

# SIZMA

- Sızma (infiltrasyon) yerçekimi ve kapiler kuvvetlerin etkisiyle olur.
- Sızan su önce zemin nemini artırır ve yüzeyaltı akışını oluşturur. Geriye kalan (yüzeyaltı akışına katılmayan) su ise perkolasyon süreci ile derinlere katılarak yeraltı suyunu besler.
- Sızma yüzeysel akış açısından bakıldığında kayıp, yeraltı suyu açısından bakıldığında ise beslenmedir.

# Zeminin Yapısı

- Mineraller, ölü organik madde (humus), bitki kökleri, mikroorganizmalar, hayvansal organizmalar ve hava boşluklarından oluşan bir karışımdır.
- Boşluklu bir yapıdadır.
- Heterojendir ve çatlaklar içerebilir. Zemin malzemesi değişik büyüklüklerde dir.
- Derinlere doğru inildikçe genellikle sıkışır ve en sonunda geçirimsiz kaya katmanları ile sınırlanır.

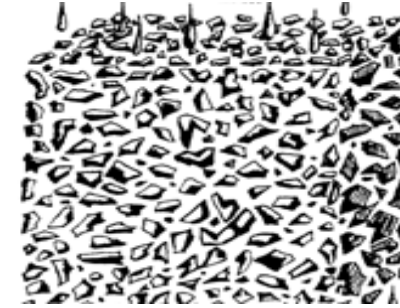
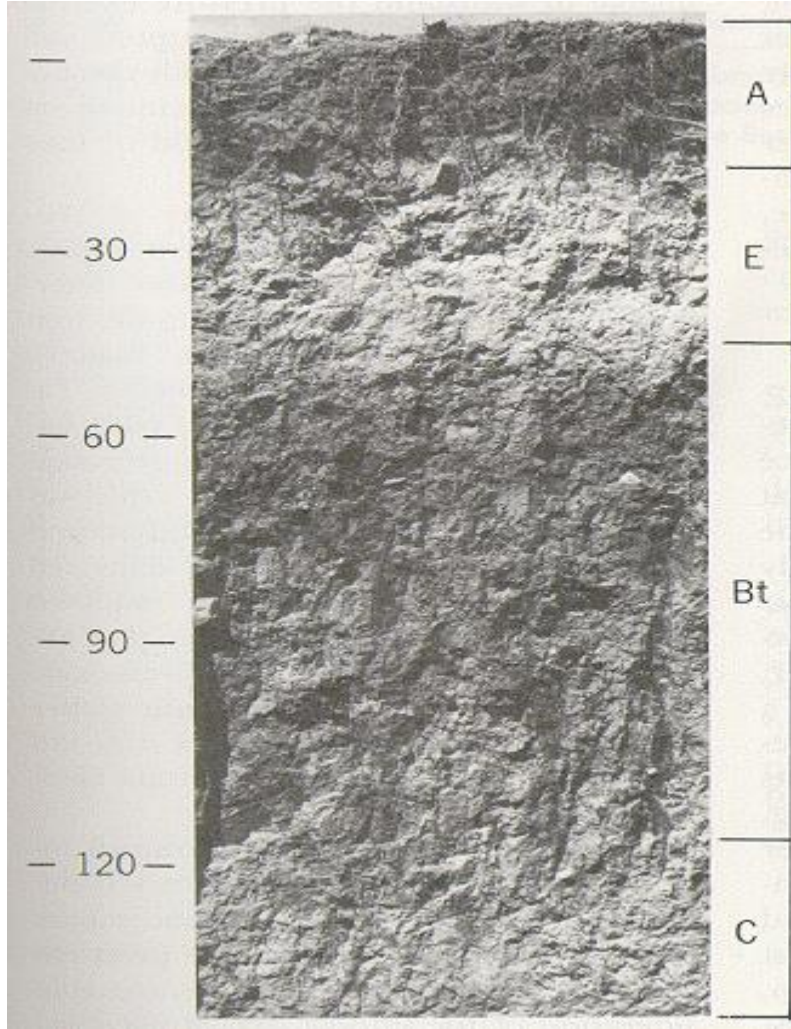
# Büyükliklerine Göre Zemin Malzemeleri

Çap (d, mm)	İsim
$d > 250$	Kaya
$60 < d < 250$	İri taş
$2 < d < 60$	Çakıl
$0,63 < d < 2$	Kaba kum
$0,20 < d < 0,63$	Orta kum
$0,063 < d < 0,20$	İnce kum
$0,002 < d < 0,063$	Silt
$0,001 < d < 0,002$	Kil
$d < 0,001$	Kolloid

# Zeminin Yapısı



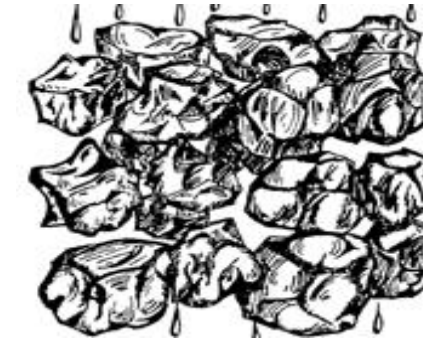
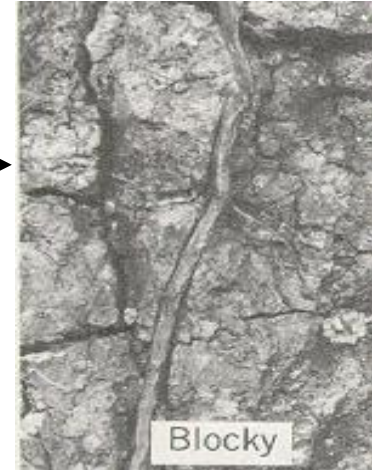
# Zeminin Yapısı



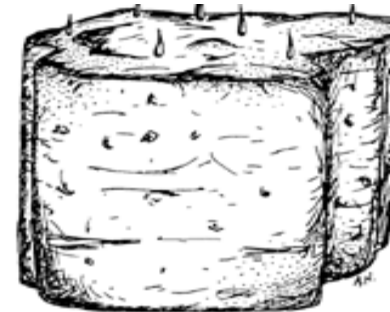
Suyu hızlı geçirir.



Suyu yavaş geçirir.



Suyu orta hızda geçirir.



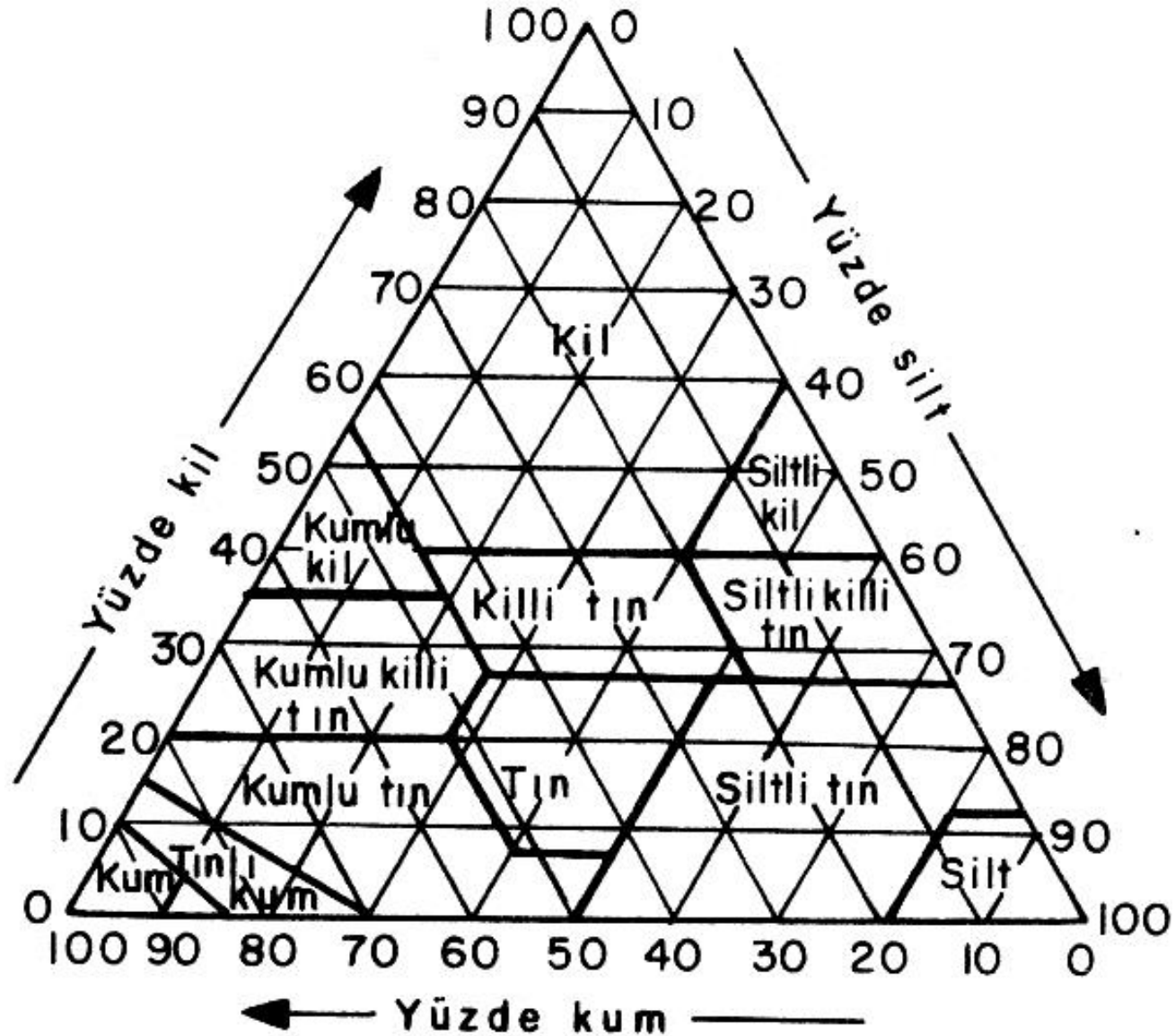
Suyu yavaş geçirir.

# Zeminin Yapısı

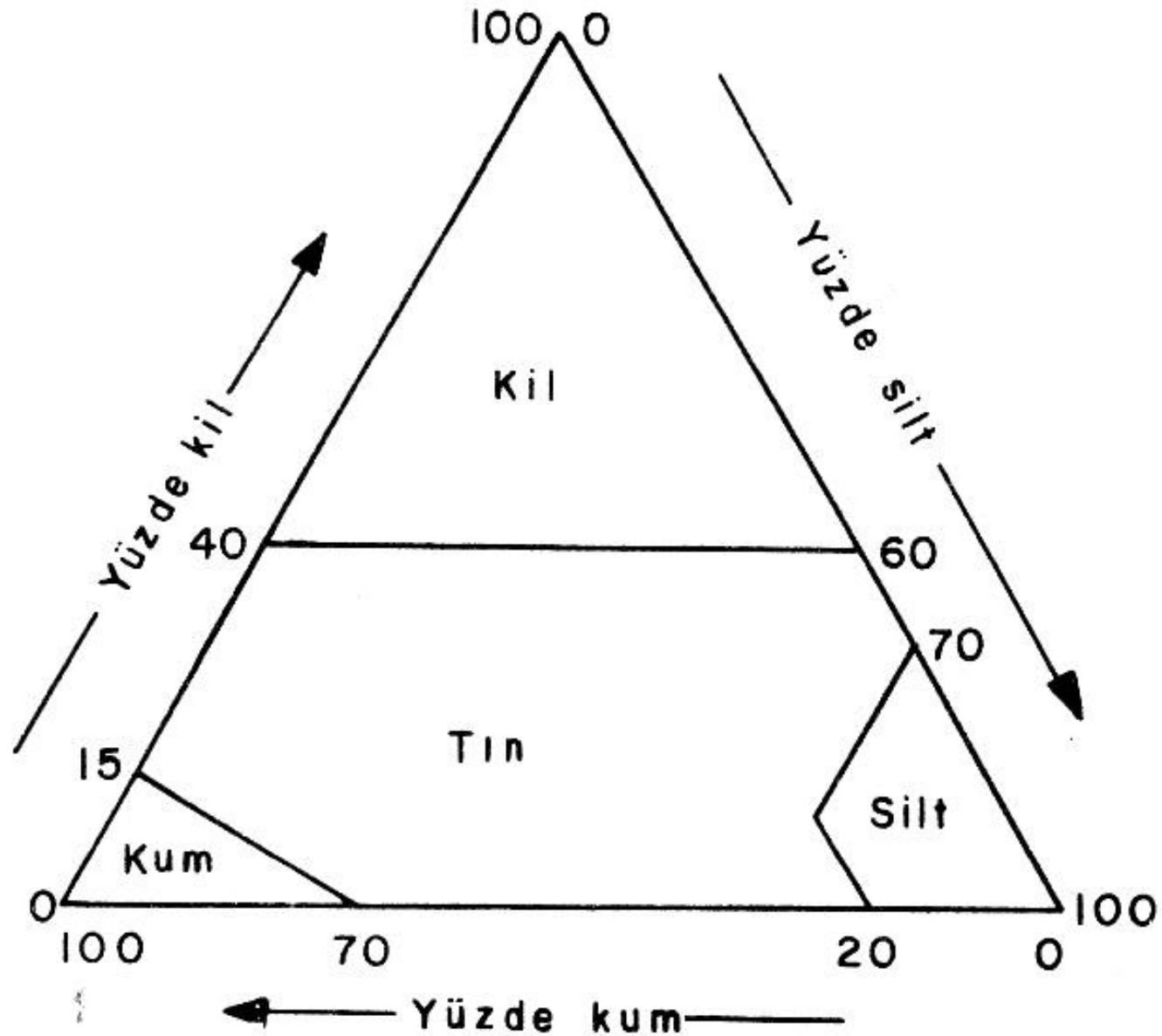


Kaynak: [http://soils.usda.gov/technical/manual/print\\_version/chapter3.html](http://soils.usda.gov/technical/manual/print_version/chapter3.html)

