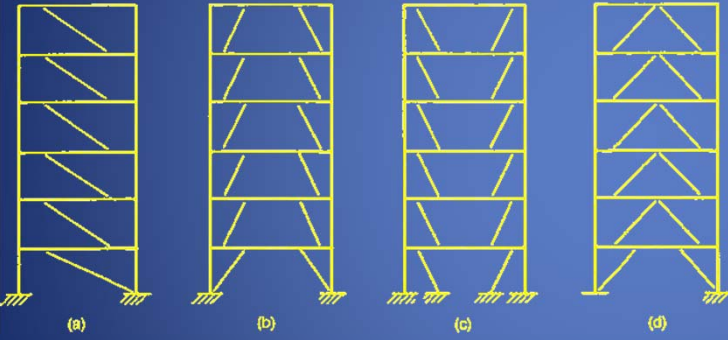


Staybridge Suites, Chicago, USA, 2008

Çok Katlı Çelik Yapılar Dış merkez çaprazlı çerçeveler



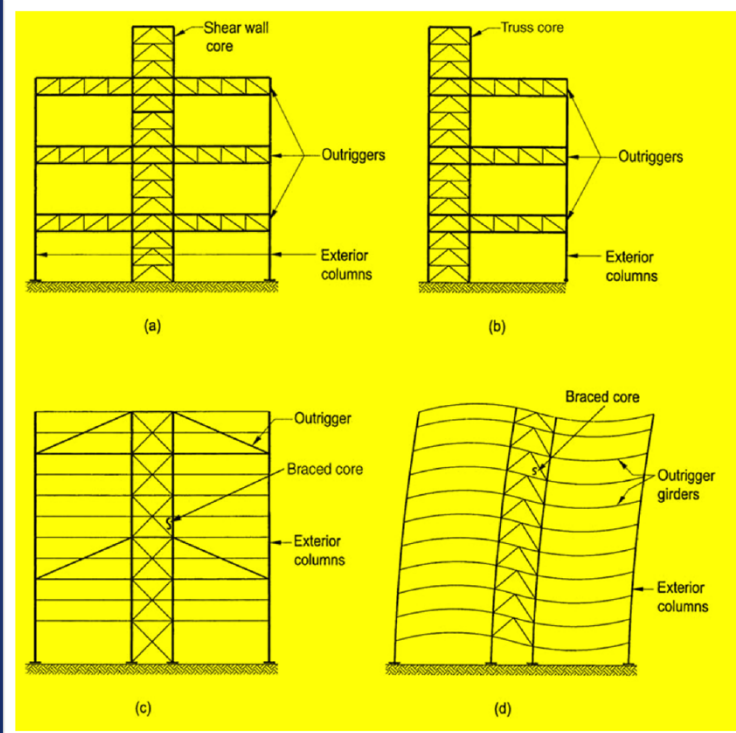
Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Çok Katlı Çelik Yapılar Denge ve kuşak kafes kirişli sistem



