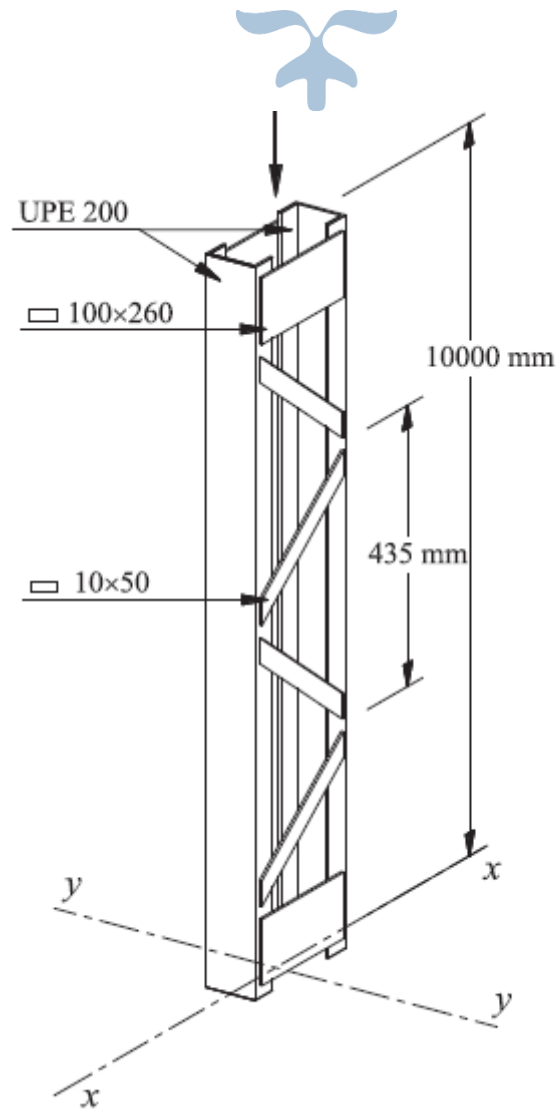




ÇELİK YAPILAR

Prof. Dr.
Abdulkadir KAN



1-GİRİŞ

Demirin¹ ilk kez M.Ö. 1500 yıllarında Kuzeydoğu Anadolu ve Kafkasya'da üretilip kullanıldığı bilinmektedir. Diğer yapı malzemelerine göre daha esnek ve güçlü olan çelik; geniş açıklıkların oluşturulmasında getirdiği fayda ile mimari tasarımların çeşitlenmesini ve fonksiyonelliğin öne çıkmasını sağlamıştır. Günümüzde sanayi yapıları, spor tesisleri, ulaşım yapıları ve sahneler gibi geniş açıklıklara gereksinim duyan yapılar çelik yapı sistemleri özgürce tasarlanabilmektedir. Yapısal taşıyıcı olarak çelik ülkemizde yeterince kullanılamamaktadır.

ÇELİK NEDİR?

Ham demirin çelik üretim fırınlarında ikinci bir işleminden geçirilmesinden sonra elde edilen üründür. Dünyanın en önde gelen yapı malzemesi olan çelik, ağırlıkça yüzde 0,2 ile 2 arasında karbon içeren bir demir alaşımıdır.

Çelik içerisinde %0,2-2 ye kadar karbon, %1'e kadar mangan, %0.5'e kadar silisyum, %0.05 den az kükürt ve fosfor bulunan *demir – karbon* alaşımıdır. Karbon oranı %2 den fazla olan demir karbon alaşımına da dökme demir denir.

Ham demir veya dökme demirler sert ve kırılğan olduklarından haddelenmeye ve biçimlendirilmeye uygun değildirler. Her maksada cevap verebilecek daha elverişli bir alaşım elde edebilmek için ham demirin içerisindeki Karbon (C), Manganez (Mn), Silisyum (Si), Fosfor (P) ve Kükürt'ün (S) yakılması ve krom, nikel molibden gibi bazı ilave maddelerin katılması gerekir. Bu işlem sonunda elde edilen birçok özelliğe sahip malzemeye çelik denir. Çelik, su verilerek veya başka madenlerle birleştirilerek çok sert bir hale sokulabilir. Çelik, demirden çok daha sert ve daha hafif olup, daha iyi işlenebilir.

Karbonun etkisi: Temel elemanı demir ve karbon olan günümüz teknolojisinin en önemli alaşımı çeliğin mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi son derece önemlidir. Karbonun yapıdaki miktarı ve dağılımı çeliğin mekanik özelliklerini belirler. Karbonun demire kazandırdığı özellikler şunlardır;

1. Çeliğin sertliğini artırır (karbon oranı % 0,8 'e kadar),
2. Çeliğin dayanımını artırır
3. Yapıda (!) grafit halde bulunması durumunda, aşınma direncini artırır.

Özellikle düşük ve orta miktarda karbon ihtiva eden çelikler (karbon oranı % 0,2 - 0,8 arasında), her türlü şekillendirme yöntemi ile işlenebilir. Bu çelikler, soğuk ve sıcak dövülebilir, çekilebilir, preslenebilir ve her türlü talaşlı imalat yöntemleri ile şekillendirilebilir (DKP sac nedir?). Bu sınıftaki çelikler yapısal çelik imalatında kullanılır. Düşük karbonlu çelik, makine imalat sektörün en önemli malzemesidir. Şekillendirilmeleri zor olan yüksek karbonlu çelikler (karbon oranı % 1-1,7 arasında) ise yüksek mukavemete sahiptir ve takım çeliklerinin yapımında kullanılır.

ÇELİĞİN TARİHÇESİ

19. YY başlarına kadar çelik üretimi teknoloji açısından pek gelişmemiştir. Demir filizi odun kömürü ile ergitilmeye çalışılıyordu. Fırınlar ise maden yataklarına yakın orman kenarına kuruluyordu. Çelik üretiminde maden kömürüyle birlikte kok kömürünün kullanılmasına ilk defa İngiltere'de başlandı. Ancak yüksek fırınların gelişimi 19. YY ilk yarısında oldu.

Çeliğin gelişimi, 4000 yıl geriye, Demir Çağı'nın başlangıcına kadar götürülebilir. Önceleri en çok kullanılan metal olan bronz'dan daha sert ve daha güçlü olduğunu kanıtlayan demir, silah ve alet yapımında bronz madeninin yerini almaya başlamıştır. Demir cevherinden demir elde eden ilk topluluğun M.Ö. 2000 yıllarında Hititler olduğu kabul edilmektedir. Gerçekte ise değişik zaman ve yerlerde farklı topluluklar demiri keşfetmiş, onun üstün özelliklerinden yararlanarak kendilerine çeşitli araç ve gereçler yapmışlardır. 1700-1800' lerde izabe² teknolojisinin gelişmesi ile demirden çok daha üstün özelliklere sahip olan çelikler üretilmeye başlanmıştır. Şekil 1 de Severn nehri üzerindeki 1779'da Coalbrookdale'de dökümü yapılan dünyanın ilk dökme demir köprüsü görülmektedir.

Çelik, sağlamlığı, özellikle esneklik ve uzama nitelikleri sayesinde dökme demirin ve demirin yerini aldı. Bessemer (1855), Martin (1856), Thomas (1878) yöntemleri çeliğin endüstrileşmesini sağladılar. 1889 Uluslararası Paris Sergisi demirin doruğa ulaşmasını kutlarken, kısa bir süre sonra 1900 Evrensel Sergisi çeliğin zaferini ortaya koydu. Modern mimarlığa damgasını vuran yeni kuşak 20. yy.'ın başlarında çeliği daha yaygın olarak kullanmaya başladı. Gropius (Fagus fabrikaları, 1929), Pierre Chareau (Paris'te Dr. d'Alsace'ın evi, 1928), Mies Van der Rohe (

¹ **Demir**, atom numarası 26 olan kimyasal element. Simgesi Fe dir. 1538 °C de erir, 2861 °C kaynar.

² İzabe; madenleri ergitme, sıvı durumuna getirme. melting, smelting

Barcelona Sergisi'ndeki Alman Pavyonu, 1929) bu dönemin önemli uygulayıcılarıdır. Çelik, yeni mimarinin geliştirilmesindeki önemli rolünü günümüzde de sürdürmektedir.

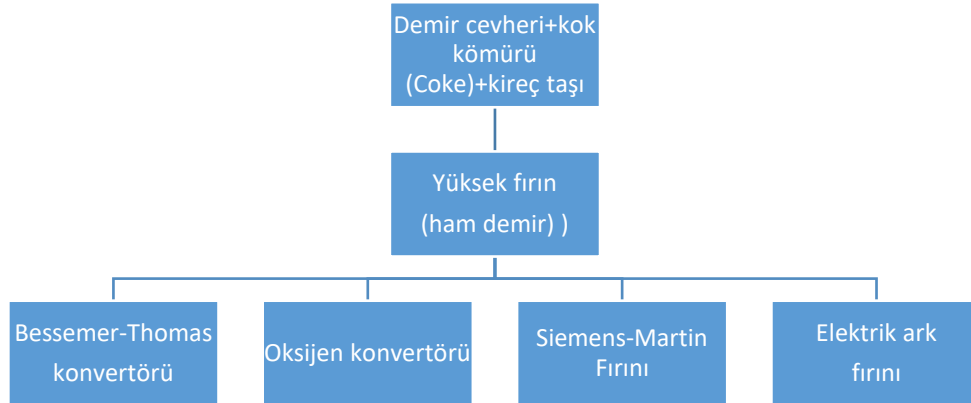


Şekil 1. Coalbrookdale köprüsü, Severn Nehri -UK

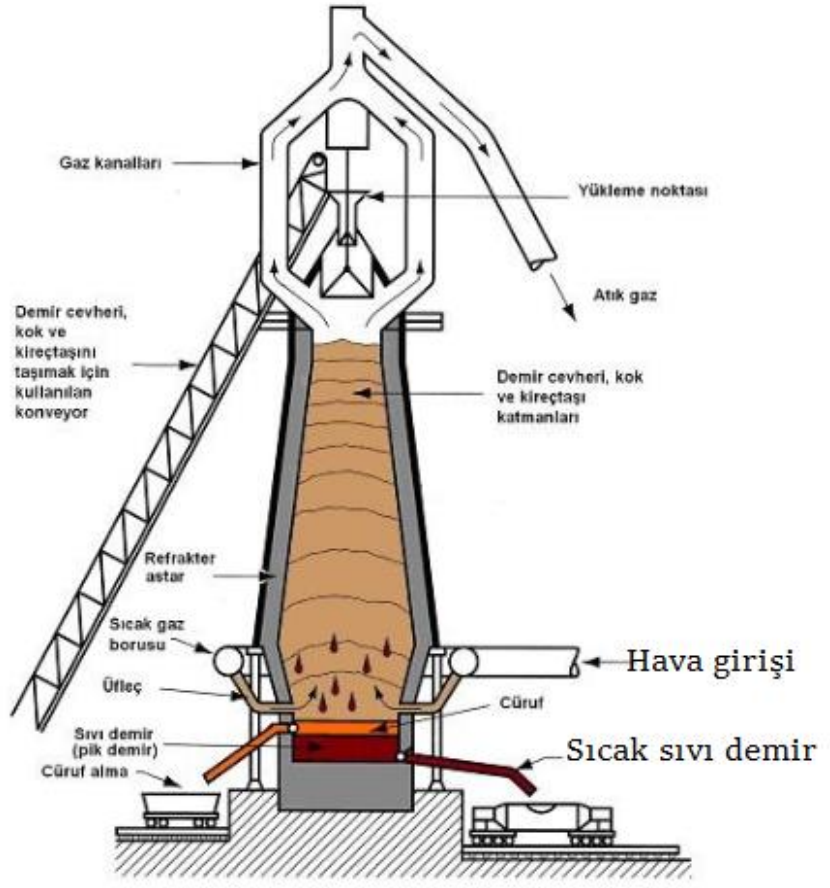
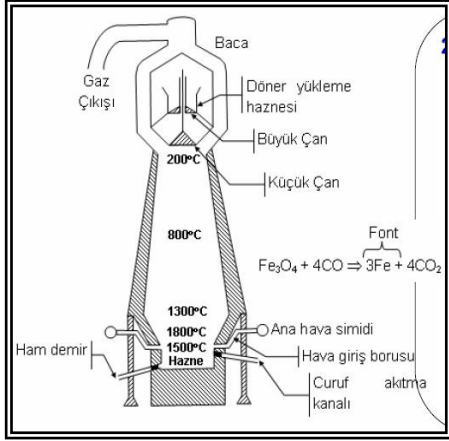
ÇELİĞİN ELDE EDİLMESİ

Elde edilmesi ve içinde bulunan maddelerin oranları bakımından çeşitli adlar alır. Çelikler, elde edilişleri bakımından; Siemens-Martin çeliği, Bessemer çeliği, Thomas çeliği ve Elektro çeliği olarak dörde ayrılırlar. Bunların dışında; Krom çeliği, Manganez çeliği, Tungsten çeliği, Molibden çeliği, Silisyum çeliği gibi alaşımlı çelikler vardır. Paslanmaz çelik, içerisinde %10-11 arası krom bulunan çelik-krom alaşımıdır. Bu sayede korozyon direnci artırılmıştır.

Yüksek fırınlara üretimlerinin artması için doğurganlık özelliği nedeniyle kadın isimleri verilmiştir. İskenderun Demir-Çelik Fabrikası'nda Cemile, Ayfer, Gönül isimlerinde 3 adet, Ereğli Demir Çelik Fabrikası'nda Ayşe ve Zübeyde olmak üzere iki adet, Karabük Demir-Çelik Fabrikası'nda ise Fatma (1939-Türkiye'nin ilk Yüksek Fırını), Zeynep (1950) ve Ülkü (1962) olmak üzere 3 adet ve toplam 8 adet yüksek fırın mevcuttur.

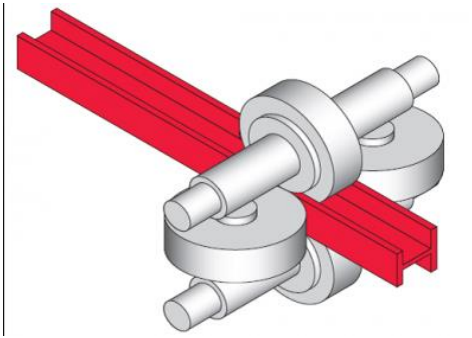


Şekil 2



Yüksek Sıcaklık Fırınlarında Çelik Üretimi Şeması

Şekil 3: Web Link: <https://docplayer.biz.tr/62458128-Ins-315-celik-yapilar-i-ders-notlari.html>



Şekil 4: Çelik haddeleme

ÇELİĞİN ÜSTÜN ÖZELLİKLERİ

Yapı çeliği, homojen, izotrop³ ve sürekli denetlenerek üretildiğinden güvenli bir malzemedir. Yüksek dayanımı nedeniyle öz ağırlığının taşıdığı yararlı yüke oranı küçüktür ve montajı tamamlandığı anda tam yükte çalışabilme özelliği vardır. Çelik, haddehanelerde işlenerek çelik yapı konstrüksiyonunda kullanılan profil ve yassı hadde mamulü olarak elde edilir. Çelik yapılar bu profillerin kesilmesi ve birbirleriyle birleştirilmesiyle oluşturulur. Malzeme olarak Çeliğin betonarme ve ahşaba nazaran şu üstünlükleri vardır.

1- Çelik homojen ve izotrop bir malzemedir. Mekanik özellikleri herhangi doğrultu boyunca değişmez.

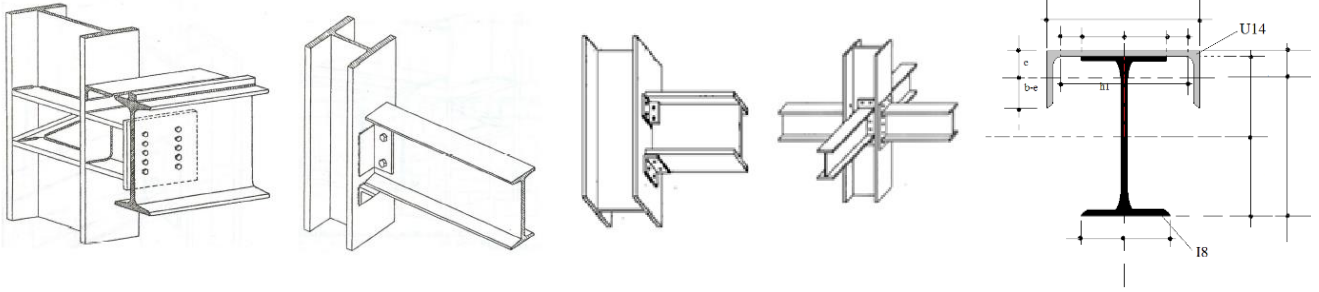
2 - Çeliğin elastiklik modülü diğer malzemelere oranla çok yüksektir. $E_c=210\ 000\ \text{kg/cm}^2$, $E_t=100\ 000\ \text{kg/cm}^2$, $E_s=2\ 100\ 000\ \text{kg/cm}^2$ (200000 MPa) dir. Dolayısıyla mukavemeti ahşap ve betonarmeye nazaran yüksek olduğundan yapıda kullanılan çelik hacmi küçülür. Çelik yapılar göreceli olarak hafiftir.

³ Isı veya mekanik yüklemelere karşı her doğrultu ve yönde aynı tepkiyi veren malzemelere izotrop malzeme denir.

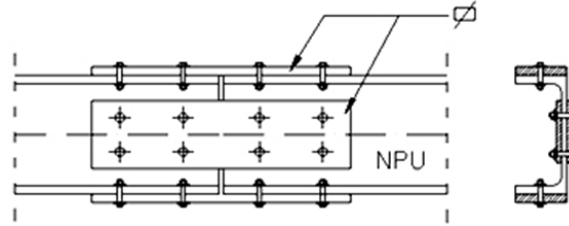
3 - *Burkulmasız durumda çeliğin çekme mukavemeti, basınç mukavemetine eşittir.* Sünek bir malzemedir. Büyük şekil değiştirme yapabilir, plastik hesaba⁴ uygundur, deprem yükleri ve zemin oturmalarını karşılamak açısından en uygun çözümler sunar.

Çeşitli çelik profil ve birleştirme aracı kullanılarak oluşturulan Çelik Yapıların (çelik konstrüksiyon) avantajları ise şöyle özetlenebilir.

- 1 - Yüksek derecede endüstriyel ön üretim: Çelik taşıyıcı elemanlar, büyük ölçüde atölyelerde hazırlanır. Şantiyede yalnız montaj işleri yapılır. Bu bakımdan inşaa süresi kısadır, ayrıca hava koşullarından neredeyse bağımsızdır.
- 2 - Çelik yapılarda takviye ve taşıyıcı elemanların değiştirilmesi nispeten kolaydır.
- 3 - Çelik yapılar sökülüp yeniden kullanılabilir. Daha sonraki kullanım amacı değişikliklerine basit çözümler sağlayabilme özelliğinin bulunması,
- 4 - Montaj tamamlandığı anda tam yükte çalışırlar, beklemek gerekmemektedir. Betonarme ile kıyaslanamaz.
- 5 - Uygun planlama ile az iskeleli inşaat mümkündür.
- 6- Düşük eleman kesit boyutları ile geniş açıklıklar geçme imkânı vardır. Malzemenin özelliğinden dolayı büyük açıklıkları geçmede betonarmeye kıyasla avantajlıdır, eleman boyutlarının küçük olması sebebiyle de planda fazla yer kazandırır.
- 7- Çelik profil üretiminin zor olmasına karşı, birbirine eklenerek çelik konstrüksiyon imal edilmesi kolaydır. Yüksek hassasiyette boyutlama imkanı ve enstalasyon özgürlüğü vardır.



8-Çelik kesitler (profiller) çeşitli birleştirme araçlarıyla birbirlerine eklenerek daha mukavemetli kesitler elde edilebilir.



Bulonlu ek

- 9- Bunların yanında, mimari özgürlük, narinlik, hafiflik, süneklik, çok katlı bina yapımı, depreme dayanım, kolay denetim, ekonomi, değişim, güçlendirme gibi sayısız avantajı vardır.
10. Tekrar kullanma ve geri dönüşümü mümkündür. %100 geri dönüşümlüdür, atık malzeme bırakmaz. Hurdadan üretim yapılabildiği için doğal kaynaklar tüketmez. Şantiye alanı küçük ve temiz olup ulaşım aşamasında çevreyi kirlilemez. Yapımında kuru yöntemler kullanıldığından inşaatın hiç bir aşamasında çevreye zarar vermez.
11. Yapının estetiğinde yerel zevkler ve çevreye uyum etkili olmaktadır. Çelik yapılar estetik ve yaratıcılığa açık olduğundan tasarımı özellik gösteren yapılarda üstünlük sağlar.

Ekonomik bir çelik yapı inşa edebilmek için,

- Ekip çalışması gerçekleştirmek ve piyasadaki çelik malzemeler hakkında yeterli bilgiye sahip olmak gerekir.
- Boyutlandırma aşamasında aynı kesitleri kullanmanın, fabrikasyon ve montaj aşamasına ve dolayısıyla maliyete olumlu etkisi vardır.
- İşçilik ve malzeme fiyatları hakkında bilgi edinilmesi önemlidir
- Malzemelerin korunma amaçlı boya ve kaplamaları için yönetmeliklere ve hesaplara uymak;
- Ulaşım olanaklarına uyan malzeme kullanmak ve periyodik bakıma uygun malzeme seçmek ekonomik açıdan olumlu katkı sağlar.

⁴ TS 4561/1985: Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları



Çelik Yapının Sakıncalı Özellikleri

- 1 - Yanıcı bir malzeme olmamakla birlikte, yüksek sıcaklık derecelerinde mukavemetinde hızlı bir düşüş olur. Ayrıca ısıyı iyi ilettiğinden mukavemet düşüşü hızlı gerçekleşir. 600 C' den sonra kullanılamaz hale gelir⁵. Yangına karşı tedbirler alınması gereklidir. (Yüzeyi iletken olmayan bir elemanla kaplanırsa veya yanmaz boyalarla boyanırsa dayanıklılığı artar, vb.)
 - 2- Paslanmaya karşı dayanıksızdır. Sürekli bakım gerektirir. Boyama, betona gömme, korozyona dayanıklı özel alaşımlı çelik kullanma, vb. alınacak tedbirlerdendir.
 - 3- Asit, baz ve tuza karşı dayanıksızdır.
 - 4 - Ses ve ısıyı iyi iletir, dolayısıyla yalıtım gerektirebilir.
 - 5 - Çelik yüksek mukavemetli bir malzeme olduğundan seçilen kesitler narindir. Burkulma yerel burkulma gibi olası stabilite problemleri hesaplar sırasında dikkate alınır. Ayrıca narinliğin derecesine bağlı olarak elemanların basınç taşıma gücü çekmeye oranla bir miktar daha küçüktür.
- Yukarıda anılan tüm sakıncalı özelliklere karşı alınan tedbirler maliyeti arttırır.

Çelik profillerin kullanım yerleri

Çelik çerçeveli yapı sistemleri, çok önemli olan bu üstünlükleri nedeniyle; büyük açıklıklı köprüler, endüstri yapıları ve spor salonları ile portatif ve prefabrik, taşıyıcı sistemleri özel, hızla yapılması gereken, temel zemini zayıf nitelikli, yatay yüklere dayanıklı, çok katlı veya yüksek yapılarda, geniş kullanım alanı bulmaktadır.

Pratikte uygulanan çelik çubuk birleşimleri, genel olarak, mafsallı birleşimler ve moment aktaran birleşimler olarak iki grupta toplanabilirler.

⁵ 11 Eylül 2001 ABD deki ikiz kuleler neden göçtü.



ÇELİK YAPILARDA KULLANILAN ÇELİK SINIFLARI (TS 2162, TS 648, ÇYTYK)

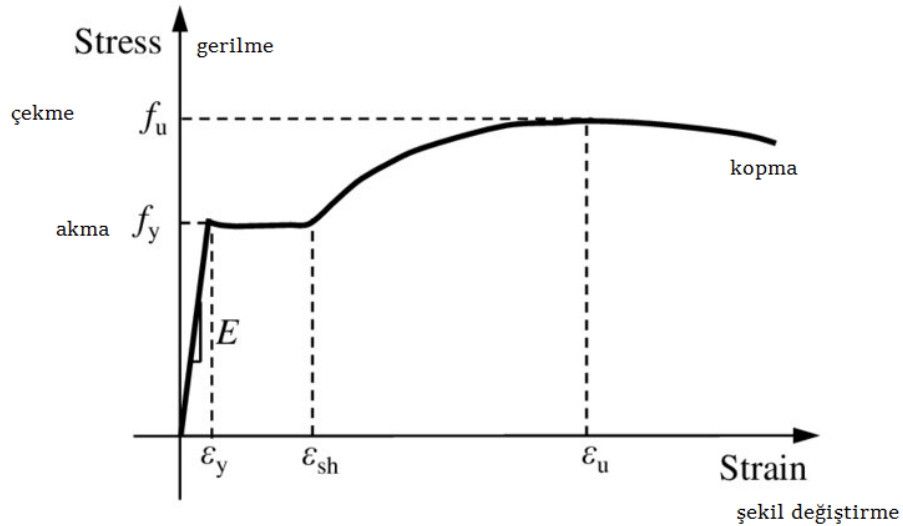
Yapı çelikleri, çekme dayanımı ve akma sınırı ile sınıflandırılan, sıcak biçimlendirme suretiyle elde edilen alaşımsız çeliktir.

TS 648 / Aralık 1980 Bu standard, kalınlığı en az 4 mm olan bütün taşıyıcı çelik yapı eleman ve bileşenleri ile portatif yapılar ve kalıp iskeleleri gibi her türlü geçici çelik yapıları kapsar. Yüksek gerilim hatlarının pylonları, kreyin demiryolu, karayollarında kullanılan köprüler ve benzeri özel çelik yapıları kapsamaz.

Yapısal çeliklerin sınıflandırılması “Çekme Dayanımları”na göre yapılır. TS 648⁶ standardının kapsamına giren ve TS 2162⁷ standardında tanımlanan genel yapı çelikleri, en küçük çekme dayanımına göre: Ç 33, Ç 34, Ç 37, Ç 42, Ç 46, Ç 50, Ç 52, Ç 60, Ç 70 olmak üzere dokuz ayrı grupta toplanmıştır. Bu rumuzlandırma da ki Ç... ifadesi, cinsinden çeliğin sahip olması gereken minimum çekme dayanımını gösterir (Ç, St, Fe veya S). Yapı çeliklerinin mekanik özellikleri Tablo 2’de verildiği gibidir.

Çelik yapı tasarım ve yapım kurallarına (2018) göre çelik sınıfını tanımlamak için karakteristik akma gerilmesi kullanılır (F_y). Bir başka deyişle çelikler karakteristik akma gerilmelerine göre sınıflandırılırlar. Çelik yapı tasarımında kullanılan Sıcak haddelenmiş yapısal çeliklerin karakteristik akma gerilmesi, (F_y) ve çekme dayanımı, (F_u) Çelik yapı tasarım ve yapım kuralları Madde 2.1.1 de verilmiştir (Tablo 3).

Mesela akma dayanımı “ $235 \text{ MPa} = 235 \times 10,19 = 2395 \sim 2400 \text{ kg/cm}^2$ ” olan çelik sınıfı yaklaşık olarak Ç37 çeliğinin akma dayanımına denk gelmektedir. Çekme dayanımını da siz hesap ediniz



⁶ TS 648/1980. Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları.

⁷ TS2162/1990. Genel Yapı Çelikleri.(yerine geçen yeni standart TS 2162 EN 10025 :1996)

Süneklik Koşulu

Yapısal çelik malzemesinin sünekliği için dikkate alınacak koşulların sınır değerleri aşağıda tanımlanmaktadır.

- (a) Karakteristik çekme dayanımı, F_u nun karakteristik akma gerilmesi F_y ye oranı, $F_u / F_y \geq 1.10$ koşulunu sağlayacaktır.
- (b) Kopmaya karşı gelen uzama oranı %15 değerinden az olmayacaktır.
- (c) $\epsilon_u \geq 15\epsilon_y$ koşulu sağlanacaktır. (ϵ_u : Kopma uzaması, $\epsilon_y = F_y / E$)

Tablo 1 Yapı çeliklerinin mekanik özellikleri (eski)

Çelik Sınıfı	Çekme Dayanımı σ_d kg/cm ² (N/mm ²)	Akma Sınırı σ_F (σ_a) kgf/cm ² (N/mm ²)	Elastisite Modülü (E) kg/cm ² (N/mm ²)	Kayma Modülü (G) kg/cm ² (N/mm ²)	Isı Genleşme Katsayısı α_1
Ç 33	3300 - 5000 (324 - 490)	1900 (186)	 2 100 000 (206 182)	 810 000 (79 434)	0,000012
Ç 34	3400 - 4200 (333 - 412)	2100 (206)			
Ç 37	3700 - 4500 (363 - 491)	2400 (235)			
Ç 42	4200 - 5000 (412 - 490)	2600 (255)			
Ç 46	4400 - 5400 (431 - 530)	2900 (284)			
Ç 50	5000 - 6000 (490 - 588)	3000 (294)			
Ç 52	5200 - 6200 (510 - 608)	3600 (353)			
Ç 60	6000 - 7200 (588 - 706)	3400 (333)			
Ç 70	7000 - 8500 (686 - 834)	3700 (363)	$(E = \frac{\sigma}{\epsilon})$	$(G = \frac{\tau}{\gamma})$ ve $G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$	

Tablo 2’de verilen değerler (TS 648’e göre) et kalınlığı 16 mm’ye kadar olan mamuller için geçerlidir. Çelik yapıların hesabı aşamasında et kalınlığı 16mm-40mm arasında olan mamullerde tablodaki değerler 100 kgf/cm², 40mm-100mm arasında olan mamullerde de 200 kgf/cm² azaltılır.

Ç33 Çeliği: Düşük kaliteli bir çeliktir. Kaynakla biçimlendirilmeye uygun değildir. Ancak, kaynak yapma ve çalışma şartlarına bağlı olarak ark ve gaz kaynağı ile birleştirilmeye kısmen uygundur. Dinamik tesirlerin olmadığı veya geçici yapıların inşasında kullanılırlar. Çekme dayanımı/Akma sınırı:3300-5000/1900 kg/cm² dir.

Ç37 Çeliği: (S235) Normal kalitedeki yapı çeliğidir. Çelik yapılarda en sık kullanılan çelik sınıfıdır. Normal yapılarda kullanılan çelik hadde mamulleri bu çelikten yapılır. Çekme dayanımı/Akma sınırı:3700-4500/2400 kg/cm² dir.

Ç52 Çeliği: yüksek dayanımlı çeliktir. Yüksek gerilim hatlarının pylonları, kreyn, demiryolu, karayollarında kullanılan köprüler ve benzeri özel çelik yapıların inşasında kullanılması emniyetli olur. Çekme dayanımı/Akma sınırı:5200-6200/3600 kg/cm² dir.

Tablo 2 : Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım kuralları" na göre çelik sınıf ve standartları (yeni)

Tablo 3:

2.1 YAPISAL ÇELİK

2.1.1 – Malzeme Özellikleri

Bu standart, TS EN 10025 e uygun şekilde sıcak haddelenerek üretilmiş çelik profiller ve levhalar ile EN 10210 ve EN 10219 a uygun olarak üretilen yapısal boru ve kutu enkesitli elemanların oluşturduğu çelik ve kompozit yapıların tasarım esaslarını içerir. Bu standarttaki kurallar Tablo 2.1A ve Tablo 2.1B de verilen çelik sınıfları için geçerlidir. Tablo 2.1A ve Tablo 2.1B deki değerler, tasarım hesaplarında kullanılacak karakteristik değerlerdir.

TABLO 2.1A – SICAK HADDELENMİŞ YAPISAL ÇELİKLERDE KARAKTERİSTİK AKMA GERİLMESİ, F_y VE ÇEKME DAYANIMI, F_u

Standart ve Çelik Sınıfı	Karakteristik Kalınlık, t (mm)			
	$t \leq 40\text{mm}$		$40\text{mm} < t \leq 80\text{mm}$	
	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)	F_y (N/mm ²)	F_u (N/mm ²)
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	510	335	470
S450	440	550	410	550
EN 10025-3				
S275 N/NL	275	390	255	370
S355 N/NL	355	490	335	470
S420 N/NL	420	520	390	520
S460 N/NL	460	540	430	540
EN 10025-4				
S275 M/ML	275	370	255	360
S355 M/ML	355	470	335	450
S420 M/ML	420	520	390	500
S460 M/ML	460	540	430	530
EN 10025-5				
S235 W	235	360	215	340
S355 W	355	510	335	490
EN 10025-6				
S460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

N: Normalize edilmiş, NL: haddelenmiş, kaynaklanabilir- M:Termomekanik haddelenmiş, ML: haddelenmiş, kaynaklanabilir-W: Atmosferik şartlara dayanımlı-Q: Yüksek dayanımlı yassı hadde ürünü, su verilmiş ve temperlenmiş
EN 10025-2: Sıcak Haddelenmiş Yapısal Çelik

Çelik Yapı Tasarım Prensipleri: Çelik yapı elemanlarının ve birleşimlerin tasarımı “Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Kuralları”nda verilen Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) veya Güvenlik Katsayıları ile Tasarım (GKT) yaklaşımlarından biri uygulanarak gerçekleştirilebilir. Sistem analizleri doğrusal-elastik teoriye göre gerçekleştirilebilir.

Yapı sistemlerinin tasarımında esas alınan karakteristik yük değerleri, rüzgâr, kar ve deprem etkileri hariç, TS 498’ e uygun olarak belirlenecektir. Kar yükleri için TS EN 1991 – 1 – 3 te ve rüzgâr yükleri için TS EN 1991 –1–4 te verilen koşullar göz önüne alınacaktır. Deprem etkisi, E nin ayrıntılı tanımı için yürürlükteki Türk Deprem Yönetmeliği koşulları esas alınacaktır.

Güvenlik Katsayıları İle Tasarım -GKT (Emniyet Gerilmeleri Yöntemi)

Emniyet gerilmeleri yönteminde yapı üzerine etkiyen yüklerde herhangi bir artırıma gidilmez. Bunun yerine malzeme dayanımlarında azaltma yapılır. Bu yöntem ÇYTYK’da Güvenlik Katsayıları İle Tasarım (GKT) adıyla anılmaktadır. Sistem analizleri doğrusal elastik teoriye göre gerçekleştirilmektedir. Yani malzemelerin plastik şekil değiştirme kapasiteleri göz önünde bulundurulmamaktadır.

Çelik emniyet gerilmeleri:

Yapı çeliklerinin “Emniyet Gerilmeleri” hesaplanırken “akma sınırı” dikkate alınır. Akma sınırının bir katsayıya bölünmesiyle çelik emniyet gerilmeleri hesaplanır.

Akma sınırına kadar yüklenmiş çelikte büyük plastik deformasyonlar olduğundan yapıların bu sınıra kadar yüklenmesi düşünülemez. Bu yüzden çelik birleştirme araçları ve profil hesaplarında **emniyet gerilmesi** kavramı geçerlidir. Yapı çeliği, sünek-düktil bir malzeme olduğu için emniyet gerilmesi tespitinde sınır değer olarak AKMA

SINIRI esas alınır. Bu değer belirli bir güvenlik katsayısına bölünerek emniyet gerilmesi elde edilir ve boyutlandırma hesabı yapılır. Böylece yapı, yıkılma olasılığından belli bir uzaklıkta inşa edilmiş olur. $\sigma_{emn} = \frac{\sigma_{ak}}{\gamma}$
(Ç37 için güvenlik katsayısı nedir?)

