



**Bu Dosya**

**<https://ziraatweb.com>'dan**

**İndirilmiştir.**

Eğer bu dosya size aitse ve kaldırılmasını istiyorsanız lütfen ziraatweb.com adresinde bulunan "İletişim" kısmından bize bildiriniz. Bize bildirilmeyen dosyalar konusunda sorumluluk kabul etmiyoruz.



*Milletimiz çiftçidir. Milletin çiftçilikteki çalışma imkanlarını, asri ve iktisadi tedbirlerle en yüksek seviyeye çıkarmalıyız.*

**Mustafa Kemal ATATÜRK**

# **STATİK ve MUKAVEMET**

**Prof. Dr. Metin OLGUN**

**Doç. Dr. Havva Eylem POLAT**

**Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü**

<b>HAFTA</b>	<b>KONU</b>
1	Giriş, Temel Kavramlar, Statiğin Temel İlkeleri, Serbest Cisim Diyagramı, Düzlem Kuvvetler Sisteminin Bileşkesi
2	Rijit Cisimlerin Dengesi
3	Ağırlık Merkezi ve Geometrik Merkez
4	Düzlem Taşıyıcı Sistemler, Kafes Sistemler, Çerçeveler
5	Sürtünme
6-7	Yapılara gelen yükler
8	Mukavemetin Temel İlkeleri, Çubuk Sistemler, Gerilme
9	İç Kuvvetler ve Kesit Tesirleri
10	Normal Kuvvet
11	Gerilme, Şekil ve Yer Değiştirme Analizi
12	Kesme Etkisi
13	Eğilme Etkisi
14	Burkulma ve Burulma Etkisi ve öğretim programının değerlendirilmesi

# 1. GİRİŞ, TEMEL KAVRAMLAR, STATİĞİN TEMEL İLKELERİ, SERBEST CİSİM DİYAGRAMI, DÜZLEM KUVVETLER SİSTEMİNİN BİLEŞKESİ

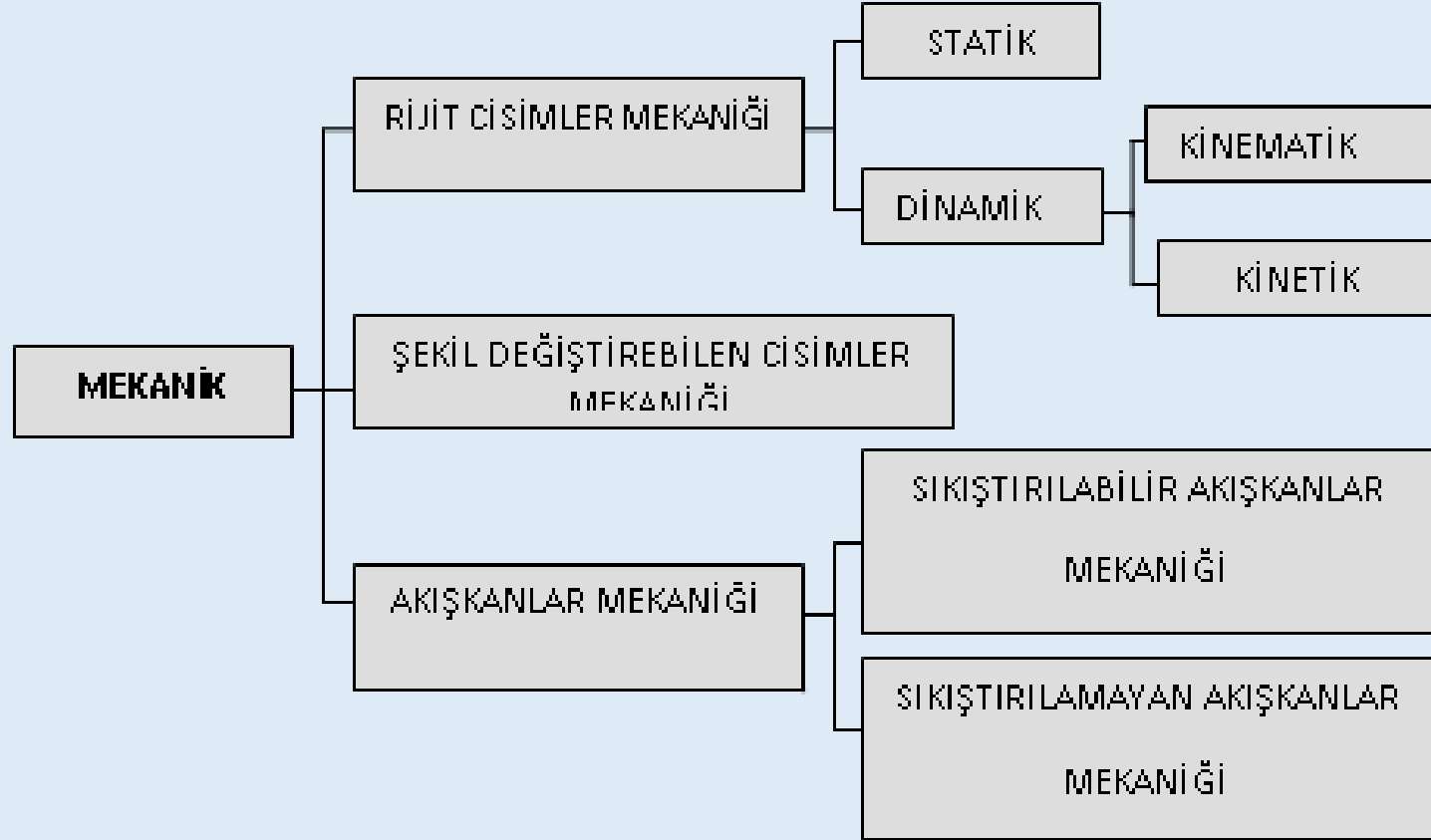
## MEKANİK

Mekanik, fiziğin en eski koludur. Fizik mekanik ile başlayarak şekillenmiştir. Mekanikte fiziksel olaylar incelendiğinden birçok mühendislik biliminin temelini oluşturur.

Mekanik, kuvvetlerin etkisi altında kalan cisimlerin denge veya hareket koşullarını inceleyen bir bilim dalı olarak tanımlanır. Mekaniğin amacı, fiziksel olayları açıklamak, önceden tahmin etmek ve böylece mühendislik uygulamalarına bir temel oluşturmaktır.

Mekanik bilimine ilişkin çalışmalar Aristoteles (M.Ö. 384 – 322) ve Arşimedes (M.Ö. 287 – 212) zamanına kadar giderse de mekaniğin temel ilke ve kavramlarının formüle edilmesi Isaac Newton (1642 – 1727) ile başlamıştır.

Mekanikte incelenen cisimler katı, sıvı veya gaz olabilir. Bu nedenle mekanik incelediği cisimlere, olaylara ve yaklaşım şekline göre gruplandırılabilir.



## TEMEL KAVRAMLAR

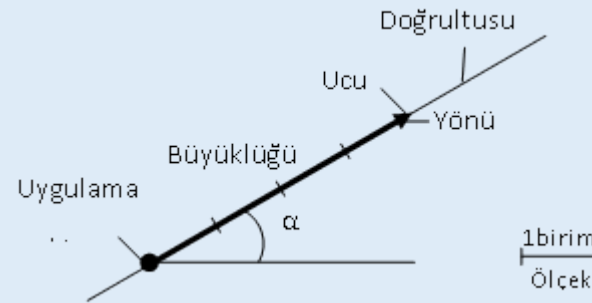
**Statik** : Mekanik esas olarak, statik konusu ile başlar. Genel anlamda uzayda kuvvetler etkisi altındaki cisimlerin denge koşullarını inceleyen bir bilim dalıdır. Bir cisim hareket etmiyor ya da düzgün doğrusal bir hareket yapıyorsa cisim dengededir.

**Kuvvet**: Bir cismin diğer bir cisim üzerindeki itme veya çekme etkisini ifade eder. Kuvvet bir cismin dengesini bozabilir veya dengesi bozulmuş bir cismi dengeye getirebilir. *Kuvvetin dış etkisi*, etki yaptığı cismin durumunda bir değişiklik meydana getirmesi veya değişiklik eğiliminin ortaya çıkması şeklinde olur. Statikte kuvvetin cisimler üzerindeki dış etkisi incelenir.

Statikte bir kuvvet dört unsuru ile belirlenir. Bunlar;

- uygulama noktası,
- doğrultusu,
- yönü,
- büyüklüğü

olarak sıralanabilir. Bu özellikleri ile kuvvet, bir vektörel büyüklüktür.



**Uzay:** Statiğin ilgilendiği olayların oluştuğu geometrik bir ortam olup, her doğrultuda sonsuza kadar uzatılabilir. Uzaydaki cisimlerin yerleri ve durumları belli koordinat sistemlerine göre ifade edilebilir. Buna göre uzay, tek boyutlu, iki boyutlu veya üç boyutlu olabilir.

**Cisim:** Uzayda yer kaplayan büyüklüklere *madde* adı verilir. Cisim ise, kapalı bir yüzey veya yüzeylerle çevrilmiş maddelerdir. Buna göre cisimler uzayda belirli bir bölgeyi kaplar.

## **İDEALLEŐTİRMELER**

İdealleştirmenin amacı, teorik bilginin uygulanmasını kolaylaştırmak, başka bir deyişle çözümünde zorluk çekilen bir problemi bazı kabuller yaparak ve basite indirgeyerek çözmektir.



**Maddesel nokta:** Boyutları ele alınan problemin boyutları yanında ihmal edilebilecek derecede küçük olan *cisme maddesel nokta* veya *parçacık* adı verilir.

**Rijit cisim:** Bir cisimi oluşturan malzemenin molekülleri kuvvet etkisi altında birbirlerine göre sabit bir yerde kalıyorlarsa böyle cisimlere *rijit cisim* ya da *katı cisim* adı verilir. Böyle cisimler kuvvetler etkisi altında geometrik şekil ve ölçülerini aynen korurlar ve herhangi bir şekil değişikliğine (deformasyona) uğramazlar.

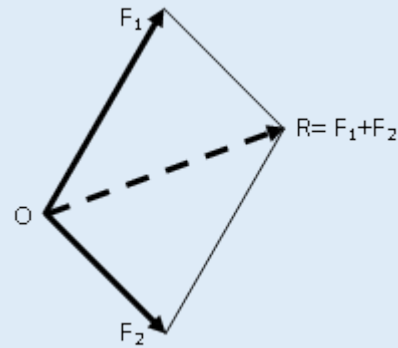
**Tekil (Bireysel) kuvvet:** Bir cisim üzerine bir noktada etki eden yükleme durumunu ifade eder.



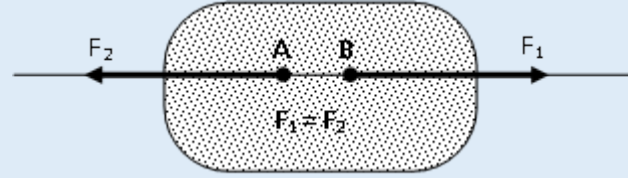
# STATİĞİN TEMEL İLKELERİ

Statığın temel ilkeleri, matematiksel olarak doğrulanamayan ancak deneysel olarak saptanabilen bazı kurallara dayanır.

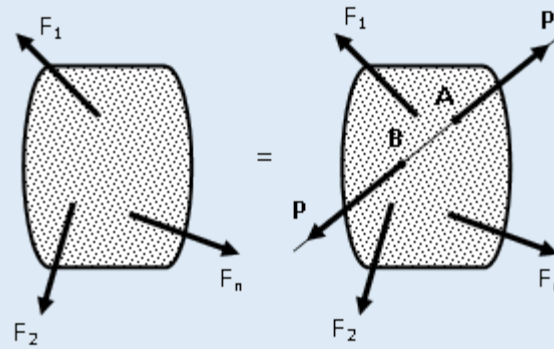
**Paralelkenar ilkesi:** Bir noktaya etki eden iki veya daha fazla kuvvet, tek bir kuvvet ile değiştirilebilir. Bileşke olarak tanımlanan bu kuvvet ( $R$ ), kenarları verilen kuvvetlerin vektörlerine eşit olan paralelkenarların köşegenlerinin çizilmesi ile bulunur.



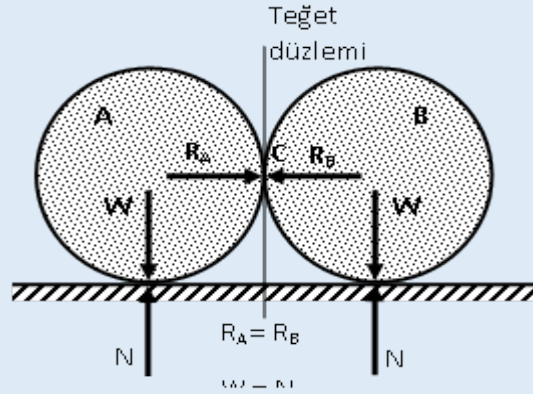
**Denge ilkesi:** İki kuvvetin denge halinde olabilmesi için gerekli şart; bu iki kuvvetin büyüklüklerinin eşit, yönlerinin ters ve doğrultularının aynı olmasıdır.



