



2019-2020 GÜZ DÖNEMİ MUKAVEMET I DERSİ NOTLARI

Dersin Amacı:

Bu dersin ana amacı, Makina Mühendisliği öğrencilerine verilen bir mekanik problemi basit ve mantıksal olarak analiz etme ve mekaniğin temel prensiplerini kullanarak çözebilme becerisi kazandırmaktır. Makine mühendisliği öğrencilerinin daha sonraki dönemlerde alacakları Mukavemet II, Makine Elemanları I ve II, Bitirme Projesi dersleri için temel bilgileri edinmelerini sağlamaktır. Bu amaçla; cisimlerin yükler altındaki davranışları (şekil değiştirmeler, Gerilmeler, stabilite analizi vs), elemanter boyutlandırma hesapları için gerekli mukavemet hesapları ile ilgili temel kavramları vermek ve bunların mühendislik problemlerinin çözümünde kullanabilmelerini sağlamaktır.

Ders Kitabı:

F.P. Beer and E.R. Johnston, Mechanics of Materials, Mc-Graw Hill Comp., England.

Yardımcı Ders Kitapları:

R.C. Hibbeler, Mechanics of Materials, Prentice-Hall Inc., USA.
E.P. Popov, Engineering Mechanics of Solids, Prentice-Hall Inc., USA.
Onur Sayman, Mukavemet I, DEÜ. Müh. Fak.
M. H. Omurtag, Mukavemet Cilt:I-II, Birsen Yayınevi.
M. Bakioğlu, Cisimlerin Mukavemeti, Beta Yayınları

Ders İçeriği:

1. Tanımlar, temel kavramlar, mukavemet ilkeleri
2. Kesit tesirleri, dış yükler ve iç kuvvetler, denge denklemleri
3. Kesit tesirleri hesaplama yöntemleri, seçilmiş kesit tesirleri problemleri
4. Gerilme analizi, iç kuvvet ve gerilme, tek eksenli gerilme hali
5. İki ve üç eksenli gerilme durumları, Mohr dairesi, gerilme problemleri
6. Şekil değiştirme analizi, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi, genel şekil değiştirme hali
7. Düzlemsel şekil değişimi, üç eksenli şekil değiştirme
8. Hook bağıntıları (Bünye denklemleri), sıcaklık ve ısıl şekil değişimi
9. Şekil değiştirme problemleri,
10. Ara Sınav
11. Normal kuvvet/Normal gerilme hali, eksenel normal kuvvet etkisi
12. Ağırlık etkisi, ince cidarlı basınçlı kaplar, normal kuvvet problemleri
13. Kesme Kuvveti ve kayma gerilmesi durumu
14. Kesme/kayma kuvveti ve gerilmesi problemleri

Not Sistemi:

2 Ara Sınav (% 30+30)
1 Final Sınavı (% 40)

Öğretim Üyesi: Dr. Kürşat GÜLTEKİN

Ofis: 311

Telefon: 03623121919-1342

E-mail: kursat.gultekin@omu.edu.tr

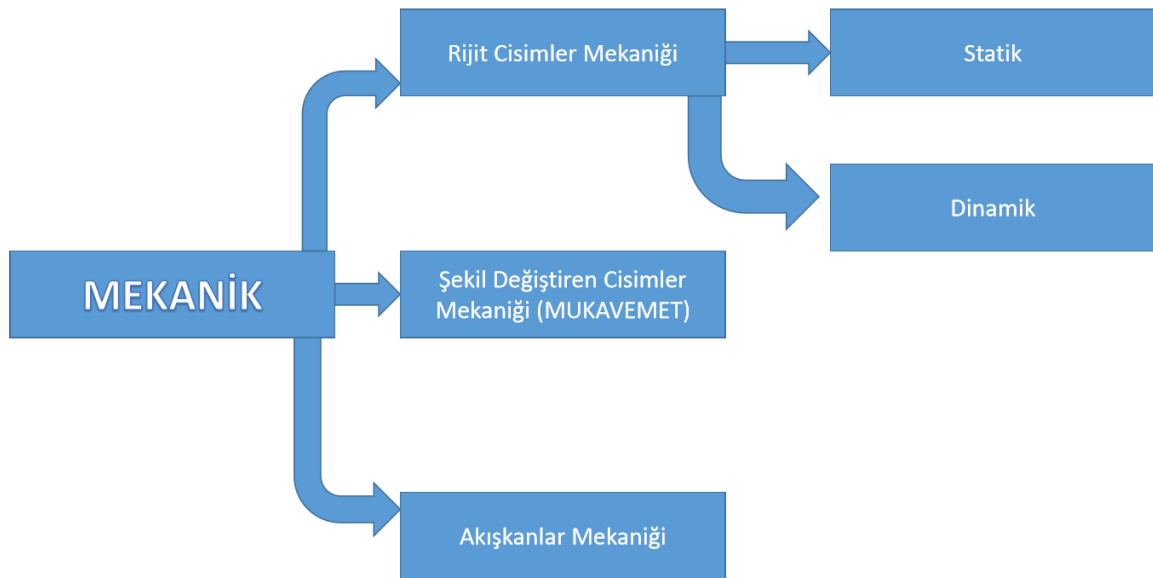
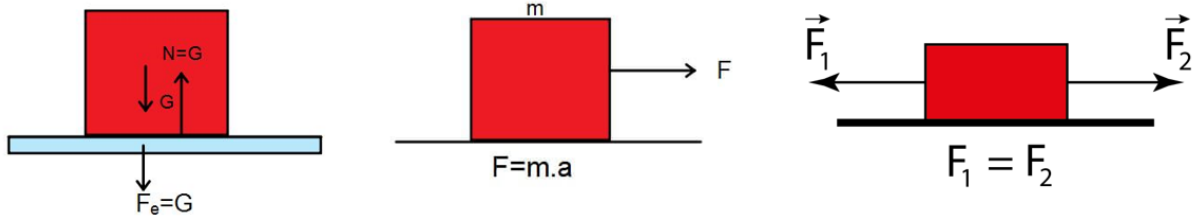


