T.C.
ADNAN MENDERES ÜNİVERSİTESİ
AYDIN MESLEK YÜKSEKOKULU
DEĞİŞİMİN GELECEĞİ

AYMYO YAYINLARI
DERS NOTU NO: 01

MUKAVEMET

Hazırlayan
Öğr. Gör. Serap KARAGÖZ

Makine Resim Konstrüksiyon Programı

Aydın - 2007

İÇİNDEKİLER

KONU **Sayfa No**

ÖNSÖZ ……. 3
1. MUKAVEMET …… 4
1.1. MUKAVEMETİN İLKELERİ ……..... 5
1.1.1. Katılaştırma ilkesi ……... 5
1.1.2. Ayırma ilkesi ……. 5
1.1.3. Eşdeğerlilik ilkesi …….. 5
1.1.4. Saint – Venant ilkesi …… 6
1.1.5. Süperpozisyon ilkesi ……..... 6
1.2. TAŞIYICI SİSTEMNLER ..…….. 7
1.2.1. Üç boyutlu taşıyıcı sistemler ...…….. 7
1.2.2. Yüzeysel taşıyıcı sistemler ……..... 7
1.2.3. Prizmatik çubuklu sistemler …….. 7
1.2.3.1. Basit kirişler ……... 8
1.2.3.2. Çıkmalı kirişler …….. 8
1.2.3.3. Konsol kirişler …… 8
1.2.3.4. Destekli kirişler ……... 8
1.2.3.5. İki ucu ankastre kirişler ……..... 9
1.2.3.6. Sürekli kirişler …… 9
1.2.3.7. Mafsallı kirişler …… ……. 9
1.2.3.8. Kafes kirişler ……... 9
1.3. TAŞIYICI SİSTEMLERE ETKİ EDEN KUVVETLER ……... 10
1.3.1. İç kuvvet – dış kuvvet ……11
1.4. GERİLME ÇEŞİTLERİ ..…… 11
1.4.1. Çekme gerilmesi ……11
1.4.2. Basma gerilmesi ……11
1.4.3. Kesme gerilmesi ……11
1.4.4. Eğilme gerilmesi …… 12
1.4.5. Burulma gerilmesi ……..... 12
1.4.6. Burkulma gerilmesi ……..... 12
1.4.7. Bileşik Gerilme …….. 12
2. ÇEKME – BASMA GERİLMESİ ..…… 13
2.1. ÇEKME (GERİLME – ŞEKİL DEĞİŞTİRME) DİYAGRAMI .13
2.1.1. Problemler ……... 15
2.2. DARBE ŞEKİL DEĞİŞTİRMELERİ …… 17
2.2.1. Problemler ……..17
2.3. BİR ÇUBUĞUN AĞIRLIĞINDAN DOĞAN GERİLME VE ŞEKİL DEĞİŞTİRME ……... 18
2.3.1. Problemler ..…….. 18
2.4. EŞ DAYANIMLI ÇUBUKLAR ……..... 19
2.4.1. Faturalı ve Eş Dayanımlı Çubuklar ..……..... 19
2.4.2. Problemler ..…… 20
2.5. ISI ETKİSİ OLDUĞU ZAMAN UZAMA ..…… 20
2.5.1. Problemler ……..20
2.6. EĞİK KESİTLERDEKİ GERİLMELER …….. 21

İÇİNDEKİLER

KONU **Sayfa No**

2.6.1. Problemler 21
2.7. GERİLME YIĞILMALARI 22
2.7.1. Problemler 23
3. KESME GERİLMESİ 24
3.1. KAYMA ÇEŞİTLERİ 24
3.2. PROBLEMLER 25
4. BURULMA GERİLMESİ 27
4.1. PROBLEMLER 28
5. BURKULMA GERİLMESİ 29
5.1. EULER YÖNTEMİ 30
5.1.1. Problemler 31
5.2. TETMAJER YÖNTEMİ 32
5.2.1. Problemler 32
5.3. ω YÖNTEMİ 33
5.3.1. Problemler 33
6. EĞİLME GERİLMESİ 34
6.1. KİRİŞLERDE KESME KUVVETİ (MAKASLAMA) VE MOMENTLER 34
6.1.1. Problemler 36
6.2. ATALET MOMENTLERİ 37
6.3. EĞİLME FORMÜLÜ 39
6.4. EĞİLME OKU (SEHİM) 40
6.4.1. Düzgün Yayılı Yükte Eğilme 40
6.4.2. Nokta Yüklü Basit Kirişte Eğilme 40
6.4.3. Tek Taraftan Ankastre Düzgün Yayılı Yükte Eğilme 40
6.4.4. Problemler 41
7. BİLEŞİK GERİLME 43
7.1. ÇEKME - BASMA VE EĞİLME GERİLMELERİ 44
7.2. EĞİLME VE BURULMA GERİLMELERİ 45
7.3 ÇEKME - BASMA VE BURULMA GERİLMELERİ 46
7.4. PROBLEMLER 47
KAYNAKÇA 49

ÖNSÖZ

Mukavemet konusu Makine Resim Konstrüksiyon Programı öğretim programları içerisinde oldukça önemli bir yere sahiptir. Tekniker unvanıyla mezun olacak Makine Resim Konstrüksiyon programı öğrencilerinin, tasarladıkları makine parçalarının ve sistemlerin sağlıklı çalışabilmesi için dayanımları konusunda da bilgi ve fikir sahibi olmaları gerekir.

Bu ders notu Aydın Meslek Yüksekokulu öğrencilerine yönelik olarak hazırlanmıştır. Konular ileri düzeyde ve kapsamlı dayanım hesaplamalarına girilmeden, bir teknikerin bilmesi gereken temel dayanım bilgisi ve basit hesaplamalarla ve örnek problemlerle de desteklenmiştir.

Genel olarak konular ve sıralama Mukavemet dersi içeriğine uygun olarak düzenlenmiş, problemler diğer derslerle de ilişkilendirilerek makine sistemleri üzerinde uygulanabilecek şekilde hazırlanmıştır.

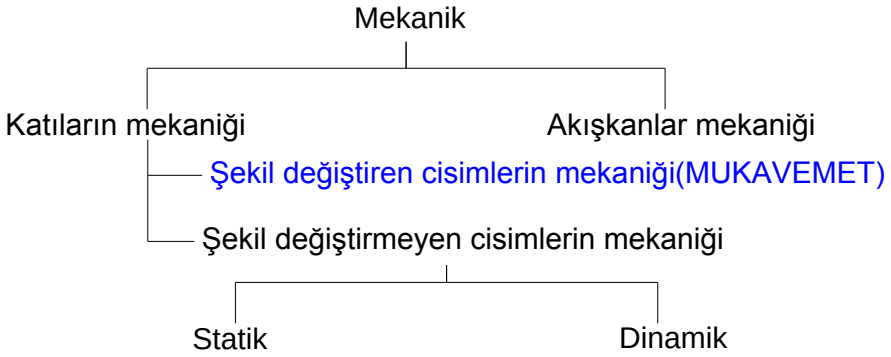
AYDIN 2007
Öğr.Gör. Serap KARAGÖZ

1. MUKAVEMET

MEKANİK, çeşitli kuvvetlerin etkisi altında kalan cisimlerin denge ve hareket koşullarını inceleyen bir bilimdir. Mekaniğin sıvılar ve gazları inceleyen dalına AKIŞKANLAR MEKANİĞİ adı verilir. Mekanik biliminde katılar kuvvetlerin etkisiyle şekil değiştiren (rijit olmayan) ve şekil değiştirmeyen (rijit) cisimler olmak üzere iki gurupta incelenir.

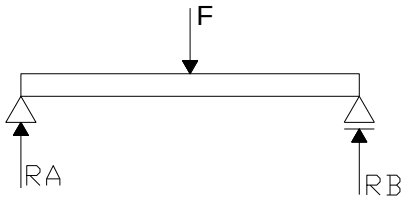
Statik ve dinamikte cisimlerin kuvvetlerin etkisiyle şekil değiştirmediği ve dengede olduğu kabul edilir. MUKAVEMET ise şekil değiştiren cisimlerin durumunu inceler. (Şekil 1.1)

MUKAVEMET katı cisimlerin mekaniğini inceler. Her katı cismin belirli bir şekli vardır. Bu şekil küçük kuvvetlerin etkisi ile değişmez, ya da değiştiği hissedilmez. Fakat büyük kuvvetler her katı cismin şeklinde değişiklik meydana getirir.



Şekil 1.1 Mekaniğin sınıflandırılması

STATİK ve DİNAMİK ile MUKAVEMET arasındaki fark şu şekilde vurgulanabilir. Şekil.2'deki kirişte F kuvvetinin mesnet tepkilerin bulurken, STATİKte kirişin şeklinin bozulmadığı, kırılmayacak kadar sağlam olduğu varsayılır. MUKAVEMET' de ise, kirişin eğilmemesi ve kırılmaması için gerekli koşullar araştırılır.



Şekil 1.2 Etki eden kuvvet ve tepkiler

Cisimlerin Dayanımı başka bir ifade ile mukavemet, problemleri çözerken aşağıdaki koşulları dikkate alır.

1. Sağlamlık 2. Teknik koşullar 3. Ekonomiklik

- Problem çözümlerinde, 'Teknik' koşullar dikkate alınarak, 'sağlamlık' ve 'ekonomiklik'te en uygun ve kullanılabilir çözüm aranır.

Mukavemetin incelediği cisim, kuvvetlerin etkisiyle az veya çok şekil değiştiren homojen yapıda bir katı cisimdir.

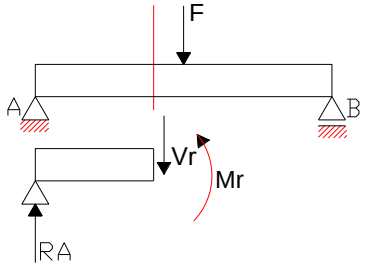
1.1. MUKAVEMETİN İLKELERİ

1.1.1. Katılaştırma ilkesi

Dayanımda incelenen cisim, şekil değiştiren bir katı cisimdir. Şekil değiştirme sona erdikten sonra cisme, mekanikteki gibi şekil değiştirmeyen katı cisim olarak düşünülüp, aynı denge denklemleri uygulanabilir.

1.1.2. Ayırma ilkesi

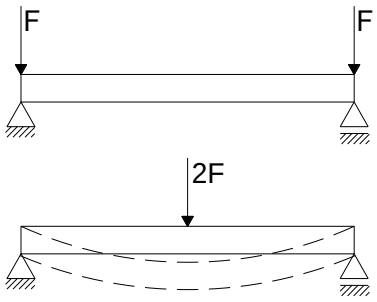
Cismin dış etkilere uygunluğunu anlamak için, bir düzlemle herhangi bir yerinden kuramsal olarak kesilir. Cismin ayrılan kısımlarından yalnız bir parçasına denge denklemleri uygulanır (Şekil 1.3). Cismin bir tarafının atıldığı varsayılarak kalan kısmının dengesinin incelenmesine ayırma ilkesi denir.



Şekil 1.3 Ayırma ilkesi

1.1.3. Eşdeğerlilik ilkesi

Tepkilerin bulunmasında bileşenlerin etkisi kullanıldığı gibi bileşkenin etkisi de kullanılabilir. Rijit (şekil değiştirmeyen) cisimlerde bileşke yerine bileşenlerin veya bileşenlerin yerine bileşkenin kullanılmasına eşdeğerlilik ilkesi denir. Eşdeğerlilik ilkesi statikte geçerlidir ancak dayanımda geçerli değildir. Şekil 1.4'de görüldüğü gibi bileşke ile bileşenlerin şekil değişimine etkisi farklıdır.



Şekil 1.4 Eşdeğerlilik

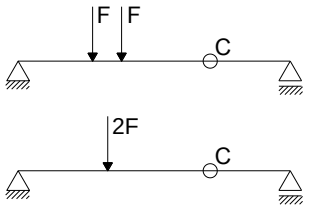
Aynı şekilde rijit cisimlerde (statikte–mekanikte) kuvvet, kayan bir vektörle gösterilir ve doğrultusu üzerinde yön değiştirebilir (Şekil 1.5). Dayanımda kuvvet, kayan vektörle gösterilecek olursa, çekilme etkisi basılmaya, basılma etkisi de çekilmeye dönüşür. Bu da, dayanımda kabul edilemez bir unsurdur.



Şekil 1.5 Çekilme ve Basılma

1.1.4. Saint – Venant ilkesi

Statikte geçerli olan eşdeğerlilik bazı koşullarda, şekil değiştiren cisimlerde de geçerli olur. Bu koşullara Saint Venant ilkesi adı verilir. Bu ilkeye göre kuvvetler birbirine yakın olmalı ve söz konusu noktalar kuvvet uygulanan bölgeden yeterli uzaklıkta bulunmalıdır. (Şekil 1.6). Bu koşullar varsa kuvvetler yerine eşdeğer olarak bileşke şekil değiştiren cisimlerde de kullanılabilir.

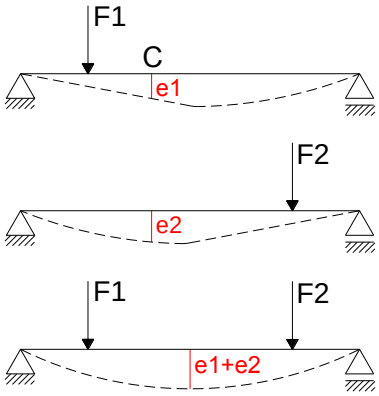


Şekil 1.6 Saint – Venant ilkesi

1.1.5. Süperpozisyon ilkesi

Katılaştıma ilkesine göre, denge denklemlerin şekil değişikliğini tamamlamış bir sistem için yazılması gerekir. Ancak şekil değişikliği genellikle diğer boyutların yanında çok küçük olabilir. Bu durumda denge denklemleri yaklaşık olarak sistemin şekil değiştirmemiş konumu için yazılabilir. Bu koşullarda süperpozisyon geçerli olur.

Şekil 1.7'de görülen basit bir kirişte F_1 dış kuvvetinin oluşturduğu C noktasındaki şekil değiştirme e_1; F_2 dış kuvvetinin C noktasında tek başına oluşturduğu şekil değiştirme e_2 olursa, F_1 ve F_2 kuvvetlerinin birlikte uygulandıklarında C noktasında oluşan şekil değişikliği e_1+e_2 olur. Bu süperpozisyon ilkesi olarak tanımlanır.



Şekil 1.7 Süperpozisyon ilkesi

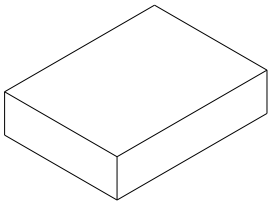
1.2. TAŞIYICI SİSTEMLER

Taşıyıcı sistemler, boyutlarının birbirine göre durumları göz önüne alınarak üçe ayrılır.

1. Üç boyutlu taşıyıcı sistemler
2. Yüzeysel taşıyıcı sistemler
3. Prizmatik çubuklu sistemler (Curun,1981)

1.2.1. Üç boyutlu taşıyıcı sistemler

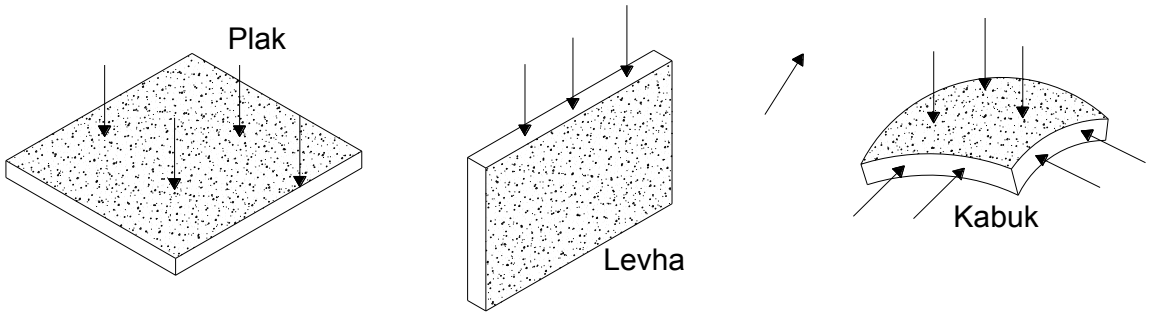
Üç boyutlu taşıyıcı sistemler üç boyutu da birbirine yakın olan taşıyıcılardır.(Şekil 1.8).



