



# CMC 3103 Su Temini Sistemlerinin Tasarımı

## 5. Su Alma Yapıları (KAPTAJ)

**Prof. Dr. Ahmet GÜNAY**

Balıkesir Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi  
Çevre Müh. Böl.  
Çağış/Balıkesir

[agunay@balikesir.edu.tr](mailto:agunay@balikesir.edu.tr)

[ahmetgunay2@gmail.com](mailto:ahmetgunay2@gmail.com)

+90 505 529 43 17

<http://cevre.balikesir.edu.tr/index.php/Prof-dr-ahmet-gunay-ders-notlari/>



## Kaynak sularının derlenmesi

Kaynak suları borulara alınmadan küçük kum tanelerini tutmak üzere kum tanelerini çökeltmeye yarayan yapıdan geçirilir. Çökelme teorisinde prosesi etkileyen hususlar;

- Partikülün yoğunluğu,
- Partikülün boyutu,
- Suyun vizkozitesidir.
- Partikülün şekli.

**Tablo:** Farklı partiküllerin 10 °C'de su içerisinde çökelme hızları

Partikül çapı, mm	Partikül tipi	1 ft çökelme mesafesi için süre
10	Çakıl	0,3 sn
1,0	Kaba kum	3,0 sn
0,1	İnce kum	38 sn
0,01	Silt	33 dk
0,001	Bakteri	35 saat
0,0001	Kil partikülleri	230 gün
0,00001	Kolloidal partiküller	65 yıl

Akışkanlar mekaniği ve ısı transferinde genelde ölçülmesi gereken büyüklükler arasında viskozite, hız, basınç, sıcaklık, yoğunluk, debi ve türbülans yoğunluğu sayılabilir.

Hava ve sıvı gibi akışkanların akım karakterleri;

1. Reynold Sayısı,  $Re = \frac{vL}{\mu}$  (ATALET-**VİZKOZ** KUVVET ORANI),

2. Euler Sayısı,  $Eu = \frac{P}{\rho \times v^2}$  (ATALET-**BASINÇ** KUVVET ORANI),

3. Froude Sayısı  $Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}}$  (ATALET-**YERÇEKİM** KUVVET ORANI),

4. Cauchy Sayısı  $N_{cauc} = \frac{v}{\sqrt{E/\rho}}$  (ATALET-**ELASTİSİTE** KUVVET ORANI),

5. Weber Sayısı  $N_W = \frac{\rho Lv^2}{\sigma}$  (ATALET-**YÜZEY GERİLİM** KUVVET ORANI)

Boyutları ile belirlenir.



## REYNOLD SAYISI

**ATALET-VİSKOZ KUVVET ORANI (Reynold Sayısı): Akışkanın viskozite etkisi «Reynold Sayısı» ile değerlendirilir. Akımın türbülans analizi yapılır.**

$$Re = \frac{\rho \times v \times L}{\mu} = \frac{v \times L}{\nu} = \frac{v \times D_h}{\nu}$$

$v$  : is the mean velocity of the object relative to the fluid (SI units: m/s)

$L$ : is a characteristic linear dimension, (travelled length of the fluid; hydraulic diameter when dealing with river systems) (m)

$\mu$ : is the dynamic viscosity of the fluid (Pa·s or N·s/m<sup>2</sup> or kg/(m·s))

$\nu$  : is the kinematic viscosity ( $\nu = \mu/\rho$ ) (m<sup>2</sup>/s)

$\rho$ : is the density of the fluid (kg/m<sup>3</sup>)

$D_h$ : Hidrolik çap

Laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş, diğer faktörlerin yanında geometriye, yüzey pürüzlülüğüne, akış hızına, yüzey sıcaklığına ve akışkan türüne de bağlıdır.

- $Re \ll 1 \Rightarrow$  viskoz kuvvetler etkilidir ve atalet kuvvetleri ihmal edilebilir, sıvının yoğunluğu ihmal edilebilir. Akım sakindir.
- $Re > 1 \Rightarrow$  viskoz kuvvet etkileri atalet kuvvetlerine göre küçüktür ve viskoz kuvvetler ihmal edilebilir. Viskoz olmayan sıvılar için tipik akım karakteristiğidir.
- $Re \gg 1 \Rightarrow$  Akım türbülanslıdır. Atalet kuvvetleri viskoz kuvvetlere göre düşüktür. Akım laminerdir.
- Su iletim hatlarında  $V_{\min} = 0,5$  m/sn'dir. Bu durumda suların isalesinde daima  $Re > 100\ 000$ 'dir

$$J = \frac{\lambda V^2}{D 2g}$$

$$Re = \frac{V \times d}{\nu}$$

Re sayısının büyüklüğüne göre akımın karakteri

Laminer      Geçiş      Türbülanslı  
0      2 300      4 000

$$2320 < Re < 10^5 \text{ için } \lambda = \frac{0,316}{\sqrt[4]{Re}}$$

$$10^5 < Re < 10^8 \text{ için } \lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$$



## a) Basınçlı Akımlarda;

- **I-LAMİNER** akım,  $Re < 2300$   $\Rightarrow \lambda = \frac{64}{Re}$ ,
- Geçiş Bölgesi  $2300 < Re < 4000$   $\Rightarrow \lambda = 0,03 - 0,08$  kesin değil-belirsiz,
- **II-Türbülanslı**  $10^5 < Re < 10^8$   $\Rightarrow \lambda = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}}$ ,
- **III-Düz borularda türbülanslı akım**  $\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = 1,95 \log(Re/\lambda) - 0,55$

İterasyon gerektirdiğinden bunun yerine; **Blasius formülü** kullanılır

$$< 4000 < Re < 100\ 000 \quad \Rightarrow \lambda = \frac{0,316}{4\sqrt{Re}}$$

- Türbülanslı akım ve kaba borular için **Karman-Prandtl** eşitliği kullanılır;
- Türbülanslı ve laminer akımda düz ve kaba borular için **Colebrook-White** eşitliği;

$$\Rightarrow \frac{1}{\lambda} = -2 \log \left( \frac{1,88}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{e}{3,7D} \right)$$



## EULER SAYISI

**ATALET-BASINÇ KUVVETİ ORANI (Euler Sayısı): Akış dinamiği analizi, Akımın yük kayıplarını karakterize eder.**

$$Eu = \frac{P}{\rho \times v^2}$$

Eu: Euler number

p: pressure (Pa)

$\rho$ : density (kg/m<sup>3</sup>)

v: fluid flow velocity (m/s)



## FROUDE SAYISI

**ATALET-YERÇEKİM (ağırlık) KUVVETİ ORANI (Froude Sayısı):** yüzey etkilerini karakterize eder.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times h}}$$

Fr: Froude sayısı (boyutsuz) [Fr<1 ⇒Nehir rejimi; Fr>1 ⇒Sel rejimi]

V: Ortalama hız (m/s)

g: Yerçekimi ivmesi (m/s<sup>2</sup>)

h: Su derinliği(m) değerlerini göstermektedir.





## PECLET SAYISI

**PECLET SAYISI:** Adveksiyondan ve dispersiyondan ileri gelen kütle transferini ifade eder. Kütle transfer problemlerinde **adveksiyonun ya da difüzyonun rölatif önemini** ortaya koyar.