**Süperpozisyon ilkesi:** Bir kuvvetler sistemine ( $F_1, F_2, \dots, F_n$ ), dengede olan kuvvetlerin ( $P$ ) eklenmesi ve çıkarılması ile kuvvetler sisteminin etkisi değişmez.



**Etki ve tepki ilkesi:** Temasta olan iki cisim (A ve B) dayandıkları noktada birbirlerine büyüklükleri eşit, doğrultuları aynı ve yönleri ters olan kuvvet ( $R_A$  ve  $R_B$ ) uygularlar.



## KUVVETLER SİSTEMİ

Bir cisme veya birbirleri ile ilgili cisimler grubu üzerine iki veya daha fazla kuvvet etki edecek olursa, oluşan kuvvetler topluluğuna ***kuvvetler sistemi*** adı verilir.

Bütün kuvvetlerin aynı doğrultu üzerinde bulunması durumunda *doğrultuları aynı olan kuvvetler sistemi*, doğrultuları ortak bir noktada kesişen sisteme *bir noktada kesişen kuvvetler sistemi*, doğrultuları paralel olan sisteme *paralel kuvvetler sistemi*, doğrultuları paralel olmayan ve ortak bir kesim noktası da bulunmayan sisteme *genel kuvvetler sistemi* adı verilir.

## **BİRİM SİSTEMLERİ**

Statikte, uzunluk, kütle ve kuvvet olmak üzere üç büyüklük önem taşır. *Uluslararası Birim Sistemi*, metrik sistemin geliştirilmiş bir şeklidir. Bu sistemde kuvvetin büyüklüğü Newton (N) birimi ile ifade edilir. *Newton birimi*,  $F = m \cdot a$  eşitliğinden çıkarılır. Buna göre; 1 Newton, 1 kilogramlık kütleyle  $1 \text{ m/s}^2$  lik ivme kazandırmak için gerekli olan kuvvete eşittir.

## SERBEST CİSİM DİYAGRAMI

Statikte bir problemin çözümüne başlamadan önce ilk yapılacak işlem serbest cisim diyagramının çizimi olmalıdır. Cismin çevresinden soyutlandığı ya da serbest hale getirildiği ve sadece üzerine gelen etki ve tepki kuvvetlerinin gösterildiği krokiye (şemaya) *Serbest Cisim Diyagramı* denir. Diyagramda serbest cisim üzerine yüklenmiş kuvvetler *etki kuvvetleri*, serbest cisim tarafından temas halinde bulunduğu diğer cisimlere uygulanan kuvvetler ise *teпки kuvvetleri* olarak tanımlanır.

Serbest cisim diyagramı tüm bir yapı sistemine ait olabileceği gibi, yapı sisteminin soyutlanmış bir unsuru veya noktasından da oluşabilir.

## DÜZLEM KUVVETLER SİSTEMİNİN BİLEŞKESİ

Bir düzlem kuvvetler sisteminin herhangi bir cisim üzerindeki etkisi genellikle bir bileşke ile ifade edilir. *Bileşke kuvvet*, cisim üzerine etki eden iki veya daha fazla kuvvetin yerine geçen ve cisim üzerinde aynı etkiyi yaratan tek bir kuvvettir.

## BİR KUVVETİN BİLEŞENLERİNE AYRILMASI

Bir maddesel noktaya etki eden bir  $R$  kuvveti, paralelkenar ilkesi kullanılarak etki çizgileri bilinen ve aynı etkiyi yapan iki kuvvete ayrılabilir. Bunlara  $R$  kuvvetinin *bileşenleri* adı verilir.

Bir kuvvetin keyfi olarak belirlenecek eksen takımlarına ( $a-a$  ve  $b-b$ ) göre sonsuz sayıda bileşenleri bulunabilir. Bu tip kuvvetlerin bileşenleri grafiksel veya analitik yöntemlerin uygulanması ile bulunursa da, bu iş her zaman kolay olmaz. Bu nedenle analitik hesaplamalarda genellikle her bir kuvvetin birbirine dik yatay ve düşey dikdörtgen bileşenlerinin bulunması tercih edilir.



F kuvvetinin etki ettiği A noktasına bir dikdörtgen koordinat sisteminin merkezi yerleştirilir. F kuvvetinin  $F_x$  ve  $F_y$  dikdörtgen bileşenlerinin bulunması için F kuvvetinin x ve y eksenleri üzerindeki izdüşümleri alınır. F kuvvetinin x eksenine ile yaptığı açı  $\alpha$  ise  $F_x$  ve  $F_y$  bileşenleri;

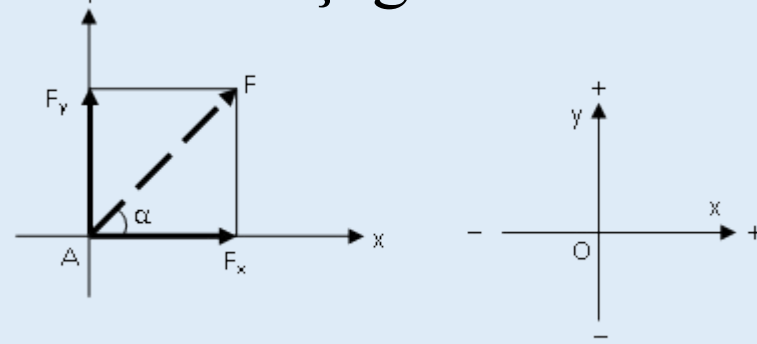
$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha$$

olur. Herhangi bir kuvvetin dikdörtgen bileşenleri bilindiği takdirde bileşke kuvvetin büyüklüğü ve doğrultusu da aşağıda belirtildiği gibi kolayca hesaplanabilir.

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\tan \alpha = F_y / F_x$$



### 3. AĞIRLIK MERKEZİ ve GEOMETRİK MERKEZ

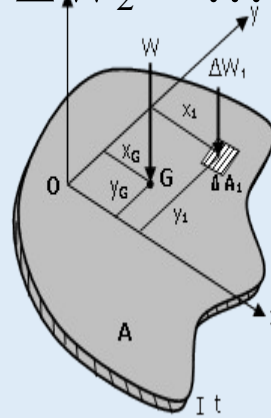
Bir rijit cismin bütün özelliklerini taşıyan en küçük parçasına *molekül* adı verilir. Böyle bir parçacığa etki eden yer çekimi kuvvetinin büyüklüğü o molekülün ağırlığına eşdeğerdir. Rijit cismin ağırlığı ise, moleküllerin ağırlıklarının toplamına eşittir. Buna göre dünyanın bir cisme uyguladığı yer çekimi kuvvetine o *cismin ağırlığı* denir. Cismin ağırlık kuvvetinin uygulama noktası, o cismin *ağırlık merkezi* olarak adlandırılır. Ağırlık merkezi, cismin döndürülmesi ile değişmez.

Yüzeysel şekiller veya eğriler cisim olmadıklarından bunlar için ağırlık merkezi ifadesinin kullanılması anlamsız olabilir. Bunlar ancak bir levha veya teli ifade ediyorsa, ağırlık merkezi terimi bir anlam kazanabilir. Bu nedenle düzgün ve homojen özellikteki yüzeysel şekillerin ağırlık merkezi ***geometrik merkez (sentroid)*** terimi ile ifade edilir. Homojen bir levhada veya telde ağırlık merkezi ile geometrik merkez aynıdır. Aksi durumda bu iki merkez ayrı yerlerde dir.

# DÜZLEMSEL ALANLARIN AĞIRLIK MERKEZİ

Düzlem üzerinde bulunan sabit kalınlıkta ve sabit özgül ağırlıkta homojen bir plağı dikkate alalım. Bu plak n sayıda diferansiyel elemente ayrılabilir. Plağın ağırlığını ifade eden  $W$  bileşke kuvvetinin büyüklüğü, plağı oluşturan n sayıdaki elementin ağırlıkları toplamına eşittir. Bu aşağıdaki biçimde formüle edilebilir.

$$W = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \dots + \Delta W_n$$



Bileşke kuvvetin uygulama noktasının diğer bir deyişle ağırlık merkezinin  $x_G$  ve  $y_G$  koordinatlarını bulmak için bileşke kuvvet  $W$  nin  $x$  ve  $y$  eksenlerine göre momentleri, elementlerin ağırlıklarının aynı eksenlere göre momentleri toplamlarına eşitlenir. Ağırlık merkezinin  $x_G$  ve  $y_G$  koordinatları;

$$x_G = \sum x_i \Delta W_i / \sum \Delta W_i \quad \text{ve} \quad y_G = \sum y_i \Delta W_i / \sum \Delta W_i$$

dir.

Bu durumda, yassı plağı oluşturan elementlerin sayısı artırılır, yani her bir elementin ağırlığı azaltılırsa limitte aşağıda verilen eşitlikler elde edilir.

$$W = \int dW$$

$$x_G \cdot W = \int x dW \quad x_G = \int x dW / \int dW$$

$$y_G \cdot W = \int y dW \quad y_G = \int y dW / \int dW$$

Diğer taraftan kalınlığı sabit olan bir homojen plağın ağırlık merkezi, yüzey alanı cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$x_G = \sum x_i \Delta A_i / \sum \Delta A_i \quad y_G = \sum y_i \Delta A_i / \sum \Delta A_i$$

Söz konusu A yüzeyinde bu x ve y koordinatlarının belirttikleri noktaya aynı zamanda A yüzeyinin **geometrik merkezi (setroidi)** adı da verilir. Yukarıda verilen eşitliklerde A yüzeyini oluşturan  $\Delta A$  elementlerinin sayıları artırılır, yani her bir elementin alanı küçültülürse limite aşağıda verilen eşitlikler yazılabilir.

$$x_C \cdot A = \int x \, dA \quad x_C = \int x \, dA / \int dA$$

$$y_C \cdot A = \int y \, dA \quad y_C = \int y \, dA / \int dA$$

## BİLEŞİK ŞEKİLLERİN AĞIRLIK MERKEZİ

Uygulamada karşılaşılan yassı bir plak, çoğunlukla dikdörtgen, kare, üçgen, yarım daire gibi bilinen geometrik şekillere ayrılabilir. Böyle bir cismin ağırlık merkezi;

$$x_G = (x_1 \cdot W_1 + x_2 \cdot W_2 + \dots + x_n \cdot W_n) / (W_1 + W_2 + \dots + W_n)$$

$$y_G = (y_1 \cdot W_1 + y_2 \cdot W_2 + \dots + y_n \cdot W_n) / (W_1 + W_2 + \dots + W_n)$$

şeklinde yazılabilir.

Söz konusu plak homojen ve aynı kalınlıkta ise, ağırlık merkezi ile geometrik merkez aynı nokta üzerinde çakışacağından bileşik şeklin alanının geometrik merkezinin  $x_C$  ve  $y_C$  koordinatları;

$$x_C = (x_1 \cdot A_1 + x_2 \cdot A_2 + \dots + x_n \cdot A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n)$$

$$y_C = (y_1 \cdot A_1 + y_2 \cdot A_2 + \dots + y_n \cdot A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n)$$

olacaktır.

## 4. DÜZLEM TAŞIYICI SİSTEMLER

Düzlem taşıyıcı sistemler, üzerine gelen yükleri emniyet sınırları içerisinde taşıyan rijit cisimler olarak tanımlanır. Taşıyıcı sistemler geometrileri ve yükleme durumlarına göre farklılıklar gösterirler. Bu bağlamda taşıyıcı sistemler;

- Çubuklar
  - Levha ve plaklar
  - Kabuklar
  - Çok parçalı sistemler
- şeklinde sınıflandırılabilirler.



Bu bölümde denge denklemleri, mafsal ile bağlı elemanlardan oluşan yapıları analiz etmek için kullanılacaktır. *Yapı analizi*, yapıya gelen dış yüklerin yapıyı oluşturan elemanlara dağılımının belirlenmesi olarak tanımlanır. Bu analiz, dengede olan bir yapının her bir elemanının da dengede olması ilkesine dayanır.

## **DÜZLEM KAFES SİSTEMLER**

Mühendislikte kullanılan en önemli taşıyıcı yapı unsurlarından birisi kafes sistemlerdir. Kafes sistemler, özellikle çatı ve köprüler gibi mühendislik yapılarının projelenmesinde pratik ve ekonomik bir çözüm sağlarlar. Düzlem kafes sistemler tek bir düzlem içinde yer alırlar. Kafes sistemlere etki eden yükler de aynı düzlemde bulunurlar.

Kafes sistemler, doğru eksenli çubukların rijit bir cisim oluşturacak şekilde sürtünmesiz mafsallar ile uçlarından birbirlerine bağlanarak elde edilen yapı sistemleridir. Kafes sistemi oluşturan elemanlara *çubuk* adı verilir.

Bu nedenle kafes sistemler, iki veya üç köşesi üçgenlerle ortak olan bir üçgenler serisinden oluşurlar. Kafes sistemdeki üçgenlerin köşelerine diğer bir deyişle çubukların mafsallarla bağlandıkları noktalara *düğüm* adı verilir.

Kafes sistemlerin analizinde öncelikle çubuklarda oluşan kuvvetlerin bulunması gerekir. Bu analiz işleminde iki önemli varsayımda bulunulur. Bu varsayımlardan birisi, dış yüklerin sadece düğüm noktalarına etki yaptığıdır. Genellikle kuvvet analizinde çubukların ağırlıkları ihmal edilir. Kafes sistemlerin analizinde yapılan diğer varsayım ise, çubukların düğüm noktalarında sürtünmesiz mafsallar ile bağlandığıdır.

