

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

YAPI STATİĞİ-I

KAYNAKLAR

- 1- akıroğlu A., etmeli E., **Yapı Statiği**, Cilt I, Onuncu Baskı, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1999.
- 2- Hibbeler R. C., **Yapı Statiği** – SI Birim Sistemindeki Dokuzuncu Baskıdan eviri, evirenler: Soyluk K., Göltop T., Palme Yayıncılık, Ankara, 2017.
- 3- Girgin K., Aksoylu M.G., Durgun Y., Darılmaz K., **Yapı Statiği - İzostatik Sistemler**, özömlü Problemler, Birsen Yayınevi, 2011.
- 4- Karadođan F., Pala S., Yüksel E., Durgun Y., **Yapı Mühendisliđine Giriş - Yapısal özömleme**, Cilt I, Birsen Yayınevi, 2011.
- 5- Aydın R., **Yapı Statiği - İzostatik Sistemler - Teori ve Uygulamalar**, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2018.
- 6- Sungur İ.İ., **Taşıyıcı Sistemler ve Yapı Statiği**, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2018.
- 7- Ekiz İ., **Yapı Statiği I-İzostatik Sistemler**, Birsen Yayınevi, 3. Baskı, İstanbul, 2008.
- 8- Can H., **özömlü Örneklerle Yapı Statiği**, Birsen Yayınevi, 3. Baskı, İstanbul, 1996.
- 9- Ghali A., Neville A. M., **Structural Analysis**, Second Edition, John Willey and Sons, New York, 1978.
- 10- Hibbeler R. C., **Structural Analysis**, Ninth Edition in SI units, Pearson Prentice Hall, 2014.
- 11- Kenneth M. L., Uang C. M., Gilbert A.M., **Fundamentals of Structural Analysis**, Third Edition, McGraw Hill, 2008.
- 12- Laursen H. I., **Structural Analysis**, McGraw-Hill Book Company, 1988.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Yapı Mühendisliğinin Amacı

Yapı mühendisliğinin amacı, yapıları belirli bir emniyet ve yeter rijitlik altında, ekonomik ve amacına en uygun şekilde boyutlandırmaktır.

Emniyet: Yapıların herhangi bir kesitinde dış yüklerden veya işletme yüklerinden meydana gelen gerilmelerin bir limit gerilmeden küçük olmasıdır. Yani;

$$\sigma \leq \frac{\sigma_{\text{limit}}}{n} = \sigma_{\text{em}} \text{ olmalıdır.}$$

Burada; σ_{em} yapının emniyetle taşıyabileceği gerilmeyi göstermektedir. n , bir emniyet katsayısıdır. Betonarme yapılarda genel olarak 3 olan bu katsayı, çelik yapılarda 1.5 mertebesinde.

Rijitlik: Yapılarda elemanların boyutları o şekilde seçilmelidir ki; dış yüklerden oluşan yerdeğiştirmeler belirli bir değerin altında kalsınlar. Bunun sebebi, büyük yerdeğiştirmelerden meydana gelen göz emniyetsizliğini, büyük titreşimleri ve dolgu duvarları, kaplamalar gibi bazı gevrek yapı kısımlarının çatlamalarını önlemektir.

Ekonomi: Malzeme, işçilik ücretleri ve işletme masraflarının toplamına eşit olan maliyet, yapılar için minimum olmalıdır. Daha sağlam olsun diye, lüzumsuz olarak kesitleri büyütme, donatıları artırmak ekonomik bir çözüm değildir.

1.2. Yapı Mühendisliğinde İzlenen Yol

Yapı mühendisliğinde izlenen yol aşağıda sıralanmıştır;

