



INM 305

Zemin Mekaniği

Yeraltı Gerilmeleri; Zemin kütlesi nedeniyle oluşan gerilmeler

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

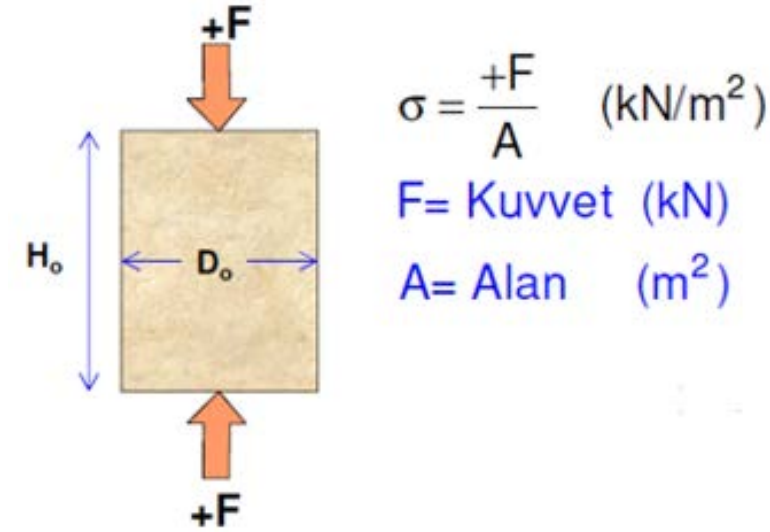
Hafta 14: Karışık Problem Çözümleri

Hafta 15: Final Sınavı

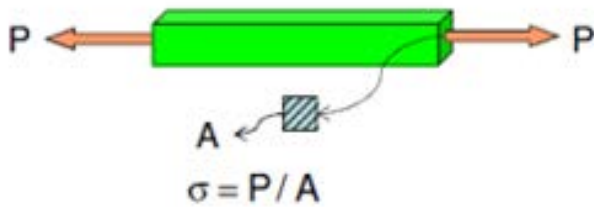
GEOSTATİK GERİLME KAVRAMI

Zeminler taneli bir yapıya sahip olduğu için **sürekli ortam** özelliği gösteren malzemeler için geçerli olan klasik gerilme tanımlaması zeminler için tam anlamıyla geçerli olmayabilir. Çünkü etkinin **taneye mi yoksa taneler arasındaki boşluklardan birine mi isabet ettiği net olarak bilinemez.**

Mekanikte gerilme birim alana uygulanan yük şiddeti olarak tanımlanır.



Ayrıca, zemin-su etkileşimi ve zeminde su hareketi dikkate alınarak hidrolik biliminin kavram ve yöntemlerinden de faydalanılır. Dolayısıyla zeminlerin katı, sıvı, gaz gibi üç değişik fazda bileşenlerden meydana gelmeleri nedeniyle diğer inşaat mühendisliği malzemelerine göre davranışının daha karmaşık olmaktadır.

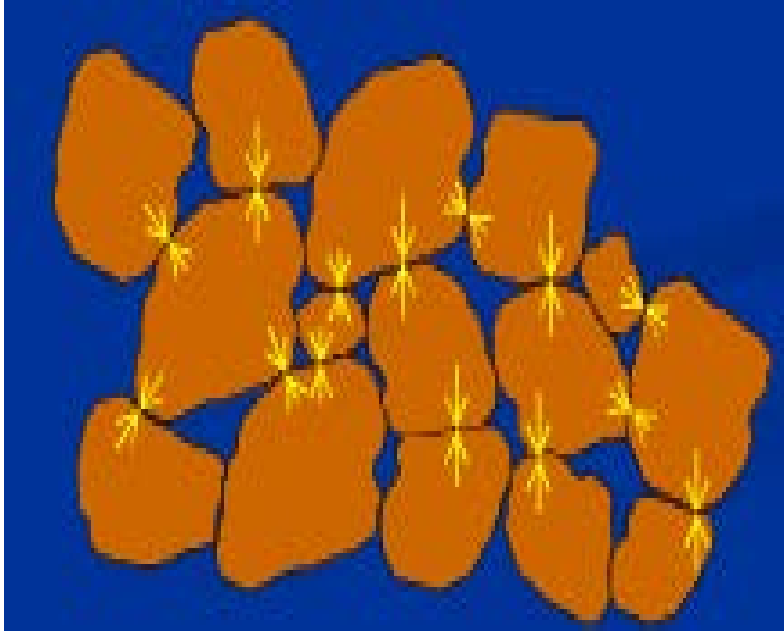


A kesit alanına dik yönde uygulanan yük F ise normal gerilme (σ),
A kesit alanı düzleminde uygulanan kesme kuvveti T ise kayma gerilmesi (τ) olarak ifade edilir.

GEOSTATİK GERİLME KAVRAMI

Zemin mekaniğinde **klasik gerilme tanımlamasını bir yana bırakarak taneler arası temas yüzeylerinde oluşan gerilmeleri göz önüne almak gerekir.** Ancak bu durumda gerilmelerin hesaplanması ve özellikle ölçülmesi oldukça karmaşık bir problem olmaktadır.

Zeminin taneli bir yapıya sahip olduğu bilinmesine rağmen onun mühendislik davranışı açısından sürekli bir ortam olarak davranacağı varsayımına dayanarak herhangi bir kesit üzerinde oluşan ortalama gerilmeleri klasik tanımlamaları cinsinden ifade edilmektedir.