**$Pe \gg 1 \Rightarrow$  adveksiyon etkilidir. (akışkanın hız farklarından ileri gelen kütle transferi)**

**$Pe \ll 1 \Rightarrow$  difüzyon etkilidir.**

$$Pe = \frac{VL}{d} = \frac{\text{Adveksiyon yoluyla yayılma}}{\text{Dispersiyon yoluyla yayılma}}$$

V: hız (m/s)

d: axial dispersiyon (dispersiyon katsayısı,  $m^2/sn$ )

L: uzunluk

$$d = \frac{1}{Pe}$$

d: dispersiyon sayısı



Stokes Kanununa göre farklı partiküllerin su ve hava ortamındaki çökme hızları;

**Example 1.** Kum partikülleri,  $d_p = 0,1 \text{ cm}$

$$V_{\text{hava}} = 7880 \text{ cm/s}$$

$$V_{\text{su}} = 90 \text{ cm/s}$$

**Example 2.** Silt partikülleri,  $d_p = 0,01 \text{ cm}$

$$V_{\text{hava}} = 79 \text{ cm/s}$$

$$V_{\text{su}} = 0,9 \text{ cm/s}$$

**Example 3.** Kil partikülleri,  $d_p = 0,0001 \text{ cm}$

$$V_{\text{hava}} = 8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

$$V_{\text{su}} = 8 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$



$$V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{\text{kum}} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$$

$T = 20^\circ \text{C}$  için,

$$\nu = 1,01 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sn}$$

- $d_p$ : Partikülün çapı (cm)
- $\gamma_{\text{kum}}$ : Kumun özgül ağırlığı, **2,65 g/cm<sup>3</sup>** (kvarz partiküllerin yoğunluğu)
- $\gamma_{\text{su}}$ : Suyun özgül ağırlığı; **1 g/cm<sup>3</sup>**
- $\gamma_{\text{hava}}$ : Havanın özgül ağırlığı; **0,001213 g/cm<sup>3</sup>**
- $g$ : Yerçekim ivmesi, **981 cm/sn<sup>2</sup>**
- $\nu$ : Kinematik vizkozite,  $T = 10^\circ \text{C}$  su için  $\nu = 1,31 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sn}$  ve hava için  $\nu = 1,83 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sn}$



## Kaynak sularının derlenmesi

Kaynak suları iletim hatlarına alınmadan önce içerdikleri kum tanelerini tutmak üzere basit çökeltme yapılarından geçirildikten sonra iletilir. Bu yapılar;

- Kum tutucu bölme
- Su alma bölmesi
- Manevra odası

**Su alma bölmesinde en küçük boyut 90 cm'dir.**

Olmak üzere üç bölmeden oluşur.

Su ile birlikte sürüklenen küçük kum partikülleri kum tutucu bölmede tutulur. Bu bölmede suyun yatay akış hızı  **$V_a < 5 \text{ cm/sn'dir.}$**

Kum tanelerinin çökme hızları Reynold Sayısına bağlı olarak aşağıdaki çökme modellerinden biri ile hesaplanır.

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_\zeta = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_\zeta = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum} - 1}{\gamma_w} \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

• Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_\zeta = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_w) \cdot d_p}$



$V_c$ : Çökme hızı

$\gamma_{kum}$ : kumun özgül ağırlığı, **2,65 g/cm<sup>3</sup>**

$\gamma_{su}$ : suyun özgül ağırlığı; **1 g/cm<sup>3</sup>**

g: yerçekim ivmesi, **981 cm/sn<sup>2</sup>**

$d_p$ : kum partiküllerinin çapı, cm

$\nu$ : kinematik viskozite, T=10 °C su için  **$\nu=1,31 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/sn**

$$Re = \frac{V_c d_p}{\nu}$$

Kinematik viskozite [ $\nu$ , m<sup>2</sup>/sn], dinamik viskozitenin [ $\mu$ , (N-sn/m<sup>2</sup>=kg/m-sn)] yoğunluğa [ $\rho$ , kg/m<sup>3</sup>] oranıdır ( $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ).

**Tablo:** Suyun sıcaklığına bağlı olarak kinematik viskozitesi

$$\nu = 3,76 \times 10^{-6} \times T^{-0,45}$$

Sıcaklık, °C	0	5	10	15	20	25	30	35
Kinematik viskozite, m <sup>2</sup> /sn	1,79×10 <sup>-6</sup>	1,52×10 <sup>-6</sup>	<b>1,307×10<sup>-6</sup></b>	1,14×10 <sup>-6</sup>	1,01×10 <sup>-6</sup>	0,9×10 <sup>-6</sup>	0,8×10 <sup>-6</sup>	0,73×10 <sup>-6</sup>



# ÖRNEK-1

## KUM TUTUCU BOYUTLANDIRMA

### ÖRNEK-1: Kum tutucunun boyutlandırılması

(Karpuzcu M, Su Temini ve Çevre Sağlığı, Kubbealtı Neşriyat, 2005, p64)

Partikül çapı **0,07 mm** olan kum tanelerinin **10 °C** sıcaklığında su içerisindeki çökme hızlarını hesaplayınız. Bu çaplı partiküllerin tutulması için debisi **0,01 m<sup>3</sup>/sn** olan membaaya ait kaptajı boyutlandırınız. Plan ve kesitini çiziniz.

$\gamma_{kum}$  : kumun özgül ağırlığı, **2,65 g/cm<sup>3</sup>**

$\gamma_{su}$  : suyun özgül ağırlığı; **1 g/cm<sup>3</sup>**

g: yerçekim ivmesi, **981 cm/sn<sup>2</sup>**

$d_p$ : kum partiküllerinin çapı, cm

$\nu$ : kinematik vizkozite, T=10 °C su için  **$\nu=1,31 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/sn**

$$Re = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu}$$

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\xi} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_{\xi} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

• Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_{\xi} = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_w) \cdot d_p}$

## ÇÖZÜM:

Su ortamındaki partiküllerin çökme hızlarına bağlı olarak üç farklı çökme modeli mevcuttur. Küçük çaplı partiküllerin çökmesi genellikle laminer şartlarda gerçekleştiğinden öncelikli olarak  $Re < 0,5$  için geçerli olan çökme modeli uygulanır.

### 1. Kabul: $Re < 0,5$ olsun ve çökme laminer şartlarda gerçekleşsin;

0,07 mm çaplı kum tanelerinin çökmelerinin laminer şartlarda gerçekleşeceğini kabul edelim.

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu}$$

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum} - 1}{\gamma_w} \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

• Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_w) \cdot d_p}$



## ÇÖZÜM (devamı):

$$\text{Laminer rejim } Re < 0,5 \text{ için, } V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu} = \frac{981}{18} (2,65 - 1) \frac{0,007^2}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,336 \text{ cm/sn}$$

### 2. Kabulün doğrulanması

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu} = \frac{0,336 \times 0,007}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,180 < 0,5$$

**Kabul edilen çökme modeli doğrulanmıştır ve çökme laminer şartlardaki gerçekleşecektir. Çökme hızı;  $V_{\zeta} = 0,336 \text{ cm/sn}$**

### 3. Kum tutucunun boyutlandırılması

Kum tutucunun boyutlandırılmasında yatay akış hızı  $V_a = 1-5 \text{ cm/sn}$  ve su derinliği  $h = 1 \text{ m}$  mertebesinde alınır.

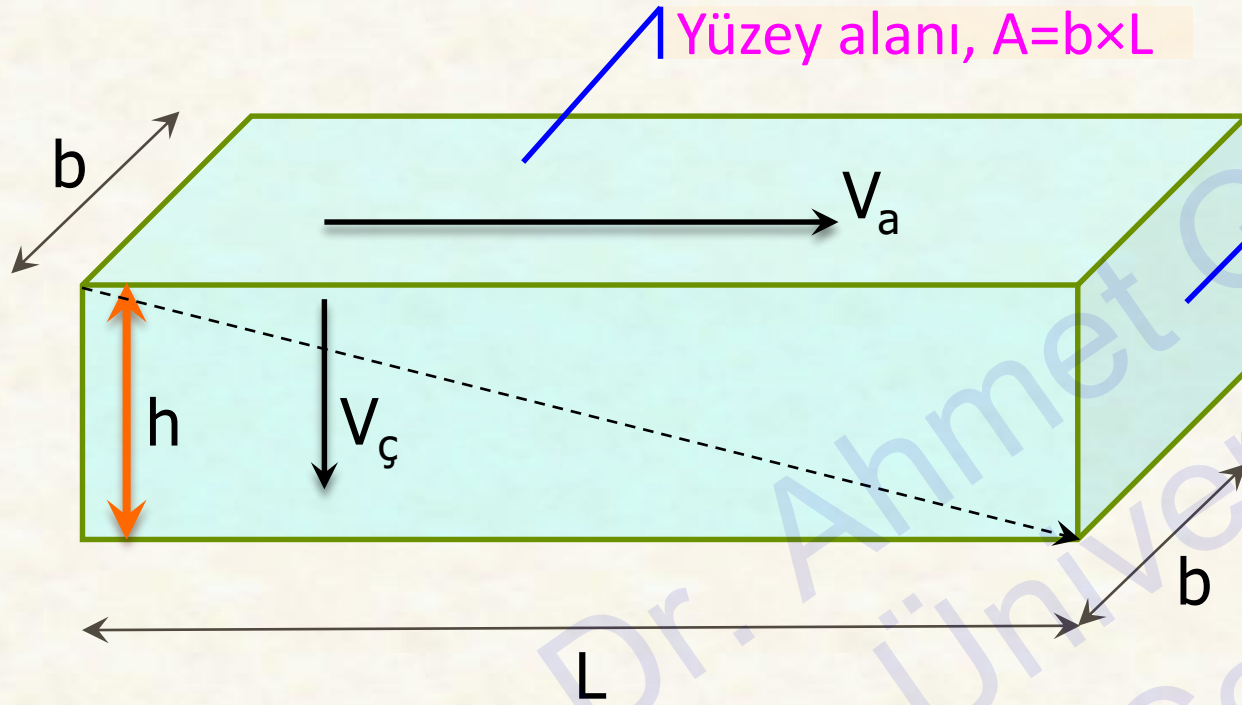
Teorik olarak taneciğin  $V_{\zeta}$  hızıyla  $1 \text{ m}$  derinliğe çökmesi için, aynı taneciğin  $V_a$  yatay hızı ile kum tutucunun uzunluğu kadar yolu alması için geçen zaman eşittir.

