№ 3968

F. 360 Kuruş

SATIŞ VE DAĞITIM YERİ: İstanbul'da Devlet Kitapları Müdürlüğü
ve illerde Millî Eğitim Bakanlığı Yayınevleri

278

MESLEKÎ VE TEKNİK ÖĞRETİM OKULLARI DERS KİTAPLARI

CİSİMLERİN DAYANIMI

(Erkek Sanat Enstitüleri İkinci Sınıf)

Yazan

M. Şevki BAYVAS

M.E. B.

DEVLET KİTAPLARI MÜDÜRLÜĞÜ

İSTANBUL — MİLLÎ EĞİTİM BASIMEVİ

MESLEKİ VE TEKNİK ÖĞRETİM OKULLARI DERS KİTAPLARI

CİSİMLERİN DAYANIMI

(Erkek Sanat Enstitüleri İkinci Sınıf)

Yazan :

M. Şevki BAYVAS

DEVLET KİTAPLARI MÜDÜRLÜĞÜ

İSTANBUL — MİLLÎ EĞİTİM BASIMEVİ

Meslekî ve Teknik Öğretim Okulları Kitapları:

Genel	No. 121
Serı A	No. 72

Bu ders kitabı, Millî Eğitim Bakanlığı Teknik Öğretim Yayınları Komısyonu tarafından hazırlattırılmıştır.

Millî Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulunun 26/XI/1960 tarih ve 284 sayılı kararıyle Erkek Sanat Enstitülerinin "Teknik Resim Bölümü" II inci sınıflarında ders kitabı olarak okutulması uygun görülmüş, Yayımlar ve Basılı Eğitim Malzemeleri Genel Müdürlüğünün 24/VI/1967 tarih ve 08212 sayılı emirleriyle ikinci defa olarak 6000 sayı basılmıştır

İÇİNDEKİLER

KULLANILAN SEMBOLLER

$P, W, K, ..$ = Kuvvet (kg)
p = Basınç (kg/cm^2)
σ = Normal gerilme (kg/cm^2)
σ_{em} = Emniyetli normal gerilme (kg/cm^2)
σ_{max} = Kopma gerilmesi (kg/cm^2)
σ_z = Çekme gerilmesi (kg/cm^2)
σ_d = Basma gerilmesi (kg/cm^2)
σ_b = Eğilme gerilmesi (kg/cm^2)
σ_{bz} = Eğilmede çekme gerilmesi (kg/cm^2)
σ_{bd} = " basma " "
σ_t = Eğilme-Burulma bileşke normal gerilmesi (kg/cm^2)
σ_k = Kritik burkulma gerilimi (kg/cm^2)
σ_{kem} = Emniyetli burkulma gerilimi (kg/cm^2)
τ = Kesme gerilmesi (kg/cm^2)
τ_{max} = Kesilme kopması gerilmesi (kg/cm^2)
τ_d = Burulma gerilmesi (kg/cm^2)
F = Kesit alanı (cm^2)
E = Elâstiklik modülü (kg/cm^2
G = Kayma modülü (kg/cm^2
α = Uzatma katsayısı
α = Açı (° veya radyan)
D ve d = Çap (cm)
R ve r = Yarı çap
L ve l = Çubuk boyu (cm)
q = Yayılmış yükün metreye düşen miktarı (kg/m)
N = Güç (BG)
n = Devir sayısı (D/d)
n = Eleman sayısı

h = Yükseklik (cm)
b = Genişlik (cm)
f = Eğilme oku (cm)
Θ = Burulma miktarı (° veya radyan)
Δl = Uzama veya kısalma miktarı (cm)
δ = Yüzde uzama veya kısalma
δ = Belverme miktarı (cm)
J = Ekatoryel atalet momenti (cm^4)
W = Ekatoryel dayanım momenti (cm^3)
J_p = Polar atalet momenti (cm^4)
W_p = Polar dayanım momenti (cm^3)
s = Kalınlık (cm)
$\hat{\omega}$ = Açısal hız (R/Sn)
$\mathring{v}$ = Çevresel hız (M/Sn)
ω = Burkulma katsayısı
λ = Narinlik
i = Jrasyon yarı çapı (cm)
M_a = Moment (kg.cm)
M_b = Eğilme momenti (kg.cm)
M_d = Burulma momenti "
M_i = İdeal eğilme momenti (kg.cm)
e = Kesitin en dış noktasının tarafsız eksene olan uzaklığı (cm)
γ = Özgül ağırlık (gr/cm^3, kg/dm^3)

BİBLİYOGRAFYA

1. Grafo- statik ve mukavemet — Hilmi İLERİ
2. Malzeme bilgisi ve muayeneleri — ZIMMERMANN-Mes'ut TOGAR
3. Mechanical engineers handbook — MARKS'
4. Mechanik und festigkeitslehre — Hans JÖNCK
5. Hütte II-A
6. Festigkeitslehre und Elastizitötlehre — Dreyer.

BAŞLARKEN

Erkek Sanat Enstitülerinde okunan genel mekanik dersinin bir tamamlayıcısı olan "cisimlerin dayanımı" mevzuu için hazırlanan bu kitap, basit konstrüksiyon hesaplarına yeter bilgiyi havidir.

Tertibedilirken, öğrencinin diğer teknik derslerle olan bilgileri takviyeye çalışılmış ve problemler matematik seviyelerinin gelişme durumuna paralel tanzim edilmiştir.

Yarının teknik elemanlarına ilk cisimlerin dayanımı bilgilerini verecek olan bu kitap verimli olabilirse, benim için en büyük bir zevk kaynağı olacaktır.

M. Ş. B.

CİSİM DAYANIMI

Tarifi ve gayesi: Cisimleri etkileyen kuvvet sistemleri (Dış kuvvetler) tesiriyle cisimlerde meydana gelen iç kuvvetler ve bu iç kuvvetlerin meydana gelişine paralel olarak ortaya çıkan şekil değişimlerinden bahseder.

Bu derste kolayca şekil değiştirmeyen, katı cisimlerin iç kuvvetleri ile şekil değişimlerini inceleyeceğiz.

Daha evvelki derslerinizde katı cisimlere tesir eden kuvvet sistemleri dolayısıyla meydana gelen hareketleri ve çeşitleri denge durumlarını incelediniz. Cisim dayanımında, cisimlerin bünyelerine girerek moleküllerin ve kristallerin biribirine olan bağlarını, bu bağların kuvvet tesiriyle ne gibi durumlara gireceğini öğreneceksiniz. Cismin bünyesinde meydana gelen ve kristalleri biribirinden, ayırmaya, kaydırmaya, ezmeye çalışan kuvvetlerin, dış kuvvetlerin tesir süresince meydana geleceği bellidir. Moleküllerin kuvvet sistemlerine karşı koyduğu bir çok deneylerle kolayca izah edilebilir. Eğer moleküller, dolayısiyle kristaller arasında herhangi bir bağ olmasaydı; en ufak kuvvetlerle cisimler dağılırdı. Moleküllerin dış kuvvetlere karşı koyması neticesinde, cismin bünyesinde meydana gelen kuvvetlere "İç kuvvetler", birim alana gelen iç kuvvete de "Gerilme" adı verilir.

Cisme tesir eden kuvvetin durumuna göre, cismin toplam boyunda uzama, kısalma veya herhangi bir şekil değişimi meydana gelir. Böylece cisim dayanımı aşağıda yazıldığı gibi iki esas unsurdan meydana gelir:

1. Çubuğun herhangi bir kesitinde meydana gelen iç kuvvetlerin dağılışlarını,

2. Dış kuvvetler tesiri altında cisimde meydana gelen şekil değişimlerini, inceler.

Cisim dayanımının gayesi, gerilmeleri ve şekil değişim miktarlarını bularak, çubukların boyut ve şekillerini bu kuvvetlere güvenle dayanabilecek surette tayin ve hesap etmektir.

Cisim dayanımı dersi; gayesine varabilmek için belli başlı iki araç kullanmaktadır:

a) Deney
b) Matematik

Bu iki araçdan deney dersimizin esasını teşkil eder ve basit şartlarla yapılır. Matematik ise bu deneylerden elde edilen ana bilgileri derinleştirmek ve hesaplanması için gerekli işlemleri yapmakta kullanılan yardımcı bir amaçtır.

MAKİNA PARÇALARINA TESİR EDEN KUVVETLER VE YÜKLER.

Makina parçalarına gelen kuvvet ve yükleri şöylece sıralayabiliriz:

1. Statik kuvvet veya yükler .
2. Değerleri periyodik olarak değişen kuvvetler.
3. Değerleri ve yönleri periyodik olarak değişen kuvvetler.
4. Sıcaklık değişmeleri neticesinde meydana gelen kuvvetler.
5. Olağanüstü kuvvet ve zorlamalar.

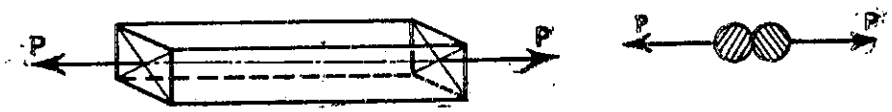
Bu kuvvet ve yükleme şekillerine ilerde yine temas ederek daha esaslı incelenecek ve bu tesirlere göre, meydana gelecek iç gerilmenin belirli bir değerden daha fazla olması cisim için bir tehlike, bizim içinde çok ehemmiyetli olacaktır.

YÜK ALTINDA BİR PARÇANIN DURUMU

Türlü kuvvetlerle yüklenen cisimler beş dayanım esasına göre hesap edilirler:

1. Çekme Dayanımı:

Cisme tesir eden kuvvet sistemi, molekülleri biribirinden uzaklaştırmaya çalışılır. Şekil 1.

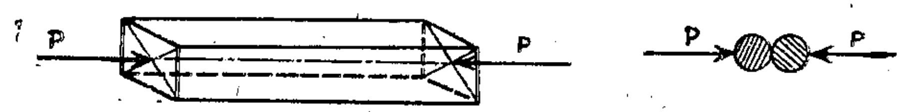


Şekil: 1

Kuvvetler çubuğun boy eksenine paralel tesir eder ve bu suretle çubuk eksenine paralel gerilimler meydana getirirler. Çubuk boyu uzar.

2. Basma Dayanımı:

Kuvvetler çubuk ekseni boyunca, biribirine yaklaşacak şekilde, çubuğu etkilerler ve molekülleri biribiri üzerinde ezmeye çalışırlar. Şekil: 2.



Şekil: 2

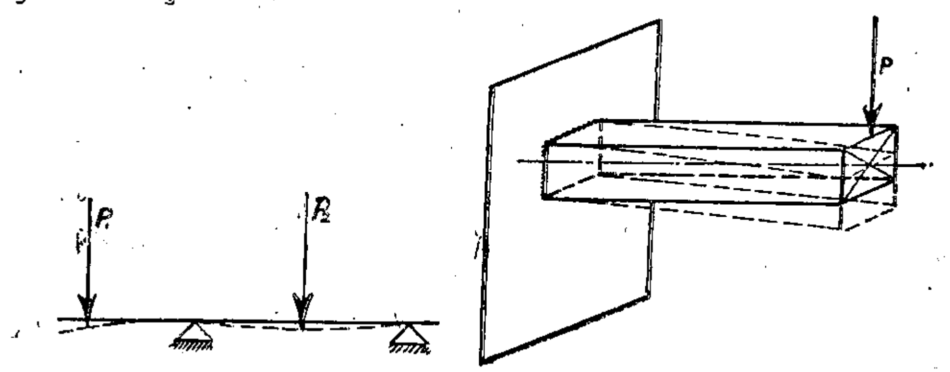
Basmada şekil değişimi boy kısalması şeklinde görülür ve iki kısımda incelenir:

a. Kısa çubukların basılmaya çalışması.

b. Uzun çubukların basılmaya çalışması. (Burkulma = Flambaj)

3. Eğilme Dayanımı:

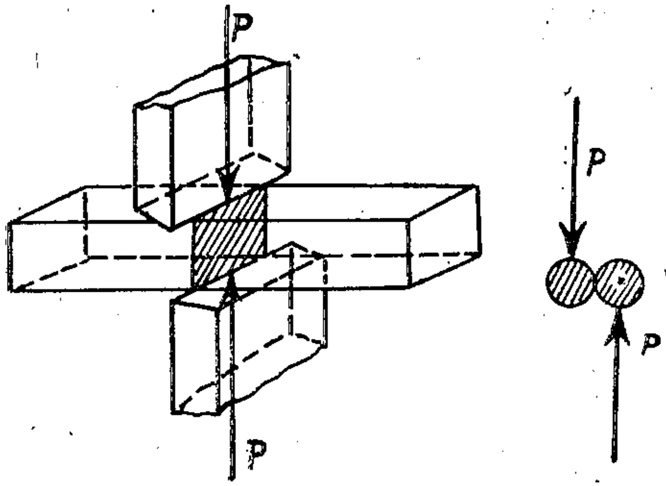
Çubuğa tesir eden kuvvetler, boy eksenine dik olarak etki yaparlar. Bu şekilde kuvvetlerle yüklenen çubuklara eğilmeye çalışılıyor denir. Şekil: 3.



Şekil: 3

4. Kesilme Dayanımı:

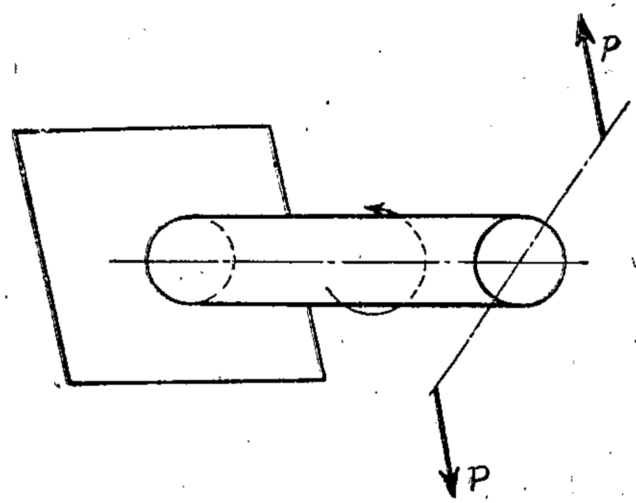
Çubuğa tesir eden kuvvetler, aynı düzlem üzerinde aksi yönlü ve çubuk boy eksenine dik iseler, çubuk kesilmeye çalışıyor denir. Şekil: 4.



Şekil: 4

Kesilmede moleküller biribiri üzerinden kayarak uzaklaşmaya çalışır.

5. Burulma Dayanımı: (Torsion)



Şekil: 5

Bir çubuğun ucuna, kesit düzlemine paralel bir düzlemde olan kuvvet çifti etki ettirilirse, boy ekseni etrafında dönmeye çalışır. Eğer çubuğun bir ucu sabitse, buruluyor denir. Şekil: 5.

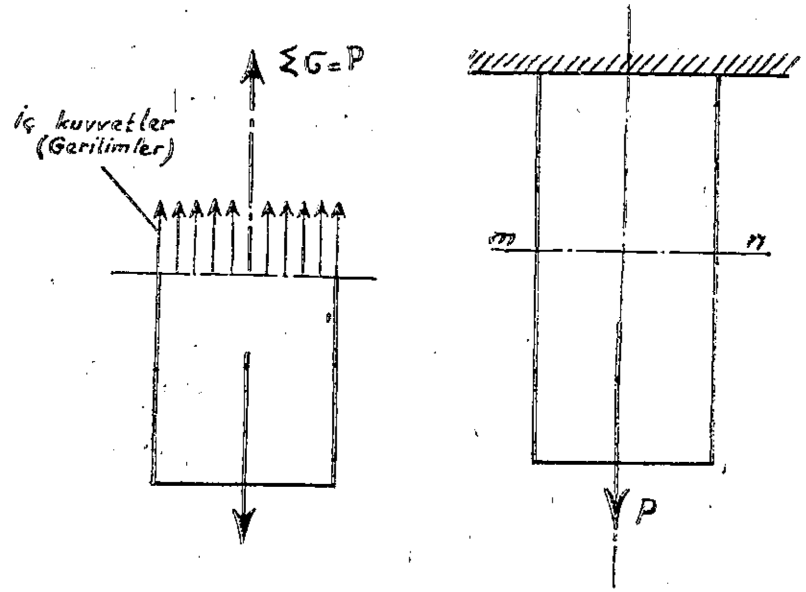
Teknikte yapılması kararlaştırılan herhangi bir makina parçası yukarda ki dayanım şekillerinin çok defa tek tek değil, bir kaçıyla birden etkilenir. Dolayısiyle çubukta yalnız, meselâ: Eğilmeye göre değil, bunun yanı sıra ve kuvvetin etki ediş şekline uygun olarak çekme, basma, burulma veya yine eğilmeye hesap etmek gerekecektir. Bu konuya "Birleşik gerilmeler" bölümünde tekrar döneceğiz.

İÇ KUVVETLER

Cisme tesir eden kuvvet sistemlerinin, kristâller arasındaki bağlara tesir ettiğini daha evvelce görmüş ve bunlara iç kuvvetler demiştik.

İç kuvvetlerin birim alana düşen miktarına "İç gerilme" veya yalnız "Gerilim" adı verilir. Birimi kg/m², kg/cm² veya kg/mm² dir. Biz ekseriya Kg/cm² birimini kullanacağız.

Dikkat edilirse, yük altındaki parçaların durumları incelenirken, çubuk boy eksenine göre kuvvetlerin tesir şekli iki kısma ayrılır:



Şekil: 6

a) Çubuk boy eksenine paralel veya eksen doğrultusunda tesir eden kuvvetler.

b) Çubuk boy eksenine dik tesir eden kuvvetler.

a) Çubuk eksenine paralel tesir eden kuvvetler, çubuk kesitine dik durumdadırlar. Çubuk herhangi bir noktasından kesilecek olursa, kopan kısmı dengede tutabilmek için iç kuvvetlerin miktarı kadar bir kuvvetle kesit yüzeyine etki yapmak lâzım gelecektir. Şekil: 6.

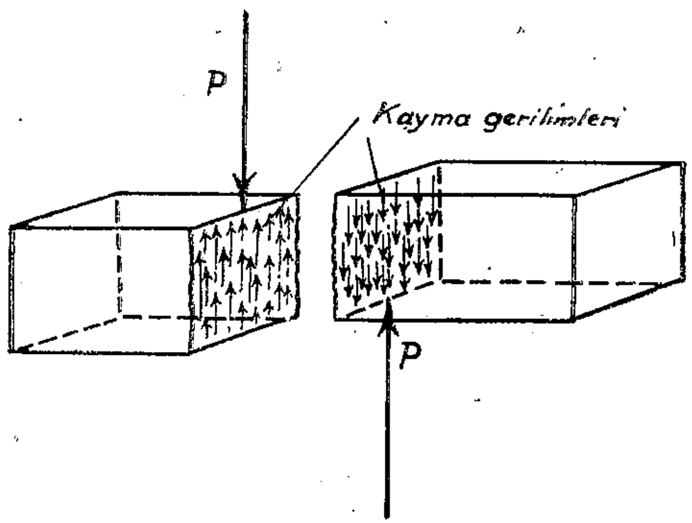
Şu halde iç kuvvetler burada kesit yüzeyine dik durumdadırlar. Böyle gerilmelere "Normal gerilme" adı verilir. Normal gerilmeler, çekmede, basmada ve eğilmede meydana gelirler.

Normal gerilmeler σ (sigma) harfi ile gösterilir. Şu halde σ, birim yüzeye düşen normal gerilme miktarını gösterecek ve birimi Kg/cm^2 olacaktır.

b) Çubuk eksenine dik tesir eden kuvevtleri ilk gurupta toplarız:

I. Aynı kesit düzlemine tesir etmeyen kuvvetler, (Eğilmede olduğu gibi) burada meydana gelen gerilme normal gerilmedir.

II. Aynı kesit düzlemine tesir eden kuvvetler. Bu kuvvetler, aynı kesitte bulunan molekülleri biribiri üzerinden kaydırmaya çalışacak, bu suretle moleküller arasında, kesit düzlemine paralel ve düzlemle çakışan gerilimler meydana gelecektir. Bu gerilmelere "kesme gerilmesi" veya "Kayma gerilimi adı verilir. Şekil: 7.



Şekil: 7

Kayma gerilmeleri τ (Tau) harfi ile gösterilir. Birimi normal gerilme gibi Kg/cm^2 dir.

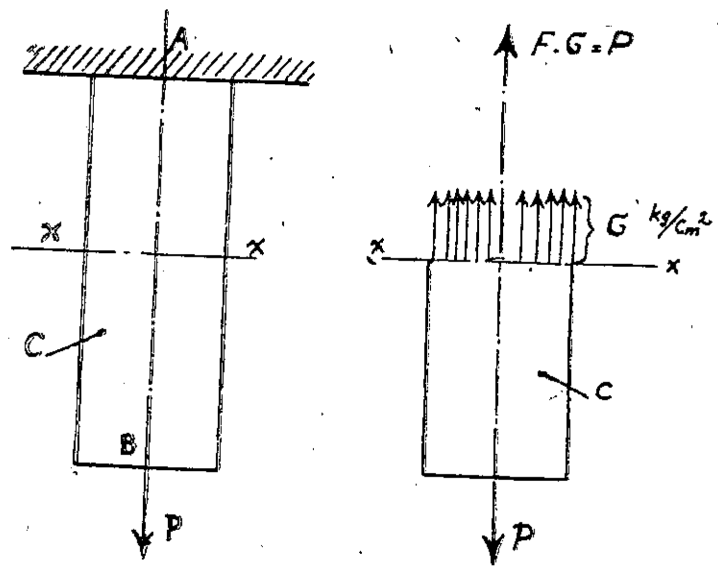
Kesilme gerilimi, kesmede ve burulmada meydana gelir.

BİR PARÇANIN YÜK ALTINDA BİÇİM DEĞİŞTİRMESİ

Şekil: 8. deki çubuk A ucundan sıkıca bağlanmış olsun. Bu ucuna herhangi bir P kuvveti etki ettirelim Bu kuvvet tesiri altında çubuk bir miktar uzayacak, eğer kopmazsa iç kuvvetlerle P kuvveti dengede kalacaktır. Çubuğu X-X kesitinden ayırdığımızı kabul edelim. C parçası kopacaktır. Bu parçayı yine dengede tutabilmek için şekil 6 ve 8 de görüldüğü gibi iç kuvvetlerin yerine geçebilecek kuvvetler tatbik etmemiz lâzımdır. Buradaki iç kuvvetlerin birim alana düşeni hiç şüphesizki:

$$\sigma = \frac{P}{F} \dots (1)$$

olacaktır. Burada P = Dış kuvvet Kg.
F = Kesit alanı cm^2
σ = İç gerilim Kg/cm^2 dir.



Şekil: 8

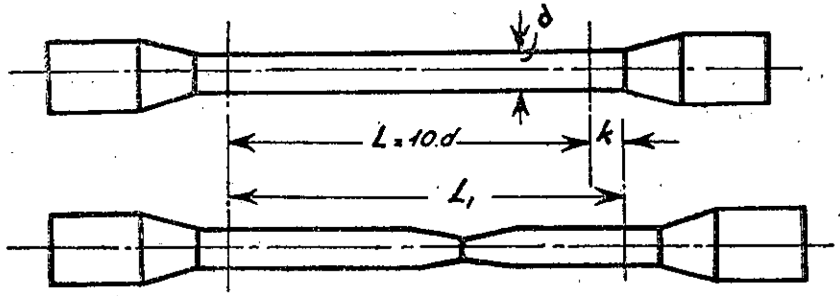
Birim alana gelen gerilme miktarını gittikçe büyütecek şekilde, tatbik ettiğimiz kuvveti artıracak olursak, nihayet çubukta kopma, ezilme, kırılma v.s. meydana gelir. İşte makina parçalarının yüklendikleri kuvvetleri emniyetle taşıyabilmeleri için; Çubuğun koptuğu andaki birim alana gelen gerilmeyi verecek bir kuvvetle yüklenmemesi lâzımdır.

En büyük (Maximum) yükleme - gerilme sınırının bulunmasını bir deney sonucuna bağlıyalım. Yapacağımız deney özel şekilde hazırlanmış ve ölçülendirilmiş bir çubuğun boy ekseni doğrultusunda kuvvet tatbik ederek kopartmak ve bu arada çubuğun üzerinde olan değişiklikleri incelemekten ibaret olacaktır.

UZAMA - GERİLME DİYAGRAMI

Deney, yumuşak akma çelikten ve Şekil: 9. da görüldüğü gibi ölçülendirilmiş çubukla yapılır.

$$L = 10\,d$$

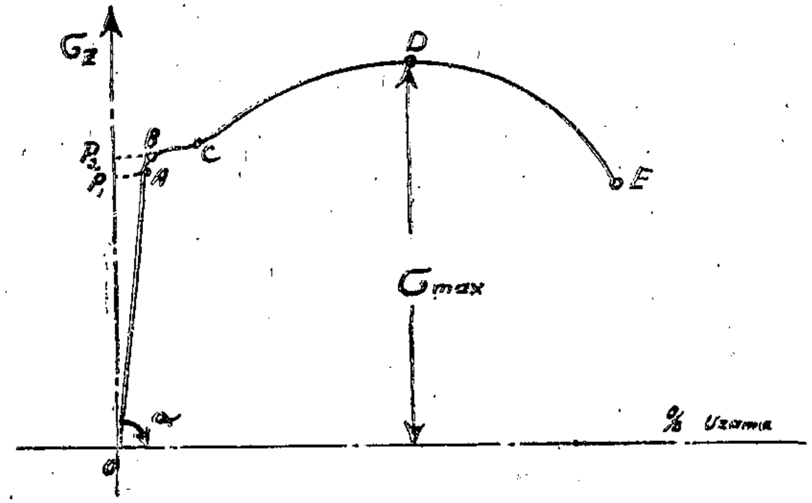


Şekil: 9

Çubuğa en küçük değerden başlamak üzere, boy ekseni doğrultusunda, yavaş, yavaş kuvvetler bindirilir. En ufak kuvvet artışında çubuktaki gerilim büyür ve dolayısiyle eski boyuna nazaran çok azda olsa bir miktar uzar. Kuvvet artışları belirli bir noktaya kadar çubuk boyundaki uzamalarla orantılı olarak değişirler. Bu arada kuvvetlerin tesiri kaldırıldığı takdirde çubuk tekrar eski boyuna döner. Bu deneye ait diyagram Şekil: 10. da görülmektedir.

Çubuğun eski boyuna dönüşü en son A noktasına ve kuvvet P_1 değerini alıncaya kadar olur. Bu noktadaki gerilime "esneklik sınırı" (Orantı veya elâstikiyet sınırlarıda) denir.

P_1 kuvvetinden daha fazla bir kuvvetle zorlandığı zaman, artık çubuğun boyu eski haline dönemez. A ile B arası çok kısa ve kavisli-



Şekil: 10

dir. Bir çok müeseseler bu iki nokta arasını sıfır yani üst üste olduklarını kabul etmişlerdir.

B noktasından sonra kuvvet çok artırılmadığı halde ani ve fazlaca boy uzaması olur. Bu anda çubuktaki gerilime "Akma sınırı" adı verilir.

C noktasından itibaren çubuğu kopartabilmek için tekrar kuvvet yüklemek icap eder. Kuvvet yükleme D noktasına kadar devam ettirilir. Bundan sonra artık kuvveti artırmağa lüzum kalmaz; hatta azaltılsa dahi çubuk E noktasına kadar şekil değiştirir ve kopar. D noktasındaki gerilime "Kopma gerilimi" veya "Çekme dayanımı" adı verilir.

Çubuk koptuktan sonra tekrar uç uca getirilip boyu ölçülecek olursa Şekil: 9. da görüldüğü gibi k kadar bir uzama olduğu görülür. Bu uzamanın ilk boya oranına "Kopma uzaması" adı verilir ve δ (Delta) ile gösterilir.

$$\delta = \frac{L_1 - L}{L} \quad \text{.............} \quad (2)$$

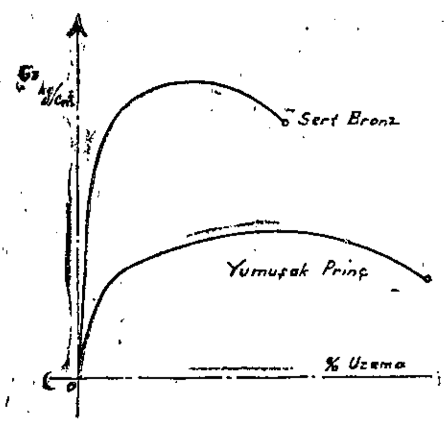
A noktasındaki gerilimi veren kuvvetten çok az fazlası artık kalıcı şekil değişimi meydana getireceğinden, bu noktanın yerini tayin etmek çok zordur. Zaten şekil değişim miktarlarını en ince ölçme âletleri ile yaparız. O noktasının yerini, 1906 da Brüksel'de toplanan Milletlerarası Gereç İnceleme Birliği şöyle bir prensibe bağlanmıştır:

Elâstiklik sınırı L boyunun % 0,001 kısmı kadar, kalan uzamayı doğuran gerilim üzerindedir.

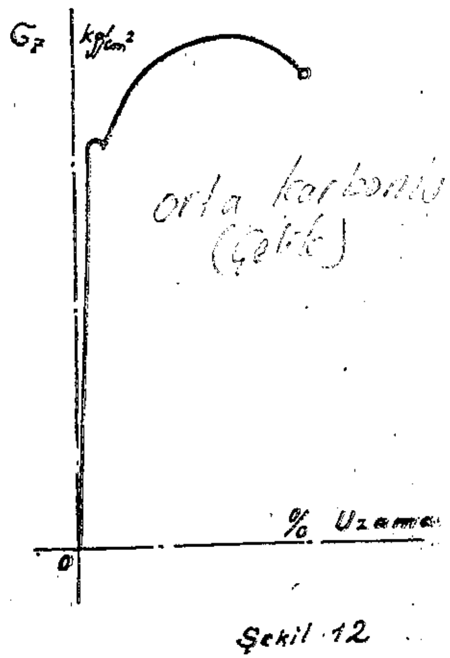
Akma sınırı ise, aynı birlikce çubuk uzunluğunun % 0,5 i kadar kalan uzamayı doğuran gerilim olarak kabul edilmiştir.

Alman normlarına göre akma sınırı, % 0,2. L, kalan uzamayı meydana getiren gerilimdir.

Çeşitli gereçlerin uzama - gerilme diyagramları başka başka şekiller verirler. Şekil: 11 de yumuşak prinç ve sert bronza ait, Şekil: 12 de orta karbonlu ısı işlemi görmüş çeliğe ait diyagramları görüyorsunuz.



Şekil: 11



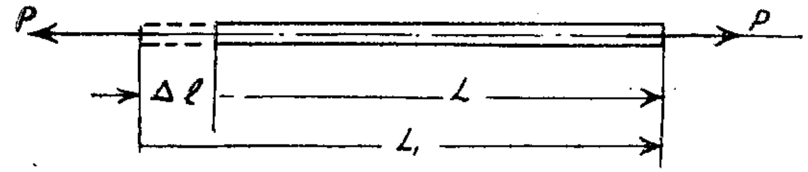
Şekil: 12

Biraz evvel açıklamasını yaptığımız deneyde A noktasına kadar gerilmeler neticesinde kalıcı şekil değişimi olmadığını söylemiştik. Aşağıda bu araya ait basit bir prensibi inceliyelim:

HOOKE (Huk) KANUNU

Elâstiklik sınırı içerisinde, belli kesitli bir çubukta, kuvvetin doğurduğu gerilimlerle meydana gelen şekil değişimleri (Uzama, kısalma veya kayma) orantılıdır.

Şekil: 13. deki çubuk kuvvetinin tesiriyle Δl kadar uzasın. Bu takdirde yüzde uzama:



Şekil: 13

$$\delta = \frac{L_1 - L}{L} = \frac{\Delta l}{L} \quad \text{-------------- (3)}$$

olur. Aynı zaman da:

$$\delta = \alpha \cdot \sigma \quad \ldots\ldots\ldots\ (4) \text{ dır.}$$

Burada α uzama katsayısı olup gerilmenin 1 Kg/cm² olduğu zaman çubuktaki uzama miktarıdır. Tabiatiyle σ gerilmesinin meydana geldiği an şekil değişimide (4) numaralı ifadeye eşit olacaktır. α çok küçük olduğundan yerine $\frac{1}{\alpha}$ değerinde olan elâstiklik modülü (E) kullanılır. Bu halde:

$$\delta = \frac{\sigma}{E} \text{ olur.} \quad \text{-------------- (5)}$$

3 numaralı formülde 5 numaralı neticeyi yerine koyar, σ yı da 1 numaralı formülden alıp yerine yazacak olursak meydana gelen şekil değişimi ve Hooke kanunu aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$\Delta l = \frac{P \cdot L}{E \cdot F} \text{ Cm} \quad \text{-------------- (6)}$$

Δl = Şekil değişim miktarı (cm)
P = Çubuğu etkileye kuvvet (Kg)
L = Çubuk boyu (cm)
E = Elâstiklik modülü (Kg/cm²)
F = Çubuk kesiti (cm²)

Örnek promlemleri:

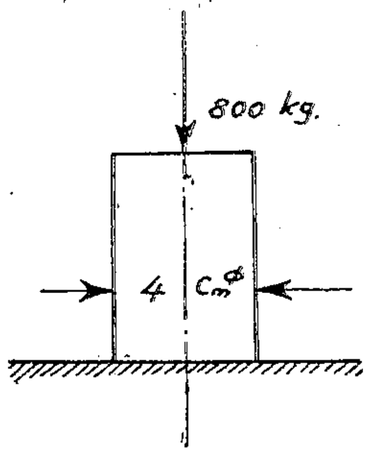
1. Şekil: 14 de görülen çubuğun üzerine yüklenen 800 Kg. lık kuvvet ne kadar bir gerilme meydana getirir?

Çözüm: 1 numaralı denklemden $\sigma = \frac{P}{F}$

Çubuk kesiti dayire olduğundan: $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ dir.

$$\sigma = \frac{P}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4 \cdot P}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 800}{3{,}14 \cdot 16} = 63{,}7 \text{ kg/cm}^2$$

Sonuç: İç gerilme 63,7 Kg/cm^2 dir



Şekil: 14

2.2 m. uzunluğunda ve 1 cm çapında bir buçuk ekseni boyunca 1500 kg. lık kuvvetle çekiliyor. Elâstiklik modülü $E = 2.10^6$ kg/cm^2 olduğuna göre çubuktaki uzama miktarı nedir?

Çözüm:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 1^2}{4} = 0{,}785 \text{ cm}^2$$

uzama miktarı $\Delta l = \frac{P \cdot L}{E \cdot F} = \frac{1500 \cdot 200}{2 \cdot 10^6 \cdot 0{,}785} = 0{,}19$ cm

Sonuç: Çubuk 0,19 cm uzar.

3. Homojen ve 1 m uzunlukta olan bir çubuk üzerine gelen 1000 kg. lık yükün tesiriyle her 100 mm boyda, 0,009 mm .lik boy uzaması gösteriyor. Çubuk kesiti kaç cm^2 dir? $E = 2{,}2.10^6$ kg/cm^2 dir.

Çözüm: Metrede 10 tane 100 mm olduğu için bütün boy uzaması:

$$\Delta l = 10 \cdot 0{,}009 = \frac{P \cdot L}{E \cdot F}$$

olduğundan:

$$F = \frac{P \cdot L}{E \cdot \Delta l} = \frac{1000 \cdot 100}{2200000 \cdot 0{,}09} = \frac{100}{198} = 0{,}505 \text{ cm}^2$$

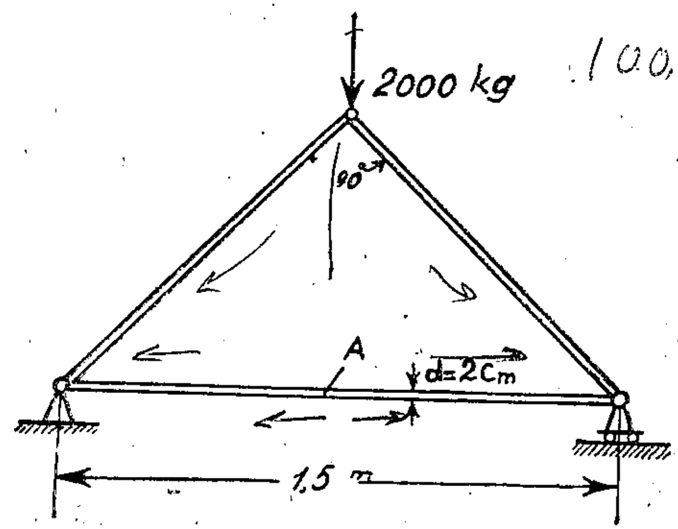
Sonuç: Çubuk kesiti 0,505 cm^2. dir

ÇÖZÜLECEK PROBLEMLER:

1. Şekil: 15. de görülen üç buçuk biribirine bağlanıp mesnetlenmiş ve 2000 kg. lık P kuvvetiyle yüklenmiştir. Elâstiklik modülü $E = 2000000$ kg/cm^2 olduğuna göre A çubuğu üzerindeki boy uzaması ne olur?

Cevap: $\Delta l = 0{,}0217$ cm. 368100000011

100,00024,0042



Şekil: 15

F =

2. Bir balkonu taşıyan sütunun, üzerine gelen yükü güvenle taşıyabilmesi için gerilmesinin 30 kg/cm². yi aşmaması lâzımdır. Eksen doğrultusunda gelebilecek en büyük kuvvet 3000 kg. olursa, kâre kesitli sütunun, kesitinin bir kenarı ne olur? Cevap: $a = 10$ cm.

3. St 48.12 den yapılan çubukların gerilimi 4800 kg/cm² olunca koptukları bilindiğine göre, 600 kg lık yükle kopan daire kesitli çubuğun çapı nedir?

Cevap: $a = 4$ mm.

4. Bir şahmerdan çekicinin örse vurması neticesinde, örsün her cm² sinde 300 kg/ cm² lik gerilim meydana gelmektedir. Örs kesiti 60×150 mm. ise darbe kuvveti kaç kg. dır?

Cevap: P = 27000 kg.

5. Et kalınlığı 1 mm olan, 12 mm çapındaki bir boru avize asmada kullanılıyor. Avize ağırlığı ne kadar olmalıdırki boru kesitindeki gerilim 80 kg/ cm² yi aşmasın?

Cevap: G = 27,632 kg.

6. Bir hidrolik pres 50 cm boy ve 12×20 cm kesitindeki çelik bloğu 60 Tonluk bir kuvvetle dikine sıkıştırıyor.

a) Çubukta meydana gelen gerilmeyi,

b) Elâstiklik modülü 2.200.000 kg/cm² olduğuna göre boy kısalmasını bulunuz.

Cevap: a) $\sigma_d = 250$ kg/cm²
b) $\Delta l = 0{,}0057$ cm.

7. Ağırlığı 12600 kg olan bir buhar kazanındaki su hacmi 9300 litredir. Bu kazan 3 dökme demir ayağa oturmaktadır. Ayak kesiti 36,5 cm² ise meydana gelen gerilme ne kadardır?

Cevap: $\sigma_d = 200$ kg/cm²

8. Çapı cm olan hidrolik bir pres 50 kg/cm² basınçla çalışmaktadır 4 tane yuvarlak kesitli çubuk pres kafasını taşımaktadır. Çubukların emniyet gerilmesi 800 kg/cm² olduğuna göre çapları nedir?

Cevap: d = 3,76 cm.

GEREÇLERİN DİRENÇ ÖZELLİKLERİ

Kuvvetlerin tesirine maruz olan çeşitli cisimleri, bu kuvvetlere karşı göstermiş oldukları direnç ve uğradıkları şekil değişikliklerine göre bir kaç guruba ayırırız:

a. Elâstik gereçler: Herhangi bir gereçte etki eden dış kuvvetlerin meydana getirdikleri gerilme ve şekil değişiklikleri, kuvvetlerin etkisi ortadan kalktıktan sonra, tamamiyle kaybolursa böyle cisimlere "elâstik gereçler" denir.

Böyle gereçlerde kuvvetlerin etkisi ortadan kalkınca çubuk eski boyuna döner. Bu hale" (Elâstiklik) denir. İş makinalarının yapımında kullanılan bütün gereçler belirli bir sınırına kadar elâstik cisimlerdir. Gerecin elâstikliğini muhafaza edebildiği en büyük gerilime" esneklik veya elâstiklik sınırı" adı verilir.

Daha evvelce söylediğimiz gibi bu sınırı geçen gerilme neticesinde meydana gelen şekil değişimi, cismin üzerinden kuvvetler kalkınca tekrar eski halini alamaz.

b. Plâstik gereçler: Bir cisme tesir eden dış kuvvetlerin etkisi ortadan kalktığı zaman, meydana gelen şekil değişimi olduğu gibi kalıyorsa böyle cisimlere plâstik cisim (veya gereç) adı verilir. Bu hale plâstiklik denir.

c. Selâbetli gereçler: Üzerine etki eden kuvvetler yardımıyla çok küçük kesitler verebilecek surette şekil değişimi gösteren, elâstik ve plâstik cisim özelliğini birlikte veren cisim (veya gereç) selâbetlidir denir.

Çekme suretiyle yapılan her türlü tel, boru, v.s. gibi elemanlar, madenlerin bir kısmının selâbetli oluşlarının neticesidir.

d. Gevrek gereçler: Üzerine etki eden kuvvetler sistemi dolayısiyle elâstik ve plâstik durumu göstermiyen ve şekil değişimine elverişli olmıyan cisimlere (Gereçlere) gevrek, (Veya Frajil) denir.

Yukarda dört ayrı kısımda incelenen gereçlerin özelliklerinden ayrı özellik gösteren cisimler mevcuttur. Yalnız teknikte kullanılan cisimlerin pek mühim bir kısmı, bu özellikleri gösterirler.

Cisim dayanımı dersinde daha ziyade elâstik ve selâbetli gereçlerin dayanım hesaplarını yapacağız.

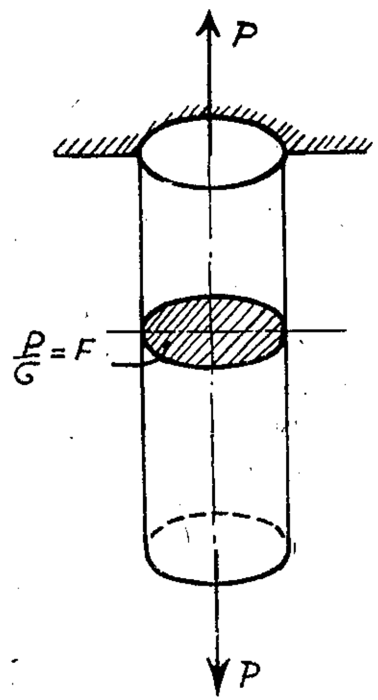
EMNİYET GERİLİMİ

Bundan evvel bir konuda, herhangi bir makina yapılırken parçalarının hesaplanmasında, güvenli çalışabilmesi için gerilimlerin küçük alınması icap ettiğine temas edilmişti.

Herhangi bir makina parçasının yapıldığı gereçte, dış kuvvetler dolayısiyle meydana gelen gerilimlerin, bu kuvvetlere güvenle karşı koyabilmesi için belli sınırlar arasında olması icabeder. İşte gereçlerin dış kuvvetleri emniyetle taşıyabileceği ve kendisinden beklenen işi aksaksız ve devamlı olarak yapabileceği gerilime "Emniyet gerilimi" denir.

Bir parçayı boyutlandırırken, tesir edecek kuvvetleri, tesir şekillerini bilmek ona göre ölçülerini hesaplamak gerekir.

Şekil: 16. da görülen parçanın, P kuvvetine dayanabilmesi için σ hiç bir zaman kopma gerilmesine eşit olmamalıdır. Aynı zamanda σ esneklik sınırının üzerinde olursa çubukta kalıcı bir şekil değişmesi olur. Onun için parça daha az bir gerilime göre boyutlandırılmalıdır.



Şekil: 16

Emniyet gerilimi, gerecin dayanımına esas teşkil eden kopma veya esneklik sınırına ait gerilmenin "emniyet katsayısı" denilen bir sayıya bölünmesi ile elde edilir. Gerilimi ifade eden harfin altına (em) yazmakla emniyet gerilimi olduğu belirtilmelidir. Meselâ:

σ_{em}, τ_{em} gibi.

Şu halde emniyet gerilimi:

$$\tau_{em} = \frac{\tau_{max}}{\text{Em. katsayısı}} \quad \text{..............} \quad (7)$$

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{max}}{\text{Em. katsayısı}} \quad \text{..............} \quad (8) \text{ olur.}$$

Emniyet katsayısının hesaplanması

Emniyet katsayısının hesaplanmasında, aşağıdaki hususlara göre tâyin edilen miktarlar esas teşkil ederler. Buradan bulunan değerler çarpılarak emniyet katsayısı (E.K.S.) bulunur.

a. Malzeme hataları:

Gereçlerin sıcak veya soğuk işlenmeleri sırasında ortaya çıkan ve çok defa fark edemiyeceğimiz kusurlardır.