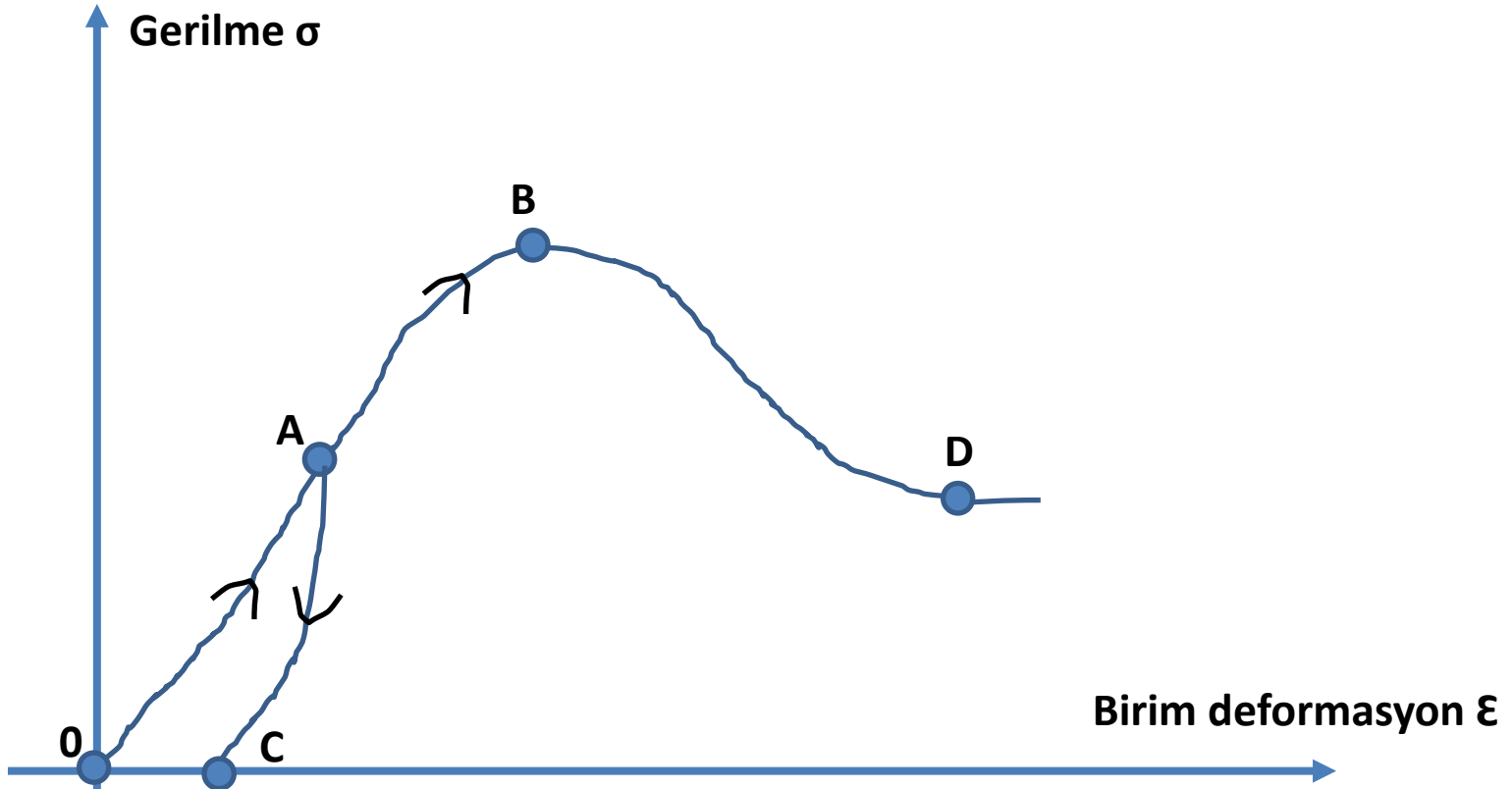
Lineer-elastik zemin modelinde, zemin davranışının Hooke yasasına uyduğu ve zeminin ise izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilir.

Ancak; genel olarak zeminler **heterojen, süreksiz** ve **anizotropik** malzemeler olup **yük altında elasto-plastik davranış** gösterirler. Ayrıca zemin davranışı yükleme ve drenaj koşullarına, jeolojik tarihçesine ve zamana bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir.

GERİLME-BİRİM DEFORMASYON İLİŞKİSİ

Zeminlerde gerilme deformasyon ilişkisi hiçbir zaman lineer ve elastik değildir.

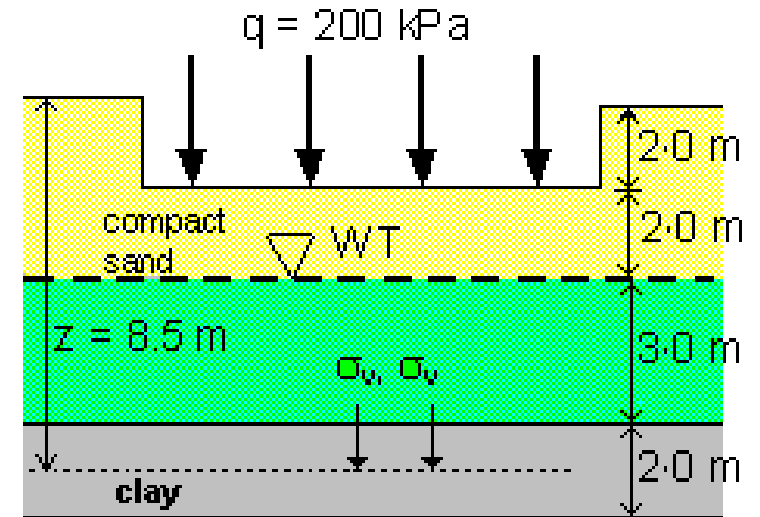
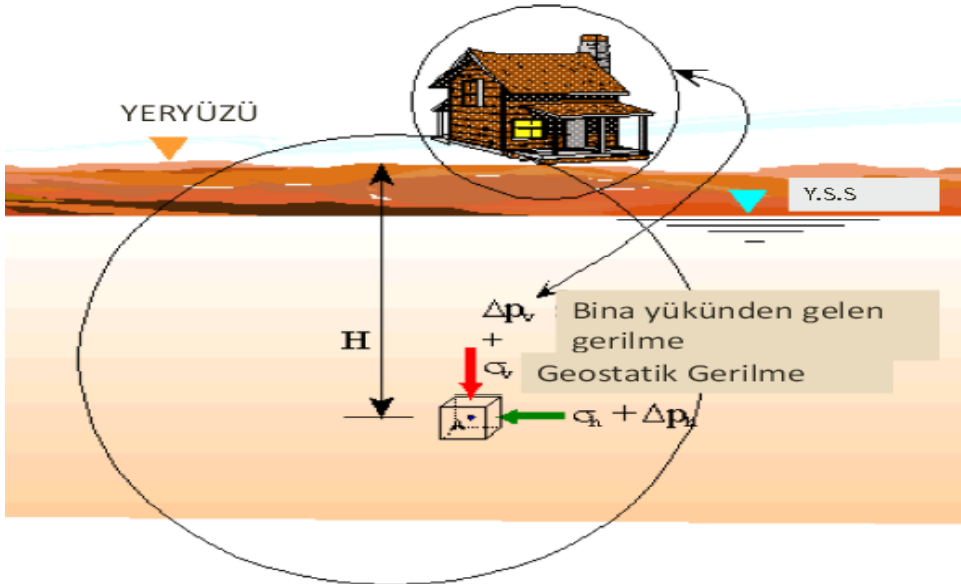
Zemin A noktasına kadar yüklenir, daha sonra yük geri alınırsa zemin orijinal haline dönmez. OC kadar kalıcı deformasyon olur ve buna histeri etkisi denir. B noktasından sonra yüklemeye devam edildiğinde zemin yük almamakta ve deformasyon yük azaldığı halde artmaktadır. B noktasından sonra zemin yenilmektedir. D noktasından sonra ise zemin sabit yük altında sürekli deforme olmaktadır.