Bu eşitlik şu şekilde yazılabilir;

$$t = \frac{L}{V_a} = \frac{h}{V_{\zeta}}$$







$$\frac{V_a}{L} = \frac{V_\zeta}{h} \rightarrow L = \frac{V_a}{V_\zeta} \times h$$

$$b \times L = b \times \frac{V_a}{V_\zeta} \times h$$

$$b \times L = A$$

$$b \times h = F$$

$$b \times L = A = F \times \frac{V_a}{V_\zeta} = \frac{Q}{V_\zeta}$$

$$Q = F \times V_a = A \times V_\zeta$$

### 3-a. Kum tutucunun yüzey alanı;

$$b \times L = A = F \times \frac{V_a}{V_\xi} = \frac{Q}{V_\xi} = \frac{0,01 m^3 / sn}{0,336 \times 10^{-2} m / sn} = 2,97 m^2$$

### 3-b. Kum tutucunun enkesit alanı;

Yatay akış hızı 1 cm/sn olarak seçilirse;

$$F = b \times h \text{ ve } F = \frac{Q}{V_a} = \frac{0,01 m^3 / sn}{1 \times 10^{-2} m / sn} = 1 m^2$$

### 3-c. Kum tutucunun derinliği;

Kum tutucunun su derinliği 0,8 m olarak kabul edilirse;

$$b = 1,25 m^2$$

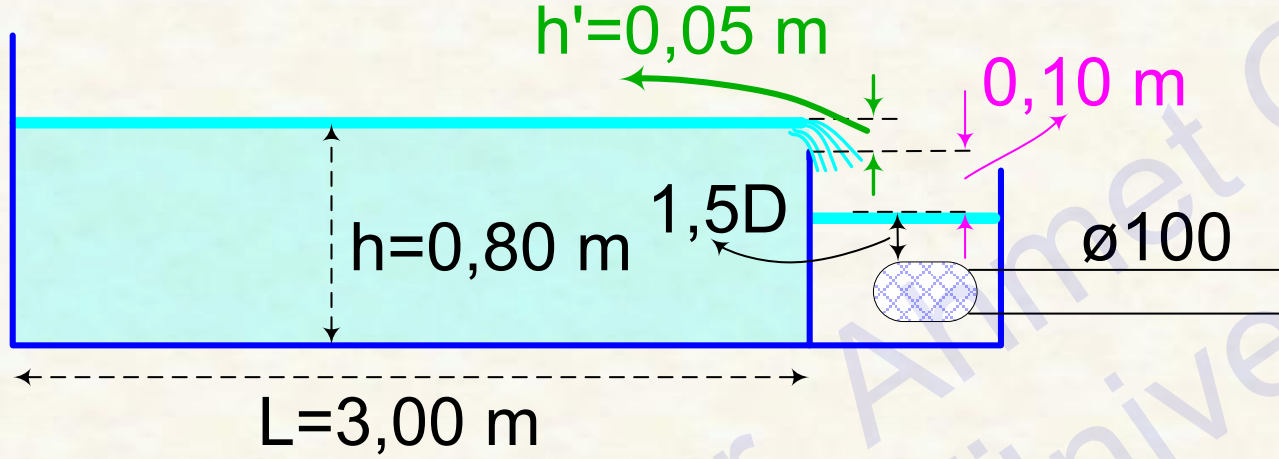
### 3-d. Kum tutucunun boyu;

$$L = \frac{A}{b} = \frac{2,97 m^2}{1,25 m} = 2,376 m$$

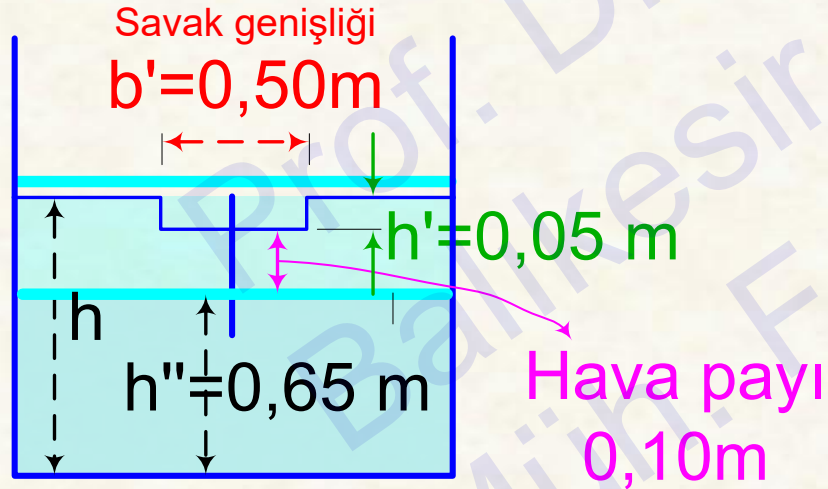


#### 4-Savak yapısı;

Savak yüksekliği 5 cm ve hava payı 10 cm alınırsa;



$$Q = 1,8 \times b' \times h'^{3/2} \Rightarrow$$
$$b' = \left( \frac{0,01}{1,8 \times 0,05^{3/2}} \right) = 0,497 \text{ m}$$
$$\cong 50 \text{ cm}$$



Su alma bölgesindeki su derinliği  $= 0,80 - 0,15 = 65 \text{ cm}$

Su alma yapısında krepin üzerindeki su yüksekliği en az  $1,5 \times D$  kadar olmalıdır. **Boru çapı  $\varnothing 100$  ( $V=1,27 \text{ m/sn}$ ) veya  $\varnothing 125$  ( $V=0,815 \text{ m/sn}$ ) uygundur.**

## 5-Kum tutucunun ebatları;

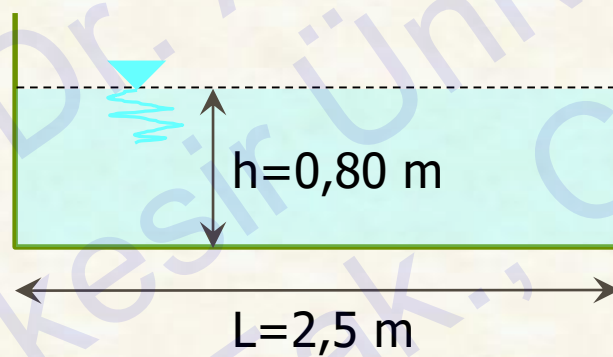
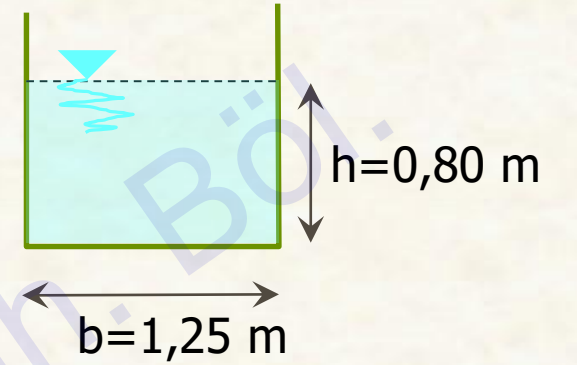
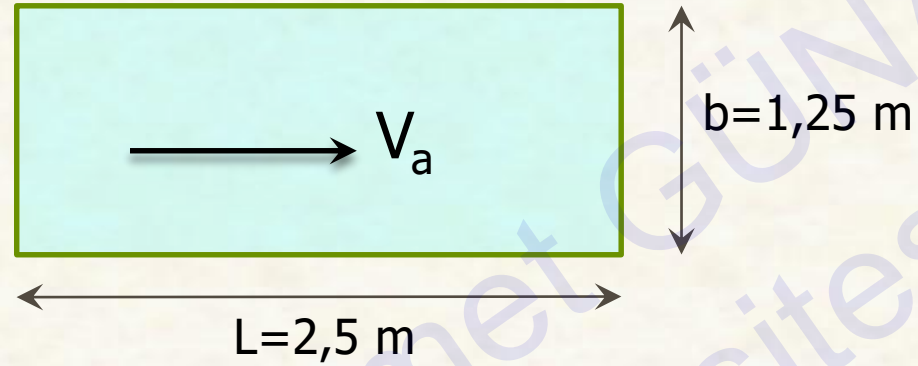
$$A = 2,97 m^2$$

$$F = 1,0 m^2$$

$$b = 1,25 m$$

$$L = 2,376 m$$

$$h = 0,8 m$$



$$A = 3,125 m^2$$

$$F = 1,00 m^2$$

$$b = 1,25 m$$

$$L = 2,50 m$$

$$h = 0,80 m$$

# ÖRNEK-2

## ÇÖKELME HIZI



## ÖRNEK-2: Kum partiküllerinin çökme hızları

Çapı **0,115 mm** olan kum tanelerinin **10 °C** sıcaklığında su içerisindeki çökme hızlarını hesaplayınız