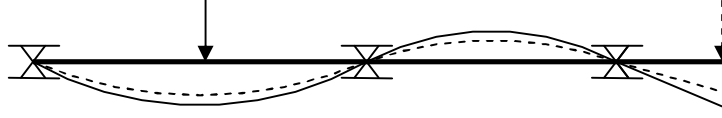
- 1- İsteklere uygun yapı formu (çubuk sistem, plak, kabuk, dolu sistem, kafes sistem vb.) ve malzeme cinsi (betonarme, çelik, ahşap vb.) seçilir.
- 2- Yapının formu, mesnetleri ve malzeme özellikleri dikkate alınarak yapının idealize edilmiş bir taşıma sistemi belirlenir.
- 3- İdealize edilmiş sistemin kesitleri önceki mühendislik bilgilerine ve teorik hesaplama deneyimlerine göre tahmin edilir.
- 4- İşletme yükleri ve yapıya etki eden diğer yüklerin şiddet ve cinsleri yönetmeliklerden faydalanılarak belirlenir.
- 5- İdealleştirilmiş sistemde yüklerden meydana gelen kesit tesirleri ve bunlara bağlı olarak gerilmeler bulunur. Bu gerilmelerin emniyet gerilmelerinden daha küçük olup olmadıkları ve yapıda yeterli bir rijitliğin bulunup bulunmadığı kontrol edilir. Eğer hesaplanan gerilmeler emniyet gerilmelerinden daha büyükse, kesitler büyütülerek hesap gerilmeleri emniyet gerilmelerinden küçük olana dek bu işlem tekrarlanır.

1.3. Yapı Statiğinde Yapılan Kabuller

Yapı Statiği'nde yapılan kabuller aşağıda verilmiştir;

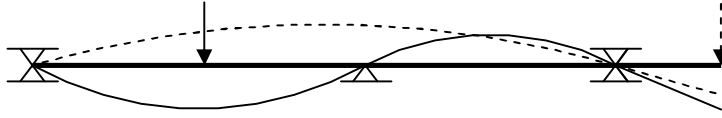
a) *Yapı Statiği'nde incelenecek sistemler yüklerin şekline ve şiddetine bağlı değildir.*

Şekil 1'deki mesnetler iki taraflıdır ve daima sabittir. Bu sebeple sistem yüklemenin şiddetine ve şekline bağlı değildir.



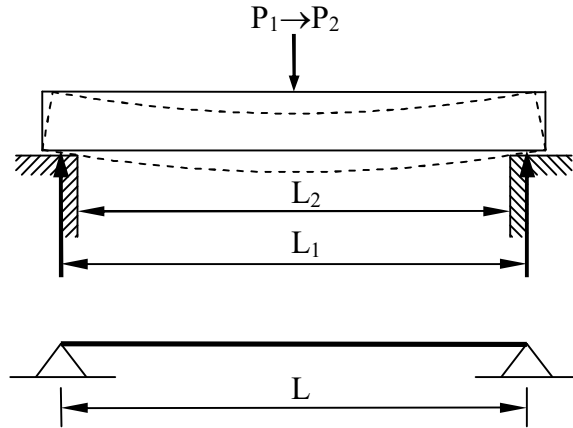
Şekil 1

Şekil 2'deki sistem ise; yükün şekline bağlıdır. Bazen iki açıklıklı, bazen de bir açıklıklı kiriş gibi çalışır. **Bu çeşit sistemler Yapı Statiği'nde incelenmeyecektir.**



Şekil 2

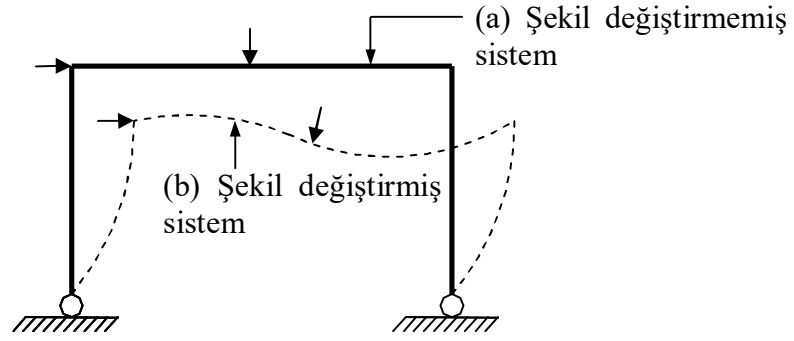
Şekil 3'teki sistemde ise, P_1 yükünün küçük değerleri için açıklık L_1 iken, P_1 yükü P_2 değerine ulaştığı zaman sistem ilk şeklini koruyamadığından açıklık L_2 olmaktadır. **Bu tip yapılar yükün şiddetine bağlı olduklarından inceleme konusu dışındadırlar.**



Şekil 3

b) *Dış yüklerden meydana gelen yerdeğıştirmeler ihmal edilebilecek kadar küçüktür.*

Bu kabul ile denge denklemlerinde, kuvvetlerin şekil değıştirmemiş sistem üzerine etkidiğı yaklaşık olarak kabul edilebilir. Şekil 4'te görülen şekil değıştirmiş sistem (b) üzerindeki kuvvetler yerine yaklaşık olarak şekil değıştirmemiş sistem (a) üzerindeki kuvvetler alınrlar.