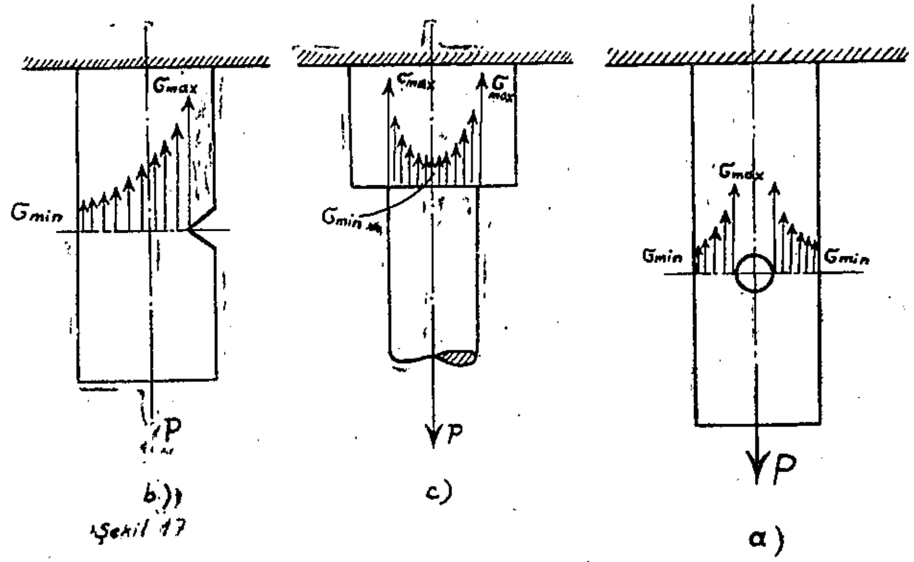
Meselâ: Gerecin dökülerek şekillendirilmesi hâlinde karınca ve kofluk, döverek işlenmesi sırasında katmer veya çatlak meydana gelebilir. Bu kusurların meydana geldiği kısımlarda direnç özellikleri ve değerleri normal kısımlarına göre çok küçük olabilir. Onun için, böyle hatalar olabileceği göz önüne getirilerek gerilim ufak alınır.

b. Gerilim yığınımları:

Makina parçalarının üzerinde bulunan delik, çentik, kesit yüzeyinin birdenbire değiştiği keskin köşeli kısımlarda meydana gelen ve kaçınılamıyan gerilim büyümeleridir.

Bu gibi yerlerde iç köşenin (veya kertiğin) keskin oluşu nisbetinde, normal değerinden çok büyük gerilmeler meydana gelir. Herhangi bir parçanın boyutlandırılmasında böyle çentik, delik v.s. den kaçınılmalı ve kesit yüzeylerinin değiştiği yerlerde iç köşeler bir kavisle şekillendirilmelidir.

Şekl: 17. de çentik, delik ve kesit yüzeyinin ani değişmesi halinde meydana gelen gerilim durumları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil: 17

Yumuşak ve elâstik gereçlerde, gerilim yığınımlarının meydana geldiği kısım uzayarak ortalama bir gerilim meydana getirirler.

Uzaması az ve gevrek gereçlerde bu kısımlardan çatlar ve kopar.

Teknikte kullanılan çeşitli gereçlerin gerilim yığınımına göstermiş oldukları dirençler farklıdır. Şok şeklindeki ani kuvvetler ile zorlanan makina parçalarının, kırılmadan büyük bir enerjiye karşı koyabilmeleri, şekil ve biçim değiştirmeye elverişli, uzaması büyük olan gereçlerden yapmakla sağlanır. Eğer bu temin edilemezse, kesitin büyük yapılması yani gerilimin küçük alınması icap eder. Buda emniyet katsayısının büyümesi demektir.

c. Sıcaklığın tesiri:

250° C ve 300° C. dın üstündeki sıcaklıklarda gereçlerin dirençleri önemli miktarda değişir ve elâstikiyetleri azalır. Bu sebepten çalışma şartları dolayısiyle çok ısınan parçaların hesaplanmasında bu özellik göz önüne tutulup gerilme ona göre seçilir.

Birde sıcaklık artmasının aksine, sıcaklık dereceleri sıfırın epeyce altına düşürüldüğü zaman gereçler gevrekleşirler. Bilhassa ani kuvvetlere karşı çok zayıflar.

Meselâ: Karbon çelikleri —50° C. da, normal sıcaklığa göre darbeye karşı direnci % 90 azalır.

0° C. da gereçlerde gerilme meydana (Sıcaklık dolayısiyle) gelmediği kabul edilirse; Elâstikiyet modülü E, uzama katsayısı α (alfa) olan bir çubuk t sıcaklık derecesinde çalışırsa, yalnız sıcaklık sebebiyle meydana gelen gerilim:

$\sigma = \alpha \,.\, t \,.\, E$ kg/cm² . . . . (8) olur.

Çeşitli gereçlerin uzama katsayısı ve elâstikiyet modülü değerleri aşağıdaki cetvellerden alınabilir. (Cetvel 1 ve 2).

d. Kuvvetlerin tesir şekli:

Makina parçalarına genel olarak kuvvetler 3 şekilde etki ederler:
I. Statik kuvvet veya yükler.
II. Değerleri periyodik olarak değişe kuvvetler.
III. Değerleri ve yönleri periyodik olarak değişen kuvvetler
I. Statik kuvvetler zamanla değişikliğe uğramıyan yüklerdir.
Meselâ: Bina temellerine gelen yükler gibi.

Uzama katsayıları çizelgesi

(Çizelge 1)

Gerecin cinsi	Uzama katsayısı 1° C. da göre
Alüminyum	α 24 . 10−6
Bakır	α 17 . 10−6
Bronz	α 18 . 10−6
Çelik (Karbonlu)	α 11 . 10−6
Dövme demir	α 12 . 10−6
İnvar çeliği (%36 nikel)	α 2,5 . 10−6
Çinko	α 26 . 10−6
Gümüş	α 19 . 10−6
Kurşun	α 29 . 10−6
Pirinç	α 18 . 10−6
Plâtin	α 9 . 10−6

Elâstiklik modülü çizelgesi

(Çizelge 2)

Gerecin cinsi	E kg/cm²
Çelik	$2 \, . \, 10^6$ — $2{,}2 \, . \, 10^6$
Bakır ve bronz	$1{,}1 \, . \, 10^6$ 11000000
Dökme demir	$0{,}8 \, . \, 10^6$ — $1{,}4 \, . \, 10^6$
Düralümin	$0{,}65 \, . \, 10^6$ — $0{,}75 \, . \, 10^6$
Kurşun	$0{,}15 \, . \, 10^6$
Ağaç	$0{,}09 \, . \, 10^6$ — $0{,}18 \, . \, 10^2$
Kösele	$25 \, . \, 10^6$ — $35 \, . \, 10^2$

II. Değerleri periyodik olarak değişen kuvvetler, iki sınır arasında yön değiştirmeden azalıp çoğalan kuvvetlerdir.

III. Değerleri ve yönleri periyodik olarak değişen kuvvetler, iki sınır arasında kuvvetin ve şekil değişiminin yönü değişen hallerdir. Meselâ: Bir ince madenî levha şeridi elimizle koparmak istediğimizde, bir sağa, bir sola büker bu işlemi 5-10 defa tekrar edersek levhanın kendi kendine yırtıldığını görürüz. Bu hal doğrudan doğruya moleküller arasındaki bağların zayıflatılmasından ileri gelir. Buna gereçlerin yorulması denir.

Gereçlerin yorulmaya göstermiş oldukları dirence yorulma direnci veya titreşim direnci adı verilir.

Yapılan bir çok deneyler, tatbik edilen bu çeşit kuvvetler neticesinde meydana gelen gerilimler elâstiklik sınırının çok altında olduğu halde böyle kopma olaylarının meydana geldiğini göstermiştir.

Bu üç kuvvete göre dayanıklık oranı:

Statik kuvvet veya yükler.	3
Yönleri periyodik değişen kuvvetler.	2
Değer ve yönü periyodik değişen kuvvetler.	1

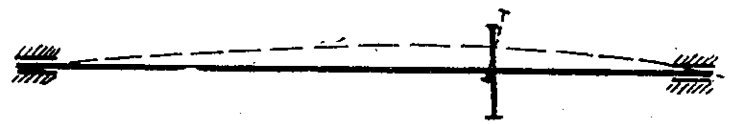
Yani, aynı çubuk üç çeşit kuvveti de ayrı ayrı taşıyacak olursa:

Statik olarak yüklenirse	3 kg.
Değerleri periyodik değişen kuvvetlerle yüklenirse	2 kg.

Değer ve yönü periyodik değişen kuvvetlerle yüklenirse 1 kg. a göre hesap edilmelidir.

e. **Şekil değişimi:**

Herhangi bir kuvvet sistemi ile yüklenen bir makina elemanı, çok az bile olsa bir miktar şekil değiştirecektir. Bu şekil değişimi çok az olduğu zaman emniyet katsayısına tesir etmez. Çok fazla ise meselâ: Yatakları arası çok uzak olan millerde eğilme miktarının fazlalığı, meydana gelen eğilme geriliminin değerini büyütür. Şekil: 18 Bu da emniyet katsayısının büyümesine sebep olur.



Şekil: 18

f. **Olağanüstü zorlamalar:**

Anormal çalışma neticesinde meydana gelen kuvvetlerdir.

Meselâ: Motorlardaki vuruntu (Detonasyon), Kazanlarda emniyet süpabının çalışmaması halinde basınç yükselmesi, titreşimin özel olan rezonans bu cinsten zorlamalardır.

Emniyet katsayısı yukarda açıklanan altı esasa uyularak hesaplanır. Bu altı esas üç ifade şeklinde gösterilir ve bunların çarpımı da emniyet katsayısını verir.

$$\text{E. K. S.} = a . b . c. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

$$a = \frac{\textbf{Çekme dayanımı}}{\text{Esneklik sınırı}} = 1{,}5 - 2 \ \text{dir.}$$

b = Yükün cinsi:

Statik	1 – durağan yük
Değerleri periyodik	2 – dalgalı "
Değerleri ve yönü periyodik	3 – itme-çekme yükü

c = Emniyet payı: Sıcaklık değişmesi, olağanüstü yükler, malzeme hataları, gerilim yığınımları faktörü = 1 — 3

Çizelge 3 de çeşitli elemanların hesaplanmış emniyet katsayıları, çizelge 3-4 da ise kullanılacak gereçlere göre en az emniyet kat sayıları verilmiştir.

Emniyet katsayıları çizelgesi

(Çizelge 3)

Eleman	a	b	c	E. K. S.
Kazanlar	2	1	2 — $\frac{1}{4}$ — 3	4,5 — 6
Çift tesirli buhar mak. da piston ve biyel kolları	$1\frac{1}{4}$ — 2	3	3	13,5 — 18
Tek. tesirli buhar mak. da piston ve biyel kolları	1,5 — 2	2	3	9 — 12
Volan, rotor taşıyan miller	1,5 — 2	3	1,5	$6\frac{3}{4}$ — 9
Torna milleri	2	2	3	12
Freze milleri	2	3	4	24
Makina parçaları	2	1	3	6
Bina çelik malzemesi	2	1	2	4
Köprü çelik malzemesi	2	1	2,5	5

Enaz emniyet katsayıları çizelgesi

(Çizelge 3-A)

Gereçler	a	b	c	E. K. S.
Dökme demir ve diğer dökümler	2	1	2	4
Dövme demir ve yumuşak çelik	2	1	1,5	3
Alaşımlı çelik	1,5	1	1,5	$2\frac{1}{4}$
Sertleştirilmiş çelik	1,5	1	2	3
Bronz ve pirinç	2	1	1.5	3

Örnek problemler:

1. Kopma gerilmesi 4200 kg/cm^2 olan malzemeden 7 emniyetle yapılan bir makina parçasındaki ortalama emniyet gerilimi ne kadardır?

Çözüm:

$$\frac{\sigma_{max}}{\text{Em. katsayısı}} = \sigma_{em} = \frac{4200}{7} = 600 \ kg/cm^2$$

Sonuç: Emniyet gerilmesi $\sigma_{em} = 600 \ kg/cm^2$ dir.

2. Bir makina parçası gerecinin uzama katsayısı $\alpha = 11.10^{-6}$ dır. 30° santigrada hesap edildiği halde 70° C. da kullanıldığına göre, bu sıcaklık farkından meydana gelen gerilim ne kadardır? $E = 2 . 10^6 \ kg/cm^2$ dir.

Çözüm:

$$\sigma = E . t . \alpha = 2 . 10^6 . (70 - 30) . \frac{11}{10^6} = 880 \ kg/cm^2$$

Sonuç: 40° C. lık sıcaklık artışında $\sigma = 880 \ kg/cm^2$ lik gerilim meydana gelir.

Çözülecek problemler:

1. 16328 kg. lık kuvvetle kopan daire kesitli bir çubuğun çapı 2 cm dir. Kopma gerilimi nedir?

Cevap: $\sigma_{max} = 5200 \ kg/cm^2$

2. Kopma gerilimi 3400 kg/cm^2 olan kare kesitli çubuğun 5 emniyetle, 1000 kg taşıması isteniyor. Kesit ölçülerini bulunuz?

Cevap: a = 1,212 cm.

3. t_1° C. da çalışan bakır çubuk üzeride yalnız sıcaklık dolayısiyle 300 kg/cm^2 lik gerilme meydana geliyor, çubuk 20° C için hesaplandığına göre çalışma sıcaklığı nedir?

Cevap: $t_1 = 36$° C

4. 42 cm boyunda ve 3 cm^2 kesitinde olan bir çubuk, eksen boyunca tatbik edilen 3000 kg. lık kuvvet tesiriyle 0,02 cm uzuyor. Akma çelik olan bu çubuğun elâstiklik modülünü bulunuz.

Cevap: $E = 2100000 \ kg/cm^2$

gerilme = birim alana gelen iç kuvvete denir.

5. 50 mm^2 kesitli 300 m uzunlukta ve elâstiklik modülü 1100000 kg/cm^2 olan malzeme 800 kg. lık, çekme kuvvetine maruzdur. Çubuk ağırlığı hesaba katılmadığına göre meydana gelecek uzama miktarını bulunuz.

Cevap: $\Delta l = 43{,}6$ cm.

6. Kopma gerilmesi 4800 kg/cm^2 olan gereçte, 700 kg/cm^2 lik gerilme meydana geliyor. Bu hale göre çubuğun emniyet kat sayısı nedir?

Cevap: E.K.S. = 6,85

ÇEKME VE BASMA DAYANIMI

İki elimizle, bir ipin uçlarını çektiğimiz zaman ip gerilir velifleri biribiri arasından kayarak kopmaya çalışır. Kuvvetimiz kâfi gelirse kopartabiliriz. Bütün cisimleri bu şekilde biribirinden uzaklaşan iki kuvvetin tesirine maruz bırakırsak, cisim çekmeye çalışıyor denir.

Kuvvetler eğer biribirine yaklaşma durumunda iseler, bu halede çubuk basmaya çalışıyor denir.

Tatbik ettiğimiz kuvvetler neticesinde cismin içinde normal gerilmeler meydana gelir. Çekmede meydana gelen normal gerilmeye çekme gerilmesi σ_z basmada meydana gelen normal gerilmeyede basma gerilmesi (σ_d) adını veririz.

Cisimlerin çekme gerilmelerine karşı gösterdikleri dayanıklığa, "Çekme dayanımı", basmada ise "basma dayanımı" adı verilir.

Şekil: 1 ve 2 de çekme ve basmada kuvvet tesir durumları gösterilmiştir. Hesaplama şekli her iki dayanım şeklinde de ayni olup yalnız yön farkı vardır. Meselâ :Çekme de uzama, basmada kısalma meydana gelir.

Homogen kesitli bir çubuğa şekil: 16. da görüldüğü gibi eksen boyunca bir kuvvet tatbik edelim. Kuvvetin etki ettiği anda çubuğun kristalleri arasındaki bağda zorlanacaktır. Kristaller arasında meydana gelen zorlamaların birim alana düşen miktarı "gerilme" olduğundan bizim için mühimdir. Şu halde çubuğun taşıyacağı kuvvet:

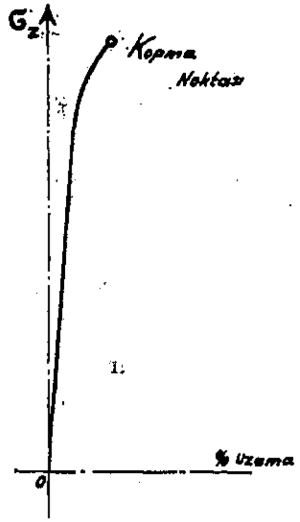
Çekmede $\sigma_z . F = P$ . . . . (10)

Basmada $\sigma_d . F = P$ . . . . (11) olur.

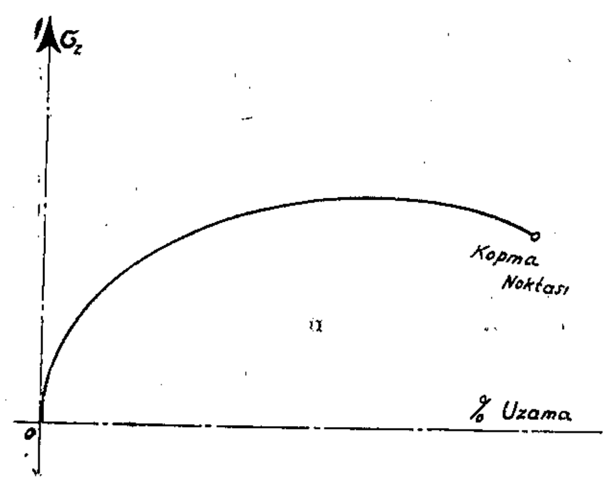
Kesit, çubuk eksenine dik olarak alınan bir düzlemin, çubuk içinde kalan kısmının şeklidir. F kesitin alanıdır (cm^2). Kesit şekli daire, kare, dikdörtgen, üçgen, beşgen v.s. olabilir.

Çekme deneyi

Çekme deneyi Şekil: 9. da ölçüleri verilen çubuğun özel makinalar yardımı ile çekilmesi ve bu esnada çubukta olan değişiklikleri, etki eden kuvvete göre bir grafik haline getirmekten ibarettir. Bu grafikte bize, etki eden kuvvet dolayısiyle, çubukta meydana gelen şekil değişimlerinin ani değişiklik gösterdiği noktalar lâzımdır. Çünkü bunlar ekseriya esneklik, akma, kopma sınırlarını verecektir. Çizdiğimiz diyagramda bu noktalardaki kuvvetleri rahatca tesbit edebiliriz. Böylece emniyet gerilmesinin hesaplanması için en mühim adım atılmış olur. Böyle bir diyagramın çizim ve izahını "uzama gerilme diyagramı" konusunda incelediniz.



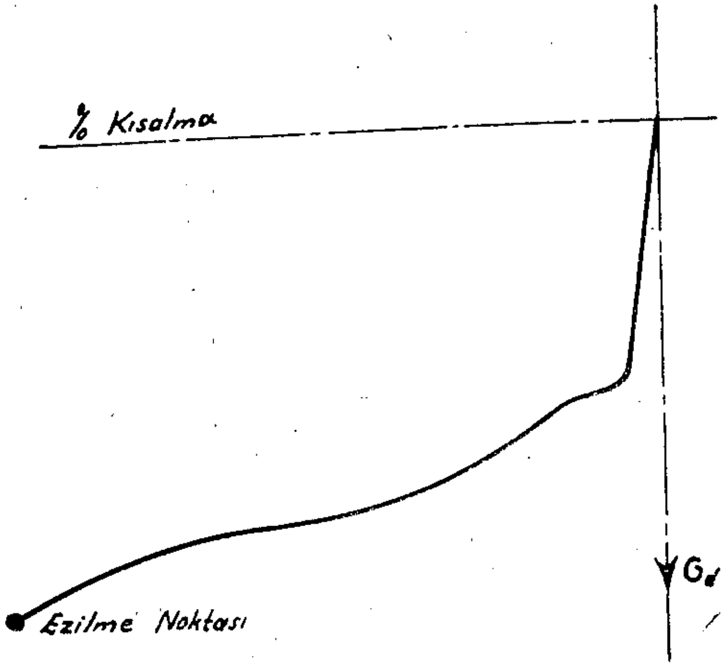
Şekil: 19



Şekil: 20

Her madeni çubuğun uzama deneyi sonucunda vereceği diyagram biribirinin aynı olmaz. Şekil: 11. 12, 19 ve 20 de çeşitli gereçlerin diyagramları verilmiştir.

Çekme deneyi için söylenenler basma deneyi içinde aynen söylenebilir. Yalnız elde edilen diyagram şekil: 21 de görüldüğü gibi çekme deneyi neticesinde elde edilen diyagrama benzer ve fakat ters yönlü olur.



Şekil: 21

Düşey konumda olan çubukların ağırlıklarının meydana getirdiği gerilimler :

Zincir, halat gibi elemanlar ile düşey konumdaki çubuklar üzerine etki ettirilen yüklerle beraber kendi ağırlıklarınıda taşıyabilmelidirler. Kısa çubuklarda ihmal edilebilirse de, eleman uzadıkca arzettiği ehemmiyet artar; Dayanım hesaplarında nazarı itibara alınması icabeder.

Homogen kesitli bir çubuğun düşey konumdayken boyu gittikce artırılacak olursa öyle bir an gelirki çubuk tesbit yerine yakın bir kesitten kopar. Bu hale göre çekmeye ve basmayı çalışan elemanların dayanım hesaplarında, eğer ağırlığı yükleyeceğimiz kuvvet yanında ihmal edilebilecek kadar küçük değilse, kendi ağırlıklarınında hesaba katılması gerektir.

Çubuk kesit alanı F (cm^2), boyu L"cm" ve özgül ağırlığı γ (gamma) gr/cm^3 olan bir elemanın düşey konumda olduğuna göre ağırlığının doğurduğu çekme gerilimi:

$$\sigma_{zA} = \frac{G}{F} = \frac{L \cdot F \cdot \gamma}{1000 \cdot F} = \frac{L \cdot \gamma}{1000} \ Kg/Cm^2 \text{-------------} (12) \quad \text{dir.}$$

Çubuk birde P kuvvetiyle yüklenecek olursa bağlantı kesitinde meydana gelen gerilim.

$$\sigma = \sigma_{z_1} + \sigma_{zA} = \frac{P}{F} + \frac{L \cdot \gamma}{1000} \ Kg/Cm^2 \text{-------------} (13) \quad \text{olur.}$$

Örnek problem:

10 m uzunlukta ve özgül ağırlığı 7,85 gr/cm^3 olan bir çubuk 1000 kg. la yüklenmiştir. Düşey konumda ve üst ucundan tespit edilen çubuğun bu kesitindeki gerilim 800 kg/cm^2, kesit şekli kare ise boyutlarını bulunuz.

Çözüm:

13 numaralı formülden :

$$\sigma_z = \frac{P}{F} + \frac{L \cdot \gamma}{1000} \quad \text{den, karenin bir kenarı a ise:}$$

$$a = \sqrt{\frac{P}{\alpha_z - \frac{L \cdot \gamma}{1000}}} = \sqrt{\frac{1000}{800 - \frac{1000.7\ 85}{1000}}} = \sqrt{\frac{1000}{792{,}15}} = 1{,}123 \text{ Cm.}$$

Sonuç: Kare kesitin bir kenarı 1,123 cm dir .Pratikte bu ölçü tamamlanacağından a = 12 mm yapılır.

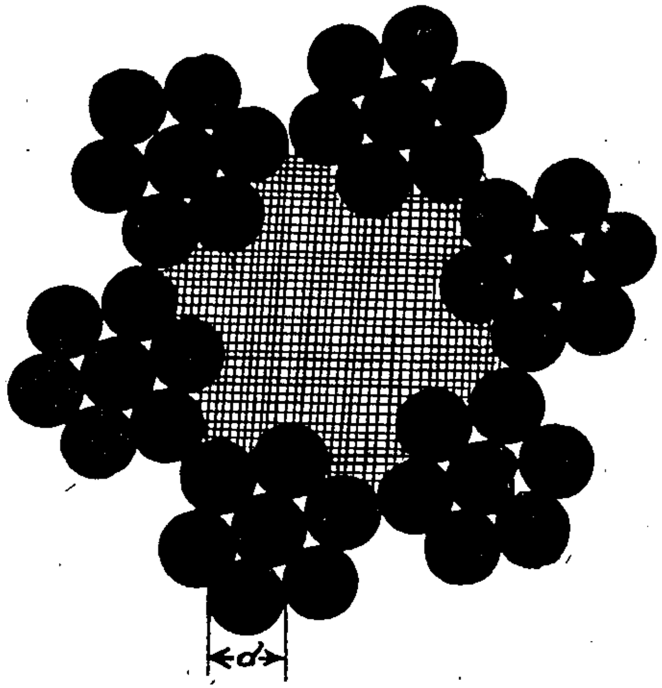
Çekmeye veya basmaya çalışan elemanların hesabı

a. Halatların dayanımı:

Burada ip halatlardan bahsedilmeyip, tel halatların dayanım hesapları yapılacaktır.

Bir tel halat, ince ve yüksek özellikte telciklerin evvelâ gurup gurup sonradan gurupların birbirlerine sarılıp örülmeleriyle meydana

Telciklerin gereci, kopma dayanıklığı 130-180 kg/mm² olan pota çelikleridir. Şekil: 22. de normal bir tel halât kesiti görülmektedir.



Şekil: 22

Şekildeki tel halâtın merkez kısmında bulunan ekseriya kendir gibi.. yumuşak kısım, halâtın eğilip bükülme kabiliyetini artırır ve telcik guruplarına yataklık yapar. Sıcak yerlerde çalışan halâtlarda, kendir yerine yumuşak madenden yapılmış çubuk veya bir tel gurubu konur. Bu ortaya konan teller dayanımda hesaba girmez.

Bir tel halât 0,4 - 3 mmçapındaki tellerden meydana gelir. Tel çapı (d) sayısı (n) olursa toplam kesit alanı:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n \quad cm^2 \text{ -------------- } (14) \text{ olur.}$$

Buna göre tel halâtın taşıyacağı yük:

$$P = \sigma_z \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n \quad kg \text{ ------------- } (15) \text{ olur.}$$

Tel halâtlarda emniyet katsayısı 6 - 10 arasında alınır. Bundan başka tel halâtlar makara veya tamburlara sarılarak çalışan elemanlar olduklarından, kullanılacak makara veya tambur çapına D diyecek olursak:

$$\frac{D}{d} \geq 500 \text{ olmalıdır. -------------- } (16)$$

eğer makara veya tambur çapı daha küçükse, halâtın sarılıp açılması neticesinde telciklerde yorulmalar meydana gelir ve halat kopar. Onun için asansör, havai hat, vinç, v.s. gibi tel halat kullanan sistemlerin halatları zaman zaman kontrol edilmelidir.

Şekil: 23 de halat çalışma süresince zorlama sayısı ve kullanılan tambur çaplarına göre alınabilecek emniyet katsayıları diyagramını görüyorsunuz. Diyagramda, tambur çapının ve emniyet katsayısının büyük alındığı nisbette zorlama sayısının arttığı görülmektedir.

Maden kuyularının asansörlerinde ve benzeri yerlerde halat ağırlığı önemli bir değer kazanacağından halât hesabında bununda nazarı itibara alınması gerekir. Tel halâtın metresinin ağırlığı norm cetvellerinde mevcuttur; bunu q ile gösterecek olursak, telcik çapı: (telcik çapı kontrol hesabında kullanılır.)

$$d = \sqrt{\frac{4\,(P+L \cdot q)}{\pi \cdot n \cdot \sigma z}} \quad cm \text{ . . . . } (17) \text{ olur.}$$

Tel halât uzunluğu L (m) dir. Halatları korozyondan korumak için ekseriya galvaniz yapılır.

Örnek problemi:

1 mm çapında 144 telden meydana gelen halat gerecinin emniyet gerilmesi 1250 kg/cm² olduğuna göre taşıyabileceği yükü bulunuz.

Çözüm: 15 numaralı formülden:

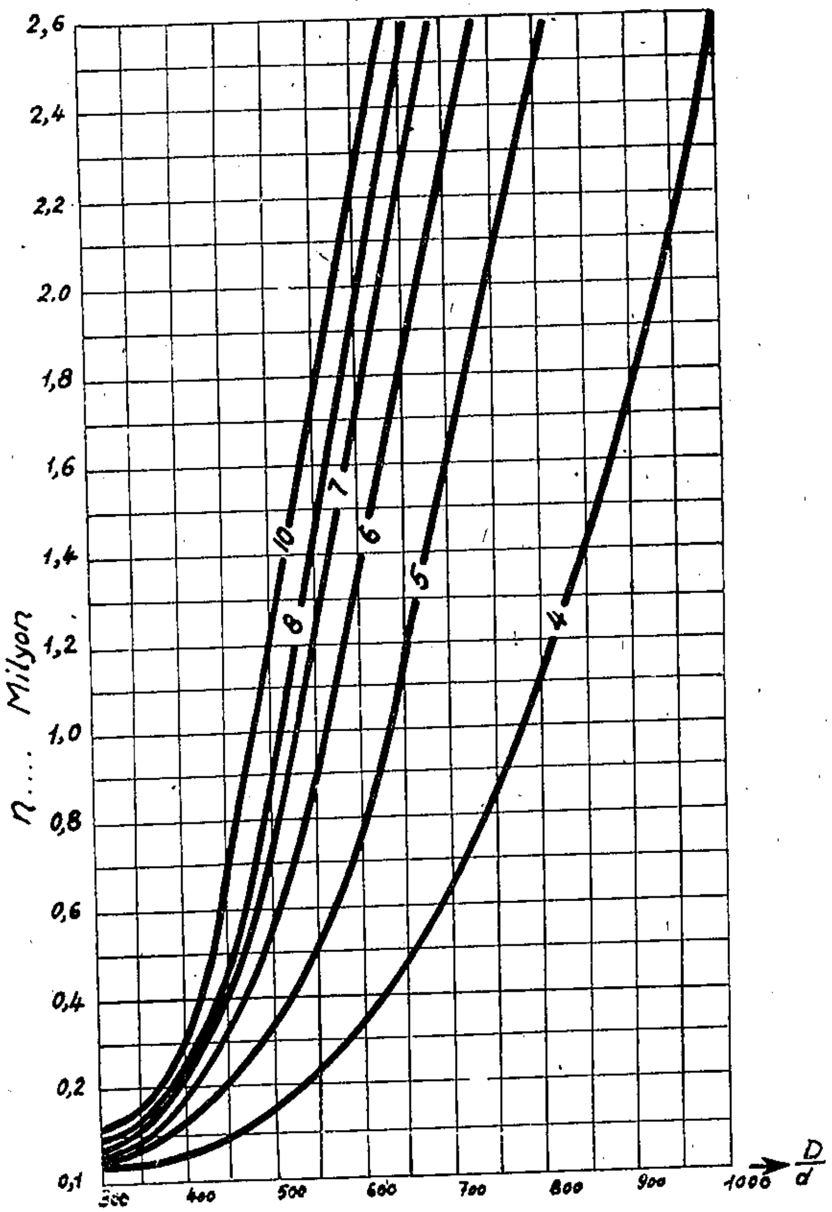
$$P = \sigma_{zem} \frac{\pi \cdot d^2}{4} n \quad \text{dir.}$$

3,14

$$P = 1250 \cdot \frac{\cancel{3 \cdot 14} \cdot 0 \cdot 1^2}{4} \cdot 144$$

$$P = 1250(3,14)0,01.36 = 1413 \text{ kg.}$$

Sonuç: halât emniyetle 1413 kg. taşıyabilir.

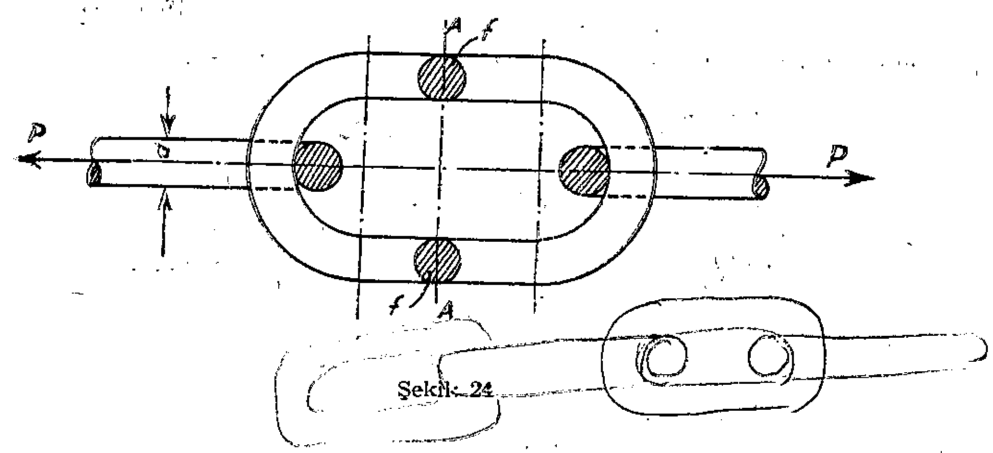


Şekil: 23

b. Zincirlerin dayanımı:

Zincir çeşitleri pek çoksada burada yalnız baklalı zincirlerin dayanım hesaplarını yapacağız.

Baklalı zincir, Şekil: 24 de görüldüğü gibi d çapındaki çubukların kalıp içinde bükülüp biribiri içinden geçirilerek kaynak edilmeleri ile meydana getirilir.



Şekil: 24

Zincire etki eden P kuvveti dolayısiyle, A-A kesitinde meydana gelen gerilme: $F = 2.f$ alınacağından; $\sigma_z = \frac{P}{F} = \frac{P}{2 . f}$ dir.

Zincir gereci ekseriya daire kesitli olduğundan, f yerine çapı d olan daire alanını yazıp neticeyi bulursak: Emniyet gerilimi σ_{zem} ise,

$$\sigma_{zem} = \frac{2 . P}{\pi . d^2} \quad kg/cm^2 \text{ .... (18) olur.}$$

P kuvvetini taşıyacak zincir gereci çapı:

$$d = \sqrt{\frac{2 . P}{\pi . \sigma_{zem}}} \quad cm \text{ .... (19) dır.}$$

Kaynak yerlerinin direnci diğer yerlere nazaran % 25 daha zayıf tutulmak suretiyle, emniyet katsayısı 4 - 6 arasında alınır. Yumuşak çelikler için $\sigma_{zem} = 600$ kg/cm² olarak kabul edilir. Kopma dayanımı 3500 kg/cm² den daha az olan gereçler kullanılmamalıdır.

Zincirlerin basit dayanım hesapları yukardaki gibi yapılırsada, pratikte çalışma yerindeki durumu nazarı itibara alınır. Eğer zincir uzunsa ağırlığının da hesaba katılması gerekir. Zincirin metresinin ağırlığı q ise, malzemesinin çapına bağlı olarak:

$$q \cong 2{,}25 \cdot d^2 \quad kg/m \text{ ---------------- } (20) \text{ dır.}$$

(Dikkat: Burada d cm cinsinden alınmalıdır.)

Zincirin en üst halkasında meydana gelen kuvvet:

$P + G = P + 2{,}25 . d^2 . L$ dir. Bu kuvvet bağlantı yerindeki bakłada meydana gelen gerilmeler toplamına eşit olacağından:

$$P + 2{,}25 \cdot d^2 \cdot L = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 2 \cdot \sigma_z \quad kg \text{ ---------------- } (21) \text{ olur.}$$

Buradan zincir gerecinin çapı hesaplanırsa:

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot \sigma_z - 4{,}5 \cdot L}} \quad cm \text{ ---------------- } (22) \text{ bulunur.}$$

Formülde kullanılan L yüke maruz zincir uzunluğudur.

Örnek problem:

Kopma dayanımı 5000 kg/cm² olan gereçten 5 emniyetle 2653 kg. taşımasının istediğimiz zincirin gerecinin çapı nekadar olmalıdır?

Çözüm:

7 numaralı formülden:

$$\sigma_{zem} = \frac{\sigma_{max}}{E.K.S} = \frac{5000}{5} = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

19 numaralı formülden:

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot \sigma_{zem}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2653}{3{,}14 \cdot 1000}} = \sqrt{1{,}69} = 1{,}3 \text{ cm}$$

Sonuç: Zincir gerecinin çapı 13 mm olmalıdır.

c. Cıvataların dayanımı:

Bu konuda boy ekseni doğrultusunda kuvvet etkisine maruz olan cıvataların dayanım hesapları yapılacaktır. Eksene dik kuvvetlere maruz cıvataların hesaplarına daha sonra temas edeceğiz.

Şekil: 25 de görüldüğü gibi yüklenen bir cıvatada meydana gelen gerilme $\sigma_z = \frac{P}{F}$ dir. P emniyet gerilmesi sınırlarını aşmıyacak bir kuvvet ve diş dibi çapı d_1 olursa meydana gelecek gerilme:

$$\sigma_{zem} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d_1^2} \quad kg/cm^2 \text{ ---------------- } (23) \text{ dir.}$$

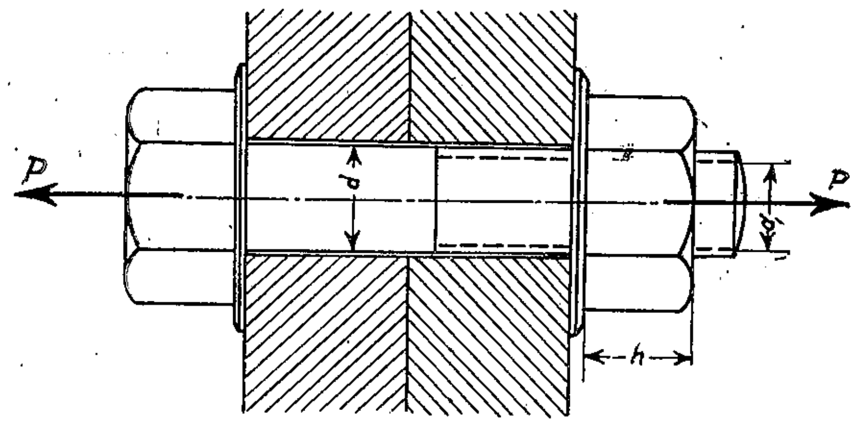
Eğer bütün yük, n sayıdaki cıvata tarafından taşınıyorsa;

$$P = \sigma_{zem} \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot n \quad kg \text{ ---------------- } (24) \text{ olur.}$$

Cıvata diş dibi çapı ile diş üstü çapı arasındaki bağıntı, üçgen dişte: $d_1 = 0{,}8 . d$ olduğundan;

$d_1^2 = 0{,}64 . d^2$ yazılabilir. 24 numaralı formülde yerine konulursa:

$$P = 0{,}5 \cdot d^2 \cdot n \cdot \sigma_{em} \quad kg \; \ldots\ldots\ldots \; (25) \text{ olur.}$$



Şekil: 25

Buradan cıvata çapı hesap edilirse:

$$d = \sqrt{\frac{P}{0{,}5 \cdot n \cdot \sigma_{zem}}} \quad cm \text{ ---------------- } (26) \text{ bulunur.}$$

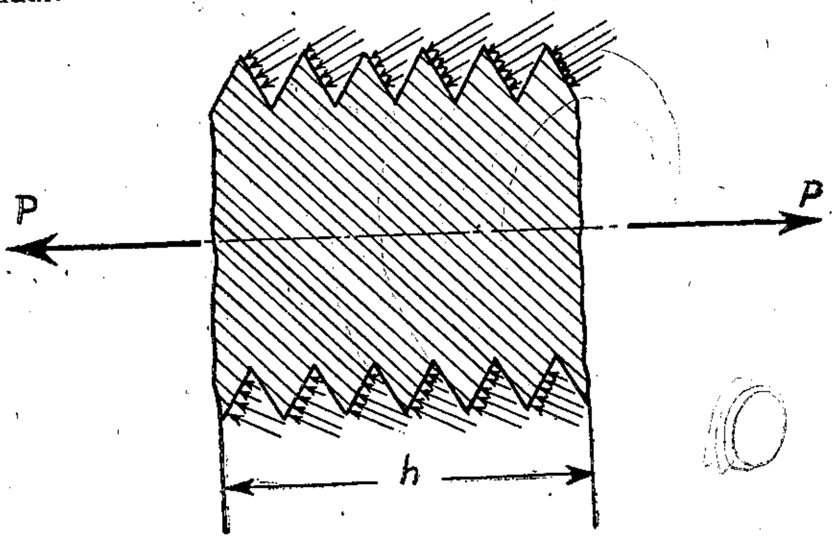
Cıvata hesabına esas olmak üzere, aşağıdaki emniyet gerilmeleri çizelgesi verilebilir:

(Çizelge 4)

Cıvata gereci kopma dayanımı. kg / cm²	Vida dişi durumu	Emniyet gerilmesi Kg/cm²	
		En az	En çok
3700	Temiz ve çapaksız	600	900
3700	Çapaklı	480	720
5000	Temiz ve çapaksız	800	1200
5000	Çapaklı	640	960

Emniyet gerilmesinin en az ve en çok değerleri kuvvetin tesir ediş şekline göre tayin edilr.

Bir cıvata istenildiği kadar dayanıklı yapılsın, somun hesabını de cıvata hesabı ile beraber yapmak en doğru hesaplama ve yapma usulüdür.



Şekil: 26

Cıvataya ekseni boyunca etki eden kuvvetlerin, dişlerin böğrüne tesir şekli şekil: 26 da görülmektedir. Bu bir basma halidir. Gerecin basmaya karşı emniyet gerilmesi σd_{em} olacağından, P

GALIR 18-7-71

kuvvetini taşıyabilecek diş sayısı c ise basınca zorlanan yüzey $F = \frac{(d^2 - d_1^2)}{4} \pi . c$ cm² olur. Dişlerin emniyetle taşıyabileceği yük:

$$P = \frac{\pi . (d^2 - d_1^2)}{4} . c . \sigma d_{em} \text{ kg} \cdots\cdots (27) \text{ olur.}$$

Bu bağıntıdan somunda bulunması icabeden diş sayısı:

$$c = \frac{4 . P}{\pi . (d^2 - d_1^2) . \sigma d_{em}} \cdots\cdots (28) \text{ olur.}$$

Buradan bulunan diş sayısını vida adımı ile çarpacak olursak somun yüksekliğini bulmuş oluruz.

Dişlerdeki basma emniyet gerilmesi gerecin cinsine göre 75-150 kg/cm² arasında değişir.

Çeşitli gereçlere göre somun yükseklikleri şöyle olmalıdır:
Cıvata ve somun aynı gereç $h = 0,8 - 1\ d$
Somun bronz, cıvata çelik $h = 1,2 - 1,5\ d$
Somun pik, cıvata çelik $h = 1,5 - 2\ d$

Örnek problem:

20 mm çapında metrik bir cıvata (M20) emniyet gerilmesi 750 kg/cm² olan akma çelikten yapılmıştır. Cıvata ve somun aynı gereçten olduğuna göre somun yüksekliğini ve cıvataya ekseni boyunca güvenle etki ettirilebilecek kuvveti bulunuz?

