

T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI



# MEGEP

(MESLEKİ EĞİTİM VE ÖĞRETİM SİSTEMİNİN  
GÜÇLENDİRİLMESİ PROJESİ)

İNŞAAT TEKNOLOJİSİ

STATİK HESAPLAR 2

ANKARA 2007

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından geliştirilen modüller;

- Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığının 02.06.2006 tarih ve 269 sayılı Kararı ile onaylanan, Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında kademeli olarak yaygınlaştırılan 42 alan ve 192 dala ait çerçeve öğretim programlarında amaçlanan mesleki yeterlikleri kazandırmaya yönelik geliştirilmiş öğretim materyalleridir (Ders Notlarıdır).
- Modüller, bireylere mesleki yeterlik kazandırmak ve bireysel öğrenmeye rehberlik etmek amacıyla öğrenme materyali olarak hazırlanmış, denenmek ve geliştirilmek üzere Mesleki ve Teknik Eğitim Okul ve Kurumlarında uygulanmaya başlanmıştır.
- Modüller teknolojik gelişmelere paralel olarak, amaçlanan yeterliği kazandırmak koşulu ile eğitim öğretim sırasında geliştirilebilir ve yapılması önerilen değişiklikler Bakanlıkta ilgili birime bildirilir.
- Örgün ve yaygın eğitim kurumları, işletmeler ve kendi kendine mesleki yeterlik kazanmak isteyen bireyler modüllere internet üzerinden ulaşılabilirler.
- Basılmış modüller, eğitim kurumlarında öğrencilere ücretsiz olarak dağıtılır.

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	ii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. ATALET (EYLEMSİZLİK) MOMENTİ HESAPLARI YAPMA .....	3
1.1. Tanımı .....	3
1.1.1. Ağırlık Merkezi .....	3
1.1.3. Atalet Yarıçapı .....	7
1.2. Çeşitleri .....	7
1.2.1. Basit Kesitlerin Atalet (Eylemsizlik) Momenti .....	7
1.2.2. Bileşik Kesitlerin Atalet (Eylemsizlik) Momenti .....	10
1.2.3. Paralel Eksen (Steiner) Teoremi .....	11
UYGULAMA FAALİYETİ .....	12
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	16
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	17
2. MUKAVEMET (DAYANIM) MOMENTİ HESAPLARI YAPMA .....	17
2.1. Mukavemet (Dayanım) Momenti .....	17
2.1.1. Tanımı .....	17
2.1.2. Çeşitleri .....	20
UYGULAMA FAALİYETİ .....	25
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	31
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	33
CEVAP ANAHTARLARI .....	35
KAYNAKLAR .....	39

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>460MI0008</b>
<b>ALAN</b>	<b>İnşaat Teknolojisi</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Alan Ortak</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Statik Hesaplar 2</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Atalet ve mukavemet momentlerinin tanımı, çeşitleri, birimleri ve hesap uygulamalarını anlatan bir öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/32
<b>ÖN KOŞUL</b>	Statik Hesaplar 1 modülünü başarmış olmak.
<b>YETERLİK</b>	Gerekli ortam sağlandığında atalet ve mukavemet momenti hesapları yapabilmek.
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> Ø Bu modül ile gerekli ortam sağlandığında, atalet ve mukavemet hesaplarını doğru olarak yapabileceksiniz. <b>Amaçlar</b> 1. Atalet momenti hesaplarını yapabileceksiniz. 2. Mukavemet (dayanım) momenti hesaplarını yapabileceksiniz.
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam:</b> Sınıf, atölye, laboratuvar ve kütüphane, ev gibi öğrencinin kendi kendine veya grupta çalışabileceği tüm ortamlar. <b>Donanım:</b> Sınıf, kütüphane, tepegöz, projeksiyon, bilgisayar ve donanımları, öğretim gereçleri vb.
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Bu modüldeki her faaliyet sonrasında, verilen ölçme araçları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek kendi kendinizi değerlendirebileceksiniz.  Modül sonunda öğretmeniniz tarafından hazırlanan ölçme aracı ile kazandığınız bilgi ve beceriler ölçülerek değerlendirilecektir.

# GİRİŞ

## Sevgili Öğrenci,

İnşaat teknolojisi alanının geçmişi, ilk insanların barınma ihtiyaçlarını karşılamak için yaptıkları geleneksel yapılara kadar dayanmaktadır. Mukavemet alanındaki ciddi çalışmalar ve araştırmalar, Rönesans devri ile başlamıştır. Leonardo Da Vinci (1452-1519) ve Galileo (1564-1642), yapı malzemelerinin mekanik özellikleri ve kirişlerin mukavemetleri ile ilgili incelemeleri yapmışlardır.

İnşaat sektörü, günümüzde hızla gelişen teknoloji sayesinde çok gelişmiştir. Elle çizilen ve hesaplanan projeler artık bilgisayarla yapılmaktadır.

İnşaat teknolojisi çok geniş bir alandır. Birçok önemli bölümleri vardır. Statik hesaplamalar da bunlardan biridir.

Mühendislik yapısı, bir bina veya bir köprü, bir makine, bir uçak, bir gemi veya bir otomobil olsun; bunların taşıyıcı sistemlerini oluşturan elemanların boyutları, dış kuvvetlerden kaynaklanan iç kuvvetlere dayanabilecek biçim ve büyüklükte olmalıdır. Bunun tersi de söz konusu olabilir. Yani boyutları bilinen bir elemanın taşıyabileceği dış yükün bulunması ya da gerilmelerin kontrol edilmesi gerekebilir.

Bu modülde, dış kuvvetlerin etkisine dayanabilecek kirişlerin boyutlarını hesaplayabilmek için seçilen kiriş kesitinin atalet (eylemsizlik) ve mukavemet (dayanım) momentlerinin nasıl yapılacağı uygulamalı olarak anlatılmıştır.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Bu öğrenme faaliyeti ile öğrenci, gerekli ortam sağlandığında atalet momenti hesabı yapabilecektir.

## ARAŞTIRMA

- Ø Bu faaliyeti tam olarak kavrayabilmek için ağırlık merkezi ve moment konusunu öğrenmeniz gerekmektedir. Burada size kısa bilgi verilecektir; ancak bu konuyla ilgili araştırma yapmanız gerekecektir.

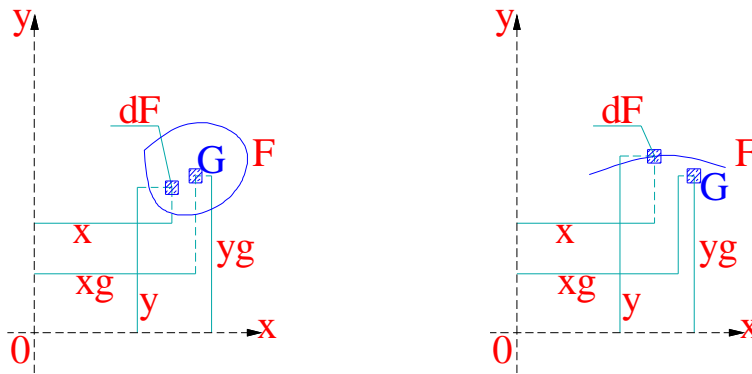
## 1. ATALET (EYLEMSİZLİK) MOMENTİ HESAPLARI YAPMA

### 1.1. Tanımı

Yer çekiminin doğurduğu kuvvetlerin bileşkesinin uygulama noktasına, cismin ağırlık merkezi denir.

#### 1.1.1. Ağırlık Merkezi

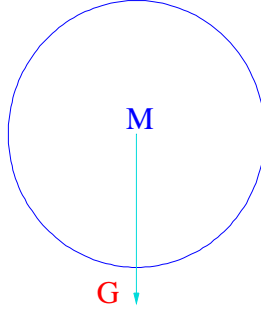
Bir cismi meydana getiren küçük parçacıklara etki eden yer çekimi kuvvetlerinin bileşkesinin, cisim üzerindeki uygulama noktasına, o cismin ağırlık merkezi denir (cm, dm, m.). Herhangi bir yüzey veya eğri alalım. Aşağıdaki şekli sonsuz derecede  $df$  parçalarına bölelim. Yüzeyi bir koordinat sistemine oturtalım. En küçük alandan koordinat sistemine bir paralel çizelim. Her minimum alan için aynı şeyleri tekrar ettiğimizde paralellerin kesiştiği nokta, o yüzeyin ağırlık merkezidir(Şekil 1.1).



Şekil 1.1

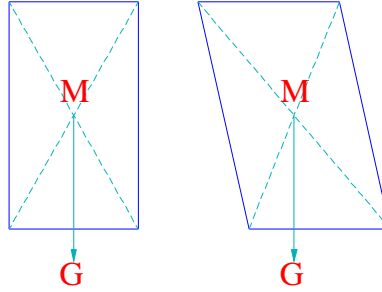
### 1.1.1.1. Basit Geometrik Şekillerin Ağırlık Merkezi

- Ø Dairenin ağırlık merkezi, kendi merkezidir (Şekil 1.2).



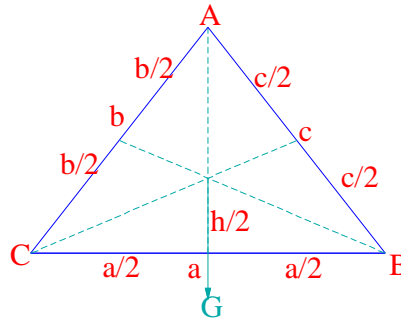
Şekil 1.2

- Ø Kare, dikdörtgen, eşkenar dörtgen, paralelkenar ağırlık merkezleri köşelerinin kesiştiği noktalardır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3

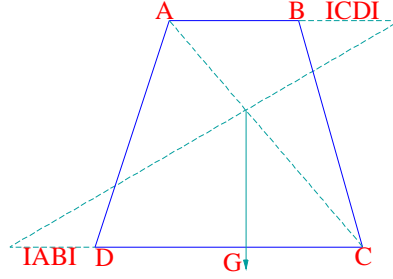
- Ø Üçgenin ağırlık merkezi, kenar ortaylarının kesişme noktasıdır. Bu nokta, yüksekliğin 3/1'inden geçer (Şekil 1.4).