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

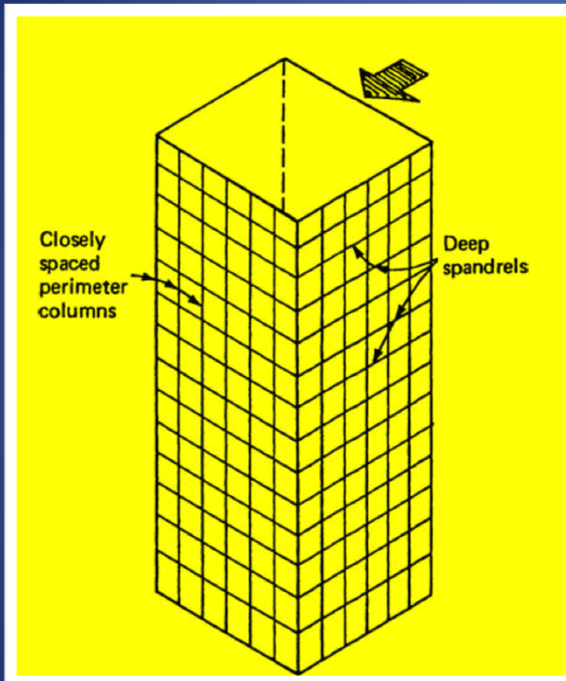


First Wisconsin Center, Milwaukee, USA, 1974

Çok Katlı Çelik Yapılar Tüp sistem



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

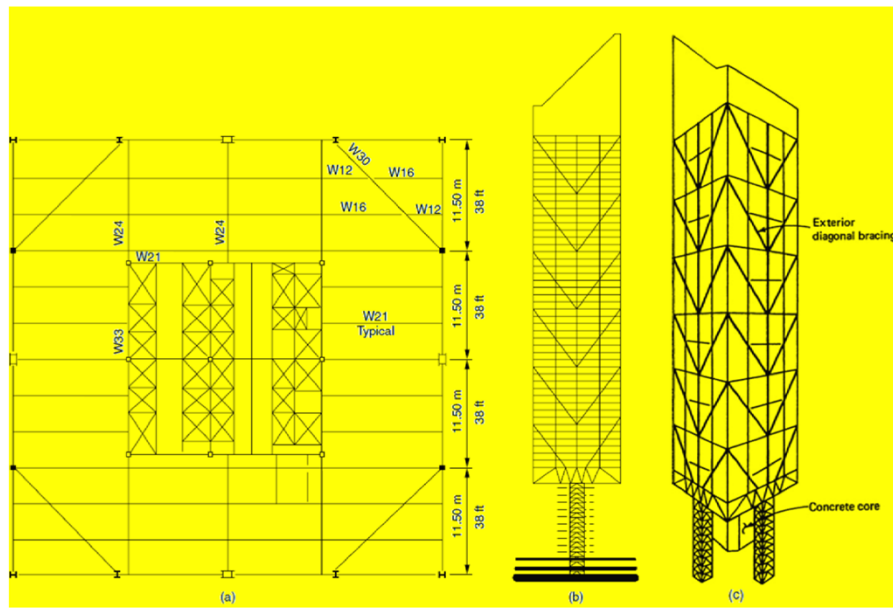


DeWitt-Chestnut Apartment Building, Chicago, USA, 1965

Çok Katlı Çelik Yapılar Kafes tüp sistem



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu

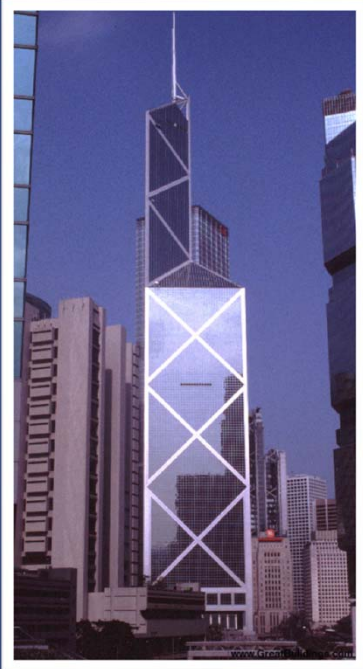


Citigroup Center, New York, USA, 1977

Çok Katlı Çelik Yapılar Kafes tüp sistem



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



Bank of China Tower, Hong Kong, China, 1990

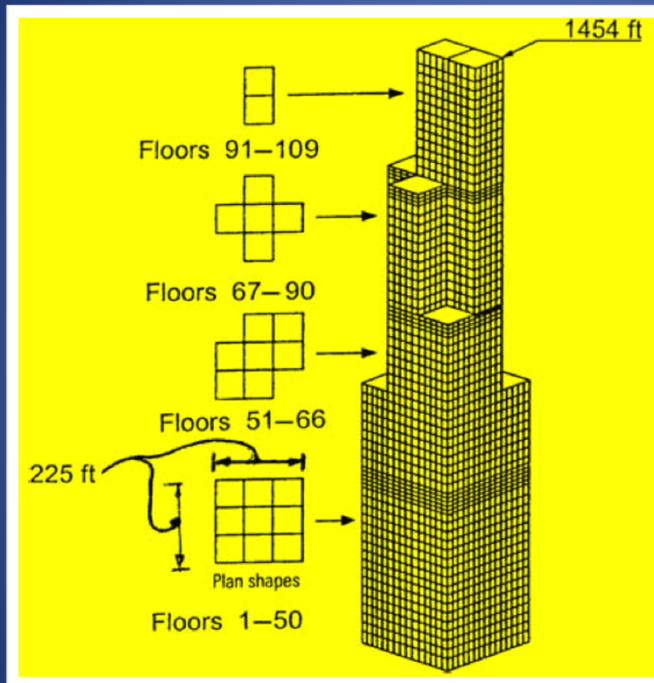


John Hancock Center, Chicago, USA, 1969

Çok Katlı Çelik Yapılar Demet tüp sistem



Y. Doç. Dr. Cenk Üstündağ
İTÜ Mimarlık Fakültesi - Mimarlık Bölümü
Yapı ve Deprem Mühendisliği Çalışma Grubu



The Sears Tower, Chicago, USA, 1974