Newton Yasaları

1.Yasa: Bir cismin üzerine dengelenmemiş bir dış kuvvet etkiledikçe cisim hareket durumunu korur. Yani eğer duruyorsa durmaya devam eder, sabit hızla hareket ediyorsa sabit hızlı hareketini korur.

2.Yasa: Bir cisim üzerindeki net kuvvet, cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir. $F = m \cdot a$

3.Yasa: Bir cisme, bir kuvvet etkiyorsa cisimden kuvvete doğru eşit büyüklükte ve zıt yönde bir tepki oluşur. (Etki-tepki prensibi)



• **Statik** dersinde genel amacımız, dış yüklerin etkisinde olup durağan haldeki (dengedeki) katı cisim veya sistemlerde, tüm dış kuvvetlerin ve bağlantı noktalarındaki tepki kuvvetlerinin hesaplanarak belirlenmesi idi.

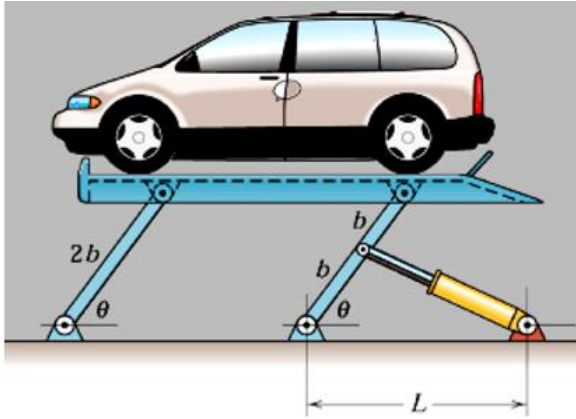
• **Mukavemet** dersinde ise, temel amaçlarımız, bu kuvvetleri sistemin taşıyıp taşıyamayacağını kontrol etmek veya bu kuvvetleri taşıyabilmesi için sistemi oluşturan parçaların boyutlandırılmasını yapmak; veya bu kuvvetleri sistemin taşıyabilmesi için malzeme seçimi yapmaktır.





Mukavemet; dış yüklerin etkisine maruz, genelde statik (durağan) halde olan, şekil değiştirebilen katı cisimlerin ve sistemlerin davranışlarını inceler. Dış yükler statikteki denklemlerden hesaplandıktan sonra, bu dış yüklerle sistemin dayanıp dayanamayacağını veya dayanması için boyutlarının veya malzemesinin ne olması gerektiği sorularına cevap aranır. Mühendislik açısından bu çok önemli sorulara cevabı ise mukavemet verir.

Makine mühendisi optimum çözüme ulaşması için; ekonomik, güvenli ve işlevini yerine getiren bir sistem tasarlarken; tasarım aşamasında **sistemi boyutlandırması** gerekir.



Mukavemette temel amaç, cisimlerin yük taşıma kapasitelerinin dayanım, rijitlik ve stabilite bakımlarından araştırılmasıdır. Sözü edilen kavramlarla bir cismin sırasıyla sürekli şekil değiştirme veya kırılmaya karşı direnci, şekil değiştirme direnci ve cismin denge konumunun kararlılığı kastedilmektedir. Gerçek yapılardaki karmaşık gerilme durumunu deneysel olarak tespit edilen aksenal gerilmeye bağlayan kırılma teorilerinin vereceği gerilme düzeyi, dayanım için bir ölçü olarak kullanılır.

Mukavemetin başlıca uğraşı alanları şöyle özetlenebilir:

- 1- Yük etkisindeki cisimlerde gerilme ve şekil değiştirme durumunun araştırılması
- 2- Makine elemanlarının hasar görmeden, kendisinden beklenen işlevi kaybetmeden taşıyabileceği en büyük yükün hesap
- 3- Belirli şartlar altında tanımlanmış yüklerle karşı en etkin şekilde dayanabilecek malzemenin seçimi ve eleman şeklinin belirlenmesi –boyutlandırma



Bu hamağı tasarlarken nasıl bir yol izlemeliyiz?



Çeşitli yükler altında, çeşitli taşıyıcı sistemlerin şekil değiştirmelerinin hesabı cisimlerin mukavemet dalı ile ilgilidir. Mukavemet her çeşit makine ve/veya yapı elemanlarının etkiyen kuvvetler veya dış zorlamalar altında dayanıklılık, rijitlik ve burkulmaya göre hesaplanması ve boyutlandırılması ile ilgili temel bir mühendislik bilimidir. Daha açıkça *şekil değiştiren cisimler mekaniği mukavemet* olarak tanımlanır. Bu şekil değiştirmeler; **çekme, basma, eğilme ve döndürme** kuvvetleri etkisinde oluşur.

