



INM 305

Zemin Mekaniği

Fiziksel Özellikler

Doç. Dr. İnan KESKİN

inaneskin@karabuk.edu.tr, inaneskin@gmail.com

www.inaneskin.com

Haftalık Konular

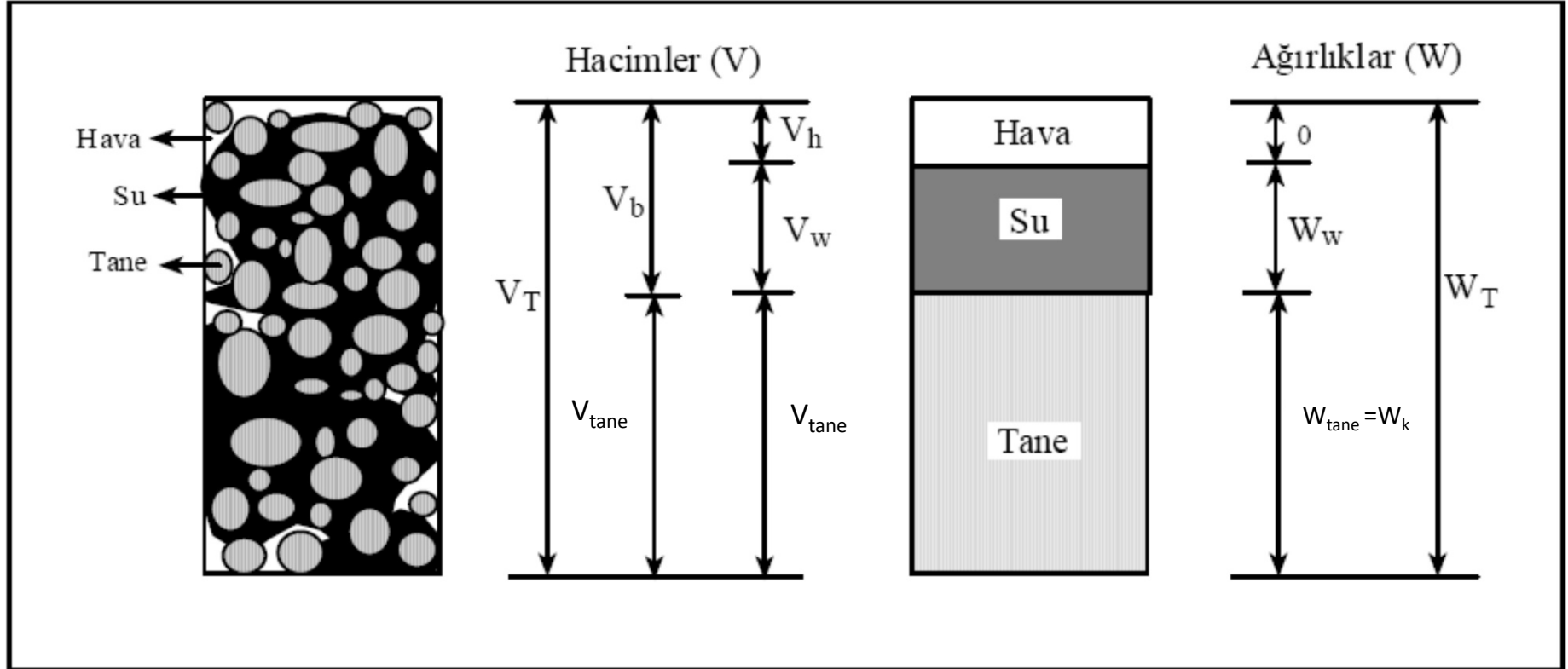
Hafta 1:	Zeminlerin Oluşumu
Hafta 2:	Zeminlerin Fiziksel ve Endeks Özelliklerinin Tanımlanması ve Problem Çözümleri
Hafta 3:	Zeminlerin Fiziksel ve Plastisite Özelliklerine Yönelik Deneyler
Hafta 4:	Zeminlerde Tane Dağılımı ve Analizi
Hafta 5:	Zeminlerin Sınıflandırılması
Hafta 6:	Zemin Sınıflama Sistemleri Uygulamaları ve Karşılaştırmalar
Hafta 7:	Zeminlerde Su
Hafta 8:	Yeraltı Gerilmeleri; Zemin kütlesi nedeniyle oluşan gerilmeler
Hafta 9:	Yeraltı Gerilmeleri; Düşey yükleme ile oluşan zemin kütlesindeki gerilmeler
Hafta 10:	Zeminlerin Kompaksiyonu
Hafta 11:	Standart Proktor Deneyi ve Modifiye Proktor Deneylerinin Uygulaması
Hafta 12:	Sıkışma ve Konsolidasyon Teorisi
Hafta 13:	Konsolidasyon Deneyi
Hafta 14:	Karışık Problem Çözümleri
Hafta 15:	Final Sınavı

HACİM AĞIRLIK PARAMETRELERİ - FAZ DİYAGRAMLARI

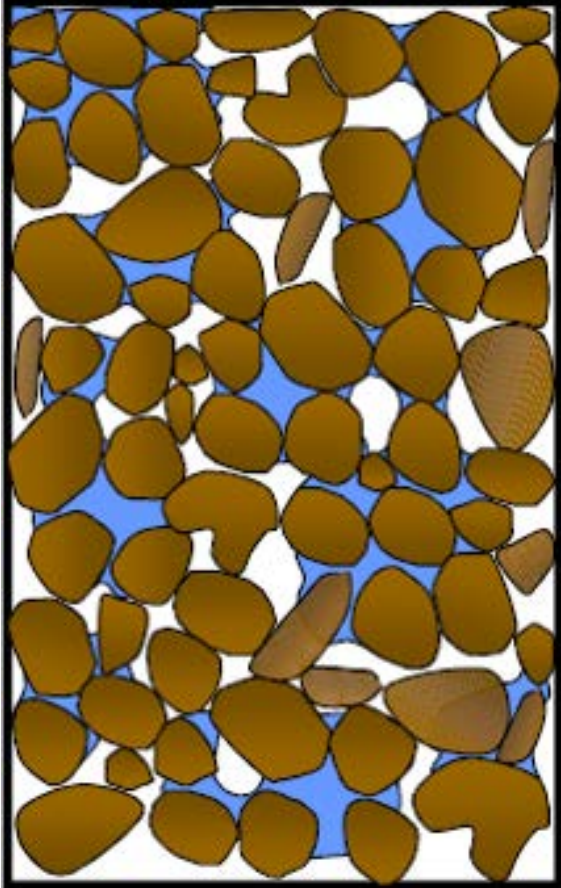
Zemin, en genel anlamda 3 bileşenden meydana gelmektedir

- Katı (genellikle taneler (mineraller))
- Sıvı (taneler arası boşluklarda bulunan su)
- Gaz (taneler arası boşluklarda bulunan su)

Taneli bir yapıya sahip olan zeminde, taneler arası boşluklar; kısmen **su ve hava** ile dolu olabildiği gibi, suya doymun zeminlerde **tamamen su**, kuru zeminlerde ise **tamamen hava** ile doludurlar.



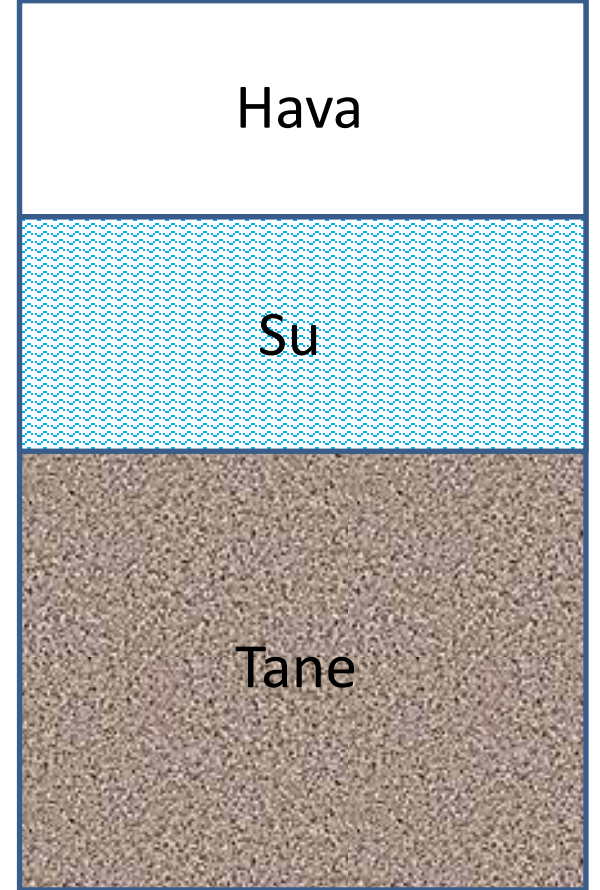
FAZ DİYAGRAMLARI/Yarı Doygun Zeminler



Zemin İskeleti

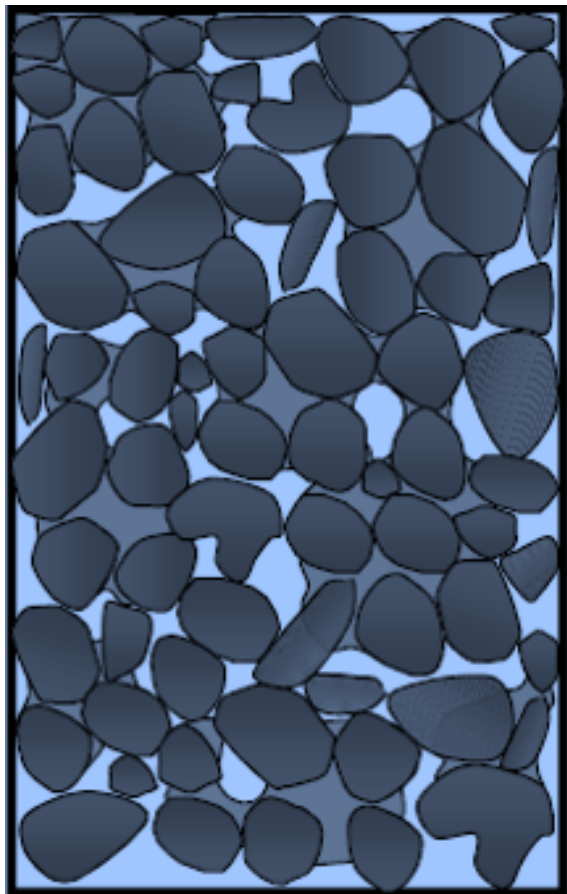


Gerçek



İdealize edilmiş durum

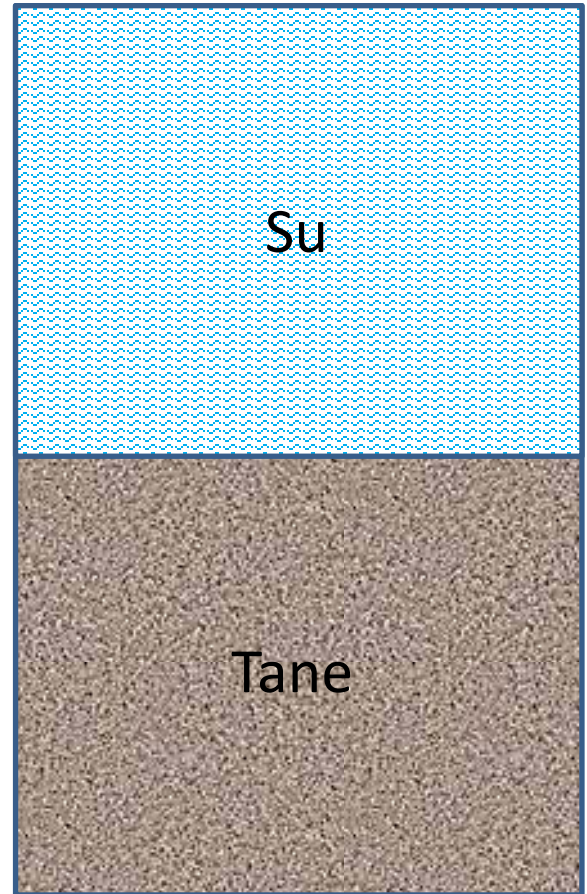
FAZ DİYAGRAMLARI/Tamamen Suya Doygun Zeminler



Zemin İskeleti

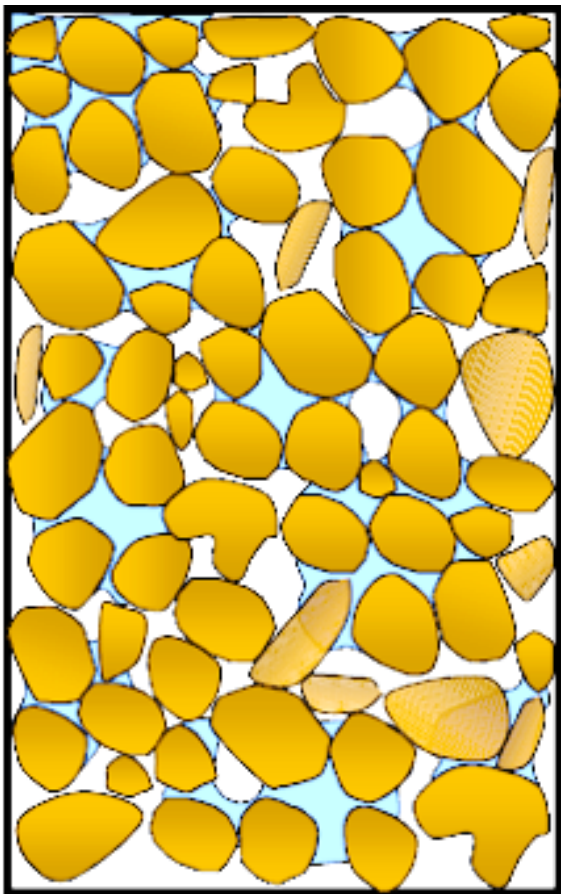


Gerçek



Tamamen Doygun

FAZ DİYAGRAMLARI/Kuru Zeminler



Zemin İskeleti



Gerçek



Kuru Zemin

ZEMİNLERİN HACİM PARAMETRELERİNİN TANIMI

Boşlu oranı (e), boşluklu bir yapıya sahip olan zeminde, boşluk durumunu yansıtan bir terim olup, boşluk hacminin tane hacmine oranı şeklinde ifade edilmektedir.

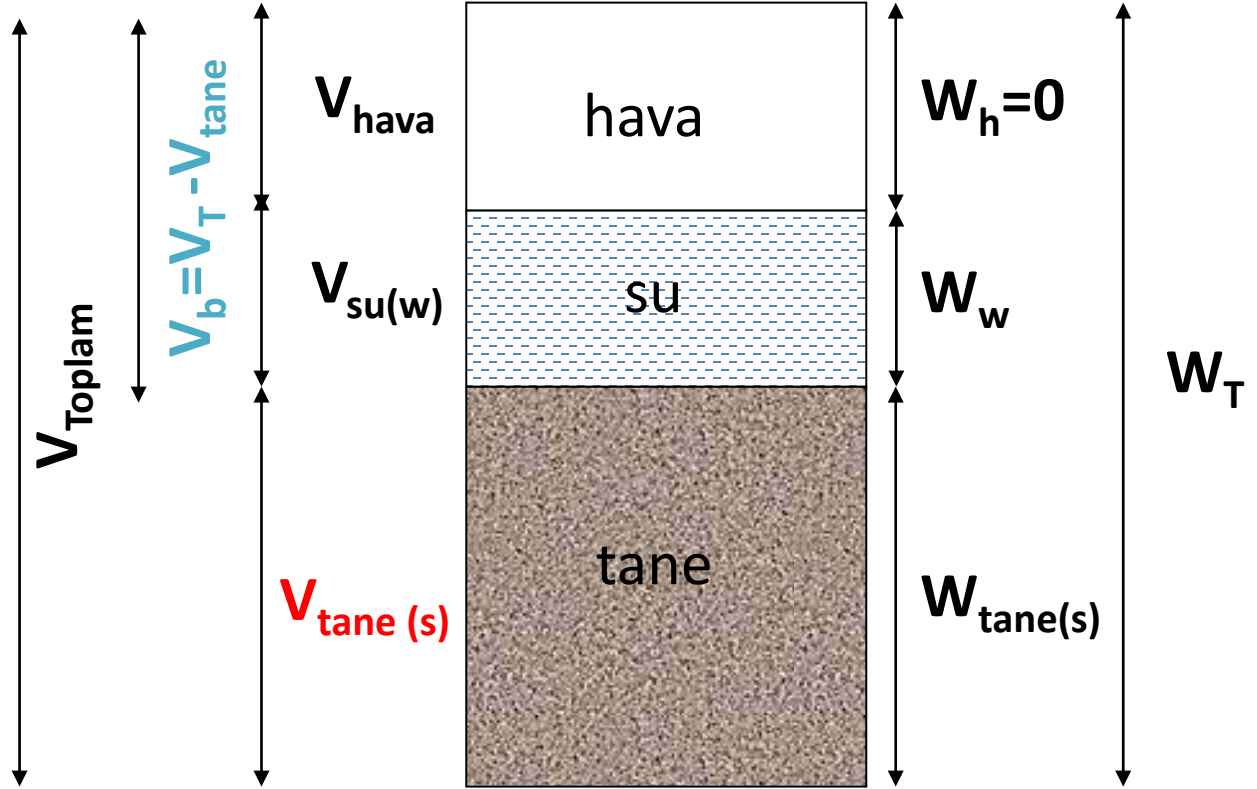
$$\% e = \frac{V_b}{V_{tane}} * 100$$

$$0 \leq e \leq \infty$$

$$\text{Kum } 0.4 \leq e \leq 1$$

$$\text{Kil } 0.3 \leq e \leq 1.5$$

$$e_{\text{killer}} \gg e_{\text{kumlar}}$$

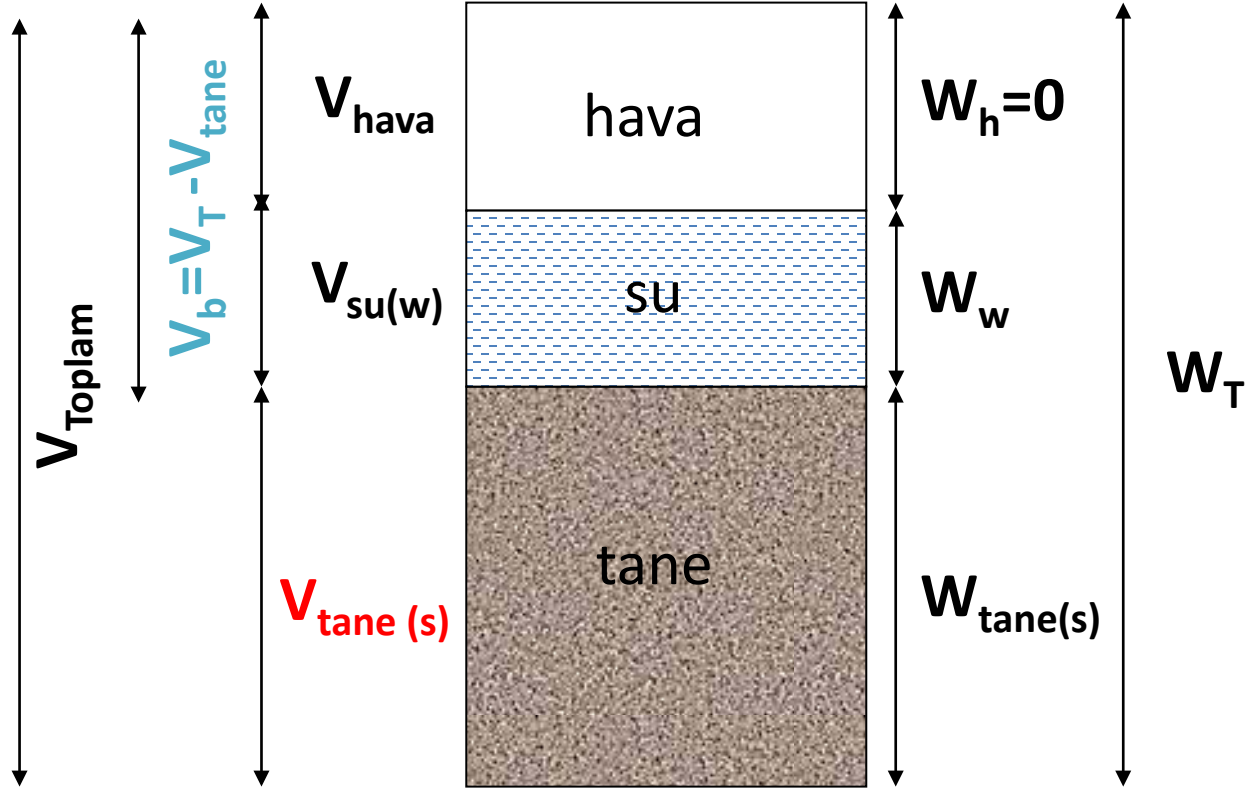


ZEMİNLERİN HACİM PARAMETRELERİNİN TANIMI

Porozite (n), zeminin boşluk durumunu yansıtan bir başka özellik olup, boşluk hacminin tüm hacme oranı şeklinde ifade edilmektedir.