Çözüm : Cıvata ve somun aynı gereçten olduğundan h = 1.d 1.20=20 mm olur. 25 numaralı formülden cıvatanın emniyetle taşıyabileceği yük:

$$P = 0,5 . d^2 n\ \sigma_{zem} = 0,5 . 2^2 . 750 = 1500 \text{ Kg.}$$

Sonuç: Somun yüksekliği 2 cm, cıvatanın taşıyabileceği yük 1500 kg. dır.

d. İnce çeperli silindirlerin dayanımı: (Boru ve kazanlar)

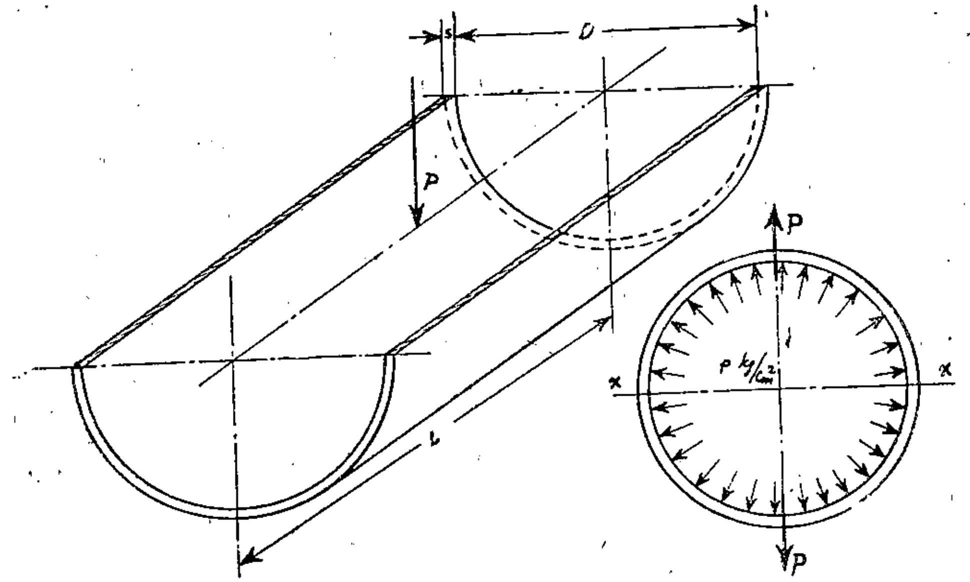
Çeper kalınlığı çapa nazaran ince olan silindirlerdir. İçlerinden herhangi bir akışkan geçer veya depo edilmiş olabilir. Bu esnada iç kısımdaki sıvı veya gaz akışkanlar, iç çeperlere basınç yaparlar. Elemana tesir eden toplam basıncı taşıyan çeper kalınlığı iki şekilde hesaplanır:

1. Silindir boy ekseninden geçirilen bir düzleme göre dayanım hesabı.

2. Silindir eksenine dik geçirilen bir düzleme göre dayanım hesabı.

1. İç basıncı p, çapı D, olan L uzunluğundaki bir silindirin, ekseninden geçen bir düzlemle kesildiğini kabul edelim. Şekil: 27. Bu yarım silindirin iç yüzeyine gelen basınçların toplamı:

$$P = p \cdot L \cdot D \quad kg. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (29) \text{ olur.}$$



Şekil: 27

P kuvveti tesiriyle koparılmaya çalışan yüzeyler, taranmış olan kısımlardır. Bu kesit alanları toplamı:

$$F = 2 \cdot s \cdot L \quad cm^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30) \text{ dir.}$$

Bu kesit alanlarında meydana gelen gerilimler:

$$\sigma_z = \frac{p \cdot L \cdot D}{2 \cdot s \cdot L} = \frac{p \cdot D}{2 \cdot s} \quad \text{olur.}$$

σ_z eğer emniyet gerilmesi karşılığı ise silindirin çeper kalınlığı:

$$s = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{zem}} \quad cm \quad \text{-------------} \quad (31) \text{ olur.}$$

Silindirler, yapıldıkları gerecin cinsine ve aşağıdaki emniyet gerilmelerine göre hesap edilmelidir: Cem

Font borular	$\sigma_{zem} = 250$ kg/cm²
Çelik döküm borular	$\sigma_{zem} = 600$ »
Akma çelik borular Kopma dayanıklığı (3500-4500 kg/cm²).	$\sigma_{zem} = 800$ »
Akma çelik borular Kopma dayanıklığı (4500-5500 kg/cm²).	$\sigma_{zem} = 1000$ »

Kaynaklı ve perçinli gibi... gereç hatası ve gerilim yığınımlarının olabileceği, boru ve kazanlarda emniyet gerilmesi aşağıdaki katsayılarla çarpılıp bulunan değer emniyet gerilimi olarak kullanılmalıdır:

Kaynaklı boru ve kazanlar	a = 0,8
Perçinli " " "	a = 0,57 — 0,63

Bundan başka içlerinde muhafaza veya naklettikleri akışkanların cinslerine göre, çeper kalınlıklarının aşağıdaki değerler kadar katının alınması lâzımdır:

Su ve tehlikesiz akışkanlar	b = 1
Sıcaklığı 300°nin altında buhar ve gazlar, tehlikeli sıvılar (Asit, baz v.s.) . .	$b = \frac{5}{4}$
Sıcaklıkları 300° nin üstündeki buhar ve gazlar	$b = \frac{25}{16}$

Bütün bu emniyet tertiplerinden ayrı olarak silindirlerin çalışma yerlerinde ve yapıldıkları gerecin cinsine göre maruz bulundukları korozyona karşı dayanıklığının artırılması için c gibi bir güvenlik payının ilâve edilmesi gerektir. Bunlara göre çeper kalınlığı:

$$s = \frac{b \cdot p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{zem} \cdot a} + c \cdot cm \quad \text{-------------} \quad (32) \text{ olur.}$$

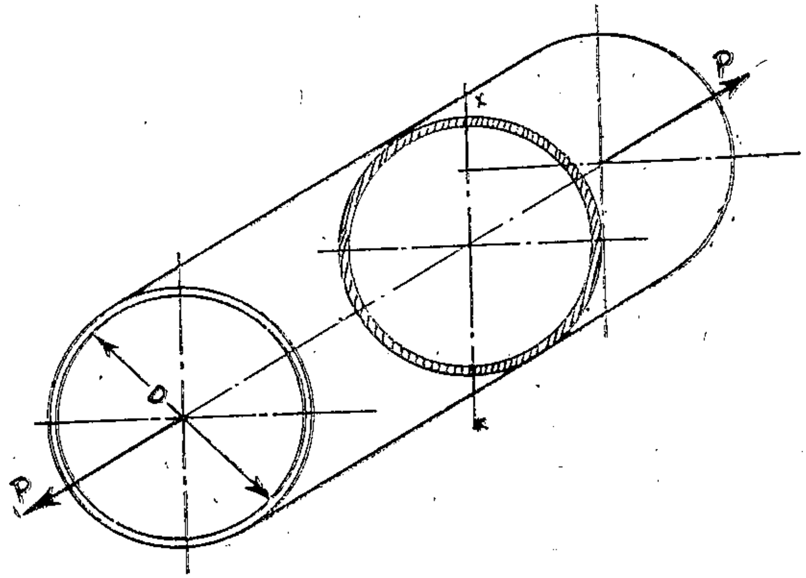
Tecrübe ile tesbit edilmiş olan c güvenlik payı Weisbach'a göre aşağıdaki değerleri alır:

Akma çelik	$c = 0,3$ cm
Font	$c = 0,9$ "
Bakır	$c = 0,4$ "
Kurşun	$c = 0,5$ "
Çinko	$c = 0,4$ "

32 numaralı formül ancak ince çeperli boru ve kazanlar için kullanılmalıdır. İçersinde yüksek basınçlı akışkan bulunan; Font borular, buhar silinrirleri pres ve pompa silindirlerinin hesaplanması için özel bir formüle ihtiyaç vardır.

Yukarda adı geçen silindirler kalın çeperlidirler. Bu konuyu daha ileri sınıflarda göreceksiniz.

2. Silindir eksenine dik geçirilen bir eksene göre dayanım hesabı yapacak olursak, (Böyle bir hesap ancak başları kapatılmış silindirler yani kazanlar için yapılabilir.) Şekil: 28 de görüldüğü gibi taranmış yüzey, iç basıncın meydana getirdiği kuvveti taşır.



Şekil: 28

İç basınç p, çap D olduğuna göre silindiri zorlayan kuvvet:

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \quad \text{kg} \text{ ------------- } (33)$$

Bu kuvveti taşıyan alan:

$$F = \pi \cdot D \cdot s \quad \text{cm}^2 \text{ ------------- } (34) \text{ olduğundan,}$$

Kesitte meydana gelen gerilim:

$$\sigma_{zem} = \frac{p \cdot D}{4 \cdot s} \quad \text{kg/cm} \text{ ------------- } (35) \text{ olur.}$$

Kazan gerecinin kalınlığı ise:

$$s = \frac{p \cdot D}{4 \cdot \sigma_{zem}} \quad \text{cm} \text{ ------------- } (36) \text{ bulunur.}$$

Silindir ekseninden geçen düzleme göre kalınlık daha fazla bulunacağından, kuvvetin eksene dik düzlemde tesir etmesine kolayca karşı koyabilir. Bunun için her türlü boru, kazan hesabı yapılırken daima 32 numaralı formül kullanılmalıdır.

Örnek problemi:

Çapı 120 cm olan ve akma çelikten yapılan kazanın içinde $450°$ C ve 15 kg/cm² basınçta buhar vardır. Kazan gereci emniyet gerilimi 600 kg/cm² dir. Kaynaklı olarak yapılan kazanın çeper kalınlığı nedir?

Çözüm:

$$32 \text{ numaralı formülden } s = \frac{b \cdot p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{zem} \cdot a} + c = \frac{\frac{25}{16} \cdot 15 \cdot 120}{2{,}600 \cdot 0{,}8} + 0{,}3$$

$$s = 3{,}22 \text{ cm}$$

Sonuç: Kazan sacının kalınlığı 32,2 mm yapılmalıdır.

SERTLİK

Bir cismin sertliği sorulduğu zaman, cismi hemen elimizle sıkıştırır, parmaklarımızın cisme batış miktarına veya parmaklarımıza gösterdiği dirence göre cevap veririz. İki gereçten hangisinin daha sert olduğunu bulmak için de sivri uç veya keskin köşelerini biri birine bastırarak sürteriz. Hangisi daha sertse yumuşak olanı çizer. Böylece daha sert cismi tayin etmiş oluruz. Fakat bu gereçlerin sertlik derecesini kat'i tayin değildir. Teknikte gereçlerin sertliklerini kesin olarak tayin edebilmek için özel âletler yapılmıştır.

Sertlik denildiği zaman umumiyetle bir cismin içine, diğer bir cismin gömülmesine karşı gösterdiği direnç anlaşılır. Gereçlerin çalışma yerlerine göre sertliklerinin bilinmesi lâzımdır. Onun için sertlikle gerilimler arasında, tam karşılık olmamakla beraber, bir bağıntı kurmaya çalışacağız.

Gereçlerin sertlikleri hesap edildikleri metotlara göre söylenir, Brinell sertliği, Rochwell sertliği, Vikers sertliği v.s. gibi. Bunlardan yalnız Brinell sertliğine kısaca temas edeceğz.

Brinell sertliği:

Sertlik ölçülmesinde, çapı (D) belli çok sert bir bilya, sertliği ölçülecek gerece, belli bir kuvvetle (P) bastırılır. Kuvvet bilyayı gerece çarptırmadan ve düzgün artma suretiyle bastırır. Bu baskı belirli bir zaman devam ettirilir. Yük kaldırılınca bilyanın gereç üzerinde küre takkesi biçiminde bir iz bıraktığı görülür. Bu izin çapı (d) ölçülür ve Brinell sertliği (H) aşağıdaki formülle hesaplanır. (Sertlik biriminin normal çıkması için çap ölçüleri mm olarak formüle konulmalıdır.) Brinell sertliği:

$$H = \frac{2 \, . \, P}{\pi \, . \, D \, . \, (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \ \ kg/mm^2 \ \text{..............} \ (37) \text{ olur.}$$

Isı işlemi görmüş karbonlu çelikte Brinell sertliği ile çekme dayanımı arasında şu bağıntı vardır:

$$\sigma_z = 0{,}36 \, . \, H \ \ kg/mm^2 \ \ . \, . \, . \, . \, . \ (38)$$

Çekme dayanımı, yukarda görüldüğü gibi kg/mm^2 olarak bulunur. Yalnız herhangi bir yanlışlığın önüne geçebilmek için bu ifadenin yanına sertlikten hesap edildiği yazılmalıdır.

Örnek problem:

Brinell sertliği 64 kg/mm^2 olan tavlanmış çelik gerecin kopma dayanımı nedir?

Çözüm: 38 numaralı formülden $\sigma_z = 0{,}36.H = 0{,}36.64 = 23 \ kg/mm^2$

$\sigma_z = 23.100 = 2300 \ kg/cm^2$ (Sertlikten hesaplanmıştır).

Sonuç: Gerecin kopma dayanımı sertliğine göre 2300 kg/cm^2 dir.

Çözülecek problemler:

1) 216 telden meydana gelen bir halât 8 emniyetle 20 ton kaldırıyor. Kopma dayanımı 160 kg/mm^2 olduğuna göre:

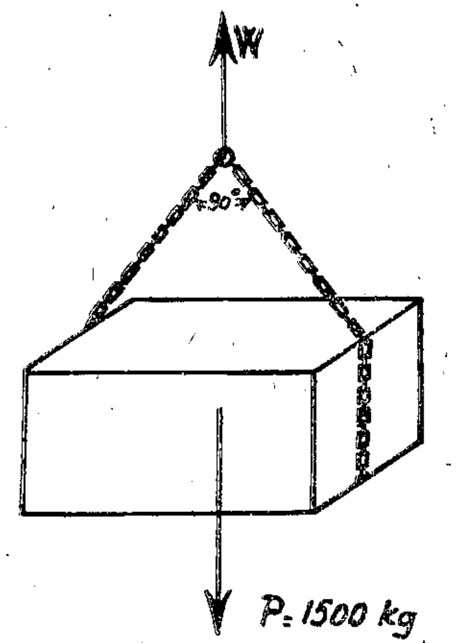
a) Emniyet gerilimini,

b) Tel çapını bulunuz,

Cevap: a) $\sigma_{zem} = 2000 \ kg/cm^2$, b) $d = 2{,}5$ mm

2) 1500 kg. lık bir yük şekil: 29 da görüldüğü gibi tek kat zincirle bağlanıyor. Zincir gereci 10 mm çapında göre, yük kaldırılırsa, kesitte meydana gelen gerilme nedir?

Cevap: $\sigma_z = 675 \ kg/cm^2$



Şekil: 29

3) Şekil: 30 da görülen taşıyıcıda, askı tertibatı olarak kullanılan A ve B çubuklarının çapları 3 ve 5 cm. dir. A ve B çubuklarının eşit miktarda uzaması için 3000 kg. lık yükü nereye yerleştirmelidir? $E = 2000000 \ kg/cm^2$

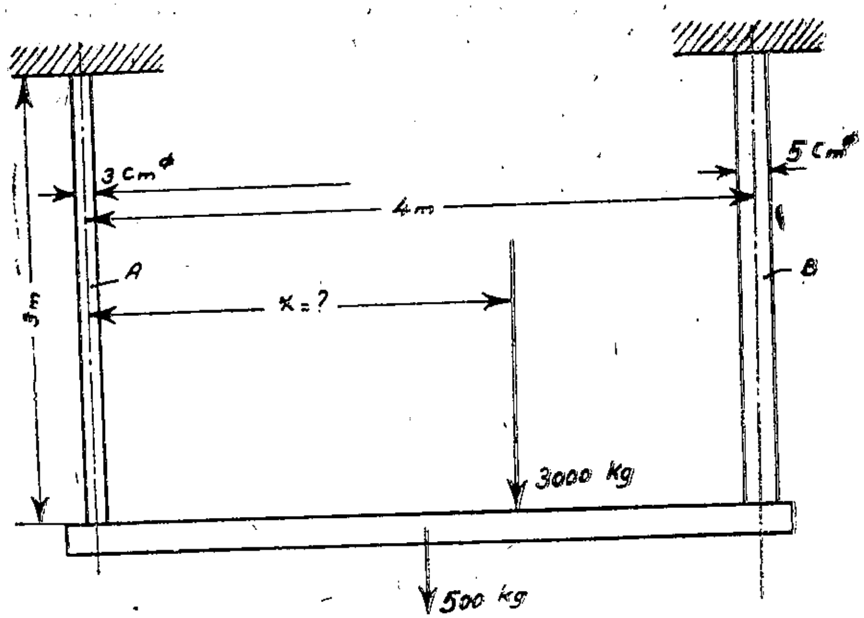
Cevap: X = 3,127 m.

4. 80 cm çapında ve 10 kg/cm^2 Efektif basıncında çalışan bir kazana, 40 cıvata ile kapağı bağlanmıştır. Perçinlenerek ve akma çelikten yapılan kazan cıvatalarla aynı gereçtendir. Emniyet gerilimleri 750 kg/cm^2 olduğuna göre:

a) Kazan sacı kalınlığını,

b) Cıvata çapını,

c) Somun yüksekliğini hesaplayınız.



Şekil: 30

Cevap: a) s = 11 mm b) d = 18,15 mm c) h = 18,15 mm

5. Kopma dayanımı 5500 kg/cm² olan 8 mm kalınlığında ki akma çelikten 1500 mm çapında kazan yapılıyor. 10 emniyetle çalışabilmesi için iç basıncı kaç atmosfere kadar çıkarılmalıdır? Kazan perçinlenerek yapılmıştır.

Cevap: pef = 1,76 kg/cm²

6. 400 mm çapındaki su borusunun içindeki basınç 26 m su sütununa karşılıktır. Fonttan yapılan bu borunun et kalınlığı ne kadar yapılmalıdır?

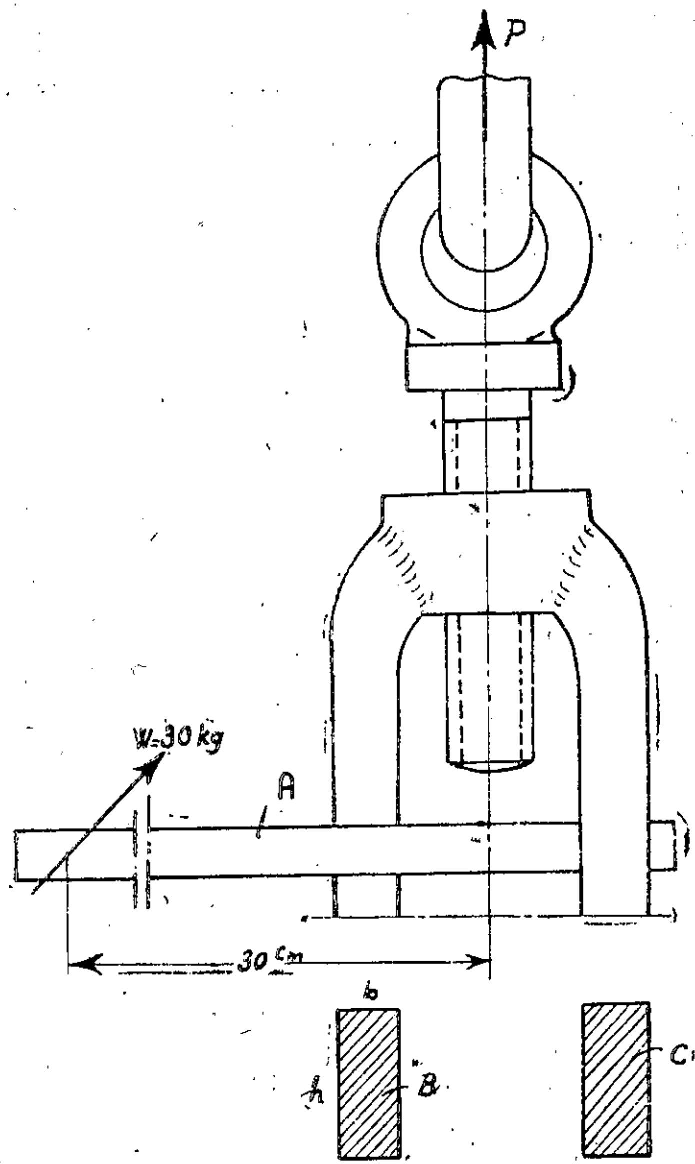
Cevap: s = 11 mm.

7. Debisi 0.1 m³ olması istenilen ve 60 m. yüksekliğe su çıkaran bir tulumbanın sağladığı ortalama hız 5 M/s dir. Akma çelikten yapılan su borularının emniyet gerilimi 500 kg/cm² olduğuna göre,

a) Kullanılan boruların çapını,
b) Boruların tulumbaya bağlanan yerindeki et kalınlıkları ne olmalıdır?

Cevap: a) d = 16 cm. b) s ≅ 4 mm

8. Bir liftinuskura aradan sokulan A çubuğu yardımıyla etki ettirilen kuvvetler Şekil: 31 de görülmektedir. Liftinuskur gergi vi-



Şekil: 31

dası adımı 5 mm. ve vida ile gövde kısmı emniyet gerilmesi 500 kg/cm² dir.

a) Gergi vidası çapı nedir?

b) Gövdede eğilme olmadığı kabul edilirse, biribirinin aynı olan B ve C dik dörtgen kesitin ölçüleri ne olur? b/h = 1/3 dür.

Cevap: a) d=33,6 mm b) b=7,07 mm h=21,2mm

9. Brinell sertliği 90 kg/mm² olan gereçten yapılan daire kesitli ve 9 emniyetle 1080 kg. lık yükü taşıyabilecek çubuğun çapı ne olur?

Cevap: d = 19,6 mm.

KESME DAYANIMI

Çubuk kesit düzleminde bulunan herhangi bir kuvvetin meydana getireceği durum, üzerinde bulunduğu kesiti diğer kesitten kaydırarak ayırmaktır. Bu halde parça kesilmeye çalışıyor denir.

Ellerinizin iç kısımlarını biribirine bastırarak, biribiri üzerinden kaydırmaya çalışınız. Avuçlarınızın içinde kaydırmanıza mâni olacak kuvvetler doğacaktır. Bu kuvvetler kaydırma yönüne ters ve avuçlarınızın birleştiği düzleme çakışmış vaziyettedir. El içlerine çakışmış vaziyette olan bu kuvvetleri kesme gerilimlerine benzetebiliriz.

Şekil: 32 de parça eksenine dik P kuvveti A-B kesitinde, kesite yapışık τ (Tau) kesme gerilimlerini meydana getirir. Kesme gerilimleri toplamının P kuvvetini karşıladığı her an için, çubukta kesilme olayı meydana gelmez. İç kuvvetlerle dış kuvvetlerin denge halinde oldukları bu anda:

$$P = \tau \, . \, F \quad \text{kg.} \; \ldots\ldots\ldots \; (39) \text{ olur}$$

Buradaki gerilim hakiki kesme gerilimi değildir. Parçanın kesit şekli ile alâkalı olarak değişir. Bunu bir formül şeklinde yazacak olursak:

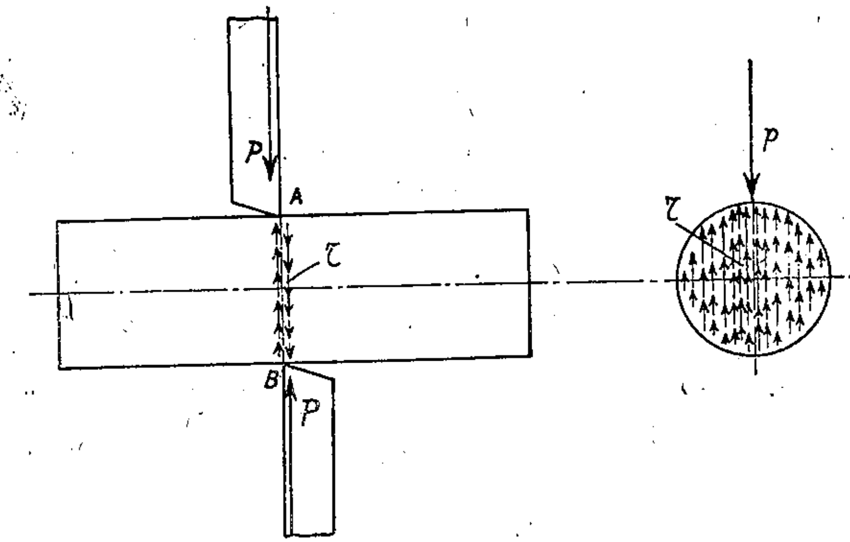
$$P = c. \; \tau \; F \quad \text{kg} \; \ldots\ldots\ldots \; (40) \text{ olur.}$$

c bir katsayı olup aşağıdaki değerleri alır:

(Çizelge 5)

Kesit yüzeyinin şekli	c Katsayısı	Formül
~~Dayire~~ Daire	$\frac{2}{3}$	P = 2/3. τ .F
Dik dörtgen	$\frac{3}{4}$	P = 3/4. τ .F
İçi boş dayire	$\frac{1}{2}$	P = 1/2. τ .F

Buradaki τ herhangi bir kuvvet tesirinde meydana gelen gerilimdir. Bu gerilmeyi emniyetli gerilim sınırları içinde kabul edersek bulunur.

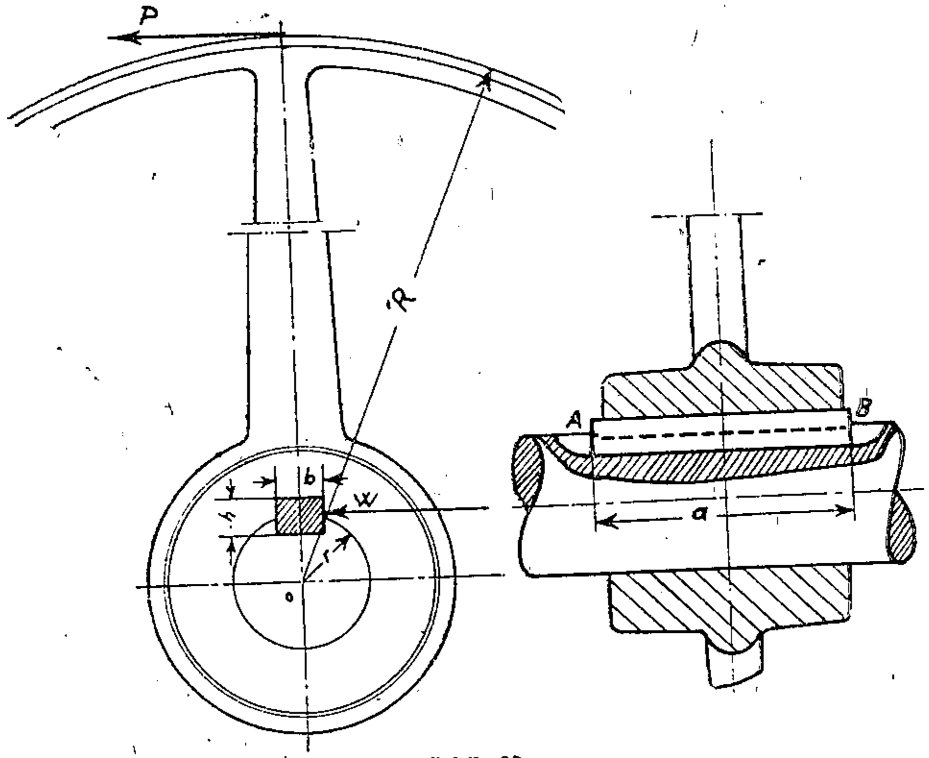


Şekil: 32

Kesme dayanımına göre hesap edilen elemanlar

A. Kamaların dayanımı:

Kamalar dişli çark, kasnak, volan, kavrama v.s. gibi elemanları millere bağlıyarak, beraberce dönmelerini sağlıyan parçalardır. Şekil: 33 de böyle bir bağlantı görülmektedir.



Şekil: 33

Kasnağa teğet olarak tesir eden P kuvveti, mile teğet olarak W kuvvetini meydana betirir.

$$W = \frac{P \cdot P}{r} \text{ kg. dır.}$$

W kuvveti kamayı AB doğrusu boyunca kesmeye çalışır. Kamanın kesme emniyet gerilimi τ_{em} ise:

$$\tau_{em} = \frac{W}{F} = \frac{W}{a \cdot b} \text{ kg/cm}^2$$ olur. W kuvvetinin yerine eşitini yazacak olursak:

$$\tau_{em} = \frac{P \cdot R}{a \cdot b \cdot r} \text{ kg/cm}^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (42)$$ neticesi

bulunur.

Kasnağa teğet olan P kuvveti milin ilettiği güçle alâkalıdır. P kuvvetinin yerine milin ilettiği güç ve devir sayısı verilirse, P.R değeri döndürme momenti olduğundan:

$$P \cdot R = 71620 \cdot \frac{N}{n} \text{ kg. cm} \quad \text{-------------} \quad (43) \text{ dir.}$$

Dayanımı formülümüzde:

$$\tau_{em} = \frac{71620 \cdot N}{r \cdot a \cdot b} \text{ kg/cm}^2 \quad \text{-------------} \quad (44) \text{ olur).}$$

Yukardaki formülde N, BG olarak gücü, r mil yarı çapını, a ve b kama boyutlarını, n ise milin dakikadaki devir sayısını gösterir.

Kamaların emniyet katsayıları ilettikleri güçlerden ziyade, kasnağa etki eden kuvvetin şekline göre değişir. Kamalarda emniyet katsayısı 1,5-4,5 arasında alınır.

Kesme gerilmesinin herhangi bir gereçteki elâstiklik modülünün değeri, aynı gerecin çekme veya basma elâstiklik sınırının yarısı olarak kabul edilir. Buna göre emniyetli kesme gerilimi:

$$\tau'_{em} = \frac{0{,}5 \cdot \text{Çekme elâstiklik sınırı}}{\text{Emniyet katsayısı}} \quad \text{-------------} \quad (45) \text{ olur.}$$

Örnek problemler:

1. Kopma gerilimi 4000 kg/cm² olan gereçten, 5 mm kalınlık ve 100 mm genişlikteki parçayı kesebilmek için gerekli kuvvet kaç kg. dır?

Çözüm:

40 numaralı formülden $P = c \cdot \tau_{max} \cdot F$ olduğundan,

$c = 3/4$ olarak 5 numaralı çizelgeden alınırsa,

$\tau_{max} = 4000$ kg/cm² kesilmede kopma gerilmesi,

$F = 0{,}5 \cdot 10 = 5$ cm² bulunacağından, formüldeki yerlerine konulursa:

$P = 3/4 . 4000 . 5 = 15000$ kg. bulunur.

Sonuç: Sacı kesmek için 15000 kg. lık kuvvet lâzımdır.

2. Zımba çapı 25 mm olan bir pres yardımiyle deliksiz rondelâ kesilecektir. Kullanılacak sac kalınlığı 2 mm ve sacın kesilmede kopma gerilmesi $\tau_{max} = 3400$ kg/cm² dir. Pres kaç kg. lık bir kuvvetle zımbaya basmalıdır?

Çözüm:

39 numaralı formülden $P = \tau_{max} . F$ dir.

Kesilmeye çalışan yüzey alanı $F = \pi . d.s$ olduğundan,

$P = \tau_{max} . \pi \, d.s = 3400 (3,14)(2,5)(0,2) = 5338$ kg. olur.

Sonuç: Pres 5338 kg. lık kuvvet ile basmalıdır.

3. 400 D/d ile dönen 40 cm. çapındaki bir kasnakla 20 B.G. iletiliyor. Bu kasnağı mile bağlıyan kamanın genişliği, boyunun 1/10 dir. Mil çapı 6 cm. kama kesilme emniyet gerilimi 100 kg/cm olduğuna göre kama boyutlarını bulunuz.

Çözüm:

$a/b = 1/10$ dan $b = 10.a$ olur.

4 numaralı formülden $\tau_{em} = \dfrac{71620 . N}{r . a . b . n} = \dfrac{71620 . N}{r . 10 . a^2 . n}$ yazılır.

Buradan $a = \sqrt{\dfrac{71620 . N}{r . 10 . \tau_{em} . n}} = \sqrt{\dfrac{71620 . 20}{3.10.100.400}} = 1,1$ cm bulunur.

$b = 10.a = 10.11 = 110$ mm bulunur.

Sonuç: Kama genişliği 11 mm, kama boyu 110 mm. dir.

B. Perçinlerin dayanımı:

Perçinler genel olarak saç levha veya uygun kirişlerin biribirleriyle sökülmemek üzere bağlanmalarında kullanılan silindirik elemanlardır.

Bir perçinleme işleminin yapılabilmesi için kullanılacak perçinlerin, taşıdıkları yüklere ve perçinlenecek parçaların iriliklerine göre, çapının tâyin edilmesi, bulunan perçin sayısına uygun olarak perçinlenecek parçayı zayıflatmadan gereken yerlerine perçin delikleri delinmelidir. Delinen delikten perçinin sokulup, başsız ucunun velinmelidir. Delinen delikten perçinin sokulup, başsız ucunun veya her iki ucunun çekiçlenerek şişirilmesinden sonra, perçinleme işlemi biter.

Perçinleme teknik bakımdan üç kısma ayrılır: (Yapım tekniği bakımından).

1. Sıkı perçinleme.
2. Kuvvetli perçinleme.
3. Sıkı ve kuvvetli perçinleme.

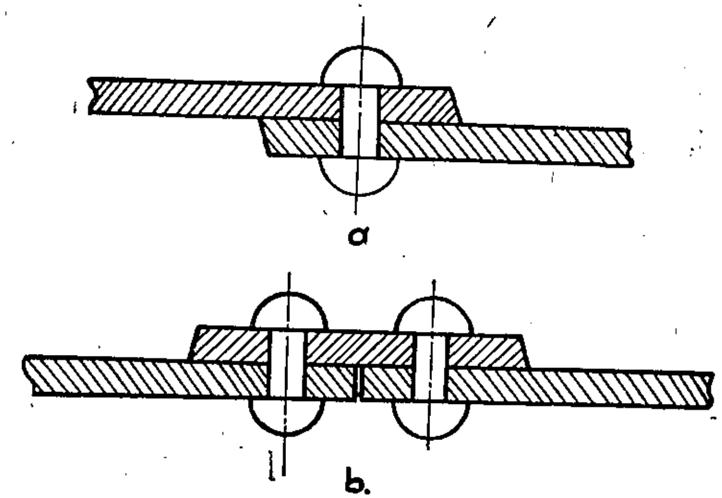
1. Sıkı perçinleme: Gaz, benzin, su ve yağ gibi sıvıların bulundukları kablara yapılan perçinlerdir. Perçinlenecek sacların baş kısımları 1/3 eğiminde kesilir. Perçinlemeden sonra bu kısımlar çekiçlenerek sıkıştırılır.

2. Kuvvetli perçinleme: Yalnız kuvvetlere karşı emniyetle dayanması istenen köprü, vinç gibi sistemlerin çeşitli kirişlerini perçinlemeye kuvvetli perçinleme denir. Perçinlenen parçaların ek yerleri dövülmez.

3. Sıkı ve kuvvetli perçinleme: Buhar kazanları gibi iç basıncı dolayısiyle meydana gelecek yüklere dayanacak ve hem de içindeki akışkanları kaçırmayacak şekilde yapılan perçinlerdir.

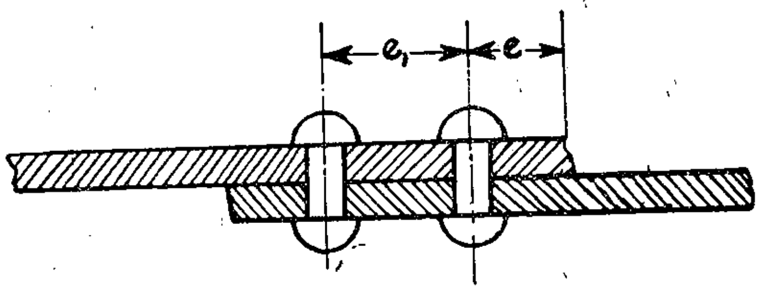
Bunlardan başka perçinlemeyi:

1. Yapılışlarına göre: Şekil: 34
   a. Yardımcı levhasız (Bindirme) perçinleme. (a,c)
   b. Yardımcı levhalı perçinleme. (b,d)

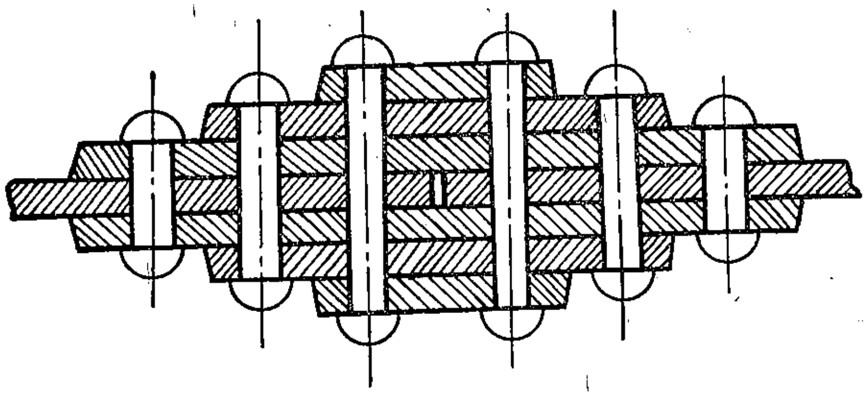


Şekil: 34

2. Perçin sıra sayılarına göre: Şekil: 34
   a. Tek sıralı perçinleme. (a, b)
   b. Çift veya çok sıralı perçinleme. (c, d)

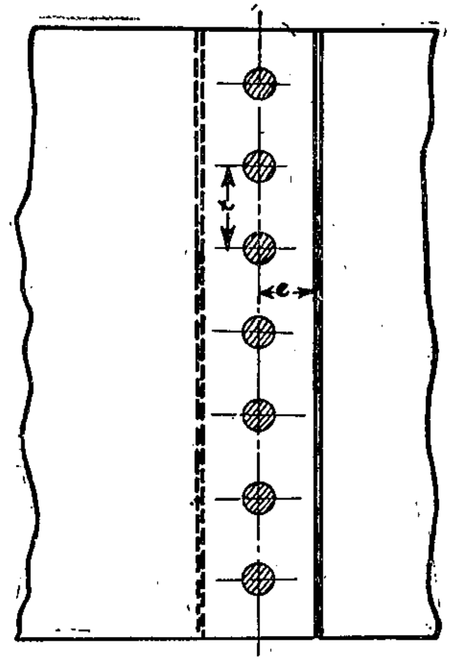


Şekil: 34 — c

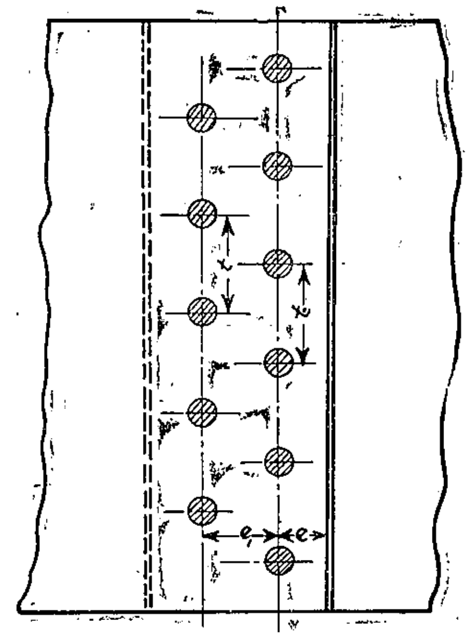


Şekil: 34 — d

3. Perçinleme şekline göre:
   a. Düz perçinleme. Şekil: 35.
   b. Çapraz perçinleme. Şekil: 36.



Şekil: 35



Şekil: 36

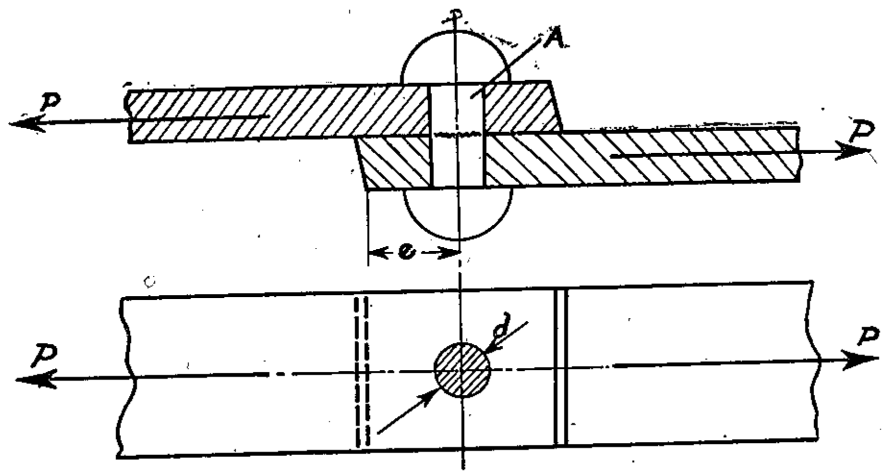
Perçinlerin hesaplanması

a. Tek sıralı perçinleme:

Şekil: 37 de görüldüğü gibi perçinlenen iki parça uçlarından P kuvvetiyle çekilecek olursa biribiri üzerinden kaymalarına A perçini mâni olur. Eğer kuvvetler büyükse perçin, iki sacın birleştikleri yüzeyde bulunan kesitinden kesilir. Bu perçinin dayanmasını istiyorsak kesme gerilimini emniyetli alırız. Dayanım denklemimiz, perçin çapı d ise:

$P = \tau_{em} \cdot F = \tau_{em} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$ olur. Eğer bir sırada n tane perçin varsa kesilme gerilimi:

$$\tau_{em} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2 \cdot n} \quad kg/cm^2 \quad \ldots\ldots \quad (46) \text{ olur.}$$



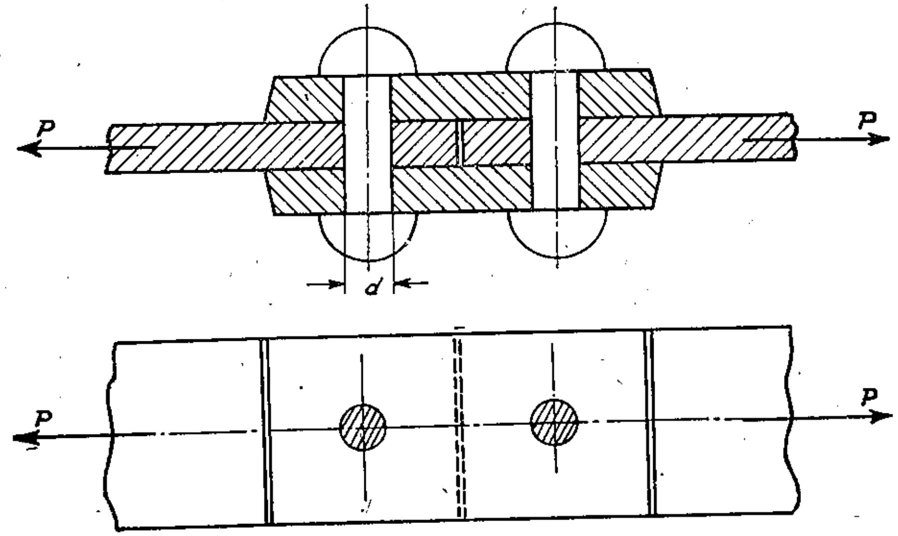
Şekil: 37

b. Çift sıralı perçinleme: Bu şekilde perçinlemede bir adımdaki perçinlerin (Bir sıradaki iki perçin arasındaki mesafeye perçin adımı denir.) Taşıyabilecekleri kuvvet:

$$P = \tau_{em} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \text{ kg.}$$ Bir sırada n tane perçin varsa:

$$P = \tau_{em} \cdot n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \text{ kg} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (47) \text{ olur.}$$

c. Yardımcı parçalı perçinleme: Şekil: 38.



Şekil: 38

Her perçinde kesilmeye çalışan iki yüzey bulunduğundan dayanım denklemi: Bir adım için,

$$P = \tau_{em} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 2 = \tau_{em} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \text{ kg.}$$ olur. Her sırada n perçin varsa:

$$P = \tau_{em} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 2 \cdot n \text{ kg} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (48) \text{ dır.}$$

ç. Çok sıralı perçinleme: Çok sıralı perçinlemede dayanım formülü şu şekli alır: (bir adım ve bir kesitli perçinlemeler için)

$$P = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot a \cdot \tau_{em} \text{ kg.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (49)$$

Her sırada n perçin varsa: (Perçinlemenin taşıyacağı yük)

$$P = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot a \cdot n\, \tau_{em} \text{ kg.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (50) \text{ olur.}$$

Çok sıralı perçinlemede daha ziyade yardımcı parça kullanıldığı için yukarda ifaler yardımcı levhalı ve çok sıralı perçinlemelere aittir. Bu formüldeki: a sıra sayısı, n perçin sayısı (sıradaki), d perçin çapıdır.

Buhar kazanlarının perçin hesabı

Buhar kazanlarındaki perçin hesabı yapılırken dikkat edilecek noktaları iki bölümde inceleriz.

1. Perçinleri zorlayan kuvveti bulmak.

2. Bu kuvveti karşılayan ve kesilmeye çalışan perçin ve kesiti sayısını tâyin etmek.

Hesap edeceğimiz kazanın çok defa işletme basıncını biliriz, buradan perçinleri zorlayan kuvveti hesap ederiz.

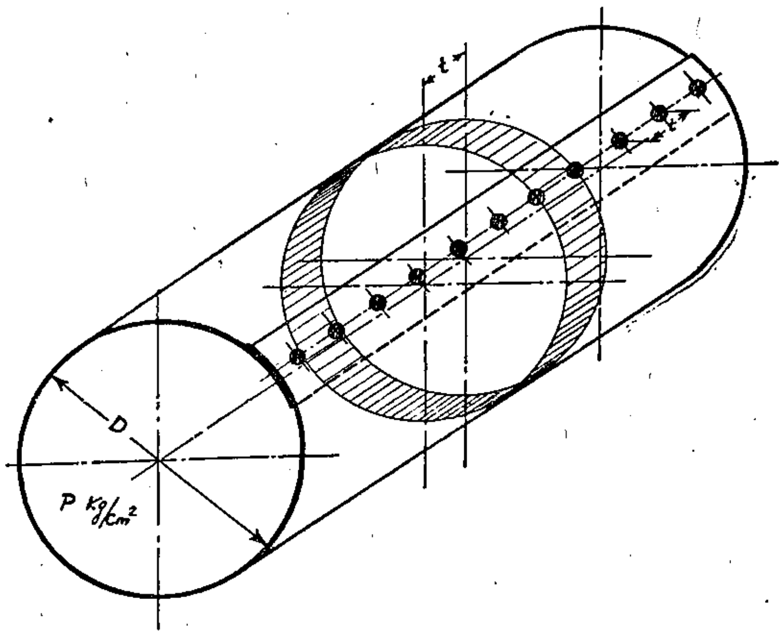
Perçin sayısını, perçin çapı, kazan boyu ve taşıyacakları yüke göre tâyin ederiz. Perçin adımı, perçin çapına göre:

En küçük $t = 2{,}5.d$

En büyük $t = 6.d - 8.d$ alınmalıdır. Pratikte ve kazan perçinlerinde $t = 3.d$ alınır.

Kazanlarda perçinlerin yerleri tertiplenirken çapraz perçinlemeye göre tertiplenir. Perçinlerin arka arkaya sıralanması hem sızdırmazlık ve hem de kuvvet paylaşmaları bakımından hatalı olduğunu pek çok müeseseler kabul etmiştir. Perçin çapı ile kazan sacı kalınlığı arasındaki bağıntı 6 No. lu çizelgeden perçinleme şekline göre, alınabilir. Aşağıdaki hesaplamalarımızda buraya kadar bahsettiklerimiz arasında bağıntı kurarak kazan perçinleri konusunu bitireceğiz.