Şekil 1.4

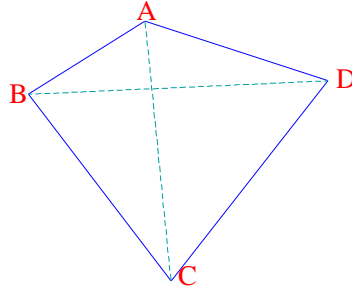


- Ø Yamuğun ağırlık merkezini hesaplamak için alt kenarı üst kenara, üst kenarı ters yönde alt kenara ekleyelim, köşegenleri birleştirelim. Köşegenlerin kesişme noktası, ağırlık merkezidir (Şekil 1.5).



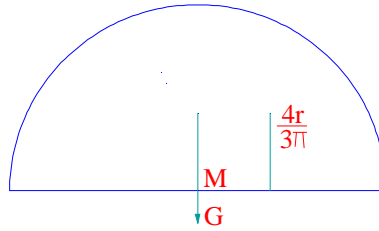
Şekil 1.5

- Ø Herhangi bir dörtgenin ağırlık merkezi, köşegenlerinin birleştirilmesinden ortaya çıkan 4 üçgenin ağırlık merkezlerinin karşılıklı birleştirilmesiyle ortaya çıkan köşegenlerin kesiştiği noktalardır (Açıklamaya göre şekli tamamlayınız) (Şekil 1.6).



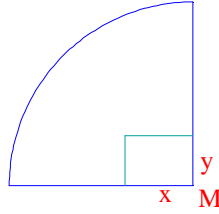
Şekil 1.6

- Ø Yarım dairenin ağırlık merkezi, geometrik merkezinden  $\frac{4r}{3\pi}$  kadar uzaktadır (Şekil 1.7).

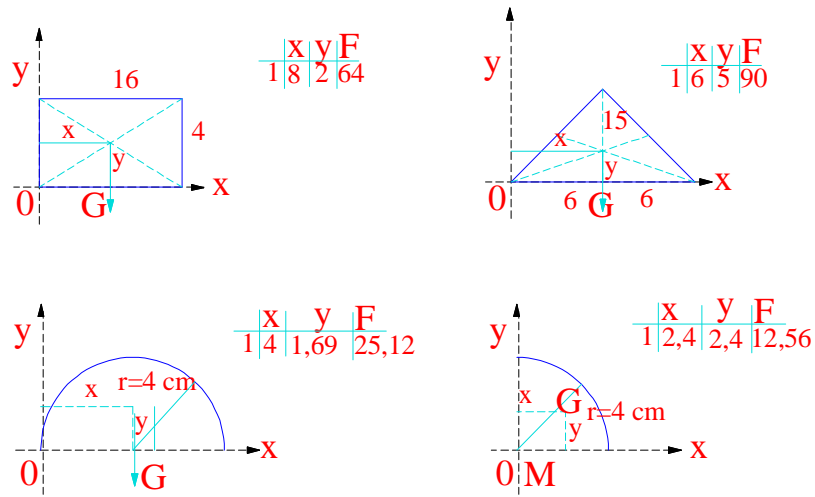


Şekil 1.7

- Ø Çeyrek dairenin ağırlık merkezi, kendi ağırlık merkezinden  $\frac{4r\sqrt{2}}{3p}$  kadar uzaktadır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8



Şekil 1.9

$$y = \frac{4x^4}{3 \times 3,14} = 1,69$$

$$G = (2,4 \times 2,40)$$

$$F = \frac{pr^2}{2}$$

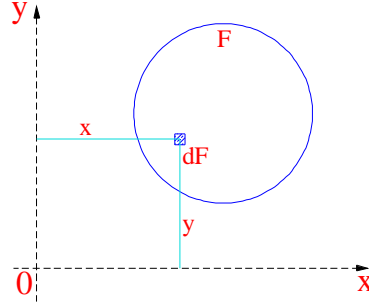
$$xy = \frac{4 \times 4 \times 1,41}{3 \times 3,14} = 2,40 \text{ cm}$$

### 1.1.1.2. Birleşik Geometrik Şekillerin Ağırlık Merkezi

- Ø Verilen birleşik yüzey, koordinat düzlemine oturtulur.
- Ø Birleşik yüzey, bilinen basit yüzeylere ayrılır.
- Ø Her basit yüzeyin ağırlık merkezi bulunur.
- Ø Her basit yüzeyin ağırlık merkezinden koordinat eksenlerine dikler inilir.
- Ø Her basit yüzeyin alanları tespit edilir.
- Ø x ve y mesafeleri hesaplanır.
- Ø gx ve gy bulunur.

### 1.1.2. Atalet Momenti

Herhangi bir yüzeyin sonsuz derecede küçük alan parçasının, herhangi bir x eksenine mesafesinin karesi ile çarpımının toplamına, o alanın x eksenine gelen **atalet momenti** denir. Atalet momenti „J” ile gösterilir. Birimi  $dm^4 cm^4$ ’tür.



$$J_x = SdFy^2$$

$$J_y = SdFx^2$$

Şekil 1.10

### 1.1.3. Atalet Yarıçapı

Kendi ağırlık merkezinden geçen eksene göre atalet yarıçapı aynı eksene göre alınan atalet momentinin kesit alanına bölümünün kareköküne eşittir. “Ix” ile gösterilir. Atalet yarıçapının birimi “**cm, dm**” olur.

$$Ix = \sqrt{\frac{J_x}{F}} cm$$

$$Iy = \sqrt{\frac{J_y}{F}} cm$$

Burada: Ix: Atalet yarıçapı

Jx: x eksenine göre atalet momenti

F: Şeklin (kesitin) alanı

## 1.2. Çeşitleri

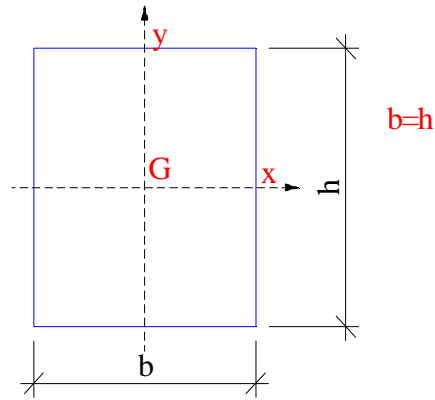
- Ø Basit kesitlerin atalet (eylemsizlik) momenti
- Ø Birleşik kesitlerin atalet (eylemsizlik) momenti

### 1.2.1. Basit Kesitlerin Atalet (Eylemsizlik) Momenti

En çok kullanılan kesitlerin ağırlık merkezinden geçen tarafsız eksenlerine göre( x-x’ ve y-y’ eksenleri ) atalet momentleri, aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir.

Örneğin X-X’ eksenine göre atalet momenti  $J_x$ ; Y-Y’ eksenine göre atalet momenti  $J_y$  ile gösterilmiştir.

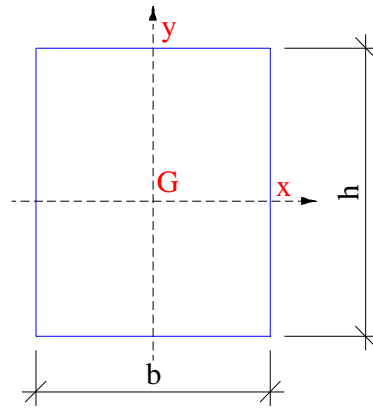
- Ø Kare (kendi ağırlık merkezine göre)



$$J_x, J_y = \frac{h^4}{12} \text{ cm}^4$$

Şekil 1.11

Ø Dikdörtgen

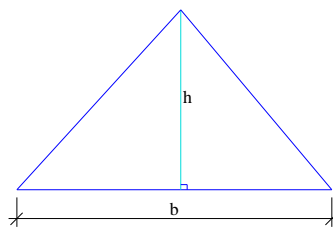


$$J_x = \frac{bh^3}{12} \text{ cm}^4$$

$$J_y = \frac{hb^3}{12} \text{ cm}^4$$

Şekil 1.12

Ø Üçgen



$$J_x = \frac{bh^3}{36} \text{ cm}^4$$

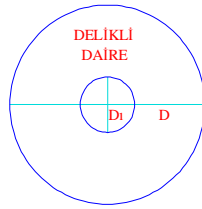
Şekil 1.13

Ø Daire



$$J_x = J_y = \frac{\rho D^4}{64} \text{ cm}^4$$

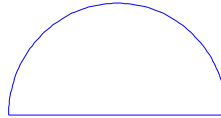
Şekil 1.14



$$J_x = J_y = \frac{\rho(D^4 - D_1^4)}{64} \text{ cm}^4$$

Şekil 1.15

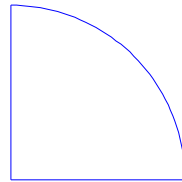
Ø Yarım daire



$$J_x = J_y = 0,00686 D^4 \text{ cm}^4$$

Şekil 1.16

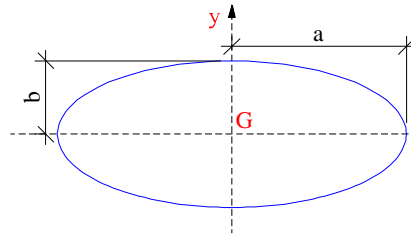
Ø Çeyrek daire



$$J_x = J_y = 0,00344 D^4 \text{ cm}^4$$

Şekil 1.17

Ø Parabol



$$J_x = \frac{\rho a \times b^3}{4} \text{ cm}^4$$

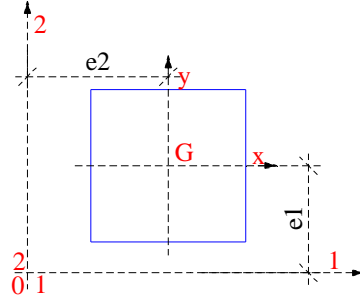
$$J_y = \frac{\rho b \times a^3}{4} \text{ cm}^4$$

Şekil 1.18

## 1.2.2. Bileşik Kesitlerin Atalet (Eylemsizlik) Momenti

Herhangi bir yüzeyin kendi ağırlık merkezine göre bulunan atalet momenti ile yüzey alanının ağırlık merkezi ve eksen arasındaki mesafenin karesiyle çarpımının toplamına eşittir.

1.