$\gamma_{kum}$  : kumun özgül ağırlığı, **2,65 g/cm<sup>3</sup>**

$\gamma_{su}$  : suyun özgül ağırlığı; **1 g/cm<sup>3</sup>**

g: yerçekim ivmesi, **981 cm/sn<sup>2</sup>**

$d_p$ : kum partiküllerinin çapı, cm

$\nu$ : kinematik vizkozite, T=10 °C su için  **$\nu=1,31 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/sn**

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu}$$

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum} - 1}{\gamma_w} \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

• Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_w) \cdot d_p}$



## ÇÖZÜM:

Su ortamındaki partiküllerin çökme hızlarına bağlı olarak üç farklı çökme modeli mevcuttur. Küçük çaplı partiküllerin çökmesi genellikle laminer şartlarda gerçekleşir. Eğer  $Re < 0,5$  ise laminer şartlar için geçerli olan çökme modeli uygulanır.

### 1. Kabul: Kum tanelerinin çökmesi laminer şartlarda gerçekleşsin ve $Re < 0,5$ olsun;

0,115 mm çaplı kum tanelerinin çökelmelerinin laminer şartlarda;

$$\text{Laminer rejim } Re < 0,5 \text{ için, } V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu} = \frac{981}{18} (2,65 - 1) \frac{0,0115^2}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,908 \text{ cm / sn}$$

### 2. Kabulün doğrulanması

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu} = \frac{0,908 \times 0,0115}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,797 > 0,5$$

**Olduğundan kabul doğrulanmamıştır ve laminer şartlar için geliştirilen çökme modeli uygulanamaz.**

### 3. Ara rejim bölgesi için geçerli olan çökme modeli ile hesap yapılır.

**Re > 0,50** olduğundan çökme hızının hesaplanmasında kullanılacak eşitlik ara rejim için geçerli olan eşitlik olacaktır. Çökme hızı Re sayısına, Re sayısı da çökme hızına bağlıdır. Bu durumda Re sayısı için bir değer kabul edip, çökme hızı hesabı yapılmalı, ve kabul edilen her Re sayısı karşı hesaplanan Re sayısı doğrulanmalıdır.



## ÇÖZÜM: (devamı)

### 4. Hesap şablonu

Kabul edilen Re sayısı ve bu Re sayısına bağlı olarak hesaplanan  $C_D$  değeri ve çökme hızları aşağıdaki hesap tablosunda deneme-yanılma yoluyla hesaplanır.

$$\text{Ara rejim (geçiş bölgesi) } 0,5 < Re < 1000 \text{ için, } V_{\zeta} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p} \quad C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

Re, kabul	$C_D$	$V_{\zeta}$	Re, hesap
0,51	51,60	0,694	0,609
0,60	44,21	0,749	0,658
0,65	40,98	0,778	0,683
0,67	39,83	0,789	0,693
0,69	38,73	0,800	0,703
0,70	38,21	0,806	0,707
<b>0,713</b>	<b>37,53</b>	<b>0,813</b>	<b>0,714</b>
0,72	37,21	0,817	0,717
0,74	36,26	0,827	0,726

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu}$$

**0,0115 cm** çaplı kum tanelerinin çökme hızı **0,813 cm/sn**'dir. Bu kum tanelerinin çökme hızlarından ileri gelen hareket dolayısıyla ortaya çıkan kaotik durum ara rejim (geçiş rejimi) bölgesinde kalır ve **0,5 < Re < 1000** aralığı için geçerli olan çökme modeli uygulanır.

$$V_{\zeta} = 0,81 \text{ cm / sn}$$



# SINIF ÇALIŞMASI

## KUM TUTUCU BOYUTLANDIRMA

### ÖRNEK-3: Kum tutucunun boyutlandırılması

(Topacı, D. Ve Eroğlu V., Su Temini ve Atıksu Uzaklaştırma Uygulamaları, İTÜ Vakfı Yayınları, 1993, shf:25)

Bir yamaç membainin kapasitesi **23,6 l/sn**'dir. Kum sürükleyen bu kaynağın sularını derleyecek yapıyı boyutlandırınız.

$\gamma_{kum}$  : kumun özgül ağırlığı; **2,65 g/cm<sup>3</sup>**

$\gamma_{su}$  : suyun özgül ağırlığı; **1 g/cm<sup>3</sup>**

g: yerçekim ivmesi; **981 cm/sn<sup>2</sup>**

$d_p$ : kum partiküllerinin çapı; **0,11 mm**

$\nu$ : kinematik vizkozite, T=10 °C su için  **$\nu=1,31 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/sn**

$$Re = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu}$$

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\xi} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_{\xi} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

• Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_{\xi} = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_w) \cdot d_p}$



## ÇÖZÜM:

**1. Kabul:  $Re < 0,5$  olsun ve çökme laminer şartlarda gerçekleşsin;**

0,11 mm çaplı kum tanelerinin çökelmelerinin laminer şartlarda gerçekleşeceğini kabul edelim.

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu}$$

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

• Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_w) \cdot d_p}$



## ÇÖZÜM (devamı):

$$\text{Laminer rejim } Re < 0,5 \text{ için, } V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu} = \frac{981}{18} (2,65 - 1) \frac{0,011^2}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,83 \text{ cm/sn}$$

### 2. Kabulün doğrulanması

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu} = \frac{0,83 \times 0,011}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,698 > 0,5$$

**Kabul edilen çökeltme modeli doğrulanmamıştır ve çökeltme laminar şartlarda gerçekleşmeyecektir. Çökeltme hızı;  $V_{\zeta} = ?? \text{ cm/sn}$**

### 3. Ara rejim bölgesi için geçerli olan çökeltme modeli ile hesap yapılır.

**Re > 0,50** olduğundan çökeltme hızının hesaplanmasında kullanılacak eşitlik ara rejim için geçerli olan eşitlik olacaktır. Çökeltme hızı Re sayısına, Re sayısı da çökeltme hızına bağlıdır. Bu durumda Re sayısı için bir değer kabul edip, çökeltme hızı hesabı yapılmalı, ve kabul edilen her Re sayısı karşı hesaplanan Re sayısı doğrulanmalıdır.