Kazan perçinlerini, kazan eksenine paralel ve kazan eksenine dik doğrultusu perçin dikişleri diye iki kısımda inceliyeceğiz. Kazanı büyük çaplı bir boru haline getiren son perçin dikişi, kazan eksenine paralel doğrultulu dikiş, başlarını kapatan kapaklara yapılan dikişler ise kazan eksenine dik doğrultulu perçin dikişleri adını alır. Şekil: 41. ise kazan eksenine dik doğrultulu perçin dikişleri adını alır. Şekil: 39 - 41.



Şekil: 39

a. Kazan eksenine paralel doğrultulu dikişler: (Kazan Boy dikişleri).

Bir kazanın iç basıncı p, çapı D, boyu L olduğuna göre kazanı zorlayan kuvvet 23 No. lu formüle göre P=p.L.D idi. Kazan perçin hesaplarında bütün kazan boyunca meydana gelen kuvvet değil de, yalnız bir adımına düşen kuvvete göre hesaplama yapılır. Şu halde bir adımdaki kuvvet P=p.D olur. Bu kuvvet perçinlenen sacı iki

tarafından çekeceği için, adımdaki perçinleri zorlayan kuvvet:

$$P = \frac{1}{2} \cdot p \cdot t \cdot D \ \text{kg} \ldots\ldots (51) \text{ olur.}$$

Tek sıralı perçinlemede adımda bir perçin,
İki " " " iki " ,
Çok " " " n " , olduğu kabul edilir. Her perçinde kesilmeye çalışan yüzey sayısı c ise dayanım formülü, perçin kesilme emniyet gerilimi τ_{em} olacağından:

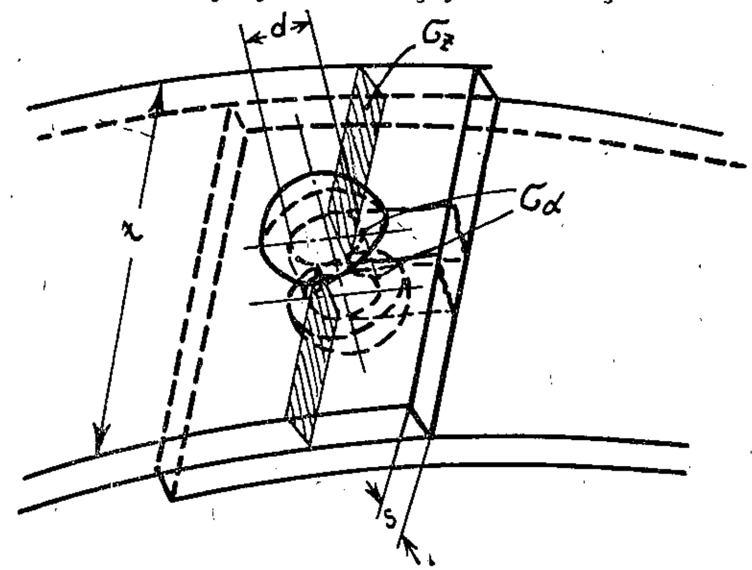
$$\text{Tek sıralı perçinlemede } \tau_{em} = \frac{\frac{1}{2} \cdot p \cdot D \cdot t}{c \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{p \cdot D \cdot t \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot c \cdot d^2} \text{kg/cm}^2 \ldots (52)$$

Çift ve çok sıralıda:

$$\tau_{em} = \frac{p \cdot D \cdot t \cdot 4}{2 \cdot \pi \cdot c \cdot n \cdot d^2} \ \text{kg/cm}^2 \ldots\ldots (53) \text{ olur.}$$

Perçinlenerek yapılan kazanlarda kazan sacı ile perçinin dayanımları arasında bir ahengin sağlanmış olması gerekir. Bunun için perçinlerin kesilme hesabı yanında, kazanı meydana getiren sac levhaların, perçin deliklerinin delindiği kısımda, çekilme-basılma hesapları yapılır.

Şekil: 40. da görülen perçinlemede sac, iç basıncın meydana getirdiği kuvvetler dolayısiyle taranmış yerlerden çekilerek kopmaya



Şekil: 40

çalışır. Perçin deliklerinde basılmaya zorlanır. Bu hesaplamalar aşağıdaki denklemler yardımiyle yapılır:

Sacın çekme dayanımı denklemi:

$$\sigma z_{em} = \frac{p \cdot D \cdot t}{2\,(t - d)s} \quad kg/cm^2 \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (54)$$

Perçin deliklerinin basılma dayanımı denklemi:

$$\sigma d_{em} = \frac{p \cdot D \cdot t}{2 \cdot d \cdot s} \; kg/cm^2 \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (55) \text{ olur.}$$

54 No. lu formülden: $s = \dfrac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{zem} \cdot \dfrac{t-d}{t}}$ yazılabilir.

Buradaki $\frac{t-d}{t}$ değerine zayıflama katsayısı denir ve φ (fi) ile gösterilir. Ve sacın korozyona karşı kalınlığı 0,1 cm. arttırılır.

Böylece perçin deliklerinin sacı zayıflatması ve korozyona karşı dayanıklığın artırılması göz önüne alınmış olur ve denklemimizde aşağıdaki şekli alır:

$$\text{Kazan sac kalınlığı } s = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma z_{em} \cdot \varphi} + 0{,}1 \text{ cm} \; \ldots\ldots \; (56) \text{ olur.}$$

Buhar kazanlarında tek sıralı ve bindirme perçinler yeter derecede sızdırmazlık sağlıyamazlar. Bindirme ve çok sıralı perçinlemelerde büyük eğilme gerilmeleri meydana getirirler. Bunların yerine iki yardımcı levhalı ve en az iki sıralı perçinlemeler yapılır. Aşağıdaki 6 numaralı çizelge kazan perçinleri için gerekli bilgileri vermektedir.

Buhar kazanları perçin çizelgesi

(Çizelge 6)

	Bindirme bir kesitli iki sıralı perçin (Çevre dikişi)	İki Yardımcı levhalı, iki kesit ve iki sıralı perçin (Boy dikişi)	2 yar. levhalı, iki kesitli, üç sıralı perçin (Boy dikişi)
Perçin çapı Cm.	$d = \sqrt{5 \cdot s} - 0{,}4$	$d = \sqrt{5 \cdot s} - 0{,}6$	$d = \sqrt{5 \cdot s} - 0{,}7$
Sac başı ile ilk sıra perçin arası mesafesi	$e = 1{,}5 \cdot d$	$e = 1{,}5 \cdot d$	$e = 1{,}5 \cdot d$
Sıralar arası mesafesi	$e_1 = 0{,}6 \cdot t$	$e_1 = 0{,}5 \cdot t$	Sıralar arası eşit. $e_1 = \frac{3}{8} \cdot t$
Perçin adımı	$t = 2{,}6 \cdot d + 1$	$t = 3{,}5 \cdot d + 1$	Dış sıradaki t $t = 6 \cdot d + 1$
Bir adımdaki perçin sayısı	2	2	5 — 6
Zayıflama katsayısı (φ)	0,66 — 0,68	0,75 — 0,77	0,84
p. D için alınacak değer	2000	3000	4600

b. Kazan eksenine dik doğrultulu dikişler: (Çevre dikişleri)

Perçinleri kesmeye zorlıyan kuvvet: Şekil: 41.

$$P = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \quad kg. \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (57) \text{ dir}$$

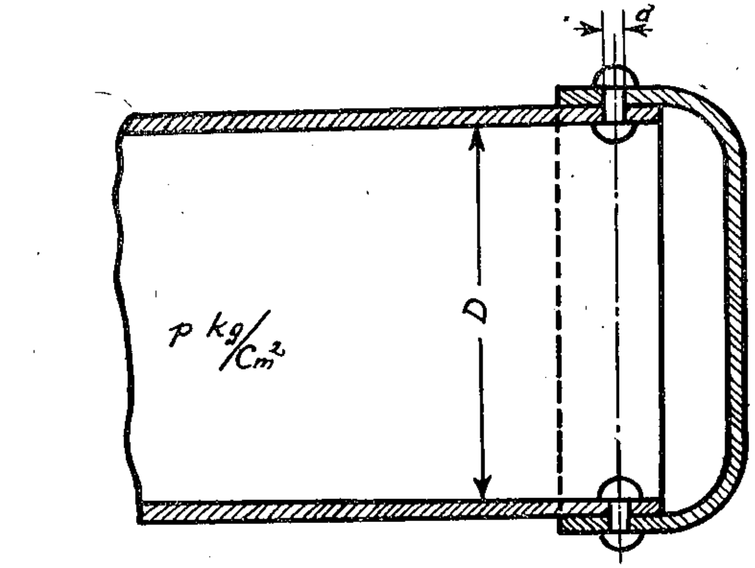
Bu tip perçinleme çok defa bindirme yapılır:

Her sırada n tane perçin varsa:

Tek sıralıda dayanım denklemi

$$\tau_{em} = \frac{D^2 \cdot p}{d^2 \cdot n} \; kg/cm^2 \; \ldots\ldots \; (58) \text{ dır.}$$

$$d = \sqrt{\frac{D^2 \cdot p}{n \cdot \tau_{em}}} \; cm. \; \ldots\ldots\ldots \; (59) \text{ perçin çapı olur.}$$



Şekil: 41

İki sıralıda dayanım denklemi:

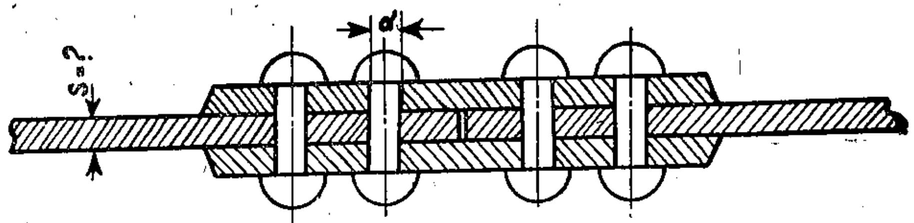
$$\tau_{em} = \frac{D^2 \cdot p}{2 \cdot d^2 \cdot n} \quad kg/cm^2 \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (60)$$

Perçin çapı:

$$d = \sqrt{\frac{D^2 \cdot p}{2 \cdot \tau_{em} \cdot n}} \quad cm \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (61) \text{ olur.}$$

Örnek problem:

Şekil: 42 de görüldüğü gibi, yardımcı levhalı ve çift sıralı perçinleme 10 kg/cm² basınçla çalışan 180 cm çapında bir kazana ait-



Şekil: 42

tir. Perçin kesilme gerilimi $\tau_{em} = 400$ kg/cm², kazan sacının çekilme emniyet gerilmesi $\sigma_{zem} = 600$ kg/cm², perçin deliklerinin basınç emniyet gerilmesi $\sigma_{dem} = 900$ kg/cm² olduğuna göre perçin çapı ve kazan sacı kalınlığı ne olmalıdır?

Çözüm:

51 No. lu formülden $P = 1/2 . p . D . t$ dir. $t = 3d$ alınabileceğinden

53 No. lu formülden $\tau_{em} = \frac{4 \cdot p \cdot D \cdot t}{2 \cdot \pi \cdot c \cdot n \cdot d^2}$ den $d = \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot D \cdot 3}{\pi \cdot c \cdot n \cdot \tau_{em}}}$ dir.

Perçinde kesilmeye çalışan yüzey $c = 2$, Sıra sayısı $n = 2$ olduğundan

$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 180 \cdot 3}{3{,}14 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 400}} = 2{,}25 \text{cm olur.}$$

Kazan sacı kalınlığı:

56 No. lu formülden $s = \frac{p \cdot D}{2 \cdot \sigma_{zem} \cdot \varphi} + 0{,}1$ olur.

$$s = \frac{10 \cdot 180}{2 \cdot 600 \cdot \frac{2}{3}} + 0{,}1 = 2{,}35 \text{ cm} \quad \Big| \quad \varphi = \frac{3d - d}{3d} = \frac{2}{3} \text{ bulunacağından.}$$

Sonuç: Perçin çapı 2,25 cm. Kazan sacı kalınlığı 2,35 cm dir.

Perçin deliklerinin basılma dayanımı kontrol hesabını yapalım:

$1/2 . p . D . t = \sigma_{dem} \cdot d \cdot s \cdot 2$ yazılabileceğinden; sağ tarafın büyük netice vermesi halinde perçinleme emniyetlidir denir.

$1/2 . 10 . 180 . 3 . 2{,}25 = 900 . 2{,}25 . 2{,}35 . 2$

$1/2 \cdot 10 \cdot 180 \cdot 3 \cdot 2{,}25 = 900 \cdot 2{,}25 \cdot 2{,}35 \cdot 2$

$2{,}25 \neq 2{,}35$ olduğundan perçinleme emniyetlidir.

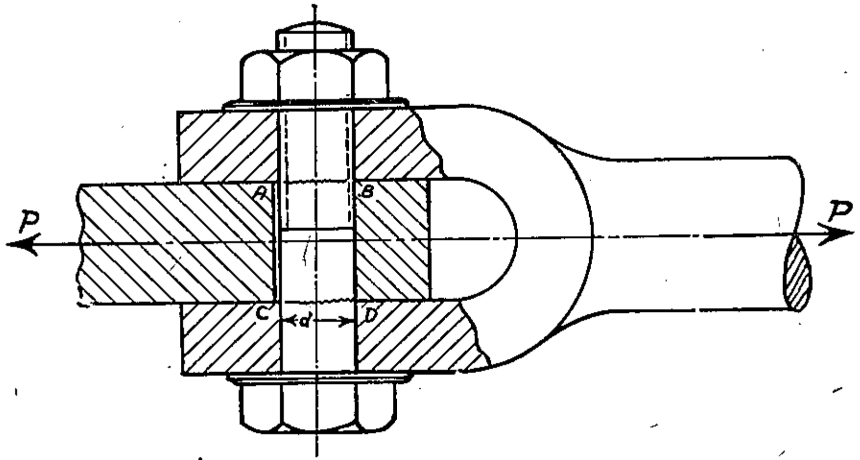
C. Cıvataların kesilme hesapları:

Şekil: 43 de görülen cıvata, aynı perçinler gibi hesaplanır. A,B ve C,D kesitlerinden kesilmeye çalışır. Dayanım denklemi: cıvata çapı d ise,

$$\tau_{em} = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot d^2} \quad kg/cm^2 \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (62),$$

τ_{em}, kesilme emniyet gerilimidir. Cıvata çapı:

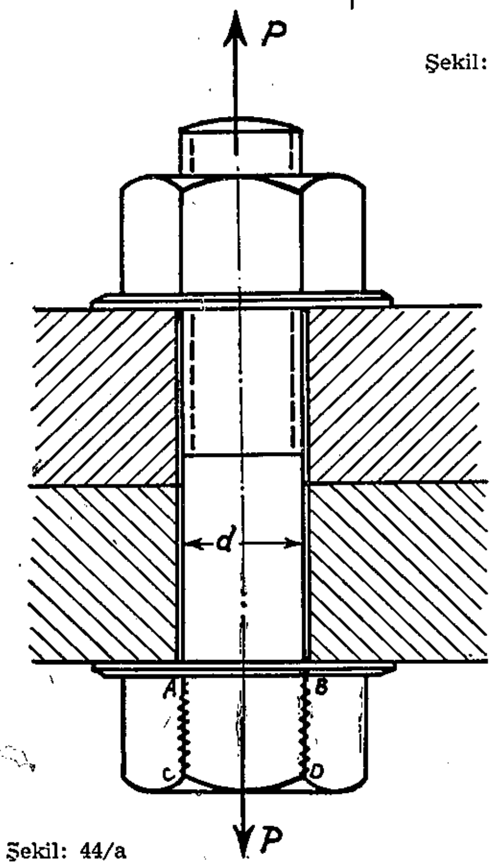
$$d = \sqrt{\frac{2 \cdot P}{\pi \cdot \tau_{em}}} \quad cm \; \ldots\ldots\ldots\ldots \; (63) \text{ olur.}$$



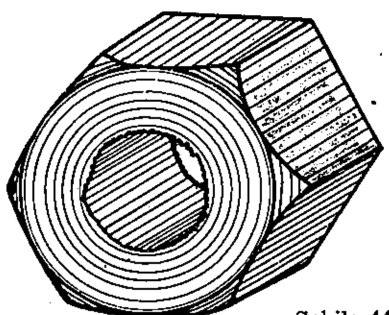
Şekil: 43

Eğer kuvvet cıvata ekseni doğrultusunda etki ederse, cıvata başı ve somun kesilmeye hesaplanırlar. Şekil: 44. Meselâ:

Cıvata başı, P kuvveti tesiriyle, ABCD silindirik yüzeyinden kesilmeye çalışır. Kuvvet yeter derecede ise cıvata gövdesi Şekil: 44. b de görüldüğü gibi sıyrılıp çıkar. Dayanım hesabına temel formül:



Şekil: 44/a



Şekil: 44/b

$$P = \tau_{em} \cdot \pi \cdot d.h \quad kg \quad \ldots\ldots\ldots \quad (64)$$ olur.

h = Cıvata başı yüksekliğidir.

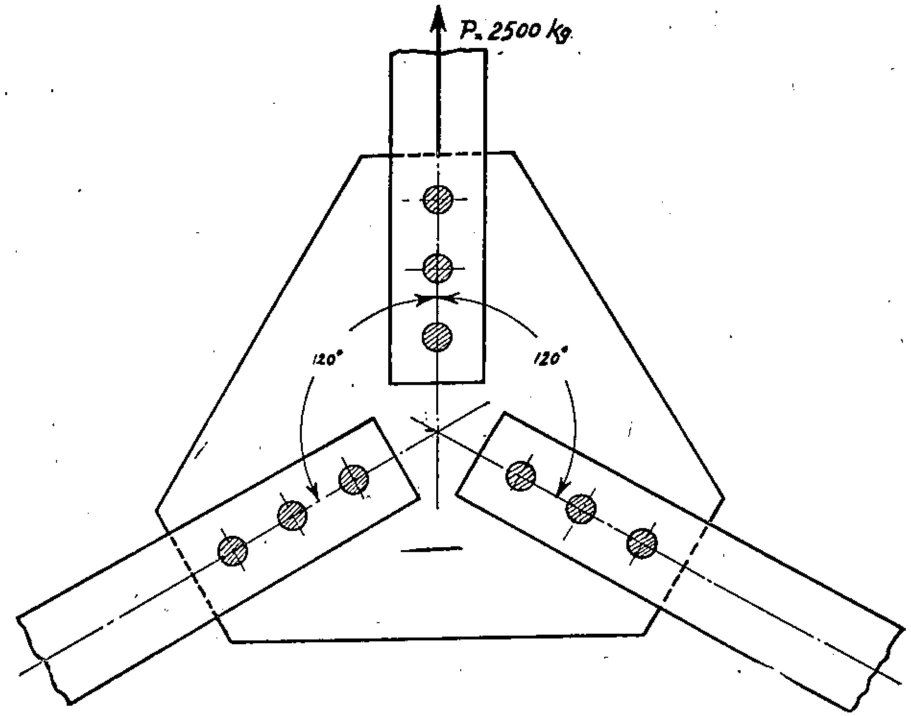
Çözülecek problemler:

1. 50 HP ileten 8 cm. çapında bir mile, kesilme emniyet gerilimi 150 kg/cm² olan gereçten 10 cm boyunda bir kama konulacaktır. Mil 200 Dev/Dak. ile döndüğüne göre kama genişliği ne olmalıdır.

Cevap: a = 17,5 mm (Norm cetvelinden a = 20 mm olan kama seçilir.)

2. Üç lâma Şekil: 45 de görüldüğü gibi biribirine üç cıvata ile bağlanmıştır. Lâmalar şekildeki gibi yüklenip dengede kaldıklarına ve cıvataların kesilme emniyet gerilmesi 400 kg/cm² olduğuna göre çapları ne olmalıdır?

Cevap: d = 16,3 mm (M18 veya 11/16" cıvata seçilir.)



Şekil: 45

3. 150 cm. çapında bir kazan 8 atmosfer basınca dayanmaktadır. Kazan sacı kalınlığı 15 mm. dir ve bindirme çift sıra boy dikişi yapılmıştır.

a) Perçinlerdeki kesilme gerilimini,

b) Kazan sacındaki çekilme emniyet gerilmesini,

c) Levha ve perçinler çekilme kopma gerilmesi 4200 kg/cm² olan gereçten yapıldığına göre, perçinlerin ve kazan sacının emniyet katsayılarını bulunuz.

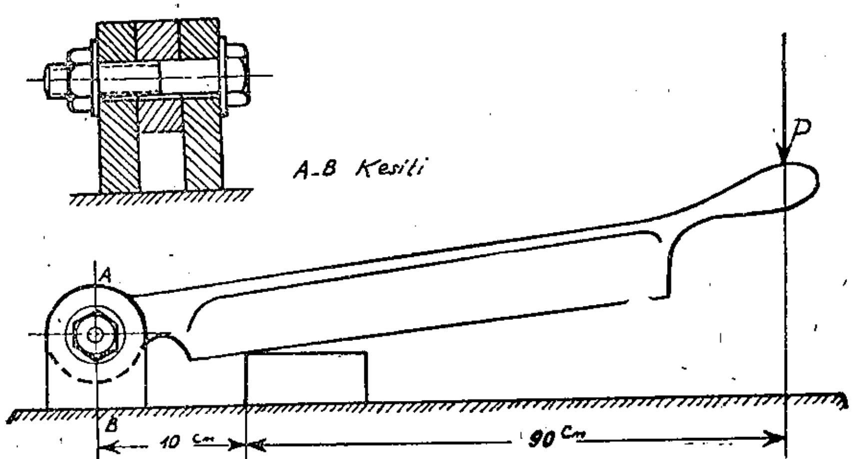
Not: 6 numaralı çizelgeden faydalanınız. Kesilmede kopma gerilimi, çekme kopma geriliminin 2/3 kabul edilmelidir.

Cevap: a) $\tau_{em} = 502,5$ kg/cm² b) $\tau_{zem} = 630$ kg/cm²

c) Perçinlerin em. katsayısı $= 5,6$
Kazan sacı " " " $= 6,7$

4. Şekil: 46 da görülen makas A noktasından 10 mm çapında bir cıvata ile başlanmıştır. Cıvatada 300 kg/cm² lik kesilme geriliminin meydana gelmesi için P kuvveti kaç kg. olmalıdır?

Cevap : P = 26,16 Kg.

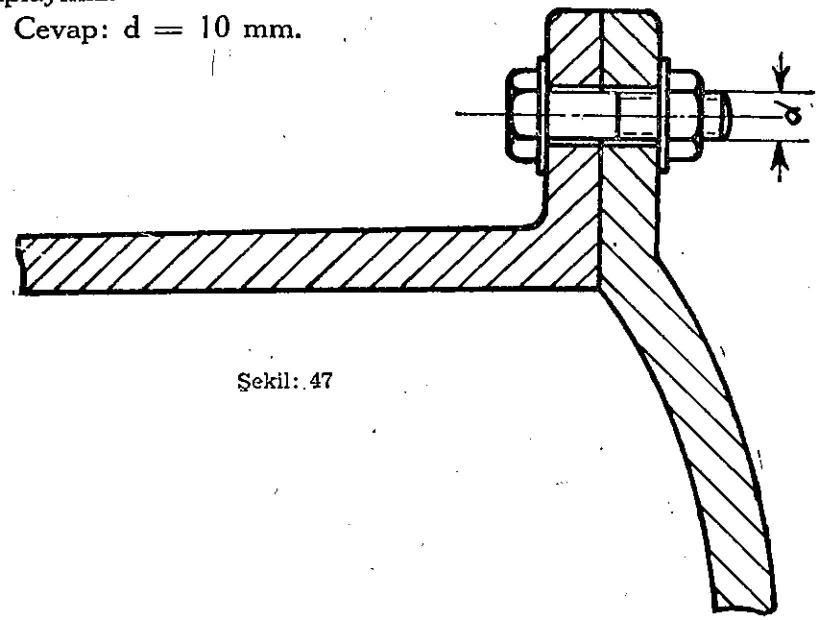


Şekil: 46

5. Bir kazan kapağı Şekil: 47 de görüldüğü gibi, kesilme emniyet gerilmesi 450 kg/cm² olan 30 tane cıvata ile bağlanmıştır. Kazan iç basıncı 15 atmosfer ve kazan çapı 75 cm. dir. Somun emniyetlidir.

Cıvata başı 0,8. d yüksekliğinde ise cıvata çapını kesilmeye göre hesaplayınız.

Cevap: d = 10 mm.



Şekil: 47

EĞİLME DAYANIMI

Bir çubuğu bükmek istediğimizde, bir ucunu her hangi bir yere sıkıştırır, diğer ucuna çubuk ekseni doğrultusunda olmayan kuvveti etki ettirerek çubuğu istediğimiz şekle sokarız. İnce bir ağaç çıtayı kırmak istediğimizde, şu hareketi çok defa yaparız:

Çıtanın bir ucunu elle tutar, diğer ucunu yere koyar ortasına ayağımızla basarak kırarız.

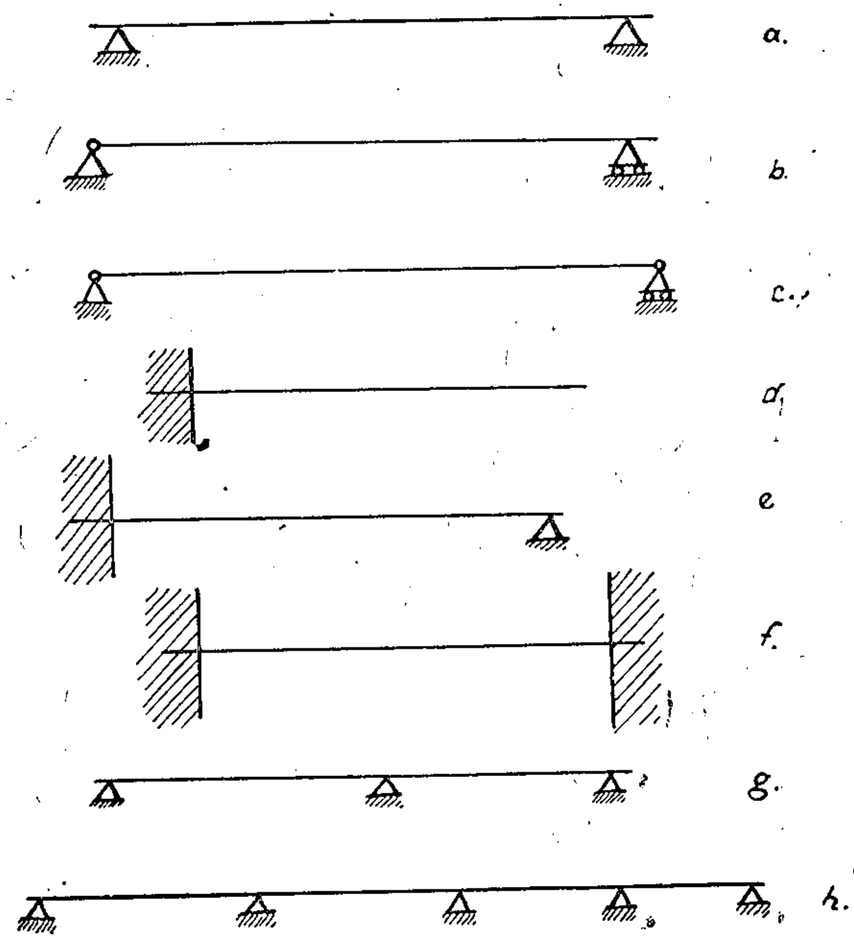
Yukarda yazılı her iki misalde de çubuk evvelâ bir miktar eğilir. Plâstik bir gereçten değilse kırılma olur veya kalıcı bir şekil değişmesi meydana gelir.

Teknikte bir çok makina parçası ve çeşitli kirişler böyle kuvvetlerle yüklüdürler. Bu konuda böyle elemanların basit eğilme hesaplarını yapacağız.

Kirişlerin bağlanmalarına göre sınırlandırmaları

Kirişlerin uc kısımlarının bağlanmalarına veya dayatılmalarına göre isimlendirilmesi Şekil: 48 de görülmektedir.

Kirişin durumu:



Şekil: 48

İ s m i:

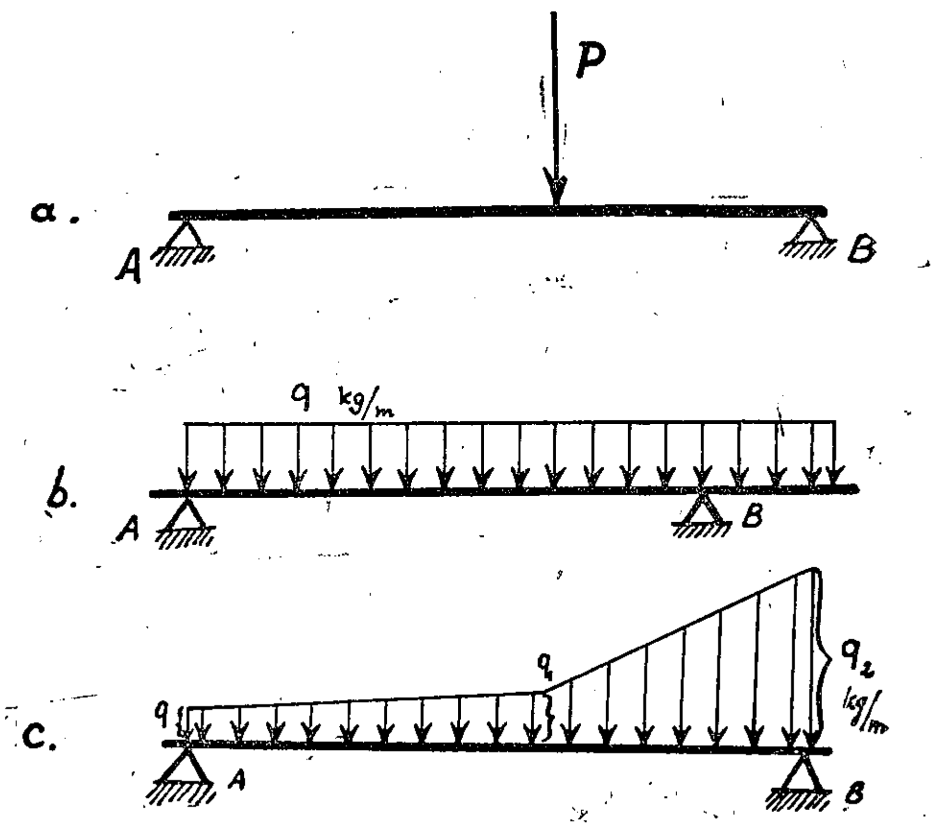
a. İki ucu dayatılmış kiriş.
b. Bir ucu pimli, diğer ucu dayatılmış kiriş
c. İki ucu pimli kirişler
d. Bir ucu ankastre, diğer ucu serbest kiriş
e. Bir ucu ankastre diğer ucu dayatılmış kiriş
f. İki ucu akastre kiriş
g. Üç mesnetli kiriş
h. Çok mesnetli (Devamlı) kiriş

Kirişlere etkiyen kuvvetler:

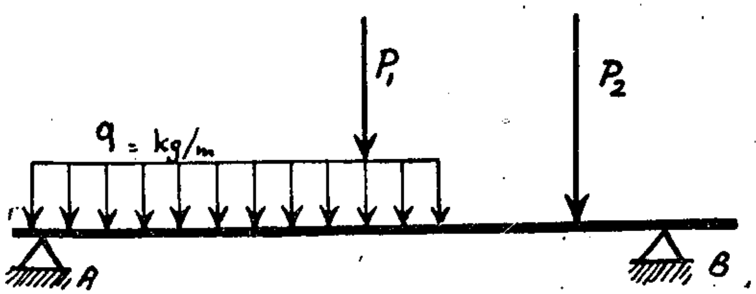
Kirişlere etkiyen kuvvetleri üç kısma ayırırız. Şekil: 49

1. Kirişin bir noktasına tesir eden kuvvetler. Şekil: 49. a
2. Kirişin belirli bir uzunluğunun her noktasına etki eden kuvvetler. (Yayılmış yük.)
   a. Etki ettiği uzunluğun her noktasına eşit şiddette tesir eden yükler. (Düzgün yayılmış yük) Şekil: 49. b
   b. Etki ettiği uzunluğun her noktasına değişik şiddette tesir eden yükler. (Değişen yayılmış yük) Şekil: 49. c

3. Karışık yükleme. Bir ve iki numaralı maddede söylenen kuvvetlerin beraberce yüklenmeleri hali. Şekil: 49. d



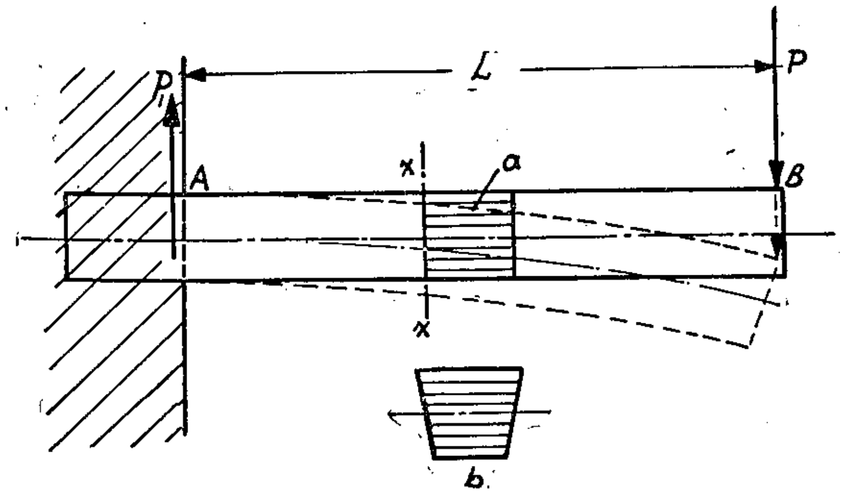
Şekil: 49



Şekil: 49/d

Kirişlerin eğilme dayanımı:

Şekil: 50 de görülen bir ucu ankastre diğer ucu serbest kiriş, herhangi bir P kuvvetiyle serbest ucundan etkilensin. Çubuk kesik çizgili gösterilen durumda eğilecektir. Kırılma meydana gelmezse dengede kalacaktır.



Şekil: 50

Bu durum, P kuvveti tesiri ile A ankastre noktasında meydana gelen P_1 kuvvetinin, P kuvvetiyle bir kuvvet çifti meydana getirmeleri neticesidir.

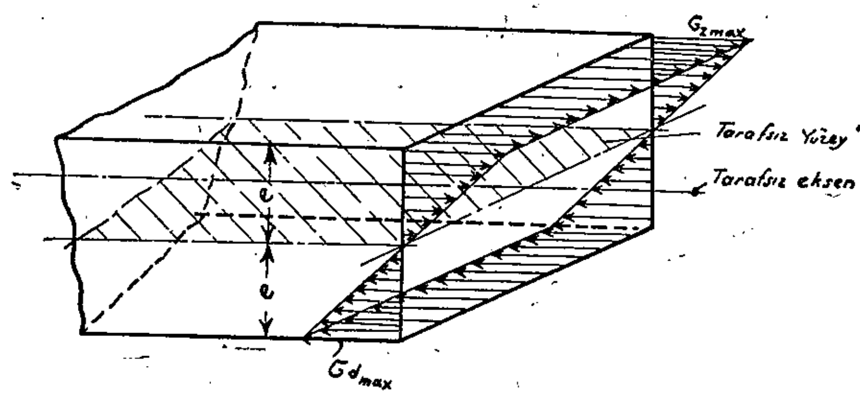
Böyle etkilenen bir kirişte alınan herhangi bir kesitteki iç kuvvetleri incelersek, kirişin hesaplanması kolaylaşacaktır.

Kiriş üzerinde, Şekil: 50. a da görüldüğü gibi, biribirine paralel ve aynı boyda çizgiler çizelim. (Elinizdeki kurşun kalem silgileriniz üzerine aynı şekilde çizgiler çizip burada söylenenleri oradan kolayca ve tatbik ederek öğrenebilirsiniz.) P kuvvetini etki ettirelim. Kuvvetin tesiriyle üst kısımdaki çizgilerin uzadığını, alt kısımdaki çizgilerin kısaldığını görürüz.

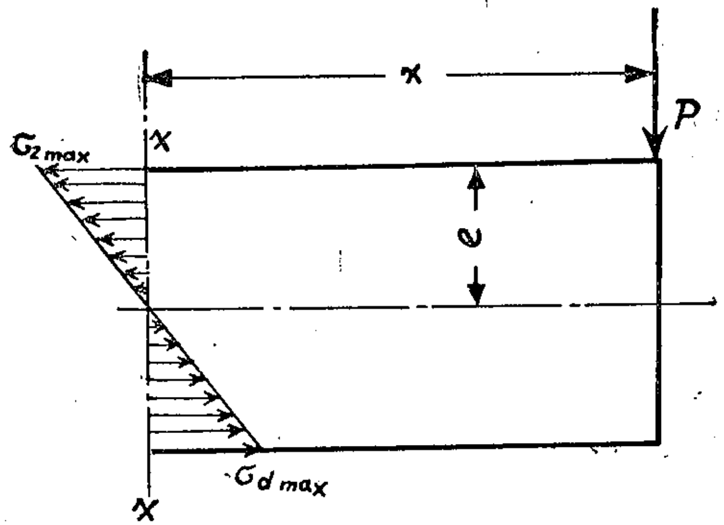
Orta kısma dikkat edip çizgi boylarının ölçerek kontrol edecek olursanız, tam orta kısımda bir çizğinin boyunun hiç değişmediğini görürsünüz.

Çizgilerin boyunun uzadığı kısımda bir uzama dolayısiyle bir çekme çizgi boylarının kısaldığı kısımda ise bir kısalma bunun neticesi olarak da bir basılma meydana geleceği tabiidir. Ortada, boyunda hiç bir değişiklik olmayan çizginin bulunduğu kısımda ise gerilme meydana gelmiyecektir. Gerilmenin değerinin sıfır ve bu çizginin, olduğu, kesit ağırlık merkezinden geçen eksene **"tarafsız eksen"** veya "nötr eksen" adı verilir. Bu ekseni içine alan ve etki eden kuvvete dik olan yüzeye de "tarafsız yüzey" denir.

Şu halde tarafsız eksenin üst tarafında çekme, alt tarafında da basılma olacaktır. Çekilmenin meydana geldiği kısmın tarafsız eksene en uzak noktasında, en büyük çekme gerilimi, basılma tarafının en uzak noktasında en büyük basılma gerilmesi doğacaktır. Bu gerilim dağılışları Şekil: 51 de görüldüğü gibi olacaktır.



Şekil: 51 — a



Şekil: 51/b

Kirişte meydana gelen çekme ve basma gerilmeleri ile tatbik edilen P kuvveti, gelişi güzel kuvvetler durumunda olduklarından, statikde görüldüğü gibi aşağıdaki üç denge denklemi ile hesap edileceklerdir:

$$\Sigma M = O$$
$$\Sigma Py = O$$
$$\Sigma Px = O$$

Bu hesaplama bize:

$M_b = \frac{\sigma_b}{e} \cdot J$ kg. cm. . . . . (65) **denklemini**

verir. Bu ifadeye "eğilme formülü" denir. Diğer bir gösteriliş şekli:

$M_b = \sigma_b \cdot w$ kg. cm. . . . . (66) dir.

65 ve 66 numaralı formüllerde geçen harfler ve birimleri:

M_b = Hesapladığımız kesite göre, P kuvvetinin meydana getirdiği eğilme momentidir. kg. cm.

σ_b = En dış noktalarda meydana gelen çekme veya basma gerilmeleridir. Eğilme gerilimi adını da veririz. kg/cm²

e = Tarafsız eksenden, aynı kestteki en uzak noktaya kadar olan uzaklık. cm.

J = Kesitin ekatoryel (Eksenel) atalet momentidir. cm⁴
W = Aynı kesitin ekatoryel dayanım momentidir. cm³

Yüzeylerin ekoteryel atalet momentleri

Bir düzlem yüzeyin aynı düzlemdeki bir eksene göre atalet momentidir.

Atalet momenti: Şekil: 52 de görülen alan, pek çok düzgün ve çok küçük yüzeyciklerin birleşmelerinden meydana gelmiştir. İşte bu yüzeyciklerin alanları ile atalet momentini alacağımız eksene olan ayrı ayrı uzaklıklarının kareleri çarpımları toplamı bütün yüzeyin atalet momentini verir.

Cebirsel ifadesi:

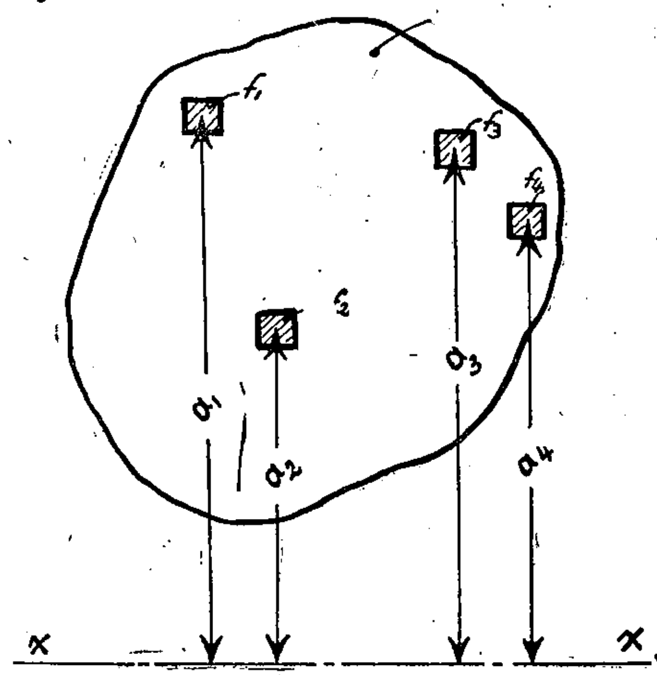
Yüzey alanı: $F = f_1 + f_2 + f_3 + \ldots \ldots f_n$ ise

F yüzeyinin x x eksenine göre atalet momenti:

$J = f_1 \cdot a_1^2 + f_2 \cdot a_2^2 + f_3 \cdot a_3^2 + f_4 \cdot a_4^2 + \ldots\ldots + f_n \cdot a_n^2$

olur. Kısaca yazacak olursak:

$J = \Sigma f \cdot a^2$ cm² . . . . (67) dir



Şekil: 52

Eğer x - x ekseni kesitin ağırlık merkezinden geçerse, ağırlık merkezinden geçen eksene göre katoryel atalet momenti bulunmuş olur.

Ekatoryel atatel momentinin birimi cm^4 dür.

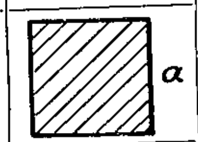
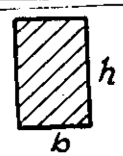
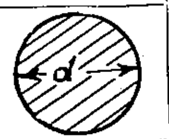
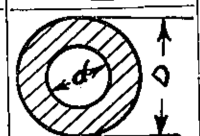
Herhangi bir kiriş kesitinin ekatoryel atalet momentini, tarafsız eksenden en uzak noktanın eksene olan mesafesine bölecek olsak kesitin dayanım (direnç) momentini bulmuş oluruz. Dayanım momenti W harfi ile gösterilir birimi cm^3 dür. Genel ifadesi :

$$W = \frac{J}{e} \quad cm^3 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (68) \text{ dir.}$$

Aşağıdaki çizelgede çeşitli geometrik şekilli kesitlerin ağırlık merkezinden geçen eksene göre ekatoryel atalet ve dayanım momentleri verilmiştir.

Kesitler atalet momentleri

(Çizelge: 7)

Yüzey	Durumu	Atalet monenti $J = Cm^4$	Dayanım momenti $W = Cm^3$
Kare		$\frac{a^4}{12}$	$\frac{a^3}{6}$
Dik dörgen		$\frac{b.h^3}{12}$	$\frac{b.h^2}{6}$
Daire		$\frac{\pi.d^4}{64} = \frac{d^4}{20}$	$\frac{\pi.d^3}{32} = \frac{d^3}{10}$
İçi boş daire		$\frac{\pi.(D^4-d^4)}{64} = \frac{D^4-d^4}{20}$	$\frac{\pi.(D^4-d^4)}{32.D} = \frac{D^4-d^4}{10.D}$
Üçgen		$\frac{b.h^3}{36}$	$W_1 = \frac{b.h^2}{12}, W_2 = \frac{b.h^2}{24}$

Yukardaki çizelge yardımiyle ölçüleri bilinen ve adı geçen yüzeylerin atalet momentleri bulunur. Eğer atalet momenti istenen yüzey bu yüzeylerin bir kaçının birleşmesinden veya birinin tekrarından meydana gelmişse, atalet momentleri belli şekillerin, birleşik yüzeyin tarafsız eksenine göre, atalet momentlerinin toplamı genel şeklin atalet momenti olur. Yalnız, bu birleşik yüzeylerin, biribirinin değişik büyüklükleri durumunda olan normal profil demirleri kesitlerinin atalet, dayanım momentleri ve kesitin ağırlık merkezlerinin yerini veren çizelgeler vardır. Bunlardan gerekli miktarı kitabımızın sonuna ilâve edilmiştir.

Atalet ve dayanım momentleri istenen yüzeyler. I, T, U, köşebent v.s. gibi normal profilli yüzeyler değil de, meselâ: Ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet momenti belli bir dikdörtgenin bu eksene paralel diğer bir eksene göre atalet momenti istenebilir. Bunun neticesini veren bir çizelgede yoktur. Gerekli hesaplamayı aşağıdaki teorem yardımiyle yaparız.