Şekil 1.8 Üç boyutlu taşıyıcı

1.2.2. Yüzeysel taşıyıcı sistemler

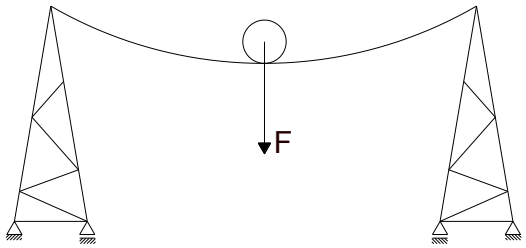
Bu taşıyıcılarda bir boyut diğer iki boyuta göre daha küçüktür. Taşıyıcı yüzey düzlemdir. Bu düzlem yüzey, kuvvetlerin etki durumuna göre levha, plak ya da kabuk adını alır (Şekil 1.9).



Şekil 1.9 Yüzeysel taşıyıcılar

1.2.3. Prizmatik çubuklu sistemler

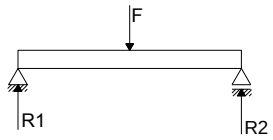
Bunlara bir boyutlu sistemler de denilir. Bu sistemlerde iki boyut, üçüncü boyuta göre dikkate alınmayacak kadar küçüktür. Bu nedenle çubuk enkesitlerinin ağırlık merkezlerinden geçen bir eksenle gösterilir (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 Prizmatik çubuklu sistemler

1.2.3.1. Basit kirişler

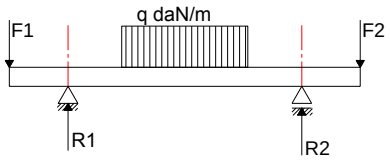
Bir ucundan sabit, diğer ucundan hareketli dayanağa oturan çubuklara basit kiriş adı verilir (Şekil 1.11). Bütün kuvvetlerin kiriş düzleminde etki ettikleri, hareketli dayanağın da aynı düzlem içerisinde yatay bir doğru boyunca, sürtünmesiz hareket ettiği varsayılır.



Şekil 1.11 Nokta yüklü basit kiriş

1.2.3.2. Çıkmalı kirişler

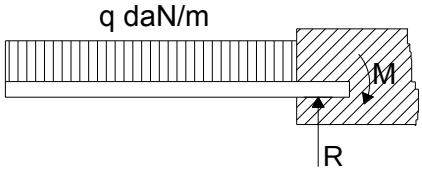
Biri mafsallı ve sabit, diğeri mafsallı ve hareketli iki dayanağa oturan düzlem bir kiriştir. Kirişin uçları mafsallardan dışarı uzanmıştır (Şekil 1.12).



Şekil 1.12 Çıkmalı kiriş

1.2.3.3. Konsol kirişler

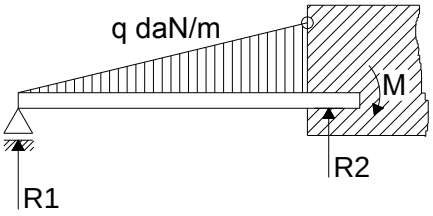
Konsol kirişler, bir ucu ankastre olup, tek taraflı taşınırlar (Şekil. 1.13). Bu uç aynı zamanda kirişin dönmesine karşı koyacak dayanımdadır.



Şekil 1.13 Konsol kiriş

1.2.3.4. Destekli kirişler

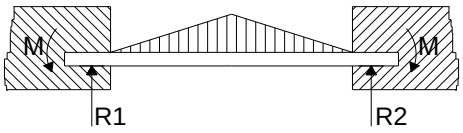
Bu tür kirişlerin bir ucu ankastre, diğer ucu ise mafsallıdır (Şekil 1.14).



Şekil 1.14 Destekli kiriş

1.2.3.5. İki ucu ankastre kirişler

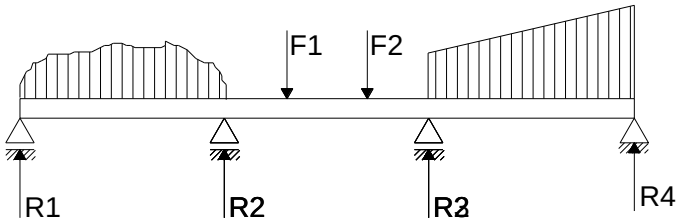
İki ucundan da ankastre edilmiş kirişlerdir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15 İki ucu ankastre kiriş

1.2.3.6. Sürekli kirişler

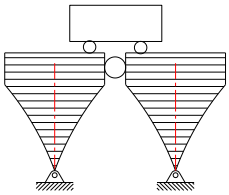
Sürekli elemanları ara noktalarına dayanaklar yerleştirilecek olur ise, kirişlere sürekli kirişler adı verilir (Şekil1.16).



Şekil 1.16 Sürekli kiriş

1.2.3.7. Mafsallı kirişler (Gerber kirişler)

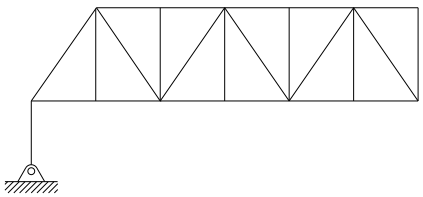
Bazı durumlarda (köprüler gibi) kirişlere menteşeler konulabilir (Şekil 1.17). Ancak mafsal sayısı, sistemi oynak yapmayacak şekilde seçilmelidir.



Şekil 1.17. Mafsallı kiriş

1.2.3.8. Kafes kirişler

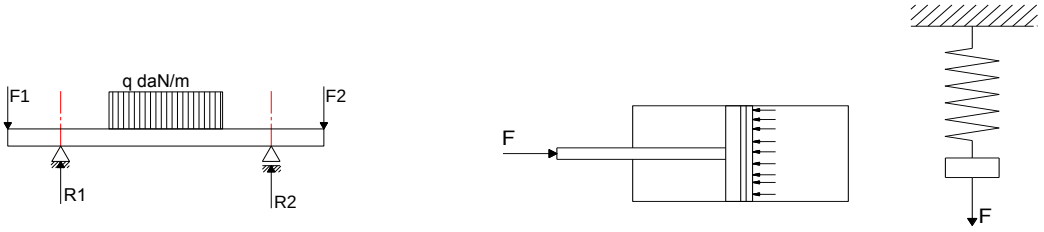
Çubuklardan oluşmuş ve düğümlerle bağlanmış, bütün çubuk elemanlarının bir düzlem içerisinde bulunduğu sistemlere kafes sistemler denir (Şekil 1.18). Kafes sistemlerinde kuvvetler düğüm noktalarına etki eder. Kaynak veya perçinle birleştirilmiş olsa da, hesaplamalar sürtünmesiz mafsallı birleştirme durumuna göre yapılır.



Şekil 1.18 Kafes kiriş

1.3. TAŞIYICI SİSTEMLERE ETKİ EDEN KUVVETLER

Kuvvetleri, şiddeti zamana bağlı olarak değişip – değişmemesine göre ikiye ayrılabilir (STATİK VE DİNAMİK ETKİ). Sistemlere etki eden ağırlıklar değişmeyen kuvvetlerdir. Bir piston koluna etki eden kuvvet ise değişen kuvvettir. Yayın ucuna bağlı yükün titreşimi ile kuvvet şiddeti de değişecektir (Şekil 1.19).



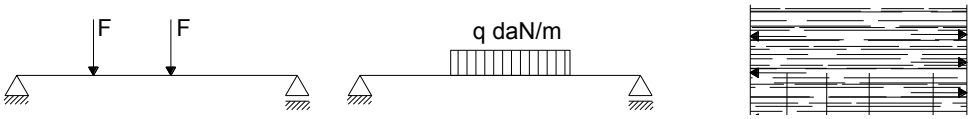
Şiddeti zamanla değişmeyen kuvvetler Şiddeti zamanla değişen kuvvetler

Şekil 1.19 Şiddeti zamanla değişen/değişmeyen kuvvetler

Cisimlere etki eden kuvvetler belirli bir noktaya etki edip – etmemesine göre;

a) Tekil kuvvetler (Nokta yükler)
b) Yayılı kuvvetler
   1- Uzunluğa yayılı
   2- Alana yayılı şeklinde sınıflandırılır (Şekil 1.20).

- Uzunluğa yayılı yüklere örnek olarak bir kirişin ağırlığı verilebilir. Alana yayılı yüklere örnek olarak da, su kabının dibine veya yanal yanal yüzeyine etki eden basınç kuvvetleri gösterilebilir.



Tekil kuvvetler Uzunluğa yayılı Alana yayılı

Şekil 1.20 Nokta ve yayılı yükler

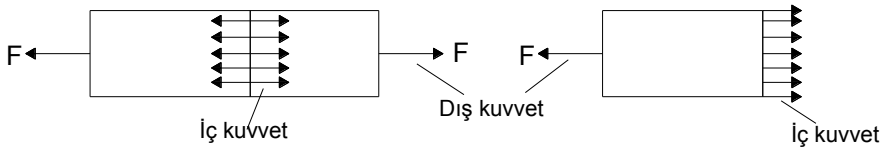
Yayılı yükün birim uzunluğa veya birim alana gelen kısmına yayılı yükün şiddeti denir.

* Uygulanan yükler, uygulama noktalarının sabit ya da hareketli olmasına göre;
   a) Sabit yükler (bir kirişin üzerinde bulunan ve yeri değişmeyen yükler)
   b) Hareketli yükler (Atelyelerde vinçlerin raylarına gelen yükler

şeklinde ikiye ayrılabilir.

1.3.1. İç Kuvvet – Dış Kuvvet

Makine parçaları birçok kuvvetin etkisi altında çalışırlar ve bu kuvvetlere dayanmaları istenir. Etkisi altında kaldığı dış kuvvetlere karşı iç yapıda tepki kuvvetleri (iç kuvvet) meydana gelir (Şekil 1.21). Bu iç kuvvetlerin birim alandaki şiddetine GERİLME denir.

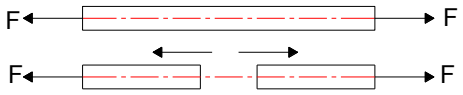


Şekil 1.21 İç ve dış kuvvetler

1.4. GERİLME ÇEŞİTLERİ

1.4.1. Çekme gerilmesi

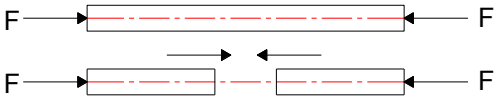
Bir çubuk ekseni boyunca etki eden iki kuvvetle çekilir ise (Şekil 1.22), çubuk çekmeye zorlanır ve boyu uzamaktadır. Etkiyen kuvvetin doğrultusu, etkilenen kesite diktir.



Şekil 1.22 Çekme

1.4.2. Basma gerilmesi

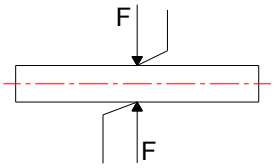
Bir çubuk ekseni boyunca iki kuvvet etkisi ile basılmaya çalışıyor ise (Şekil 1.23), çubuk basınca zorlanır ve boyu kısalmaktadır. Ancak bu durumda eğilme olmadığı kabul edilir. Etkiyen kuvvetin doğrultusu etkilenen kesite diktir.



Şekil 23 Basma

1.4.3. Kesme gerilmesi

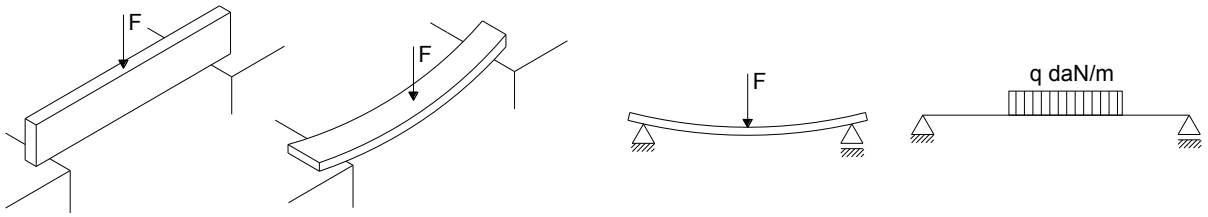
Bir çubuğa etkiyen eşit büyüklükte ve birbirine zıt yönde kuvvetler, çubuğun parçalarını kuvvetlerin etkidiği kesitte birbirinden kaydırmaya ve kesmeye çalışır. Bu şekildeki kuvvetlerin etkisindeki çubuğa kesilmeye çalışıyor denir (Şekil 1.24). Etkiyen kuvvetin doğrultusu, etkilenen kesitle aynı düzlemdedir. Başka bir ifade ile bir makaslama kuvveti söz konusudur.



Şekil 1.24 Kesme

1.4.4. Eğilme gerilmesi

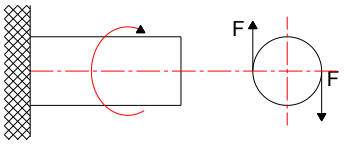
Eğilmeye zorlanan bir çubukta kuvvet çubuk eksenine dik olarak etki eder ve ekseni eğri hale getirir (Şekil 1.25).



Şekil 1.25 Eğilme

1.4.5. Burulma gerilmesi

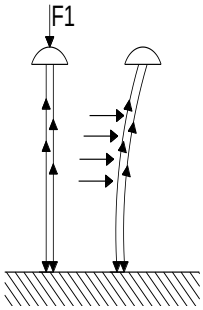
İki kuvvet bir çubuğu eksene dik kesitte burmaya çalışır (Şekil 1.26).



Şekil 1.26 Burulma

1.4.6. Burkulma gerilmesi (Flambaj)

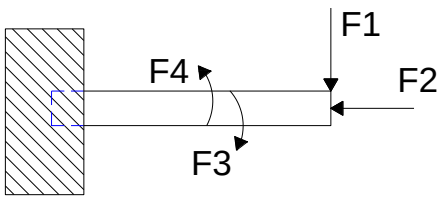
Narin çubuk adı verilen kesitine göre boyu uzun olan çubuklarda eksene dik etkileyen kuvvetlerin etkisi ile burkulma oluşur (Şekil 1.27).



Şekil 27 Burkulma (Flambaj)

1.4.7. Bileşik gerilme

Bir elemanda birden fazla zorlanma çeşidi (Şekil 1.28) varsa dayanım hesaplamaları bileşik zorlanmaya göre yapılır ve boyutlar bileşik zorlanmaya göre bulunur.



Şekil 1.28 Bileşik gerilme

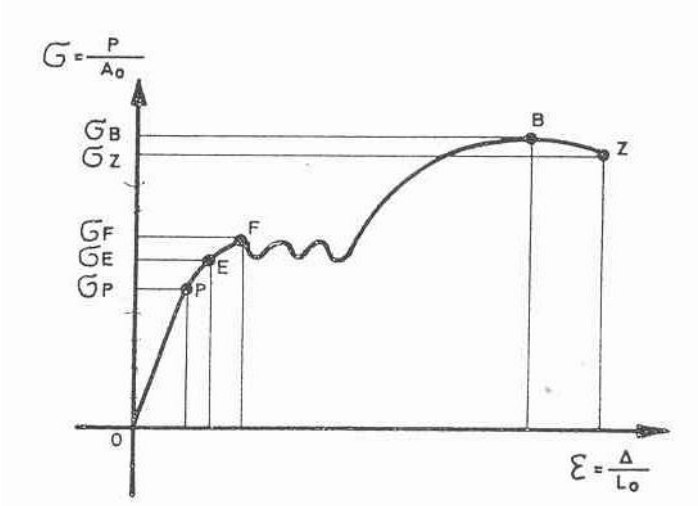
2. ÇEKME – BASMA GERİLMESİ

Cisimlere etkiyen kuvvetler etkilenen kesite dik doğrultuda ise cisim kuvvetin yönüne göre çekmeye veya basmaya zorlanır ve kesitte normal gerilme (Çekme-Basma gerilmesi) ve şekil değişikliği oluşur. Cisim, kuvvetin büyüklüğüne göre kuvvet etkisi ortadan kalktığında eski şekline dönebilir veya şekil değişikliği kalıcı olabilir.

