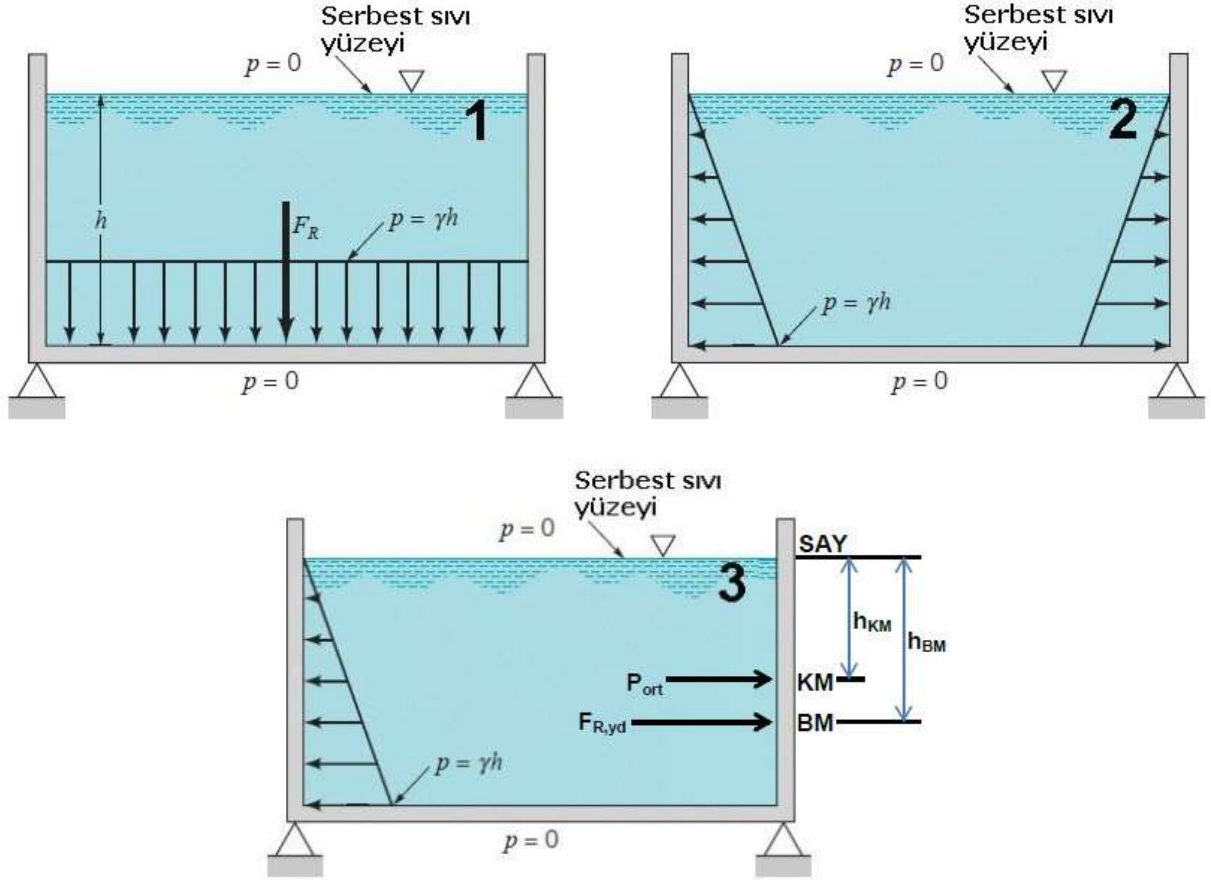


**Soru 1:** Şekil 1, 2 ve 3 ile verilen ve içinde aynı özellikte herhangi bir sıvı bulunan deponun yan duvarlarına ve tabanına etki eden basınç ve bileşke kuvvet için neler söylenebilir? Maddeler halinde yazınız.