Dayanıklılık: Elemanların aşırı derecede şekil değiştirmeden ve kırılmadan gerekli yükleri taşıma kabiliyeti olarak tanımlanabilir.

Rijitlik: Yapıya etkiyen yüklerden yapı elemanlarının aşırı deformasyona uğraması/maruz kalmaması kabiliyetidir.

Burkulma: Elemanların (kolonların) basınç yükleri altında başlangıç dengelerini koruma kabiliyetidir.

Mukavemetin;

*Fonksiyonel (işlevsel) olma;

*Güvenlik/emniyet

*Ekonomik

*Fonksiyonu gereği çevreyle barışık ve uyumlu olması gibi koşulları değerlendirmesi zorunludur.

Mukavemetin temel amacı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Rijit olmayan cisme uygulanan kuvvet sonucu oluşan şekil değişimi-kuvvet ilişkisini incelemek.
- Rijit olmayan cisme uygulanan kuvvet ile cisimde oluşan gerilme arasındaki bağıntıları araştırmak,
- Değişik yükleme koşulları altında cisimde oluşan gerilme şekil değiştirme ilişkisini incelemek.
- Kuvvet altında bulunan elemanın belirtilen gerilme ve şekil değişimi içinde kalması koşulları ile verilen bir kuvveti emniyetli taşıyabilmesi için elemanın sahip olması gereken boyutlarının bulunması.

Temel Kabuller:

Mukavemet hesaplarında cisim olarak mühendislikte kullanılan malzeme dikkate alınır. Mukavemet bilimi daha çok *homojen* ve *izotrop* cisimleri inceler.

Homojen cisim: Mekanik ve fiziksel özellikleri her noktasında aynı olan, hacmi içindeki bütün noktalarında aynı yoğunluğa ve elastik özelliklere sahip cisim.

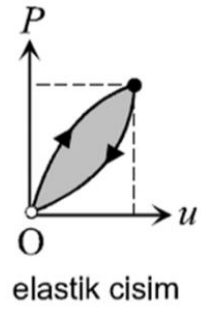
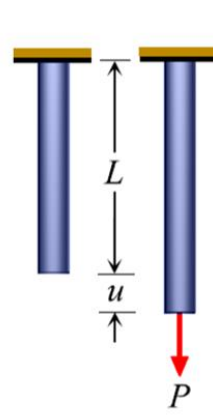
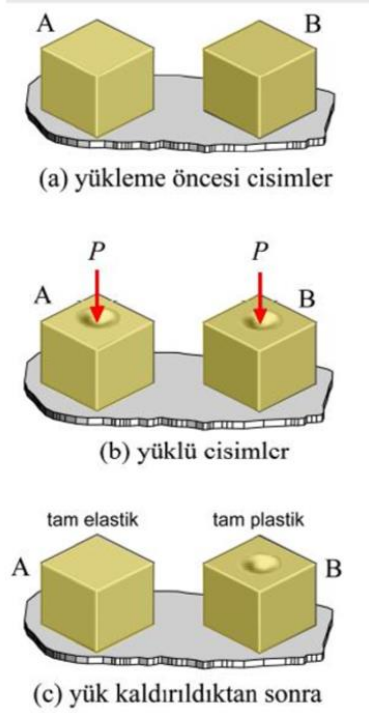
İzotrop cisim: Bütün doğrultularda mekanik ve fiziksel özellikleri aynı olan cisim

Tam elastik cisim: Uygulanan yük kaldırıldıktan sonra hemen veya tamamen ilk şekle dönen cisim

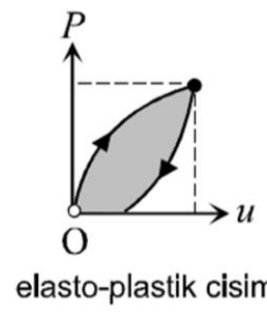
Tam plastik cisim: Yük kaldırıldıktan sonra uzamanın/şekil değiştirmenin geri dönmediği, kalıcı şekil değişiminin olduğu cisim.

Elastoplastik cisim: Uygulanan yük kaldırıldıktan sonra şekil değiştirmelerin bir kısmının kaldığı cisim. Geri dönen kısma şekil değiştirmenin elastik kısmı, kalıcı kısma ise şekil değiştirmenin plastik kısmı veya kısaca plastik şekil değiştirme denir.

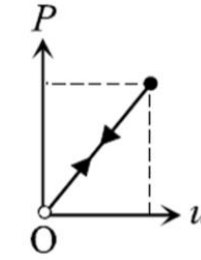
Hooke cismi: Cisim yükleme veya boşaltma sırasında aynı davranışı göstermesi halidir. Tam elastik, liner elastik cisim kuvvet-şekil değiştirme eğrisi lineer olup orantı sınırı içinde davranır.



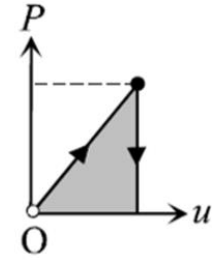
elastik cisim



elasto-plastik cisim



tam elastik cisim



tam plastik cisim

Herhangi bir yüklemeye; yük kalktıktan sonra şekil değiştirmenin bir kısmı zaman içinde geri gelebilir. Bu olaya **elastik gecikme** denir.