ÇYTYK’da bu durum (GKT) güvenlik katsayıları ile tasarım olarak belirtilmiş ve tüm yapısal elemanlar için, *güvenli dayanım*, R_n/Ω nın bu tasarım yöntemi için öngörülen GKT yük birleşimleri altında hesaplanan *gerekli dayanım*, R_a , değerine eşit veya daha büyük olması prensibine dayanmaktadır. GKT, bir yönüyle emniyet gerilmeleri ile tasarım yöntemine benzerdir.

Buna göre, tasarım $R_a \leq \frac{R_n}{\Omega}$ koşula uygun olarak gerçekleştirilecektir.

Güvenli dayanım = Karakteristik dayanımın güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilen dayanım,

R_n/Ω : Güvenli dayanım.

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

R_a : GKT yük birleşimi ile belirlenen gerekli dayanım.

R_n : Karakteristik dayanım.

Ω : Güvenlik katsayısı. GKT de güvenliği sağlamak amacıyla, karakteristik dayanım değerlerini azaltmak için ilgili göçme sınır durumu esas alınarak uygulanan 1.0 veya 1.0 den büyük katsayı. (Akma sınır durumunda 1,67 kırılma sınır durumunda 2.00 dir)

Karakteristik dayanım, R_n , ve güvenlik katsayısı, Ω , ilgili bölümlerde açıklanmaktadır.

Güvenli Bölge Koşulu:

Emniyet gerilmesi kavramından ve plastik teoriye göre hesaptan bilindiğine göre, taşıyıcı bir eleman en kesitinde oluşan gerilmeler, o elemanın yapıldığı malzemenin emniyet gerilmesini aşmamalıdır.

$\sigma \leq \sigma_{em}$ (Gerekli dayanım $\leq$ Güvenli dayanım) ($R_a \leq R_n/\Omega$)

$$\sigma = \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{emn}$$

$\sigma = \sigma_{em}$, Limit durum, en ekonomik kesit seçilmiş olur.

$\sigma < \sigma_{em}$, Güvenli bölge, σ_{em} ’den uzaklaştıkça ekonomiklik azalır.

$\sigma > \sigma_{em}$, Güvensiz bölge

YÜKLEME HALİ

Çelik yapılarda, birleştirme araçlarının ve profillerin kesit hesabı yapılırken gerekli olan emniyet gerilmeleri yapının yüklenme şekli ve zorlanmasına göre iki farklı şekilde alınır. Bir yapıyı etkileyen yükler, esas yükler ve tali yükler olarak ikiye ayrılır.

1-Esas yükler (EY, H, YdI):Öz ağırlık yükleri, tekrarlı ve hareketli yükler, kar yükü, makinelerin atalet kuvvetleri

II-İlave yükler (İ): 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.

Yükleme Durumları

Hesaplar ve dayanım tahkikleri için aşağıdaki yükleme durumları hesaba katılır:

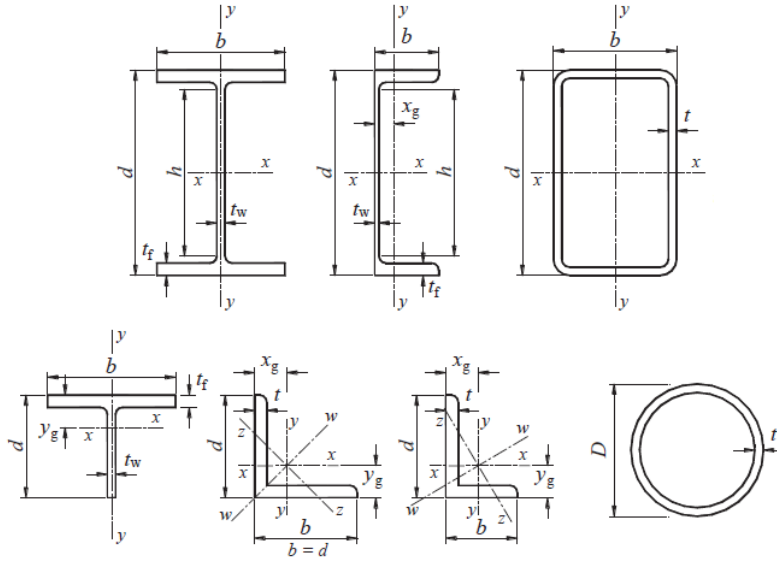
EY, H, YD I Yüklemesi: Esas yüklerin toplamı,

EİY, H_z, YD II Yüklemesi : Esas ve ilave yüklerin toplamı. Eğer bir yapıya öz yükünden başka yalnız tali yükler tesir ediyorsa tâli yüklerden en büyüğü esas yük yerine geçer.

Boyutlandırmaya Esas Olan Yüklemeye Hali: Boyutlandırma ve gerilme tahkikleri ile her zaman en büyük en kesitleri gerektiren yüklemeye hali göz önünde tutulmalıdır. Hesaplar için gerekli olan emniyet gerilmesi, yüklemeye hali göre ilgili tablolardan alınır.

Çelik konstrüksiyonunda kullanılan çelik ürünleri

Yönetmelik, TS EN 10025 e uygun şekilde sıcak haddelenerek üretilmiş çelik profiller ve levhalar ile EN 10210 ve EN 10219 a uygun olarak üretilen yapısal boru ve kutu enkesitli elemanların oluşturduğu çelik ve çelik-betonarme kompozit yapıların tasarım esaslarını içerir. Çelik yapılarda kullanılan hadde ürünleri ve döküm ürünleri çok çeşitlidir. Bunlardan standart olarak üretilenler şunlardır.



Şekil 5: Çelik inşaatında kullanılan enkesitler

A) Hadde Ürünleri

1) Profiller

- I-beam profilleri TS 910/1
(NPI, IPE, IPB, IPBv, IPEo, HE, HL, HD, HP, W, UB, UC) (NPI 200, IPB 240, IPE 300)
- L-burç profilleri TS 912 ([20, [24)
- H-burç profilleri (korniyerler), TS 908 ve 909, Eşit kollu ve çeşit kollu olarak imal edilirler (L100.100.10 , L120.80.5)
- T-burç profilleri
- Z-burç profilleri
- Boru profilleri (Dikdörtgen ve daire en kesitli)
- Ray profilleri
- Özel profiller

2) Lamalar (dikdörtgen enkesitli çubuklar)

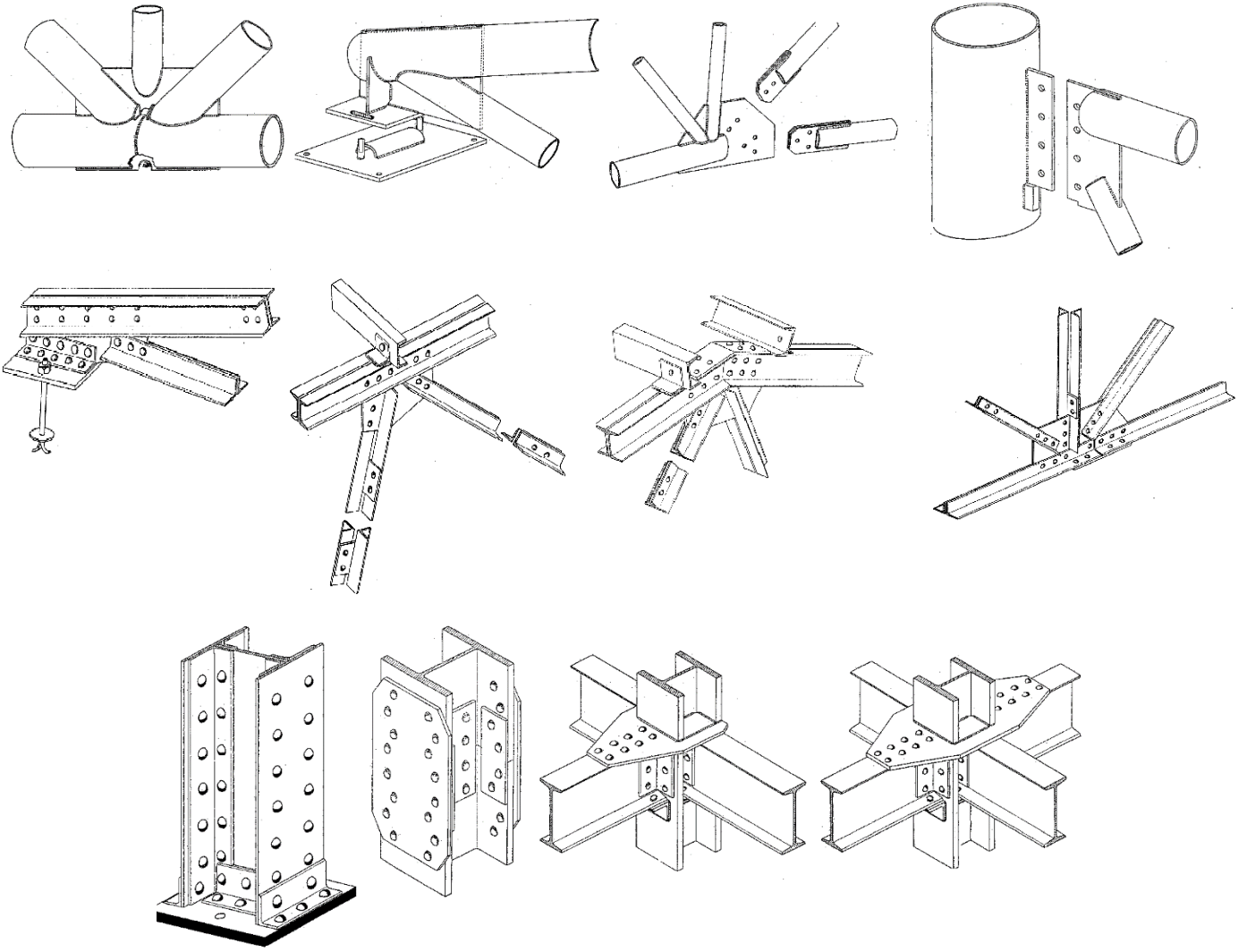
- _ Dar lamalar ($b=10-150\text{mm}$, $t=5-60\text{mm}$)
- _ Genis lamalar ($b=151-1250\text{mm}$, $t=5-60\text{mm}$)
- _ ince lamalar ($b=12-360\text{mm}$, $t=0.1-5\text{mm}$) (Örnek gösterim: 140.10)

3) Levhalar

- _ İnce levhalar ($t < 2.75\text{ mm}$)
- _ Orta levhalar ($3 < t < 4.75\text{ mm}$)
- _ Kaba levhalar ($t > 5\text{ mm}$) (Levha. 4.1500.5000, veya Lev. 4)

B) Döküm Ürünleri

- _ Çelik font (Mesnet parçaları vb.)
- _ Su Çeliği (Mesnet ruloları, mafsal parçaları vb.)
- _ Gri font (Mesnet parçaları)



ÇELİK YAPILARDA BİRLEŞİMLER

Çelik hadde ürünleri kullanılarak taşıyıcı veya detay sistem oluşturmak için projesindeki uzunluk ve kesitteki profillerin birbirlerine yük aktaracak bir teknikle birleştirilmesi gerekir. Bu işlemin genel amacı şunlardır.

- 1-Farklı taşıyıcı elemanların (kolon-kiriş, kiriş-kiriş, alt başlık-üst başlık, dikme-alt başlık vb.) birbirine bağlanması
- 2-Eleman boyunun uzatılması
- 3-Eleman en kesitinin artırılması

Yapıyı oluşturacak olan çelik çubukları ve yardımcı malzemeleri statik bakımından beraber çalışan yapı kısımları halinde birleştiren araçlara "Çelik birleşim araçları" denir. Bu birleştirme araçları üç çeşittir.

- 1-Perçin
- 2-Bulon
- 3-Kaynak

Bu birleştirme araçları; Sökülebilen birleştirme araçları Bulonlar (civatalar), Sökülemeyen birleştirme araçları: Perçin ve kaynak olarak iki kısımda incelenirler.

1-PERÇİNLER

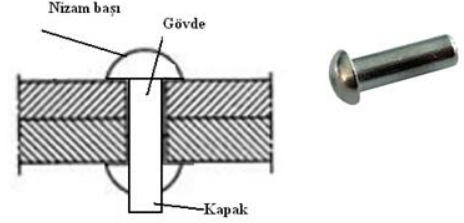
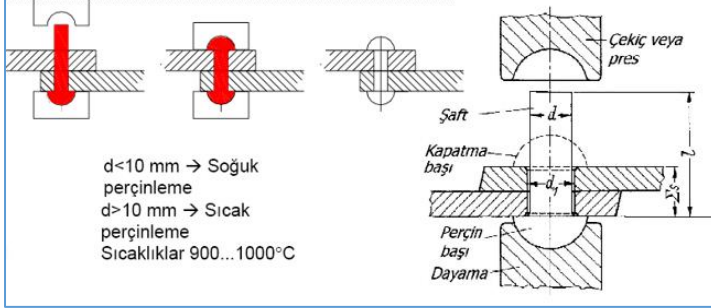
Perçinli birleşimler günümüz modern çelik yapılarında kullanılmamaktadır. Ancak eski çelik yapıların onarılması aşamasında aslına sadık kalmak için uygulanmaktadır. Yapısal çelik elemanların birbirlerine birleştirilerek yapma eleman elde edilmesinde de perçinlerden faydalanılabilir.

Yuvarlak çelikten preslenerek elde edilen, önceden açılmış deliklere yerleştirildikten sonra dövülerek şişirilen, gövde en kesitinde kesmeye, delik çevresinde ezilmeye çalışarak kuvvetleri aktaran ve çelik profilleri birbirlerine birleştiren elemanlardır. Perçinler, çelik elemanların kalıcı olarak birleştirilmesinde kullanılırlar.

Parçalardaki delikler atölyede matkapla ve günümüzde lazer ile açılır. Parçalardaki deliklerin tam olarak karşılıklı gelebilmesi için delikler önce 2 - 3 mm kadar küçük çaplı açılıp, montaj sırasında parçalar önce cıvatalarla birbirine bağlandıktan sonra, karşılıklı gelen delikler matkapla gerekli çaplarına getirilerek tam uyum sağlanabilir. Perçinler akkor halde kızdırıldıktan sonra delik içerisinde dövülerek başlık yapılır.

Bir perçin üç kısımdan oluşur.

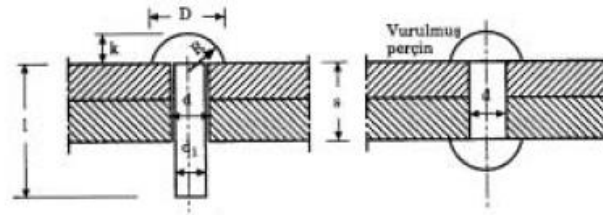
- 1- Fabrikada basınçla oluşturulmuş Nizam başı
- 2- Gövde
- 3- Kızdırılıp dövülmek suretiyle oluşturulan kapak veya kapatma başı.



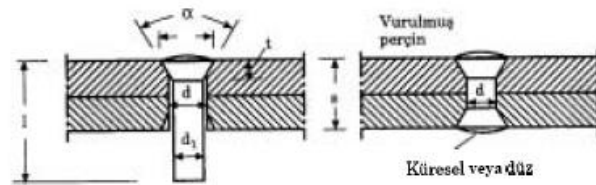
Perçinler, nizam başlarının şekline göre ise, yuvarlak başlı perçin ve gömme başlı perçin olmak üzere iki şekilde üretilirler. Yuvarlak başlı perçinler pratikte en fazla kullanılan perçin tipidir.

DIN 123	DIN 302	DIN 662	DIN 674	DIN 7342	DIN 675	DIN 7339	DIN 7338	DIN 7331
TS 94/1	TS 94/3	TS 94/9	-	-	TS 94/10	TS 94/12	TS 94/11	TS 94/14
Yuvarlak Başlı	Havşa Başlı	Mercimek Başlı	Yarı Yuv. Başlı	Yassı Hav. Başlı	Kayış Perçini	Boru Perçini	Fren ve Kavrama	Kapsül Perçin
						Prete borudan		

a) Yuvarlak başlı perçin (TS 9412) (DIN 124)



b) Gömme başlı perçin (TS 9413) (DIN 302)



Perçinli birleşimlerde uyulacak kurallar (Çoğu bulonlar içinde geçerlidir)

1-Perçin uzunlukları: Bir perçinin uzunluğu şu kurala bağlı olarak hesaplanır. $l = \Sigma t + s$ (birleştirilecek parçaların toplam kalınlığı + kapatma başı uzunluğu.)

1-Perçin makine ile dövülecekse $l = \Sigma t + 1.3d$

2-Perçin el ile dövülecekse $l = \Sigma t + 1.75d$

Birleştirilecek parçaların toplam kalınlığı perçin çapının 6.5 katını geçmemelidir. $\Sigma t \leq 6.5d$. Gelişmiş teknoloji kullanılıyorsa bu değer en fazla 9d kadar olabilir.

2-Perçin çapı (d): Yerine vurulmamış perçine ham perçin denir. Perçinler deliklerine konulduktan sonra kapak başı dövülerek oluşturulur. Bu arada perçin şişerek deliği doldurur. Böylece ham perçin çapı delik çapına eşit olur. Hesaplarda dövülmüş perçin çapı kullanılır. Perçin çapı genelde birleştirilecek parçaların en küçüğünün kalınlığına göre (t_{min}) hesaplanır. Kullanılan en ince levha kalınlığına göre delik çapları **Tablo 4'** de verilmiştir. Ham perçin çapı delik çapından 1 mm daha azdır.

$d_1 = d + 1$ mm. (dövülmüş perçin çapı veya delik çapı)

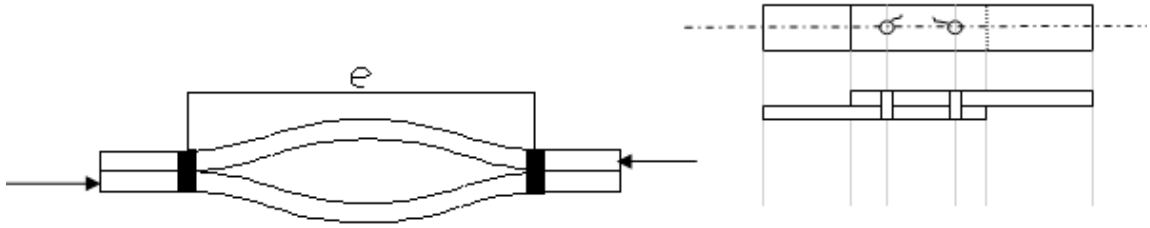
$d = \sqrt{5t} - 0,2$ (cm) ifadesi ile de hesaplanabilir.

Çelik profillerin gövdelerine açılacak olan delik çapı sınırlı olduğundan, her profil için açılacak delik çapı Profil tablosundan, birleşimde kullanılacak profil numarasına göre seçilir. Kuvvet aktaran perçinlerin en küçük çapı 13 mm dir. Perçinler aksel çekmeye çalıştırılmazlar.

3-Delik aralıkları: Çelik yapılarda perçinler, kuvvet aktaran ve yapısal olmak üzere iki şekilde iş görürler. Her ne amaçla kullanılırlarsa kullanılsın, perçinlerin daha yararlı olabilmeleri için belirlenen aralıklarda yerleştirilmesi gerekir. Aynı gereklilikler bulonlar içinde geçerlidir.

Delik aralıkları şu bakımlardan önemlidir.

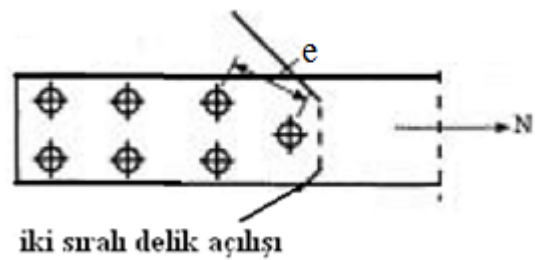
- 🔧 Perçinlerin kolay dövülebilmesi ve bulon somunlarının kolay sıkılabilmesi için,
- 🔧 Delik zayıflığından dolayı asıl profildeki dayanımın daha fazla azalmaması için,
- 🔧 Perçin dövüldükten sonra, yakın konulmuş delikler arası levhada, delik çevresindeki gerilme birikimlerinden dolayı oluşan mikro çatlakların bir diğerine kavuşmaması için,
- 🔧 Delikler arasında tutulan suyun, ek içerisine sızarak paslanmaya sebep olmaması için,
- 🔧 Basınç kuvveti etkimesi halinde, uzak konulmuş delikler arası levhanın burulmaması için,
- 🔧 Çubuk ile bağ levhasının bindirme boyunun hesabı için (e),



4-Bir birleşimde en az iki adet 13 mm çapında perçin kullanılmalıdır.

5-Bir sırada arka arkaya 5 adetten fazla perçin kullanılmamalı. Yük aktaracak perçin sayısı fazla ise iki yada çok sıralı dizilmeli.

	Perçin Aralığı		Bulon Aralığı	
	Yüksek Yapılar ve Krenler	Köprüler	Yüksek Yapılar ve Krenler	Köprüler
min e	3d ₁		4d ₁	
min e ₁	2d ₁			
min e ₂	1,5d ₁			
max e	8d ₁ , 15t	6 d ₁ , 12t	8 d ₁ , 15t	6 d ₁ , 12t
max e ₁	(d ₁ =delik çapı)			
max e ₂				



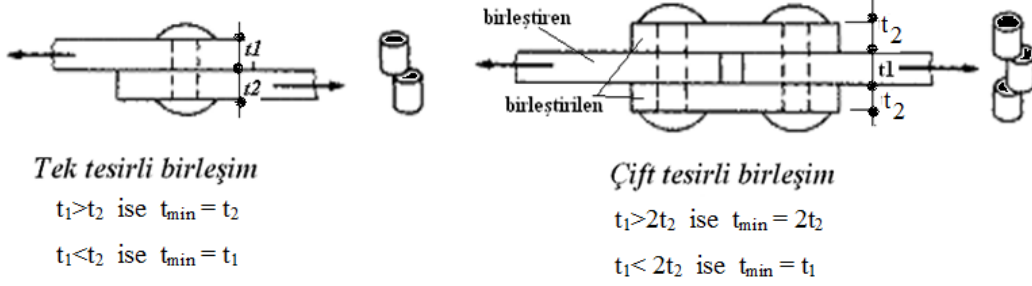
Perçin emniyet gerilmeleri: Perçin malzemesinin akma gerilmesi ve çekme dayanımının deneysel olarak belirlenmesi koşulu ile, perçinlerin çekme, kayma ve çekme ve kaymanın ortak etkisi altında karakteristik dayanımları, "Guide to Design Criteria for Bolted and Riveted Joints" de belirtilen esaslara uygun olarak belirlenecektir. Perçin güvenli dayanımları olağan bulonlar için verilen esaslar kullanılarak hesaplanacaktır. Emniyet gerilmeleri yöntemi ile hesap yapılırsa Perçin hesaplarında kullanılacak olan emniyet gerilmeleri Tablo 3 de verilmiştir.

Perçinler mecbur kalmadıkça boy eksenlerine paralel çekmeye çalıştırılmamalıdır. Perçinler daha çok kesmeye çalıştırılarak kuvvetleri aktarırlar.

Bulonlu ve perçinli birleşimlerde Tek tesirli ve Çift tesirli birleşim ve en ince levha kalınlığı (t_{min}) kavramı:

Perçin ve bulonlar iki veya daha fazla profili birleştirmek amacıyla kullanıldıklarından hesapları da buna göre yapılır. İki parçayı birleştiren perçin veya bulonlar tek tesirli, üç parçayı birleştiren bulon veya perçinler ise çift tesirli olarak hesaplanırlar. Ayrıca, perçin ve bulon hesaplarında en zayıf levhanın kalınlığı esas alındığından t_{min} hesabı ve

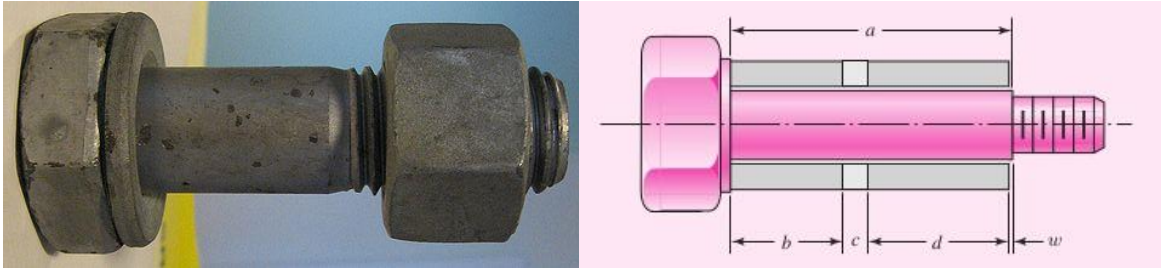
belirlenmesi gerekir. Bir ekte bulunan parçaları, birleştiren ve birleştirilen olmak üzere ikiye ayırırız. Bu amaçla ekteki, **birleştiren** ve **birleştirilen** parçaların toplam (profillerin) kalınlıkları kıyaslanır ve en ince olan t_{min} olarak belirlenir.



2-BULONLAR (CİVATALAR)

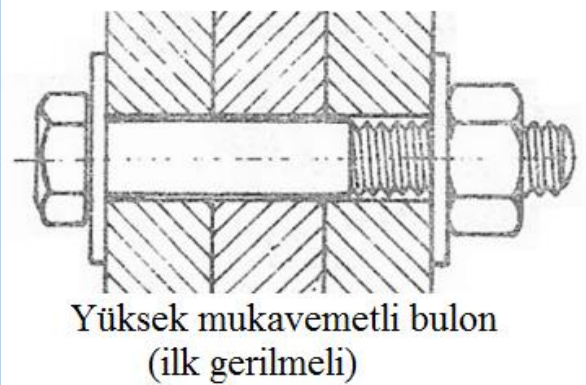
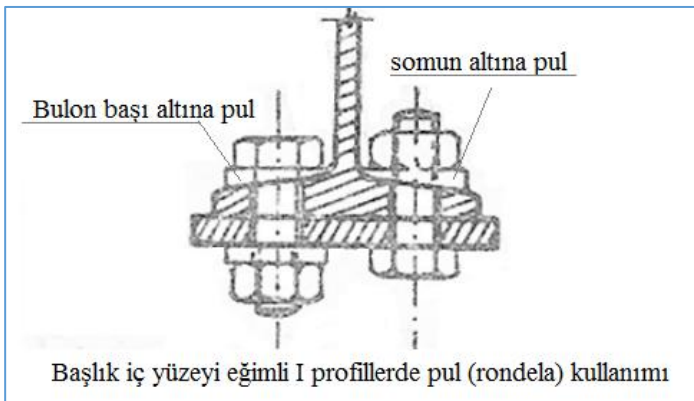
TS ISO 4014:2012 Altıköşe başlı cıvatalar-Çelik konstrüksiyonlar için-Somunlu

Uç tarafına dış açılmış silindirik bir gövde ve altı köşeli baş kısmı bulunan çelik yapı birleştirme aracıdır. Bulonlar, birleştirilecek parçaların üzerine hesapla bulunan çap ve aralıkta açılan deliklere rondela (düz pul, yaylı, kanatlı) ve somun da takılarak sıkılır ve öncelikle parçaları birleştirirler, daha sonra yük aktaracak hale gelirler.



Bulonlar çelik yapılarda aşağıda belirtilen hallerde kullanılır.

- Birleştirme aracının gövdesi doğrultusunda büyük çekme kuvvetleri tesir ediyorsa,
- Birleştirilecek parçaların malzemesi, şekli veya boyutları perçin yapılmasına elverişli değilse,
- Konstrüktif sebeplerden, mesela çok küçük yapılarda ve şantiyelerde perçin ile birleşim pahalı oluyorsa,
- Birleşim yeri, iyi perçin yapılmasına müsait değilse,
- Birleştirilecek parçaların kalınlığı perçin yapılamayacak derecede fazla ise,
- Sıcaklık ve gürültüden kaçınılması halinde,
- Kısa süreli teşkil edilen yapılarda (sergi binalarında).



BULON ÇEŞİTLERİ

Bulonlu (cıvatalı) birleşimlerde genellikle iki türlü bulon kullanılır.

- Normal (kaba ve uygun) Bulonlar (4.6-6.8 arası)
- Yüksek Mukavemetli Bulonlar (HV) (8.8 ve 10.9)

Normal bulonlar, gövde enkesitinde kesmeye ve delik çevresinde ezilme gerilmelerine göre hesaplanan bulonlardır.

Normal bulonlarda dış açılmamış gövde kısmı boyunun birleştirilen elemanların toplam “S” kalınlığından birkaç mm fazla olması gerekir. Bu tür bulonlar basit sıkma yönteminin uygulandığı ezilme etkili birleşimlerde kullanılır ve montajları sırasında öngerme kuvveti uygulanmaz.

Normal bulonlar iki çeşittir:

- i. Normal (Kaba) Bulonlar (TS80)
- ii. Uygun Bulonlar

Normal (Kaba) bulon ile uygun bulon arasında iki açıdan farklılık vardır:

1-Normal (Kaba) bulonlarda gövde çapı delik çapından 1mm kadar daha azdır ($d = d_1 - 1$). Uygun bulonlarda ise dövülmüş perçin çapı gibi delik çapına eşittir $d = d_1$ dir.

2- Normal (Kaba) bulonlarda dış açılmış kısmın dışında kalan gövde kısmı işlenmemiştir. Uygun bulonlarda ise bu kısım deliğe tam uyacak şekilde işlenmiştir.

6.8, 8.8, 10.9, 12.9 Bulon (Cıvata) Denilince Ne Anlaşılır?

İki sayının çarpımının 10 katı: Akma dayanımını (MPa) birinci sayının 100 katı: çekme dayanımını gösterir

8.8 için $8 \times 100 = 800 \text{ N / mm}^2$ (MPa); 10.9'da $10 \times 100 = 1000 \text{ N / mm}^2$; 6.8'de $6 \times 100 = 600 \text{ N / mm}^2$

1 Kg = 9,81 N.'dur. Kolayca hatırlamak için 1 Kg yaklaşık 10 Newton diyebiliriz.
 $800 \text{ Newton / mm}^2 = 89 \text{ Kg / mm}^2$ gibi.

Aslında $(800 \text{ N / mm}^2) / (9.81 \text{ Newton / Kg}) = 81.5 \text{ Kg / mm}^2$

İkinci rakam (8.8'in ikinci 8'i gibi) $8 = 0.8$ 'dir. Yani ikinci rakam yukarıda bulunan çekme dayanımı ile çarpılarak çeliğin ve ya malzemenin AKMA GERİLME SINIRI veya ORANTISIZ UZAMA GERİLMESİ bulunur.

$800 \times 0,8 = 640 \text{ N / mm}^2$ veya yaklaşık $640/10 = 64 \text{ Kg/mm}^2$ Aslında $(640 \text{ N / mm}^2) / (9,81 \text{ N / mm}^2) = 65 \text{ kg / mm}^2$

1) 4.6 çeliği, kopma mukavemeti $\sigma_B = 4 \cdot 10 = 40 \text{ kg / mm}^2$ ve akma sınırı $\sigma_F = 0,6 \cdot 40 = 24 \text{ kg/mm}^2$ olan çelik demektir.

2) 5.6 çeliği , $\sigma_B = 5 \cdot 10 = 50 \text{ kg/mm}^2$ ve $\sigma_F = 0,6 \cdot 50 = 30 \text{ kg/mm}^2$ olan çelik demektir.

Tablo 3:Bulonların karakteristik akma gerilmeleri (F_{yb}), ve çekme dayanımları(F_{ub})

Bulon sınıfı		4.6	4.8	5.6	5.8	6.6	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	14.9
Karakteristik Akma Gerilmeleri. (MPa) F_{yb}		240	320	300	400	360	480	640	720	900	<u>1080</u>	<u>1260</u>
Çekme dayanımları (MPa) F_{ub}		400	400	500	500	600	600	800	900	1000	<u>1200</u>	<u>1400</u>



Şekil 6



Şekil 7

Deprem Yönetmeliğinden: 9.2.3.2 – Deprem yükleri etkisindeki elemanların birleşim ve eklerinde kullanılacak bulonlar ISO 8.8, 10.9 veya daha yüksek kalitede olacaktır. Bu bulonlar, moment aktaran birleşimlerde kendilerine uygulanabilecek öngerme kuvvetinin tümü ile, diğer birleşimlerde ise en az yarısı ile öngerilecektir. Deprem yükleri etkisinde olmayan elemanların birleşim ve ekleri ile temel bağlantı detaylarında ISO 4.6 ve 5.6 kalitesinde bulonlar kullanılabilir.



Tablo 4: Bulonların karakteristik delik boyutları (mm)

Bulon	Delik Boyutları			
	Standart Dairesel Delik Çapları	Büyük Dairesel Delik Çapları	Kısa Oval Delik (Genişlik × Uzunluk)	Uzun Oval Delik (Genişlik × Uzunluk)
M16	18	20	18 × 22	18 × 40
M20	22	24	22 × 26	22 × 50
M22	24	28	24 × 30	24 × 55
M24	26	30	26 × 32	26 × 60
M27	30	35	30 × 37	30 × 67
M30	33	38	33 × 40	33 × 75
≥ M36	$d + 3$	$d + 8$	$(d + 3) \times (d + 10)$	$(d + 3) \times 2.5d$

Yönetmelikten bakınız. (13.3.5 Bulon Deliği Boyutları ve Uygulaması ve 13.3.6 – Minimum Bulon Aralığı, 13.3.7 – Eleman Kenarına Minimum Uzaklık, 13.3.8 – Maksimum Bulon Aralığı ve Kenara Uzaklık)

Bulonlarda Eleman Kenarına Minimum Uzaklık

Profillerin gövdelerinde açılacak deliklerin aralıkları ve profil kenarından mesafeleri ÇYTYK 2018'de verilmiştir. Bu aralıklar ders notunda verilmiştir. Profillerin kesitlerinde açılacak delik aralıklarının, çaplarının ve deliklerin nerede olacağı ilgili profil tablolarında verilmiştir.

Standart dairese, büyük dairese ve oval deliklerin merkezleri arasındaki uzaklık, s , karakteristik bulon çapı d nin 3 katından az olamayacağı belirtilmiştir.

s = Ardışık bulon deliklerinin merkezleri arasındaki, kuvvet doğrultusundaki uzaklık.

g = Ardışık iki deliğin merkezleri arasında, kuvvete dik doğrultudaki aralık.

d = Karakteristik bulon çapı.

d_h = karakteristik bulon deliği çapı.

d_e = Etkin delik çapı.

Standart dairese delik çapı merkezinden itibaren parça kenarına uzaklık, herhangi bir doğrultuda olmak üzere, aşağıdaki tabloda verilen değerlerden az olamaz.

Maksimum Bulon Aralığı ve Kenara Uzaklık

Herhangi bir bulonun merkezinin en yakın kenara olan maksimum uzaklığı, bağladığı parçanın kalınlığının 12 katını ve 150 mm yi aşamaz.