**Çözüm 1:**

1. Atmosfer basıncı deponun her tarafına eşit şekilde etkidiği için değeri sıfır olarak alınabilir ( $P = 0$  Pa).
2. Basınç ve bileşke kuvvet hesapları serbest sıvı yüzeyi veya serbest akışkan yüzeyi (SAY) dikkate alınarak yapılır.
3. (Şekil 1'e bakınız) Yatay düzlemde basınç değişmeyeceği için deponun tabanına etki eden basınç değerleri değişmez ve gösterge basıncı olarak  $P = P_{\text{taban,gös.}} = \gamma h$  [Pa] veya  $P = P_{\text{taban,gös.}} = \rho g h$  [Pa] eşitliği ile hesaplanabilir. [ $\gamma$ , özgül ağırlıktır ve sıvının yoğunluğu ( $\rho$ ) ile yerçekimi ivmesinin ( $g$ ) çarpımına eşittir.  $h$ , serbest sıvı yüzeyinden olan düşey uzaklıktır].
4. (Şekil 1'e bakınız) Deponun tabanına etki eden bileşke kuvvet ( $F_R$ ),  $A_1$  taban alanı olmak üzere ( $P_{\text{taban,gös.}} \cdot A_1$ ) [N] ile hesaplanır ve etkidiği yer tabanın orta noktası (merkez noktası yani alan kütle merkezi) olarak alınır.
5. Bir cismin her noktasına etki eden aynı değerdeki yerçekimi kuvvetinin bileşkesinin uygulama noktasına kütle merkezi veya ağırlık merkezi denir. "C" veya "KM" ile gösterilir.
6. Bir cisme uygulanan ancak moment oluşturmeyen tüm kuvvetlerin bileşkesinin geçtiği noktaya basınç merkezi denir. "CP" veya "BM" ile gösterilir.
7. (Şekil 1'e bakınız) Deponun tabanı olan yatay düzlemde kütle merkezi (KM) ile basınç merkezi (BM) aynı noktada (yani taban düzleminin merkez noktasında) çıkarılır.
8. (Şekil 2'ye bakınız) Basınç derinlikle değiştiği için deponun yan duvarlarına etki eden basınç (gösterge basıncı) serbest sıvı yüzeyinde sıfır değerindedir ve derinlik arttıkça doğrusal olarak artar. Tabanda en yüksek değerini alır,  $P = P_{\text{taban,gös.}} = \gamma h$  [Pa].

9.(Şekil 1 ve 2'ye bakınız) Deponun yüksekliği olan  $h$  değerinde hem tabandaki hem de yan duvarlardaki basınç değerleri eşittir ve  $P = \rho gh$  [Pa] eşitliği ile hesaplanabilir. {SAY'den  $h$  kadar aşağıda  $P_{\text{yan duvar,gös.}} = P_{\text{taban,gös.}} = \rho gh$  [Pa]}

10.(Şekil 1 ve 3'e bakınız) Tabana etki eden bileşke kuvvet ( $F_R$ ) ile yan duvarlara etki eden bileşke kuvvet ( $F_{R,yd}$ ) aynı değildir. Yan duvarlara etki eden bileşke kuvvet ( $F_{R,yd}$ ),  $A_2$  yan duvar yüzey alanı ve  $P_{\text{ort}}$  ortalama basınç olmak üzere  $P_{\text{ort}}A_2$  [N] ile hesaplanır.

11.(Şekil 3'e bakınız) Bileşke kuvvetinin etki ettiği nokta basınç merkezidir (BM). Ortalama basınç ise kütle (ağırlık) merkezine (KM) etki eder.

12.(Şekil 3'e bakınız)  $h_{KM}$ , SAY'den KM'ne olan dikey uzunluk olmak üzere, ortalama basınç  $P_{\text{ort,gös.}} = \gamma h_{KM}$  [Pa] eşitliği ile bileşke kuvvet ise,  $A_2$  ıslak yan yüzey alanı olmak üzere  $F_{R,yd} = (P_{\text{ort.,gös.}})(A_2)$  [N] veya  $F_R = \gamma h_{KM}A_2$  [N] ile hesaplanır.

13.(Şekil 3'e bakınız) Yan duvarlar için kütle merkezinin yeri her zaman basınç merkezinin üzerinde yer alır. Kütle merkezi serbest sıvı yüzeyine daha yakındır.

14.(Şekil 3'e bakınız) Yan duvarlara ait hesaplar yapılırken sıvının içinde kalan yüzey alanı yani ıslak yüzey alanı ( $A_2$ ) dikkate alınır. (Duvarın SAY dışında kalan kısmı dikkate alınmaz).