Zamana bağlı şekil değiştirmede şekil değiştirme hızı gerilmenin fonksiyonu ise böyle cisimler viskos cisim olarak adlandırılır. Bağını doğrusal ise böyle cisimler doğrusal **viskos cisim**, aksi halde **doğrusal olmayan viskos** cisim olarak adlandırılır. Bir cismin viskos özelliğinin yanında elastik özelliği de mevcut ise böyle cisimlere **viskoelastik** cisim adı verilir.

Elastik davranış zamandan zamandan bağımsız, viskoz davranış zamana bağımlıdır.



Cismin Mukavemetini Kaybetmesi:

Bir cisim mukavemetini yalnızca kırılma ile kaybetmez. Fazla sehim yapmış kiriş, aşınmış mil, bel vermiş bir kolon, paslanmış bir eleman mühendislik bakımından artık mukavemetini kaybetmiş kabul edilir.

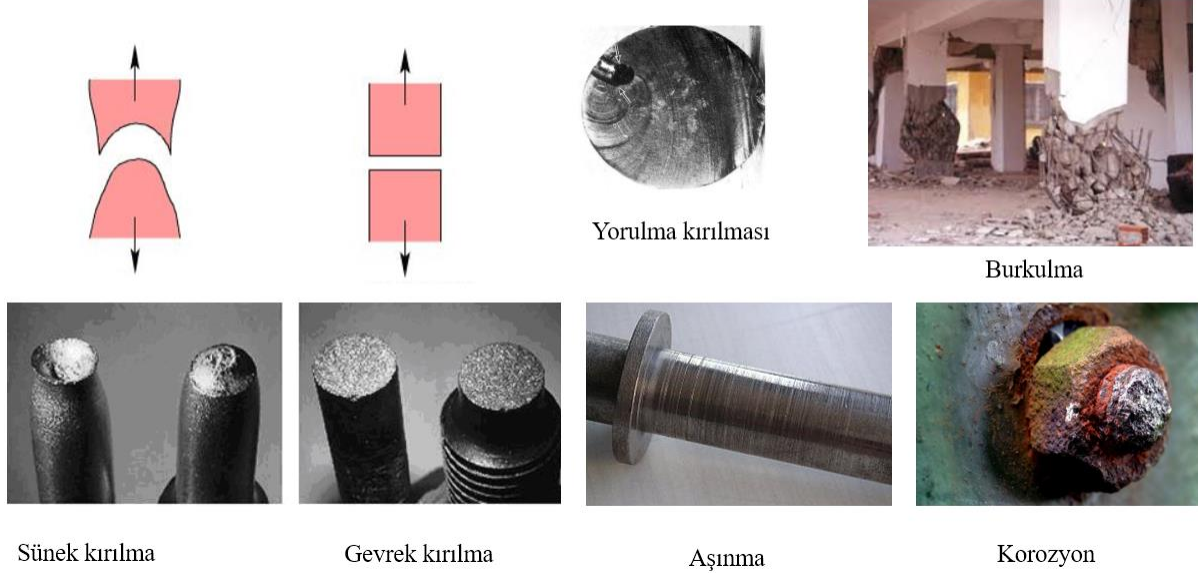
Mukavemeti kaybetme şekilleri:

Kırılma: Cisim üzerinde yeni yüzeyler oluşarak cismin iki ve ya daha fazla parçaya ayrılmasıdır. Kırılma basit olarak ikiye ayrılır.