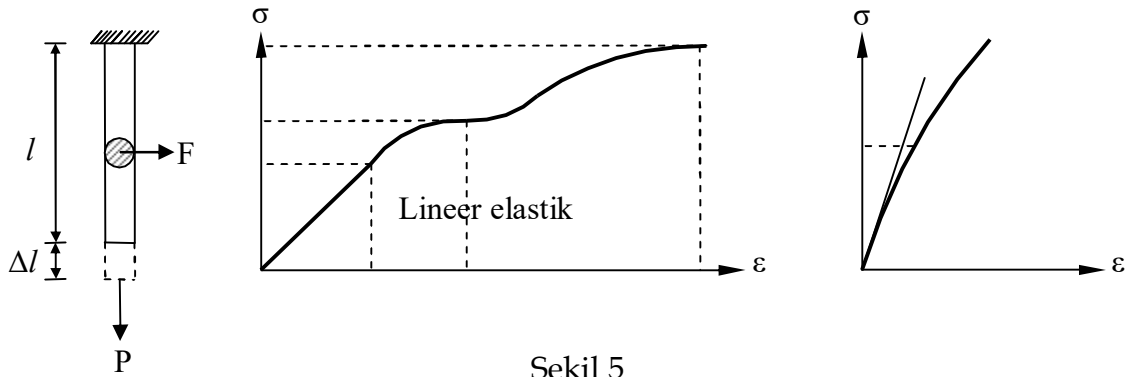


Şekil 4

Bu hipotezi kabul eden teoriye *1. mertebe teorisi* denir. Birinci mertebe teorisine göre yapılan hesaplarda iç kuvvetler ile dış kuvvetler arasındaki bağıntılar lineer olduğundan süperpozisyon kanunu uygulanabilir.

c) *Malzeme lineer elastiktir.*

Yüklemeye eğrisi ile boşalma eğrisi çakışan malzemeye elastik malzeme denir. Gerilme ile birim uzama arasındaki bağıntının lineer olduğu malzemeye lineer elastik malzeme denir. Şekil 5'te yumuşak ve yüksek mukavemetli çelikte çekme deneyinden elde edilen gerilme-birim uzama diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 5

1.4. Yapılara Etkiyen Yükler

Yapıda şekildeğiştirme ve iç kuvvet meydana getiren sebeplerin tümü yük olarak tanımlanır. Bu yüklerin başlıcaları; dış yükler, sıcaklık değişimleri, mesnet çökmeleri vb. Bu yükler çeşitli şekilde sınıflandırılabilir.

Birinci Sınıflandırma:

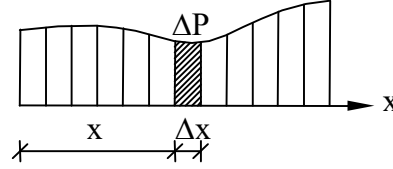
- Yapı Yükleri;* Bunlar yapıya devamlı olarak etkiyen yüklerdir. Yapının taşıyıcı olan veya olmayan öz ağırlıkları ve toprak itkisi gibi yükler bu sınıfa girerler.
- İlave Yükler;* Bunlar yapı üzerinde bazen bulunan bazen de bulunmayan insan, vasıta, kar, rüzgar, deprem vb. yüklerdir.
- Toplam Yükler;* Bu yükler yapı yükleri ile ilave yüklerin toplamına eşittir.

İkinci Sınıflandırma:

- a) *Sabit Yükler*; Bunlar yapı üzerinde hareket etmeyen, yapının kendi ağırlığı, kar vb. yüklerdir.
- b) *Hareketli Yükler*; Bunlar yapı üzerinde hareket eden insan, vasıta vb. yüklerdir.

Üçüncü Sınıflandırma:

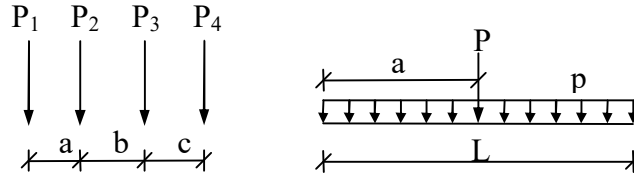
- a) *Tekil Yükler*; Sonsuz küçük bir uzunluğa veya alana etkiyen yüklerdir.
- b) *Yayılı Yükler*; Sonlu bir uzunluğa veya alana etkiyen yüklerdir (Şekil 6).