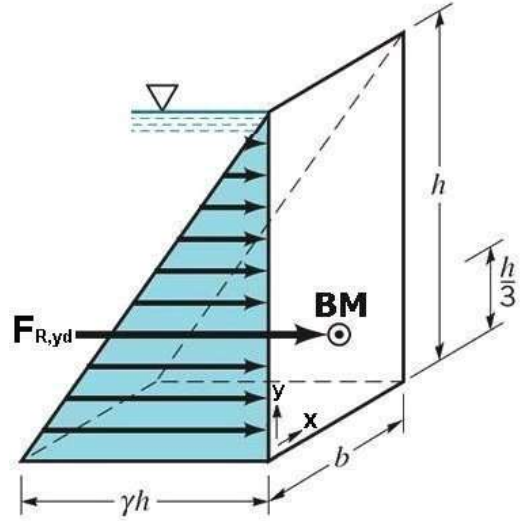
15.KM ile BM arasındaki dikey uzaklık  $b$ ,  $I_{xx,c}$  ıslak yüzey alanının kütle merkezinden geçen  $x$ -eksenine göre alan ikinci momenti ( $m^4$ ) olmak üzere, aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır.  $\theta$  yan duvarın yatayla yaptığı açıdır:

$$|b| = \frac{I_{xx,KM} \sin(\theta)}{h_{KM}A} \quad [m]$$

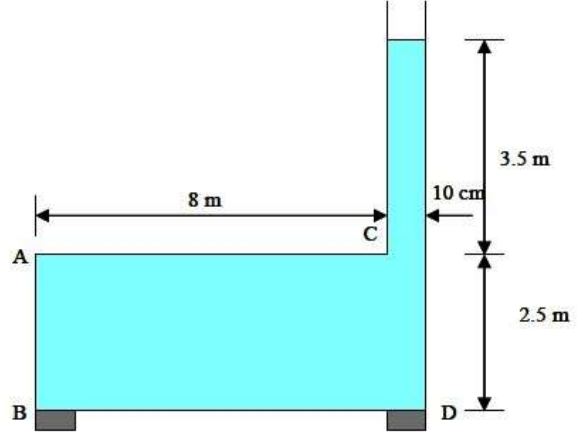
**Yorum:** Durgun sıvıların katı yüzeylere veya ara yüzeylere uyguladıkları basınçlara hidrodinamik basınç denir. Şekil ile verildiği gibi  $b$  duvarın genişliği olmak üzere,  $(h \times b)$  ıslak yüzey alanına sahip dikdörtgen kesitli duvara etki eden bileşke kuvvet  $F_{R,yd}$ , orijin noktası alt köşe olmak üzere duvarın  $x = b/2$  ve  $y = h/3$  koordinatına etki eder.

**Tartışma ve Araştırma Soruları:**

Deponun derinliği arttıkça, tabana uygulanan gösterge basıncı nasıl değişir? Sıvının yoğunluğu arttıkça deponun tabanına uygulanan gösterge basıncı nasıl değişir? Aynı  $h$  yüksekliği için sıvının yoğunluğu arttıkça yan duvarlarda yer alan KM ve BM'nin yeri değişir mi? Ortalama basıncın ve bileşke kuvvetin değeri değişir mi? Tartışınız. Değişik yan duvar, kapı veya kapak geometrileri için KM'nin yerinin nasıl saptanabileceğini araştırınız.

