

INS305

Zemin Mekaniği I

Sıkışma ve Konsolidasyon Teorisi

Prof. Dr. İnan KESKİN

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

www.inankeskin.com

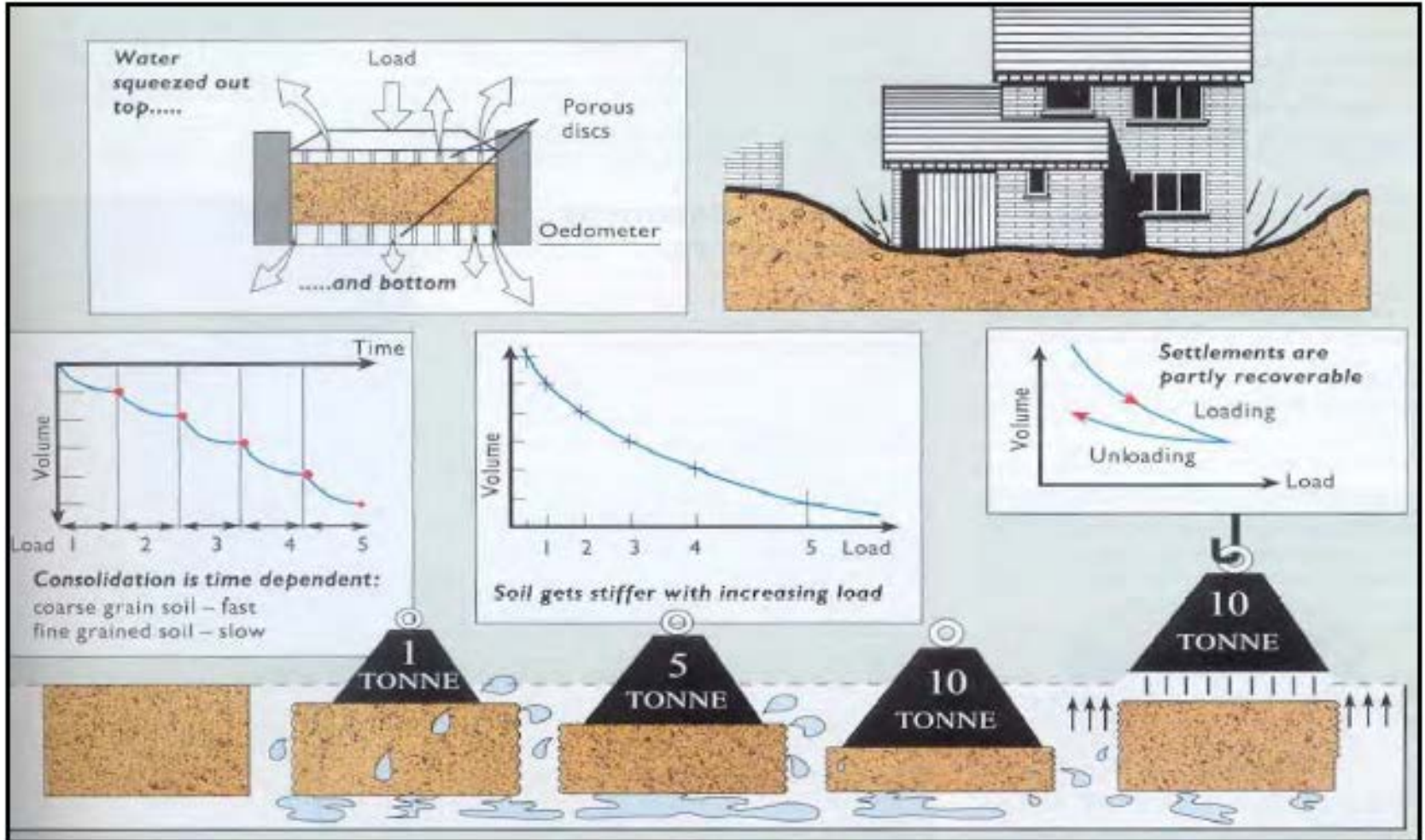
ZEMİN MEKANİĞİ

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:	İleri Zemin Mekaniği Problem Çözümleri
Hafta 15:	Bu ders için Ara Sınav, 7. ve 15. haftalar arasındaki bir tarihte yapılır. Sınavın yapıldığı tarihten itibaren konular bir hafta ileri alınır.

KONSOLİDAYON

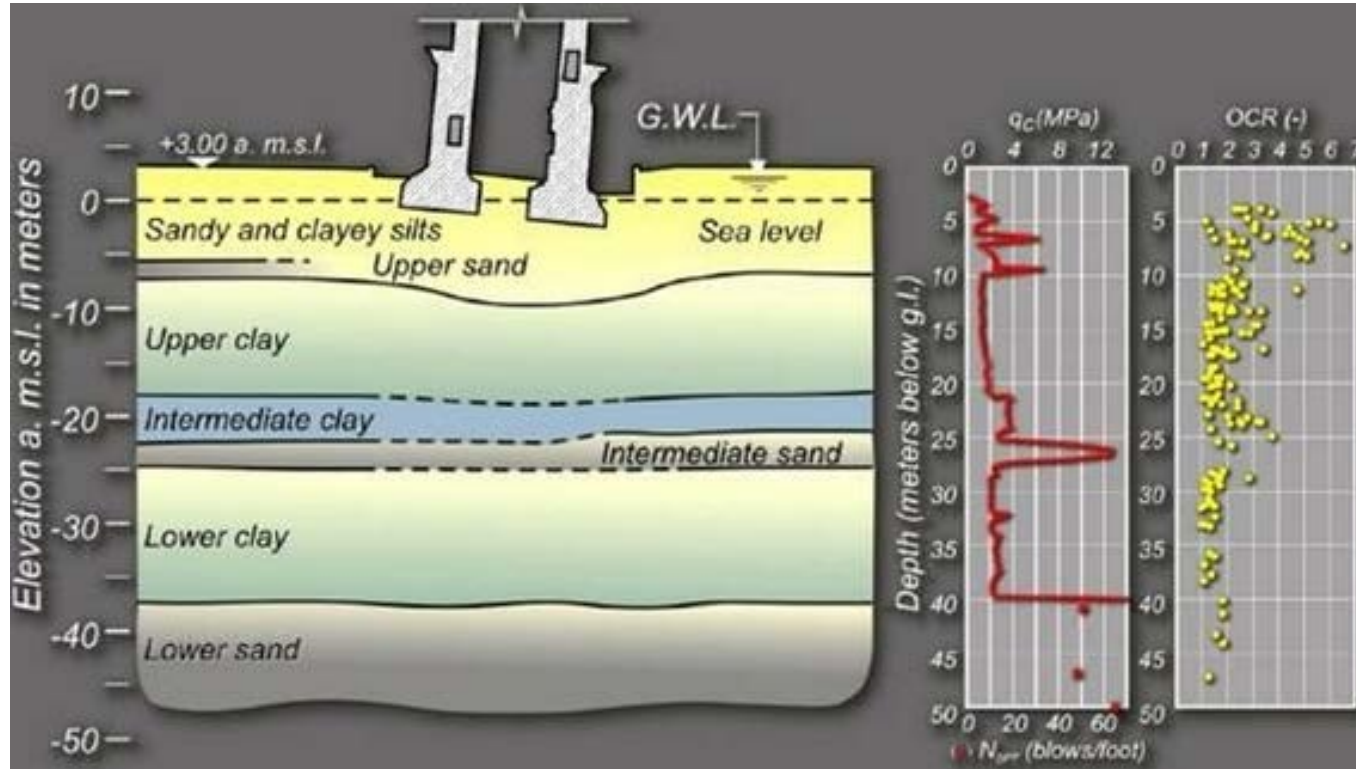
Herhangi bir zemin üzerine bina, baraj, köprü, yol ve buna benzer mühendislik yapılarından birinin yapılması, zeminin mevcut gerilme koşullarında önemli değişikliklere sebep olur. Gerilme koşullarında meydana gelen artışa bağlı olarak yapı altında bulunan zeminde sıkışmalar veya oturmalar meydana gelir. Gerilmelerin herhangi bir sebeple azalması sonucunda ise zeminde kabarmalar meydana gelir.