$$\% n = \frac{V_b}{V_T} * 100$$

$$0 \leq n \leq 1$$



ZEMİNLERİN HACİM PARAMETRELERİNİN TANIMI

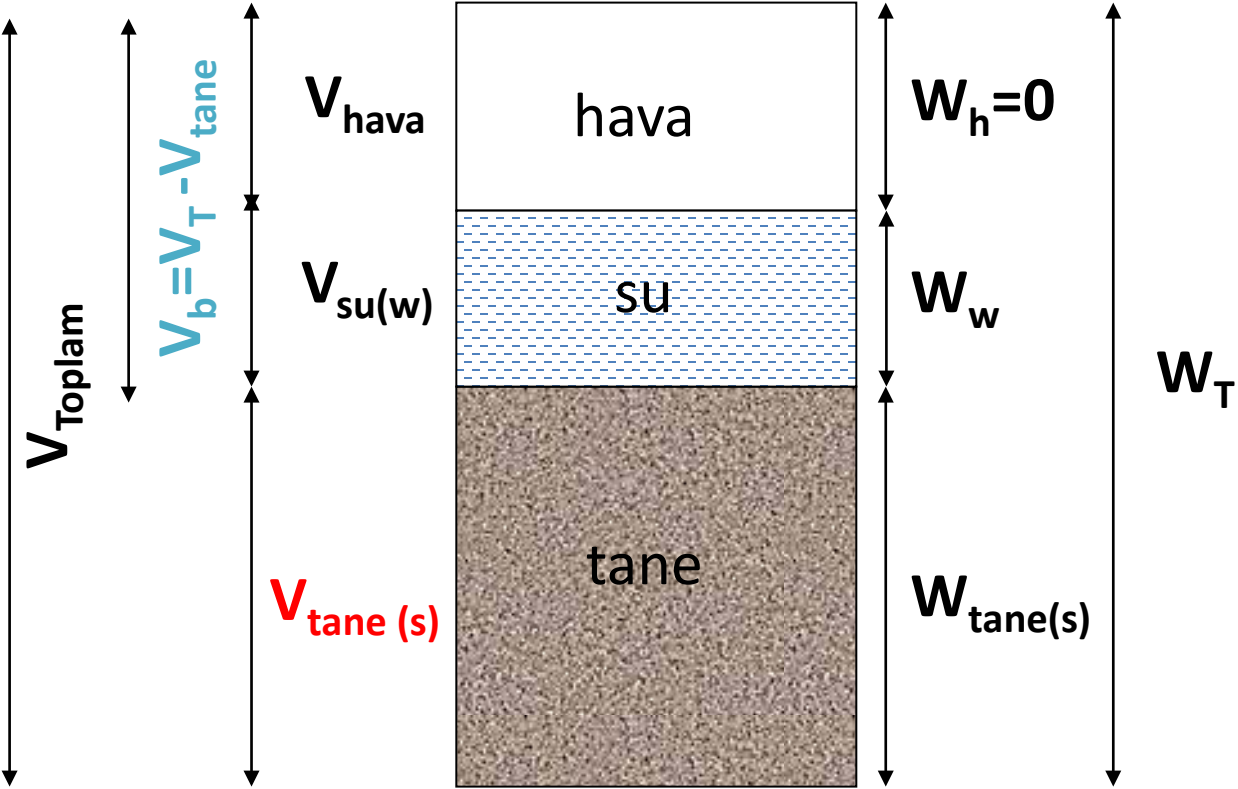
Doygunluk derecesi (S_r), zemindeki boşlukların hangi oranda su ile dolu olduğunu yansıtan bir özellik olup, su hacminin boşluk hacmine oranı olarak ifade edilir..

$$\% S_r = \frac{V_w}{V_b} * 100$$

Oran: 0 – 100%

Kuru

Doygun



Tümüyle kuru zemin $S = 0\%$

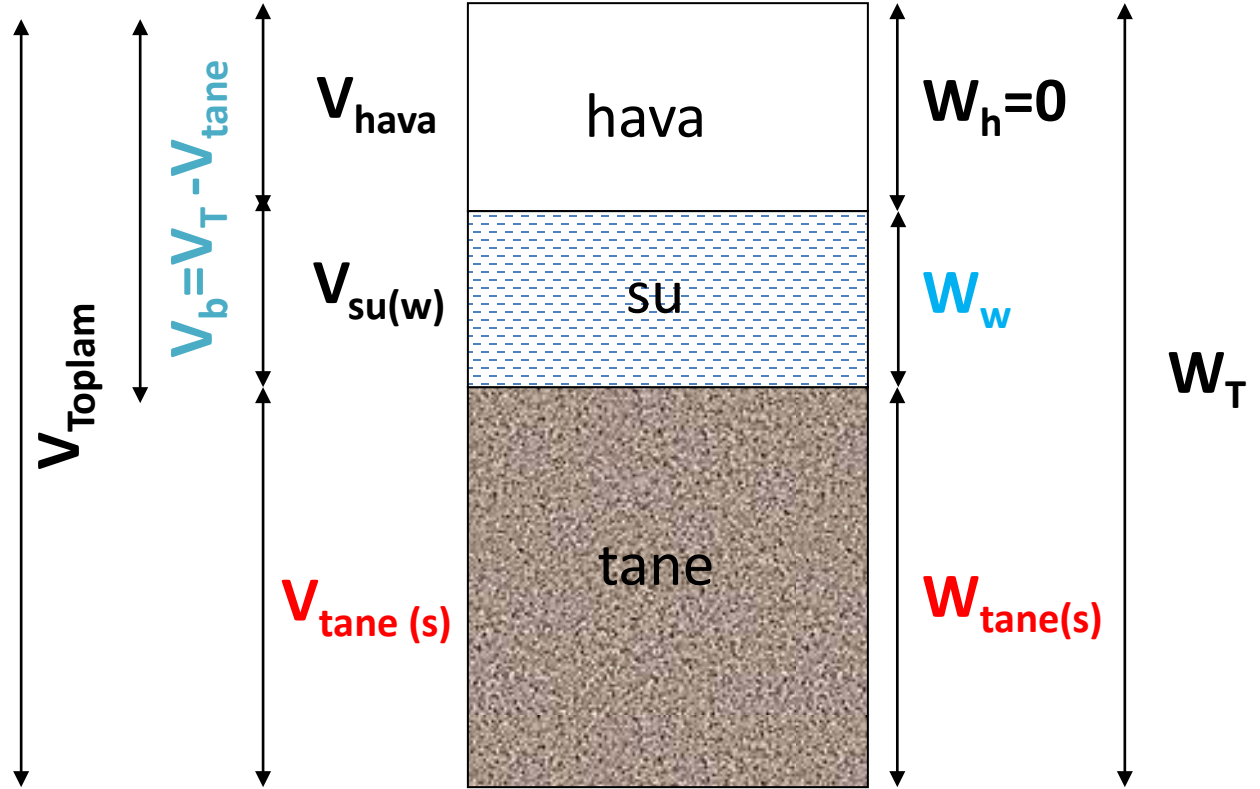
Tümüyle doymun zemin $S = 100\%$

Doygun olmayan (kısmen doymun zemin) $0\% < S < 100\%$

ZEMİNLERİN KÜTLE-AĞIRLIK PARAMETRELERİNİN TANIMI

Su içeriği (w); zemindeki suyun yüzde olarak miktarıdır. Yüzde olarak ifade edilir (%0-100)

$$\% w = \frac{V_w}{W_{tane}} * 100$$



ZEMİNLERİN KÜTLE-AĞIRLIK PARAMETRELERİNİN TANIMI

$$\text{yoğunluk } (\rho) = \frac{\text{kütle}}{\text{hacim}} \text{ kg/m}^3$$

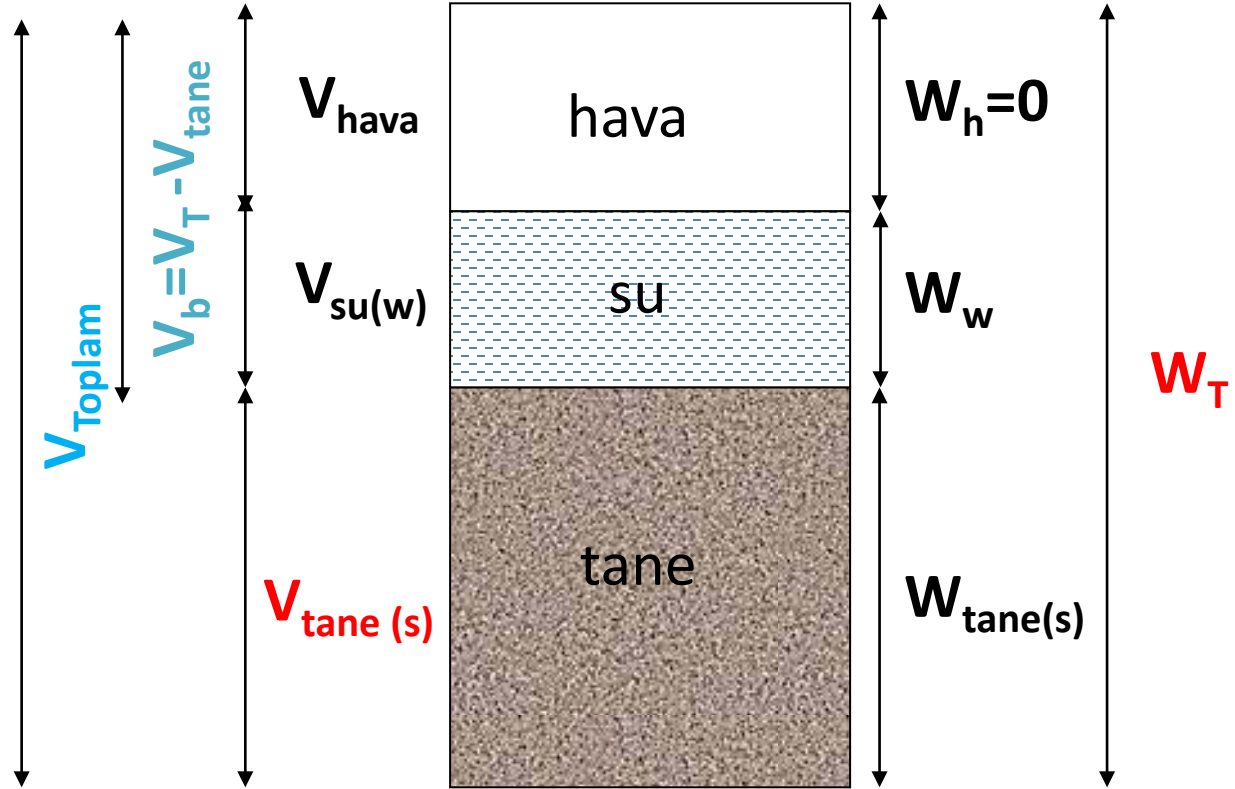
$$\text{b. h. a } (\gamma) = \frac{\text{ağırlık}}{\text{hacim}} = \frac{\text{kütle} * g}{\text{hacim}}$$

$$\gamma = \frac{W_t}{V_T}$$

$$\gamma = \rho * g$$

$$\gamma = \rho * 9,807 \text{ m/sn}^2$$

$$\gamma_w = 9,8 \text{ kN/m}^3$$



- **Kütle** madde miktarıdır ve evrenin her yerinde aynıdır. **Eşit kollu terazi ile ölçülür.** (g), (kg).
- **Ağırlık** kütleyle etki eden yerçekimi kuvvetinin büyüklüğüdür. (Newton'un ikinci yasası $F=mg$)
- **Ağırlık bir kuvvet olduğu için dinamometre ile ölçülür.** 1 kg yaklaşık 10 Newton
- Hesaplamalarda b.h. ağırlık yaygın olarak kullanılmakla birlikte teknik işlerde kullanımından kaçınılması yerinde olacaktır. ASTM b.h.a yerine yoğunluğun kullanımını önermektedir.

ZEMİNLERİN KÜTLE-AĞIRLIK PARAMETRELERİNİN TANIMI

Herhangi bir x maddesi için ağırlık hacim arasındaki ilişki

Katı-sıvı-gaz ağırlığı (kN, lb, dyn)

Maddenin kapladığı hacim (m³, ft³)

$$(W_x) = V_x * G_x * \gamma_w \text{ kg/m}^3$$

suyun b.h. Ağırlığı (9.81 kN/m³)

Özgül ağırlık (birimsiz)

Herhangi bir x maddesi için kütle hacim arasındaki ilişki ise

$$(M_x) = V_x * G_x * \rho_x \text{ kg/m}^3$$

suyun b.h. Ağırlığı (9.81 kN/m³)

Maddenin kütlesi (kg)

Zeminlerin su içeriğine bağlı b.h. ağırlıkları

Bir cismin birim hacminin (1cm_3 , 1m_3 , vb.) ağırlığına o cismin birim hacim ağırlığı denilmektedir. $\gamma = \text{Ağırlık/hacim}$ (gr/cm_3 , t/m_3)

Doğal birim hacim ağırlık γ_n ; zeminin doğal ağırlığının tüm hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır.

$$\gamma_n = \frac{W_{\text{tüm}}}{V_{\text{tüm}}}$$

Kuru birim hacim ağırlık γ_k ; yaş veya kuru zemindeki, kuru ağırlığın (tane ağırlığının) tüm hacme oranı olarak tanımlanır.

$$\gamma_k = \frac{W_{\text{kuru}}}{V_{\text{tüm}}}$$

Doygun birim hacim ağırlık γ_d ; zeminin bütün boşluklarının su ile dolu olduğu suya tam doygun zeminlerde; tüm ağırlığın tüm hacme oranı olarak tanımlanır.

$$\gamma_{\text{doy}} = \frac{(W_{\text{tane}} + W_{\text{su}})}{V_{\text{tüm}}}$$

Su altındaki (batık) birim hacim ağırlık (γ'); Serbest yeraltı suyu altındaki zeminler için söz konusu olup, doygun birim hacim ağırlık ile suyun birim hacim ağırlığı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır.

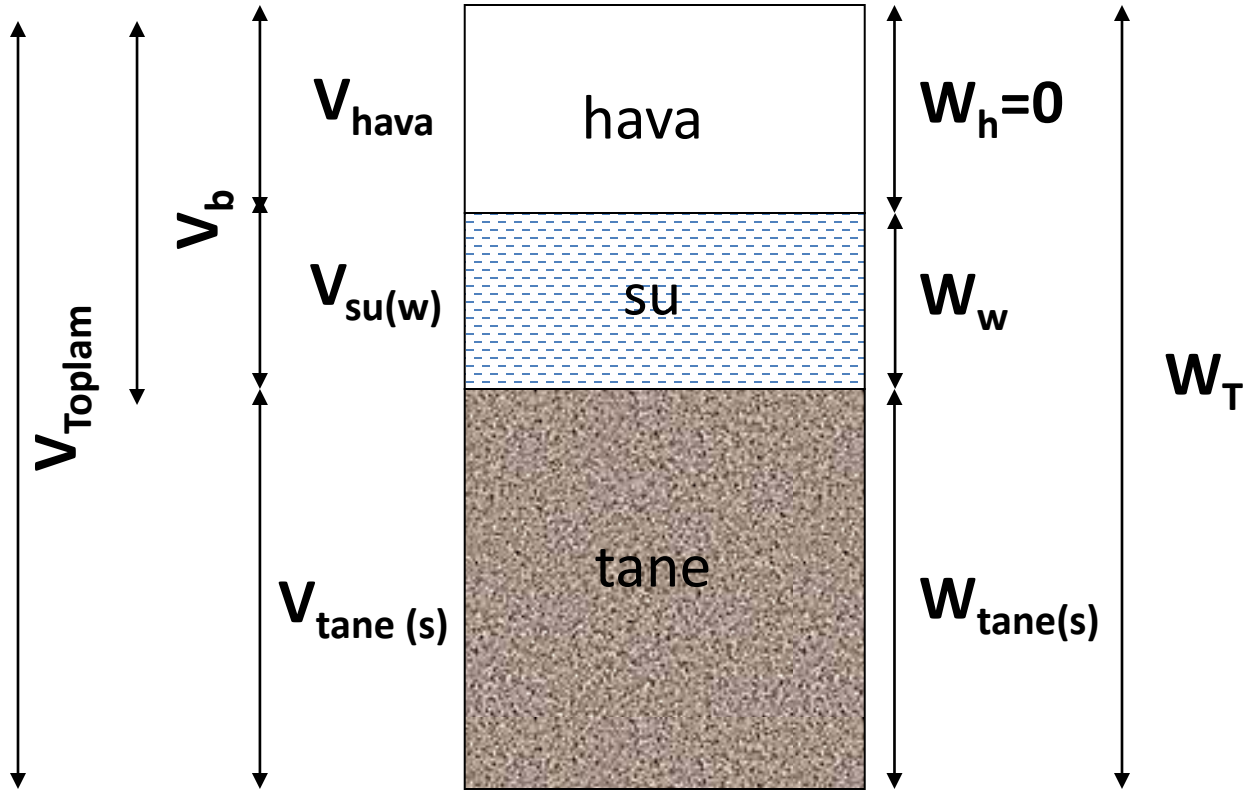
$$\gamma' = \gamma_d - \gamma_{\text{su}}$$

Tane birim hacim ağırlığı γ_s ; zemin tane kısmının (boşluksuz) birim hacim ağırlığı olarak tanımlanır ve tane ağırlığının, tanelerin toplam (boşluksuz) hacmine oranı olarak ifade edilir.

$$\gamma_{\text{tane}} = \frac{W_{\text{tane}}}{V_{\text{zemin}}}$$

ZEMİNLERİN KÜTLE-AĞIRLIK PARAMETRELERİNİN TANIMI

Özgül ağırlık (tane ağırlığı) G_s ; tane birim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır.