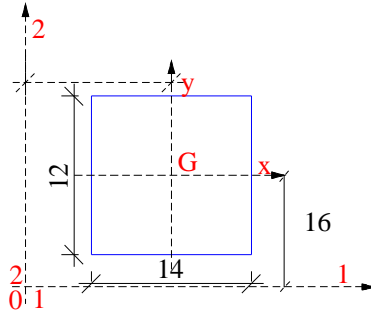
$$\left. \begin{aligned} J_{1-1} &= Jx + Fe_1 \\ J_{2-2} &= Jy + Fe_2 \end{aligned} \right\} \text{atalet}$$

$$W_{1-1} = \frac{J_{1-1}}{e} \text{ mukavemet}$$

$$\dot{I} = \sqrt{\frac{J_{1-1}}{F}} \text{ atalet yarıçapı}$$

Şekil 1.19

2.



$$J_{x-x} = \frac{14 \cdot 12^3}{12} = 2016$$

$$J_{1-1} = \frac{14 \cdot 12^3}{12} + (14 \cdot 12)(16^2)$$

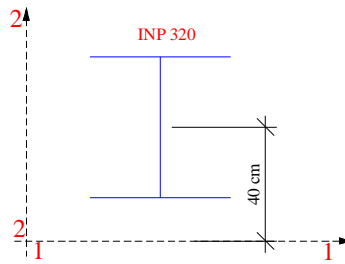
$$= 4502 \text{ cm}^4$$

$$W_{1-1} = \frac{4502}{16} = 2814 \text{ cm}^3$$

$$\dot{I}_x = \sqrt{\frac{4502}{168}} = 16,37 \text{ cm}$$

Şekil 1.20

3.



$$J_x = 12510 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{tablodan}$$

$$F = 77,7 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{tablodan}$$

$$J_{1-1} = 12510 + 77,7 \cdot 40^2$$

$$= 136,830 \text{ cm}^4$$

$$W_{1-1} = \frac{J_{1-1}}{40} = \frac{136,830}{40} = 3420,75 \text{ cm}^3$$

$$\dot{I}_1 = \sqrt{\frac{J_{1-1}}{77,7}} = \sqrt{\frac{136,830}{77,7}} = 42 \text{ cm}$$

Şekil 1.21

Not: Kaynak için INP profil tablolarına bakınız (statik. MEB).

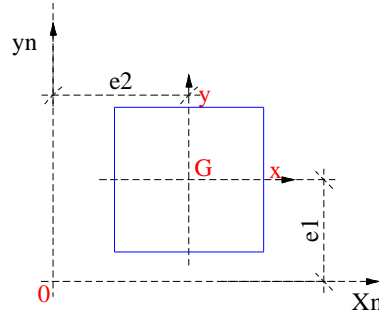
Basit kesitlerin atalet momentinde verilen formüller, kesitlerin ağırlık merkezinden geçen eksenlere göre atalet momentleridir. Bir kesitin kendi ağırlık merkezinin dışından geçen eksenlere göre atalet momentini de hesaplamak gerekebilir. Böyle durumlarda paralel eksen teoreminden yararlanır.

### 1.2.3. Paralel Eksen (Steiner) Teoremi

Bir kesitin aynı düzlem içinde bulunan bir eksene göre atalet momenti; tarafsız eksene göre atalet momentine, kesitin alanı ile paralel iki eksen arasındaki uzaklığın karesinin çarpımı eklenerek bulunur.

$$J_{XN} = J_X + F_X e_1^2 \quad \dots\dots\dots \text{cm}^4$$

$$J_{YN} = J_Y + F_Y e_2^2 \quad \dots\dots\dots \text{cm}^4$$



Şekil 1.22

Birleşik kesitlerin atalet momentleri, Steiner teoreminden yararlanarak bulunur.

Birleşik kesitlerin atalet momentini bulmak için;

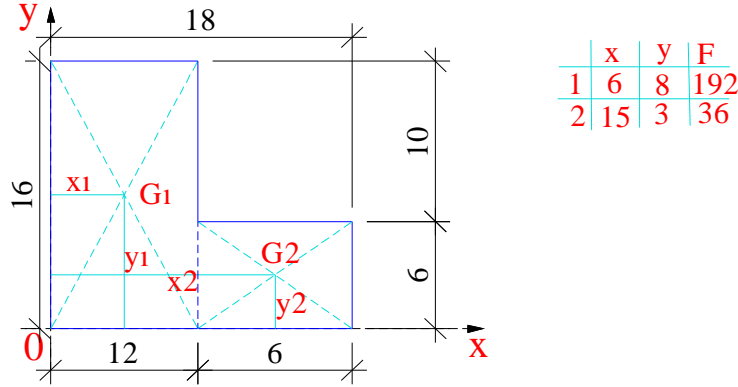
- 1- Verilen kesit, basit geometrik şekillere bölünmelidir.
- 2- Her şekil numaralanıp, teker teker alanları bulunmalıdır.
- 3- Birleşik kesitin (tarafsız eksenin geçtiği), ağırlık merkezi bulunmalıdır.
- 4- Steiner teoremine göre her kesitin atalet momentini bulunarak cebirsel toplam yapılmalıdır.

Atalet momentinin birimi  $\text{cm}^4$ ,  $\text{dm}^4$  dir.

## UYGULAMA FAALİYETİ

### Atalet Momenti Hesap Uygulamaları

1. Aşağıda verilen bileşik yüzeyin ağırlık merkezini analitik (hesap) yol ile bulunuz.



Şekil 1.23

İşlem Basamakları	Öneriler
<p>Ø Şekilleri, basit geometrik şekillere ayırınız.</p>	<p>Ø Hesaplanmasının kolay olduğu şekilleri elde etmeye çalışınız.(Kare,dikdörtgen,üçgen)</p>
<p>Ø Ayırmış olduğunuz her şeklin ağırlık merkezini bulunuz ve tablonuzu oluşturunuz. Şekil 1.23' te sağ üstte bulunan tablo</p>	<p>Ø Ağırlık merkezini bulurken eksenlerden almanız gereken değerleri karıştırmayınız. X – X yönündeki değeri alırken yataydaki ölçüleri kullanacaksınız. Y-Y yönündeki değeri alırken dikeydeki ölçüleri kullanacaksınız.X yönünde X1 için <math>12/2 = 6</math> X2 için sıfır noktasından ikinci şeklin köşesine olan ölçü ( <math>12</math> ) + ( şeklin ağırlık merkezi ) <math>6/2 = 15</math> Y yönündeki değerlerin bulunmasında X yönündeki değerlerin bulunması yöntemini kullanınız. Tüm hesaplamalarımızda sıfır noktasını esas aldığımızı unutmayınız.</p>
<p>Ø Ayırmış olduğunuz her şeklin alanlarını hesaplayınız.</p>	
<p>Ø Ayırma işleminden yararlanarak şeklin <u>basit şekillere ayrılmamış durumun</u> ağırlık merkezini bulma formülünü oluşturunuz.</p> $Gx = \frac{F_1x_1 + F_2x_2 + \dots + F_nx_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$ $Gy = \frac{F_1y_1 + F_2y_2 + \dots + F_ny_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n}$	
<p>Ø Formüldeki simgelerin yerine yazılacak değerleri, çizim üzerinden ve tablodan</p>	<p>Ø Dikdörtgenin alan formülü; kısa kenar x uzun kenar mesafesidir.</p>



alınız.

$$G_x = \frac{6x192+15x36}{192+36} = 7,42cm$$

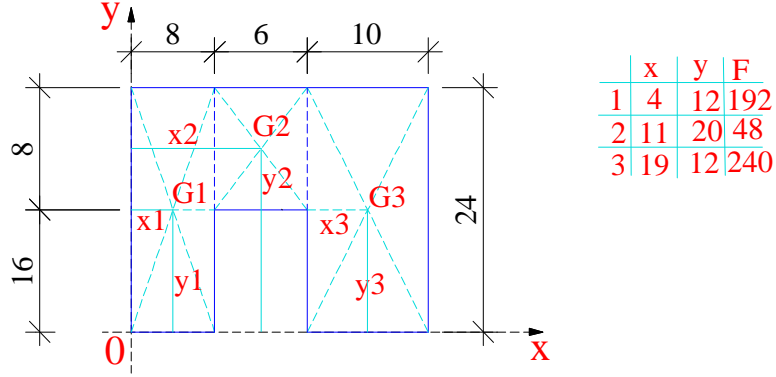
$$G_y = \frac{8x192+3x36}{192+36} = 7,210cm$$

$$16x12= 192 \quad 6x6=36$$

Ø Formülü oluştururken ağırlık merkezlerini ( F )  $G_x$  te X değerleriyle  $G_y$ 'de Y değerleri ile çarpılması gerektiğine dikkat ediniz.

Ø Değerleri yerine yazarken doğru yere yazdığınızdan emin olunuz. X değerlerini  $G_x$  e, Y değerlerini  $G_y$  formülünde kullanacaksınız. Hesaplamaları yaparken matematiksel hata yapmadığınızdan emin olunuz.

2. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin ağırlık merkezini analitik (hesap) yoluyla bulunuz.

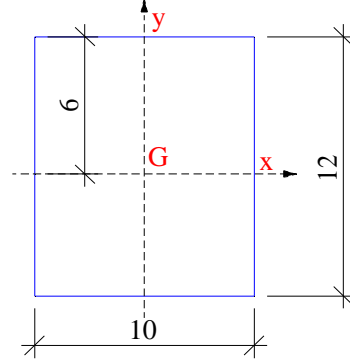


Şekil 1.24

$$G_1x = \frac{192x4+48x11+240x19}{192+48+240} = 12,2cm$$

$$G_1y = \frac{192x12+48x20+240x12}{192+48+240} = 12,8cm$$

3. Aşağıda verilen basit yüzeyin (kesitin) atalet momentini ve atalet yarıçapını hesaplayınız.



$$J_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

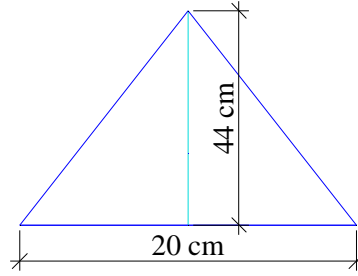
$$J_y = \frac{hb^3}{12} = \frac{12 \times 10^3}{12} = 1000 \text{ cm}^4$$

$$\dot{I}_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{1440}{120}} = 3,46 \text{ cm}$$

$$\dot{I}_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{1000}{120}} = 2,88 \text{ cm}$$

Şekil 1.25

4. Aşağıda verilen şeklin atalet momentini ve atalet yarıçapını hesaplayınız.

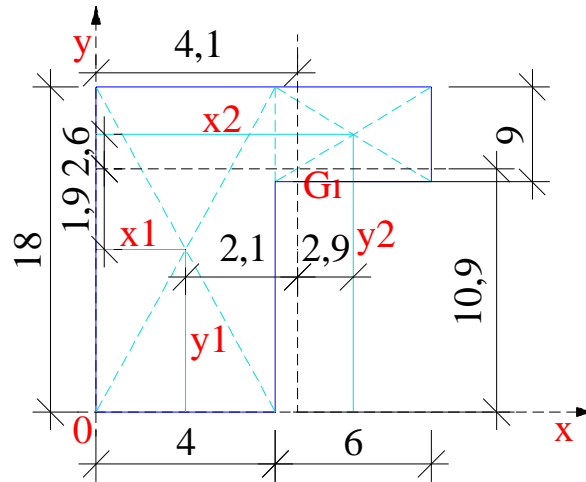


$$J_x = \frac{bt^3}{12} = \frac{20 \times 44^3}{12} = 47324 \text{ cm}^4$$

$$\dot{I}_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{4732444}{440}} = 107,5 \text{ cm}$$

Şekil 1.26

5. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin atalet momentini ve atalet yarıçapını hesaplayınız.



