MKB 212

AKIŞKANLAR MEKANİĞİ I

DERS NOTLARI

DOÇ. DR.SONER ÇELEN

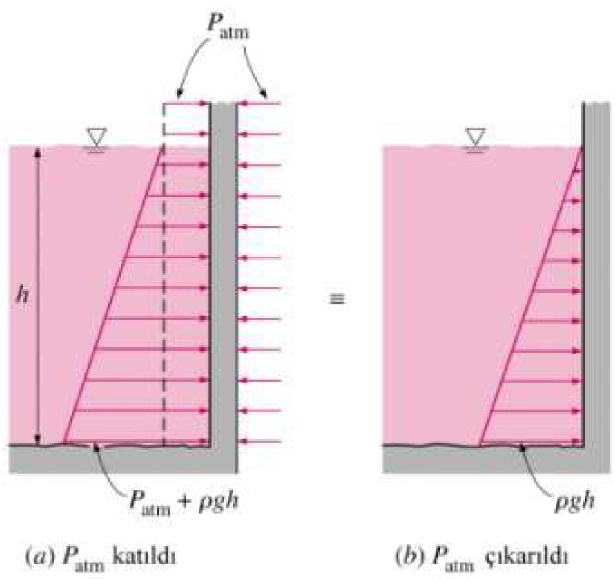
7. HAFTA

3.2. Dalmış Düzlemsel Yüzeyler Üzerindeki Hidrostatik Kuvvetler

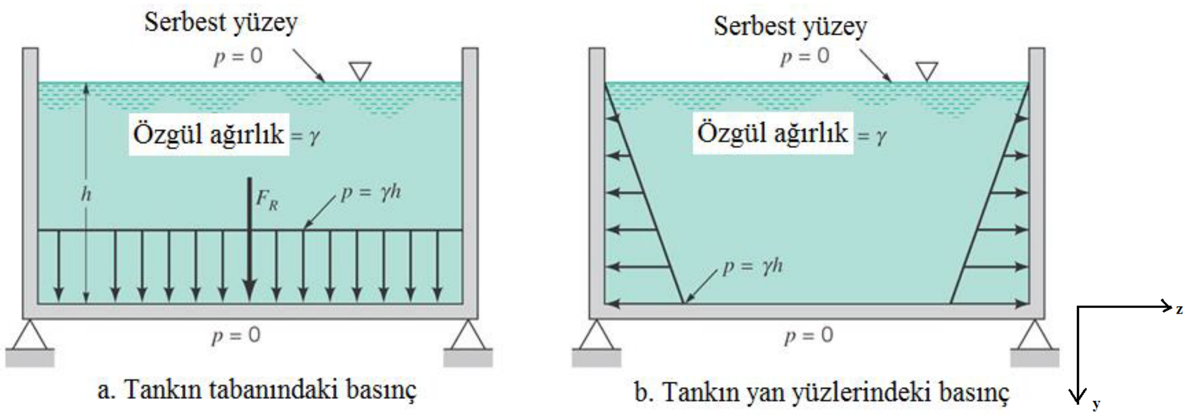
Mühendisler, basınç altındaki yapıları tasarlamak için akışkanlar tarafından uygulanan kuvvetleri hesaplamak zorundadır. Bu bölümde, hidrostatik kuvvetin üç ana karakteristiği; şiddeti, doğrultusu ve yönü hesaplanacaktır.

Sıvı ortamda bulunan bir levha, yüzeyi boyunca etkiyen akışkan basıncına maruz kalır. Buna örnek olarak bir bagajdaki sürgülü vana, bir sıvı depolama tankının yan duvarı ve duran bir geminin yan gövdesi verilebilir. Düz yüzeye gelen hidrostatik kuvvetler bir paralel kuvvetler sistemi oluşturur. Uygulamada genellikle bu kuvvetin büyüklüğünün ve basınç merkezi adı verilen uygulama noktasının bulunmasına gerek duyulur.

Çoğu zaman levhanın diğer yüzü atmosfere açıktır (bir kapağın kuru tarafa gibi) ve böylece atmosfer basıncı levhanın her iki yanına da etkimesi halinde atmosfer basıncını çıkararak sadece etkin basınçla çalışmak daha uygundur. $P_{etkin}=\rho.g.h$



Şekil 3.1 Yan yüzeye etki eden basınç kuvvetleri



Şekil 3.2. a. Üstü açık bir tankın tabanına etkiyen hidrostatik kuvvet ve basınç dağılımı
b. Üstü açık tankın yan yüzeylerindeki basınç dağılımı