Steiner teoremi

Herhangi bir yüzeyin, aynı düzlem içinde bulunan, herhangi bir eksene göre atalet momenti, bu yüzeyin eksene paralel ve kendi ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet momenti ile, yüzeyin alaniyle eksenler arasındaki mesafenin karesi çarpımları, toplamına eşittir.

Şekil: 53 de görülen yüzeyin ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet momenti J olduğundan, bu eksene paralel n eksenine göre atalet momenti J olursa Steiner teoreminin yukardaki ifadesine göre:

$$J_n = J_x + F \cdot a^2 \quad cm^4 \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (69)$$

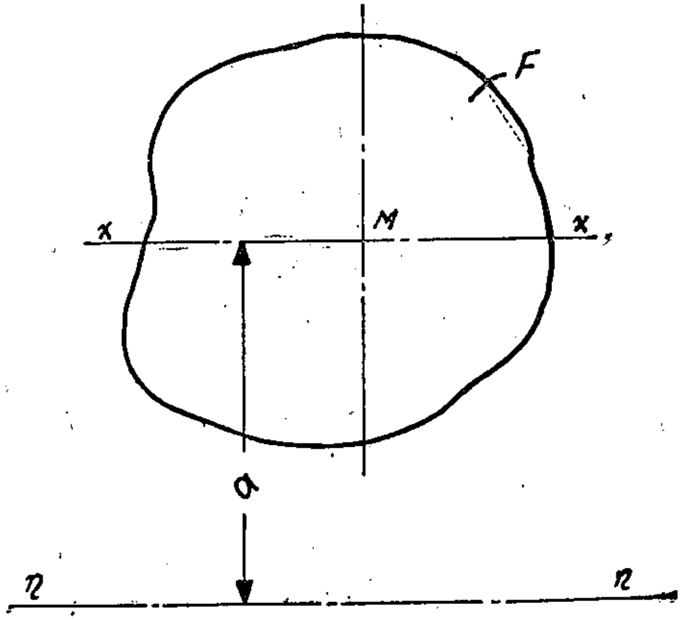
olur.

Bu teorem yardımı ile birleşik yüzeylerin atalet momentleri de kolaylıkla bulunur.

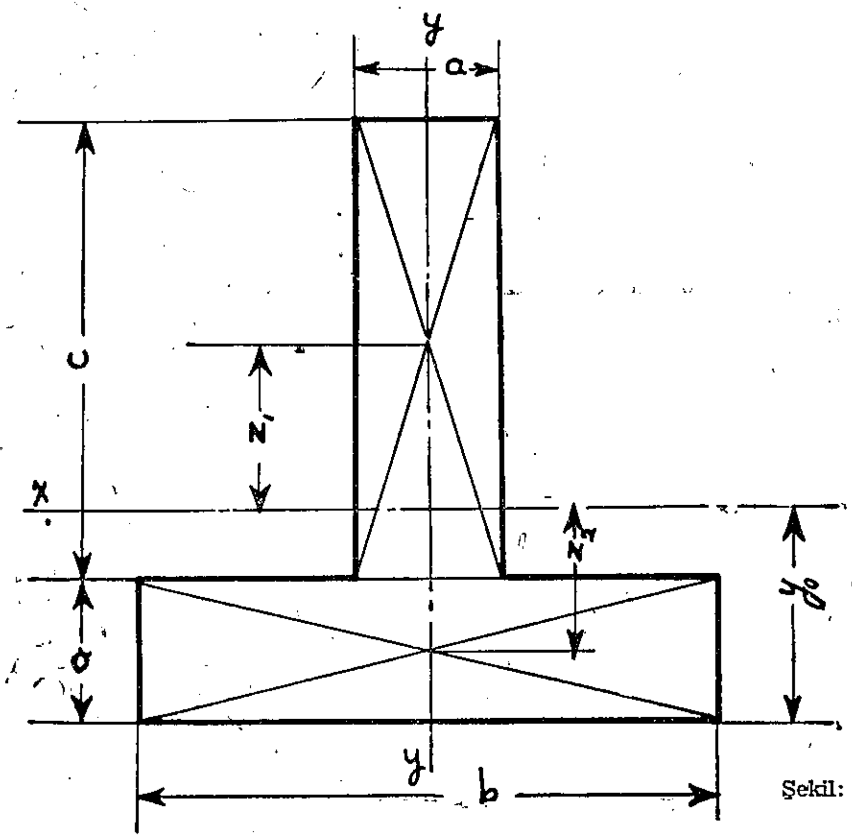
Misal: Şekil: 54 deki kesitin atalet momentini hesap edelim: Atalet momenti birleşik yüzeyin ağırlık merkezinden geçen x ve y eksenlerine göre bulunacaktır.

Bu kesitin istenilen eksenlere göre atalet momentlerini bulabilmek için, tarafsız eksenini bulmamız gerekirse bu eksen de ağırlık merkezinden geçer. Şu halde ilk olarak şeklin ağırlık merkezi bulunur:

Statik bilgilerimizden;



Şekil: 53



Şekil: 54

$$y_0 = \frac{a \cdot b \cdot \frac{a}{2} + a \cdot c \cdot \left(\frac{c}{2} + a\right)}{a \cdot (b + c)} \quad \text{dir.}$$

Ağırlık merkezinin yeri bu şekilde bulunduktan sonra z_1 ve z_2 mesafeleri hesap edilir. Buradan X eksenine göre atalet momenti:

$J_x = \frac{b \cdot a^3}{12} + a \cdot b \cdot z_2^2 + \frac{a \cdot c^3}{12} + a \cdot c \cdot z_1^2$ dır. Dayanım momenti ise:

$$W_{x_1} = \frac{\frac{b \cdot a^3 + a \cdot c^3}{12} + a\,(b \cdot z_2^2 + c \cdot z_1^2)}{y_0} \ \text{cm}^3,$$

$$W_{x_2} = \frac{\frac{b \cdot a^3 + a \cdot c^3}{12} + a\,(b \cdot z_2^2 + c \cdot z_1)}{(a + c) - y_0} \ \text{cm}^3 \ \text{olur.}$$

y eksenine göre atalet momenti:

$$J_y = \frac{c \cdot a^3}{12} + \frac{a \cdot b^3}{12} \ \text{cm}^4$$

y eksenine göre dayanım momenti ise:

$$W_y = \frac{\frac{c \cdot a^3}{12} + \frac{a \cdot b^3}{12}}{\frac{b}{2}} = \frac{c \cdot a^3 + a \cdot b^3}{6 \cdot b} \quad \text{cm}^3 \ \text{bulunur.}$$

y ekseni birleşik yüzeyin simetri ekseni olduğu için kesitin ağırlık merkezinden geçer. Bunun için, y eksenine göre atalet momenti şekli meydana getiren dikdörtgenler atalet momentleri toplamına eşit olur. Eğer birleşik yüzeyin ağırlık merkeziyle, dikdörtgenlerin ağırlık merkezleri aynı eksende olmasaydı diğer eksene göre yaptığımız gibi Steiner teoremini tatbik etmek lâzım gelecekti.

Eğilmeye çalışan bir kirişte en tehlikeli kesitin bulunması:

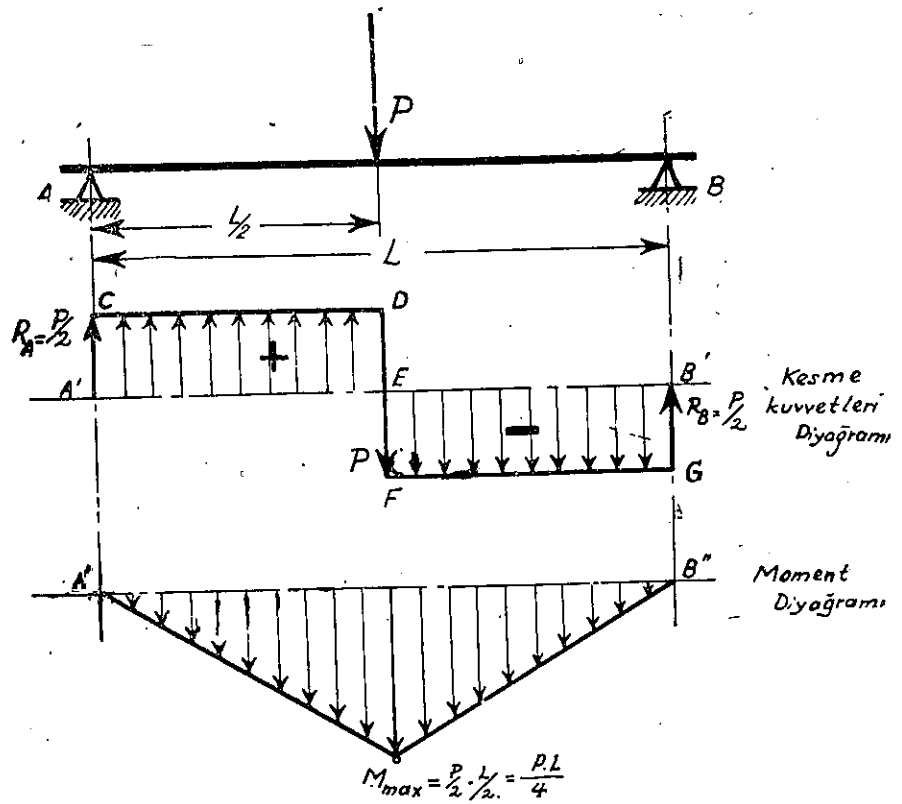
Serbest olarak dayatılmış, ankastre edilmiş veya ucları herhangi bir şekilde tesbit edilmiş bir kiriş, eksenine dik kuvvetlerle zorlandığı zaman, kirişin kuvvet doğrultusuna paralel kesitlerinde eğilme gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmelerin en büyük değerde olanı, en büyük momentin (Eğilme momentinin) meydana geldiği kesitte olacağı şüphesizdir. İşte, en büyük eğilme momenti ve en büyük eğilme gerilmesinin bulunacağı bu kesite "en tehlikeli kesit" adı verilir.

En tehlikeli kesiti bulabilmek için, statik bilgilerine dayanılarak kirişin mesnet tepkiler hesap edilir. Kirişte eğilme gerilmesini doğuran kuvvetlerle mesnet tepkileri denge halindedir. Denge durumunda olan bu sistemin bazı kaidelere uyarak, kiriş boyuna uygun olarak bir diyagram çizilir. Buna kesme kuvvetleri diyagramı adı verilir. Dış kuvvetlerin, kirişin çeşitli kesitlerinde meydana getirdikleri, kiriş kesitine paralel kuvvetlerdir. Kesilme kuvvetlerinin bulundukları kesitte meydana getirdikleri eğilme momentlerini bir grafik şeklinde gösterecek olursak moment diyagramını elde ederiz.

Kesme kuvvetleri ve moment diyagramı çizimine örnek:

Şekil: 55 de görülen kirişe ait kesme kuvvetleri ve eğilme momenti diyagramlarını çizerek en tehlikeli kesitin yerini tâyin edelim.

Evvelâ kirişin mesnet tepkileri bulunur.



Şekil: 55

Kuvvet tam ortada olduğu için A ve B mesnetlerindeki kuvvetler biribirine eşit ve $\frac{P}{2}$ değerindedirler.

Şimdi kesme kuvveti diyagramını çizelim:

Kirişe paralel A', B' ekseni çizilir. A' noktasından mesnet kuvveti R_A kendi yönünde ve şiddetinde alınır. Buradan itibaren, A mesnedi tepkisinin ok ucundan, yavaş yavaş sağa doğru hareket ederiz. Rasgeldiğimiz kuvvetleri diyagrama çizeriz. Şekle dikkat edilecek olursa P kuvveti doğrultusuna kadar hiç bir kuvvet yoktur ve diyagram A'B' eksenine paralel ve P kuvveti doğrultusuna kadar çizilerek CD doğrusu elde edilir. D noktasında P kuvvet olduğundan kuvvet hemen kendi doğrultusunda ve yönünde çizilir. B mesnedine kadar başka kuvvet olmadığından FG doğrusunda A'B' eksenine paralel olur. B mesnedindeki tepki olan R_B de çizilirse, noktasına gelinmiş ve kesme kuvvetleri diyagramı da ortaya çıkmış olur.

Dikkat edilirse diyagramda P kuvveti çizilirken A'B' eksenini E noktasında keserek, kirişe etki eden kesme kuvvetlerinin yön değiştirmelerine sebep oldu. İşte bu işaret değiştirme noktası kirişin en tehlikeli kesitini yani en büyük eğilme momentinin meydana geldiği noktayı verir.

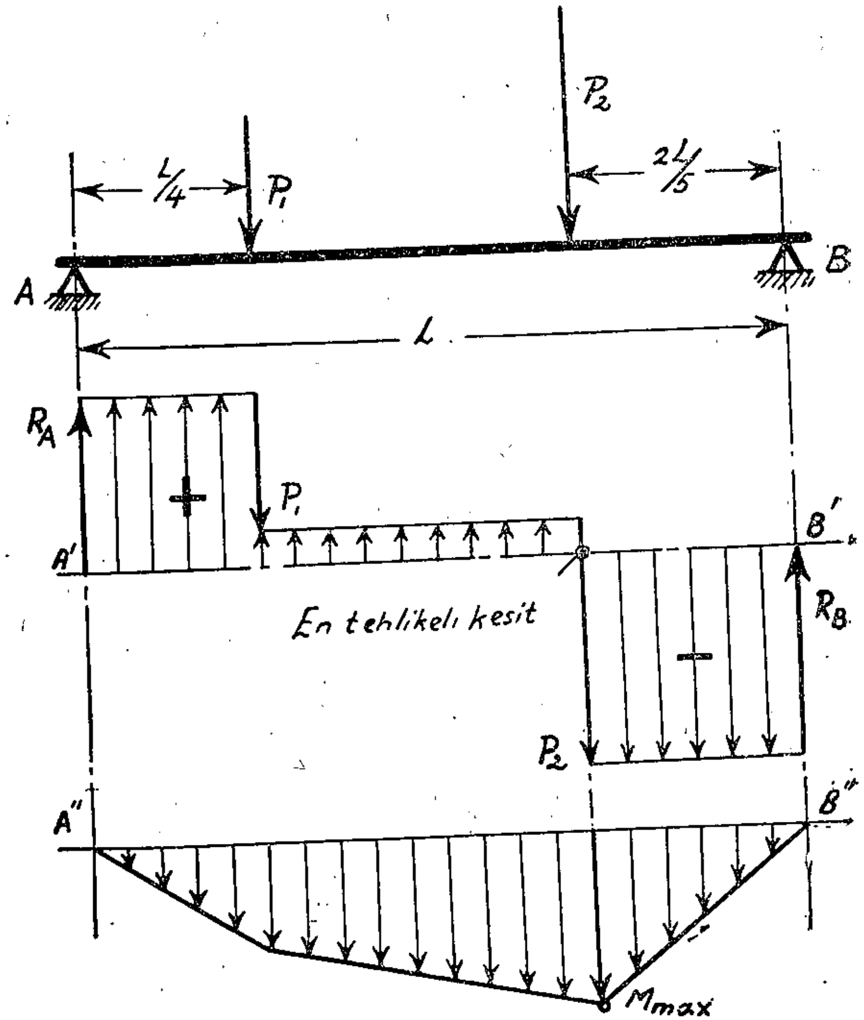
Bu kirişte de, en tehlikeli kesit, kuvvet tam ortada olduğu için, orta yerdedir.

Kesme kuvveti diyagramında en tehlikeli kesitin yerini veren noktanın bir tarafında kalan alanların cebrik toplamı, o noktadaki eğilme momentini verir.

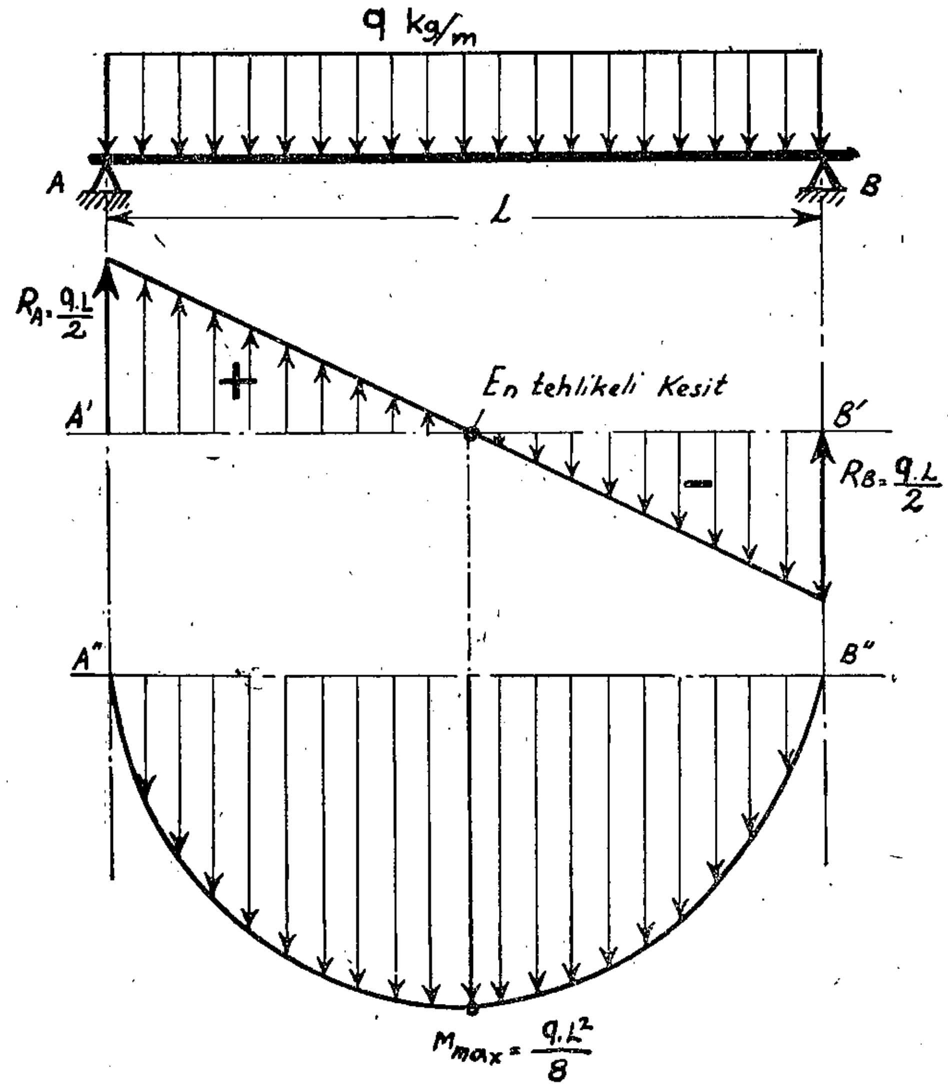
Moment diyagramının çizimine gelince: Kirişin herhangi bir mesnedinden başlamak, yalnız bir tarafta kalan kuvvetlerin momentlerinin cebrik toplamları alınarak diğer mesnede kadar yavaş, yavaş gidilir. Böylece moment diyagramı da Şekil: 55 de görüldüğü gibi A'B'' doğrusunun bir tarafında meydana gelir.

En büyük moment P kuvvetinin tesir noktasındadır, değeri $\frac{P.L}{4}$ kg cm. dir. Statikten bilindiği gibi kesme kuvveti birimi kg., eğilme momenti birimi de kg. m veya kg. cm dir. Biz bu dersimizde daha çok kg. cm birimini kullanacağız.

Şekil: 56 da çeşitli yüklemelere göre çeşitli kirişlerin kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramlarını görüyorsunuz.

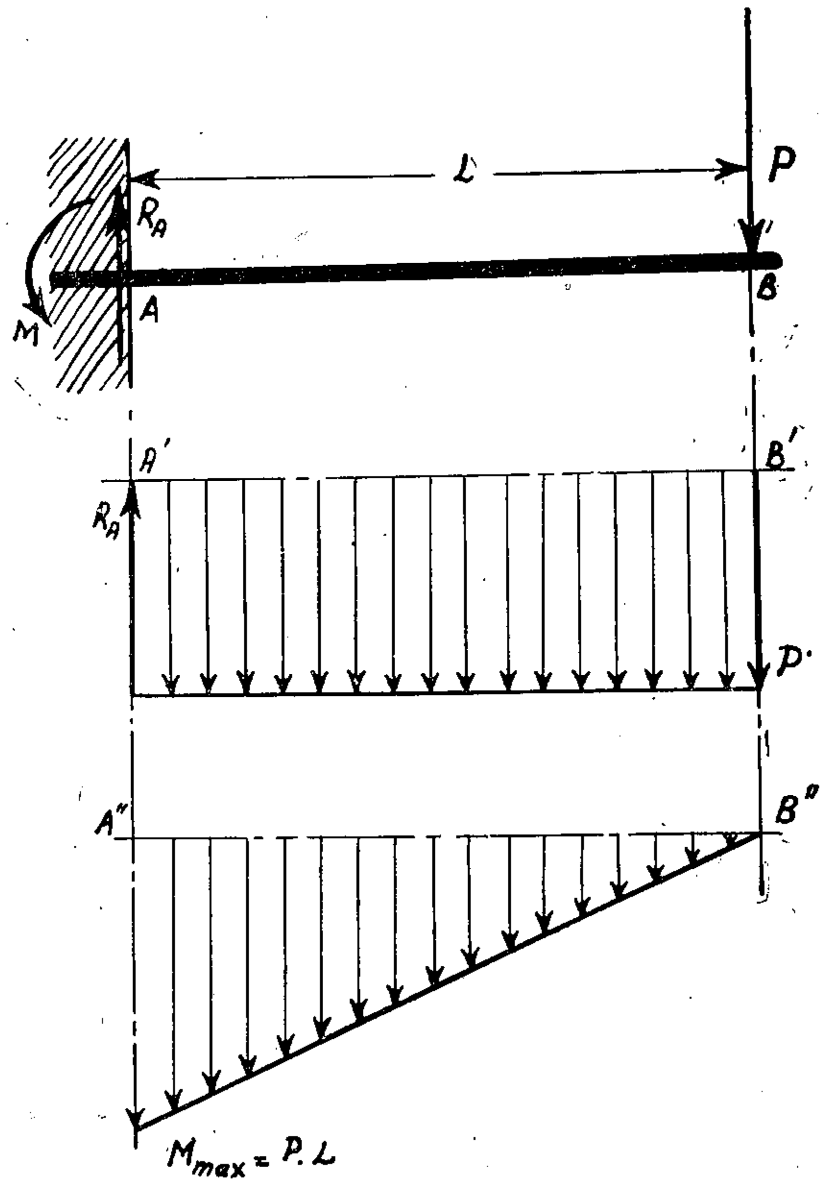


Şekil: 56/a

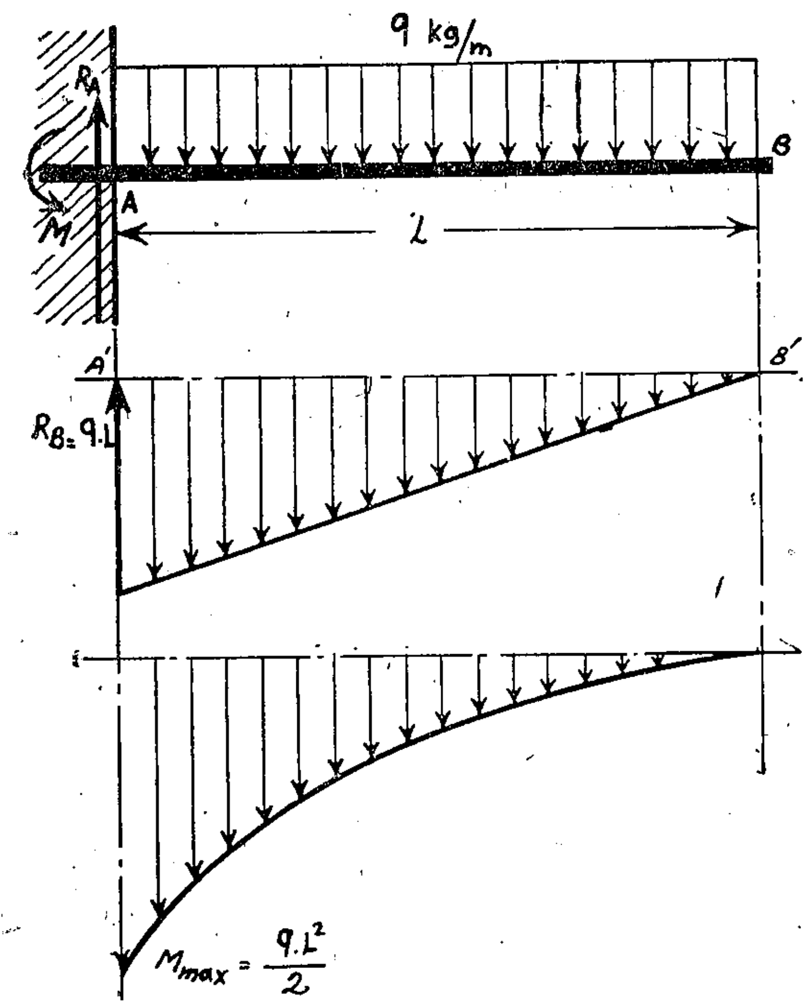


b.

Şekil: 56/b



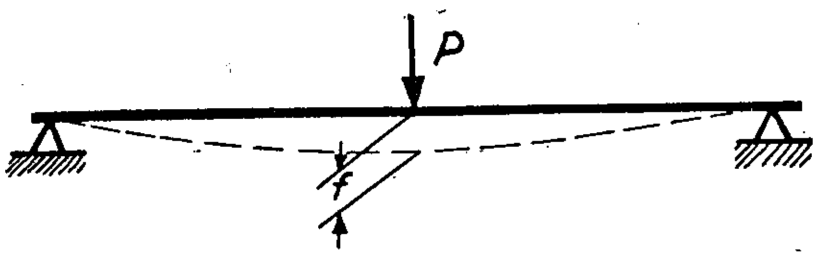
Şekil:/56c



Şekil:/d

Eğilmede meydana gelen şekil değişimi
(Eğilme oku)

Bir çelik tel iki ucundan tutturulup elle ortasına basıldığı zaman ilk durumuna görê bir miktar eğilir. Bu eğilme miktarı şematik olarak Şekil: 57 de gösterilmiştir. Eğilme miktarını f (küçük fe) ile gösterirsek, bu miktar çeşitli yükleme durumlarına göre aşağıdaki cetvelde verilmiştir.



Şekil: 57

Çizelgede kullanılan harfler:

kuvvet P = Tek noktaya etki ettiği kabul edilen kuvvetler. (kg)

Ağırlık q = Her metre kiriş boyuna gelen yayılmış yük. (kg)

E = Elâstiklik modülü (kg/cm^2)

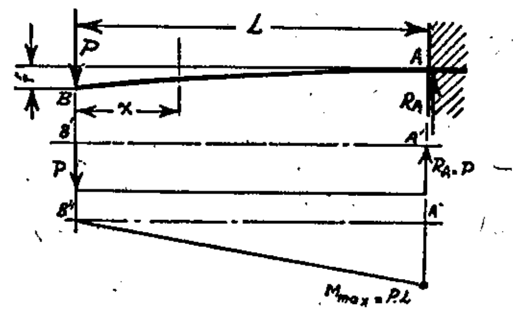
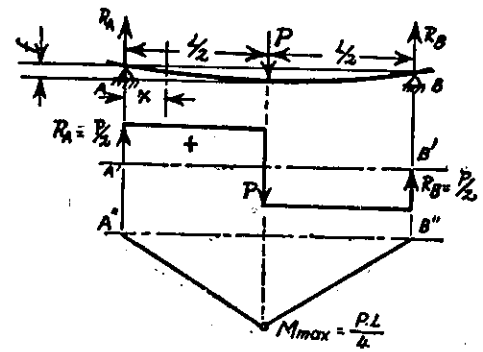
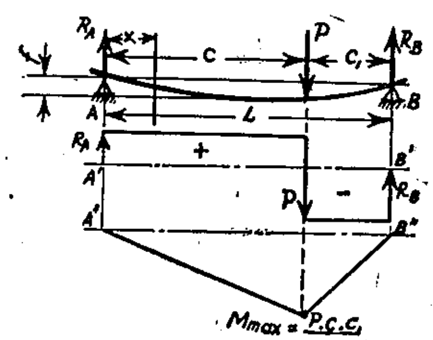
Atalet Moment J = Ekatoryel atalet momenti. (cm^4)

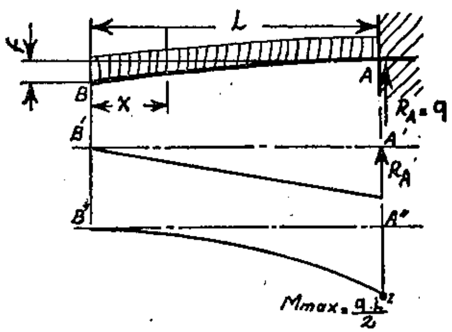
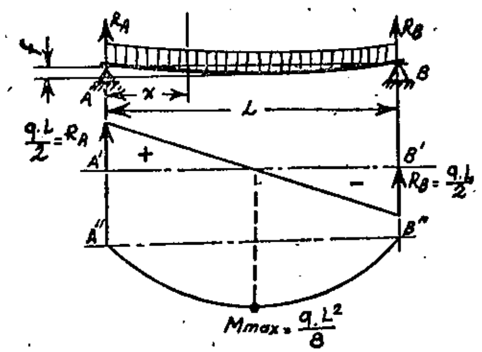
Dayanım '' W = " dayanım " (cm^3)

Uzunluk L = Çubuk boyu (cm)

Basit kirişlerin eğilme oku, en büyük moment ve mesnet tepkileri :

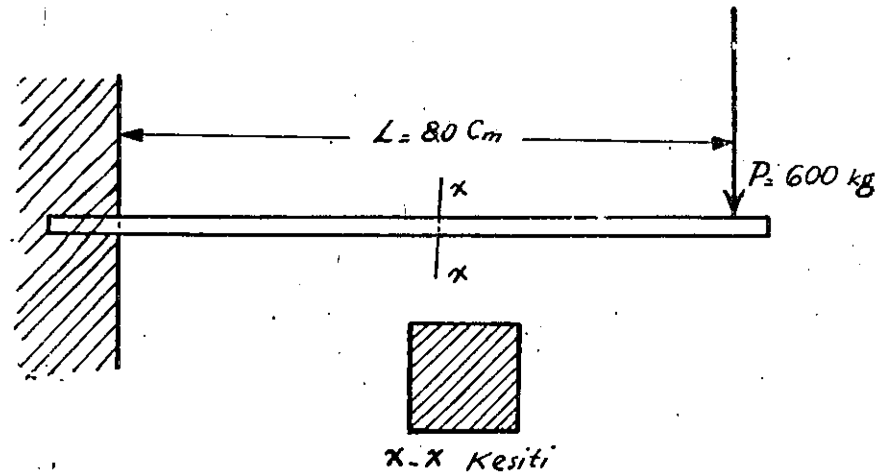
(Çizelge 8)

Kiriş durumu Kesme kuvveti eğilme momenti diyagramı	mesnet tepkileri Kg	En büyük eğilme momenti kg. cm	Eğilme oku En büyük Cm
	$R_A = P$	$M_{max} = - P.L$ $x = L$	$f = \frac{P.L^3}{3.E.J}$
	$R_A = \frac{P}{2}$ $R_B = \frac{P}{2}$	$M_{max} = \frac{P.L}{4}$ $x = \frac{L}{2}$	$f = \frac{P.L^3}{48.E.J}$
	$R_A = \frac{P.c_1}{L}$ $R_B = \frac{P.c}{L}$	$M_{max} = \frac{P.c.c_1}{L}$ $x = c$ için	$f = \frac{P.c_1}{3.E.J.L}\left[\frac{c(L+C_1)}{3}\right]^{\frac{3}{2}}$

Kiriş durumu Kesme kuvveti Eğilme momenti diyagramı	Mesnet tepkileri Kg	En büyük eğilme momenti kg. cm	En büyük eğilme oku Cm
	$R_A = q.L$	$M_{max} = \frac{-q.L^2}{2}$ $x = L$	$f = \frac{q.L^3}{8.E.J}$
	$R_A = \frac{q.L}{2}$ $R_B = \frac{q.L}{2}$	$M_{max} = \frac{q.L^2}{8}$ $x = \frac{L}{2}$	$f = \frac{5.q.L^3}{384.E.J}$

Kirişlerin eğilmesine ait örnekler problemleri

1. Şekil: 58 de görüldüğü gibi yüklenen kare kesitli bir kirişte eğilme gerilmesinin 500 kg/cm² olabilmesi için dayanım momentinin ne kadar olması lâzımdır?



Şekil: 58

Çözüm:

66 No. lu formülden;

$$M_b = \sigma_b \cdot W \text{ dir. Buradan } W = \frac{M_b}{\sigma_b} \text{ olur.}$$

$$W = \frac{600 \cdot 80}{500} = 96 cm^3 \text{ bulunur.}$$

Sonuç: Kare kesitin dayanım momenti 96 cm³ olmalıdır.

2. Özgül ağırlığı 7,8 kg/Dm³ olan 7 cm çapında bir mil 110 cm aralıkla yataklandırılmış ve tam ortadan 80 kg ağırlığındaki kasnak-

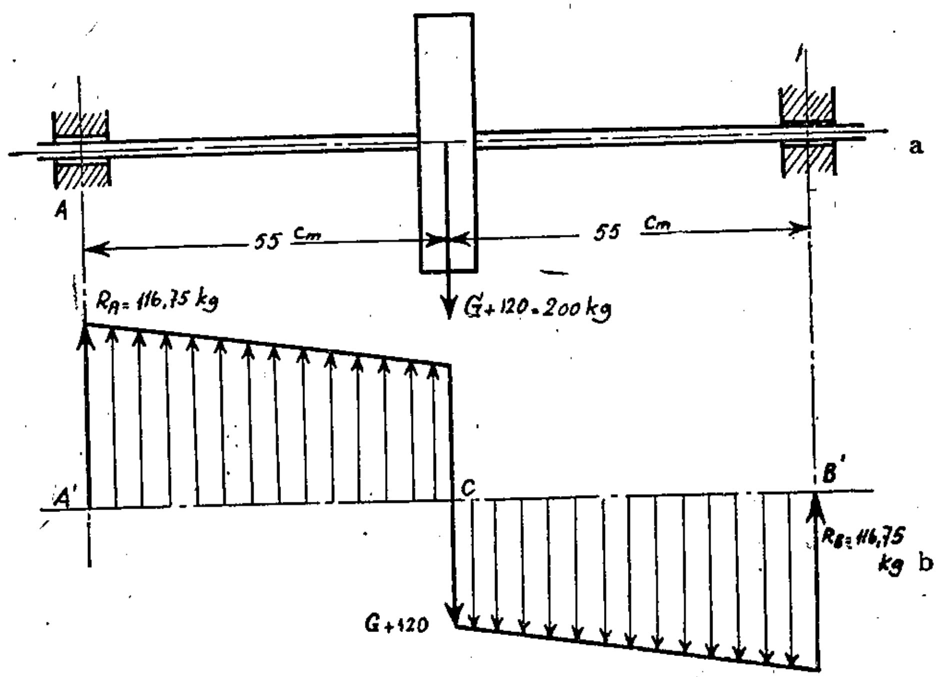
la hareket iletmektedir. Kayışın kasnağı çekiş kuvveti 120 kg olduğuna göre: Şekil: 59.

a. Yataklardaki aksi tesirleri,

b. Milde meydana gelen eğilme gerilmelerini bulunuz.

Çözüm:

Milin ağırlığı yayılmış yük, kasnak ağırlığı ve kayışın çeki kuvveti tek noktaya tesir eden kuvvetler gibi düşünülür. Buna göre kesme kuvvetleri diyagramını çizecek olursak: Şekil: 59 b.



Şekil: 59

Mil ağırlığı;

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} L \cdot 7{,}8 = G_1$$

$$G_1 = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}49}{4} \cdot 11 \cdot 7{,}8 = 33{,}5 \text{ kg.}$$

Mil simetrik yüklendiğinden:

$$R_A = R_B = \frac{G_1 + G_2 + 120}{2} = \frac{33.5 + 200}{2}$$

$R_A = R_B = 116{,}75$ kg. olur. Kesme kuvvetleri diyagramını çizip en tehlikeli kesitin yerini bulacak olursak, ki yatağın tam ortasında, C noktasını elde ederiz. C noktasının bir tarafında kalan kuvvetlerin bu noktaya göre momentlerini alacak olursak en büyük momenti elde edeceğimizden :

$M_{max} = 116{,}75 . 0{,}55 - 16{,}75 . 0{,}275 = 59475$ kg.m $= 5947{,}5$ kg. cm olur.

Daire kesitin dayanım momenti ise:

$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{d^3}{10}$ alınabileceğinden, $w = \frac{7^3}{10} = 34{,}3$ cm^3 olur.

Meydana gelecek eğilme gerilmesi:

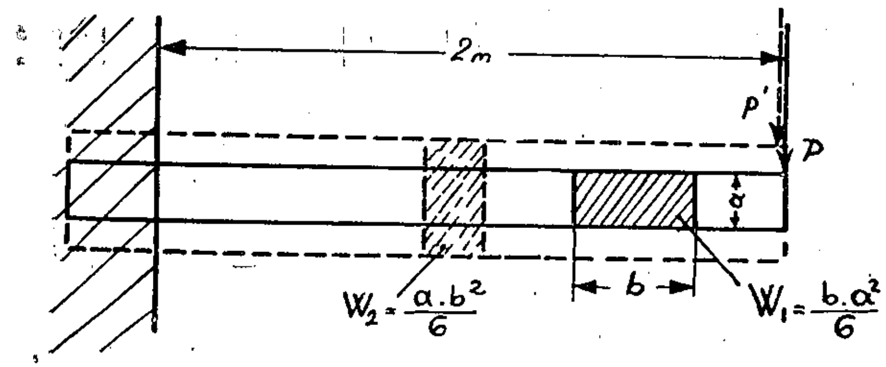
$$\sigma_b = \frac{5947{,}5}{34{,}3} = 173{,}4 \text{ kg/cm}^2 \text{ bulunur.}$$

Sonuç:

a. Yataklardaki aksi tesirler biribirinin aynı ve 116,75 kg. dır.

b. Milde meydana gelen eğilme gerilmesi 173.4 kg/cm^2 dir.

3. Kesiti dikdörtgen ve ölçüleri 10×20 olan ağaç bir kirişin eğilme emniyet gerilmesi 60 kg/cm^2 olduğu halde Şekil: 60 da görülen şekilde (Kesik çizgili ve dolu çizgili konumda yerleştirmeler ayrı ayrı düşünülecektir.) Yüklenirse en fazla hangi konumda yük taşır, bu yüklerin değeri nedir?



Şekil: 60

Çözüm:

Dolu çizgili konumda yerleştirilip yüklenirse:

8 No. lu çizelgeden;

$M_{max} = P.L$ dir. (66) No. lu formülden;

$P . L = \sigma_b . W_1$ dir. Buradan

$$P = \frac{\sigma_b . W_1}{L} = \frac{60 . 20 . 10^2}{6 . 200} = 100 \text{ kg.}$$

bulunur.

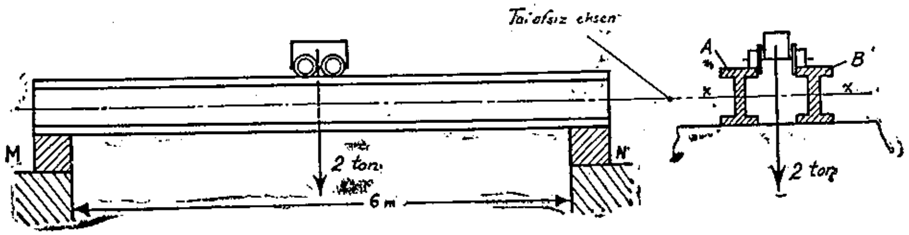
Kesik çizgili durumda yüklenirse:

$$P = \frac{\sigma_b . W_2}{L} \text{ olacağından , } W_2 = \frac{10 . 20^2}{6} \text{ dır. Buradan,}$$

$$P' = \frac{60 . 10 . 400}{6 . 200} = 200 \text{ kg. bulunur.}$$

Sonuç: Bu ağaç kiriş en fazla yükü, kesik çizgili olarak gösterilen konumda yerleştirildiği zaman (200 kg.) taşır. Çünkü bu konumda dayanım momenti daha büyüktür.

4. Şekil: 61 de şematik olarak çizilen vinç 2000 kg için hesaplanmıştır. A ve B putrelleri (Normal profil) NP 20 I ise, yalnız yükün putrelde meydana getireceği gerilmenin değeri ne olacaktır?



Şekil: 61

Çözüm:

En büyük eğilme momenti C hareketli kısmının, kirişin ortasında olduğu zaman meydana geleceği şüphesizdir. Bu anda mesnet tepkileri biribirine eşit ve $\frac{2000}{2} = 1000$ kg. olur. En büyük eğilme momenti de:

8 No. lu çizelgeden; $M_{max} = \frac{P . L}{4} = \frac{2000 . 6}{4} = 3000 \text{ kgm} = 300000 \text{kgcm}$

Her iki kirişin tarafsız ekseni, ağırlık merkezlerini birleştiren x-x doğrusu üzerinde bulunacağından, dayanım momentleri doğrudan doğruya normal profil çizelgelerinden alınabilir. Bir putrelin dayanım momenti çizelgeden x-x eksenine göre $W_x = 214 \text{ cm}^3$ bulunur.

Dayanıma esas iki kirişin dayanım momentleri toplamı olduğundan;

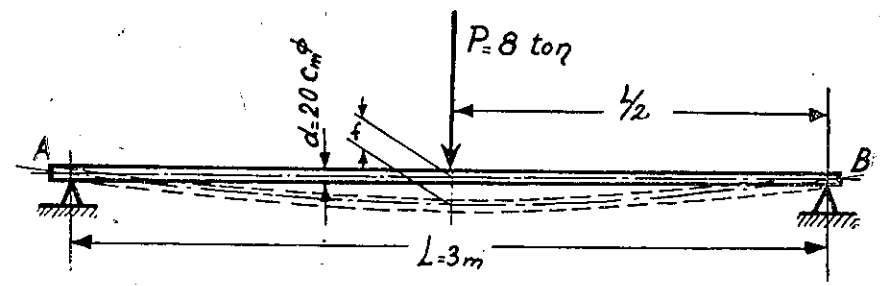
$$W = 2. W_x = 2.214 = 428 \text{ cm}^3$$

$$\sigma b = \frac{Mb_{max}}{W} = \frac{300000}{428} = 700 \text{ kg/cm}^2$$

Sonuç: NP 20 I lik her putrel üzerinde meydana gelen eğilme gerilmesinin en büyük değeri 700 kg/cm² dir.

5. Şekil: 62 de görüldüğü gibi yüklenen 20 cm çapında bir kiriş bu yük altında ne kadar eğilir? Elâstiklik modülü 2000000 kg/cm² dir.

Çözüm: 8 No. lu çizelgeden eğilme okunun, ortadan yüklenmiş kirişlerdeki değeri:



Şekil: 62

$$f = \frac{P . L^3}{48 . E . J} \text{ dir.}$$

7. No. lu çizelgeden daire kesit için;

$$J = \frac{d^4}{20} \text{ olduğundan}$$

$$J = \frac{160000}{20} = 8000 \text{ cm}^4 \text{ olur.}$$

J yi, eğilme oku formülünde yerine koyacak olursak:

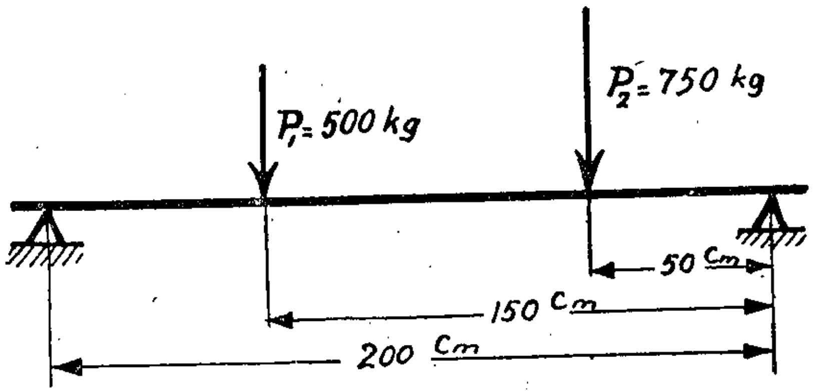
$$f = \frac{8000 \,.\, 27000000}{48 \,.\, 2000000 \,.\, 8000} = \frac{27}{96} = 0{,}28 \text{ cm.}$$

Sonuç: Kirişteki eğilme miktarı 0,28 cm. dir.

Çözülecek problemler

1. Şekil: 63 de görüldüğü gibi yüklenen girişlerin kesme kuvveti ve moment diyagramlarını çizerek en tehlikeli kesitlerinin yerini bulunuz.

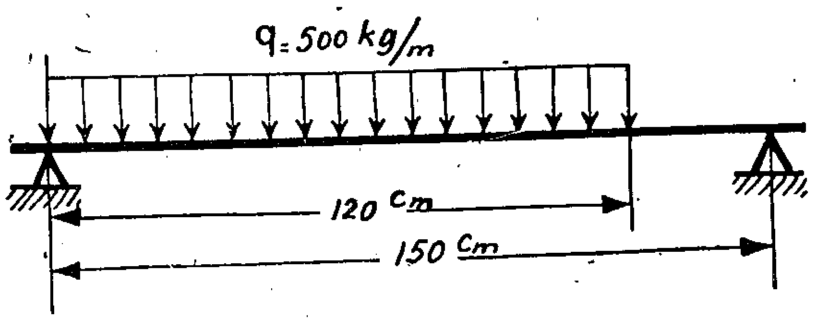
a)



a.

