



Karadeniz Teknik Üniversitesi

Orman Fakültesi
Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

MAKİNA BİLGİSİ

6. Basit Mukavemet Halleri

Dr.-Mak.Müh. Kemal ÜÇÜNCÜ



6. Basit Mukavemet Halleri

6.1. Mukavemet Kavramı

6.2. Emniyet Gerilmesi

6.3. Boyutkandırma Problemleri

6.4. Mukavemet Hesaplarında Tasarım Aşamaları

6.5. Mukavemet Hesapları

6.1. Mukavemet Kavramı

- Makina elemanlarında mukavemet hesaplamasının iki amacı vardır:
 - 1) Bir konstrüksiyonda öngörülen elemanın taşıması veya iletmesi gereken kuvveti ya da momentini, istenilen süre boyunca, emniyetli bir şekilde taşıyabilmesi için hangi malzemeden ve hangi boyutlarda imal edilmesi gerektiğinin bilinmesi.
 - 2) İmal edilmiş bir elemanın düşünülen işletme şartları altında hangi kuvvet veya momentini emniyet sınırını aşmadan ne kadar süre taşıyabileceğinin belirlenmesi (maksimum zorlamanın belirlenmesi)'dir.
- Makina elemanlarının hesabı genel mukavemet bilgisi ile yapılır.

6.1. Mukavemet Kavramı

- Mukavemet hesabının amacı; bir elemanda dış kuvvetlerin doğurduğu zorlamaları hesap yoluyla bulmak ve bunu eleman sınır değerleriyle karşılaştırmaktır.
- Bir elemanın mukavemet değerleri, malzemenin mekanik özelliklerine, şekline ve boyutlarına bağlıdır.
- Emniyetli bir çalışma için bu değerler dış zorlamaların oluşturduğu gerilmelerden belli bir emniyet sağlayacak kadar büyük olmalıdır.
- Bir tasarım mühendisinin görevlerinden birisi de malzemenin bütün kullanma koşullarını göz önüne alarak yapı ve makina elemanlarının boyutlarını hesaplamaktır.

6.1. Mukavemet Kavramı

- Boyutlandırma yapılırken genelde aşağıdaki hususlara dikkat edilir:
 - Sistemin yükler altında taşıyıcı özelliği bozulmamalı
 - Boyutlandırma ekonomik olmalı
 - Estetik veya ergonomiklik kavramı değerlendirilmeli
 - Emniyetli şekilde boyutlandırılmalı

6.1. Mukavemet Kavramı

- Makina elemanları üzerinde çok çeşitli hasar türleri görülebilir.
- Makina elemanları bilimi, makina elemanının kullanım süresi boyunca maruz kalacağı etkileri tahmin etmek ve tasarım aşamasında bu yöntemleri göz önüne almak üzere geliştirilmiştir.
- Yapılacak tahminler tasarımcının deneyimlerine bağlı olarak ne derece doğru olursa yapılan makina elemanı o derece sağlam ve ekonomik olarak elde edilir.
- Mukavemet; mühendislik malzemelerinin çeşitli yüklere dayanması için gerekli hesap esaslarını inceler.

6.1. Mukavemet Kavramı

- Mukavemet, bir cisim üzerine uygulanan yükleri ve bu yüklerin cisim içindeki etkileri arasındaki ilişkileri, cisimlerin (malzemenin) kesitlerinde meydana gelen iç kuvvetlerin elastik cisimlerin kesitlerinde nasıl dağıldıklarını, birim kesit alanına düşen kuvveti, yani gerilmeyi, elastik cisimlerin kuvvetler etkisi altında nasıl ve ne kadar şekil değiştirdiklerini (deformasyonlarını = uzama, kısalma, sehim, eğilme, burulma, burkulma) miktarını araştırır.
- Mukavemet hesabının amacı, bir elemanda dış kuvvetlerin oluşturduğu zorlanmaları hesaplayarak bunu elemanın mukavemet değeri ile karşılaştırmak veya elemanın boyutlarını belirlemektir.

6.1. Mukavemet Kavramı

- Elemanın boyutlarının hesaplanmasında üç ana koşul göz önünde tutulmalıdır;
- ✓ **Dayanım koşulu:** Makina elemanının boyutları o şekilde tayin edilmelidir ki, eleman kendisine tesir eden dış kuvvetlere dayanabilsin. Bu koşul, elemanın boyutlarının fazla olmasına sebep olur.
- ✓ **Ekonomiklik koşulu:** Elemanın ucuza mal edilmesidir. Bu şartta elemanın daha küçük boyutlu olmasıyla daha az malzeme kullanılır.
- ✓ **Estetiklik koşulu:** Bu koşul, elemanın hoş görünümlü olması ve beğeni kazanmasını sağlamaktır.