Boyalı veya korozyon etkisinde olmayan boyasız elemanlarda, bir profil ile levhayı veya iki levhayı sürekli olarak birbirine bağlayan bulonların kuvvet doğrultusundaki aralıkları, birleşen ince parçanın kalınlığının 14 katını ve 200mm yi aşamaz.

Bu boyutlar, temas halindeki iki profilin birbirine sürekli olarak bağlantısını sağlayan bulonlu birleşimler için geçerli değildir.(Yönetmelik 13.3.8)

Tablo 5: Standart dairese delik çapı merkezinden parça kenarına olan en az uzaklık. (mm)

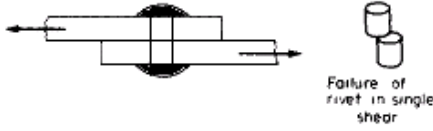
Bulon Çapı	Kenara Olan Minimum Uzaklık
16	22
20	26
22	29
24	32
27	36
30	40
36	48
> 36	$1.30d$

^a: Büyük dairese delik çapı veya oval delik çapları için Bkz. Tablo 13.8.

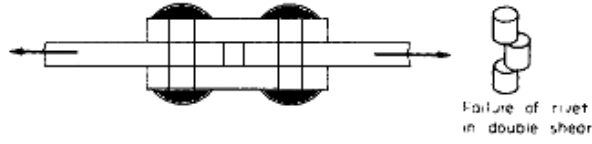
BULONLARIN ve PERÇİNLERİN HESAP ŞEKLİ

Bulonlar, (perçinlerde aynı şekilde) gövde enkesitinde kesmeye, delik çevresinde ise ezilmeye çalışarak yükleri aktarırlar. Gövde kesitlerinde oluşan kesme alanlarının sayısına göre tek yada çift tesirli yük aktarırlar.

a) Tek tesirli birleşim

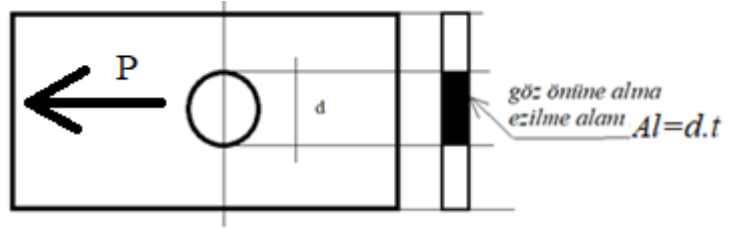
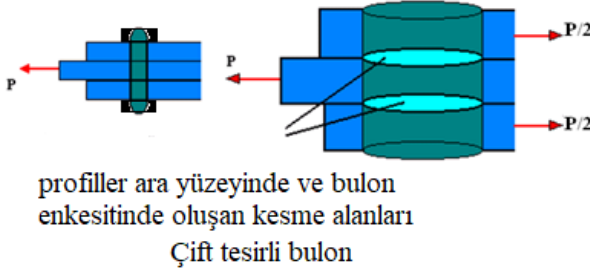


b) Çift tesirli birleşim



Bir Bulonun KESME kuvveti dayanımına göre güvenli taşıma gücü (Ba): Birleştirilen levhaların arayüzeylerinde bulon kesiti kesmeye zorlanarak kesilmek ister.

$$\tau_a = \frac{B_a}{\pi \cdot d_1^2 / 4} \leq \tau_{a,em} \quad B_a = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \tau_{a,em} (\text{tek tesirli}) \quad B_a = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \tau_{a,em} (\text{çift tesirli})$$



Bir BULONUN EZİLME kuvveti dayanımına göre güvenli taşıma gücü (B_l)

Tek veya çift tesirli bulonlarda aksenal kuvvetten dolayı bulon delik çevresine yaslanarak yük aktaracağından, bu kısımlarda ezilme gerilmeleri oluşur. Bulon gövdesi ile delik çevresinde ezilme gerilmelerinin gerçek dağılımı bilinmediğinden, basınç etkisindeki bu yüzeyde gerilmelerin düzgün dağıldığı varsayımı ile silindirik ezilme yüzeyi yerine (d x t) den oluşan dikdörtgen düzlem alanı gözönüne alınır. Ezilme alanı dediğimiz bu yüzey birleştirme aracının kullanılan çapı ile, minimum levha kalınlığının çarpımından oluşur.

$$\sigma_l = \frac{Bl}{d_1 \cdot t} \leq \sigma_{l,em} \quad Bl = d_1 \cdot t_{min} \cdot \sigma_{l,em}$$

Bir BULONUN güvenli taşıma kapasitesi (B_{em})

Bir perçinin veya bulonun güvenli taşıma kapasitesi, bu birleştiricilerin kesme yada ezilme gerilmesine göre taşıma gücünün en küçüğüdür.

B_{em} = B_l veya B_a dan küçük olanıdır. Dolayısıyla verilen bir kuvvete göre gerekli perçin veya bulon sayısı “n”

$$n = \frac{P}{B_{em}} \quad \text{adet}$$

Olarak hesaplanır. Yönetmeliklerde bir birleşimde en az 2Ø16 bulon kullanılmasına müsaade edilmektedir.

Bulon ve kaynakların, aynı kuvveti veya bir kuvvetin aynı bileşenini ortak olarak aktaracak şekilde boyutlandırılmasına izin verilmez.

Normal bulonların hesabında bulonun gövde çapı göz önünde tutulur (d). Bulonun gövde uzunluğu ve dış çekilen kısmın uzunluğu, birleştirilen parçaların kalınlığına göre tespit edilir. Eğer bu hususa uyulmayıp da dışler deliğin içine kadar girerse, hesaplarda dış dibi çapını almak gerekir. Bulonlar da gövde doğrultusunda normal kuvvetler tesir ediyorsa dış dibi enkesiti göz önünde tutulur.

Bulonların Çekme ve Kesme Kuvveti Dayanımları (yönetmelik)

Öngermeli yüksek dayanımlı bulonların, basit sıkılan bulonların ve dış açılan çubukların *karakteristik çekme veya kesme kuvveti dayanımı*, çekme etkisinde kopma veya kayma etkisinde kırılma sınır durumları esas alınarak, sırasıyla

$$R_{nt} = F_{nt} A_b \quad \text{ve} \quad R_{nv} = F_{nv} n_{sp} A_b \quad \text{ile hesaplanacaktır.}$$

Tasarım çekme kuvveti veya kesme kuvveti dayanımı, ϕR_n (YDKT) veya güvenli çekme kuvveti veya kesme kuvveti dayanımı, R_n / Ω (GKT),

$\phi = 0.75$ (YDKT) veya $\Omega = 2.00$ (GKT) alınarak belirlenecektir.

Buradaki terimler aşağıda açıklanmıştır.

R_{nv} : Bir bulonun karakteristik kesme kuvveti dayanımı,

F_{nv} : Bulonun karakteristik kayma gerilmesi dayanımı, (Yönetmelik Tablo 13.7)

A_b :Bulon dış açılmamış gövde enkesiti karakteristik alanı.

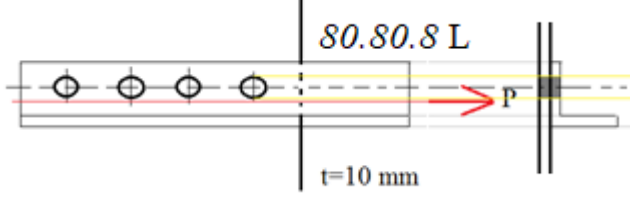
F_{nt} : Yönetmelik **Tablo 13.7** de verilen karakteristik çekme gerilmesi dayanımı.

n_{sp} : Kayma düzlemi sayısı.

ÖRNEK Bu örnekler çelik malzeme hesap dayanımı F_y/GK (emniyet gerilmesi) yöntemine göre hazırlanmıştır.

GK: Çelik malzeme güvenlik katsayısı ($\sim 1,70$)

Verilen 4 adet UB bulonun güvenle aktarabileceği yükü hesaplayınız. Ç37 YDI Bulon malzemesi 4.6 GK:1,7



Ek tek tesirlidir ve $t_{min} = 8$ mm dir.

Bu profil gövdesinde (eşit kollu 80.80.8) açılacak en büyük delik çapı tablodan $d_1=21$ mm bulunur. Bu aynı zamanda Uygun Bulon çapına eşittir. (Normal bulon olsaydı $d=20$ mm alınırdı, yani delik çapından 1 mm küçük)

Bir Bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır. Bulon sayısı ile çarpılır.

Kesme dayanımına göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Ba = \frac{\pi d^2}{4} \tau_a, em \quad Ba = \frac{\pi (2.1)^2}{4} 1.4 = 4.85 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Bl = d_1 \cdot t_{min} \cdot \sigma_{lem} \text{-----} Bl = 2.1 \times 0.8 \times 2,8 = 4,704 \text{ ton}$$

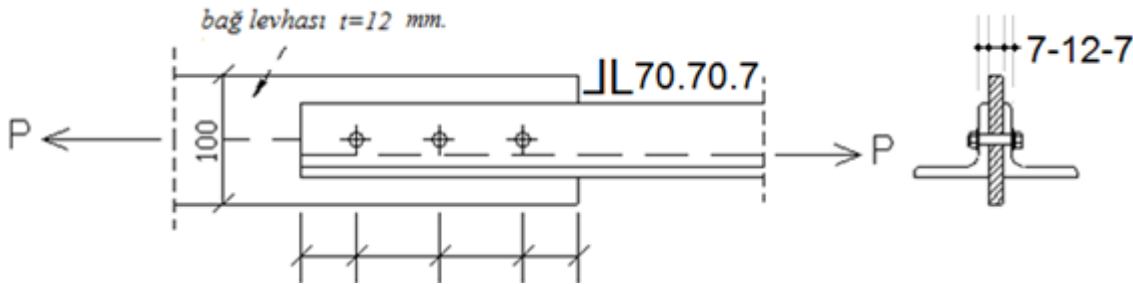
$$B_{em} = B_l = 4,704 \text{ ton}$$

Bu ek sadece (4UB 21) bulonlar açısından

$$P_{em} = n \cdot B_{em} = 4,704 \times 4 = 18.816 \text{ ton yük aktarabilir.}$$

ÖRNEK

Şekilde verilen bulonlu eki oluşturabilmek için gereken Uygun bulon sayısının hesaplayınız. Bulon aralıklarını gösteriniz. Ç37, YDI, $P=20$ ton (çekme)



Bulonlu ek çift tesirlidir. Bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır ve eke etkiyen eksenel yük bu emniyetli taşıma kapasitesine bölünür.

$$n = \frac{P}{B_{em}} \text{ adet} \text{ Olarak hesaplanır.}$$

Kesme kuvveti dayanımına göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Ba = 2 \frac{\pi d^2}{4} \tau_a, em \quad Ba = 2 \cdot \frac{\pi (1.7)^2}{4} 1.4 = 6,35 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Bl = d_1 \cdot t_{min} \cdot \sigma_{lem} \text{-----} Bl = 1,7 \times 1,2 \times 2,8 = 5,71 \text{ ton}$$

$$B_{em} = B_l = 5.71 \text{ ton bir adet } \varnothing 17 \text{ UB nun güvenli taşıma kapasitesi } 5,71 \text{ tondur.}$$

Ek için gerekli uygun bulon sayısı;

$$n = \frac{P}{B_{em}} = \frac{20}{5,71} \cong 4 \text{ adet Bulon gereklidir.}$$

$$e_1 = 2d_1 = 2 \times 17 = 34 \text{ mm} \quad e_2 = 4d_1 = 4 \times 17 = 68 \text{ mm}$$

BULONLU ÇELİK ÇEKME ÇUBUKLARI

Bulonlu ve perçinli çekme çubuklarının yük aktaran enkesitlerine delik açıldığı için çekme çubuğunun kesitinde delik zaiyatı olmaktadır. Profil hesaplarında bu delik zaiyatlarını (ΔA_g) göz önüne almak gerekir. Bunu niçin üzerinde delik açılan çekme çubuklarının kesit ve taşıma kapasitesi hesabı kaynaklı birleşimlerden ayrı yapılır.

Eksenel yük etkisi altındaki elemanlar denilince aklımıza çekme ve basınç çubukları gelir.

Çekme çubukları boy eksenini doğrultusunda çekme kuvveti etkisi altındaki elemanlardır. Çubuğun bütün kesiti çekmeye zorlanır ve kesitte çekme gerilmeleri oluşur

Dolayısıyla çubuktaki gerilme hesabı $\sigma = \frac{P(+)}{A_n} \leq \sigma_{\zeta,emn}$ şeklindedir. Burada,

P= eksenel çekme kuvveti (kg,ton, kN)

A_g = kayıpsız enkesit alanı,

A_n = net (kayıplı) enkesit alanı,

$A_n = \Sigma A_g - \Delta A_g$ şeklinde hesaplanan kayıplı (faydalı) enkesit alanı (cm^2)

$\Delta A = n(d_1 \cdot t)$

$A_g \geq A_n \geq A_e$

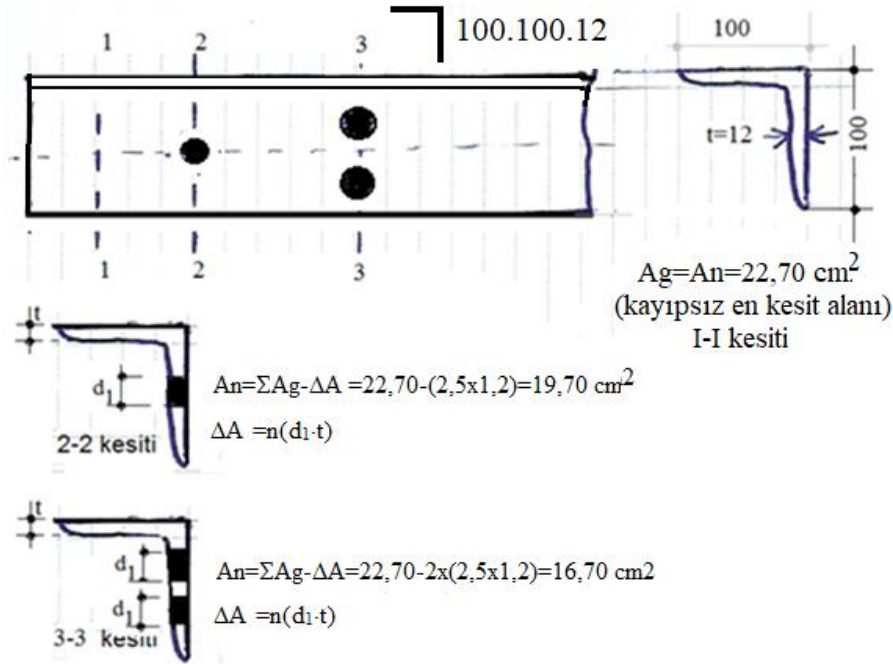
A_e : etkin net enkesit alanı. $A_e = U \cdot A_n$ U=gerilme düzensizliği etki katsayısı

$\sigma_{\zeta,emn}$ = GKT tasarımında Çekme çubuğunun malzemesine göre çekme emniyet gerilmesi (kg/cm^2)

Kayıpsız (A_g) ve Net Enkesit (A_n) Alanları

Çelik çubukların Kayıplı (net) Enkesit alanı (A_n) Kavramı

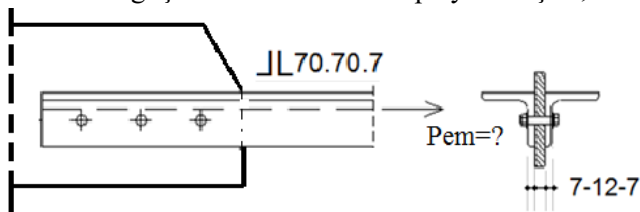
Çekme çubuklarının kesit hesabı ve kesit kontrolünde, Kayıpsız çubuk en kesit alanından, kesitteki delik zaiyatı alanlarının düşülmesiyle net en kesit alanı hesaplanır.



Narinlik Oranı Sınırı Yönetmelik 7.1.1 gereğince

Çekme kuvveti etkisindeki elemanlarda stabilite bir tasarım kriteri olmamasına karşın, bu tür elemanlarda narinlik oranı, $L/i \leq 300$ olmalıdır.

ÖRNEK: Şekilde verilen bir kafes kirişe ait örgü çubuğu çekme kuvveti etkisi altındadır. Sadece Çubuğun güvenle aktarabileceği çekme kuvvetini hesaplayınız. Ç37, YD1



Çubuk kayıpsız alanı (A_g) ilgili profil tablosundan $A_g = 9,40 \text{ cm}^2$ okunur.

Çubuk gövdesinde açılmaya müsaade edilen delik çapı $d_1 = 17 \text{ mm}$ (1,7 cm)

Profil gövdesinde Delik kayıp enkesit alanı hesabı:

$$A_g = 9,40 \text{ cm}^2 \quad \Sigma A_g = 2A_g = 2 \times 9,40 = 18,80 \text{ cm}^2$$

$$\Delta A_g = n \cdot (d_1 \cdot t) \text{-----} \Delta A = 2 \times (1,7 \times 0,7) = 2,38 \text{ cm}^2$$

$$A_n = \Sigma A_g - \Delta A_g \text{-----} A_n = 18,80 - 2,38 = 16,42 \text{ cm}^2 \text{ kayıplı (net) enkesit alanı}$$

2 adet 70.70.7 lik köşebent in güvenle aktarabileceği çekme kuvveti;

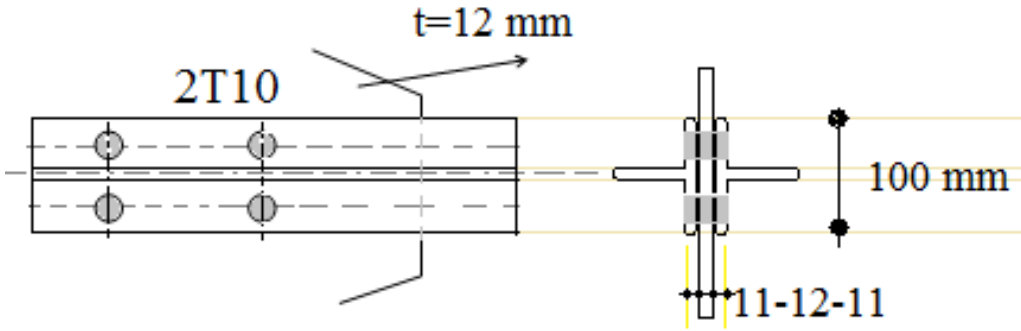
$$P_{em} = A_n \times \sigma_{ç,em} \text{.....} P_{em} = 16,42 \times 1,4 = 22,988 \text{ ton olarak hesaplanır.}$$

(Not: Birleşim araçları hesaba dahil edilmemiştir, sadece profillerin güvenli yükü hesaplanmıştır)

ÖRNEK: Şekilde görülen Normal (kaba) bulonlu çekme çubuğu ekinde 4 adet NB kullanılmıştır. Çekme çubuğu iki adet T10 kesitinden oluşturulmuştur. Bu normal bulonlu çekme çubuğu ekinin güvenle aktarabileceği kuvveti hesaplayınız.

(Pem, birleştirme aracı ve çekme çubuğu için ayrı ayrı hesaplanır. Küçük olanı bu ekin güvenle aktarabileceği kuvveti olarak belirlenir)

Ç37, YD I



Normal Bulonların güvenli taşıma kapasitesi

Bulon çift tesirlidir.

$t_{min} = 12 \text{ mm}$ dir

$d_1 = 13 \text{ mm}$ profil gövdesine açılmasına müsaade edilen en büyük delik çapıdır, T enkesit tablosundan alınır. (Normal bulonlarda bulon çapı delik çapından 1 mm küçüktür. Yeni yönetmelikte 2 mm dir) Tablo 1 de verilen standart delik çapları ile karıştırmayınız)

$d = (d_1 - 1) \quad d = 13 - 1 = 12 \text{ mm}$ Bulonlu ek çift tesirlidir. Bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır ve ekin bulonlar açısından güvenle taşıyabileceği yükü bulmak için ekteki bulon sayısı ile çarpılır.

Kesme kuvveti dayanımı gerilmesine göre bir Normal bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$B_a = 2 \frac{\pi d^2}{4} \tau_{a,em} \text{-----} B_a = 2 \cdot \frac{\pi (1,2)^2}{4} \cdot 1,12 = 2,53 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir Normal bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$B_l = d \cdot t_{min} \cdot \sigma_{lem} \text{-----} B_l = 1,2 \times 1,2 \times 2,4 = 3,456 \text{ ton} \quad B_{em} = B_a = 2,53 \text{ ton}$$

Bulonlar açısından $P_{em} = n \times B_{em} \text{ ...} P_{em} = 4 \times 2,53 = 10,12 \text{ ton. (en az)}$

Çekme Çubuğunun (2 adet T10) güvenle taşıyabileceği yük:

Çubuk kayıpsız alanı ilgili profil tablosundan $A_g = 20,90 \text{ cm}^2$ okunur.

Çubuk gövdesinde açılmaya müsaade edilen delik çapı $d_1 = 13 \text{ mm}$ (1,3 cm)

Delik zaiyatı hesabı:

$$A_g = 20,90 \text{ cm}^2 \quad \Sigma A_g = 2A_g = 2 \times 20,90 = 41,80 \text{ cm}^2$$

$$\Delta A_g = n(d_1 \cdot t) \text{-----} \Delta A_g = 4 \times (1,3 \times 1,1) = 5,72 \text{ cm}^2$$

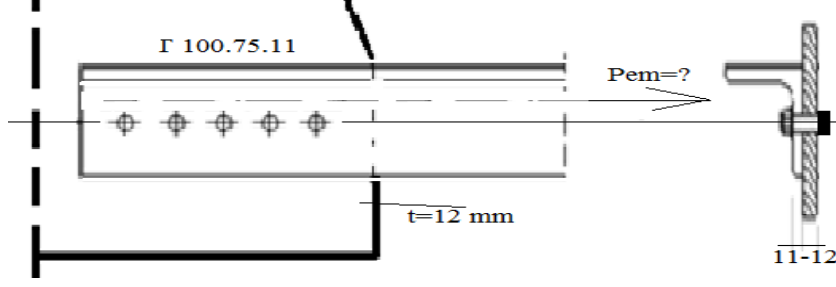
$$A_n = \Sigma A_g - \Delta A_g \text{-----} A_n = 41,80 - 5,72 = 36,08 \text{ cm}^2 \text{ kayıplı net enkesit alanı}$$

2 adet T10 profilinin güvenle aktarabileceği çekme kuvveti;

$$P_{em} = A_n \times \sigma_{ç,em} \text{.....} P_{em} = 36,08 \times 1,4 = 50,512 \text{ ton olarak hesaplanır.}$$

Birleştirme aracının taşıyabileceği güvenli yük ile Çekme çubuğunun taşıyabileceği güvenli yük kıyaslanır. Zayıf olanı bu ekin güvenle aktarabileceği yükü verir. Bu bulonlu ek güvenle 10,12 ton. yük aktarır.

ÖRNEK: Şekilde ki çekme çubuğu ekinde 5 adet uygun bulon kullanılmıştır. Çekme çubuğu bir adet 100.75.11 kesitinde çeşit kollu köşebent olarak seçilmiştir. Bağ levhasının profilin uzun kolu tarafına bulonla bağlandığına dikkat ederek, bu ekin P=20 tonluk bir çekme kuvvetini güvenle taşıyıp taşıyamayacağını belirleyiniz.Ç37/YDII



UYGUN Bulonların güvenli taşıma kapasitesi

Bulon TEK tesirlidir.

$t_{min} = 11$ mm dir

$d_1 = 21$ mm (Levha uzun kol tarafında olduğundan d_2 ile işaretlenen delik alınır)

Bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır ve ekin bulonlar açısından güvenli taşıyabileceği yükü bulmak için ektaki bulon sayısı ile çarpılır.

Kesme kuvveti dayanımına göre bir UYGUN bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Ba = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \tau_{a,em} \rightarrow Ba = \frac{\pi (21)^2}{4} \cdot 1,6 = 5,54 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir Normal bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Bl = d_1 \cdot t_{min} \sigma_{lem} \rightarrow Bl = 21 \cdot 11 \cdot 1,3 \cdot 2 = 7,392 \text{ ton} \quad B_{em} = B_a = 5,54 \text{ ton}$$

Bulonlar açısından $P_{em} = n \cdot B_{em} \rightarrow P_{em} = 5 \times 5,54 = 27,70 \text{ ton}$.

Çekme Çubuğunun (100.75.11) güvenli taşıyabileceği yük:

Çubuk kayıpsız enkesit alanı ilgili profil tablosundan $A_g = 20,90 \text{ cm}^2$ okunur.

Çubuk gövdesinde açılmaya müsaade edilen delik çapı $d_1 = 13 \text{ mm}$ (1,3 cm)

Delik zaiyatı hesabı:

$$A_g = 18,20 \text{ cm}^2$$

$$\Delta A_g = n(d_1 \cdot t) \text{-----} \Delta A_g = 1 \times (2,1 \times 1,1) = 2,31 \text{ cm}^2$$

$$A_n = \Sigma A_g - \Delta A_g \text{-----} A_n = 18,20 - 2,31 = 15,89 \text{ cm}^2 \text{ net kayıplı enkesit alanı}$$

1 adet 100.75.11 çeşit kollu köşebentin güvenli aktarabileceği çekme kuvveti;

$$P_{em} = A_n \times \sigma_{\phi,em} \text{-----} P_{em} = 15,89 \times 1,6 = 25,42 \text{ ton olarak hesaplanır.}$$

Birleştirme aracının taşıyabileceği güvenli yük ile Çekme çubuğunun taşıyabileceği güvenli yük kıyaslanır. Zayıf olanı bu ekin güvenli aktarabileceği yükü verir. Bu uygun bulonlu ek güvenli 25,42 ton. yük aktarır.

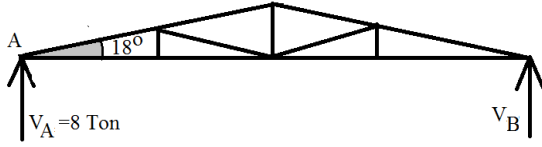
ÇEKME ÇUBUKLARININ KESİT HESABI

Çubuğa etkiyen eksenel çekme kuvveti biliniyor. Malzeme dayanımı, birleştirme aracı tipi ve yükleme hali bilindiğine göre çubuk kesiti istenir. Çekme çubuğunun kesiti gerekli şartları sağlayacak şekilde seçildikten sonra seçilen kesitin kontrolü ve birleştirme aracının hesabı yapılır.

Perçinli ve bulonlu çekme çubuklarının gövdesinde delik açıldığı için yük aktaran kesit alanı zayıflar. Bu durumu kesit tayini yaparken önceden göz önüne almak gerekir. Bu amaçla hesaplanan çekme çubuğu kesitini %20-30 oranında artırmak gerekir. Bu durumda perçinli ve bulonlu çekme çubuklarının kesit tayini şu ifade ile yapılırsa yanlış yapılmamış olur.

$$A_{ger} = \frac{P_+}{\sigma_{\phi,em}} \cdot 1,25 \dots \text{cm}^2 \text{ (not: örneklerimizde \%25 alacağız)}$$

ÖRNEK:



Şekilde görülen kafes kirişin A düğüm noktasındaki çekme çubuğunun,

a-Kesitini çift eşit kollu köşebent olarak seçiniz.

b-Gerekli uygun bulon hesabını yapınız.

c-Bulon aralıklarını gösteriniz.

ÇÖZÜM

Önce yapı statik dersinden hatırlanacağı üzere A Düğüm Noktasındaki denge şartını inceleyerek O ve U çubuk kuvvetlerini hesaplayalım. Böylece hangi çubuğun çekmeye hangi çubuğun basınca çalıştığını belirlemiş oluruz.

$$\rightarrow \Sigma F_x = 0$$

$$U_1 + O_1 \cdot \cos 18^\circ = 0$$

$$\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$O_1 \cdot \sin 18^\circ + 8 = 0 \dots \dots \dots O_1 = -25.88 \text{ ton basınç}$$

$$U_1 = 24,62 \text{ ton çekme (alt başlık çubuğu çekmeye çalışıyormuş)}$$

Çekme çubuğunun kesit hesabı

$$A_{ger} = \frac{P}{\sigma_{\text{ç},em}} \cdot 1,25 \dots = \frac{24,62}{1,4} \cdot 1,25 = 21,98 \text{ cm}^2 \text{ (iki profi alanı)}$$

$$A_1 = 21,98 / 2 = 11 \text{ cm}^2, \text{ SEÇİLEN iki adet } 65.65.9, A_g = 11 \text{ cm}^2 \cdot d_1 = 21 \text{ mm}, \text{ UB kullanılacak}$$

Seçilen kesitin kontrolü;

Delik ziyatı hesabı

$$A_n = \Sigma A_g - \Delta A_g$$

$$A_n = 2 \times 11 - (2 \times 0,9 \times 2,1) = 18,22 \text{ cm}^2 \text{ faydalı enkesit alanı}$$

Gerilme kontrolü:

$$\sigma = \frac{24,62}{18,22} \leq \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{\text{ç},em} = 1,4 \cdot t / \text{cm}^2$$

Seçilen kesit güvenli ve ekonomiktir.

Gerekli Uygun bulon sayısı:

Bulon çift tesirlidir. Bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır ve eke etkiyen eksenel yük bu emniyetli taşıma kapasitesine bölünür.

$$n = \frac{P}{N_{em}} \text{ adet olarak hesaplanır}$$

Kesme kuvveti dayanımına göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$B_a = 2 \frac{\pi d^2}{4} \tau_{a,em} \dots \dots \dots B_a = 2 \cdot \frac{\pi (2,1)^2}{4} \cdot 1,4 = 9,70 \text{ ton}$$

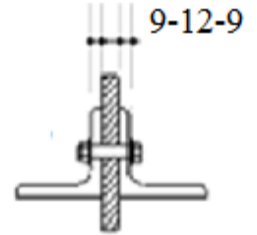
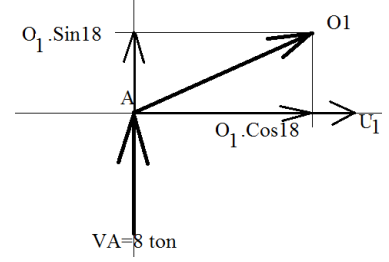
Ezilme gerilmesine göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

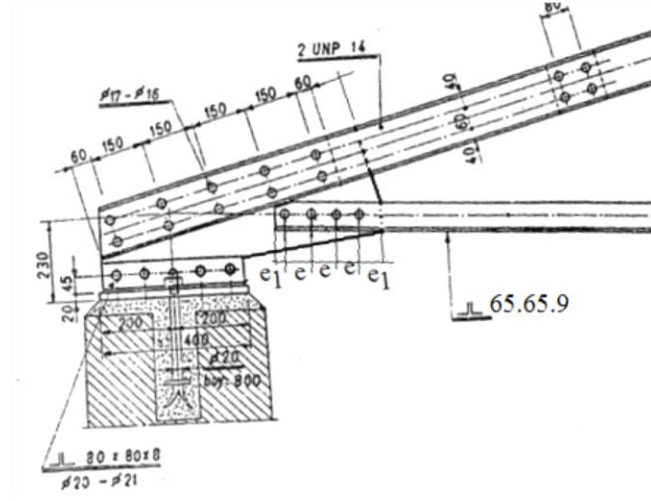
$$B_l = d_1 \cdot t_{\min} \cdot \sigma_{lem} \dots \dots \dots B_l = 2,1 \times 1,2 \times 2,8 = 7,056 \text{ ton}$$

$B_{em} = B_l = 7,056 \text{ ton}$ bir adet Ø21 UB nun güvenli taşıma kapasitesi 7,056 tondur.

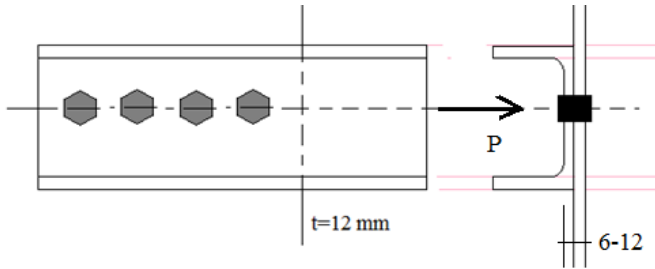
Ek için gerekli uygun bulon sayısı;

$$n = \frac{P}{N_{em}} = \frac{24,62}{7,056} \cong 4 \text{ adet } \text{Ø}21 \text{ Uygun Bulon gereklidir.}$$





ÖRNEK: Verilenlerden faydalanarak U profilinden oluşturulmak istenen çekme çubuğunun,
a-Kesitini seçiniz ve kontrol ediniz, Ç37,YDII,
b-Gerekli NB sayısını hesaplayınız,
c-Detayı çiziniz,



Çekme çubuğunun kesit hesabı

$$A_{ger} = \frac{P_+}{\sigma_{\zeta,em}} \cdot 1,25 \dots = \frac{10}{1,6} \cdot 1,25 = 7,81 \text{ cm}^2 \text{ (bir profi alanı)}$$

SEÇİLEN [8 F=11 cm² > 7,81 cm² (daha küçük kesit yok)

Seçilen kesitin kontrolü;

[profilinin gövdesine delik açılacağından deliğin çapı minimum levha kalınlığına göre tayin edilir.

$$d = \sqrt{5 \cdot t} - 0,2 \text{ cm}$$

$$d = \sqrt{5 \cdot 0,6} - 0,2 = 1,53 \text{ cm} \quad 16 + 1 = 17 \text{ mm} \text{ veya tablodan 6-8 mm arası için } d_1=17\text{mm alınabilir.}$$

Delik ziyatı hesabı

$$A_n = \Sigma A_g - \Delta A_g$$

$$A_n = 11 - (1,7 \times 0,6) = 9,98 \text{ cm}^2 \text{ faydalı enkesit alanı}$$

Gerilme kontrolü:

$$\sigma = \frac{10}{9,98} = 1,00 \text{ t/cm}^2 \leq 1,6 \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{\zeta,emn}$$

Gerilme kontrolünün yanında seçilen kesitin güvenle taşıyabileceği çekme kuvveti de hesaplanarak kesit gerçeğemesi yapılabilir.

$$P_{em} = A_n \times \sigma_{\zeta,em} \dots \dots P_{em} = 9,98 \times 1,6 = 15,965 \text{ cm}^2 > 10 \text{ ton kesit yeterlidir.}$$

Ek için gerekli Normal (kaba) bulon sayısı,

Bulonlu birleşim tek tesirlidir. Bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır ve eke etkiyen eksenel yük bu emniyetli taşıma kapasitesine bölünür.

$$n = \frac{P}{N_{em}} \quad \text{adet} \quad \text{Olarak hesaplanır.}$$

Kesme kuvveti dayanımına göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$B_a = \frac{\pi d^2}{4} \tau_{a,em} \quad B_a = \frac{\pi (1.6)^2}{4} 1.26 = 2,53 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$B_l = d \cdot t_{\min} \sigma_{lem} \quad B_l = 1,6 \times 0,6 \times 2,7 = 2,592 \text{ ton}$$

$B_{em} = B_a = 2,53$ ton bir adet Ø16 NB nun güvenli taşıma kapasitesi 2,53 tondur.