$$P_{taban} = \rho . g . h$$

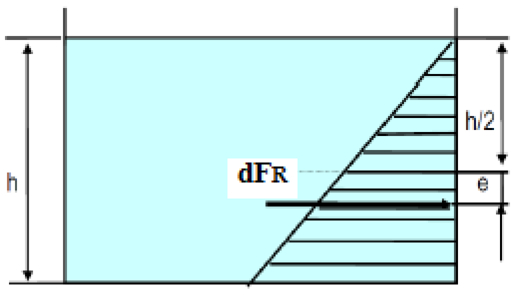
$$F_{R,taban} = P_{taban} . A_{taban}$$

$$F_{R,\ yanal} = P . A_y = \rho . g . y$$

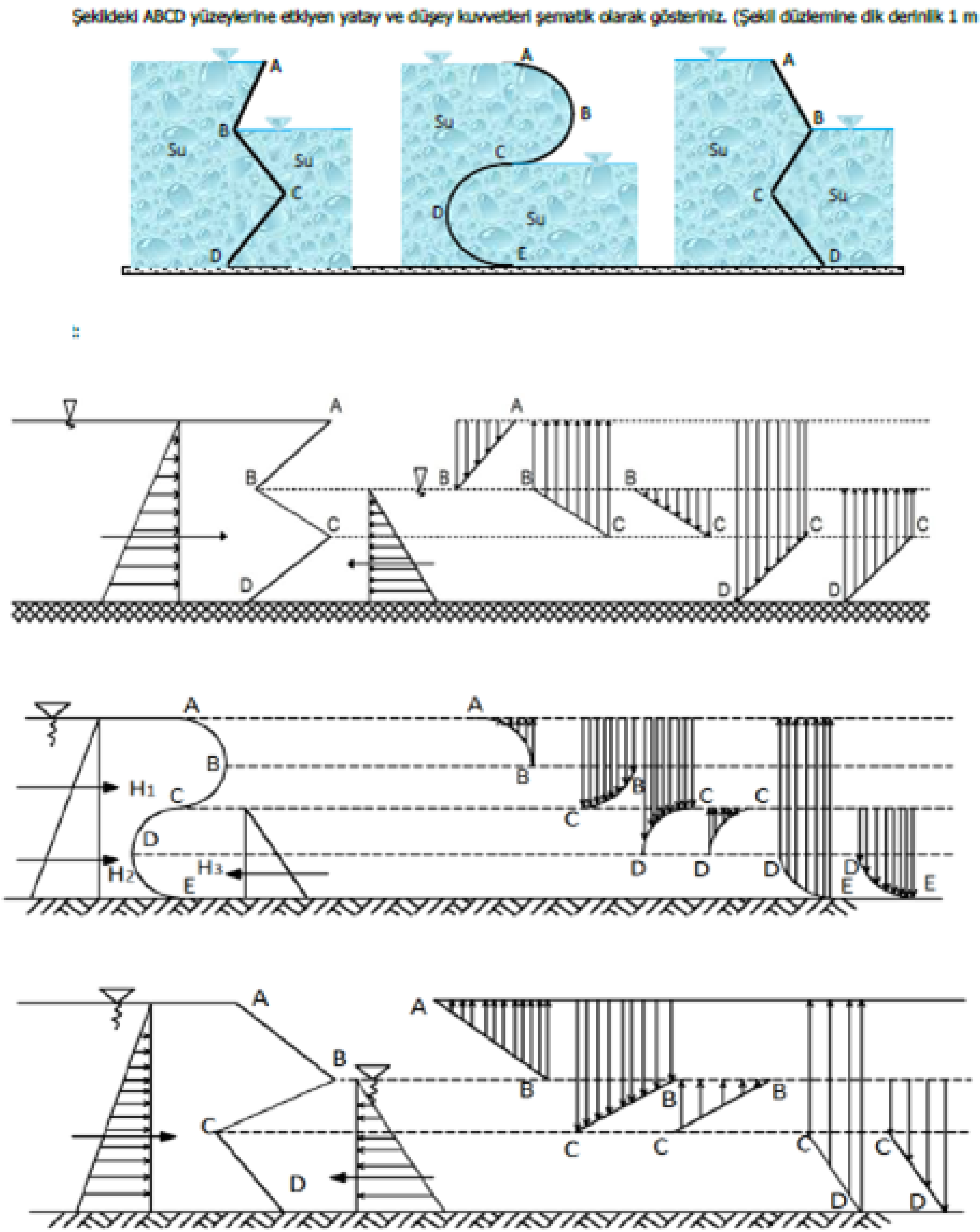
$$dF_R = P . b . dy$$

$$F_R = \int_A PdA = \int_A \rho . g . y . dA$$

P' nin sabit olması gerekir. Sabit değilse hangi P değerini almamız gerekir? Alanın çok küçülttükçe basıncın değişim etkisini azaltırız. Bu yüzden sabit alırız. Yani ortalama basıncı alırız.



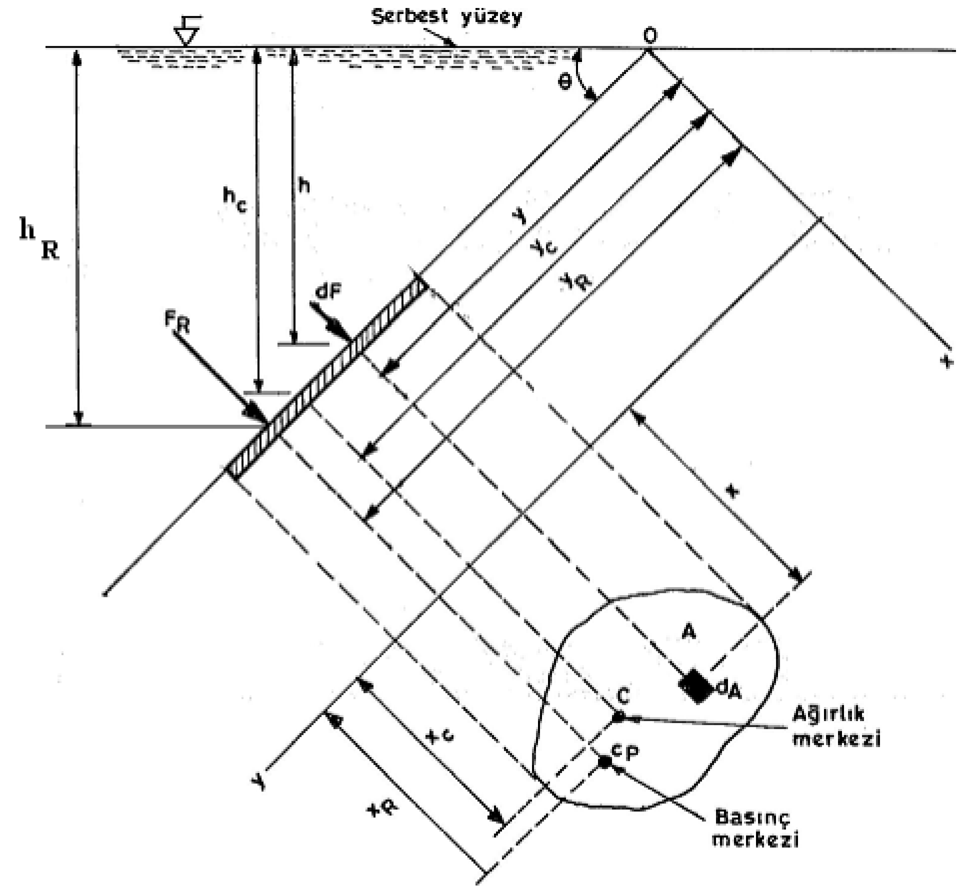
basınç sayısı arttıkça alan düşer.