# Zeminin Yapısı - Tekstür



# Zeminin Yapısı - Tekstür

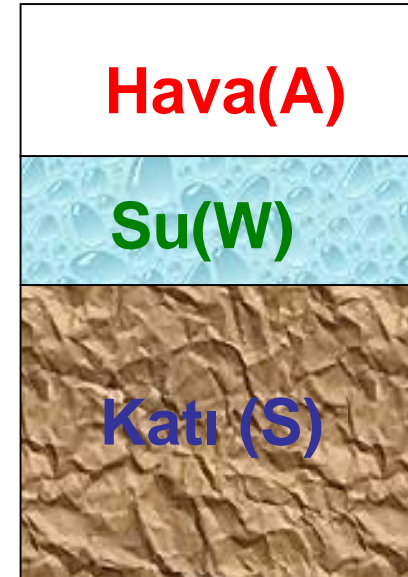
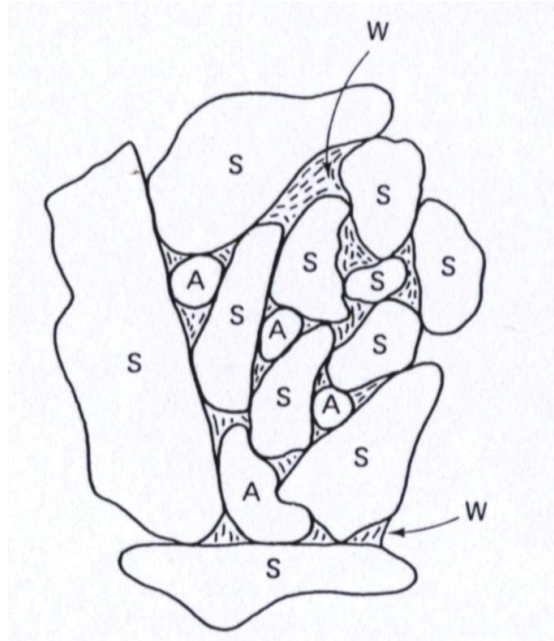


# Toprağın Katmanları

- **O Horizonu:** Yüzeğe yakındır ve yüksek miktarda humus içerir.
- **A Horizonu:** Dış etkilerle iyice ayrışmış, organik maddeler bakımından zengin, en üstteki katmandır. Tarımsal etkinlikler, bu katman üzerinde yapılmaktadır.
- **B Horizonu:** Suyun etkisiyle üst katmanda yıkanan minerallerin biriktirdiği katmandır.
- **C Horizonu:** B'den daha derinde yer alır. Aşınmadan daha az etkilenmiştir.

# Zeminin Temel Özellikleri

Zemin; çakıl, kum silt, kil veya bunların karışımından meydana gelen gevşek malzeme olarak düşünülür.



# Zeminin Temel Özellikleri

**V = Zemin Hacmi**

**Alt simgeler**

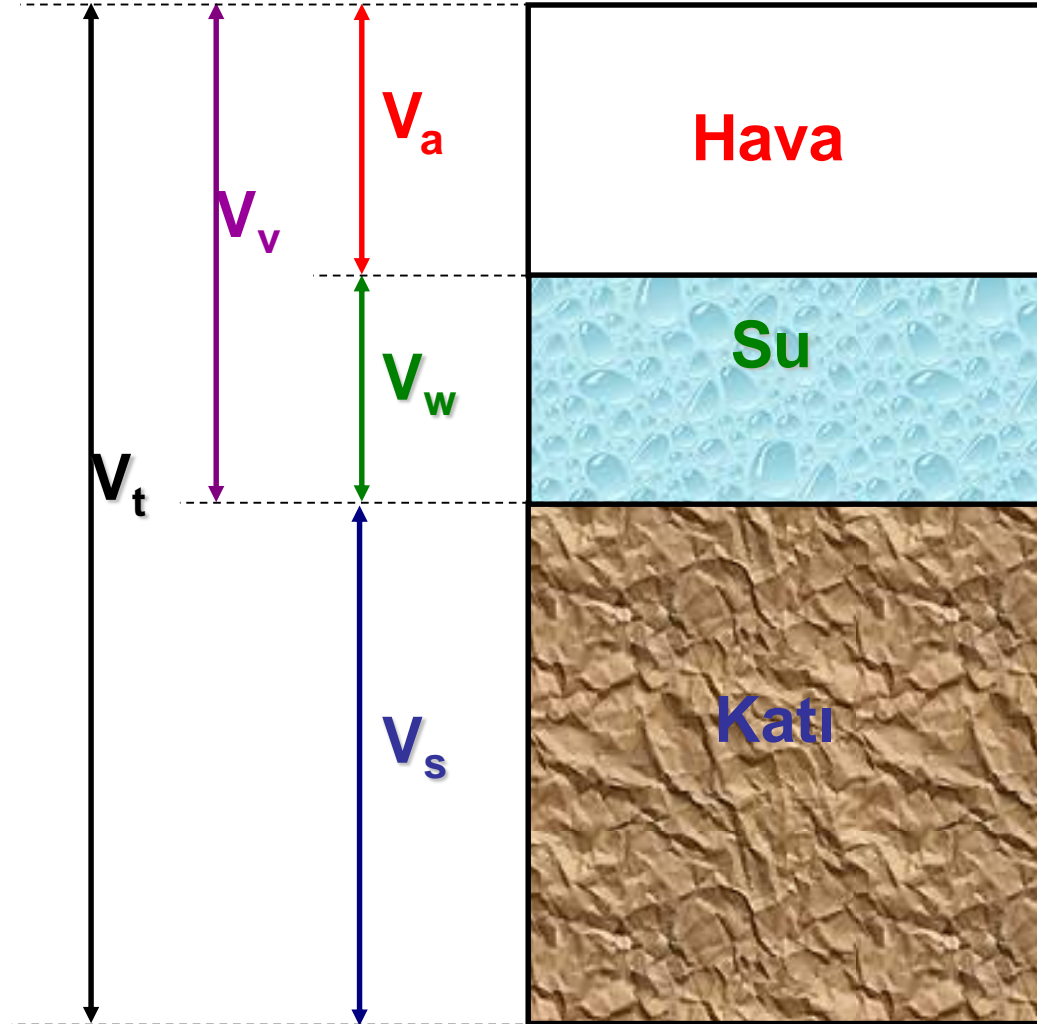
**s = katı**

**w = su**

**a = hava**

**v = boşluk**

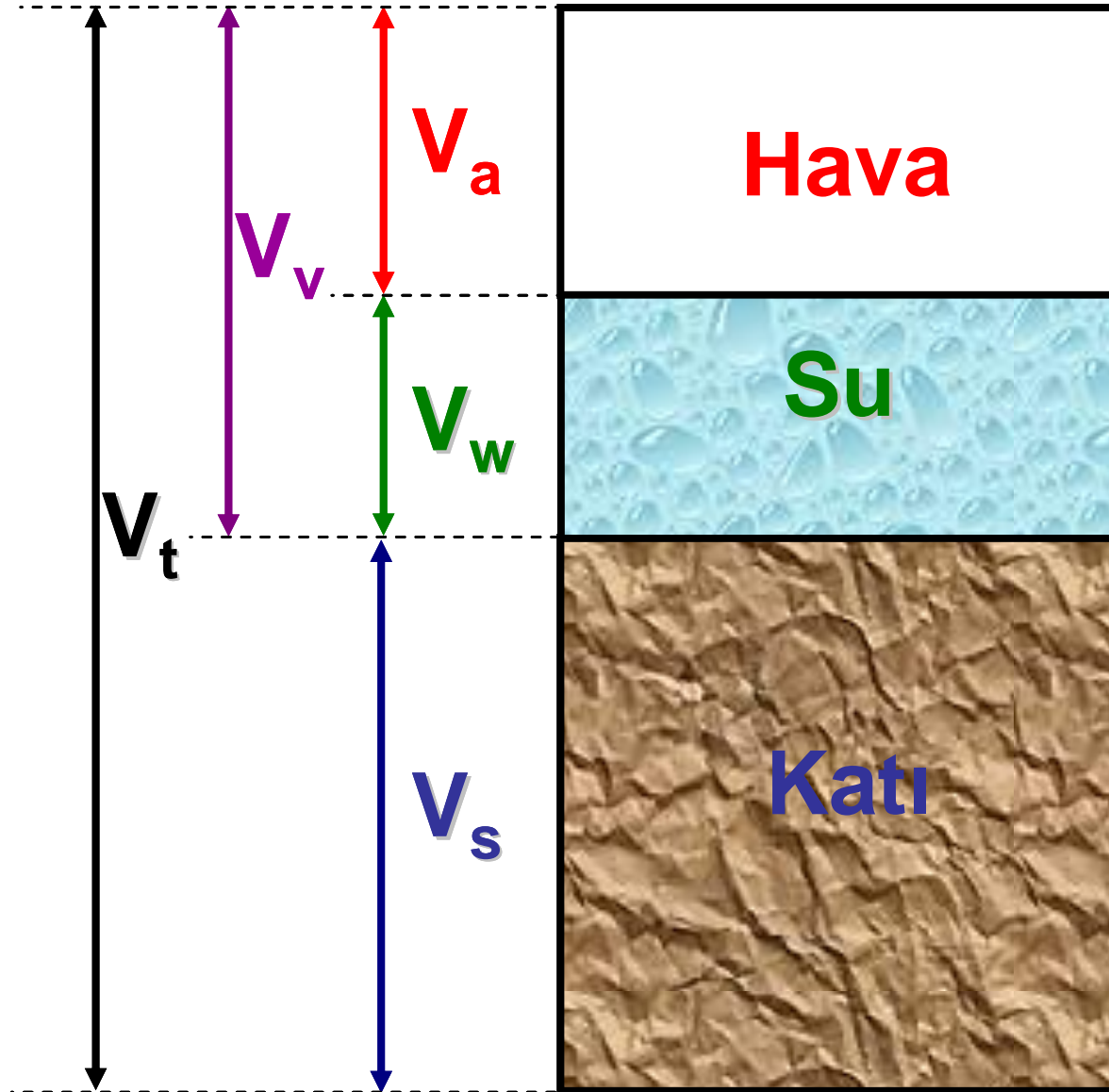
**t = toplam**



# Zeminin Temel Özellikleri

Boşluk oranı, boşluk hacminin dane hacmine oranıdır.  $e$  ile gösterilir.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

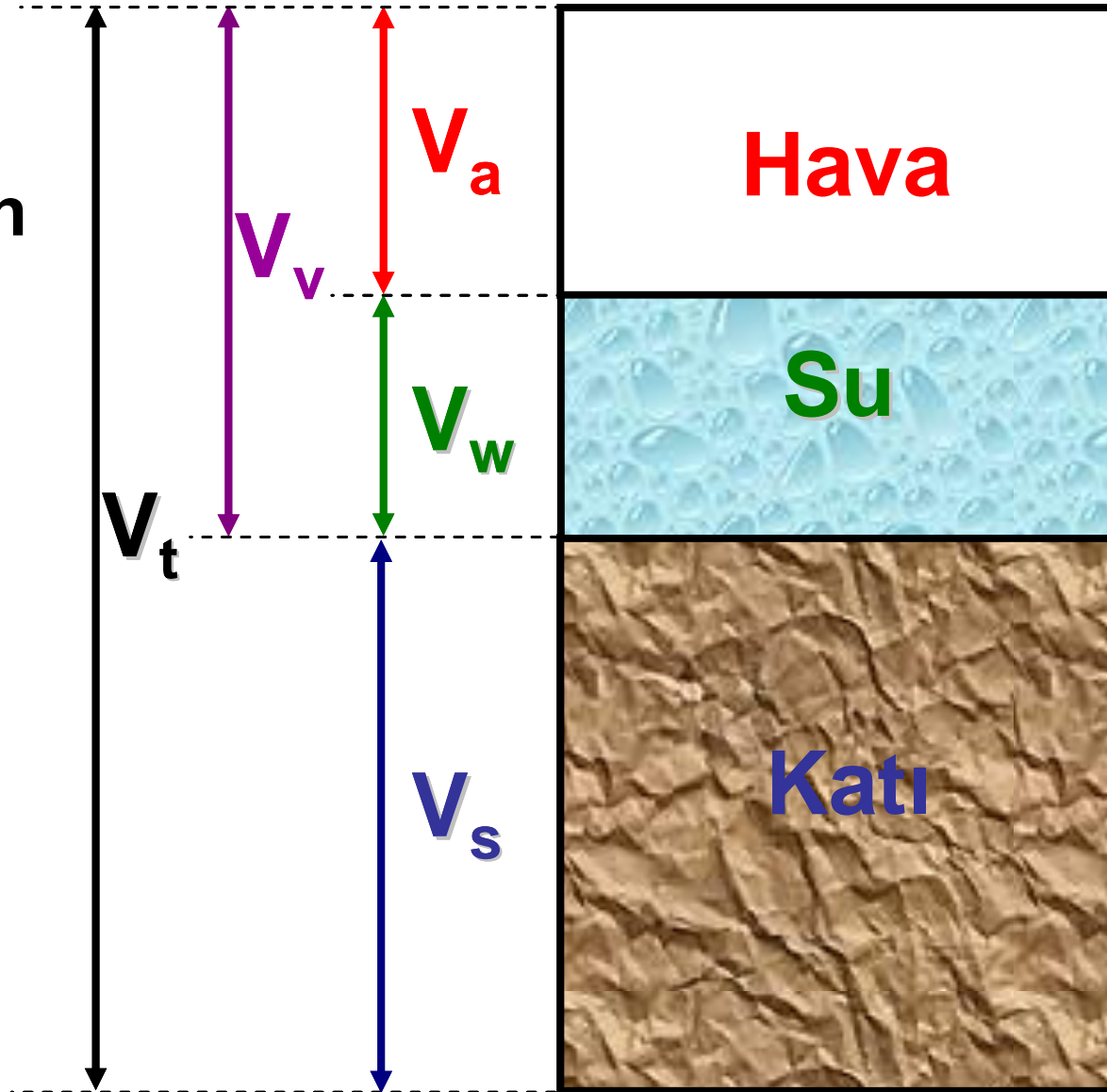


# Zeminin Temel Özellikleri

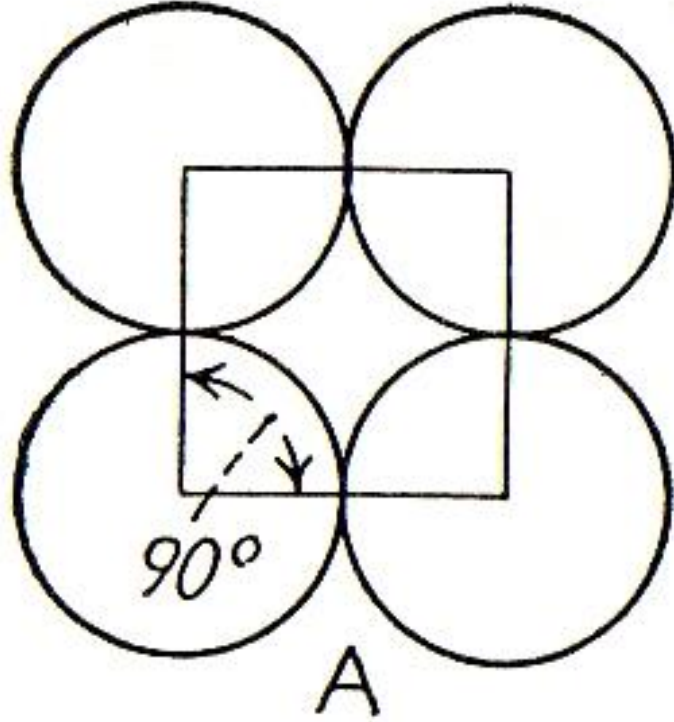
Gözeneklilik (porozite), boşluk hacminin toplam hacme oranıdır.  $n$  ile gösterilir.