6.1. Mukavemet Kavramı

- Mühendis, birbirine zıt bu ölçütleri optimize edecek en uygun çözümü arar.
- Katı cisimler, malzeme özelliklerine bağlı olarak, dış yüklerin etkisi ile az veya çok şekillerini değiştirirler.
- Şekil değiştirmelerin tamamen ihmal edilebileceği pek çok problem vardır.
- Bu nedenle ideal bir cisim olan rijit cisim tanımlanır:
- Rijit cisim, dış yüklerin etkisi ile herhangi iki noktası arasındaki uzaklığı değişmeyen cisimdir. Bu ideal cismi konu alan mekaniğe rijit cisimler mekaniği adı verilir.

6.1. Mukavemet Kavramı

- Mühendis, tasarlayacağı her çeşit yapı elemanını boyutlandırırken, gözönüne alacağı en önemli noktalardan biri de, bunların dış etkenlere dayanmasını sağlamaktır.
- Cisimlerin mukavemeti adı verilen bu bilim dalı bununla ilgili esas ve metotları hazırlar.
- Boyutlandırma, daima birbirine zıt olan, emniyet ve ekonomiklik şartları optimize edilir.
- Yapı, hiçbir zaman etkiyen dış kuvvetlere tam dayanacak sınır değerde boyutlandırılmaz, bunların geçici de olsa, muhtemel artışlarını ve yapının emniyeti ile ilgili diğer faktörleri de hesaba katmak gerekir.

6.1. Mukavemet Kavramı

- Emniyet isteği, boyutların arttırılmasını, diğer bir deyimle yapının ağır ve rijit olmasını gerektirir.
- Boyutlandırma, daima birbirine zıt olan, emniyet ve ekonomiklik şartları optimize edilir.
- Ekonomiklik koşulu ise, gereksiz malzeme ve işçilik sarfından kaçınarak, yapı elemanlarına yeter boyut vermeyi öngörür.
- Bu iki esas koşul yanında, yapıya uygun form vermek de hiçbir zaman ihmal edilmemelidir.
- Eser doğru olduğu kadar güzel de olmalıdır; estetiklik şartı da gerçekleştirilmelidir.

6.1. Mukavemet Kavramı

- **Hooke Yasası:** “Kuvvet ne kadarsa uzama o kadardır”. Böyle cisimlere Hooke yasasına uyan cisimler denir.
- Şekil değiştirme kanunu lineer olan cisimlere kısaca **Hooke Cismi** adı verilir.
- **Normal Kuvvet:** Bir çubuk yalnızca eksenî doğrultusundaki dış kuvvetlerin yani çekme ya da basınç kuvvetlerinin etkisindeyse kesitlerde meydana gelen iç kuvvete **Normal Kuvvet**, probleme de **normal kuvvet hali** denir.

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

F = Normal kuvvet , A = Alan, σ = Normal gerilme

6.1. Mukavemet Kavramı

- **Kesme Kuvveti:** Bir cismi kesmeye zorlayan kuvvettir.
- Oluşan gerilmeye kesme veya kayma gerilmesi denir.

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

➤ Malzemeler en genel olarak iki farklı grupta toplanabilir:

1. Sünek malzeme: Bunlara yükün belirli bir sınırında malzemede çok büyük şekil değiştirmeler meydana gelir. Buna akma denir.

2. Gevrek malzeme: Bu tip malzemede akma olmaz. Belirli bir σ gerilmesinde malzeme birdenbire kırılır.

6.2. Emniyet Gerilmesi

- Boyutlandırmada, kullanılan malzemenin emniyet gerilmesi/güvenlik katsayısı önemli bir parametredir.
- Bir konstrüksiyonda gerilmelerin σ_m sınır gerilmesine kadar çıkması istenmez.
- Bu nedenle σ_m sınır gerilmesi, emniyet katsayısı denilen, birden büyük bir S katsayısına bölünür. Böylece elde edilen gerilmeye emniyet gerilmesi denir.
- Yapıların tasarım ve analizinde karşılaşılan çevresel etkiler, kullanım yükleri, malzeme özellikleri gibi çeşitli belirsizliklere karşı uygun bir güvenlik katsayısı seçilmesi önemlidir.