Şekil 1.27

nu	x	y	F	ex	Ey
1	2	9	73	1,9	2,1
2	7	13,5	54	2,6	2,9

$$Gx = \frac{72 \cdot x_2 + 54 \cdot x_7}{72 + 54} = 4,1 \text{ cm}$$

$$Gy = \frac{72 \cdot x_9 + 54 \cdot x_{13,5}}{72 + 54} = 10,9 \text{ cm}$$

$$Jx_1 = \frac{bh^3}{12} = \frac{4 \cdot 18^3}{12} = 1944 \text{ cm}^4$$

$$Jx_2 = \frac{bh^3}{12} = \frac{6 \cdot 9^3}{12} = 365 \text{ cm}^4$$

$$Jx - x = (1944 + 72 \cdot x_{1,9^2}) + (365 + 54 \cdot x_{2,6^2}) = 2934 \text{ cm}^4$$

$$\dot{I}x = \sqrt{\frac{Jx-x}{\sum F}} = \sqrt{\frac{2934}{72+54}} = 4,8 \text{ cm}$$

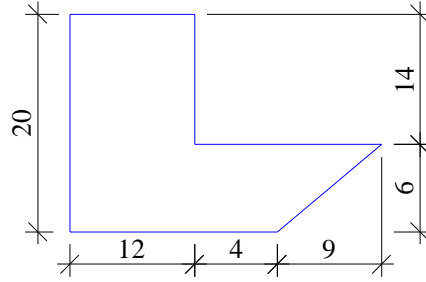
$$Jy_1 = \frac{hb^3}{12} = \frac{18 \cdot 4^3}{12} = 96 \text{ cm}^4$$

$$Jy_2 = \frac{hb^3}{12} = \frac{9 \cdot 6^3}{12} = 162 \text{ cm}^4$$

$$Jy - y = (96 + 72 \cdot x_{2,1^2}) + (162 + 54 \cdot x_{2,9^2}) = 1030 \text{ cm}^4$$

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

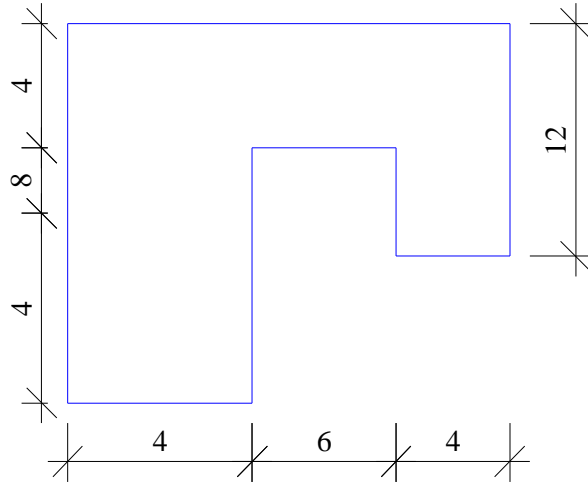
1. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin ağırlık merkezini analitik (hesap) yol ile bulunuz.



Şekil 1.28

2. Çapı 20 cm olan dairenin atalet momentini ve atalet yarıçapını bulunuz.

3. Aşağıda verilen bileşik yüzeyin atalet momentini ve atalet yarıçapını hesaplayınız.



Şekil 1.29

Not: Bu soruları doğru olarak çözebildiyseniz diğer öğrenme faaliyetine geçiniz. Ya da takıldığınız yerde modülün ilgili bölümüne bakınız.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Bu öğrenme faaliyeti ile öğrenci, gerekli ortam sağlandığında mukavemet momenti hesabı yapabilecektir.

## ARAŞTIRMA

- Ø Bu faaliyeti tam olarak kavrayabilmeniz için ağırlık merkezi ve moment konusunu öğrenmeniz gerekmektedir. Burada kısa bilgi verilecektir; ancak bu konuda araştırma yapmanız gerekecektir.

## 2. MUKAVEMET (DAYANIM) MOMENTİ HESAPLARI YAPMA

### 2.1. Mukavemet (Dayanım) Momenti

#### 2.1.1. Tanımı

Kuvvet ile kaldıraç kolunun (kuvvet kolunun) çarpımına, kuvvetin döndürücü etkisi veya mukavemet momenti denir.

#### 2.1.1.1. Eğilme Momenti

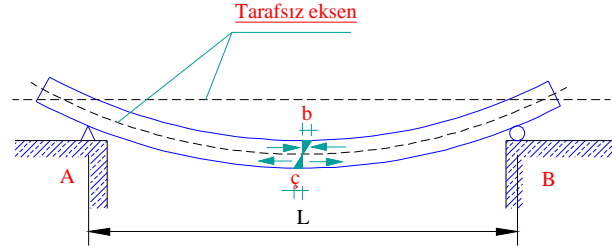
Bir kirişin kesitinde, dış kuvvetlerin etkisiyle (kiriş tarafsız ekseninden geçen bir düzlem içerisinde) kuvvet çifti doğuyorsa buna basit eğilme adı verilir.

Kuvvet çiftinin belirttiği düzleme eğilme düzlemi denir.

Kuvvet çiftinin momentine ise eğilme momenti denir. Ve (Mb) ile gösterilir.  $M_b = S \times W$  dir.

Eğilen kiriş kesitinin bir tarafında çekme, öteki tarafında basınç gerilmeleri doğar. Çubuğun çekme tarafında lifler uzar. Basınç tarafında kısalır. Bu nedenle çekme tarafında kopma; basınç tarafında ezilme olabilir.

Tarafsız ekseninde uzama ve kısalma yoktur. Eğilme momenti birimi tm, tcm, kgm, kgcm ile gösterilir.

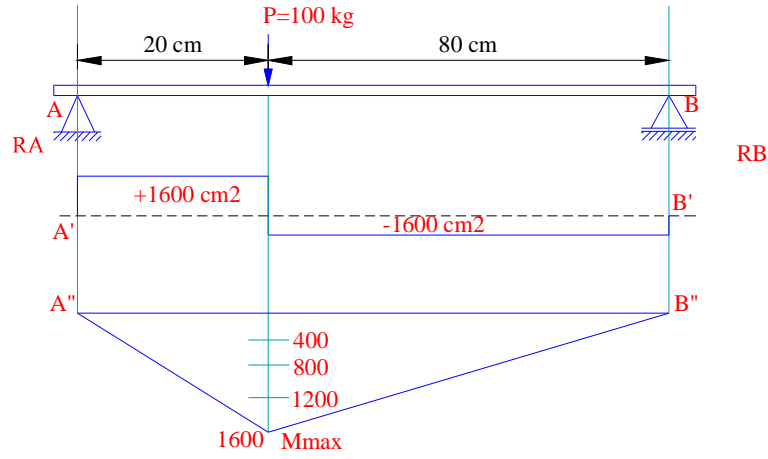


Şekil 2.1

### 2.1.1.2. Eğilme Gerilmesi

Eğilmeye zorlanan cisimlerin en dış noktalarında meydana gelen çekme ve basınç gerilmelere denir.  $\sigma$  (Sigma) sembolü ile gösterilir. Birimi  $\text{kg/cm}^2$  ile ifade edilir..Basit kirişlerde yükleme durumuna göre eğilme(fleş) miktarını veren formüller vardır.(*Daha fazla bilgi için kaynak statik.mukavemet MEB.*)

### 2.1.1.3. Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Diyagramlarının Çizilmesi



Şekil 2.2

Kuvvet diyagramında alanlar bulunur(+;-).

Moment diyagramı alanlara göre çizilir.

$$M_{\max} = \frac{P \times d \times d_1}{L} = \frac{100 \times 80 \times 20}{100} = 1600 \text{ kg.cm}$$

Önce mesnetlere gelen kuvvetleri buluruz.

$$R_A = \frac{Px80}{L} = \frac{100 \times 80}{100} = 80kg$$

$$R_B = \frac{Px20}{L} = \frac{100 \times 20}{100} = 20kg$$

Daha sonra kirişe paralel olan A'B' noktasından R<sub>A</sub> kadar yukarı çıkılır. R<sub>A</sub>'nın bitim yerinden A'B' eksenine paralel olarak P kuvvetinin uzantı çizgisine kadar gidilir. P'yi kesen noktadan P istikametinde ve P şiddeti kadar inilir. P şiddetinin bittiği noktadan A'B' eksenine paralel R<sub>B</sub> şiddeti kadar çıkılır. Böylece kesme kuvvetleri diyagramı çizilir ve kirişteki en tehlikeli nokta görülür.