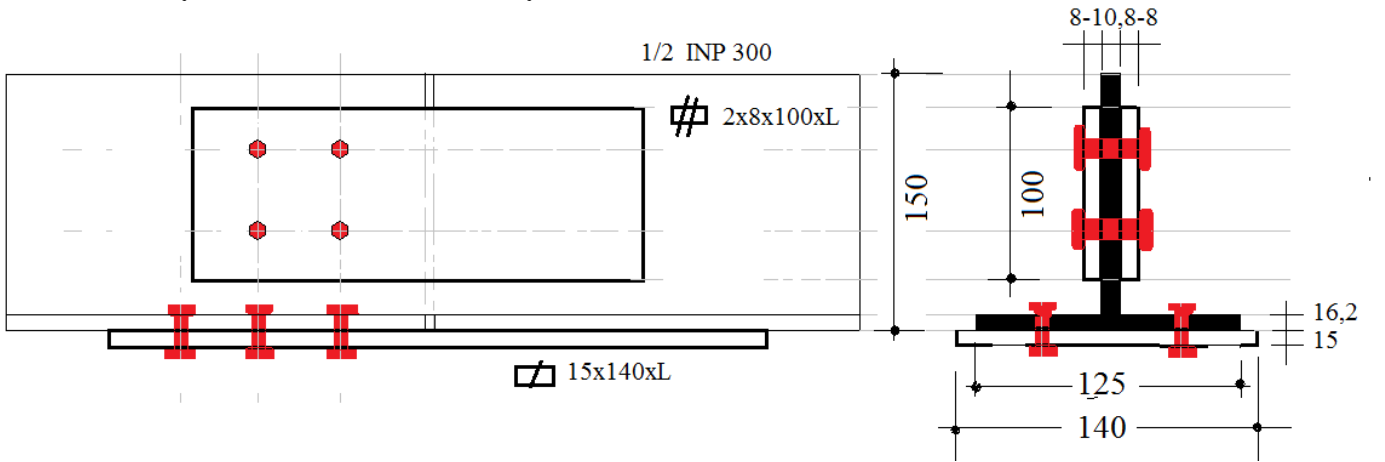
Ek için gerekli uygun bulon sayısı;

$$n = \frac{P}{N_{em}} = \frac{10}{2,53} \cong 4 \text{ adet } \varnothing 16 \text{ Normal (kaba) bulon gereklidir.}$$

$$e_1 = 2d_1 = 2 \times 17 = 34 \text{ mm} \quad e_2 = 4d_1 = 4 \times 17 = 68 \text{ mm}$$

MİSAL

½ I300 profilinden yapılmış çelik çatı alt başlık çubuğunun boyuna doğrultuda lamalar kullanılarak Normal (kaba) bulonlu ekini oluşturunuz. $P = +32,5$ ton YD1, Ç37



Gövde eki: 2x8x100 mm

Başlık eki: 1x15x140 mm

ÇÖZÜM

1-Gövde ve başlık için delik çapları

Başlık için $d_1 = 21$ mm I profil tablosundan

Gövde için $t_g = s = 10,8$ mm ise $t_{\min} = 10,8$ mm için $d_1 = \sqrt{5 \cdot 1,08} - 0,2 = 2,1 \text{ cm } 21 \text{ mm}$

2-Net en kesit alanları

Profil için

$$A_n = 34,6 - (2 \times 2,1 \times 1,08) + (2 \times 2,1 \times 1,62) = 23,26 \text{ cm}^2$$

Gövde levhası için

$$A_n = (2 \times 0,8 \times 10) - (4 \times 2,1 \times 0,8) = 9,28 \text{ cm}^2$$

Başlık levhası için

$$A_n = 14 \times 1,5 - (2 \times 2,1 \times 1,5) = 14,70 \text{ cm}^2$$

3- Ek levhalarının kesiti kontrol edilir

$$\Sigma A_{ek} > A_{pro} \quad \frac{1}{2} \text{ I300 profili en kesit alanı } F = 34,6 \text{ cm}^2$$

$$A_n;_{gövde} = 9,28 \text{ cm}^2$$

$$A_n;_{başlık} = 14,70 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma A_{ek} = 9,28 + 14,70 = 23,98 \text{ cm}^2 > A_{npr} = 23,26 \text{ cm}^2$$

4-Esas profil ve ek levhalarına etkiyen kuvvetin hesabı;

Esas profil P=32,5 tonun tamamını taşır.

$$P_{gövde} = \frac{9,28}{23,98} \cdot 32,5 = 12,57 \text{ ton} ; P_{Başlık} = \frac{14,70}{23,98} \cdot 32,5 = 19,92 \text{ ton}$$

olur.

5-Kesitlerde gerilme kontrolü yapılır

$$\sigma_{pr} = \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{\zeta,emn} = \frac{32,5}{23,26} = 1,39 \frac{t}{cm^2} < 1,4 \frac{t}{cm^2} \text{ esas profilin kesiti yeterli}$$
$$\sigma_{göv} = \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{\zeta,emn} = \frac{12,57}{9,28} = 1,35 \frac{t}{cm^2} < 1,4 \frac{t}{cm^2} \text{ gövde ek levhasının kesiti yeterli}$$
$$\sigma_{başlık} = \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{\zeta,emn} = \frac{19,92}{14,70} = 1,36 \frac{t}{cm^2} < 1,4 \frac{t}{cm^2} \text{ başlıkek levhasının kesiti yeterli}$$

6- Gereken Bulon hesabı yapılır

Bulonlu birleşim gövde de çift, başlıkta tek tesirlidir. Bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır ve eke etkiyen eksenel yük bu emniyetli taşıma kapasitesine bölünür.

$$n = \frac{P}{N_{em}} \text{ adet} \quad \text{Olarak hesaplanır.}$$

Gövde levhalarını ½ 300 profiline bağlayan bulonların sayısı

Kesme kuvveti dayanımına göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Ba = 2 \frac{\pi d^2}{4} \tau_{a,em} \dots\dots\dots Ba = 2 \frac{\pi(2,0)^2}{4} 1.12 = 7,04 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Bl = d \cdot t_{\min} \sigma_{lem} \dots\dots\dots Bl = 2,0 \times 1,08 \times 2,4 = 5,184 \text{ ton}$$

$B_{em} = B_l = 5,184$ ton bir adet Ø20 NB nun güvenli taşıma kapasitesi 5,184 tondur.

Ek için gerekli uygun bulon sayısı;

$$n = \frac{P}{N_{em}} = \frac{15,03}{5,184} \cong 3 \text{ adet } \varnothing 20 \text{ normal bulon gereklidir.}$$

Başlık levhalarını ½ 300 profiline bağlayan bulonların sayısı

Kesme kuvveti dayanımına göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Ba = \frac{\pi d^2}{4} \tau_{a,em} \dots\dots\dots Ba = \frac{\pi(2,0)^2}{4} 1.12 = 3,52 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$Bl = d \cdot t_{\min} \sigma_{lem} \dots\dots\dots Bl = 2,0 \times 1,5 \times 2,4 = 7,2 \text{ ton}$$

$B_{em} = B_a = 3,52$ ton bir adet Ø20 NB nun güvenli taşıma kapasitesi 3,52 tondur.

Ek için gerekli uygun bulon sayısı;

$$n = \frac{P}{N_{em}} = \frac{17,47}{3,52} \cong 5 \text{ adet } \varnothing 20 \text{ normal bulon gereklidir.}$$

Simetri oluşması için $3 \times 2 = 6$ tane yapılır

3-KAYNAKLAR ve KAYNAKLI BİRLEŞİMLER

YDKT: Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım

GKT: Güvenlik Katsayıları ile Tasarım

TNK: Tam Nüfuziyetli Küt Kaynak

KNK: Kısmi Nüfuziyetli Küt Kaynak

KK: Köşe Kaynak

(TS 3357/1979, Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları)

(TS 563 EN 499/2002.Kaynak Sarf Malzemeleri- Alaşımsız ve İnce Daneli Çeliklerin Elle Metal Ark Kaynağı İçin Örtülü Elektrotlar- Sınıflandırma)

Aynı veya benzer alaşımlı metallerin ısı etkisi altında birleştirilmesine kaynak işlemi denir. Birleştirme işlemlerinin bazılarında benzer alaşımlı ilave bir metal (kaynak teli, elektrod) kullanılır, bazılarında da kullanılmadan kaynak yapılır. Kaynaklama işlemi için metaller ya ergitme sıcaklığına kadar ısıtılıp sıvı kıvama getirilir yada kızıl dereceye kadar ısıtılıp plastik kıvama getirilir.

Kaynaklı birleşimlerin avantajları:

- İşçilik bakımından kaynaklı birleşimin yapılması daha kolay ve daha az zaman alır.
 - Kaynaklı birleşim perçinli birleşime göre daha rijittir.
 - Kaliteli bir kaynak dikişinin mukavemeti birleştirilen malzemelerin mukavemetine yetişebilir.
 - Kaynaklı birleşim yapının daha hafif olmasını sağlar.
 - Profil gövdesinde delik zaiyatı oluşturmadığı için daha güvenlidir.
 - Kaynaklı birleşimlerin maliyeti düşüktür.
 - Esnek kullanım, enerji kaynağından <20 m mesafede işlem yapılabilir.
 - Yapı çelikleri için uygun
- Sayılan bu üstünlüklerden dolayı çelik yapılarda kaynaklı birleşim yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kaynak Metodları

Genel olarak uygulamada iki türlü kaynak metodu söz konusudur.

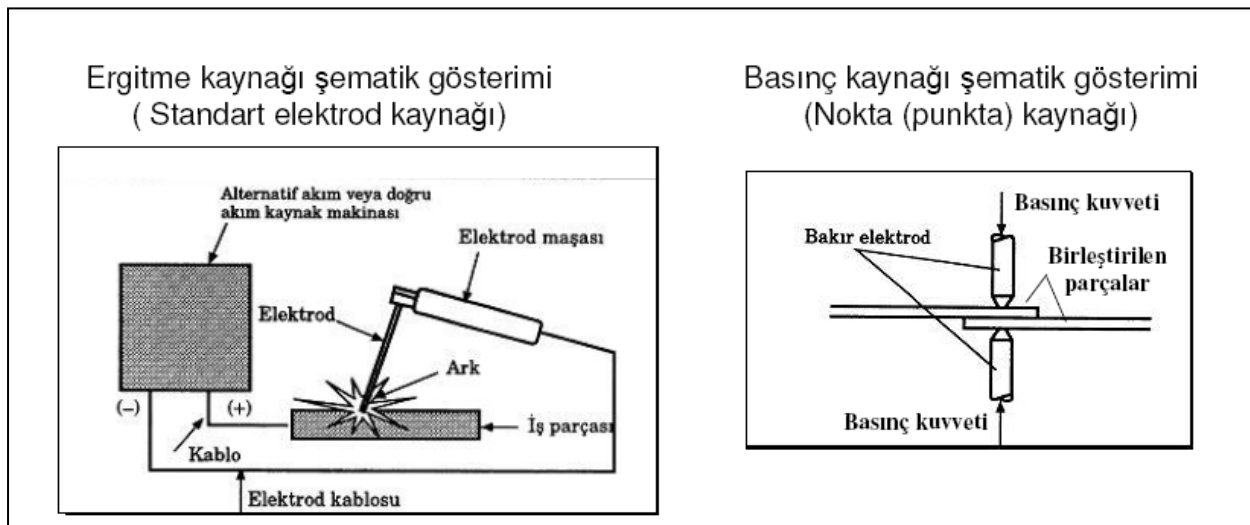
- Ergitme kaynakları
- Basınç kaynakları

Yapı elemanlarının birleşiminde en sık kullanılan kaynak metodu ergitme kaynaklarıdır. Ergitme metodunda birleştirilecek parçaların birbirine kaynatılacak kısımları ile ilave metal 3000 - 5000° C ye kadar ısıtılır. Kullanılan ısıtma kaynağına göre ergitme kaynaklarının iki türünden söz edilebilir:

- Elektrik Arkı Kaynağı
- Gaz Kaynağı

Elektrik Arkı Kaynağı:

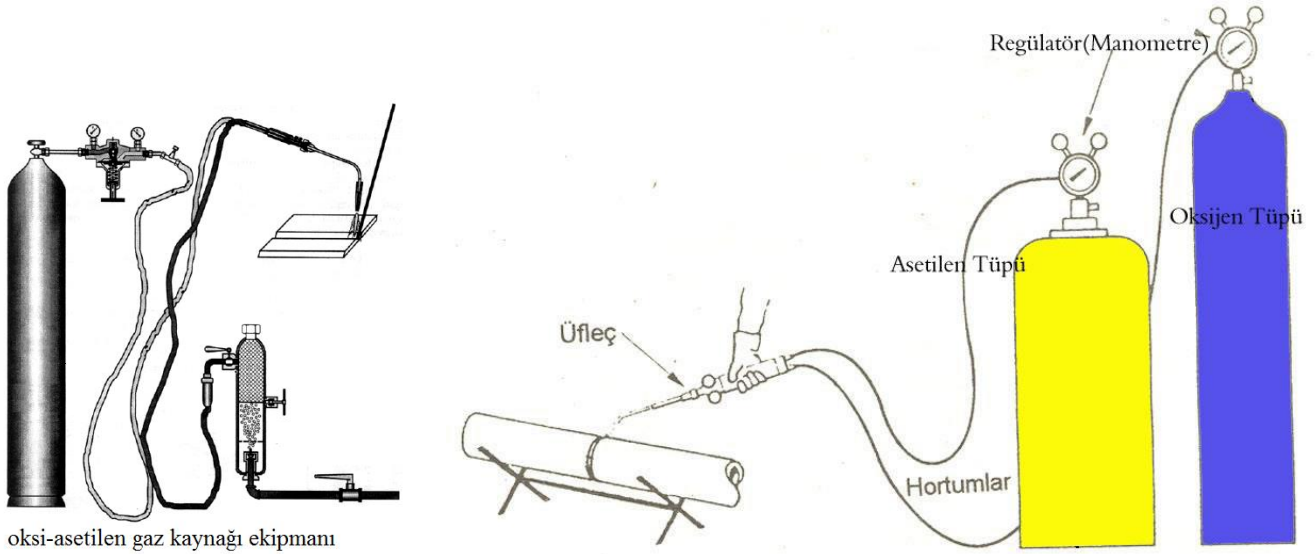
Ark kaynağının genel uygulama tarzında; Elektrot maşa ve bir kablo vasıtası ile kaynak makinesinin (-) kutbuna bağlıdır. Kaynaklanacak parçalarda bir bağlantı maşası ve bir kablo ile kaynak makinesinin (+) kutbuna bağlıdır.



Gaz (Asetilen) Kaynağı:

Bu metotta yüksek ısı gaz alevi ile sağlanır. Gaz olarak genellikle asetilen gazı kullanılır. Yanıcı gaz olarak da propan veya bütan kullanılır. Yapı birleşimlerinde kuvvet aktaran birleşimlerde kullanılmaz. Ancak bu metot özellikle malzeme kesimlerinde çok kullanılır.

Karpit: CaC_2 -Karpit, kimyadaki karşılığı kalsiyum karbür olan, suyla birleştğinde hızla tepkimeye giren ve asetilen gazı çıkaran, sıkça kullanıldığı için bulunması kolay ve ucuz bir malzemedir. Karpit lambası asetilen gazını yakarak ışık verir. Aynı zamanda gaz kaynağının yanan elemanıdır.



ELEKTRODLAR:

Bütün kaynak metotlarının hepsinde kaynak yapılırken kaynak teli, kaynak çubuğu veya elektrod kullanılır. Elektrod içerisinde akım geçebilen metal bir çubuktur.

Sıvalı (örtülü) ve sıvasız olmak üzere iki çeşittir.

Çelik yapılarda kullanılan sıvalı elektrotlar içerisinde en uygun olanları, elektrot çapının %20~75'i kadar sıva kalınlığına sahip olan elektrotlardır. Sıvalı elektrotlarda elektrodun üzeri çeşitli malzemelerden oluşan bir sıva tabakası ile kaplanmıştır.

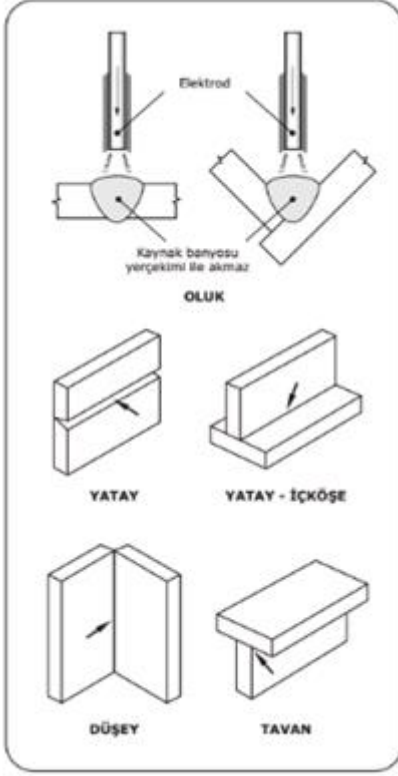
Elektrot sıvasının (örtüsünün) avantajları:

- Sıva maddesinin yanmasından oluşan gazlar kaynak bölgesinden havayı uzaklaştırarak kaynak dikişinin O ve N kapmasını önler.
- Kaynak dikişi üzerinde cüruf tabakası oluşturur. Bu tabaka kaynağın yavaş soğumasını sağlar ve dikiş içinde gaz kabarcıklarının kalmasına engel olur.
- Elektrot sıvası ile kaynak malzemesi arasındaki kimyasal reaksiyonlar kaynak dikişinin mekanik özelliklerini iyileştirir.
- Elektrik arkının tutuşma kabiliyetini artırır.
- Elektrot iç çubuğunu arkten izole ettiği için her pozisyonda kaynak yapma imkanı sağlar.

Elektrotun kaynak niteliği üzerine olan yararları bellidir. Ancak, uygun elektrot tipini ve çapını seçmek gerekir. Bunun için de adı geçen türlerin özelliklerini iyi bilmek gerekir. Bilinmesi gereken pratik ayrıntılar özetle şöyledir

- *Rutil Tip:* Hem doğru, hem alternatif akımda kullanılır. Her kaynak pozisyonu için uygulanabilir.

- **Bazık Tip:** Genelde doğru akımla uygulanan kaynaklar içindir. Her pozisyon için kullanılır. Mekanik özellikleri çok iyidir.



Şekil 3:

- **Asit Tip:** Alternatif ve doğru akımla yapılan kaynaklarda uygulanır. Düşey pozisyonda kullanılmaz. Çelik yapılarda ince elemanların kaynak ağzı açmadan kaynaklanmalarında yararlanıldıklarına rastlanır.
- **Selülozik Tip:** Her türlü akımda ve özellikle yukarıdan aşağıya doğru kaynak yapmada kullanılır. Borulu inşaatlarda tercih edilmektedir.

KAYNAK POZİSYONLARI:

İdeal olarak, kaynak sırasında iş parçasının pozisyonu, ergimiş kaynak banyosunun yerçekimi kuvveti ile akmamasını, yani yerinde sabit kalmasını sağlayacak şekilde olmalıdır. Buna "oluk" pozisyonu adı verilir. (Şekil-3). Bu pozisyon kaynakçıya kaynak banyosunu kontrol etmesi bakımından en uygun şartları sağlar. Bu pozisyonda yüksek kaynak akımı değerleri kullanılabilir ve bu nedenle kaynak daha hızlı gerçekleştirilir. " Bütün kaynakların oluk pozisyonunda gerçekleştirilebilmesi için iş parçasının kolaylıkla çevrilebilmesi (Şekil-3) veya manevra edilebilmesi gerekir. Örtülü elektrodlarla ark kaynağında elektrod örtüsünün kullanılmasının temel nedeni ergimiş kaynak metalini atmosferin (oksijen ve azot) kötü etkilerinden korumaktır. Aynı zamanda örtü, kaynak işleminin katkıda bulunan birkaç ek görevi de yerine getirir. Verilen bir kaynak işi için seçilecek elektrod çapı büyük ölçüde kaynak edilecek metalin kalınlığına, kaynak pozisyonuna ve bağlantı tipine (alın, içköşe, dışköşe, bindirme) bağlıdır.

KAYNAK HESAPLARI:

Kaynak hesaplarının yapılabilmesi için,

- 1-Kaynak dikişinin çeşidinin belirlenmesi,
- 2-Kaynak dikişinin zorlanma türü
- 3-Kaynak emniyet gerilmesinin belirlenmesi
- 4-Kaynak alanının hesabı gerekir.

Kaynak Dikişleri:

Ergitme metodu ile birleştirilecek parçalar genel olarak iki şekilde kaynak yapılarak birleştirilebilir.

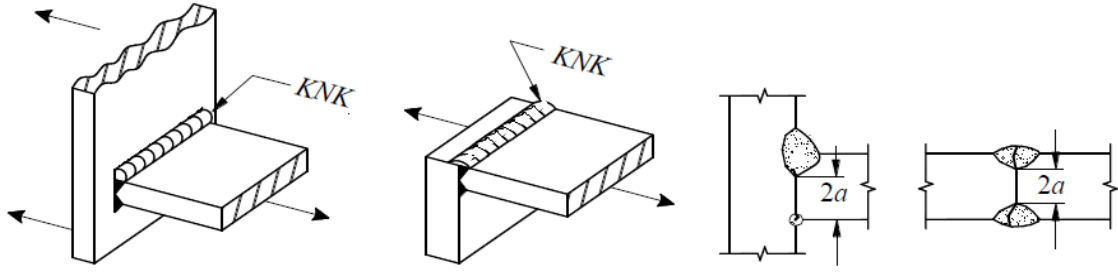
- Küt Kaynak
- Köşe Kaynağı

Küt Kaynak Dikişleri:

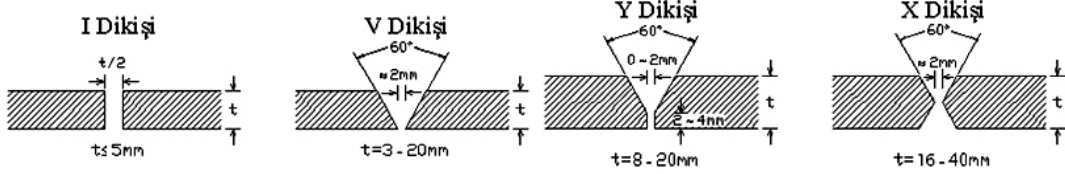
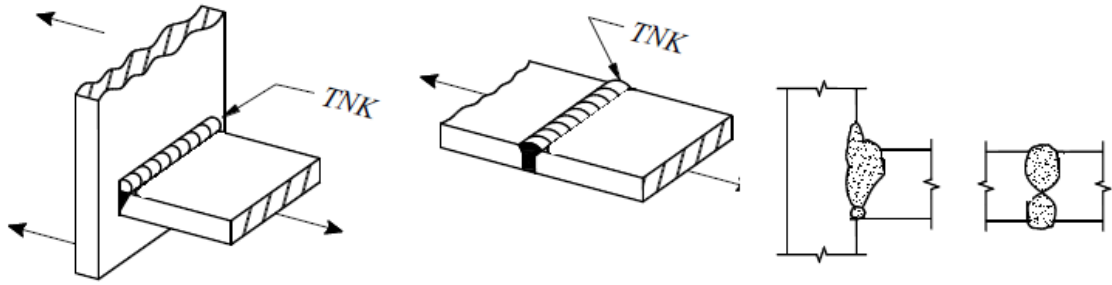
Aynı düzlemde bulunan levhaların yan yana veya ucuca getirilen kenarları boyunca yapılan kaynak işlemidir. Ayrıca; Birleştirilecek iki parçadan kaynak ağzı açılan en az birinin, kalınlığı boyunca kaynak metalini ile doldurulmasıyla oluşturulan kaynaktır.

Levha kenarlarının işleniş şekillerine göre çeşitli isimler alırlar. $t > 5$ mm kalınlıktaki levhaların küt kaynağından önce kenar hazırlık gereklidir.

Kısmi nüfuziyetli küt kaynak (KNK) : Kaynak metalinin birleşen elemanın tüm kalınlığı boyunca uygulanmadığı küt kaynak.



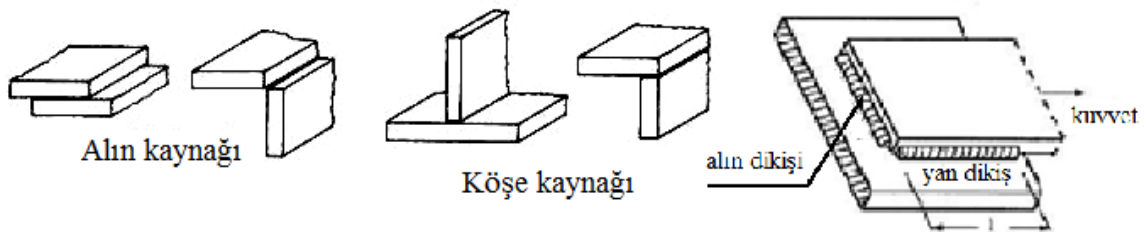
Tam nüfuziyetli küt kaynak (TNK) Kaynak metalinin birleşim enkesitinin tüm kalınlığı boyunca uygulandığı küt kaynak.



Küt kaynak		Yarım V-kaynak Sızdırmazlık pasosu ters kaynaklı	
Çift yarım V-kaynak (K-kaynak)		Yarım V-kaynak Kök de kaynaklı	

Köşe Kaynak (KK) Dikişleri:

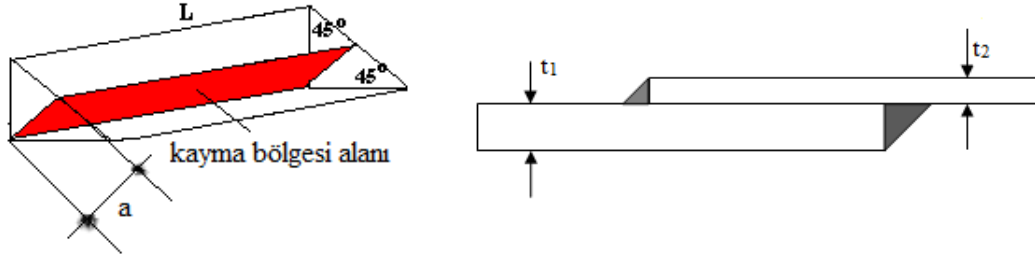
İki çelik elemanın birbirine dik veya minimum 60° ile 120° açı oluşturan yüzeyleri arasında köşelere çekilen dikişlere “**köşe kaynağı dikişleri**” denir. Yüzeyler arasındaki açının 60° ‘den az olması halinde kaynak dikişlerinin kuvvet aktarmadığı ve kısmi nüfuziyetli küt kaynak dikişi olarak kabul edilir. Köşe kaynakları kuvvet yönüne paralel “**Yan dikiş**”, dik olmaları durumuna göre, “**Alın dikişi**” olarak adlandırılır. Kaynak kesiti üçgendir.



Dikiş Kalınlığı ve Dikiş Boyu

Kaynak hesaplarının yapılabilmesi için Köşe kaynağın etkin kalınlığı ile kaynak etkin uzunluğunun bilinmesi gerekir. Etkin kaynak kalınlığını “a” ile gösterirsek şu sınırlarda olmalıdır.

Köşe kaynaklarında “a” dikiş kalınlığı dikişin içine çizilebilen ikizkenar üçgenin yüksekliği ile ölçülür. Yapılarda köşe kaynak kalınlıkları şu değerleri alırlar.



KÖŞE KAYNAKLARIN MİNİMUM KALINLIKLARI

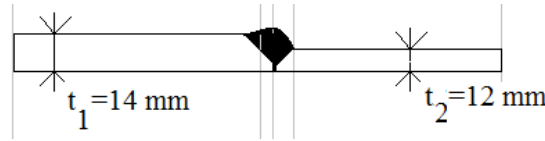
Birleşen İnce Elemanın Kalınlığı, t [mm]	Minimum Köşe Kaynak Kalınlığı, ^a [mm]
$6 \geq t$	3.0
$13 \geq t > 6$	3.5
$19 \geq t > 13$	4.0
$38 \geq t > 19$	5.5

^a: Köşe kaynakların kalınlığı. Tek geçişli kaynaklar kullanılmalıdır.

Kaynaklanan elemanın kenar kalınlığı 6 mm den ince ise “a” $0.7t$ kalınlığından büyük olamaz.

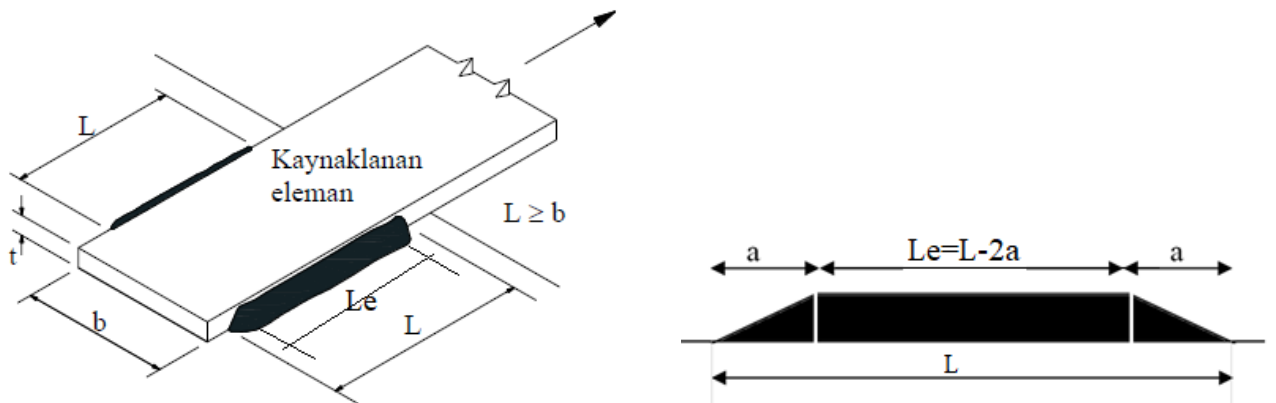
Kaynaklanan elemanın kenar kalınlığı 6 mm veya daha kalın ise, öngörülen kaynak kalınlığının sağlanabilmesi amacıyla, $a = 0.7(t - 2\text{mm})$ şeklinde belirlenecektir.

Küt kaynaklarında “a” kalınlığı; birleştirilen parçaların en incisinin kalınlığı veya bu parçalar birbirine eşit ise birinin kalınlığı olarak kabul edilir.



$$a = t_{\min} = t_2 = 12 \text{ mm}$$

Kaynak kordonlarında dikiş boyu kaynak uzunluğu olarak adlandırılır (L_e), kaynak ile kapatılan kısmın uzunluğuna eşit alınır. Köşe kaynak uzunluğu, uygulanan kaynak uzunluğundan kaynak başlangıç ve bitiş noktalarının her biri için kaynak kalınlığı, a , kadar uzunlukta krater kaybı çıkarılarak hesaplanabilir. Kaynak kordonlarının uç kısımlarının hem kalınlıkları az hem de mukavemetleri düşük olur. Bu kısımlar kaynak kalınlığına eşit kabul edilir.



Şu halde hesaplarda kullanılacak kaynak uzunluğu etkin kaynak uzunluğu olup $L_e = L - 2a$ dır.

Kaynak uzunluklarının sınırları da şu değerde olmalıdır. **13.2.2.2**

$\min L_e \geq 15a$ $\max L_e \leq 100a$ (köşe kaynaklarda $>6a$ veya en az 40 mm)

L_e = Etkin kaynak uzunluğu (hesap kaynak boyu)

L = Kaynak uzunluğu (projede gösterilen ve uygulanan kaynak boyu)

$L_e = L - 2a$ ve $L = L_e + 2a$ dır.

Yönetmelikten: (ÇELİK YAPILARIN TASARIM VE YAPIM KURALLARI)
2.4 KAYNAK MALZEMESİ

Kaynak malzemesi (kaynak metali) özellikleri, **Bölüm 1.2.6** da verilen standartlara uygun olacaktır. Kaynak malzemesinin karakteristik akma gerilmesi ve çekme dayanımı, kopmaya karşı gelen uzama oranı ve minimum Charpy – V – Notch (CVN) (Çentik Dayanımı) değerleri, esas metal malzemesinin benzer değerlerinden daha az olmayacaktır.

TBDY: 9.2.3.3 – Kaynaklı birleşimlerde çelik malzemesine ve kaynaklama yöntemine uygun kaynak metali kullanılacak ve kaynak metalinin akma gerilmesi, birleştirilen esas metalin akma gerilmesinden daha az olmayacaktır. Deprem yükleri etkisindeki elemanların ve birleşimlerinin tüm kaynaklarında **Tablo 9.1**'de öngörülen koşulları sağlayan kaynak metali kullanılacaktır.

TBDY: 9.2.3.4 – Bulonlar ve kaynaklar, birleşimde aktarılan kuvveti veya bu kuvvetin bir bileşenini paylaşacak şekilde bir arada kullanılamazlar.

Tablo 6: GKT yönteminde kullanılan kaynak mekanik özellikleri

Tablo 9.1 – Deprem Yükleri Etkisindeki Elemanların Birleşim ve Eklerinde Kullanılacak Kaynak Metali Özellikleri

Kaynak Metali Sınıfı	E 480	E 550
Karakteristik Akma gerilmesi, N/mm ²	400	470
Min. Çekme dayanımı, (F _E) N/mm ²	480	550
Min. Uzama, %	22	19
Çentik Tokluğu (CVN)	-18°C de min. 27J	

F_{nw} = Kaynak metali karakteristik gerilmesi.

F_E = Kaynak metali karakteristik çekme dayanımı olmak üzere,

S355, S275 esas metali için $F_E = 550 \text{ N/mm}^2 > F_u$, ve $F_{nw} = 0,60 F_E$

Kaynak Emniyet Gerilmeleri (emniyet gerilmeleri yöntemi ile hesap için)

Kaynaklı birleşimlerin emniyet gerilmeleri, dikiş çeşidine, yapı elemanının çeşidine ve kaynak dikişinin maruz kaldığı zorlanma türüne göre değişmektedir. Kaynaklı birleşimlerin emniyet gerilmeleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 7: Kaynak emniyet gerilmeleri

1	2	3	4	5	6	7	8
2	DİKİŞ ÇEŞİDİ	DİKİŞ NİTELİĞİ	GERİLME ÇEŞİDİ	Çelik cinsi			
				Fe 37		Fe 52	
				YD1	YDII	YDI	YDII
3	KÜT KAYNAK	Muayene edilmiş veya edilmemiş	Basınç ve eğilme basma σ	1400	1600	2400	2700
4	Çift taraflı yarım Y tipi köşe kaynağı* Şekil 35	Çatlak, bağlantı ve kök hatası olmadığı muayene saptanmış	Çekme ve kaynak yönüne dik eğilme çekmesi σ	1400	1600	2400	2700
5	Kökü kaynatılmış yarım Y tipi köşe kaynağı Şekil -34	Muayene edilmemiş		1100	1250	1700	1900
6	KÖŞE KAYNAK Yarım Y tipi köşe kaynağı Çukur ve yarık kaynağı	Muayene edilmiş veya edilmemiş	Basınç ve eğilme basıncı, çekme ve eğilme çekmesi, kıyaslama değeri σ	1100	1250	1700	1900
7	Bütün dikiş çeşitleri		Kayma τ	1100	1250	1700	1900

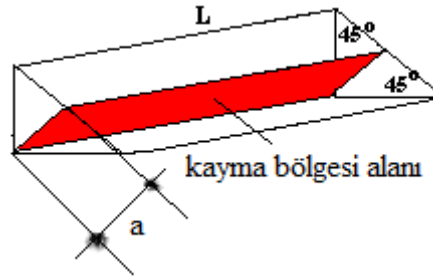
*Bu dikiş çeşidi için satır 4 deki değerler ancak köke tam nüfuziyet sağlanmışsa söz konusudur

Etkin Kaynak Alanı

Bir kaynak kordonundaki etkin kaynak alanı, kaynağının etkin dikiş kalınlığıyla, etkin dikiş uzunluğunun çarpımına eşittir.