6.2. Emniyet Gerilmesi

- Yapının imalatında ve kullanımı sırasında oluşacak gerilmeler kesin olarak bilinmediğinden güvenlik katsayısına bazen cehalet katsayısı adı verilir.
- Bazı durumlarda malzeme, üzerindeki yük sabit olduğu halde şekil değiştirmeye devam eder.
- Zamanla oluşan bu şekil değişimine sünme adı verilir.
- Diğer taraftan şekil değiştirmenin sabit olduğu hallerde gerilmedeki azalmaya ise gevşeme denir.
- Genel olarak elemana etki eden gerilme, elemanın yapıldığı malzemenin dayanımından küçük ise eleman bu gerilmeyi taşır denilebilir.

6.2. Emniyet Gerilmesi

- Emniyet katsayısı (EK veya S), yapı elemanına uygulanacak yükün, o elemanın taşıyabileceği en büyük yükü aşmamasını garanti eder.

$$EK = \frac{\text{En büyük gerilme } (\sigma_m, \sigma_{AK} \text{ veya } Re)}{\text{Kullanım gerilmesi } (\sigma_{em})} > 1$$

$$\sigma_{em} \leq \frac{Re}{EK} = \frac{\sigma_{AK}}{S}$$

- Emniyet katsayısı, kendisini belirleyen yük ve malzeme özellikleri ile ilgili bilgilerin kesinlik durumuna ve hasar durumunda ortaya çıkacak olan can ve ekonomik kayba göre tasarımcının tecrübesine bağlı olarak belirlenir.

6.2. Emniyet Gerilmesi

- Malzeme özellikleri ve yükleme durumu çok iyi biliniyorsa ve hasar durumunda ortaya çıkacak ekonomik kayıplar ihmal edilebilir durum ise $EK = 1,25$ gibi düşük değerlerde alınabilir.
- En kötü durumunda emniyet katsayısı 3 - 4 arasında olabilir.
- Burkulma gibi durumlarda yük ile gerilme orantılı olmaz.
- Bu durumda emniyet katsayısının uygulaması daha detaylı analizler gerektirir.
- Odun gibi, heterojen malzemelerde emniyet katsayısı büyüktür.

6.2. Emniyet Gerilmesi

Malzemelerin yeteri kadar emniyetli bölgede çalıştırılmalarının nedenleri;

- ✓ Dış kuvvetler çoğu zaman tam olarak belli değildir.
- ✓ Taşıyıcı elemanın her yerinde aynı özellik bulunmayabilir.
- ✓ İç kuvvetlerin hesabında yapılan kabullerden dolayı sonuçlar kesin değildir.
- ✓ Üretim aşamasında bir takım hatalar ortaya çıkabilir.
- ✓ Zamanla elemanın kesitinde zayıflama olabilir.
- ✓ Makina elemanlar uzun zaman çalışması neticesinde yorulmakta, dolayısıyla sınır gerilmelerinde değişiklik olmaktadır.

6.3. Boyutlandırma Problemleri

- Pratikte 3 tip boyutlandırma problemi vardır.

Problem 1: Kesit Tayini

- Malzemeye etkiyen F kuvveti bellidir; malzemenin ne olacağına karar verilmiştir.
- Dolayısıyla σ_m de bilinmektedir.
- Çubuğun kesitinin ne olacağı aranmaktadır.

$$A \geq \frac{F}{\sigma_{em}}$$

6.3. Boyutlandırma Problemleri

Problem 2: Gerilme kontrolü

- Malzemeye etkiyen F kuvveti ve A kesiti her yerde bellidir; kullanılan malzeme de bilinmektedir, dolayısıyla σ_m de bilinmektedir.
- Çubukta meydana gelen gerilmenin (σ), emniyet gerilmesinin (σ_{em}) altında olup olmadığının kontrolü istenmektedir.

$$\sigma \leq \sigma_{em}$$

6.3. Boyutlandırma Problemleri

Problem 3: Dış yükün hesabı

- Malzemeye etki eden F kuvveti ve σ gerilme değeri bilinmektedir.
- Malzemenin ne kadar yük taşıyacağı aranmaktadır.
- Normal kuvvet diyagramı bilinmeyen yük cinsinden çizilir.
- Gerilmenin en fazla olduğu yerdeki değer, σ_{em} ile karşılaştırılarak taşınacak yüke geçilir.

$$F = \sigma_{em} A$$

6.4. Mukavemet Hesaplarında Tasarım Aşamaları

- Tasarımın ana amacı, yapı elemanlarının verilen yükleri göçmeksizin taşıyabileceği ve kendisinden beklenen işlevleri yerine getirebileceği uygun malzeme, eleman, şekil ve boyutlarının belirlenmesidir.
- Bu aslında bir optimizasyon problemidir.
- Yukarıda sözü edilen amaçlara ulaşmadaki etkinlik kullanılan malzeme ve yapım maliyetinin minimum yapılmasıyla başarılır.