KONSOLİDAYON

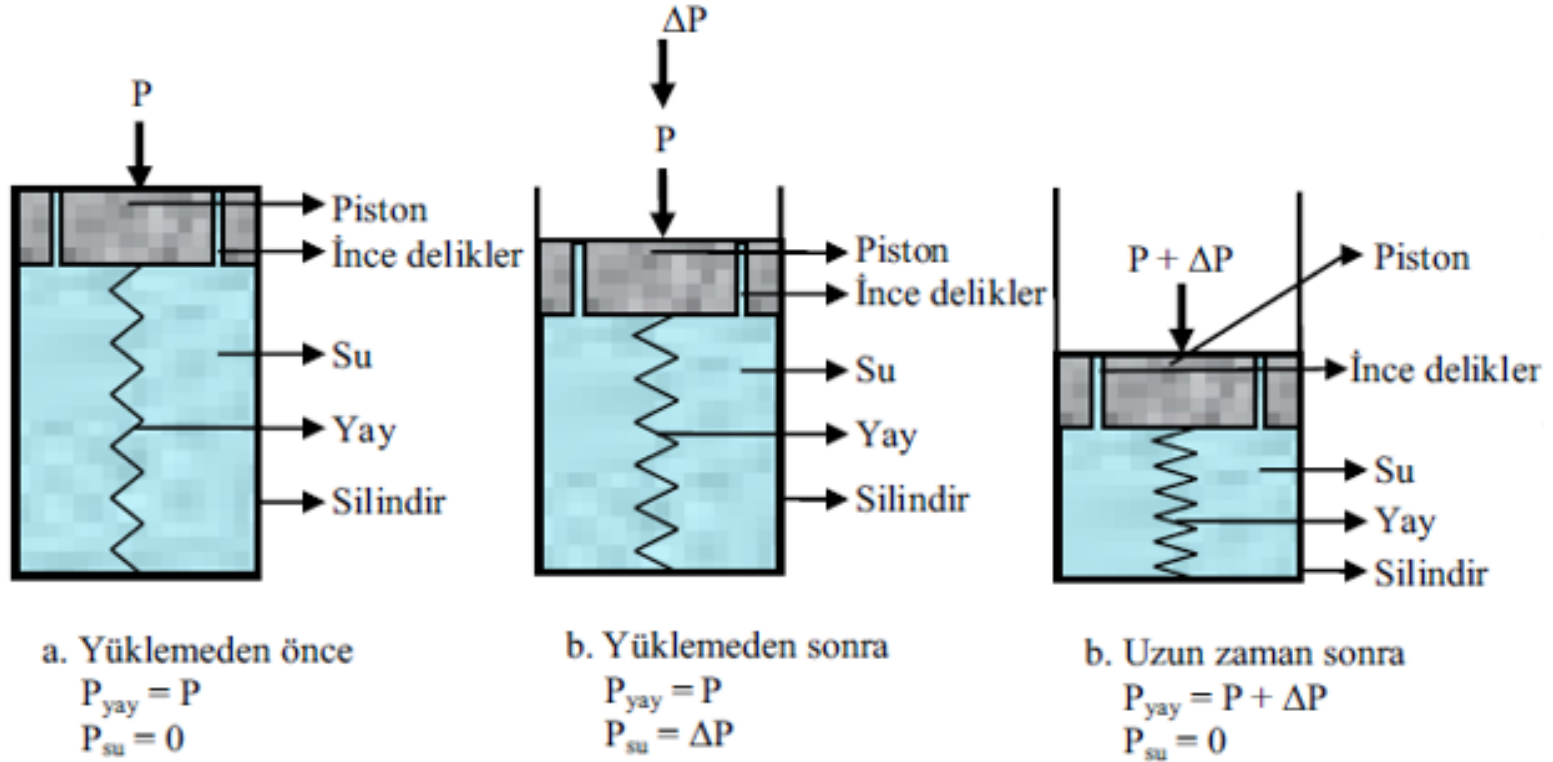
Zeminler lineer elastik bir malzeme olmadıkları için yük boşalımından sonraki hacimleri hiç bir zaman başlangıçtaki hacimlerine eşit olmaz. Zemin kütlesinin hacminde meydana gelen bu değişim, zeminle ilgili projelerin tasarımındaki en etkili faktördür.

Beton, çelik, ahşap ve plastik malzemelerin aksine, zeminlerde çok küçük oranlarda olan elastik davranış gerilmelerdeki belli değerlerin geçilmesinden sonra elastik olmaktan tamamen uzaktır. **Zeminlerde her yük boşalımından sonra geri dönüşümü olmayan deformasyonlar artmaktadır.**



KONSOLİDAYON

Konsolidasyon, zamana bağlı olarak zemin boşluklarındaki suyun dışarı atılması olayıdır. σ' deki artış zemin boşluk oranında azalmaya ve deformasyonda artışa sebep olur. Süreç içerisinde de gözeneklerden su dışarı çıkar.



Konsolidasyon olayı, su dolu bir silindirdeki üzerlerinde çok ince delikleri olan ve bir yay üzerine oturan piston düzenine benzetilerek açıklanabilir. **İlk başta silindirdeki su herhangi bir yük taşımamaktadır.** Yük ΔP kadar artırıldıktan sonra yük su tarafından taşınır yayaya yük gelmez. Yük artıkça su deliklerden drene olur ve zamanla **da ΔP yükü tamamen yay tarafından taşınır.**

KONSOLIDAYON

Piston modelindeki su, zeminin içerisindeki boşluk suyuna; yay, zemin tane iskeletine; pistondaki delikler zeminin düşük geçirirmliliğine; pistonun düşey hareketide zeminin konsolidasyonuna karşılık gelir.

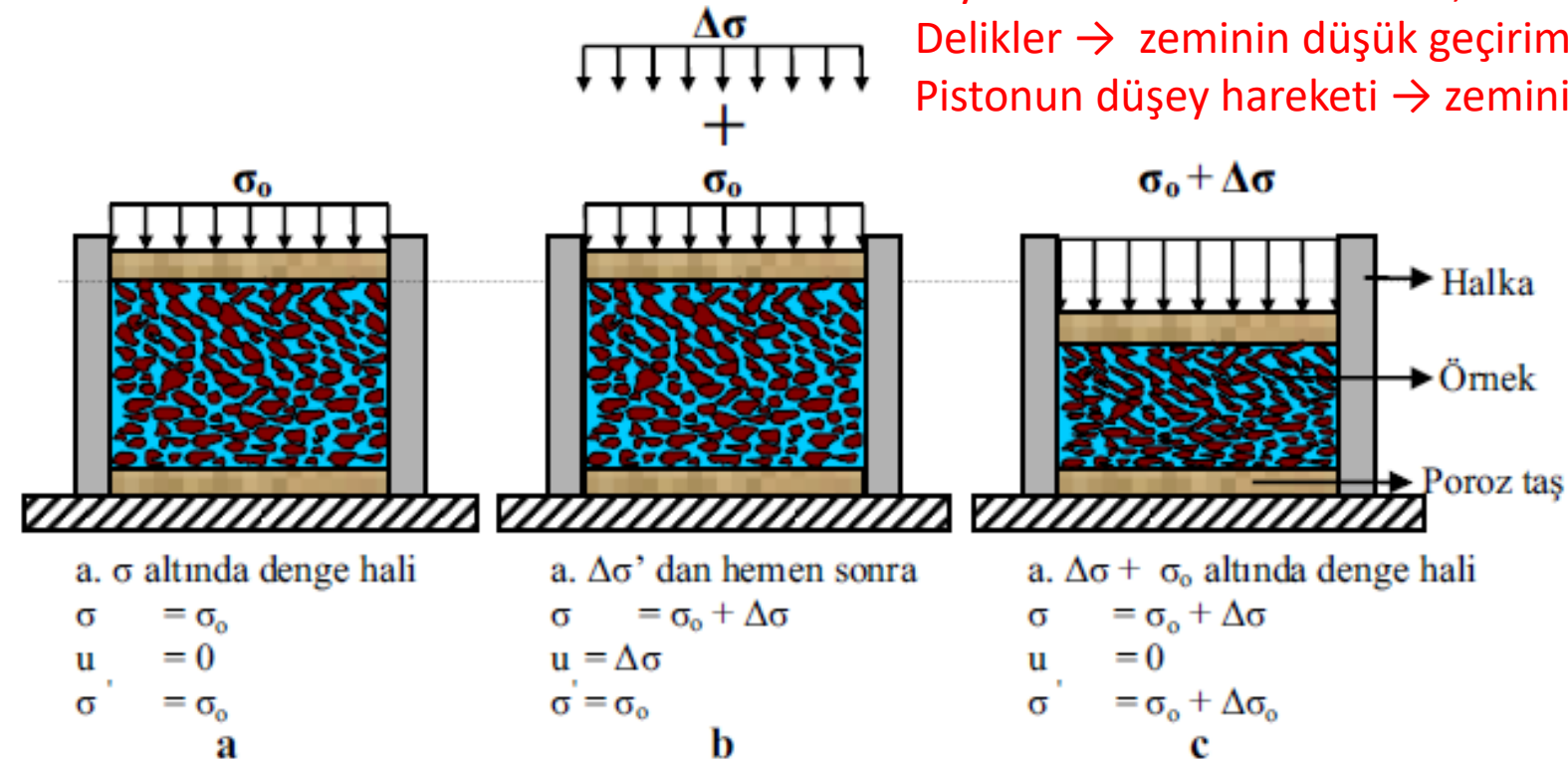
Dengede olan bir durumda (a), gerilme $\Delta\sigma$ kadar artırıldıktan hemen sonra (b), ek gerilme artışı boşluk suyu tarafından taşınır ve boşluk suyu basıncı bir miktar artar. Zamanla, basınç altındaki su yavaşça dışarı akar ve uzun zaman sonra boşluk suyu ek basıncı 0 olur (c). Bu durumda zemin ΔH kadar konsolidasyona uğrar.