ZEMİNDEKİ GERİLMELER

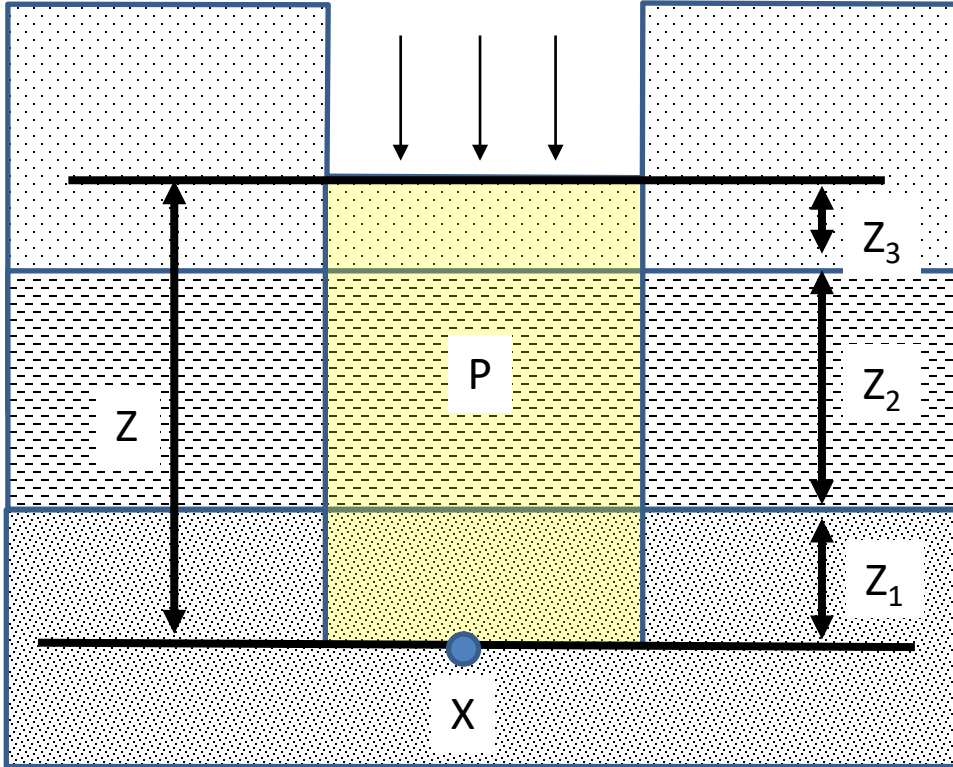
Doğal durumda yada yük altında zeminde oluşan gerilmeler ve gerilmelerin büyüklüğü ile dağılışı zemin mekaniğinin önemli bir konusunu oluşturmaktadır. Zemin ortamındaki herhangi bir nokta veya seviye dikkate alındığında o seviyenin üzerinde bulunan zemin ağırlığı ve/veya yüzeysel yüklerden dolayı düşey ve yatay doğrultuda gerilmeler oluşacaktır. Ayrıca zemin çerisindeki suyun varlığı da oluşacak gerilmeleri etkileyen diğer bir unsurdur. Zemin ortamındaki gerilmeleri iki ana grupta toplamak mümkündür.

1. Zeminin kendi ağırlığı ve su basıncı etkisi ile gelişen gerilmeler (**Jeostatik**)
2. Zemin üzerindeki dolgu ve mühendislik yapılarından kaynaklanan gerilmeler (**Ek gerilmeler**)



ZEMİNLERDE DÜŞEY GERİLMELER

Toplam düşey gerilme bir elemanın üzerinde yer alan toplam malzeme ağırlığının yol açtığı basınca eşit olmaktadır.



$$\sigma_{Xz} = \frac{F}{A} = \frac{W}{A} = \frac{V * \gamma}{A} = \frac{A * z * \gamma}{A}$$

$$\sigma_{Xz} = z * \gamma$$

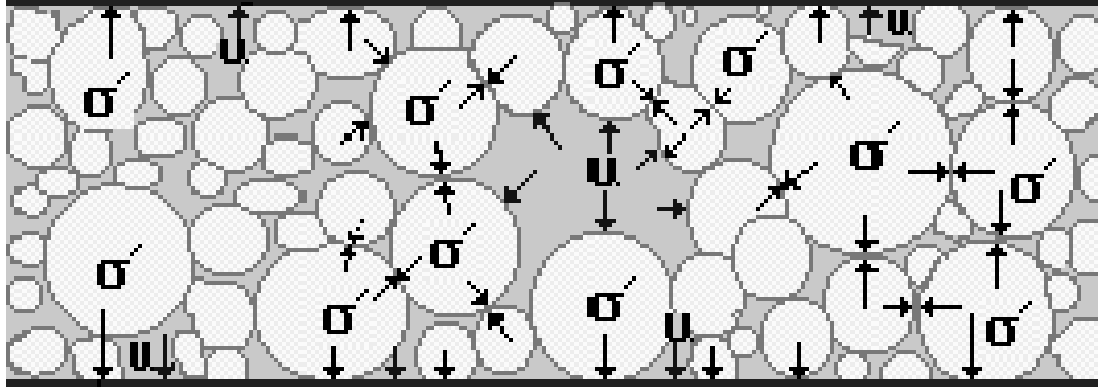
Zemin mekaniğinde zeminlerin çok düşük çekme dayanımına sahip olmaları nedeniyle mukavemetin aksine basma gerilmesinin pozitif olarak kabul edilmektedir.