## ÇÖZÜM: (devamı)

### 4. Hesap şablonu

Kabul edilen Re sayısı ve bu Re sayısına bağlı olarak hesaplanan  $C_D$  değeri ve çökme hızları aşağıdaki hesap tablosunda deneme-yanılma yoluyla hesaplanır.

$$\text{Ara rejim (geçiş bölgesi) } 0,5 < Re < 1000 \text{ için, } V_{\xi} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p} \quad C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

Re, kabul	$C_D$	$V_{\xi}$	Re, hesap
0,5	52,58	0,672	0,564
0,52	50,65	0,685	0,575
0,54	48,87	0,697	0,585
0,58	45,66	0,721	0,605
0,60	44,21	0,733	0,615
0,62	42,86	0,744	0,625
<b>0,63</b>	<b>42,21</b>	<b>0,750</b>	<b>0,630</b>
0,65	40,98	0,761	0,639
0,66	40,40	0,767	0,644

$$Re = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu}$$

**0,011 cm** çaplı kum tanelerinin çökme hızı **0,75 cm/sn**'dir. Bu kum tanelerinin çökme hızlarından ileri gelen hareket dolayısıyla ortaya çıkan kaotik durum ara rejim (geçiş rejimi) bölgesinde kalır ve **0,5 < Re < 1000** aralığı için geçerli olan çökme modeli uygulanır.

$$V_{\xi} = 0,75 \text{ cm / sn}$$



### 5-a. Kum tutucunun yüzey alanı;

$$b \times L = A = F \times \frac{V_a}{V_\zeta} = \frac{Q}{V_\zeta} = \frac{0,0236 m^3 / sn}{0,75 \times 10^{-2} m / sn} = 3,15 m^2$$

### 5-b. Kum tutucunun enkesit alanı;

Yatay akış hızı 1 cm/sn olarak seçilirse;

$$F = b \times h \text{ ve } F = \frac{Q}{V_a} = \frac{0,0236 m^3 / sn}{1 \times 10^{-2} m / sn} = 2,36 m^2$$

### 5-c. Kum tutucunun derinliği;

Kum tutucunun su derinliği 1,0 m olarak kabul edilirse;

$$b = 2,36 m^2$$

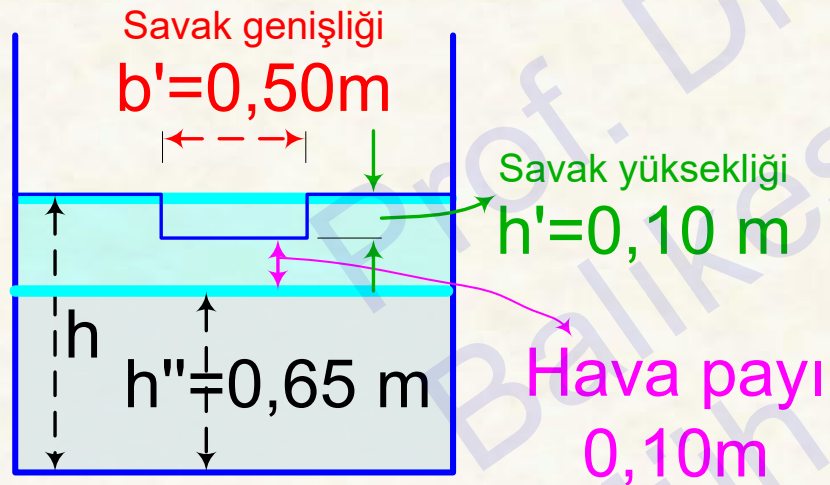
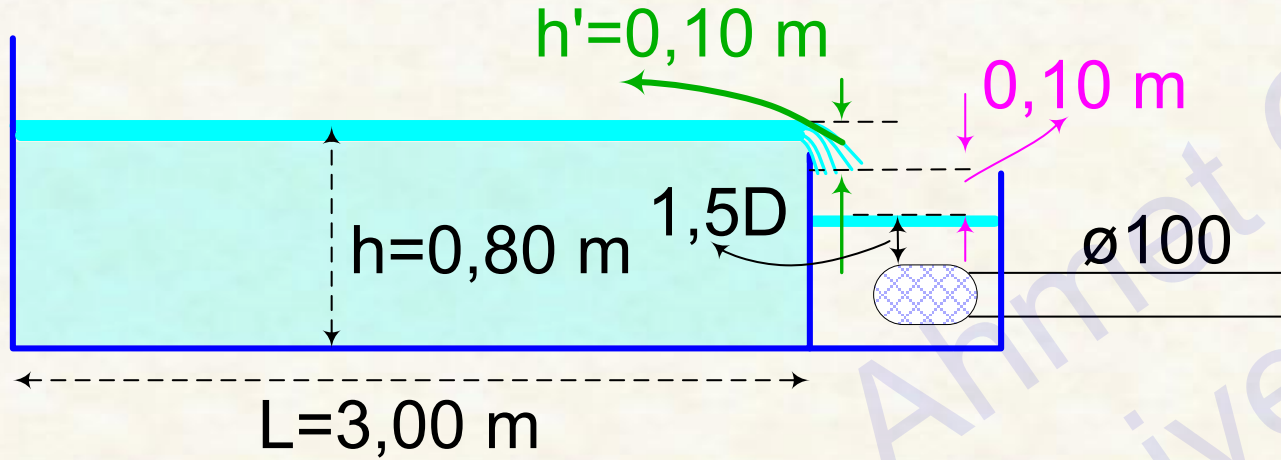
### 5-d. Kum tutucunun boyu;

$$L = \frac{A}{b} = \frac{3,15 m^2}{1,25 m} = 1,34 m$$



## 6-Savak yapısı;

Savak yüksekliği 10 cm ve hava payı 5 cm alınırsa;



$$Q = 1,8 \times b' \times h'^{3/2} \Rightarrow$$

$$b' = \left( \frac{0,0236}{1,8 \times 0,1^{3/2}} \right) = 0,41 \text{ m} \\ \cong 50 \text{ cm}$$

$$Q = 1,8 \times 0,5 \times h'^{3/2} \Rightarrow$$

$$h' = \left( \frac{0,0236}{1,8 \times 0,5} \right)^{2/3} = 0,088 \text{ m} \\ \cong 10 \text{ cm}$$

$b'=0,5 \text{ m}$  için;

Su alma bölgesindeki su derinliği =  $0,80 - 0,15 = 65 \text{ cm}$

Su alma yapısında krepin üzerindeki su yüksekliği en az  $1,5 \times D$  kadar olmalıdır. **Boru çapı Ø100 ( $V=1,27 \text{ m/sn}$ )** veya Ø125 ( $V=0,815 \text{ m/sn}$ ) uygundur.

## 5-Kum tutucunun ebatları;

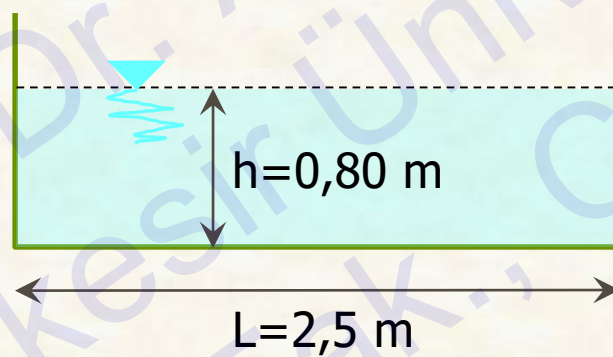
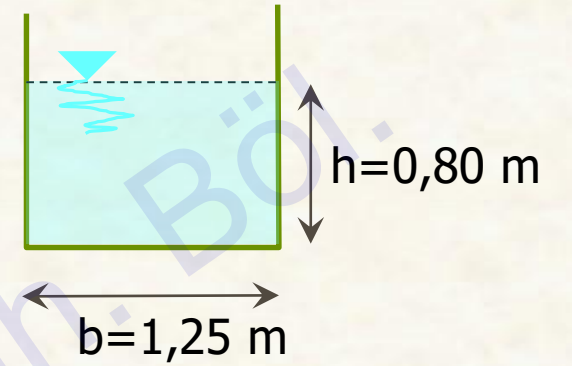
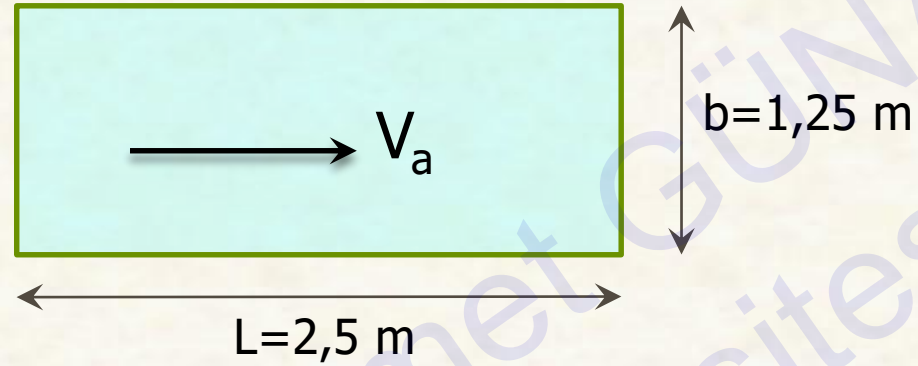
$$A = 3,15 m^2$$