Kafes sistemi oluşturan her bir çubuğun dengede kalabilmesi için uçlarındaki düğümlerden iletilen bu iki kuvvetin büyüklüklerinin eşit, doğrultularının çubukların orta eksenini üzerinde ve yönlerinin ters olması gerekir (Şekil 5.8). Eğer bu iki kuvvet, çubuğu uzatma, diğer bir deyişle düğümlerden uzaklaşma eğiliminde ise ***ekme kuvveti***, çubuğu kısaltma ya da düğümlere doğru olma eğiliminde ise ***basma kuvveti*** olarak adlandırılırlar.

### ***Kafes Sistemlerin Statik Belirliliği***

Üç denge denkleminin (  $\sum F_x = 0$  ,  $\sum F_y = 0$  ve  $\sum M = 0$  ) uygulanması ile özölebilen sistemlere ***Statik Belirli (İzostatik) Sistemler*** adı verilir. Klasik üç denge denklemi yeterli olmuyorsa böyle sistemler de ***Statik Belirsiz (Hiperstatik) Sistemler*** olarak adlandırılır.

Herhangi bir kafes kirişin statik belirli olabilmesi için aşağıda verilen eşitliğin sağlanması gerekir.

$$m + c = 2 n$$

Burada;  $m$  = Mesnet tepkisi sayısı,

$c$  = Toplam çubuk sayısı,

$n$  = Toplam düğüm sayısıdır.

## **Kafes Sistemlerin Çözüm Yöntemleri**

Kafes sistemlerin çözümünde grafiksel yöntemler kullanılırsa da, mühendislik uygulamalarında daha çok analitik yöntemlerin kullanılması tercih edilir. Kafes sistemlerde çubuk kuvvetlerinin bulunmasında kullanılan yaygın çözüm yöntemleri;

a) Düğüm noktaları yöntemi,

b) Kesim ( Ritter ) yöntemidir.

## *Düğüm noktaları yöntemi*

Düğüm noktaları yöntemi, bir kafes sistem dengede ise her bir düğüm noktasının da dengede olması ilkesine dayanır. Bu yöntemde kafes sistemin her bir düğüm noktasındaki mafsal üzerine etki eden kuvvetler için denge koşullarının sağlanması gerekir. Kafes sistemin çubuklarının hepsi aynı düzlem içinde bulunan iki kuvvetli elemanlar olduklarından her bir düğüme etki eden kuvvetler düzlemsel olup, bir noktada kesişen kuvvetler sistemini oluştururlar. Bu nedenle her bir düğüm için  $\sum F_x = 0$  ve  $\sum F_y = 0$  denge denklemlerinin sağlanması gerekir. Bu denklemlerin uygulanması için kafes sistemlerin çözümüne iki çubuğun bağlandığı bir düğüm noktasından başlanmalıdır. Bu düğümde birleşen çubuklardaki kuvvetler belirlendikten sonra bu çubukların komşu düğümlere olan etkisi bilinmiş olacağından komşu düğümler sıra ile ele alınarak bütün çubuklardaki bilinmeyen kuvvetler belirleninceye kadar hesaplama işlemine devam edilir.

## *Kesim yöntemi*

Bu yöntem dengedeki kafes sistemin bütün parçalarının da dengede olması ilkesine dayanır. Düğüm noktaları yöntemi, bir kafes sistemin bütün çubuk kuvvetlerinin belirlenmesi durumunda uygun olan bir yöntemdir. Ancak bir çubuk kuvvetinin ya da az sayıda çubuk kuvvetlerinin belirlenmesi istenirse kesim yönteminin uygulanması daha uygundur. Kafes sistemlerin çözümünde genel kuvvetler sisteminin denge koşulları da uygulanabilir. Bu yöntemin uygulanması ile düğüm noktalarının sıra ile analizi yapılmadan kafes sistemin herhangi bir çubuğundaki kuvvet doğrudan bulunabilir.

Kafes sistem istenilen yerinden en fazla üç bilinmeyen çubuk kuvveti olacak şekilde hayali bir kesit düzlemi ile kesilerek iki parçaya ayrılır. Bu durumda kafes sistemin iki parçasından her birisi, üzerine genel kuvvetlerin etki ettiği bir kuvvetler sisteminden oluşur. Çubuk kuvvetlerinin belirlenmesi için üç denge denklemi (  $\sum F_x = 0$  ,  $\sum F_y = 0$  ve  $\sum M = 0$  ) uygulanır.

## 5. SÜRTÜNME

Birbirleri ile temas halinde bulunan cisimlerin yüzeyleri arasında bir etkileşim ortaya çıkar. Bu etkileşimin büyüklüğü yüzeylerin özellikleri ile ilgilidir. Bu nedenle yüzeyler; *cilalı yüzeyler* ve *pürüzlü yüzeyler* olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Cilalı yüzey bir idealleştirme olup, gerçekte böyle bir yüzeyin tam olarak sağlanması olanaksızdır. Bunun dışında tüm cisimlerin yüzeylerinde farklı düzeylerde bir pürüzlülük vardır. Bu pürüzlülük cisimlerin temas yüzeylerinde bir sürtünme kuvvetinin ortaya çıkmasına neden olur.

*Sürtünme*, bir cisim üzerine etki eden ve cismin temasta olduğu diğer cisim veya yüzey üzerinde kaymasını engelleyen veya yavaşlatan direnç kuvveti olarak tanımlanabilir.

Sürtünme esas olarak dört grupta toplanabilir.

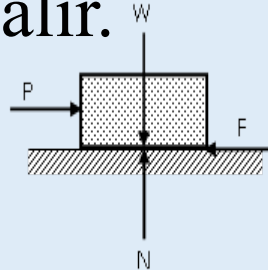
Bunlar;

- a) Kuru sürtünme
- b) Akışkan sürtünmesi
- c) Yuvarlanma sürtünmesi
- d) İç sürtünmedir.



## SÜRTÜNME KUVVETİ VE SÜRTÜNME KATSAYISI

Kuru sürtünmenin incelenmesi için yatay bir düzlem üzerinde duran  $W = m \cdot g$  ağırlığındaki bir bloğu göz önüne alalım. Söz konusu bloğa yatay doğrultuda bir  $P$  kuvvetinin etki ettirilmesi durumunda,  $P$  kuvveti belli bir değerin altında olduğu sürece bloğun dengesi bozulmayacağından hareket etmeyecektir. Bunun nedeni,  $P$  kuvveti ile aynı büyüklük ve doğrultuda ancak ters yönde ortaya çıkan bir sürtünme kuvvetinin ( $F$ ) hareketi engellemesidir. Bu sürtünme kuvveti, temas yüzeyinde etki eder ve *statik sürtünme kuvveti* adını alır.



Bloğa etki eden P kuvveti artırılırsa, hareket başlayıncaya kadar F sürtünme kuvvetinin büyüklüğü de artar. Böylece sürtünme kuvveti maksimum değerine ulaşıncaya kadar P kuvvetini karşılamaya devam eder. Ancak P kuvveti artırılmaya devam edilirse artık sürtünme kuvveti artmaz ve blok hareket etmeye başlar. Bu durumdaki sürtünme kuvvetine ***kinetik sürtünme kuvveti*** adı verilir.

Deneyisel çalışmalar, statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerinin ( $F_m$ ), yüzey tepkisi N normal kuvvetinin büyüklüğü ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Bu durum matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$F_m = \mu_s \cdot N$$

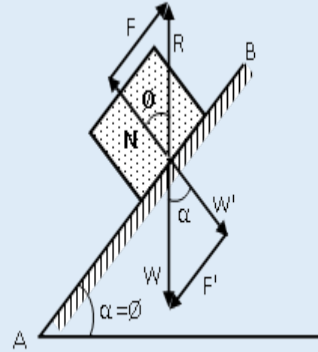
Eşitlikteki  $\mu_s$  , ***statik sürtünme katsayısı*** olarak adlandırılan bir sabittir. Benzer olarak kinetik sürtünme kuvveti de aşağıdaki şekilde belirtilebilir.

$$F_k = \mu_k \cdot N$$

Burada  $\mu_k$  , ***kinetik sürtünme katsayısı*** olarak adlandırılan bir sabiti ifade eder.

## ŞEV AÇISI

Şimdi cismin oturduğu düzlemin bir ucunun yatayla  $\alpha$  açısı yapacak şekilde kaldırılması durumunu göz önüne alalım.



$F'$  kuvveti, maksimum sürtünme kuvvetinden ( $F_m$ ) küçük olduğu sürece, hem cismi eğik düzlem üzerinde kaymaya zorlayan ve hem de harekete engel olan gerçek sürtünme kuvvetini ifade eder. Bu durumda  $N = W'$  ve  $F_m > F'$  dür.  $\alpha$  açısı sürtünme açısı  $\emptyset$  ye eşit olacak şekilde artırılırsa bu durumda  $F_m = F'$  olur. Yani cismi harekete zorlayan  $F'$  kuvveti, cismin temas yüzeyinde harekete geçmesini önleyen sürtünme kuvveti  $F_m$  ye eşittir.

Artık bu andan itibaren  $\alpha$  açısında olabilecek herhangi bir artış, cismin düzlem üzerinde A noktasına doğru harekete başlamasına neden olur.  $F_m = F'$  olduğunda eğik düzlemin yatayla yaptığı  $\alpha$  açısının değerine *doğal şev açısı* adı verilir.

## **KURU SÜRTÜNME İLE İLGİLİ MÜHENDİSLİK UYGULAMALARI**

Teknikte kullanılan birçok alet ve makinelerde kuru sürtünme uygulaması ile karşılaşılır. Aşağıda kuru sürtünmenin uygulandığı bazı önemli alet ve makineler verilmiştir.

- Kamalar
- Bilezikli yataklar, mil yatakları, diskler
- Radyal (kayma) yataklar
- Vidalar
- Kayış sürtünmesi
- Tekerlek sürtünmesi.

## 6 – 7. YAPILARA GELEN YÜKLER

Yapılar birbirlerine eklenmiş yapı elemanlarından oluşurlar. Yapıyı oluşturan elemanlardan her birisi ( temel, kolon, kiriş, döşeme, çatı vb ), kendi ağırlığı dahil üzerine gelen dış yüklerin etkisi altında statik dengede kalmak zorundadırlar. Aksi durumda yapılarda başarısızlık durumu söz konusu olur.

Mühendislik yapılarının projelenmesinde, yapılara servis ömrü boyunca gelebilecek yüklerin gerçeğe yakın olarak belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, yapıya gelebilecek hiçbir yükün hesap dışında bırakılmaması gerekir. Yapıya gelebilecek yüklerin eksik ya da hatalı hesaplanması, yapının başarısızlığına yol açar. Buna karşın yapıya gelecek yüklerin gerçeğinden çok daha fazla tahmin edilmesi durumunda ise, fazla mukavim, ağır ve pahalı bir yapı ortaya çıkar.

# **YAPILARA ETKİ EDEN YÜKLERİN GRUPLANDIRILMASI**

Yapılara gelen yükler, hangi tipte olursa olsun genel olarak;

- Ölü (zati, öz) yükler,
- Canlı (hareketli) yükler

olmak üzere iki grupta toplanabilirler.

## **Yapılara Gelen Ölü Yükler**

Yapılara gelen ölü yükler, yapının toplam ağırlığından oluşur. Bu bağlamda yapıyı oluşturan temel, kolon, kiriş, döşeme, duvar, çatı gibi elemanların yapıldıkları malzemelere göre ağırlıkları ile çeşitli tesisatlar gibi yapıya sabit olarak bağlanmış her türlü unsurun ağırlıkları ölü yükleri oluştururlar.

Herhangi bir yapının veya yapı elemanının ağırlığı, boyutlarına ve yapıldığı malzemenin çeşidine göre değişir.

## **Yapılara Gelen Canlı Yükler**

Yapının kullanım süresince yapı üzerinde uzun süreli olarak kalmayan ya da yapı üzerinde zaman zaman etki yapan yükler, canlı yükler olarak adlandırılır. Bu yükler, yapıdan beklenen fonksiyonun ortaya çıkardığı yükler olup, bu gruba ölü yüklerin dışındaki tüm yükler girer. Bunlar yapıya uygulanış şekilleri yönünden hareket edebilen veya hareket eden yükler olarak iki gruba ayrılabilir.

***Hareket edebilen yükler***, bırakıldığı zaman hareketsiz kalan, ancak bazen de hareket edebilen yüklerdir. Bu yüklere örnek olarak; canlılar, eşyalar, depolama malzemeleri, makineler, araç ve gereçlerden gelen yükler, kar ve buz yükü, rüzgar yükü, toprak yükü ve su yükü gösterilebilir.

*Hareket eden yükler* ise, yapı veya tesise hareket halindeki bir objeden iletilen yüklerdir. Hareket halindeki bir araçtan iletilen yük örnek olarak gösterilebilir. Bu yükler özellikle köprüler, karayolları ve demiryollarının tasarımında önem taşır.