Su → zeminin içerisindeki boşluk suyu

Yay → zemin tane iskeletine;

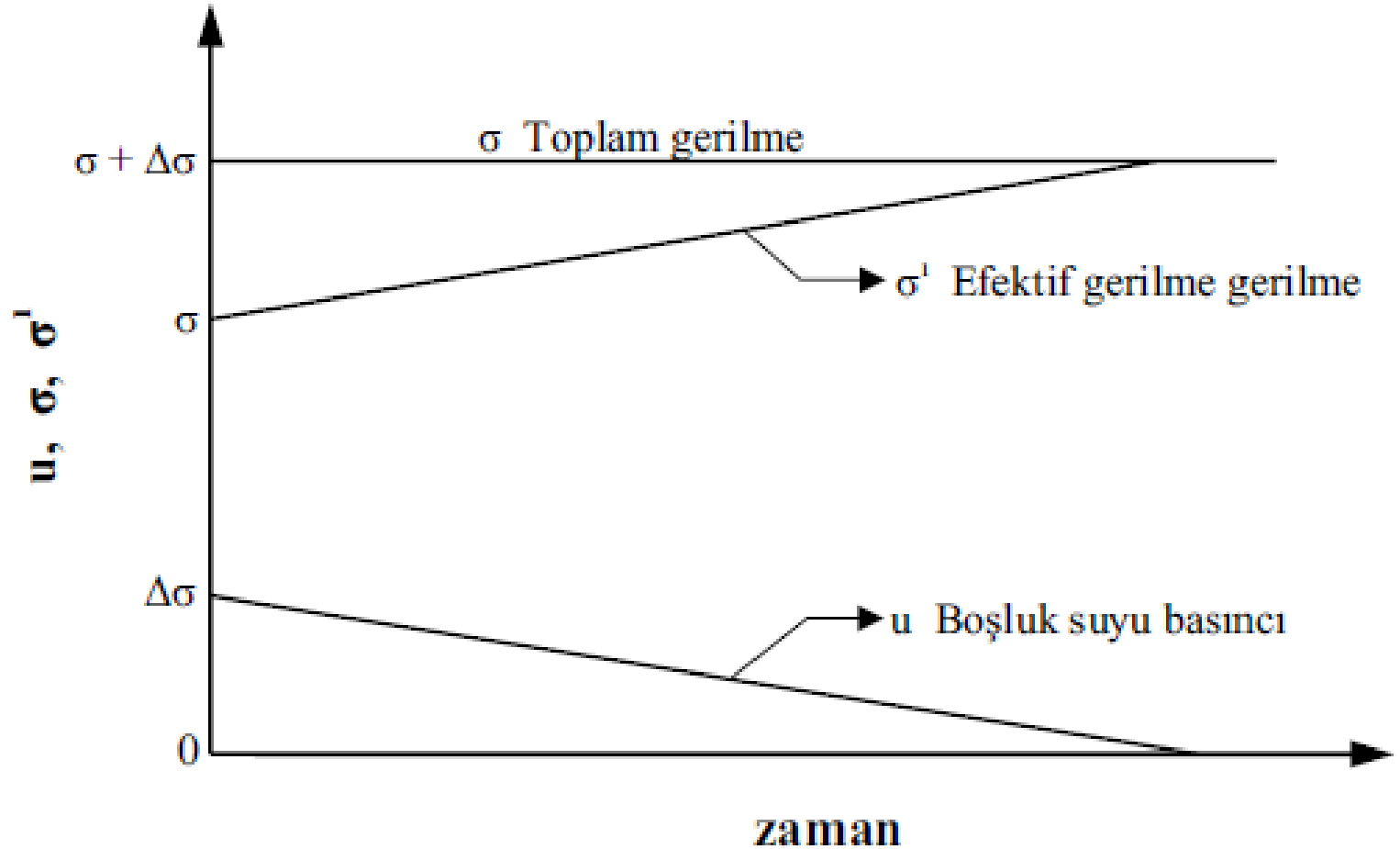
Delikler → zeminin düşük geçirirmliliğe;

Pistonun düşey hareketi → zeminin konsolidasyonu



KONSOLİDAYON

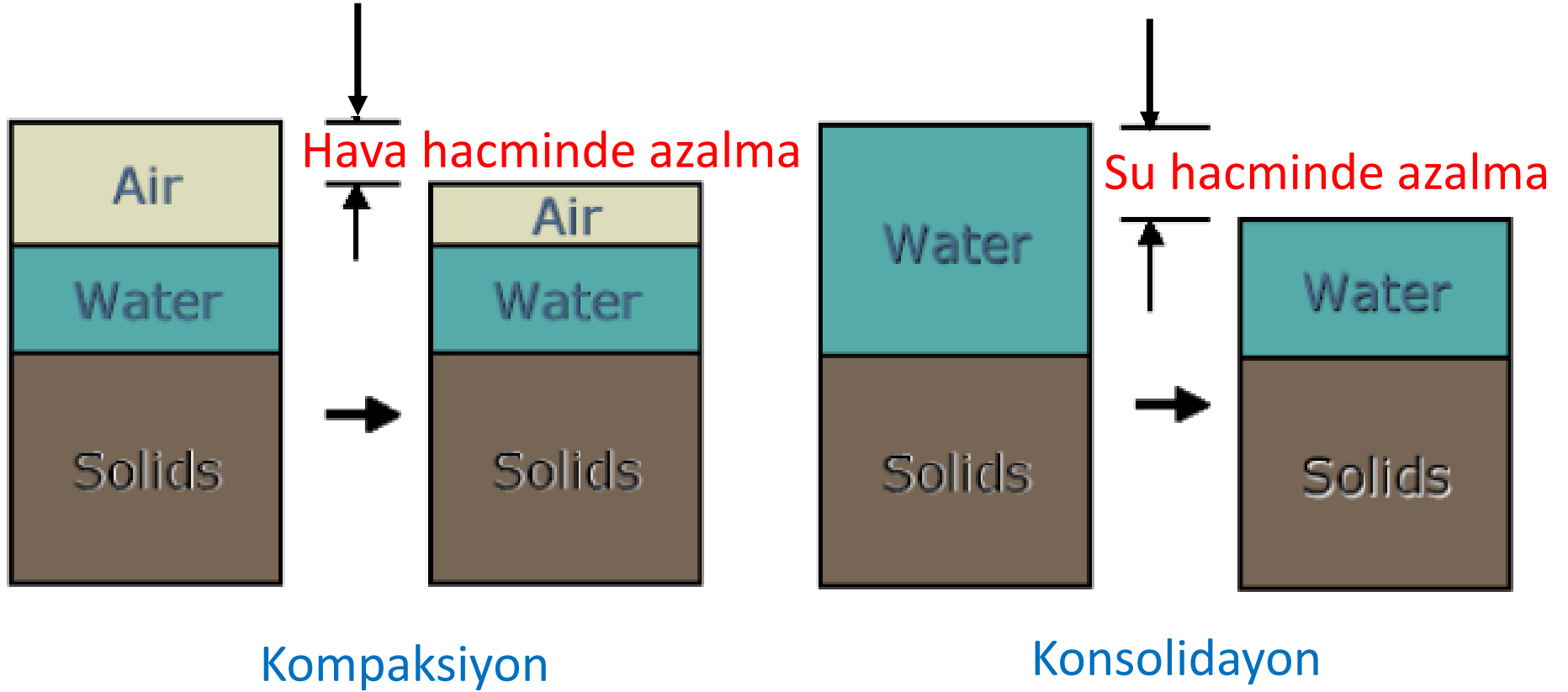
Gerilme $\Delta\sigma$ kadar artırıldıktan hemen sonra (b durumu), ek gerilme artışı boşluk suyu tarafından taşınır ve boşluk suyu basıncı bir miktar artar.



Toplam gerilme (σ) boşluk suyu basıncı (u) ve efektif gerilme (σ')'nin zamanla değişimi

KONSOLIDAYON - KOMPAKSİYON

Konsolidasyon ile kompaksiyon sıklıkla karıştırılan iki kavramdır.