Şekil 6

ΔP , Δx uzunluğuna etkiyen yüküdür. Buna göre $P = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta x}$ ile tanımlanan P , yayılı yükün şiddetidir.

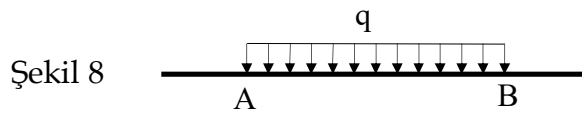
Yük Katarı; Şiddetleri ve ara uzaklıkları sabit kalarak hareket eden kuvvetler grubuna yük katarı denir (Şekil 7).



Şekil 7

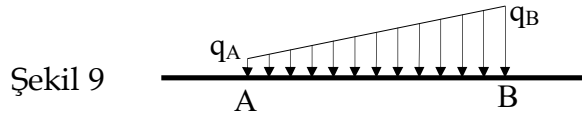
Özel Yayılı Yükler

- a) *Düzgün Yayılı Yük*; şiddeti sabit olan yayılı yüklerdir (Şekil 8).



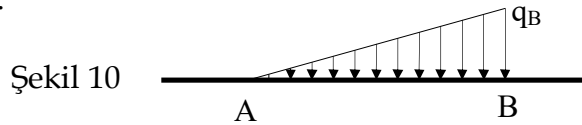
Şekil 8

- b) *Yamuk Yayılı Yük*; iki nokta arasında şiddeti lineer olarak değişen yüküdür (Şekil 9).



Şekil 9

- c) *Üçgen Yayılı Yük*; bir noktadaki şiddeti sıfır olan özel bir yamuk yayılı yüküdür (Şekil 10).



Şekil 10

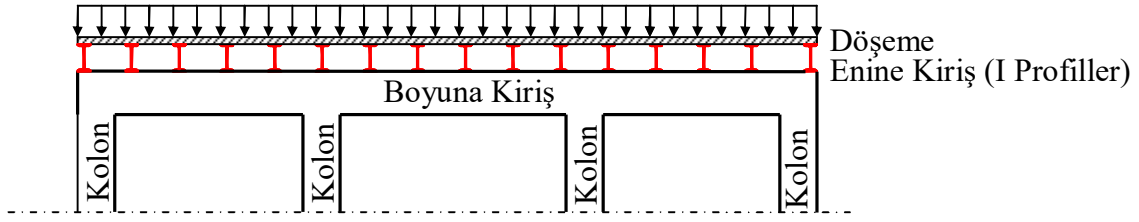
- d) *Parabol Yayılı Yük*; Yük şiddeti bir parabol olan yüküdür (Şekil 11).



Şekil 11

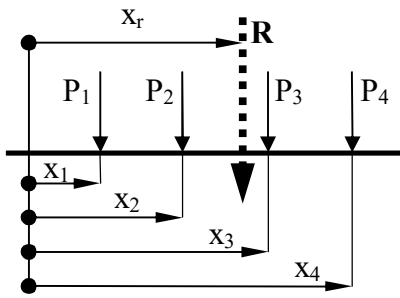
Dördüncü Sınıflandırma:

- Direkt Yükler*; Sistemin üzerine doğrudan etkiyen yüklerdir.
- Endirekt Yükler*; Sistemin üzerine dolaylı etkiyen yüklerdir (Şekil 12).

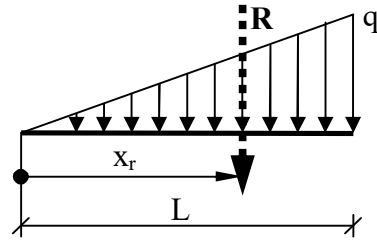


Şekil 12

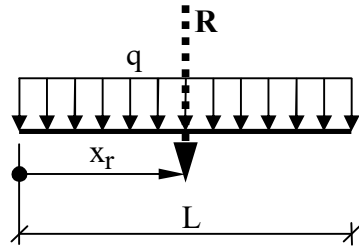
Yüklerin Bileşkelerinin Hesabı:



