

# 10. KONSOLIDASYON

# Konsolidasyon

$\sigma'$  gerilmedeki artış  $\uparrow$  zeminin boşluk oranında  $e$  azalma ve deformasyon yaratır (gözeneklerden su dışarı çıkar).

$\sigma'$  nasıl artar?

- 1. Yeraltısuyu seviyesi düşer**
- 2. Zemine yük uygulanır**

# Toprak Seviyesinin Oturması

**Oturma** toprak zemin seviyesine (veya üst yüzeyine yakın bir seviyeden) uygulanan yüke bağlı olarak toprak zeminin seviyesinin sıkışması olarak tanımlanır.

Toplam oturma üç bileşenden oluşur.

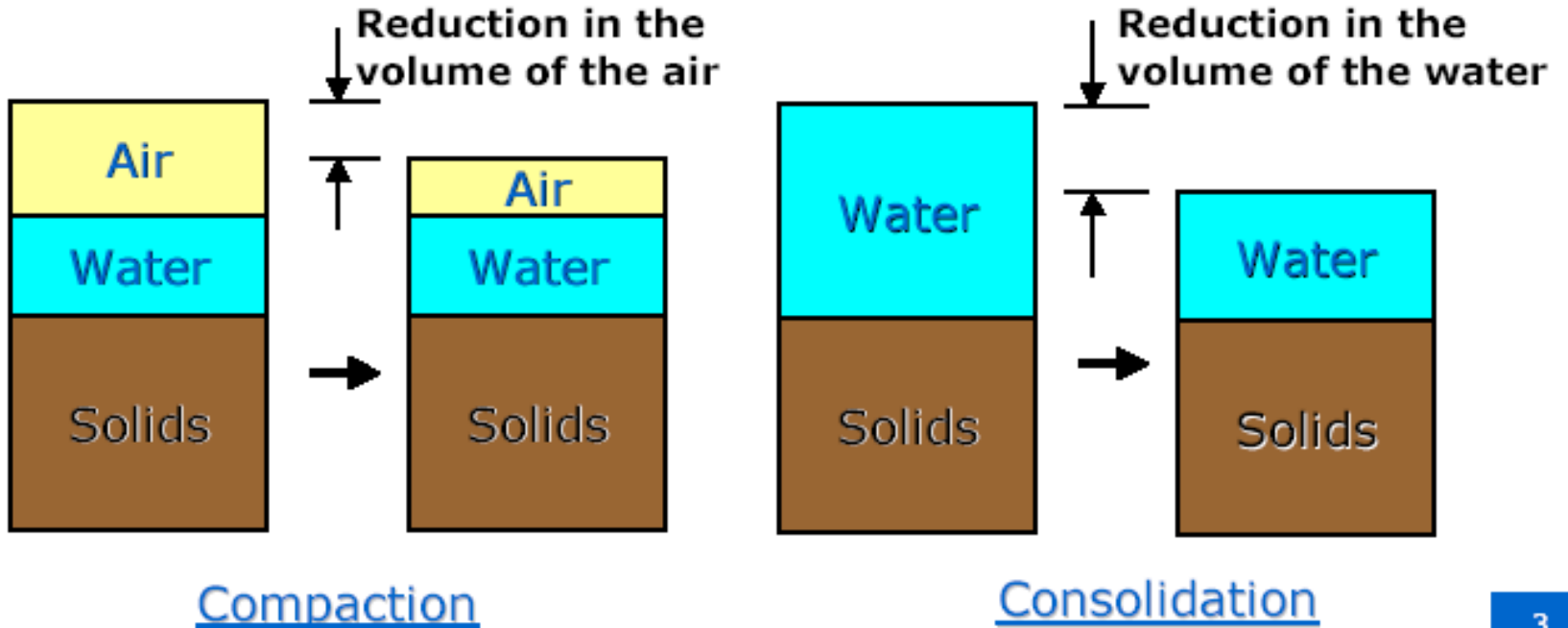
1. Ani veya elastik oturma
2. İlksel (primary) konsolidasyon
3. İkincil (secondary) konsolidasyon

Ani veya elastik oturma elastisite teorisi (zeminin elastisite modülü) kullanılarak hesaplanır.

# Konsolidasyon nedir?

Konsolidasyon sıklıkla kompaksiyon ile karıştırılan bir zemin davranışıdır.

Konsolidasyon ile kompaksiyon arasındaki farkı, faz diyagramları ile aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.



- *Kompaksiyon*: Boşluk hacminin azalması, yoğunluğun artması, hava çıkışı
- *Konsolidasyon*: Zaman (t) faktörünü de içinde barındıran ve boşluklardaki suyun bir yük altında dışarı atılması
- Çoğunlukla → İnce taneli topraklar → kil, silt
- İri taneli → Kum, çakıl → Konsolidasyona maruz kalabilirler. Ancak, yüksek geçirimsizlikleri nedeniyle çok daha hızlı bir süreç söz konusudur.
- Doygun killer → Konsolidasyon süresi ÇOK YAVAŞ → Düşük geçirimsizlikten dolayı.

# KONSOLIDASYON TEORİSİ

- *Konsolidasyon Teorisi*

- Toprağın konsolidasyon sürecindeki davranışını,
- Konsolidasyondan kaynaklanan oturmaların büyüklük ve hızı hakkında bilgi edinilmesini sağlar.

- Varsayımlar:

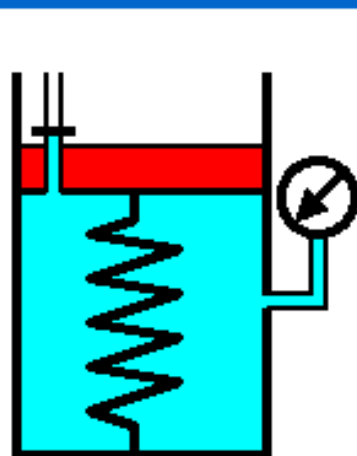
- Zemin suyu doygun
- Drenaj düşey yönde
- Zeminin yatay yönde genişlemediği



Farklı oturmalar → ÇOK ÖNEMLİ BİR SORUN →  
Ekonomik maliyet artışı

- Su → Doygun toprak kütlesi içinde → Her yönde hareket edebilir. Bu nedenle, temelde konsolidasyon → 3 boyutlu ele alınması gereken bir süreç.
- Bununla birlikte, topraktaki yanıl devamlılığın yüksek olması nedeniyle, yanıl yönde suyun drene olması → ZOR
- Bu nedenle, suyun hareket yönünün düşey yönde ve 1 boyutlu olduğu, dolayısıyla oturmanın da düşey yönde olduğu kabul edilir.