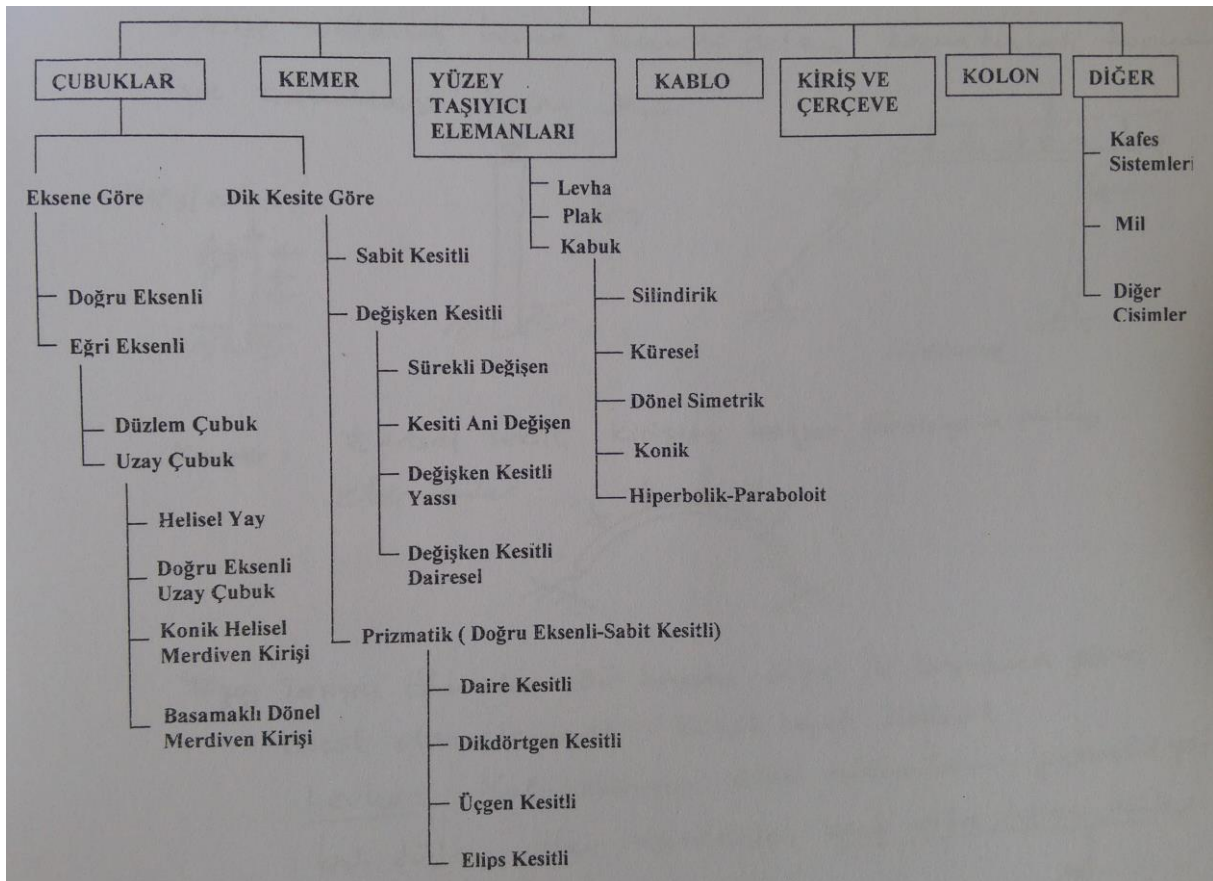


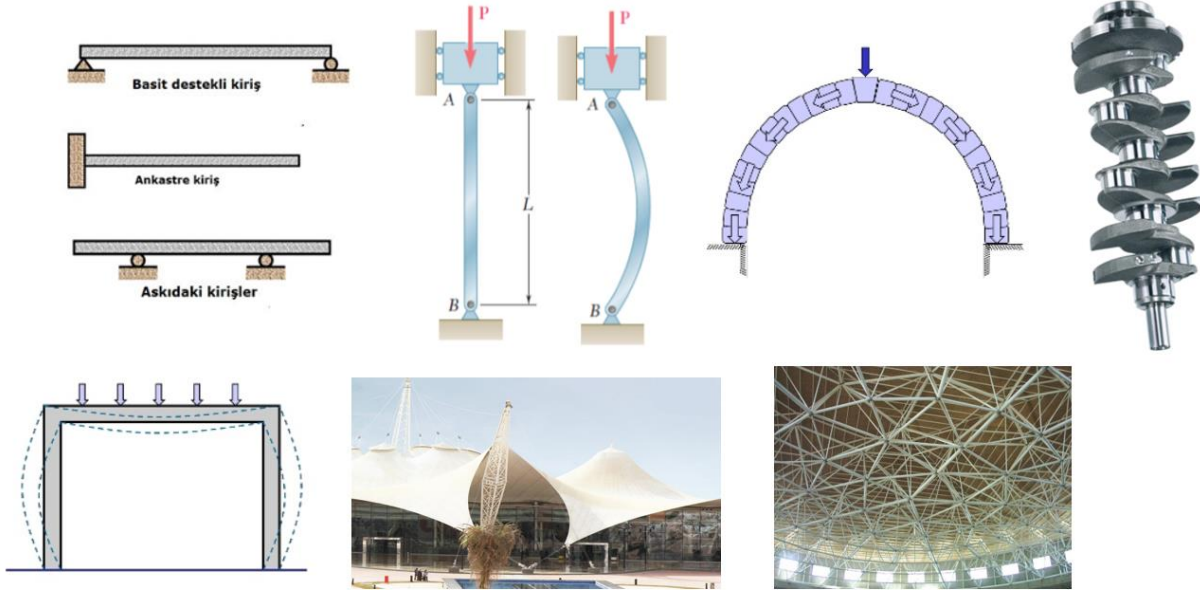
Ayrılma kırılması (cohesive fracture): Cismi oluşturan moleküller arasında bağların, cismin kristal düzlemlerine dik olarak etkiyen gerilmeler sonucunda kopması.

Kayma kırılması (shear fracture): Cismin kristal yapısındaki bazı düzlemlerin birbiri üzerinden kaymasından meydana gelir. Bu kırılmada cisim kırılmadan önce plastik şekil değişimleri yapar.



Mukavemette karşılaşılan cisimler, yapı ve makine elemanları geometrik yapılarına göre şekil değiştiren cisimler veya taşıyıcı sistemler olarak sınıflandırılabilir.





Cisme etkiyen bütün kuvvetlerle mesnetlerde oluşan reaksiyonlar **dış kuvvetler** olarak düşünülür. Bu kuvvetleri yüzey ve cisim kuvvetleri olarak sınıflandırmak mümkündür. Tekil tipteki yüzey kuvveti sonlu bir alana yada tek bir noktaya etkirken cisim kuvvetleri, çekim kuvveti veya manyetik kuvvetler gibi cismin her bir hacim elemanına etkide bulunur. Dünyanın cisimlere uyguladığı çekim kuvvetine ağırlık adını veriyoruz.