Elastisite: Bir cisim aralarında kuvvet etkisi olan bir takım moleküllerden oluşur. Moleküler kuvvetler, dış kuvvetlerin cisimde oluşturmaya çalıştığı şekil değiştirmeye karşı koyarlar.

Cisimde deformasyon (şekil değişikliği) yapan kuvvetler yavaş yavaş azaltılır ise, Cisim ya tam elastik ya da kısmen elastiktir ve ilk durumuna döner. Bu duruma elastisite denir. Bir başka deyişle bir cisimde elastisite; kalıcı şekil değişikliğinin olmaması demektir.

2.1. ÇEKME (GERİLME – ŞEKİL DEĞİŞTİRME) DİYAGRAMI



Şekil 2.1 Çekme diyagramı (Curun,1981)

- Kuvvet etkisi ile bir cismin şekil değiştirmesine etki eden faktörler:
  1- Malzemenin cinsi 2- Cismin şekli 3- Yükün cinsi ve şiddeti

- Dayanımda malzemenin önemini anlamak için, değişik malzemelerle aynı deneyler yapılır. Şeklin önemi için, aynı malzemeden farklı şekilli deney parçaları kullanılır. Yük ise, deney sırasında yavaş yavaş arttırılarak yüklenir. Yük büyüdükçe şekil değişikliği de artar.

- Şekil 2.1'de görülen grafik (çekme diyagramı) yük ve uzama yerine, birim yük (gerilme) ile birim uzama (şekil değiştirme) arasında çizilir. Çünki iki örneğin karşılaştırılabilmesi için birim esası dikkate alınır.

- Orantı sınırı: O – P arasında diyagram bir doğrudur. Bu da P noktasına kadar gerilme ile şekil değiştirmenin orantılı olduğunu gösterir. *(Hooke kanunu; Şekil değişince kuvvet de değişir.)* Ancak bu kanun bazı malzemeler için ve orantı sınırına kadar geçerlidir. Dökme demir, kösele, taş, tahta gibi bazı malzemelerde orantı sınırına kadar olan doğrusal kısım çok azdır. Ancak genel olarak P noktasına kadar gerilme – şekil değiştirme bağıntısı doğrusaldır denir.

- Elastik cisimle ilgili teoriler, gerilme – şekil değiştirmenin orantılı olduğu savına dayandığından, bir malzemenin taşıyabileceği en büyük gerilme orantı sınırındaki σ_P gerilmedir.

- Elastik sınır: Malzemenin elastik özelliğinin sona erdiği sınır olarak tanımlanır. Teorik olarak bu sınıra kadar, yükün kalkması halinde malzeme (çubuk) tamamen eski halini alır. Çelik malzemelerde orantı sınırı ile elastiklik sınırı çok yakındır. Pratikte bu iki sınır tek olarak düşünülür. (E noktası)

- Akma sınırı: Kalıcı şekil değişikliğinin % 0,2 değerine eriştiği gerilme sınırı olarak kabul edilir. Bu sınırda malzeme içinde büyük değişiklikler meydana gelir. Çekme doğrultusuna göre 45^0 açılı çizgiler oluşur (Büyüteçle görülebilir). Bu çizgiler (Luders – Hartman çizgileri) plastik şekil değişikliğinin başlangıcını gösterir (F noktası). Bu da akma sınırı olarak gösterilir.

- Kopma sınırı: Malzemede kopmadan önce oluşan en büyük gerilme olarak tanımlanır. Akma sınırından sonra yükleme sürdürülürse, kesitte daralma başlar, bir süre sonra da çubuk yükü kaldıramaz duruma gelir ve kopar. Kesit daralması ile birlikte uzama da olur. Ancak hesaplamalarda ilk kesit alanı dikkate alınır. (B noktası)

- Emniyet katsayısı: Bir makine parçasının dış etkilere dayanması beklenir. Dayanım hesaplamalarının amacı da budur. Bir makine elemanı hiçbir zaman tehlikeli sayılan sınır değerine kadar yüklenmez. Bir malzemenin emniyetli gerilmesi orantı sınırını geçmemelidir. Orantı sınırını tam olarak saptamak zor olduğundan, akma veya kopma dayanımının bir emniyet katsayısına bölünmesi ile saptanabilir. Birçok malzemede orantı sınırı kopma dayanımının yarısı kadardır. Statik yüklerde orantı sınırının yarısı emniyetli gerilme olarak alınır.

- Teknikte emniyet katsayısının kullanılma nedenleri:
  a. Dış kuvvetler ve momentler tam olarak belirli değildir.
  b. Dayanım formüllerinde bir çubuk esas alınır. Oysa gerçek makine parçaları çubuktan çok farklıdır.
  c. Mukavemete göre malzemenin ideal özelliklere sahip olduğu düşünülür. Pratikte bu mümkün değildir.
  d. Zaman ve çevre etkisini hesap yoluyla değerlendirmek çok güçtür.

- Çekme gerilmesi: Malzemede kopmadan önce oluşan en büyük gerilmedir. Bu değer uygulanan kuvvetin malzemenin ilk kesitine bölünmesi ile bulunur.

- HOOKE KANUNU: Çubuğun uzaması, çekme kuvveti ve uzunluğu ile doğru orantılı olup, kesit alanı ve elastisite modülü ile ters orantılıdır.

$$\sigma_{ç} = \frac{F}{A} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta}{L} \quad \Delta = \frac{F.L}{A.E}$$

$\sigma_Ç$ - Çekme dayanımı (daN/ cm^2)
Δ - Toplam uzama
F - Kuvvet (daN)
L - Uzunluk (cm)
A - Dik kesit alanı (cm^2)
E - Elastiklik modülü (daN/ cm^2)
ε – Birim uzama

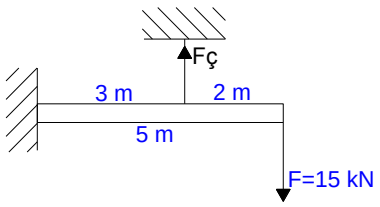
- Elastiklik modülü: Çekme diyagramında P noktasına kadar olan doğrunun eğimidir (Birim kuvvet ile uzama oranı). E sembolü ile ifade edilir.
  - Birçok çelik cinsi için $E= 2.10^6$ daN/ cm^2 veya $E= 2{,}1.10^6$ daN/ cm^2

2.1.1. Problemler

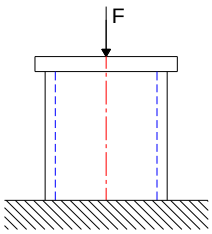
1. Uzunluğu 75 cm ve çekme gerilmesi 950 daN/ cm^2 olan çelik çubuğun toplam uzamasını bulunuz.

2. Uzunluğu 500 mm olan çelik çubuk, bir çekme kuvveti etkisi ile 0,5 mm uzuyor. Çubuğun hacmi 600 cm^3 olduğuna göre çekme kuvvetinin şiddetini bulunuz.

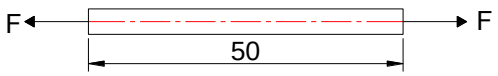
3. Şekildeki sistemde bulunan askı telinde meydana gelen gerilmeyi bulunuz.



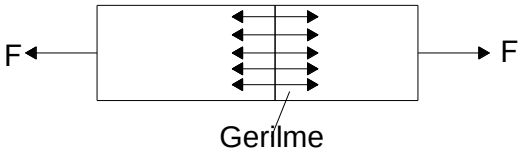
4. Şekilde görülen silindirik boruya etki eden kuvvet F= 150 tondur. Malzemenin güvenli dayanımı σ_g= 850 daN/cm^2 olarak verildiğine göre borunun et kalınlığını bulunuz. İç çap 10 cm'dir.



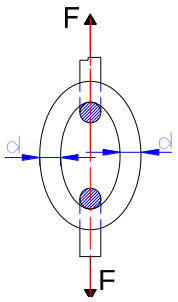
5. Şekilde görülen çekilmeye çalışan çubuğun boyu 50 cm, dik kesit alanı 8 cm^2, etki eden kuvvet F= 2500 daN olduğuna göre toplam uzamayı bulunuz. Çubuk malzemesi çeliktir.



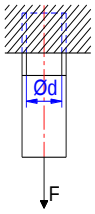
6. Bir çekme deneyinde etki eden kuvvet 30 ton, çubuk kesiti 7 cm^2'dir. Çubuk dik kesitindeki gerilmeyi bulunuz.



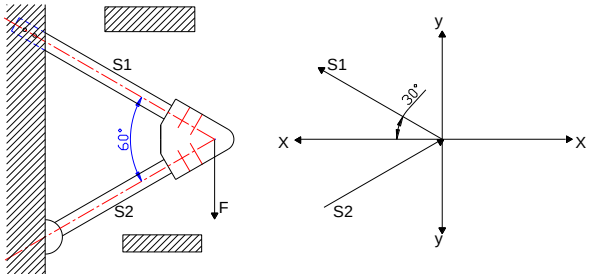
7. Şekilde görülen zincirin halka çapı 15 mm ve σ_g= 850 daN/ cm^2 olduğuna göre taşıyabileceği yükü bulunuz.



8. Şekilde görülen silindirik bir çubuk, M30 vida ile bağlanmış ve ucuna 2200 daN asılmıştır. Çubuk kesitinde oluşacak çekme gerilmesini bulunuz.

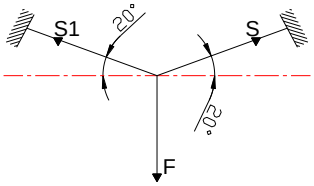


9. Şekilde görülen sistem F= 2500 daN'luk bir yük taşımaktadır. Çubuk kesitlerini hesaplayınız.

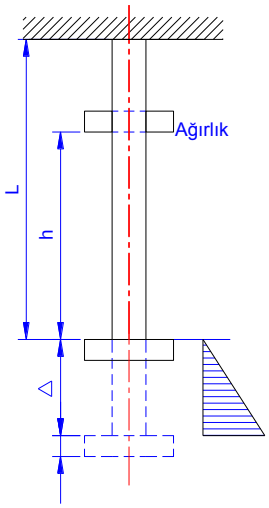


Çekmede σ_g= 150 daN/ cm^2
Basmada σ_g= 75 daN/ cm^2

10. 5000 daN'luk bir cisim, yatay ile 20^0 açı yapan 125 cm uzunluğundaki iki tel ile asılmıştır. Tellerin güvenli gerilmesi σ_g= 900 daN/ cm^2 olduğuna göre tel çapları ne kadar olmalıdır? Yükün etkisi ile bir telde meydana gelen toplam uzamayı bulunuz. E=2,1.10^6 daN/ cm^2



2.2. DARBE ŞEKİL DEĞİŞTİRMELERİ



Ani bırakılmış yüklerde (h yükseklığından) (Şekil 2.2)

$$\sigma \max = \sigma\left[1+\sqrt{1+\frac{2.E.h.A}{Q.L}}\right] = \sigma.x$$

σ_{max} : maksimum gerilme (daN/cm^2)

x : Dinamik katsayı

Yük ani olarak cisme etki ettirilirse h = 0 olur. Çekme deneyinde elastik sınır içinde uygulanan herhangi bir andaki kuvvet ani olarak aynı parçaya uygulanırsa gerilme iki katına çıkar.

Şekil 2.2 $\sigma_{max}= 2 . \sigma$

Maksimum uzama: $\Delta \max = \Delta + \sqrt{\Delta^2 + 2\Delta h}$ h=0 olursa $\Delta max= 2. \Delta$

Kesit tayini :

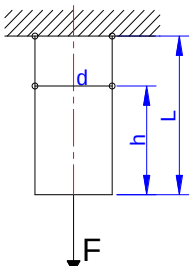
$$A = \frac{2.E.Q.h}{\sigma_g.L} \quad (cm^2)$$

2.2.1. Problemler

1. Bir cisim eksenel olarak 55 daN ağırlığındaki bir cismin darbeli etkisi altında kalıyor. Çubuk boyu 3 m, E = 2,1.10^6 daN/ cm^2 ve σ_g= 1500 daN/ cm^2 olduğuna göre emniyetli kesit çapını ve max uzamayı bulunuz (L=h).

2. Üst ucundan ankastre ve düşey bağlanmışbir çubuğun çapı 10 cm, boyu 2m ve malzemesinin güvenli dayanımı σ_g= 1250 daN/ cm^2'dir. 1,2 m yükseklikte ani olarak yüklendiğine göre taşıyabileceği kuvveti bulunuz (E=2. 10^6 daN/ cm^2).

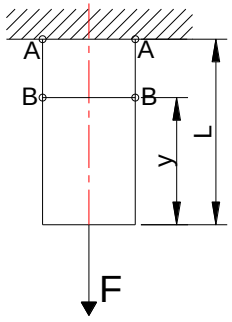
3. Şekildeki çubuğun çapı 2,5 cm, boyu 5 m, malzemenin Elastiklik modülü E=2. 10^6 daN/ cm^{2}dir. 3 m yükseklikten bırakılan 500 daN'luk yükün etkisiyle oluşacak maksimum uzama ve malzemenin maksimum gerilmesini bulunuz.



2.3. BİR ÇUBUĞUN AĞIRLIĞINDAN DOĞAN GERİLME VE ŞEKİL DEĞİŞTİRME

$$\Delta = \frac{F.L}{A.E}$$

Yalnızca dış kuvvetler söz konusu ise kullanılır. Çubuğun boyu uzun ise kendi ağırlığı da dikkate alınır.



Şekil 2.3

L boyundaki çubuk ağırlığı

$W = A.L.\gamma$

(γ : özgül ağırlık)

A-A kesitindeki gerilme

$$\sigma_{A-A} = \frac{F + A.L.\gamma}{A}$$

B-B kesitindeki gerilme

$$\sigma_{B-B} = \frac{F + A.\gamma.y}{A}$$

- Şekil 2.3'deki A – A kesiti en tehlikeli kesittir ve A – A kesitindeki en büyük gerilme malzeme için uygun görülen güvenli gerilme kadar olmalıdır.

$$\sigma g = \frac{F + A.L.y}{A} = \frac{F}{A} + \frac{A.L.\gamma}{A} \qquad \sigma g = \frac{F}{A} + L.\gamma \Rightarrow \sigma g - L.\gamma = \frac{F}{A}$$

$$\boxed{A = \frac{F}{\sigma g - \gamma.L}}$$

$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2$

Δ = Dış kuvvet ve çubuğun ağırlığından oluşan toplam uzama
Δ_1 = Dış kuvvetin etkisi ile oluşan uzama
Δ_2 = Çubuğun kendi ağırlığından oluşan uzama

$$\boxed{\Delta_1 = \frac{F.L}{A.E}} \qquad \boxed{\Delta_2 = \frac{F\left(\frac{W}{2}\right).L}{A.E}}$$

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 = \frac{F.L}{A.E} + \frac{\left(\frac{W}{2}\right).L}{A.E} \qquad \boxed{\Delta = \frac{\left(F + \frac{W}{2}\right).L}{A.E}}$$

2.3.1. Problemler

1. Bir ucundan ankastre düşey bir çubuk 15 m boyunda ve 15 cm çapındadır. Çubuğun ucuna 2500 daN asılmış olup, özgül ağırlığı 7,8 gr/ cm^3'tür. En tehlikeli kesitteki gerilmeyi ve çubuğun toplam uzamasını bulunuz (E = $2{,}1.10^6$ daN/ cm^2)

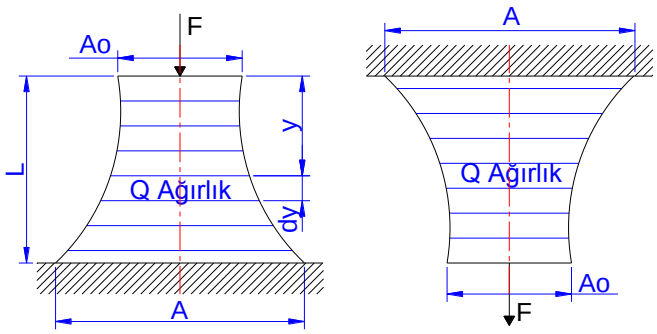
2. Düşey bağlanmış bir çubuk 4 m boyunda ve 8 cm çapındadır. Çubuk malzemesinin özgül ağırlığı 7,8 gr/ cm^3 ve elastiklik modülü E = $2{,}1.10^6$ daN/ cm^2, güvenli gerilmesi 120 daN/ cm^2olduğuna göre taşıyabileceği yükü ve yükün etkisiyle oluşacak maksimum uzamayı hesaplayınız.