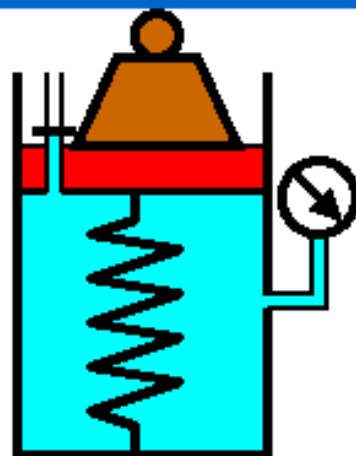
# 1-D Consolidation – The Spring Analogy



Initial Condition

Valve Closed  
No loading on  
the piston

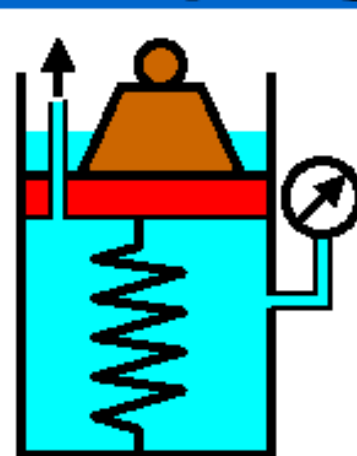
Pressure gauge  
at zero



Time  $t = 0$

Valve Closed  
Loading on  
the piston

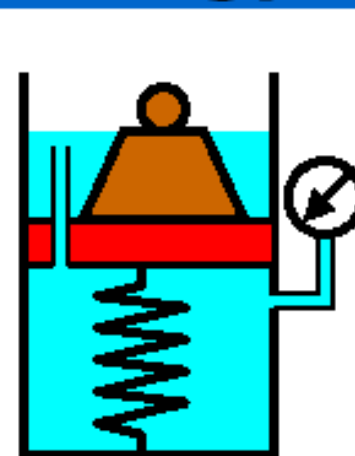
Pressure gauge  
at maximum



Time  $t = t_1$

Valve Open  
Water flows out  
Pressure reading  
drops

Spring takes  
some load and  
compresses;  
piston sinks



Time  $t = t_{\text{final}}$

Valve Open  
No water flow  
Pressure gauge  
at zero

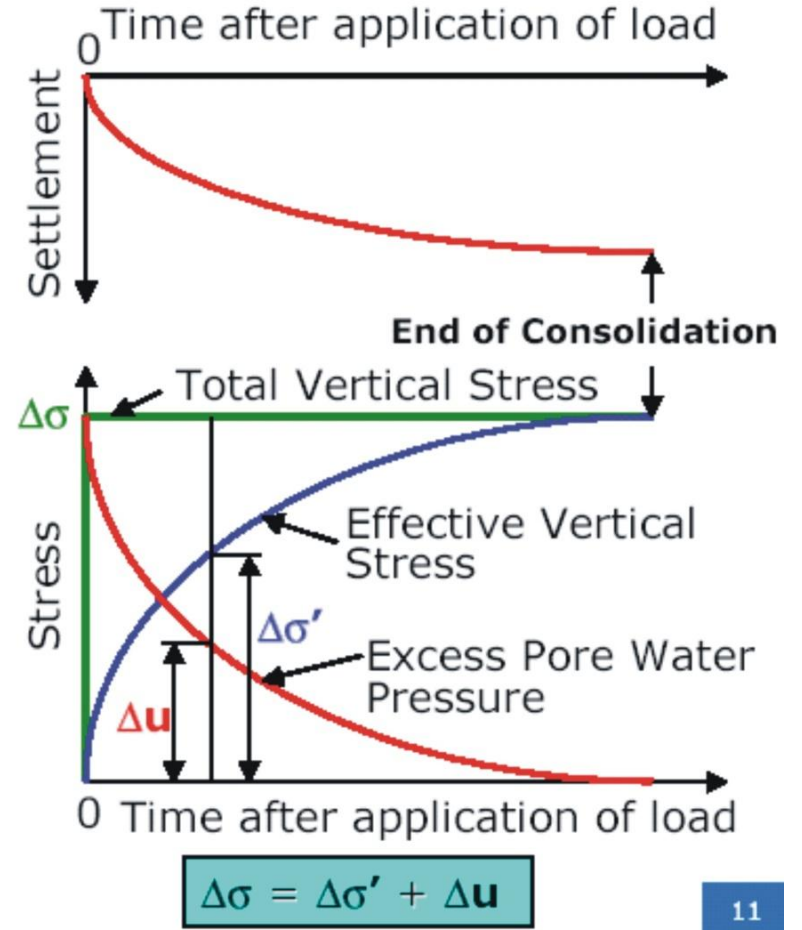
Spring takes all  
the load;  
maximum  
compression



- *Yaydaki Davranış* → Toprak davranışı olarak kabul edilirse; daha sıkı yay (toprak), daha az sıkışma
- *Sıkılık (stiffness)* → Konsolidasyondan kaynaklanan oturmanın büyüklüğünü etkileyecektir.
- Düzenekteki kapağın açılması, toprakta suyun drene olmasına (toprağın geçirimsizliğine) benzetilebilir.
- Kapak açıklığı ne kadar küçükse (toprak geçirimsizliği) suyun dışarı atılması o kadar yavaş → İnce taneli toprakların konsolidasyon süreci → UZUN ZAMAN alıyor.
- GEÇİRİMLİLİK → Hız ile ilişkili.

- ***OEDOMETRE*** deneyi, ince taneli toprakların 1 boyutlu konsolidasyon davranışının belirlenmesinde kullanılan bir deneydir.
- 20 mm yükseklikte ve 75 mm çapında örselenmemiş bir toprak örneği, düşey yönde etkiyen yük(lere) tabi tutulur.
- Poroz taşlar kullanılarak (örneğin üst ve alt kesimlerinde) iki yönde drenaj sağlanabilir.

- Yük uygulandıktan bir süre sonra, su boşluklardan dışarı çıkmaya başlayacaktır.
- Bu durum, gözenek suyu basıncında ve boşluk oranında azalmaya, etkin gerilmede ise artışa neden olacaktır.