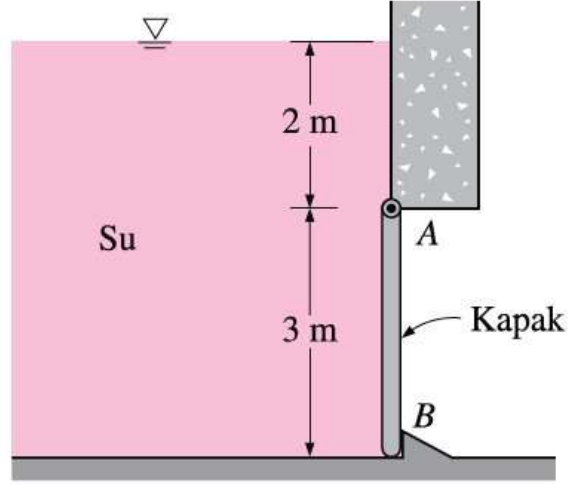


**Soru 2:** Genişliği **6 m** ve üzerinde **10 cm x 10 cm x 3.5 m** boyutlarında bir kısım olan depo Şekil ile verilmiştir. **10 cm x 10 cm x 3.5 m** boyutlarındaki kısmın st tarafı atmosfere açıktır. Depoya ait diğer ller Şekil üzerinde gösterilmiştir. Deponun içinde bağıl yoğunluğu **0.88** olan bir akışkan vardır. (a) Deponun “AB” bölümüne akışkanın uyguladığı ortalama basıncı [**kPa**] olarak, bileşke kuvveti [**kN**] olarak ve bileşke kuvvetin etkidiği basıncı merkezinin serbest akışkan yüzeyinden olan dikey uzaklığını [**m**] olarak hesaplayınız. (b) Deponun “BD” bölümüne akışkanın uyguladığı bileşke kuvvetin değerini [**MN**] olarak hesaplayınız.



**zm 2:**

**Soru 3:** Şekil ile verildiği gibi, **3 m** yüksekliğinde ve **6 m** genişliğindeki dikdörtgen kesitli kapak üst kenarındaki A noktasından mafsallanmış olup B noktasındaki sabit bir durdurucu ile açılması engellenmiştir. Suyun sıcaklığı **25°C** değerindedir. Kapağın üst noktası ile alt noktasına suyun uyguladığı basınçları [**kPa**] olarak, suyun kapağa uyguladığı bileşke kuvveti [**kN**] olarak, serbest akışkan yüzeyi ile kütle merkezi arasındaki dikey uzaklığı [**m**] olarak ve serbest akışkan yüzeyi ile basınç merkezi arasındaki dikey uzaklığı [**m**] olarak hesaplayınız.



**Cözüm 3:**

25°C sıcaklıktaki suyun yoğunluğunu  $997 \text{ kg/m}^3$  olarak alınız.

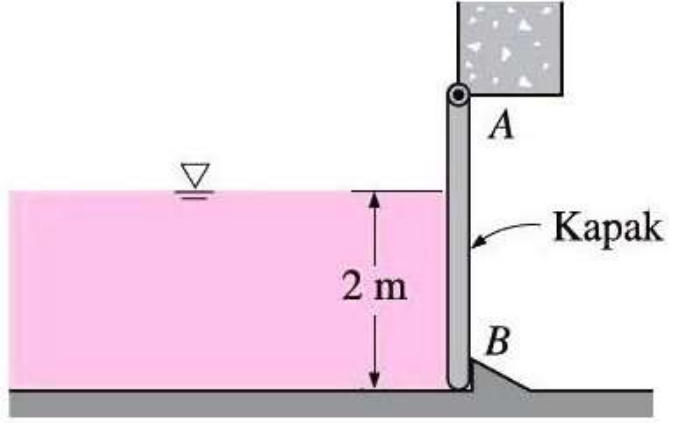
Bu sorunun çözümü aşağıda verildiği gibi sınıfta öğrenciler ile birlikte adım-adım yapılacaktır.

Adım 1: Serbest akışkan yüzeyini, kütle merkezini, basınç merkezini, ortalama basıncı ve bileşke kuvveti dikkate alarak kapağa ait serbest cisim diyagramını aşağıya çiziniz.

Hesaplama Adımları	Hesaplama Sonuçları
Adım 2: Kapağın üst noktası olan A noktasına suyun uyguladığı gösterge basıncını [ <b>kPa</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 3: Kapağın alt noktası olan B noktasına suyun uyguladığı gösterge basıncını [ <b>kPa</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 4: Serbest akışkan yüzeyi ile kütle merkezi arasındaki dikey uzaklığı [ <b>m</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 5: Kapağa ait kesit alanının kütle merkezinden geçen x-eksenine göre alan ikinci momentini ( $I_{xx,c}$ ) [ <b>m<sup>4</sup></b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 6: Kütle merkezi ile basınç merkezi arasındaki dikey uzaklığı (b) [ <b>m</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 7: Serbest akışkan yüzeyi ile basınç merkezi arasındaki dikey uzaklığı [ <b>m</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 8: Kapağa suyun uyguladığı ortalama basıncı [ <b>kPa</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 9: Kapağa suyun uyguladığı bileşke kuvveti [ <b>kN</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	