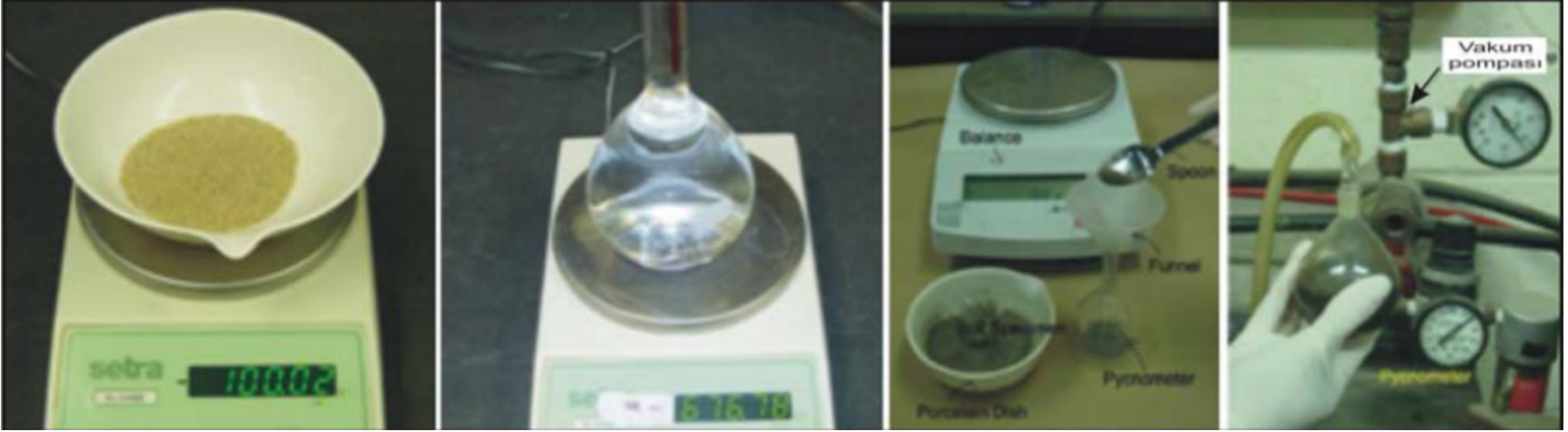


$$G_s = \frac{\rho_{\text{tane}}}{\rho_{\text{su}}}$$

Çoğu zeminler için $G_s = 2.60-2.80$ arasında değişir

ÖZGÜL AĞIRLIK NASIL BELİRLENİR?

Özgül ağırlığın belirlenmesinde iri taneli zeminler için yaklaşık 1 lt lik kavanoz biçimli ince taneli zeminler için ise daha küçük hacimli (50–100 cm³) piknometre adı verilen cam şişeler kullanılır.



Deneyi Yapan:						
Örnek No						
Piknometre No						
Piknometre Kütlesi (W ₁)						
Piknometre+Örnek Kütlesi (W ₂)						
Piknometre+Örnek + Su Kütlesi (W ₃)						
Sadece Su ile Dolu Piknometre Kütlesi (W ₄)						
Örneğin Kütlesi (W ₂ -W ₁)						
Piknometreyi Dolduran Su kütlesi (W ₄ -W ₁)						
Zemine Eklenen Su Kütlesi (W ₃ -W ₂)						
Örnek Hacmi (W ₄ -W ₁)-(W ₃ -W ₂)						
Zeminin Tane Özgül Ağırlığı						
$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{\gamma_w (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$						

$$G_s = \frac{(W_2 - W_1)}{\gamma_w (W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Çakıl ve kum; 2.65-2.68
İnorganik kil; 2.68-2.76
Kil; 2.70
Kum; 2.65

ZEMİNLERİN SIKILIĞI

Rölatif (izafi, görelî, bağıl) sıklık (D_r veya I_p); kum, çakıl gibi kohezyonsuz zeminlerde zeminin sıklık durumunu yansıtan terim olup,

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_k} - 1$$

$$e_{max} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{k(min)}} - 1$$

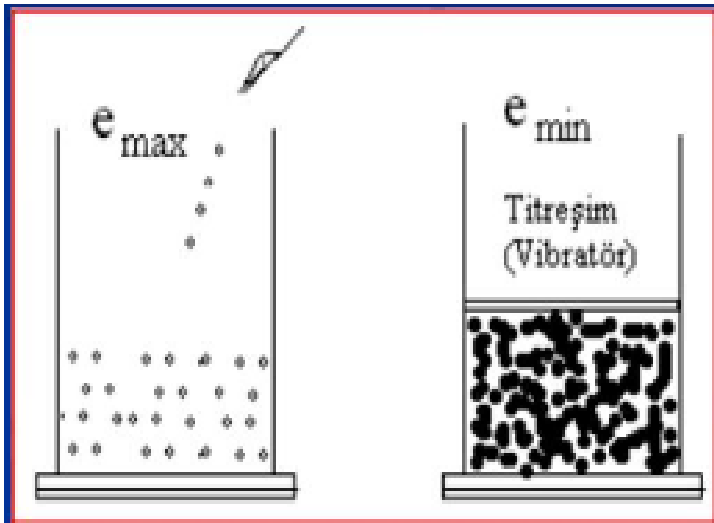
$$e_{min} = \frac{\gamma_s}{\gamma_{k(max)}} - 1$$

förmülü ile ifade edilmektedir.

e_{max} = maksimum boşluk oranı zeminin en gevşek durumdaki boşluk oranı

e_{min} = minimum boşluk oranı zeminin en sıkı durumdaki boşluk oranı

e = zeminin rölatif sıklığının belirlenmek istendiği duruma ait boşluk oranı



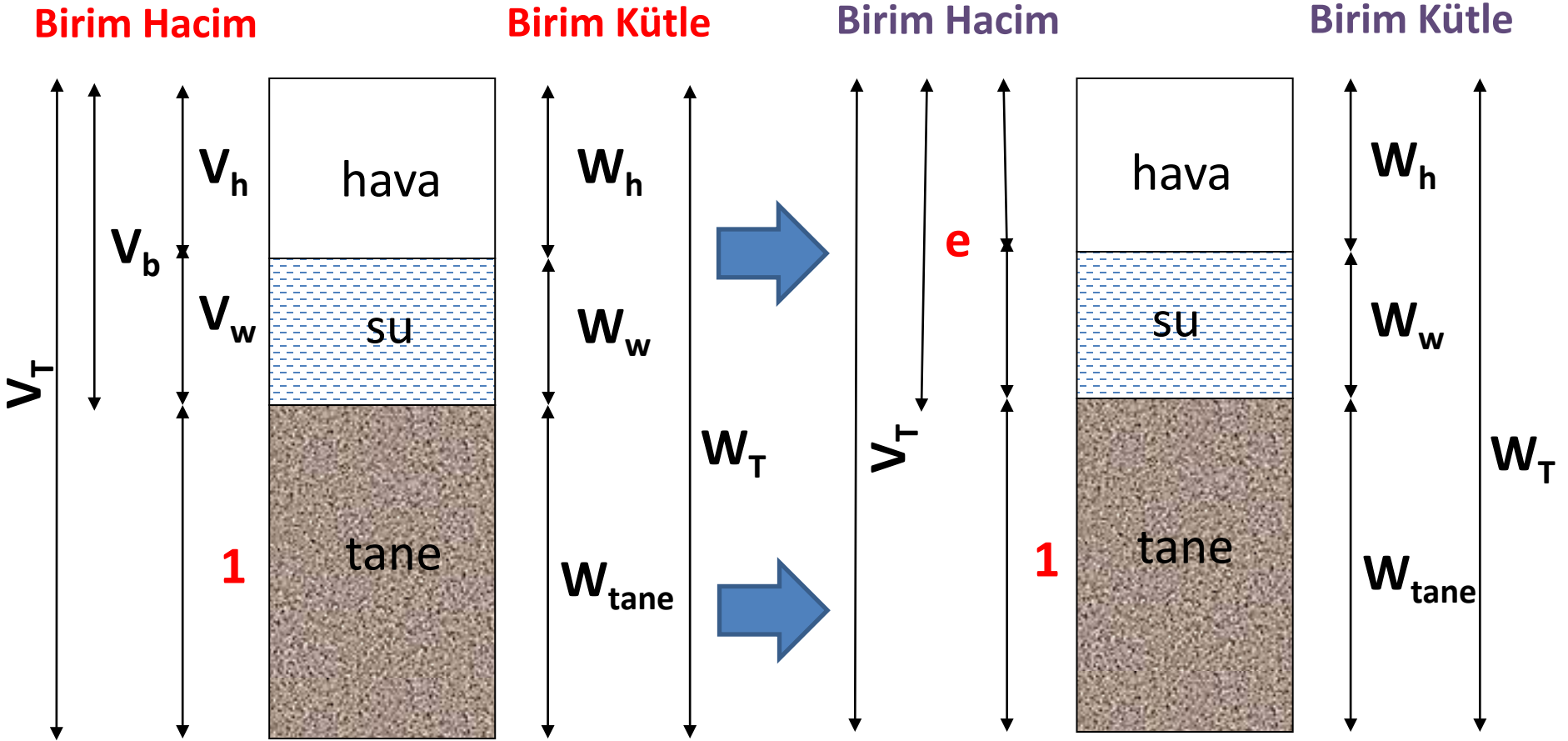
Kumu yağmurlama şeklinde serbest boşalttık, boşluğu ölçtük e_{max} 'i buluruz

Hacmi bilinen kap içine kum 3 tabaka halinde 30 kg kadar ağırlıklı bir vibratörle sıkıştırılarak e_{min} bulunur

Rölatif Sıklık (%)	Sıklık Derecesi
0-15	Çok Gevşek
15-35	Gevşek
35-65	Orta Sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Çok Sıkı

KABULLER

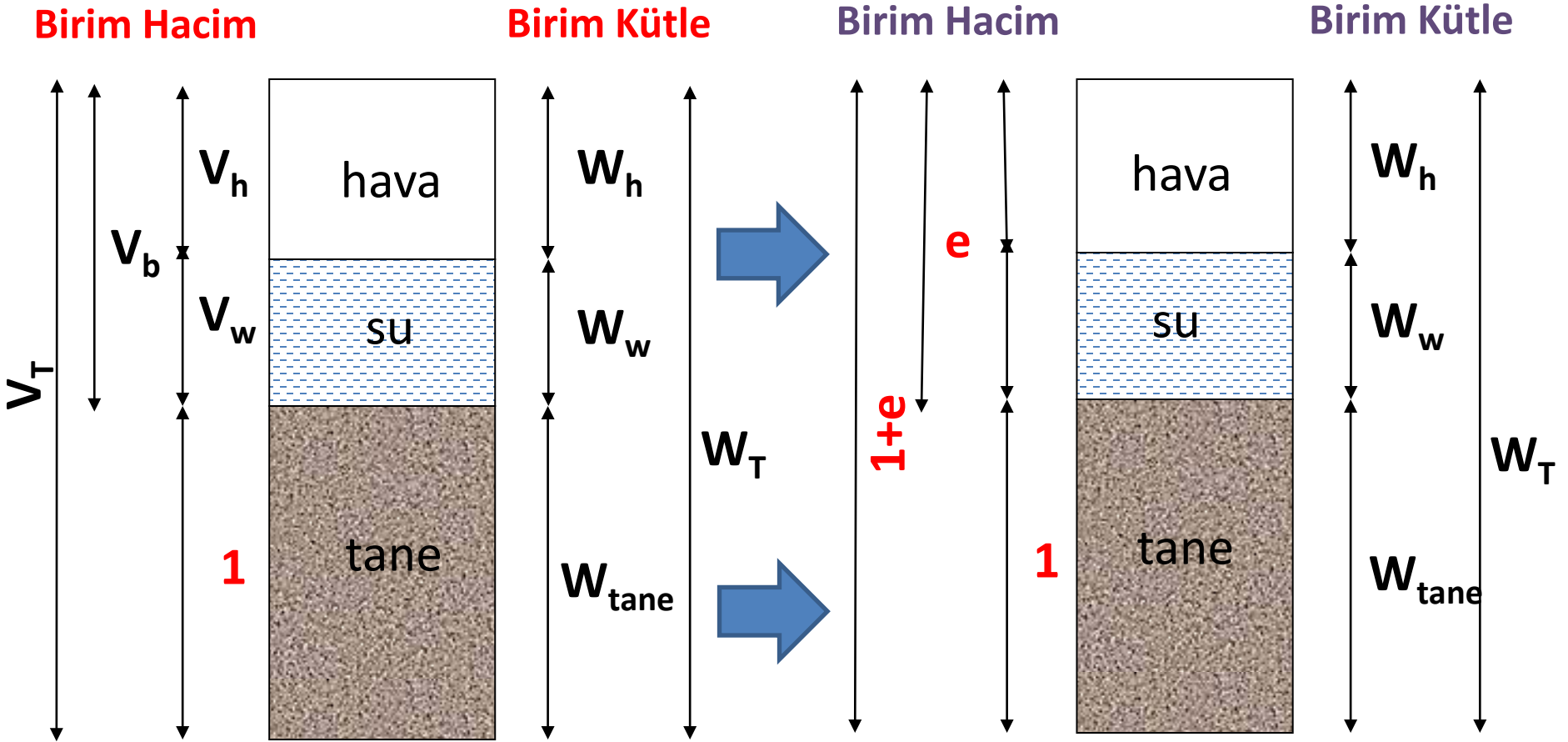
Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)



Boşluk hacmi $\rightarrow e = \frac{V_b}{V_{tane(s)}} \quad V_s = 1 \quad V_b = e$

KABULLER

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

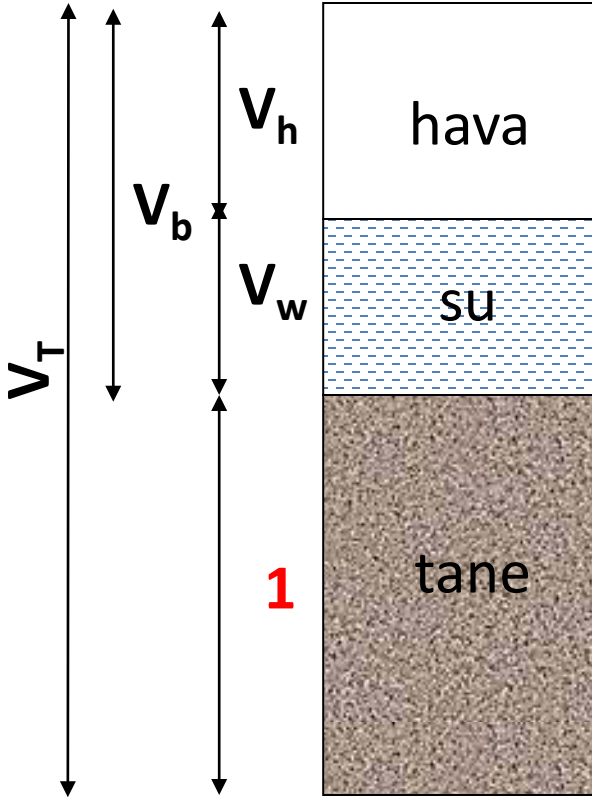


Toplam Hacim $\rightarrow V_T = V_b + V_{tane} \rightarrow V_T = e + 1$

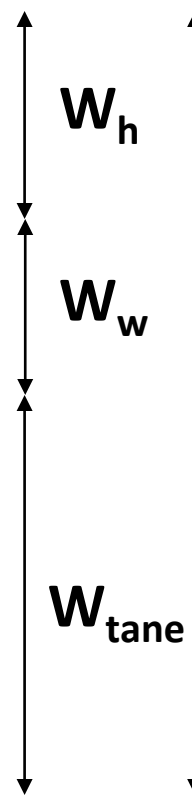
KABULLER

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

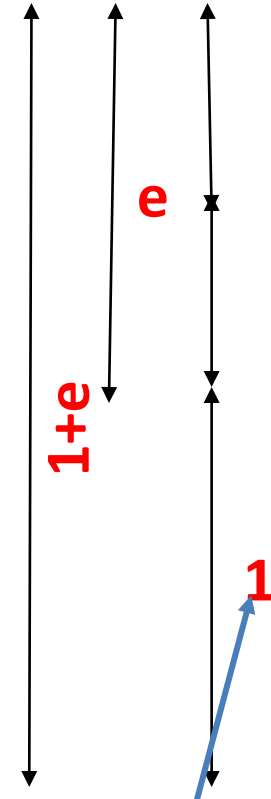
Birim Hacim



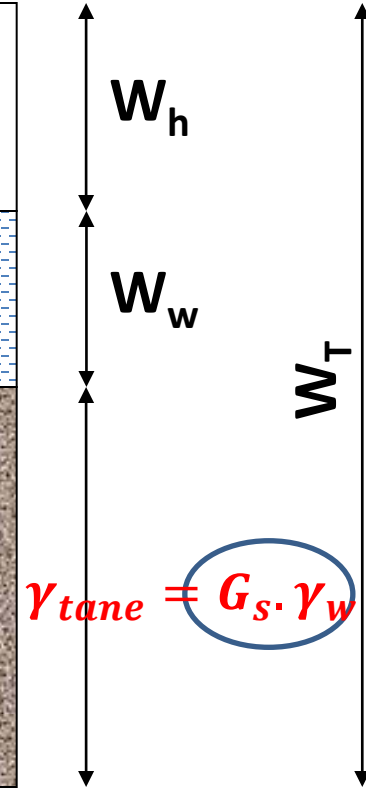
Birim Kütle



Birim Hacim



Birim Kütle



Katı tanelerin ağırlığı

$$\gamma_{tane} = \frac{W_{tane}}{V_{tane}}$$

$$\underline{W_{tane}} = \underbrace{V_{tane}}_{1} \times \underline{\gamma_{tane}} \Rightarrow W_{tane} = \gamma_{tane}$$