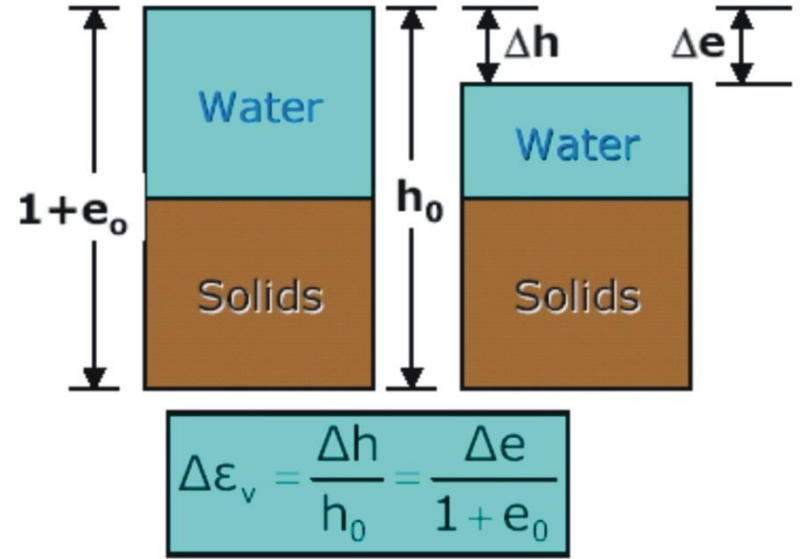


- Uygulanan yükte artışa gidilerek  $\longrightarrow$  (çoğunlukla 2 kat artırılarak) deneye devam edilir.

Örn: 50 kPa  $\longrightarrow$  100 kPa  $\longrightarrow$  200 kPa

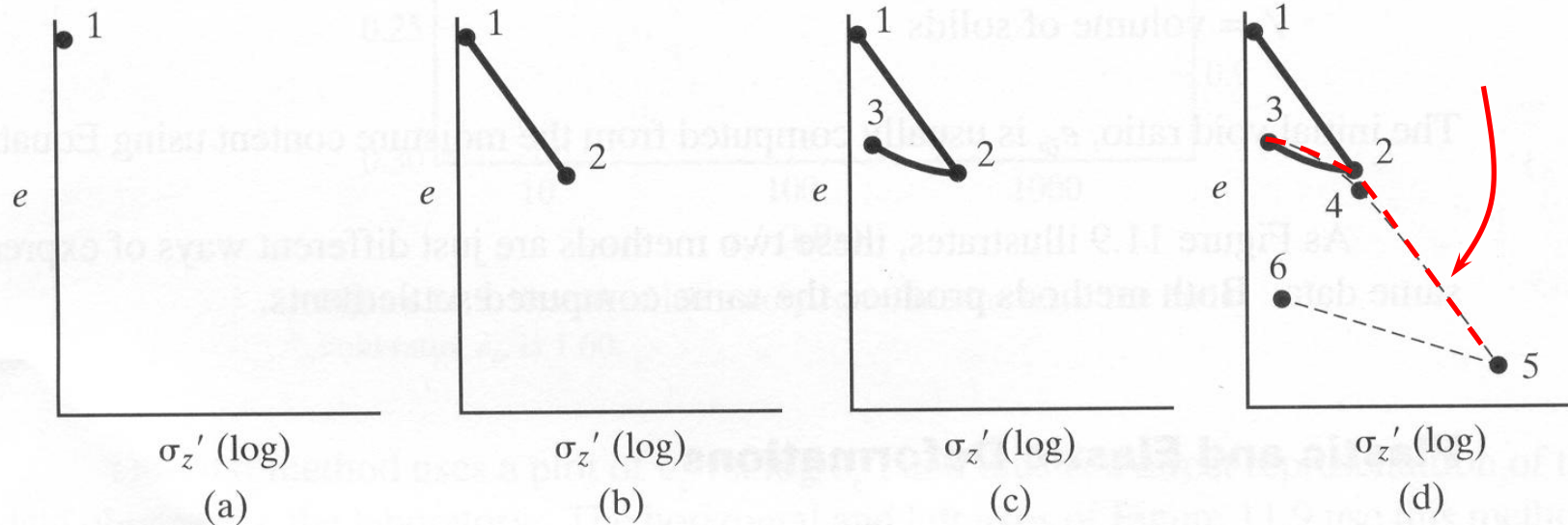
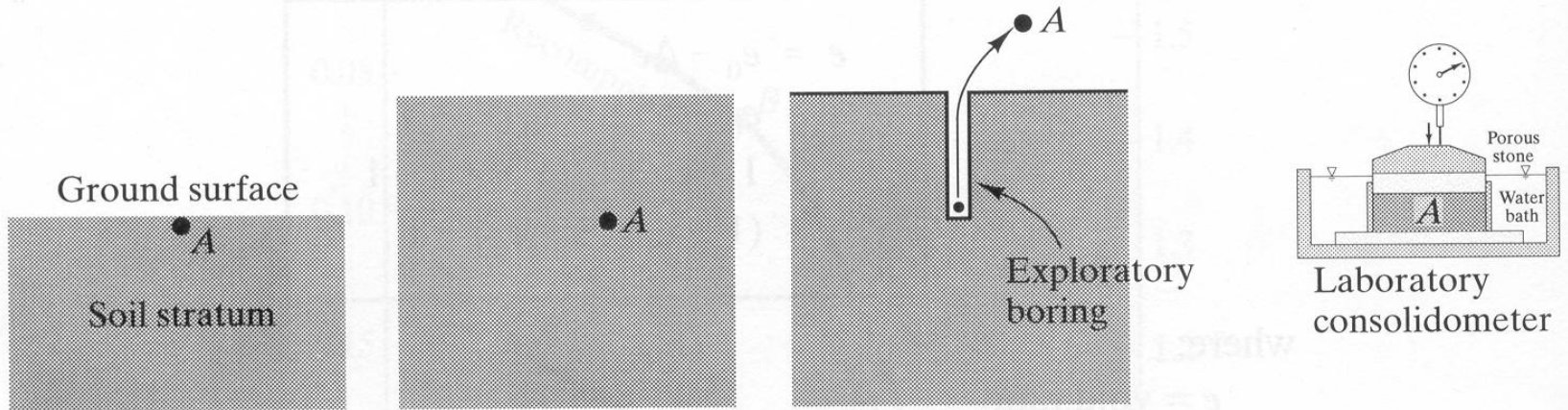
- Her bir yükleme sonucu oluşan oturma miktarı ve zaman değerleri kaydedilir.