ZEMİNLERDE DÜŞEY GERİLMELER



ZEMİNLERDE DÜŞEY GERİLMELER

Toplam ve efektif gerilme kavramları



$$\sigma = \gamma \cdot h \text{ (kg/cm}^2 \text{ (kPa))}$$

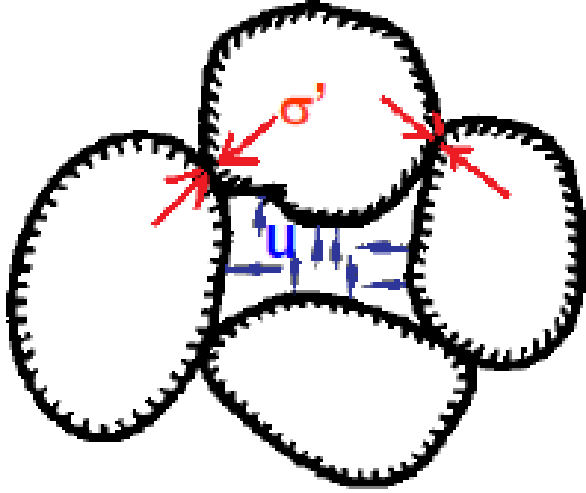
Normal gerilme (σ) : Belirli bir düzleme dik olan gerilme bileşeni. Normal (toplam) gerilme, herhangi bir derinlikte ortamın yoğunluğu/birim hacim ağırlığı ile doğru orantılıdır. Gözeneklerdeki suyun etkisi hesaba katılmaz. Derinlikle beraber artar.

Boşluk suyu basıncı (Pore water pressure, u) : Suya doymun ortamda gözeneklerdeki su basıncı. Boşluk suyu basıncı da suyun yoğunluğu/birim hacim ağırlığı ile derinliğin çarpımıdır. Su tablası seviyesinde boşluk suyu basıncı sıfırdır. Su tablasından aşağıya doğru artarken, yukarı doğru kılcallık (kapilarite) ile vektörel olarak negatif yönde artar. Su tablası seviyesindeki hareketi ise çizimde yatay olarak gösterilir.

Efektif gerilme (σ') : Zemin kütlesi içinde taneden taneye aktarılan ve birim alana etkiyen ortalama dik kuvvet. Diğer bir deyişle, zemin taneleri tarafından karşı koyulan gerilme. Efektif gerilme, gerçekte yeraltında ortama etki eden gerilmedir. Toplam gerilmeden boşluk suyu basıncının çıkartılması ile bulunur.

EFEKTİF GERİLME

Zeminlerin taneli bir yapıya sahip olduğu ve aralarındaki boşluklarda su ve/veya hava bulunduğu göz önüne alınır, uygulanan toplam yükün bir kısmının taneler arası temas düzlemlerinde oluşan gerilmeler, geriye kalan kısmının ise boşluk suyu basıncı tarafından karşılanacağı düşünülebilir. **Efektif gerilme (σ') zemin kütlesi içinde taneden taneye aktarılan kuvvetlerin yarattığı, doğrudan doğruya ölçülemeyen gerilmeyi temsil eder.** Zeminde hacim değişiklikleri ve kayma dayanımının doğması efektif gerilmelere bağlıdır.



Bu gerçek ilk defa Terzaghi (1936) tarafından fark edilmiş ve efektif gerilme kavramı geliştirilmiştir. Bu kavrama göre, tamamen suya doygun bir zeminde efektif gerilme aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