Yorum: Serbest cisim diyagramının önemini dikkate alınız. Ortalama basıncın ( $P_{ortalama}$ ) kütle merkezine (KM), bileşke kuvvetin ( $F_R$ ) basınç merkezine (BM) etki ettiğini ve kapağın tamamının suyun içinde olduğunu göz önüne alınız.

**Soru 4:** Şekil ile verildiği gibi, 3 m yüksekliğinde ve 6 m genişliğindeki dikdörtgen kesitli kapak üst kenarındaki A noktasından mafsallanmış olup B noktasındaki sabit bir durdurucu ile açılması engellenmiştir. Kapağın sol tarafında bulunan 2 m yüksekliğindeki suyun sıcaklığı 25°C değerindedir. Suyun kapağa uyguladığı ortalama basıncı [kPa] olarak, suyun kapağa uyguladığı bileşke kuvveti [kN] olarak, serbest akışkan yüzeyi ile kütle merkezi arasındaki dikey uzaklığı [m] olarak ve serbest akışkan yüzeyi ile basınç merkezi arasındaki dikey uzaklığı [m] olarak hesaplayınız.



**Çözüm 4:**

25°C sıcaklıktaki suyun yoğunluğunu 997 kg/m<sup>3</sup> olarak alınız.

Bu sorunun çözümü aşağıda verildiği gibi sınıfta öğrenciler ile birlikte adım-adım yapılacaktır.

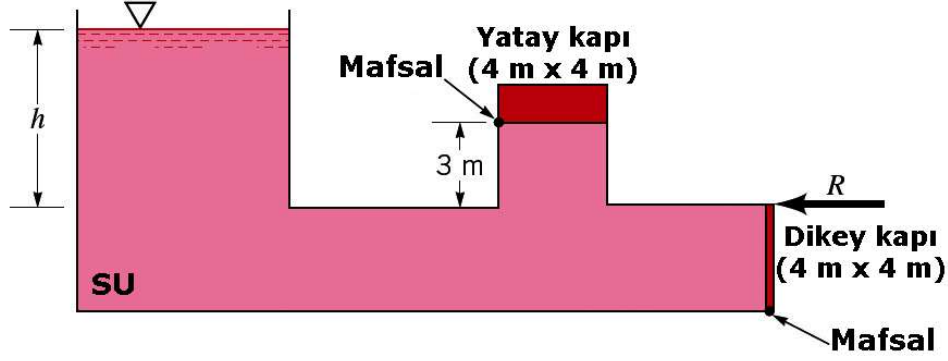
Adım 1: Serbest akışkan yüzeyini, kütle merkezini, basınç merkezini, ortalama basıncı ve bileşke kuvveti dikkate alarak kapağa ait serbest cisim diyagramını aşağıya çiziniz.

Hesaplama Adımları	Hesaplama Sonuçları
Adım 2: Serbest akışkan yüzeyi ile kütle merkezi arasındaki dikey uzaklığı [ <b>m</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 3: Suyun kapağa uyguladığı ortalama basıncı [ <b>kPa</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 4: Kapağa ait ıslak kesit alanının kütle merkezinden geçen x-ksenine göre alan ikinci momentini ( $I_{xx,c}$ ) [ <b>m<sup>4</sup></b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 5: Kütle merkezi ile basınç merkezi arasındaki dikey uzaklığı (b) [ <b>m</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 6: Serbest akışkan yüzeyi ile basınç merkezi arasındaki dikey uzaklığı [ <b>m</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	
Adım 7: Kapağa suyun uyguladığı bileşke kuvveti [ <b>kN</b> ] olarak hesaplayıp yan tarafa yazınız.	

Yorum: Kapağın tamamının suyun içinde olmadığını, basınç ve bileşke kuvvet hesapları yapılırken kapağın ıslak yüzeyine ait bilgilerin dikkate alınacağını göz önüne alınız.