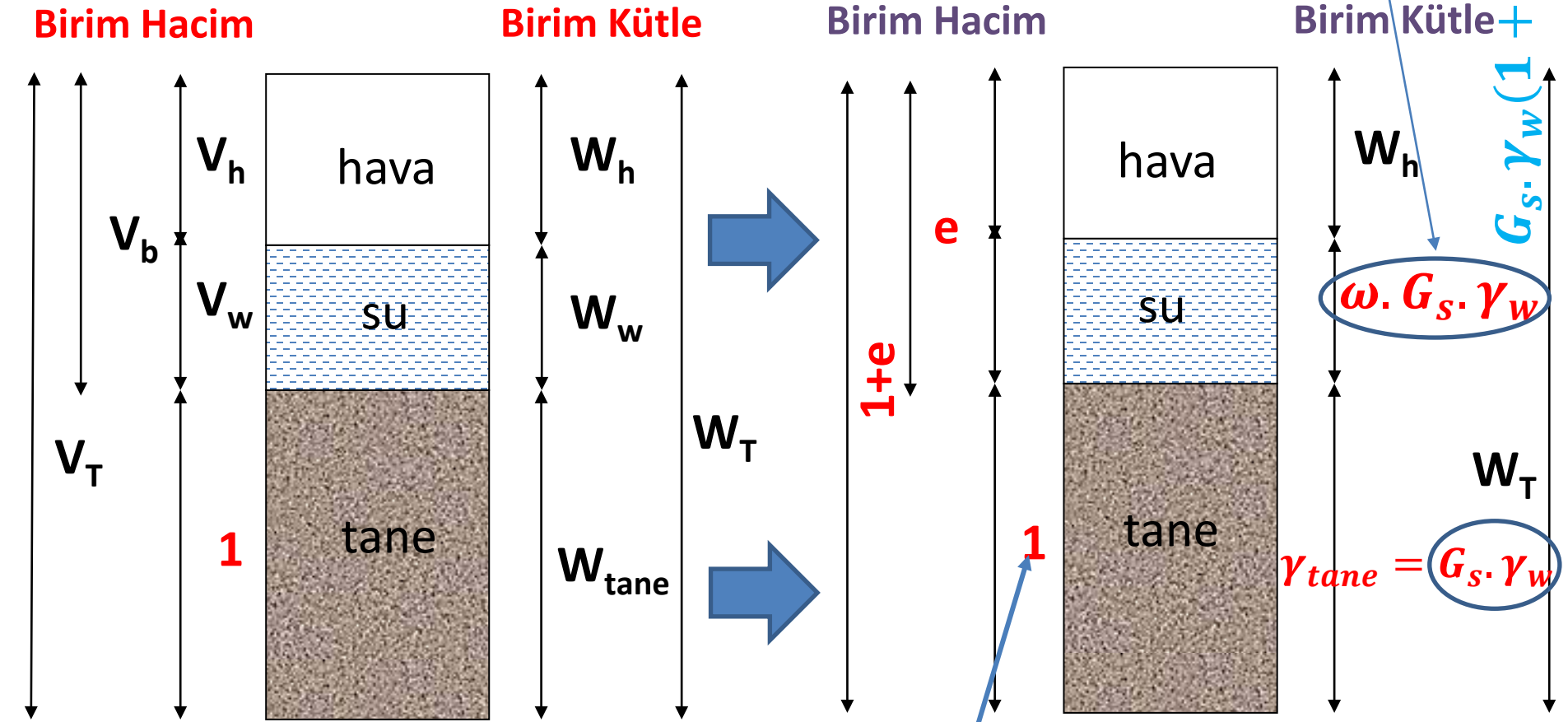
$$G_s = \frac{\gamma_{tane}}{\gamma_w}$$

$$\gamma_{tane} = G_s * \gamma_w$$

$$W_{tane} = G_{tane} * \gamma_w$$

KABULLER

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)



Suyun ağırlığı

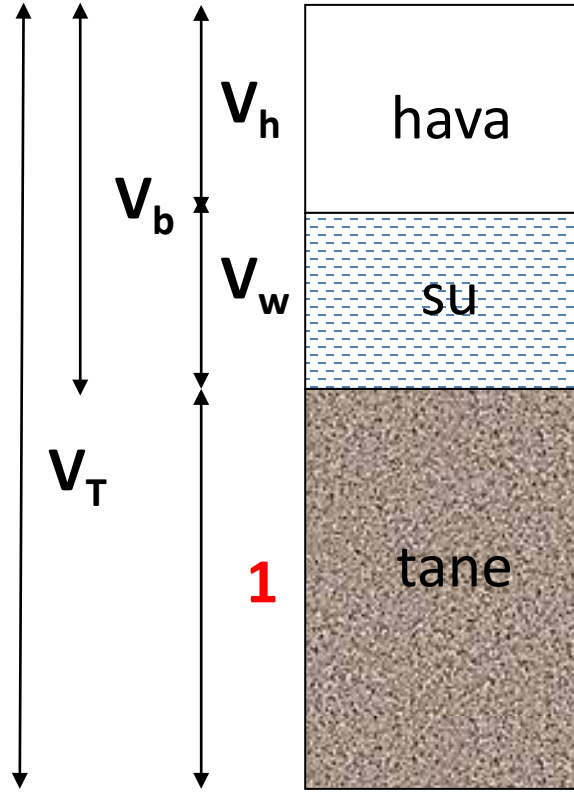
$$\omega = \frac{W_w}{W_{tane} \gamma_{tane}} \Rightarrow W_w = \omega \cdot \gamma_{tane}$$

$$\omega = \frac{W_w \gamma_{tane} = G_s \cdot \gamma_w}{W_{tane}} \Rightarrow W_w = \omega \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

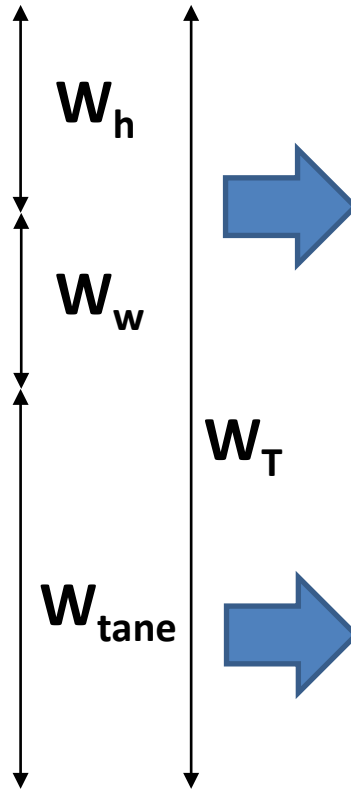
KABULLER

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

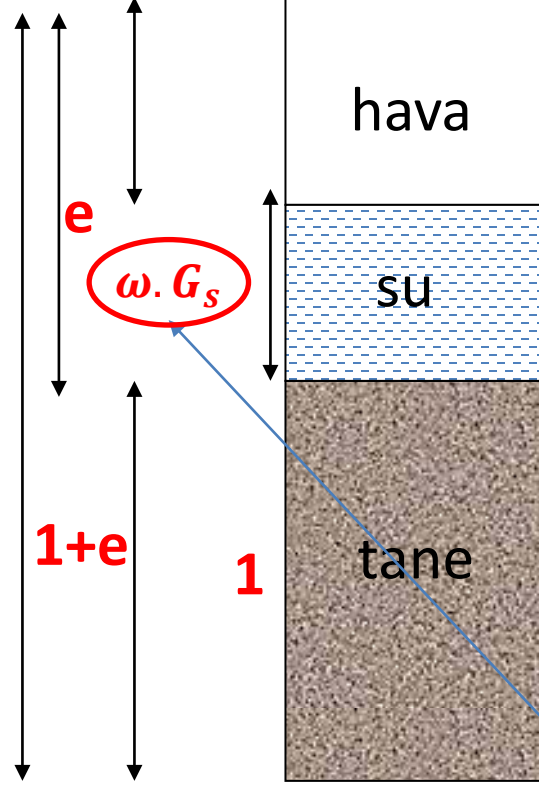
Birim Hacim



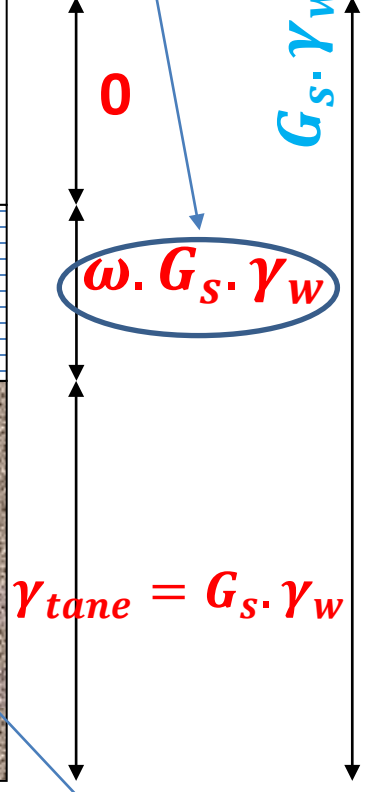
Birim Kütle



Birim Hacim



Birim Kütle



Suyun hacmi

$$\gamma_w = \frac{W_w}{V_w} \Rightarrow \frac{w \cdot \gamma_{tane}}{V_w} \Rightarrow V_w = \frac{w \cdot \gamma_{tane}}{\gamma_w} \Rightarrow W_w = w \cdot \gamma_{tane}$$

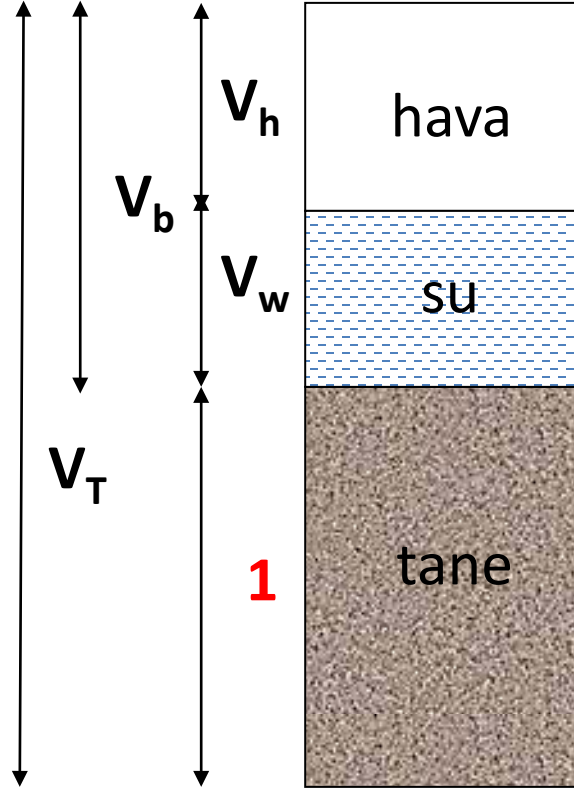
$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} \Rightarrow V_w = w \cdot G_s$$

$$W_w = w \cdot G_s \cdot \gamma_w$$

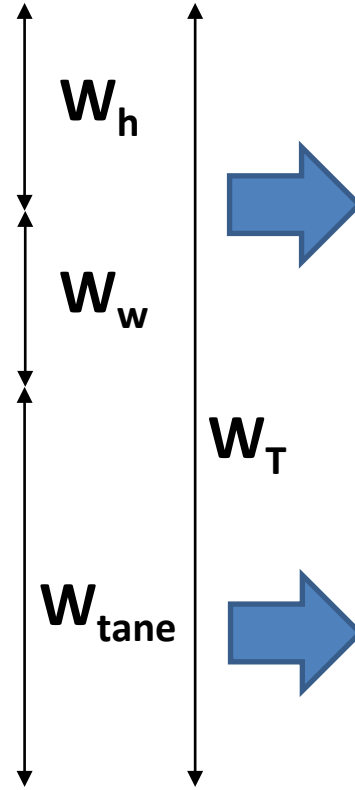
KABULLER

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

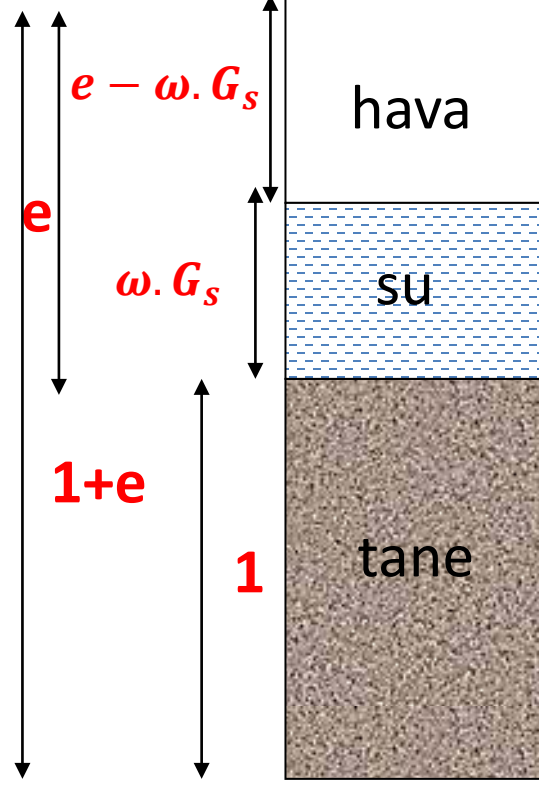
Birim Hacim



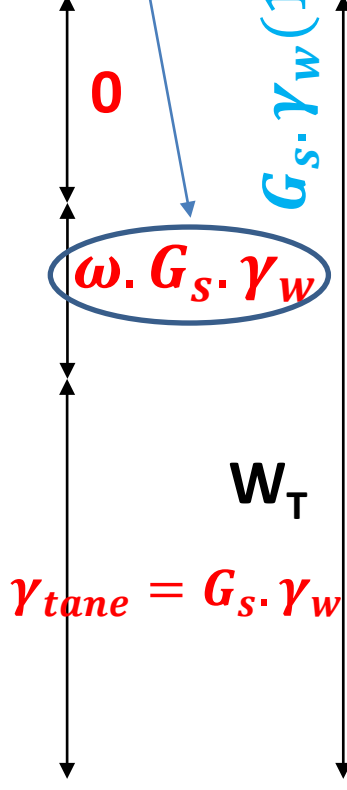
Birim Kütle



Birim Hacim



Birim Kütle (1 + w)



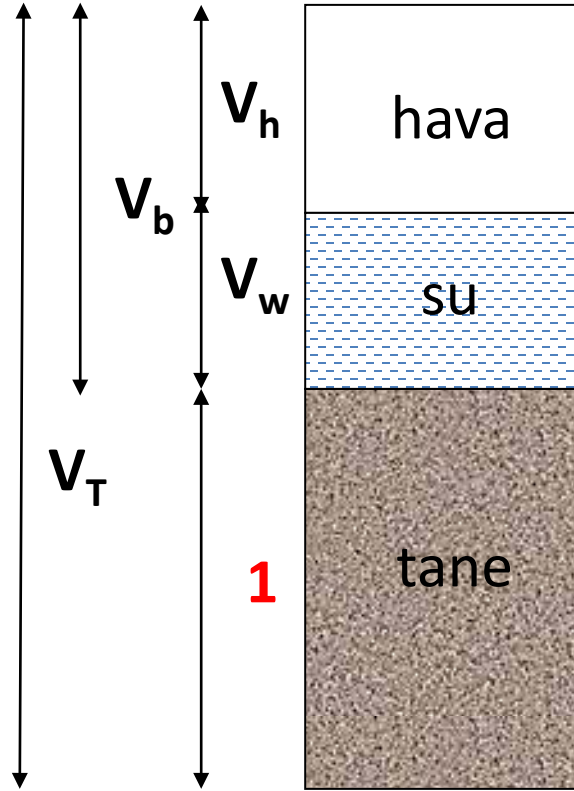
Hava ağırlığı $W_a = 0$

Hava hacmi $\rightarrow V_h = V_b - V_w = e - w \cdot G_s$

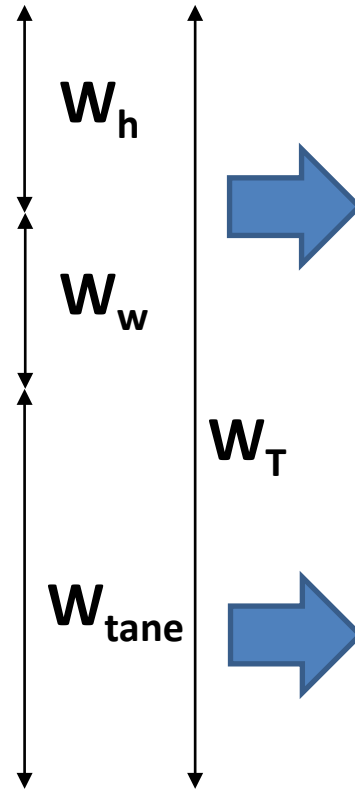
KABULLER

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

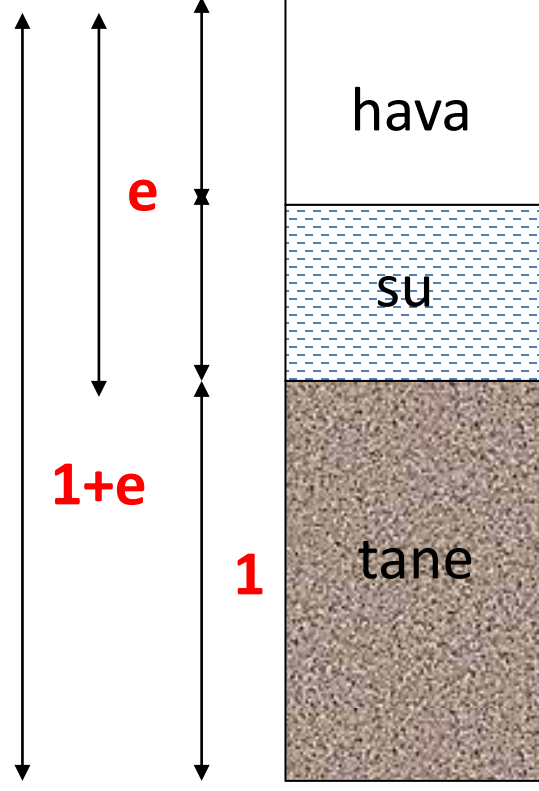
Birim Hacim



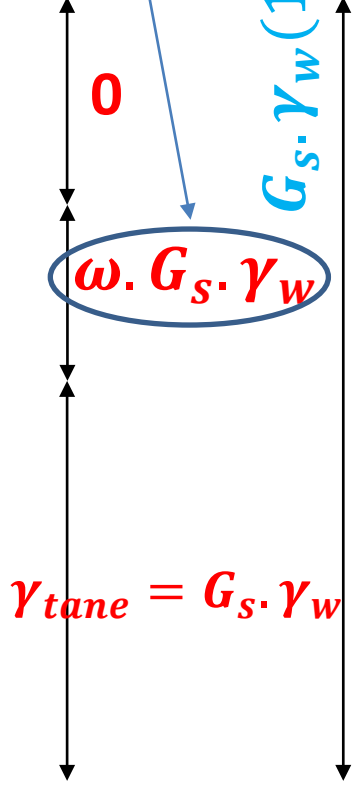
Birim Kütle



Birim Hacim



Birim Kütle



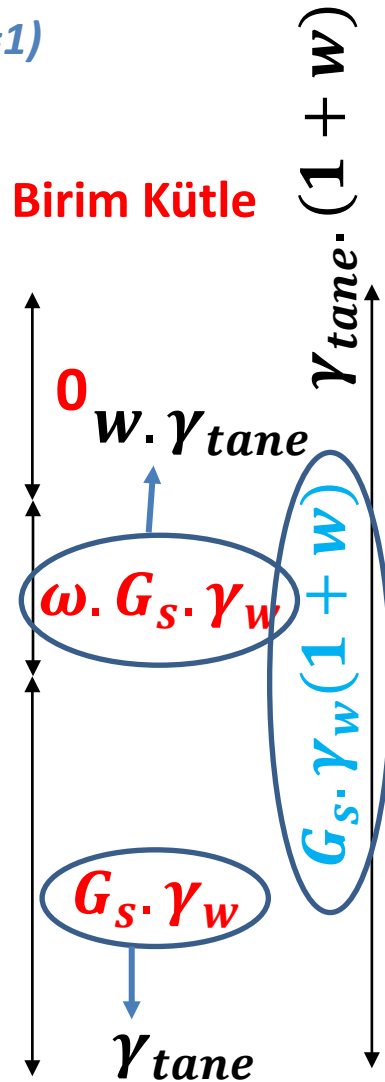
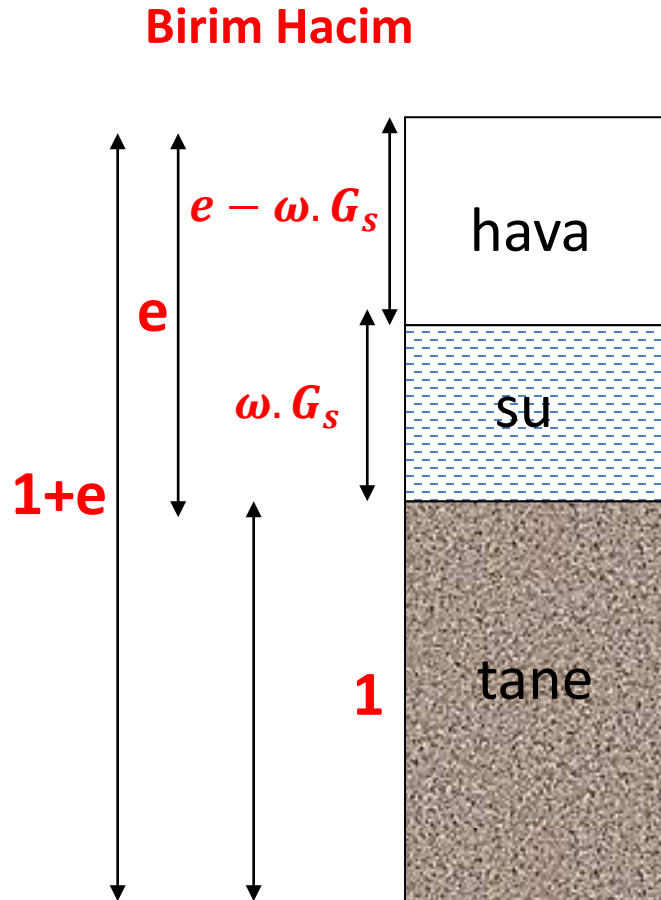
Toplam ağırlık

$$W_T = W_w + W_h + W_{tane} = G_s \cdot \gamma_w \cdot (1 + w)$$

KABULLER

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

Bazı ilişkiler



$$n = \frac{V_b}{V_T} \rightarrow n = \frac{e}{1 + e}$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_b} \rightarrow S_r = \frac{w G_s}{e}$$

$$\gamma_k = \frac{W_{tane}}{V_T} \rightarrow \gamma_k = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

$$\gamma_k = \frac{W_{tane}}{V_T} \rightarrow \gamma_k = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