Şekil 3.2.1 Tamamen dalmış düzlemsel levha

Şekil 3.2.1 de su kapağın üstünde ise oklar aşağı, su kapağın altında ise oklar yukarı çizilir.

Akışkan içinde yoğunluk değişimlerini ihmal edersek herhangi bir dalmış yüzey üzerindeki basınç derinlik ile doğrusal olarak değişir. *Şekil 3.2.1* bir sıvı içine tamamen dalmış düzlemsel levhayı göstermektedir.



Şekil 3.3 Eğimli düz yüzey üzerindeki hidrostatik kuvvet

Şekil 3.3' de gösterilen, eğik olarak daldırılmış düzlem yüzeye etkiyen bileşke kuvveti belirleyelim. Akışkanın yüzeyinin atmosfere açık olduğunu kabul edelim. Daldırılmış yüzeyin bulunduğu yüzey serbest yüzey ile O noktasına Θ açısı ile keşişsin. O orijin olmak üzere x-y eksen sistemi tanımlansın.

Yüzey şekilde gösterildiği gibi keyfi bir şekle sahip olsun. Sıvı ile temastan dolayı bu yüzeyin bir yüzüne etki eden bileşke kuvvetin yönünü, konumunu ve büyüklüğünü belirlemeye çalışalım.

Levha düzlemi, levha yüzeyi üzerinde derinlik değişecek şekilde yatay serbest yüzeyle keyfi bir $\boldsymbol{\theta}$ açısı yapmaktadır. Levhanın **dA** elemansel yüzeyinin derinliği **h** ise, buradaki basınç $p=\gamma h$ dır. Levhanın biçimini içeren formülleri türetmek için, orijini ağırlık merkezinde olan xy koordinat sistemi ve ek olarak levha düzlemi içinde yüzeyden aşağıya yapay y koordinatı oluşturalım. Böylece, levhanın bir yüzü üzerindeki toplam hidrostatik kuvvet:

$$P = P_0 + \rho gh = P_0 + \rho.g.y.\sin\theta$$

$$F = \int PdA = \int (Po + \rho.g.y.sin\,\theta\,)dA = Po\,A + \rho.g.sin\,\theta \int ydA \qquad (3.2.1)$$

$$F = (Po + \rho.g.y_C\,.sin\theta)\,A = (Po + \rho.g.h_C\,)A = P_C A = P_{ort} A$$

dır. h=y sin θ ve ağırlık merkezinin yüzeyden eğik uzaklığı:

$$y_C = \frac{1}{A}\int y dA \tag{3.2.2}$$

olduğundan:

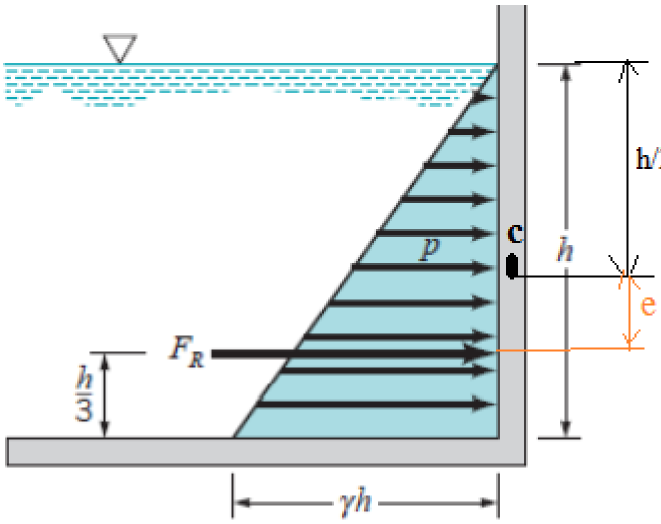
$$\boxed{\begin{aligned} F &= \gamma \sin\theta \int y dA = \gamma \sin\theta y_C A = \\ &= \gamma h_C A = p_C A \end{aligned}} \tag{3.3.3}$$

bulunur.

Yani A düzlemsel yüzeyine, bir sıvı tarafından etkiyen F kuvveti, sıvının özgül ağırlığı γ, A alanının ağırlık merkezinin sıvı yüzeyine alan düşey mesafesi h_C ile yüzey alanının çarpımına eşittir.

Basınç Merkezinin Yeri

Yan yüzeylere yapılan basınç kuvvetinin uygulama noktası, yüzeyin ağırlık merkezi olan orta noktasından daha alt noktada teorik ve deneysel olarak belirlenmiştir. Dikkat edilirse yan yüzeylere gelen basınç dağılımı üçgen şeklinde dağılmaktadır. Basınç merkezi ise bu üçgenin kenar ortaylarının merkezinden geçer. Basınç merkezi *h/2* mesafesinden *e* kadar daha aşağıya isabet etmektedir.



Bileşke kuvvet (itme kuvveti) F ağırlık merkezinin (C) aşağısında yüksek basınç tarafında etki eder. Etki çizgisi Şekil 3.2.3 de çizildiği gibi levhanın BM basınç merkezinden (itme merkezi) geçer. (x_{BM}, y_{BM}) koordinatlarını bulmak için elemansel pdA kuvvetinin ağırlık merkezi etrafında momentlerini toplar ve bileşke F nin momentine eşitleriz.

y_{BM}' yi hesaplamak için x eksenine göre moment alınırsa:

$$F.y_{BM} = \int ypdA = \gamma \sin\theta \int y^2 dA = \gamma I_{xx,O} \sin\theta \qquad (3.2.4)$$

$$y_{BM} = \frac{1}{F}\int yPdA \qquad (3.2.5)$$

Burada x eksenine göre A alanının atalet momenti için $\int_A y^2 dA = I_{xx,o}$ yazıldı.