---

**Soru 5:** Şekil ile verildiği gibi, **20°C** sıcaklıkta su ile doldurulmuş atmosfere açık deponun üzerinde her biri bir noktadan mafsallanmış **2 adet** kare kesitli kapı vardır. Su yüksekliği olan  $h$ , **5 m** değerine ulaştığı zaman iki kapı aynı anda açılır duruma gelmektedir. Bu durumda, yatay kapının ağırlığını [**kN**] olarak ve dikey kapının ağırlığını ihmal ederek  $R$  kuvvetini [**kN**] olarak hesaplayınız.



**Çözüm 5:**

Verilenler: 20°C sıcaklıkta su

Basınç:  $P = \rho gh$  [Pa], Bileşke kuvvet:  $F_R = \rho_{sivi} gh_{KM} A = \gamma_{sivi} h_c A$  [N]

Bu sorunun çözümü aşağıda verildiği gibi sınıfta öğrenciler ile birlikte adım-adım yapılacaktır.

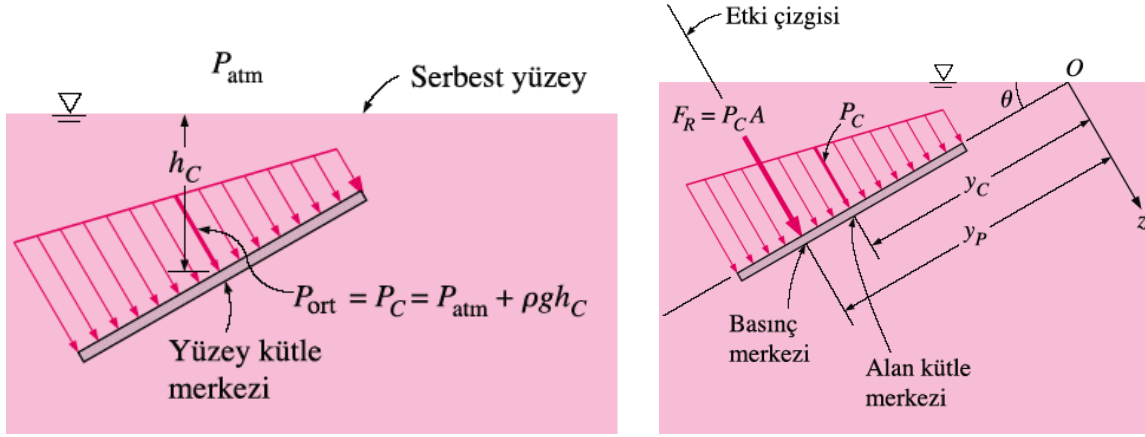
Hesaplama Adımları	Hesaplama Sonuçları
Adım 1: 20°C sıcaklıktaki su için yoğunluk değerini ilgili tablodan alınız ve suyun özgül ağırlığını hesaplayıp [ $N/m^3$ ] olarak yan tarafa yazınız.	
Adım 2: Yatay kapıya etkiyen kuvvetlerin gösterildiği serbest cisim diyagramını yan tarafa çiziniz. [Kapının ağırlığını ve kapıya etkiyen basınç kuvvetini dikkate alınız].	
Adım 3: Serbest cisim diyagramından yararlanarak hidrostatik durumda yatay kapıya ait kuvvet dengesi eşitliğini yan tarafa yazınız.	
Adım 4: Yatay kapının su ile temas ettiği noktadaki basınç değerini hesaplayıp [kPa] olarak yan tarafa yazınız.	
Adım 5: Yatay kapağın ağırlığını hesaplayıp [kN] olarak yan tarafa yazınız.	



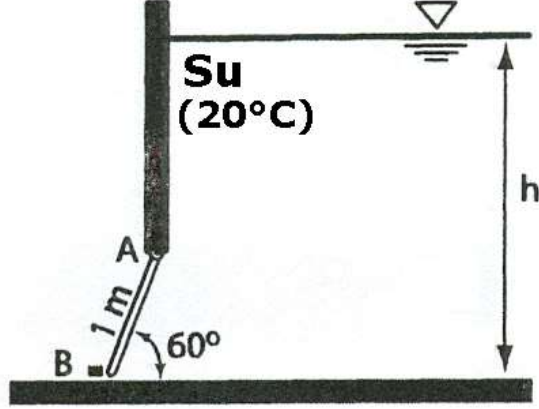
Adım 6: Dikey kapıya etkiyen kuvvetlerin gösterildiği serbest cisim diyagramını alt tarafa çiziniz. [R kuvvetini ve kapıya etkiyen bileşke basınç kuvvetini dikkate alınız. Kütle ve basınç merkezlerinin yeri ile mafsal noktasının yerini gösteriniz].