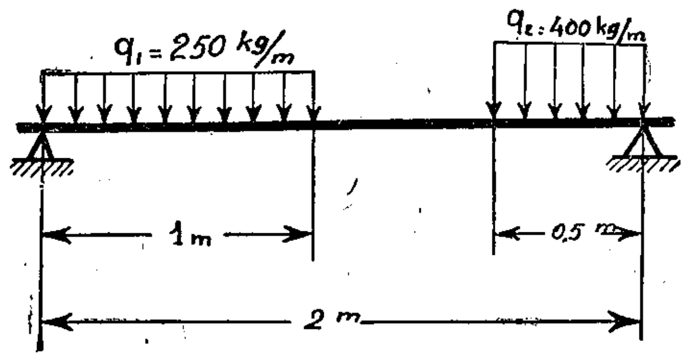
Şekil: 63/a

b



Şekil: 63/b

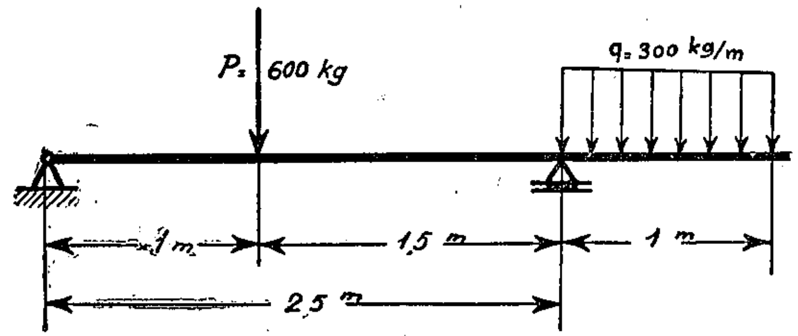
c)



c.

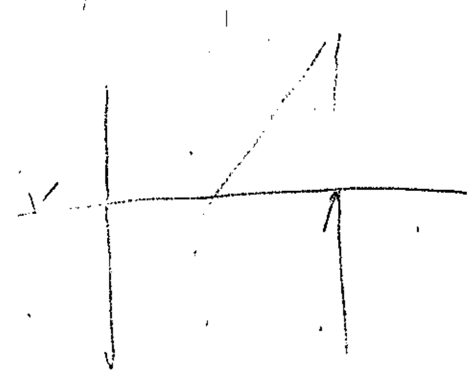
Şekil: 63/c

d



d.

Şekil: 63/d



2. Şekil: 64. de görülen ve ölçüleri cm olarak verilen kesitlerin atalet ve direnç momentlerini, ağırlık merkezlerinden geçen yatay eksenlerine göre bulunuz.

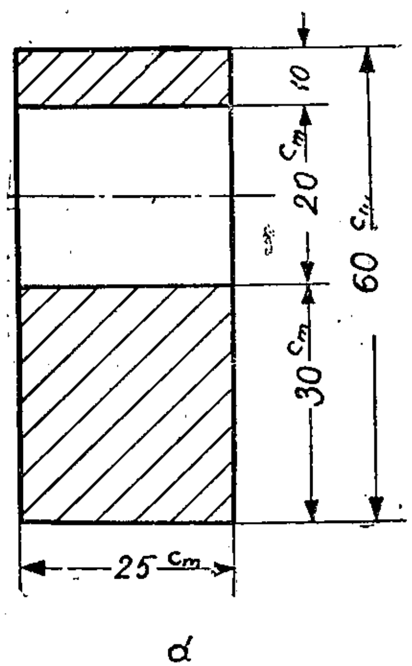
Cevap:

a) $J = 6638 \text{ cm}^4$
$W_1 = 1126 \text{ cm}^3$
$W_2 = 469 \text{ cm}^3$

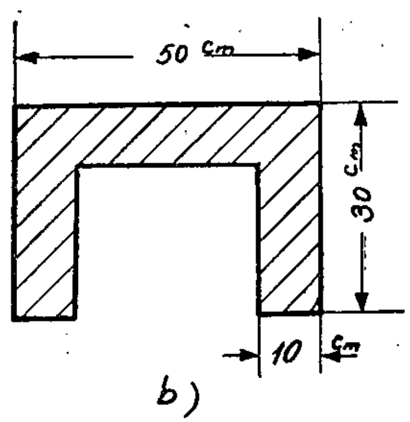
b) $J = 67504 \text{ cm}^4$
$W_1 = 5820 \text{ cm}^3$
$W_2 = 2381 \text{ cm}^3$

c) $J = 512000 \text{ cm}^4$
$W = 17067 \text{ cm}^3$

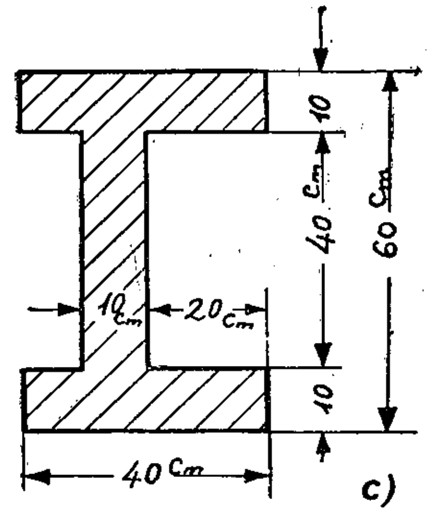
d) $J = 311900 \text{ cm}^4$
$W_1 = 12476 \text{ cm}^3$
$W_2 = 8911 \text{ cm}^3$



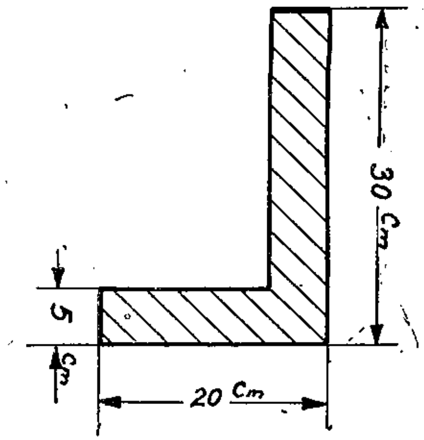
Şekil: 64/a



Şekil: 64/b



Şekil: 64/c



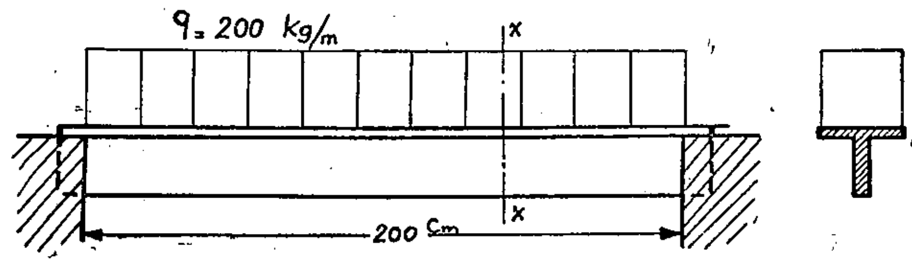
Şekil: 64/d

Cevap:

3. Şekil: 65 de görüldüğü gibi iki ucu dayatılmış ve iki metre uzunluğunda bir T demiri metresine 200 kg. gelecek şekilde yüklenmiştir. T demirinin kendi ağırlığı hesaba katılmadığına ve normal profilli olduğuna göre kaçlık T kullanılmalıdır? Eğilme emniyet gerilmesi 500 kg/cm² dir.

(Çözümde normal profil çizelgelerinden faydalanınız.)

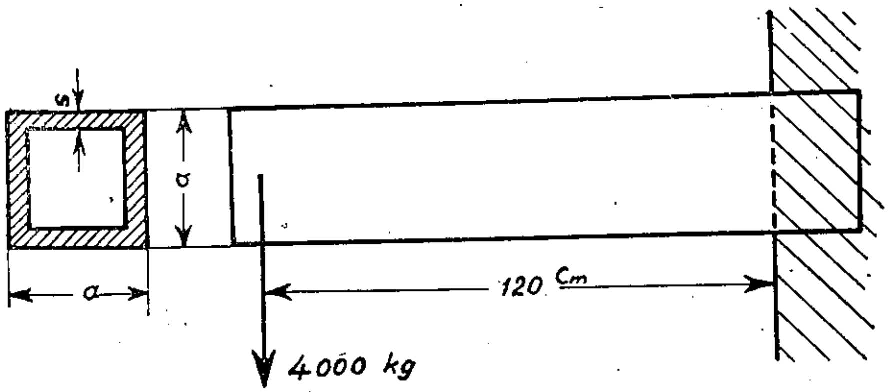
Cevap: NPT 12



Şekil: 65

4. Şekil: 66 da görüldüğü gibi yüklenen kiriş, özel olarak hazırlanmış ve a ölçüsü 20 cm. S = 4 cm olduğuna göre meydana gelen eğilme gerilmesi ne kadardır?

Cevap: $\sigma_b = 413$ kg/cm²



Şekil: 66

5. 62,5 kg. ağırlığında bir adam, bir ucu ankastre edilmiş, yatay ve 1 m uzunluktaki kirişin ucuna elleri ile tutunup kendini yukarı kaldırıyor. Kirişte 500 kg/cm² lik eğilme gerilmesi meydana geldiğine ve daire kesitli olduğuna göre: $E = 2 . 10^6$ kg/cm²

Sayfa 83

a. Kiriş çapını,

b. Kirişin bu kuvvetle ne kadar eğildiğini (Eğilme okunu) bulunuz.

Cevap:

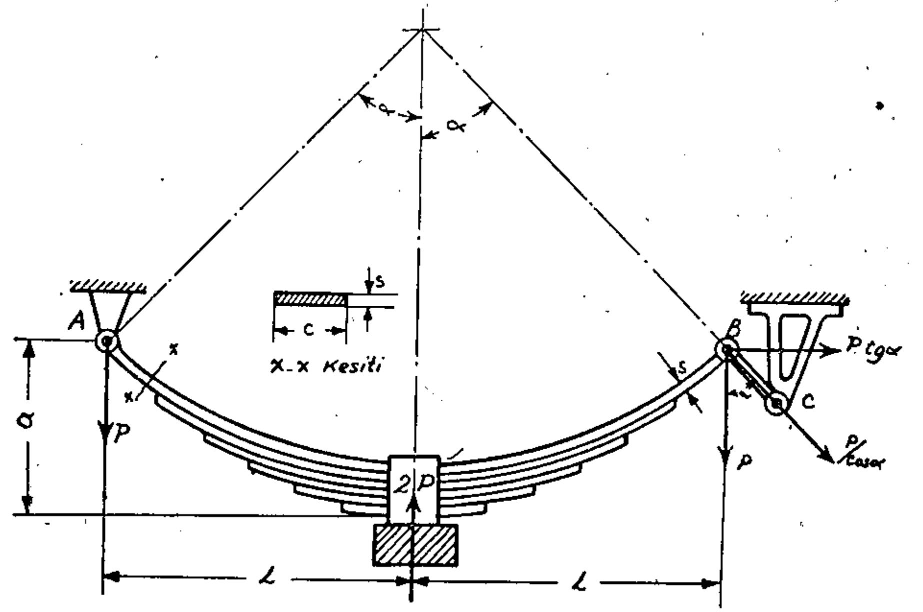
a) d = 5 cm.

b) f = 1/3 cm.

Eğilmeye çalışan çeşitli elemanların hesaplanması:

A. Yaprak (susta) yaylar:

Bir çok motorlu araçların, şasi kısımlarının karoser kısmına bağlıyan yerlerde, karoserin, hareket edilen yol üzerindeki türlü girinti ve çıkıntıların üzerinden geçmesi neticesinde meydana gelebilecek darbelerden kısmen korunması için Şekil: 67 de görülen yaprak yaylar veya aynı vazifeyi görebilecek başka bir eleman konulmuştur. Bunlardan yalnız eğilmeye çalışan yaprak (susta) yaylardır.



Şekil: 67

Her dingile gelen kuvvet A ve B pimleri yardımiyle iki eşit parçaya bölünür. Pirimlerin her birine gelen kuvvet P olursa dingile gelen kuvvet 2.P olur. Pimlerdeki aksi tesirlerde şekilden anlaşılacağı gibi $\dfrac{P}{\cos\alpha}$ olur.

Burada yaylar simetrik yüklenmiş bir kiriş durumundadır. Bu sebeple en büyük eğilme momenti D noktasındadır. Momentin bu noktasındaki değeri:

$$M_{max} = P . (L + a . tg\,\alpha) \text{ kg/cm.} \qquad (70) \text{ olur.}$$

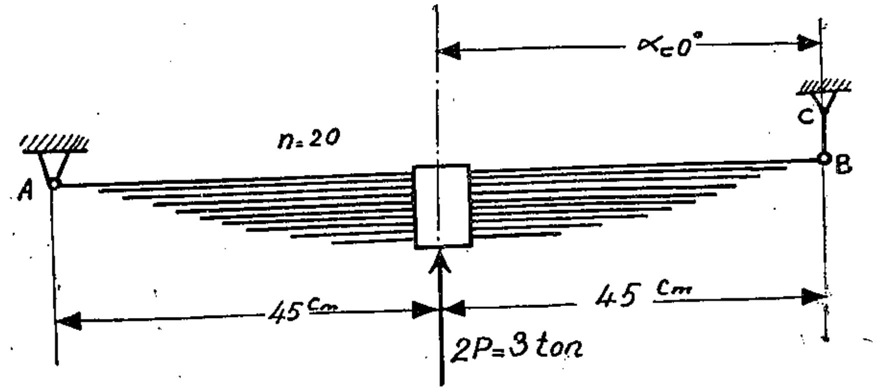
Yayı meydana getiren çelik lâmaların kalınlıklarına s (cm), genişliklerine c (cm) ve lâma sayısını da n ile gösterecek olursak meydana gelen eğilme gerilmesinin en büyük değeri:

$$\sigma b_{max} = \frac{6 . P . (L + a . tg\,\alpha)}{n . c . s^2} \text{ kg/cm}^2 \qquad (71) \text{ olur.}$$

Bu ifade, yaprak yayların hesaplanmasında kullanılan temel formüldür.

Örnek problem:

Bir kamyonun bütün ağırlığı 12 tondur ve dört tekerleğine muntazam dağılmıştır. Her dingilde 20 yapraklı ve 15 cm genişlikte yaylar kullanılacaktır. Yay Şekil: 68 de görülen durumu aldığına göre yaprakların kalınlıkları ne olmalıdır? Yaylardaki gerilme 450 kg/cm^2 dir.



Şekil: 68

Çözüm:

71 numaralı formülden:

$$\sigma b_{max} = \frac{6 \cdot P \cdot (L + a \cdot tg\alpha)}{n \cdot c \cdot s^2} \text{ den; } \quad s = \sqrt{\frac{6 \cdot P \cdot (L + a \cdot tg\alpha)}{\sigma b_{max} \cdot c \cdot n}} \text{ yazılır.}$$

Bu denklemde alfa açısının tangenti sıfır olacağından (Çünkü açı 0° dir) parantez içindeki ikinci terim sıfır olur. P kuvvetinin değeri de; $P = 12/4 \times 1/2 = 1{,}5$ ton $= 1500$ kg. dır. Verilen ve bulunanlar yerlerine konulursa yay kalınlığı:

$$s = \sqrt{\frac{6 \cdot 1500 \cdot (45+0)}{450 \cdot 15 \cdot 20}} = \sqrt{3} = 1{,}732 \text{ cm. bulunur.}$$

Sonuç: Yay kalınlığı 1,732 cm bulunursa da hem yapım ve hem de daha güvenli olması bakımından 18 mm kalınlıkta yapmak uygun olur.

B. Muyluları:

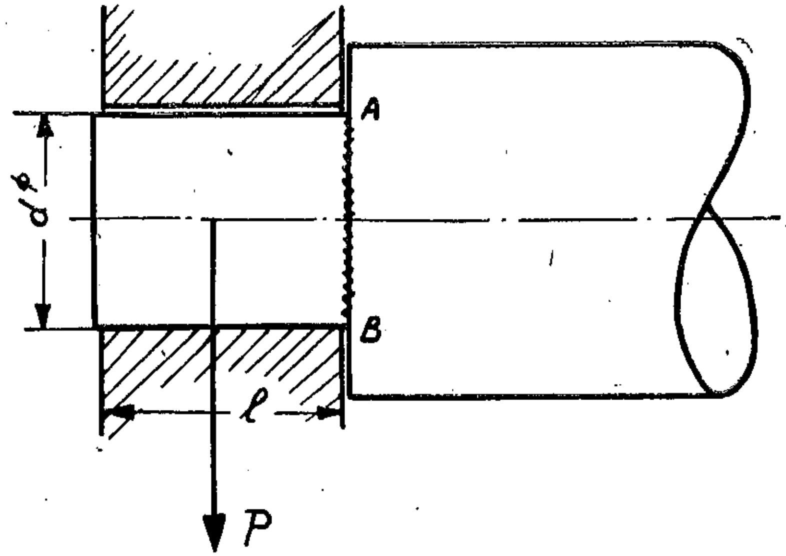
Miller ve benzeri makina elemanlarının yataklar içinde kalan kısımlarına **"Muylu"** denildiğini biliyoruz. Bir muylunun ölçüleri hesaplanırken aşağıdaki hususların göz önünde bulundurulması gerektir:

a. Yatakların yağlanmasının normal olup, arızasız çalışması için yağ filminin yırtılmaması lâzımdır. Bu da yatak basıncının belirli bir değerden yukarı çıkarılmaması ile sağlanır.

b. Muylu ait olduğu makina elemanına tesir eden kuvvetleri taşıyabilecek ve yatak içinde meydana gelen, eğilmeye, karşı koyabilecek dayanıklıkta olmalıdır.

Şu halde muylu çapı ile muylu boyu arasında öyle bir bağıntı olacaktır ki, muylu eksenine paralel en büyük kesitle, gerekli yatak basıncı çarpımının yatağa gelen yüke eşit olması ve muylu çapının bu kuvvetlere güvenle karşı koyması lâzımdır.

Buna göre Şekil: 69 da ölçüleri verilen muylunun dayanım hesabını yapalım:



Şekil: 69

Yatağa gelen kuvveti P, Muylu boyunu l, çapını d, emniyetli yatak basıncını p_{em} ile gösterecek olursak yatağın taşıyacağı yük:

$$P = p_{em}\ d.l\ kg \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (72)$$

yazılır. Muyluda en tehlikeli kesit BA kesitidir. Burada meydana gelen en büyük gerilme:

$$\sigma b_{max} = \frac{16 \, . \, P \, . \, l}{\pi \, . \, d^2} \ kg/cm^2$$ dir. $16/\pi$ yerine $1/5$,P yerine de 72 numaralı karşılığını yazıp çözersek şöyle bir netice bulunur:

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{\sigma b_{em}}{5 \, . \, p_{em}}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (73) \text{ olur.}$$

Buradan elde edilen bağıntı yardımiyle eğilme denklemi kullanılarak muylu çapı ile boyu bulunur.

Muylu gereçlerinin cinsine göre emniyetli gerilimler aşağıdaki gibi alınmalıdır.

Eğilme emniyet gerilmeleri

σb (Çizelge 9)

Gerecin cinsi	Kopma dayanıklığı Kg / Cm²	Emniyet gerilmesi Kg / Cm²
Akma çelik	5000 den büyük	400 — 600
Yumuşak çelik	5000	340 — 400
Yumuşak çelik	5000 den küçük	300 — 400
Dökme çelik	3800 — 6000	250 — 400
Pik		130 — 250

Muylularda aşılmaması icabeden emniyetli yatak basınçları için 10 No. lu çizelge kullanılmalıdır.

Örnek problem:

Yatak basıncı 50 kg/cm² olan bir muyluya gelen toplam kuvvet 2000 kg. dır. Muylu gereci emniyet gerilmesi 500 kg/cm² ise muylu çapı ve boyu ne olmalıdır?

Çözüm: 73 numaralı bağıntıdan muylu çapı ve boyu arasındaki oranı bulacak olursak:

Emniyetli yatak basınçları çizelgesi

Pe (Çizelge 10)

Makina	Ana yatak Kg / Cm²	Krank muylusu Kg / Cm²	Kros veya piston kolu muyluları Kg / Cm²
Buhar makinası	16 — 20	60 — 70	70 — 80
Lokomotif	15	100 — 150	150 — 300
Dizel motoru	35 — 45	85 — 100	110 — 150
Otomobil	40 — 50	50 — 60	130 — 170
Buhar türbünleri	4 — 8	—	—
Su türbünleri	10 — 15	—	—
Transmisyon milleri	8 — 10	—	—
Vagon dingilleri	40	—	—
Expres vagon dingilleri	15 — 20	—	—

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{\sigma b}{5 \, . \, p_{em}}} = \sqrt{\frac{500}{5 \, . \, 50}} = \sqrt{2} = 1{,}4 \text{ buradan } \underline{l = 1{,}4 \, . \, d} \text{ olur.}$$

Kuvvet tam muylu ortasına geldiğine göre, en tehlikeli kesitte meydana gelen eğilme momenti:

$$2000.l/2 = \sigma b_{em} \, . \, W = 500 \, . \, \frac{\pi \, . \, d^2}{32}$$ yazılabilir. l yerine yukarıda bulunan çap cinsinden karşılığını koyacak olursak:

$$\frac{2000.1{,}4.d}{2} = \frac{500 \, . \, d}{10} \quad \text{buradan } d = \sqrt{\frac{1000 \, . \, 1{,}4}{50}} = 5{,}3 \text{ cm bulunur.}$$

Muylu boyu ise: $l = 1{,}4. \ d = 1{,}4.5{,}3 = 7{,}42$ cm olur.

Sonuç: Muylu çapı 53, boyu ise 75 mm olmalıdır.

C. Dişli çarklar:

Dişli çarklar biribirine yakın millerde hareket iletme organı olarak kullanılırlar.

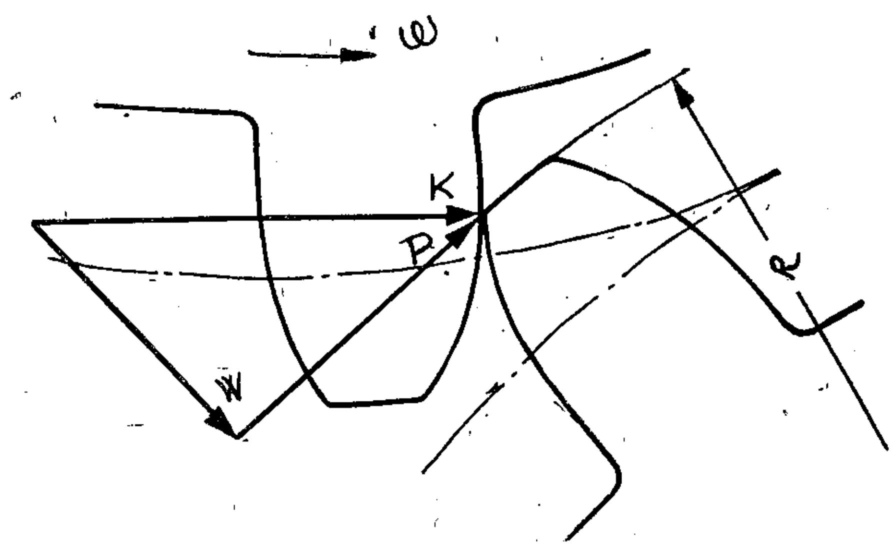
Dişli çarkların hareketi iletirken yaptıkları iş, doğrudan doğruya bir milin dönmesine âmil olan gücü hemen hemen aynı değerde olarak diğer bir mile aktarmaktır.

c değerleri çizelgesi

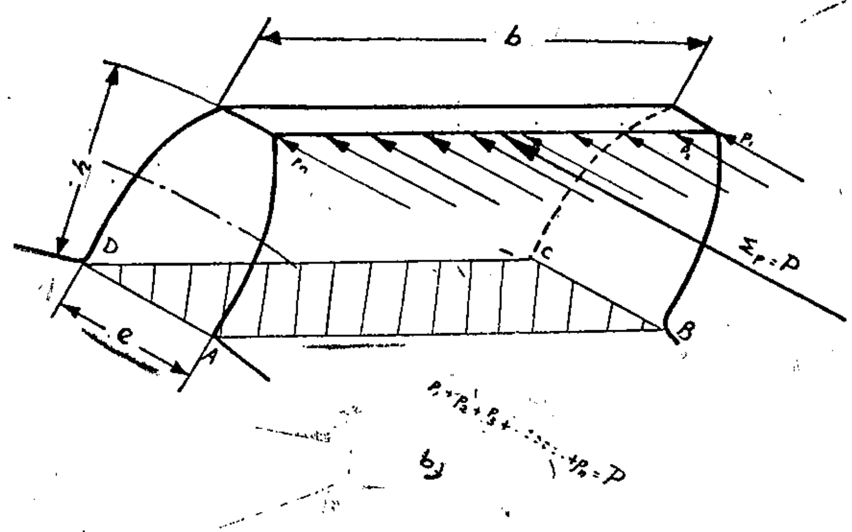
(Çizelge 11)

Gereç	c . . Kg / Cm²
Font	20 — 30
Dökme çelik	40 — 60
Akma çelik	60 — 80
Nikelli çelik	110 — 150
Krom nikelli çelik	140 — 200
Bronz	35 — 55

Bu aktarma anında dişlilerin biribirine değdikleri noktaya dik bir K kuvveti meydana gelir. Şekil: 70. K kuvvetinin diş üstüne teğet bileşeni olan P kuvveti dişi, diş dibinden eğerek koparmaya çalışır.



Şekil: 70/a



Şekil: 70/b

P kuvvetinin değeri, genel mekaniğin güc konusunda görüldüğü gibi:

$M_d = 71620 \cdot \frac{N}{n} = P.R$ dir. R, dişli çarkın diş üstü dairesi yarı çapı olduğuna göre:

$P = \frac{71620 \cdot N}{R \cdot n}$ kg. . . . . (74) bulunur.

N = İletilen güc (BG. olarak)
n = Hesaplanan dişli çarkın devir sayısıdır. (Devir/Dakika)

Dişi diş dibinden zorlıyan eğilme momenti ise:

$M_b = P \cdot h$ kg. cm. . . . . (75) dir.

Diş dibi dikdörtgen olduğundan dayanım momenti $W = \frac{b \cdot e^2}{6}$ dır. Burada meydana gelen eğilme gerilmesinin değeri:

$\sigma_b = \frac{6 \cdot P \cdot h}{b \cdot e^2}$ kg/cm² . . . . (76) olur.

Bu denklemden; $h = 2{,}166.M, \cong 0{,}7\ t$

$t = 3{,}14.M$

$e \cong 0{,}53.t$ bu karşılıklar yerlerine konulursa:

$P = 0{,}06.\ \sigma_b \cdot b.t$ olur.

0,06. σ_b = c ile gösterirsek, P = c.b.t kg. . . . (77) sonucuna varılır.

c değeri malzeme cinsine kuvvetlerin etki ediş şekline, dişli çarkların çevresel hızlarına tâbidir. Üzerindeki yük değişmeyen, çevresel hızı oldukça az (Yavaş dönen) dişlilerde c değerleri 11 numaralı çizelgeden alınabilir.

Dişli çarkların çevresel hızları değiştiği zaman c değerini küçültmek icabeder ki bu da α (alfa) gibi bir katsayı ile çarpılarak elde edilir. 12 numaralı çizelge α katsayılarını göstermektedir.

α değerleri

(Çizelge 12)

Hız M/Sn	0,5	1	2	4	6	8	10	12
α (alfa)	0,97	0,92	0,84	0,74	0,65	0,58	0,52	0,45

Buna göre dişli dayanım denklemi:

P = α . c.b.t kg. . . . . (78) olur.

Bu hesap sonunda dişli çarkın modülü hesaplanır. Daha çok büyük kuvvetler küçük, dişli çarklarda meydana geldiğinden, hesaplamanın bu dişlilerde yapılması uygun olur.

Örnek problem:

10 B.G. ileten bir mil 300 Dev/dak. ile çalışmaktadır. Kullanılan dişli çarklar 30 ve 50 dişli olup Modülleri 10 dur. Fonttan yapılan bu dişli çarkların genişlikleri ne kadar olmalıdır?

Çözüm:

Dişli çarklar font olduğuna göre, 11 numaralı çizelgeden, c değerini ortalama olarak meselâ: c = 25 Kgcm² alalım.

Dişli çarkın çevresel hızı:

$$v = \frac{\pi . D . n}{60} = \frac{\pi . M . Z_1 . n}{60} = \frac{3{,}14 . 10 . 30 . 300}{60} = 4611 \text{ mm / sn} \quad \text{olur.}$$

4610 MM/sn = 4,61 M/sn dir ve 12 numaralı çizelgede bu hızın karşılığı α (alfa) değerini 4 ve 6 M/sn hızlar ortalama karşılığı olarak alalım.

Dolayısiyle:

α = 0,70 olur.

Dişlinin adımı:

t = π . M = 3,14 . 10 = 31,4 mm = 3,14 cm. dir.

Dişli çarkı etkileyen kuvvet 74 numaralı formülden;

$$P = \frac{71620 . N}{300 . M . Z^1/_2} = \frac{71620 . 10 . 2}{300 . 1 . 30} = 159{,}2 \text{ kg olur.}$$

78 numaralı formülden dişli genişliği:

$$b = \frac{P}{\alpha . c . t} = \frac{159{,}2}{0{,}7 . 25 . 3{,}14} = 2{,}9 \text{ cm.}$$

Sonuç: Dişli genişliği 2,9 cm. dir Güvenli çalışması ve ölçü ayarlaması bakımından 3 cm. yapılması uygun olur.

Çözülecek problemler

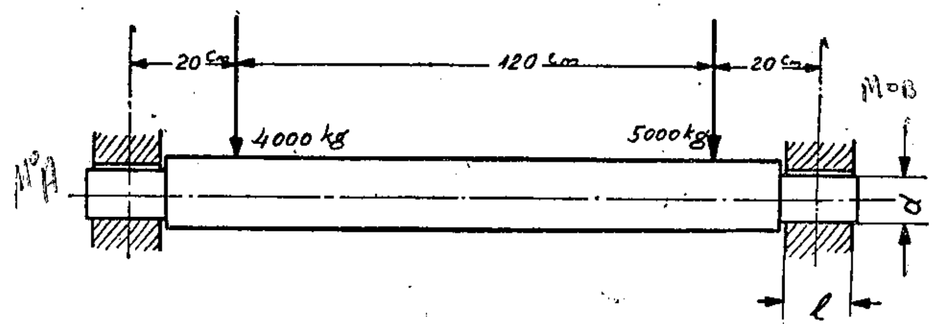
(Problemlerin çözümünde gerekli çizelgelerden faydalanınız.)

1. Bir cm kalınlık, 5 cm genişlikte 12 yapraktan meydana gelen yaydaki gerilimin σ_b = 300 kg/cm² den daha fazla olmaması için 2 dingilli bir arabaya homogen olarak kaç kg. lık yük yüklenmelidir? L = 30 cm. a = 10 cm. α = 30° alınacaktır.

Cevap: Q = 336 kg.

2. Şekil: 71. de görülen vagon dingiline düşen kuvvetler şekildeki gibidir. Emniyet gerilmesi 600 kg/cm² olduğuna göre muylu boyu ve çapını hesap ediniz.

Cevap: d = 84 mm. e = 138 mm.



Şekil: 71

3. Bir buhar makinası biyelinin kranka tatbik ettiği en büyük kuvvet/üst ölü noktada iken meydana geliyor ve şiddeti 7500 kg. dır Krank yatakları arası 40 cm dir ve biyel tam ortadan etki etmektedir $\sigma b_{em} = 700$ kg/cm² dir.

a. Krank muylulari çapını ve boyunu,

b. Biyel muylusu çapını ve boyunu hesaplayınız.

Cevap: a) $d_1 = 84$ mm, $e_1 = 223$ mm
b) $d_2 = 87$ mm $e_2 = 123$ mm

4. Dökme çelikten yapılan bir dişli çarkın genişliği b = 3.t dir, 40 dişlidir. İlettiği güç 5 BG. ve dakkadaki devri 100 dür. $\alpha = 0{,}5$ alınacaktır.
Bu dişli çarkın yapımı için gerekli ölçülerini hesaplayınız.

Cevap: M = 5,5 (c = 50 ise)

5. Krom nikelli çelikten yapılmış, modülü 3, dişli genişliği b = 12.M olan bir dişli çarkın diş sayısı 60 dır. Çevresel hızı 8 m/Sn ise:

a. Dişli çarkın devir sayısını,

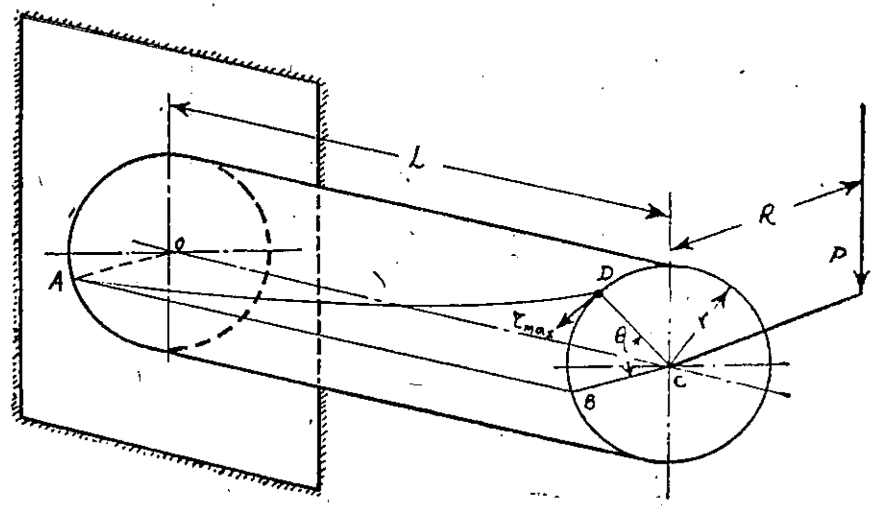
b. Dişli çarkın ilettiği gücü bulunuz.

Cevap a) n = 850 Dev/dak (c = 200 ise)
b) N = 38,5 B.G.

BURULMA (Torsion)

Şekil: 72 de görüldüğü gibi bir ucundan dönmiyecek şekilde ankastre edilmiş çubuğun diğer ucuna eksenine dik bir düzlemde olmak üzere herhangi bir kuvvet çifti etki ettirildiği zaman çubukta bir burulma meydana gelir.

P kuvvetinin meydana getirdiği döndürücü tesir L boyundaki çubuğun sonsuz sayıdaki kesitlerini biribiri üzerinden döndürüp, kaydırarak kopartmak ister. (Ellerinizi biribirine bastırarak, birini sağa, diğerini sola döndürmeye çalışınız. Bir güçlükle karşılaşacaksınız, elleriniz yapışmadan dolayı biribri üzerinde dönmek istemiyecektir. Şu halde avuçlarınızın içine yapışık kuvvetler doğacaktır. Ellerinizin birleştikleri yüzeyi kesite, arada meydana gelen kuvvetleri, kristallerin



Şekil: 72

birbirlerine olan bağları gibi düşünebilirsiniz.) Şu halde burulmaya çalışan bir çubukta aldığımız bir kesitin, bir tarafında kalan parça meselâ sağa dönerse, diğer tarafta kalan parça sola dönmek isteyecektir. Arada yani kesit düzleminde bu hareketleri frenlemek isteyen, kristaller arası kuvvetler meydana gelecektir. Bu kuvvetler kesite çakışmış iç kuvetler olduklarından kayma veya kesme gerilmeleri adını alırlar. Bu gerilmelerin birim alana düşen miktarı bizim için ehemmiyetlidir. Çünkü hesaplamalarımızda daima birim alana gelen iç kuvvet kullanılmaktadır.

Burulan bir çubukta meydana gelen kayma gerilmesi, çubuğun, en dış noktasında en büyük, eksenine yaklaştıkça azalan ve eksende sıfır olan bir durum gösterir. Bütün kesitlerin gerilimlerinin sıfır oldukları noktaları birleştiren çizgi tarafsız (veya dönme ekseni) eksen adını alır. Burulmaya çalışan çubuklarda tarafsız eksen ekseriya kesit ağırlık merkezinden geçer.

Çubuğun, tarafsız eksene uzaklığındaki, herhangi bir noktasında meydana gelen gerilmenin, P kuvvetinin döndürücü tesiriyle (Döndürme momentiyle) Şöyle bir bağıntısı vardır:

τ_d = Burulmada meydana gelen kayma gerilmesi olduğuna göre:

$$\tau_d = \frac{M_d \cdot r}{J_p} \text{ kg/cm}^2 \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (79) \text{ olur.}$$

Burada:

M_d = P Kuvvetinin döndürme momenti (kg. cm)

J_p = Kesit yüzeyinin polâr (kutupsal) atalet momentidir. (cm^4)

$\frac{J_p}{r} = W_p$ (Polâr dayanım momenti) olduğundan denklemde yerine konulursa:

$$\sigma_d = \frac{M_d}{W_p} \quad kg/cm^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (80) \text{ olur.}$$

Bu son ifadeye "burulma dayanımı denklemi' adı verilir.

Kuvvet çiftinin etki ettiği kesitin burulma sonunda eski durumuna göre olan değişikliği burulma açısı ile ifade ederiz. Burulma açısını Θ (teta) ile gösterecek olursak, L boyundaki bir çubukta M_d döndürme momenti dolayısiyle, burulma miktarı:

$$\Theta = \frac{M_d \cdot L}{J_p \cdot G} \quad \text{Radyan} \ldots\ldots\ldots (81);$$

Derece cinsinden bulmak istersek:

$$\Theta = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{M_d \cdot L}{J_p \cdot G} \quad {}^\circ\text{(Derece) olur.}$$

Formülde kullanılan G, kg/cm^2 olarak kayma modülüdür. Kayma modülünün elâstiklik modülü ile arasında şu bağıntı vardır.:

$$G = 0{,}385.E \quad kg/cm^2 \ldots\ldots\ldots (82)$$

Bu bağıntı deneyler neticesi bulunmuştur. Çelik gereçte kayma modülü G = 850 000 kg/cm^2 dir.

Polar atalet ve dayanım momenti

Polâr atalet momenti, atalet momenti alınacak kesitin bulunduğu düzleme dik bir eksene göre atalet momentidir.

Herhangi bir kesitin polâr atalet momenti için, ekatoryal atalet momenti ile aralarında, şu bağıntı yazılabilir:

$$J_p = J_x + J_y \quad cm^4 \ldots\ldots\ldots\ldots (83)$$

J_x = Polâr atalet momenti alınan kesiti, eksenin kestiği noktadan geçen yatay ve kesite teğet eksene göre (ekatoryel) atalet momentidir.

J_y = Aynı noktadan geçen ve x eksenine dik diğer bir eksene göre atalet momentidir. y ekseni kesit düzlemindedir.

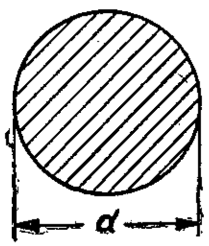
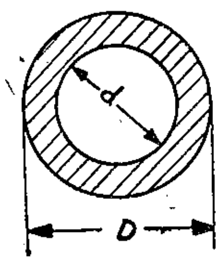
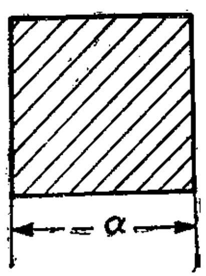
Polâr dayanım momenti, polâr atalet momentinin, burulmaya çalışan herhangi bir çubukta tarafsız eksene en uzak noktanın, bu eksene olan mesafesine bölümü ile bulunur. En uzak noktanın tarafsız eksene olan uzaklığına e dersek: polâr dayanım momenti

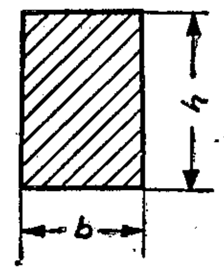
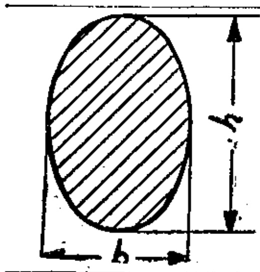
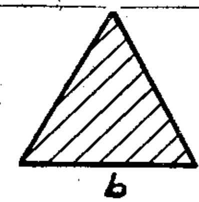
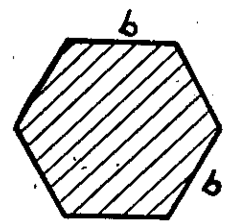
$$W_p = \frac{J_p}{e} \quad cm^3 \ldots\ldots\ldots\ldots (84) \text{ olur}$$

Çeşitli yüzeylerin polâr atalet ve dayanım momentleri 13 numaralı çizelgede verilmiştir.

Çeşitli kesitlerin polâr atalet ve dayanım momentleri (Ağırlık merkezinden geçen eksene göre)

(Çizelge 13)

Kesit şekli		Atalet momenti $Jp = Cm^4$	dayanım momenti $Wp = Cm^3$
	Daire	$\frac{\pi . d^4}{32} = \frac{d^4}{10}$	$\frac{\pi . d^3}{16} = \frac{d^3}{5}$
	Daire halkası	$\frac{\pi . (D^4 - d^4)}{32} = \frac{D^4 - d^4}{10}$	$\frac{\pi}{16} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{D^4 - d^4}{5 . D}$
	Kare		$\frac{2}{9} . a^3$ $\frac{2}{9} a^3$

Kesit şekli		Atalet momenti $Jp = Cm^4$	dayanım momenti $Wp = Cm^3$
	Dikdörtgen		$\frac{2}{9} \cdot b^2 . h$
	Elips		$\frac{1}{5} \cdot b^2 . h$
	Eşkenar Üçgen		$\frac{1}{20} \cdot b^3$
	Düzgün altıgen		$\frac{1}{1,09} \cdot b^3$

Yukardaki çizelgede, atalet ve dayanım momentleri, kesit ağırlık merkezlerine göredir.

Millerin hesaplanması:

Miller, dönme suretiyle bir yerdeki hareketi ve ona bağlı olarak gücü diğer bir yere iletirler. Bu arada gücün meydana getirdiği döndürme momenti dolayısiyle ve iş makinalarına bindirilen yüklerin gösterdikleri dirençler yardımiyle, burulmaya çalışırlar. Miller üzerinde bulunan kasnakları kayışların çekmesi neticesi olarak eğilmeye de çalışırlarsa da bu konuya daha ilerde temas edeceğimizden burada yalnız burulma hesabını yapacağız.

Millerin hareketi iletirken buruldukarını söylemiştik. Bu burulma neticesi meydana gelen 'burulma açısının' 'her metre boyda belirli bir değerden daha fazla olmaması gerektir. Bu miktar $\frac{1}{3}$ dereceyi yani 20' yı aşmamalıdır.

Mil çapı aşağıdaki gibi hesaplanır:

Milin ilettiği güç ve devir sayısı, gereci belli olduğuna göre çap:

$$d = \sqrt[3]{\frac{71620 \cdot \frac{N}{n}}{\frac{1}{5} \cdot \tau d_{em}}} = 71{,}1 \sqrt[3]{\frac{N}{n \cdot \tau d_{em}}} \text{ cm} \quad \ldots\ldots\ldots (85) \text{ olur.}$$

Milin eğilmeye karşı dayanımı hesaba katıldığına göre emniyet gerilmeleri aşağıdaki gibi alınmalıdır:

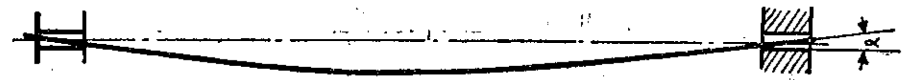
a. Haddelenmiş yumuşak akma çelikler $\tau d_{em} = 120$ kg/cm²

b. Akma çelikler $\tau d_{em} = 200$ »

c. Yüksek kaliteli alaşım çelikleri $\tau d_{em} = 300$ »

Millerde, eğilmeden dolayı meydana gelen şekil değişiminin devamlı olarak değişmesi neticesinde titreşim meydana gelebilir. Bunun için metredeki eğilme miktarı 1/3 m. den büyük olmamalıdır. Eğilmeyi azaltmak için mile fazla kuvvet etki etmesine sebep olan volan, çark, kasnak, kavrama gibi elemanları yataklara yakın bağlamalıdır.

Yatak aralıklarının çok fazla olması sonunda milde meydana gelen eğilme miktarı çoğalacağından Şekil: 73 de görülen α (alfa) açısının değeri büyür. Bu büyüme yataklarda kasıntı ve aşırı aşınma meydana getirir, millerde biribirini kavrıyan dişli çarklar arasında rir ve aşırı aşınma, millerde biribirini kavrıyan dişli çarklar arasında boşluklar hasıl eder. Yatak basıncı artar. Yağlama güçleşir ve böylece milin dönüşü zorlaşır. α açışının değerinin 1/1000 - 1/1200° den büyük olmaması gerektir. Bu şartın sağlanabilmesi için iki yatak



Şekil: 73

arasındaki mesafe mil çapına göre hesaplanmalıdır. İki yatak arası L, mil çapı d ise:

$$L \leq 100 \cdot \sqrt{d} \text{ cm.} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (86) \text{ olur.}$$

Örnek problemler:

1. 300 D/d ile dönen bir mil 15 BG. iletiyor. Mil çapı 8 cm. olduğuna göre meydana gelen burulma gerilmesinin değeri nedir?