$$n = \frac{V_v}{V_T}$$

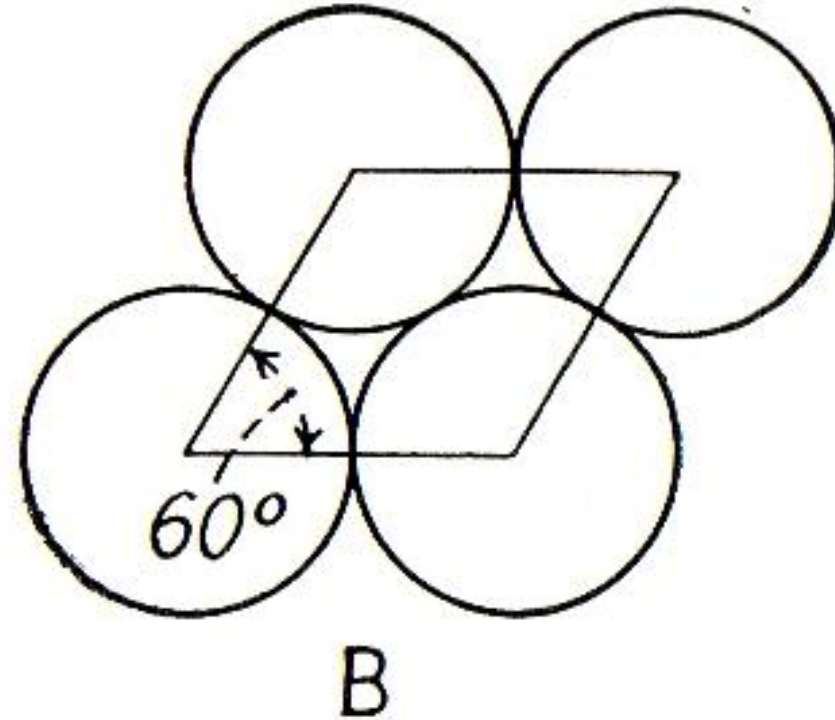
$$n = \frac{e}{1 + e}$$



# Gözeneklilik için ideal modeller



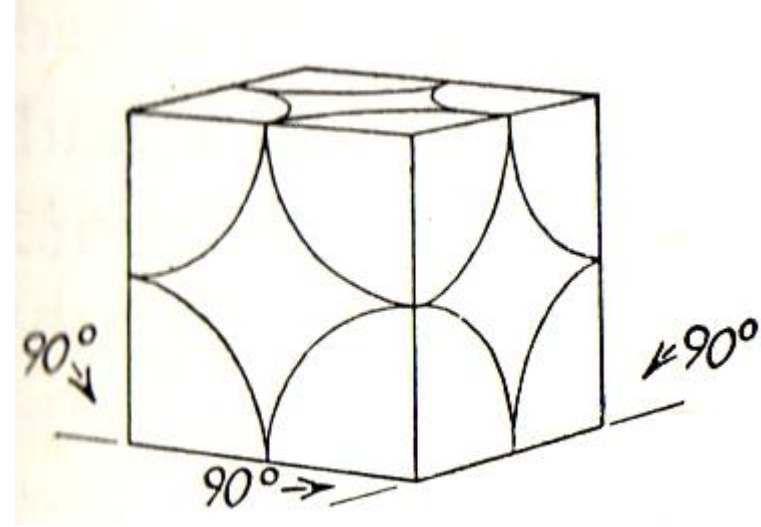
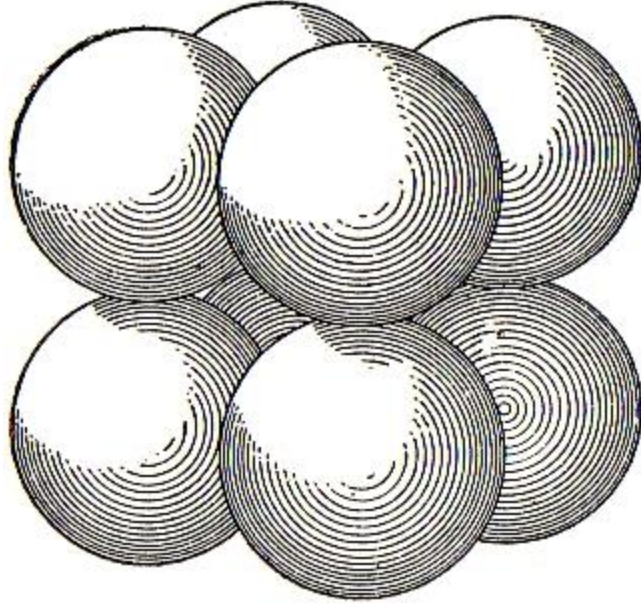
Ortogonal diziliş



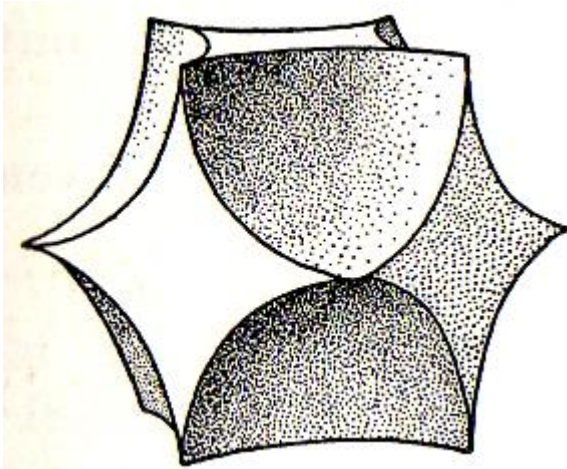
Rombik diziliş

**Üç boyutta düşünüldüğünde 6 olasılık var.**

# Gözeneklilik için ideal modeller

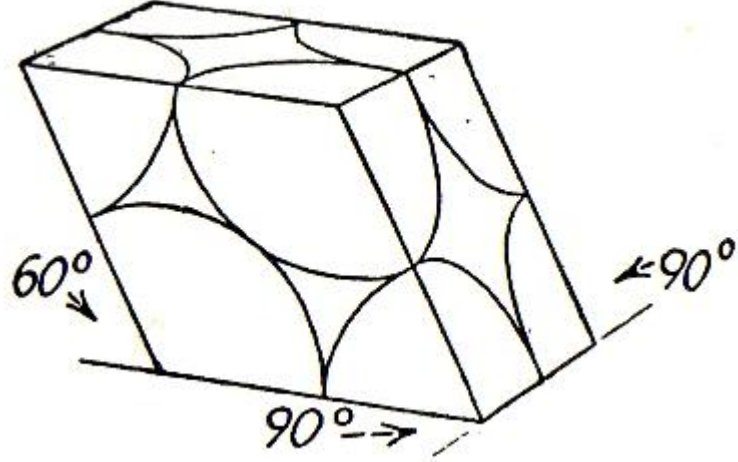
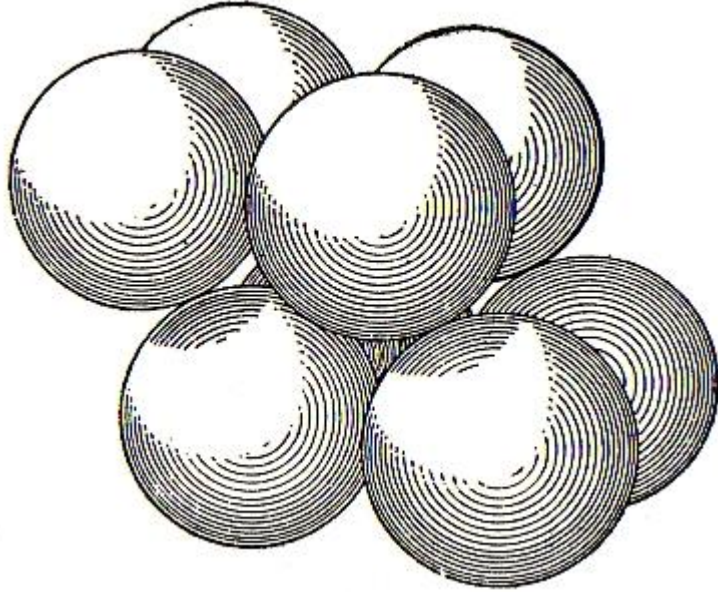


**Olasılık 1**

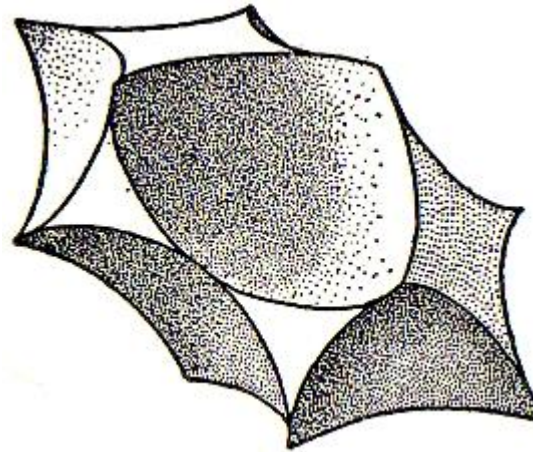


→ **Boşluk**

# Gözeneklilik için ideal modeller

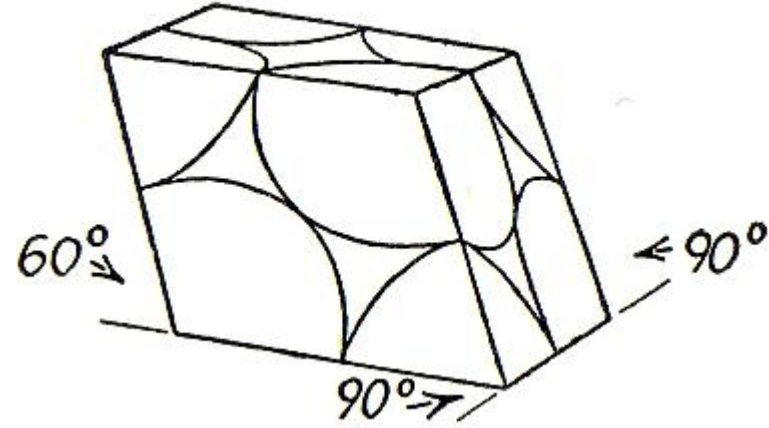
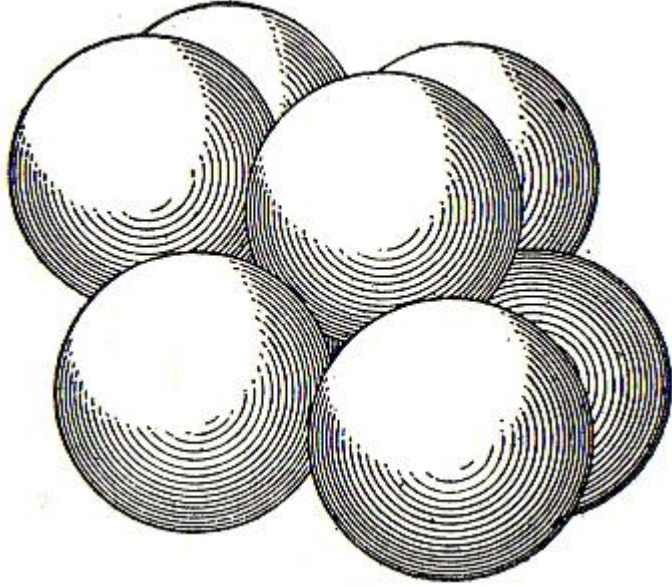