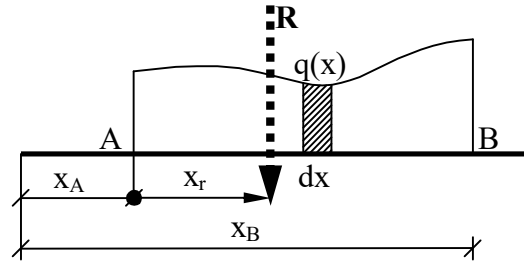
$$R = \sum_{i=1}^n P_i \quad x_r = \frac{\sum P_i x_i}{\sum P_i}$$



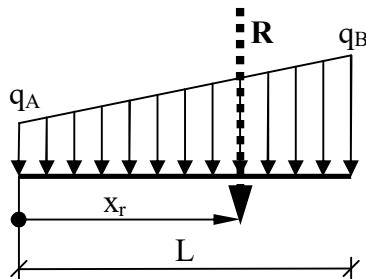
$$R = \frac{qL}{2} \quad x_r = \frac{2}{3}L$$



$$R = qL \quad x_r = L/2$$



$$R = \int_{x=x_a}^{x=x_b} q(x)dx \quad x_r = \frac{\int_{x=x_a}^{x=x_b} q(x)x dx}{\int_{x=x_a}^{x=x_b} q(x)dx}$$

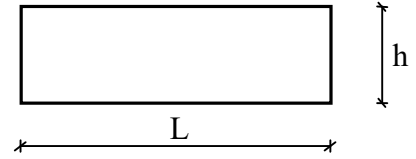


$$R = \frac{L(q_A + q_B)}{2} \quad x_r = \frac{L}{3} \frac{(q_A + 2q_B)}{q_A + q_B}$$

1.5. Yapı Sistemlerinin Sınıflandırılması

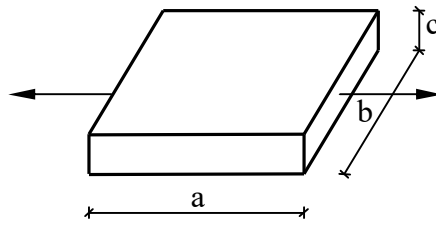
Yapı sistemleri üç ana sınıfa ayrılabilir.

- a) *Bir boyutlu sistemler*; İki boyutu üçüncü boyutunun yanında çok küçük olan sistemlerdir. Çubuk sistemlerde yükseklik açıklığın 0,45 katından daha küçüktür (Şekil 13).

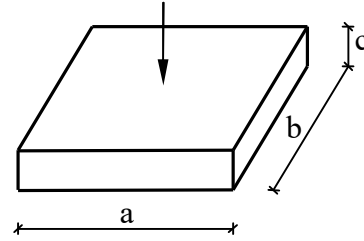


Şekil 13

- b) *İki boyutlu sistemler*; Bir boyutu diğer iki boyutunun yanında çok küçük olan sistemlerdir. İki boyutlu sistemlerde kuvvetler sistem düzlemi içinde ise böyle sistemlere "levha" denir (Şekil 14). Kuvvetler sistem düzlemine dik ise, böyle sistemlere ise "plak" denir (Şekil 14).



LEVHA



PLAK

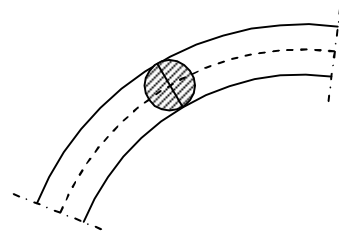
Şekil 14

- c) *Üç boyutlu sistemler*; Her üç boyutu da aynı önemde olan sistemlerdir.

1.6. Yapı Sistemleri İçin Bazı Tanımlar

• Çubuk Ekseni:

Çubuk eksenini öyle bir eğridir ki; üzerinde herhangi bir noktadan kendisine çıkılan dik bir düzlem ile elde edilen çubuğun arakesitinin ağırlık merkezi daima bu eğri üzerinde bulunur (Şekil 15). Bu ara kesite normal kesit veya dik kesit denir. Kesitleri sabit olan çubuklara prizmatik veya sabit kesitli çubuklar denir. Eksenleri bir düzlem içinde bulunan çubuklara da düzlem çubuklar adı verilir. Eksenleri ve dış kuvvetleri aynı düzlem içinde bulunan çubuk sistemlere düzlem sistemler; eksenleri doğru parçalarının birleşmesinden meydana gelen sistemlere de doğru eksenli sistemler denir.