2.4. EŞ DAYANIMLI ÇUBUKLAR

Cismin ucundan aşağıya inildikçe cismin ağırlığından dolayı gerilmeler artmaktadır. O halde çubuğun kesiti dibe doğru genişleyecek şekilde şekillendirilmelidir. Buna göre de cismin her yerindeki kesitte güvenli dayanım olmalıdır (Şekil 2.4).

$$A_0 = \frac{F}{\sigma g}$$

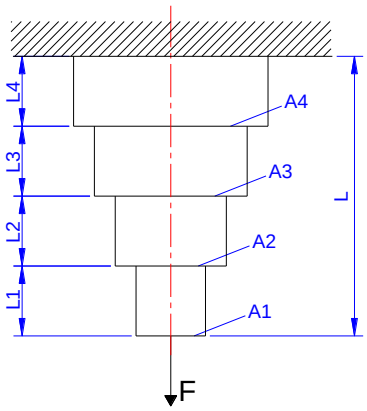
$$A = A_0 . e^{\frac{\gamma}{\sigma g} . y} \quad => A = A_0 . e^{x}$$



Şekil 2.4 Sağlamlık ve ekonomiklik koşullarını taşıyan çubuklar

2.4.1. Faturalı ve eş dayanımlı çubuklar

Bir makine parçasını şekil 2.4'deki gibi şekillendirme masraflıdır. Eş kesitli yapılması durumunda ise malzeme israfı ortaya çıkar. İnşaat işlerinde malzeme işçilikten fazla olacağı için kolonları yukarıdaki gibi (şekilde) şekillendirmek daha ekonomiktir. Oysa makinecilikte boşaltılan malzeme fazla değildir, ancak işçilik fazladır. Buna rağmen verimi arttırmak için eş dayanımlı çubuklar istenmektedir. Bu durumda işçiliği azaltmak için parçalar konik veya faturalı yapılarak eş dayanım elde edilir (Şekil 2.5).



1 – 1 Kesit alanı $A_1 = \frac{F}{\sigma g - \gamma . L_1}$

2 – 2 Kesit alanı $A_2 = \frac{\sigma g . A_1}{\sigma g - \gamma . L_2}$

3– 3 Kesit alanı $A_3 = \frac{\sigma g . A_2}{\sigma g - \gamma . L_3}$

4 – 4 Kesit alanı $A_4 = \frac{\sigma g . A_3}{\sigma g - \gamma . L_4}$

Şekil 2.5

$$\Delta = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4$$

2.4.2. Problemler

1. 15 m uzunluğunda ve dikey duran bir çubuğun 15 tonluk yük asılacaktır. Çubuğun dört eşit uzunlukta kademeli olması istenmektedir. Özgül ağırlığı γ = 7,7 gr/cm^3 olduğuna göre her kademenin kesit çapını bulunuz. σ_g = 450 daN/cm^2

2. Bir çubuğun boyu 20 m ve etki eden çekme kuvveti F = 1,5 tondur. Çubuğun eş dayanımlı ve faturalı olarak üretilmesi isteniyor. σ_g = 500 daN/cm^2 , γ = 0,0078 Kg / cm^3'tür. Her kademe aynı uzunlukta ve boy üçe bölüneceğine göre A_1, A_2, A_3 kesit alanlarını hesaplayınız.

3. Üstteki problemde F = 25 ton, L = 200 m alındığında kesit alanlarını ve toplam uzamayı bulunuz. Malzeme kazancını yüzde olarak gösteriniz. (kademe dört adet olacaktır.)
E = 2,1.10^6 daN/cm^2

2.5. ISI ETKİSİ OLDUĞU ZAMAN UZAMA

$\sigma = \alpha \cdot (t_2 - t_1) \cdot E$

$\Delta = \alpha \cdot (t_2 - t_1) \cdot L$

α = malzemenin uzama katsayısı
$t_2 - t_1$ = ısı farkı
E = Elastikiyet modülü
L = Çubuk boyu

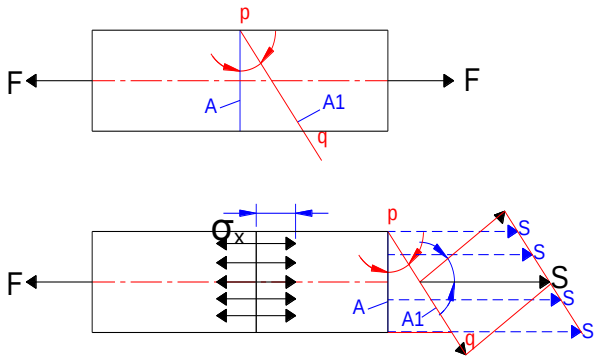
2.5.1. Problemler

1. 12 m boyunda çelik bir çubuğun ısısı 60° yükseltiliyor. Çubuk çapı 8 cm olduğuna göre çubuğun uzamasını bulunuz.
Çeliğin uzama katsayısı α = 12 . 10^{-6}

2. Çekmeye çalışan bir çubuğun sıcaklığı 55° yükseltiliyor. Etkisi altında kalacağı gerilmeyi bulunuz. Uzama katsayısı α = 12 . 10^{-6}, Elastiklik modülü E = 2,1.10^6 daN/ cm^2

2.6. EĞİK KESİTLERDEKİ GERİLMELER

A – Dik kesit alanı (cm^2)
A1 – Eğik kesit alanı (cm^2)
σn – Normal Gerilme (daN/cm^2)
Tφ – Kayma gerilmesi (daN/cm^2)
F – Dik kesitteki çekme kuvveti (daN)
S – Eğik kesitteki çekme kuvveti (daN)



Şekil 2.6

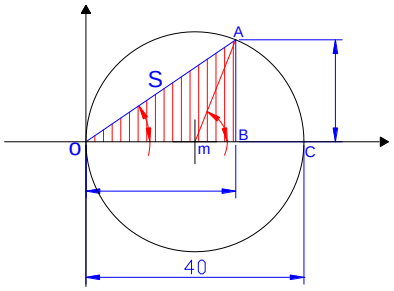
$$\sigma_x = \frac{F}{A} \qquad S = \frac{F}{A_1}$$

$$Cos\varphi = \frac{A}{A_1} => A_1 = \frac{A}{Cos\varphi}$$

$$\sigma_n = S.Cos\varphi => \sigma_n = \sigma_x.Cos^2\varphi$$

$$S = \frac{F}{A/Cos\varphi} = \frac{F}{A}.Cos\varphi = \sigma_x.Cos\varphi = S$$

$$T = S.\cos\varphi$$



Şekil 2.7 Mohr dairesi

Eğik kesitlerdeki gerilmeler MOHR DAİRESİ'ni kullanarak çizim yolu ile de bulunabilir.
Dairenin çapı çubuğun dik kesit gerilmesi (σ_x) kadar alınır. O noktasından φ açısıyla saatin dönme yönünün tersine çemberi kesecek bir doğru çizilir. Doğrunun çemberi kestiği noktadan (A) yatay eksene (σ_n) dik inilerek B noktası işaretlenir. OB doğrusu Normal gerilmeyi(σ_n), AB doğrusu T_φ (Kayma gerilmesini verir. OA doğrusu ise eğik kesitteki S gerilmesi kadardır (Şekil 2.7).

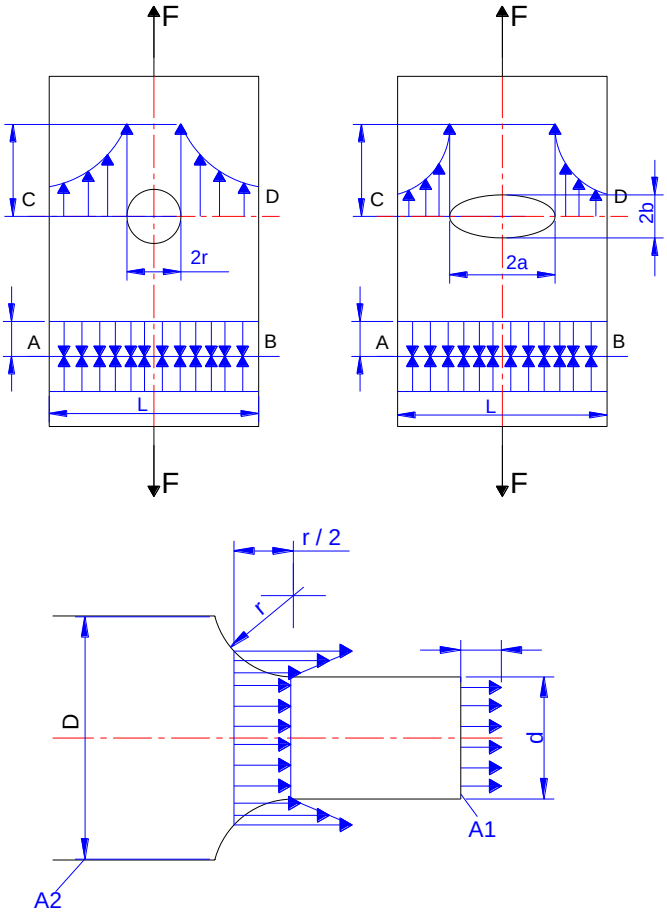
2.6.1. Problemler

1. Bir çubuğun çapı 6,5 cm, etki eden eksenel kuvvet F = 4500 daN'dur. Düşeyle 30^0'lik açı yapan bir düzleme etki eden normal ve kayma gerilmelerini bulunuz.

2. Bir çubuğun çapı 4 cm ve etki eden eksenel kuvvet F= 6300 daN'dur. Eksene dik düzlemden 30^0'lik açı yapan bir düzlemde meydana gelen normal ve kayma gerilmelerini hesaplayınız.

3. Bir p – q düzlemine 300 daN/cm^2 kayma ve 850 daN/cm^2 normal gerilmeleri etkiyor. Φ açısını ve çubuk çapı 6 cm olduğuna göre eksenel F kuvvetini hesaplayınız.

2.7. GERİLME YIĞILMALARI



Şekil 2.8 Gerilme yığılmaları

$$\frac{2r}{L} < \frac{1}{10}$$

$$\sigma_{max} = 3.\sigma$$

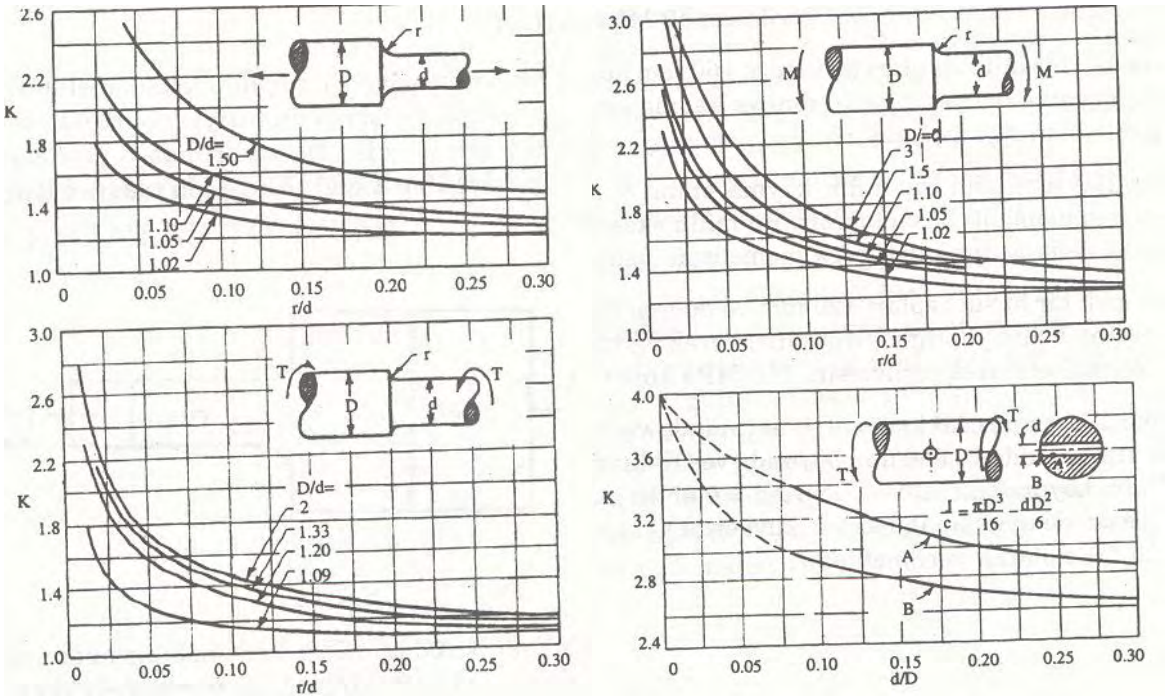
$$\sigma_{max} = 3.\frac{F}{A}$$

$$\frac{2a}{L} < \frac{1}{10}$$

$$\sigma_{max} = \sigma\left(1 + \frac{2a}{b}\right)$$

$$\sigma_{max} = K.\sigma$$

$$K > 1$$

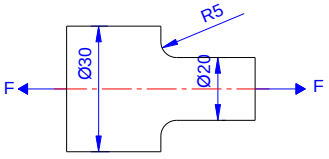


Şekil 2.9 Gerilme yığılmaları diyagramları (Yazıcıoğlu,1998)

2.7.1. Problemler

1. Çekmeye çalışan kademeli milde çekme kuvveti F = 12 ton, malzemenin çekme gerilmesi 550 daN/ cm^2'dir. Şekildeki milin maksimum gerilmesini bulunuz.

2. Şekildeki kademeli çubuğun güvenli gerilmesi 250 daN/ cm^2'dir. Gerilme yığılmasını dikkate alarak F kuvvetinin en fazla ne kadar olabileceğini bulunuz.
D=3 cm d=2cm

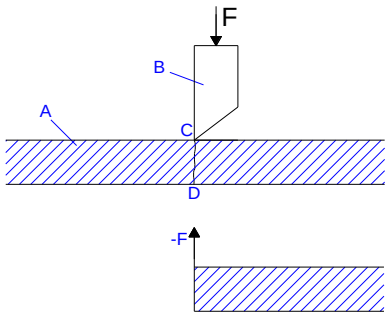


3. KESME GERİLMESİ

Cisimlere etkiyen kuvvetler etkilenen kesit doğrultusunda ise cisim kesilmeye zorlanıyordur ve kesitte kayma gerilmesi oluşur. Cisimlerin kesitlerinde kesme kuvveti, yalnız başına ender durumlarda oluşur. Genellikle diğer zorlanmalarla birlikte bulunur. Örneğin bir cismin makasla kesilmesi (sadece kesme kuvveti) basit kesme durumudur. Kesme kuvveti çubukların ve kirişlerin kesitlerinde genellikle eğilme momenti ile birlikte olur.

* Basit kesmelerde F kuvveti ile kesilmeye çalışan bir cisimde, F kuvveti kadar bir kuvvet kesilmeye karşı koyar (-F). Kesitteki birim alana düşen karşı koyma kuvvetine KAYMA GERİLMESİ denir (T) (Şekil 3.1).

$$T = \frac{F}{A} \text{ daN / cm}^2 \text{ (Ortalama kayma gerilmesi)}$$



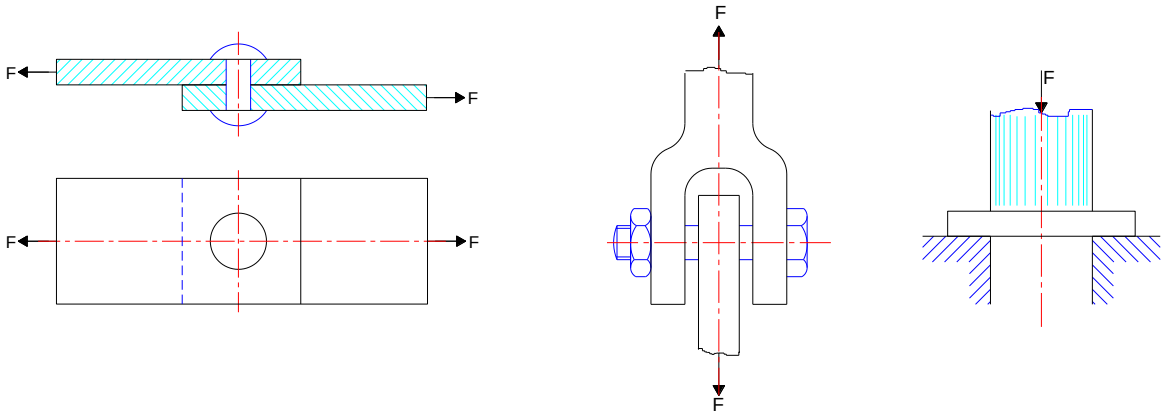
Şekil 3.1 Kesme gerilmesi

Çekme ve basma gerilmeleri etki ettikleri yüzeylere dik olan kuvvetler tarafından meydana getirilir. Bu nedenle çekme ve basma gerilmelerine NORMAL GERİLME, kayma gerilmesine ise TEĞETSEL GERİLME denir.