Bağıntısında F yerine konularak itme (basınç) merkezi y_{BM} koordinatı için :

$F=\gamma y_c A\sin\Theta$ ve $P=\gamma y\sin\Theta$

$$y_{BM} = \frac{1}{\gamma y_C A\sin\theta}\int_A y.\gamma.y.\sin\theta.dA$$

$$y_{BM} = \frac{1}{y_C A}\int_A y^2 dA$$

$$y_{BM} = \frac{\gamma I_{xx,O}\sin\theta}{p_C A} = \frac{I_{xx,O}\sin\theta}{h_C A} = \frac{I_{xx,O}}{y_C A}$$

Eşitliğinde O noktasından geçen x eksenine güre Atalet Momenti paralel eksen teoremi uyarınca :

$$I_{xx,O} = I_{xx} + y_C^2 A \qquad (3.2.6)$$

Olarak yerine yazılırsa,

$$\boxed{y_{BM} = \frac{I_{xx,O}}{y_C A} = y_C + \frac{I_{xx}}{y_C A}} \qquad (3.2.7)$$

Dolayısıyla BM nin C den y yönünde uzaklığı e için :

$$\boxed{e = y_{BM} - y_C = \frac{I_{xx}}{y_C A}} \qquad (3.2.8)$$

elde ederiz.

I_{xx} ağırlık merkezinden geçen x eksenine göre atalet momentidir.

x_{BM}' yi hesaplamak için y eksenine göre moment alınırsa:

Benzer şekilde Basınç Merkezinin Ağırlık Merkezinden x yönünde uzaklığı *f* belirlenir :

$$\boxed{Fx_{BM} = \int xpdA = \gamma \sin\theta \int xydA = \gamma I_{xy,O} \sin\theta}$$

$$x_{BM} = \frac{1}{F}\int xPdA \tag{3.2.9}$$

Bağıntısında F yerine konularak itme (basınç) merkezi x_{BM} koordinatı için :

$F=\gamma y_c A\sin\Theta$ ve $P=\gamma y\sin\Theta$

$$x_{BM} = \frac{1}{\gamma y_C A\sin\theta}\int_A x.\gamma.y.\sin\theta.dA$$

$$x_{BM} = \frac{1}{y_C A}\int_A xydA$$

Burada A alanının çarpım atalet momenti için $\int_A xydA = I_{xy}$ yazılırsa:

$$\boxed{x_{BM} = \frac{\gamma I_{xy}\sin\theta}{p_C A} = \frac{I_{xy,O}\sin\theta}{h_C A} = \frac{I_{xy,O}}{y_C A} = x_C + \frac{I_{xy,C}}{y_C A}}$$

Eşitliğinde O noktasından geçen x eksenine güre Atalet Momenti paralel eksen teoremi uyarınca :

$$\boxed{I_{xy} = I_{xyC} + x_C y_C A}$$

$I_{xy,C}$ ağırlık merkezinden geçen y eksenine göre çarpım atalet momentidir.

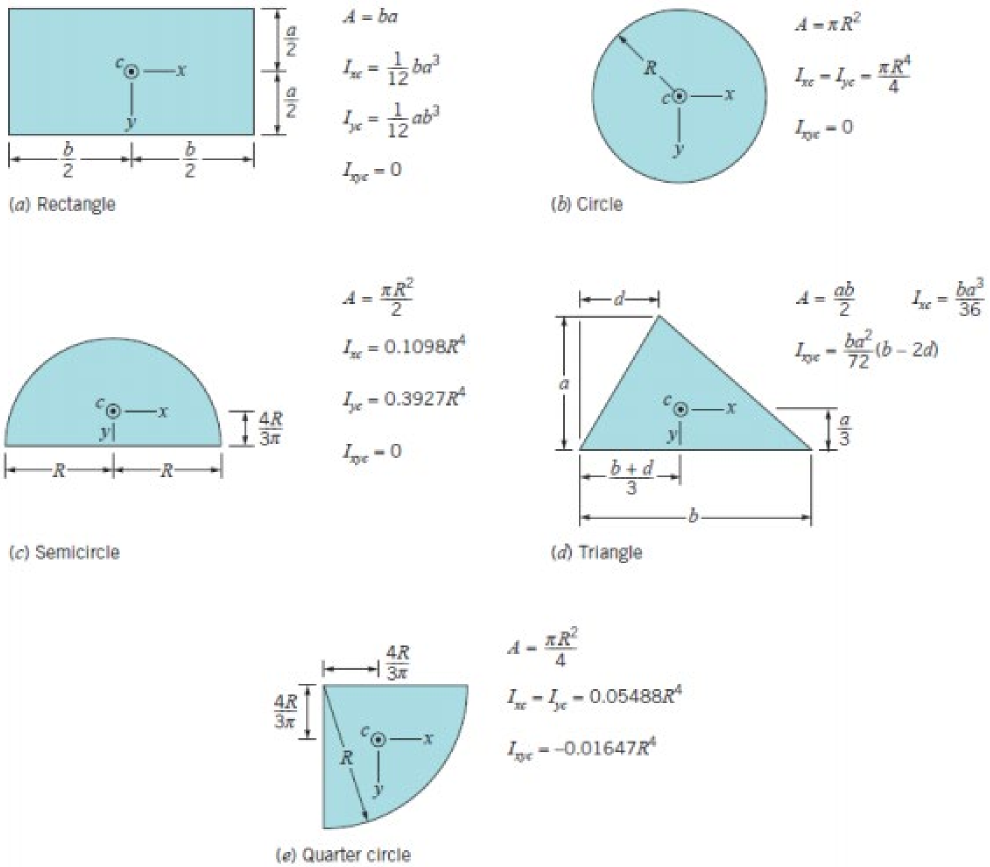
Basınç Merkezinin Ağırlık Merkezinden y yönünde uzaklığı f için:

$$\boxed{f = x_{BM} - x_C = \frac{I_{xy}}{y_C A}}$$ bulunur.

Levhanın y eksenine göre simetrik olması durumunda $\mathbf{I_{xy,C}=0}$ dır. f = 0 olur ve itme merkezi ağırlık merkezinin altında y ekseni üzerinde yer alır. İtme merkezi (basınç merkezi) özgül ağırlıktan γ bağımsızdır. *Şekil 3.4 de* çeşitli yaygın kesitlerin atalet momentlerini ve alanlarını vermektedir.

Not: Basınç merkezinin konumu daima alanın ağırlık merkezinden daha aşağıdadır.