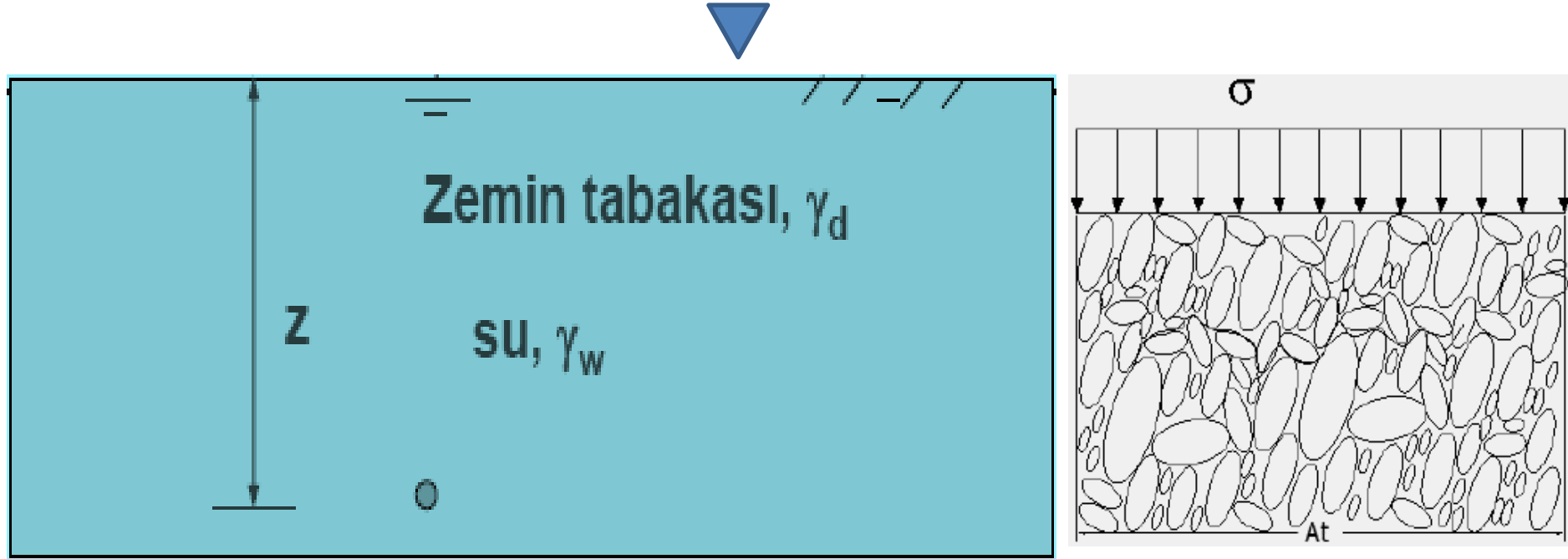
$$\sigma = \sigma' + \mu$$

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

Zeminlerin yük altında sıkışması, şekil değiştirmesi ve kayma gerilmelerine karşı direnci gibi davranışları, **zemin içinde verilen bir nokta üzerinde etkiyen toplam gerilmeler ile hidrostatik boşluk suyu basıncı arasındaki farka eşit olan efektif gerilmeler tarafından kontrol edilmektedir.**

EFEKTİF GERİLME

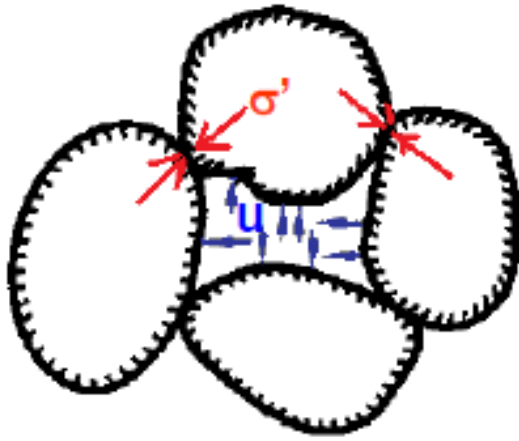
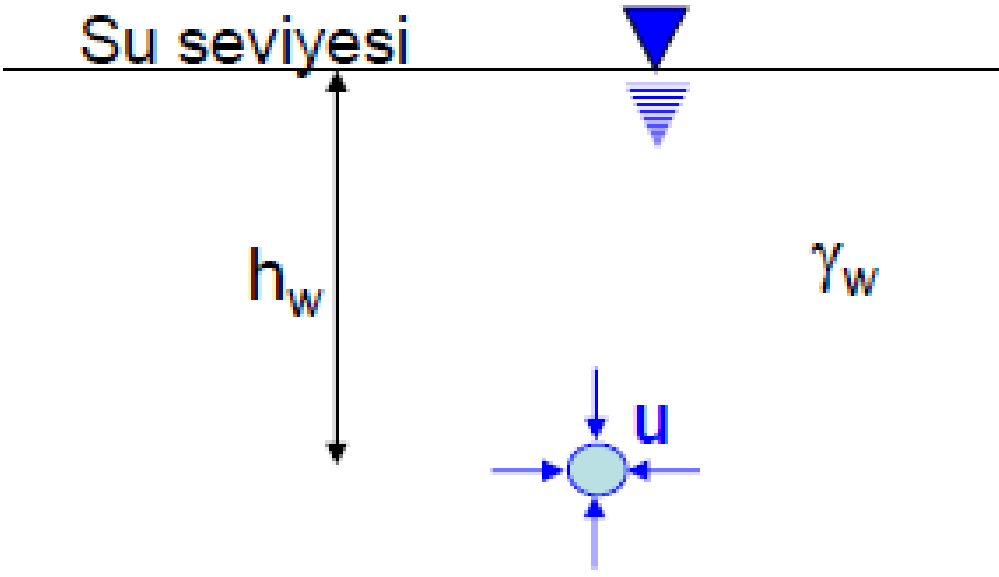
Zemin iskeletini oluşturan tanelerin temas noktalarında ortaya çıkan kuvvetler toplamının, toplam kesit alanına bölünmesi ile elde edilen ortalama gerilmenin efektif gerilmeye eşit olduğu söylenebilir. Ancak, taneler arası temas noktalarındaki kuvvetleri hesaplamaya veya ölçmeye olanak yoktur.



Zeminin tamamen kuru olması durumunda, boşluklar tamamen hava ile dolu olacağı ve havanın sıkışabilirliği zemin iskeletine göre çok daha fazla olduğu için **efektif gerilme toplam gerilmeye eşit olacaktır.**

BOŞLUK SUYU BASINCI

Hidrolik konularında değinilen “hidrostatik basınç”, zemin mekaniğinde **“boşluk suyu basıncı”** olarak adlandırılmaktadır.