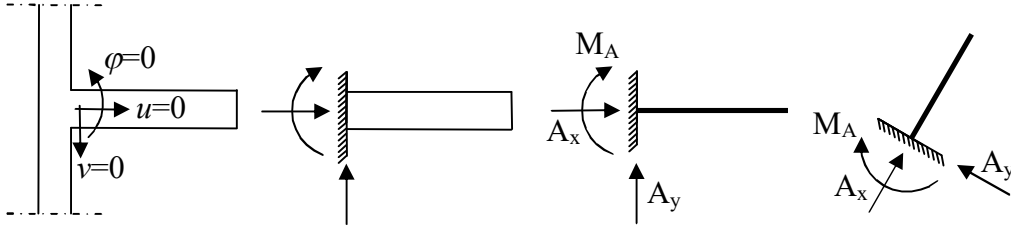


Şekil 15

• Mesnetler:

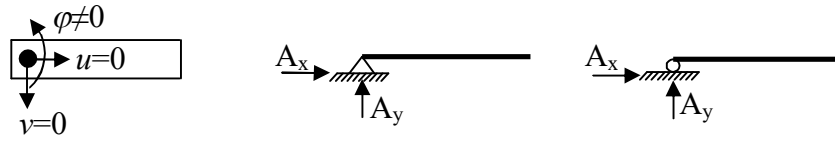
Yapıların dış ortamla birleştiği yerler mesnet olarak adlandırılır. Aşağıda çeşitli mesnet tipleri verilmiştir.

- a) **Ankastre Mesnet;** Ankastre mesnette çubuk, sonsuz rijit bir ortama yerdeğiştirme yapmayacak şekilde bağlanmıştır. Bu mesnet türünde u , v yerdeğiştirmeleri ile φ açısal yerdeğiştirme, yani dönme, sıfırdır (Şekil 16).



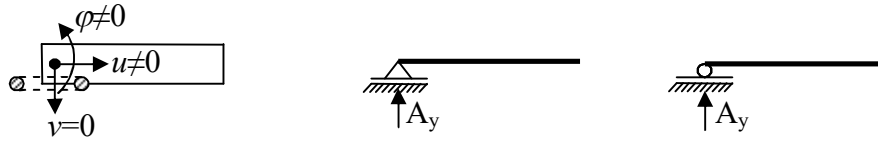
Şekil 16

- b) **Sabit Mesnet;** Sabit mesnetlerde çubuk, dış ortama serbestçe dönebilecek şekilde bağlanmıştır. Bu mesnetin u , v yerdeğiştirmeleri sıfırdır (Şekil 17).



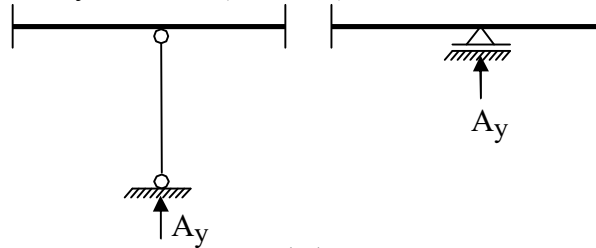
Şekil 17

- c) **Hareketli (Kayıcı) Mesnet;** Hareketli mesnetlerde çubuk, dış ortama serbestçe dönebilecek ve bir doğrultuda serbestçe hareket edebilecek şekilde bağlanmıştır. Bu mesnetlerde sadece bir yerdeğiştirme, mesela v , sıfırdır (Şekil 18).



Şekil 18

- d) **Pandül Ayak;** Üzerine kuvvet etkimeyen iki ucu mafsallı doğru eksenli çubuklara pandül ayak denir (Şekil 19).



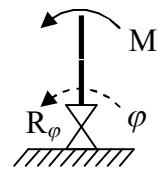
Şekil 19

- e) **Elastik Ankastre Mesnetler;**

Dönmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet; Bu tip mesnetlerin u , v yerdeğiştirmeleri sıfırdır. Mesnete bir moment etkidiği zaman bu mesnet φ kadar döner. Bu dönme M ile orantılıdır.

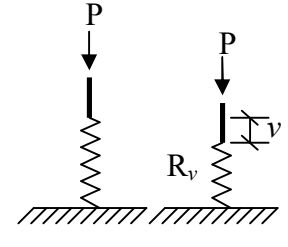
Yani $\frac{M}{\varphi} = R_M > 0$ oranı sabittir. R_M sabitine mesnetin

dönmeye karşı redörü denir (Şekil 20).



