



INM 305

Zemin Mekaniği

Zeminlerde Su

Yrd.Doç.Dr. İnan KESKİN

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

Haftalık Konular

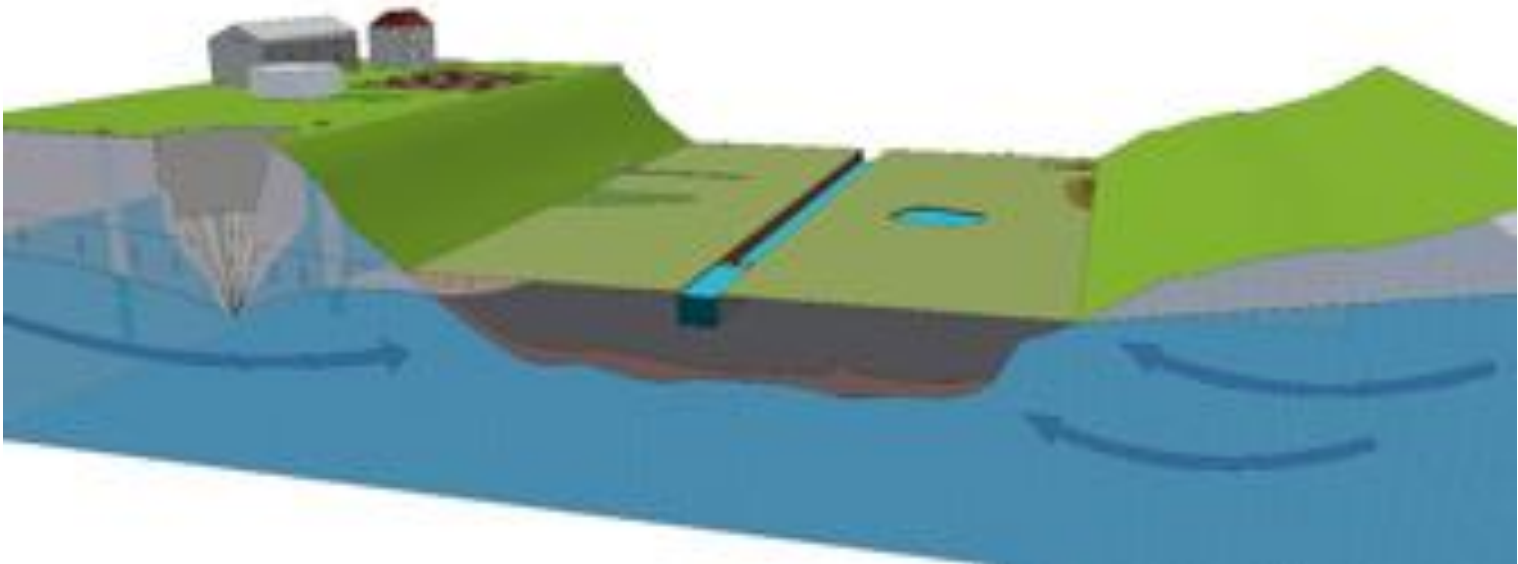
Hafta 1:	Zeminlerin Oluşumu
Hafta 2:	Zeminlerin Fiziksel ve Endeks Özelliklerinin Tanımlanması ve Problem Çözümleri
Hafta 3:	Zeminlerin Fiziksel ve Plastisite Özelliklerine Yönelik Deneyler
Hafta 4:	Zeminlerde Tane Dağılımı ve Analizi
Hafta 5:	Zeminlerin Sınıflandırılması
Hafta 6:	Zemin Sınıflama Sistemleri Uygulamaları ve Karşılaştırmalar
Hafta 7:	Zeminlerde Su
Hafta 8:	Zeminlerde Gerilmeler ve Dağılışı
Hafta 9:	Gerilme Altında Zemin Davranışı
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

ZEMİN SUYU

Bir zemin kütlesini oluşturan taneler arasındaki boşluklar kısmen yada tamamen su ile dolu olabilir.