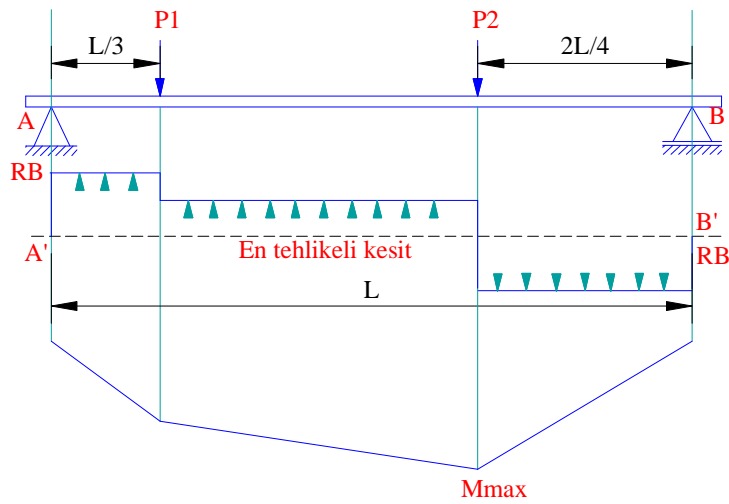
A'B' çizgisine paralel A''B'' çizgisi çizilir.

$$M_{\max} = \frac{Pxdx_1}{L} \text{ formülünden}$$

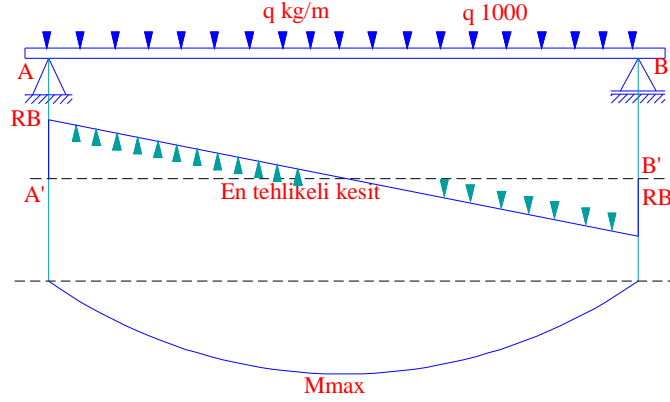
$$M_{\max} = \frac{Pxdx_1}{L} = \frac{100 \times 80 \times 20}{100} = 1600kg.cm \text{ bulunur.}$$

Bu sonuç bize en büyük eğilme momentini verir.

Şekillerde çeşitli yüklemelere göre kirişlerin kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları görülüyor.



Şekil 2.3



Şekil 2.4

$$R_{A-B} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{1000 \cdot l}{2} = 500kg$$

$$M_{\max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{1000 \cdot l^2}{8}$$

$$M_{\max} = 125kgm = 12500kgcm$$

#### 2.1.1.4. Mukavemet Momenti

Herhangi bir kesitin kendi ağırlık merkezinden gelen mukavemet momenti, aynı eksene göre alınan atalet momentinin tarafsız eksen ile yüzeyden uzak mesafenin atalet momentine bölümü, o yüzeyin mukavemet momentini verir. "W" ile gösterilir.

#### 2.1.2. Çeşitleri

- Ø Basit kesitlerin mukavemet (dayanım) momenti
- Ø Birleşik kesitlerin mukavemet (dayanım) momenti

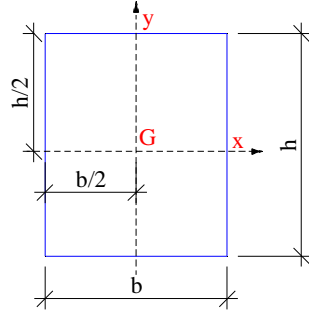
##### 2.1.2.1. Basit Kesitlerin Mukavemet (Dayanım) Momenti

En çok kullanılan kesitlerin ağırlık merkezinden geçen tarafsız eksenlerine göre( x-x' ve y-y' eksenleri ) mukavemet momentleri aşağıdaki maddeler hâlinde verilmiştir.

Örneğin X-X' eksenine göre atalet momenti  $W_x$ , Y-Y' eksenine göre atalet momenti  $W_y$  ile gösterilmiştir.



Ø Dikdörtgen

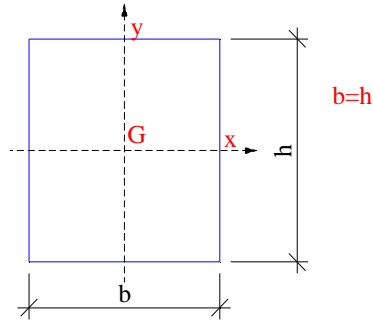


$$W_x = \frac{\frac{bh^2}{12}}{\frac{h}{2}} = \frac{bh^2}{12} \times \frac{2}{h} = \frac{bh^2}{6} \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{\frac{bh^2}{12}}{\frac{b}{2}} = \frac{bh^2}{12} \times \frac{2}{b} = \frac{bh^2}{6} \text{ cm}^3$$

Şekil 2.5

Ø Kare

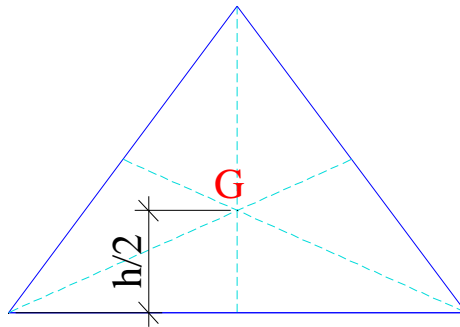


$$W_x = \frac{h^3}{6} \text{ cm}^3$$

$$W_x = W_y$$

Şekil 2.6

Ø Üçgen



$$\frac{2}{3} h = \frac{bh^2}{24} \text{ cm}^3$$

$$\frac{1}{3} h = \frac{bh^2}{12} \text{ cm}^3$$

Şekil 2.7

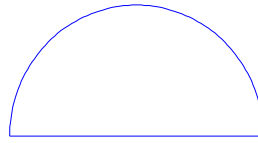
Ø Daire



$$W_x = W_y = \frac{\rho D^3}{32} \text{ cm}^3$$

Şekil 2.8

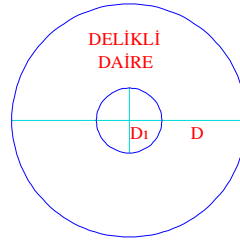
Ø Yarım daire



$$W_x = 0,0323D^3 \text{ cm}^3$$

Şekil 2.9

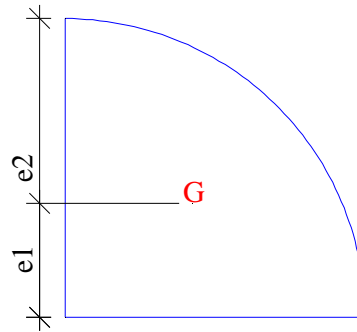
Ø Boru



$$W_x = W_y = \frac{\rho(D^4 - D_1^4)}{32D} \text{ cm}^3$$

Şekil 2.10

Ø Çeyrek daire

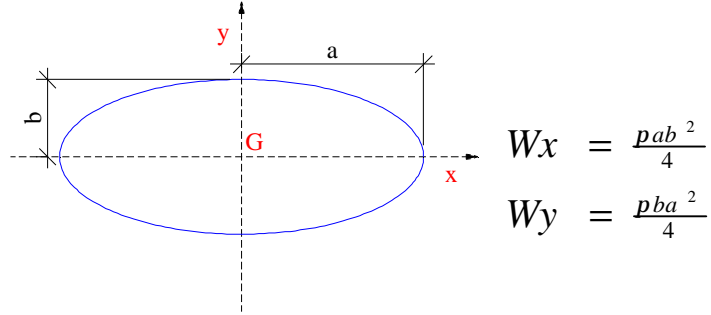


$$W_1 = 0,0162D^3$$

$$W_2 = 0,012D^3$$

Şekil 2.11

Ø Parabol



Şekil 2.12

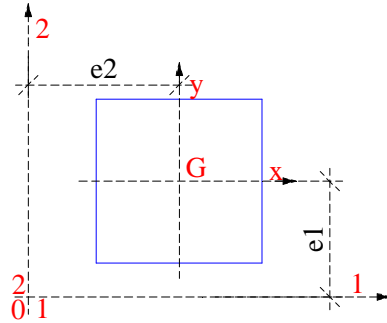
2.1.2.2. Birleşik Kesitlerin Mukavemet (Dayanım) Momenti

Atalet momentini (J), tarafsız eksenden kirişin üst kenarına olan uzaklığa (e)' ye bölerek (W) dayanım momenti bulunur.

Aşağıdaki formüle dikkat ediniz.

$$W = \frac{J_x}{e} \quad \text{e: Tarafsız eksene olan kirişin en uzak noktası}$$

1.



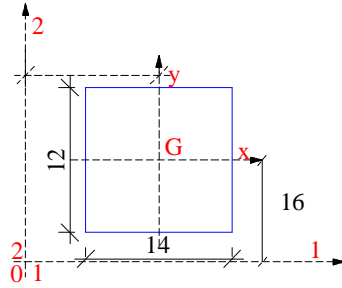
Şekil 2.13

$$\left. \begin{aligned} J_{1-1} &= J_x + Fe_1 \\ J_{2-2} &= J_y + Fe_2 \end{aligned} \right\} \text{atalet}$$

$$W_{1-1} = \frac{J_{1-1}}{e} \left. \right\} \text{mukavemet}$$

$$\dot{I} = \sqrt{\frac{J_{1-1}}{F}} \left. \right\} \text{ataletyançapı}$$

2.



Şekil 2.14

$$J_{x-x} = \frac{14 \cdot 12^3}{12} = 2016$$

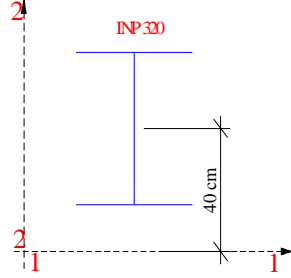
$$J_{1-1} = \frac{14 \cdot 12^3}{12} + (14 \cdot 12)(16^2)$$

$$= 4502 \text{ cm}^4$$

$$W_{1-1} = \frac{4502}{16} = 2814 \text{ cm}^3$$

$$\dot{I}_x = \sqrt{\frac{4502}{168}} = 16,37 \text{ cm}$$

3.



$$J_x = 12510 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{tablodan}$$

$$F = 77,7 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{tablodan}$$

$$J_{1-1} = 12510 + 77,7 \times 40^2 \\ = 136,830 \text{ cm}^4$$

$$W_{1-1} = \frac{J_{1-1}}{40} = \frac{136,830}{40} = 3420,75 \text{ cm}^3$$

$$i_1 = \sqrt{\frac{J_{1-1}}{77,7}} = \sqrt{\frac{136,830}{77,7}} = 42 \text{ cm}$$

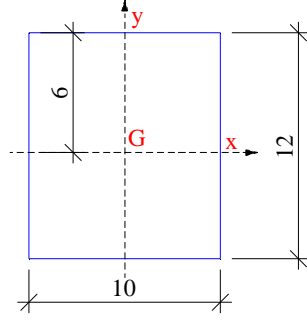
Şekil 2.15 Kaynak INP profil tablolarına bakınız (statik.MEB).