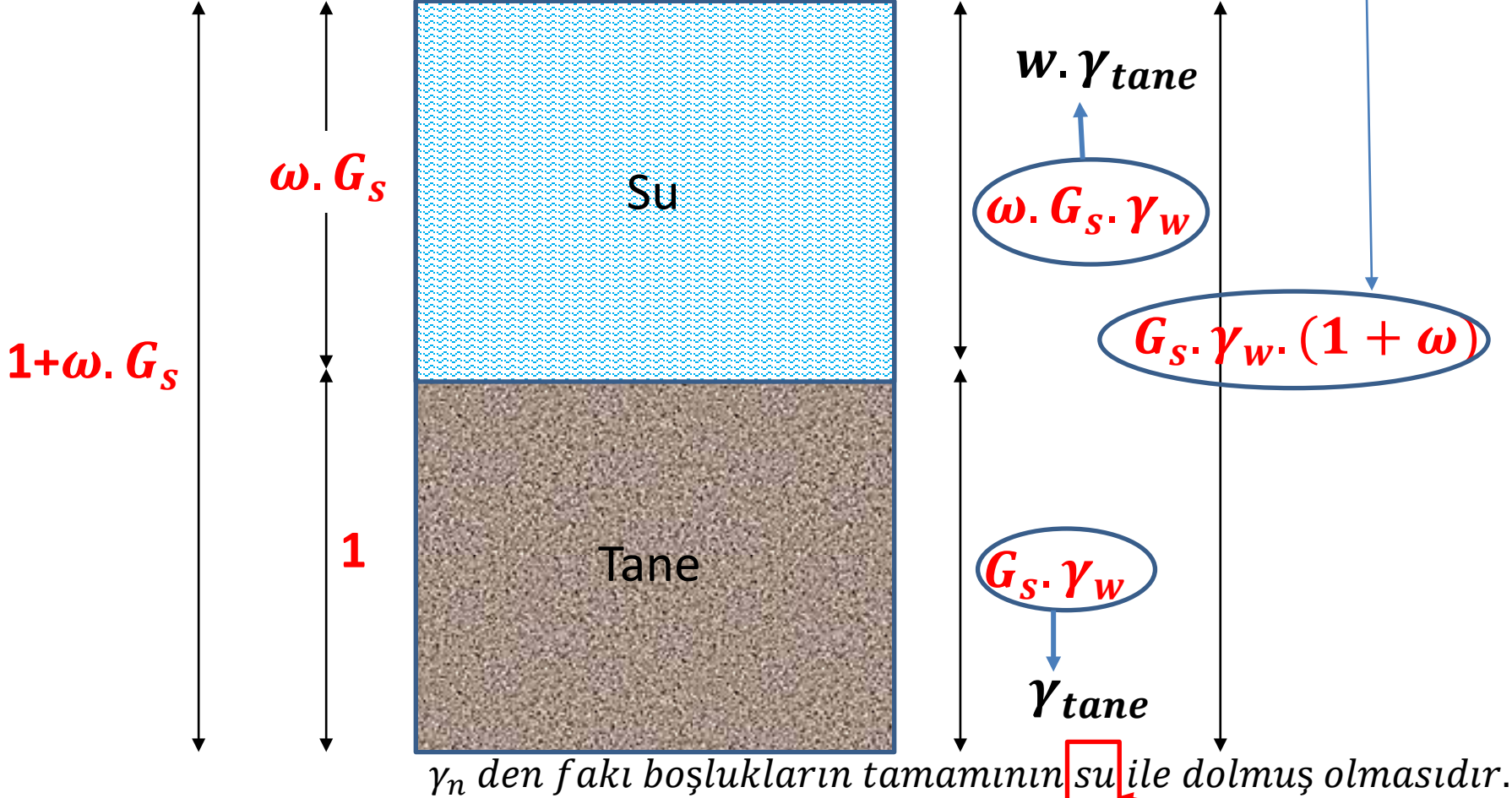
$$\gamma_n = \frac{W_T}{V_T} \rightarrow \gamma_n = \frac{\gamma_{tane} (1 + w)}{1 + e}$$

$$\gamma_n = \frac{W_T}{V_T} \rightarrow \gamma_n = \frac{G_s \cdot \gamma_w (1 + w)}{1 + e}$$

KABULLER/ÖZEL DURUMLAR

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

Doygun Zemin; Boşlukların tamamı su ile dolu $S_r=\%100$



γ_n den farklı boşlukların tamamının su ile dolmuş olmasıdır.

$$S_r = \frac{w \cdot G_s}{e} \quad \Rightarrow \quad e = w \cdot G_s$$

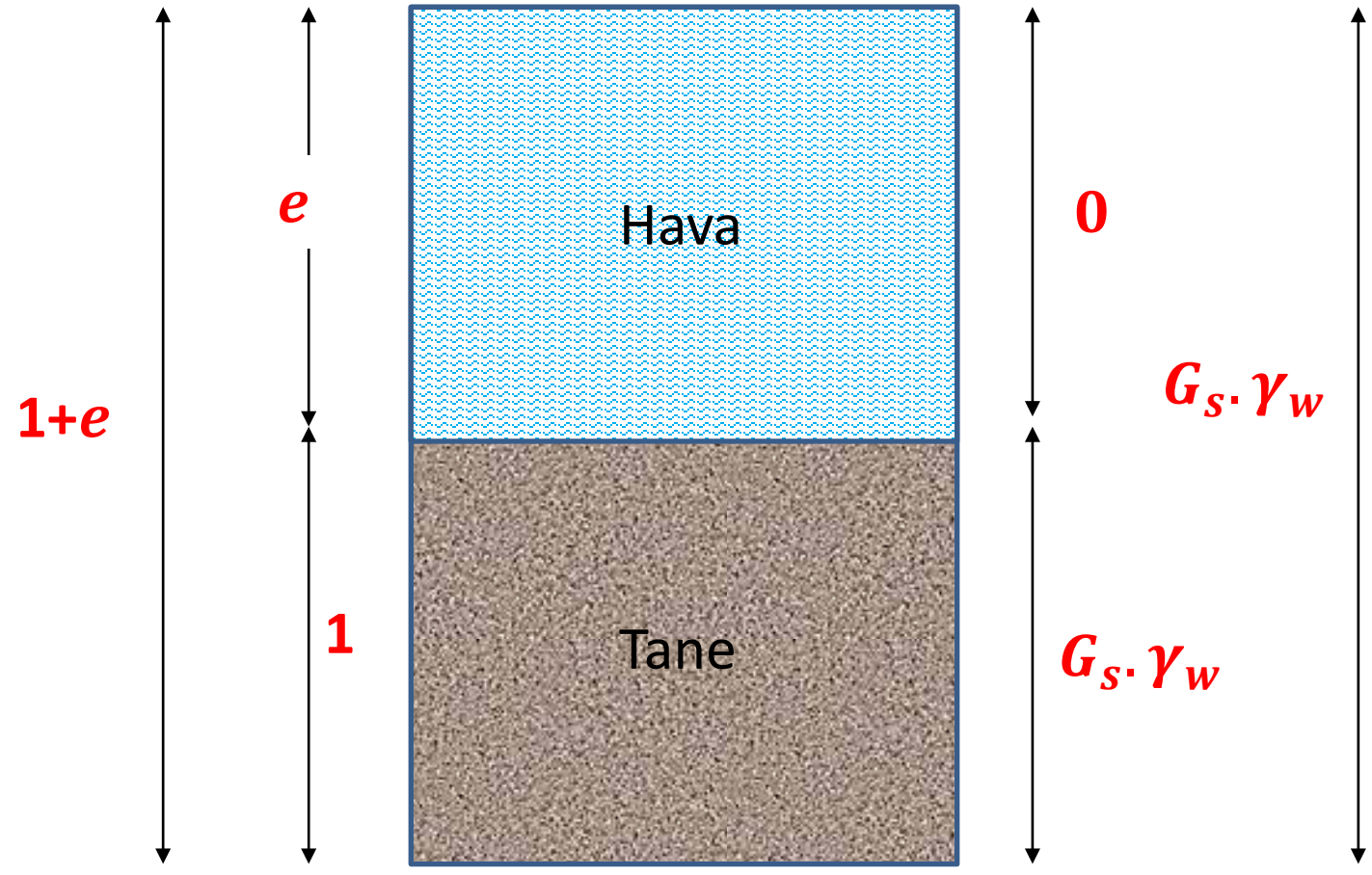
Note: $\%100=1$ is indicated above the S_r term.

$$\gamma_d = \frac{W_{tane} + W_w}{W_T} = \frac{\gamma_{tane} + e \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

KABULLER/ÖZEL DURUMLAR

Tane hacmini 1 kabul edersek, ($V_s=1$)

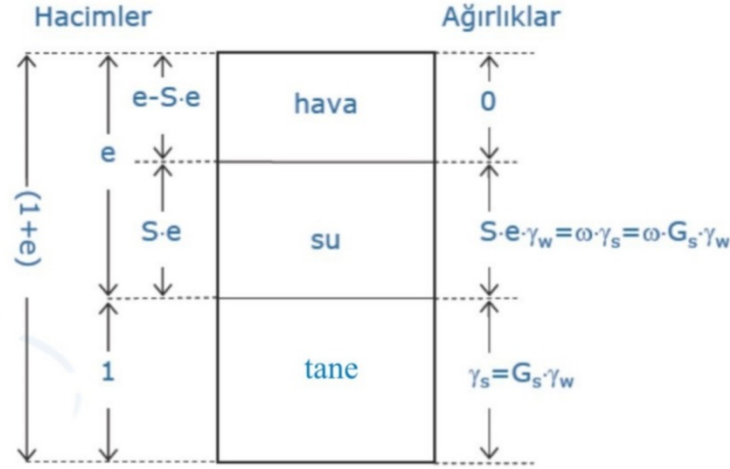
Kuru Zemin; Boşlukların tamamı hava ile dolu $S_r=\%0$



$$S_r = \frac{w \cdot G_s}{e} \rightarrow w = 0 \rightarrow \gamma_k = \frac{W_T}{V_T} = \frac{W_T}{V_T} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e}$$

BOŞLUK ORANINA GÖRE ZEMİN PRİZMASI ÇİZİLMESİ VE İLGİLİ FORMÜLLERİN ELDE EDİLMESİ

Boşluk oranı tanımından hareket ederek $e=V_b/V_s$ olduğundan $V_s=1$ alınarak $V_b=e$ elde edilmiştir.



1. Su ağırlığı W_w için ω ve S 'in tanımlarından yararlanılarak elde edilen farklı iki değer eşitlenmesi ile,

$S \cdot e = \omega \cdot G_s$ önemli ilişkisi elde edilir.

2.
$$\gamma_n = \frac{G_s \gamma_w + \omega G_s \gamma_w}{1+e} = \frac{1+\omega}{1+e} G_s \gamma_w$$

3.
$$\gamma_n = \frac{\gamma_s + w \gamma_s}{1+e} = \frac{\gamma_s (1+w)}{1+e}$$

4. $S \cdot e = w \cdot G_s$ denklemi
 $S=1$ için $e_d = w_d G_s$ (Doygun durumdaki boşluk oranı)

5. Doygunluk yüzdesine göre birim hacim ağırlığı

$$\gamma_n = \frac{\gamma_s + S e \gamma_w}{1+e}$$

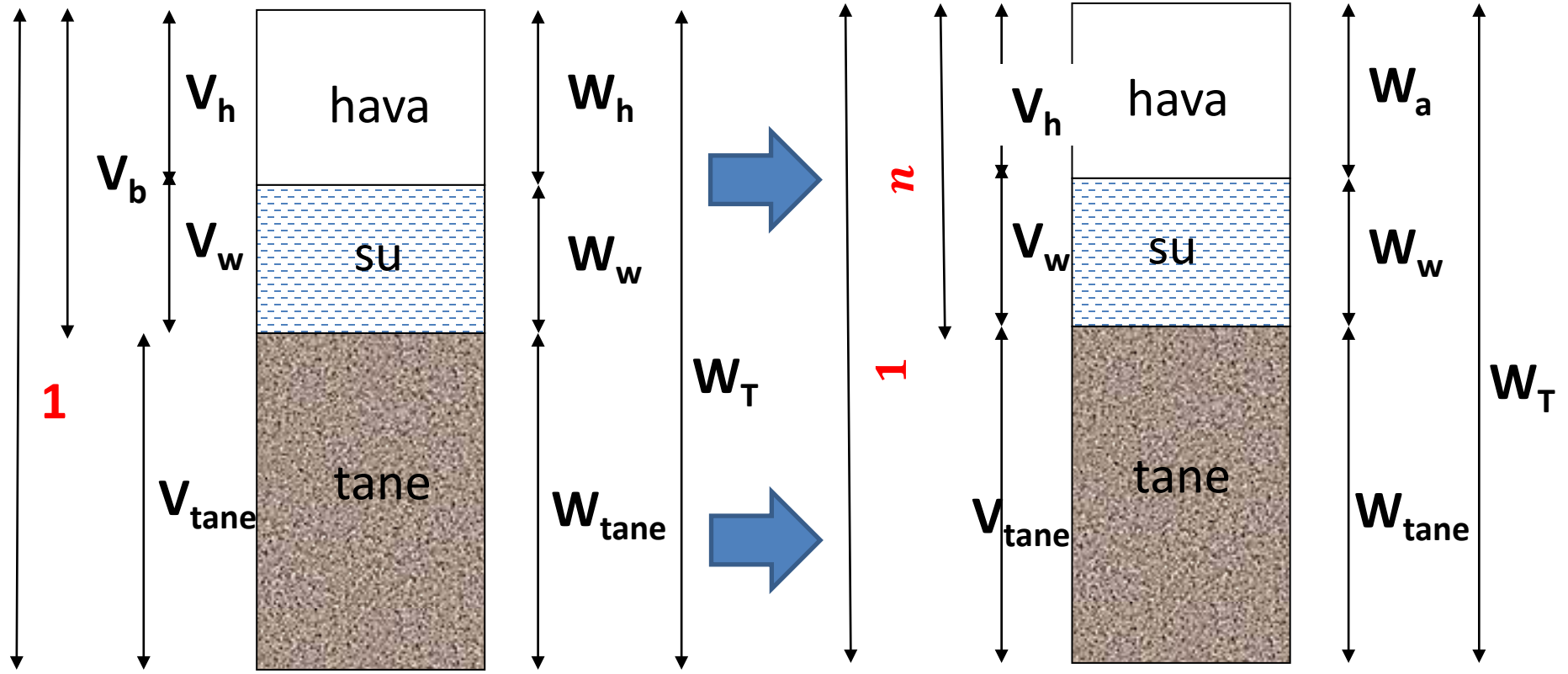
$S=1$ için
$$\gamma_d = \frac{\gamma_s + e \gamma_w}{1+e}$$

$S=0$ için
$$\gamma_k = \frac{\gamma_s}{1+e} = \frac{G_s \gamma_w}{1+e}$$

6.
$$\gamma_k = \frac{W_s}{V} = \frac{G_s \gamma_w}{1+e} \quad \text{veya} \quad e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_k} - 1$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

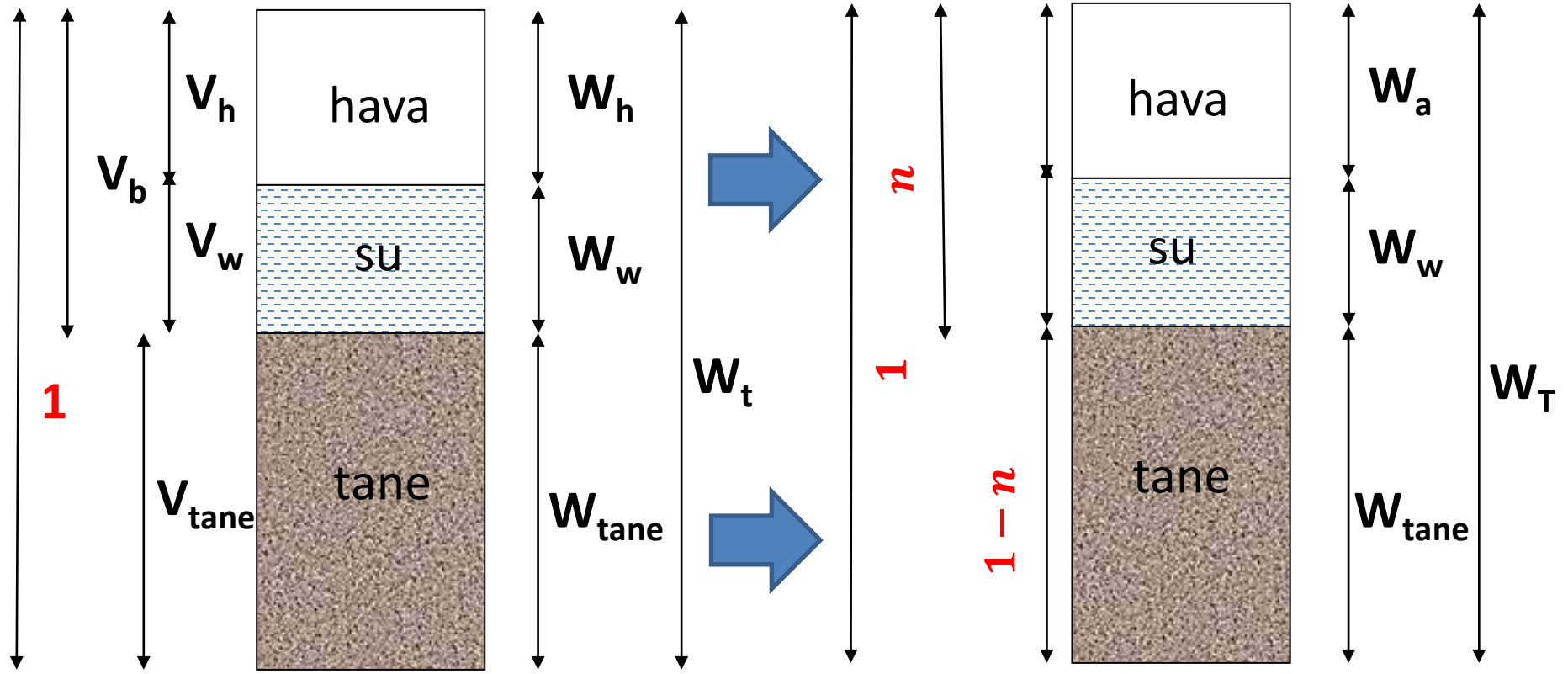


Boşluk hacmi

$$n = \frac{V_b}{V_T} \Rightarrow V_T = 1 \Rightarrow V_b = n$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