## **DÖŞEME YÜKLERİ**

Herhangi bir yapı, servis ömrü boyunca normal koşullarda gelebilecek maksimum yüke göre projelenir. Döşeme yükleri, döşeme üzerinde depolanacak (istif edilecek) bazı malzemelerin ağırlıkları nedeniyle oluşan yüklerdir. Kırsal alanda depolama ve koruma yapıları için önemli olan yüklerdir. Bu yükün hesaplanması için depolanan malzemelerin birim hacim ağırlıklarının bilinmesi gerekir. Bu amaçla TS 498'den yararlanılabilir.



## KAR VE BUZ YÜKÜ

Kar yağışı olan bölgelerde, kar yükü özellikle çatı sistemlerinin projelenmesinde büyük bir öneme sahiptir. Düz çatılar, rüzgarın savurduğu hariç, yağan bütün karı eriyinceye kadar üzerlerinde tutarlar. Çatının eğimi artıkça, karın belirli bir bölümü çatı yüzeyinden kayar, diğer bölümü eriyinceye kadar çatıda kalır. Projelemede kar yükü çatı yatay izdüşüm düzlemine düşey doğrultuda etki yapan düzgün yayılı yük (kN/m<sup>2</sup>) olarak dikkate alınır. Kar yükünün değerlendirilmesinde coğrafik ve meteorolojik koşullar etkilidir. Bu bağlamda, yapının bulunduğu yerin coğrafik durumu, denizden yüksekliği ve çatı yüzeyinin yatayla yaptığı açı önem taşımaktadır.

Ülkemizde TS 498 e göre, yatayla  $\alpha$  açısı kadar eğim yapan ve kar kaymasının engellenmediği çatılarda kar yükü hesap değeri;

$$P_k = m \cdot P_{ko}$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Eşitlikte;  $P_k$  = Kar yükü hesap değerini ( $\text{kN/m}^2$ ),  $m$  = Çatı eğim açısına ( $\alpha$ ) bağlı olarak azaltma değerini ve  $P_{ko}$  = Zati kar yükü değerini ( $\text{kN/m}^2$ ) göstermektedir. Hesaplamalarda  $m$  ve  $P_{ko}$  değerleri TS 498'den elde edilebilir.

## **RÜZGAR YÜKÜ**

Rüzgarın herhangi bir yapıya çarpması sonucunda, koşullara bağlı olarak oldukça büyük bir kuvvet ortaya çıkabilir. Yapıların bu kuvvete karşı yeterli mukavemeti göstermesi gerekir. Rüzgarın düz bir yüzeye çarpması ile ortaya çıkan basınç, rüzgarın hızına, yüzeye geliş açısına ve yapının geometrisine bağlıdır.

Etki ettiği yüzeye dik olarak göz önüne alınan rüzgar basıncı TS 498 e göre;

$$w = C_p \cdot Q$$

eşitliği ile belirlenmektedir. Burada;  $w$  = Rüzgar basıncı ( $\text{kN/m}^2$ ),  $C_p$  = Şekil katsayısı ( dikkate alınan yüzey için esme yönüne bağlı olarak değişir ve etki yüzeyine diktir) ve  $q$  = Rüzgar hızı basıncı ( $\text{kN/m}^2$ ) dir.Hesaplamalarda  $q$  ve  $C_p$  değerleri TS 498'den elde edilebilir.

## SU YÜKÜ

Hareketsiz halde veya durgun halde bulunan sıvıların yerçekimi ve diğer ivmelerden doğan basınçları ve kuvvetleri ile uğraşan bilim dalına **hidrostatik** adı verilir. Diğer bir deyişle hidrostatik, hareket etmeyen sıvıların dengesini inceleyen bir bilim dalıdır. Durgun halde bulunan bir sıvı içerisindeki düzlemsel yüzey üzerine, basınç dağılımına bağlı olarak belirli bir kuvvet etki eder. Bu kuvvete **hidrostatik basınç kuvveti** adı verilir.

Herhangi bir sıvıya daldırılmış bir yüzey üzerindeki hidrostatik basınç;

$$P = \gamma \cdot h$$

dir. Burada;  $P$  = Hidrostatik basınç,  $\gamma$  = Sıvının hacim ağırlığı ve  $h$  = Serbest sıvı yüzeyinden söz konusu noktaya kadar olan düşey mesafedir. yatay yüzeyler üzerine etki eden hidrostatik basınç kuvvetinin ( $F$ ) büyüklüğü, birim alana etki eden basınç kuvveti ( $P = \gamma \cdot h$ ) ile söz konusu yüzey alanının çarpımına eşittir.

DüŖey düzlemsel yüzeye etki eden hidrostatik basınç kuvvetinin büyüklüğü;

$$F = ( 1 / 2 ) . h . \gamma . A$$

dir. Buna göre, düŖey düzlemsel yüzeye etki eden hidrostatik basınç kuvvetinin büyüklüğü, bu yüzeyin ağırlık merkezindeki basınç gerilmesi  $[( 1 / 2 ) . h . \gamma ]$  ile dikdörtgen alanın (A) çarpımına eşittir.

## **TOPRAK YÜKÜ**

Mühendislik uygulamalarında istinat duvarları, bina temel duvarları gibi yapı elemanlarına gelen toprak yükünün belirlenmesi gerekir. Özellikle istinat duvarlarının projelenmesinde toprak yükünün hesabı çok önemlidir.

Toprak içindeki birim alana gelen düŖey toprak yükü, bu alana iletilen ağırlığa eşittir. Aşağıda verilen eşitlikle hesaplanır.

$$F_d = \gamma_t \cdot h$$

Eşitlikte;  $F_d$  = Düşey toprak yükü,  $\text{kN/m}^2$

$\gamma_t$  = Toprağın birim hacim ağırlığı,  $\text{kN/m}^3$

$h$  = Derinlik, m

dir.

Toprak kütlesi yatay doğrultuda önemli büyüklükte bir yük ortaya çıkarır. Yatay toprak yükü de düşey toprak yükünde olduğu gibi, toprağın birim hacim ağırlığına göre değişiklik gösterir. Toprak yükünün etkisi altında bulunan herhangi bir duvarın birim uzunluğuna (1m) gelen toprak yükünün hesabında çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Burada, dayandığı teori kompleks olmakla birlikte uygulamada yaygın olarak kullanılması nedeniyle Rankine yöntemine

İstinat duvarının birim uzunluğuna gelen aktif toprak yükü;

$$F_a = ( \gamma_t \cdot h^2 / 2 ) [ (1 - \sin \theta) / (1 + \sin \theta) ]$$

şeklinde elde edilir. Burada  $\theta$  açısı, toprağın çeşidine göre değişen doğal şev açısını göstermektedir.

Toprakların doğal şev açıları ve birim hacim ağırlıkları ilgili mühendislik kitaplarından elde edilebilir.

# MUKAVEMET

**Giriş – Tanım – Kapsam  
Temel Kavramlar**

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Ders Planı

HAFTA	KONU
7	Giriş, Mukavemetin tanımı ve genel ilkeleri Mukavemetin temel kavramları
8	Normal kuvvet
9	Gerilme analizi
10	Şekil değiştirme analizi
12	Kesme etkisi
13	Kirişlerde kesit tesirleri Eğilme etkisi
14	Burkulma etkisi



# GİRİŞ

- ⌘ Bir tarım işletmesinde bitkisel ve hayvansal üretimin gerçekleştirilmesinde, elde edilen ürünlerin verim ve kalitesinin arttırılmasında çeşitli yapı ve tesislere gereksinim duyulur.
- ⌘ Tarımsal yapılarda üretim aşamasında istenen koşulların sağlanabilmesi için iyi bir planlama ve projelendirme yapılması gerekir.
- ⌘ Tarımsal yapılar öncelikle üzerine gelebilecek iç ve dış kuvvetlere karşı dayanıklı olmalıdır.
- ⌘ Bu nedenle bir yapının sağlam ve ekonomik olarak projelendirilmesinde statik ve mukavemet hesapları önemli yer tutmaktadır.

# Mukavemetin tanımı

- ☞ **Mukavemet**, mekaniğin bir kolu olarak, kuvvet etkisindeki cisimlerin şekil değiştirme durumlarını inceler.
- ☞ Bir yapıyı oluşturan taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılmasında bir mühendisin temel görevi, emniyet, ekonomi ve estetik koşullarını sağlamaktır.
- ☞ **Emniyet**, bir yapı için en önemli özelliklerden biridir. Bu nedenle yapı, üzerine gelen yükleri güvenli bir biçimde taşıyacak sistemlere sahip olmalıdır.
- ☞ Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında, yapıya öngörülen yükten bir miktar daha fazla yük etkiyeceği kabul edilir. Böylece olası yük artışlarına karşı önlem alınmış olur.

# Mukavemetin tanımı

- ⌘ Ancak yapılar güvenli tasarlanırken **ekonomik** olma özelliğinden de uzaklaşilmamalıdır.
- ⌘ Aynı biçimde yapıların çevreye uyumlu ve **estetik** olma koşulunun sağlanmasında da ekonomi ve emniyet ön planda tutulmalıdır.
- ⌘ Mukavemet tüm mühendislik dallarının az ya da çok kullandığı mekaniğin bir dalıdır.
- ⌘ Bu nedenle uygulama alanı çok geniştir.
- ⌘ Mukavemet, problemlerin çözümünde mekaniğin farklı alt dallarından yararlanır. Bunlar;
  - *Katı cisimler mekaniği,*
  - *Malzeme mekaniği (reoloji),*
  - *Elastisite kuramı*
  - *Deneysel elastisite* bilim dallarıdır.

# Mukavemetin tanımı

- ☞ Ele alınan cismin boyutlandırılmasında katı cisimler mekaniğindeki denge denklemleri kullanılır.
- ☞ Malzemelerin deneysel olarak belirlenmiş özellikleri, dış yükler etkisi altındaki şekil değiştirme durumunda göz önüne alınır.
- ☞ Elastisite kuramı mukavemete göre denel elastisitenin malzeme hakkında verdiği bilgileri kullanarak çözümler yapar.

# Mukavemetin temel ilkeleri

- ⌘ Mukavemet problemlerinin doğru bir biçimde çözülebilmesi için bazı temel ilkelerin ve kavramların bilinmesi gerekir.
- ⌘ Mukavemet problemlerinin çözümünde, karmaşık durumlar varsayımlarla basitleştirilir.
- ⌘ Bu nedenle bulunan sonuçlar gerçekte yaklaşık değerleri ifade eder.
- ⌘ Statikte olduğu gibi mukavemette de denge kavramı geçerlidir.
- ⌘ Mukavemet, cisimlerin deneysel olarak belirlenen mekanik özelliklerine bağlı kaldığından cisimlerin gerçek davranışını ortaya koyar.

# Mukavemetin temel ilkeleri

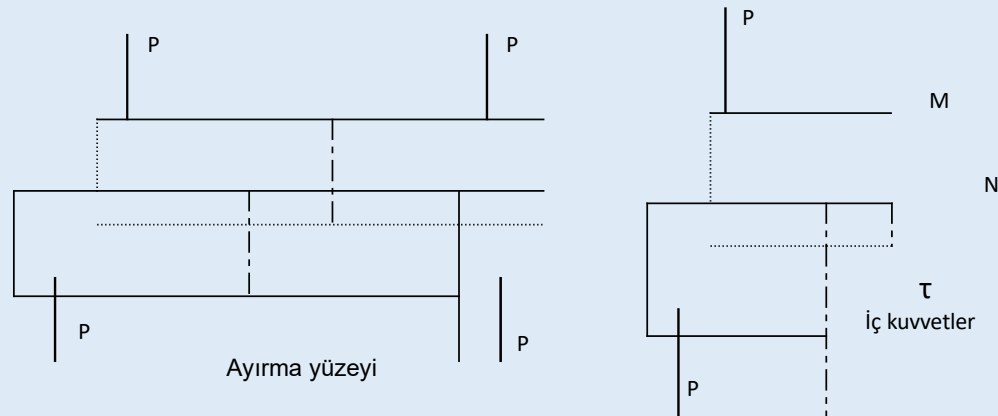
## 1. Katılma İlkesi

- Şekil değiştirebilen cisimler mekaniğinde denge denklemleri şekil değiştirmiş konuma göre yazılır.
- Cisimlerin dış yükler etkisi altında şekil değiştirdikten sonra alacağı son durumun zamanla değişmeyeceği (rijitleşme) varsayılır.
- Bu durumda katı (rijit) cisimlerin statüsünde olduğu gibi denge denklemleri ile tepki ve iç kuvvetler tanımlanır.
- Bu ilke, katı cisimler statüsünü mukavemet ile ilişkilendirmektedir.

# Mukavemetin temel ilkeleri

## 2. Ayırma İlkesi

- Bir cisim mukavemet yönünden incelenirken cismin asıl konumunu bozmamak üzere hayali olarak parçalara ayrılacağı varsayılır.
- Ayırma yüzeylerinde oluşan iç kuvvetler, her bir parçanın statik denge denklemlerinden yararlanarak bulunur.
- Bu durumda ayrılan parça bağımsız bir cisim olarak varsayılır.