$$\mu = \gamma_w * h_w$$

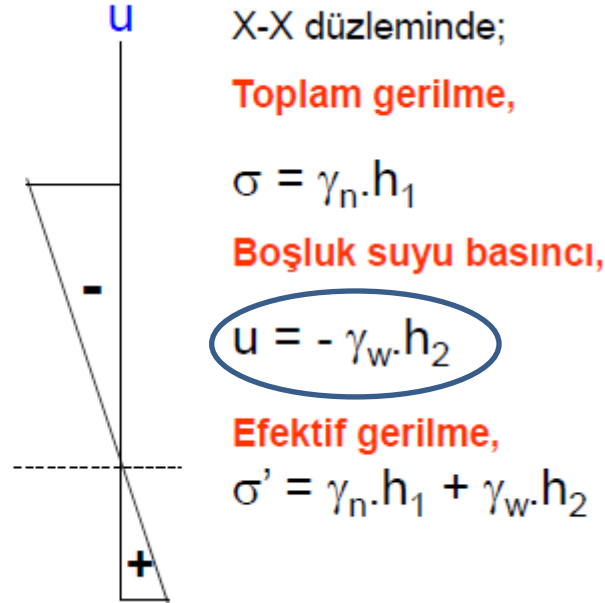
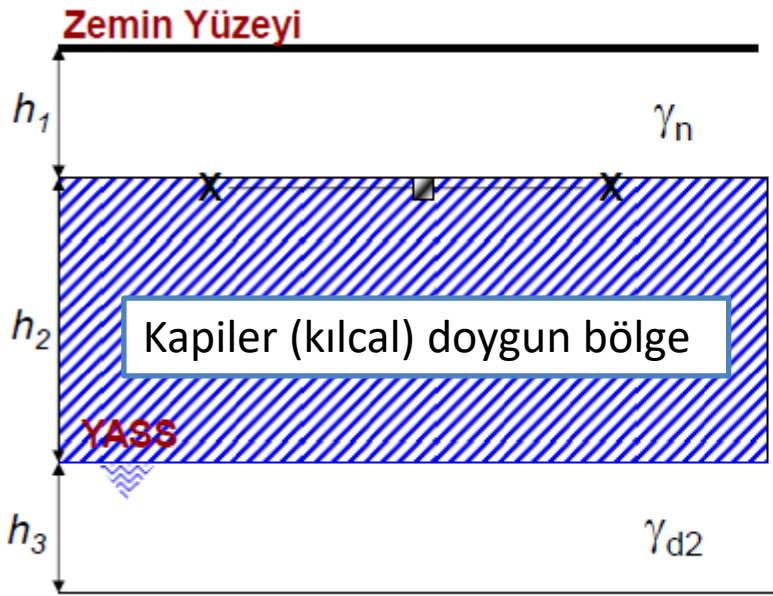
Zeminin davranışı, **üzerindeki toplam düşey basınç yanında büyük oranda boşluk suyu basıncı tarafından da etkilenmektedir.**

Zemine ucu açık bir boru yerleştirilmesi durumunda göz önüne alınan eleman içindeki su basıncı, boru içinde yükselen su kolonu ağırlığına eşittir. Bu hidrostatik basınç zemin mekaniğinde boşluk suyu basıncı olarak tanımlanmaktadır.

DÜŞEY GERİLMELERİN VE BOŞLUK SUYUNUN DERİNLİKLE DEĞİŞİMİ

Tabii zeminler genellikle tabakalı bir ortam oluşturular. Bu durumlarda değişik tabaka kalınlıkları boyunca düşey basınç artışlarını bulmak için hesaplarda her tabakaya ait (zemin kuru, ıslak veya su altında olmasına bağlı olarak) zeminin kuru, ıslak (tabii) veya suya doymun birim hacim ağırlıklarının kullanılması gerekir.

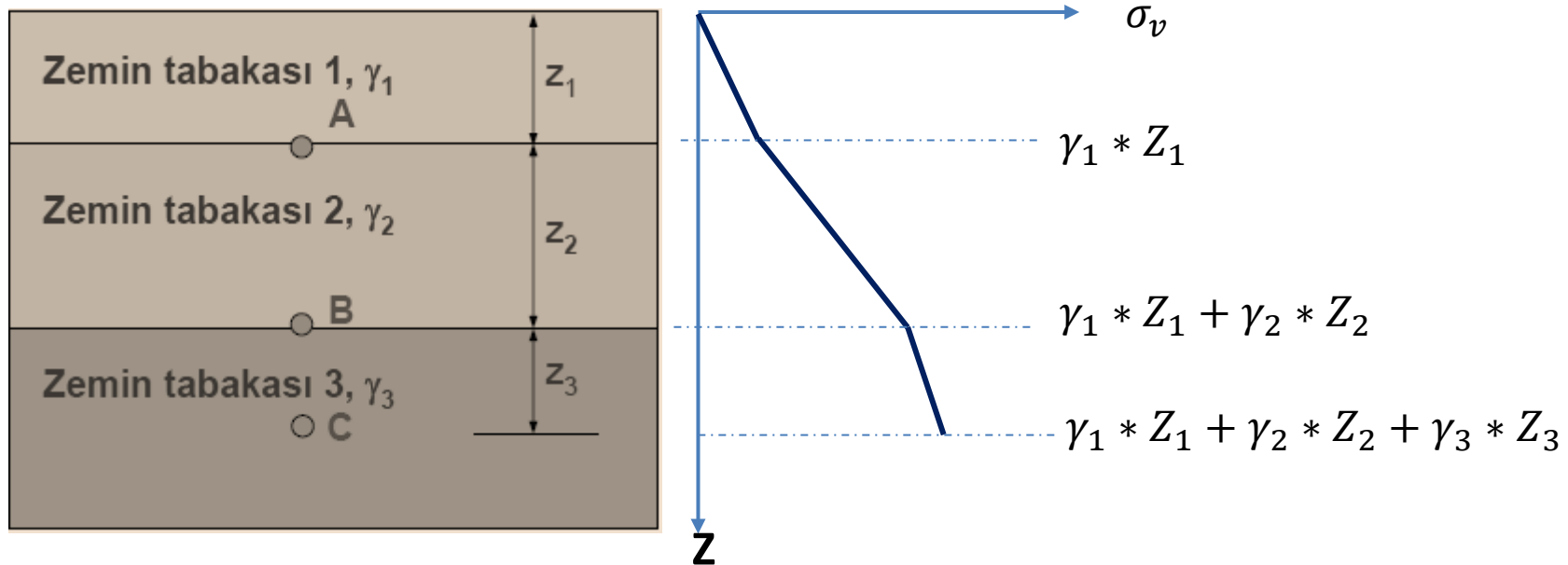
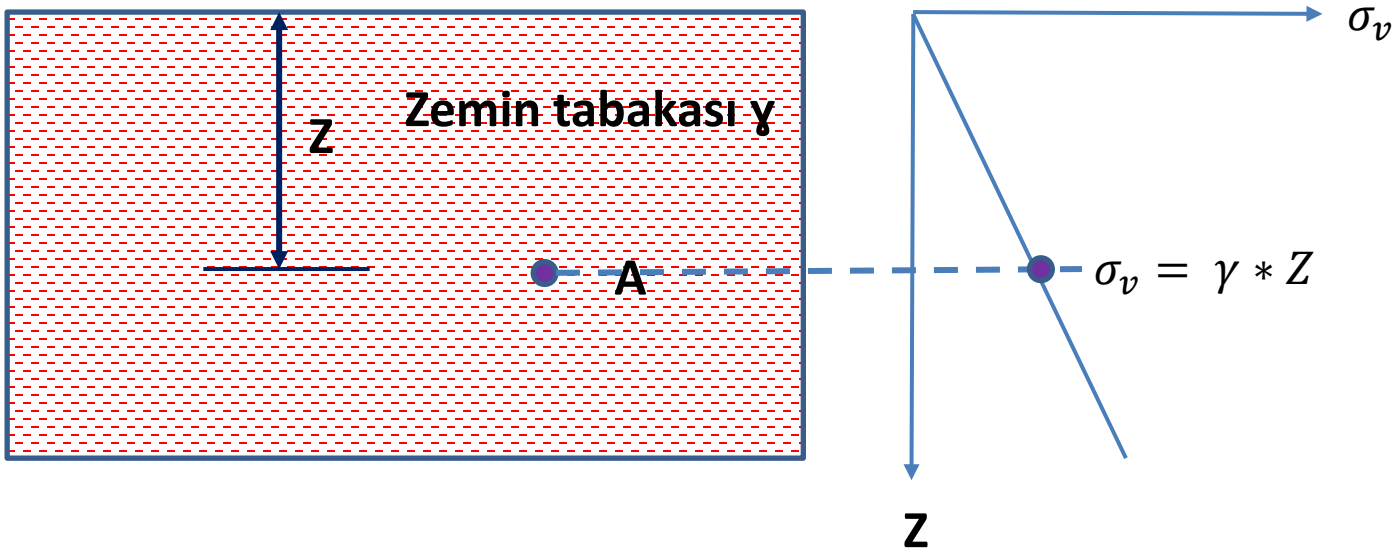
Her durumda boşluk suyu basıncı, YASS'den itibaren lineer olarak artacaktır. Suyun yüzeysel gerilim etkisi ile yer altı su seviyesinin üstüne çıktığı kapiler bölgede boşluk suyu basıncı negatiftir **su çekme gerilmelerinin etkisinde bulunduğu için** ($u < 0$) ve değeri kabaca $\gamma_w \times h_c$ ile bulunabilir.