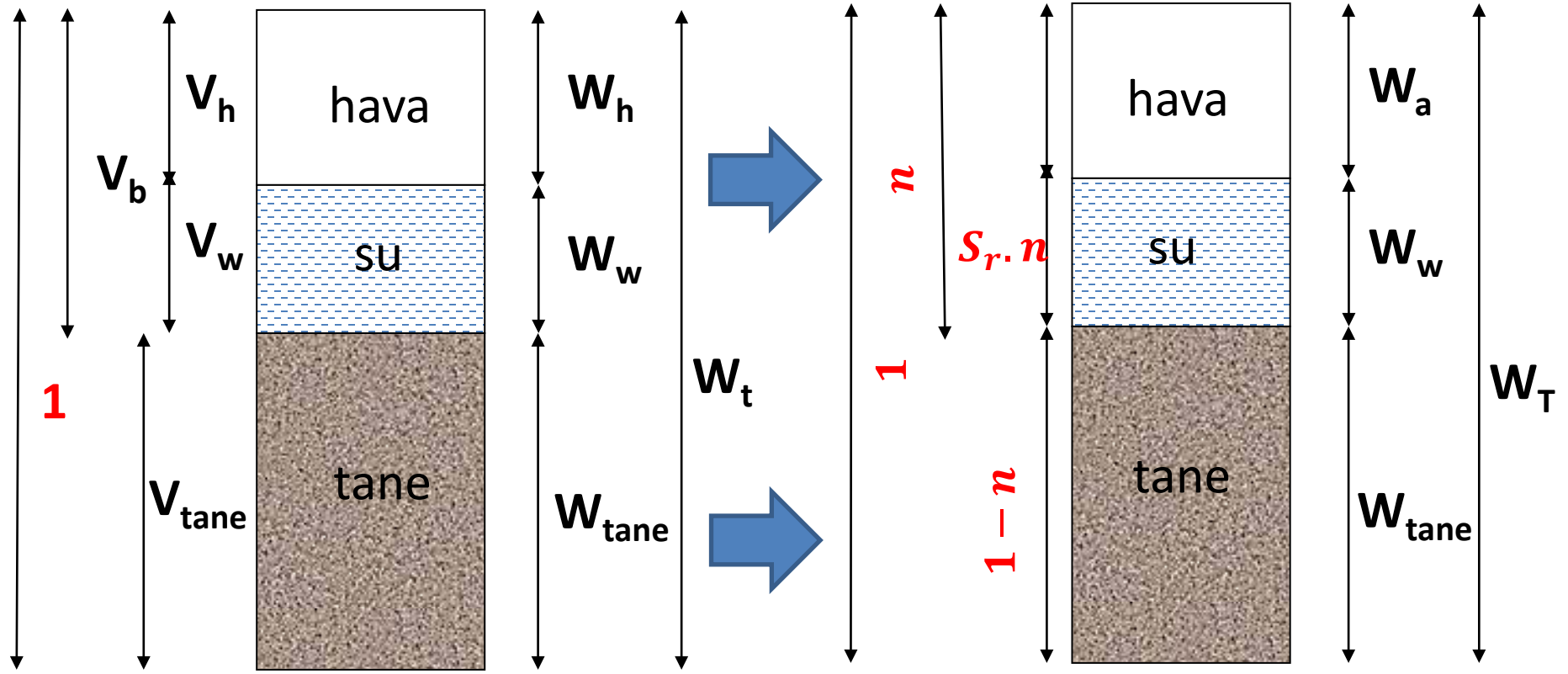


Tane hacmi

$$V_{tane} = 1 - n$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

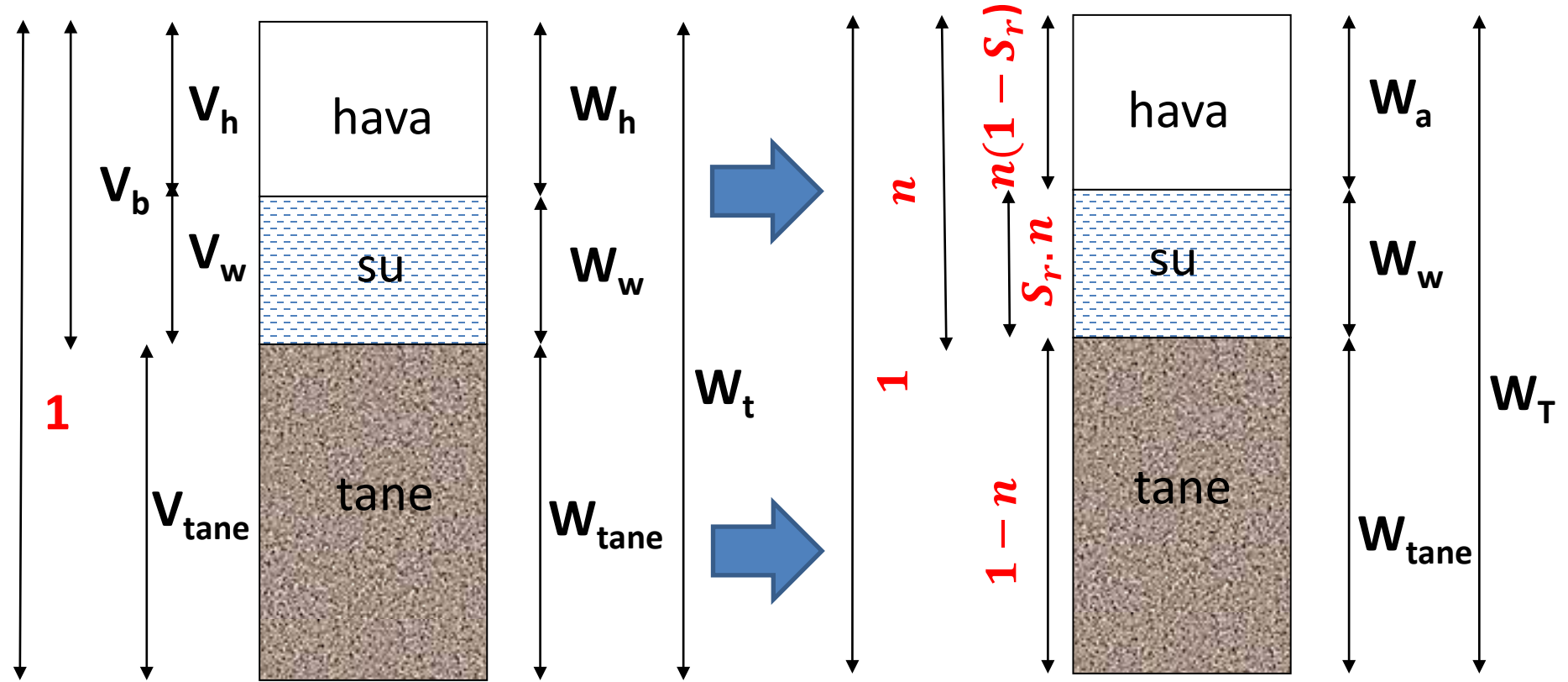


Suyun hacmi

$$S_r = \frac{V_w}{V_b} \Rightarrow V_w = S_r \cdot n$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

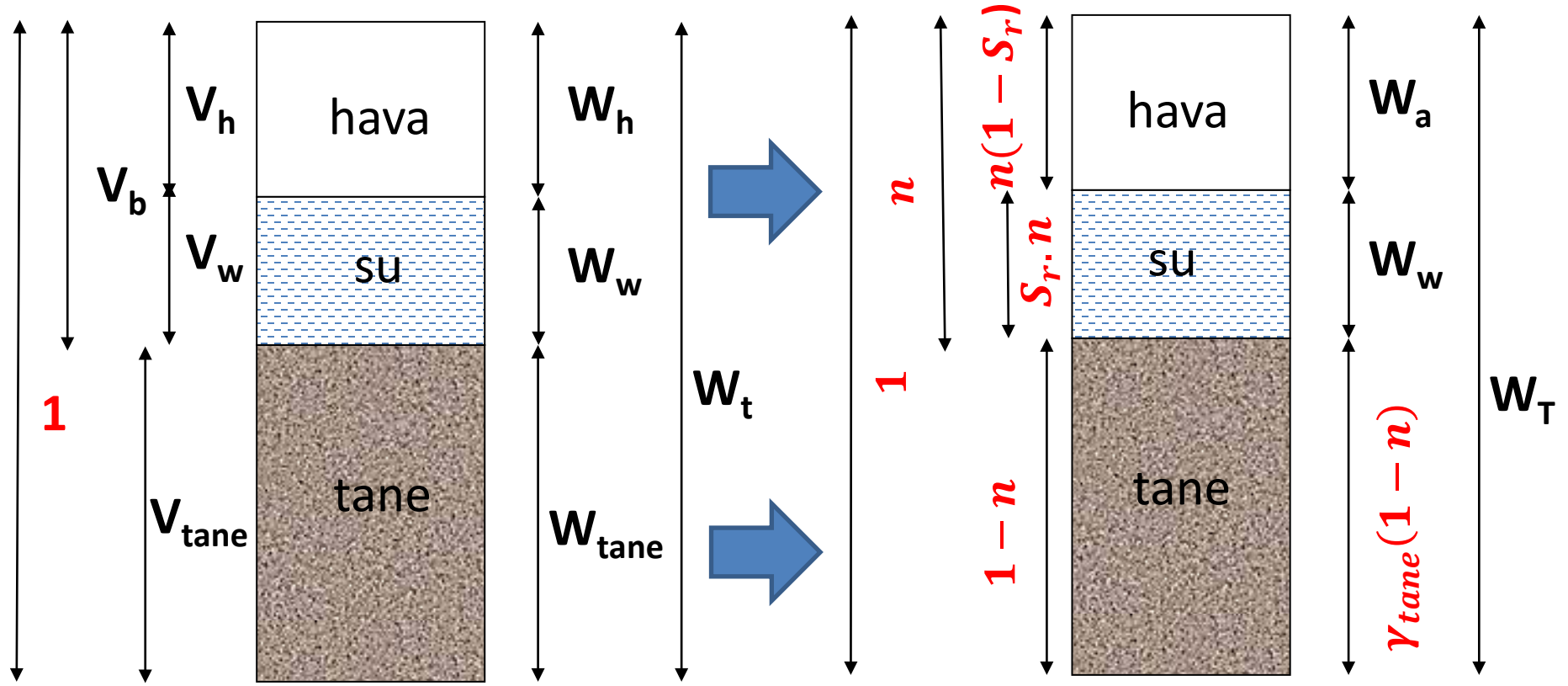


Hava hacmi

$$V_h = V_b - V_w = n - S_r \cdot n = n(1 - S_r)$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

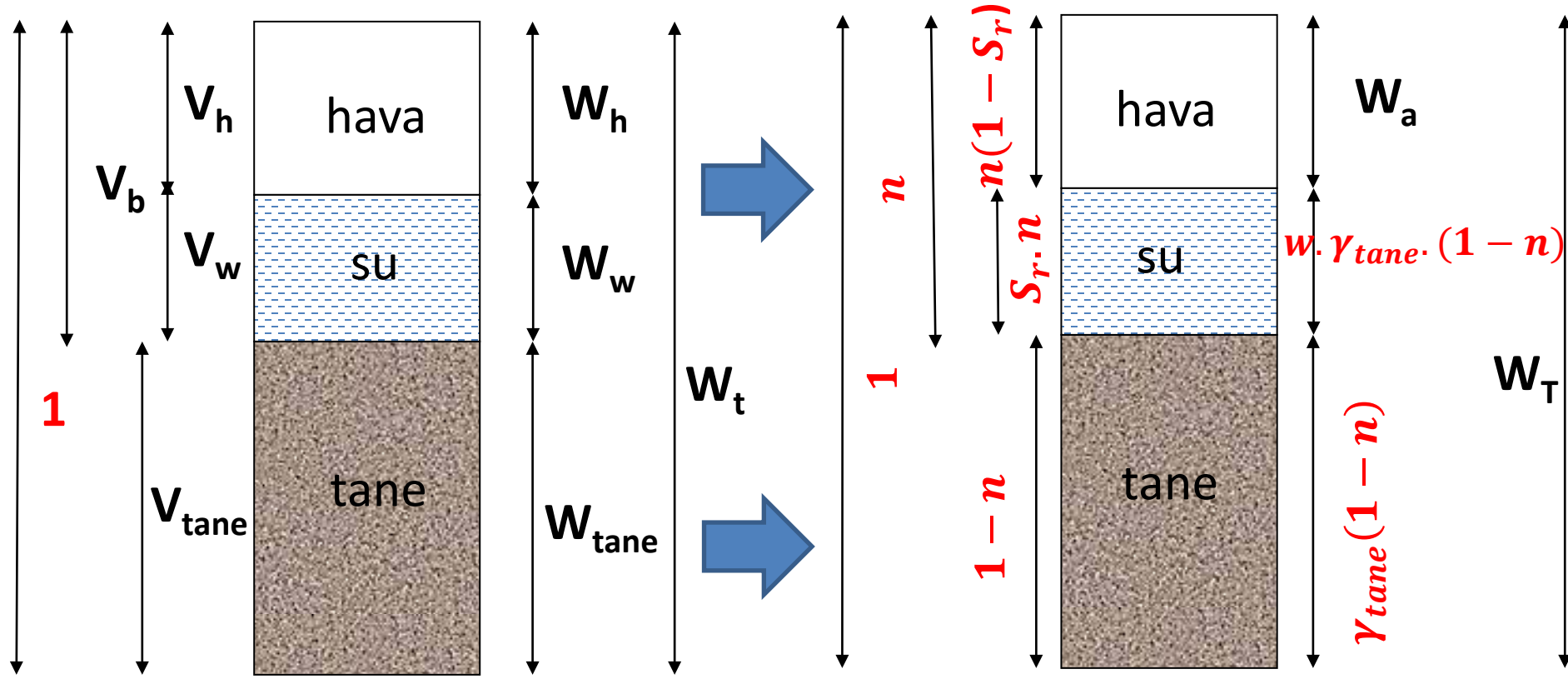


Katı tanelerin ağırlığı

$$\gamma_{tane} = \frac{W_{tane}}{V_{tane}} = \frac{V_{tane}}{1 - n} \Rightarrow W_{tane} = \gamma_{tane}(1 - n)$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

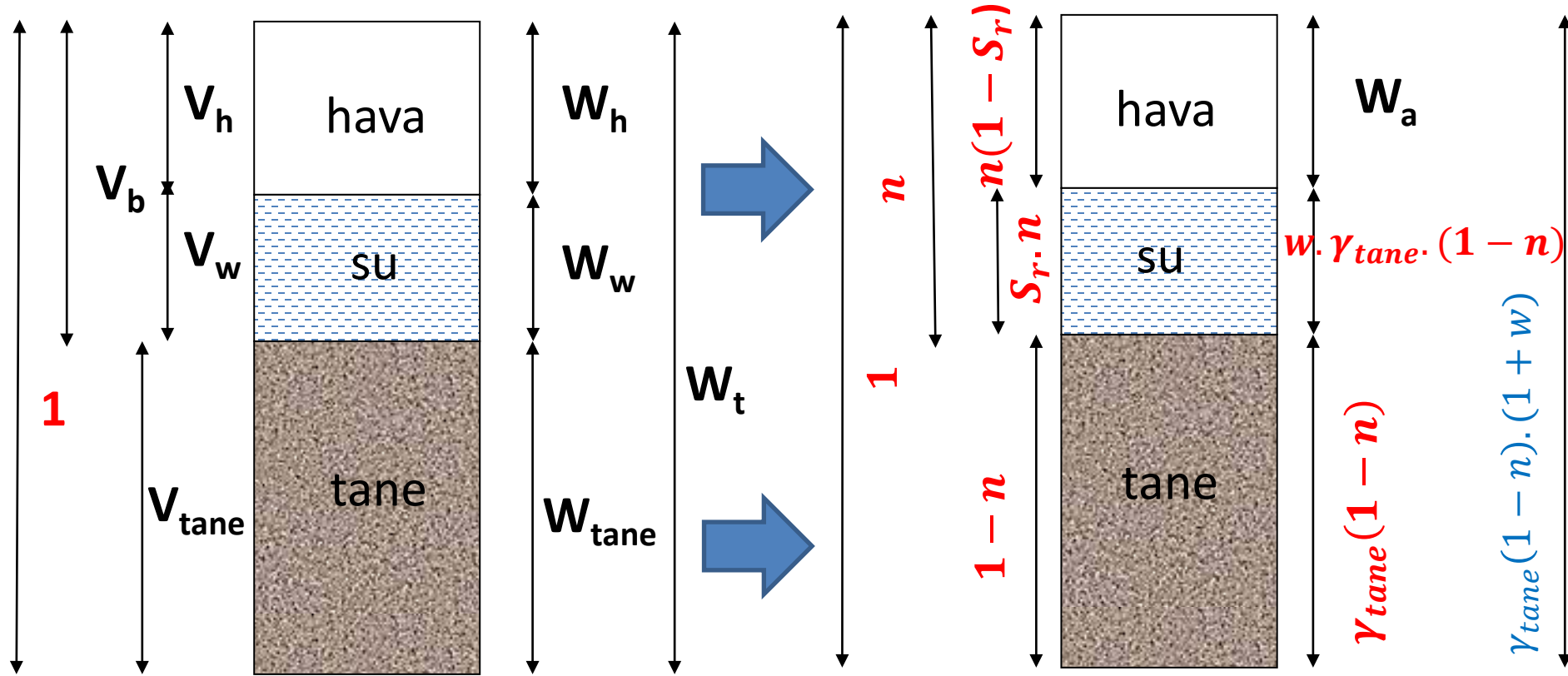


Suyun ağırlığı

$$w = \frac{W_w}{W_{tane}} = \frac{W_w}{\gamma_{tane} (1 - n)} \rightarrow w_w = w \cdot \gamma_{tane} \cdot (1 - n)$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