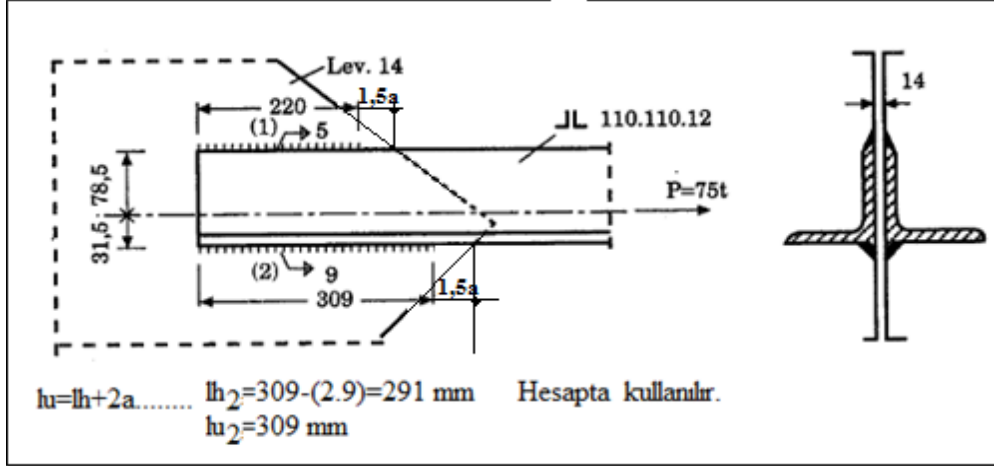
Yani

$A_{kay} = (a \cdot \ell_h)$ dir. Aktarılabacak kuvvetler bu alan tarafından karşılanmaktadır.

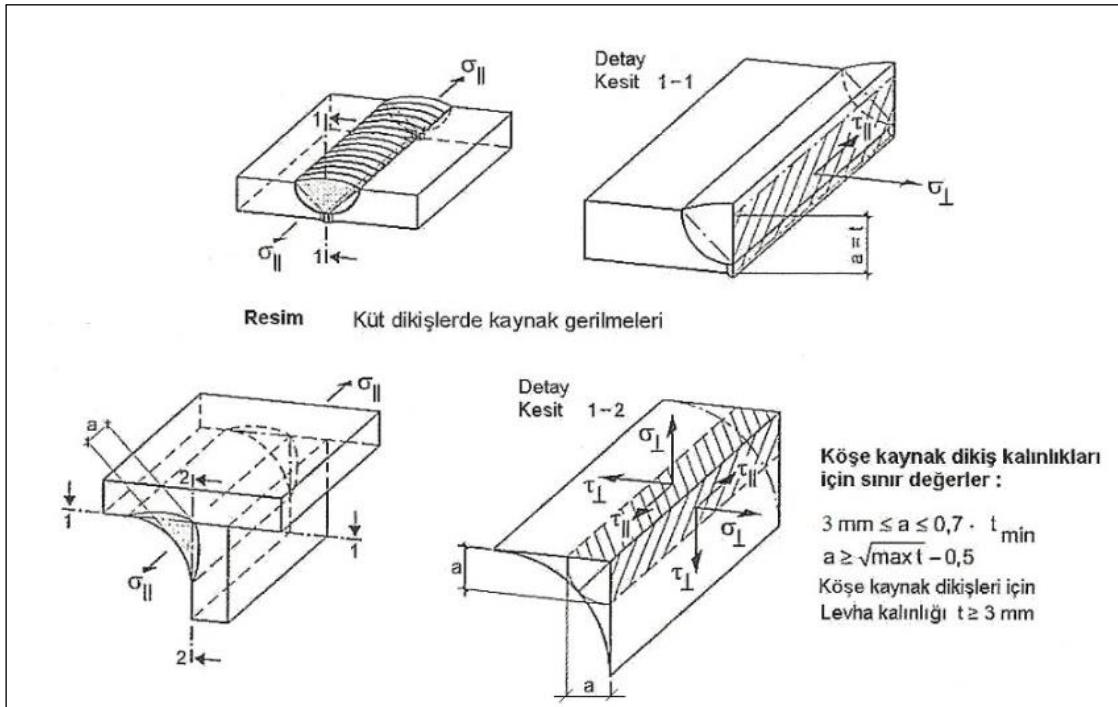


Kaynak dikişlerinde eksantrisite olmaması için kaynak dikişlerinin çubuk ağırlık eksenine göre statik momentinin eşit olması gerekir. Bu durum ağırlık eksenini kaynak dikişlerine göre simetrik olmayan kesitlerde görülür.

$$a_1 \cdot l_1 \cdot e_x = a_2 \cdot l_2 \cdot (b - e_x)$$



Çekme-Basınç ve Kayma Kuvvetlerinin Aktarılması



Küt ve köşe kaynaklarında çekme-basınç ve kayma gibi basit zorlanmalar şu şekilde tayin edilir.

$$\tau_{kay} = \frac{P}{\sum(a \cdot \ell_h)} \leq \tau_{kay} \cdot em \text{ (Kayma açısından)}$$

$$\sigma_{kay} = \frac{P}{\sum(a \cdot \ell_h)} \leq \sigma_{kay} \cdot em \text{ (Çekme ve basınç açısından)}$$

Burada

P = dikiş vasıtasıyla iletilecek kuvvet

ℓ_h = Uç kreterler çıktıktan sonra kaynak dikiş uzunluğu

α = Kaynak dikiş kalınlığı (yüksekliği)

τ_{kayem} = Küt ve köşe kaynaklarda kayma emniyet gerilmesi,

Eğilme Momentinin Aktarılması

Küt ve köşe kaynaklı bir birleşim eğer eğilme kuvvetine etkisinde ise, böyle bir birleşimde, tarafsız eksen den C uzaklıktaki bir kaynak dikişinin normal gerilmesi

$$\tau_{kay} = \frac{M_c}{I_{NE}} \leq \tau_{kayem} \dots \dots \dots 2 \text{ olur.}$$

Kenar lifte ise

$$T_{kay} = \frac{M}{W} \leq T_{kayem} \dots \dots \dots 3$$

ifadesiyle hesaplanabilir.

Bu formüllerde

M = Kaynağa etkiyen eğilme momenti

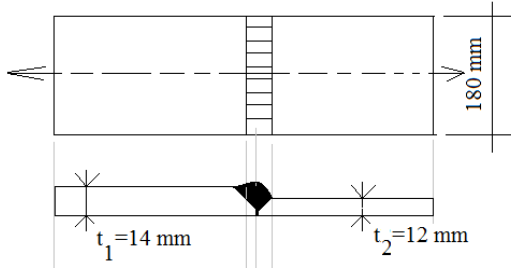
C = Kaynak dikişinin tarafsız eksen den uzaklığı (cm)

I_{NE} = Kaynak dikişlerinin toplam atalet momenti (stainer teoremine göre bulunabilir)

W = Kaynak dikişlerinin mukavemet momenti

Misal (Küt Kaynak)

Şekilde görülen küt kaynaklı bir birleşimde P = 16 ton ve Ydl, Ç37 olduğuna göre küt kaynağın uzunluğunu kontrol ediniz. (Kaynak dikişi kontrol edilmemiş)



1. Kaynak kalınlığı a=12 mm. Çünkü küt kaynaklı birleşimlerde kaynak kalınlığı olarak en ince levha kalınlığı alınır.

2. Le= 180-(2·12)= 156 mm = 15,6 cm

A_{kay}=1,2x15,6=18,72 cm²

$$\sigma_{kay} = \frac{P}{\Sigma(a \cdot L_e)} = \frac{16000}{1,2 \cdot 15,6} = 854,7 \frac{kg}{cm^2} < 1100 \frac{kg}{cm^2} \text{ kaynak uzunluğu yeterlidir}$$

-Bu kaynağın güvenle taşıyabileceği kuvvetin hesabı.

$$P_{em} = \sigma_{\zeta,em} \cdot \Sigma A_{kay} \rightarrow P_{em} = 1100 \cdot 18,72 = 20592 \text{ kg}$$

_Bu kaynaklı ekin güvenle taşıyabileceği kuvvetin hesabı,

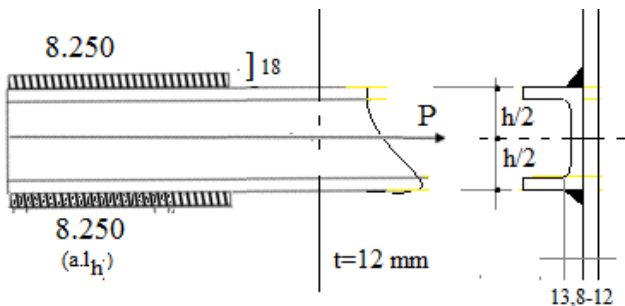
12/180 kesitindeki levha ne kadar taşır?

$$P_{em} = A_n \cdot \sigma_{\zeta,em} \rightarrow P_{em} = (1,2 \cdot 18) \cdot 1400 = 30240 \text{ kg}$$

Bu küt kaynaklı ek en zayıf halka olan küt kaynak dikişlerinin aktarabileceği kadar bir kuvveti güvenle aktarabilir.

ÖRNEK: şekildeki kaynaklı ekin güvenle aktarabileceği kuvvetin hesabı isteniyor.

Ç37/YD1



Bu köşe kaynaklı ekin güvenle aktarabileceği yükü hesaplamak için,

-kaynağın Pem=?

-Çekme çubuğunu Pem=? ayrı ayrı hesaplanır. Küçük olanı (zayıf halka) ekin güvenli taşıma kapasitesini verir.

-Kaynak hesabı, (kaynak ne kadar yük taşır?)

Köşe kaynak, kaymaya zorlanıyor (kayma gerilmesi)

$$\tau_{kay} = 1100 \text{ kg/cm}^2$$

Kaynak dikiş kalınlığının kontrolü

$$a = 80 \text{ mm (0,8 cm)}$$

$$a \geq 3 \text{ mm}$$

$$a \leq 0,7 t_{\min} \text{ olmalı. } t_{\min} = 12 \text{ mm dir. } 0,7 \times 12 = 8,4 \text{ mm} > 8 \text{ mm uygun}$$

hesap kaynak dikiş uzunluğu,

$$Le = L - 2a \quad Le = (250 - 2 \cdot 8) = 234 \text{ mm} = 23,4 \text{ cm}$$

-Bu kaynağın güvenle taşıyabileceği kuvvetin hesabı,

P kuvvetinin eşit olarak etkidiği kaynak dikiş sayısı iki tanedir. (profil kuvvet eksenine kaynak dikişlerine simetridir)

$$P_{em} = \tau_{kay,em} \cdot \Sigma A_{kay} \rightarrow P_{em} = 1100 \cdot 2 \cdot (0,8 \cdot 23,4) = 41184 \text{ kg}$$

]18 Çekme çubuğu ne kadar yük taşır?

] 18 profilinin kesit alanı $F = 28 \text{ cm}^2$

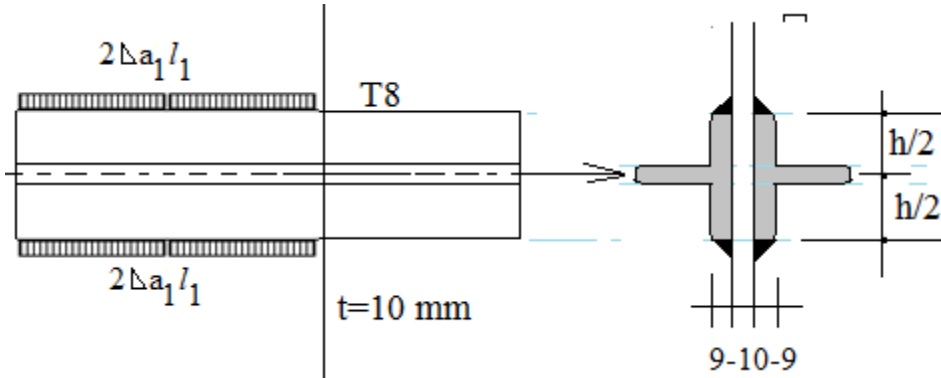
$$P_{em} = A_n \cdot \sigma_{ç,em} \rightarrow P_{em} = (28) \cdot 1,400 = 39,2 \text{ ton (kesit zaiyatı yok)}$$

Bu köşe kaynaklı birleşimin güvenli taşıma kapasitesi en zayıf halka olan profilin taşıma kapasitesine eşittir.

$$P_{em} = P_{pr} = 39,20 \text{ ton}$$

ÖRNEK:

Verilenlerden faydalanarak $P = 15$ ton, yükü aktaracak kaynak dikiş uzunluklarını hesaplayınız. Ç37/YD1



Kuvvet eksenine kaynak dikişlerine eşit mesafededir. Kaynak dikişlerine eşit kuvvet etkir. Kaynak dikiş kalınlığı ve uzunlukları eşit olmalıdır. Bu yüzden kaynak dikişlerinde eksantrisite oluşmaz

Kaynak dikiş kalınlığının tayini,

$$a \geq 3 \text{ mm}$$

$$a \leq 0,7 t_{\min} \text{ olmalı. } t_{\min} = 9 \text{ mm dir. (kaynak her zaman tek tesirlidir)}$$

$$0,7 \times 9 = 6,3 \text{ mm } a = 6 \text{ mm olarak seçildi.}$$

Kaynak dikiş uzunluğu hesabı,

$$\tau_{kay} = \frac{P}{\Sigma(a \cdot L_e)} \leq \tau_{kay,emn} \rightarrow \frac{15}{4 \cdot (0,6 \cdot L_e)} = 1,1 \rightarrow L_e = 5,68 \text{ cm (56,8 mm)}$$

Kaynak dikiş uzunluğu şu şartları sağlamalıdır.

min $L \geq 15a$ **max** $L \leq 100a$ $15 \times 6 = 90 \text{ mm} > 56,8 \text{ mm}$ hesaplanan kaynak uzunluğu en az şartını sağlamadığından kaynak uzunluğu $L_h = 90 \text{ mm}$ alınacaktır.

$$Le = 90 \text{ mm ise } L = Le + 2a \text{ olacağından } L = 90 + 2 \cdot 6 = 102 \text{ mm (102 mm yuvarlatılıp 110 mm kabul edilir) (a. L)}$$

$\angle 6.110$ şeklinde proje üzerine yazılır.

SORU:

---bu kaynaklı ek güvenle kaç ton yük taşır-----

-kaynak dikişleri ne kadar taşır

hesap kaynak dikiş uzunluğu,

$$L_e = (L - 2a) \quad L_e = (110 - 2 \cdot 6) = 98 \text{ mm} = 9,8 \text{ cm}$$

P kuvvetinin eşit olarak etkidiği kaynak dikiş sayısı dört tanedir. (profil kuvvet eksenine kaynak dikişlerine simetridir)

$$P_{em} = \tau_{kay,em} \cdot \Sigma A_{kay} \rightarrow P_{em} = 1,100 \cdot 4 \cdot (0,6 \cdot 9,8) = 25,872 \text{ ton}$$

2T8 Çekme çubuğu ne kadar yük taşır?

$$T8 \text{ profilinin kesit alanı } A_g = 13,6 \text{ cm}^2 \quad 2A_g = 2 \times 13,6 = 27,2 \text{ cm}^2$$

$$P_{em} = A_n \cdot \sigma_{ç,em} \rightarrow P_{em} = (27,2) \cdot 1,400 = 38,080 \text{ ton (kesit zaiyatı yok)}$$

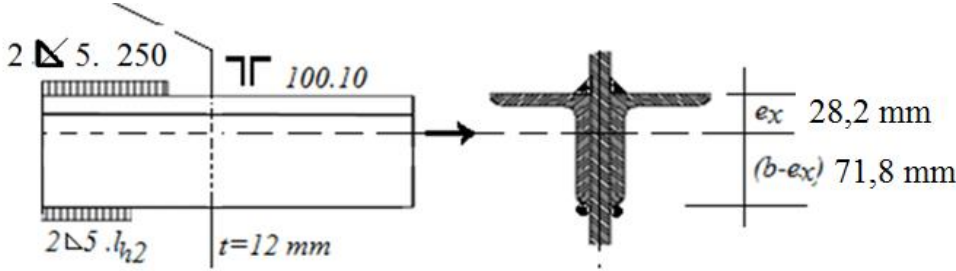
Bu köşe kaynaklı birleşimim güvenli taşıma kapasitesi en zayıf halka olan kaynakların taşıma kapasitesine eşittir.

$$P_{em} = P_{kay} = 25,872 \text{ ton}$$

ÖRNEK: Şekildeki köşe kaynaklı ekte iki adet eşit kollu köşebent kullanılmıştır.

-Kaynak dikişlerinde eksantrisite olmaması için l_2 kaynak dikiş uzunluğu ne kadar olmalıdır.

-Kaynaklı ekin güvenli taşıma kapasitesini hesaplayınız. Ç37, YD1



. Kaynak dikişlerinde eksantrisite oluşmaması için kaynak dikişleri alanlarının çubuk ağırlık eksenine göre statik momentleri eşit olmalıdır.

$$a_1 \cdot l_1 \cdot e_x = a_2 \cdot l_2 \cdot (b - e_x)$$

Profilin kesit özellikleri tablosundan faydalananak ağırlık merkezi veya eğilme eksenlerinin ölçüleri alınabilir.

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$e_x = 2,82 \text{ cm} = 28,2 \text{ mm}$$

$$(b - e_x) = 100 - 28,2 = 71,8 \text{ mm}$$

$$l_{h1} = (l_{u1} - 2a_1) \quad l_{h1} = (250 - 2 \cdot 5) = 240 \text{ mm}$$

$$a_1 \cdot l_{h1} \cdot e_x = a_2 \cdot l_{h2} \cdot (b - e_x) \quad 5 \cdot 240 \cdot 28,2 = 5 \cdot l_{h2} \cdot (71,8) \quad l_{h2} = 94,26 \text{ mm}$$

$$l_{u2} = (l_{h2} + 2a_2) \quad l_{u2} = (94,26 + 2 \cdot 5) = 105 \text{ mm (yuvarlatıldı)} \quad \text{Düğüm noktası detayı üzerine } 2 \angle 5.105 \text{ şeklin de yazılır.}$$

SORU:

----bu kaynaklı ek güvenle kaç ton yük taşır-----

-kaynak dikişleri ne kadar taşır

hesap kaynak dikiş uzunluğu,

$$l_{h1} = (l_{u1} - 2a_1) \quad l_{h1} = (250 - 2 \cdot 5) = 240 \text{ mm} = 24 \text{ cm}$$

$$l_{h2} = (l_{u2} - 2a_2) \quad l_{h2} = (105 - 2 \cdot 5) = 95 \text{ mm} = 9,5 \text{ cm}$$

P kuvvetinin etkidiği kaynak dikiş sayısı dört tanedir. Toplam kaynak dikiş uzunluğunu bulmak yeterlidir.

$$P_{em} = \tau_{kay,em} \cdot \Sigma A_{kay} \rightarrow P_{em} = 1,1 \cdot [2 \cdot (0,5 \cdot 24) + 2 \cdot (0,5 \cdot 9,5)] = 36,85 \text{ ton}$$

-2L 100.10 Çekme çubuğu ne kadar yük taşır?

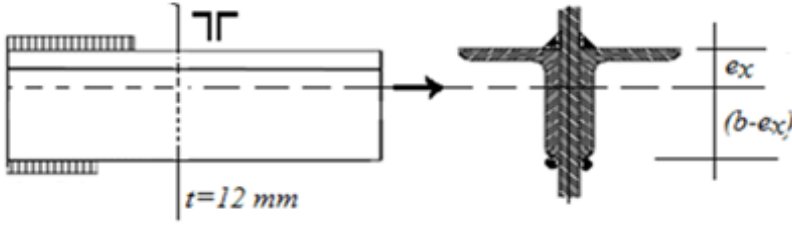
$$L 100.10 \text{ profilinin kesit alanı } F = 19,2 \text{ cm}^2 \quad 2F = 2 \times 19,2 = 38,40 \text{ cm}^2$$

$$P_{em} = A_n \cdot \sigma_{ç,em} \rightarrow P_{em} = (38,40) \cdot 1,400 = 53,76 \text{ ton (kesit zaiyatı yok)}$$

Bu köşe kaynaklı birleşimim güvenli taşıma kapasitesi en zayıf halka olan kaynakların taşıma kapasitesine eşittir.

$$P_{em} = P_{kay} = 36,85 \text{ ton}$$

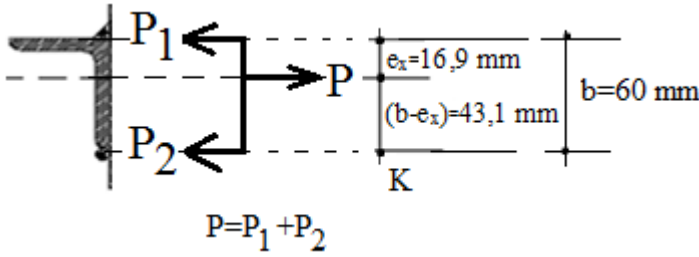
ÖRNEK: Şekilde verilen kaynak birleşimli çekme çubuğunun kesitini çift eşit kollu köşebent olarak hesaplayınız. $a_1=a_2=4$ mm olarak verildiğine göre gerekli kaynak dikiş uzunluklarını hesaplayınız. $P=18,50$ ton (çekme) Ç37/YD1



Kaynaklı çekme çubuğunun kesit hesabı

$$\sigma_c = \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{c,emn} \text{ ifadesinden } A_{ger} = \frac{P}{\sigma_{c,emn}} = \frac{18,5}{1,4} = 13,21 \text{ cm}^2 \text{ (iki profil kesit alanı)}$$

$A_1=13,21/2=6,605 \text{ cm}^2$ (bir profil en kesit alanı) SEÇİLEN: 60.60.6 kayıpsız $A_g=6,91 \text{ cm}^2 > 6,605 \text{ cm}^2$ kesit yeterlidir.



Kaynak hesabı

Köşebentlerin ağırlık merkezinde simetri olmadığından kaynak dikişlerine eşit kuvvet etkimez. Bu yüzden kaynak dikişlerine etkiyen kuvvetlerin hesaplanması gerekir.

Yukarıdaki şekilde K noktasına göre moment alınırsa

$$\Sigma M_K=0 \quad P \cdot (b-e_x)=P_1 \cdot b \quad 18,5 \cdot 43,1 = P_1 \cdot 60 \quad P_1=13,289 \text{ ton}$$

$P_2=18,5-13,289=5,211$ ton hesaplanır. Görüldüğü gibi kaynak kordonlarına farklı kuvvet etkimektedir.

Kaynak dikiş uzunlukları hesabı;

$$\tau_{kay} = \frac{P_1}{\Sigma(a_1 \cdot l_{h1})} \leq \tau_{kay,emn} \rightarrow \frac{13,289}{2 \cdot (0,4 \cdot l_{h1})} = 1,1 \rightarrow l_{h1} = 15,10 \text{ cm (151,0 mm)}$$

Kaynak dikiş uzunluğu şu şartları sağlamalıdır.

$$\min l_{h1} \geq 15a_1 \quad 15 \cdot 4 = 60 \text{ mm}$$

bizim hesapladığımız =151,0 mm (iki sınır değer arasında olduğundan yeterlidir)

$$\max l_{h1} \leq 100a_1 \quad 100 \cdot 4 = 400 \text{ mm}$$

uygulama kaynak uzunluğu

$$l_{u1} = (l_{h1} + 2a_1) \quad l_{u1} = (151 + 2 \cdot 4) = 159 \text{ mm} = 160 \text{ mm olsun. Detay üzerine } 2\angle 4 \cdot 160 \text{ şeklinde yazılır.}$$

$a_2; l_2; P_2$ hesabı

$$\tau_{kay} = \frac{P_2}{\Sigma(a_2 \cdot l_{h2})} \leq \tau_{kay,emn} \rightarrow \frac{5,211}{2 \cdot (0,4 \cdot l_{h2})} = 1,1 \rightarrow l_{h2} = 5,92 \text{ cm (59,2 mm)}$$

Kaynak dikiş uzunluğu şu şartları sağlamalıdır.

$$\min l_{h2} \geq 15a_2 \quad 15 \cdot 4 = 60 \text{ mm}$$

bizim hesapladığımız =59,2 mm (en az kaynak uzunluğundan az olduğu için $\min l_{h2} \geq 60$ mm alınır)

$$\max l_{h2} \leq 100a_2 \quad 100 \cdot 4 = 400 \text{ mm}$$

uygulama kaynak uzunluğu

$$l_{u2} = (l_{h2} + 2a_2) \quad l_{u2} = (60 + 2 \cdot 4) = 68 \text{ mm} = 70 \text{ mm olsun. Detay üzerine } 2\angle 4 \cdot 70 \text{ şeklinde yazılır.}$$

SORU:

----bu kaynaklı ek güvenle kaç ton yük taşır-----

-kaynak dikişleri ne kadar taşır

hesap kaynak dikiş uzunluğu,

$$l_{h1} = (l_{u1} - 2a_1) \quad l_{h1} = (250 - 2 \cdot 5) = 240 \text{ mm} = 24 \text{ cm}$$

$$l_{h2} = (l_{u2} - 2a_2) \quad l_{h2} = (105 - 2 \cdot 5) = 95 \text{ mm} = 9,5 \text{ cm}$$

P kuvvetinin etkidiği kaynak dikiş sayısı dört tanedir. Toplam kaynak dikiş uzunluğunu bulmak yeterlidir.

$$P_{em} = \tau_{kay,em} \cdot \Sigma A_{kay} \rightarrow P_{em} = 1,1 \cdot [2 \cdot (0,5 \cdot 24) + 2 \cdot (0,5 \cdot 9,5)] = 36,85 \text{ ton}$$

-2L 100.10 Çekme çubuğu ne kadar yük taşır?

$$L \text{ 100.10 profilinin kesit alanı } A_n = 19,2 \text{ cm}^2 \quad 2A_n = 2 \times 19,2 = 38,40 \text{ cm}^2$$

$$P_{em} = A_n \cdot \sigma_{ç,em} \rightarrow P_{em} = (38,40) \cdot 1,400 = 53,76 \text{ ton (kesit zaiyatı yok)}$$

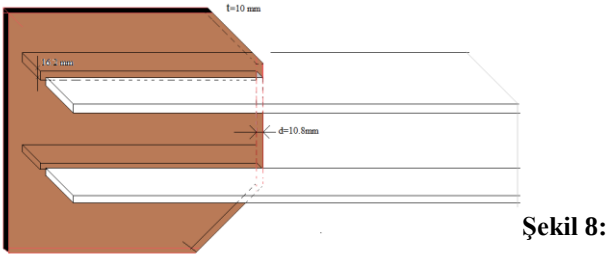
Bu köşe kaynaklı birleşimim güvenli taşıma kapasitesi en zayıf halka olan kaynakların taşıma kapasitesine eşittir.

$$P_{em} = P_{kay} = 36,85 \text{ ton}$$

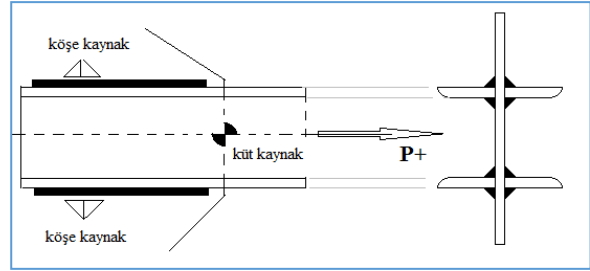
Küt ve köşe kaynakların birlikte yapılması halinde kaynak hesabı

Bir kaynaklı ekte, yük aktarmak amacıyla küt ve köşe kaynağını aynı kesitte yapma zorunluluğu varsa, küt ve köşe kaynak dikişleri birlikte yük aktarıyor demektir. Etkiyen kuvvet ana profil boy eksenine paralel olduğunda yan köşe kaynak kordonlarında kayma, küt kaynakta ise çekme yada basınç gerilmeleri oluşur (şekil 3). Bu durumda hesap için gerekli olan kaynak alanı (ΣF_{kay}) kuvvet tesiri altındaki yan köşe kaynak alanları toplamının yarısı ($1/2 F_{köşe}$), küt kaynak dikiş alanına ($F_{küt}$) eklenerek hesaplanır. Hesap için gerekli olan kaynak emniyet gerilmesi ise, küt kaynak emniyet gerilmesi esas alınır.

$$\Sigma A_{kay} = \frac{1}{2} A_{köşe} + A_{küt} \quad \sigma_{kay} = \frac{P}{\Sigma A_{kay}} \leq \sigma_{küt kay}$$



Şekil 8:

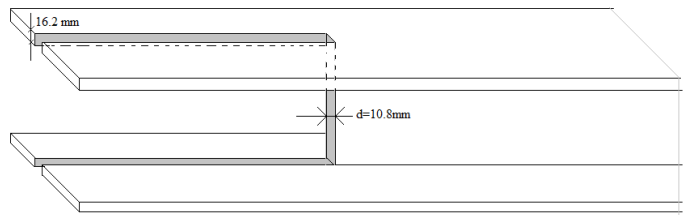
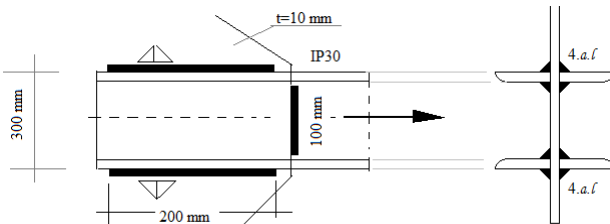


Misal:

Şekilde görüldüğü gibi IP30 profilinden oluşturulmak istenen kaynaklı ekte, çubuğa P=60 ton çekme kuvveti etki etmektedir. YDI.Ç37

a- IP30 profilini çekme yönünde tahkik ediniz.

b- Küt ve köşe kaynak dikişlerinin uzunlukları verildiğine göre tahkikini yapınız



$$IP30 \text{ en kesit alanı tablodan } A_g = A_n = 69.1 \text{ cm}^2 \quad \sigma_{ç} = \frac{P}{A_n} \leq \sigma_{ç,em} \rightarrow \sigma_{ç} = \frac{60}{69.1} = 0.86 \frac{t}{cm^2} < 1.4 \frac{t}{cm^2}$$

çekme çubuğu kesiti yeterli kesilen kısım ayrıca bağ levhası ile doldurulacaktır.

Kaynak uzunluklarının kontrolü

1-kaynak dikiş kalınlıklarının ve alanlarının belirlenmesi

Küt kaynaкта:

$$a_1 = t_{min} = 10 \text{ mm olur. } l_{h1} = l_u - 2a_1 \quad l_{h1} = 100 - (2 \cdot 10) = 80 \text{ mm}$$

$$A_{küt} = a \cdot l_u = 10 \cdot 80 = 800 \text{ mm}^2$$

Köşe kaynaқта:

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$a = 0,7 \cdot t_{min} \quad a_2 = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ mm} \quad l_{h2} = l_u - 2a_2 \quad l_{h2} = 200 - (2 \cdot 7) = 186 \text{ mm}$$

$$A_{köşe} = 8 \cdot 0,7 \cdot 18,6 = 104,16 \text{ cm}^2 \quad (n \cdot a \cdot l_h)$$

Yük aktaracak toplam kaynak alanı:

$$\Sigma A_{kay} = \frac{1}{2} A_{köşe} + A_{küt} \quad \Sigma A_{kay} = \left(\frac{1}{2} 104,16\right) + 8 = 60,08 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{kay} = \frac{P}{\Sigma A_{kay}} \leq \sigma_{küt kay}$$

$$\sigma_{kay} = \frac{60}{60,08} = 0,998 \text{ t/cm}^2 < 1,100 \text{ t/cm}^2 \quad \text{verilen kaynak dikiş uzunlukları yeterlidir.}$$

KAYNAK İLE BULONLU BİRLEŞİMLERİN KIYASLAMASI

Çelik yapı elemanlarının fabrikada sürekli denetim altında yapımında kullanılan kaynak, bulonlu birleşimlere göre malzemenin %10'a kadar azalmasını sağlamaktadır. Ancak; a. Kalifiye işçi gerektirmesi, b. Tavanda ve dikey olarak yapım zorlukları, c. Soğuk havalarda çatlaması, d. Yeterince kontrol edilememesi gibi sakıncaları nedeniyle montaj kolaylığı için yapılanlar dışında taşıyıcı kaynakların şantiyede yapımı istenmemektedir. "Fabrikada Kaynak, Şantiyede cıvata" kuralının aksine yetersiz veya kötü şantiye koşullarında yapılacak hatalı kaynağın tehlikeli sonuçlara yol açabileceği bilinmektedir.

ÇELİK BASINÇ ÇUBUKLARI

Boyuna doğrultuda eksenel basınç kuvveti taşıyan yapısal elemanlara basınç çubuğu denir. Bu çubuklara, yapı kolonu veya kafes giriş elemanı olarak rastlanmaktadır. Basınç kuvveti, çubuğu burkmaya zorlarken, boyunu da bir miktar kısaltır. Çubuğun bütün kesiti basınca çalışır. Bu yüzden bu tür çubuklara basınç elemanı denilir.

Eksenel basınç kuvveti etkisindeki enkesitler, *yerel burkulma sınır durumu* dikkate alındığında, narin ve narin olmayan enkesitler olarak sınıflandırılır.

Boyu kısa olan çubuklar, uzun çubuklara nazaran daha fazla basınç kuvveti aktarır. Bu yüzden basınç çubuklarında, çubuğun uzunluğu ve iki ucunun mesnet şekli önemlidir. Mesnet şekli çubuğun burkulma boyunu belirler. Burkulma bir stabilite problemi ve bu nedenle basınç çubuklarında gerilme problemi yerine stabilite problemi söz konusudur. Yani içerisine burkulmayı da alan gerilme türü söz konusudur.

$$(\lambda \geq 20 \text{ ise}) \quad \sigma_{\omega} = \frac{\omega \cdot P}{A_g} \leq \sigma_b, em \text{ ifadesi ile basınç çubuklarının gerilme kontrolü yapılır.}$$

$$(\lambda \leq 20 \text{ ise } \omega = 1 \text{ ve } \sigma = \frac{P}{A}) \text{ olur.}$$

Burada; ω = burkulma katsayısıdır.

Basınç elemanlarının, burkulma boyu ($L_c = KL$) kullanılarak hesaplanan narinlik oranı, $L_c/i \leq 200$ olacaktır.