Bazı Geometrik Şekillerin Özellikleri



Şekil 3.4 Yaygın kesitlerin alanları ve kütle merkezine göre atalet momentleri

Dikdörtgen (a)

A= b. a

$$Ixc = \frac{1}{12}.b.a^3$$

$$Iyc = \frac{1}{12}.a.b^3$$

Ixyc= 0

Daire (b)

A= π.R^2

$$Ixc = Iyc = \frac{\pi.R^4}{4}$$

Ixyc= 0

Yarım daire (c)

$$A = \frac{\pi R^2}{2}$$

Ixc= 0,1098R^4

Iyc= 0,3927R^4

Ixyc= 0

Üçgen (d)

$$A = \frac{a.b}{2}$$

$$Ixc = \frac{b.a^3}{36}$$

$$Ixyc = \frac{b.a^2}{72}.(b-2d)$$

Çeyrek daire (e)

$$A = \frac{\pi.R^2}{4}$$

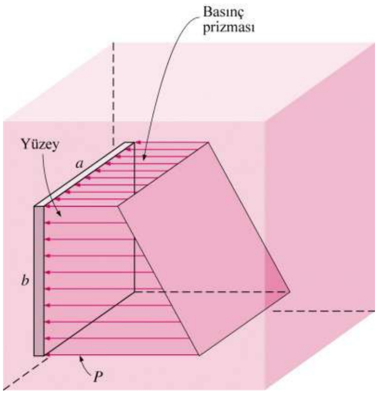
Ixc= Iyc= 0,05488R^4

Ixyc= -0,01647R^4

Basınç Prizması

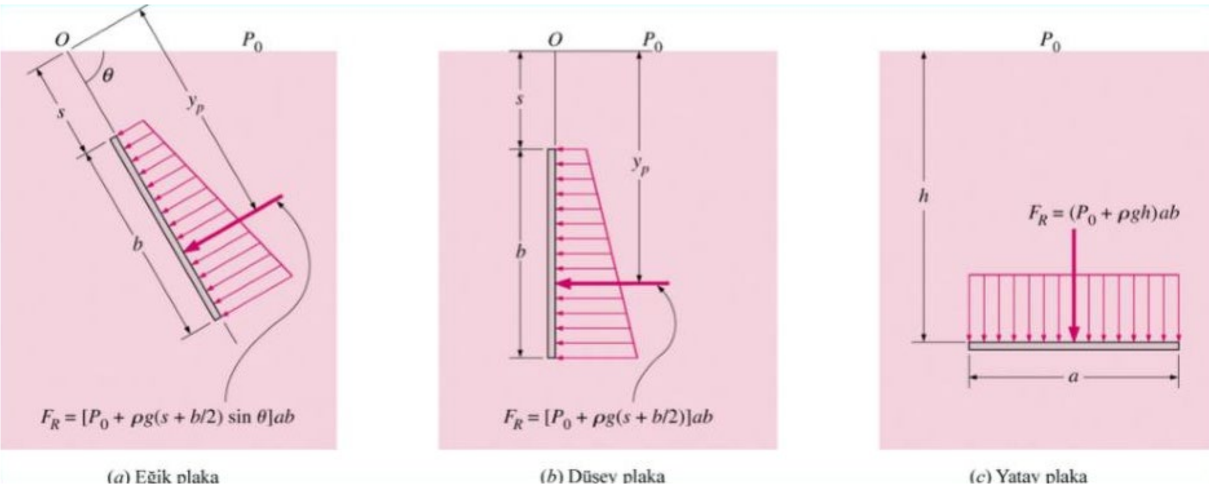
• Düz bir yüzey üzerine etki eden kuvvetler, tabanı (sol yüz) yüzeyin alanı, yüksekliği de basınç olan bir hacim meydana getirir.

• Bu prizmanın hacmi, istenen bileşke kuvveti, kütle merkezinin yüzey üzerindeki izdüşümü ise bu kuvvetin etki noktasını verir.



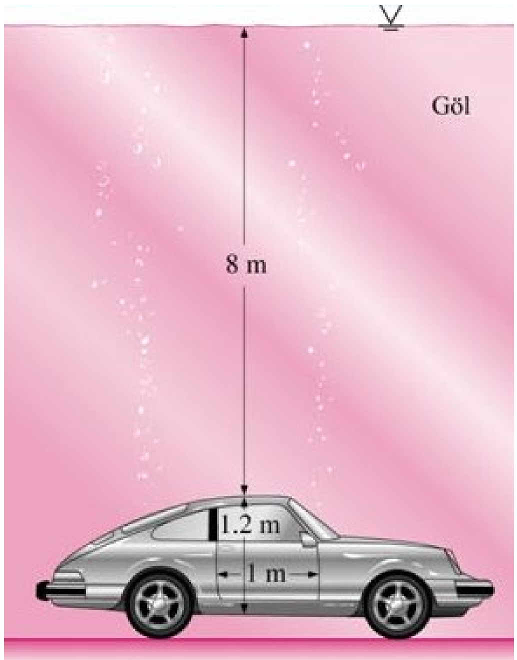
Şekil 3.5 basınç prizması

Bazı Özel Durumlar



Şekil 3.8 özel durumlar

Örnek 3.1 : Batmış Bir Arabanın Kapısına Etkiyen Hidrostatik Kuvvet



Ağır bir araba, kaza sonucu göle uçarak tekerlekleri üzerinde gölün tabanına çökmüştür. Arabanın kapısı 1.2 m yüksekliğinde ve 1 m eninde olup üst kenarı suyun serbest yüzeyinden 8 m aşağıdadır. Kapı üzerindeki hidrostatik kuvveti ve basınç merkezinin konumunu belirleyerek sürücünün kapıyı açıp açamayacağını tartışınız.

Kabuller

• **1** Göl tabanı yataydır.

• **2** Yolcu kabini içeri su sızdırmayacak şekilde iyi yalıtılmıştır.

• **3** Arabanın kapısı dik bir dikdörtgensel plaka olarak düşünülebilir.

• **4** İçeri su girmediği için kabin içerisindeki basınç atmosferik olarak kalmakta ve dolayısıyla içerdeki havanın sıkışması söz konusu değildir. Bu yüzden, kapının her iki tarafına da etkimesinden ötürü atmosferik basınç hesaplamalarda dikkate alınmaz.