**Olasılık 2**

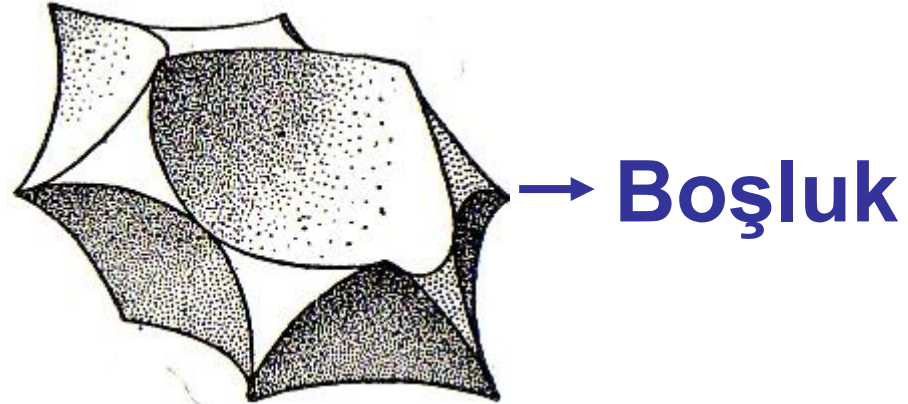


→ **Boşluk**

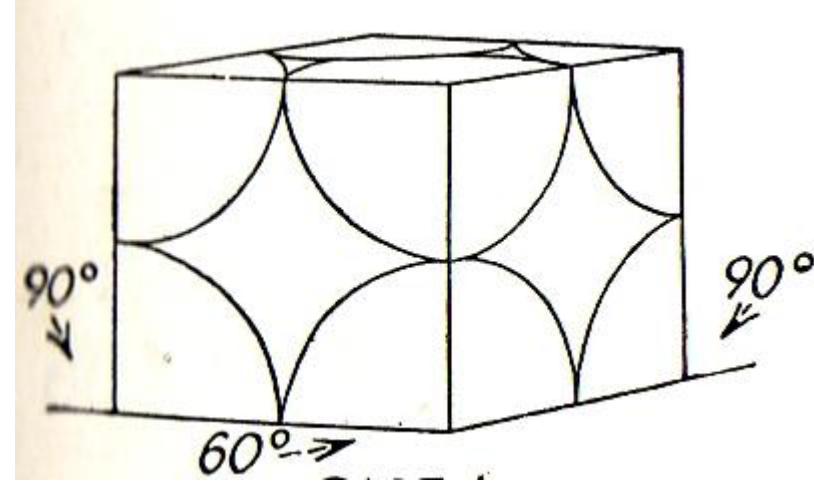
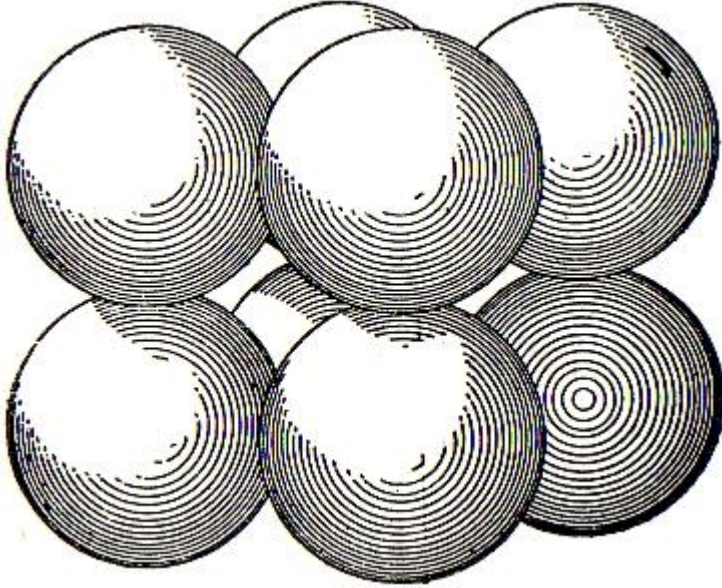
# Gözeneklilik için ideal modeller



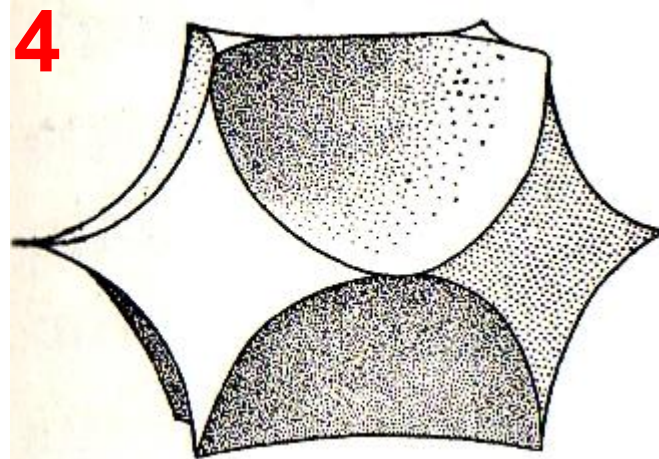
**Olasılık 3**



# Gözeneklilik için ideal modeller

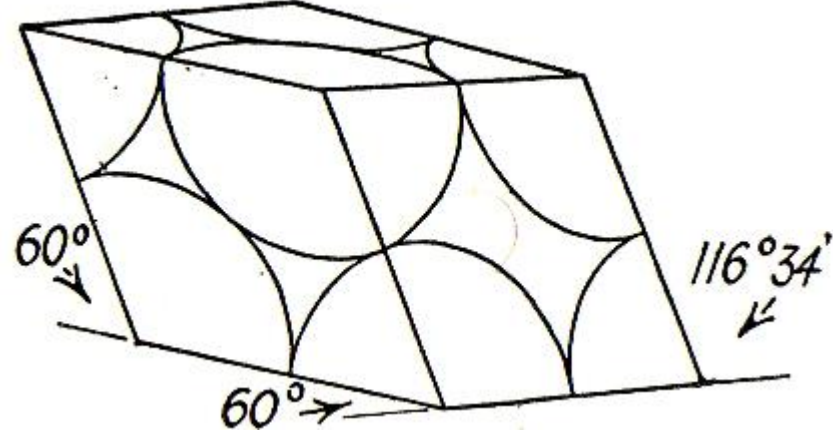
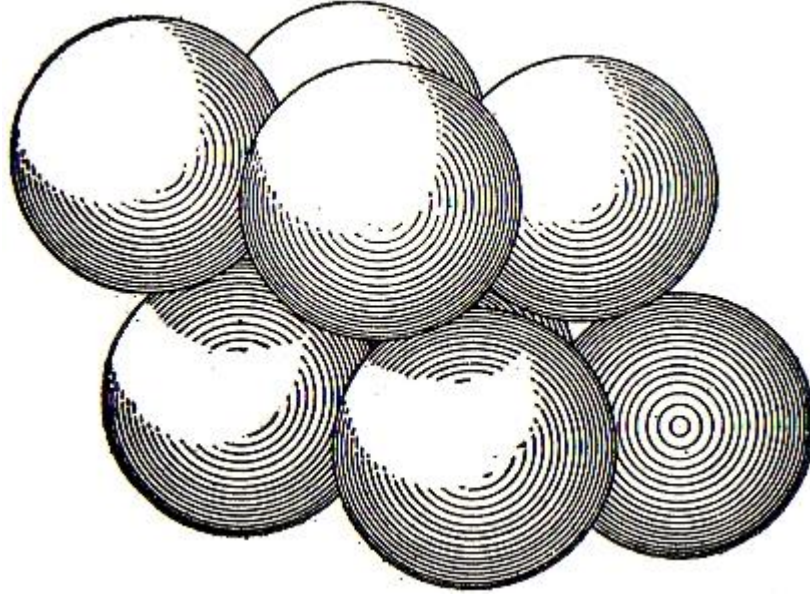


**Olasılık 4**

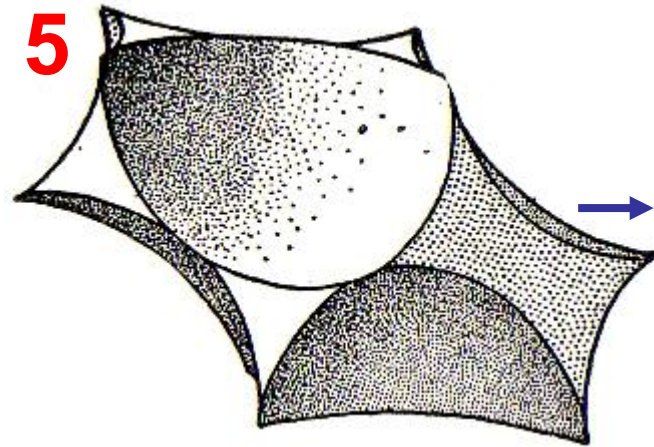


→ **Boşluk**

# Gözeneklilik için ideal modeller

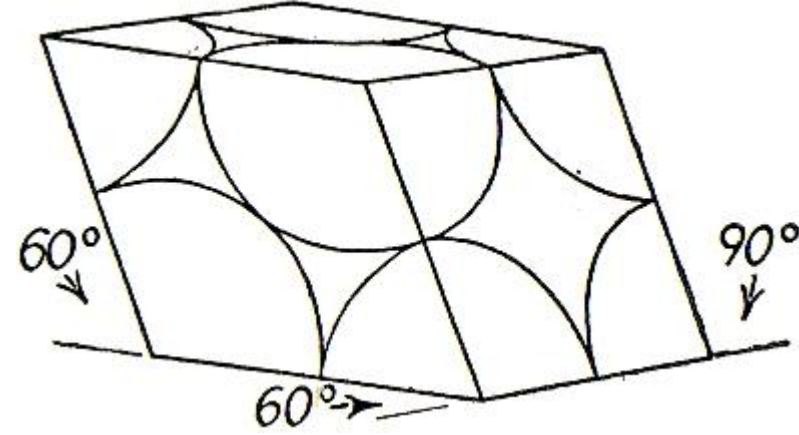
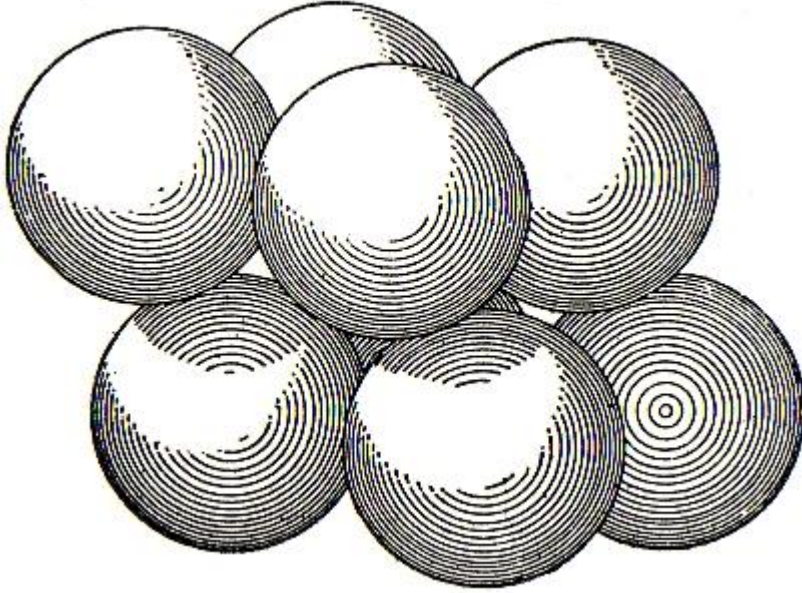