KONSOLIDAYON DENEYİ

OEDOMETRE

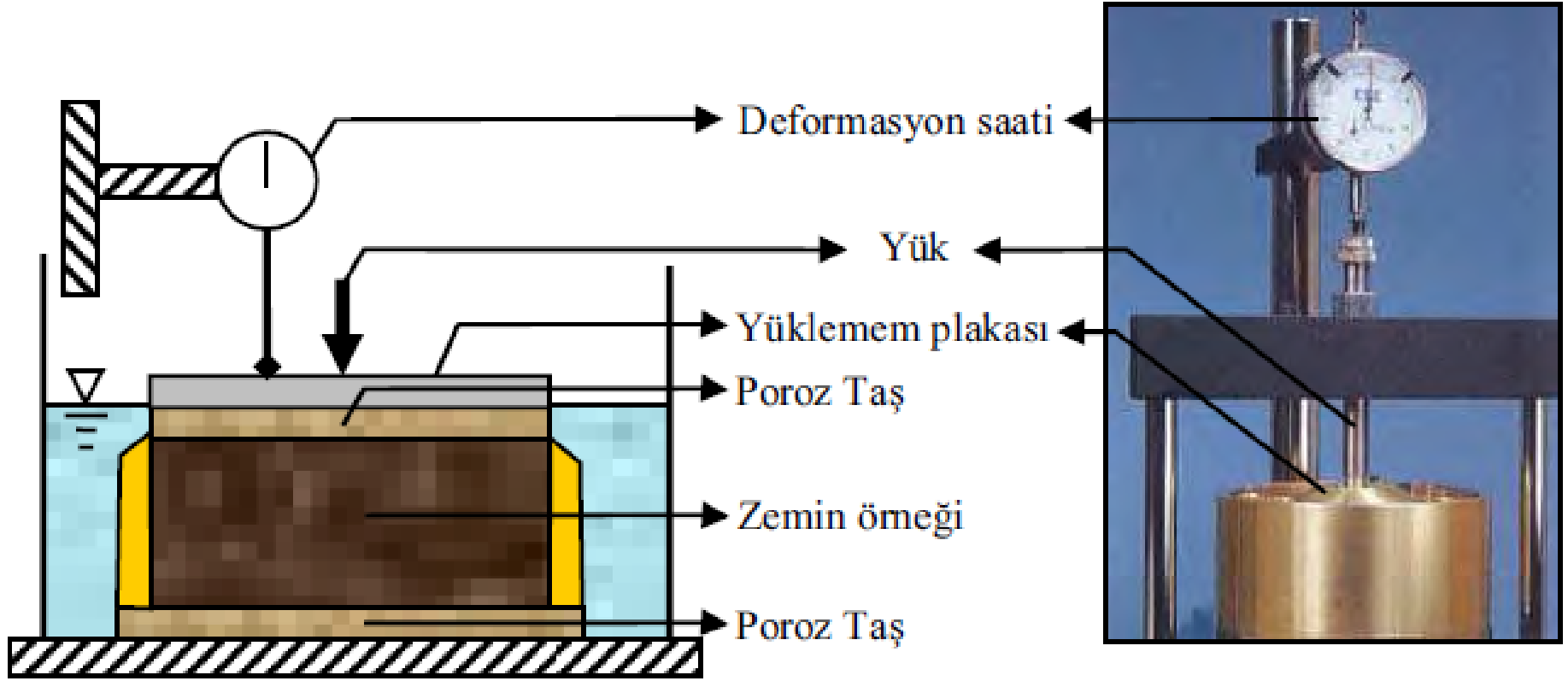
deneyi, ince taneli zeminlerin bir boyutlu konsolidasyon davranışının belirlenmesinde kullanılan bir deneydir.

Deneyde; 20mm yükseklikte ve 75mm çapında örselenmemiş bir zemin örneği, düşey yönde etkiyen yük(lere) tabi tutulur. Deney sonucunda, m_v , c_v , a_v , C_c , C_s vb zemin özellikleri tespit edilir.



a) Ödometre cihazının genel görüntüsü, (b) konsolidasyon hücresi ve deformasyon saati, (c) hücre içi aparatlar, (d) numune ringleri (e) yükleme plakaları

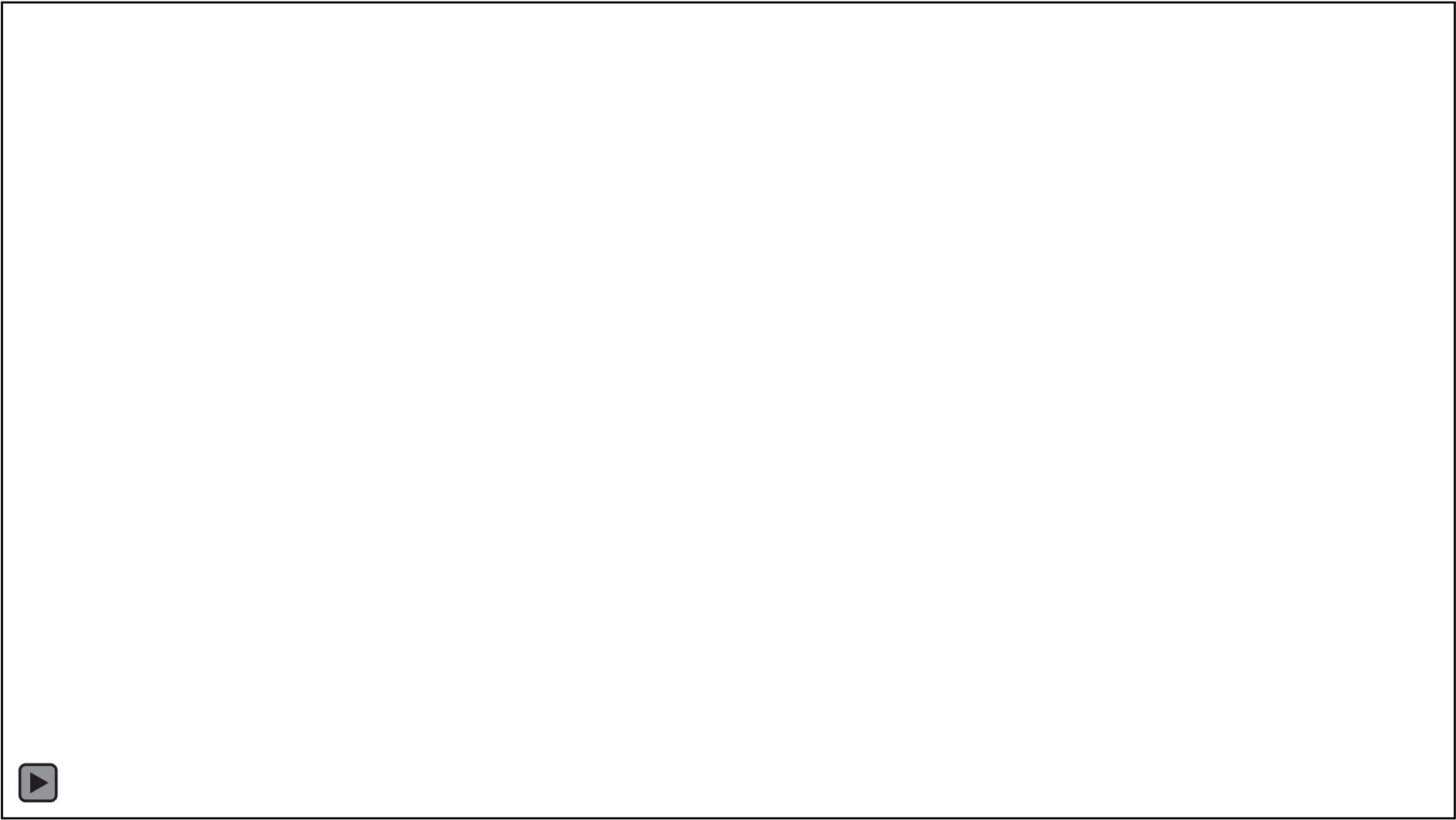
KONSOLİDAYON DENEYİ



Konsolidasyon (ödometre) deneyinin şematik ve fotoraf görüntüsü

- Uygulanan yükte artışa gidilerek (25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kPa) deneye devam edilir.
- $\frac{1}{4}'$, $\frac{1}{2}'$, 1', 2', 5', 10', 30', 1,2,4,8 ve 24 saatler de okuma yapılır
- Her bir yükleme sonucu oluşan oturma miktarı ve zaman değerleri kaydedilir.
- Her yükleme kademesinde 24 saat beklenir.

KONSOLİDAYON DENEYİ



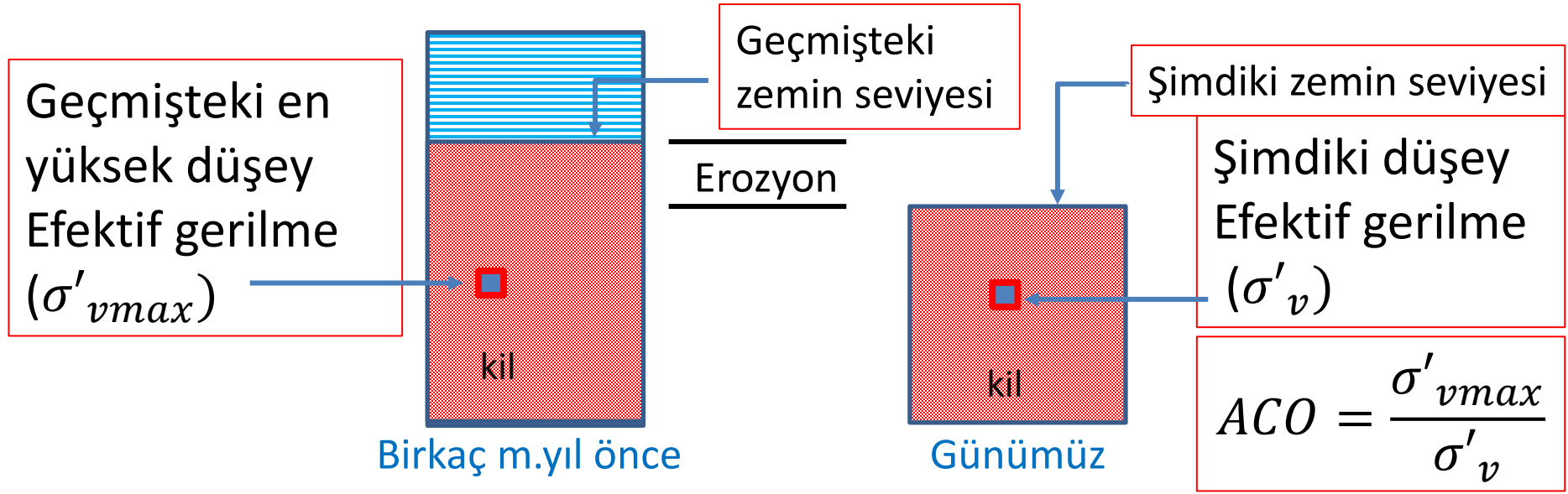
KONSOLİDASYON/Karşılaştırma

İri Taneli zeminlerde
oturmanın tamamlanma süresi

İnce Taneli zeminlerde
oturmanın tamamlanma süresi



NORMAL KONSOLİDE (NC) - AŞIRI KONSOLİDE KİLLER (OC)



OCR, geçmişte zeminin maruz kaldığı en yüksek etkin gerilmenin, güncel etkin gerilmeye oranı olarak tanımlanabilir.