• **5** Arabanın ağırlığı, üzerine etkiyen kaldırma kuvvetinden daha fazladır.

Özellikler Suyun yoğunluğu 1000 kg/m^3 olarak alınabilir.

Analiz Kapı üzerindeki ortalama basınç, kapının kütle merkezindeki (orta nokta) basınca eşittir. Buna göre kapıya gelen ortalama basınç aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$P_{ort} = P_C = \rho g h_C = \rho g(s + b/2)$$

$$= (1000 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)(8 + 1.2/2 \text{ m})\left(\frac{1 \text{ kN}}{1000 \text{ kg·m/s}^2}\right)$$

$$= \mathbf{84.4 \text{ kN/m}^2}$$

Bu durumda kapı üzerine etkiyen hidrostatik basınç kuvvet şöyle olur:

$$F_R = P_{ort} A = (84.4 \text{ kN/m}^2)(1 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}) = \mathbf{101.3 \text{ kN}}$$

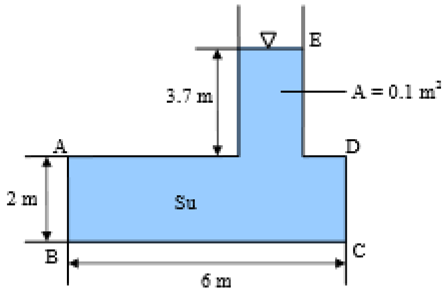
Basınç merkezi doğrudan kapının orta noktasının altındadır ve göl yüzeyinden olan mesafesi Denklem 3–24'te $P_0 = 0$ alınarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$y_P = s + \frac{b}{2} + \frac{b^2}{12(s + b/2)} = 8 + \frac{1.2}{2} + \frac{1.2^2}{12(8 + 1.2/2)} = \mathbf{8.61 \text{ m}}$$

İrdeleme Ağırlığı 981 N veya 1 kN civarında olan güçlü bir kimse 100 kg yükü kaldırabilir. Ayrıca bu kişi, maksimum etki yapmak ve 1 kN·m'lik bir moment meydana getirmek için menteşelerden en uzaktaki bir noktaya (1 m uzağa) bu kuvveti uygulayabilir. Bileşke hidrostatik kuvvet, kapının orta noktasının altından ve menteşelerden 0.5 m'lik bir mesafeden etkimektedir. Buna göre hidrostatik basınç kuvveti sürücünün meydana getirebileceğinin 50 katı (50.6 kN·m) bir moment oluşturur. Bu nedenle sürücünün kapıyı açabilmesi imkansızdır. Sürücü için tek çıkar yol, bir miktar suyun içeri girmesine (örneğin camı biraz aşağı indirerek) izin vermek ve başını tavana yakın tutmaktır. Böylelikle arabanın içinin suyla dolmasına çok az kala kapının her iki yanındaki basınçlar hemen hemen aynı olur. Bu arabanın kapısı normalde olduğu kadar kolay bir şekilde açılabilir hale gelir ve sürücü kapıyı açabilir.

Örnek 3.2

ABCD haznesine bağlı boruda su E seviyesine kadar yükseliyor. Hazne ve borunun ağırlığı ihmal ederek,
a) 2.5 m genişliğindeki AB alanına etkiyen bileşke kuvvetin şiddetini ve yerini bulunuz?
b) Haznenin tabanına etkiyen toplam kuvveti bulunuz?



a) AB alanına etkiyen basınç kuvveti;

$$F_{AB} = \rho \cdot g \cdot h_s \cdot A = 1000 \cdot 9.81 \cdot (1+3.7) \cdot (2.5 \cdot 2) \Rightarrow F_{AB} = 230 \text{ kN}$$

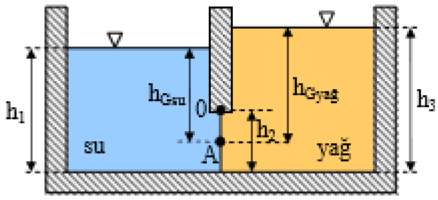
b) Tabana etkiyen toplam kuvvet;

$$F = \rho \cdot g \cdot h \cdot A = 1000 \cdot 9.81 \cdot (2+3.7) \cdot (6 \cdot 2.5) \Rightarrow F = 839 \text{ kN}$$

$$y_P = y_c + \frac{Ixx,c}{y_c A} = 4{,}7 + \frac{2{,}5.2^3/12}{4{,}7.(2{,}5x2)} = \mathbf{4{,}77m}$$

Örnek 3.3

Şekildeki sistemde dikdörtgen kapak 0 noktasından mafsallı olup, kapağın şekil düzlemine dik derinliği 2 m'dir. Kapağı bulunduğu konumda dengede tutabilmek için A noktasına uygulanması gereken kuvvetin değerini bulunuz?
($h_1 = 4$ m; $h_2 = 1$ m; $h_3 = 4.5$ m)
($\rho_{yağ} = 900$ kg/m^3; $\rho_{su} = 1000$ kg/m^3); $I_G = \dfrac{b \cdot h^3}{12}$



$$F_{su} = \rho_{su} \cdot g \cdot h_{Gsu} \cdot A = 1000 \cdot 9.81 \cdot 3.5 \cdot (2 \cdot 1) \Rightarrow F_{su} = 68670 \; N$$

$$F_{yağ} = \rho_{yağ} \cdot g \cdot h_{Gyağ} \cdot A = 900 \cdot 9.81 \cdot 4 \cdot (2 \cdot 1) \Rightarrow F_{yağ} = 70632 \; N$$

$$Y_{M\,su} = \frac{\dfrac{2 \cdot 1^3}{12}}{3.5 \cdot (2 \cdot 1)} + 3.5 \Rightarrow Y_{M\,su} = 3.523 \; m;$$

$$Y_{M\,yağ} = \frac{\dfrac{2 \cdot 1^3}{12}}{4 \cdot (2 \cdot 1)} + 4 \Rightarrow Y_{M\,yağ} = 4.02 \; m$$

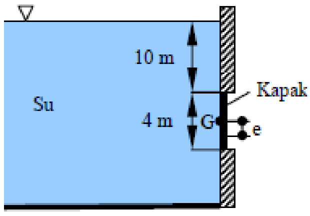
$$\sum M_0 = 0 \Rightarrow 68670 \cdot 0.523 + K \cdot 0.5 - 70632 \cdot 0.52 = 0 \Rightarrow K = 1628.46 \; N$$

Örnek 3.5

3- Dikdörtgen kesitli bir kapak 3 m genişliğinde olup şekilde görüldüğü gibi dik olarak suyun içine yerleştirilmiştir. Suyun derinliği 10 m'ye ulaştığında kapağın otomatik olarak açılması istenmektedir.

a) Sürtünmesiz yatay şaft hangi noktaya yerleştirilmelidir?

b) Kapağın açılabilmesi için uygulanması gerekli kuvvet ne olur?