6.4. Mukavemet Hesaplarında Tasarım Aşamaları

- Yük etkisindeki bir elemanın tasarımında aşağıdaki hususlar gözönüne alınmalıdır:
 - 1) Elemanın kendisinden beklenen işlevleri hangi durumlarda kaybedeceği belirlenmelidir. Bunun için, elemana etki eden dış zorlanmaların (kuvvet, moment) bulunması, bunların cinsinin (çekme, basma, makaslama, eğilme, burulma), büyüklüğünün, doğrultusunun ve değişiminin (statik, dinamik, darbe) belirlenmesi gerekir.
 - 2) Elemanda meydana gelen gerilmelerin dış kuvvete, elemanın geometrik şekline ve boyutlarına bağlı olarak hesabı. Çok eksenli gerilme halinde, bulunan gerilme değerleri yardımı ile eşdeğer gerilmenin belirlenmesi.

6.4. Mukavemet Hesaplarında Tasarım Aşamaları

- 3) Söz konusu işletme koşullarına göre eleman için, malzemenin mekanik değerlerinden emniyet gerilmesinin ve muhtemel bir tehlikeye karşı emniyet katsayısının ya da oluşabilecek en büyük gerilme değerinin belirlenmesi
 - 4) Elemanda meydana gelen en büyük gerilme veya eşdeğer gerilme ile emniyet gerilmesinin karşılaştırılması (Eşdeğer gerilme emniyet gerilmesinden küçük olmalıdır) ve güvenlik katsayısının belirlenmesi.
- Pek çok etkinin dikkate alınması söz konusu olduğunda, çoğunlukla bir deneme-yanılma işlemiyle tasarım sonuçlandırılır.

6.5. Mukavemet Hesapları

Çekme Gerilmesi

- Bir elemana aynı eksen doğrultusunda ve ters yönde kuvvet etkimesinde elemanın kritik kesitinde meydana gelen normal gerilmedir.

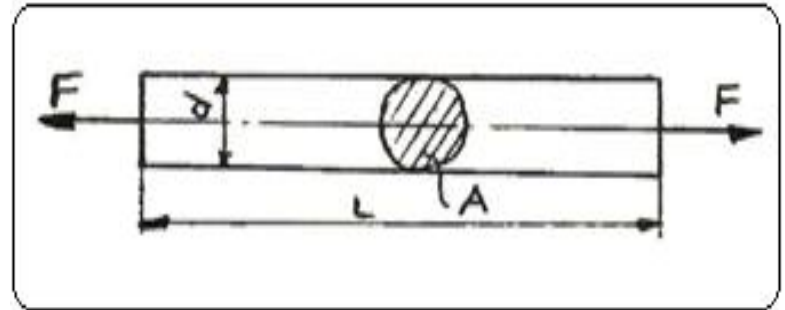
$$\sigma_{\zeta} = \frac{F_{\zeta}}{A} \leq \sigma_{\zeta,em}$$

$$\sigma_{\zeta,em} = \frac{\sigma_{AK}}{S}$$

Daire kesiti: $A = \pi d^2 / 4$

Kare kesiti: $A = a^2$

Dikdörtgen kesiti: $A = a b$



6.5. Mukavemet Hesapları

Çekmeye zorlanan bir elemanın uzama miktarı:

$$\Delta L = \frac{F_{\zeta} L}{A E} = \frac{\sigma_{\zeta} L}{E}$$

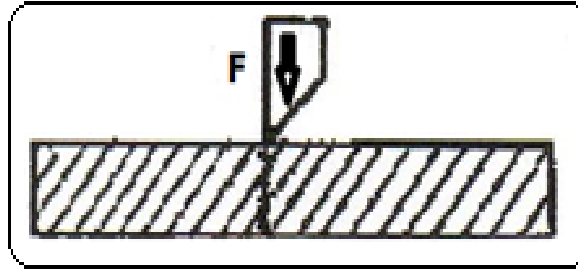
- Asılı haldeki bir elemana F kuvveti etki ederse, çekme gerilmesi:

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

6.5. Mukavemet Hesapları

Kesme (Makaslama) Gerilmesi

$$\tau_k = \frac{F_k}{A} \leq \tau_{k,em}$$



Basma Gerilmesi

- Bir elemana aynı eksen doğrultusunda ve aynı yönde kuvvet etkimesinde elemanın kritik kesitinde meydana gelen normal gerilmedir.