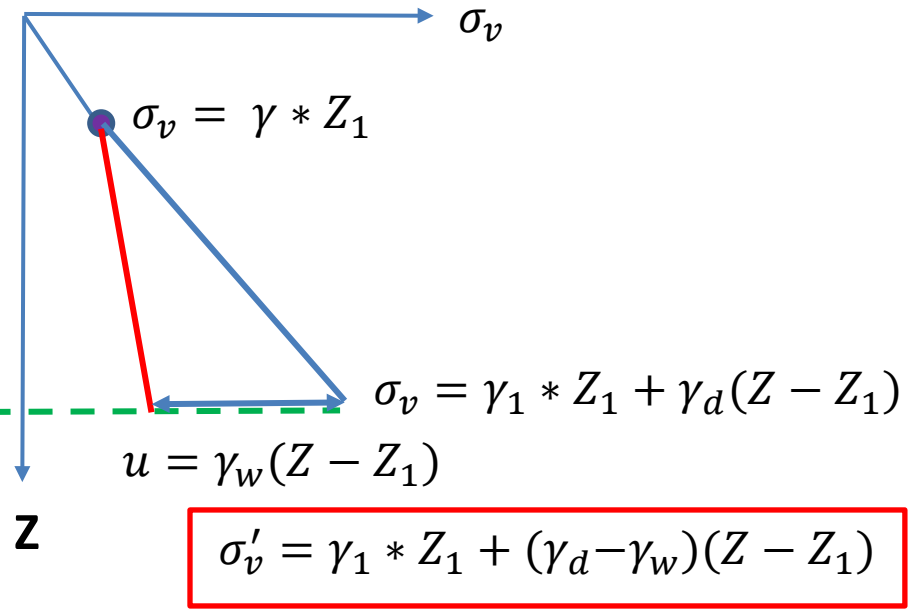
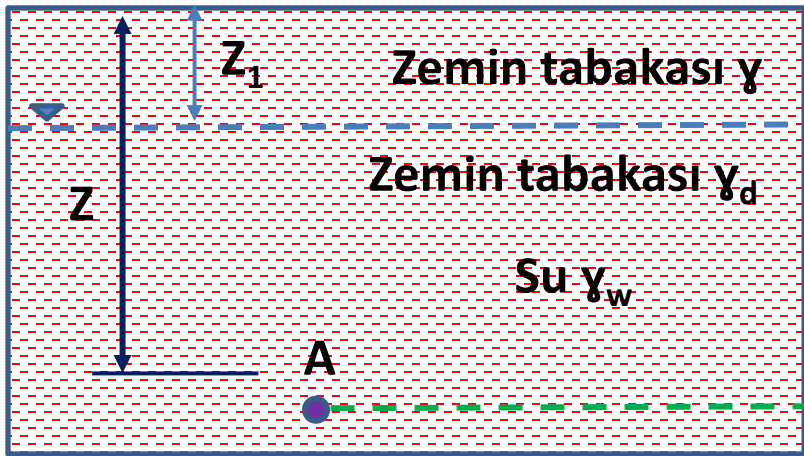
Zemin mekaniğinde çekme gerilmesinin – işaretli olduğunu unutmayınız.