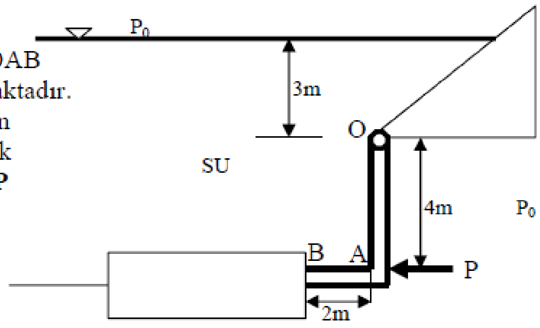
$$I_{GY} = \frac{1}{12}(Taban)\cdot(Yükseklik)^3$$

a) $$e = \frac{I_{GY}}{z_G \cdot A} = \frac{\frac{1}{12}\cdot 3\cdot 4^3}{(10+2)\cdot(3\cdot 4)} \Rightarrow e \cong 0.111\ m$$

b) $$F = P_G \cdot A = \rho\cdot g\cdot h\cdot A = 9810\cdot 12\cdot(4\cdot 3)$$

$$F = 1412.64\ kN$$

Örnek 3.6



Soru 2:

O da dönebilecek şekilde yerleştirilmiş olan OAB kapağı bir P kuvveti vasıtasıyla B ye dayanmaktadır. Kağıda dik yönde kapağın eni 3m dır. Kapağın Ağırlığını ve O daki sürtünmeleri ihmal ederek suyun akmaması için gerekli olan **minimum P kuvvetini hesaplayınız.**

$\rho_{su} = 1000 \quad kg/m^3$

Cevap 2:

Kapağa gelen F_x kuvveti;

$$F_x = \rho_{su}.g.(3+2).A$$

$$F_x = 1000.9,81.5.4.3$$

$$F_x = 588600N$$

Yüzeyden F_x kuvvetinin kapağa etki etme noktası

$$e = \frac{I_a}{z_g.A}$$

$$e = \frac{3.4^3}{12.5.4.3}$$

$$e = 0,2666m$$

Kapağa gelen F_y kuvveti;

$$F_y = \rho_{su}.g.V$$

$$F_y = 1000.9,81.(2.7.3)$$

$$F_y = 412020N$$

O noktasına göre moment alırsak

$$F_y.1 + F_x.2,2666 = P.4$$

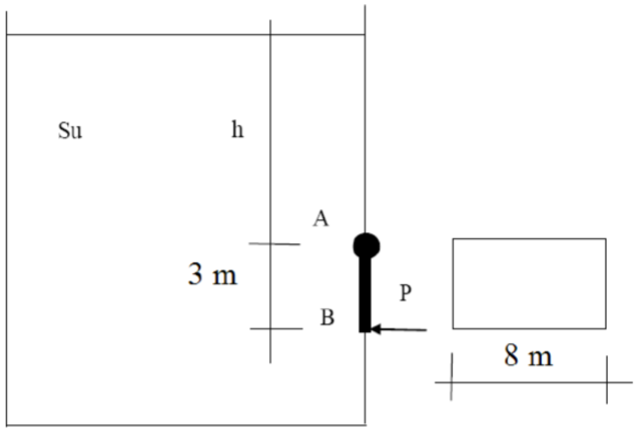
$$P = \frac{F_y.1 + F_x.2,2666}{4}$$

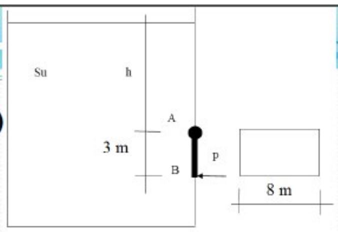
$$P = \frac{412020.1 + 588600.2,2666}{4}$$

$$P = 436535,19N$$

Örnek 3.7

- ***Örnek:*** Şekildeki A-B kapağı A noktasında mafsallı olup B noktasına 284490 N luk P kuvveti etkimektedir. Kapağın hareketsiz k alması için gerekli h yüksekliğini hesaplayınız.





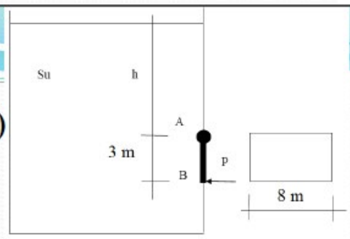
$$F_x = \gamma * h_C * A = 9810*(h+1,5)*(3*8)$$

$$F_x = 235440*(h+1,5) \quad \text{N}$$

$$I_{xc} = \frac{b*h^3}{12} = \frac{8*3^3}{12} = 18\,\text{m}^4$$

$$y_R = \frac{I_{xc}}{y_C * A} + y_C$$

$$y_R = \frac{18}{(h+1,5)*(3*8)} + (h+1,5) = \frac{0,75}{(h+1,5)} + (h+1,5)$$



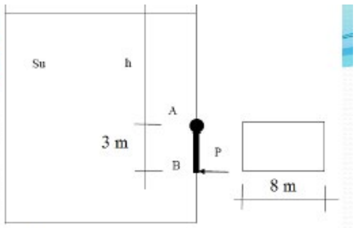
$$F_x = \gamma * h_C * A = 9810*(h+1,5)*(3*8)$$