$$F = 2,36 m^2$$

$$b = 2,36 m$$

$$L = 1,34 m$$

$$h = 1,00 m$$



$$A = 3,125 m^2$$

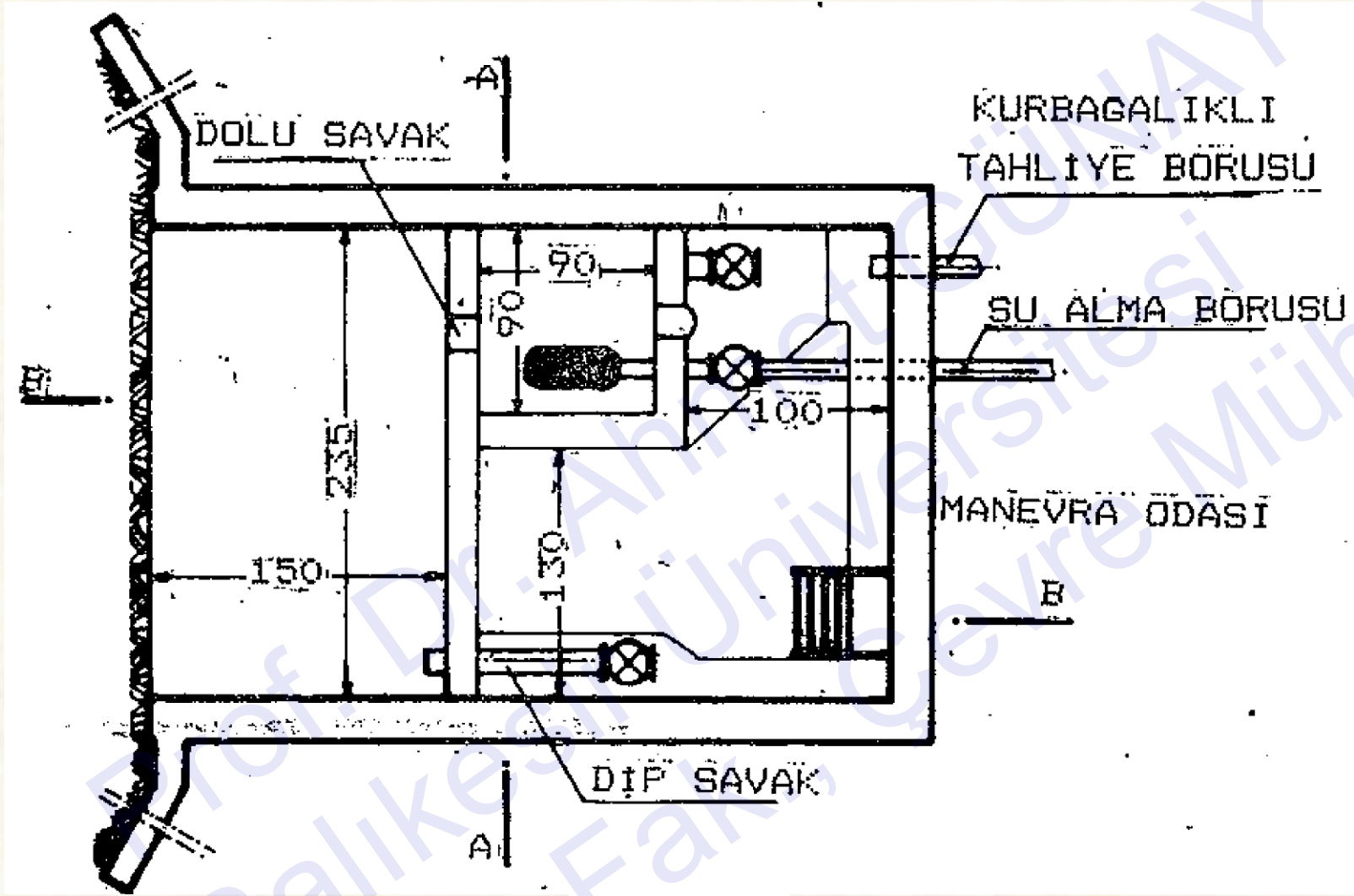
$$F = 1,00 m^2$$

$$b = 1,25 m$$

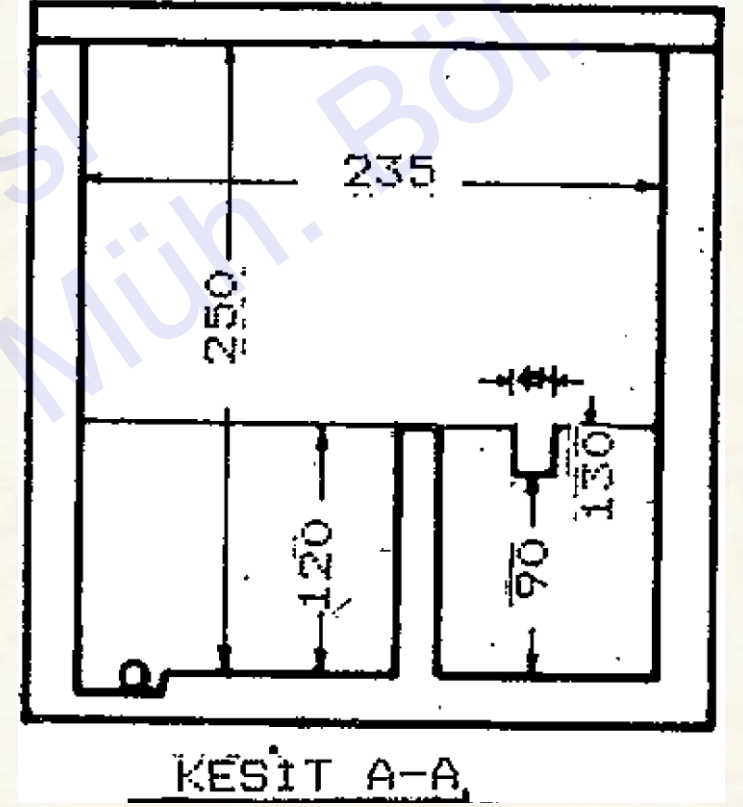
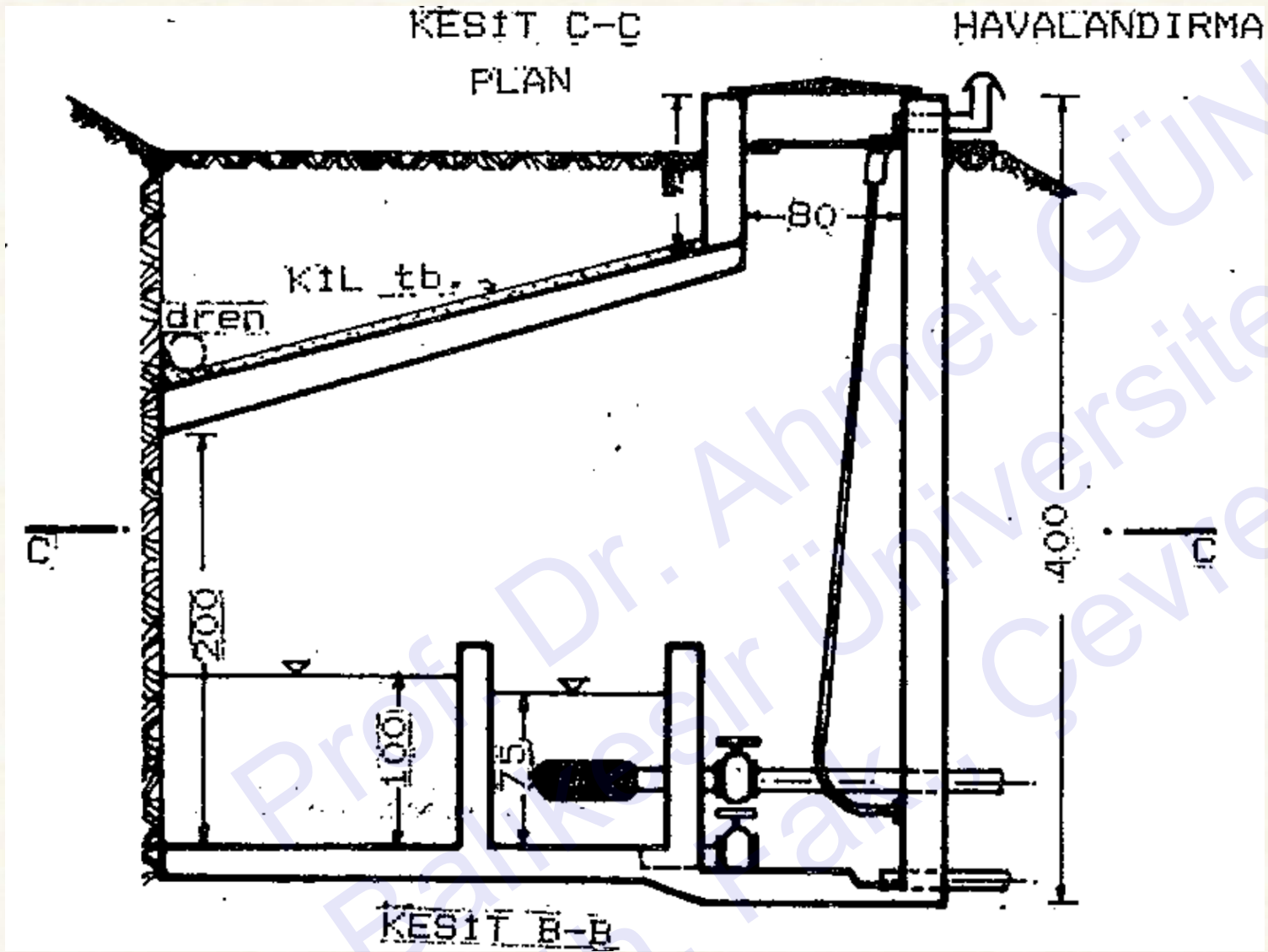
$$L = 2,50 m$$