DÜŞEY GERİLMELERİN VE BOŞLUK SUYUNUN DERİNLİKLE DEĞİŞİMİ

Düşey gerilme profili



YERALTI SU SEVİYESİ İLE DÜŞEY GERİLME PROFİLİ



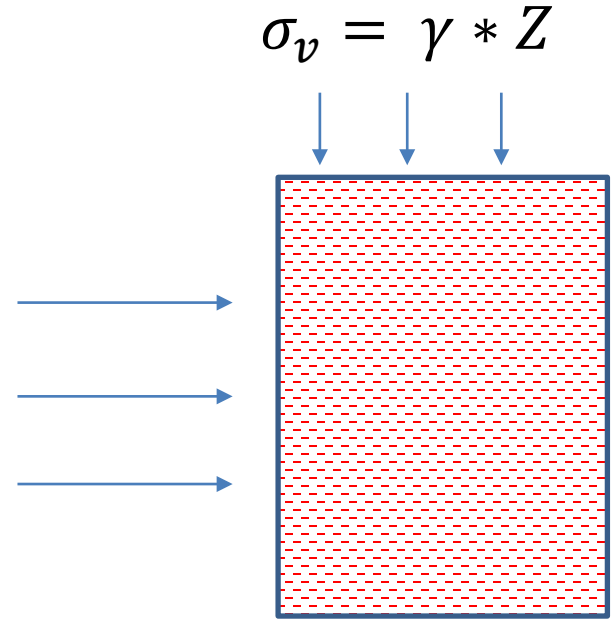
$$\sigma'_v = \gamma_1 * Z_1 + (\gamma_d - \gamma_w)(Z - Z_1)$$

ZEMİN İÇİNDE OLUŞAN YANAL GERİLMELER

Zeminin doğada veya sıkıştırılmış bulunduğu ortamda etkiyen düşey ve yatay gerilmelere doğal veya “geostatik gerilmeler” denir. Zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan yanıl gerilmeler o noktadaki düşey gerilmenin şiddetine bağımlıdır ve σ_h olarak adlandırılır.

K yanıl toprak basıncı katsayısı olup, değeri zemin cinsine, gerilme tarihçesine vb. faktörlere bağılı olarak değişmektedir.

$$\sigma_h = K \sigma_v$$



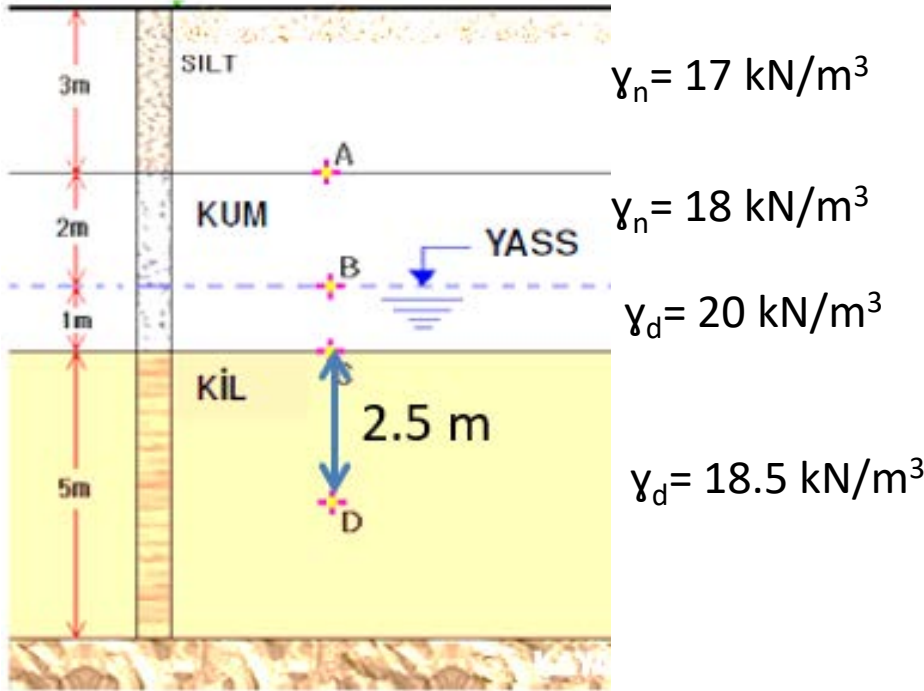
$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

Zeminlerde doğal durumda YATAY/DÜŞEY gerilme oranı, “Sükunette toprak basıncı” olarak tanımlanır. K_0 olarak ifade edilir. Tabii zeminler için $K_0 = 0.4 - 3.0$ arasında değerler alabilir.

TOPLAM VE EFEKTİF GERİLME KAVRAMLARI

Örnek

A, B, C ve D noktalarında toplam gerilme, efektif gerilme ve boşluk suyu basınçlarını hesaplayarak, derinliğe göre gerilme diyagramlarını çiziniz.



$$\sigma = \bar{\sigma} + u_w$$

A NOKTASI

$$\sigma_A = \rho_n \cdot z = 17 \times 3 = 51 \text{ kN/m}^2$$

$$u_{wA} = \rho_w \cdot z = 0$$

$$\bar{\sigma}_A = \sigma_A - u_w = 51 \text{ kN/m}^2$$

B NOKTASI

$$\sigma_B = 17 \times 3 + 18 \times 2 = 87 \text{ kN/m}^2$$

$$u_{wB} = \rho_w \cdot z = 0$$

$$\bar{\sigma}_B = \sigma_B - u_w = 87 \text{ kN/m}^2$$

C NOKTASI

$$\sigma_C = 17 \times 3 + 18 \times 2 + 20 \times 1 = 107 \text{ kN/m}^2$$

$$u_{wC} = \rho_w \cdot z = 9.81 \times 1 = 9.81 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_C = \sigma_C - u_w = 107 - 9.81 = 97.19 \text{ kN/m}^2$$

D NOKTASI

$$\sigma_D = 17 \times 3 + 18 \times 2 + 20 \times 1 + 18.5 \times 2.5 = 153.25 \text{ kN/m}^2$$

$$u_{wD} = \rho_w \cdot z = 9.81 \times 3.5 = 34.34 \text{ kN/m}^2$$

$$\bar{\sigma}_D = \sigma_D - u_w = 153.25 - 34.34 = 118.91 \text{ kN/m}^2$$

TOPLAM VE EFEKTİF GERİLME KAVRAMLARI

Gerilme diyagramı

	Yüzey	A	B	C	D	Taban
Toplam Gerilme, σ	0	51	87	107	153.25	199.5
Boşluk Suyu Basıncı, u_w	0	0	0	9.81	34.34	58.86
Efektif Gerilme, σ'	0	51	87	97.19	118.91	140.14