**Olasılık 5**

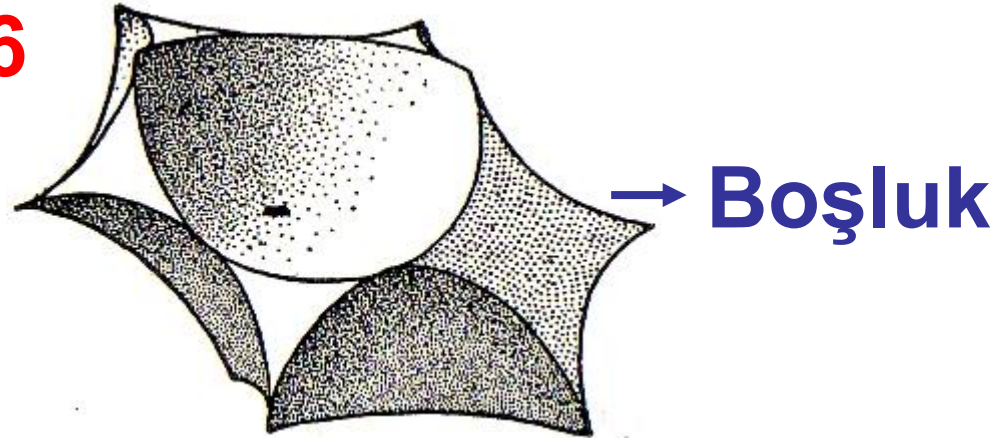


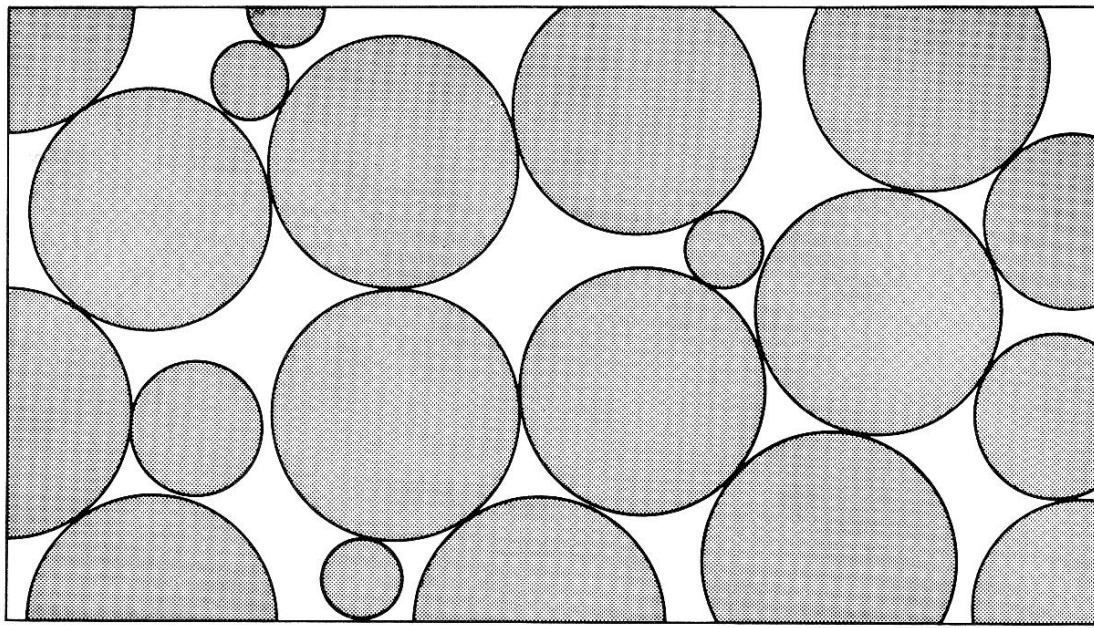
→ **Boşluk**

# Gözeneklilik için ideal modeller

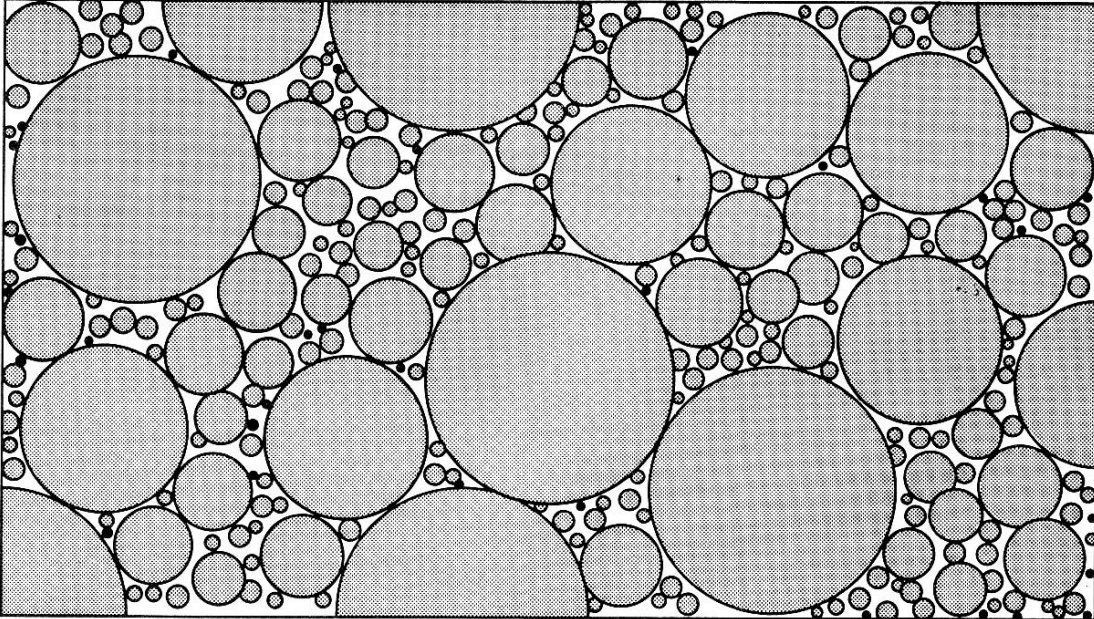


**Olasılık 6**





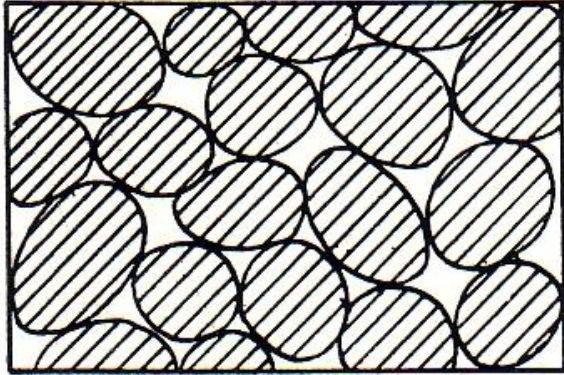
32%



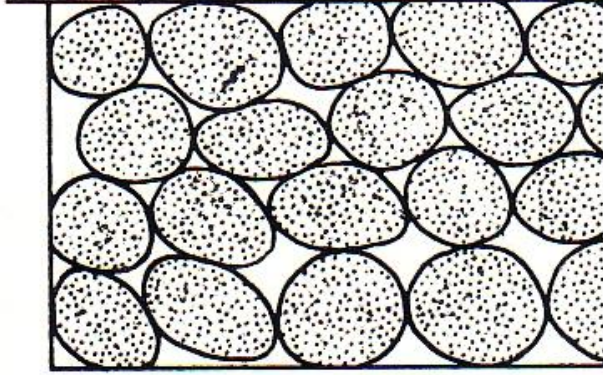
17%

Zemin  
malzemesi apı  
dağılımının  
gözenekliliğe  
etkisi

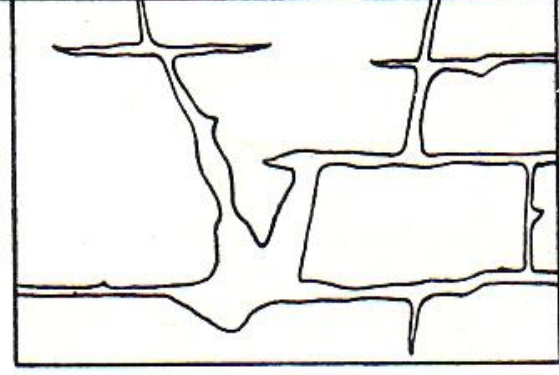
# Zeminin Yapısı - Kayalar



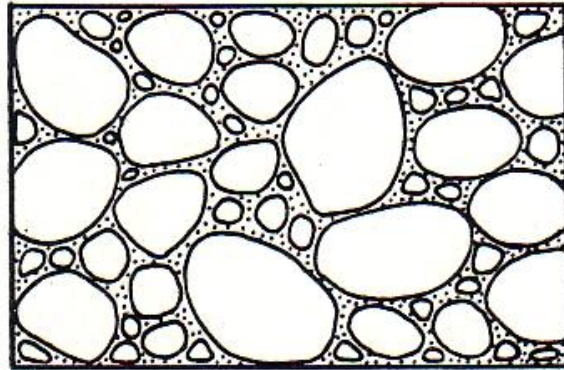
A



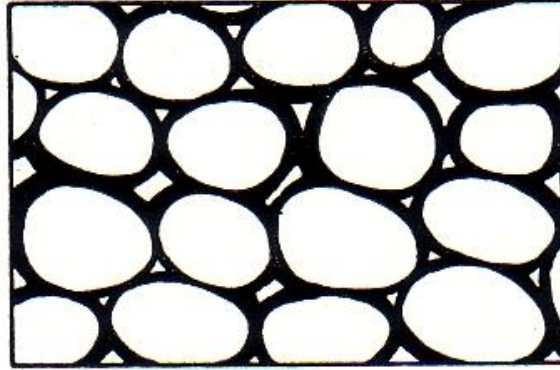
C



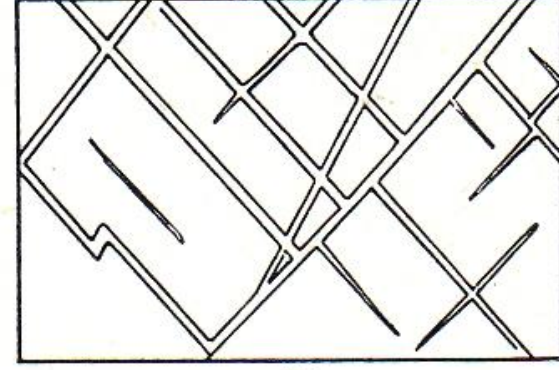
E



B

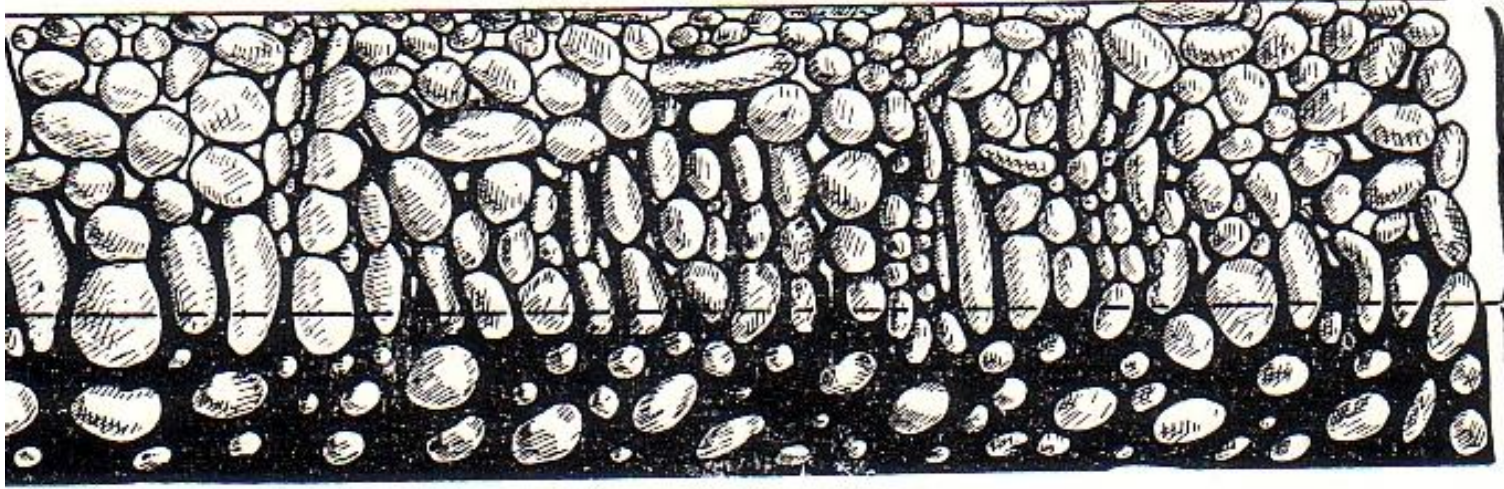


D



F

# Kapiler Basınç (Yük)



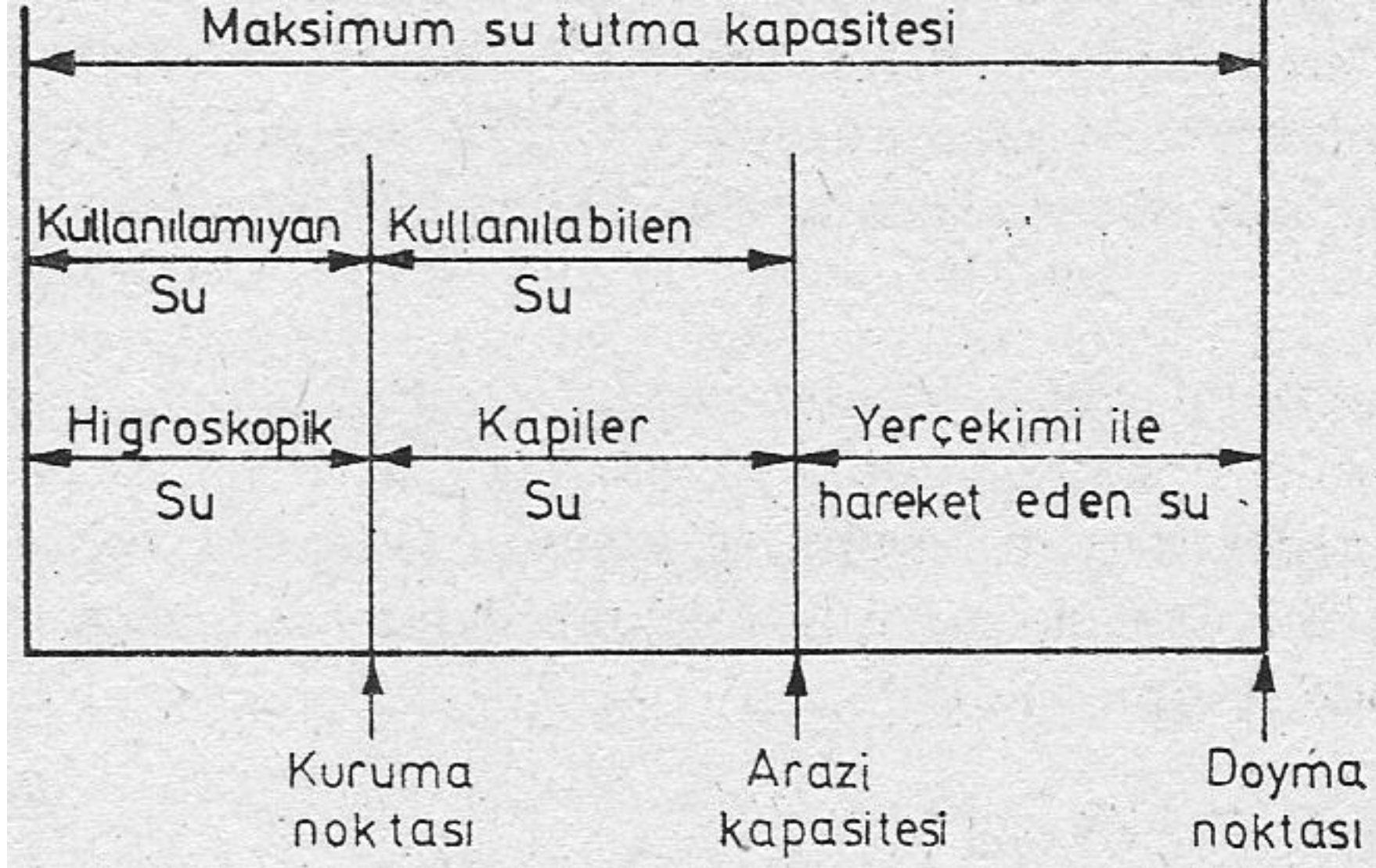
Kapiler  
su

Yeraltı  
suyu

## ÇEŞİTLİ ZEMİNLER İÇİN KAPİLER BASINÇ YÜKSEKLİKLERİ

Zemin cinsi	$h_c$ (cm)
Silt	10—20
İnce kum	4
Orta kum	2,5
İri kum	1,5
Çakıl	0,25

# Zemin Nemi



# Zemin Nemi

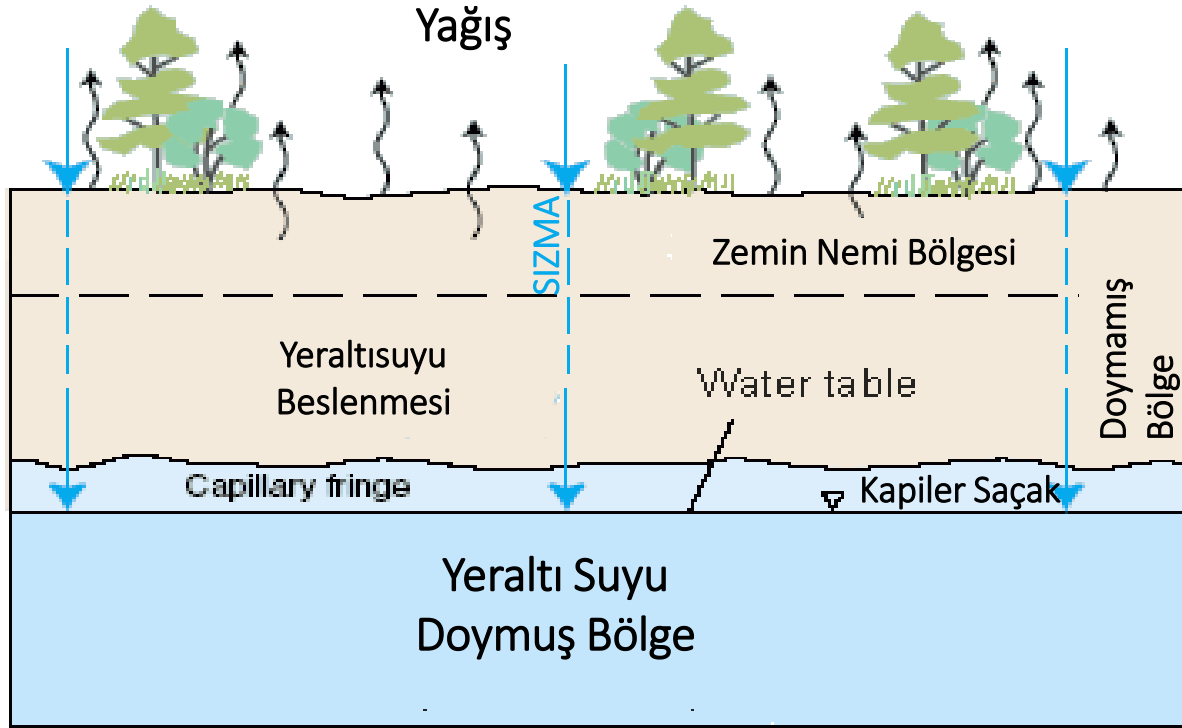
## ÇEŞİTLİ ZEMİNLER İÇİN ARAZİ KAPASİTESİ VE KURUMA NOKTASI DEĞERLERİ(\*)

Zemin Cinsi	Arazi Kapasitesi	Kuruma Noktası	Faydalı Su Yüzdesi
Kum	6—12	2—6	4—6
Kumlu lem	10—18	4—8	6—10
Lem	18—26	8—12	10—14
Killi lem	23—31	11—15	10—14
Siltli kil	27—35	13—17	14—18
Kil	31—39	15—19	16—20

(\*) Kuru zemin ağırlığının yüzdesi olarak.