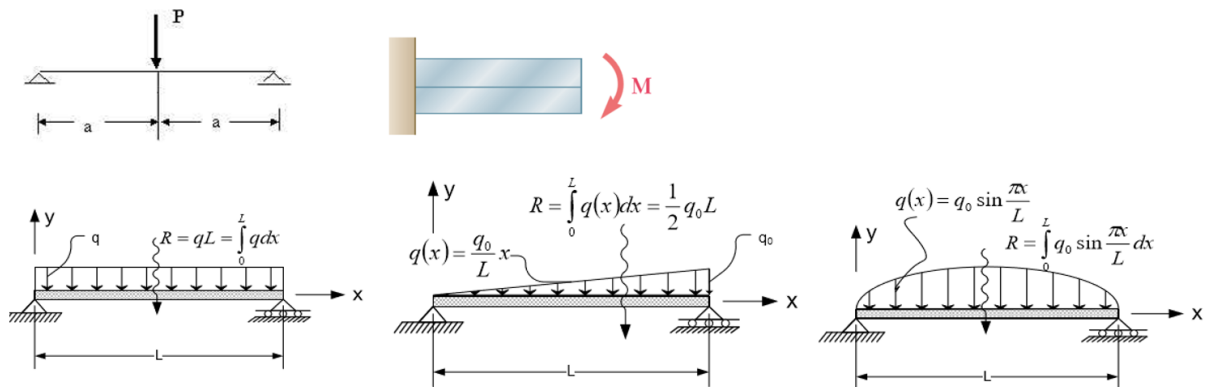
İç kuvvetler ise cismin bünyesini oluşturan malzeme parçaları arasındaki etkileşim kuvvetleri olarak algılanır. Cisme etkiyen yükler tekil veya yayılı kuvvetlerle kuvvet çiftleri olabilir. Eğer kuvvetin etkilediği alan elemanın boyutları ile kıyaslandığında küçük kalıyorsa kuvveti tekil kuvvet olarak kabul etmek mümkündür. Cisme yavaşça etki eden durağan yüklere **statik yükler**, aniden etkiyen yüklere de **darbe** yada **çarpma** yükleri denir. Yükün cisme binlerce defa etki edip kaldırılması ise **tekrarlı yükleme** olarak isimlendirilir. *Aksi belirtilmedikçe cismin ağırlığı ihmal edilip, yüklemenin statik olduğu kabul edilecektir.* SI birim sisteminde kuvvet birimi newton (N) olarak kullanılır.

Yüklerin Sınıflandırılması :

- 1) Şiddeti zamanla değişen yükler (Dinamik yükler)
- 2) Şiddeti zamanla değişmeyen yükler (Statik yükler)

Etkime Biçimine Göre Yüklerin Sınıflandırılması:

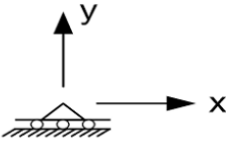
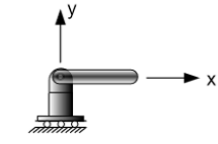
- 1) Tekil yük
- 2) Yayılı yük
 - a) Eğri boyunca yayılı yük
 - b) Alana Yayılı yükler
 - c) Hacme yayılı yükler





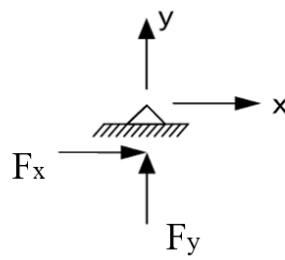
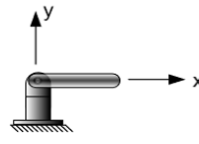
Mesnet Türleri:

A) Hareketli Mafsal



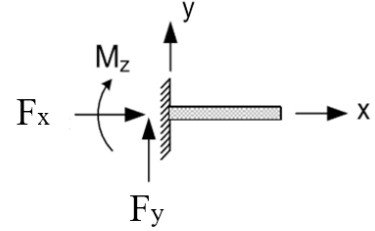
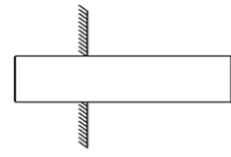
$$F_x=0$$
$$M_z=0$$

B) Sabit Mafsal

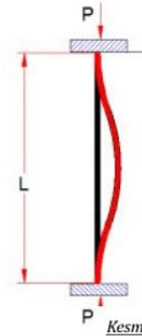
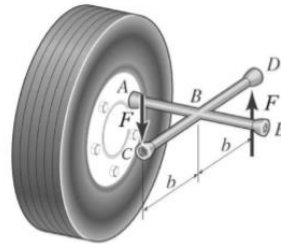
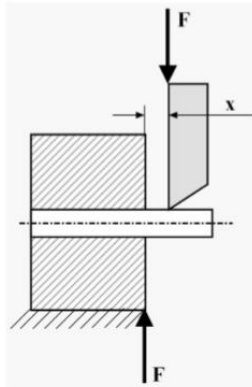
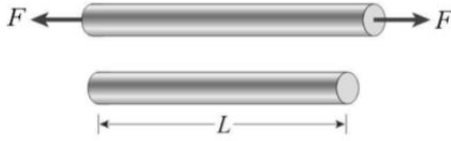


$$M_z=0$$

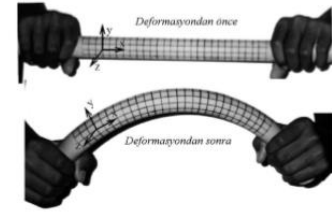
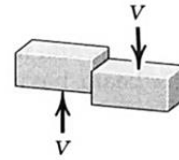
C) Ankastre Mesnet