$$F_x = 235440*(h+1,5) \quad \text{N}$$

$$I_{xc} = \frac{b*h^3}{12} = \frac{8*3^3}{12} = 18\,\text{m}^4$$

$$y_R = \frac{I_{xc}}{y_C * A} + y_C$$

$$y_R = \frac{18}{(h+1,5)*(3*8)} + (h+1,5) = \frac{0,75}{(h+1,5)} + (h+1,5)$$

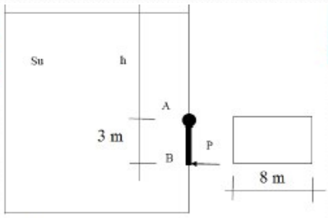


$$235440*(h+1,5)*\left[\frac{0,75}{(h+1,5)}+(h+1,5)-h\right]=284490*3$$

$$235440*(h+1,5)*\left[\frac{0,75}{(h+1,5)}+1,5\right]=853470$$

$$\cancel{(h+1,5)}*\left[\frac{0,75+(h+1,5)*1,5}{\cancel{(h+1,5)}}\right]=3,625$$

0,75+(h+1,5)*1,5=3,625 → h= 0,42 m



$$235440*(h+1,5)*\left[\frac{0,75}{(h+1,5)}+(h+1,5)-h\right]=284490*3$$

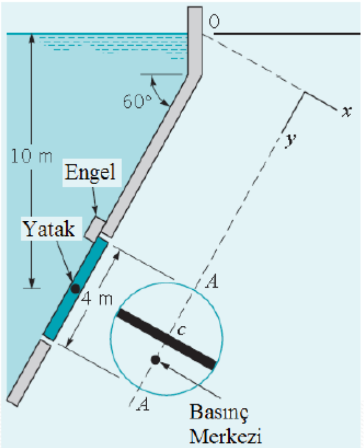
$$235440*(h+1,5)*\left[\frac{0,75}{(h+1,5)}+1,5\right]=853470$$

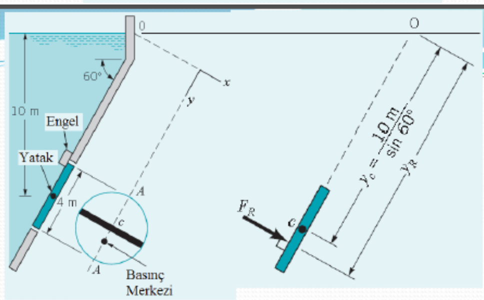
$$\cancel{(h+1,5)}*\left[\frac{0,75+(h+1,5)*1,5}{\cancel{(h+1,5)}}\right]=3,625$$

0,75+(h+1,5)*1,5=3,625 → h= 0,42 m

Örnek 3.9

- ***Örnek :*** Şekilde verilen 4 m çapındaki dairesel kapı su ile dolu büyük bir rezervuarın eğik duvarı üzerine yerleştirilmiştir. Kapı onun yatay çapı boyunca yataklanmış olup yatağın üzerindeki su derinliği 10 m'dir. Su tarafında kapıya uygulanan bileşke kuvveti ve eksentrisiteyi bulunuz.



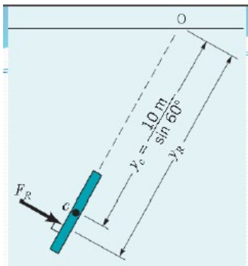


- Suyun kuvvetinin büyüklüğünü bulmak için denklem 2.8'i uygulayabiliriz.

$$F_R = \gamma * h_C * A$$

- Serbest yüzeyden alanın merkezine olan dikey mesafe 10 m olduğu için

$$F_R = (9810\,\text{N/m}^3)*(10\,\text{m})*(\pi * 2^2\ \text{m}^2) \rightarrow F_R = 1232136\ \text{N}$$



Eksentrisite = Basınç Merkezi – Ağırlık Merkezi

e = y_R - y_c

F_R'nin etki ettiği basınç merkezinin konumunu bulmak için denklem 2.9 kullanılırsa

$$y_R = \frac{I_{xc}}{y_c * A} + y_c \qquad I_{xc} = \frac{\pi * R^4}{4} = \frac{\pi * 2^4}{4} = 4 * \pi$$

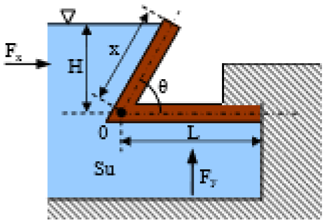
$$y_R = \frac{4 * \pi}{(10/\sin 60) * (\pi * 2^2)} + (10/\sin 60)$$

$$y_R = 0.0866 + 11.55 = 11.6366 \text{ m}$$

$$e = y_R - y_c = 11.6366 - 11.55 = 0.0866 \text{ m}$$

Örnek 3.10

Şekilde görülen V şeklindeki dikdörtgen kapak 0 ekseni etrafında dönerek açılmaktadır. Kapağın kendi ağırlığını ihmal ederek, kapağın açılmaması için H derinliğinin ne olması gerektiğini bulunuz?
(L = 4 m; θ = 45^0)



$$x = \frac{H}{\sin\theta}$$

$$F_x = \rho \cdot g \cdot \frac{H}{2} \cdot (b \cdot x) = \rho \cdot g \cdot \frac{H}{2} \cdot b \cdot \frac{H}{\sin\theta} \Rightarrow F_x = \rho \cdot g \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{H^2}{\sin\theta}$$

$$F_y = \rho \cdot g \cdot H \cdot L \cdot b$$

$$\sum M = 0 \Rightarrow F_x \cdot \frac{H}{3 \cdot \sin\theta} - F_y \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$\rho \cdot g \cdot \frac{b}{2} \cdot \frac{H^2}{\sin\theta} \cdot \frac{H}{3 \cdot \sin\theta} - \rho \cdot g \cdot H \cdot L \cdot b \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$\frac{H^2}{3 \cdot \sin^2\theta} = L^2 \Rightarrow H^2 = 3 \cdot L^2 \cdot \sin^2\theta = 3 \cdot 4^2 \cdot \sin^2 45 \Rightarrow H = 4.89 \ m$$