# Sızmanın Tanımı ve Önemi

Yeryüzüne düşen yağışın bir bölümünün yerçekimi kuvvetleri yanında kapiler ve moleküler çekim kuvvetleri de etkisiyle zemin daneleri arasında aşağı yönlü ilerlemesine **sızma** denir. Sızma olayı neticesinde zemin nemi bölgesindeki su oranı yükselir ve bölge yeterli doygunluğa ulaşırsa yüzeyaltı akış oluşabilir.



## Sızma;

- Yağışın yüzeysel akışa geçen kısmının belirlenmesinde ve taşkın debilerinin hesaplanmasında
- Erozyon kontrol çalışmalarında sızmayı artırıcı çalışmalarda
- Sulama sistemlerinin ve yöntemlerinin belirlenmesinde
- Yeraltı suyunun beslenmesinde **önem arz etmektedir.**

# Sızmayı Etkileyen Faktörler

- ❑ Yağışın Özellikleri ( Yağışın şiddeti ve süre içerisindeki dağılımı)
- ❑ Zemin Özellikleri (Zeminin granülometrisi, içerisindeki organik kalıntılar, yağış öncesi nem durumu)
- ❑ Yüzey Özellikleri (Yüzey sıklığı, yüzey eğimi, bitki örtüsü, tarımsal faaliyetler)
- ❑ Suyun Özellikleri (Tuzluluk)

# Sızma Kapasitesini Etkileyen Değişkenler

- **Zeminin tane büyüklüğü ve geçirimliliği**

Gevşek zeminlerin sızma kapasitesi **sızma hareketine karşı koyan direnç azaldığından** daha yüksektir ve genellikle boşluk oranı (porozite) arttıkça sızma kapasitesi artar.

- **Yağışın başlangıç anındaki zemin nemi**

Islak bir zeminde, kapiler boşlukların arası kısmen su ile doludur. Bu nedenle **sızma kapasitesi kuru zemine göre daha azdır.**

# Sızma Kapasitesini Etkileyen Değişkenler

- **Bitki örtüsü ve organik madde içeriği**

Bu değişkenler; yüzeysel akışı engelleyen, suyun zemine girmesini kolaylaştıran, yağmur damlası darbelerinin zemine girmesini engelleyen ve zemin geçirimliliğini artıran etkenlerdir. Dolayısıyla **sızma kapasitesinin artmasına yol açarlar.**

# Sızma Kapasitesini Etkileyen Değişkenler

## • Zemin yüzeyinin durumu ve kimyasal çökeltme

- Zemin gözeneklerinde kimyasal çökeltme ( $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  gibi bileşikler) olduğu zaman zemin boşlukları dolmaya başlar ve sızma kapasitesi düşer.
- Bu durum, sert suların zemine sızmasıyla olur.
- Sert sular, silt ve kil taneciklerinin bir araya gelmelerine de neden olabilir. Böylece zeminin geçirimsizliği düşer.
- Yumuşak suların ise tam tersi bir etkileri vardır.

# Sızma Kapasitesini Etkileyen Değişkenler

- Zemin boşluklarında hava sıkışması

Bu olay, genellikle sızmayı zorlaştırarak sızma kapasitesini düşürür.

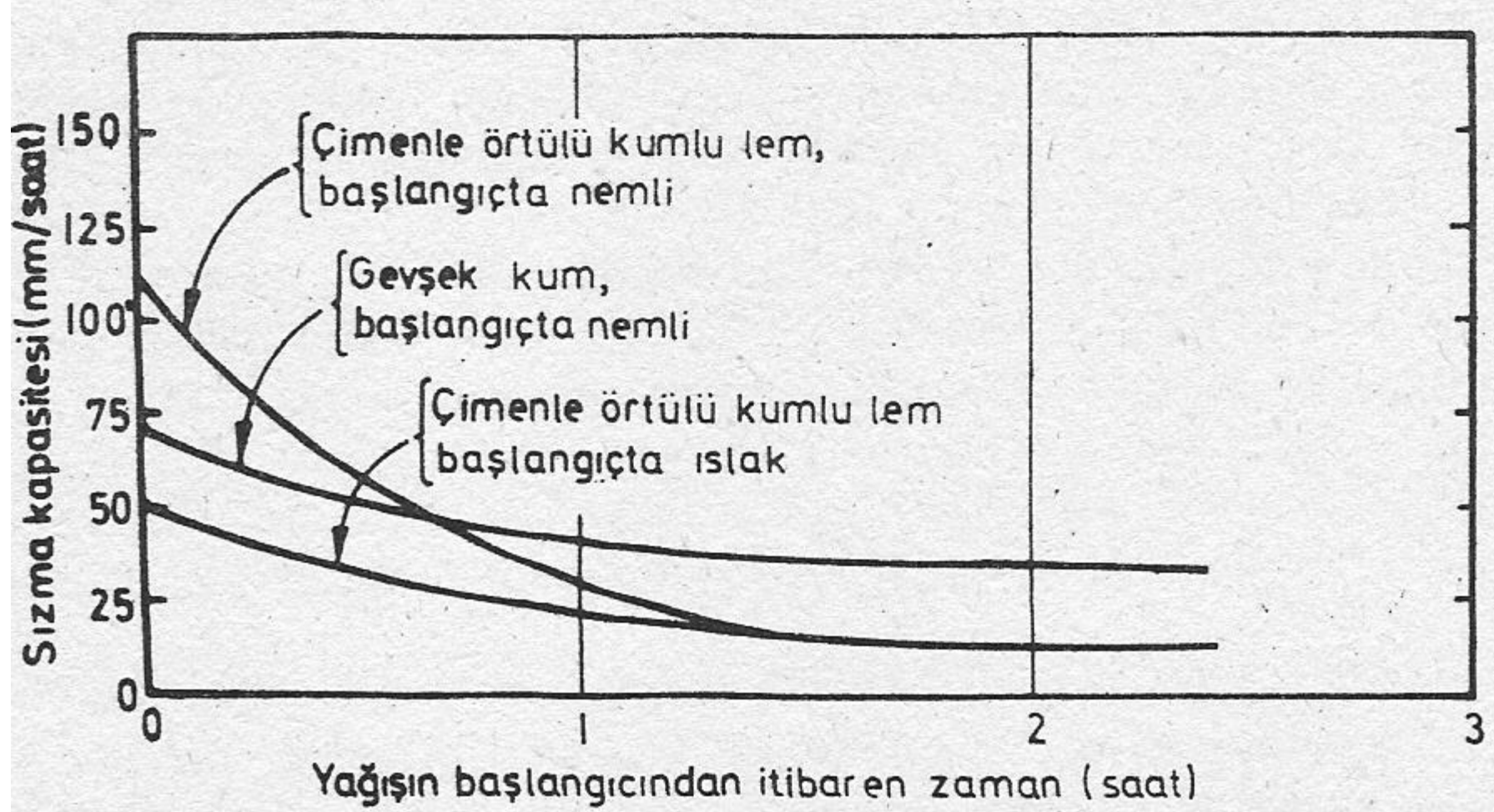
- Toprağın sürülme, işlenme şekli

Duruma göre sızma kapasitesini arttırabilir ya da azaltabilir.

# Sızma Kapasitesini Etkileyen Değişkenler

**Bu değişkenlerin etkileri nedeniyle, sızma kapasitesi çıplak arazide 0,25 – 25 mm/saat arasında olabilir ve bitki örtüsü varlığında 3-7 kat artabilir.**

# Zeminin Sızma Kapasitesini Etkileyen Değişkenler



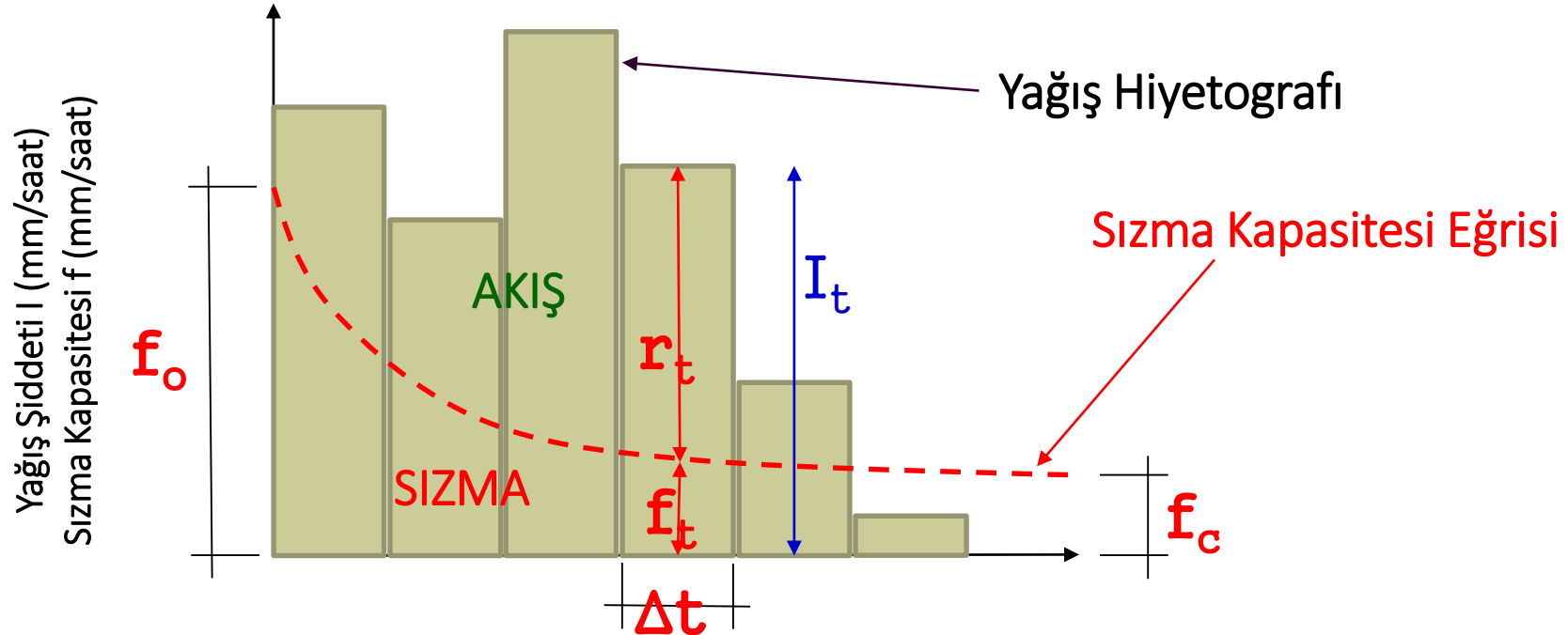
# Sızma Kapasitesi

Uygun yağış koşulları altında, belli özelliklere sahip bir zeminden birim sürede sızabilen maksimum su miktarına o zeminin sızma kapasitesi denir. Yağışın sürekliliğinin devam etmesi durumunda zemin içindeki nemin giderek artması nedeniyle sızma kapasitesi (f) zamanla azalan bir özellik göstermektedir.

Yeterli şiddetteki bir yağış sonucu meydana gelen sızma değerlerinin zamana göre değişimine standart sızma eğrisi denir. Horton bu eğriyi;

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}; i_t \geq f_c$$

şeklinde vermiştir. Bu bağıntıdaki  $f_0$ : başlangıçtaki maksimum sızma kapasitesini,  $f_c$ : sızma kapasitesinin alt sınır (limit) değerini, k: ise geometrik azalma katsayısını göstermektedir.



# Sızma Kapasitesinin Tahmini

Sızma hızı, standart sızma eğrilerini veren denklemler ile hesaplanır. Bunlardan en bilineni Horton denklemidir. Denklemdaki  $f_0$ ,  $f_c$  ve  $k$  zemine ve bitki örtüsüne bağlıdır.

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t}$$

Yağış başlangıcından itibaren geçen zaman

Başlangıç anındaki sızma kapasitesi

Bir sabit

Zamanın bir fonksiyonu olarak sızma kapasitesi

Nihai sızma kapasitesi

# Sızma Kapasitesinin Tahmini

$$f(t) = f_c + C_1 \cdot C_2 \cdot (S_a(t))^{1,4}$$

Nihai sızma kapasitesi

Zemin yüzey özellikleri katsayısı

Bitki örtüsü katsayısı

Zamanın bir fonksiyonu olarak sızma kapasitesi

Zamanın bir fonksiyonu olarak sızma kapasitesi

Bitki örtüsü katsayısı

Zamanın bir fonksiyonu olarak yüzey altındaki biriktirme kapasitesi. Nihai sızma kapasitesi ile sızma kapasitesinin farkı ile orantılı olduğu kabul edilmektedir.