Şekil 20

Çökmeye Karşı Elastik Ankastre Mesnet; Çökmeye karşı elastik ankastre mesnetlerin üzerine çökme doğrultusunda bir P kuvveti etkidiği zaman mesnet bu doğrultuda v kadar çökmektedir. $\frac{P}{v} = R_v > 0$ sabitine mesnetin çökmeye karşı redörü denir (Şekil 21).

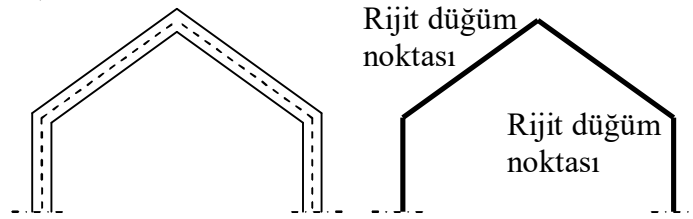


Şekil 21

- **Düğüm Noktaları:**

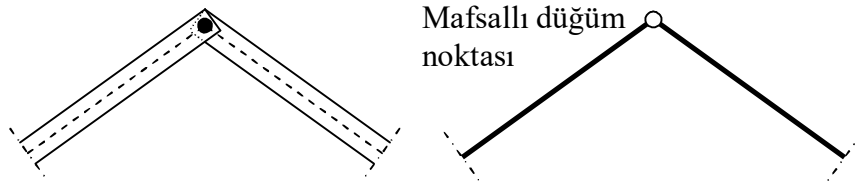
Çubukların birbiri ile birleştiği yerlere düğüm noktası denir.

Rijit Düğüm Noktası; Rijit düğüm noktası çubukların rijit olarak birleştiği noktalardır (Şekil 22).



Şekil 22

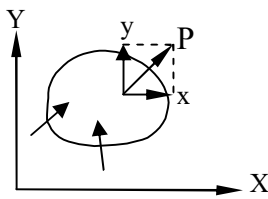
Mafsallı Düğüm Noktası; Mafsallı düğüm noktasında iki çubuk birbirine bir mil etrafında serbestçe dönebilecek şekilde bağlanmıştır (Şekil 23).



Şekil 23

1.7. Denge Denklemleri

- **Düzlem Sistemler**

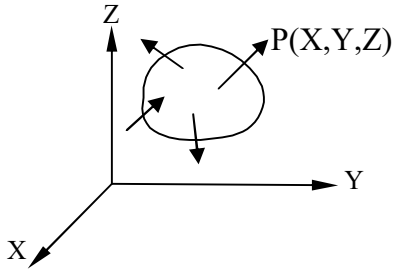


Şekil 24

Şekil 24'te verilen sistem, üzerine etkiyen dış kuvvetler altında dengededir. Düzlem bir sistemin denge şartı üç tanedir.

- Sisteme etkiyen kuvvetlerin X-ekseni üzerindeki izdüşümlerinin toplamı sıfırdır ($\sum F_x = 0$).
- Sisteme etkiyen kuvvetlerin Y-ekseni üzerindeki izdüşümlerinin toplamı sıfırdır ($\sum F_y = 0$).
- Sisteme etkiyen kuvvetlerin düzlem içindeki herhangi bir noktaya göre statik momentlerinin toplamı sıfırdır ($\sum M = 0$).

- Uzak Sistemler



Şekil 25

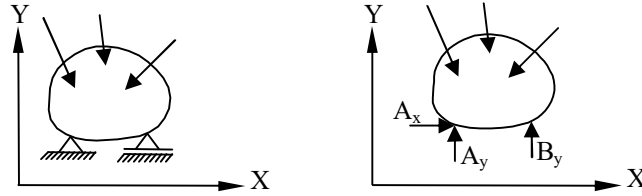
Şekil 25'teki uzak sistemde denge şartı altı tanedir. Sisteme etkiyen kuvvetlerin X, Y, Z eksenleri üzerindeki izdüşümlerinin toplamı sıfırdır. ($\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0$).