Çözüm:
80 numaralı denklemden:

$\tau_d = \frac{M_d}{W_p}$ dir. Buradan M_d ve W_p yi hesaplamak lâzımdır.

$M_d = 71620 \frac{N}{n}$ ifadesinden bulacak olursak:

$M_d = 71620 \cdot \frac{15}{300} = 3581$ kg. cm olarak bulun.

13 numaralı çizelgeden:

$$\frac{d^3}{5} = \frac{8^3}{5} = \frac{512}{5} = 102{,}4 \text{ cm}^3 \text{ bulunur.}$$

$$\tau_d = \frac{3581}{102{,}4} = 35 \text{ kg/cm}^2$$

Sonuç: Milde meydana gelen gerilme 35 kg/cm² dir.

2. Bir mil 600 D/d ile dönerek 5 BG. iletirken milde 150 kg/cm² lik burulma gerilimi meydana geliyor. Bu milin çapı nedir?

Çözüm:

85 numaralı formülden:

$$d = 71{,}1 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n \cdot \tau_{dem}}} = 71{,}1 \sqrt[3]{\frac{5}{600 \, . \, 150}} = \frac{71{,}1}{\sqrt[3]{18000}} = \frac{71{,}1}{26{,}2} = 2{,}7 \text{ cm.}$$

Sonuç: Mil çapı 2,7 cm. dir.

İkinci örnek problemde küp kökün alınışında logaritmadan faydalanabilirsiniz. Veya değerler koyarak, küp kökü alınacak sayıya en yakın olanı bulabilirsiniz.

3. 10 BG. ileten ve bütün mil boyu 20 m olan, transmisyon mili 716 D/d ile dönmektedir. 5,5 cm çapında ve kayma modülü $G = 850000$ kg/cm² olduğuna göre:

a. Bütün mildeki burulma açısının değeri nedir?

b. Burulma miktarı emniyetli sınırlar arasına girer mi?

Çözüm:

Problemin çözümünde 81 numaralı formülün, burulma açısını derece cinsinden veren şeklinden faydalanacağız.

$$\Theta = \frac{180}{\pi} \cdot \frac{M_d \cdot L}{J_p \cdot G} \quad \text{dir.}$$

Formüle hemen tatbik edebilmek için M_d ve J_p ni bulmamız gerektir.

$$M_d = 71620 \, \frac{N}{n} \quad \text{den} \quad M_d = 71620 \cdot \frac{10}{716} = 1000 \text{ kgcm.}$$

$$J_p = \frac{d^4}{10} \quad \text{(13 numaralı çizelgeden alınır.)}$$

$$J_p = \frac{5{,}5^4}{10} = \frac{915{,}0625}{11} = 91{,}5 \text{ cm}^4 \text{ olur.}$$

Yukardaki formülde bulduklarımızı yerlerine koyarsak:

$$\text{a.} \quad \Theta = \frac{180}{3\,14} \cdot \frac{1000 \, . \, 2000}{91{,}5 \, . \, 850000} = 1{,}5^\circ \text{ bulunur.}$$

Bütün mil bu gücü ileterken 1,5 derece burulur.

b. Burulma miktarının emniyetli sınırlar arasında olması için her metre boyda 20'dan fazla burulma açısının meydana gelmemesi lâzımdı, şu halde 20 metrede 1,5 derece = 90′ burulursa her metrede:

$$\frac{90}{20} = 4{,}5'$$

Metrede 4,5 dakikalık burulma açısı meydana geleceğinden mil emniyetli olarak çalışabilecektir.

Çözülecek problemler:

1. Bir gemi uskurunun devir sayısı 120, Gücü 2000 BG. dür. Gemi enerji makinalarının, uskurla irtibatı içi boş m. lik bir mil yardımıyladır. Milin dış çapı 25 cm., iç çapı 10 cm. dir. Kayma modülü 850000 kg/cm² olduğuna göre:

a. Milde meydana gelen burulma gerilmesinin değerini,

b. Mildeki burulma açısının emniyetli sınırlar arasında olup, olmadığını araştırınız.

Cevap: a) $\sigma_d = 266{,}5$ kg/cm² b) $\Theta = 2{,}65'$ (Emniyetlidir)

2. 6 cm çapında ve 40 cm boyunda, freze tezgâhına ait bir mil 5 BG. iletirken 6' buruluyor. Kayma modülü 850000 kg/cm² olduğuna göre:

a. Milin döndürme momentini, Cevap: a) $M_d = 1990$ kg/cm

b. Milin devir sayısını bulunuz. b) $n = 180$ Dev/Dak.

3. Bir torna tezgâhında 60 cm. çapında bir iş torna ediliyor. Kalemin işde meydana getirdiği teğetsel kuvvet 100 kg. dır. 50 cm boyundaki fener milinde doğan gerilim 200 kg/cm² dir. Kayma modülü 85000 kg/cm² olduğuna göre:

a. Fener mili çapını,

b. Fener milinin burulma miktarını bulunuz.

Cevap: a) $d = 53$ mm b) $\Theta = 0{,}0011$ Rd.

4. (50) BG. ileten ve burulma emniyet gerilmesi 300 kg/cm² olan bir mil 300 D/d ile dönüyor.

a. Milin çapı ne olmalıdır?

b. Bu mille bir transmisyon tertibatı yapılacağına göre yatak aralıkları ne kadar olmalıdır?

Cevap: a) $d = 59$ mm b) $l = 245$ cm.

5. Burulma emniyet gerilmesi 250 kg/cm² olan 10 cm çapında ve dakikada 45° D/d ile dönen bir mil ne kadar güç iletebilir?

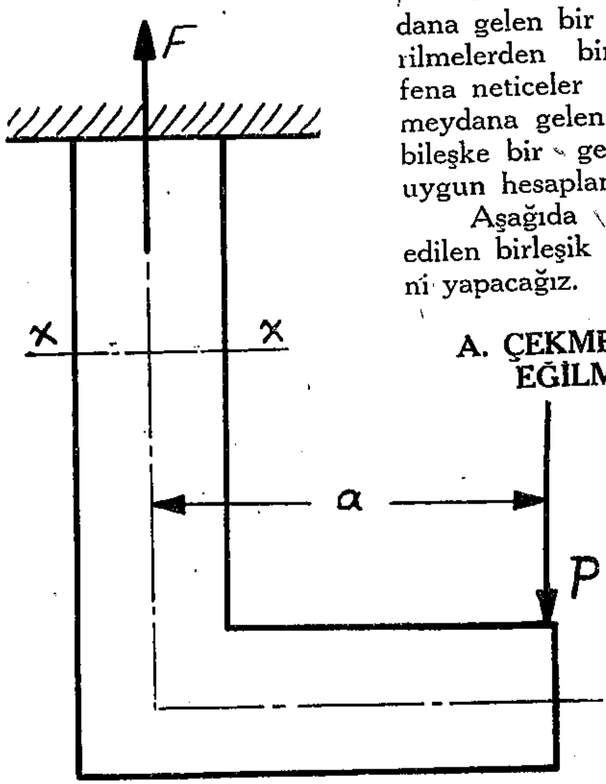
Cevap: $N = 154$ B.G.

BİRLEŞİK GERİLMELER

Makina elemanlarının ve teknikte kullanılan diğer elemanların dayanımları hesaplanırken, çalıştıkları yerdeki kuvvetlerin etki şekilleri iyice incelenir. Elemanlara etki eden bu kuvvetler, elemanı çok defa, buraya kadar dayanımlarını incelediğimiz konuların bir kaçını birden üzerinde birleştirir böylece eğilmenin yanı sıra çekme veya basma, burulmayla eğilme, gibi iki veya daha çok gerilim birden meydana gelebilir. Böyle gerilmelere birleşik gerilme adı verilir.

Üzerinde birleşik gerilmeler meydana gelen bir elemanın, yalnız bu gerilmelerden birine göre hesaplanması fena neticeler doğurabilir. Onun için meydana gelen bütün gerilmelere göre bileşke bir gerilim tayin ederek ona uygun hesaplama yapmak şarttır.

Aşağıda teknikte en çok tesadüf edilen birleşik gerilmelerin incelenmesini yapacağız.



Şekil: 74

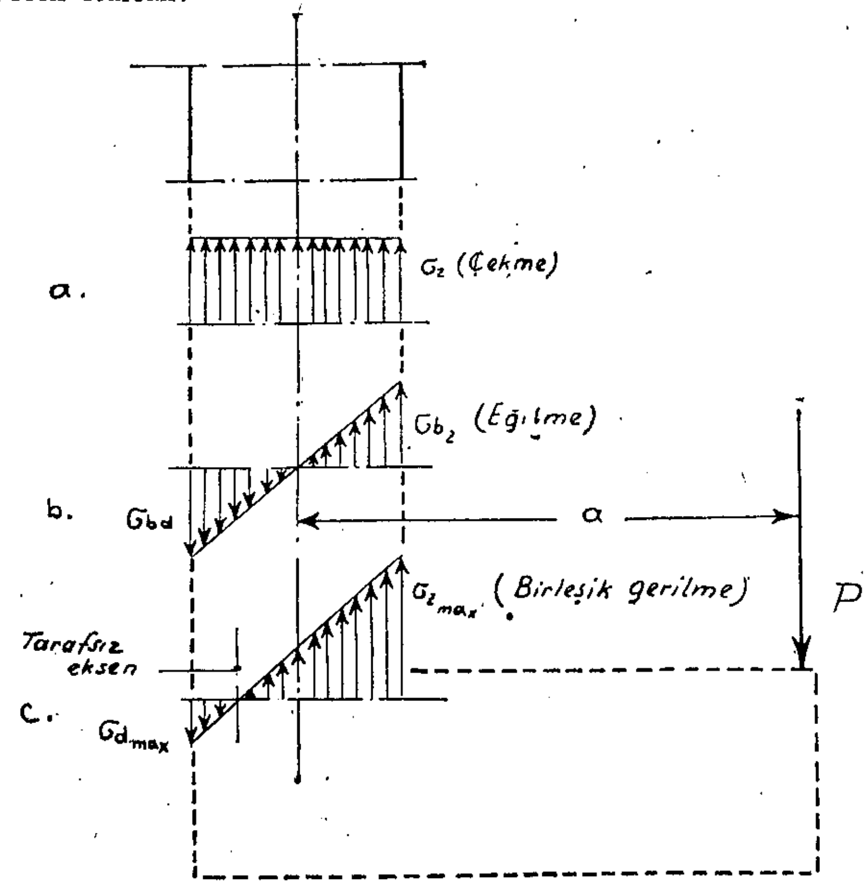
A. ÇEKME (veya basma) — EĞİLME GERİLMESİ

Şekil: 74 de görüldüğü gibi L şeklinde bir çubuğun, A ucuna herhangi bir P kuvvetini yükleyelim. P kuvvetinin dengede kalabilmesi için, C noktasında P kuvvetine eşit şiddet ve ters yönde F kuvveti meydana gelecektir. Bu kuvvetler tesiriyle çubuğun BC kısmı çekmeye, aynı zamanda F ve P kuvvetleri aralarındaki (a) mesafesi dolayısıyla bir kuvvet çifti teşkil edeceklerinden çubukta (P. a) kadar bir eğilme momenti meydana çıkacağından, çubuk eğilmeye de çalışır.

Böylece xx kesitinde çekme gerilmesi ile beraber eğilme gerilmesi ortaya çıkar.

Buradan anlaşılacağı gibi x-x kesitinin hem P kuvvetinin çekmesine, ve hemde P kuvvetinin eğme tesirine göre hesaplanması icap edecektir.

Şekil: 75 de, x-x kesitinde meydana gelen gerilmeleri inceleyecek olursak:



Şekil: 75

Evvelâ çekme gerilmelerini çizelim:

Çekme gerilmeleri, P kuvvetinin tesir yönünün aksine ve bütün kesitte eşit şiddette meydana gelirler. Şekil: 75. a

Eğilme gerilmeleri ise:

P ve kuvvetlerinin teşkil ettikleri kuvvet çifti yardımıyla meydana gelen döndürücü tesir, çubuğu, P kuvvetinin tesir ettiği tarafta çekme aksi tarafta ise basma gerilmelerinin etkisine mâruz bırakacağı tabiidir. Eğilme gerilmesi adını verdiğimiz bu gerilimlerin etki ediş durumları Şekl: 75. b de görülmektedir.

Ayrı ayrı çizilen bu gerilmeler, çubuğa kuvvetin etki ettiği anda beraber meydana geleceklerinden, toplamları olan ve Şekil: 75 c de görülen gerilmeler çubuğu etkilerler.

Dikkat edilirse, kesitin kuvvet tarafında olan kısmında, çekme, ve eğilme gerilmeleri bir yöndedir, ikisi de çekmedir. Bu gerilmelerin toplamlarını alır ve bir ifade şeklinde gösterirsek:

$\sigma z_{max} = \sigma z + \sigma b_z$ kg/cm² . . . . (87) olur.

Diğer tarafta, çekme ve eğilme gerilmeleri aynı yönlü değildirler. Çünkü eğilme dolayısiyle bu tarafta basılma gerilmesi meydana gelir. Toplamları:

$\sigma d_{max} = \sigma b_d - \sigma_z$ kg/cm² . . . . (88) olur

Kesitte en büyük gerilme σz_{max} olduğundan, kesit boyutları buna göre tâyin edilir. Ölçü bulunmasında:

$\sigma z_{max} = \sigma_z + \sigma b_{bz} = \frac{P}{F} + \frac{P\,.\,a}{W}$ buradan da:

$\sigma z_{max} = \frac{P}{F} + \frac{M_b}{W}$ kg/cm² . . . . (89) yazılır.

Çekme ve eğilmeye en iyi misâl cer kancasıdır.

Kanca :

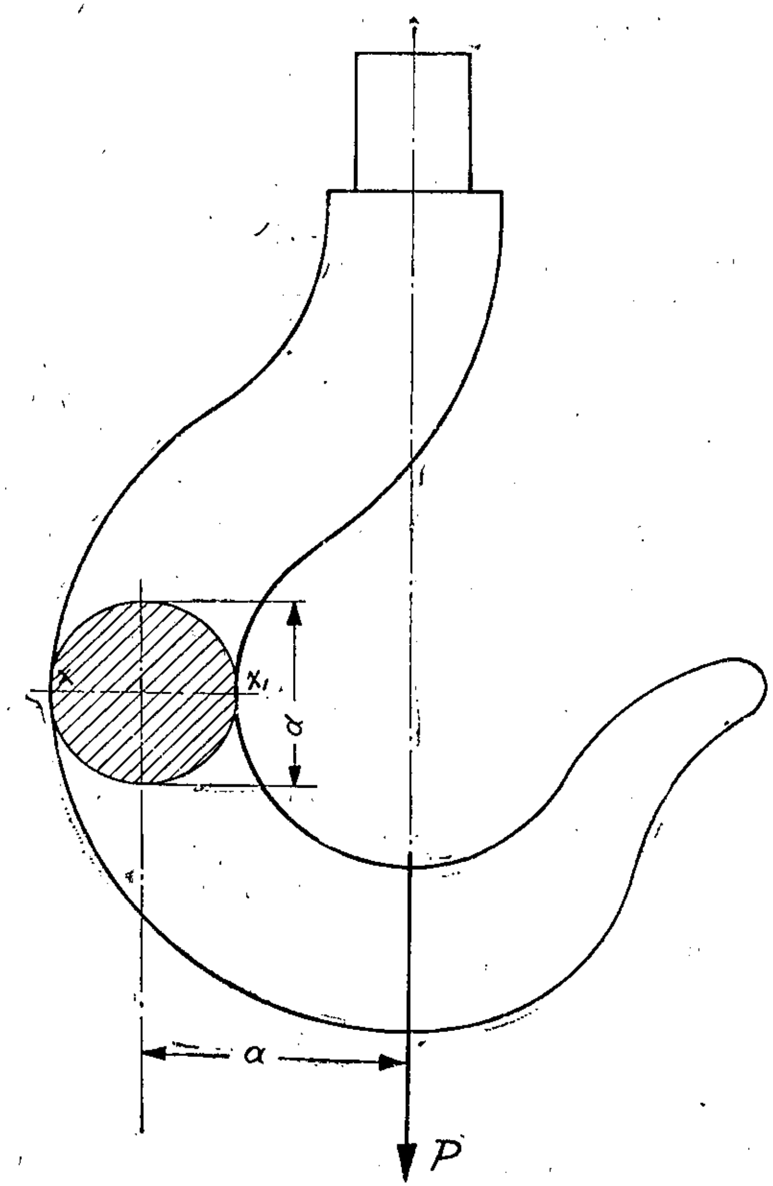
Kaldırma ve cer araçlarının pek çoğunda yardımcı eleman olarak kullanılır. Şekil: 76.

Şekil: 76 da görülen kancaya tesir eden P kuvveti, x-x kesitinde çekme ve eğilme gerilmeleri meydana getirir. Bu gerilmelerin cebrik toplamı 89 numaralı formülle ifade edildiği gibi:

$$\sigma z_{max} = \frac{P}{F} + \frac{M_b}{W}$$

şeklinde gösterilir. Bu ifade:

P = kg olarak kancaya gelen yük,
F = cm² olarak x-x kesiti alanı,
W = cm² olarak x-x kesiti dayanım momenti,
M_b = kg. cm olarak, kesit ağırlık merkezine göre momentini,



Şekil: 76

a = cm olarak kanca kesiti ağırlık merkezi ile P kuvveti doğrultusu arasındaki mesafedir.

Örnek problem:

Şekil: 76 da görülen kanca ile 5 ton yük kaldırmak istiyoruz. $a = 1,5\ d$ $\sigma_{max} = 600\ kg/cm^2$ olduğuna göre:

I. d çapını,
II. a mesafesini hesaplayınız.

Çözüm: 89 numaralı formülden:

$$\sigma z_{max} = \frac{P}{F} + \frac{M_b}{W} \quad \text{den,} \quad F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = cm^2 \text{ dir.}$$

$W = \dfrac{\pi \cdot d^3}{32}$ cm³ dür. F ve W nin karşılıklarını yukardaki denklemde yerine koyacak olursak:

$$\sigma z_{max} = \frac{P}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} + \frac{1,5 \cdot d \cdot P}{\frac{\pi \cdot d^2}{32}} = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^2} + \frac{1,5 \cdot d \cdot P \cdot 32}{\pi \cdot d^3} \quad \text{buradan,}$$

$$\text{I.}\quad d = \sqrt{\frac{4 \cdot P + 1,5 \cdot 32 \cdot P}{\pi \cdot \sigma z_{max}}} = \sqrt{\frac{52 \cdot P}{600 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{52 \cdot 5000}{600 \cdot 3,14}} = \sqrt{\frac{830}{6}} =$$

$\sqrt{138} = 11,7$ cm.

II. $a = 1,5.d = 1,5.11,7 = 17,55$ cm. olur.

Sonuç: Kanca x-x kesiti çapı 11,7 cm. a mesafesi ise 17,55 cm dir.

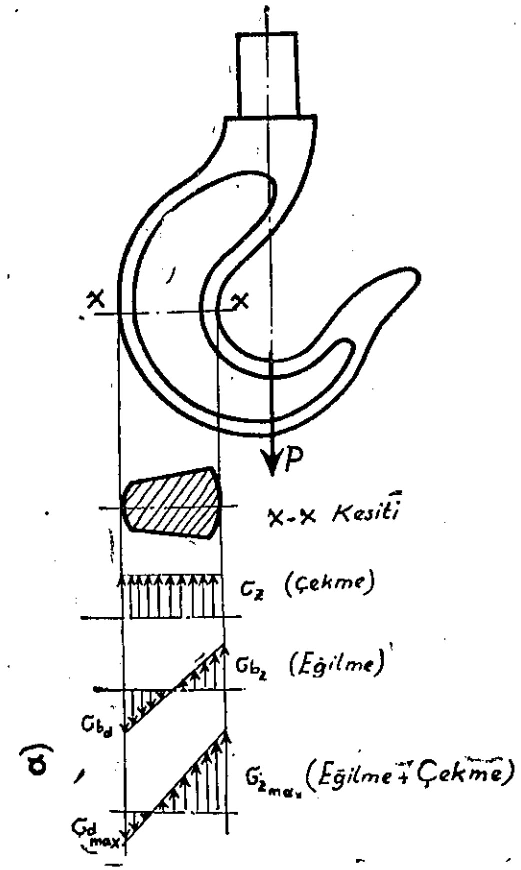
Kancalarda yükün asıldığı taraf en büyük çekme gerilmesine. dış taraf da çekme ve basma gerilmelerinin cebrik toplamı (Aritmetik farkı) kadar bir gerilme meydana gelecektir. xı tarafı yani yükün asıldığı tarafa gerilmeleri, dış taraf (x) tarafı gerilmelerine nazaran daha büyük olacaktır.

Kanca yapımında bu hal nazarı itibara alınarak dış taraf kesit ölçüsü azaltılır. Şekil: 77 bunu açıkça göstermektedir. Biz burada yalnız kanca kesitini daire olarak hesaplıyacağız.

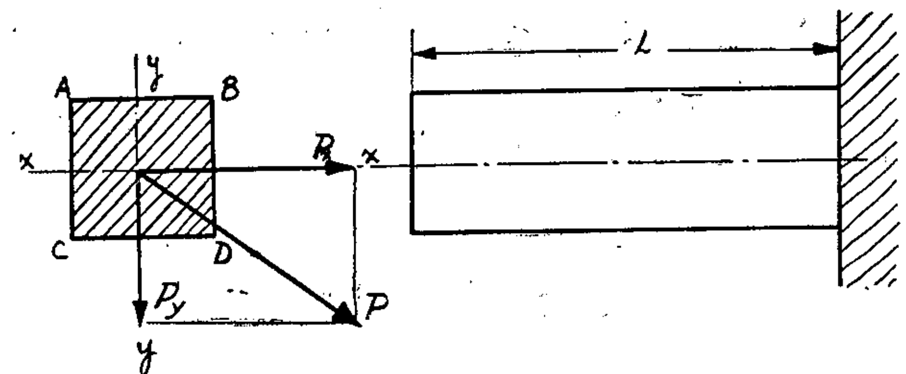
B. ÇİFT EĞİLME GERİLMESİ

Şekil: 78 de görülen bir ucu ankastre kirişe etki eden P kuvveti kirişi hem x, hem de y, doğrultusunda eğilmeye zorlar.

Bu halde en büyük gerilmeler A ve D noktalarında meydana gelir.



Şekil: 77



Şekil: 78

P_x kuvvetiyle x doğrultusunda eğilme sonucu olarak: $\overline{AC}$ boyunca çekme, $\overline{BD}$ boyunca basma,

P_y kuvvetiyle y doğrultusunda eğilme sonucu olarak: $\overline{AB}$ boyunca çekme, $\overline{CD}$ boyunca basma gerilmeleri ortaya çıkar.

Böylece A noktasında iki çekme gerilmesi, D noktasında ise iki basma gerilmesi birleşmektedir. Bu birleşme neticesinde A ve D noktaları en tehlikeli noktalar olmaktadırlar. Bu noktalardaki gerilimler P_x ve P_y kuvvetlerinin meydana getirdikleri gerilimler cebrik toplamına eşittir. Bir ifade şeklinde yazacak olursak:

$$\sigma b_{max} = \sigma b_x + \sigma b_y \quad \text{olur.}$$

Yukardaki ifadeyi daha işleyip dayanım denklemi şeklinde yazacak olursak:

$$\sigma b_{Max} = \frac{P_x . L}{W_y} + \frac{P_y . L}{W_x} = \frac{Mb_x}{W_y} + \frac{Mb_y}{W_x} \quad kg/cm^2 \ldots\ldots (90)$$

Eğilmede eğmeye çalışan kuvvet doğrultusuna dik ve tarafsız eksenden geçen eksene göre ekatoryel atalet momenti alınacağından, yukardaki ifadede:

P_x kuvvetinin, eğilme hesabında y eksenine göre atalet momenti,
P_y kuvvetinin, eğilme hesabında x eksenine göre atalet momenti,

Örnek problem:

Şekil: 79 da görüldüğü gibi, bir tarafından ankastre, bir çubuğa 150 kg lık ağırlık asılmıştır, yatayla 45° lik açı yapan 700 kg lık diğer bir kuvvetle çubuk ucundan çekildiğine göre, boyu 50 cm. ise çapı ne olur? $\sigma b_{max} = 700$ kg/cm² alınacaktır.

Çözüm:

Problemin çözümünde 90 numaralı bağıntıdan faydalanılır. Evvelâ x ve y doğrultusunda etki eden kuvvetlerin şiddetlerini bulalım:

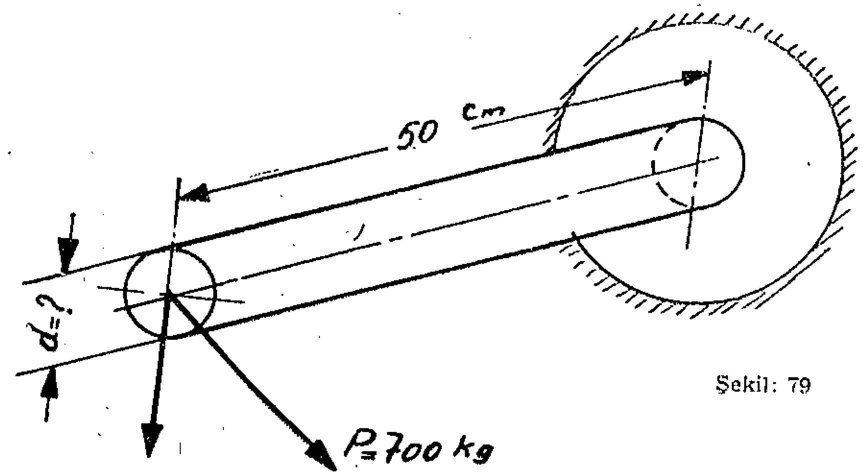
$$P_x = 700.Cos.45° = 700.0,707 = 490 \text{ kg.}$$
$$P_y = 700.Sin\ 45° + G = 700.0,707 + 150 = 490 + 150 = 640 \text{ kg.}$$

83 numaralı denklemde yerlerine konulursa:

$$b_{max} = \frac{490 . 50}{d^3 / 10} + \frac{640 . 50}{d^3 / 10} = \frac{(24500 + 32000)\, 10}{d^3} = \frac{565000}{d^3} = 700$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{5650}{7}} = \sqrt[3]{807} = 9,4 \text{ cm.}$$

Sonuç: Çubuk çapı 9,4 cm. olmalıdır.



Şekil: 79

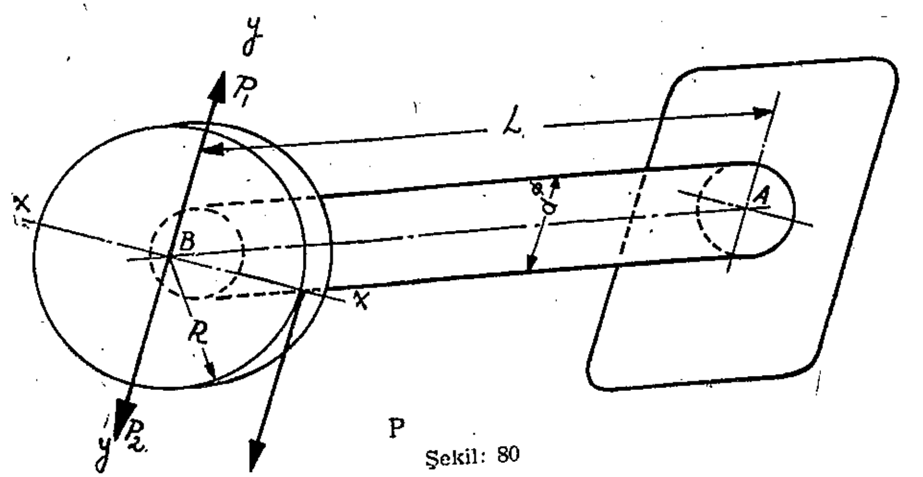
EĞİLME BURULMA GERİLMESİ

Transmisyon tertibatı ile çalışan bir atelyeye girdiğimiz zaman, transmisyon milinin durumuna dikkat edecek olursak; iş makinalarına güc iletebilmek için yüklendikleri döndürme momenti dolayısiyle burulmaya, üzerindeki kasnak ağırlıkları ve nihayet kayış çeki kuvvetlerinin etkileri neticesinde eğilmeye çalışırlar. Bu suretle burulma ile eğilme gerilmeleri aynı zamanda mil üzerinde meydana gelmiş olurlar. Bu suretle burulma ile eğilme gerilmeleri aynı zamanda mil üzerinde meydana gelmiş olurlar.

Şekil: 80 de görüldüğü gibi bir ucu ankastre kirişe bağlanan bir volana teğet olarak tesir eden P kuvvetinin durumunu inceleyelim.

P kuvveti, R yarı çapındaki kasnağa tesir etmesi sonucu olarak, L uzunluğundaki mili burmaya çalışır.

Bir kuvvet sistemine ilâve edilen veya çıkarılan denge halindeki kuvvet sistemlerinin, esas kuvvet sistemine tesiri olmıyacağından y ekseni üzerine, şiddetleri P kuvvetine eşit aksi yönlü P_1 ve P_2 kuvvetlerini yerleştirelim (Eş doğrultulu, eşit şiddet ve aksi yönlü kuvvetler dengededir.) P_1 ve P bir kuvvet çifti olurlar, ve P kuvvetinin



Şekil: 80

B noktasına göre olan momenti kadar bir momentle çubuğu burmaya çalışırlar. P_2 kuvveti ise kirişi eğmeye çalışır.

Böylece, hem burulmadan dolayı kayma (kesme) gerilmesi ve hem de eğilmeden dolayı normal gerilmeler (Eğilme gerilmesi) meydana gelir.

Burulma gerilmesinin değeri: $\tau_d = \frac{M_d}{W_p}$,

Eğilme gerilmesinin değeri: $\sigma_b = \frac{M_b}{W}$ olduğundan iki cins gerilmenin bileşkesi olarak meydana gelen en büyük normal gerilme σ_t, ile gösterilirse:

$$\sigma_t = 0{,}36 \cdot \sigma_b + 0{,}65 \cdot \sqrt{\sigma_b + 4 \cdot \tau_d^2} \quad kg/cm^2 \; \ldots\ldots (91)$$

olur. Kısaca gösterilmek istenirse:

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_b + 2{,}6 \cdot \tau_d^2} \quad kg/cm^2 \; \ldots\ldots\ldots (92) \text{ olur.}$$

Eğilme - burulma birleşik gerilmesinin hesaplanması sonucu olarak yüksek dereceli denklemlere gidilir. Bunun basit bir eğilme hesabı gibi yapılabilmesi için, eğilme - burulma neticesini sağlıyan, M_b ve M_d momentlerinin bileşkesi olan bir momentten faydalanılır.

Buna **"İdeal eğilme momenti"** adı verilir ve aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$M_i = 0{,}35 \cdot M_b + 0{,}65 \cdot \sqrt{M_b^2 + (\alpha_0 \cdot M_d)^2} \quad kg.\,cm \; \ldots\ldots\ldots\ldots (93)$$

Burada: $\alpha_0 = \frac{\sigma b_{em}}{1{,}3 \cdot \tau d_{em}}$ dir. .... (94)

Böylece bulunan ideal eğilme momenti yardımiyle aşağıdaki bağıntıdan bu cins birleşik gerilmeye mâruz makina elemanının boyutları aşağıdaki ifadeden kolayca hesaplanabilir:

$$M_i = \sigma b_{em} \cdot W \quad kg/cm \; \ldots\ldots\ldots\ldots (95)$$

Bu ifadede:

W = Kesitin ekatoryel dayanım momenti (cm^3)

M_i = İdeal eğilme momenti (kg cm)

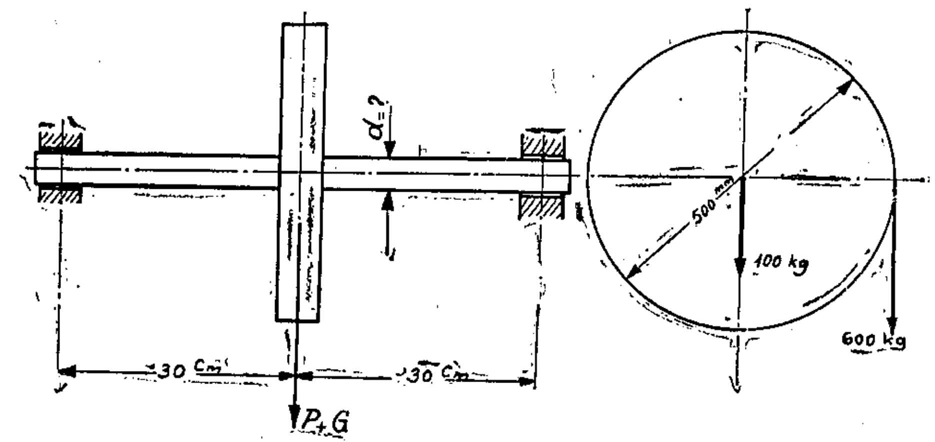
σb_{em} = Eğilme emniyet gerilmesidir. (kg/cm^2)

Örnek problem:

Bir mil Şekil: 81. de görüldüğü gibi yüklenmiştir. $\sigma b_{em} = 500$ kg/cm^2, ve $\tau d_{em} = 300$ kg/cm^2 olduğuna göre

a = Mil çapını,

b = Milde meydana gelen en büyük normal gerilmeyi bulunuz.



Şekil: 81

Çözüm:

a. Eğilme momentini bulabilmek için yatak tepkilerini ve en tehlikeli kesiti bulmamız gerektir.

Kiriş simetrik yüklendiğine göre yatak tepkileri biribirine eşittir. En tehlikeli kesit de orta yerdedir. Buna göre:

$$R_A = R_B = \frac{700}{2} = 350 \text{ kg. dır.}$$

$$M_b = 350.30 = 10500 \text{ kg cm,}$$

$$M_d = 600.25 = 15000 \text{ kg cm dir.}$$

İdeal eğilme momentini 93 numaralı bağıntıdan alır ve yerine 94 numaralı karşılığını yazacak olursak:

$$M_i = 0{,}35 \,.\, M_b + 0{,}65 \,.\, \sqrt{M_b{}^2 + \left(\frac{\sigma b_{em}}{1{,}3 \,.\, \tau d_{em}} \,.\, M_d\right)^2}$$

olur. Formülde bulduklarımızı yerlerine koyacak olursak:

$$M_i = 0{,}35 \,.\, 10500 + 0{,}65 \,.\, \sqrt{10500^2 + \left(\frac{500}{1{,}3 \,.\, 300} \,.\, 15000\right)^2} = 33075 \text{ kg.cm}$$

bulunur.

Bulduğumuz ideal eğilme momentini 95 numaralı denklemde yerine koyacak olursak:

$$M_i = \sigma_b \,.\, W \text{ den } 33075 = 500 \,.\, \frac{1}{10}\, d^3$$

$d^3 = \frac{33075}{50} = 661{,}5$ bulunur. Logaritma yardımı ile $d^3 = 661{,}5$ ifadesini çözecek olursak:

$$3 \,.\, \lg d = \frac{1}{3} \lg 661{,}5 \text{ den } \quad d = 8{,}7 \text{ cm olarak bulunur.}$$

b. En büyük normal gerilmeyi 92 numaralı formülden bulacağız.

$$\sigma_t = \sqrt{\sigma_b{}^2 + 2{,}6 \,.\, \tau_d{}^2} = \sqrt{500^2 + 2{,}6 \,.\, 300^2} = \sqrt{484000} = 695 \text{ kg/cm}^2$$

Sonuç: Şekil: 81. deki gibi yüklenen milin çapı 8,7 cm. dir. Eğilme ve burulma gerilmelerinin bileşkesi olarak 695 kg/cm² lik normal gerilme meydana gelir.

BURULMA - ÇEKME (veya basma) GERİLMESİ

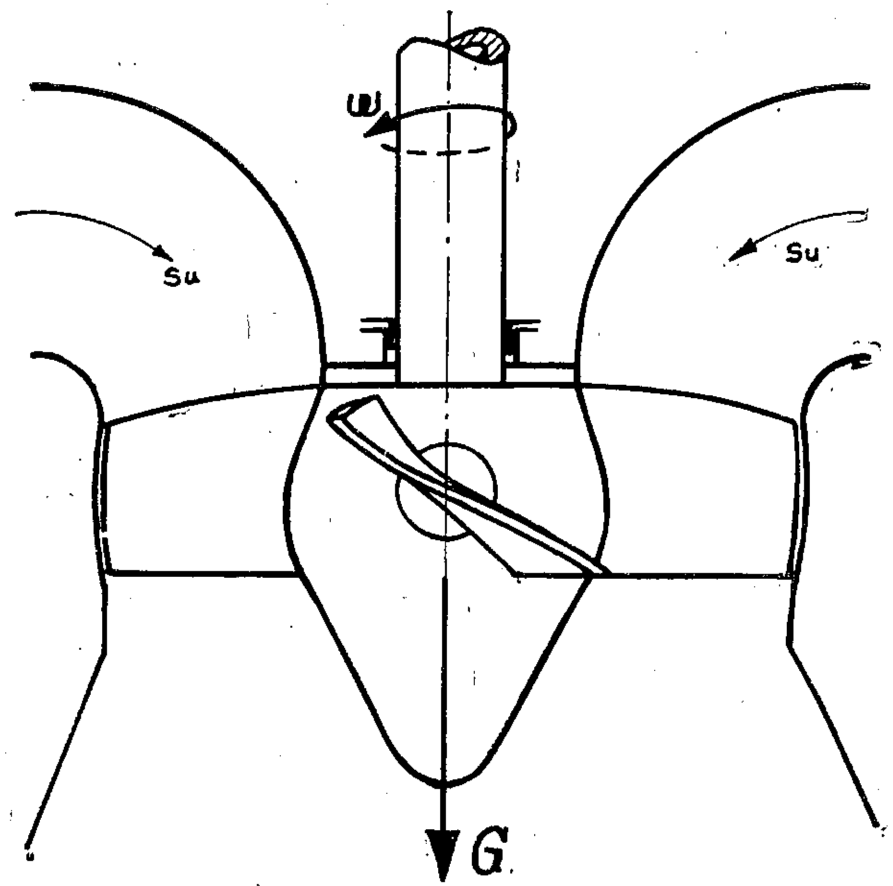
Her çeşit matkap tezgâhı milleri, düşey çalışan su türbünlerine ait miller, pervane milleri üzerinde meydana gelen gerilmeler burulma ve çekme (basma) gerilmelerinin birleşik bir şeklidir.

Şekil: 82 de görülen, düşey durumda çalışan su türbününe ait mil, kendi ağırlığı ve kanad ağırlıklariyle suyun kanadlara yaptığı basıncın düşey bileşeni mili çekmeye, suyun kinetik enerjisinden dolayı kanadlara yaptığı basıncın yatay bileşeninin meydana getirdiği döndürme momenti mili burmaya çalışır.

Bir matkap tezgâhında delik delerken, matkap ve mandrenin takıldığı mil basılma ve burulma gerilmelerinin etkisine mâruz kalır.

Burulma ve çekme (Basma) gerilmelerinin beraberce meydana gelmeleri sonunda, en büyük, kayma gerilmesi:

$$\tau_{max} = \sqrt{\frac{1}{4} \,.\, \sigma_z{}^2 + \tau_d{}^2} \quad \text{kg/cm}^2 \quad \ldots \ldots (96)$$



Şekil: 82

Normal gerilme $\sigma_{max} = \frac{\sigma_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_d^{\,2}}$ kg/cm² . . . . (76)

ifadeleri ile bulunur.

Makina elemanının güvenle çalışabilmesi için bu bileşke gerilimlerin emniyetli gerilmelerden küçük olması lâzımdır.

Bu gerilmelerle çalışan makina parçasının en büyük kayma gerilimine göre dayanım denklemini yazacak olursak:

$$\tau_{max} = \sqrt{\frac{1}{4}\left(\frac{P}{F}\right)^2 + \left(\frac{M_d}{W_p}\right)^2} \text{ kg/cm}^2 \;\ldots\ldots\; (98)$$

olur.

Yine aynı makina parçasının en büyük normal gerilme neticesine göre dayanım denklemini yazacak olursak:

$$\sigma_{max} = \frac{P_v}{2.F} + \sqrt{\left(\frac{P}{2.F}\right)^2 + \left(\frac{M_d}{W_p}\right)^2} \text{ kg/cm}^2 \;\ldots\ldots\; (99) \text{ olur.}$$

Örnek problem:

Şekil 83. deki gibi yüklenen bir çubuğun çapı 2 cm ise, çubuk kesitin de meydana gelen en büyük kesme ve normal gerilmeleri bulunuz.

Çözüm: Çubuğu burmaya çalışan ve çekmeye çalışan kuvvetleri bulalım:

Burmaya P_x = 100. Cos 30° = 100.0,866 = 86,6 kg.

Çekmeye P_y = 100.Sin 30° = 100.0,5 = 50 kg.

Çubuğun kesit alanı: $F = \frac{3{,}14 \cdot 2^2}{4} = 3{,}14$ cm²

Çubuğun polâr dayanım momenti 13 No. çizelgeden

$$W_p = \frac{1}{5} d^3 = 8/5 = 1{,}6 \text{ cm}^4 \text{ olur.}$$

Meydana gelen çekme gerilmesi $\sigma_z = 50/3{,}14 = 15{,}9 = 16$ kg/cm²

Meydana gelen burulma gerilmesi $\tau_d = \frac{M_d}{W_p} = \frac{86.6}{1{,}6} = 54{,}1$ kg/cm²

Bulduklarımızı 96 ve 97 numaralı denklemlerde yerlerine koyarsak:

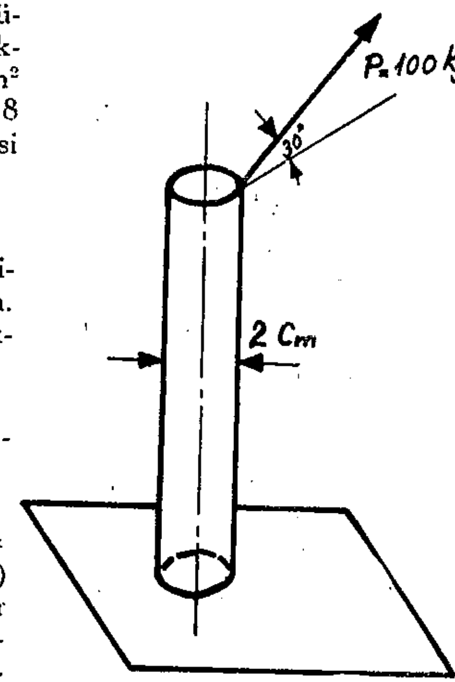
En büyük kesme gerilmesi

$$\tau_{max} = \sqrt{\frac{1}{4} \cdot 16^2 + 54{,}1^2}\;\sqrt{2990} = 54{,}75 \text{ kg/cm}^2$$

En büyük kesme gerilmesi

$$\sigma_{max} = \frac{16}{2}\sqrt{\left(\frac{16}{2}\right)^2 + 54{,}1^2} \equiv 62{,}8 \text{ kg/cm}^2 \text{ olur.}$$

Sonuç: Şekil: 83 de görüldüğü gibi yüklenen çubukta bu yükleme neticesi olarak, 54,75 kg/cm² lik bileşke kesme gerilmesi, 62,8 kg/cm² lik bileşke çekme gerilmesi meydana gelir.



Şekil: 83

Çözülecek problemler:

1. Şekil: 84 de görüldüğü gibi yüklenen, kare kesitli ve 60 cm. uzunluktaki çubuk 90 kg. ağırlıktadır.

σ_z = 300, σ_b = 500 kg/cm²

olduğuna göre çubuğun a ölçüsünü bulunuz.

Cevap:

a = 4,9 cm (σbz_{max} = 500 + 300 = 800 kg/cm²)

2. Kesit çapı 5 cm olan bir kanca ile 1500 kg. yük kaldırılıyor. a = d olduğuna göre meydana gelen bileşke gerilmenin değeri ne olur?

Cevap:

σz_{max} = 676,5 kg/cm² σd_{max} = 523,5 kg/cm²

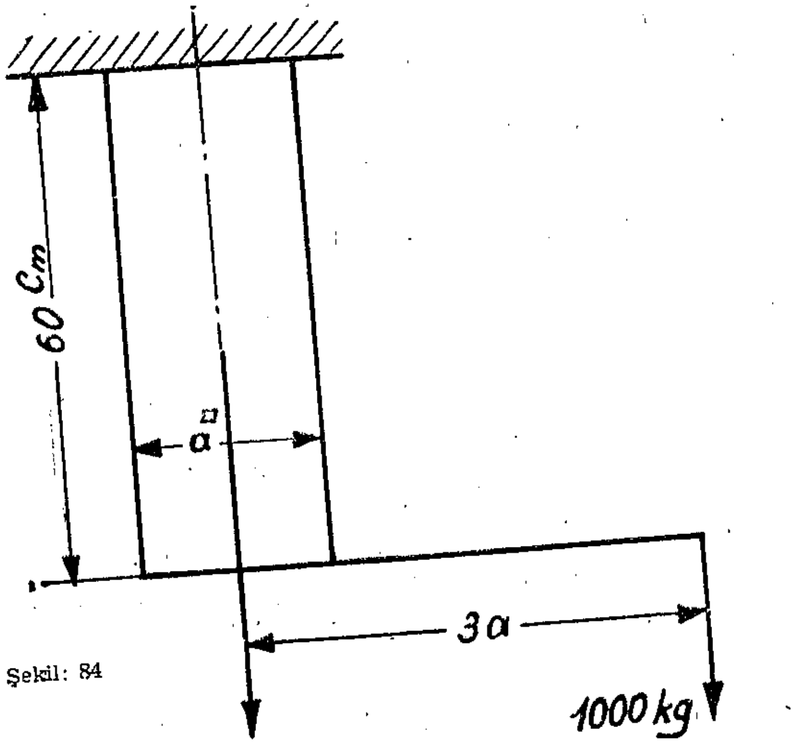
3. Bir ucu ankastre ve dikdörtgen kesitli bir çubuk Şekil: 85. de görüldüğü gibi yüklenmiştir. Meydana gelen en büyük çekme gerilmesinin değerini bulunuz.