Uygulanan kuvvet kesit üzerinde iki tarafı birbiri üzerinde kaymaya zorluyorsa, o yüzeylerde KAYMA GERİLMESİ oluşur.

Makinecilikte kamalar, perçinler, pimler, cıvatalar kesilmeye çalışan elemanlardır. Ancak cıvatalar daha çok çekilmeye de çalışırlar.

3.1. KAYMA ÇEŞİTLERİ

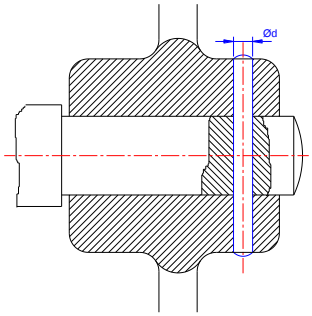


a)Tek çalışmalı kayma b) Çift çalışmalı kayma c) Kayma çalışan alandır

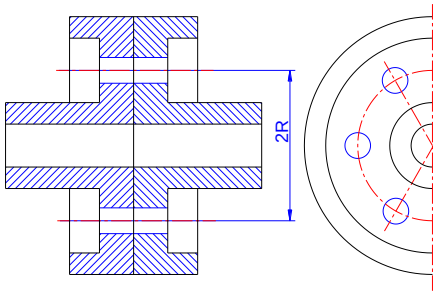
Şekil 3.2 Kayma çeşitleri

3.2. PROBLEMLER

1. Şekildeki volan bir makinenin krank miline hareket vermektedir. Arzu edilmeyen bir sıkışma halinde pimin kesilerek hareketin durması istenmektedir. Volan dakikada 200 devirle dönmekte ve 5 kW iletmektedir. Mil çapı 40 mm, pim çapı 7 mm olduğuna göre pimde oluşacak kesme gerilmesini bulunuz.

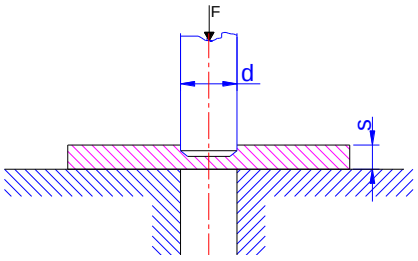


2. Şekildeki miller aynı kesitli çözülebilir bir kavrama ile bağlanmıştır. Kavramanın flanşlarında 6 adet M10 cıvata kullanılmıştır. İletilen güç 75 KW, devir sayısı 200 dev/dk, olduğuna göre cıvataların kesme gerilmesini bulunuz (R = 15 cm).
(Kavramanın sürtünmesiz olduğu kabul edilecektir)

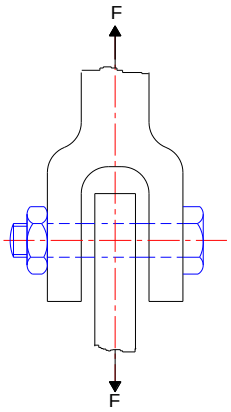


3. Şekilde görülen s=4 mm kalınlığındaki sacın kesilme dayanımı T= 3400 daN/ cm^2'dir. Zımba gerecine Þ = 1000 daN/ cm^2'lik bir basınç gerilmesi gelmesi için;

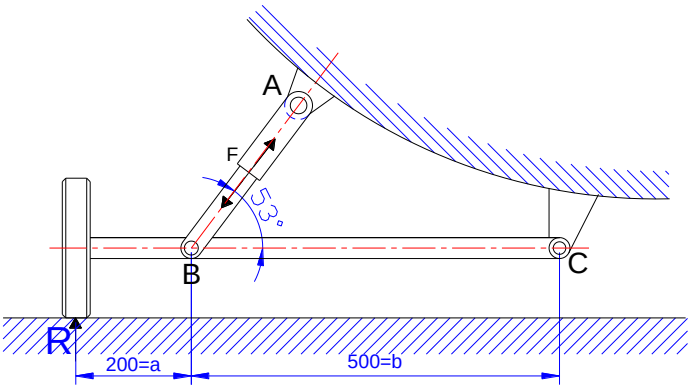
1. Zımba çapı d = ?
2. P kuvveti ne kadar olmalıdır?



4. Şekildeki taşıyıcı sistemde cıvata malzemesi Ç 1020 kullanılmıştır. Değişken etki altında güvenli kesilme dayanımı Tg = 600 daN/ cm^2, etki eden en büyük kuvvet 10 ton alınırsa cıvatanın diş dibi ve diş üstü çapları ne kadar olur?

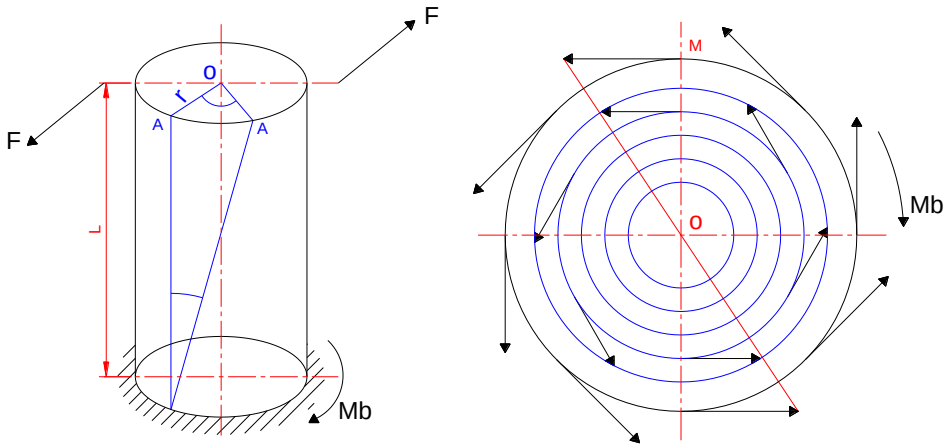


5. Şekilde hafif bir uçağın iniş takımının bir kısmı görülmektedir. A ve B ‘deki cıvatalar çift, C’deki cıvata ise tek çalışmalıdır. Tg = 560 daN/ cm^2 olduğuna göre cıvataların çaplarını hesaplayınız. R = 1200 daN



(Curun,1981)

4. BURULMA GERİLMESİ



Şekil 4.1 Burulma

$$Mb = 955\frac{N}{n} = F.r$$

$$\varphi(rad) = \frac{Mb.L}{G.I_p}$$

Mb = Burulma momenti (N.m)
N = Güç (KW)
N = Dakikada dönme sayısı (dev/dk)
F = Etki eden kuvvet daN
r = Milin yarı çapı (cm)

φ = Burulma açısı (rad) (360° = 2π (rad)
Mb = Mile uygulanan burulma momenti (Nm)
L = Mil boyu (cm)
Ip = polar atalet momenti (cm^4)
G = Kayma modülü

Çelik için G = 8 . 10^5 daN/cm^2
Ahşap için G = 7000 daN/cm^2
Dökme demir için G = 3,8 . 10^5 daN/cm^2

$$I_P = \frac{\pi.d^4}{32} \Rightarrow Wp = \frac{I_P}{r} = \frac{\pi.d^3}{16} cm^3$$

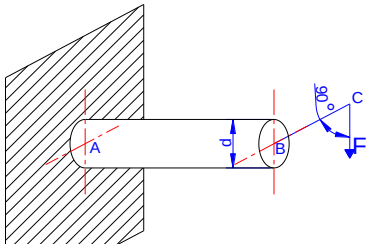
$$T_{max} = \frac{Mb}{Ip/r} = \frac{Mb}{1} \cdot \frac{r}{Ip}$$

Tmax = Maksimum kayma gerilmesi (daN/cm^2)
Mb = Burulma momenti (daN . cm)
Wp = Polar dayanım momenti (cm^3)
Ip = Polar atalet momenti (cm^4)
r = Milin yarı çapı (cm)

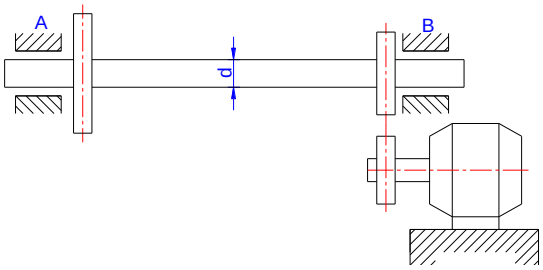
$$T_{max} = \frac{Mb}{Wp} = \frac{Mb}{Ip} \cdot r$$

4.1. PROBLEMLER

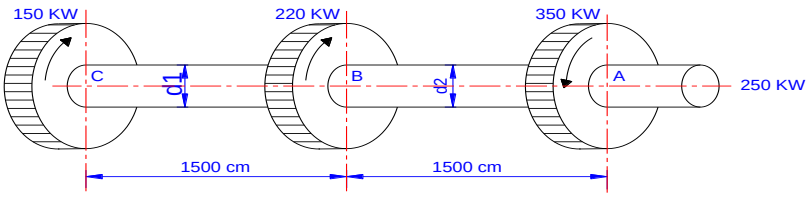
1. Şekilde görülen çelik çubuk tek taraflı ankastredir. Çubuk çapı 25 mm ve moment kolu BC 40 cm'dir. Güvenli kayma gerilmesi Tg=650 daN/cm^2 olduğuna göre F kuvveti ne kadar olmalıdır?



2. Şekilde görülen, çapı 10 cm olan bir mil, dakikada 45 devirle dönmektedir. Tg=400 daN/cm^2 olduğuna göre iletebileceği güç ne kadardır?

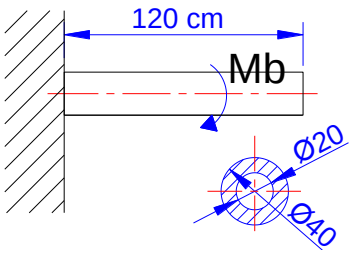


3. Şekildeki sistemde A dişli çarkı 350 KW almakta ve bu gücü B ve C çarklarına 220 KW ve 150 KW olarak vermektedir. d_1 çapı C çarkının etkisi altındadır. Güvenli kayma gerilmesi Tg=500 daN/cm^2 olduğuna göre mil çaplarını bulunuz.



4. Bir geminin pervane mili, dakikada 125 devirle dönerken 350 KW iletecektir. Tg=420 daN/cm^2 olduğuna göre çapın 20 katı kadar uzunluktaki burulma açısının 1^o'yi geçmemesi için mil çapı ne kadar olmalıdır?
360^o = 2Π rad ➔ 2Π / 360 = Π / 180 rad

5. Şekildeki boru burulmaya çalışmaktadır. Dış çapı 40 mm, iç çapı 20 mm, boyu 120 cm, emniyetli kayma gerilmesi 150 daN/cm^2 olduğuna göre meydana gelecek momenti ve burulmanın etkisiyle B noktasında meydana gelecek açısal dönme miktarını bulunuz.
G= 8x10^4 daN/cm^2



5. BURKULMA GERİLMESİ

Kesit alanları küçük, boyları kesitlerine göre büyük olan çubuklara NARİN ÇUBUKLAR adı verilir. Narin çubuklar eksenel olarak çalışırsa burkulur ve kırılır. Bu nedenle narin elemanların kuvvet altındaki davranışlarını incelerken, hem kesitleri, hem boyları göz önüne alınmalıdır. Narin bir basınç çubuğunun dayanımını kaybetmesi, çubuğun ekseninin yanal yer değiştirmeler yaparak, doğru şeklinin bozulmasıdır. Bu olaya da burkulma (FLAMBAJ) denir.

Bir çubuğun burkulmasına neden olacak kuvvetin, burkulma başlangıcındaki değerini bulabilmek için, yapılan deneyler sonucunda üç yöntem bulunmuştur.

1- Euler yöntemi 2- Tetmajer yöntemi 3- ω yöntemi

- Bu yöntemlerin hangisinin hesaplamada kullanılacağına çubuğun narinlik derecesine bakılarak karar verilir.

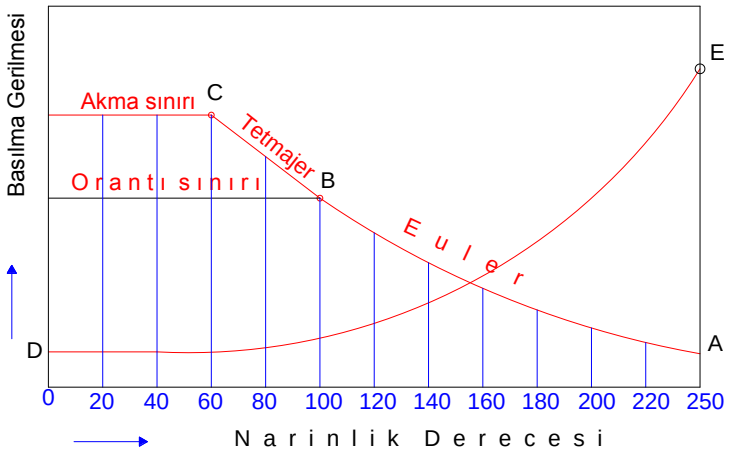
$$\lambda = \sqrt{\frac{A.Lk^2}{I}}$$

λ = Narinlik derecesi

A = Kesit alanı (cm^2)

Lk = Flambaj boyu (cm)

I = Atalet momenti (cm^4)



Şekil 5.1 Basma gerilmesi-Narinlik derecesi diyagramı (Curun,1981)

Yukarıdaki diyagrama göre (Şekil.59);

- $\lambda > 100$ için Euler yöntemi (Basınç gerilmesi orantı sınırının altında olan çubuklar için)
- $60 < \lambda < 100$ için Tetmajer yöntemi (Basınç gerilmesi orantı sınırı ile akma sınırı arasında olan çubuklar için)
- ω yöntemi λ'nin bütün değerleri için kullanılabilir, ancak $\lambda < 60$ için daha uygundur. $\lambda > 60$ bölgelerinde diğer yöntemler (Euler – Tetmajer) daha iyi sonuç verir.