En yüksek geçmiş etkin gerilme ÖN KONSOLİDASYON BASINCI (σ'_c) olarak da bilinir.

NORMAL KONSOLİDE killeri (NC); Güncel etkin gerilmeden yüksek bir etkin gerilmeye maruz kalmamış killeri

OCR=1

düşük makaslama dayanımı

AŞIRI KONSOLİDE killeri (OC); Geçmişte, bugünkü etkin gerilmeden yüksek etkin gerilmeye maruz kalmış killeri (OC)

OCR>1

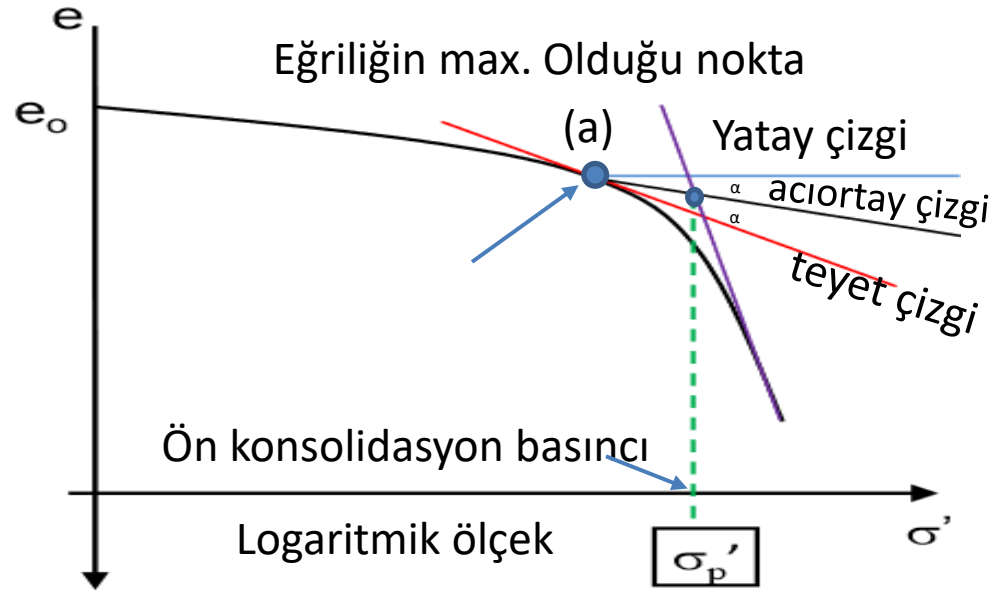
Yüksek makaslama dayanımı

ÖN KONSOLİDASYON BASINÇLARININ BELİRLENMESİ

Geçmişte zemin tabakalarının maruz kaldığı en büyük gerilme değeridir.

Birçok araştırmacı ön konsolidasyon basıncının tayini için metodlar geliştirmişlerdir.

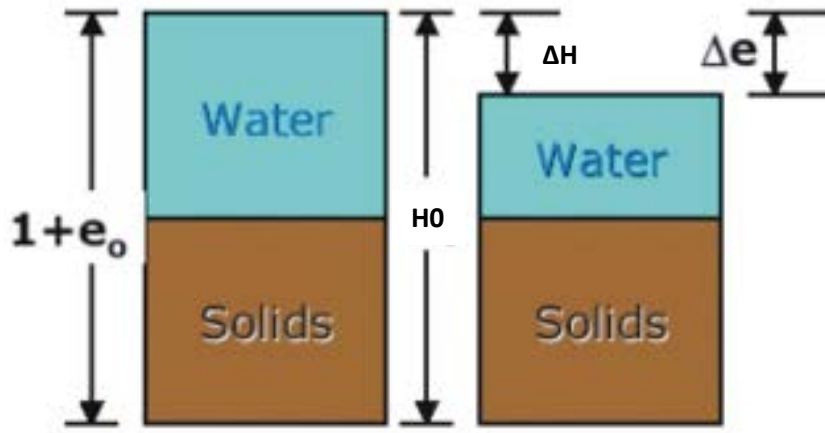
Ancak, bu yöntemler arasında şimdiye kadar en çok kabul göreni Casagrande (1936)'nın geliştirdiği grafik yöntemidir.



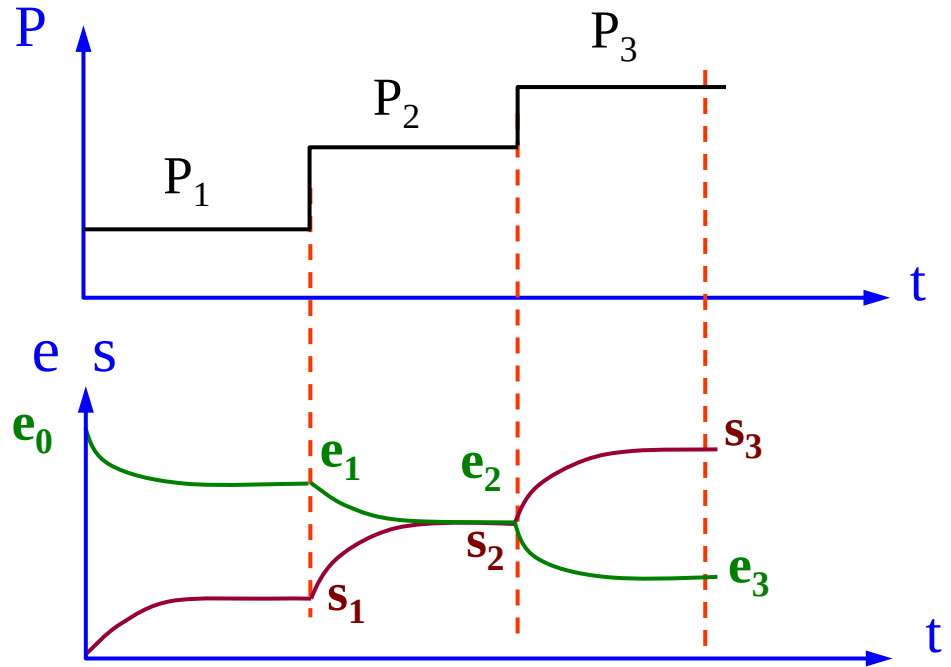
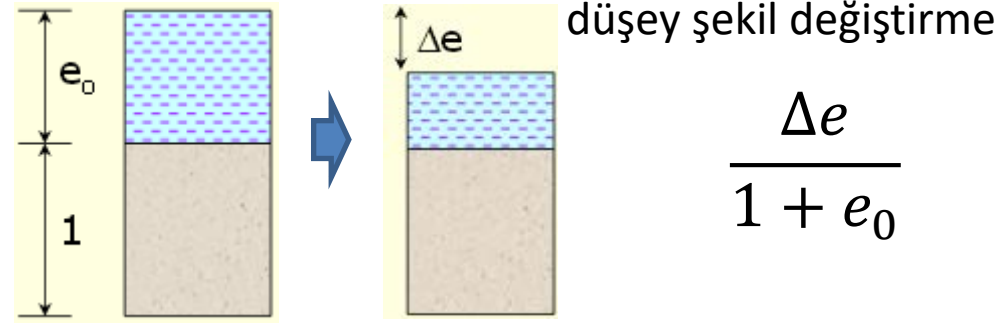
1. Göz kararı ile boşluk oranı - maksimum efektif gerilme eğrisinin en küçük yarıçap değerine sahip olduğu veya maksimum eğilme noktası (a noktası) belirlenir,
2. a noktasından geçecek yatay bir doğru çizilir,
3. a noktasından geçen ve eğriye teğet bir çizgi çizilir,
4. Bu iki doğrunun açıortayı olan doğru çizilir,
5. Boşluk oranı - efektif konsolidasyon basıncı eğrisinin doğrusal kısmı açı ortay doğrusu ile çakışacak şekilde uzatılır. Kesişme noktasından düşey olarak efektif konsolidasyon basıncı eksenine bir doğru indirdiğimizde bulacağımız değer numunenin ön konsolidasyon basıncını, (yani, geçmişte görmüş olduğu en yüksek efektif basınç değerini) verecektir.