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A} \leq \sigma_{b,em}$$

6.5. Mukavemet Hesapları

Eğilme Gerilmesi

- İki ucu serbest mesnetli veya bir ucu ankastre kirişler bir kuvvete maruz kaldığında eğilme momenti etkisi altında eğilme gerilmesine maruz kalmaktadır.

$$\sigma_{e,em} \geq \frac{Me}{We}$$

Eğilme momenti:

$$Me = \frac{F_k L}{4}$$

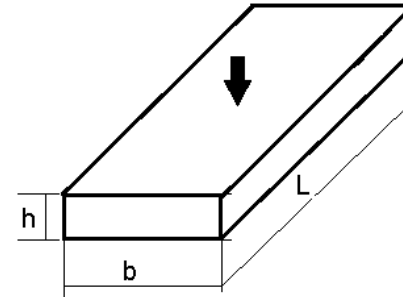
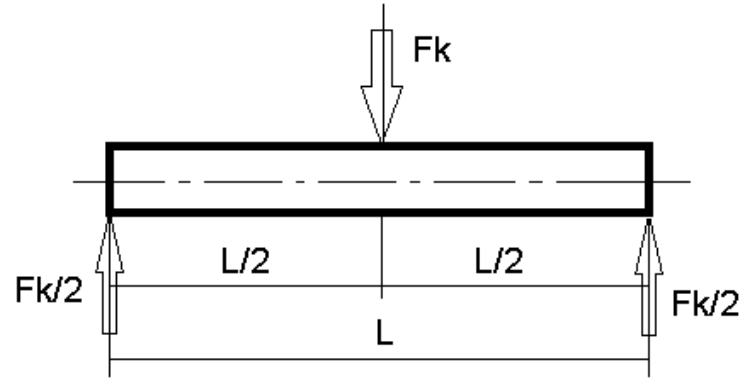
Eğilme mukavemet momenti;

Daire için:

$$We = \frac{\pi d^3}{32}$$

Dikdörtgen için:

$$We = \frac{bh^2}{6}$$



6.5. Mukavemet Hesapları

Elemanda meydana gelen sehım/çökme; $s = \frac{F l^3}{48 E I}$

Açısal şekil değiştirme; $\alpha = \frac{F l^2}{16 E I}$

- Ankastre kiriř řeklinde bir yapıda ise;
- Eęilmeyle birlikte oluşan gerilme değeri;

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} = \frac{F l}{W_e} \leq \sigma_{e,em}$$

Yapıda meydana gelen sehım veya çökme; $s = \frac{F l^3}{3 E I}$

Açısal şekil değiştirme; $\alpha = \frac{F l^2}{2 E I}$

6.5. Mukavemet Hesapları

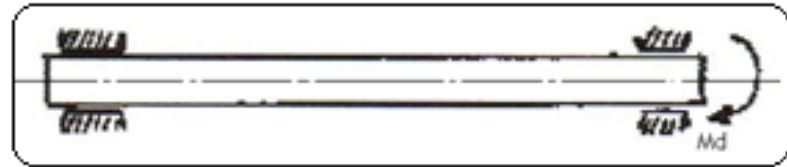
Burulma Gerilmesi

- Dönen eleman, dönme eksenini boyunca döndürme momenti etkisinde burulmaya maruz kalarak kayma gerilmesi ile yüklenmektedir.

$$\tau_b = \frac{M_d}{W_d} \leq \tau_{b,em}$$

$$M_d[Nm] = 7023 \frac{N[PS]}{n[d / dk]}$$

N: güç, n: devir sayısı.



Burulmaya zorlanan mil

6.5. Mukavemet Hesapları

- Burulmada mukavemet momenti;

Daire için:
$$Wd = \frac{\pi d^3}{16}$$

İçi boş daire için:
$$Wd = \frac{\pi d_2^3 [1 - (d_1 / d_2)^4]}{16}$$

Halka için:
$$Wd = 2\pi R_0^2 t \quad R_0 = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

6.5. Mukavemet Hesapları

Eşdeğer Gerilme (Eğilme + Burulma)

- Bunun için farklı teoriler olmakla birlikte burada en yalın hali verilecektir.

Daire için:
$$\sigma_{e,em} \geq \frac{M_f}{\frac{\pi d^3}{32}}$$

Dikdörtgen için:
$$\sigma_{e,em} \geq \frac{M_f}{\frac{bh^2}{6}}$$

Eşdeğer mukavemet momenti:
$$M_f = \sqrt{M_e^2 + M_d^2}$$

5H-09.03.2020

Bu konunun sonu...

**Konu ile ilgili sorularınız haftaya
ilk derste tartışılır.**