- Topraktaki oturma, boşluk oranındaki değişimle ilgili
- Düşey yöndeki yer değiştirme (örneğin yüksekliğindeki kısalma), boşluk oranındaki değişimlerle ifade edilebilir.



- Eşitlikte  $\longrightarrow$   $\Delta e$ : yükteki artışa bağlı olarak gelişen boşluk oranındaki değişim;  $e_0$ : yüklemmeden önceki boşluk oranı

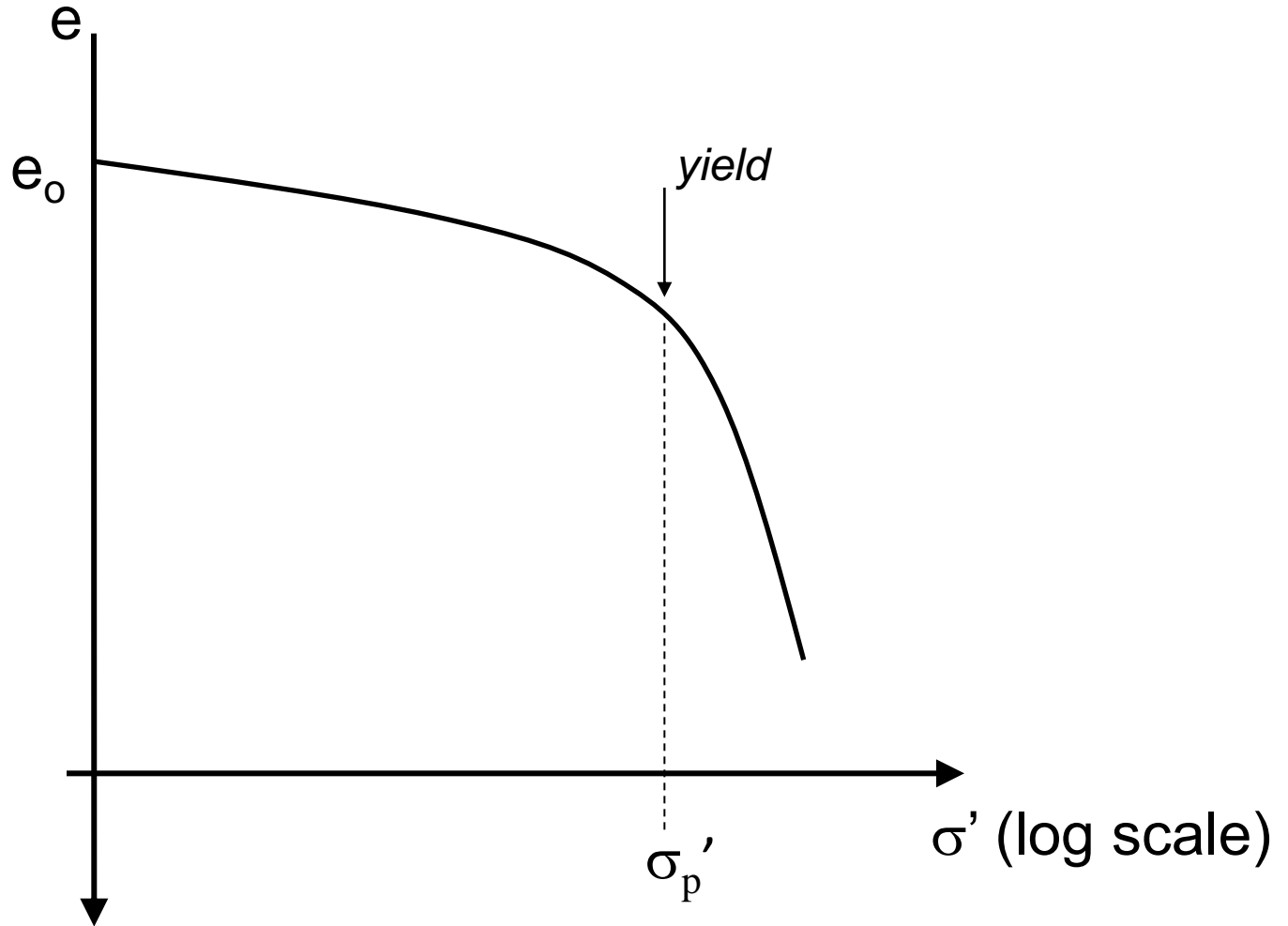
# Field vs. Lab



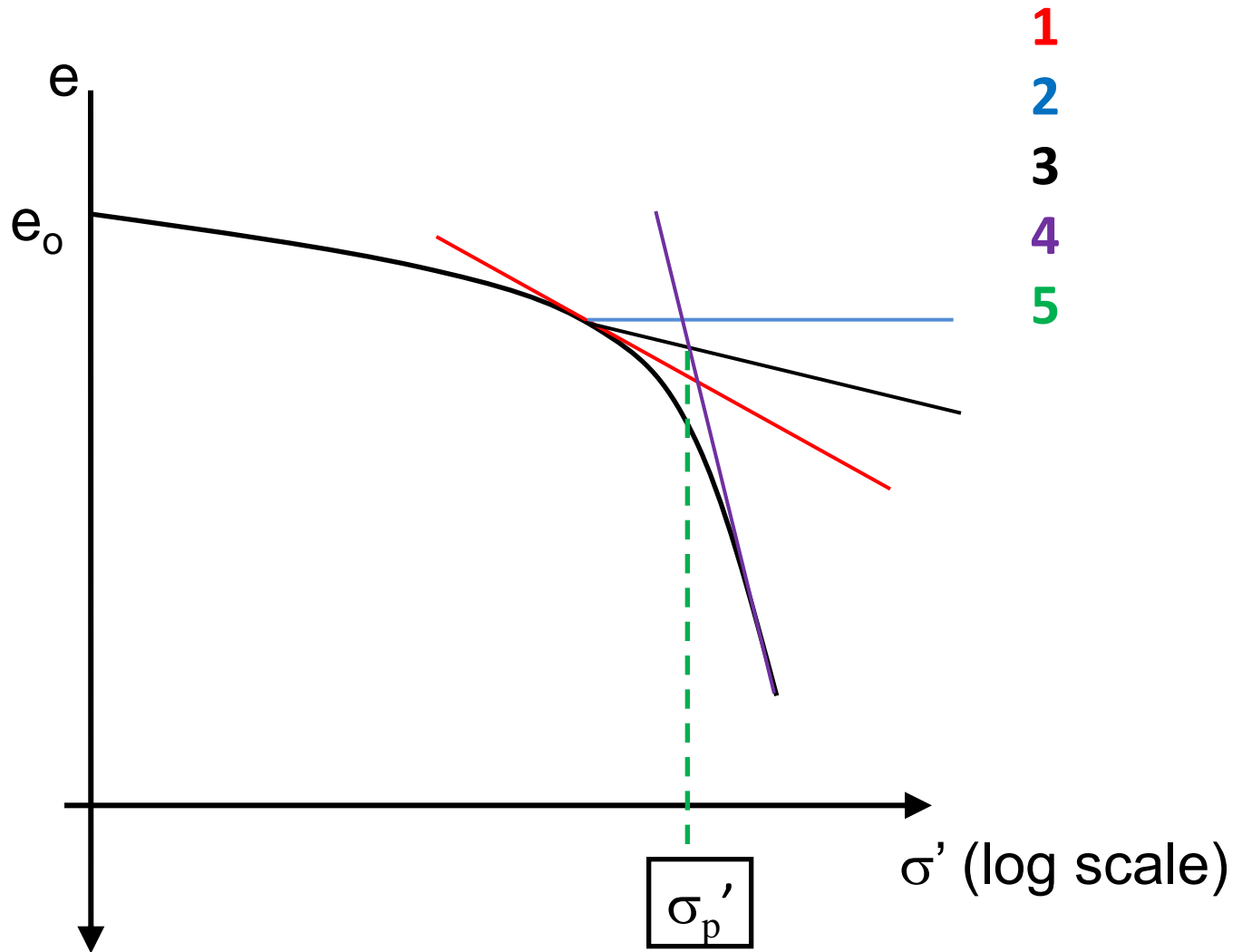
**Figure 11.11** Soil profile and consolidation history for an element of soil.

*From Coduto 1998 (text)*

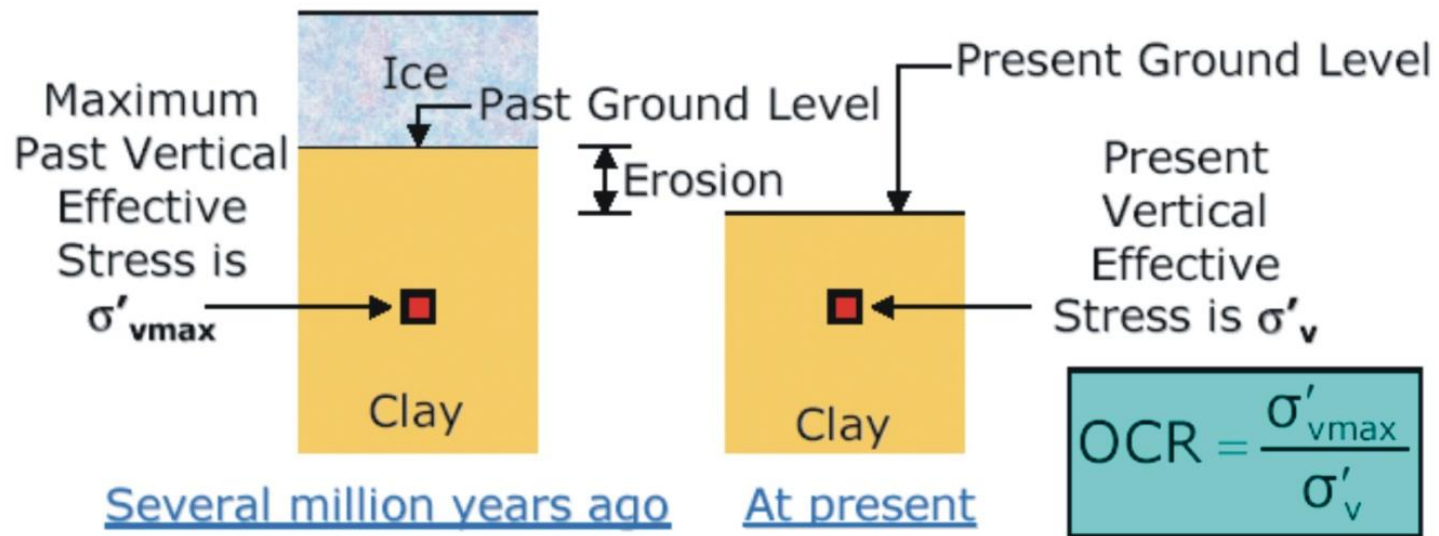
# Konsolidasyon Eğrisi



# Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi







- OCR, geçmişte toprağın maruz kaldığı en yüksek etkin gerilmenin, güncel etkin gerilmeye oranı olarak tanımlanabilir.
- En yüksek geçmiş etkin gerilme  $\longrightarrow$  ÖN KONSOLIDASYON BASINCI ( $\sigma'_c$ ) olarak da bilinir.

# Normal Konsolide (NC)-Aşırı Konsolide killer (OC)

- Güncel etkin gerilmeler yüksek bir etkin gerilmeye maruz kalmamış killer → NORMAL KONSOLİDE killer (NC)
- NC →  $OCR=1$
- NC → düşük makaslama dayanımı
- OC → Geçmişte, bugünkü etkin gerilmeden yüksek etkin gerilmeye maruz kalmış killer (OC)
- OC →  $OCR>1$
- OC → Yüksek makaslama dayanımı
- $OCR<1$  olamaz