Cevap:

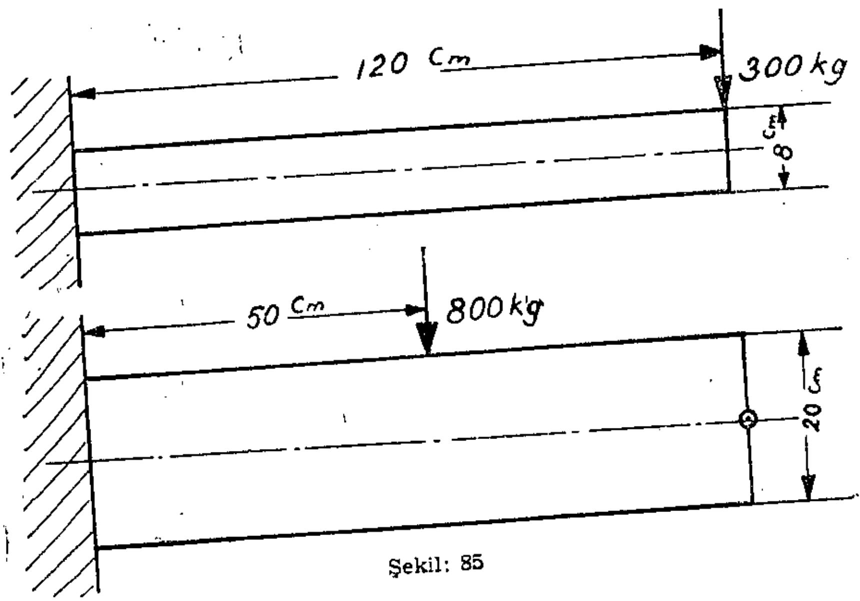
σbz_{max} = 24,75 kg/cm²

4. 6 cm çapında bir kirişin ideal eğilme momenti hesaplanmış, ve M_i = 20100 kg cm bulunmuştur. $\alpha_0 = 1$ olduğuna göre:

a. Eğilme gerilmesini,
b. Burulma gerilmesini,
c. En büyük normal gerilmeyi bulunuz.



Şekil: 84



Şekil: 85

Cevap:

a) $\sigma b_{em} = 930$ kg/cm² b) $\tau_d = 715$ kg/cm² c) $\sigma_t = 1480$ kg/cm²

5. 1 BG. takatındaki bir elektrik motoru ile çalışan matkap tezgâhı, mandren mili 5 cm çapındadır. 400 D/d ile çalışırken, deliği delebilmek için mil 120 kg lık bir kuvvetle ekseni doğrultusunda bastırılıyor. Buna göre:

a. Mildeki basma gerilmesini,

b. Mildeki burulma gerilmesini,

c. En büyük normal gerilmeyi,

d. En büyük kesme gerilmesinin değerini bulunuz.

Cevap:

a. $\sigma_d = 6{,}12$ kg/cm² b) $\tau_d = 7{,}16$ kg/cm²

c. $\sigma_{max} = 10{,}88$ kg/cm² d) $\tau_{max} = 7{,}8$ kg/cm²

BURKULMA DAYANIMI (FLÂMBAJ)

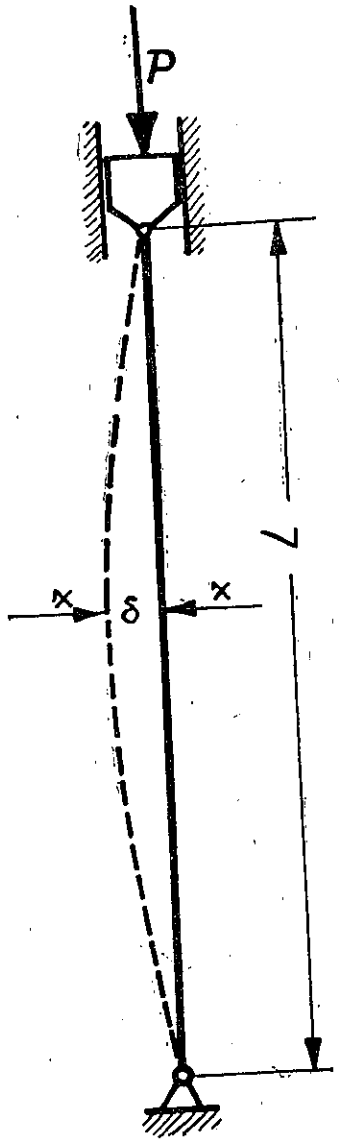
Elimize ince ve uzun bir çubuk alıp, bir ucunu yere dayar, diğer ucundan yerdeki uca doğru elimizle bastıracak olursak, çubuk etki ettiğimiz kuvvete dik bir durumda eğilir, kuvvetimiz kâfi gelirse kırılır.

Çubukta meydana gelen eğilmeye "belverme", bütün bu olayada (Flâmbaj) "burkulma dayanımı" denir. Çubukların burkulmaya karşı dayanımları birkaç metoda göre hesap edilir.

Euler metoduna göre dayanım hesabı:

Şekil: 86 da görüldüğü gibi bir çubuk iki ucundan pimlenip, boy ekseni doğrultusunda herhangi bir P kuvveti ile yüklenirse, çubuk basınca zorlanır ve δ (delta) kadar şekil değiştirir. Bu eğilme neticesinde P. δ kadar bir moment meydana geleceğinden çubuk eğilmeyede zorlanır.

Kiriş bu kuvetle ve bu durumda dengede kaldığına göre moment değişmeyecektir. Eğer P kuvveti eğilme miktarını muhafaza edecek şiddette değilse çubuk eski şekline döner.



Şekil: 86

Meydana gelen şekil değişimi (eğilme oku) 8 numaralı çizelgeden: En büyük değeri;

$$\delta = \frac{M_{max} L^2}{10 . E . J} \text{ dir.}$$

Burada $M_{max} = P . \delta$ olduğundan,

$$\delta = \frac{P . \delta . L^2}{10 . E . J} \text{ olur.}$$

Buna göre kirişte dengeyi sağlıyan yük:

$$P = \frac{10 . E . J}{L^2} \text{ kg.} \quad . . . . (100) \text{ olur.}$$

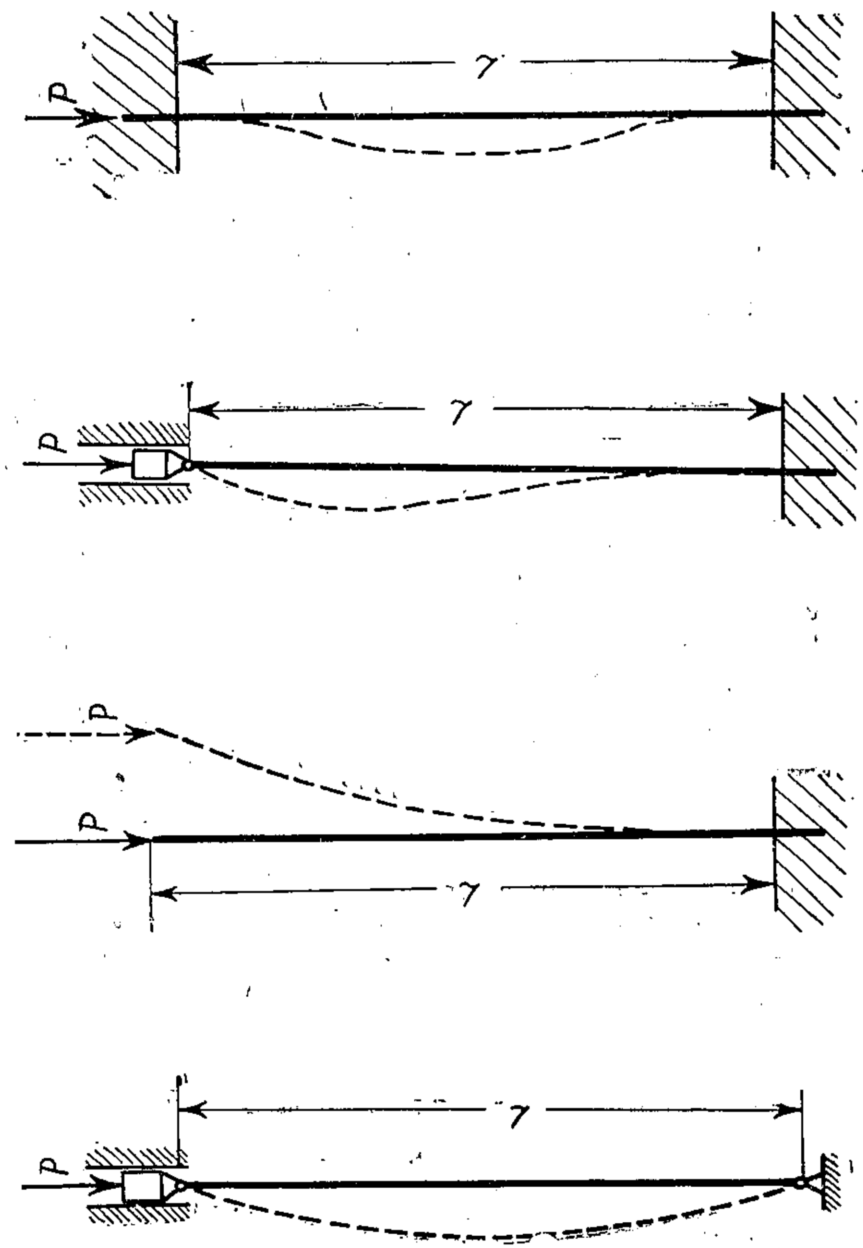
Dengeyi sağladıktan sonra, eğilmesini muhafaza eden P kuvvetinin şiddetine "Kritik basınç yükü" adı verilir.

Eğer P kuvveti, δ eğilmesini gittikçe artıracak bir karekterde ise moment te artacak, buna bağlı olarak şekil değişimi de çoğalacak ve nihayet çubuk kırılacaktır.

Eğilme konusunda, çubukların eğilme miktarlarını veren çizelgeye bir göz atacak olursanız, eğilme oklarının, çubuk uçlarının bağlantı şekillerine ve kuvvetin tesir ediş şekline bağlı olduğunu görürsünüz. Aynı hal burada da varittir. Çubuk uçlarının bağlantı şekillerine ve dolayısıyle kuvvetin çubuk boy ekseni doğrultusunda tesir ettiğine göre Euler formülünün alacağı durumlar şekil 87 de gösterilmiştir.

Makina yapımında en çok tesadüf edilen Şekil: 87 a da görülen durumdur. Piston ve biyel kolları gibi.

Euler formülü ile hesap edilen kritik basınç yükü daha ziyade ince ve uzun çubuklarda doğru neticeler vermektedir. Kritik basınç yükünün etkisi altında olan bir çubuk da meydana gelen gerilmeye "kritik burkulma gerilmesi" denir. Bu gerilmenin değeri:



d) İki ucu ankastre $P = \frac{40 . E . J}{L^2}$

c) Bir ucu ankastre, diğeri pimli $P = \frac{20 . E . J}{L^2}$

b) Bir ucu ankastre diğeri serbest $P = \frac{10 . E . J}{4 . L^2}$

a) İki ucu pimli $P = \frac{10 . E . J}{L^2}$

Şekil: 87

$$\sigma_k = \frac{P}{F} = \frac{10 . E . J}{F . L^2} \quad kg/cm^2 \ldots\ldots\ldots (101) \text{ olur.}$$

Herhangi bir kesitin atalet momentinin, aynı kesitin alanına bölünmesinden çıkan kıymetin kare kökünü almakla elde ettiğimiz sayıya o kesitin "atalet yarı çapı" veya "Jirasyon yarı çapı" denir. Yani jirasyon yarı çapı öyle bir yarı çaptır ki, karesi ile kesit alanı çarpımı, o kesitin atalet momentini verir. Atalet yarı çapını i ile gösterecek olursak:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}} \quad cm. \ldots\ldots\ldots\ldots (102) \text{ olur.}$$

Kritik burkulma gerilmesini veren 101 numaralı denklemde $\frac{J}{F}$ yerine jirasyon yarı çapı cinsinden karşılığını koyacak olursak:

$$\sigma_k = \frac{10 . E . i^2}{L^2} \quad kg/cm^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (103) \text{ olur.}$$

Teknikte çubuk boyunun, atalet yarı çapına bölümüne çubuğun "narinliği" denir ve λ (Lamda) ile gösterilir. Cebrik olarak ifade etmek istersek:

$$\lambda = \frac{L}{i} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (104) \text{ dir.}$$

103 numaralı denklemde $\frac{i^2}{L^2}$ yerine $\frac{1}{\lambda^2}$ yazacak olursak, kritik burkulma gerilmesi:

$$\sigma_k = \frac{10 . E}{\lambda^2} \quad kg/cm^2 \ldots\ldots\ldots\ldots (105) \text{ olur.}$$

Bu formülle, elâstiklik sınırı ve elâstiklik modülü belli olduğuna göre Euler formülünün kullanılabileceği narinlik sınırı hesap edilmiş olur. σ_k elâstiklik sınırındaki gerilme kabul edilir.

Örnek problem: ck

Elâstiklik sınırı 3000 kg/cm² olan çelik malzemenin elâstiklik modülü 2100000 kg/cm² ise narinlik derecesi nedir?

Çözüm: 105 numaralı denklemden:

$$\sigma_k = \frac{10 . E}{\lambda^2} \text{ den, } \lambda = \sqrt{\frac{10 . E}{\sigma_k}} = \sqrt{\frac{10 . 21\,00000}{3000}} = \sqrt{7000} = 83{,}5$$

Bu hale göre yukardaki özellikte çelik için, Euler formülü narinliği 83,5 den aşağı çubuklar için kullanılmaz.

Makina parçalarının ve çeşitli çubukların flambaja dayanması için emniyet katsayılarının:

Akma çelik	= 5
Font	= 8
Ağaç	= 10

alınması uygun olur. Yalnız piston kolu, biyel gibi hem hareket halinde ve hem de değişen, eksen doğrultusundaki kuvvetlere maruz çubuklarda emniyet katsayısı 8 - 10 alınmalıdır.

OMEGA METODU:

Büyük basınç yüklerine maruz çubukların burkulmaya hesaplanmasında Omega metodundan faydalanılır. Bu metotta burkulma tehlikesini önlemek için, basınç emniyet gerilmesini, ω (omega) ile gösterilen ve burkulma katsayısı denilen birden büyük bir sayıya bölerek, hesaplamaktan ibarettir.

Basınca karşı emniyet gerilmesi σd_{em} ve burkulma emniyet gerilmesi σk_{em}, ise;

$$\omega = \frac{\sigma d_{em}}{\sigma k_{em}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (106) \text{ dur.}$$

ω katsayısı 14 numaralı çizelgede, çubuk narinliğine göre verilmiştir.

Yukardaki formülde bulunan σk_{em} e göre çubuğun güvenle taşıyabileceği yük:

$$P = F . \sigma k_{em} \quad kg. \ldots\ldots\ldots\ldots (107) \text{ olur.}$$

Gerçeklerin basınca karşı emniyet gerilmeleri ve elâstiklik modülleri 15 numaralı çizelgeden alınabilir.

ω Katsayıları çizelgesi

(Çizelge 14)

Narinlik derecesi λ	Akma çelik (ω) Kopma dayanımı 3700 Kg/Cm²	Kopma dayanımı 4800 Kg/Cm²	Kopma dayanımı 5200 Kg/Cm²	Dökme demir (Font) (ω)	Ağaç (ω)
0	1	1	1	1	1
10	1,01	1,01	1,01	1,01	1,07
20	1,02	1,03	1,03	1,05	1,15
30	1,05	1 07	1,07	1,11	1,25
40	1,10	1,12	1,13	1,22	1,36
50	1,17	1,20	1,22	1,39	1,49
60	1,26	1,32	1,35	1,67	1,66
70	1,39	1,49	1,54	2,21	—
80	1,59	1,76	1,85	3,50	2,13
90	1,88	2,21	2,39	4,43	—
100	2,36	3,07	3,55	5,45	2,96
110	2,86	3,72	4,30	—	—
120	3,41	4,43	5,11	—	4,26
140	4,64	6,03	6,95	—	5,80
160	6,06	7,88	9,10	—	7,60
180	7,65	10,00	11,50	—	—
200	9,46	12,30	14,20	—	—

omega

Dikkat: Çubukların narinliği hesap edilirken kesit yüzeyinin en küçük atalet momentinin, dolayısiyle en küçük jirasyon yarı çapının alınması gerektir.

Narinliği, 105 numaralı formüle göre bulunan değerden daha büyük olan hallerde, küçük burkulma gerilmelerine karşılık, burkulma olayı meydana geldiği için bu gibi halerde yalnız Euler metodu tatbik edilmelidir.

Narinlik hesabedilirken çubuk uç bağlantılarına göre, uygulanmış çubuk boyları aşağıdaki değerlerde alınmalıdır. İki uç arası l ise, uygulanmış çubuk boyu L alınmıştır.:

İki ucu pimli . . . . L = 1
Bir ucu ankastre diğer ucu serbest . . L = 2.1
Bir ucu ankastre diğeri pimli . . . . L = 0,7.1
İki ucu ankastre . . . . L = 0,5.1

Emniyetli basınç gerilimleri çizelgesi

(Çizelge 15)

	Akma çelik Kopma 3700 Kg/Cm²	dayanımı 4800 Kg/Cm²	5200 Kg/Cm²	Font
basma σ_{dem} = Kg/Cm²	1400	1800	2100	900
E = Kg/Cm²	2 100 000	2 100 000	2200 000	1 000 000

TETMAJER METODU:

Euler (Öler) metodundan çubukların taşıyabilecekleri yükleri hesap ederken, belirli bir narinlik derecesinden daha küçük narinlikte olmaması gerektiğini söylemiştik. Bu metotta, narinlik dereceleri Euler formülünün tatbik edilemiyeceği, çubukların burkulma dayanımları bulunur. Tetmajer isimli ve İsviçreli olan mekanikçi çok sayıda yaptığı deneyler neticesi olarak kısa ve kalın olmıyan çubukların kritik burkulma gerilimlerini amprik olarak, narinliklerine göre birer formüle bağlamıştır. Daha ziyade iki ucundan pimli çubuklara tatbik edilmesi icap eden bu metoda ait formüller aşağıdaki gibidir:

$$\left.\begin{array}{lll}
\text{Ağaç} & \begin{cases} \lambda = 1{,}8 \sim 100 \;.\; \sigma_k = 293 - 1{,}94\ \lambda \ldots\ldots & \text{a.} \\ \lambda > 100 \ldots\ldots \sigma_k = 987000/\lambda^2 \ldots\ldots & \text{b.} \end{cases} \\
\text{Font} & \begin{cases} \lambda < 80 \ldots\ldots \sigma_k = 7760 - 120\,.\,\lambda + 0{,}53\,.\,\lambda^2 & \text{c.} \\ \lambda > 80 \ldots\ldots \sigma_k = 987000/\lambda^2 \ldots\ldots & \text{d.} \end{cases} \\
\text{Yumuşak çelik} & \begin{cases} \lambda = 10 \sim 112 \ldots \sigma_k = 3030 - 12{,}9\,.\,\lambda \ldots\ldots & \text{e.} \\ \lambda > 112 \ldots\ldots \sigma_k = 19740000/\lambda^2 \ldots\ldots & \text{f.} \end{cases} \\
\text{Akma çelik} & \begin{cases} \lambda = 10 \sim 105 \ldots \sigma_k = 3100 - 12{,}9\,.\,\lambda \ldots & \text{g.} \\ \lambda > 105 \ldots\ldots \sigma_k = 21220000/\lambda^2 \ldots\ldots & \text{h.} \end{cases}
\end{array}\right\} (108)$$

Yukarıdaki amprik formüllerden bulunan kritik burkulma gerilimleri emniyet katsayısına bölünerek, burkulma emniyet gerilimleri bulunur:

$$\sigma k_{em} = \frac{\sigma k}{E.K.S.}\ \text{kg/cm}^2 \ldots\ldots\ldots (109)$$

Böylece elde edilen emniyet gerilmesi ile Tetmajer'e göre dayanım denklemi:

$P = \sigma k_{em} \, . F$ kg. . . . . (110) yazılır.

Örnek problemler:

1. İki ucu pimli, kopma dayanımı 3700 kg/cm^2 olan akma çelikten, 5 cm çapında ve 2 metre uzunlukta bir çubuğun boy ekseni doğrultusunda kaç kg lık bir kuvvetle yüklenebileceğini Omega metoduna göre bulunuz.

Çözüm:

Kesit yüzeyinin atalet yarı çapı 102 numaralı formüle göre:

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi . d^4}{64}}{\frac{\pi . d^2}{4}}} = \frac{d}{4} = \frac{5}{4} = 1{,}25 \text{ cm olur.}$$

104 numaralı formüle göre çubuğun narinlik derecesi:

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{200}{1{,}25} = 160 \text{ bulunur.}$$

14 numaralı çizelgeden $\omega = 6{,}06$,

15 " " $\sigma d_{em} = 1400$ kg/cm^2 alınır.

Emniyetli burkulma gerilimi 106 numaralı formülden:

$$\sigma k_{em} = \frac{\sigma d_{em}}{\omega} = \frac{1400}{6{,}06} = 231 \text{ kg/cm}^2 \text{ bulunur.}$$

Çubuğun dayanabileceği kuvvet 107 numaralı formülden:

$$P = \sigma k_{em} . F = 231 . \frac{3{,}14 . 5^2}{4} = 453 \text{ kg. bulunur.}$$

Sonuç: Çubuk Omega metoduna göre 4533 kg yük taşıyabilir.

2. 12.20 cm kesitinde, 1 metre uzunlukta bir ağaç direk Tetmajer'e göre eksen doğrultusunda kaç kg 15 emniyetle taşıyabilir? Direğin bir ucu ankastre, diğer ucu serbesttir.

Çözüm:

Atalet yarı çapı 102 numaralı formüle göre: En küçük atalet momentinden $J = \frac{20 . 12^3}{12} = 2880 \text{ cm}^4$ $i = \sqrt{\frac{2880}{240}} = 3{,}46$ cm

104 numaralı ifadeye göre narinlik derecesi: $L = 2.1$ olduğundan,

$L = 100.2 = 200$ buradan $\lambda = 200/3{,}46 = 57{,}7$ bulunur.

Narinlik derecesi 100 den az olduğu için 108. a numaralı formülden:

$$\sigma_k = 293 - 1{,}94 . \lambda = 293 - 1{,}94 . 57{,}7 = 282{,}2 \text{ kg/cm}^2$$

(5) emniyetle taşıyacağına göre:

$\sigma k_{em} = 282{,}2/5 = 56{,}5$ kg/cm^2 dir.

Taşıyabileceği yük:

$P = \sigma k_{em} . F = 56{,}5.20.12 = 13560$ kg.

Sonuç: Ağaç direk 5 emniyetle 13560 kg taşıyabilir.

3. 15 kg/cm^2 basınçta çalışan bir buhar makinasının, piston kolu boyu 120 cm, piston çapı 30 cm dir. $E = 2.10^6$ kg/cm^2 olduğuna göre piston kolu çapı ne olmalıdır? Euler metoduna göre bulunuz.

Çözüm:

Piston kolu, bir ucu pimli diğer ucu ankastre sayılabileceğinden, Şekil: 87 - c formülünden çözülecektir. Bu formülde:

$J = \frac{\pi . d^4}{64}$ ve $P = \frac{\pi . D^2}{4} . p$ olduğundan, yerlerine konulursa:

$\frac{\pi . D^2}{4} . p = \frac{20 . E}{L^2} . \frac{\pi . d^4}{64} =$ Değerleri yerlerine koyacak olursak:

$\frac{3{,}14 . 30^2 . 15}{4} = \frac{20 . 2000000 . 3{,}14 . d^4}{120^2 . 64}$ buradan d çözülürse,

$d = \sqrt[4]{1944/25} = \sqrt[4]{77{,}8} = 2{,}66$ cm olur. Bu ifadenin iki defa kare kökünü alır veya logaritma yardımı ile çözecek olursak $d = 2{,}96$ cm. bulunur.

Sonuç: Piston kolu çapı 2,96 cm dir. Güvenle çalışması ve kolay imal edilmesi bakımından 3 cm yapılmalıdır.

Çözülecek problemler:

1. 4 tane kare kesitli kiriş yardımıyla 16 ton su alan bir depo 3 m yükseltilmiş durumdadır. 6 emniyetle çalışan, akma çelik kirişler yükü eşit paylaşacak şekilde düşey olarak yerleştirilip alt uçları zemine

betonla bağlanmıştır, üst uçları serbest düşünüleceğine göre kesitlerinin bir kenarı ne olmalıdır? Omega metoduna göre bulunuz.

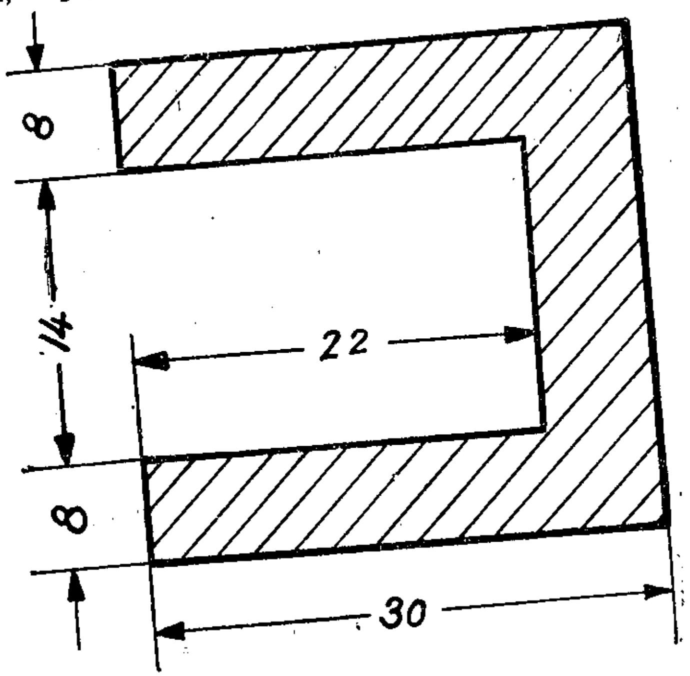
Cevap: = 54,2 mm.

2. Bir buhar makinasına ait piston kolu boyu 1 m ve çapı (5) cm. dir. 20 atmosferde çalıştığına göre, burkulma emniyet katsayısı 5 ise kaç cm, çapında silindirde çalıştırılması gerektiğini bulunuz. Piston kolu kopma dayanımı 4800 kg/cm² olan akma çelikten yapılmıştır. Eulere göre çözüp omega metoduna göre kontrolunu yapınız.

Cevap: Euler metoduna göre D = 400 mm
Omega " " D = 376 mm

Yol göstermege: Eulere göre sınır narinliği ile uygulanmış narinlikleri nazarı itibara alarak ayrı ayrı çözüm yapınız.

3. Şekil: 88 de kesit ölçüleri cm olarak verilen 5 m uzunluktaki font kirişin, düşey ve dayatılmak suretiyle 5 emniyetle kaç ton yük



Şekil: 88

taşıyabileceğini Tetmajer metoduna göre bulunuz. (Kiriş iki ucu pimli gibi düşünülebilir.)

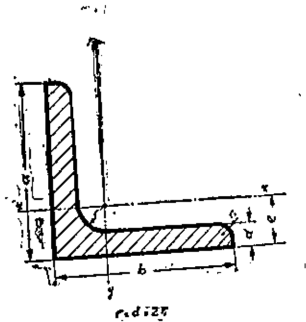
Cevap: P = 389536 kg.

4. Üçüncü problemin Euler metoduna göre kontrolunu yapınız.

Cevap: P = 256000 kg.

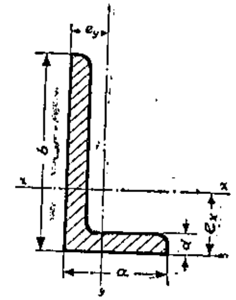
5. Esneklik sınırının 3000 kg/cm² olduğunu tesbit ettiğimiz çelik gereçten daire kesitli ve 10 cm çapında yapılan kirişin boyu ne kadar olmalıdır ki Euler metodu tatbik edilebilsin.

Cevap: Uygulanmış çubuk boyu L = 245 cm. dir.



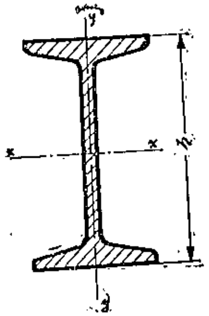
Köşebent
(DIN — 1028)

Kesit ölçüleri a. b. r (mm)	F 2 Cm²	e Cm	Jx = Jy Cm⁴	ix ≡ iy Cm 8
15.15.3	0,'2	0,48	0,15	0,43
15.15.4	1,05	0,51	0,19	0,42
20.20.3	1,12	0,60	0,39	0,59
20.20.4	1,45	0,64	0,48	0,58
25.25.4	1,85	0,76	1,01	0,74
25.25.5	2,26	0,80	1,18	0,72
30.30.4	2,27	0,89	1,81	0,89
30.30.5	2,78	0,92	2,16	0,88
40.40.5	3,79	1,16	5,43	1,20
40.40.6	4,48	1,20	6,33	1,19
45.45.5	4,30	1,28	7,83	1,35
45.45.7	5,86	1,36	10,40	1,33
50.50.5	4,80	1,40	11,00	1,51
50.50.9	8,24	1,56	17,90	1,47
55.55.6	6,31	1,56	17,3	1,66
55.55.10	10,1	1,72	26,3	1,62
60.60.6	6,91	1,69	22,8	1,82
60.60.10	11,1	1,85	34,9	1,78
70.70.7	9,4	1,97	42,4	2,12
70.70.11	14,3	2,13	61,8	2,08
75.75.8	11,5	2,13	58,9	2,26
75.75.12	16,7	2,29	82,4	2,22
80.80.8	12,3	2,26	72,3	2,42
80.80.14	20,6	2,48	115,00	2,36
90.90.9	15,5	2,54	116,00	2,74
90.90.16	26,4	2,81	186,0	2,66
100.100.10	19,2	2,82	177,0	3,04
100.100.14	26,2	2,98	235,0	3.00
100.100.20	36,2	3,20	311,0	2,93
110.110.14	29,0	3 21	319,0	3,32
120.120.15	33,9	3,51	446,0	3,63
120.120.20	44,2	3,70	462,0	3,57
130.130.12	30,0	3,64	472,0	3,97
130.130.16	39,3	3,80	605,0	3,92
140.140.15	40,0	4,00	723,0	4,25
140.140.17	45,0	4,08	805,0	4,23
150.150.16	45,7	4,29	949,0	4,56
150.150.18	51,0	4,36	1050,0	4,54



NORMAL L DEMİRİ
(DIN 1029)

Kesit ölçüleri (a. b. d)	F Cm²	ex Cm	ey Cm	Jx Cm⁴	Jy Cm⁴
20.30.4	1,85	1,03	0,54	1,59	0,55
20.30.5	2,26	1,07	0,58	1,90	0,66
30.45.4	2,87	1,48	0,74	5,78	2,05
30.54.5	3,53	1,52	0,78	6,99	2,47
30.60.5	4,29	2,15	0,68	15,6	2,6
30.60.7	5,85	2,24	0,76	20,7	3,41
40.50.5	4,27	1,56	1,07	10,4	5,89
40.60.6	5,68	2,00	1,01	20,1	7,12
40.80.8	9,01	2,94	0,95	57,6	9,68
50.65.7	7,60	2,07	1,33	31,0	15,8
50.100.10	14,1	3,67	1,20	141,00	23,4
60.90.10	14,1	3,05	1,56	112,0	39,6
65.75.10	13,1	2,35	1,86	68,4	47,3
65.80.12	16,0	2,63	1,88	95,4	55,8
65.100.11	17,1	3,40	1,67	167,0	55,1
65.115.10	17,1	4,02	1,54	229,0	53,3
65.130.12	22,1	4,74	1,53	376,0	63,0
20.100.11	18,2	3,23	1,99	176,0	84,0
75.130.12	23,3	4,53	1,81	395,0	96,5
75.150.13	27,7	5.45	1,73	631,0	107,0
75.170.14	32,5	6,39	1,68	955,0	117,0
80.120.10	19,1	3,92	1,95	276,0	98,1
80.120.14	26,2	4,08	2,10	368,0	130,0
90.110.11	20,9	3,38	2,40	243,0	146,0
90.130.12	25,1	4,24	2,26	420,0	165,0
90.150.14	31,8	5,16	2,19	716,0	194,0
90.250.16	52,0	9,77	1,82	3330,0	243,0
100.150.14	33,2	4,97	2,50	744,0	264,0
100.200.10	29,2	6,93	2,01	1220,0	210,0
100.200.14	40,3	7,12	2,18	1650,0	282,0
100.200.18	51,0	7,29	2,34	2060,0	347,0

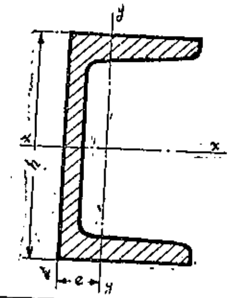


Normal I demiri
(DIN 1025)

Profil No	F Cm²	Jx Cm⁴	Wx Cm³	İx Cm	Jy Cm⁴	Wy Cm³	İy Cm
8	7,58	77,8	19,5	3,20	6,29	3,00	0,91
10	10,6	171,0	34,2	4,01	12,2	4,88	1,07
12	14,2	328,0	54,7	4,81	21,5	7,41	1,23
14	18,3	573,0	81,9	5,61	35,2	10,7	1,40
16	22,8	935,0	117,0	6,40	54,7	14,8	1,55
18	27,9	1450,0	161,0	7,20	81,3	19,8	1,71
20	33,5	2140,0	214,0	8,00	117,0	26,0	1,87
22	39,6	3060,0	278,0	8,80	162,0	33,1	2,02
24	46,1	4250,0	354,0	9,59	221,0	41,7	2,20
26	53,4	5740,0	442,0	10,4	288,0	51,0	2,32
28	61,1	7590,0	542,0	11,1	364,0	61,2	2,45
30	69,1	9800,0	653,0	11,9	451,0	72,2	2,56
32	77,8	12510,0	782,0	12,7	555,0	84,7	2,67
34	86,8	15700,0	923,0	13,5	674,0	98,4	2,80
36	97,1	19610,0	1090,0	14,2	818,0	114,0	2,90
38	107,0	24010,0	1260,0	15,0	975,0	131,0	3,02
40	118,0	29210,0	1460,0	15,7	1160,0	149,0	3,13
42,5	132,0	36970,0	1740,0	16,7	1440,0	176,0	3,30
45	147,0	45850,0	2040,0	17,7	1730,0	203,0	3,43
47,5	163,0	56480,0	2380,0	18,6	2090,0	235,0	3,60
50	180,0	68740,0	2750,0	19,6	2480,0	268,0	3,72
55	213,0	99180,0	3610,0	21,6	3490,0	349,0	4,02
60	254,0	139000,0	4630,0	23,4	4670,0	434,0	4,30

Not: Profil numaraları cm olarak I demirinin h yüksekliğidir.

$\frac{W_x}{W_y}$ = 6,50 ilâ 10,7 arasında değişir.



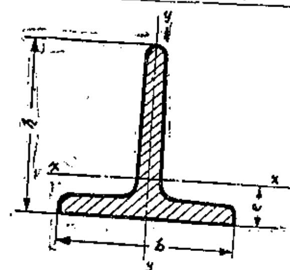
NORMAL U DEMİRİ

(DIN 1026)

$W_x / W_y = 1,58 - 10,0$

Profil numarası U demiri sırt genişliğinin Cm olarak ifadesidir.

Profil No.	F Cm²	Jx Cm⁴	Wx Cm³	İx Cm	Jy Cm⁴	Wy Cm³	İy Cm	e Cm
3	5,44	6,39	4,26	1,08	5,33	2,68	0,99	1,33
4	6.21	14,1	7,05	1,50	6,68	3,08	1,04	1,33
5	7,12	26,4	10,6	1,92	9,12	3,75	1,13	1,38
6,5	9,03	57,5	17,7	2,52	14,1	5,07	1,25	1,42
8	11,0	106,0	26,5	3,10	19,4	6,36	1,33	1,45
10	13,5	206,0	41,2	3,91	29,3	8,49	1,47	1,55
12	17,0	364,0	60,7	4,62	43,2	11,1	1,59	1,60
14	20,4	605,0	86,4	5,45	62,7	14,8	1,75	1,75
16	24,0	925,0	116,0	6,21	85,3	18,3	1,89	1,84
18	28,0	1350,0	150,0	6,95	114,0	22,4	2,02	1,92
20	32,2	1910,0	191,0	7,70	148,0	27,0	2,14	2,02
22	37,4	2690,0	245,0	8,48	197,0	33,6	2,30	2,14
24	42,3	3600,0	300,0	9,22	248.0	39,6	2,42	2,23
26	48,3	4820,0	371,0	9,99	317,0	47,7	2,56	2,36
28	53,3	6280,0	448,0	10.9	399,0	57,2	2,74	2,53
30	58,8	8030,0	535,0	11.7	495,0	67,8	2,90	2,70



(b=h=Profil No (Cm olarak)

NORMAL T DEMİRİ

(DIN 1024)

Profil No.	F Cm²	e Cm	Jx Cm⁴	Wx Cm³	İx Cm	Jy Cm⁴	Wy Cm³	Iy Cm
1,5	0,82	0,46	0,15	0,14	0,43	0,08	0,11	0,32
2	1,12	0,58	0,38	0,27	0,58	0,20	0,20	0,42
2,5	1,64	0,73	0,87	0,49	0,73	0,43	0,34	0,51
3	2,26	0,85	1,72	0,80	0,87	0,87	0,58	0,62
3,5	2,97	0.99	3,10	1,23	1,04	1,57	0,90	0,73
4	3,77	1,12	5,28	1,84	1,18	2,58	1,29	0,83
5	5,66	1,39	12,1	3,36	1,46	6,06	2,42	1,03
6	7,94	1,66	33,8	5,48	1,73	12,2	4,07	1,24
8	13,6	2,22	73,7	12,8	2,33	37,0	9,25	1,65
10	20,9	2,74	179,0	24,6	2,92	88,3	17,7	2,05
12	29,6	3,28	366,0	42,0	3,51	178,0	29,7	2,45
14	39,0	3,80	660,0	64,7	4,07	330,0	47,2	2,88
16	45,8	4,20	1010,0	85.5	4,68	490.0	61,3	3.27

Evren üzerinde özgür, bağımsız, saygın, ileri, egemen ve özenilen bir toplum olarak yaşamaya inanmış. Ulusal, özverili, adil ve sınıfsız toplum düzenini hedefleyen davranışı benimsemiş. Dili, tarihi, inancı, töresi, tüzesi, geleneği, gururu olan insanların oluşturduğu birliğe ULUS denir.

Ulus ise, ulusallığını yitirmemek için, birey-devingenliğinin girişimciliğine, arayışına destek olur. Girişimin getirdiği büyüklüğü halka yaydırır, sınıf ~~oluşturmaz~~ oluşturmaz. Ulusallığı egemen kılıp. Uluslararası her ortaklığın tam dengeli çıkarcılığını gözetir, ödün verdirmez.

7.1.89

Ferit BALTACI

N

GEREÇLER	niyet esi /Cm²	Kesilme emniyet gerilmesi τ_{em} Kg/Cm²	Burulma emniyet gerilmesi τ_{dem} Kg/Cm²	AÇIKLAMA
Gri döküm	0	100-350	100-350	
Sert döküm	0	150-500	150-400	
Çelik döküm	200	160-960	160-960	
Temper döküm	00	150-800	150-800	
Yumuşak akma çelik	500	240-1200	200-1200	
Akma çelik	00	320~1440	300-1400	
Nikelli çelik	300	320-1400	300-1400	
Krom nikelli çelik	400	2000-5000	2000-5000	
Yay çeliği	800 500[*]	—	4000-6000[*]	[*] Su verilmiş
Takım çeliği		300 1500	300 1500	
Pota çeliği	500	320-2000	300-2000	
Haddelenmiş bakır	50	—	—	
Haddelenmiş pirinç	00	110-480	110-480	
Alüminyum (Döküm)	00	—	—	
Düralümin	ii 400	—	—	
Kızıl döküm	00	—	—	
Fosforlu bronz	00	150-700	150-700	
Durana, delta metali, bronz	000	160-800	160-800	
İgedur	li 600	—	—	
Çam ağacı	05	8	—	
Meşe	30	10	—	

ÇEŞİTLİ GEREÇLERİN DAYANIM ÇİZELGESİ

GEREÇLER	GERECİN											AÇIKLAMA
	Elâstiklik modülü E Kg/Cm^2	Kayma modülü G Kg/Cm^2	Çekme gerilmesi $\mathfrak{S}_{max}$ Kg/Cm^2	Akma sınırı $\mathfrak{S}_k$ Kğ/Cm^2	Kopma uzaması %	Çekme emniyet gerilmesi $\mathfrak{S}_{zem}$ Kg/Cm^2	Basma emniyet gerilmesi $\mathfrak{S}_{dem}$ Kg/Cm^2	Yüzey basıncı Pem Kg/cm^2	Eğilme emniyet gerilmesi $\mathfrak{S}_{bem}$ Kg/Cm^2	Kesilme emniyet gerilmesi τ_{em} Kg/Cm^2	Burulma emniyet gerilmesi τ_{dem} Kg/Cm^2	
i döküm	750000	300000	1100∞3600	—	—	100-300	400-960	230-800	100-700	100-350	100-350	
rt döküm	750000	300000	2800-3600	—	—	150-300	500∼960	300-1500	250-750	150-500	150-400	
lik döküm	2.10^6-$2,15$-10^6	$8,3.10^5$∼$8,5.10^5$	3800-6000	2200-2600	20-8	200-1200	600-1500	270-1000	250-1200	160-960	160-960	
mper döküm	$1,05.10^6$ ya kadar	4.10^5 e kadar	1900-3500	2100	7,5∾1	180-1000	500-1200	200-800	250-1000	150-800	150-800	
ımuşak akma çelik	$2,15.10^6$	$7,7.10^5$	3000-5000	≧ 2000	25-20	300-1500	600-3500	270-1000	300-1500	240-1200	200-1200	
:ma çelik	$2,2.10^6$	$8,5.10^5$	5000-7000	≧ 3000	20-10	400-1800	800-1800	300-1500	400-1800	320∼1440	300-1400	
kelli çelik	$2,15,10^6$	$8,5.10^5$	4500-6000	3500-5000	20-16	400-1800	800-1800	350-1500	400-1800	320-1400	300-1400	
om nikelli çelik	$2.08,10^6$	$8,5.10^5$	8500-11500	7200-10600	20-13	3000-6000	4000-6000	3500-6000	4000-5400	2000-5000	2000-5000	
y çeliği	2.10^6	9.10^5	7500-12000	4500-9000	7,5-5	—	—	—	3000-3800 5000-7500[*]	—	4000-6000[*]	[*] Su verilmiş
kım çeliği	$2,2.10^6$	$8,5.10^5$	6000-9000	5800-7900	8-3	400-2000	750-2000	500-1800	2300	300 1500	300 1500	
ta çeliği	$2,2.10^6$	$8,5.10^5$	4500-9000	4000-7500	20-6	400-2500	750-2500	330-2000	400-2500	320-2000	300-2000	
ddelenmiş bakır	$1,15.10^6$	—	2000-2700	—	35-25	130-540	270-540	120-500	130-450	—	—	
ddelenmiş pirinç	8.10^5	—	8000-6000	—	30-10	130-600	270-600	130-450	130-600	110-480	110-480	
üminyum (Döküm)	—	—	1400-2600	600-800	4-1	30-120	—	—	50-200	—	—	
ralümin	6.10^5-7.10^5	$2,6.10^5$	2700-4000	2000-3500	20-10	100-200	—	—	Sürekli 1200-1400	—	—	
ızıl döküm	9.10^5	—	1600-2000	—	20-6	100-400	200-400	80-350	100-400	—	—	
sforlu bronz	$1,2.10^6$	—	3500-6000	—	30-10	200-900	500-900	170-750	200-900	150-700	150-700	
rana, delta metali, ›nz	$1,05,10^1$	—	4009-7500	1300-2900	40-10	200-1000	490-1000	170-800	200-1000	160-800	160-800	
dur	$6,5.10^5$-$7,5,10^6$	$2,6.10^5$	3600-5500	2400-4200	20-6	—	—	—	Sürekli 1400 1600	—	—	
m ağacı	$1,0.10^5$		250-400			50-150	50-75		35-105	8	—	
şe	1.10^5		350-500	—	—	60-180	60-90	—	45-130	10	—	

İNDEKS

F

G

H

İ

J

K

M

N

O

P

R

S

Ş

T

U

Y

Z