# Mukavemetin temel ilkeleri

## 3. Eşdeğerlik İlkesi

- ☞ Katı cisimler mekaniğindeki statik eşdeğerlik ilkesine dayanan kuvvetleri birleştirme, bileşenlerine ayırma, dengede olan bir kuvvetler grubuna kuvvet ekleme ve çıkarma gibi işlemler, mukavemette sınırlı bir biçimde uygulanabilir.
- ☞ Mukavemette statikçe eşdeğer olan kuvvetler, şekil değiştirme yönünden her zaman eşdeğer olmayabilirler.



# Mukavemetin temel ilkeleri

## ∞ 4. *Saint-Venant İlkesi*

- ∞ Bu ilkeye göre, cismin dar bir alanına etkiyen kuvvetler statik eşdeğerleri ile değiştirilirse, bu bölgeden yeteri kadar uzak bir noktada her iki yükleme durumuna ilişkin şekil değiştirme ve kesit tesirleri birbirine yakın ya da birbirinin aynı olur.
- ∞ Statik eşdeğerliğin şekil değiştiren cisimlerde de geçerli olabilmesi için gerekli koşul statik değişiklik dar bir bölge içinde kalmamalı ve göz önüne alınan noktalar bu bölgeden yeter derecede uzakta bulunmalıdır.

# Mukavemetin temel ilkeleri

## 5. Birinci Mertebe Kuramı

- ☞ Cisme etkiyen kuvvetler ya da cismin içyapısı gereği şekil değiştirmeler çok küçük ise, cismin ilk konumu ile şekil değiştirmiş konumunun arasındaki fark çok az olacaktır.
- ☞ Birinci mertebe kuramında, cismin şekil değiştirdiği ve yeni bir konum aldığı düşünülmemekte, ancak bunu ilk duruma çok yakın olduğu kabul edilerek, denge denklemleri şekil değiştirmemiş duruma göre yazılmaktadır.

# Mukavemetin temel ilkeleri

## ∞ 6. Süperpozisyon İlkesi

- ∞ Verilen bir kuvvetler sisteminin etkisi, bu sistemde dengede olan bir diğer kuvvetler sisteminin eklenmesi ya da çıkarılması ile değişmez.
- ∞ Böylece birtakım yüklerin ortak etkisi ile dengede olan sistem ile aynı yüklerin teker teker etki ettiği sistemde aynı iç kuvvet ve şekil değiştirmeler oluşur.

# Mukavemetin temel ilkeleri

- ❧ *İki ayrı durumu üst üste koyma* anlamına gelen bu ilke, birinci mertebe kuramı ve orantılılık sınırları içinde geçerlidir.
- ❧ Yani, bu ilkenin geçerli olabilmesi için şekil ve yer değiştirmelerin küçük olması ve cisimlerin Hooke kanununa uygun bir şekilde şekil değiştirmesi gerekmektedir.

P

A

(a)

$f_1$

P

(b)

$f_2$

P

P

(c)

f

# MUKAVEMET DERSİ

(Temel Kavramlar)

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Mukavemetin Temel Kavramları

- ⌘ Projede öngörülen dış yükleri emniyetli bir biçimde taşıyan cisimlere *taşıyıcı sistemler* adı verilir.
- ⌘ Taşıyıcı sistemler yükleme durumlarına ve yük taşıyan boyutlarına göre, *çubuk*, *plak*, *levha* ve *kabuk* olarak sınıflandırılabilir.
- ⌘ *Çubuklar*, tek boyutlu taşıyıcı sistemler olarak ele alınmaktadır.
- ⌘ Çubuk, iki boyutu üçüncü boyutuna göre küçük olan cisimdir.
- ⌘ Bir çubukta *eksen (tarafsız eksen)*, *boy (L)* ve *en kesitin (dA)* bilinmesine gereksinim vardır.

# Mukavemetin Temel Kavramları

- ∞ Eksen, en kesitin ağırlık merkezinden dik olarak geçer.
- ∞ Kiriş ve kolonlar **doğru eksenli**, halka ve kemerler ise **eğri eksenli çubuklar** olarak tanımlanır.
- ∞ En kesit, eksene dik olarak alınan kesiti ifade eder.
- ∞ Çubuklar sabit ya da değişken kesitli olabilirler.

*Sabit ve değişken kesitli çubuklar*

# Mukavemetin Temel Kavramları

- ⌘ *Plak ve levha*, kalınlıkları diğer boyutlarına göre çok küçük olan cisimlerdir.
- ⌘ Düzlem yüzeyine dik olarak yük taşıyan cisimlere **plak**, düzleme dik yük taşıyan cisimlere ise **levha** adı verilir.
- ⌘ *Kabuk* ise, orta yüzeyi eğrisel olan taşıyıcı sistemdir. Kabuk sistemler, silindirik, hiperbolik, küresel tiplerde olabilir.

*Levha*

*Kabuk*



# Gerilme

- ∞ Dış kuvvetler, etkileri ~~altındaki cismin moleküllerine~~ ~~etkilemeye~~ ve kaydırmaya çalışırlar. Bu etki karşısında cismin molekülleri yer değiştirerek denge konumlarını korumaya çalışır.
- ∞ Cismin moleküllerinin oluşturduğu bu kuvvetlere *iç kuvvetler* adı verilir.
- ∞ İç kuvvetlerin cismin birim en kesit alanına etkiyen miktarı ise *gerilme* olarak adlandırılır.
- ∞ **Gerilme**, iç kuvvetin herhangi bir noktadaki dağılım şiddeti olarak da tanımlanabilir.
- ∞ Dış kuvvetler, etki ettiği cismin en kesit alanına dik gerilmeler oluşturuyorsa bunlara *normal gerilme* ( $\sigma$ ), kesit alanına paralel gerilmeler oluşturuyorsa *teğetsel gerilme* ( $\tau$ ) adı verilir.

# Gerilme

- ⌘ Cismi basmaya ve çekmeye çalışan gerilmeler normal gerilmelerdir.
- ⌘ Teğetsel gerilmeler ise en kesit yüzeyi üzerinde cismi kaydırmaya ya da kesmeye çalışan gerilmelerdir.
- ⌘ *Basma gerilmesi*, cismi ezmeye ve boyunu kısaltmaya çalışan kuvvete karşı oluşan içsel dirençtir.
- ⌘ Özellikle kolon, duvar ve temelerde görülür.
- ⌘ *Çekme gerilmesi*, cismi koparmaya ve boyunu uzatmaya çalışan kuvvete karşı oluşan içsel dirençtir.
- ⌘ Özellikle kirişlerin, döşemelerin ve merdivenlerin alt kısımlarında ortaya çıkar.

# Gerilme

- ∞ *Kayma (kesme) gerilmesi*, cisme ait kesitin iki yüzeyini birbirini üzerinde kaymaya zorlayan kuvvete karşı oluşan içsel dirençtir.
- ∞ Daha çok kirişlerde ortaya çıkan içsel bir dirençtir. Mesnet tepkisi ve kiriş ağırlığı etkisi ile oluşan ters yönlü kuvvet çifti bir kesme kuvveti oluşturur.

# Şekil ve Yer Değiştirme

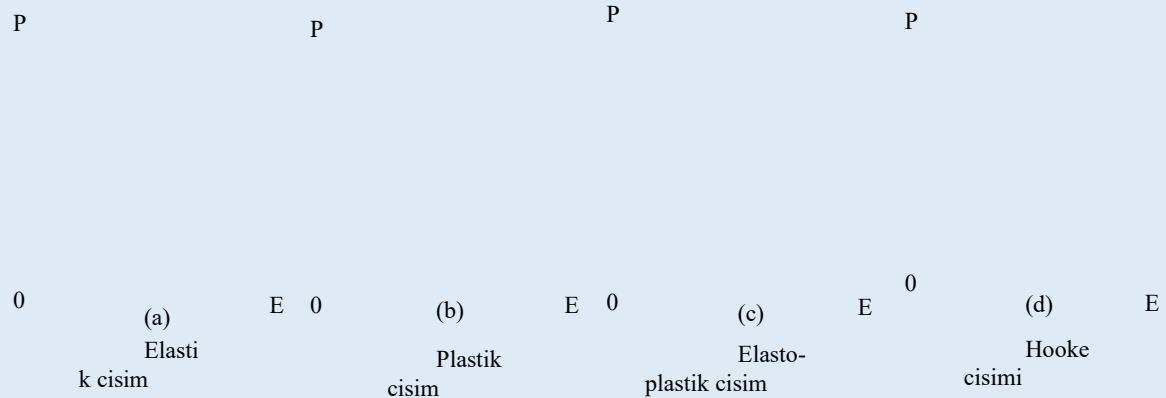
- ∞ Dış kuvvetlerin etkisi ile cismin molekülleri yer değiştirir. Bu durumda cisimde şekil değiştirmeler meydana gelir.
- ∞ Cisimlerin şekil ve yer değiştirmeleri, uzunluklarındaki ve açı durumlarındaki değişimlerinin belirlenmesi ile hesaplanabilir.
- ∞ Normal gerilmeler uzunluklarda, kayma (kesme) gerilmeleri açısal olarak şekil ve yer değiştirmeye neden olur.

# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri

- ∞ Kuvvetin uygulama öncesi ve sonrası ile ortadan kalkması durumlarında cisimdeki şekil değiştirmeler malzeme özelliklerine göre farklılık gösterir.
- ∞ Dış yüklerin kaldırılması durumunda cisimdeki şekil değiştirme tamamen geri dönebiliyorsa bu tür cisimlere **elastik cisim** adı verilir.
- ∞ Dış yük etkisi ortadan kalktıktan sonra şekil değiştirmenin aynen kaldığı cisimlere de **plastik cisim** denir.

# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri

- ∞ Uygulamada kullanılan cisimler tam elastik ya da tam plastik özellik göstermezler. Bu cisimlerde dış yük etkisi kalktığında şekil değiştirmenin bir kısmı kalırken diğer kısmı geri döner. Bu durumdaki cisimlere ise **elasto-plastik cisim** adı verilir.



# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri

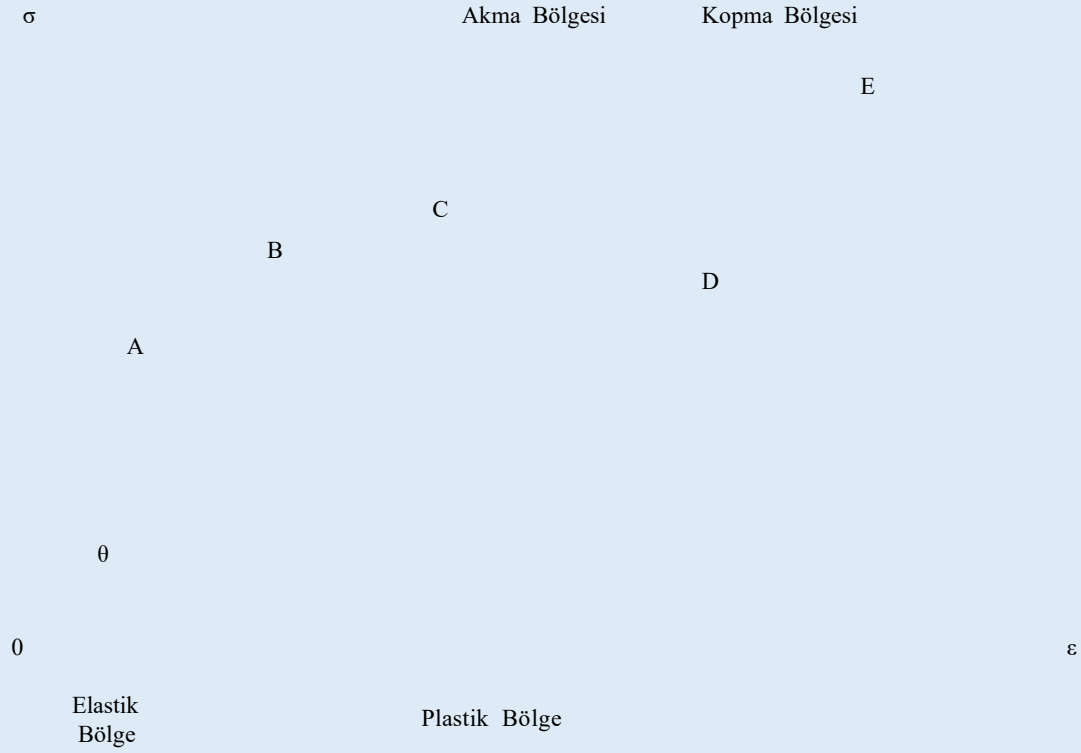
- ☞ Cisimlerin içyapılarının karmaşık olması nedeniyle özelliklerinin belirlenmesinde daha çok deneysel yöntemler kullanılır.
- ☞ *Statik deneylerde* cisme uygulanan dış kuvvetler yavaş yavaş artırılır. Artan yük altında malzemedeki değişimler gözlemlenir.
- ☞ *Dinamik deneylerde* ise ortam koşulları ve yüklemelerde ani değişiklikler oluşturularak cismin davranışı ve değişimi belirlenir.
- ☞ *Çekme deneyi*, malzemelerin farklı yükleme koşullarında, şekil ve yer değiştirmeleri ile dayanım sınırlarını belirlemek amacıyla yapılır.

# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri

- ☞ Deneysel bir ortamda yapı çeliğine uygulanan çekme kuvveti sonucu, artan yükleme koşulları altında, belirli bir sınıra kadar uygulanan kuvvet miktarı ile uzama arasında doğrusal bir ilişkinin bulunduğu, *Robert Hooke (Hooke Kanunu)* tarafından ortaya atılmıştır.
- ☞ Kuvvet ile şekil değiştirme arasındaki ilişkinin doğrusal (lineer) olduğu cisme **Hooke cismi** adı verilir.
- ☞ Bu kanuna göre “*kuvvet ne kadar ise uzama da o kadardır*” denilir.
- ☞ Ancak cismin, dış kuvvetin belirli bir büyüklük sınırı aşılınca Hooke cismi özelliği göstermesi mümkün değildir. Bu sınır değerine **orantılılık sınırı** adı verilir.



# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri



**Hooke Diyagramı**

# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri

- ∞ Diyagrama göre orantılılık sınırına (A) kadar olan bölgeye **orantılılık bölgesi** adı verilir.
- ∞ Bu bölgede kuvvetin etkisi ile şekil değiştirme oranı doğru orantılı olarak artacaktır.
- ∞ Bu sınırın hemen yanındaki B noktasına kadar, uygulanan yük kaldırıldığında cisim ilk durumuna geri dönebilmektedir.
- ∞ Bu noktadan sonra cismin elastiklik özelliği kaybolmakta ve farklı şekil değiştirmeler oluşmaktadır. Bu nedenle B noktasına **elastiklik sınırı** adı verilir.

# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri

- Projelemede malzemelerin yükler karşısındaki tepkilerinin belirli olması gerekir.
- Diyagramda C noktasından sonra yük artırılmasa bile cismin boyunda uzamalar ve kesitinde incelmeler görülür. C noktasında malzeme akışa geçtiğinden bu noktaya **akma sınırı** ve bu sınırdaki dayanımın değerine de **maksimum gerilme** adı verilir.
- D noktasında ise cisim, kesit azalmasından dolayı kopmuştur. Bu nedenle D noktasına **kopma noktası** adı verilir.
- Cismin kopmaya kadar olan uzamasının ilk boyuna oranına **kopma uzaması** denir.
- Kopma uzaması değeri küçük olan malzemeye **gevrek**, bu değer büyük olduğu malzemeye ise **sünek (düktil) malzeme** adı verilir.

# Katı Cisimlerin Mekanik Özellikleri

- ☞ Hooke diyagramına göre, malzemenin emniyetli olarak taşıyabileceği en fazla yük A noktasına kadardır. Hesaplamalarda A ile B çakıştırılır ve bu noktadaki gerilme malzemenin *maksimum gerilmesini* ( $\sigma_{max}$ ) ifade eder.
- ☞ Yapı elemanlarının projelendirilmesinde malzemede maksimum gerilmenin altındaki bir değerin oluşacağı kabul edilir. Bu değere *emniyet gerilmesi* adı verilir.
- ☞ Malzemede gerçek koşullarda oluşacak gerilme, emniyet gerilmesi değerinin altında olmalıdır. Maksimum gerilmenin emniyet gerilmesine oranına *emniyet katsayısı* adı verilir.

# Yararlanılan Kaynaklar

- ∞ Girgin, İ., Beyribey, M., 1990. *Mukavemet*. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 1191, Ders Kitabı: 341, Ankara.
- ∞ Omurtag, M., 2012., *Mukavemet I*. Birsen yayınevi, İstanbul, 472s.

# MUKAVEMET DERSİ

## Normal Kuvvet

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Normal Kuvvet

- ☞ Çubuk kesitine dik olarak etki eden kuvvete *normal kuvvet* adı verilir.
- ☞ *Normal gerilme*, cismin kesit düzlemine yayılı bir iç kuvvettir.
- ☞ Eksenel normal kuvvet çekme etkisi yapıyorsa normal gerilme *pozitif*, basma etkisi yapıyorsa normal gerilme *negatif* işaret alır.
- ☞ Normal kuvvet etkisindeki bir çubukta başlangıçta dik olan kesitler, şekil değiştirme sonunda da dik kalacak biçimde rijit olarak yer değiştirirler. Prizmatik çubuk ( $L_0$ ) eksenel normal kuvvet  $N$  etkisi ile  $\Delta L$  kadar uzar. Çubuktaki uzama oranı:

# Gerilme-Şekil değiştirme ilişkisi

- Gerilme ve şekil değiştirme arasında bir ilişki vardır. Gerilme, cisimde az ya da çok şekil değiştirmeye neden olur.
- Deneysel olarak, normal gerilme ile uzama oranı arasında, malzemenin *elastisite modülüne* bağlı olarak doğrusal bir ilişki vardır.
- Elastisite modülü (E)*, malzemedeki malzemeye değişen, deneysel olarak belirlenen bir sabittir. Buna göre herhangi bir çubuktaki şekil değiştirme miktarı;

$$\begin{aligned} \varepsilon_z &= \frac{\Delta L}{L} \\ \varepsilon_z &= \frac{\sigma_z}{E} = \frac{N}{A E} \\ &\times \end{aligned} \quad \Delta L = \frac{N \times L}{A \times E}$$



# Isı Etkisi

- ∞ Cisimlerde ısı etkisi ile boyutsal ve hacimsel değişimler oluşur.
- ∞ Sıcaklığın artmasıyla genleşme, sıcaklığın azalması ile büzülme ortaya çıkar. Bu durumda ısısal uzama oranı;

$$\varepsilon_t = \alpha_t \times \Delta t$$

$\alpha_t =$  ısısal genleşme katsayısı,  $1/^\circ\text{C}$

$\Delta t =$  sıcaklık değişimi,  $^\circ\text{C}$

- ∞ Buna göre çubuktaki boy değişimi:

$$\Delta L_t = \alpha_t \times (\Delta t) \times L$$

ile hesaplanır.

# Isı Etkisi

- ⌘ Eğer sıcaklık değişimi ile çubuk boyunun uzaması ya da kısalması sınırlanmaz ise çubukta normal gerilme oluşmaz.
- ⌘ Şekil değiştirmeye karşı sınırlandırılan çubuklarda ısısal gerilmeler oluşur.
- ⌘ Isısal normal gerilme;

$$\sigma_t = -E \times \alpha_t \times \Delta t$$

- ⌘ ile hesaplanır. Bağlıntıdaki eksi işaretinin anlamı; cisim zorlandığından  $\Delta t > 0$  ise  $\sigma_t < 0$  (basma gerilmesi),  $\Delta t < 0$  ise  $\sigma_t > 0$  (çekme gerilmesi) meydana gelmesidir.

# Yararlanılan Kaynaklar

- ☞ Girgin, İ., Beyribey, M., 1990. *Mukavemet*. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları: 1191, Ders Kitabı: 341, Ankara.
- ☞ Omurtag, M., 2012., *Mukavemet I*. Birsen yayınevi, İstanbul, 472s.

# MUKAVEMET DERSİ

## Gerilme Analizi

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Gerilme Analizi

- Normal kuvvet etkisindeki çubuklarda çubuk en kesitinde oluşan gerilme;

olarak hesaplanır.

- Eğik kesitlerde oluşan gerilmelerde ise; dış kuvvetler bir cismin O noktasında herhangi bir şekilde yönelmiş bir yüzey parçacığında, elemanın bir tarafındaki madde diğer taraftaki parçaya bir N gerilmesi iletmekte ve genel olarak bu gerilme vektörü eğik konumda olmaktadır.
- N gerilmesinin iki bileşeni vardır. Bunlar sırasıyla **normal gerilme ( $\sigma$ )** ve **teğetsel gerilmedir ( $\zeta$ )**.

# Gerilme Analizi

↻ Buna göre bütün yüzeylerdeki gerilme vektörü  $N$  bir normal gerilme ve aralarında dik açı oluşturan ve normal gerilmeye dik bir düzlem içinde bulunan iki teğetsel gerilmeyle belirtilir.

↻ Mukavemette bir noktadan geçen bütün yüzey parçacıklarındaki gerilmeleri belirtmek için verilmesi gerekli değerlerin hepsi birden tek bir büyüklük olarak düşünülür ve buna o noktanın **gerilme hali** denir.

# Gerilme Analizi

∞ Gerilme durumları;

- Bir eksenli gerilme durumu

- İki eksenli gerilme

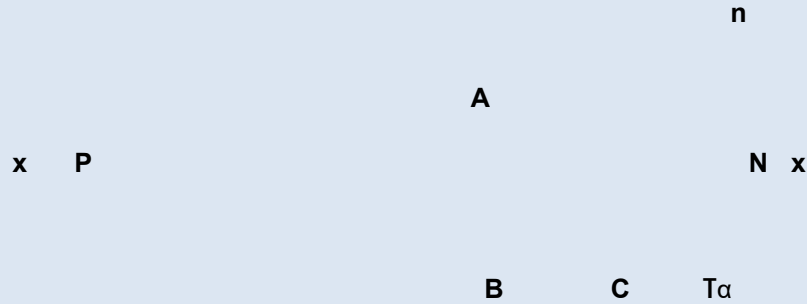
durumu

- Üç eksenli gerilme durumu

olmak üzere 3 farklı sistemde ele alınır.

# 1. Bir eksenli gerilme durumu

- ⌘ Bir eksenli gerilme durumu çekme ya da basınca maruz prizmatik çubuk veya kirişlerde normal  $x$  eksenine ile bir  $\alpha$  açısı yapan eğik düzlemler için söz konusudur.
- ⌘ Eğik düzlemlerde meydana gelen gerilmeyi hesaplamak için aşağıdaki şekli göz önüne alalım;





# 1. Bir eksenli gerilme durumu

- ∞ Eğik kesitteki normal gerilmelerin bileşkesini  $\sigma_n$  ile kayma gerilmesinin bileşkesini ise  $\tau_\alpha$  ile gösterelim. Buna göre normal ile  $\alpha$  açısı yapan düzlemde normal gerilmeyi ve kayma gerilmesini veren formüller;

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x}{2} + \frac{\sigma_x}{2} \times \cos 2\alpha$$
$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x}{2} \times \sin 2\alpha$$

- ∞ Gerilmelerin işaretleri normal gerilmede çekme halinde (+) pozitif, basınç halinde (-) negatiftir. Kayma gerilmelerinde ise, kayma gerilmeleri elemanı saat ibresi yönünde çevirmeye çalışıyorsa pozitif, aksi durumda negatiftir.

# 1. Bir eksenli gerilme durumu

## ☞ Grafik çözüm;

- ☞ Analitik yolla hesaplanan gerilmeleri grafik yolla hesaplamak için değişik çözümler bulunmaktadır.
- ☞ En basit grafik gösterimi **MOHR** tarafından verilmiştir.
- ☞ Bu yöntemde esas; bir kesitteki normal ve kayma gerilmelerini anılan noktanın apsis ve ordinatı olarak kabul etmek ve açısı değiştikçe bu noktanın geometrik yerini aramaktır.

# 1. Bir eksenli gerilme durumu

- Normal ve kayma gerilmesi denklemlerinde  $\alpha$ 'yı yok etmek için, her iki denklemin kareleri alınıp taraf tarafa toplanırsa, apsisi  $\sigma_n$ , ordinatı  $\tau_\alpha$  olan noktaların geometrik yeri olan daireyi verir. Bu daireye **Mohr dairesi** denir.
- Mohr dairesi şu aşamalarda çizilir:
  - Önce a ( $\sigma_x$  ; 0) ve b ( 0 ; 0) noktalarını çap kabul eden daire çizilir.
  - C noktasının yerini bulmak için Mohr dairesinde bilinen a düzlemini c düzlemine çakıştırmak için saat ibresinin tersi yönünde  $2\alpha$  açısı kadar döndürmek gerekir.
  - Bulunan c noktasının apsisi c noktasındaki normal gerilmeyi, ordinatı ise kayma gerilmesini verir.

## 2.İki eksenli gerilme durumu

- ∞ Bir çubuk içindeki elemana birbirine dik iki doğrultuda  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  normal gerilmeleri etki edebilir.Buna **iki eksenli gerilme durumu** denir.
- ∞ İki eksenli gerilme hali kayma gerilmesiz hal ve kayma gerilmeli hal olmak üzere iki durumda incelenebilir.
- ∞ İki eksenli gerilme durumunda normal ve kayma gerilmeleri, x ve y eksenleri için ayrı ayrı elde edilen denklemlerin süperpozisyon ilkesi uyarınca, (tek eksenli iki gerilme durumu) toplanması ile hesaplanabilir.

## 2. İki eksenli gerilme durumu

∞ Buna göre kayma gerilmesiz durum

için;

$$\sigma_n = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \times \cos 2\alpha$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \times \sin 2\alpha$$

*x*

∞ Kayma gerilmeli durumda asal gerilmeler:

$$\sigma_{\max \min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_x^2}$$

$$\tau_{\max \min} = \pm R = \pm \sqrt{\left( \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_x^2}$$

# MUKAVEMET DERSİ

## Şekil Değiştirme Analizi

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Şekil değiştirme analizi

- ⌘ Gerilmeler doğrudan ölçülemez. Ancak ölçülen deformasyon değerinden yararlanılarak hesaplanabilir.
- ⌘ En büyük gerilmeler, en büyük şekil değiştirmesinde meydana gelir. En büyük birim deformasyonların bilinmesi için cisim ayırma ilkesine göre küçük parçalara ayrılır. Ve seçilen bir koordinat sisteminin düzlemlerine paralel alınır.
- ⌘ Böylece seçilen koordinat sistemine göre birim deformasyonlar (uzamalar) bilinirse, herhangi bir koordinat sistemine göre oluşacak birim deformasyonlar da hesaplanabilir. Buna **şekil değiştirme transformasyonu** denir.