# Sızma Kapasitesinin Tahmini

**Philip equation:**

Sağanağın başlangıcındaki zemin yüzey koşulları ve neme bağlı olan bir

$$f(t) = f_c + \frac{S}{2 \cdot \sqrt{t}}$$

Nihai sızma kapasitesi

katsayı

Zamanın fonksiyonu olarak sızma kapasitesi

- Etkin hidrolik iletkenlik doymun olmayan zeminin hidrolik iletkenliğidir.

$$S = \sqrt{2 \cdot (P - \theta_i) \cdot K \cdot h_c}$$

Gözeneklilik Doymunluk Etkin hidrolik iletkenlik Kapiler yük

- Nihai sızma kapasitesi, doymun koşullardaki hidrolik iletkenliğe eşit alınabilir.

# Sızan Suyun Yüksekliğinin Hesaplanması

Horton denkleminin zamana göre tümlevi (integrali) alınarak, sızan suyun yüksekliği bulunabilir.

Zamanın bir fonksiyonu  
olarak sızan suyun  
yüksekliği

$$F(t) = \int_0^t f(t) \cdot dt = \int_0^t \left( f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t} \right) \cdot dt$$

$$= f_c \cdot t + \left( \frac{f_0 - f_c}{k} \right) \cdot \left( 1 - e^{-k \cdot t} \right)$$

$F_c$  alanı

# Sızan Suyun Yüksekliğinin Hesaplanması

## Philip denklemi için

Zamanın bir  
fonksiyonu olarak  
sızan suyun  
yükseklği

$$\overbrace{F(t)} = \int_0^t f(t) \cdot dt = \int_0^t f_c + \frac{S}{2 \cdot \sqrt{t}} \cdot dt =$$
$$f_c \cdot t + S \cdot \sqrt{t}$$

# Sızma Kapasitesinin Ölçülmesi

Doğal bir arazide sızma kapasitesi bir noktadan diğerine çok büyük değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle havzayı yada araziyi temsil edebilecek temsili noktalarda «**infiltrometre**» denen aygıtlarla ortalama sızma eğrisi çıkartılabilir. İnfiltrometreler sabit bir su yükü altında zeminin sızma kapasitesinin ölçülebilen halka şeklindeki sızdırma borularıdır.

$\Delta V$ : Seviyeyi sabit tutulan su miktarı  
 $\Delta t$ : Su ekleme süresi  
 $A$ : infiltrometrenin alanı

$$f_t \left( \frac{\text{mm}}{\text{saat}} \right) = \frac{\Delta V / A}{\Delta t}$$

Zemin cinsi	Sızma kapasitesi (mm/saat)	İnfiltrasyon sınıfı
Kil, silt	< 1	Çok az
Killi silt	1 - 5	Az
Kumlu silt	5 - 20	Az-orta arası
İnce kum	20 - 63	Orta
Orta-iri kum	63 - 127	Orta-yüksek arası
İri kum-ince çakıl	127 - 254	Yüksek
İri çakıl	> 254	Çok yüksek



Çift Halkalı İnfiltrometre



Tek Halkalı İnfiltrometre

# Sızma Hızı (Gerçek Sızma)

Herhangi bir yağış sırasında (sızma kapasitesinden büyük yada küçük şiddette) zeminden gerçek anlamda birim zamanda süzülen su miktarına «sızma hızı» denir.  $\Delta t$  zaman aralığında ortalama yağış şiddeti  $I_t$ , sızma kapasitesi  $f_t$  olmak üzere, ortalama sızma hızı ( $s_t$ );

$$I_t \geq f_t \text{ ise } s_t = f_t$$

$$I_t < f_t \text{ ise } s_t = I_t$$

Sözkonusu  $\Delta t$  süresindeki yüzeysel akış  $r_t$  hızı ise;

$$I_t \geq f_t \text{ ise } s_t = f_t, \quad r_t = I_t - f_t$$

$r_t = 0$  şeklinde hesaplanabilir. 1

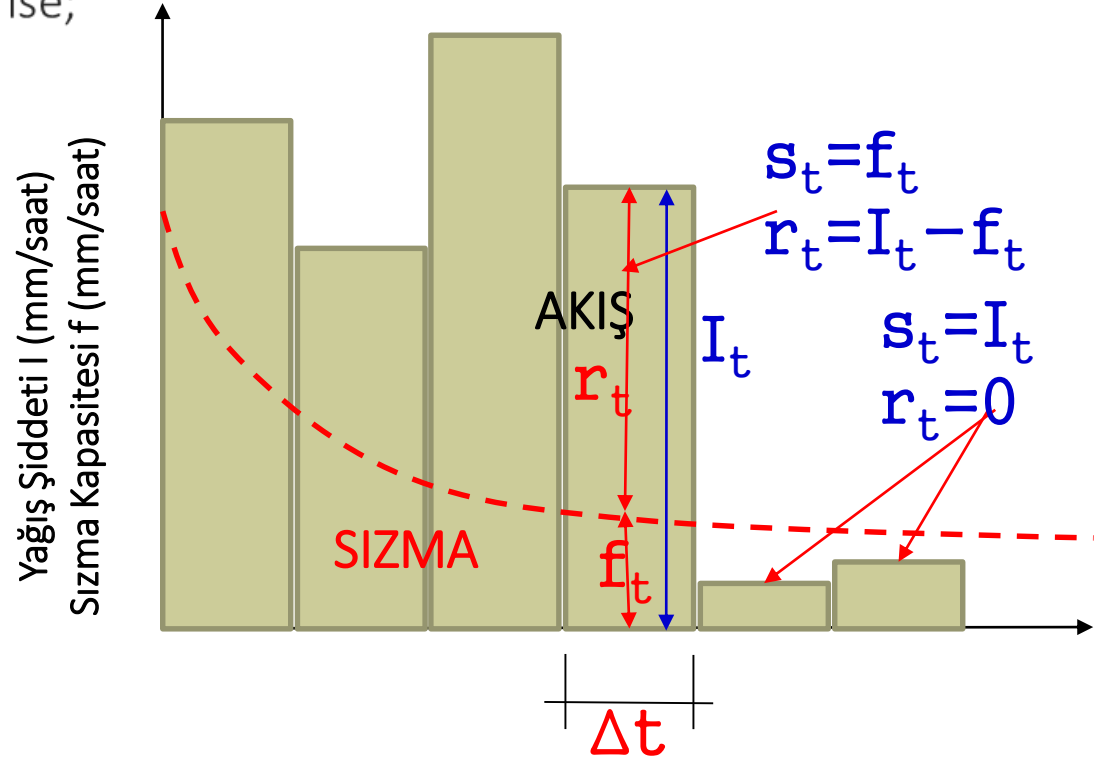
$t_y$  yağış süresince  $n=t_y/\Delta t$  olmak üzere;

Gerçek sızma yüksekliği

$$S(mm) = \sum_{i=1}^n s_t \Delta t$$

Toplam Yüzeysel Akış

$$R(mm) = \sum_{i=1}^n r_t \Delta t$$



# Sızma Hızı

- Yağış sırasında birim zamanda zemine gerçekten giren su miktarıdır.
- Yağış şiddeti, sızma kapasitesinden düşükse yağış şiddetine eşit olur.
- Yağış şiddeti, sızma kapasitesine eşit ya da daha yüksekse sızma kapasitesine eşit olur.

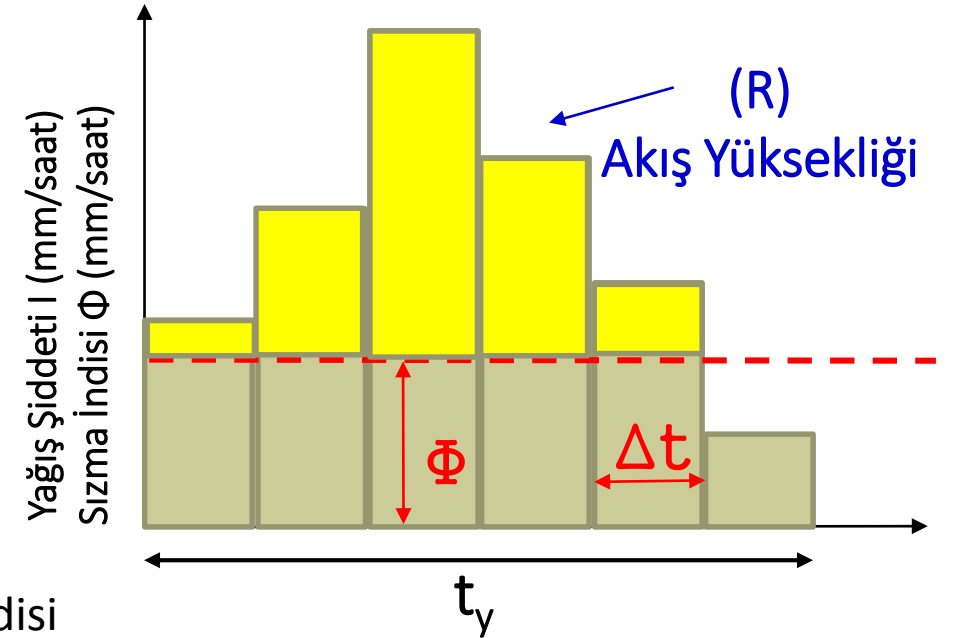
# Sızma İndisleri

Büyük havzalarda standart sızma eğrisinin yeter doğrulukta tanımlanamaması nedeniyle, yağış süresince sabit kaldığı varsayılan ortalama bir sızma hızı (sızma indisi) kullanılmaktadır. Sızma indisleri havzanın sulak dönemlerinde ve yeterli uzun süreli yağışlarda gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Uygulamada sıkça kullanılan 2 çeşit sızma indisi vardır. Bunlar  $\Phi$  ve  $W$  indisleridir.

## $\Phi$ indisi

Bir akarsu havzasının yağış alanı  $A$  ( $\text{km}^2$ ), üzerine düşen  $t_y$  süreli yağışın hyetografı ve yağış süresince gözlemlenen akış hacmi  $V$  ( $\text{m}^3$ ) biliniyorsa. Yağışın ( $P$ , mm) akışa geçen kısmı ( $R$ , mm) hesaplanabilir. Bunun için hyetografı kesen öyle bir doğru çizilmelidir ki bu doğrunun üzerinde kalan hyetograf alanı  $R$  akış yüksekliğini versin. İşte bu doğrunun yükseklik değeri havzanın  $\Phi$  indisi dir.

$$R(\text{mm}) = \frac{V(10^6 \text{ m}^3)}{A(10^6 \text{ m}^2)} 10^3$$



## $W$ indisi

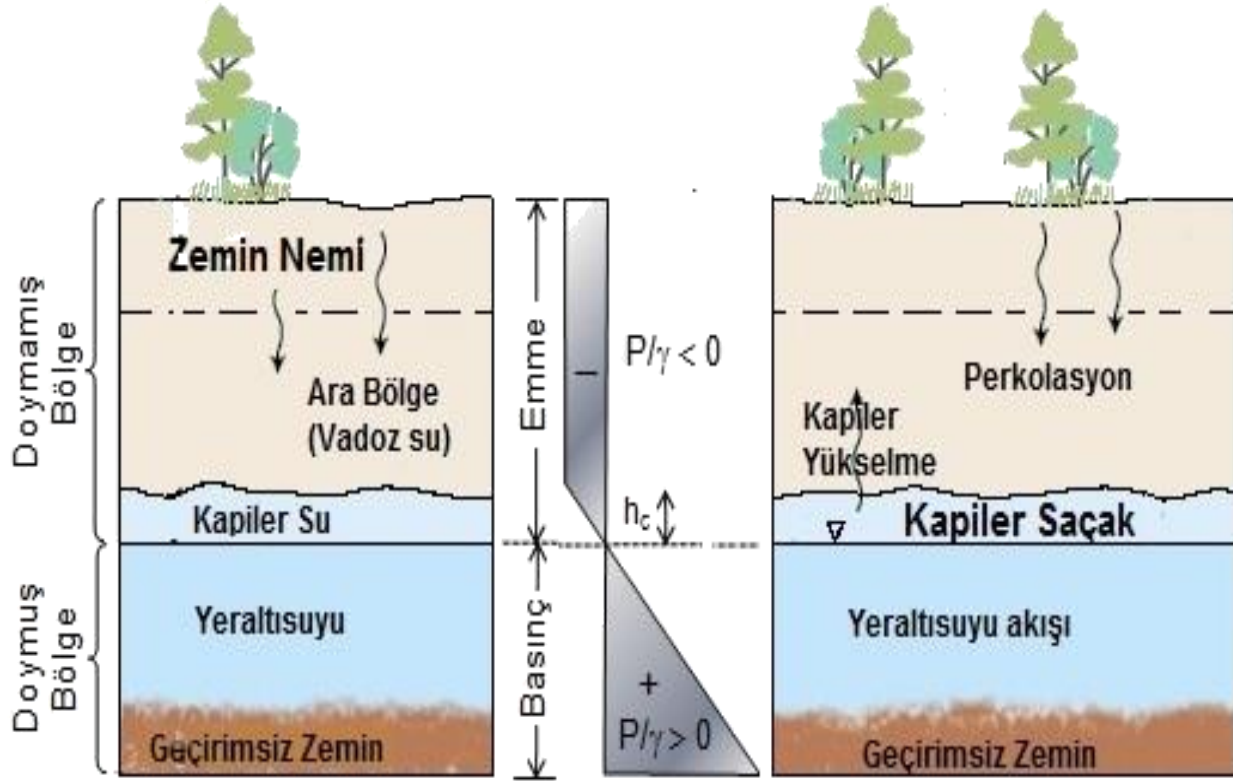
Yağış süresince sızma dışındaki diğer kayıplar  $S_d$  (tutma, depolama, evapotranspirasyon, gibi) da dikkate alınarak hesaplanan  $W$  indisi doğal olarak  $\Phi$  indisinden daha küçüktür.