ΔH - Δe İLİŞKİSİ

Sıkışma, boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu, zemin iskeletindeki hacim değişiminden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, boşluk oranındaki değişim büyük önem kazanmaktadır.



$$\frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$



ΔH Konsolidasyon oturması

H_0 Kil tabakasının kalınlığı

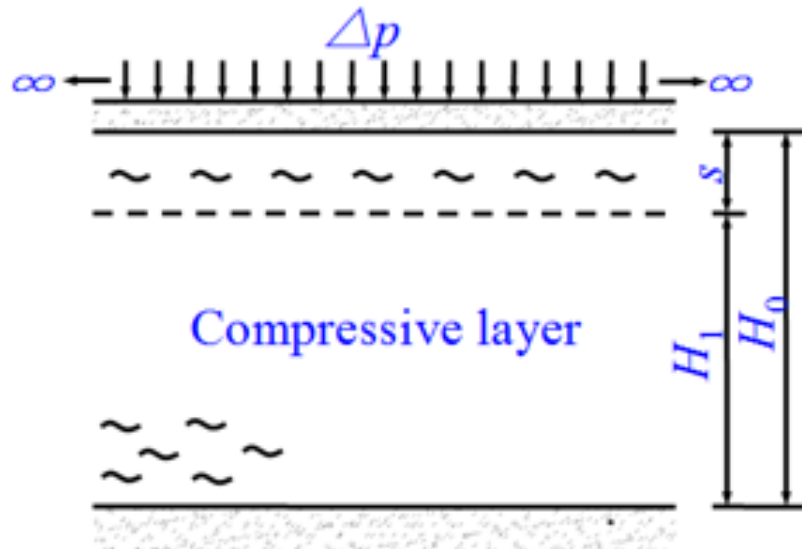
Δe Boşluk oranındaki değişim

e_0 Başlangıç boşluk oranı

KONSOLİDASYON OTURMASI

Üç farklı konsolidasyon oturması tanımlanmıştır: $S=S_i+S_c+S_s$

1. Ani Oturma (S_i); Ani oturma kuru zeminlerde elastik deformasyonlar veya yarı doymun veya tamamıyla doymun zeminlerde su muhtevassından bir değişim olmadığı durumlarda meydana gelen oturma şeklidir,
2. Konsolidasyon oturması (s_c); Birincil oturmalar veya konsolidasyon oturması olarak adlandırılan oturmalar; suya doymun kohezyonlu zeminlerde zemin boşluklarındaki suyun zemini terk etmesiyle hacimsel değişimler sonucu oluşmaktadır,
3. İkincil (Sekonder) konsolidasyon (s_c); İkincil konsolidasyon; suya doymun kohezyonlu zeminlerde zemin yapısında meydana gelen plastik şekil değiştirmeler sonucu oluşmaktadır



Zemin Türü	Birincil Oturma	Konsolidasyon Oturması	İkincil Oturma
Kumlar	Evet	Hayır	Hayır
Killler	Mümkün	Evet	Mümkün
Organik Zeminler	Mümkün	Mümkün	Evet

Zemin türlerine göre gözlenebilecek oturma bileşenleri (Fang, 1990).

KONSOLIDASYON OTURMASI

Konsolidasyon oturmalarını tahmin etmek için iki farklı yol kullanılabilir;

1. Hacimsel sıkışma katsayısı (mv) yöntemi (e- σ' grafiği)

$$\Delta H = H.mv . \Delta \sigma$$

2. Sıkışma indisini (Cc) kullanarak (e- log σ' grafiğini)

tabaka ortasında yüklemeden önce

gerilme artışı

$$\Delta H = H \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_1 + \Delta \sigma'}{\sigma'_1}$$

yüklemeden önceki boşluk oranı

$C_c = 0.009$ (LL-10) normal killer

$C_c = 0,0115 W_n$ organik zeminler, turba

$C_c = 0,007$ (LL-10) örselenmiş killer

$C_c = 0,75 (e_0 - 0,5)$ az plastik zeminler

$C_c = 0,156 e_0 + 0,0107$ tüm killer

$C_c = 0,2343 * LL * G_s$

KONSOLIDASYON PARAMETRELERİ

Hacimsel sıkışabilirlik katsayısı (M_v) (cm^2/kg)

Kil tabakasında birim gerilme artışına karşılık gelen hacimsel şekil değiştirme olarak tarif edilmektedir.

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

mv birimi: m^2/kN , cm^2/kg , m^2/t

Konsolidasyon Yüzdesi (U)

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

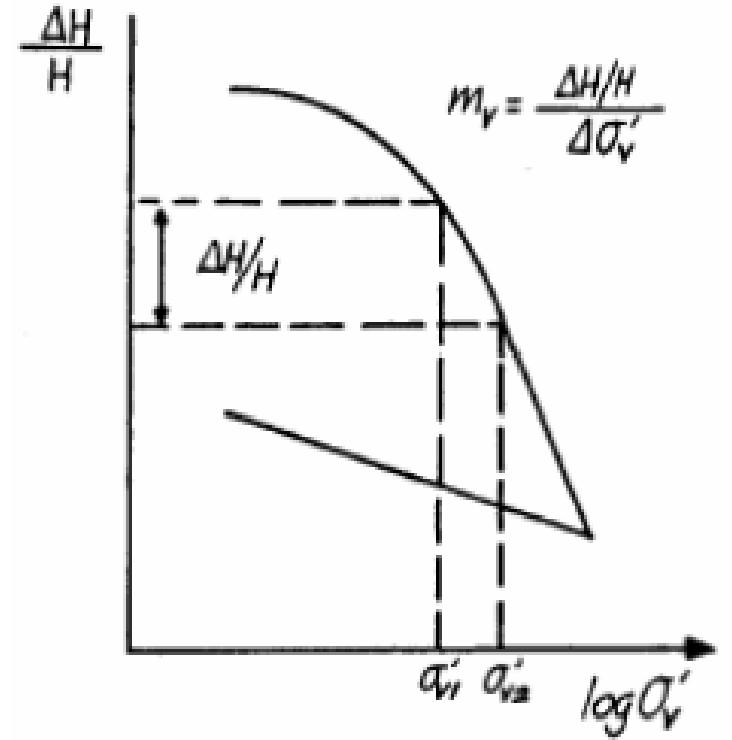
e_0 : ilksel boşluk oranı;

e : konsolidasyon sırasındaki boşluk oranı;

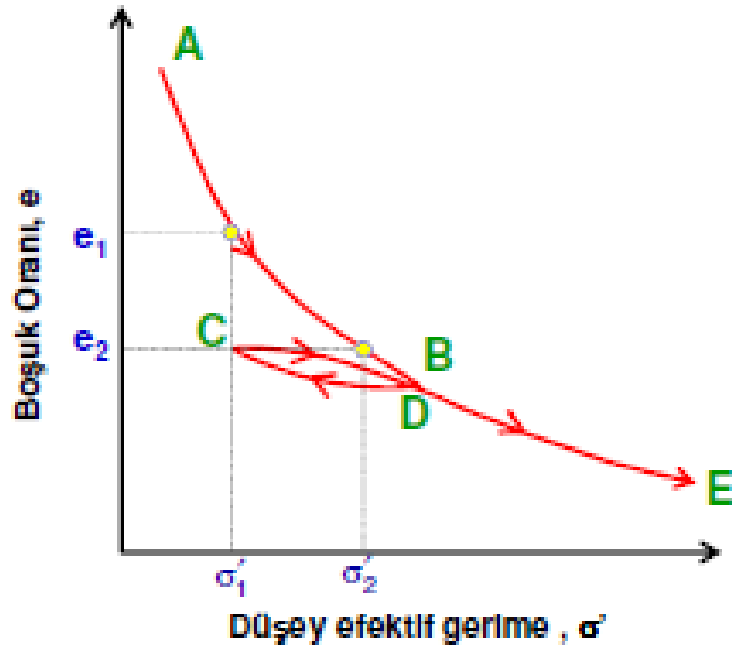
e_1 : deney sonundaki boşluk oranı

$$0 \leq U \leq 1$$

Zaman Faktörü (T_v) = $\frac{C_v * t}{d^2}$ Cv: konsolidasyon katsayısı, t zaman, d: drenaj uzunluğu. Her iki yüzeyde geçirimli ise, $d=H/2$, tek yönde drenaj varsa $d=H$ alınır.



KONSOLİDASYON PARAMETRELERİ



Sıkışma Katsayısı

$$a_v = -\frac{(e_2 - e_1)}{(\sigma_2 - \sigma_1)}$$

$$a_v = -\frac{\Delta e}{\Delta \bar{\sigma}} \quad (\text{m}^2 / \text{kN})$$

av birimi: m²/kN, cm²/kg, m²/t



Sıkışma İndisi

$$C_c = -\frac{e_3 - e_2}{\log \sigma_3 - \log \sigma_2} = \frac{e_3 - e_2}{\log \frac{\sigma_3}{\sigma_2}}$$

Yeniden Sıkışma İndisi

$$C_r = -\frac{e_2 - e_1}{\log \sigma_2 - \log \sigma_1} = \frac{e_2 - e_1}{\log \frac{\sigma_2}{\sigma_1}}$$