Temel Yükleme ve Zorlanma Şekilleri



Kesme Kuvveti (Shear Force)



Eğilme Momenti (Bending Moment)



Burulma Momenti (Torsion)



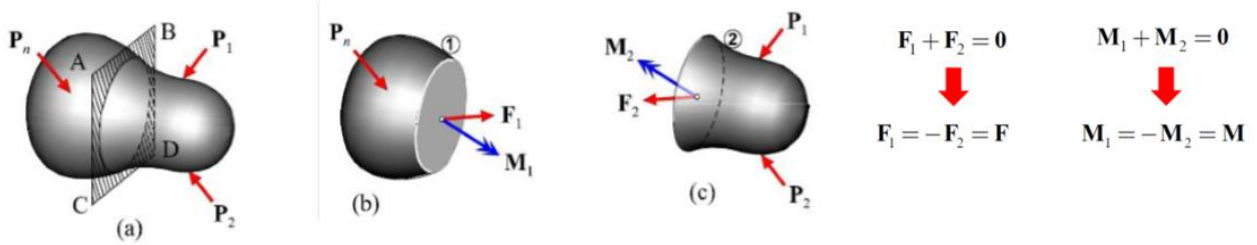
MUKAVEMET İLKELERİ

Mukavemet problemlerinin çözümünde çeşitli prensipler/ilkeler veya kabuller uygulanır.

a) Rijitleştirme / Katılaştırma / Dondurma İlkesi: Kuvvet altındaki tüm elemanlar şekil değiştirir. Şekil değiştiren cisimler mekaniğinde denge koşulu araştırılırken, cismin yük altında şekil değiştirmiş son durumuna bakılır. Bu haliyle; cisimde şekil değiştirme tamamlandığından cismin katılaştığı yani artık bir ideal katı cisim olduğu varsayılır. Bu prensibe katılaştırma veya dondurma prensibi denir. Cismin şekil değiştirdikten sonraki hali katı cisim gibi düşünülebilir. Statik, dinamik ve mukavemet denklemleri bu durumdaki cisme uygulanır.



b) Ayırma (Kesit) İlkesi: Mukavemetin temel prensibi, malzemeye gelen dış kuvvetlerin malzeme içinde oluşturduğu iç kuvvetler ve bunların etkisinin incelenmesidir. Denge de duran bir katı cisim hayali olarak istenilen sayıda küçük parçaya ayrılabilir. Yalnız unutulmamalıdır ki; her bir parça küçük bir cisimdir ve kendi içinde dengede olmalıdır.

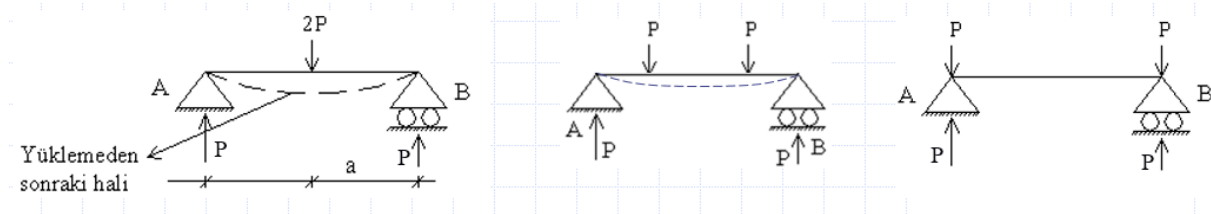


c) Eşdeğerlilik İlkesi: Rijit cisim mekaniğinde statik olarak eşdeğer olan kuvvetler; şekil değiştirebilen cisimler mekaniğinde cisimde oluşturacakları şekil değiştirme bakımından eşdeğer değildir. Ayrıca eşdeğerlilik esasına göre:

- Bileşke
- Bileşenlere ayırma
- Denge de olan kuvvetler sistemini eklemek yada çıkarmak (kuvvet nakli) gibi işlemler, mukavemette ancak belli kısıtlamalar altında yapılabilir.

Örnek: Şekildeki iki ayrı yükleme statikçe eşdeğer oldukları halde, birincisi kirişte şekil değiştirme oluştururken ikincisi hiçbir şekil değişikliği oluşturmaz.