Basınç çubukları bir kesitteki çubuk sayısına göre,

1. Sabit enkesitli, tek parçalı basınç çubukları,
2. Sabit enkesitli çok parçalı basınç çubukları. (profillerin diziliş şekline göre çeşitli gruplar altında incelenirler)

BURKULMA BOYU :(l_k) (L_c),

Burkulma, çubuk boyu ile kesitin bir fonksiyonudur. “F” kesitindeki ve “l” boyundaki bir çubuğa boy eksenine paralel basınç kuvveti etkimesi halinde, bu basınç kuvvetinin bir düzeye erişmesi sonucunda çubukta denge bozulur ve çubuk doğru formdan ayrılarak kesit eksenlerinden birine göre ötelenir. Çubuğun bu çalışma şekline burkulma denilir. Genel olarak kare ve daire kesitlerde bu ötelenme her iki eksene de dik olabilirken, dikdörtgen kesitlerde kısa kenara paralel olur. Yapısal çeliklerde ise burkulma, narinliğin (slenderness ratio) en fazla olduğu eksene göre olur.

Burkulmada çubuğa dışarıdan bir moment etki etmez, çubuk eksenel basınç kuvveti etkisiyle dengesini kaybeder ve burkulur. Hesaplarda çubuğun mesnetleniş şekline göre burkulma boyu esas alınır. Ayrıca çubuğun mesnetleniş şekli de burkulma boyunu etkiler. Çubuğun mesnetleniş şekline göre burkulma boyları basit EULER halleri için şunlardır.

$$(lkx) L_{cx} = K_x \cdot L_x$$

$$(lky) L_{cy} = K_y \cdot L_y$$

Kolonun çalışma şekli. (Elastik eğri kesit çizgileriyle gösterilmiştir.)	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Teorik 'k' değeri	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ideal koşullarda önerilen Yaklaşık tasarım değerleri.	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Tablo ...: Kolonlar için 'k' katsayıları

$$L_c = KL$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{l_k}{i_{x,y}} \quad \text{slenderness ratio}$$

Kritik Burkulma kuvveti (kritik burkulma gerilmesi):

Çubuğu burkulma durumuna getiren yük, kritik burkulma yüküdür ($P_{kr}=F_e$). Basınç çubuklarında burkulmaya sebep olan veya burkulma anındaki kritik yük EULER ifadesi ile bulunur.

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} \quad \text{İfadesi ile hesaplanır.}$$

ATALET YARIÇAPI (i), A_g =enkesit alanı

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} \quad \text{İfadesinde **kritik gerilmeyi** bulmak için çubuğun kesit alanına böleriz.}$$

$$\sigma_{kr} = \frac{P_{kr}}{F} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2 A} \quad \text{burada, } I / A = i^2 \text{ dir. } i, \text{ atalet yarıçapı olup,}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{cm} \quad \text{ile ifade edilir. } i^2 \text{ ifadesini Euler kritik gerilmesinde yerine koyalım.}$$

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E i^2}{l_k^2} = \sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l_k}{i}\right)^2} \quad \text{olur. Paydadaki } \left(\frac{l_k}{i}\right) \text{ büyüklüğü burkulma hesaplarında çok kullanılan bir}$$

büyüklik olup “narinlik” denilir(λ). Kritik gerilme ise,

$$\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{ifadesi ile hesaplanır. Bu değere “Elastik Burkulma Gerilmesi” denilir ve enkesit özelliklerinden}$$

bağımsızdır. Yönetmelik 8.2.1 uyarınca, eğilmeli burkulma sınır durumunda elastik burkulma gerilmesi,

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} \text{ ile hesaplanır.}$$

NARİNLİK: (λ) (narinlik oranı; slenderness ratio)

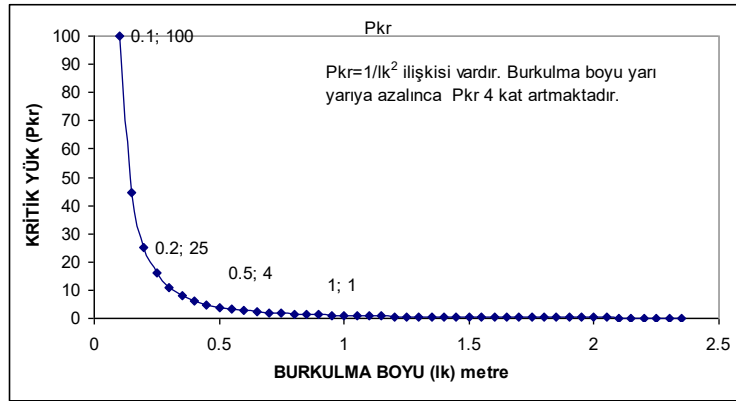
$$KL/r = \lambda = \frac{lk}{i} = \frac{L_c}{i}$$

Basınç çubuğunun yapıldığı malzeme ile bir alakası olmayıp tamamen bir boyut özelliğidir. Mesela; aynı malzemedan yapılmış, aynı kesite sahip, aynı basınç yükü etkisindeki biri uzun diğeri kısa iki çubuktan uzun olanı daha narindir diyebiliriz. Genel manada çubuk boyunun, kesitinin kısa kenarına oranı olarak ifade edilir. Çelik profillerde ise atalet yarıçapı (i) kısa kenarı karakterize ettiği için narinlik,

$\lambda = \frac{lk}{i}$ Eşitliğiyle hesaplanır. Birimsizdir. Burada l_k , çubuğun burkulma boyunu, i , ise x veya y eksenine göre atalet yarıçapını gösterir. Çubuklarda narinlik arttıkça yük taşıma kapasitesi azalır.

Örneğin; $E=1$, $I=1$ $lk_1=0,1$ den $2,35$ m ye kadar, $\pi^2 =1$ olsun.

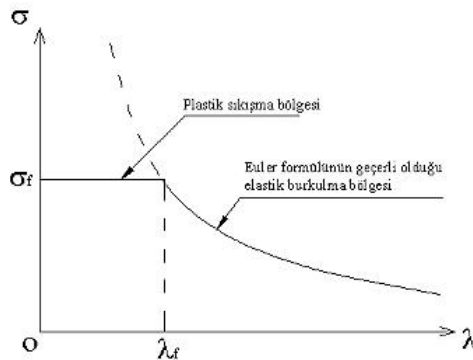
$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} = \frac{1}{lk^2} \text{ olur. Bu ilişki şekildeki grafikte görülmektedir.}$$



BURKULMA KATSAYISI (ω),

Euler formülü çelik malzemenin elastik davranış gösterdiği (Hooke kanununa uyduğu) bölgede geçerlidir. Malzeme bünyesinde oluşan basınç gerilmeleri, malzemenin emniyet gerilmesini aşmaması gerekir. Aksi takdirde Euler formülü geçerli olmaz.

“ $\sigma_{kri} \leq \sigma_P$ ”. Eğer $\sigma_{kri} = \sigma_P$ olarak alınırsa $\lambda_P = 100$ olarak bulunur. Bu durumda $\lambda \leq \lambda_P$ olan bölgede Euler formülü geçerli olmaz. $\lambda \geq \lambda_P$ bölgesinde kritik gerilmelerin hesabı için farklı kabullere dayanan formüller kullanılır. Neticede emniyet katsayıları da kullanılarak belli bir λ değerine karşı gelen emniyetli gerilme değeri σ_{dem} eğrisi oluşturulmuştur (TS 648).



Böylece problem ortalama gerilmenin burkulma emniyet gerilmesi ile kıyaslanması hesabına indirgenmiştir.

$$\sigma_b = \frac{P}{F} \leq \sigma_{b.em}$$

ω sayıları, basınç çubuklarının burkulmaya göre hesabında kullanılan tablo haline getirilmiş değeridir. Pratikte zor olduğundan dolayı, değişken emniyet gerilmeleri ile hesap yapmamak için burkulma katsayısı hesaplanmalıdır. Bu katsayı çubuk narinliğine göre elde edilir. Malzeme çekme emniyet gerilmesinin, malzeme basınç emniyet gerilmesine

oranı olarak ifade edilir. $\omega = \frac{\sigma_{cem}}{\sigma_{bem}}$ olarak ω burkulma sayıları tanımlanmıştır. Böylelikle basınç çubuklarındaki

gerilme tahkiki; $\sigma_b = \frac{\omega \cdot P}{F} \leq \sigma_{b.em}$ şekline gelir.

Yönetmelikte basınç kuvveti aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

P_n = Karakteristik eksenel basınç kuvveti dayanımı

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$

F_{cr} =kritik burkulma gerilmesi

$$\frac{P_n}{\Omega_n} = \text{güvenli basınç kuvveti dayanımı } \Omega_n = 1,67 \text{ (GKT)}$$

λ değerine göre ω sayıları şartnamelerde ve yönetmeliklerde belirlenmiştir. $\lambda \leq 20$ olan çubuklar için burkulma hesabı yapılmaz. Yani $\omega = 1$ alınır.

Basınç durumunda emniyet gerilmeleri çubuğun narinliğine “λ “ göre değişir. (TS648, sayfa 15) Ç37 sınıfı çelikten üretilen basınç çubuklarının emniyet gerilmesi TS 648 de $\lambda = 20$ için 1410,4 kg/cm² olarak alınmıştır. Hesaplarda Tb 2 de gösterildiği gibi 1400 kg/cm² alınacaktır.

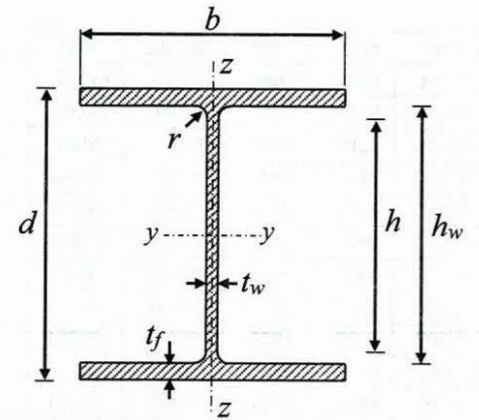
Mesela $\lambda = 148$ için, TS 648 /1980 sayfa 17 çizelge 8 de $\sigma_{bem} = 378,5$ bulunur. Bu değer, $\lambda_x = l_{kx} / i_x = 148$ olan çubuğun bu durumdaki basınç emniyet gerilmesini verir. Burkulma katsayısı ise;

$$\omega = \frac{\sigma_{cem}}{\sigma_{bem}} = \frac{1410,4}{378,5} = 3,72 \text{ bulunur.}$$

Basınç çubuklarının hesabında gerekli olan bu değer Ç27 ve Ç52 çelikleri için ayrı ayrı hazırlanmış “ω” tabloları kullanılarak doğrudan bulunabilir.

MİSAL: Verilenlerden faydalanarak I kesitin kritik gerilmesini ve eksenel kuvvet taşıma gücünü, eski ve yeni yöntemle hesaplayınız ((HE 450B) geniş başlıklı ağır I profil.)

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



Profil	Kütle <i>G</i> kg/m	Boyutlar							Kesit Alanı <i>A</i> mm ²	Kesit Özellikleri									
		<i>d</i> mm	<i>h</i> mm	<i>h_w</i> mm	<i>b</i> mm	<i>t_w</i> mm	<i>t_f</i> mm	<i>r</i> mm		y-y eksenli				z-z eksenli				<i>J</i> x10 ⁻⁴ mm ⁴	<i>C_w</i> x10 ⁻⁹ mm ⁶
										<i>I_y</i> x10 ⁻⁴ mm ⁴	<i>W_{el,y}</i> x10 ⁻³ mm ³	<i>W_{pl,y}</i> x10 ⁻³ mm ³	<i>i_y</i> mm	<i>I_z</i> x10 ⁻⁴ mm ⁴	<i>W_{el,z}</i> x10 ⁻³ mm ³	<i>W_{pl,z}</i> x10 ⁻³ mm ³	<i>i_z</i> mm		
HE 450 B	171	450	344	398	300	14.0	26.0	27	21800	79890	3551	3982	191.4	11720	781.4	1198	73.3	440.5	5258

$lk=Lc=450\text{ cm}$, $Ag=218\text{ cm}^2$, $Iy=11720\text{ cm}^4$ $iy=7,33\text{ cm}$

Elastik Kritik burkulma gerilmesi (eski hesap usulü)

$$\sigma_{kr} = \frac{P_{kr}}{A} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_k^2 \cdot A} = \frac{\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 11720}{(450)^2 \cdot 218} = 5240\text{ kg/cm}^2$$

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi için *elastik burkulma* gerilmesi (yeni hesap)

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_c}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 \cdot 200000}{\left(\frac{4500}{73,30}\right)^2} = 524\text{ N/mm}^2$$

Elastik burkulma gerilmesi, kritik burkulma gerilmesi hesabı için gereklidir.

Eğilmeli burkulma sınır durumunda kritik burkulma gerilmesi F_{cr}

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = \left(0.658^{\frac{275}{524}}\right) 275 = 220,76\text{ N/mm}^2$$

Kesitin karakteristik basınç kuvveti dayanımı (P_n) (elastik yada kritik burkulma gerilmelerinden küçük olanı)

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 220,76 \cdot 218 = 48125,8\text{ kg} = 4812,5\text{ kN}.$$

(GKT)' ye göre Güvenli eksenel basınç kuvveti dayanımı $P_c=?$

$$P_c = P_g = \frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{4812,5}{1,67} = 2881,7\text{ kN}$$

TEK PARÇALI ÇELİK BASINÇ ÇUBUKLARININ HESABI

Eksenel basınç kuvvetinin etkidiği çubuk sayısı bir tanedir. Fakat, aralarındaki uzaklık bağ levhası kalınlığı kadar olan iki parçalı çubuklarda bu gruba girer.

Ayrıca, tek korniyerden oluşan basınç elemanları şu şartları sağlamalıdır.

-Tek korniyerden oluşan basınç elemanlarında, dışmerkezlik etkisi ihmal edilir.

(a) Korniyer, her iki ucunda aynı kolundan basınç kuvveti etkisinde olmalıdır.

(b) Korniyer uçları, en az 2 bulon ile veya kaynakla bağlanmalıdır.

(c) Korniyer boyuna eksenine dik yük bulunmamalıdır.

(d) L_c/i ($\lambda \leq 200$) oranı 200 sınırını aşmamalıdır.

(e) Farklı kollu korniyerde, uzun kol boyunun kısa kol boyuna oranı 1.7 yi aşmamalıdır.

Basınç çubuklarının hesabında üç çeşit problemle karşılaşılır.

- 1- Çubuk kesiti ve basınç kuvveti bilinir. *Çubuğun kesitinin kontrolü istenir.* (Gerilme kontrolü) En büyük narinliğe göre burkulma katsayısı bulunur. $\lambda_{max} \rightarrow \omega$
- 2- Çubuk kesiti bilinir. *Çubuğun emniyetle taşıyabileceği basınç kuvveti ile kritik burkulma yükü istenir.*
- 3- Basınç kuvveti bilinir. *Çubuk kesitinin tayini istenir.* (Kesit hesabı)

$$P_{em} = \frac{F \cdot \sigma_{bem}}{\omega} \text{ burada } \frac{\sigma_{bem}}{\omega} = \text{narinliğe karşılık gelen emniyet gerilmesidir.}$$

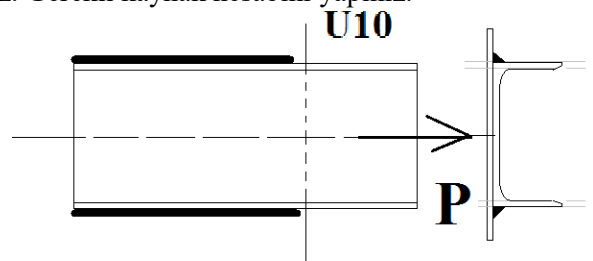
ÖRNEK 1 (Kesit kontrolü)

Verilen tek parçalı çelik basınç çubuğunun kesitini kontrol ediniz. Gerekli kaynak hesabını yapınız.

$P=7,5\text{ ton}$ basınç

YDI Ç37

$l_k=180\text{ cm}$



t=10 mm (bağ levhası)

ÇÖZÜM:

U 10 için tablodan $F=13,5 \text{ cm}^2$ $i_x=3,91 \text{ cm}$ $i_y=1,47 \text{ cm}$

$$\lambda_x = \frac{l_{kx}}{i_x} = \frac{180}{3,91} = 46$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{180}{1,47} = 122 \quad \lambda_{max} = \lambda_y = 122 \rightarrow \omega_y = 2,51$$

$$\sigma_\omega = \frac{\omega P}{F} = \frac{2,51 \cdot 7500}{13,5} = 1394 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad \text{U10 kesiti yeterlidir.}$$

Kaynak hesabı

a=5 mm simetriden dolayı kaynak kordonlarına eşit yük etkir.

$$lh = \frac{P}{\tau \Sigma a} = \frac{7500}{900 \cdot 2 \cdot 0,5} = 8,33 \text{ cm} \quad 83,3 \text{ mm}$$

15a=75 mm 100 a=500 mm kaynak dikiş uzunluğu uygundur.

lh=83,3+2,5=93,3=95 mm

Tek parçalı çelik basınç çubuklarında P_{em} ve P_{kr} hesabı

Örnek 2.

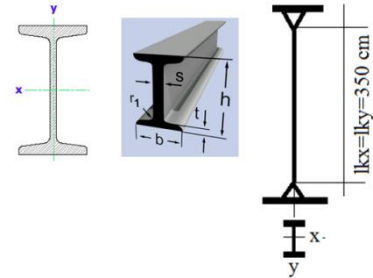
Verilenlerden faydalanarak tek parçalı çelik basınç çubuğunun,

a- Emniyetle taşıyabileceği basınç kuvvetini “ P_{em} ” b) Çubuğu burkulma durumuna getiren basınç kuvvetini hesaplayınız.” P_{kr} ”

Verilenler

Ç37/YD1 INP 30 $L_k=350 \text{ cm}$

$P_{em}=?$ $P_{kr}=?$



Çözüm

Burkulma katsayısının tablo yardımı ile hesabı

$$\lambda_x = \frac{l_{kx}}{i_x} = \frac{350}{11,90} = 29,41 \quad \lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} = \frac{350}{2,56} = 137$$

$\lambda_{max} = \lambda_y = 137$ ise Tablo 8 den $\omega=3,17$ okunur.

P_{em} hesabı

I30 profilinin en kesit alanı ilgili profil tablosundan $F=69,10 \text{ cm}^2$ olarak alınır.

$$P_{em} = \frac{\sigma_{bem} \cdot F}{\omega} = \frac{1400 \cdot 69,10}{3,17} = 30517 \text{ kg.}$$

P_{kr} hesabı

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2}$$

E=Ç37 çeliği elastikiyet modülü $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ I=atalet momenti (cm^4) $I_x=9800 \text{ cm}^4$ $I_y=451 \text{ cm}^4$

$$P_{krxx} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^6 \cdot 9800}{(350)^2} = 1658093 \text{ kg} \quad P_{kryy} = \frac{\pi^2 EI}{l_k^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \times 10^6 \cdot 451}{(350)^2} = 76300 \text{ kg}$$

Örnek.3 (Tek parçalı basınç çubukları)

Çelik kolon x eksenine paralel olarak 1/3 mesafelerinde yatay elemanlarla desteklenerek burkulma boyu kısaltılmıştır.

Ç.37 ve YD2 yüklemesi için I 260 profilinden oluşturulmuş yan duvar kolonunda P=45ton düşey yüke göre gerekli kesit ve gerilme kontrollerin yapılması istenmektedir.

Çözüm:

Basınç çubuklarının genel çözümünde önce enkesitin geometrik özellikleri ve narinlik değerleri belirlenir ve ardından gerilme tahkikine geçilir.

I260 için:

$$F = 53,40 \text{ cm}^2 ,$$

$$i_x = 10,4\text{cm} , i_y = 2,32\text{cm}$$

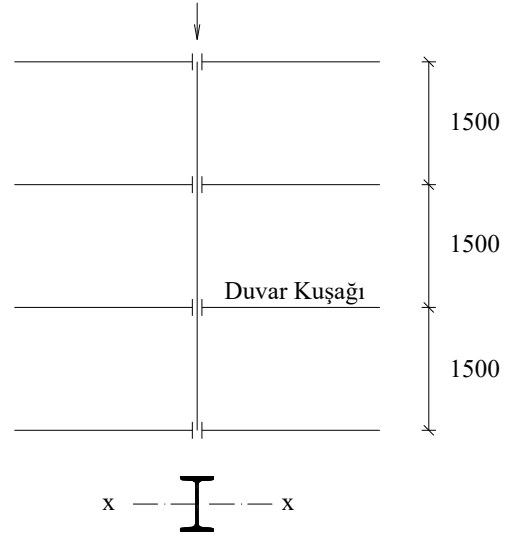
Kolonda: $l_{kx} = 450 \text{ cm}$, $l_{ky} = 150\text{cm}$ (yan duvar kuşaklarının etkisiyle y-y eksenı öteleniyor)

$$\lambda_x = l_{kx} / i_x = 450 / 10,4 = 43$$

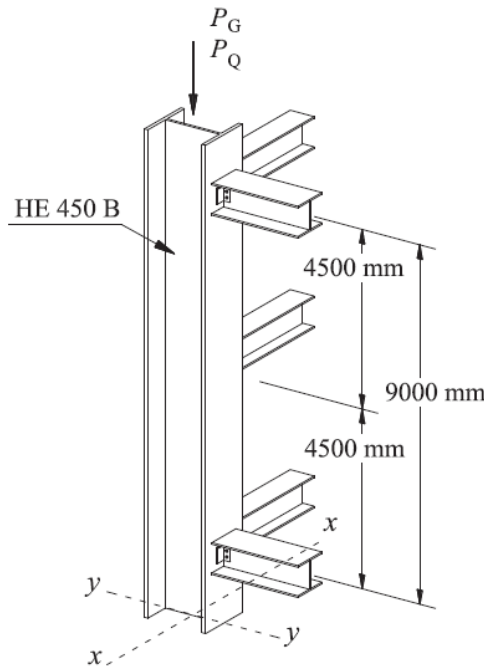
$$\lambda_y = l_{ky} / i_y = 150 / 2,32 = 65 \text{ (max)}$$

$$\lambda_{\max} = \lambda_y \rightarrow \omega_y = 1,35$$

$$\sigma_{\omega} = \omega_y . P / F = 1,35 \times 45 / 53,40 = 1,13\text{t/cm}^2 < 1,60 \text{ t/cm}^2 \text{ kesit emniyetle 45 ton taşır}$$



NOT: Yatay elemanların 1/2 lk olacak şekilde yerleştirilmesi durumunda çubuğun en kesiti hakkında ne söylenebilir. (kesit yeterli fakat $l_{k1} = 50 \cdot i_{\min}$ şartı sağlanmalı)



Şekil 9: Burkulma Boyu gösterimine örnek $l_{ky}=4500 \text{ mm}$; $l_{kx}=9000 \text{ mm}$

BASINÇ ÇUBUKLARININ KESİT TAYİNİ

Çelik basınç çubuklarının hesap ve tasarımında DOMKE METODU olarak bilinen yaklaşık bir metot kullanılır. Çubuk, burkulmasız kabul edilerek bir kesit seçilir ve bu kesitin atalet yarıçapından hareketle esas kesit seçilir. Bu kesitin gerilme kontrolü yapılır yetersiz ise bir üst kesit seçilir. İşlem sırası şöyledir.

1- $\omega = \omega_o = 1$ kabul edilir.

2- Çubuk, çekme çubuğuymuş gibi kesiti hesaplanır. $F_o = \frac{P}{\sigma_{b,emn}} \dots \text{cm}^2$,

3- F_o , hesaplanacak kesite eşdeğer en kesit olup, ilgili profil tablosundan bu değere karşılık gelen “i” değeri okunur. (Tek parçalı çubuklarda $i = i_{\min} = i_y$), (Çok parçalı çubuklarda $i = i_x$).

4- $\lambda_o = \frac{lk}{i}$ hesaplanır.

5- $\lambda_o = \lambda \sqrt{\omega}$ tablosundan (Tablo 9) λ alınır ve λ tablosundan (Tablo 8) ω , bulunur.

6- Esas muhtemel kesit için $F_{lüz} = \frac{P \cdot \omega}{\sigma_{b,emn}}$ hesap edilerek ilgili profil tablosundan en kesit seçilir ve x-x, y-y

eksenlerine göre burkulma kontrolü yapılır. Kesit yetersiz ise bir üst kesit seçilir ve yine kontrol yapılır.

ÖRNEK 1 (tek parçalı)

P=6,5 ton (-) $l_k = l_y = 250 \text{ cm}$ YDI, Ç37, Basınç çubuğunun kesitini T profili olarak seçiniz.

Çözüm

$\omega = \omega_o = 1$

$$F_o = \frac{P}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow$$

$$A_o = \frac{6,5}{1,4} = 4,64 \text{ cm}^2$$

Bu kesit tek parçalı olduğundan $i_{\min}$ alınır.

$$i_{\min} = i_y = 1,03 \text{ cm} \quad \lambda_o = \frac{lk}{i} \rightarrow \lambda_o = \frac{250}{1,03} = 242,7 \rightarrow \lambda = 138 \rightarrow \omega = 3,22$$

$$\text{Esas kesit: } A_g = \frac{P \cdot \omega}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow A_{ger} = \frac{6,5 * 3,22}{1,4} = 14,95 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{T9}$$

(Seçtiğiniz bu kesiti kontrol ediniz, Pem ve Pkr hesaplayınız, Gerekli uygun bulon hesabını yapınız)

ÖRNEK 2 (tek parçalı)

P=8 ton (-) $l_k = l_y = 150 \text{ cm}$ YDI, Ç37, Basınç çubuğunun kesitini **Tek eşit kollu köşebent** profili olarak seçiniz.

Çözüm

$\omega = \omega_o = 1$

$$F_o = \frac{P}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_o = \frac{8}{1,4} = 5,71 \text{ cm}^2 \quad \text{Bu kesit tek parçalı olduğundan } i_{min} \text{ alınır. Korniyerlerin dört adet eğilme eksenini}$$

vardır. Tek parçalı durumda η - η eksenine dik, yani tek simetri eksenini olan ξ - ξ eksenine paralel burkulma yapacaktır. Bu yüzden $i_{min}=i_\eta$ olarak alınır.

$$i_{min}=i_\eta=0,96 \text{ cm} \quad \lambda_o = \frac{lk}{i} \rightarrow \lambda_o = \frac{150}{0,96} = 156,25 \rightarrow \lambda = 109 \rightarrow \omega = 2,09$$

$$\text{Esas kesit: } F_{lüz} = \frac{P \cdot \omega}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_{lüz} = \frac{8,0 \cdot 2,09}{1,4} = 11,94 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{seçilen } 80.80.8 \text{ F} = 12,3 \text{ cm}^2$$

Seçilen kesitin kontrolü; (delikler basınç çubuklarında kesiti zayıflatmazlar)

$$i_\eta=1,55 \text{ cm} \quad \lambda = \frac{lk}{i_{min}} \rightarrow \lambda = \frac{150}{1,55} = 97 \rightarrow \omega = 1,84$$

$$\sigma_\omega = \frac{\omega P}{F} = \frac{1,84 \cdot 8,0}{12,3} = 1,19 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} < 1,400 \frac{\text{ton}}{\text{cm}^2} \quad 80.80.8 \text{ kesiti yeterlidir}$$

EKSENEL BASINÇ ETKİSİNDEKİ ÇOK PARÇALI ÇELİK BASINÇ ÇUBUKLARI

Bu tür basınç çubukları iki sınıfa ayrılır.

1-Aralarındaki uzaklık bağ levhası kalınlığına eşit olan çelik basınç çubukları

$$e = e_x + \frac{t}{2}$$

2-Aralarındaki uzaklık bağ levhası kalınlığından daha fazla olan çelik basınç çubukları ($e > t$)

1-Aralarındaki Uzaklık Bağ Levhası Kalınlığına Eşit Olan Çelik Basınç Çubukları

Aralarındaki uzaklık bağ levhası kalınlığına eşit olan (8-20 mm) çok parçalı basınç çubuklarının malzemeli eksene göre hesabı toplam alan göz önüne alınarak tek parçalı çubuk gibi hesaplanır. Çünkü çubuk gurubunun malzemeli eksene göre atalet yarıçapı (i_{NEX}) tek çubuğun x-x eksenine göre atalet yarıçapı (i_x) ile aynıdır. Malzemesiz eksene göre ise birleşik kesitin kesit özelliklerinin yeniden hesaplanması gerekir.

ÖRNEK - (çok parçalı)

Aralarındaki uzaklık bağ levhası kalınlığına eşit olan 2 parçalı basınç çubuğunun (normal bulonlu birleşim)

a) Kesitini eşit kollu köşebent olarak tayin ediniz.

b) Malzemeli ve malzemesiz eksene göre gerilme kontrollerini yapınız.

c) Gerekli NB sayısını hesaplayıp orantılı ölçekle çiziniz.

$$lk_x = lk_y = 400 \text{ cm}$$

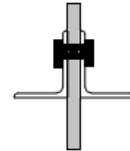
YDII, Ç37

a)

$$\omega = \omega_o = 1 \quad F_o = \frac{P}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_o = \frac{20}{1,6} = 12,5 \text{ cm}^2 \quad (\text{tek profil kesit alanı})$$

seçilen geçici kesitin özellikleri (çok parçalı basınç çubuklarının kesit tayininde " i_x " alınır)

$$i_x = 1,49 \text{ cm} \quad \lambda_o = \frac{lk}{i} \rightarrow \lambda_o = \frac{400}{1,49} = 268,45 \rightarrow \lambda = 144 \rightarrow \omega = 3,50$$



$$\text{Esas kesit: } F_{\text{lüz}} = \frac{P \cdot \omega}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_{\text{lüz}} = \frac{3,5 \cdot 20}{1,6} = 43,75 \text{ cm}^2 \text{ (iki profil alanı)}$$

$$F_1 = \frac{43,75}{2} = 21,88 \text{ cm}^2 \text{ seçilen esas kesit iki adet 100.100.12}$$

Seçilen esas kesitin özellikleri

$$F_1 = 22,70 \text{ cm}^2 \quad 2F_1 = 45,40 \text{ cm}^2 \quad i_x = 3,02 \text{ cm} \quad i_y = 3,02 \text{ cm}$$

b) malzemeli eksene göre kesit kontrolü

x-x eksenine göre Kesit kontrolü aynen tek parçalı çubuklarda yapıldığı gibi yapılır.

$$\sigma_\omega = \frac{\omega P}{F} \leq 1,6 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ olmalı.}$$

$$\lambda_x = \lambda_y = l_{kx} / i_x = 400 / 3,02 = 132 \rightarrow \omega = 2,94$$

$$\sigma_\omega = \frac{2,94 \cdot 20}{45,40} = 1,29 \leq 1,6 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ seçilen kesit yeterlidir.}$$

x-x- eksenine göre yeterlidir.

Seçilen kesiti bir de y-y eksenine göre (malzemesiz eksen) kontrol etmek gerekir.

malzemesiz eksene göre kesit kontrolü

Birleşik kesitlerin kesit özelliklerinin hesabı

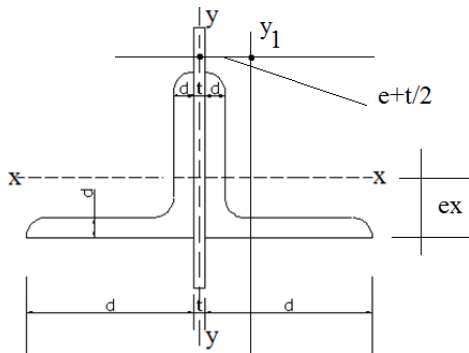
İki adet 100.100.12 korniyerden oluşturulmuş bir basınç çubuğunun kesit özelliklerini hesaplayalım.

Bir korniyere ait kesit özelliklerini ilgili tablodan alalım.

$$F = 22,70 \text{ cm}^2 \quad i_x = i_y = 3,02 \text{ cm} \quad I_x = I_y = 207 \text{ cm}^4 \quad e_x = 29 \text{ mm} \quad (e + t/2) = 29 + 5 \text{ bağ levhası } t = 10 \text{ mm}$$

İki adet korniyerden oluşturulmuş kesitin kesit özelliklerini, tabloda bir tane kesitin özellikleri verildiğinden, hesaplamak gerekir.

Paralel eksenler teoremi kullanılarak birleşik kesitin atalet momenti hesaplanabilir.



$$I_{NE} = (I_1 + F \cdot d^2) + \dots \dots \dots$$

x-x eksenine göre (malzemeli eksen)

(iki kesitin x eksenleri ile bir kesitin x eksenleri çakışık, paralel değil)

$$I_{NE} = (207 + 22,70 \cdot 0^2) \cdot 2 = 414 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_{NEx}}{nF}} = \sqrt{\frac{414}{2 \cdot 22,70}} = 3,02 \text{ cm (tek kesitin değeri ile aynı)}$$

y-y eksenine göre (malzemesiz eksen)

$$I_{NEX} = (207 + 22,70 \cdot (3,4)^2) \cdot 2 = 938,8 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{NEy}}{nF}} = \sqrt{\frac{938,8}{2 \cdot 22,70}} = 4,54 \text{ cm}$$

Olarak hesaplandıktan sonra önceki problemin y-y eksenine göre gerilme kontrolü yapılabilir.

$$\lambda_y = 400 \text{ cm} / 4,54 \text{ cm} = 88 \quad \omega_y = 1,68$$

$$\sigma_b = \frac{\omega \cdot P}{F} \leq \sigma_{b.em}$$

$$\sigma_b = \frac{1,68 \cdot 20}{45,40} = 0,740 \leq 1,6 \text{ t/cm}^2$$

c) Gerekli Normal (kaba) Bulon hesabı

Bulonlu ek çift tesirlidir. Bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi hesaplanır ve eke etkiyen eksenel yük bu emniyetli taşıma kapasitesine bölünür. $d_1=25$ mm Normal (kaba) bulonlarda $d=24$ mm YD II

$$n = \frac{P}{N_{em}} \text{ adet} \text{ Olarak hesaplanır.}$$

Kesme kuvveti dayanımına göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$B_a = 2 \frac{\pi d^2}{4} \tau_a, \text{ em} \rightarrow B_a = 2 \cdot \frac{\pi (2,4)^2}{4} \cdot 1,26 = 11,40 \text{ ton}$$

Ezilme gerilmesine göre bir bulonun güvenli taşıma kapasitesi

$$B_l = d \cdot t_{\min} \sigma_{lem} \text{ ----- } B_l = 2,4 \cdot 1,0 \cdot 2,7 = 6,48 \text{ ton}$$

$B_{em} = B_l = 6,48$ ton bir adet Ø24 NB nun güvenli taşıma kapasitesi 6,48 tondur.