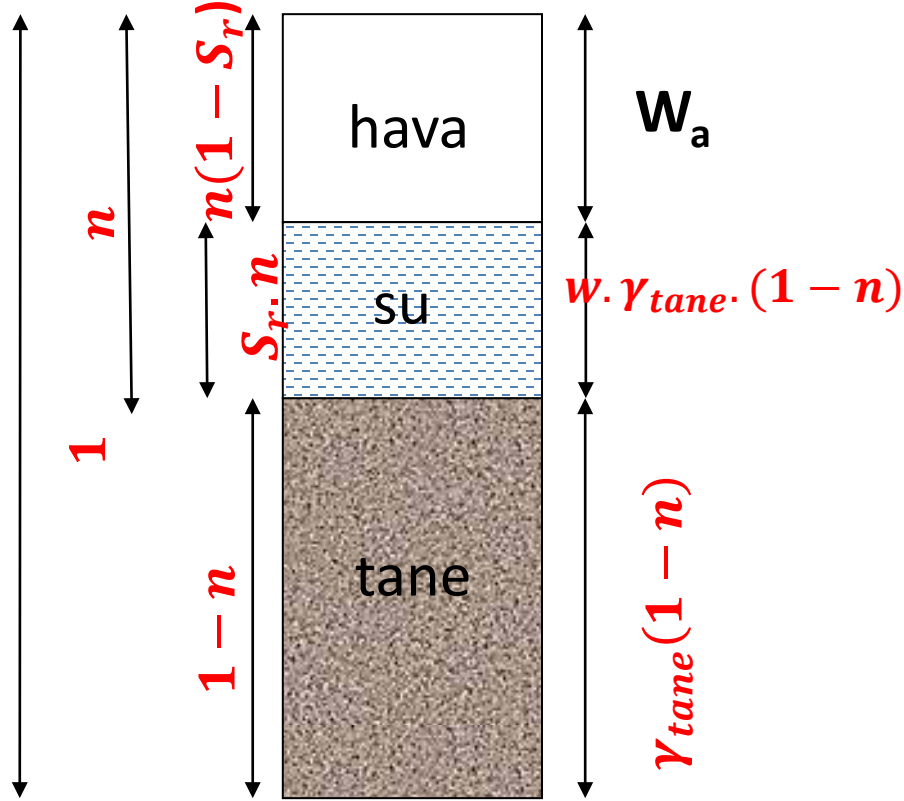


Tüm ağırlık

$$W_T = \gamma_{tane} (1 - n) \cdot (1 + w)$$

KABULLER

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)



Bazı ilişkiler

$$e = \frac{V_b}{V_s} \rightarrow e = \frac{n}{1 - n}$$

$$S_r = \frac{V_w}{V_b} \rightarrow S_r = \frac{w G_s (1 - n)}{n}$$

$$\gamma_k = \frac{W_s}{V_T} \rightarrow \gamma_k = \frac{\gamma_{tane} (1 - n)}{1}$$

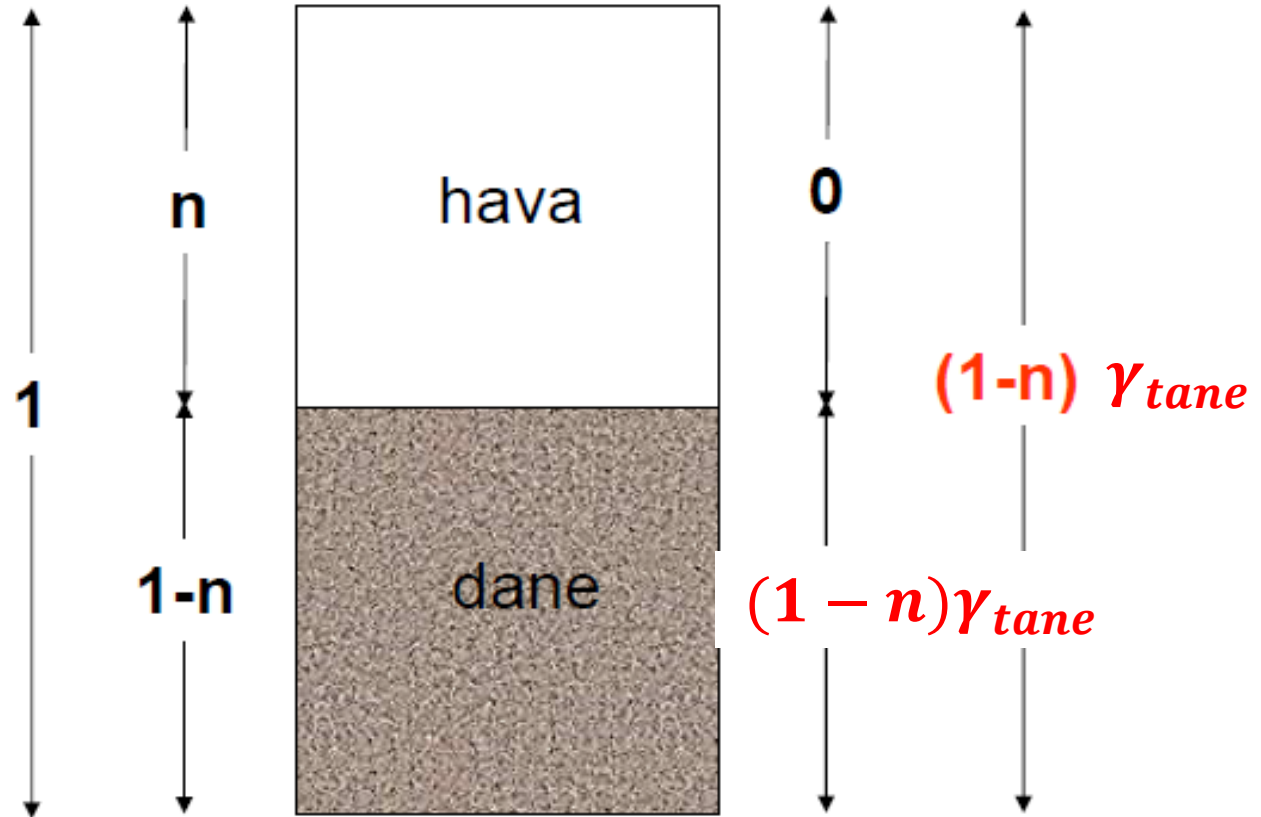
$$\gamma_n = \frac{W_T}{V_T} \rightarrow \gamma_n = \frac{\gamma_{tane} (1 - n) \cdot (1 + w)}{1}$$

$$\gamma_d = \frac{W_{tane} + W_w}{V_T} \rightarrow \gamma_d = \frac{\gamma_{tane} (1 - n) + (n + \gamma_w)}{1}$$

KABULLER/ÖZEL DURUMLAR

Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_T=1$)

Kuru zemin $\omega = 0$, $S_r = 0$, $\gamma_n \longrightarrow \gamma_k$

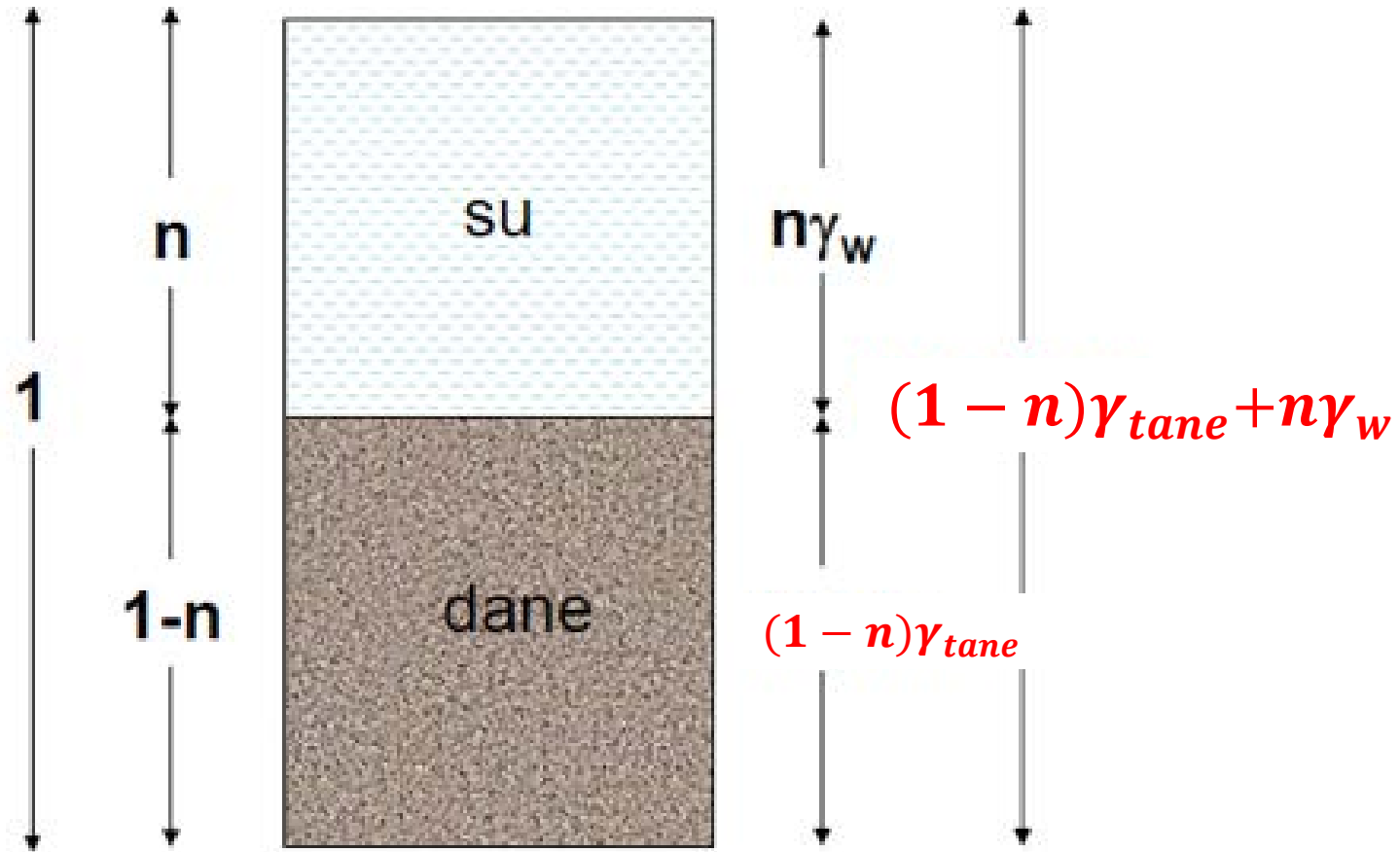


$$\gamma_k = (1 - n)\gamma_{tane}$$

KABULLER/ÖZEL DURUMLAR

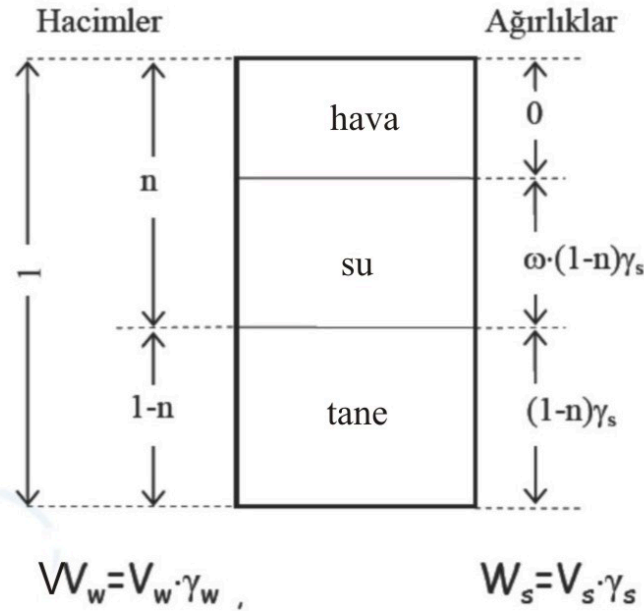
Tüm hacmi 1 kabul edersek, ($V_r=1$)

Doygun zemin; $S_r = 1$, $\gamma_n \longrightarrow \gamma_d$



$$\gamma_d = (1 - n)\gamma_{tane} + n\gamma_w$$

POROZİTEYE GÖRE ZEMİN PRİZMASI ÇİZİLMESİ VE İLGİLİ FORMÜLLERİN ELDE EDİLMESİ



1. $e = \frac{n}{1-n}$

2. $\gamma_n = \frac{\sum W}{\sum V} = (1-n)\gamma_s + \omega(1-n)\gamma_s = (1+\omega)(1-n)\gamma_s$

3. Su muhtevası 0'a yaklaşırsa, doğal birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığına doğru gidecektir.

4. γ_k değeri (2) de yerine koyularak

$$\gamma_n = (1+\omega)\gamma_k \quad \text{veya} \quad \gamma_k = \frac{\gamma_n}{1+\omega}$$

5. $S = V_w/V_b \rightarrow V_w = S \cdot V_b \rightarrow V_w = S \cdot V_b = S \cdot n$;

$W_w = S \cdot n \cdot \gamma_w$ değerinden yararlanarak,

$$\gamma_n = (1-n)\gamma_s + S \cdot n \cdot \gamma_w \quad \text{elde edilir.}$$

6. $\gamma_d = (1-n)\gamma_s + n \cdot \gamma_w$ (S→1 için)

7. $\gamma_A = \gamma_d - \gamma_w$ olduğundan,

$$\gamma_A = (1-n)\gamma_s + n \cdot \gamma_w - \gamma_w = (1-n)(\gamma_s - \gamma_w)$$

FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BAZI EŞİTLİKLER

Doygun zeminlerde porozite ve boşluk oranı eşitlikleri (Das. M.B., 1983)

Bilinenler	Porozite (n)	Boşluk oranı (e)
G_s, γ_k	$1 - \frac{\gamma_k}{G_s \gamma_w}$	$\frac{G_s \gamma_w}{\gamma_k} - 1$
G_s, γ_d	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_d}{(G_s - 1) \gamma_w}$	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_d}{\gamma_d - \gamma_w}$
G_s, w	$\frac{G_s w}{1 + w G_s}$	$w G_s$
γ_k, γ_d	$\frac{\gamma_d - \gamma_k}{\gamma_w}$	$\frac{\gamma_d - \gamma_k}{\gamma_w + \gamma_k - \gamma_d}$
w, γ_k	$w \frac{\gamma_k}{\gamma_w}$	$\frac{w \gamma_k}{\gamma_w - w \gamma_k}$
w, γ_d	$\frac{w \gamma_d}{(1 + w) \gamma_w}$	$\frac{w \gamma_d}{\gamma_w - w(\gamma_d - \gamma_w)}$

FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BAZI EŞİTLİKLER

Doygun zeminlerde su içeriği eşitlikleri (Das. M.B., 1983)

Bilinener	Su içeriği (w)	Bilinener	Su içeriği (w)
G_s, γ_k	$\left(\frac{1}{\gamma_k} - \frac{1}{G_s \gamma_w}\right) \gamma_w$	$\gamma_{k, n}$	$\frac{n \gamma_w}{\gamma_k}$
G_s, γ_d	$\frac{G_s \gamma_w - \gamma_d}{(\gamma_d - \gamma_w) G_s}$	e, γ_k	$\frac{e}{1 - e} \frac{\gamma_w}{\gamma_k}$
G_s, n	$\frac{n}{G_s(1 - n)}$	$\gamma_{d, n}$	$\frac{n \gamma_w}{\gamma_d - n \gamma_w}$
G_s, e	$\frac{e}{G_s}$	$\gamma_{d, e}$	$\frac{e \gamma_w}{\gamma_d + e(\gamma_d - \gamma_w)}$
γ_k, γ_d	$\frac{\gamma_d}{\gamma_k} - 1$		

FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BAZI EŞİTLİKLER

Doygun zeminlerde özgül ağırlık (Gs) eşitlikleri (Das. M.B., 1983)

Bilinenler	Özgül ağırlık (Gs)	Bilinenler	Özgül ağırlık (Gs)
γ_k, γ_d	$\left(\frac{\gamma_k}{\gamma_w + \gamma_k - \gamma_d}\right)$	γ_d, n	$\frac{\gamma_d - n\gamma_w}{(1-n)\gamma_w}$
γ_k, w	$\frac{\gamma_k}{(\gamma_w - w\gamma_k)}$	γ_d, e	$(1+e)\frac{\gamma_d}{\gamma_w} - e$
γ_k, n	$\frac{\gamma_k}{(1-n)\gamma_w}$	w, n	$\frac{n}{(1-n)w}$
γ_k, e	$(1+e)\frac{\gamma_k}{\gamma_w}$	w, e	$\frac{e}{w}$
γ_d, w	$\frac{\gamma_d}{\gamma_w - w(\gamma_d - \gamma_w)}$		

FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BAZI EŞİTLİKLER

Doygun zeminlerde kuru birim hacim ağırlık bağıntıları eşitlikleri (Das. M.B., 1983)

Bilinenler	Kuru birim hacim ağırlık (γ_k)	Bilinenler	Kuru birim hacim ağırlık (γ_k)
G_s, γ_d	$\left(\frac{\gamma_d - \gamma_w}{G_s - 1}\right)G_s$	γ_d, n	$\gamma_d - n\gamma_w$
G_s, w	$\frac{G_s}{1 + wG_s} \gamma_w$	γ_d, e	$\gamma_d - \frac{e}{1 + e} \gamma_w$
G_s, n	$G_s(1 - n)\gamma_w$	w, n	$\frac{n}{w} \gamma_w$
G_s, e	$\frac{G_s}{1 + e} \gamma_w$	w, e	$\frac{e}{(1 - e)w} \gamma_w$
γ_d, w	$\frac{\gamma_d}{1 + w}$		

FİZİKSEL ÖZELLİKLERE AİT BAZI EŞİTLİKLER

Doygun zeminlerde doygun birim hacim ağırlık bağıntıları eşitlikleri (Das. M.B., 1983)

Bilinenler	Doygun birim hacim ağırlık (γ_d)	Bilinenler	Doygun birim hacim ağırlık (γ_d)
G_s, γ_k	$(1 - \frac{1}{G_s})\gamma_k + \gamma_w$	γ_k, n	$\gamma_k + n\gamma_w$
G_s, w	$\frac{1 + w}{1 + wG_s}G_s\gamma_w$	γ_k, e	$\frac{e\gamma_w}{1 + e} + \gamma_k$
G_s, n	$[G_s - n(G_s - 1)]\gamma_w$	w, n	$n + \frac{1 + w}{w}\gamma_w$
G_s, e	$\frac{G_s + e}{1 + e}\gamma_w$	w, e	$\frac{e}{w} + \frac{1 + w}{1 + e}\gamma_w$
γ_k, w	$(1 + w)\gamma_k$		

SORU 1.

Suya doymun bir kil tabakasından alınan zemin numunesinin toplam kütlesi 1604 g. ve kuru kütlesi 1142 g olarak ölçülmüştür. Tanelerin özgül yoğunluğunun 2.63 olması durumunda, bu zeminin

- w , su muhtevası (içeriği),
- e , boşluk oranı,
- n , porozitesi ve
- doğal yoğunluğunu hesaplayınız

ÇÖZÜM 1.