$$W = (P - R - S_d)/t_y$$

$$S_d \sim 10 \sim 50 \text{ mm}$$

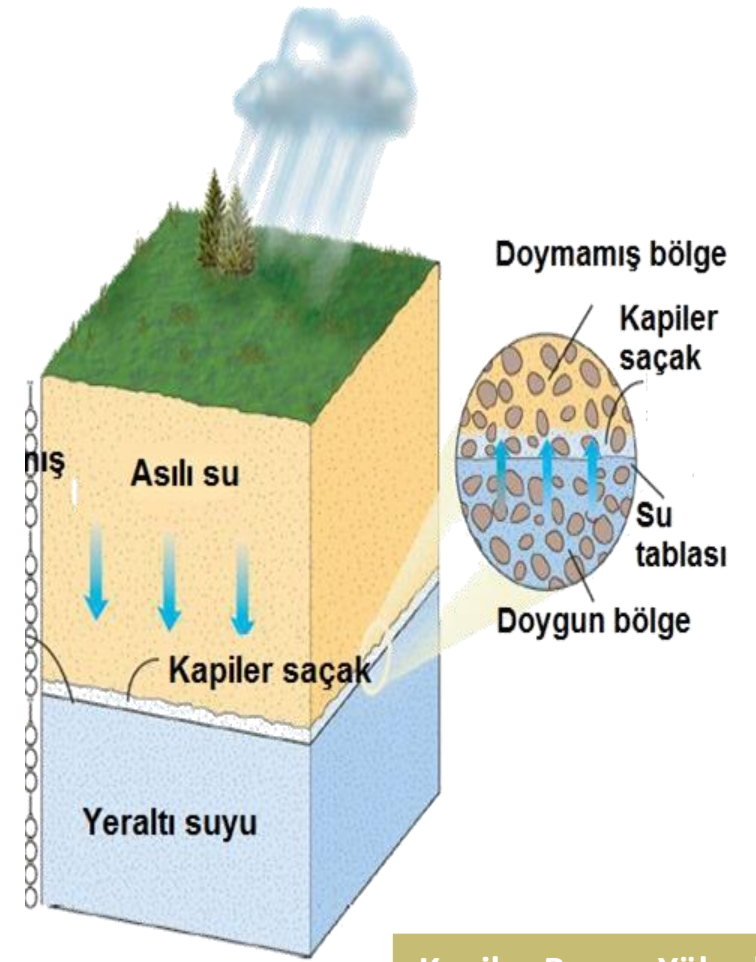


# ZEMİN NEMİ



# ÖNEMİ

Mühendislik Uygulamaları
Sulama Drenaj Zemin Mekaniği Temel İnşaatı
Su Temini Suni Beslenme

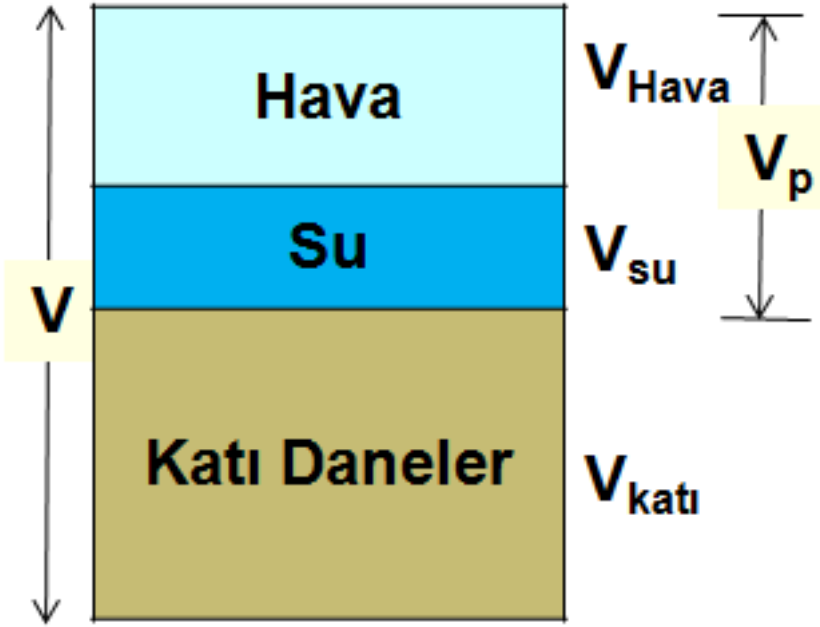


Doymamış bölgenin üst bölümünü oluşturan zemin nemi bölgesindeki su fazlalığı **perkolasyon (derine sızma)** yoluyla, **yerçekimi kuvvetlerinin** etkisiyle daha derindeki katmanlara ilerler. Uzun süreli ve şiddetli yağışlar sonucunda ortaya çıkan bu olay yeraltı suyunun beslenmesini sağlar. Kurak dönemlerde ise, suya doymuş tabakanın hemen üzerindeki bölgede (**kapiler bölge**) **kılcal yükselme** yoluyla yukarıya doğru su transferi olur.

## Kapiler Basınç Yükseklikleri

Zemin Cinsi	$h_c$ (cm)
Silt	10 – 20
İnce kum	4
Orta kum	2,5
İri kum	1,5
Çakıl	0,25

# TEMEL KAVRAMLAR



Porozite:

$$p = \frac{V_p}{V} = \frac{(V_{hava} + V_{su})}{V}$$

Boşluk Oranı:

$$e = \frac{V_p}{V_{katı}} = \frac{p}{(1-p)}$$

Birim Hacim Ağırlıkları

Dane Birim Hacim Ağırlığı:

$$\gamma_d = \frac{W_{katı}}{V_{katı}}$$

Kuru Birim Hacim Ağırlığı:

$$\gamma_k = \frac{W_{katı}}{V} = (1-p)\gamma_d, \quad \gamma_k < \gamma_d$$

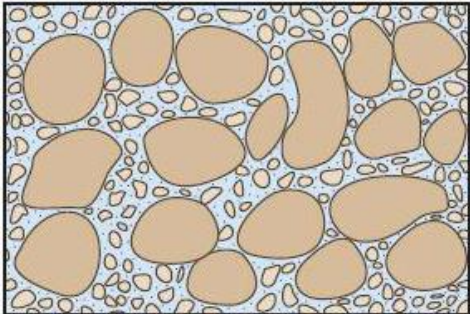
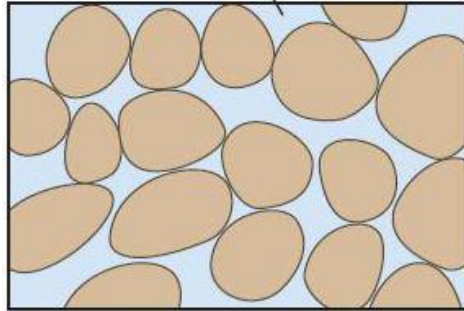
Suya Doymun Birim Hacim Ağırlığı:

$$\gamma_s = \frac{(W_{katı} + V_p \gamma_{su})}{V}$$

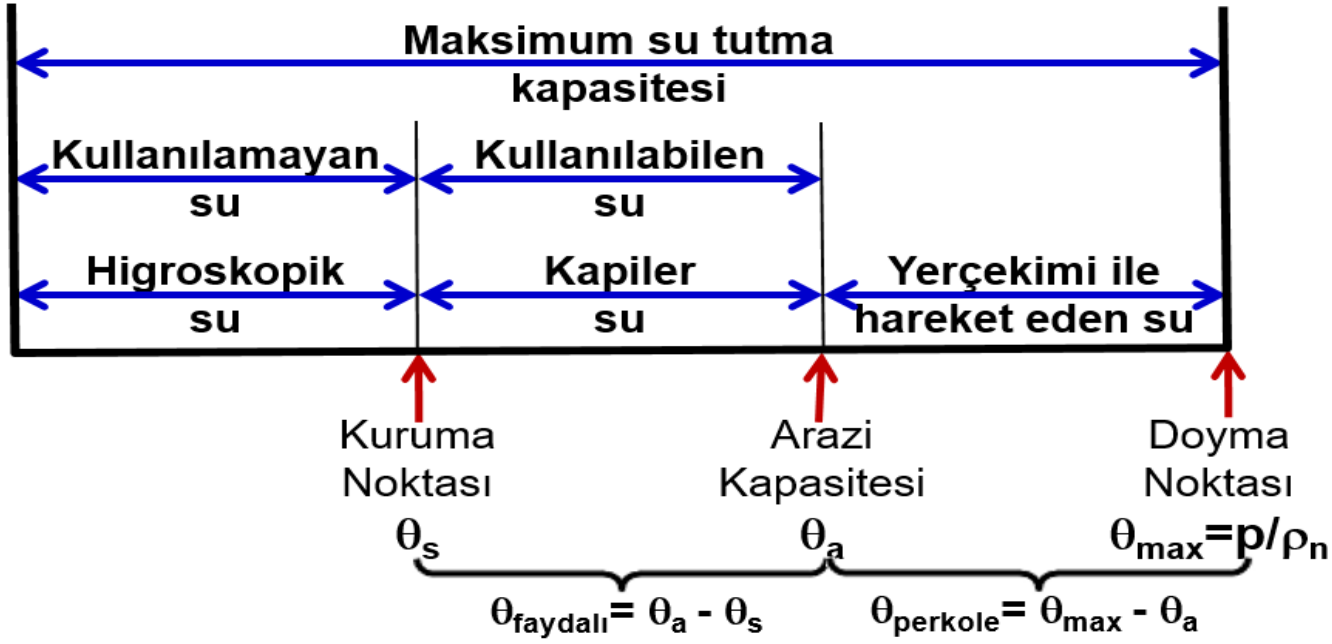
$$\gamma_s = \gamma_k + p \gamma_{su}$$

Hacimsel Yoğunluk:

$$\rho_n = \frac{\gamma_k}{\gamma_{su}}$$



# TEMEL KAVRAMLAR



Arazi kap. ve solma noktaları (kuru zemin ağı. Yüzdesi)			
Zemin Cinsi	Arazi Kap.	Solma Nok.	Faydalı su, %
Kum	6 – 12	2 – 6	4 – 6
Kumlu lem	10 – 18	4 – 8	6 – 10
Lem	18 – 26	8 – 12	10 – 14
Killi lem	23 – 31	11 – 15	10 – 14
Siltli kil	27 – 35	13 – 17	14 – 18
Kil	31 – 39	15 – 19	16 – 20

Arazi (Tarla) kapasitesi:

$$\theta_a = \frac{W_a}{W_{katı}}$$

Solma noktası:

$$\theta_s = \frac{W_s}{W_{katı}}$$

Perkolasyonla derine (yeraltısuyuna) sızan su:

$$\theta_{per} = \theta_{max} - \theta_a$$

Bitkilere faydalı su:

$$\theta_{fay} = \theta_a - \theta_s$$

Kuru birim hacim ağırlığa göre nem oranı:

$$\theta = \frac{W_{su}}{W_{katı}}$$

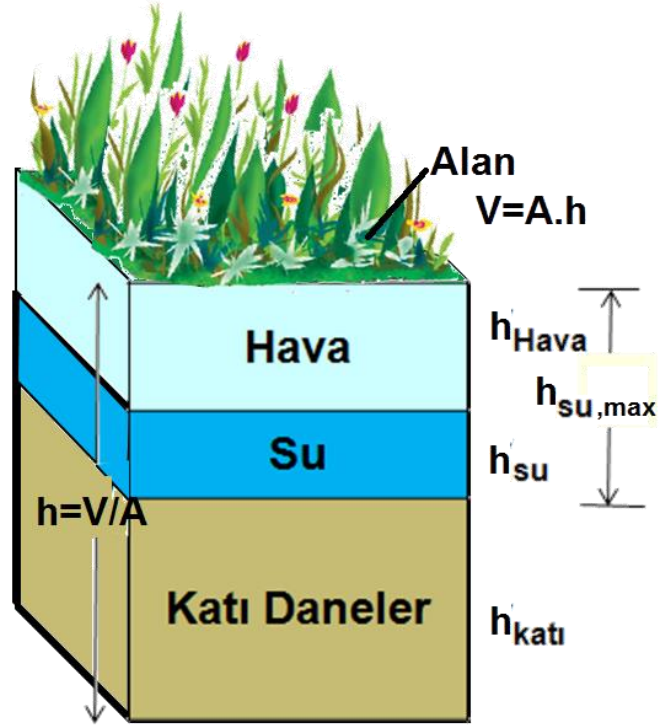
Maksimum su tutma oranı:

$$\theta_{max} = \frac{W_{su,max}}{W_{katı}}$$

$$= \frac{(p V \gamma_{su})}{(V \gamma_k)} = p \left( \frac{\gamma_{su}}{\gamma_k} \right) = \frac{p}{\rho_n}$$

# TEMEL KAVRAMLAR

## Nemin Eşdeğer Su Yükseklikleri



**Doygun Halde Eşdeğer Su Yüksekliği:**

$h$  yüksekliğindeki bir zemin tabakasında;

$$p = \frac{V_{su,max}}{V} = \frac{h_{su,max}}{h}$$

$$h_{su,max} = \theta_{max} h \rho_n$$

$$V_p = V_{su,max}$$

$$= \left( \frac{p}{\rho_n} \right) h \rho_n = ph$$

**Nem oranı  $\theta$  olan bir Zeminde eşdeğer su yüksekliği:**

$$h_\theta = \theta h \left( \frac{\gamma_k}{\gamma_{su}} \right) = \theta h \rho_n$$

**Perkolasyonla derine (yeraltısuyuna) sızan suyun eşdeğer yüksekliği:**

$$h_{per} = ph - \theta_a h \rho_n = h (p - \theta_a \rho_n) = h_{su,max} - h_a$$

**Bitkilere faydalı suyun eşdeğer yüksekliği:**

$$h_{fay} = (\theta_a - \theta_s) h \rho_n = h_a - h_s$$

# TEMEL KAVRAMLAR

## Özgül Verim (Efektif Porozite) ( $p_e$ ):

Doygun haldeki bir zeminden perkolasyon yoluyla yeraltısuyuna sızabilen su hacminin ( $V_{per}$ ) toplam hacime ( $V$ ) oranıdır. Yeraltısuyu akiferinin beslenme potansiyeli açısından önemli olup **zeminin dane çapı dağılımına bağlıdır.**

$$p_e = \frac{V_{per}}{V}, \quad p_e < p$$

## Özgül Tutma ( $t_1$ ):

$$t_1 = \frac{V_{kapiler}}{V}$$

Zemin boşluklarında, kapiler kuvvetlerle tutulan ve zemin nemi olarak kalan su hacminin toplam hacime oranıdır. Özgül veri ile özgül tutmanın toplamı poroziteye eşittir.

$$p = p_e + t_1$$