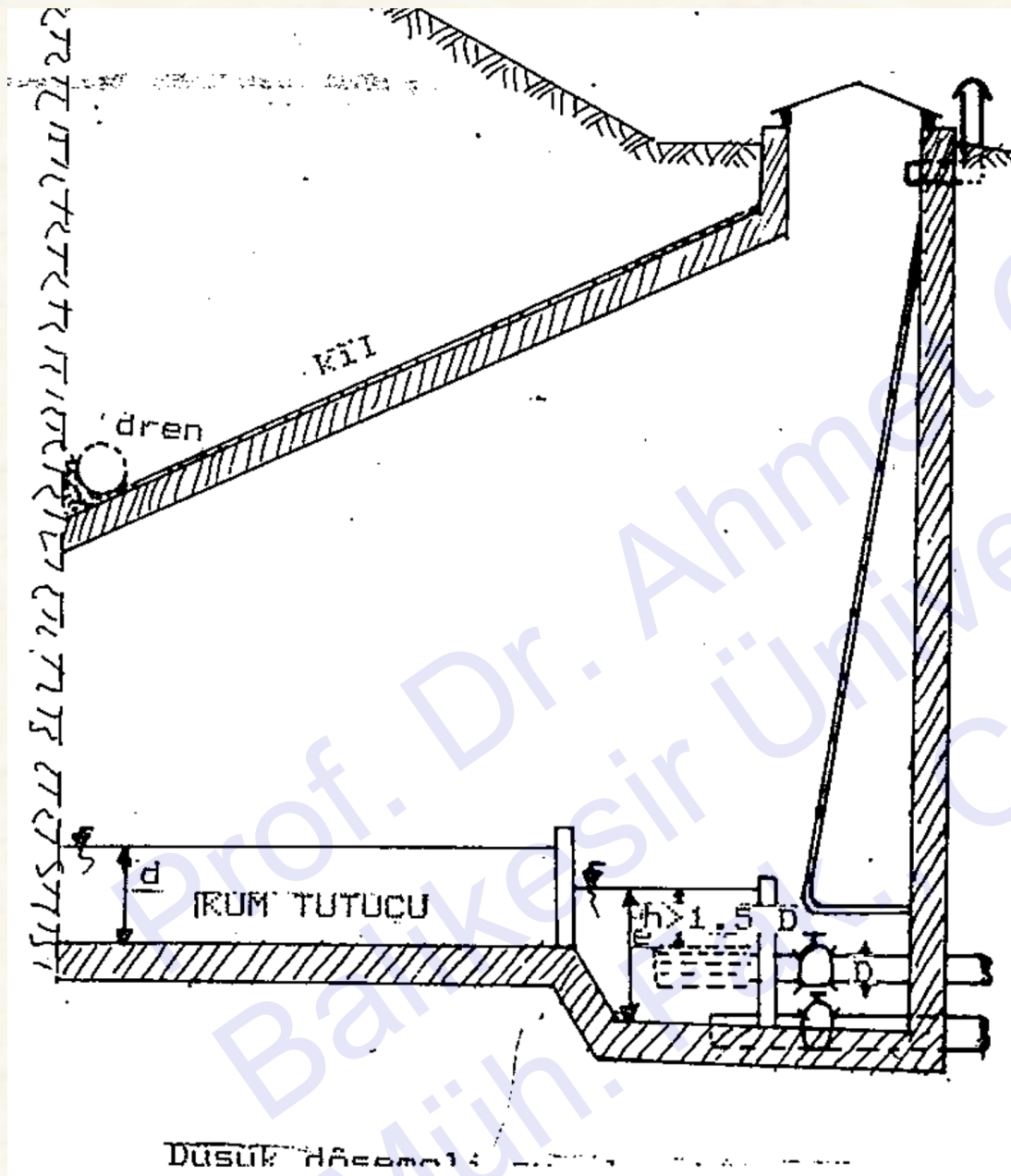
$$h = 0,80 m$$





KESİT C-C  
FLAN





DÜSÜK HASEMELİ

# ÖRNEK-4

## ÇÖKELME HIZI



#### ÖRNEK-4: Kum partiküllerinin çökme hızları

(Kaynak: Colleen Naughton, Ziad Katirji and Heather E. Wright Wendel, *Solutions Manual for: Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design*, 2nd Edition James R. Mihelcic and Julie Beth Zimmerman, John Wiley & Sons, New York, 2014. p154)

Çapı **100 µm** olan kum tanelerinin **10 °C** sıcaklığında su içerisindeki çökme hızlarını hesaplayınız

$SG_{kum}$  : kum tanelerinin spesifik ağırlığı (specific gravity); **2,4 (suya göre rölatif yoğunluk, birimsiz)**

$\rho_{su}$  : suyun özgül ağırlığı; **999,7 kg/m<sup>3</sup>**

g: yerçekim ivmesi; **9,81 m<sup>2</sup>/sn**

$d_p$ : kum partiküllerinin çapı, **m**

$\mu$ : Dinamik vizkozite, T=10 °C su için  **$\mu=1,308 \times 10^{-3} \text{ N-sn/m}^2 \equiv \text{kg/m-sn}$**

$$SG = \frac{\rho_{Partikül}}{\rho_{H_2O}}$$

$$v : \text{Kinematikvizkozite, } T = 10 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ için; } \nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{1,308 \times 10^{-3} \text{ (kg / m - sn)}}{999,7 \text{ (kg / m}^3\text{)}} = 1,308 \times 10^{-6} \text{ (m}^2 \text{ / sn)}$$

- Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_\zeta = \frac{g}{18} (\rho_{kum} - \rho_{su}) \frac{d_p^2}{\mu}$   $Re = \frac{V_\zeta d_p}{\nu}$
- Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_\zeta = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$
- Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_\zeta = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_w) \cdot d_p}$

## ÇÖZÜM:

Küçük çaplı partiküllerin çökmesi genellikle laminer şartlarda gerçekleşir. Eğer  $Re < 0,5$  ise laminer şartlar için geçerli olan çökme modeli uygulanır.

### 1. Kum partiküllerinin yoğunluğu;

$$SG = \frac{\rho_{Partikül}}{\rho_{H_2O}} \Rightarrow \rho_{Partikül} = SG \times \rho_{Partikül}$$

$$\rho_{Partikül} = 2,4 \times 999,7 \left( \frac{kg}{m^3} \right) = 2399 (kg / m^3)$$

**2. Kabul:** Kum tanelerinin çökmesi laminer şartlarda gerçekleşsin ve  $Re < 0,5$  olsun;

**100  $\mu m$**  çaplı kum tanelerinin çökelmelerinin laminer şartlarda;

Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\xi} = \frac{g}{18} (\rho_{kum} - \rho_{su}) \frac{d_p^2}{\mu}$

$$V_{\xi} = \frac{9,81 \left( \frac{m^2}{sn} \right)}{18} \left( (2399 - 999,7) \left( \frac{kg}{m^3} \right) \right) \frac{\left[ 100 (\mu m) \times 10^{-6} (m / \mu m) \right]^2}{1,308 \times 10^{-3} (kg / m - sn)} = 0,005832 m / sn = 0,58 cm / sn$$



### 3. Kabulün doğrulanması

$$\text{Re} = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu} = \frac{0,00583 \times (m / sn) \times 100 \times 10^{-6} (m)}{1,308 \times 10^{-6} (m^2 / sn)} = 0,446 < 0,5$$