Ek için gerekli uygun bulon sayısı;

$$n = \frac{P}{N_{em}} = \frac{20}{6,48} \cong 4 \text{ adet Bulon gereklidir.}$$

$$e_1 = 2d_1 = 2 \times 25 = 50 \text{ mm} \quad e_2 = 4d_1 = 4 \times 25 = 100 \text{ mm}$$

Çok parçalı basınç çubuğu Pem hesabı

Örnek 1

Şekildeki 2 Adet NPU200 profilinden oluşturulmuş ve birbirine sürekli kaynak dikişi ile bağlı çelik kolonun x-x eksenine dik burkulma boyu 5,00 mt ve y-y eksenine dik burkulma boyu 2,50 mt'dir. Ç37 ve YD1 yüklemesi için çubuğun taşıyabileceği maksimum basınç kuvveti hesaplanacaktır. NPU200'de

$$F = 32,2 \text{ cm}^2,$$

$$I_x = 1910 \text{ cm}^4,$$

$$I_y = 148 \text{ cm}^4,$$

$$i_x = 7,70 \text{ cm}$$

$$i_y = 2,14 \text{ cm}$$

İki adet U profilinden oluşmuş bu kesitin eksenlerine göre atalet yarıçapları hesaplanmalıdır. (paralel eksenler teoremi ile)

$$I_{NE} = (I_1 + F \cdot d^2) \cdot n \rightarrow i = \sqrt{\frac{I_{NE}}{n \cdot F}}$$

x-x eksenine göre ix

$$I_{NEX} = (1910 + 32,2 \cdot 0) \cdot 2 = 3820 \text{ cm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_{NEX}}{nF}} = \sqrt{\frac{3820}{2 \cdot 32,2}} = 7,70 \text{ cm}$$

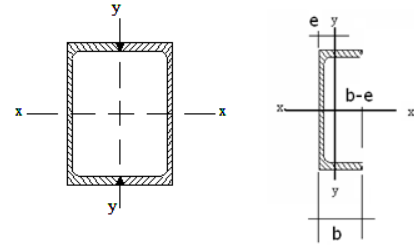
Görüldüğü gibi x-x eksenine göre ix değeri tek parçanın değeri ile aynıdır. Bundan dolayı aralarındaki mesafe bağ levhası kalınlığında olan basınç çubuklarının malzemeli eksene göre hesapları tek parçalı gibi yapılabilir.

y-y eksenine göre atalet yarıçapı ve kesit kontrolü hesabı (iy)

$$I_{NEX} = (148 + 32,2 \cdot 5,49^2) \cdot 2 = 2237 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_{NEy}}{nF}} = \sqrt{\frac{2237}{2 \cdot 32,2}} = 5,89 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = 500 \text{ cm} / 7,70 \text{ cm} = 64,93 \text{ (max)}$$



$$\lambda_y = 250 \text{ cm} / 5,90 \text{ cm} = 42,37$$

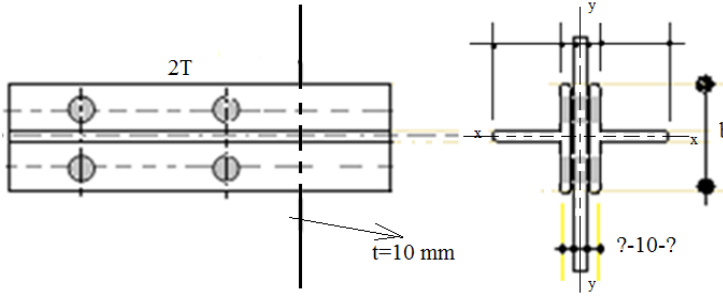
$$\lambda_{\max} = \lambda_x \rightarrow \omega_x = 1,35$$

$$\sigma_b = \frac{\omega \cdot P}{F} \leq \sigma_{b,em} \rightarrow Pem = \frac{\sigma_{b,em} \cdot n \cdot F}{\omega_{\min}} = \frac{1,4 \cdot 2 \cdot 32,2}{1,35} = 66,78 \text{ ton}$$

ÖRNEK: Şekilde verilen basınç çubuğunun kesitini çift T profili olarak hesaplayınız. Gerekli gerilme kontrollerini yapınız.

NOT: Çubukların duruş şekline göre x-x ve y-y eksenlerinin değiştiğini bununla birlikte kesit özelliklerinin yer değiştirdiğini unutmayınız) YDI Ç37

P=8 ton (-) $l_{kx}=l_{ky}=110 \text{ cm}$



$$\omega = \omega_0 = 1 \quad F_o = \frac{P}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_o = \frac{8}{1,4} \cdot \frac{1}{2} = 2,86 \text{ cm}^2 \text{ (tek profil kesit alanı)}$$

seçilen geçici kesitin özellikleri (çok parçalı basınç çubuklarının kesit tayininde “ i_x ” alınır)

$$i_x = 1,18 \text{ cm} \quad \lambda_o = \frac{lk}{i} \rightarrow \lambda_o = \frac{110}{1,18} = 93,22 \text{ (Tb.9)} \rightarrow \lambda = 77 \rightarrow \omega = 1,50$$

$$\text{Esas kesit: } F_{lüz} = \frac{P \cdot \omega}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_{lüz} = \frac{8 \cdot 1,50}{1,4} = 8,57 \text{ cm}^2$$

(iki kesit alanıdır. Tablolarda bir kesit için değerler verilmiştir)

$$F_1 = \frac{8,57}{2} = 4,29 \text{ cm}^2 \text{ seçilen esas kesit iki adet T5}$$

seçilen esas kesitin özellikleri

$$F_1 = 5,66 \text{ cm}^2 \quad \underline{i_x = 1,03 \text{ cm}} \quad \underline{i_y = 1,46 \text{ cm}} \text{ (profillerin sunuş şekline göre)}$$

Seçilen kesitin gerilme kontrolü:

Malzemeli eksene (bu örnekte x-x eksenine göre) Kesit kontrolü aynen tek parçalı çubuklarda yapıldığı gibi yapılır.

Sistemin x eksenini ile çubukların x eksenleri çakışıyor yani aralarındaki mesafe “0” dır yani çubuk gurubunun i_x değeri

tek çubuğun i_x değeri ile aynıdır yani $\underline{i_x = 1,03 \text{ cm}}$

$$\sigma_\omega = \frac{\omega P}{F} \leq 1,4 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ olmalı.}$$

$$\lambda_x = l_{kx} / i_x = 110 / 1,03 = 107 \rightarrow \omega_x = 2,05$$

$$\sigma_\omega = \frac{2,05 \cdot 8}{2 \cdot 5,66} = 1,45 > 1,40 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ seçilen kesit yetersizdir.}$$

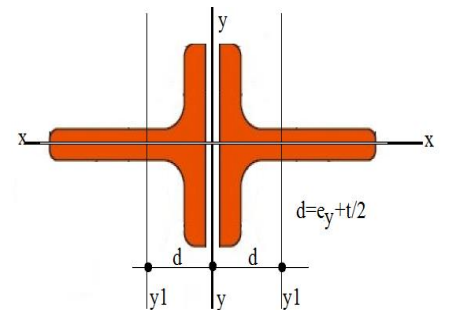
Kesit yeterli olmadığı için bir üst kesit **T6** alınarak işleme devam edilir.

T6 Kesitinin x-x ve y-y eksenine göre kontrolünü yapmamız gerekir. Bir çubuğun y-y ekseninin sistemin y-y_{NE} eksenine paralel ve aralarında $d = e_x + t/2 = 16,6 + 5 = 21,6 \text{ mm}$ (2,16 cm) mesafe olduğu görülmektedir. Buna göre birleşik kesitin atalet momenti;

x-x eksenine göre atalet yarıçapı ve kesit kontrolü hesabı

$$I_{NEx} = (12,20 + 7,94 \cdot 0 \cdot 2 = 24,40 \text{ cm}^4) \text{ dikkat ediniz şeklin x-x eksenini tabloda y-y- eksenini değerleridir.}$$

$$i_{NEx} = \sqrt{\frac{I_{NEx}}{n \cdot F}} = \sqrt{\frac{24,40}{2 \cdot 7,94}} = 1,24 \text{ cm. (dikkat ediniz } i_y \text{ ile aynı)}$$



$$\lambda_x = 110 \text{ cm} / 1,24 \text{ cm} = 89 \quad \lambda_x \rightarrow \omega = 1,69$$

$$\sigma_\omega = \frac{\omega P}{F} \leq 1,4 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ olmalı. } \sigma_\omega = \frac{1,69 \cdot 8}{2 \cdot 7,94} = 0,851 \frac{t}{\text{cm}^2} < 1,4 \text{ x - x eksenine göre kesit yeterli.}$$

y-y eksenine göre atalet yarıçapı kesit kontrolü hesabı

$$I_{NEy} = ((23,8 + 7,94 \cdot (1,66 + 0,5)^2) \cdot 2 = 121,68 \text{ cm}^4) \text{ dikkat ediniz şeklin y-y eksenini tabloda x-x eksenini değerleridir.}$$

$$i_{NEy} = \sqrt{\frac{I_{NEy}}{n \cdot F}} = \sqrt{\frac{121,68}{2 \cdot 7,94}} = 2,77 \text{ cm.}$$

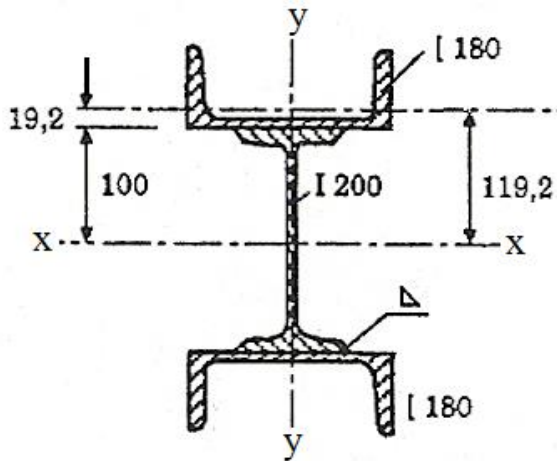
$$\lambda_x = 110 \text{ cm} / 2,77 \text{ cm} = 40 \quad \lambda_x \rightarrow \omega_y = 1,14$$

$$\sigma_\omega = \frac{\omega P}{F} \leq 1,4 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ olmalı. } \sigma_\omega = \frac{1,14 \cdot 8}{2 \cdot 7,94} = 0,574 \frac{t}{\text{cm}^2} < 1,4 \text{ y - y eksenine göre kesit yeterli.}$$

ÖRNEK:

Şekilde verilen birleşik kesitli kolonun güvenle taşıyabileceği aksenal basınç kuvvetini hesaplayınız.

Ç37, YD1, $l_{kx}=418 \text{ cm}$; $l_{ky}=198 \text{ cm}$ (J profillerin tablolarda gösterilen eksenlerinin yer değiştirdiğine dikkat ediniz)



J 180 profilinin kesit özellikleri:

$$F=28 \text{ cm}^2 \quad I_x=1350 \text{ cm}^4 \quad I_y=114 \text{ cm}^4 \quad e=1,92 \text{ cm}$$

I 200 profilinin kesit özellikleri:

$$F=33,50 \text{ cm}^2 \quad I_x=2140 \text{ cm}^4 \quad I_y=117 \text{ cm}^4$$

X-X tarafsız eksenine göre birleşik kesitin atalet momenti:

$$I_{NE \text{ X-X}} = (I_1 + F \cdot d^2) + \dots$$

$$I_{NE \text{ X-X}} = (2140 + 33,50 \cdot (0)^2) + [(114 + 28 \cdot (11,92)^2) \cdot 2] = 10325 \text{ cm}^4$$

$$i_{NE \text{ X}} = \sqrt{\frac{I_{NE \text{ X}}}{nF}} = \sqrt{\frac{10325}{(33,5 + 28 + 28)}} = 10,74 \text{ cm}$$

Y-Y tarafsız eksenine göre birleşik kesitin atalet momenti:

$$I_{NE \text{ y-y}} = (117 + 33,50 \cdot (0)^2) + [(1350 + 28 \cdot (0)^2) \cdot 2] = 2817 \text{ cm}^4$$

$$i_{NE \text{ y}} = \sqrt{\frac{I_{NE \text{ y}}}{nF}} = \sqrt{\frac{2817}{(33,5 + 28 + 28)}} = 5,61 \text{ cm}$$

$$\lambda_x = 418 \text{ cm} / 10,74 \text{ cm} = 39$$

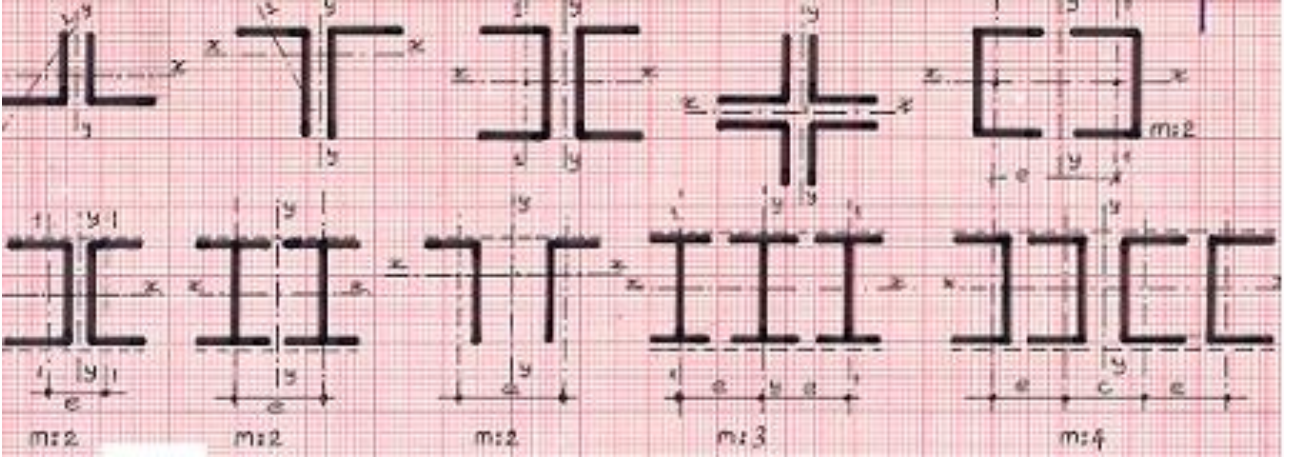
$$\lambda_y = 198 \text{ cm} / 5,61 \text{ cm} = 35 \quad \lambda_{\max} = 39 \rightarrow \omega_y = 1,13 \text{ (Tb 8)}$$

$$\rightarrow P_{em} = \frac{\sigma_{b,em} \cdot n \cdot F}{\omega_{\min}} = \frac{1,4 \cdot (33,5 + 28 + 28)}{1,13} = 110,88 \text{ ton}$$

2-Aralarındaki Mesafe Bağ Levhası Kalınlığından Daha Fazla Olan Tasarımlar

Bu grup çubuklarda eksenlerden birisi bütün çubuklardan geçer buna “malzemeli eksen” denilir. Diğer eksen de “malzemesiz eksen” olarak adlandırılır. En kesitlerinin asal eksenlerinden biri x-x malzemeli eksen olan çubukların, bu eksene dik burkulmaları tek parçalı basınç çubuklarındaki gibi hesaplanır.

$$\lambda_x = \frac{l_{kx}}{i_x} \rightarrow \omega_x \rightarrow \sigma_{\omega x} = \frac{\omega_x \cdot P}{F} \leq \sigma_{b,emn} \quad \lambda_x \leq 20 \rightarrow \omega = 1 \text{ alınır. Bu guruba giren çubuk kesitleri şekilde verildiği gibidir.}$$



y-y Eksenine Dik Burkulma Kontrolü

Malzemesiz eksene göre parçalar arasındaki bağlantıların elastikliğinden dolayı çubuk gurubunun rijitliği azalır. Narinlik büyür. Buna bağlı olarak burkulma katsayısı da büyür. Bu durumda sanal bir narinlik derecesi olan λ_{yi} hesaplanmalıdır.

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \cdot \lambda_1^2} \rightarrow \lambda_{yi} \rightarrow \omega_{yi} \rightarrow \sigma_{\omega y} = \frac{\omega_{yi} \cdot P}{F} \leq \sigma_{b,emn}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y}, \rightarrow i_y = \sqrt{\frac{I_y}{n \cdot F}} \text{ veya } i_y = \sqrt{i_1^2 + \left(\frac{e}{2}\right)^2} \text{ ..cm dir. } I_y, \text{ çubuk gurubunun malzemesiz eksenine göre atalet}$$

momentidir. Paralel eksen kanununa göre hesaplanır. $I_y = (I_1 + Fd^2) + ..$

λ_1 , basınç çubuğunun burkulma boyunu azaltmak için enlemesine veya çapraz konulmuş bağ levhalarının narinliğidir. Bu narinlik, tasarımın şekline göre iki şekilde hesaplanır.

Çok Parçalı Basınç Çubuklarının Burkulma Stabilitesi

Çok parçalı çubuklardan oluşturulan kolonların aksenal basınç altında dengeli davranabilmeleri için çubuk gurubu belirlenen mesafelerde birbirlerine çelik lama veya profillerle bağlanmalıdır. Bu sayede çok parçalı basınç çubuğu gurubunun birlikte çalışması sağlanır ve burkulma boyu azaltıldığı için kesitin basınç kuvveti taşıma gücü artırılmış olur.

1-Enlemesine konulmuş bağ levhalarında: Basınç çubuklarından en fazla şekilde faydalanabilmek için enlemesine konulmuş bağ levhalarının ara mesafeleri şu iki şarttan en küçüğünü sağlaması gerekir.

$$1 - l_{k1} \leq \frac{1}{3} l_k \quad 2 - \lambda_1 = \frac{l_{k1}}{i_{min}} \leq 50 \text{ veya}$$

Burkulma boyunca bölüntü sayısı en az 3 olmak şartı ile

$lk_1 \leq 50 \cdot i_{min}$ olmalıdır. Buradaki “ i_{min} ” basınç çubuklarından birisinin en küçük atalet yarıçapıdır.

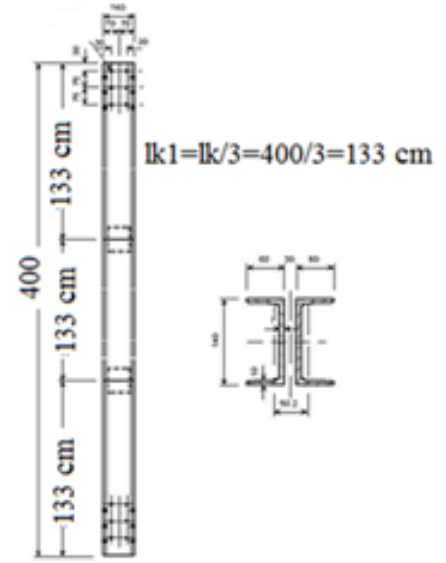
ÖRNEK:

2 J18 profilinden tasarlanan 400 cm uzunluğundaki bir çelik kolonun boyu 1/3 mesafelerde enlemesine konulmuş bağ levhalarıyla 3 parçaya bölünmüştür. Bağ levhalarının ara mesafelerini kontrol ediniz.

$$i_{min}=2,02 \text{ cm}$$

$$lk_1 < 50 \cdot i_{min} \quad lk_1 < 50 \cdot 2,02 = 101 \text{ cm} < 133 \text{ cm uygun değil}$$

$lk_1 \leq 101 \text{ cm olmalıdır.}$



2-Çapraz konulmuş Örgü çubuklarında ise;: $\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{F}{z \cdot F_D} \cdot \frac{d^3}{lk_1 \cdot e^2}}$ ifadesi ile hesaplanır.

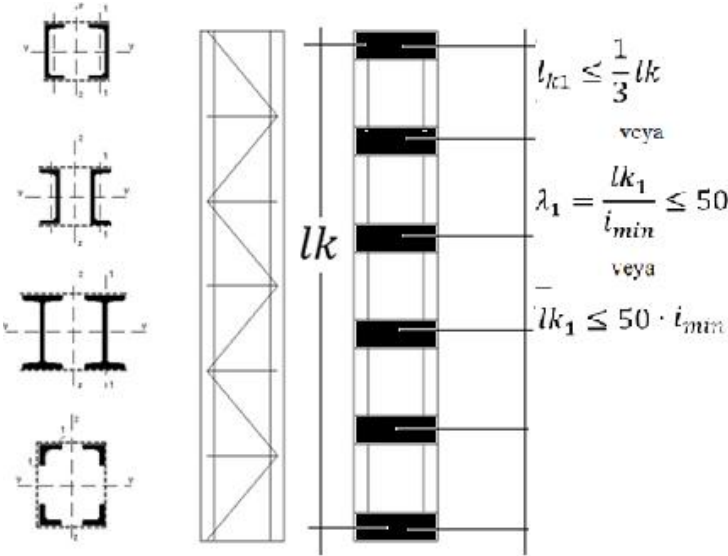
z = Paralel düzlemler içinde yan yana bulunan enleme bağlantıların sayısı,

S1 (lk_1)= Enleme bağlantılar arasındaki en büyük aralık (cm)

F_D = Örgülü çubuklarda münferit bir diyagonalin kayıpsız enkesit alanı (cm^2), çapraz diyagonaller kullanıldığında F_D birbirlerini kesen diyagonallerin enkesit alanlarının toplamı,

d = Örgülü çubuklarda bir diyagonalin sistem uzunluğu (cm)

e = Münferit çubukların eksenleri arasındaki mesafe dir (cm).



3.2. Çubuk Gurubu II: Köşeleme iki korniyer ile düzenlenen çubuklar (Şekil 9) yalnız x-x malzeme eksenine dik burkulmaya göre hesaplamak yeterlidir. Bu grup çubuklarda eğer hassas hesap yapılmıyorsa;

$$i_x = \frac{i_o}{1.15}, \quad \sigma_b = \frac{\omega_x \cdot P}{F} \leq \sigma_{b,emn}, \quad \lambda_1 = \frac{l_{k1}}{i_1} \geq 50 \text{ ise, } \lambda_x \cong 1.15 \frac{l_{kx}}{i_o} \rightarrow \omega_x$$

3.3. Çubuk Gurubu III: Enkesitlerinde hiçbir malzeme eksenini bulunmayan çok parçalı çubuklardır (Şekil 10).

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \cdot \lambda_{1y}^2} \rightarrow \lambda_{yi} \rightarrow \omega_{yi} \rightarrow \sigma_{ay} = \frac{\omega_{yi} \cdot P}{F} \leq \sigma_{b,emn}$$

$$\lambda_{xi} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m'}{2} \cdot \lambda_{1x}^2} \rightarrow \lambda_{xi} \rightarrow \omega_{xi} \rightarrow \sigma_{\omega x} = \frac{\omega_{xi} \cdot P}{F} \leq \sigma_{b,emn} \text{ İtibari narinlik dereceleri göz önüne alınarak,}$$

tek parçalı basınç çubuklarındaki gibi hesaplanır. Şekil 10 da görülen çubuklara, enkesitin dikdörtgen şeklini değiştirmemesi için ayrıca eksenine dik bölme levhaları da kullanılmalıdır (Ayrıntılı bilgi TS 648 de).

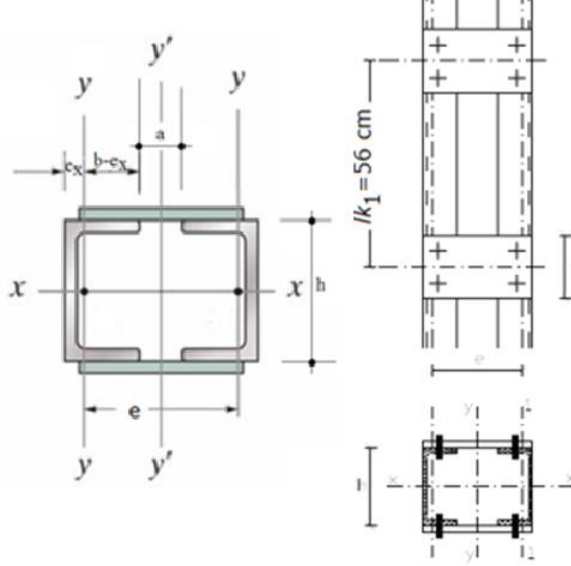
ÖRNEK: Verilenlerden faydalanarak çelik kolunun

-kesitini iki adet U profili olacak şekilde seçiniz.

-malzemeli ve malzemesiz eksenlere göre kontrollerini yapınız.

$a=h$ Ç37, YD1 $P=75 \text{ Ton (-)}$ $l_{kx}=l_{ky}=225 \text{ cm}$ $l_{k1}=56,25 \text{ cm}$

ÇÖZÜM:



$$\omega = \omega_0 = 1 \quad F_0 = \frac{P}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_0 = \frac{75}{1,4} \cdot \frac{1}{2} = 26,79 \text{ cm}^2 \text{ (tek profil)}$$

kesit alanı)

seçilen geçici kesitin özellikleri (çok parçalı basınç çubuklarının kesit tayininde “ i_x ” alınır)

$$i_x = 6,95 \text{ cm} \quad \lambda_0 = \frac{l_k}{i} \rightarrow$$

$$\lambda_0 = \frac{225}{6,95} = 32,37 \text{ (Tb.9)} \rightarrow \lambda = 31 \rightarrow \omega = 1,09$$

$$\text{Esas kesit: } F_{lüz} = \frac{P \cdot \omega}{\sigma_{b,emn}} \rightarrow F_{lüz} =$$

$$\frac{1,09 \cdot 75}{1,4} = 58,39 \text{ cm}^2 \text{ (iki profil alanı)}$$

$$F_1 = \frac{58,39}{2} = 29,19 \text{ cm}^2 \text{ seçilen esas kesit iki adet }]20$$

Seçilen esas kesitin özellikleri (profillerin sunuş şekline göre)

$$F_1 = 32,20 \text{ cm}^2 \quad i_x = 7,70 \text{ cm} \quad i_y = 2,14 \text{ cm} \quad e_x = 2,01 \text{ cm} \quad b = 7,5 \text{ cm} \quad h = 20 \text{ cm}$$

$$e = a + 2 \cdot (b - e_x)$$

$$e = 20 + 2 \cdot (7,5 - 2,01) = 30,98 \text{ cm}$$

Seçilen kesitin gerilme kontrolü:

Malzemeli eksene (bu örnekte x-x eksenine göre) Kesit kontrolü aynen tek parçalı çubuklarda yapıldığı gibi yapılır.

Sistemin x eksenine ile çubukların x eksenleri çakışıyor yani aralarındaki mesafe “0” dır.

$$I_{NE_{x-x}} = (I_1 + F \cdot d^2) \cdot n \rightarrow i = \sqrt{\frac{I_{NE}}{n \cdot F}} \quad I_{NE_{x-x}} = (1910 + 32,2 \cdot 0^2) \cdot 2 = 3820 \rightarrow i_x = \sqrt{\frac{3820}{2 \cdot 32,2}} = 7,70 \text{ cm}$$

Görüldüğü gibi bu tip çubuk gruplarında malzemeli eksene göre hesaplanan atalet yarıçapı, tek parçanın atalet yarıçapı ile aynı çıkmaktadır. Buna göre çok parçalı basınç çubuklarının malzemeli eksenlerine göre birkulma kontrolü aynen tek parçalı çubuklarda olduğu gibi yapılır.

$$\sigma_{\omega} = \frac{\omega P}{F} \leq 1,6 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ olmalı.}$$

$$\lambda_x = l_{kx} / i_x = 225 / 7,70 = 29,22 \rightarrow \omega_x = 1,08$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{1,08 \cdot 75}{2 \cdot 23,2} = 1,26 < 1,4 \frac{t}{\text{cm}^2} \text{ seçilen kesit x - x eksenine göre yeterlidir.}$$

y-y eksenine göre kesit kontrolü (malzemesiz eksen)

Çok parçalı basınç çubuklarında malzemesiz eksene göre kesit kontrolü sanal narinliğin hesabı ile yapılır.

$$\lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \cdot \lambda_1^2} \rightarrow \lambda_{yi} \rightarrow \omega_{yi} \rightarrow \sigma_{\omega y} = \frac{\omega_{yi} \cdot P}{F} \leq \sigma_{b,emn}$$

$$\lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y}, \rightarrow i_y = \sqrt{\frac{I_y}{n \cdot F}}$$

$$I_{NE y-y} = (I_1 + F \cdot d^2) \cdot n \rightarrow \lambda_y = \left[148 + 32,2 \cdot (15,49)^2 \right] \cdot 2 = 15748 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{n \cdot F}} = i_y = \sqrt{\frac{15748}{2 \cdot 32,20}} = 15,64 \text{ cm} \quad \lambda_y = \frac{l_{ky}}{i_y} \rightarrow \lambda_y = \frac{225}{15,64} = 14,38$$

$$\lambda_1 = \frac{l_1}{i_{min}} \leq 50 \text{ olmanı}$$

$$\lambda_1 = \frac{56}{2,14} = 26,16$$

$$\lambda_{yi} = \sqrt{(14,38)^2 + \frac{2}{2} \cdot (26,16)^2} = 29,85 \rightarrow \omega_{yi} = 1,08 \rightarrow$$

$$\sigma_{\omega} = \frac{\omega_{yi} \cdot P}{n \cdot F} \leq \sigma_{b,em} \rightarrow \sigma_{\omega} = \frac{1,08 \cdot 75}{2 \cdot 32,2} = 1,28 \text{ t/cm}^2 \leq 1,4 \text{ t/cm}^2$$

Malzemesiz eksene göre de kesit yeterlidir.

ÇELİK KİRİŞLERİN TASARIM VE BOYUTLANDIRILMASI

Kirişler genel olarak eğilmeye çalışarak yükleri mesnetlerine aktarırlar. Eğilme söz konusu olduğu için kirişin eğilmeye karşı dayanımı ve kesit özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Dikdörtgen kesitli, eğilme momenti etkisi altındaki bir kirişi ele alalım. Tarafsız eksenin en üst liflerinde basınç gerilmeleri, en alt liflerde ise çekme gerilmeleri oluşur. Simetrik kesitli kirişlerde çekme ve basınç liflerindeki gerilmeler eşit olur. Buna göre, dikdörtgen kesitli eğilmeye çalışan bir kirişte eğilme gerilmesi şu ifade ile hesaplanır.

$$\sigma_e = \frac{M \cdot c}{I_{NE}} \leq \sigma_{e,em} \quad \text{kg/cm}^2$$

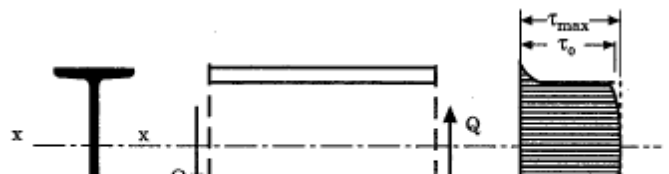
c = çekme ve basınç liflerinin tarafsız eksene uzaklığıdır. Simetrik kesitlerde $c = \frac{h}{2}$ dir.

$$I_{NE} = \frac{b \cdot h^3}{12} \text{ cm}^4, \text{ dikdörtgen kesitin atalet momenti olup ifadede yerine konulacak olursa,}$$

$$\sigma_e = \frac{M \cdot \frac{h}{2}}{\frac{b \cdot h^3}{12}} = \frac{M}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{M}{W} \text{ ifadesi elde edilir. Bu ifade de}$$

$W_{x,y}$, kirişe ait mukavemet momenti dir. Bu ifade eğilme etkisi altındaki kirişlerin tasarım ve boyutlandırılmasında kullanılır.

Mukavemet momenti, diğer profil kirişlerde $W = \frac{I}{\frac{h}{2}}$ ifadesi ile de hesaplanabilir.



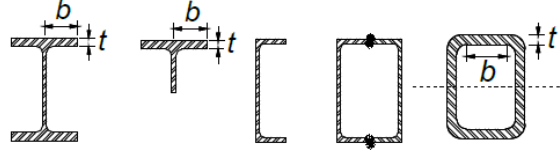
$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{emn} \dots \dots \tau = \frac{Q_{max}}{hg \cdot tg} \leq \tau_{emn}$$

I kesitli kirişlerde kesme kuvveti pratik olarak sadece gövde tarafından karşılanır.

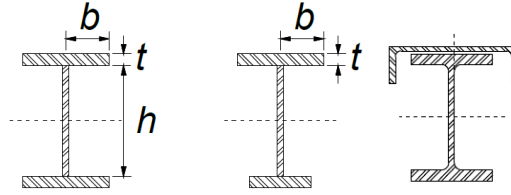
Çelik Kirişlerin Sınıflandırılması

1-Dolu gövdeli kirişler

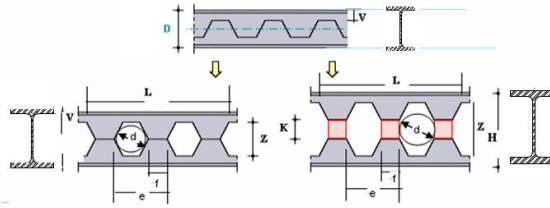
-sıcak haddelenmiş profillerden tasarlanan kesitler: Hadde I-profiller, U profiller, T enkesitli ve kutu elemanlar



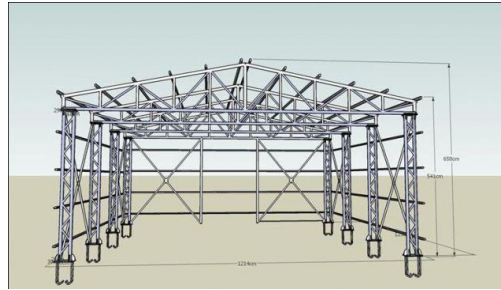
-yapım (yapma) kirişler



2-Petek kirişler: Sıcak haddelenmiş H ve I tipi profillerin gövdeleri boyunca zig-zaglı olarak kesilmesi ile elde edilen iki parçanın birleştirilerek imal edilen kirişlerdir.

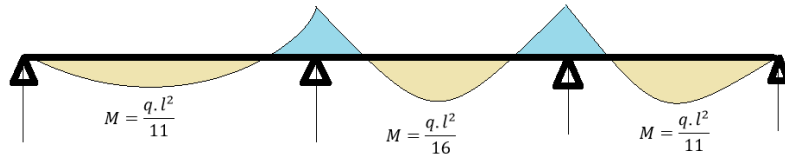


3-Kafes Kirişler



Sıcak haddelenmiş profillerden tasarlanan Çelik kirişlerin hesap yöntemi

Kirişin verilen yükler altında kesit tesir diyagramları çizilerek Q_{max} ve M_{max} elde edilir. Basit kirişlerde bu böyledir. Sürekli kirişlerde ise sürekli kiriş çözüm yöntemlerinden birisiyle (cross, biro) yapısal çözümleme yapılır. q/g oranı %20 civarında ise açıklık momentleri şu şekilde alınabilir.



Kesit seçimi için işlem sırası:

- 1-Kirişin statik konumu belirlenir. (hesap açıklığı vs, TS 648 Madde 3.3)
- 2-Kesit tesir diyagramları çizilir. (herhangi bir yöntemle)
- 3-En kesit seçimi yapılır. Kullanılacak kesit tipine karar verilir.

$$W_{lüz} = \frac{M_{max}}{\sigma_{e,emn}} \text{ cm}^3$$

İlgilenilen profil tablosundan bu mukavemet momentine eşit veya büyük olan profil kesiti seçilir. Seçilen profilin kesit özellikleri tablodan alınarak gerekli kontroller yapılır. Bir çelik kirişin kesitinin yeterli olabilmesi için şu kontrollerin yapılması gerekir.

1-Eğilme gerilmesi açısından kontrol:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \sigma_{emn}$$

2-Kesme gerilmesi açısından kontrol: Gövde iç yüksekliği (h_g, h_1) ile gövde kalınlığının (t_g, t) çarpımı kesme kuvvetini karşılayabilecek en kesit alanını verir.

2-1-profilinden tasarlanan kirişlerde;

$$\tau = \frac{Q_{max}}{h_g \cdot t_g} \leq \tau_{emn}$$

2.2-yapım kirişlerde:

$$\tau_0 = \frac{Q_{max} S_x}{I_x \cdot t_g} \leq \tau_{emn}$$

$S_x = F_f \cdot (h/2 - t/2)$ (alan x moment kolu) flanş (başlık enkesit alanının) profil x-x ağırlık merkezine göre statik momentidir.