# (1) ESTIMATION OF SETTLEMENT

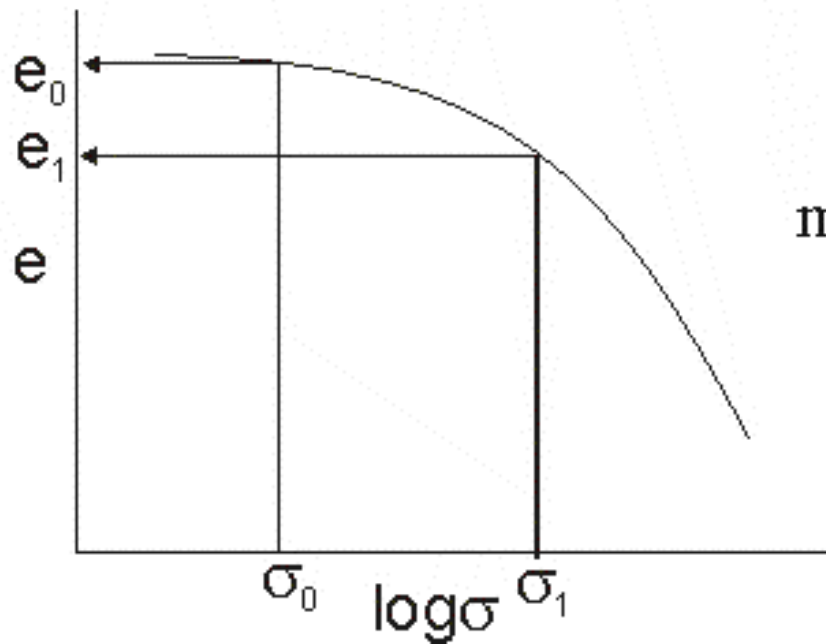
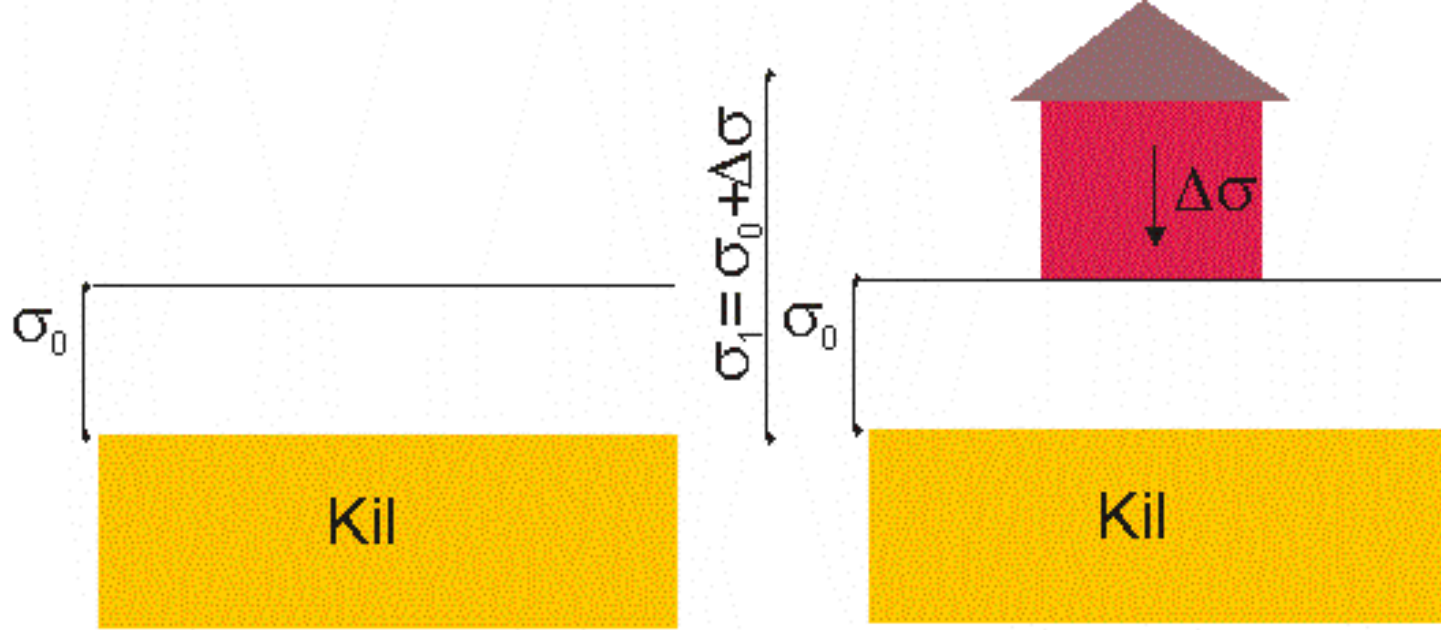
For any stress increment:

$$\Delta\varepsilon_v = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0}$$

- Coefficient of volume compressibility ( $m_v$ )

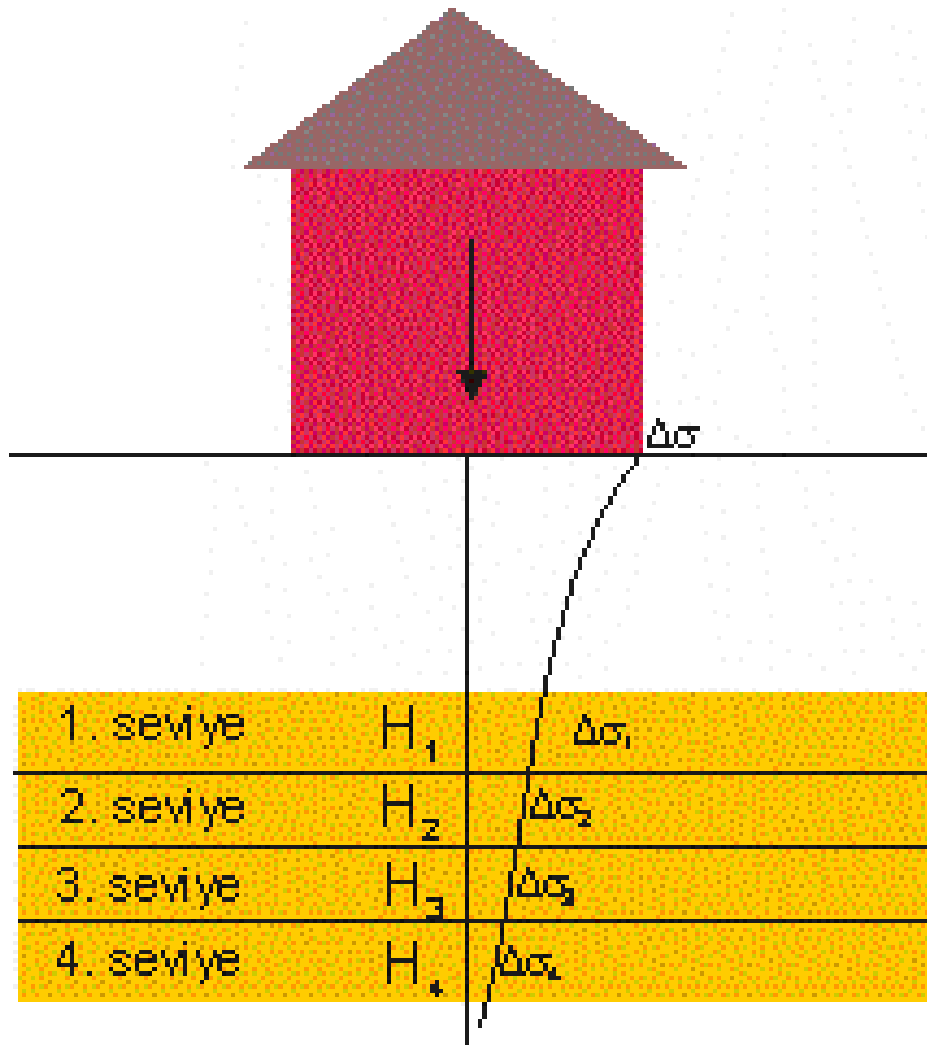
$$m_v = \frac{1}{1+e_0} \left( \frac{e_0 - e_1}{\sigma_1 - \sigma_0} \right)$$