Mukavemet momentinin birimi 'cm<sup>3</sup>. dm<sup>3</sup>'tür.

## UYGULAMA FAALİYETİ

### Mukavemet Momenti Hesabı Uygulamaları

1. Aşağıda verilen basit yüzeyin (kesitin) atalet ve mukavemet momentini hesaplayınız.



Şekil 2.16

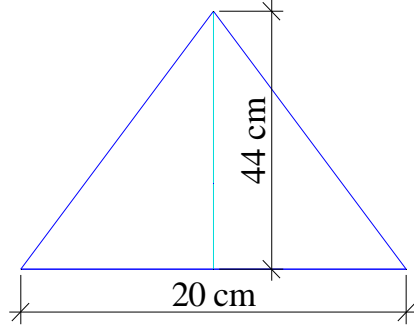
$$J_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

$$J_y = \frac{hb^3}{12} = \frac{12 \times 10^3}{12} = 1000 \text{ cm}^4$$

$$W_x = \frac{bh^2}{12} = \frac{10 \times 12^2}{12} = 240 \text{ cm}^3$$

$$W_y = \frac{hb^2}{12} = \frac{12 \times 10^2}{12} = 200 \text{ cm}^3$$

2. Aşağıda verilen şeklin atalet ve mukavemet momentini hesaplayınız.



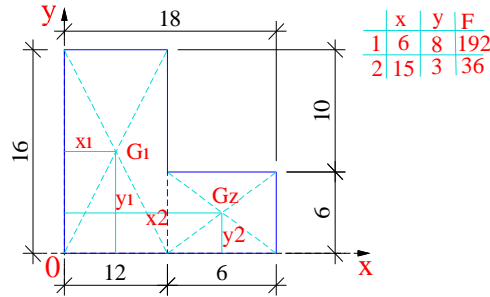
Şekil 2.17

$$J_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{20 \times 44^3}{12} = 47324,44 \text{ cm}^4$$

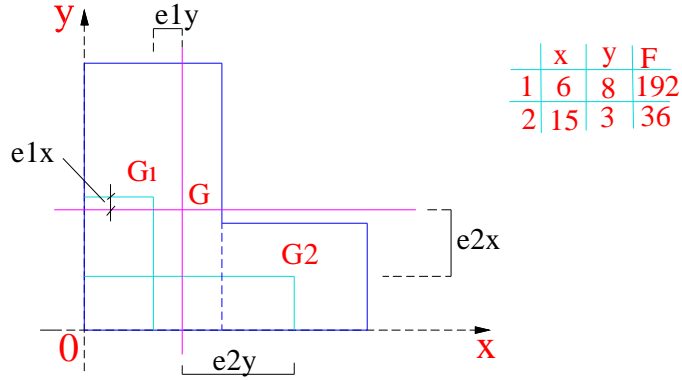
$$W_x = \frac{bh^2}{24} = \frac{20 \times 44^2}{24} = 1613,33 \text{ cm}^3$$

$$W_x = \frac{bh^2}{12} = \frac{20 \times 44^2}{12} = 3226,63 \text{ cm}^3$$

3. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin atalet ve mukavemet momentini hesaplayınız. Birimleri cm alınız.



Şekil 2.18



Şekil 2.19

4. Kesiti basit şekillere ayırarak teker teker alanları hesaplayınız. Birleşik kesitin ağırlık merkezinin yerini bulunuz.

4.1.  $e_{1x}$ ,  $e_{2x}$ ,  $e_{1y}$ ,  $e_{2y}$  uzunluklarını bulunuz.

4.2.  $J_{1X}$ ,  $J_{2X}$ ,  $J_{1Y}$ ,  $J_{2Y}$  hesaplayınız.

4.3. Steiner teoremini uygulayınız.

4.4. Mukavemet momentini hesap ediniz.

**CÖZÜM:**

4.

$$F_1 = 16 \times 12 = 192 \text{ cm}^2 \quad F_2 = 6 \times 6 = 36 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma F = F_1 + F_2 = 192 + 36 = 228 \text{ cm}^2$$

X ve Y eksenlerine göre  $F_1$  ve  $F_2$  'nin ağırlık merkezi koordinatları  
 $X_1 = 6 \text{ cm}$   $X_2 = 15 \text{ cm}$ .  $Y_1 = 8 \text{ cm}$ .  $Y_2 = 3 \text{ cm}$ .

$$Gx = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + \dots + F_n x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad Gx = \frac{6 \times 192 + 15 \times 36}{192 + 36} = 7,42 \text{ cm}$$

$$Gy = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + \dots + F_n y_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad Gy = \frac{8 \times 192 + 3 \times 36}{192 + 36} = 7,210 \text{ cm}$$

$Gx = 7,42 \text{ cm}$   $Gy = 7,21 \text{ cm}$  ağırlık merkezinin yeri

4.1.

$$e_{1x} = (y_1 - gy) = 8 - 7,21 = 0,79 \text{ cm.} \quad e_{2x} = (gy - y_2) = 7,21 - 3 = 4,21 \text{ cm}$$

$$e_{1y} = (gx - x_1) = 7,42 - 6 = 1,42 \text{ cm.} \quad e_{2y} = (x_2 - gx) = 15 - 7,42 = 7,58 \text{ cm}$$

**Bu yapılanları tablo halinde de düzenleyebiliriz**

nu	x	y	F	ex	ey	ex <sup>2</sup>	ey <sup>2</sup>
1	6	8	192	0,79	1,42	0,62	2,016
2	15	3	36	4,21	7,58	17,72	57,45

4.2.

$$Jx = \frac{12x16^3}{12} = 4096cm^4 \quad Jx = \frac{6^4}{12} = 108cm^4$$

$$Jy = \frac{16x12^3}{12} = 144cm^4 \quad Jy = \frac{6^4}{12} = 108cm^4$$

4.3.

$$J_{x-x} = (J_{1x} + F_1 \cdot e_{1y}^2) + (J_{2x} + F_2 \cdot e_{2y}^2)$$

$$J_{y-y} = (J_{1y} + F_1 \cdot e_{1x}^2) + (J_{2y} + F_2 \cdot e_{2x}^2)$$

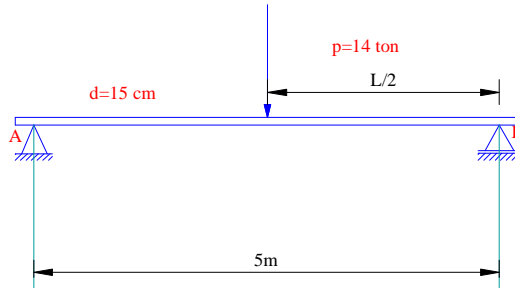
$$Jx - x = \left(\frac{12x16^3}{12} + 192x0,62\right) + \left(\frac{6^4}{12} + 36x17,72\right) \Rightarrow Jx - x = 4960,2cm^4$$

$$Jy - y = \left(\frac{16x12^3}{12} + 192x2,01\right) + \left(\frac{6^4}{12} + 36x57,45\right) \Rightarrow Jy - y = 4864,32cm^4$$

4.4.

$$Wx - x = \frac{4960,2}{8,73} = 564,3 \quad Wy - y = \frac{4864,32}{10,58} = 459,76$$

5. Şekil 2.20'de görüldüğü gibi yüklenen 15 cm çapında bir kiriş bu yükün altında ne kadar eğilir? Elastisite modülü  $2,1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  dir.



Şekil 2.20

Ortadan yüklenmiş kirişlerdeki eğilme miktarını aşağıdaki formülle bulabiliriz.

$$f = \frac{PxL^3}{48xE_xJ} \text{ dir.}$$

**f:** eğilme miktarı **P:** yük **L:** Açıklık  
**E:** Elastikiyet katsayısı **J:** Atalet momenti

$$j = \frac{pD^4}{64} \text{ olduğundan}$$

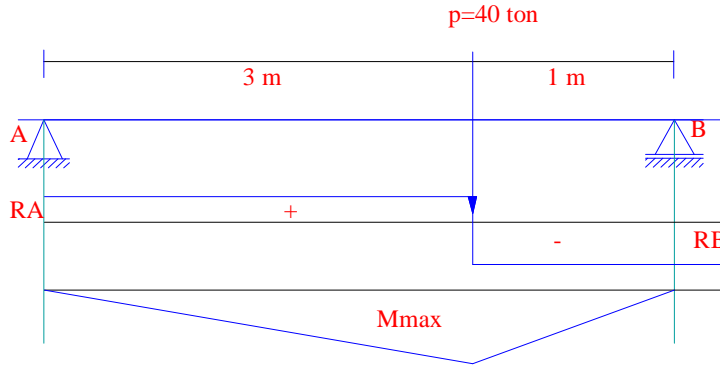
$$j = \frac{3,14 \times 15^4}{64} = \frac{158962,5}{64} = 2483,78 \text{ cm}^4 \text{ olur.}$$

J yi eğilme formülünde yerinde koyacak olursak:

$$f = \frac{PxL^3}{48xE_xJ} = \frac{14000 \times 500^3}{48 \times 2,1 \times 10^6 \times 2483,78} = \frac{1750000}{250365} = 6,98 \text{ cm}$$

Sonuç: Kirişte eğilme miktarı 6,98 cm olur.

6.



Şekil 2.21

Şekildeki kiriş dairesel kesitli olup çapı 10 cm dir. Bu kirişin kesme kuvveti eğilme momentini diyagramını çizerek;

- Mesnet tepkilerini
- En büyük eğilme momentini
- Ne kadar eğileceğini bulalım.