5.1. EULER YÖNTEMİ

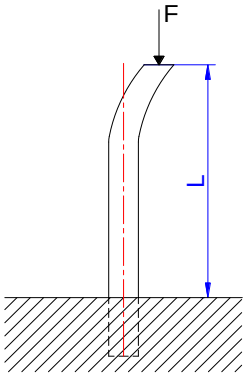
$$Fk = \frac{\pi^2 .E.\mathrm{I}}{Lk^2}$$

$$F = \frac{Fk}{Sk} = \frac{\sigma k.A}{Sk} \Rightarrow \sigma k = \frac{Fk}{A}$$

Fk = Flambaja başlangıç kuvveti (daN)
E = Elastiklik modülü (daN/cm^2)
I = Atalet momenti (cm^4)
Lk = Flambaj boyu (cm)

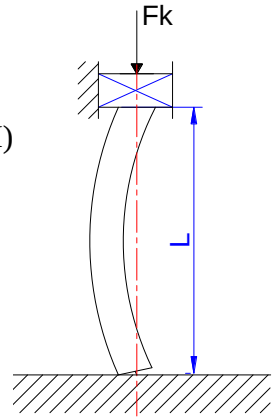
F = Uygulanabilecek kuvvet (daN)
Sk = Güven katsayısı

I)



Alt uç ankastre üst uç serbest
Lk = 2L

II)

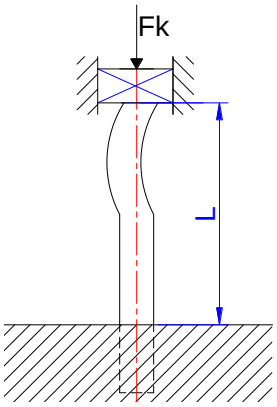


Her iki uç da serbest (mafsallı)
Lk = L

$$Fk = \frac{\pi^2 .E.I}{4L^2}$$

$$Fk = \frac{\pi^2 .E.I}{L^2}$$

III)

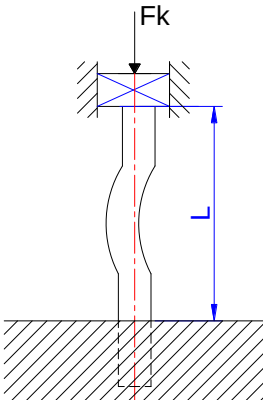


Alt uç ankastre, üst uç serbest (mafsallı)

$$Lk = \frac{L}{\sqrt{2}} = 0{,}707L$$

$$Fk = \frac{2\pi^2 .E.I}{L^2}$$

IV)



Her iki uç da ankastre

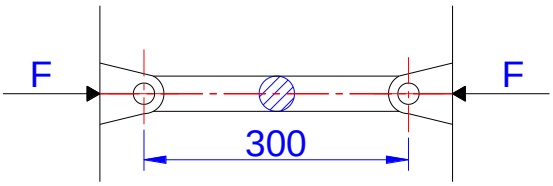
$$Lk = 0{,}5L$$

$$Fk = \frac{4\pi^2 .E.I}{L^2}$$

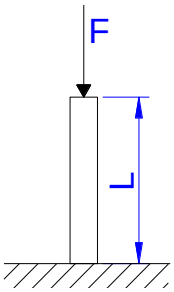
Şekil 5.2 Narin çubuklar

5.1.1. Problemler

1. Şekildeki 10 cm çapında ve boyu 300 cm olan iki ucu da mafsallı çelik çubuğun narinlik derecesini bulunuz.



2. Şekilde görülen bir ucu ankastre, diğer ucu boşta olan 350 cm boyunda, 25 cm çapındaki ahşap bir kolonun kritik yükünü ve kritik gerilmesini hesaplayınız (E = 10^5 daN/cm^2).

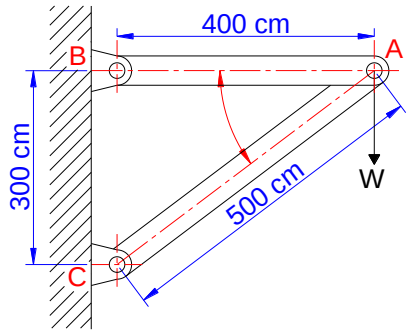


3. Yukarıdaki şekilde olduğu gibi bir ucu ankastre, diğer ucu boşta ve 30x20 cm dikdörtgen kesitli ve boyu 500 cm olan çubuğun güven katsayısı 10 olduğuna göre taşıyabileceği yükü bulunuz (E = 120000 daN/cm^2).

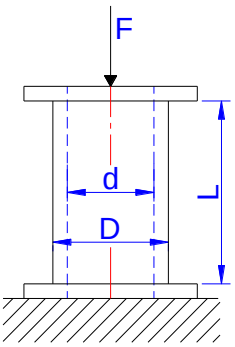
4. Yukarıdaki şekilde çubuğun taşıdığı yük 2 ton olduğunda EULER formülüne göre güven katsayısını hesaplayınız.

5. Her iki ucu da mafsallı, basılmaya çalışan çelik bir çubuğun kesiti 25 cm^2' dir. Çubuğun orantı sınırı σp = 2100 daN/cm^2 ve E = 2,1 . 10^6 daN/cm^2 olduğuna göre EULER formülünün geçerli olabileceği en küçük çubuk boyunu hesaplayınız.

6. Şekildeki gibi yüklenen bir sistemde AC çubuğu (çelik) basılmaya çalışmaktadır. Flambaja uğramaması için çapı ne kadar olmalıdır?
Sk = 5, E = 2.10^6 daN/cm^2, W = 3000 daN



7. Şekildeki kolonun burkulma olmadan F yükünü taşıyabilmesi için et kalınlığının ne kadar olması gerektiğini hesaplayınız.



5.2. TETMAJER YÖNTEMİ

Çizelge 5.1 Bazı malzemelerin burkulma kullanım sınırları (Curun,1981)

Malzeme	Basma gerilmesi	Tetmajer'e göre hesaplama	Euler'e göre hesaplama	Tetmajer'e göre kritik gerilme daN/cm^2
Ahşap	$\lambda \leq 1{,}8$	$1{,}8 < \lambda < 100$	$\lambda \geq 100$	$\sigma k = 293 - 1{,}94\,\lambda$
Dökme demir	$\lambda \leq 5$	$5 < \lambda < 80$	$\lambda \geq 80$	$\sigma k = 7760 - 120\,\Lambda + 1{,}53\,\lambda^2$
Yumuşak çelik	$\lambda \leq 10$	$10 < \lambda < 100$	$\lambda \geq 100$	$\sigma k = 3100 - 11{,}4\,\lambda$
Orta sert çelik	$\lambda \leq 10$	$10 < \lambda < 89$	$\lambda \geq 89$	$\sigma k = 3350 - 6{,}2\,\lambda$
%5 nikelli çelik	$\lambda \leq 10$	$10 < \lambda < 86$	$\lambda \geq 86$	$\sigma k = 4700 - 23\,\lambda$

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

λ_p = Narinlik derecesi
E = Elastiklik modülü (daN/cm^2)
σp = Orantı sınırı (Akma sınırı) (daN/cm^2)

5.2.1. Problemler

1. Çelik bir çubuğun; orantı sınırı σp = 2000 daN/cm^2, elastiklik modülü E = 2,1.10^6 daN/cm^2, akma sınırı 2500 daN/cm^2'dir. Tetmajer formülünün kullanılabileceği en küçük narinlik derecesini bulunuz.

2. Tetmajer formülünü kullanarak λ = 90 olabilmesi için yumuşak çelik bir malzemede ki kritik gerilmeyi hesaplayınız.

5.3. ω YÖNTEMİ

Çizelge 5.2 Çelik malzemelerin güvenlik katsayıları (ω) (Curun,1981)

λ	110	120	130	140	160	180	200	220	240	250
Yumuşak çelik	2,11	2,43	2,85	3,31	4,32	5,47	6,75	8,17	9,73	10,55
Sert Çelik	3,06	3,65	4,28	4,96	6,48	8,21	10,13	12,26	14,59	15,83

$$\sigma . \omega \leq \sigma g$$

Çubuğun narinlik derecesine göre çizelge.2'den ω değeri seçilir. Bulunan değer malzemenin güvenli dayanımından küçük olmalıdır.

5.3.1. Problemler

1. 5000 daN 'luk bir yükle basılmaya zorlanan sert çelik malzemeden yapılmış çubuğun çapı 4 cm'dir Narinlik derecesi 160 ve her iki ucu da ankastre olan çubuğun boyu ve malzemesinin güvenli dayanımı en az ne kadar olmalıdır?

2. 7500 daN bir basma kuvveti ile zorlanan 200 cm boyunda ve 5x5 cm kare kesitli yumuşak çelik çubuğun güvenli gerilmesi 1250 daN/cm^2'dir. Bu verilere göre kesitin uygunluğunu kontrol ediniz. Lk = L

6. EĞİLME GERİLMESİ

Bir kirişin eksenine dik etki eden kuvvetler, çubuk kesitlerinde KESME KUVVETİ ve EĞİLME MOMENTİ meydana getirir.

Eğilme momenti sonucu çubuğun doğrusal durumu eğrisel duruma geçer ve çubuk ekseni de bir eğri olur. Bu eğriye ELASTİK EĞRİ adı verilir.

Eğilme momenti ile bu momenti meydana getiren EĞİLME GERİLMESİ ve düşey KESME KUVVETİ ile bu kuvvet etkisi altında oluşan KAYMA GERİLMESİ arasında bağıntı vardır. Bu bağıntıları bulurken;

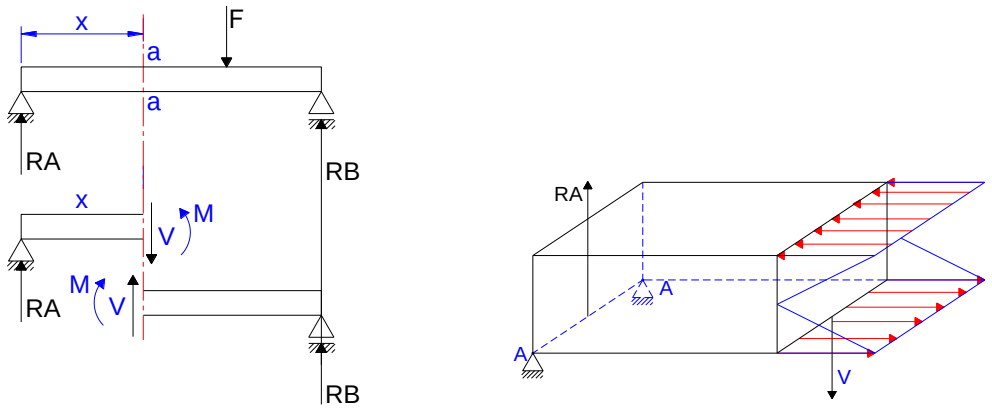
1. Kirişin düzlem olan dik kesiti eğilmeden sonra da düzlem kalır.
2. Çekilmede ve basılmadaki elastiklik modülleri eşittir.
3. Kiriş malzemesi homojendir, Hooke kanununa uygundur.
4. Kiriş orijinal olarak doğrudur ve kesitler sabittir.

koşullarını kabul edilir.

- Bir eğilme probleminin çözülebilmesi için kiriş kesitinin atalet momenti, dayanım momenti, tarafsız eksen, kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramlarının çizimi gibi bilgilere gerek duyulur.

6.1. KİRİŞLERDE KESME KUVVETİ (MAKASLAMA) VE MOMENTLER

- **Nokta yükle** yüklenen bir kirişte (ağırlık dikkate alınmadan) denge şartları (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 Nokta yüklenmiş bir kiriş

a. $\Sigma Fx = 0$

b. $\Sigma Fy = 0$ şartı için R_A 'ya karşı bir iç kuvvet vardır. Bu kuvvet kesme kuvvetidir.

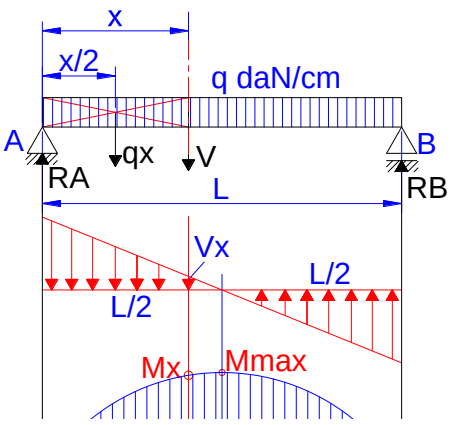
c. Momentler toplamının $\Sigma M = 0$ olması gerekir.
$R_A = V$ olduğunda $M = RA \cdot x$ olur. Kirişi eğmeye çalışan bu moment EĞİLME MOMENTİ'dir.

d. Kirişin her iki parçasında da kesme kuvveti ve eğilme momenti eşit olmalıdır.

SONUÇ olarak; kirişler eksenine dik kuvvetlerle yüklenirse, kiriş kesitlerinde kesme kuvveti ve eğilme momenti meydana gelir.

M – Eğilme momenti daN.cm
Mmax – En büyük eğilme momenti daN.cm
q – Birim uzunluktaki yayılı yük daN/cm ≈ daN/m

- **Düzgün yayılı yüklerde:**



Şekil 6.2

$$R_A = R_B = \frac{q.L}{2}$$

x uzaklığındaki kesitte;

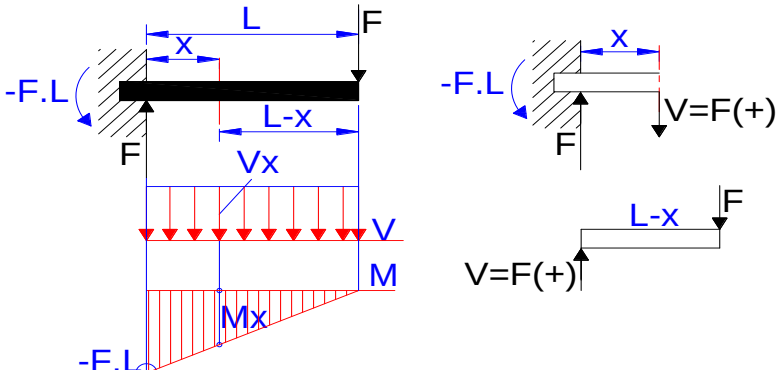
$$R_A = q.x - V$$

$$V = q\left(\frac{L}{2} - X\right)$$

$$Mx = \frac{q.X}{2}\left(\frac{} - X\right)$$

$X = \frac{L}{2}$ için $\quad \boxed{M = \frac{q.L^2}{8}}$

- **Tek taraflı ankastre kirişler için;**



Şekil 6.3

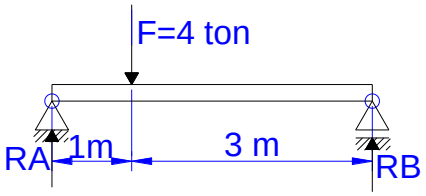
x = 0 için M = F. L

x = L için M = - F. L + F . L

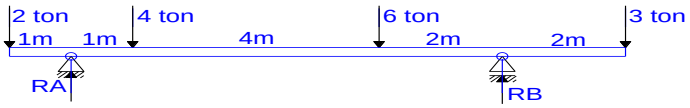
$\underline{M_{max} = - F . L}$

6.1.1. Problemler

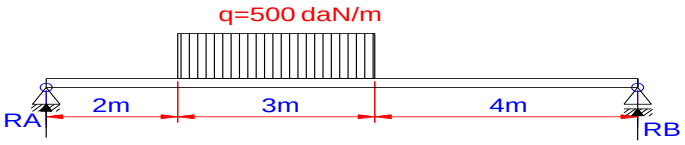
1. Şekildeki basit kirişin (nokta yüklü) kesme kuvveti ve moment diyagramlarını çiziniz.



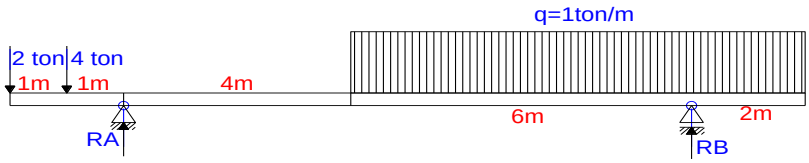
2. Şekildeki gibi yüklenmiş kirişin maksimum eğilme momentini bulunuz.



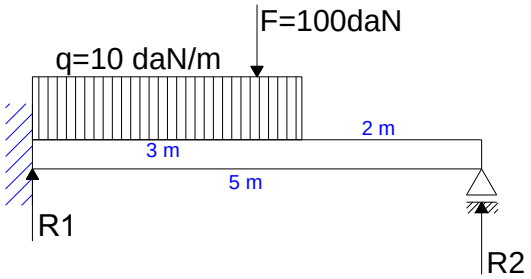
3. Bir basit kiriş Şekildeki gibi düzgün yayılmış yük ile yüklenmiştir. Bu kirişin kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramlarını çizerek maksimum momentin yeri ve değerini bulunuz.



4. Şekildeki gibi yüklenmiş bir kirişin kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramlarını çizerek maksimum momentin yeri ve değerini bulunuz.

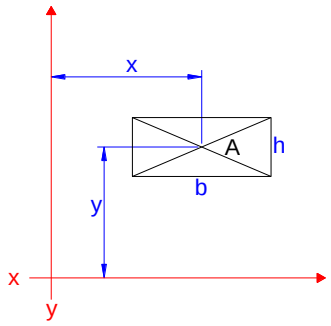


5. Şekildeki gibi yüklenmiş bir kirişin kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramlarını çizerek maksimum momentin yeri ve değerini bulunuz.