$$S = m_v \Delta\sigma H$$



$$m_v = \frac{1}{1 + e_0} \left( \frac{e_0 - e_1}{\sigma_1 - \sigma_0} \right)$$

$$S = m_v \Delta\sigma H$$



|           |       |                  |
|-----------|-------|------------------|
| 1. seviye | $H_1$ | $\Delta\sigma_1$ |
| 2. seviye | $H_2$ | $\Delta\sigma_2$ |
| 3. seviye | $H_3$ | $\Delta\sigma_3$ |
| 4. seviye | $H_4$ | $\Delta\sigma_4$ |

$$S_1 = m_v \Delta\sigma_1 H_1$$

$$S_2 = m_v \Delta\sigma_2 H_2$$

$$S_3 = m_v \Delta\sigma_3 H_3$$

$$S_4 = m_v \Delta\sigma_4 H_4$$

**S**

# Temel Tasarımında

- **Hatırla:**

- İzin verilebilir taşıma kapasitesi
- Oturma miktarı
- MUTLAKA dikkate alınarak hesaplanmalı...

- ✓ Konsolidasyon Yüzdesi  $\rightarrow U$  (%)
- ✓ Zaman Faktörü ( $T_v$ )  $\rightarrow U$  (%) =  $f$  ( $T_v$ )
- ✓ Konsolidasyon yüzdesi, herhangi bir andaki konsolidasyon oturmasının, nihai oturmaya oranı olarak tanımlanır.

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{d^2}$$

- ✓ Burada,  $C_v$ : konsolidasyon katsayısı,  $t$  zaman,  $d$  ise drenaj uzunluğudur. Her iki yüzeyde geçirimli ise,  $d=H/2$ , tek yönde drenaj varsa  $d=H$  alınır.

## Hesaplamalar:

$$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1 + e_0}{H_0} \rightarrow e \times S = w \times G_s$$

$H_0$  → İlk kalınlık

$\Delta H$  → Boydaki değişim

$e_0$  →  $e_1 + \Delta e$

❖ Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı ( $M_v$ ) ( $\text{cm}^2/\text{kg}$ )

$$M_v = \frac{1}{1 + e_0} \left( \frac{e_0 - e_1}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \right) = \frac{1}{H_0} \left( \frac{H_0 - H_1}{\sigma'_1 - \sigma'_0} \right)$$

❖ Sıkışma indeksi ( $C_c$ ) =  $\frac{e_0 - e_1}{\log \frac{\sigma'_1}{\sigma'_0}}$  →  $e - \log P$  grafiğinin doğrusal kesiminin eğimi

❖  $C_c = 0.009 (LL-10)$



- Konsolidasyon Yüzdesi (U) =  $\frac{e_0 - e}{e_0 - e_1}$

$e_0$  : ilksel boşluk oranı;  $e$  : konsolidasyon sırasındaki boşluk oranı;  $e_1$  : deney sonundaki boşluk oranı

$$0 \leq U \leq 1$$

- Oturma  $\rightarrow S = Mv \cdot \Delta\sigma' \cdot H = \frac{Cc}{1 + e_0} \cdot H \cdot \log_{10} \frac{P_0 + \Delta P}{P_0}$

- Konsolidasyon Katsayısı ( $C_v$ ): İki yol ile bulunabilir.
  - Log Time (Casagrande)
  - Karekök Zaman yöntemi