Elastisite modülü  $E = 1,1 \times 10^6 \text{ kg} / \text{cm}^2$

**a) Mesnet tepkileri**

$$\sum M_A = 0$$

$$P \times 300 - B \times 400 = 0 \rightarrow 40000 \times 300 - 400B = 0 \rightarrow 12000000 = 400B$$

$$B = 30000 \text{ kg}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$-P \times 100 + A \times 400 = 0 \rightarrow -40000 \times 100 + 400A = 0 \rightarrow -4000000 + 400A = 0$$

$$400A = 4000000 \rightarrow A = 10000 \text{ kg}$$

**b) En büyük eğilme momenti**

$$M_{\max} = \frac{PxL_1xL_2}{L} = \frac{40000 \times 300 \times 100}{400} = 3000000 \text{ kgxcm}$$

**c) Eğilme miktarı**

$$f = \frac{PxL_2}{3xExJxL} \text{ (Daha fazla bilgi için kaynak statik.mukavemet MEB.)}$$

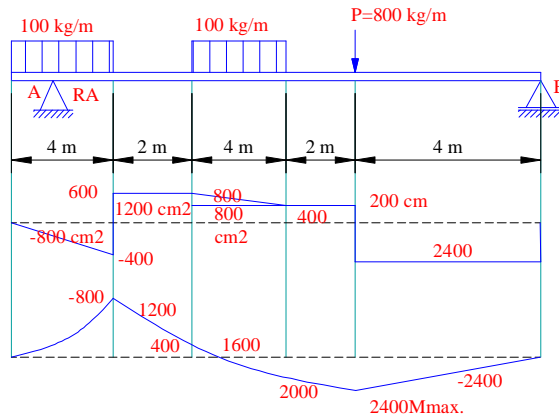
Eğilme miktarını bulmak için önce atalet momentini bulmamız gerekir. Kesit daire olduğu için çizelgeden;

$$J = \frac{pD^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 10^4}{64} = \frac{31400}{64} = 490 \text{ cm}^4 \text{ bulunur.}$$

**Eğilme miktarı**

$$f = \frac{PxL_2}{3xExJxL} = \frac{40000 \times 100}{3 \times 1,1 \times 10^6 \times 490 \times 400} = \frac{4000000}{646800 \times 10^6} = 6,18 \times 10^{-6}$$

7. Şekildeki çıkmalı kiriş, kuvvet ve yüklerle yüklenmiştir. Kirişin güvenli dayanımı  $960 \text{ kg/cm}^2$  olduğuna göre kesit çapı ne olur?



Şekil 2.22

**Çözüm:**

**Önce mesnetlerden gelen yükleri buluruz.**

$$\sum M_A = 0 \quad \sum M_B = 0 \text{ dan}$$

$$\sum M_A = -400x2 + 400x4 + 800x8 - 12xR_B = 0$$

$$-800 + 1600 + 6400 = 12R_B$$

$$12R_B = 7200$$

$$R_B = 600kg$$

$$\sum M_B = -800x4 - 400x8 + 12xR_A - 400x14 = 0$$

$$-3200 - 3200 + 12R_A - 5600 = 0$$

$$12R_A = 12000$$

$$R_A = 1000kg$$

**Kirişin kesme kuvveti (v) ve Eğilme momenti : (M) diyagramlarını çizeriz. En büyük eğilme momenti  $M_b = 2400 \text{ kgm} = 240000 \text{ kgcm}$  bulunur.**

$$S_b = \frac{M_b}{W_b}$$

$$960 = \frac{240000}{W_b}$$

$$W_b = 250cm^3$$

$$W_b = \frac{\rho D^3}{32}$$

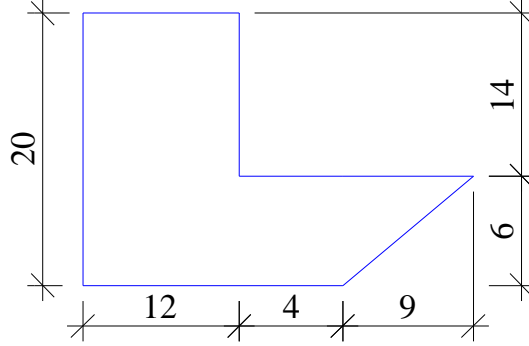
$$250 = \frac{.3,14D^3}{32}$$

$$D^3 = 2547,7$$

$$D = 13,65cm$$

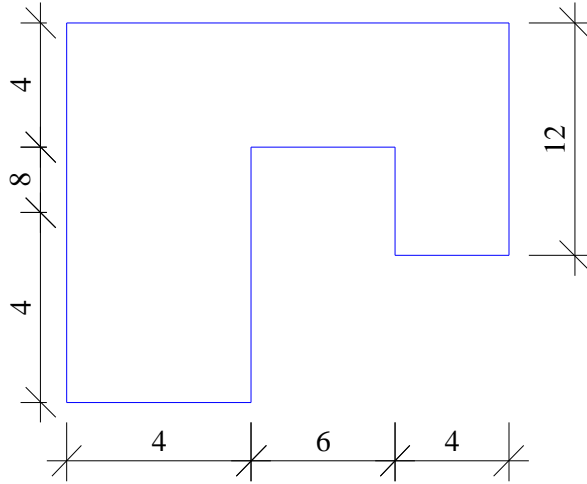
## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

1. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin ağırlık merkezini analitik (hesap) yol ile bulunuz.



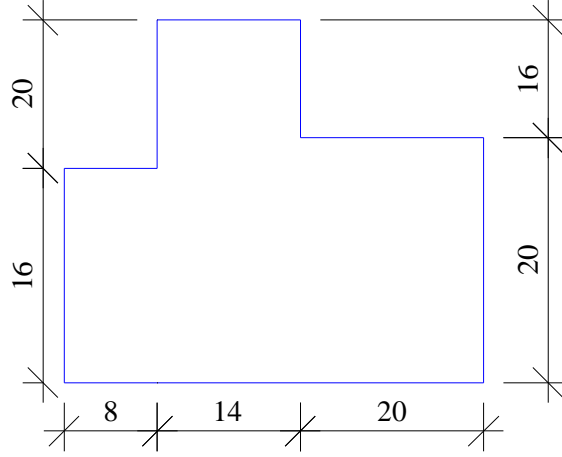
Şekil 2.23

2. Çapı 20 cm olan dairenin, atalet momentini ve mukavemet momentini bulunuz.
3. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin, atalet ve mukavemet momentini hesaplayınız.



Şekil 2.24

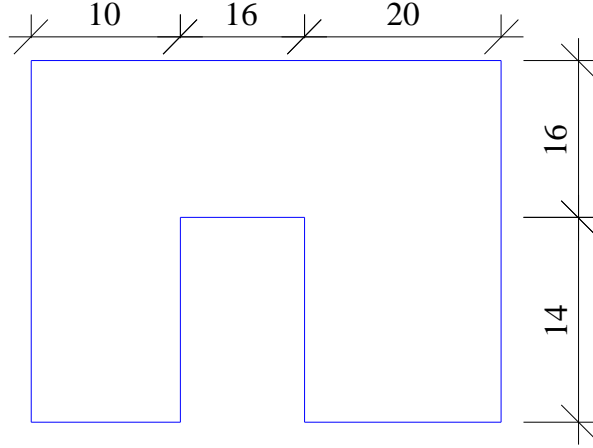
4. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin atalet ve mukavemet momentini hesaplayınız.



Şekil 2.25

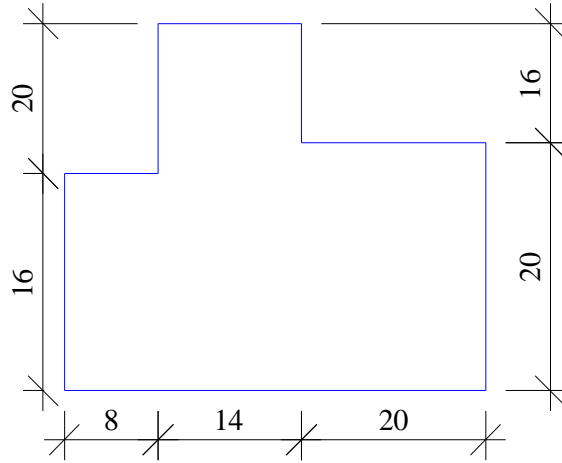
# MODÜL DEĞERLENDİRME

1. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin atalet, mukavemet momentini ve atalet yarıçapını hesaplayınız.



Şekil 2.26

2. Aşağıda verilen birleşik yüzeyin atalet, mukavemet momentini ve atalet yarıçapını hesaplayınız.



Şekil 2.27

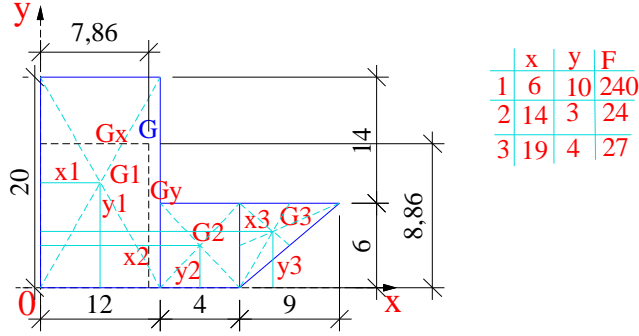
Öğretmeniniz, modüldeki faaliyetleriniz ve araştırma çalışmalarınız sonunda kazandığınız bilgi ve becerilerinizi ölçme araçlarıyla ölçerek modülle ilgili durumunuzu değerlendirecek ve sonucunu size bildirecektir.

<b>PERFORMANS TESTİ</b>				
<b>Dersin adı</b>	İnşaat Teknolojisi / Meslek Hesapları	<b>Öğrencinin</b>		
<b>Amaç</b>	Atalet ve mukavemet momenti hesaplarını doğru olarak yapabilme becerilerinin ölçülmesi.	<b>Adı-soyadı</b>		
<b>Konu</b>	Atalet ve mukavemet momenti hesapları yapmak.	<b>Sınıf Nu</b>		
<b>DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ</b>			<b>EVET</b>	<b>HAYIR</b>
<b>1</b>	Verilen birleşik yüzeyi, koordinat düzlemine oturttunuz mu?			
<b>2</b>	Birleşik yüzeyi, bilinen basit yüzeylere böldünüz mü?			
<b>3</b>	Her basit yüzeyin ağırlık merkezini buldunuz mu?			
<b>4</b>	Her basit yüzeyin ağırlık merkezinden koordinat eksenlerine dikler indirdiniz mi?			
<b>5</b>	Her basit yüzeyin alanları tespit ettiniz mi?			
<b>6</b>	x ve y mesafelerini hesapladınız mı?			
<b>7</b>	Ağırlık merkezi koordinatlarını ( $g_x$ ve $g_y$ ) buldunuz mu?			
<b>8</b>	$e_{1x}$ , $e_{2x}$ ... $e_{nx}$ ve $e_{1y}$ , $e_{2y}$ ... $e_{ny}$ uzunluklarını buldunuz mu?			
<b>9</b>	$J_{1x}$ , $J_{2x}$ ... $J_{nx}$ ve $J_{1y}$ , $J_{2y}$ ... $J_{ny}$ hesapladınız mı?			
<b>10</b>	Steiner teoremini uyguladınız mı?			
<b>11</b>	Atalet yarıçapını buldunuz mu?			
<b>12</b>	Mukavemet momentini buldunuz mu?			