Çapı **100 μm** olan kum tanelerinin **10 °C** sıcaklığında su içerisindeki çökme hızları 0,58 cm/sn'dir.

$$\text{Re} = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu} = \frac{0,583 \times (cm / sn) \times 100 \times 10^{-6} (m) \times 100 (cm / m)}{1,308 \times 10^{-2} (cm^2 / sn)} = 0,446 < 0,5$$



# ÖRNEK-5

## ÇÖKELME HIZI





## ÖRNEK-5: Çökme hızı hesabı

Kaynak: Colleen Naughton, Ziad Katirji and Heather E. Wright Wendel, (2014) *Solution Manual: Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design*, 2nd Edition James R. Mihelcic and Julie Beth Zimmerman, John Wiley & Sons, New York, 2014, p155

Boyutu **10  $\mu\text{m}$**  ve spesifik ağırlığı **SG=1,05** olan bir partikülün, sıcaklığı **15 °C** (dinamik vizkozite:  **$\mu = 1,140 \times 10^{-3} \text{ N-sn/m}^2$** ) olan su içerisindeki çökme hızı ne kadardır? Suyun özgül ağırlığı;  **$\rho_{su} = 999,1 \text{ kg/m}^3$**  ve çökme laminar şartlarda gerçekleşmektedir.

### ÇÖZÜM:

#### 1. Partikülün yoğunluğu

$$SG = \frac{\gamma_{partikül}}{\gamma_{su}} \Rightarrow \gamma_{partikül} = \rho_{su} \times SG = 999,1 \text{ kg/m}^3 \times 1,05 = \mathbf{1049 \text{ kg/m}^3}$$

#### 2. Stoke's Kanunu;

$$V_{\xi} = \frac{g}{18} (\rho_{partikül} - \rho_{su}) \frac{d_p^2}{\mu}$$
$$= \frac{9,81 \text{ m}^2 / \text{sn}}{18} (1049 \text{ kg/m}^3 - 999,1 \text{ kg/m}^3) \times \frac{(10 \mu\text{m} \times 10^{-6} \text{ m} / \mu\text{m})^2}{1,140 \times 10^{-3} (\text{N-sn/m}^2 \equiv \text{kg/m-sn})} = 2,4 \times 10^{-6} \text{ m/sn} = \mathbf{2,4 \times 10^{-4} \text{ cm/sn}}$$

$$\text{Re} = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu} = \frac{2,4 \times 10^{-6} \text{ m/sn} \times (10 \mu\text{m} \times 10^{-6} \text{ m} / \mu\text{m})}{1,140 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{sn}} = 21 \times 10^{-6} < 0,5$$

Kinematik vizkozite ( $\nu$ ,  $\text{m}^2/\text{sn}$ ), dinamik vizkozitenin ( $\mu$ ,  $\text{N-sn/m} \equiv \text{kg/m-sn}$ ) yoğunluğa ( $\rho$ ,  $\text{kg/m}^3$ ) oranıdır ( $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ ).



# ÖRNEK-6

# ÇÖKELME HIZI



### ÖRNEK-6: Kum partiküllerinin çökme hızları

Çapı **0,12 mm** olan kum tanelerinin **10 °C** sıcaklığında su içerisindeki çökme hızlarını hesaplayınız

$\gamma_{kum}$  : kumun özgül ağırlığı, **2,65 g/cm<sup>3</sup>**

$\gamma_{su}$  : suyun özgül ağırlığı; **1 g/cm<sup>3</sup>**

g: yerçekim ivmesi, **981 cm/sn<sup>2</sup>**

$d_p$ : kum partiküllerinin çapı, cm

$\nu$ : kinematik vizkozite, T=10 °C su için  **$\nu=1,31 \times 10^{-2}$  cm<sup>2</sup>/sn**

$$Re = \frac{V_{\zeta} d_p}{\nu}$$

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\zeta} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum} - 1}{\gamma_{su}} \right) \cdot d_p}$   $C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$

• Tübülans rejimi  $Re > 1000$  için,  $V_{\zeta} = \sqrt{\frac{10}{3} \cdot g \cdot (\gamma_{kum} - \gamma_{su}) \cdot d_p}$



## ÇÖZÜM: (devamı)

Kabul edilen Re sayısı ve bu Re sayısına bağlı olarak hesaplanan  $C_D$  değeri ve çökme hızları aşağıdaki hesap tablosunda deneme-yanılma yoluyla hesaplanır.

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için, 
$$V_{\xi} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p} \quad C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

Re, kabul	$C_D$	$V_{\xi}$	Re, hesap
0,50	52,58	0,702	0,643
0,60	44,21	0,765	0,701
0,65	40,98	0,795	0,728
0,70	38,21	0,823	0,754
0,75	35,80	0,850	0,779
<b>0,80</b>	<b>33,69</b>	<b>0,877</b>	<b>0,803</b>
0,81	33,30	0,882	0,808
0,82	32,92	0,887	0,812

$$Re = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu}$$

**0,012 cm** çaplı kum tanelerinin çökme hızı **0,88 cm/sn**'dir. Bu kum tanelerinin çökme hızlarından ileri gelen hareket dolayısıyla ortaya çıkan kaotik durum ara rejim (geçiş rejimi) bölgesinde kalır ve **0,5 < Re < 1000** aralığı için geçerli olan çökme modeli uygulanır.

$$V_{\xi} = 0,88 \text{ cm / sn}$$

## 0,10 mm çaplı partiküller

Çapı 0,10 mm olan kuarz kum partiküllerinin çökelmeleri 10 °C için kritiktir. **0,10 mm'den küçük** partiküllerin çökmesi laminer şartlarda gerçekleşirken, **0,10 mm'den büyük** partiküllerin çökmesi ara rejimde (geçiş rejiminde) gerçekleşir.

$d_p = 0,10 \text{ mm}$  için; ( $T = 10 \text{ °C}$ ;  $\nu = 1,31 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sn}$ )

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_\zeta = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu} = \frac{981}{18} (2,65 - 1) \frac{0,01^2}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,69 \text{ cm / sn}$

$$Re = \frac{V_\zeta d_p}{\nu} = \frac{0,69 \times 0,01}{1,31 \times 10^{-2}} = 0,52 > 0,5$$

***Re=0,52 > 0,50 olduğundan kabul edilen çökme modeli doğrulanmamıştır ve çökme laminer şartlarda gerçekleşmeyecektir. Çökme hızı;  $V_\zeta = ?? \text{ cm/sn}$***

• Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,

$$V_\zeta = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum} - 1}{\gamma_w} \right) \cdot d_p} \quad C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

$$V_\zeta \cong 0,65 \text{ cm / sn}$$

Re, kabul	$C_D$	$V_\zeta$	Re, hesap
0,50	52,58	0,641	0,489
0,52	50,65	0,653	0,498
0,55	48,02	0,670	0,512
0,60	44,21	0,699	0,533
0,65	40,98	0,726	0,554
0,70	38,21	0,752	0,574

**TABLO** Farklı çaplardaki partiküllerin çökme hızları (T= 10 °C;  $\nu=1,31 \times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{sn}$  )

Partikül çapı, mm	0,025	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,100	0,110	0,120	
V <sub>ç</sub> , cm/sn	0,043	0,172	0,247	0,336	0,439	0,556	≈ 0,650	0,750	0,877	
Re Sayısı	$Re = \frac{V_{\xi} d_p}{\nu}$	0,008	0,066	0,113	0,180	0,268	0,382	0,527	0,630	0,803

← **Laminer bölge**

→ **Geçiş bölgesi**

• Laminer rejim  $Re < 0,5$  için,  $V_{\xi} = \frac{g}{18} (\gamma_{kum} - 1) \frac{d_p^2}{\nu}$

- Ara rejim (geçiş bölgesi)  $0,5 < Re < 1000$  için,

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0,34$$

$$V_{\xi} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{g}{C_D} \cdot \left( \frac{\gamma_{kum}}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot d_p}$$

**Partikül çapı arttıkça Re sayısı niçin artar?**

## TERMİNOLOJİ

**Menba:** Su kaynağı

**Kaptaj:** Su alma yapısı

**Krepin:** Su alma ağızı

**Savak:** Suyun kontrollü şekilde taşmasını sağlayan havuz elemanı

Prof. Dr. Ahmet GÜNAY  
Balıkesir Üniversitesi  
Müh. Fak., Çevre Müh. Böl.