2.3- Yapım kirişlerde başlığı, gövdeye ekleyen kaynak dikişlerinin kontrolünde:

$$\tau_{kay} = \frac{Q_{max} S_x}{I_x \cdot 2a} \leq \tau_{emn}$$

3-Kıyaslama gerilmesi açısından kontrol: Mesnetten x mesafesinde kesite aynı anda etkiyen kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri hesaplanarak kontrol yapılır (TS 648, Madde 4.2)

Kıyaslama gerilmesi;

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 0,75 \sigma_F \text{ (YD)} \text{ ve } 0,80 \sigma_F \text{ (YD2)} \quad \sigma_F = \text{çelik akma sınır gerilmesidir (Tb 1)}.$$

4-Sehim kontrolü: ($f \leq f_{max}$)

Kullanılış amacı ve konstrüktif bakımdan gereken hallerde deformaşyonlar tahkik edilecek ve sınırlandırılacaktır. Öz yüklerden ileri gelen deformaşyonlar ters sehim verilerek giderilebilir. Açıklığı 5,0 m'den fazla olan kiriş aşıkların sehimleri açıklığın $f \leq 1/300$ 'ünden, konsol kirişlerin ucundaki sehim konsol uzunluğunun $f \leq 1/250$ 'sinden fazla olmamalıdır. Temel ve mesnetlerde, ızgara ve dağıtma kirişlerinin sehim konsol uzunluğunun en çok $f \leq 1/1000$ 'i kadar olabilir (TS498 Madde 2.4.2.4).

-Çelik kirişlerde sehim şu sınırlar içerisinde olmalıdır.

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2 y}{d \cdot x^2} = f$$

Eğilmeye çalışan elemanların malzeme, kesit özelliği ve yüklenme şekline göre yapabileceği sehim miktarı şu şekilde hesaplanabilir.

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EI} = \dots \dots \dots \text{düzgün yayılı yük etkimesi durumunda}$$

$$f = \frac{5}{48} \frac{M \cdot l^2}{EI} \dots \dots \dots \text{etkiyen } M_{max}' \text{ a göre}$$

ÖRNEK: $q=8800 \text{ kg/m}$ lik bir düzgün yayılı yükle yüklenmiş I300 profilinden yapılan ve açıklığı 420 cm olan bir çelik kirişin sehim miktarını kontrol ediniz.

$$f = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{EI} = f = \frac{5}{384} \cdot \frac{88 \cdot (420)^4}{2,100.000 \cdot 9800} = 1,73 \text{ cm} > \frac{420}{300} = 1,40 \text{ cm}$$

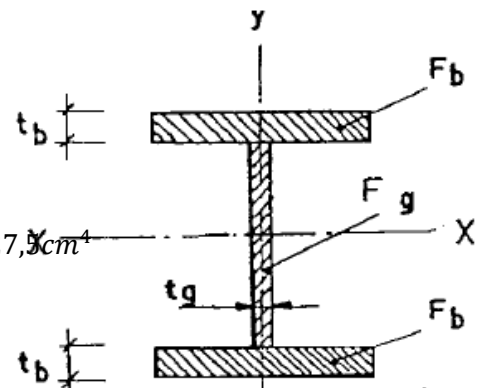
I300 kesiti, Sehim açısından uygun değildir.

Sehim açısından uygun kesit ne olmalıdır?

$$I_x = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{f \cdot 384 \cdot E}$$

.....

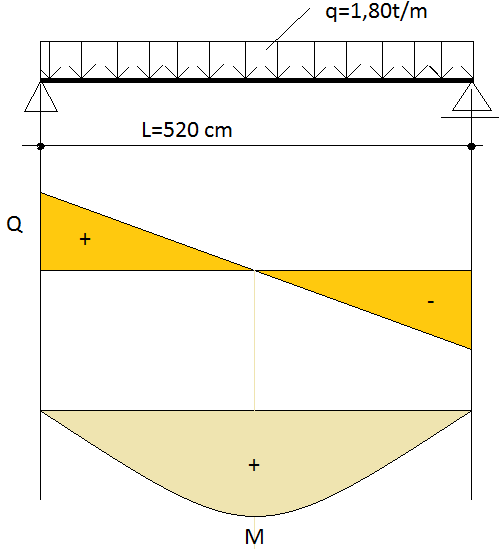
$$I_x = \frac{5 \cdot 88 \cdot 420^4}{1,40 \cdot 384 \cdot 2,100.000} = 12127,3 \text{ cm}^4$$



seçilen kesit I32 12510 cm⁴>12127,5 cm⁴

ÖRNEK (kesit esabı)

Verilenlerden faydalanarak elik kirişin kesitini I (Dar başlıklı) profil olarak seçiniz. Gerekli kontrolleri yapınız.



$$Q_{max} = \frac{q \cdot L}{2}$$
$$M_{max} = \frac{q \cdot L^2}{8}$$

ÇELİK ÇATILARDA YÜK VE HESAP İLKELERİ (TS 498, TS 648)

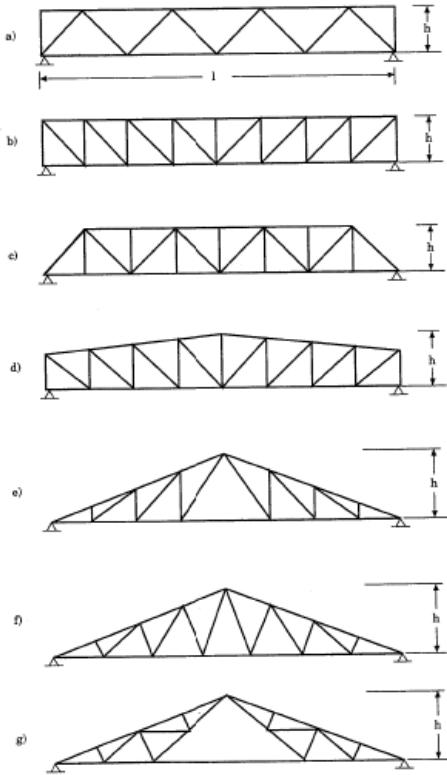
ÇELİK ÇATI SİSTEMLERİ

Bir yapıyı dış etkenlerden koruyan ve yapıya bir estetik kazandıran imalatlara çatı denilir. Çatılar yapıldığı malzemeye göre ahşap ve elik ve BA plak olmak üzere sınıflandırılabilceğı gibi, yükleri aktarma şekline göre de, oturtma ve askılı çatılar olma üzere sınıflandırılabilir. elik atılar, genelde kafes kiriş tarzında dolu gövdeli kiriş veya profillerden yapılırlar. Kafes kirişler dış konturlarının sınırladığı şekle göre, üçgen, trapez, paralel başlıklı ve parabolik olarak isimlendirilirler.

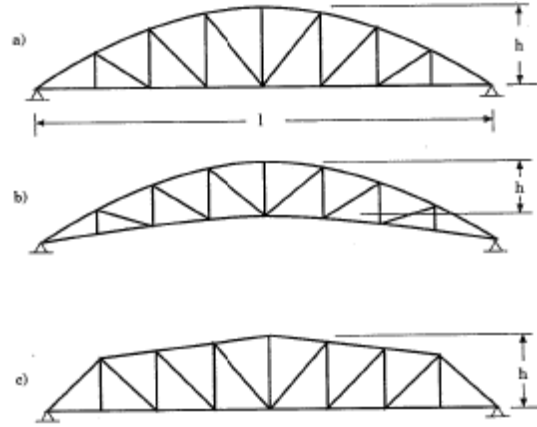
8.1. Sistem şekilleri

Başlık şekillerine göre kafes kirişler aşağıdaki isimleri alırlar :

Paralel başlıklı kafes kiriş	(şekil 8.1 a, b, c)
Trapez kafes kiriş	(şekil 8.1 d)
Üçgen kafes kiriş	(şekil 8.1 e, f, g)
Üst başlığı parabolik kafes kiriş	(şekil 8.2 a)
Her iki başlığı parabolik kafes kirişi	(şekil 8.2 b)
Mansard kafes kiriş	(şekil 8.2 c)



Şekil 8.1



Şekil 8.2

Kafes Kiriş Elemanları:

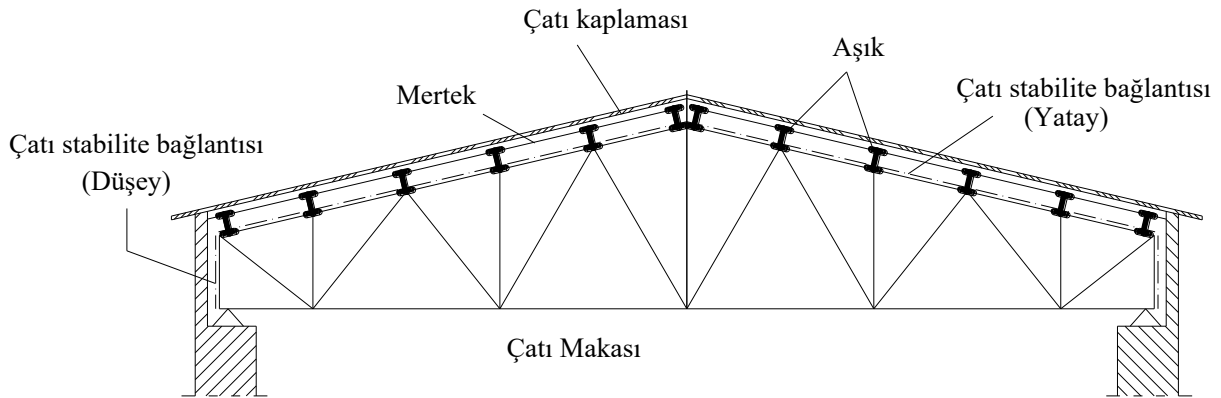
Makaslar, stabilite bağlantıları ve kiriş düzenlemelerinde kullanılan başlık ve örgü elemanları:

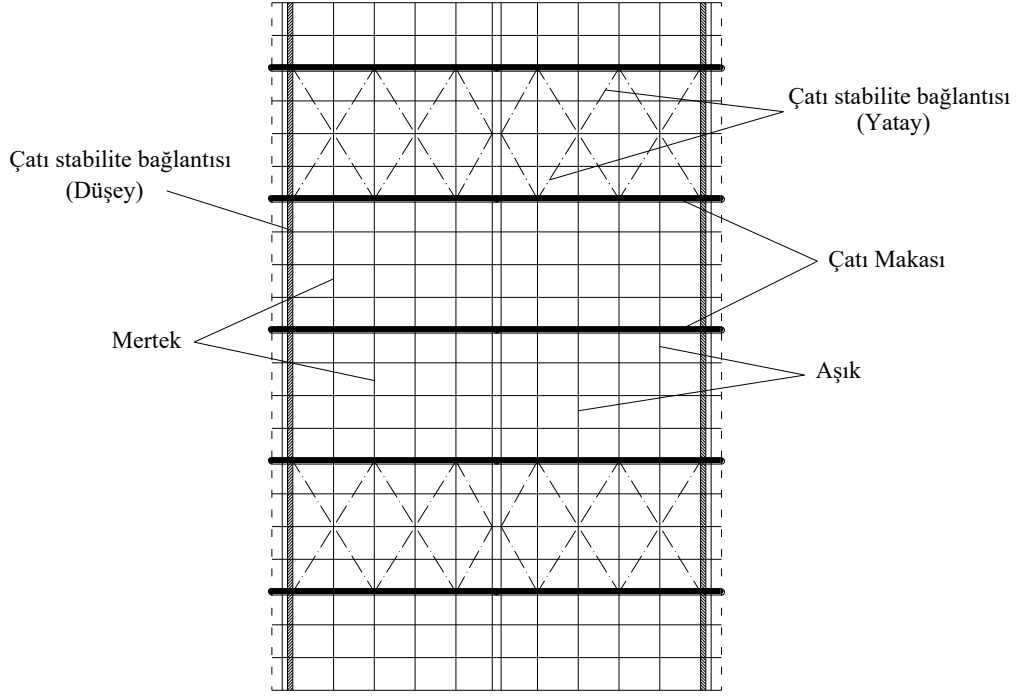
- Başlıklarda T, $\frac{1}{2}$ I, NPU, çift köşebent, kutu, boru profiller
- Örgü çubuklarında tek ve çift köşebent, kutu, boru profiller

Köprülerde kullanılan elemanlar:

- Boru profiller
- Birleşik kesitler
- Yapma H veya kutu kesitleri

Çubuk elemanlarının seçimi; çubuğun kafesteki yerine, çubuk türüne (çekme, basınç, örgü, başlık), açıklığa, birleşim elemanı tipine ve estetik gereklere göre yapılır. Tipik bir çelik çatı şu öğelerden oluşur.





Çatıların ana taşıyıcı kirişlerine ÇATI MAKASI denilir. Çatıyı oluşturan elemanlar:

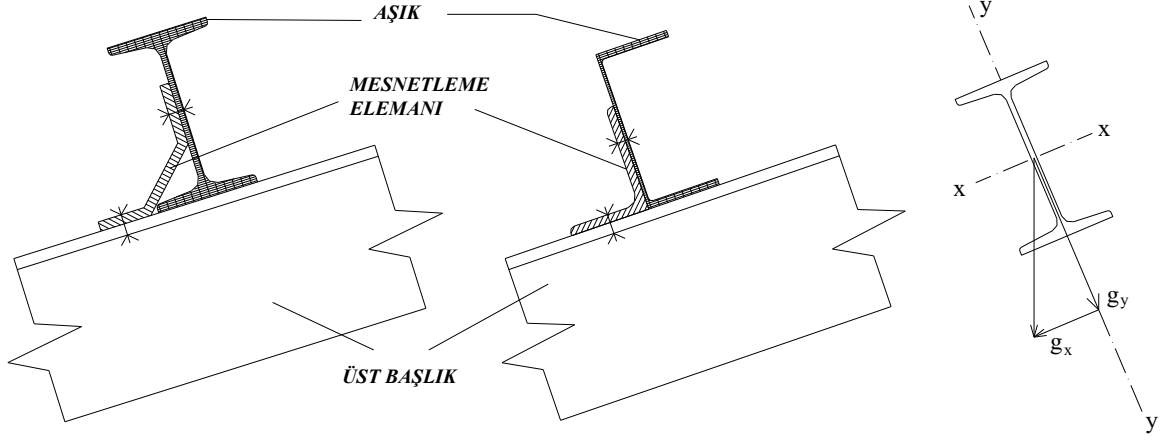
1. Çatı kaplaması, örtüsü
2. Mertekler**(kullanılan çatı örtüsüne bağlı)
3. Aşıklar
4. Çatı makasları ve
5. Çatı stabilite bağlantılarıdır.

Çatı Makasları:

Çatı makasları çatı konstrüksiyonlarının ana kirişlerini oluşturur. Makas tipi 1-açıklığa, 2-yüklere 3- çatıdan beklenen fonksiyonlara ve 4- imalat imkanlarına göre, kafes kiriş yada dolu gövdeli kiriş olarak düzenlenir. Dolu gövdeli kirişler kafes kirişlere göre daha ağır olmalarına karşın imalat kolaylığı ve bakım sorunlarının azlığı nedeniyle avantajlıdır. Ancak büyük açıklıklarda ve çatı eğiminin fazla olduğu yerlerde kullanılamaz. Makas aralıkları bu iki sistem için 3 ~ 8 m civarında düzenlenir. Makas aralığının seçiminde malzeme ağırlığını ve maliyeti minimum yapacak optimizasyona dikkat edilmelidir.

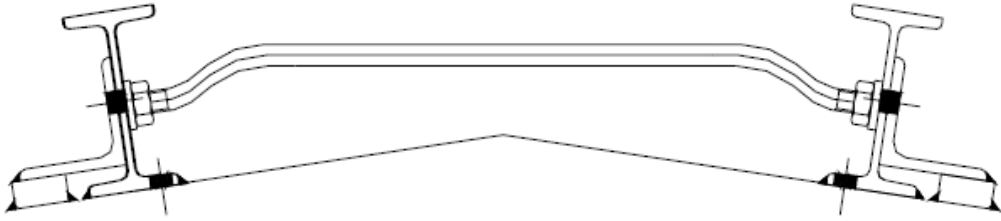
Aşıklar:

Aşıklar çatı yükünü doğrudan doğruya veya varsa merteklerden alarak çatı makaslarının düğüm noktalarına aktarır. Aşıkların diğer bir görevi de, makasların üst başlıklarını, çatı bağlantılarının düğüm noktalarına bağlamak suretiyle, yanal burkulmaya karşı emniyet altına almaktır. Aşık aralıkları çatı örtüsüne ve çatı eğimine göre belirlenir. Aşıklar genellikle I, IPE, [profilleri ile Z ve C tipinden bükme sacdan yapılan elemanlar ile teşkil edilir. Aşık profillerinin, gövdeleri genellikle çatı düzlemine dik olacak şekilde, makas üst başlıklarına oturtulmaları bahis konusudur.



Bir çelik çatı sistemi içinde aşıklar elemanının çelik malzeme gideri üzerindeki etkinliği çok fazladır. Çelik yapının bir metre kareye düşen ağırlığının önemli bir kısmını aşıklar oluşturur. Ekonomik bir çatı konstrüksiyonu için her şeyden önce, aşıklar hesaplarının büyük bir özenle ele alınması gerekir. Kullanılacak örtü malzemesi türüne göre en uygun aralığı seçmek, piyasada bulunan profillerin kullanılmasını sağlayacak ideal makas aralığını yani, aşıklar açıklığını saptamak, bu aralık ve açıklığa göre minimum kesit tesirlerini verecek biçimde aşıklar statik sistemine karar vermek, üzerinde titizlikle durulması gereken en önemli ayrıntılardır.

Aşıklarda kesitin zayıf olduğu üst başlık eksenine (x-x) doğrultusundaki eğilme etkilerini sınırlandırmak için açıklıkların orta veya üçte bir noktalarında gergiler düzenlenir



Stabilite Bağlantıları (Kararlılık Bağlantıları):

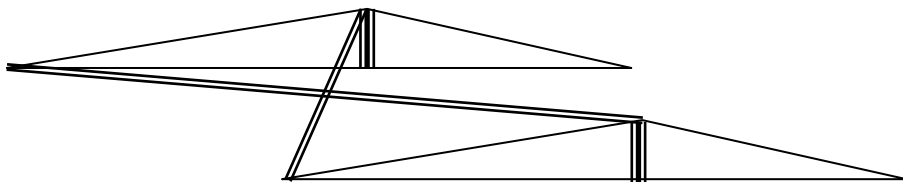
Stabilite çaprazları da denilen bu tasarımlar, Yapı elemanlarının düzlemlerine dik gelen yanıl etkileri almak; Elemanların hesaplarına temel olan başlangıç konumlarını korumalarını sağlamak; Montaj süresince devrilmeyi önlemek ve Elemanların basınç başlıklarının yanıl burkulma boylarını azaltmak amacıyla düzenlenen sistemlerdir.

Rüzgar kirişi de denilen stabilite bağlantıları, bir konstrüksiyonu stabil hale getirmek ve bu sisteme etkiyen yatay yükleri karşılamak için bu konstrüksiyon bünyesinde teşkil edilen kafes sistemlere denilir. Stabilite bağlantıları makasların, mesnet noktalarını birleştiren eksen etrafında dönerek devrilmelerini önler. Diğer taraftan, stabilite bağlantısının düğüm noktalarına rastlayan aşıklar, makasların üst başlıklarını makas düzlemi dışına harekete karşı tutmuş olacağından, bu başlıkların makas düzlemi dışına burkulmalarında, burkulma boylarını azaltmış olur.

Stabilite bağlantıları yatay ve düşey olarak oluşturulurlar.

1- Yatay stabilite bağlantıları:

Üst başlık düzleminde (ÇD, çatı düzlemine paralel) yer alırlar. Çatı sisteminin iki baştaki ikişer açıklığına ve orta açıklıklarda yapılmalıdır.



2- Düşey stabilite bağlantıları:

Çatının ana taşıyıcısı olan kafes kirişteki dikmeler arasına yapılır. Özellikle açıklığı 20m den büyük çatılarda uygulanır.



Stabilite bağlantısının diyagonalleri L45.45.5 ile L60.60.6 korniyer veya 50.5 ile 60.8 lama ile teşkil edilir.

Çelik çatı eğimleri:

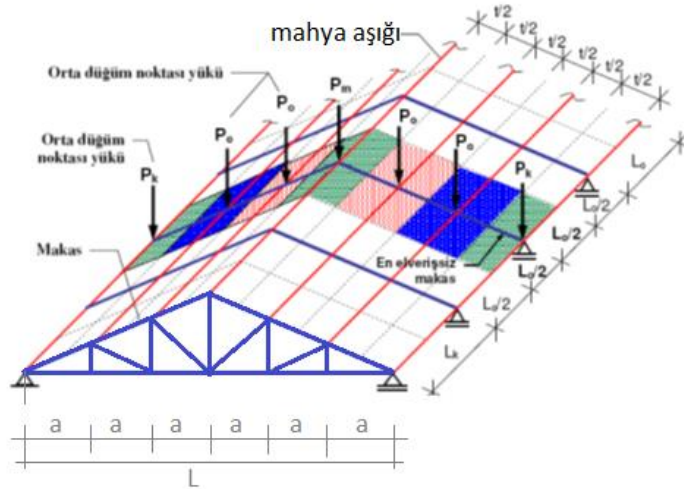
Çelik çatı eğimleri, %10~15 arasında seçilmelidir. Ahşap çatılarda %20~33 civarında alınan eğimlere kıyasla çelik çatı eğimleri daha düşüktür. Çünkü

- 1- Çelik çatılarda kullanılan çatı kaplama malzemesinden dolayı fazla eğime ihtiyaç yoktur.
- 2- Fazla eğim, fazla yük ve fazla malzeme demektir.
- 3- Çelik çatılarda stabilite sorununun olması.

ÇELİK ÇATI YÜKLERİ:

Bir çatı sistemi içerisinde yer alan elemanların kesit ve boyutlandırma hesaplarında göz önünde tutulan yükler, çatı makasının öz ağırlığıyla kar ve rüzgar yüklerinden oluşur. Öz ağırlıklar; çatı örtüsü, aşıklar, aşık ağırlığının %20 si kadar aşık bağlantı elemanları ve makas ağırlığından oluşur.

Çatı düzlemine etkiyen Düzgün yayılı yüklerin, kafes kiriş düğüm noktalarına etkiyen tekil yüke dönüştürülmesi



KAR YÜKÜ: TS 498 / Kasım 1987 ‘ ye göre

$$P_k = m \cdot P_{ko} \quad (YD)$$

$$m = 1 - \frac{\alpha - 30^\circ}{40^\circ} \quad (0 \leq m \leq 1)$$

$A < 30^\circ$ için $P_k = P_{ko}$ alınır.

P_{ko} değerleri, kar yağış yeri yüksekliğine göre düzenlenmiş haritadaki Bölge numarası dikkate alınarak aşağıdaki tablodan alınır.

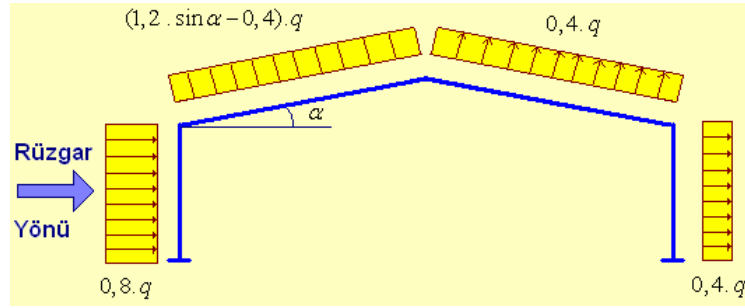
Yapı Yerinin Denizden Yüksekliği (m)	Bölgelere Göre Kar Yükleri * (kg/m2)			
	I	II	III	IV
<= 200	75	75	75	75
300	75	75	75	80
400	75	75	75	80
500	75	75	75	85
600	75	75	80	90
700	75	75	85	95
800	80	85	125	140
900	80	95	130	150
1000	80	105	135	160
> 1000	1000 m'ye tekabül eden değerler 1500 m'ye kadar %10 , 1500 m'den yüksek yerlerde %15 artırılır.			
* Kar yağmayan yerlerde kar yükü alınmaz.				

RÜZGÂR YÜKÜ: TS 498 / Kasım 1987 ' ye göre

Tesir ettiği yüzeye dik olarak alınan Rüzgâr Yüğü;

$$W = C_p \cdot q_r \text{ Şeklinde verilmiştir.}$$

C_p : Rüzgâr basınç katsayısı ve q_r : Yerden Yüksekliğe bağlı rüzgâr yüküdür.



Zeminden Yükseklik h (m)	Rüzgar Hızı v(m/sn)	Rüzgar Basıncı q(kg/m ²)
$0 \leq h \leq 8$	28	50
$8 \leq h \leq 20$	36	80
$20 \leq h \leq 100$	42	110
$100 \leq h$	46	130

BUZ YÜKÜ:

Buzlanma tehlikesine maruz kalacak bölgelerde (deniz seviyesinden **400 m** ve daha yüksekteki yerlerde) , buzlanmaya maruz kalacak yapı elemanlarının bütün yüzeylerinin **3 cm** kalınlığında buz ile kaplı olduğu kabul edilir. Buzun birim hacim ağırlığı **700 kg/m³** alınır. Buzlanma sonucu rüzgâr yükü artan elemanlarda, rüzgâr yükü (q_r), %75 artırılarak dikkate alınmalıdır.

ÇATI YÜK ANALİZ ŞEMASI

(Bu şema sanal yük kullanılarak oluşturulmuştur)

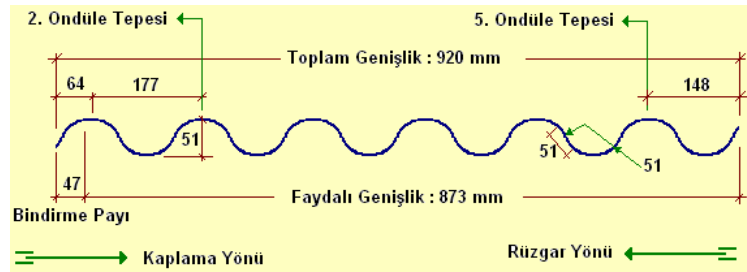
Yapıya ait özellikler dikkate alınarak ve TS 498 kullanılarak, yük analizi için gerekli olan aşağıdaki değerler ilgili tablolardan okunur. Yük analizi şu şekilde oluşturulur.

Çatı örtisi öz ağırlığı.....	40 kg/m ²	(Y.D.)
Aşıklar öz ağırlığı.....	10 kg/m ²	(Y.D.)
Σ g_1 =	50 kg/m ²	(Y.D.)
Makaslar öz ağırlığı.....	15 kg/m ²	(Y.D.)
Σ g_2 =	65 kg/m ²	(Y.D.)
Kar yükü.....	p_k = 75 kg/m ²	(Y.D.)
Rüzgar yükü:		
[E] düzleminde = [1,2xSin(8,53)-0,4]x80	p_{re} = -18 kg/m ²	(Ç.D.)
[F] düzleminde = -0,4x80	p_{rf} = -32 kg/m ²	(Ç.D.)

ÇATI ÖRTÜLERİ:

1) Eternit (Asbestli Çimento) : (20 kg/m²)

Doğrudan âşıklar üzerine oturtulabilen ve âşıklara kancalı bulon (*trifon*) ile tespit edilen bir çatı örtüsüdür. Bindirme ve bağlantı elemanları ile birlikte hesap ağırlığı **20 kg/m²** (Çatı düzleminde Ç.D.) alınabilir. Bağlantı şekilleri için, imalatçı firmaların uygulama kılavuzlarına bakılmalıdır.



Mevcut levha boyları ve maksimum âşik aralıkları (Ç.D.) aşağıdaki tablodan alınabilir. Levha genişliği 920 **mm**, et kalınlığı 6 **mm** dir.

ETERNİT (Asbestli Çimento)

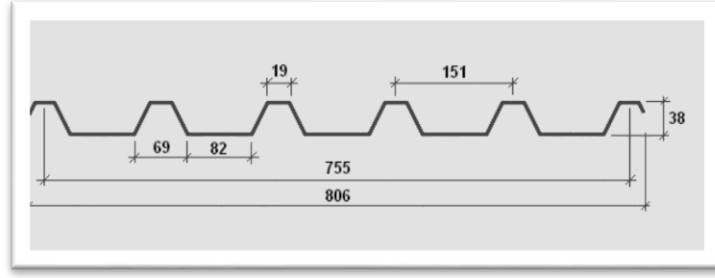
Levha Boyu (mm)	ÇATI EĞİMİ	
	% 10 - % 30 Bindirme : 200 mm	> % 30 Bindirme : 150 mm
1250	1050	1100
1600	1400	1450
2000	2 x 900	2 x 925
2500	2 x 1150	2 x 1175
3100	2 x 1450	2 x 1475
3250	2 x 1525	2 x 1550

2) Oluklu veya Trapez Galvanizli Sac : [8 - 12 kg/m² (Ç.D.)]

Doğrudan âşıklar üzerine oturtulabilir. Çatı eğimi en az **%20** olmalıdır. Âşik aralığına ve yüke göre kullanılacak sac, tablolardan alınabilir. Sac kalınlıkları genellikle **0.3 mm** ila **2.0 mm** arasında değişmektedir. Bunlara ait ölçüler ve dolayısı ile m² ağırlıkları, üretici firmaya göre değişiklik göstermektedir. Ancak hesap ağırlığı için ortalama bir değer almak gerekirse yaklaşık olarak 8 - 12 kg/m² (Ç.D.) alınabilir.

3) Alüminyum Trapez Levha : (5,0 kg/m² (Ç.D.))

Doğrudan âşıklar üzerine oturtulup trifon ile tespit edilirler. Bu örtü ile ilgili değerler de üretici firmaya göre değişmektedir. Hesap ağırlığı için levha kalınlığına bakmaksızın ortalama bir değer olarak, bindirmeler ve bağlantı elemanları dâhil olmak üzere 5,0 kg/m² (Ç.D.) alınabilir.



4) Alüminyum veya Sac Sandviç Paneller:

Daha hafif bir malzeme ile ve ısı kaybını da önleyecek şekilde çatı kaplaması yapmak üzere, alüminyum veya galvanizli sac ile levha arasına baskı altında, sert köpüklü poliüretan enjekte edilerek imal edilen **alüminyum sandviç** veya **sac panel** kullanılabilir. Bu örtüler için minimum çatı eğimi %5 olup, alt levha kalınlığı **0.4 mm**; üst levha kalınlığı ise, yük ve aşık aralığına göre **0.5 - 0.6 mm** veya **0.7 mm** olmaktadır. Maksimum panel boyu, çatılar için **10-15 m**, duvarlar için ise **10-12 m** dir. Bu örtüler ile ilgili değerler de aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Net Genişlik (mm)	Çatı İçin 1000	Duvar İçin 1000
Kalınlık * (mm)	26 - 60	35
	36 - 70	45
	46 - 80	60
	66 - 100	90
Minumum Ağırlık ** (kg/m ²)	4.84	4.14
Maksimum Ağırlık ** (kg/m ²)	14	12.4
* Metal ve izolasyon kalınlıkları toplamı . (İlk rakamlar oluk içindir.)		
** Verilen değerler bilgi için olup , malzeme cinsi ve poliüretan kalınlığına göre değişir. [Alüminyum için çatıda 4.84 - 7.16 (duvarda 4.14-6.1) ; galvanizli sac için ise çatıda 10.7 - 14 kg/m ² (duvarda 8.14 - 12.4 kg/m ²)		

Bu kaplamalar için çatı düzleminde **2 m** yi aşmayan aşık aralıkları uygun olur.

5) Bims beton Çatı Plakları:

Sünger taşı, perlit gibi hafif agrega kullanılmak sureti ile yapılan donatılı prefabrike plaklar olup, doğrudan aşık üzerine oturtulurlar. Bu plaklara yeterli bir mesnet genişliği sağlamak üzere, en az **NPI 140** veya **IPE 140** profil kullanılmalıdır. Bunlarla ilgili değerler aşağıdaki tablodan alınmalıdır.

BİMSBETON ÇATI PLAKLARI

Aşık Aralığı (mm)	Delikli Plaklar		Kazetli (Dişli) Plaklar		Delikli - Kazetli Plaklar	
	Kalınlık (mm)	Ağırlık (kg/m ²)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (kg/m ²)	Kalınlık (mm)	Ağırlık (kg/m ²)
1000	50	60	65	55	75	72
1200	50	60	65	55	75	72
1400	60	70	65	55	75	72
1500	60	70	65	55	75	72
1600	65	76	70	56	75	72
1700	65	76	75	60	80	76
1800	70	79	75	60	80	76
1900	70	79	75	60	80	76
2000	70	79	80	64	80	76
2100	75	85	80	64	85	80
2200	75	85	85	67	85	80
2300	80	86	85	67	90	85
2400	80	86	85	67	90	85
2500	85	87	90	68	90	85

6) Gaz Beton (Ytong) Çatı Plakları:

Literatürde “gaz beton” olarak bilinir. Bünyesindeki milyonlarca gözenek nedeniyle bir çok binada ilave ısı yalıtım malzemesi kullanmaya gerek kalmadan yalıtım sağlayan bir yapı malzemesidir. **TS 453'** e uygun olarak **50 cm** genişliğinde, donatılı gaz beton plakları ülkemizde üretilmektedir. Bu elemanlar ile ilgili değerler de aşağıdaki tablodan alınabilir. Gaz beton çatı plaklarının suya karşı yalıtımı için üzerine iki kat bitümlü mukavva konulması gerekir. Bims

betonun ve Gaz beton çatı plağının suya karşı yalıtımını sağlamak için, üzerine iki kat bitümlü mukavva yerleştirilmeli ve bunun için de örtü ağırlığı 24 kg/m² **(Ç.D.)** arttırılmalıdır. Plakların çelik kiriş üzerine oturma genişliği, açıklığın **1/80** 'i veya en az **50 mm** olmalıdır. Profilin başlık genişliği yeterli olmadığı takdirde, üzerine lama kaynatılarak genişletilmelidir

Aşık aralığı (m)	1.00-1.25	1.50-2.25	2.50-3.25	3.50-4.00	4.25-5.00	5.25-6.00
Plak kalınlığı	75	100	125	150	175	200
Ağırlık (kg/m ²)	63	84	105	126	147	168

7) Cam Yüzeyler (30 kg/m²)

Aydınlatma gayesi ile çatılarda veya yan duvarlarda, telli cam ile kaplanan pencereler oluşturulur. Bunlar için hesaplarda ortalama **30 kg/m²** (cam merteği dâhil) yük alınır.

BAZI STANDARTLAR

AHŞAP PROFİLLER: TS 5497 EN 408

YALITIM : TS 7316

TAŞIYICI TS EN 14081-1 TAVAN, ZEMİN, MERDİVEN : TS EN 1195

YAPIŞTIRICILAR DIN/EN 204 HESAP STANDARTLARI : TS 647, TS EN 380

BAĞLANTI ELEMANLARI : TS EN 912, TS EN 13271, TS 5190 EN 26891

Eurocode 5: Design of Timber Buildings Use of Structural Eurocodes – EN 1995 (Design of Timber Structures)
Companion Document to EN1995-1-1