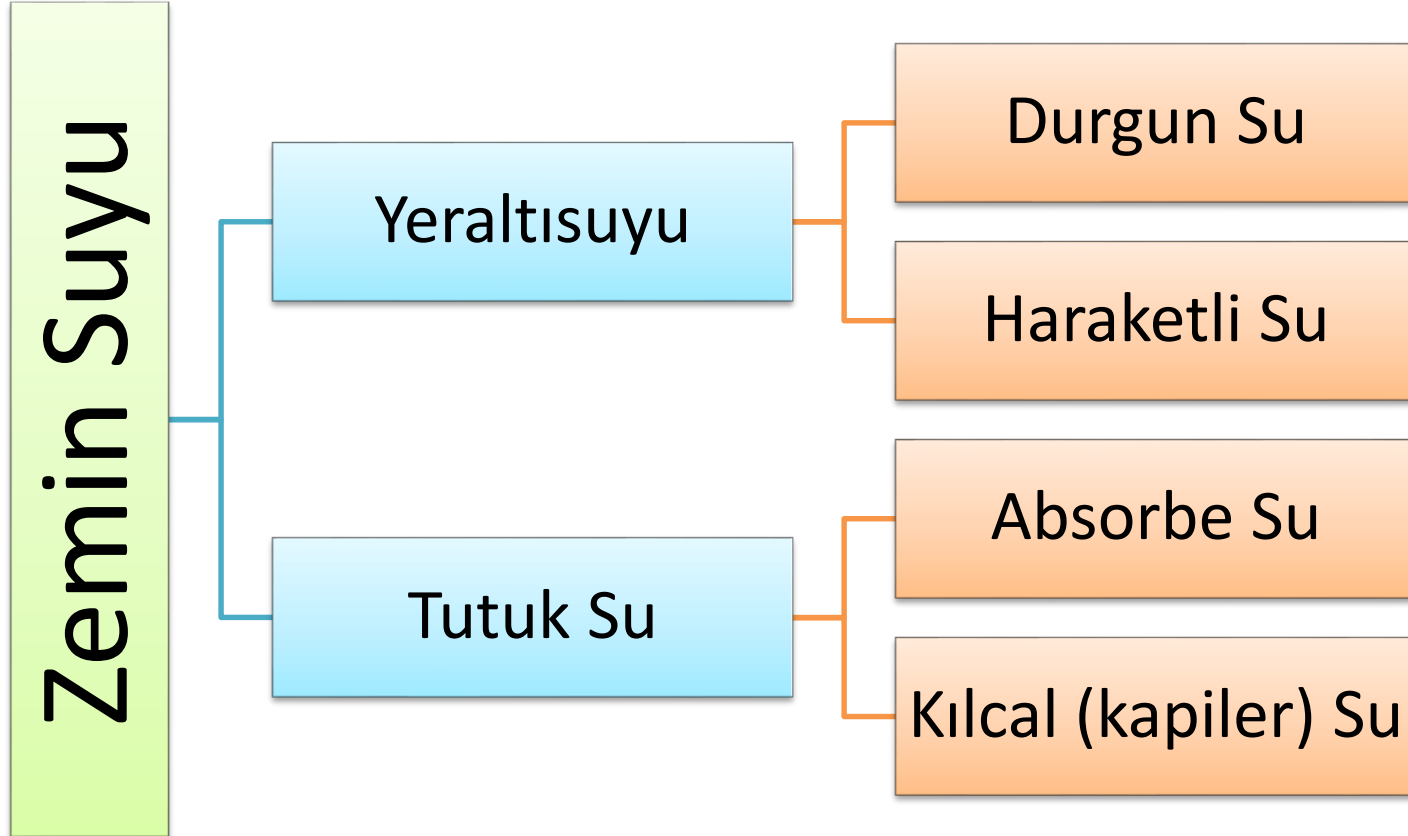
Zeminlerin **taşıma gücü**, yük altında **sıkışması**, şevler ve toprak barajlar gibi zemin yapılarının **stabilitesi**, su tutma yapılarının su tutma özellikleri ve zeminlerin inşaat malzemesi olarak kullanılma karakteristikleri üzerinde zemin-su ilişkisi önemli rol oynar.

Zemin mühendisliğinin uygulamada karşılaşılan bütün problemlerini anlayabilmek ve mühendislik çözümleri geliştirebilmek için zemin davranışı üzerinde suyun etkisinin incelenmesi gerekmektedir.