Adım 7: Bileşke kuvvet eşitliği içinde bulunan ve dikey kapıya ait kütle merkezinin serbest akışkan yüzeyinden düşey yönde olan uzaklığını gösteren $h_c$ değerini hesaplayıp [m] olarak yan tarafa yazınız.	
Adım 8: Dikey kapı için bileşke kuvvetin değerini hesaplayıp [kN] olarak yan tarafa yazınız.	
Adım 9: Kütle merkezi ile basınç merkezi arasındaki uzaklığı (b) veren bir eşitliği yan tarafa yazınız.	
Adım 10: Kütle merkezi ile basınç merkezi arasındaki uzaklığı (b) hesaplayıp [m] olarak yan tarafa yazınız.	
Adım 11: Serbest cisim diyagramından yararlanarak hidrostatik durumda dikey kapıya ait moment dengesi eşitliğini yan tarafa yazınız.	
Adım 12: R değerini hesaplayıp [kN] olarak yan tarafa yazınız.	

Yorum: Yatay ve dikey kapı için yapılan hesaplamalara, serbest cisim diyagramlarının doğru olarak çizilmesine ve hidrostatik durum için kuvvet dengesi ile moment dengesinin doğru olarak yazılmasına dikkat ediniz. Momentlerin mafsal noktasına göre alındığını,  $h_c$  ( $h_{KM}$ ) değerinin aşağıda verilen şekilde gösterildiği gibi, kütle merkezinden sıvı serbest yüzeyine olan düşey uzaklık olduğunu göz önüne alınız [ $h_c = y_c (\sin \theta)$ ]:

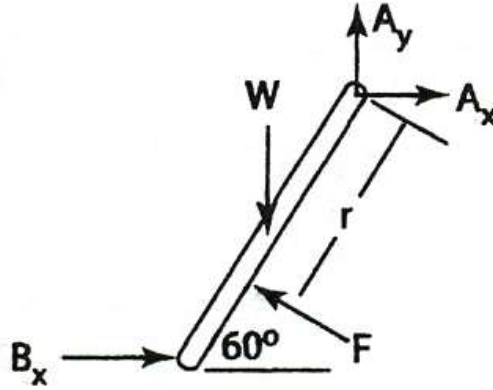


**Soru 6:** Alanı  $1 \text{ m} \times 4 \text{ m}$  olan dikdörtgen bir kapak, A noktasında mafsallanmıştır. B noktasında ise bir durdurucu vardır. B noktasındaki durdurucu, kapağa yatay olarak  $40 \text{ kN}$  değerinde bir kuvvet uygulamaktadır. Kapağın ağırlığı  $2 \text{ kN}$  değerindedir. Diğer veriler şekil üzerinde verilmiştir. Verilen koşullar altında  $h$  yüksekliğinin değerini [m] olarak hesaplayınız.



**Çözüm 6:**

$A_x$  ve  $A_y$ , A noktasındaki reaksiyon kuvvetleri,  $W$ , kapağın ağırlığı,  $F \equiv F_R$ , basınç merkezine etki eden bileşke kuvvet,  $B_x$ , B noktasındaki yatay reaksiyon kuvveti ve  $r$ , A noktası ile basınç merkezi arasındaki uzaklık (moment kolu) olmak üzere kapağın serbest cisim diyagramı aşağıda verildiği gibi çizilebilir.