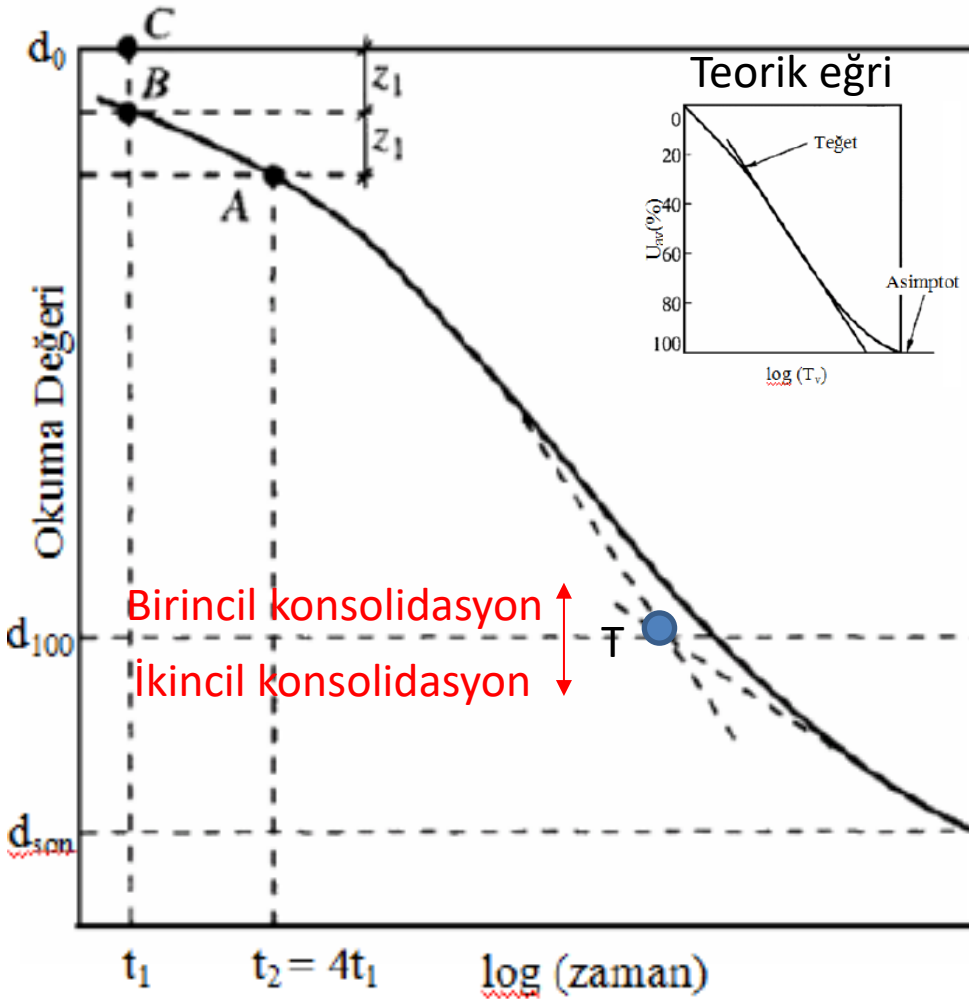
KONSOLİDASYON PARAMETRELERİ

Konsolidasyon Katsayısı (C_v) İki yol ile bulunabilir.

- Log Time (Casagrande)
- Karekök Zaman yöntemi

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

$$C_v = \frac{0.197 * d^2}{t_{50}}$$



Deneysel eğri

1. Log (zaman) - deformasyon grafiği çizilir.
2. Eğrinin üzerinde herhangi bir t_1 zamanı göz önüne alınır ve eğri üzerindeki B noktası belirlenir.
3. $t_2 = 4 * t_1$ olmak üzere t_2 zamanı ve A noktası belirlenir.
4. B ve A noktaları arasındaki düşey fark Z_1 uzunluğu bulunur ve B noktasının üzerine Z_1 uzunluğu eklenerek C noktası bulunur. C noktasından yatay bir doğru çizilerek d_0 okuma değeri bulunur.
5. Birincil konsolidasyonun doğrusal kısmı ve ikincil konsolidasyonun doğru kısımları uzatılır ve bu doğruların kesiştiği T noktası belirlenir. T noktasından yatay bir doğru çizilerek d_{100} okuma değeri bulunur.
6. d_0 ve d_{100} okuma değeri ile d_{50} [$(d_0 + d_{100})/2$] bu değerlerden de t_{50} belirlenir.
7. Konsolidasyon katsayısı yukardaki formül kullanılarak belirlenir

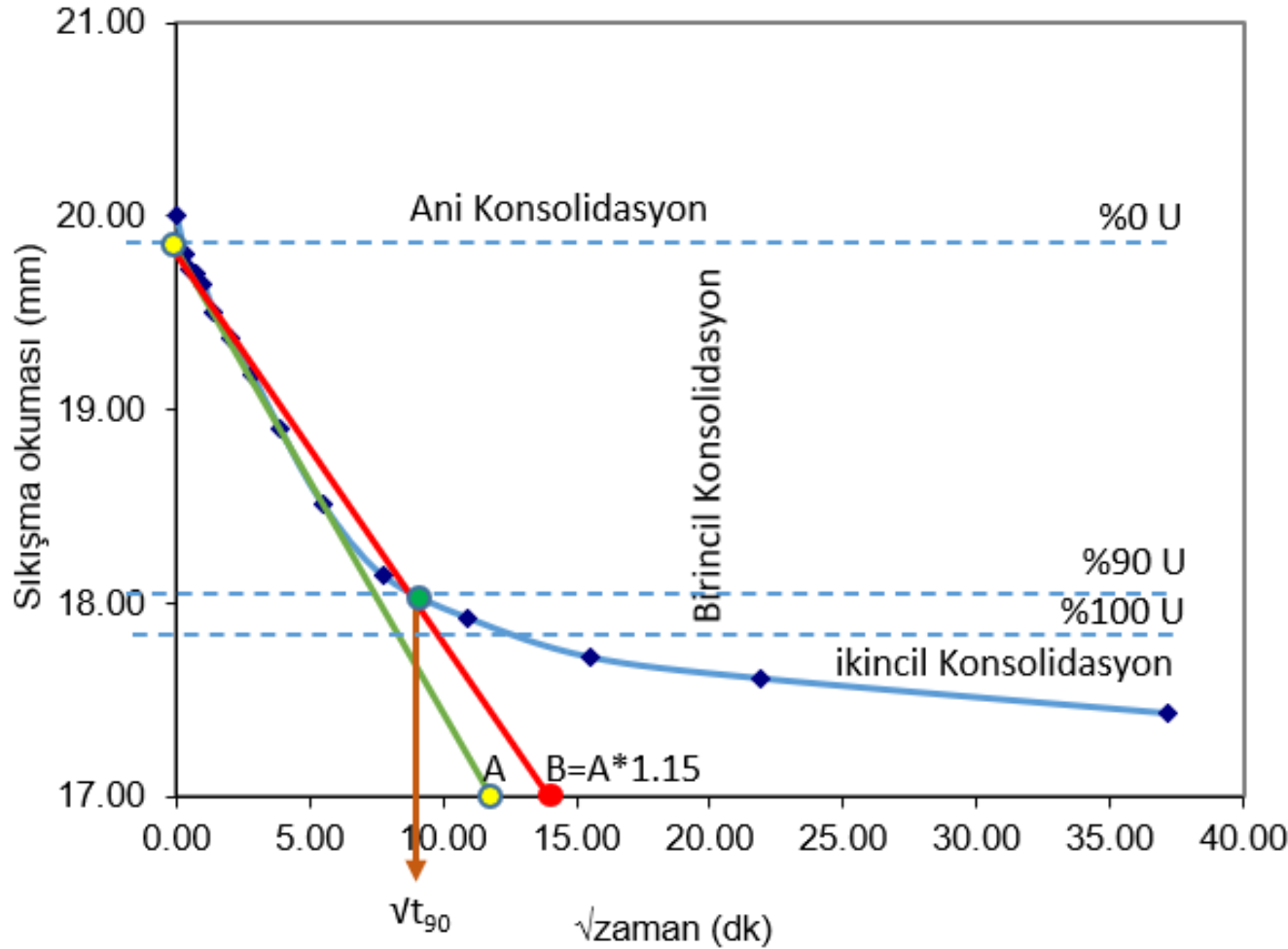
KONSOLIDASYON PARAMETRELERİ

Konsolidasyon Katsayısı (C_v) İki yol ile bulunabilir.

- Log Time (Casagrande)
- Karekök Zaman yöntemi

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

$$C_v = \frac{0.848 * d^2}{t_{90}}$$



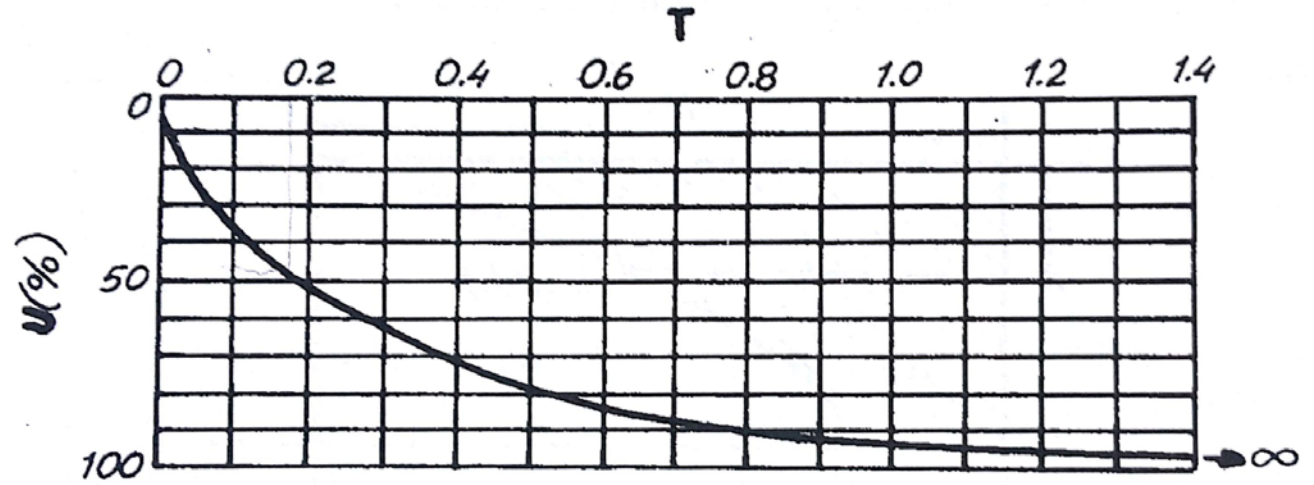
Karekök (t)