# Şekil değiştirme analizi

∞ Şekil değiştirmenin iki hali vardır:

1. Düzlem şekil değiştirme
2. Hacimsel şekil değiştirme

## 1. Düzlem şekil değiştirme

∞ Bir x-y koordinat sisteminde belirtilen prizmatik bir düzlem elemanın  $\epsilon_x$  ,  $\epsilon_y$  ve  $\gamma_{xy}$  deformasyonlarını yaptığını kabul edelim. Deformasyon vektörleri, değişim öncesi ve sonrasında aynı düzleme paralel düzlemler içinde kalıyorsa, bu şekil değiştirme haline **düzlem şekil değiştirme hali** denir.



# Şekil değiştirme analizi

## 2. Hacimsel Şekil değiştirme

- Basit çekme halindeki çubukta birim  $\epsilon_x$  uzama miktarı gerilmenin malzemenin elastiklik modülüne oranı ile elde edilir.
- Eksenel yüke maruz bir yapı elemanında yanıl doğrultuda da boyut değişmesi olur. Yanıl Şekil değiştirme sayısının, eksenel Şekil değiştirme sayısına oranı **poisson oranını** ( $\mu = \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x}$ ) verir.
- Hacimsel Şekil değiştirmede x eksenini doğrultusunda uzama, y ve z eksenleri doğrultusunda kısıalma ve daralma meydana gelir. ( $\epsilon_x \rightarrow$  uzama,  $\epsilon_y \rightarrow$  kısıalma,  $\epsilon_z \rightarrow$  daralma)

$$\epsilon_y = \epsilon_z = -\mu \cdot \epsilon_x$$

$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_y}{-\mu} \Rightarrow \epsilon_y = \epsilon_z = -\mu \epsilon_x$$

# Şekil değiştirme analizi

∞ Birim hacim değişmesi

$$\varepsilon_v = \Delta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$\varepsilon_v = -\mu - \mu = (1 - 2\mu) \geq 0$$

∞ Genel Hooke Kanunu

Hacimsel şekil değiştirmede üç eksenli gerilme hali tek eksenli duruma getirilerek, denklem şeklinde yazılırsa,

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [ \sigma_x - \mu (\sigma_y + \sigma_z) ]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [ \sigma_y - \mu (\sigma_x + \sigma_z) ]$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [ \sigma_z - \mu (\sigma_x + \sigma_y) ]$$

# Kesme Etkisi

# Kesme etkisi

- Herhangi bir çubuğu eksenine dik olarak bir Q yükü ile yüklediğimizde bu kuvvetin çubuğu iki parçaya ayırdığını düşünelim.
- Kesit yüzeyinde üniform olarak dağılan gerilmelere kayma veya kesme gerilmesi denir ve

$$T = Q / A$$

şeklinde ifade edilir.

- $T =$  Kayma (kesme) gerilmesi (kg/cm<sup>2</sup>)
- $Q =$  Kesme kuvveti (kg)
- $A =$  Kesit alanı (cm<sup>2</sup>)

# Kesme etkisi

∞ Kesme gerilmesi için kesme emniyet gerilmesi

$T_{em} = 0.8 \sigma_{em}$  olarak kabul edilir. Hesaplamalarda kesitte oluşan kesme gerilmesinin  $\sigma_{em}$  den küçük olması şartı kontrol edilir.

∞ Kesme gerilmesinin uygulamada önemi büyüktür. Saç levhaların kesilmesi, delinmesi veya saç levhadan presle bir parça çıkartılması ile çelik ve ahşap yapı elemanlarının birbirlerine bağlanmalarına ilişkin hesaplamalarda kesme gerilmesinin belirlenmesi gerekir.

# Delik basınç gerilmeleri

- ∞ Harekete zorlanan levhalar, perçinlerin levhalar içinde kalan kısımlarına hareket doğrultusunda basınç yaparlar.
- ∞ Etki-tepki prensibine göre levhaların perçinlere ve perçinlerin de levhalara basınçları birbirlerine eşittir.
- ∞ Perçinlerin levhalar içinde kalan yüzeylerine veya levhaların delik kesitlerine etki eden basınca **Delik basıncı** veya birim alana isabet eden bu basınca da **Delik basınç gerilmesi** adı verilir ve  $\sigma_L$  ile gösterilir.

$$\sigma_L = P / d \cdot t$$

d= perçin çapı

t = Levha kalınlığı

# MUKAVEMET DERSİ

## Kesme Etkisi

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Ekyeri ve Bağlantılar

- Yapı analiz ve projelenmesinde son aşama, yapı unsurlarının ekyeri ve bağlantılarının projelenmesi ve detaylandırılmasıdır.
- Ekyerlerinin oluşturulmasında dikkat edilecek nokta ekyerinde eğilme gerilmelerinin oluşmasını önlemektir. Bunun için söz konusu elemanın boylamasına eksenlerinin ekyerinde tek bir noktada birleşmesi gerekir. Örneğin, perçin veya kaynaktan yararlanılıyorsa bunların oluşturduğu grupların ağırlık merkezleri tarafsız eksen üzerinde olmalıdır.



# Ekyeri ve Bağlantılar

∞ Çelik yapı elemanlarının birleştirilmesi iki şekilde yapılabilir.

**1.Sökülemeyen ekyerleri:** Bunlar daha çok perçinli ve kaynaklı olan birleşimlerdir.

**2.Sökülebilen ekyerleri:** Bulon veya cıvata ile yapılan birleşimlerdir.

∞ **Perçinler:** Çelik elemanların birleştirilmesinde en çok kullanılan birleştirme araçlarından biridir.

∞ Perçinler yuvarlak demirlerden hazırlanan silindirik gövdeli başlıktan oluşur ve birleşim yerlerinde vurularak deliğe yerleştirilir.

∞ Eklenecek parçalarda perçin çapına uygun şekilde karşılıklı delik açılır. Isıtılan perçin elle veya makine ile dövülerek ikinci baş oluşturulur.

# Ekyeri ve Bağlantılar

- Perçinler kesmeye çalışarak birleştirdikleri elemanlar arasında kuvvet aktarırlar. Kuvvetin perçin gövdesine geçişte delik cidarı ile perçin gövdesi arasında ezilme gerilmeleri meydana gelir.
- Kaymaya çalışan yüzeylerin sayısına göre **tek tesirli** veya **çift tesirli** olarak ikiye ayrılırlar.

# Ekyeri ve Bağlantılar

## ∞ Tek tesirli perçinler:

Tek tesirli perçin hesaplamalarında üç şart vardır.

1. Perçinlerin kesilmemesi şartı:

$$N_1 = \frac{\pi \times d^2 \times \tau}{4} \times em$$

2. Perçinin levhayı ezmemesi şartı:

$$N_2 = d \times t_{\min} \times \sigma_{lem}$$

3. Çekme çubuğunun kuvveti emniyetle taşıyıp taşıyamadığı kontrol edilir.

$$\sigma_{em} = P / A_{net}$$

Net alan perçin zayıflaması çıkarıldıktan sonra bulunan alandır.

# Ekyeri ve Bağlantılar

- ⌘ **Kaynaklı birleşimler:** elik yapı elemanlarının birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılır.
- ⌘ İki elik elemanı birbirine bağlayan kaynak parçalarına **Dikiş** denir.
  1. **Ucuca dikişler:** Aynı yönde devam eden parçaların uçları kaynatılarak oluşturulan dikişlerdir.
  2. **Aı kaynağı:** Birbirine dik veya eğik olarak bağlanan parçaların birleştirilmesinde uygulanır.

# Ekyeri ve Bağlantılar

☞ Kaynak hesaplamalarında dikkat

edilecek noktalar: 1. Dikiş kalınlığı (a) en az 3mm veya  $a=0.7 t_{\min}$  olmalıdır. 2. Dikiş boyu;  $L= L' - 2a$  şeklinde hesaplanır. Ayrıca

kaynak boyu  $15a \leq L \leq 60a$  arasında olmalıdır.

3. Kaynak alanı  $A_k = a \cdot L$  şeklinde hesaplanır.

4. Kaynak hesaplarında emniyet gerilmeleri:

Çekme durumunda  $f_{em} = 0.75 \sigma_{em}$

Basma durumunda  $f_{em} = 0.85 \sigma_{em}$

Eğilme durumunda  $f_{em} = 0.80 \sigma_{em}$

Kesme durumunda  $f_{em} = 0.65 \sigma_{em}$

# Ekyeri ve Bağlantılar

- ∞ Ahşap yapı elemanlarında kullanılan birleşimler dişli ve yuvalı birleşimler adını alır. Birleşim araçları ise çiviler, bulonlar, kamalar ve tutkallardır.
- ∞ Dişli ve yuvalı birleşimler tek dişli ve çift dişli birleşimler şeklinde olabilir. Bu birleşimler genellikle çatı makaslarının mesnet ve düğümlerinin bağlanmasında kullanılır.
- ∞ Çivili bağlantılar kesmeye çalışıklarından tek ve çift tesirli olarak hesaplanırlar.

**(Kesit Tesirleri)**

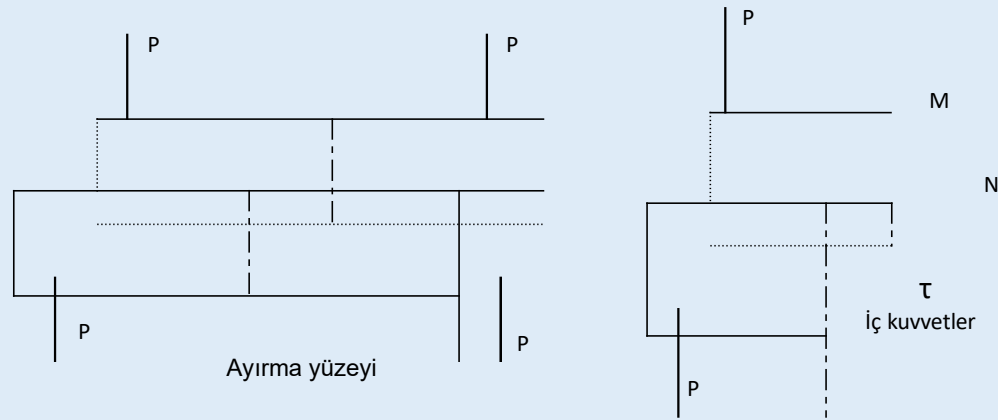
# Kesit tesirleri

- ⌘ Dış kuvvetlerin etkisindeki taşıyıcı sistemlerin elemanlarında oluşan iç kuvvetlerin incelenmesi, mukavemet problemlerinin çözümünde birinci adımdır.
- ⌘ İç kuvvetler cisimlerin ya da taşıyıcı sistem elemanlarının kendi parçaları arasındaki etki ve tepkilerdir.
- ⌘ Bir basit kirişi göz önüne aldığımızda kirişin mesnedinde oluşan tepki kuvvetleri denge denklemleri ile bulunabilir. Kirişin herhangi bir C noktasında oluşan iç kuvvetlerini bulabilmek için bu noktadan hayali bir kesit düzlemi ile iki parçaya ayrılması gerekir.



# Kesit tesirleri

∞ Kirişin sol parçasını dikkate alırsak denge budur parçanın dengede bulunması için ara kesitte yatay ve düşey dik kuvvet bileşenleri ile bileşke kuvvet çifti momentinin göz önüne alınması gerekir. Bunlar iç kuvvetlerdir.



∞ Burada  $N$  kuvveti, çubuk eksenine paralel olduğundan bu kuvvete **normal kuvvet** denir.

# Kesit tesirleri

- ⌘ T kuvveti, çubuk eksenine dik doğrultuda olup kirişi kesmeye çalıştığından bu kuvvete **kesme kuvveti** adı verilir.
- ⌘ M momenti ise, kirişi eğmeye çalıştığından bu momente de **eğilme momenti** denir.
- ⌘ İç kuvvetlerin kesit üzerindeki dağılışı **gerilme**, kesitin ağırlık merkezinde uygulanan ve kesit içinde dağılmış gerilmelerin toplamını ifade eden iç kuvvetlere **kesit tesiri** denir.
- ⌘ Bir eleman içinde belirli bir noktadaki iç kuvvetler bulunurken kesim yönteminin uygulanmasında mesnet tepkilerinin bulunması, serbest cisim diyagramlarının çizimi ve denge denklemlerinin uygulanması aşamaları sırasıyla izlenir.

# Bir kirişte kesme kuvveti ve eğilme momentleri diyagramları

- ⌘ Bir kirişte, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri genellikle bir noktadan diğer bir noktaya değişiklik gösterir.
- ⌘ Mühendislik uygulamaları açısından kesit tesirlerinin en büyük değerleri ve bunların etki ettiği kesit son derece önemlidir.
- ⌘ Kirişlerin analiz ve projelenmesinde, kiriş üzerine etki eden dış yüklerin büyüklükleri ve etki ettikleri noktaların yeri çok önemli olmayıp, ortaya çıkardıkları kesit tesirleri yönünden önem kazanırlar.