Hidrostatik bilgiler kapsamında A noktasına göre moment alınırsa,  $\sum M_A = 0$  eşitliği gereği aşağıda verilen denklem elde edilir.

$$\begin{aligned} (B_x)(1.0)(\sin 60^\circ) - (F)(r) + (W)(0.5)(\cos 60^\circ) &= 0 \\ (F)(r) &= (B_x)(1.0)(\sin 60^\circ) + (W)(0.5)(\cos 60^\circ) \\ &= (40000)(1.0)(\sin 60^\circ) + (2000)(0.5)(\cos 60^\circ) \\ &= 35141.02 \text{ Nm} \end{aligned}$$

$I_{xx,c}$ , alanın kütle merkezinden geçen x-eksenine göre alan ikinci momenti,  $y_c$ ,  $60^\circ$  değerindeki açı altında serbest su yüzeyinden basınç merkezine olan uzaklık ve A, kapak yüzey alanı olmak üzere moment kolu hesabı (r) aşağıda verildiği gibi yapılır.

$$r = (0.5 \text{ m}) + \frac{I_{xx,c}}{y_c A} \rightarrow I_{xx,c} = (4)(1^3)/(12) = 0.\bar{3} \text{ m}^4, y_c = [h/(\sin 60^\circ)] - 0.5 \text{ (m)}$$

$$A = (4)(1) = 4 \text{ m}^2 \rightarrow r = (0.5) + \frac{0.\bar{3}}{\{[h/(\sin 60^\circ)] - (0.5)\}(4)}$$

$P_c$  ortalama basınç ve  $\gamma_{su}$ ,  $20^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki suyun özgül ağırlığı olmak üzere basınç merkezine etki eden bileşke kuvvet (F) aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} F &= P_c A \\ &= \gamma_{su} [h - (0.5)(\sin 60^\circ)](4) \\ &= (9790.38)[h - (0.5)(\sin 60^\circ)](4) \\ &= (39161.52)(h - 0.433012701) \text{ (N)} \end{aligned}$$

Yukarıda verilen bilgiler çerçevesinde aşağıda verilen sonuca ulaşılır.

$$(F)(r) = 35141.02 \text{ Nm}$$

$$35141.02 = (39161.52)(h - 0.433012701) \left[ (0.5) + \frac{0.\bar{3}}{\{[h/(\sin 60^\circ)] - (0.5)\}(4)} \right]$$

$$h = 2.083 \text{ m}$$

**Yorum:** Eğimli kapaklar için yapılan hesaplamalara, serbest cisim diyagramlarının doğru olarak çizilmesine ve hidrostatik durum için moment dengesinin doğru olarak yazılmasına dikkat ediniz. Kütle merkezi ile ağırlık merkezinin aynı noktayı işaret ettiğine dikkat ediniz.

## **YARARLANILAN KAYNAKLAR:**

**“Fluid Mechanics-Fundamentals and Applications”**, Fourth Edition in SI Units, Cengel YA, Cimbala JM, McGraw-Hill Education, 2020.

**“Akışkanlar Mekaniği-Temelleri ve Uygulamaları”**, Üçüncü Baskıdan Çeviri, Cengel YA, Cimbala JM, Çeviri Editörü: Tahsin Engin, Palme Yayıncılık, 2015.

**“Fluid Mechanics”**, 8th Edition, Fox RW, McDonald AT, Pritchard PJ, Wiley, 2012.

**“Engineering Fluid Mechanics”**, 9th Edition, Crowe CT, Elger DF, Williams BC, Roberson JA, Wiley, 2010.

**“Fluid Mechanics”**, Sixth Edition, White FM, McGraw-Hill, 2008.

<https://www.huseyingunerhan.com/akmek/akmek.html> sayfasında verilen “Akışkanlar Mekaniği” dersine ait tüm ders notlarının bazı bölümleri yukarıda verilen kitaplardan ve/veya ilgili sunumlarından yararlanılarak veya ilham alınarak hazırlanmıştır.

*“Akışkanlar Mekaniği” derslerine ait bilgi notları; Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN tarafından çeşitli kaynaklardan da yararlanılarak ve emek ve zaman harcanarak hazırlanmış özgün bir eserdir. İzin alınmadan çoğaltılması ve kullanılması telif hakları gereği yasaktır.*

*(Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu, Kanun Numarası: 5846, Kabul Tarihi: 5/12/1951, Yayımlandığı Resmi Gazete: 13/12/1951 Sayı: 7981, Yayımlandığı Düstur: Tertip 3 Cilt 33 Sayfa 49).*