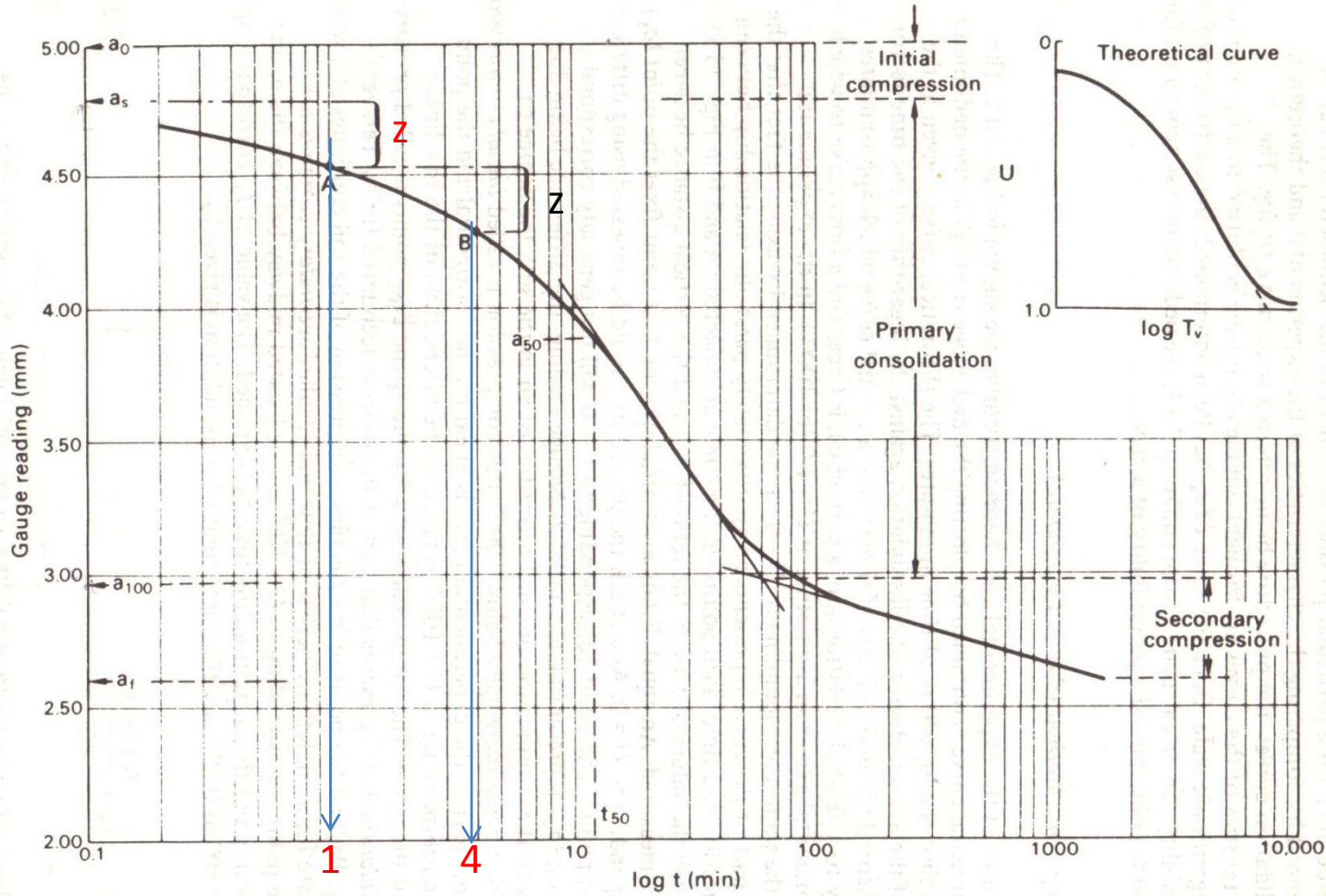
- Log Time  $\longrightarrow$   $U = \% 50$  ;  $T_v = 0.196$

$$C_v = \frac{0.196d^2}{t_{50}}$$

- Karekök zaman  $\longrightarrow$   $C_v = \frac{0.848d^2}{t_{90}}$

$$k = C_v \cdot M_v \cdot \gamma_w$$

- $k$ : permeabilite



## LOG (t)

- Eğri 3 kesimden oluşuyor
- Parabolik, doğrusal, eğrisel (x: asimptot)
- Seç: A ve B (4:1 zaman oranı)
- Belirle:z
- A'dan z kadar çık:  $a_s$ : (U=0)
- $a_s \neq a_0$  (doygun olmama, boşluk vs.) → Initial compression
- Eğrilerin doğrusal kesimlerin kesişimi →  $a_{100}$  (U=1)

- Primary consolidation
- Bu noktadan sonrası → Secondary consolidation
- U:0.5 →  $a_s$  ve  $a_{100}$  → orta nokta →  $t_{50}$



SORU:

| Zaman | Geçen Zaman | P (kPa)<br>$t^{1/2}$ (dak) | 25  | 50   | 100   | 200   | 400   | 800   | 1600  |
|-------|-------------|----------------------------|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 09:00 |             |                            | Kalınlık değişim okumaları ( $\times 10^{-2}$ mm) |      |       |       |       |       |       |
|       | 0 s         | 0                          | 0   | 42   | 72    | 118   | 150   | 190.5 | 294.5 |
|       | 4           | 0.25                       | 7   | 44   | 77    | 120   | 153   | 201.5 | 304.5 |
|       | 8.5         | 0.38                       | 10  | 46   | 80    | 121   | 154   | 209.5 | 305   |
|       | 15          | 0.5                        | 12  | 47   | 81    | 122   | 155   | 212.5 | 306   |
|       | 23.5        | 0.63                       | 14  | 47.5 | 82    | 122.5 | 155.5 | 215   | 306.5 |
|       | 34          | 0.75                       | 15  | 48   | 84    | 123   | 156   | 216.5 | 307.5 |
|       | 1 dak       | 1                          | 17  | 49   | 86    | 124   | 157   | 218.5 | 308.8 |
|       | 2.25        | 1.5                        | 19  | 50   | 89    | 125   | 158   | 222   | 311.5 |
|       | 4           | 2                          | 22  | 51   | 91    | 126   | 158.5 | 225   | 314   |
|       | 6.25        | 2.5                        | 25  | 52   | 92    | 127   | 159.5 | 228.5 | 317.5 |
|       | 9           | 3                          | 27  | 53   | 93    | 128   | 161   | 231   | 320   |
|       | 12.25       | 3.5                        | 29  | 54   | 94    | 128.5 | 162   | 235   | 323   |
|       | 16          | 4                          | 30  | 54.5 | 95    | 129   | 163   | 237   | 326.5 |
|       | 25          | 5                          | 32  | 55.5 | 97    | 131   | 164.5 | 243   | 332.5 |
|       | 36          | 6                          | 34  | 56.5 | 99    | 131.5 | 166.5 | 249   | 337.5 |
|       | 49          | 7                          | 35  | 58   | 101   | 134   | 169   | 254.5 | 342.5 |
|       | 64          | 8                          | 36  | 60   | 103   | 136   | 171   | 259.5 | 348.5 |
|       | 81          | 9                          | 37  | 61.5 | 105   | 138   | 173   | 264.5 | 353.5 |
|       | 100         | 10                         | 37.5  | 62.5 | 106.5 | 140   | 174.5 | 269.5 | 358.5 |
|       | 121         | 11                         | 38  | 63.5 | 107.5 | 141   | 176   | 273.5 | 365.5 |
|       | 144         | 12                         | 38.5  | 64.5 | 109   | 142   | 177   | 275.5 | 369.5 |
|       | 169         | 13                         | 39  | 66   | 110   | 144   | 178.5 | 279.5 | 378.5 |
| 09:00 | 24 saat     | 38                         | 42  | 72   | 118   | 150   | 190.5 | 294.5 | 390   |