# Bir kirişte kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları

- ∞ Bu nedenle, kirişlerin analiz ve projelenmesinde öncelikle kesit tesirlerinin kiriş eksenini boyunca bu eksene dik koordinatlarda değişimlerinin gösterilmesi gerekir.
- ∞ İşte kiriş eksenini boyunca kesit tesirlerinin değişimini gösteren eğrilere **kesit tesirleri diyagramları** adı verilir. Daha açık bir şekilde ifade etmek gerekirse, kesme kuvvetinin değişimini gösteren eğriye **kesme kuvveti diyagramı**, eğilme momentinin değişimini gösteren eğriye de **eğilme momenti diyagramı** denir.

# Bir kirişte kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları

- ∞ Kesit tesirleri diyagramlarının çiziminde izlenilecek aşamalar şunlardır;
- Mesnet tepkilerinin bulunması
  - Kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin hesaplanması
  - Kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramlarının çizimi

# MUKAVEMET DERSİ

## Eğilme Etkisi

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Kirişlerin analizi

- ∞ Kirişler eksenine dik yük taşıyan yapı elemanlarıdır.
- ∞ Kirişlerin analiz ve projelenebilirliklerinde üzerlerine gelen yüklerin etkisi altındaki kesme, eğilme ve sarkma karakteristikleri ile ortaya çıkan gerilmelerin iyi bir şekilde anlaşılması zorunludur.
- ∞ Bu nedenle kirişlerin analiz ve projelenebilirliğinde öncelikle kirişin mesnetlenme ve yükleme durumuna bağlı olarak açıklığı boyunca kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerinin değişimini gösteren kesit tesiri diyagramlarının çizilmesi gerekir.
- ∞ Bu diyagramlarda maksimum kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin bilinmesi oldukça önemlidir.

# Kirişlerin analizi

## ☞ Kirişlerde eğilme etkisi

- ☞ Her iki ucundan  $M$  eğilme momentine maruz bir çubuğun eğilmesine basit eğilme denir.
- ☞ Eğilmeden dolayı üst lifler kısalırken ( $K'L'$ ) alt liflerin boyu ( $E'F'$ ) uzamaktadır.
- ☞ AC lifinin boyunda ise değişiklik olmamaktadır. AC lifinin bulunduğu düzleme **tarafsız düzlem**, bulunduğu eksene de **tarafsız eksen** denir.



# Kirişlerin analizi

- ∞ Çubuğun kesitine etki eden iç kuvvetlerin  $M$  dış momentini dengelemesi gerekir.
- ∞ Basit eğilme etkisindeki bir kirişte gerilme;

$$\sigma = \frac{M}{I_{\max}}$$

- ∞ Maksimum eğilme momentinin kesit modülüne (**mukavemet momenti**) bölünmesi ile elde edilir. Bu durumda ortaya çıkan gerilme malzemenin eğilme emniyet gerilmesinden küçük olmalıdır.
- ∞ Dikdörtgen kesitli kirişlerde kesit modülü;

$$Z = \frac{b \times h^2}{6}$$

bağıntısından bulunur.

# Kirişlerin analizi

## ∞ Kirişlerde kesme etkisi

- ∞ Düşey yük etkisi altında bir kirişte, kesite dik normal gerilmelerden başka kesite paralel bir gerilme de ortaya çıkar. Bu gerilmeye **kayma gerilmesi** denir.
- ∞ Eğer kiriş üzerine gelen yüklerin etkisi altında statik dengesini koruyor ise, herhangi bir hareket gerçekleşmediğinden kesitte ortaya çıkan kayma gerilmeleri kesitteki kesme kuvvetini karşılar.
- ∞ Bu durumda düşey kesme kuvvetine karşı koyan, iç kesme gerilmelerinin kesit yüzeyinde düzgün bir şekilde dağıldığı kabul edilir.
- ∞ Gerçekte kirişlerde ortaya çıkan kesme gerilmeleri kesit boyunca düzgün bir şekilde dağılmaz. Yatay kesme gerilmesinin değeri, kirişin tarafsız yüzeyinde maksimum, alt ve üst yüzeylerinde ise sıfırdır.

# Kirişlerin analizi

- Homojen malzemedен yapılmış dikdörtgen kesitli kirişlerde maksimum kayma gerilmesi;

$$\tau = 1.5 V / A \quad \text{dır.}$$

- Eşitlikteki  $V/A$  terimi kiriş kesitindeki ortalama kayma gerilmesini temsil etmektedir.
- Bu durumda herhangi bir kiriş kesitindeki maksimum yatay kesme gerilmesi, o kesitteki ortalama düşey kesme gerilmesinin 1.5 katına eşit olmaktadır.

# Kirişlerin analizi

## ∞ Kirişlerde sarkı:

- ∞ Mühendislikte kiriş hesaplamaları yapılırken dış yüklerin oluşturduğu gerilmeler kadar yine bu dış yüklerden doğan şekil değiştirmeler de önemlidir.
- ∞ Kiriş yüklendiği zaman eğilir veya şeklini değiştirir. Kirişin üzerine gelen yükün etkisi altında eğilmesi esnasında tarafsız yüzey üzerindeki bir noktanın, düşey doğrultuda kat ettiği mesafe **sarkı** olarak tanımlanır. Bu durumda tarafsız düzlemin, düşey düzlem üzerindeki izdüşümüne de **elastik eğri** denir.
- ∞ Herhangi bir kiriş üzerine gelen yükü, eğilme ve kesme yönünden emniyetle taşıyabilecek kadar dayanıklı olabilir.

# Kirişlerin analizi

- Uygulamada ise bu yükleme koşulunda ortaya çıkan sarkının genellikle kiriş açıklığının  $1/200$ – $1/360$  'ından fazla olmaması istenir.
- Bu nedenle kiriş analiz ve projelemelerinde ortaya çıkan sarkının hesaplanması zorunludur.
- Kirişlerde sarkı hesaplamasında kullanılan eşitlikler eğilme gerilmesinin kirişi oluşturan malzemenin elastik limitinin altında bulunduğu durumlarda geçerlidir.
- Düşey yüklü kirişlerde sarkının bulunmasında  yöntem vardır.
  - Analitik zm
    - Moment- alan metodu
  - Süperpozisyon metodu

# Kirişlerin analizi

- ∞ **Analitik çözüm**, elastik eğri denkleminin sınır şartlarına göre çözümlenmesiyle sarkıyı veren integrasyon metodudur.
- ∞ **Moment-alan metodu** sarkının incelenmesinde en çok kullanılan yöntemdir.
- ∞ **Süperpozisyon metodunda** esas sistem kolaylıkla hesaplanabilecek alt sistemlere ayrılır. Esas sistemin herhangi bir noktasındaki sarkı, alt sistemlerde bu noktaya karşılık gelen sarkı değerlerinin cebirsel toplamı ile elde edilir.

# Kirişlerin analizi

- ∞ Maksimum sarkı kirişin mesnet tipine ve yük özelliklerine göre değişir. Örneğin;
- ∞ Orta noktasında konsantre yüküyle yüklenmiş basit kirişte;

$$\Delta = \frac{1}{8} \times \frac{P \times L^3}{E \times I}$$

- ∞ Dikdörtgen şeklinde düzgün yayılı yüküyle yüklenmiş basit kirişte;

$$\Delta = \frac{5}{384} \times \frac{q \times L^4}{E \times I}$$

eşitlikleri ile bulunur.

# Kirişlerin analizi

- ☞ Açıklığı, yükleme şartı, malzemesi ve kesiti verilen bir kirişin üzerine gelen yükü bu koşullar altında taşıyamayacağını veya bu kirişin emniyetle taşıyabileceği yükün araştırılmasına **kiriş analizi** denir.
- ☞ Analiz işlemi eğilme momenti, kesme ve sarkı yönünden yapılır.



# Kirişlerin analizi

- ☞ Açıklığı, yükleme şartı ve malzemesi verilen bir kirişin kesit boyutlarının bulunması, söz konusu **kirişin projelenmesi** olarak tanımlanır.
- ☞ Projelemede ilk aşama, kiriş üzerine gelmesi olası yüklerin yeterli doğrulukta hesaplanmasıdır. Bundan sonra kiriş kesitinin boyutları eğilme **konusu**, malzemenin eğilme emniyet gerilmesini **gerilmesi, söz** aşmayacak şekilde tayin edilir.
- ☞ Hesaplanan kesit, yatay kesme gerilmesi ve sarkı yönünden de kontrol edilir.

# MUKAVEMET DERSİ

## Burkulma Etkisi

*Doç. Dr. Havva Eylem POLAT*

# Burkulma etkisi

- ⌘ Kolonlar aksenal basma yükü taşımak amacıyla projelenen yapı elemanlarıdır.
- ⌘ Eğer kolon uzun ve narin ise, taşıdığı aksenal yükün etkisi altında yanlamasına bir deformasyon (**burkulma, flambaj**) ortaya çıkar.
- ⌘ Bu burkulma eğilimi nedeniyle kolonlarda önemli bir seviyeye ulaşan eğilme gerilmeleri ortaya çıkabilir.

# Burkulma etkisi

☞ *Kolonların yük etkisi altındaki burkulma özellikleri şöyle özetlenebilir:*

1. Kolon uzunluğu arttıkça, burkulma eğilimi artar. Bu nedenle projelemede **kolon uzunluğu** önemli bir parametredir.

2. Kolonun burkulmadan taşıyacağı yük, **yükün eksantrisitesi** ve eğik gelip, gelmediğine bağlıdır.

3. Kolon kesit alanının eksenine göre dağılışı önemli bir parametredir. Bunun ölçüsü **atalet yarıçapıdır**.

☞ **Narinlik oranı:** Projelemede burkulmaya ilişkin kolon özelliklerinin saptanmasında bir ölçü olarak kullanılır.

☞ Ahşap kolonlarda narinlik oranı, kolon serbest uzunluğunun en küçük kolon kesitine; çelik kolonlarda ise en küçük atalet yarıçapına oranlanması ile bulunur.

# Burkulma etkisi

∞ *Kolon serbest uzunluğunun belirlenmesinde kolon uçlarının bağlantı koşulları önem taşır.*

1. Kolon uçlarının bağlantılar yolu ile yana doğru hareketleri önlenmiş ise, bu **uçlar mafsallı** kabul edilir. Kolon yük altında yay gibi eğilir. Bu durumda flambaj boyu ( $L_k$ ) kolon uzunluğuna eşit alınır ( $L_k = L$ ).

2. **Bir ucu ankastre, diğer ucu mafsallı** olan kolonlarda flambaj boyu, kolon uzunluğunun  $2/3$  üne eşit alınır ( $L_k = 2L/3$ ).

3. **İki ucu da ankastre** olan kolonlarda flambaj boyu, kolon uzunluğunun yarısına eşit alınır ( $L_k = L/2$ ).

∞ Kolonlarda uç şartı, kolonun yük altında nasıl eğileceğini belirler ve kolonun mukavemetine etki yapar.

# Burkulma etkisi

## ∞ Ahşap kolonlar

Ahşap kolonlar genellikle tek parçadan oluşan dikdörtgen kesitler şeklinde yapılırlar. Bunlar başarısızlığa uğramaları yönünden kısa, orta ve uzun kolonlar olmak üzere üç grupta incelenebilir:

### 1. Kısa ahşap kolonlar

Kısa kolonlarda narinlik oranı  $\lambda \leq 11$ 'dir. Bu tip kolonlar yük altında sadece basınçtan ezilerek başarısızlığa uğrarlar. Emniyetle taşıyabilecekleri yük;  $P = A \cdot \sigma_{em}$  den bulunur.

# Burkulma etkisi

## 2. Orta ahşap

Ahşap kolonda narinlik oranı 11'den büyük, K değerinden küçük ise orta kolon olarak nitelenir.

$$K = 0.64x \frac{E}{\sigma_{em}}$$

Orta kolonun emniyetle taşıyabileceği yük;

$$P = Ax\sigma_{em} \left[ 1 - \frac{1}{3} \left( \frac{L}{xK} \right)^4 \right]$$

3. Uzun ahşap kolonlar  
Narinlik oranı ( $50 > \lambda > K$ ) olan kolonlar uzun kolondur. Bu kolonların emniyetle taşıyabileceği yük;

$$= 0.30 P$$

# Burkulma etkisi

## ∞ Çelik kolonlar

- ∞ Çelik kolonlar genellikle profil çeliklerden yapılırlar. Uygulamada genellikle geniş başlıklı I çelikleri, boru ve kutu profiller kullanılır. Bu profil çeliklerin narinlik oranları standart olarak tablolardan alınabilir ya da

$$\lambda = \frac{L_k}{i_{\min}} \text{ dan bulunabilir.}$$

- ∞ Narinlik oranı 120'den küçük olan aksenal yüklü çelik kolonların analiz ve projelenmesinde,

$$P_A = 1200 - \frac{0.034 \left( \frac{L_k}{i_{\min}} \right)^2}{\left( \frac{L_k}{i_{\min}} \right)^2}$$

formülünden yararlanılır.