Verilenler:

$$W_T = 1604 \text{ g.}$$

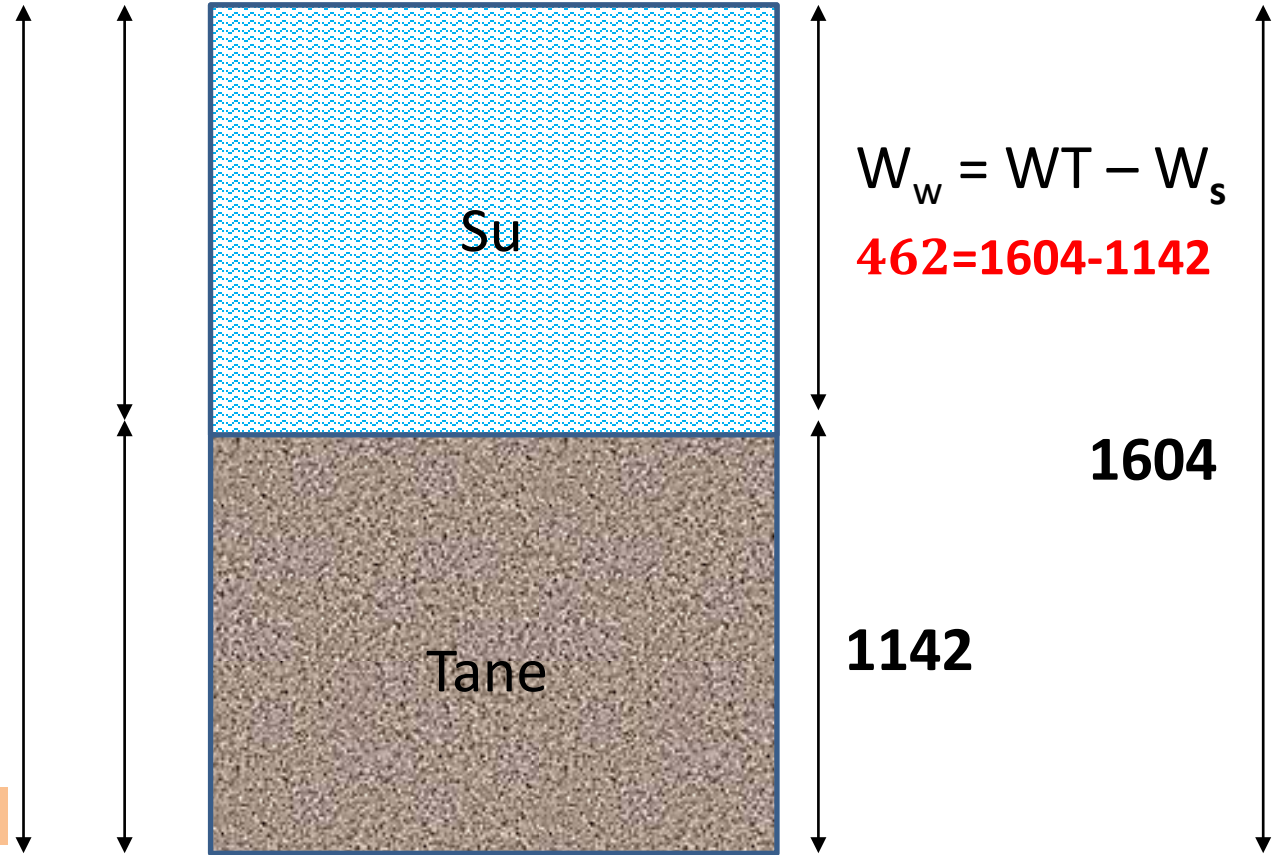
$$W_k = W_s = 1142 \text{ g.}$$

$$G_s = 2.63$$

$$S_r = \%100$$

İstenenler:

$$\begin{aligned} \text{a) } w = ? & \quad \%w = \frac{V_W}{W_s} \\ \text{b) } e = ? & \quad e = \frac{V_b}{V_s} \quad n = \frac{V_b}{V_T} \\ \text{c) } n = ? & \\ \text{d) } \rho_n = ? & \quad \rho = \frac{W}{V} \quad \gamma = \rho \cdot g \end{aligned}$$



ÇÖZÜM 1.

Verilenler:

$$M_T = 1604 \text{ g.}$$

$$M_k = W_s = 1142 \text{ g.}$$

$$G_s = 2.63$$

$$S_r = \%100$$

İstenenler:

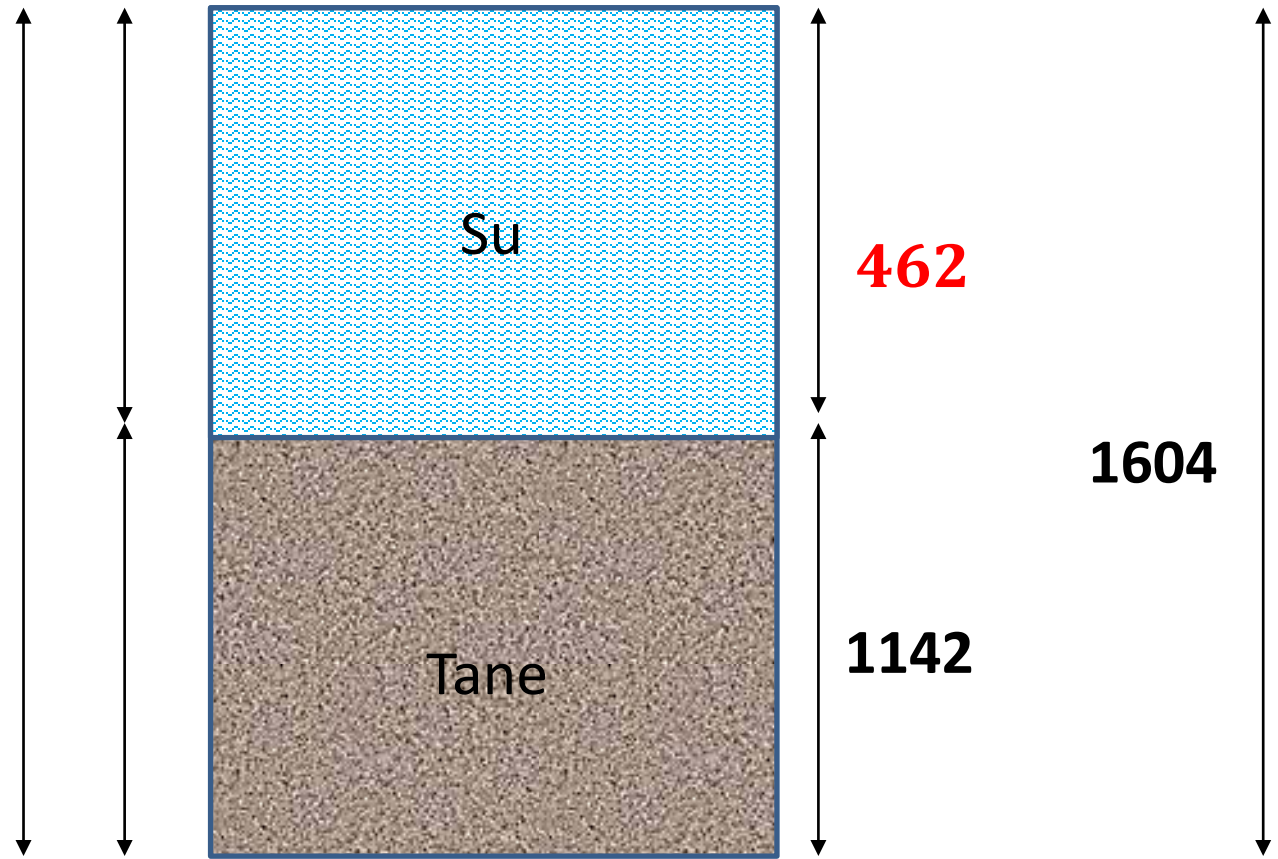
a) $w = ?$

$$\%w = \frac{V_w}{M_s}$$

b) $e = ?$

c) $n = ?$

d) $\rho_n = ?$



a) $w = ?$

$$w (\%) = \frac{M_w}{M_s} \times 100 = \frac{462}{1142} \times 100 = 40,45$$

ÇÖZÜM 1.

Verilenler:

$$M_T = 1604 \text{ g.}$$

$$M_k = W_s = 1142 \text{ g.}$$

$$G_s = 2.63$$

$$S_r = \%100$$

İstenenler:

a) $w = ?$

b) $e = ?$

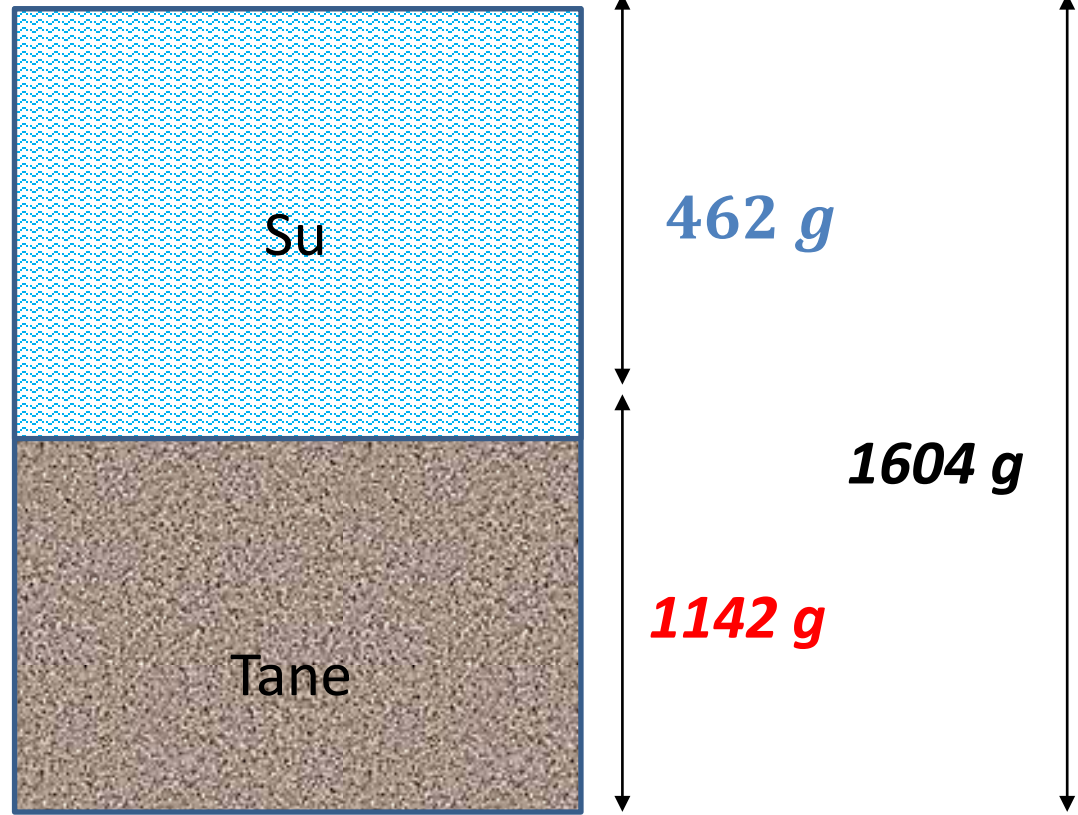
c) $n = ?$

d) $\rho_n = ?$

$$? \rightarrow V_T = 896,22$$

$$? \rightarrow 434,22$$

$$? \rightarrow 462$$



b) $e = ?$

c) $n = ?$

$$\begin{aligned} \rho_s &= G_s \cdot \rho_w \\ &= 2,63 * 1 \text{ g/cm}^3 = 2.63 \text{ g/cm}^3 \end{aligned}$$

$$V_s = \frac{M_s}{\rho_s} = \frac{1142 \text{ g}}{2,63 \text{ g/cm}^3} = 434,22 \text{ cm}^3$$

$$V_w = \frac{M_w}{\rho_w} = \frac{462 \text{ g}}{1 \text{ g/cm}^3} = 462$$

$$e = \frac{V_b}{V_s} = \frac{462}{434,22} = 1,06$$

$$n = \frac{V_b}{V_T} = \frac{462}{896,22} = 0,51$$

ÇÖZÜM 1.

Verilenler:

$$M_T = 1604 \text{ g.}$$

$$M_k = W_s = 1142 \text{ g.}$$

$$G_s = 2.63$$

$$S_r = \%100$$

İstenenler:

a) $w = ?$

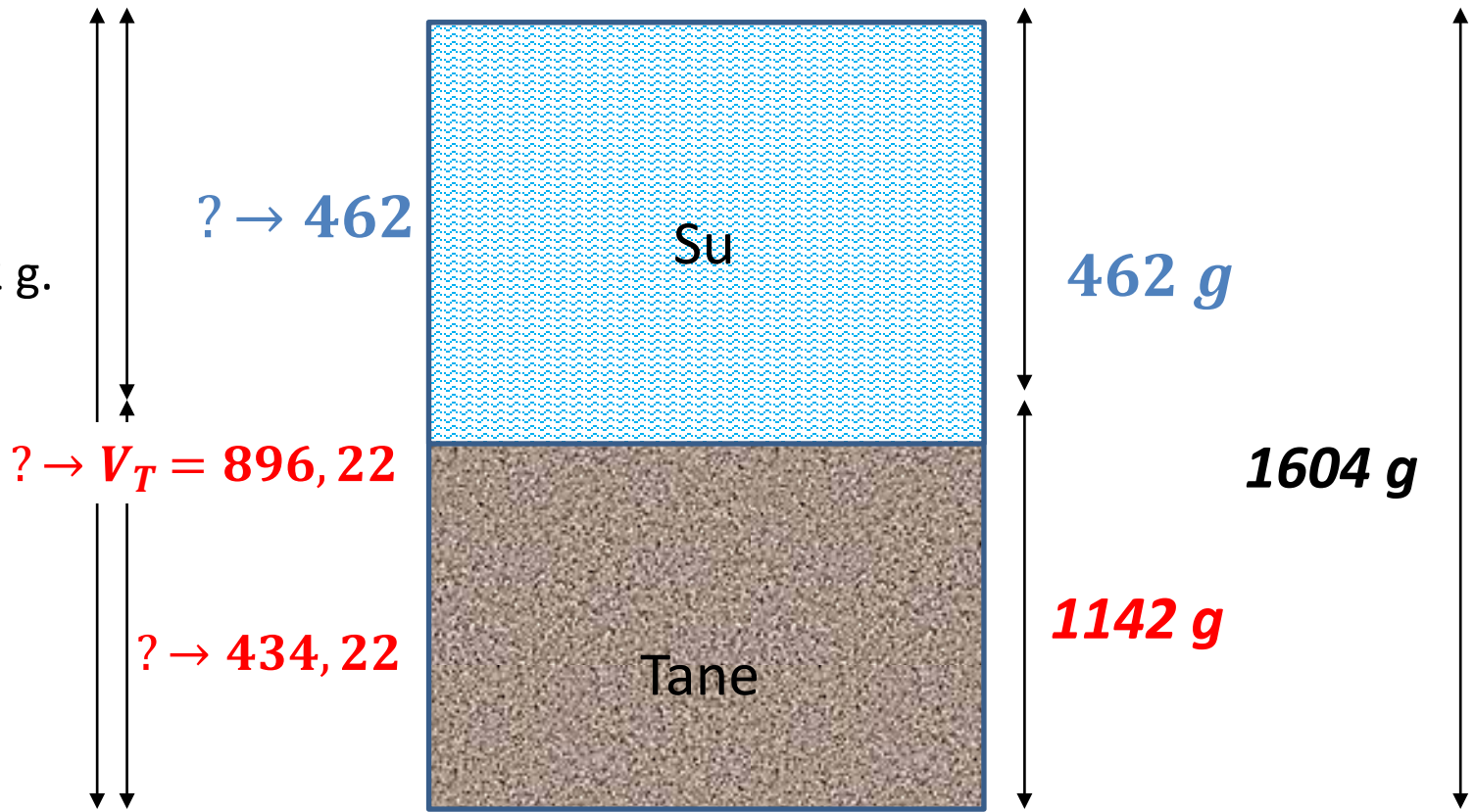
b) $e = ?$

c) $n = ?$

d) $\rho_n = ?$

d) $\rho = ?$

$$\rho = \frac{M_T}{V_T} = \frac{1604 \text{ g}}{896,22 \text{ cm}^3} = 1,79 \text{ g/cm}^3$$



SORU 1

Doğal haldeki porozitesi 0.50 ve su içeriği % 25 olan bir zeminden 5840 m³ alınarak bir miktar su eklenip karayolu dolgusu olarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan bu zeminin su içeriği % 35, boşluk oranı ise 0,40 olarak hesaplanmıştır. Buna göre yapılan bu dolgunun hacmini bulunuz

ÇÖZÜM 2

Bu sorunun çözümü için doğal haldeki zemin de de dolguda da tane hacimlerinin eşit olacağını bilmemiz gerekmektedir.

Dolgu zemin için V_b hesaplanırsa; $V_t = V_b + V_s$ den V_s bulunur.

$$n = \frac{V_b}{V_T} = 0,50 = \frac{V_b}{5840} \implies V_b = 2920 \text{ m}^3$$

$$V_t = V_b + V_s \implies V_s = 2920 \text{ m}^3$$

Dolgu zemin için V_s her iki durumda da sabit olduğundan sıkıştırılan zeminde de V_s aynı V_b 'nin bulunması sorunun çözümünü için çok önemli

$$e = \frac{V_b}{V_s} \implies V_b = 0.40 * 2920 = 1168 \text{ m}^3$$

Tanelerin hacmi her iki durumda da (doğal ve sıkıştırıldıktan sonra) sabit kalacağından sıkıştırılan dolgunun hacmi

$$V = V_b + V_s = 1168 + 2920 = 4088 \text{ m}^3$$

SORU 2.

Yüksekliđi (h) 8,7 cm, apı (R) 3,9 cm olan silindirik zemin örneğinin kütlesi (W) 203,6 gr, kurutulduktan sonraki kütlesi ise ($W_k=W_s$) 165,2 gr olarak ölçülmüştür. Bu zeminin zđül ağırlığı (G_s) 2,69 olduğuna göre

- Doğal birim hacim ağırlığını (γ_n)
- Su içeriğini (w)
- Kuru birim hacim ağırlığını (γ_k)
- Boşluk oranını (e)
- Porozitesini
- Doygunluk derecesini (S_r)

hesaplayınız

ÇÖZÜM 2.

SORU 3

21.5 mm çapında 53.75 mm boyunda doygun bir kil zemin numunesinin kütlesi 39,78 gr olarak tartılmıştır. Bu zemin numunesinin özgül ağırlığı 2,68 dır. Bu durumda zeminin;

- a. Boşluk oranını (e)
- b. Porozitesini (n)
- c. Su içeriğini (w)
- d. Su altındaki (batık) birim hacim ağırlığını (γ_A)

hesaplayınız

ÇÖZÜM 3

SORU 4

Bir havaalanı inşaatında sıkıştırılarak elde edilen dolgudan 3950 cm^3 lük bir çukur açılarak 7543 gr numune alınmış ve etüvde kurutulmuştur. Kurutulan bu numunenin kuru kütlesi 5947 gr olarak ölçülmüştür. Tane yoğunluğu 2.75 gr/cm^3 olan bu numunenin su içeriğini, kuru yoğunluğunu ve doygunluk derecesini hesaplayınız

ÇÖZÜM 4

SORU 5

Bir zeminin kuru birim hacim ağırlığı 16.5 kN/m^3 , maksimum kuru birim hacim ağırlığı 18 kN/m^3 , minimum kuru birim hacim ağırlığı $14,6 \text{ kN/m}^3$ olarak bulunmuştur. Bu zemin örneğinin su içeriği % 12, özgül ağırlığı 2,65 olduğuna göre izafi (relatif) sıkılığı hesaplayarak yorumlayınız.

ÇÖZÜM 5