- Teorik eğrinin $U = \%60$ 'a kadar doğrusal olduğu kabul edilir.
- Bu doğruyu uzatıp, 1.15 katını yatayda alıp, eğriyi kestiği noktanın izdüşümü, $U = \%90 \rightarrow \sqrt{t_{90}}$

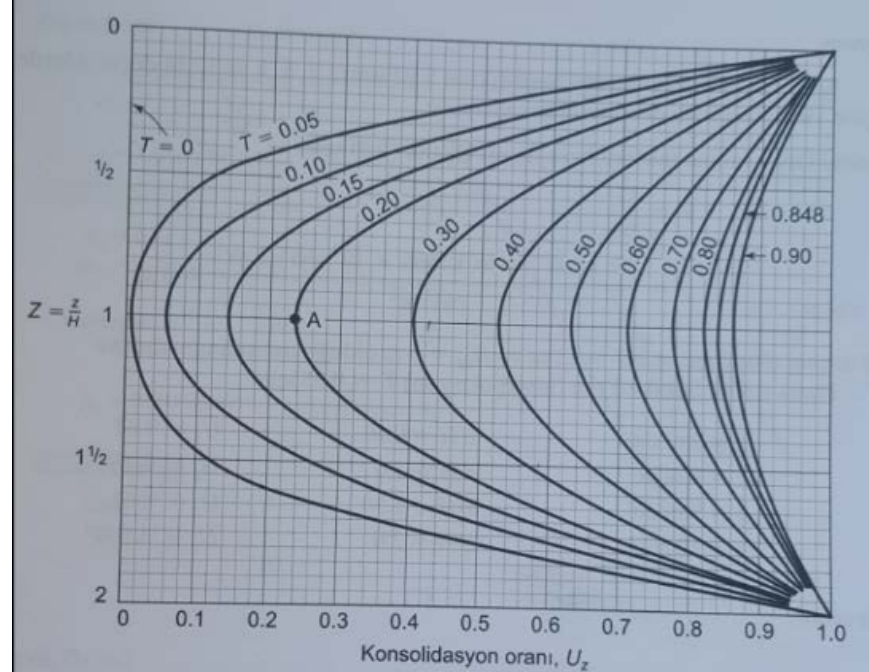
$$C_v = \frac{0.848 d^2}{t_{90}}$$

OTURMA ZAMAN İLİŞKİSİ

$U(\%)$	T_v	$U(\%)$	T_v
0	0	60	0.287
10	0.008	65	0.342
20	0.031	70	0.403
30	0.071	75	0.478
35	0.096	80	0.567
40	0.126	85	0.684
45	0.159	90	0.848
50	0.197	95	1.127
55	0.238	100	∞



Ortalama Konsolidasyon Yüzdesinin Zaman Faktörü (T) ile Değişimi



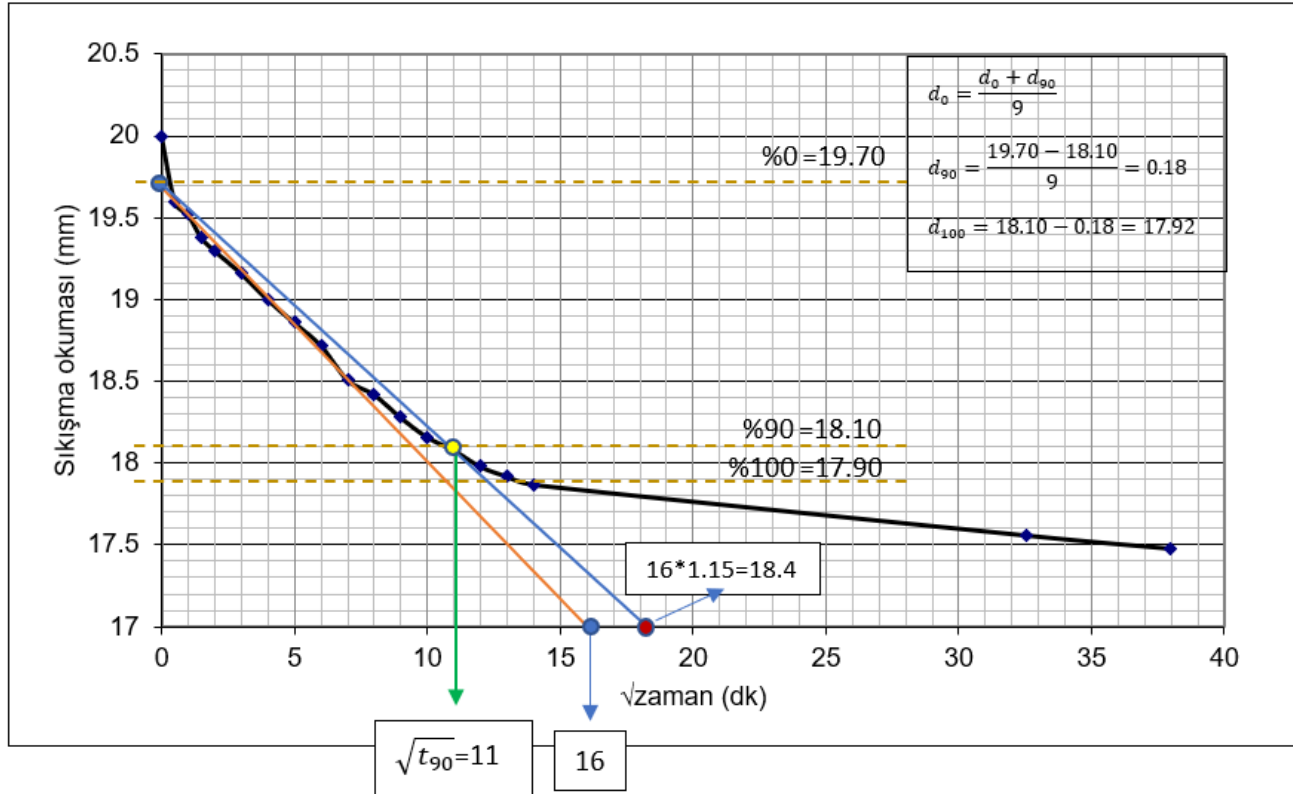
OTURMA ZAMAN İLİŞKİSİ

$u_{Ort} \text{ (%)}$	T_v	$u_{Ort} \text{ (%)}$	T_v	$u_{Ort} \text{ (%)}$	T_v	$u_{Ort} \text{ (%)}$	T_v
1	0	26	0.0531	51	0.204	76	0.493
2	00008	27	0.0572	52	0.212	77	0.511
3	0.0003	28	0.0615	53	0.221	78	0.529
4	0.00071	29	0.0660	54	0.230	79	0.547
5	0.00126	30	0.0707	55	0.239	80	0.567
6	0.00196	31	0.0754	56	0.248	81	0.588
7	0.00283	32	0.0803	57	0.257	82	0.610
8	0.00385	33	0.0855	58	0.267	83	0.633
9	0.00696	34	0.0907	59	0.276	84	0.658
10	0.00785	35	0.0962	60	0.286	85	0.684
11	0.0095	36	0.102	61	0.297	86	0.712
12	0.0113	37	0.107	62	0.307	87	0.742
13	0.0133	38	0.113	63	0.318	88	0.774
14	0.0154	39	0.119	64	0.329	89	0.809
15	0.0177	40	0.126	65	0.334	90	0.848
16	0.0201	41	0.132	66	0.352	91	0.891
17	0.0227	42	0.138	67	0.364	92	0.838
18	0.0254	43	0.145	68	0.377	93	0.993
19	0.0283	44	0.152	69	0.390	94	1.055
20	0.0314	45	0.159	70	0.403	95	1.1299
21	0.0346	46	0.166	71	0.417	96	1.219
22	0.0380	47	0.173	72	0.431	97	1.336
23	0.0415	48	0.181	73	0.446	98	1.500
24	0.0452	49	0.188	74	0.461	99	1.781
25	0.0491	50	0.197	75	0.477	100	∞

Soru:

Taylor yöntemine göre konsolidasyon grafiğini çizerek c_v yi hesaplayınız.

Zaman (dk)	0	0.25	1	2.25	4	9	16	25	36	49	64	81	100	121	144	169	196	1060	1440
Kalınlık (mm)	20	19.60	19.52	19.38	19.30	19.16	19.00	18.86	18.72	18.51	18.42	18.28	18.16	18.08	17.98	17.92	17.87	17.56	17.48
$\sqrt{t}$	0	0.50	1.00	1.50	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	32.56	37.95



$$h_{ort} = \frac{20 + 17.48}{2} = 18.74 \text{ mm} \quad c_v = \frac{0.848 * (h)^2}{t_{90}} ==> \frac{0.848 * \left(\frac{18.74}{2}\right)^2}{144} = 0.615 \text{ mm}^2/\text{dk}$$