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1.

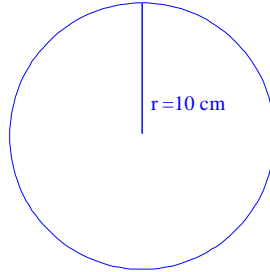


Şekil 1. 33

$$G_x = \frac{240 \times 6 + 24 \times 14 + 27 \times 19}{240 + 24 + 27} = 7,86 \text{ cm}$$

$$G_y = \frac{240 \times 10 + 24 \times 3 + 27 \times 4}{240 + 24 + 27} = 8,86 \text{ cm}$$

2.

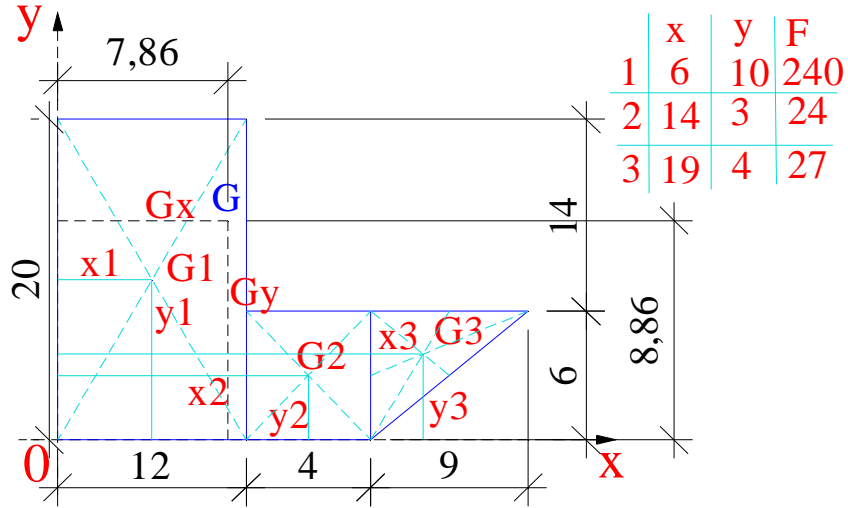


$$J_x = J_y = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{3,14 \times 20^4}{64} = 7850 \text{ cm}^4$$

$$I_x = I_y = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{7850}{314}} = 5 \text{ cm}$$

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1.

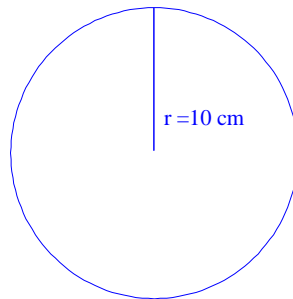


Şekil 2.23

$$G_x = \frac{240 \times 6 + 24 \times 14 + 27 \times 19}{240 + 24 + 27} = 7,86br$$

$$G_y = \frac{240 \times 10 + 24 \times 3 + 27 \times 4}{240 + 24 + 27} = 8,86br$$

2.

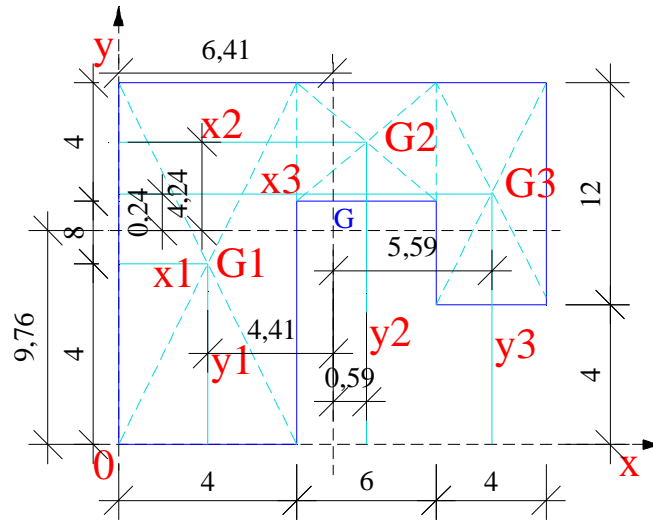


$$J_x = J_y = \frac{\rho D^4}{64} = \frac{3,14 \times 20^3}{64} = 7850 \text{ cm}^4$$

$$W_x = W_y = \frac{\rho D^3}{32} = \frac{3,14 \times 20^2}{32} = 785 \text{ cm}^3$$



3.



Şekil 2.24

nu	x	y	F	ex	Ey
1	2	8	64	1,76	4,41
2	7	14	24	4,24	0,59
3	12	10	48	0,24	5,59

$$Gx = \frac{64 \cdot x_2 + 24 \cdot x_7 + 48 \cdot x_{12}}{64 + 24 + 48} = 6,41 \text{ cm}$$

$$Gy = \frac{64 \cdot y_8 + 24 \cdot y_{14} + 48 \cdot y_{10}}{64 + 24 + 48} = 9,76 \text{ cm}$$

$$Jx_1 = \frac{bh^3}{12} = \frac{4 \cdot 12^3}{12} = 1365,3 \text{ cm}^4$$

$$Jx_2 = \frac{6 \cdot 4^3}{12} = 32 \text{ cm}^4 \quad Jx_3 = \frac{bh^3}{12} = \frac{6 \cdot 4^3}{12} = 576 \text{ cm}^4$$

$$Jx-x = (1365,3 + 64 \cdot x_{1,76}^2) + (32 + 24 \cdot x_{4,24}^2) + (576 + 48 \cdot x_{0,24}^2) = 2605,77 \text{ cm}^4$$

$$Wx - x = \frac{Jx-x}{ex} = \frac{2605,77}{9,76} = 266,93 \text{ cm}^3$$

$$Jy_1 = \frac{hb^3}{12} = \frac{16 \cdot 4^3}{12} = 85,33 \text{ cm}^4$$

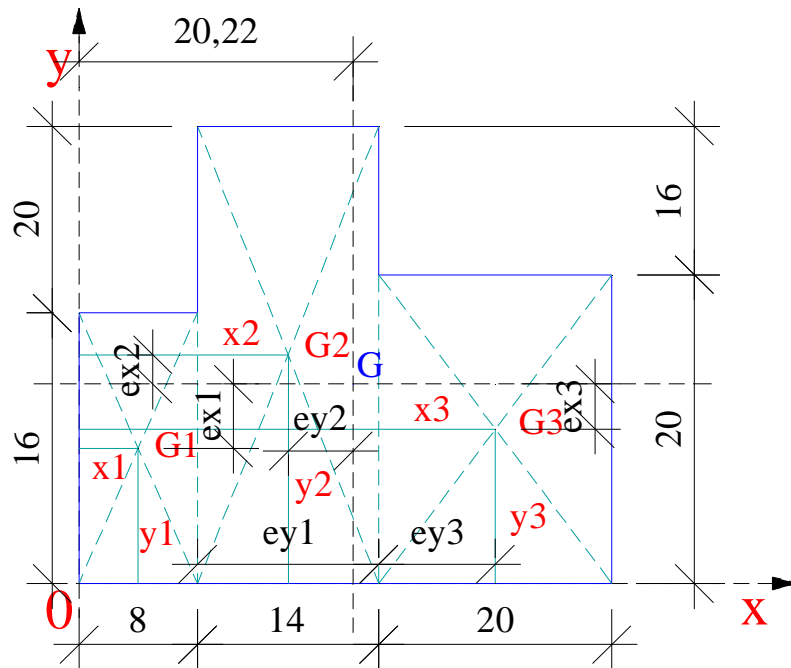
$$Jy_2 = \frac{hb^3}{12} = \frac{4 \cdot 6^3}{12} = 72 \text{ cm}^4$$

$$Jy_3 = \frac{hb^3}{12} = \frac{12 \cdot 4^3}{12} = 64 \text{ cm}^4$$

$$Jy-y = (85,33 + 64 \cdot y_{4,41}^2) + (72 + 24 \cdot y_{0,59}^2) + (64 + 48 \cdot y_{5,59}^2) = 2974,27 \text{ cm}^4$$

$$Wy - y = \frac{Jy-y}{ey} = \frac{2974,27}{9,59} = 310,14 \text{ cm}^3$$

4.



Şekil 2.25

nu	x	y	F	ex	ey	ex <sup>2</sup>	ey <sup>2</sup>
1	4	8	128	5,65	16,22	31,92	263
2	15	18	504	4,35	5,22	18,92	27,24
3	32	10	400	3,65	11,78	13,32	138,76

$$Gx = \frac{128 \cdot 4 + 504 \cdot 15 + 400 \cdot 32}{128 + 504 + 400} = 20,22 \text{ cm}$$

$$Gx = \frac{128 \cdot 8 + 504 \cdot 18 + 400 \cdot 10}{128 + 504 + 400} = 13,65 \text{ cm}$$

$$Jx - x = \frac{8 \cdot 16^3}{12} + 128 \cdot 31,92 + \frac{14 \cdot 36^3}{12} + 504 \cdot 18,92 + \frac{20^4}{12} + 400 \cdot 13,32$$

$$Jx - x = 6816,42 + 6396,68 + 18661,33 = 89445,43 \text{ cm}^4$$

$$W_{x-x} = \frac{Jx - x}{ex} = \frac{89445,43}{22,35} = 4002,03 \text{ cm}^3$$

$$J_{y-y} = \frac{hb^3}{12} = \frac{16 \cdot 8^3}{12} + 128 \cdot 263 + \frac{36 \cdot 14^3}{12} + 504 \cdot 27,24 + \frac{20^4}{12}$$

$$+ 400 \cdot 138,76 = 125144,8 \text{ cm}^4$$

$$Wy - y = \frac{Jy - y}{ey} = \frac{125144,8}{21,78} = 5745,8 \text{ cm}^3$$

## KAYNAKLAR

- Ø AYKUTLU Ali, GÖNÜL Hasan., **Statik ve Yapı Hesapları**, MEB Yayınları, İstanbul 2001.
- Ø ARSLAN Mehmet, **Cisimlerin Dayanımı**, Arslan Basın Yayın, İstanbul 1998.
- Ø KARATAŞ Hasan, Prof. Dr. **Mukavemet**, İTÜ Mim. Fak. Yayınları, İstanbul 1984.
- Ø YILMAZ Yusuf, Yapı Öğrtm. **Statik Ders Notları**, İSOV. Yapı Mes. Lis, İstanbul 2001.