Kuvvetlerin uzayda seçilen herhangi bir noktaya göre statik momentlerinin X, Y, Z eksenleri üzerindeki izdüşümlerinin toplamı sıfırdır.

$$(\sum M_{A_x} = 0, \sum M_{A_y} = 0, \sum M_{A_z} = 0).$$

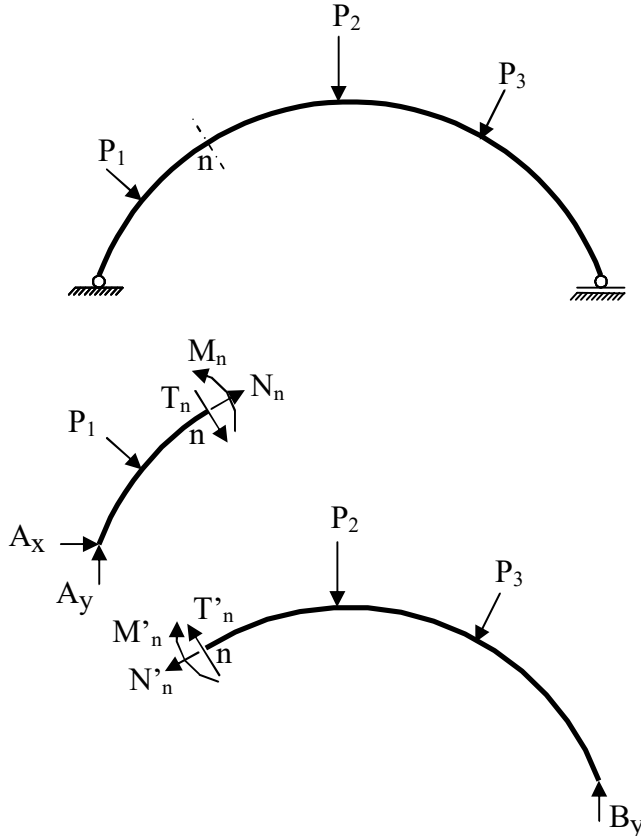
1.8. Mesnet Tepkileri

Bir yapıya etkiyen dış kuvvetler, mesnet tepkileriyle birlikte dengededir (Şekil 26). Mesnet tepkileri belirlenirken, mesnetler kaldırılıp onun yerine mesnet türlerine göre bağ kuvvetleri yazılır. Denge denklemleri ile bu kuvvetler bulunur.



Şekil 26

1.9. Kesit Tesirleri



Şekil 27

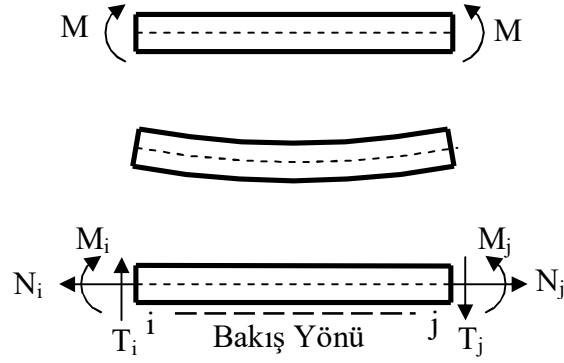
Taşıyıcı sistemlerde dış kuvvetlerden dolayı kesit içlerinde meydana gelen zorlanmalara *kesit tesirleri* denir. Şekil 27'deki gibi bir düzlem sistemde, normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti olmak üzere üç tane kesit tesiri bulunur. Çubuk eksenini doğrultusundaki kesit tesirine normal kuvvet (N), çubuk eksenine dik doğrultudaki kesit tesirine kesme kuvveti (T), çubukta eğilme oluşturacak kesit tesirine de eğilme momenti (M) denir.

Pozitif Yön Kabulleri:

Normal Kuvvet; Çubukta çekme meydana getiren kuvvet pozitif, basınç meydana getiren kuvvet negatif kabul edilir (Şekil 28).

Kesme Kuvveti; Sol taraftaki sistem göz önüne alınırsa yukarıdan aşağıya doğru, sağ taraftaki sistem göz önüne alınırsa aşağıdan yukarıya doğru pozitif kabul edilir (Şekil 28).

Eğilme Momenti; Çubuğun bakış yönü doğrultusunda uzama oluşturmaları halinde pozitif kabul edilir (Şekil 28).



Şekil 28

1.10. İzostatik ve Hiperstatik Sistem Tanımı

Yalnız denge denklemleriyle bütün mesnet tepkileri ve kesit tesirleri bulunabilen sistemlere izostatik, bulunamayan sistemlere de hiperstatik sistemler denir.