6.2. ATALET MOMENTLERİ

- **Düzlem alanların atalet momentleri**



Şekil 6.4

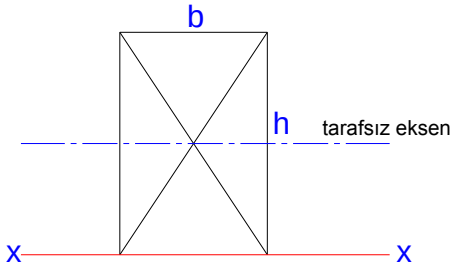
$I_x = A.y^2$

$I_y = A.x^2$

Statik moment = alan x uzunluk = A . L

Atalet momenti = alan x uzunluğun karesi
= A . L^2

- **Dikdörtgen alanın atalet ve dayanım momentleri**



Şekil 6.5

Atalet momenti

$I_x = \frac{A.h^2}{3} => I_x = \frac{b.h^3}{3} cm^4$ $\quad \boxed{I = \frac{b.h^3}{12} cm^4}$

Dayanım momenti

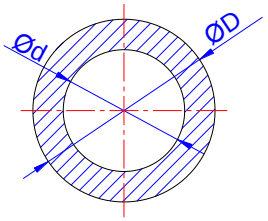
$W = \frac{I}{h/2} =>$ $\quad \boxed{W = \frac{b.h^2}{6} cm^3}$

- **Daire alanın atalet ve dayanım momentleri**

Atalet momenti $\quad I_x = \frac{\pi.r^4}{4} = \frac{\pi.d^4}{64} \cong \frac{d^4}{20} = 0{,}05 d^4 cm^4$ $\quad \boxed{I = \frac{\pi.d^4}{64} cm^4}$

Dayanım momenti $\quad \boxed{W = \frac{I}{r} cm^3}$

- **Boru kesitlerin atalet ve dayanım momentleri**

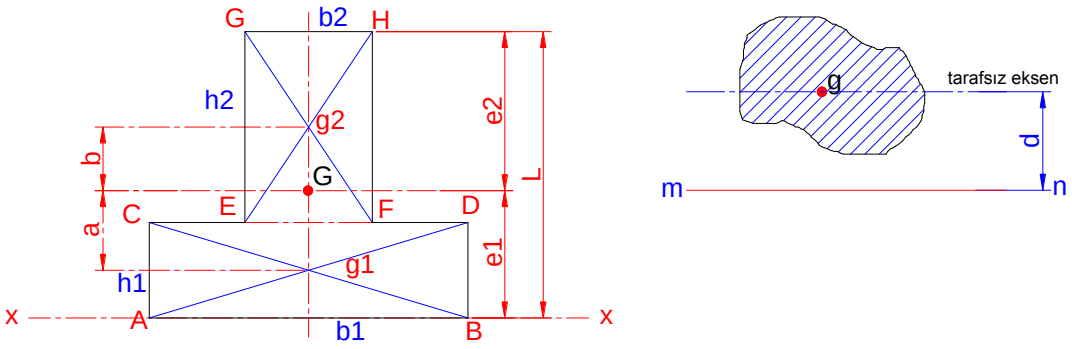


Şekil 6.6

Atalet momenti $\quad \boxed{I = \frac{\pi.D^4}{64} - \frac{\pi.d^4}{64} cm^4}$ $\quad => \frac{D^4 - d^4}{20} cm^4$

Dayanım momenti $\quad \boxed{W = \frac{\pi}{32D}\left(D^4 - d^4\right) cm^3}$

- **Bileşik kesitlerde atalet ve dayanım momentler**



Şekil 6.7

$I_{mn} = I_g + A \cdot d^2$

I_{mn} = Şeklin kendi eksenine göre atalet momenti

I_g = Kesitin kendi ağırlık merkezinden geçen yatay eksenine göre atalet momenti

A = kesit alanı

d = İki paralel eksen arasındaki dik uzaklık

- Şekil.79'da görülen x – x eksenine göre atalet ve dayanım momentlerinin bulunması;
  1- Yüzey iki parçaya ayrılır.
  2- Alanların A noktasına göre <u>statik momentleri</u> bileşke momentine eşitlenir.

$$Ms = A_1.a + A_2.b$$
$$Ms = A.e_1 \Rightarrow Ms = A_1.a + A_2.b = A.e_1$$

$$I_x = A.e_1$$

$$e_1 = \frac{A_1.a + A_2.b}{A}$$

$$d_1 = e_1 - a \qquad e_2 = L - e_1$$

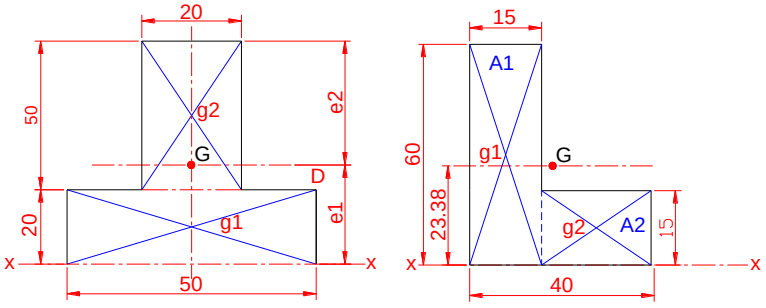
$$d_2 = e_2 - L_1/2$$

$$I_{mn} = I_g + A.d^2 \qquad I_G = I_{g1} + A_1.d_1^{\,2} + I_{g2} + A_2.d_2^{\,2}$$

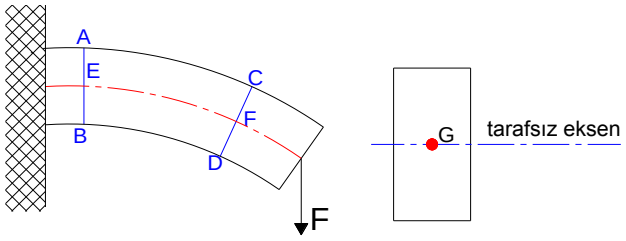
- Kesit simetrik olmadığından iki adet dayanın momenti vardır.

$$W_1 = \frac{I_G}{e_1} cm^3 \qquad W_2 = \frac{I_G}{e_2} cm^3$$

Problem: Şekildeki kesitlerin x – x eksenine göre atalet ve dayanım momentlerini bulunuz.



6.3. EĞİLME FORMÜLÜ

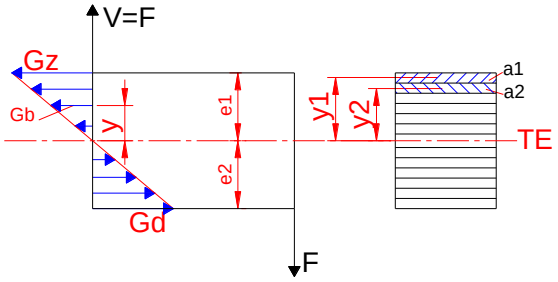


Şekil 6.8 Eğilme

Şekil 6.8'deki ankastre çubuk, ucundan düşey bir kuvvetle yüklenirse eğilir. Eğilmede çubuk ekseni bir eğri halini alır. Bir kısım iplikler uzar, bir kısım iplikler kısalır. Bunlar arasında tarafsız bir yüzey vardır ki bunun boyu değişmez (Gerçekte iplikçiklerden sadece ağaç malzemelerde söz edilir. Ancak dayanımda diğer malzemelerde de liflerin olduğu kabul edilir).

Tarafsız düzlem ve dik kesitin arakesitine TARAFSIZ EKSEN denir.

Tarafsız düzlemin bir tarafında basılma (BD), diğer tarafında çekilme (AC) etkisi vardır. Tarafsız düzlemde basılma yada çekilme etkisi yoktur. AC'deki lif maksimum çekilme gerilmesine, BD'deki lif ise maksimum basılma gerilmesine karşı koyar (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 Eğilme ve gerilmeler

σ_z = maksimum gerilme *Tarafsız eksende gerilme 0'dır.

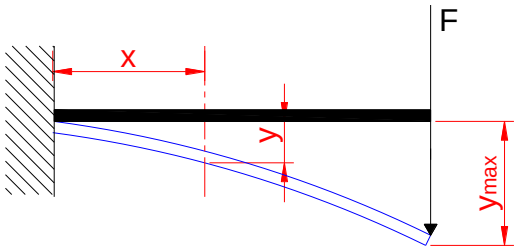
$$\frac{\sigma_e}{\sigma_z} = \frac{y}{e_1} \Rightarrow \sigma_b = \frac{\sigma_z . y}{e_1} \Rightarrow$$

$$\sigma e = \frac{Me}{Wb} \qquad Me = \frac{I}{e_1}.\sigma_z$$

$$\sigma_e = \sigma_z . \frac{y}{e_1} = \frac{Me}{I} . e_1 . \frac{y}{e_1} \Rightarrow$$ Eğilme Formülü $$\sigma_e = \frac{Me}{I} . y$$

σ_b = Eğilmeden oluşan çekilme veya basılma gerilmesi
Me = Eğilme momenti (daN . cm)
I = Kesitin atalet momenti (cm^4)
y = Tarafsız eksenden ölçülen lif uzaklığı (cm)

6.4. EĞİLME OKU (SEHİM)

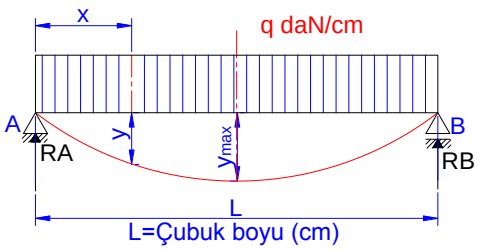


$$y_{max} = \frac{F.L^3}{3.E.I}$$

Şekil 6.10 Eğilme oku

y_{max} = Maksimum eğilme oku

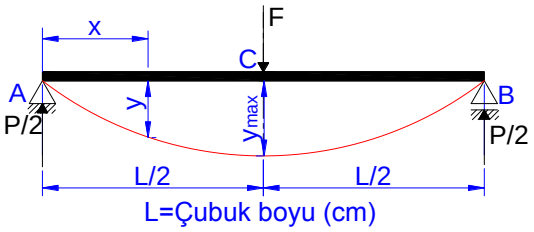
6.4.1. Düzgün yayılı yükte eğilme



$$y_{max} = \frac{-5}{384}.\frac{q.L^4}{E.I}$$

Şekil 6.11 Düzgün yayılı yükte eğilme

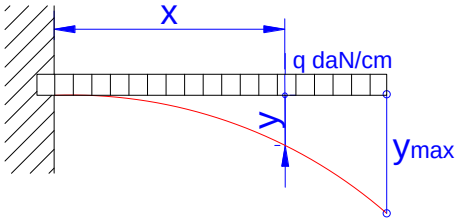
6.4.2. Nokta yüklü basit kirişte eğilme



$$y_{max} = \frac{-F.L^3}{48.E.I}$$

Şekil 6.12 Nokta yükte eğilme

6.4.3. Tek taraftan ankastre düzgün yayılı yükte eğilme

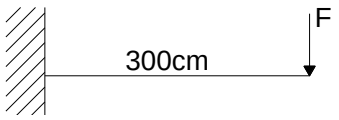


$$y_{max} = \frac{q.L^4}{8.E.I}$$

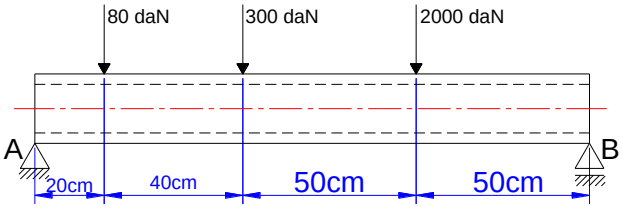
Şekil 6.13 Tek taraftan ankastre düzgün yayılı yükte eğilme

6.4.4. Problemler

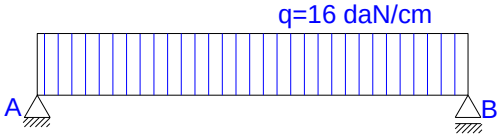
1. Şekilde görülen tek taraftan ankastre bir kiriş 3 m boyundadır ve ucundan 2500 kg yüklenmiştir. Kiriş 10 x 10 kare kesitlidir. En dıştaki lifte oluşan gerilmeyi, Eğilme oku uzunluğunu (y_{max}) bulunuz. E = 2,1 . 10^6 daN/cm^2



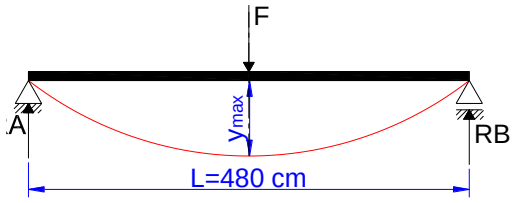
2. Şekildeki gibi yüklenmiş basit kiriş boru kesitlidir ve iç çapın dış çapa oranı $\frac{d}{D} = \frac{5}{7}$ dir. Kiriş malzemesinin güvenli dayanımı σ_g = 80 daN/cm^2 olduğuna göre dış çapı bulunuz.



3. Şekildeki gibi yüklenmiş bir kirişin L boyu ne kadar olmalıdır?
σ_g = 80 daN/cm^2

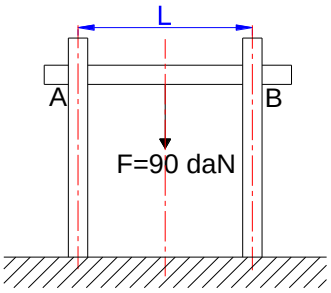


4. Şekilde görülen basit kirişte tek bir kuvvet orta noktadan etki ediyor. İzin verilen en büyük sehim (y_{max}) 0,5 cm olduğuna göre P kuvvetinin en büyük değerini bulunuz. Kiriş daire kesitlidir ve çapı 10 cm'dir.

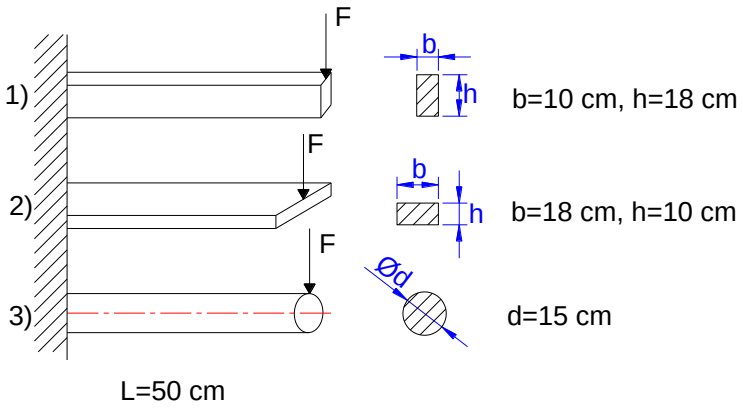


5. Şekildeki barfikste hareket yapılan çubuk, D = 3 cm, d = 2,2 cm çaplarında bir borudur. Hareket sırasında borunun ortasına gelen en büyük yük 90 kg olduğuna göre dayanak

demirlerinin açıklığı (L) ne kadar olmalıdır? (Dönmeden oluşan merkezkaç kuvvet dikkate alınmayacaktır.) $\sigma_g = 80$ daN/cm^2



6. Şekilde görülen üç kiriş aynı malzemeden yapılmıştır. Kesit şekilleri farklı kesit alanları eşit olan bu kirişlerden hangisi en büyük yükü taşır?
$\sigma_g = 80$ daN/cm^2 L = 50 cm



7. BİLEŞİK GERİLME

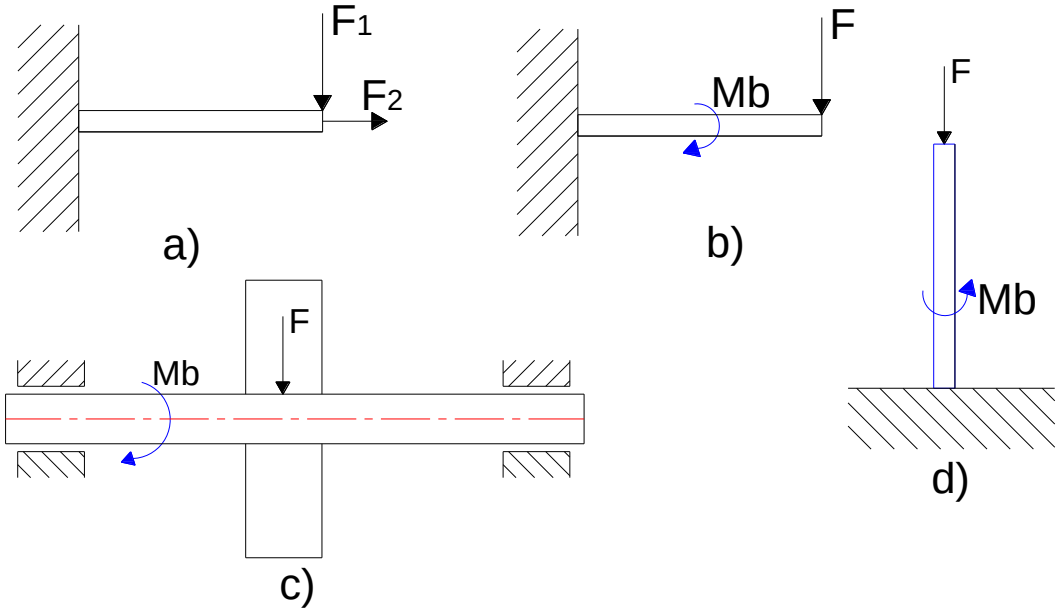
Makine parçalarının çalışmaları sırasında karşılaştıkları kuvvetler her zaman tek bir etki yaratmazlar. Genellikle birkaç gerilme bir arada etki eder. Örneğin; bir makine parçası sadece çekmeye ya da sadece eğilmeye çalışmaz. Aynı anda çekme ve eğilmeye, burulma ve eğilmeye veya basılma ve burulmaya v.b. zorlanıyor olabilir (Şekil.93). Bir parçanın hesaplamaları yapılırken, etki eden tüm gerilmeler incelenerek oluşabilecek en büyük gerilme dikkate alınmalıdır.