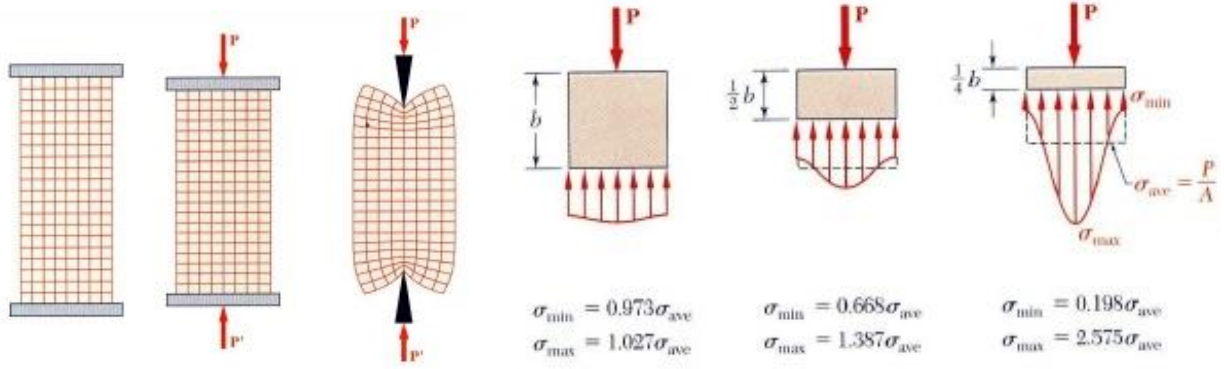
Şekil değiştiren cisimler mekaniğinde kuvvet kesinlikle kayan vektör olamaz !



d) Saint-Venant İlkesi: Şekil değiştirme gerilme ile ilişkili olduğuna göre şunu demek mümkün: yükün uygulandığı noktadan uzaklaştıkça, şekil değiştirmeler dolayısıyla gerilmeler daha üniform (düzgün yayılı) bir duruma dönüşmektedir.

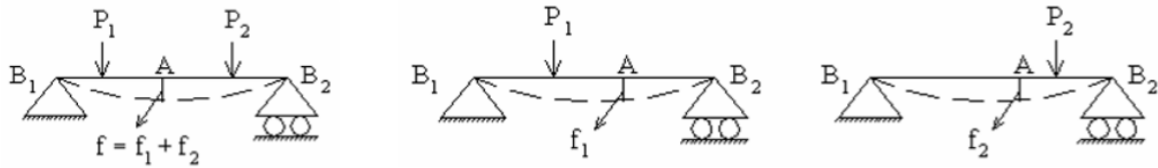
Bu uzaklık en az en kesitin en büyük boyu kadar olmalıdır! Bu kural tüm yükleme durumları ve elemanlar için geçerli değildir. Örnek olarak ince çeperli plaka elemanlar verilebilir. Belli bir derinliğe ulaştıktan sonra, tekil yükleme sanki düzgün yayılı yükleme gibi en kesiti zorlamaktadır.

Bir elemandaki gerilme dağılımını incelemek istediğimizde, yüklemenin yapıldığı yere yakın gerilmelerin incelenmesine gerek yoktur. Yüklemenin yapıldığı noktadan yeterli bir uzaklıkta oluşan düzgün yayılı gerilmenin incelenmesi gerilme analizi için yeterli olmaktadır. İstenirse bu mesafe tam olarak elastisite teorisinden faydalanılarak hesaplanabilir. Yüklemenin olduğu bölgedeki gerilmeler farklı bir şekilde incelenmelidir.



e) **Birinci Mertebe Teorisi:** Bu kurama göre; sonlu değerlerin yanında sonsuz küçük değerler ve sonsuz küçük değerlerin yanında daha yüksek mertebeden sonsuz küçük terimler ihmal edilir. Teknik problemlerin çoğunda şekil değiştirmiş cisimde oluşan yer değiştirmeler, cismin boyutları yanında oldukça küçüktür ve onların ihmal edilmesi sonuçları fazla değiştirmez. Hesaplar şekil değiştirmemiş geometri üzerinden yapılabilir.

e) **Süperpozisyon İlkesi:** Üst üste bindirme ilkesi olarak tanımlanır ve birinci mertebe kuramında ve orantılılık sınırları içerisinde geçerlidir. Zorlanmış bir cisimde mukavemet hesapları yapılırken; kuvvet ve momentlerin birlikte etkimleri yerine teker teker etkiledikleri kabul edilip bunların sonuçları toplanabilir.



Kullanılan Birim Sistemi		
Kuvvet	F	N, kN
Uzunluk	L	mm, m
Zaman	t	sn
Alan	A	mm ² , m ²
Hacim	V	mm ³ , m ³
Atalet Momenti	I	mm ⁴ , m ⁴
Mukavemet Momenti	W	mm ³ , m ³
Moment	M	Nm, kNm
Gerilme	σ, τ	N/m ² , N/mm ²
Elastisite Modülü	E	GPa
İvme	a	m/sn ²
İş-enerji	W,U	Joule

Pascal

$$1 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$$

$$\text{MPa} \rightarrow \text{MN/m}^2$$

$$1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2$$

$$\text{N/mm}^2 = 10^6 \text{ N/m}^2 = \text{MPa}$$

Faktör	Hece	İşaret
10 ¹²	Terra	T
10 ⁹	Giga	G
10 ⁶	Mega	M
10 ³	Kilo	k
10 ²	Hekto	h
10	Deka	da

Faktör	Hece	İşaret
10 ⁻¹	Desi	d
10 ⁻²	Santi	c
10 ⁻³	Milli	m
10 ⁻⁶	Mikro	μ
10 ⁻⁹	Nano	n
10 ⁻¹²	Piko	p
10 ⁻¹⁵	Femto	f
10 ⁻¹⁸	Atto	a