Makine parçalarının bileşik zorlanmaları güvenle taşıyabilmesi için;

$$\tau_{max} \le \tau_g \qquad (\sigma_n)_{max} \le \sigma_g$$

olmalıdır.

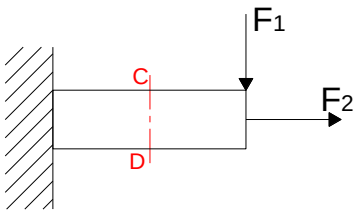
Tmax : En büyük kayma gerilmesi (daN/cm^2)
Tg : Güvenli kayma gerilmesi (daN/cm^2)
$(\sigma n)_{max}$: En büyük normal gerilme (Çekme – Basma) (daN/cm^2)
σg : Güvenli normal gerilme (Çekme – Basma) (daN/cm^2)



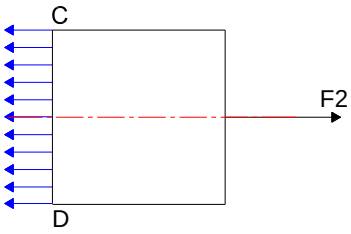
Şekil 7.1 Bileşik gerilmeler

1. Çekme - basma ve eğilme gerilmeleri **(a)**
2. Eğilme ve burulma gerilmeleri **(b,c)**
3. Çekme - basma ve burulma gerilmeleri **(d)**

7.1. ÇEKME - BASMA VE EĞİLME GERİLMELERİ



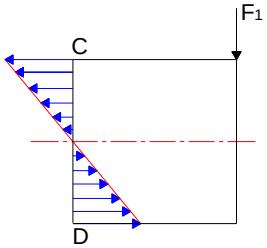
Şekil 7.2 Çekme –Eğilme



Sadece F2 kuvvetinin etkisi çekme gerilmesi oluşturur (şekil.95).

$$\sigma_x = \frac{F_2}{A}$$ dir.

Şekil 7.3 Çekme

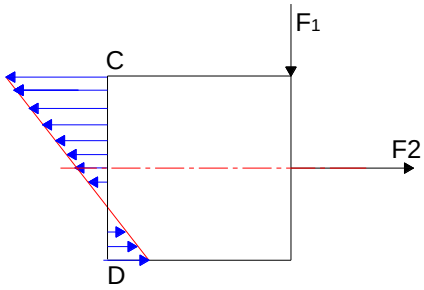


Sadece F1 kuvveti ise eğilme gerilmesi oluşturur (Şekil.96).

$$\sigma e_{max} = \frac{Me}{Wb}$$ (Me: Eğilme momenti) (daNcm)

(Wb: Dayanım momenti) (cm^3)

Şekil 7.4 Eğilme



Her iki kuvvetin etkisiyle (Şekil.97);
C'de Çekme gerilmesi + Eğilme gerilmesi

$$\sigma_{max} = \frac{Me}{Wb} + \frac{F_2}{A}$$

Şekil 7.5 Çekme-Eğilme gerilmeleri

D'de Basma gerilmesi + Eğilme gerilmesi

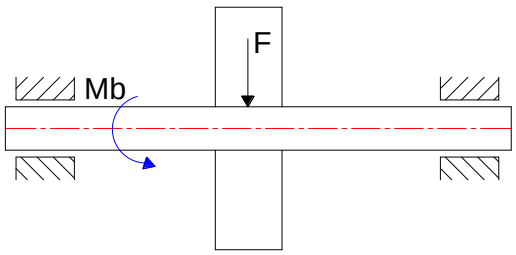
$$\sigma = \frac{F_2}{A} - \frac{Me}{Wb}$$

Tarafsız eksen üzerinde ise

$$\sigma = 0 + \frac{F_2}{A}$$ olur.

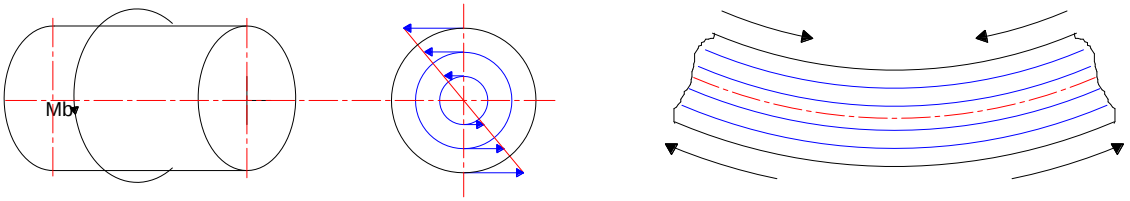
7.2. EĞİLME VE BURULMA GERİLMELERİ

Birçok makine elemanı, özellikle de miller çalışmaları sırasında taşıdıkları elemanlar nedeniyle eğilmeye, dönme hareketi nedeniyle de burulmaya çalışırlar. Hem eğilme hem de burulma etkisiyle oluşan en büyük gerilmeler en dış liflerde olur. Eğilme momenti etkisiyle oluşan normal gerilmelerle (çekme – basma), burulma momenti etkisiyle oluşan kayma gerilmesinin maksimum bileşkesi en dış kabukta olur (Şekil.98).



Burulma etkisiyle oluşan en büyük KAYMA GERİLMESİ en dıştaki liflerde oluşur.

Eğilme etkisiyle oluşan en büyük NORMAL GERİLMELER en dıştaki liflerde oluşur



Şekil 7.6 Eğilme-Burulma

$$T_{max} = \frac{Mb}{Wp}$$ Mb: Burulma momenti
Wp: Polar dayanım momenti

$$\sigma_{max} = \frac{Mb}{Wb}$$ Me: Eğilme momenti
Wb:Dayanım momenti

$$\sigma_{n\,max} = \frac{\sigma_{max}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2}$$

$$\sigma_{n\,min} = \frac{\sigma_{max}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2}$$

$$\tau_{max\,max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2}$$

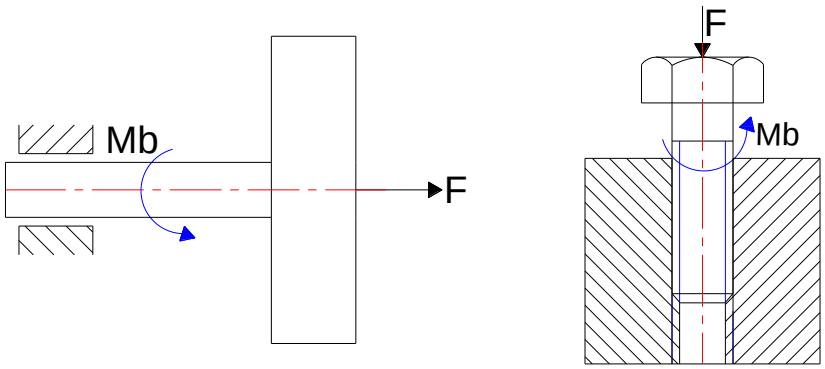
- Eğilme ve burulmadan oluşan gerilmeler kesite etki eden burulma ve eğilme momentleri cinsinden yazılabilir.

$$\tau_{max\,max} = \frac{\sqrt{Me^2 + Mb^2}}{2Wb}$$

$$\sigma_{n\,max} = \frac{Me + \sqrt{Me^2 + Mb^2}}{2Wb}$$

7.3. ÇEKME - BASMA VE BURULMA GERİLMELERİ

Makine elemanlarının uygulamada taşıdıkları bir başka gerilme de Çekme - Basma ve burulma gerilmeleri bileşkesidir. Örneğin vidalı elemanlar aynı anda hem burulmaya hem de çekme veya basmaya zorlanırlar (Şekil.99). Etkisi altındaki kuvvetin olşturduğu normal gerilmelerle (çekme – basma), en dış kabukta oluşan burulma momenti etkisiyle oluşan kayma gerilmesinin maksimum bileşkesi olur.



Şekil 7.7 Çekme-Basma-Burulma

Çekme – Basma etkisiyle oluşan normal gerilme

$$\sigma_x = \frac{F}{A}$$

Burulma etkisiyle oluşan dış yüzeydeki en büyük kayma gerilmesi

$$T_{max} = \frac{Mb}{Wp}$$

σx : Normal gerilme (daN/cm^2)
F : Etkileyen yük (daN)
A : Kesit alanı (cm^2)

Tmax : Burulma momentinin etkisiyle oluşan kayma gerilmesi (daN/cm^2)
Mb : Burulma momenti (daN.cm)
Wp : Polar dayanım momenti (cm^3)

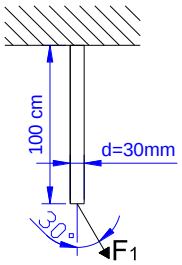
En büyük Gerilmeler

$$\sigma_{n\,max} = \frac{\sigma_x}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2}$$

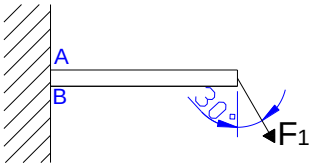
$$\tau_{max\,max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2}$$

7.4. PROBLEMLER

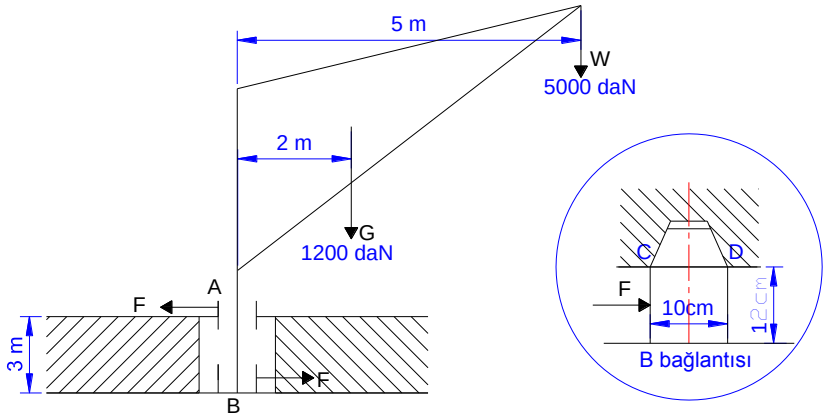
1. Bir çubuk şekildeki gibi ankastre edilmiş F kuvvetinin etkisindedir. A ve B noktalarındaki gerilmeleri bulunuz. F= 200 daN, çubuk boyu 100 mm, çubuk çapı 10 cm



2. Şekildeki çubuğun taşıyabileceği yükü bulunuz. Çubuk çapı 30 mm, boyu 100 cm, maksimum gerilme 800 daN/cm^2

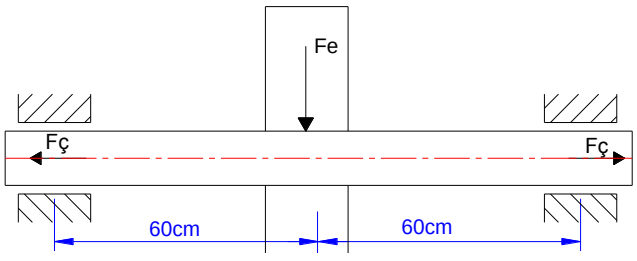


3. Şekildeki döner vincin muylusunun kontrol hesabını yapınız. Muylu çapı 10 cm, muylu boyu 12 cm'dir. Güvenli gerilme 750 daN/cm^2

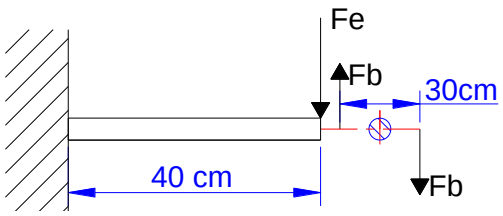


(Curun,1981)

4. Şekildeki mil eğilme ve çekme etkisindedir. Maksimum gerilmeyi bulunuz.
Fe=25 daN Fç=50 daN d= 30 mm

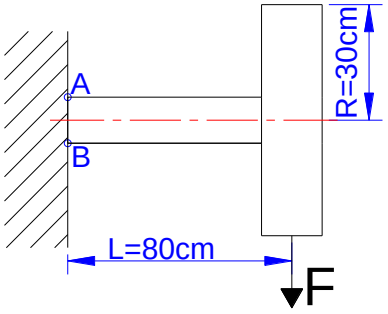


5. Şekildeki gibi tek taraflı ankastre bir çubuk aynı anda eğilmeye ve burulmaya çalışmaktadır. Maksimum normal ve kayma gerilmelerini bulunuz.
Çubuk çapı d= 8 cm, Fe = 250 daN, Fb= 150 daN



6. Şekildeki sistemde volan F kuvvetinin etkisiyle eğilme ve burulma etkisindedir. Volanın yarıçapı 30 cm'dir. Sistemin F= 1200 daN'luk yükü taşıyabilmesi için AB kesitindeki çapını bularak kayma gerilmesine göre kontrolünü yapınız.

σg= 750 daN/cm^2 Tg= 500 daN/cm^2



KAYNAKÇA

Akkurt, M., Kent, M., (1979). Makine Elemanları. Birsen Yayınevi. İstanbul.
Akkurt, M. (1994). Makine Elemanları Problemleri. Birsen Yayınevi. İstanbul.
Akkurt, M. (2000). Makine Elemanları. Birsen yayınevi. İstanbul.
Curun, N. (1977). Cisimlerin Mukavemeti. Yüksek Teknik Öğretmen Okulu Matbaası. Ankara.
Curun, N. (1981). Cisimlerin Dayanımı. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları. Ankara.
Curun, N. (1983). Cisimlerin Dayanımı Çözümlü Problemler. Özgün Matbaacılık. Ankara.
Eker, B., Taşeri, L., Günaydın, L. (1994). Makine Tasarımı El Kitabı. T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Basımevi. Tekirdağ.
Gediktaş, M. (1999). Makine Elemanları Problemleri. Çağlayan Kitabevi. İstanbul.
Okday, Ş. (1979). Makine Elemanları. Kazmaz Matbaası. İstanbul.
Omurtag, H. M. (2003). Statik ve Mukavemet. Beta Yayıncılık. İstanbul.
Omurtag, H. M. (2003). Statik ve Mukavemet Çözümlü Problemleri. Beta Yayıncılık. İstanbul.
Yazıcıoğlu, O. (1998). Konstrüksiyonda Mukavemet. Beta Yayıncılık. İstanbul.
Yazıcıoğlu, O. (1999). Makine Elemanları. Beta Yayıncılık. İstanbul.