ZEMİN SUYU

Zemin kütlesi içerisinde bulunan su ***zemin suyu*** olarak adlandırılır. Kabaca ***serbest su*** ve ***tutuk su*** olmak üzere ikiye ayrılır



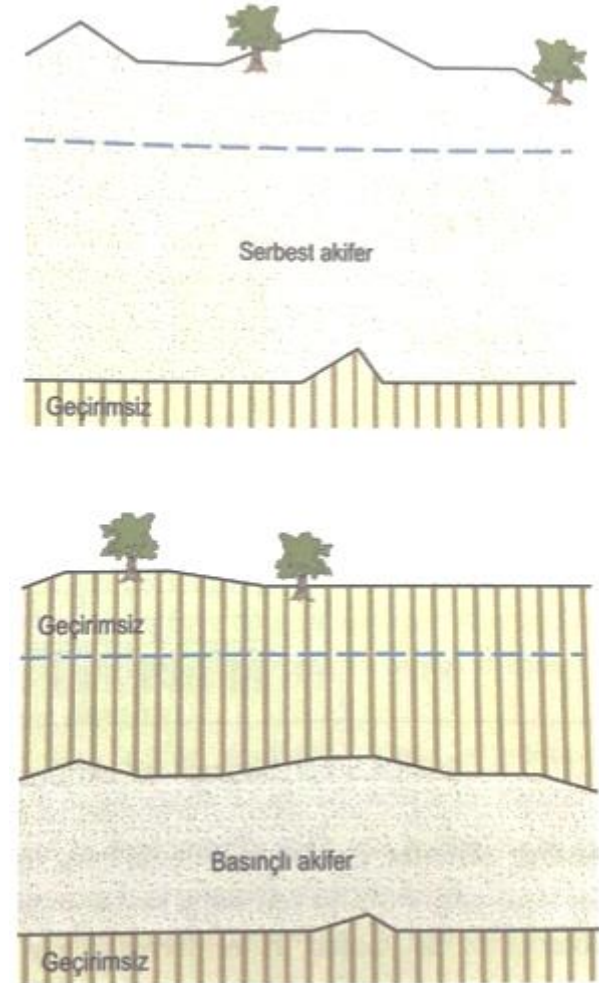
Yeraltısuyu yerçekimi kuvveti, absorbe su tane yüzeylerindeki elektriksel kuvvetler, kapiler su ise civarda gözlenen yüzeysel kuvvetler kontrol altında tutulmaktadır.

YERALTISUYU

Yer çekimi etkisi altında serbestçe akan suya denir. **Durgun (statik, hareketsiz) yada hareketli (akış durumunda) olabilir.** İçinde serbest su bulunan zemin, suya doygun olarak düşünülür.

Suyu depolama ve iletebilme özelliklerine göre zeminler farklı özelliklere sahiptirler

	Depolama kapasitesi	Drenaj kapasitesi	İletim kapasitesi	Karakteristik malzemeler
AKİFER	YÜKSEK	YÜKSEK	YÜKSEK	Çakıl, kum, kireçtaşı
AKİTARD	YÜKSEK	ORTA/DÜŞÜK	DÜŞÜK	Silt, siltli kum, killi kum
AKİKLÜD	YÜKSEK	ÇOK DÜŞÜK	SIFIR	Kil
AKİFÜJ	SIFIR	SIFIR	SIFIR	Granit, gnays, mermer

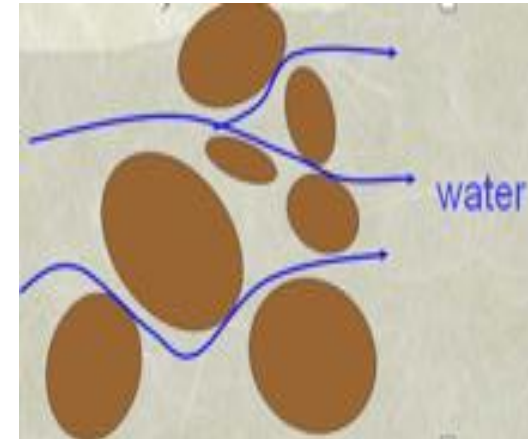
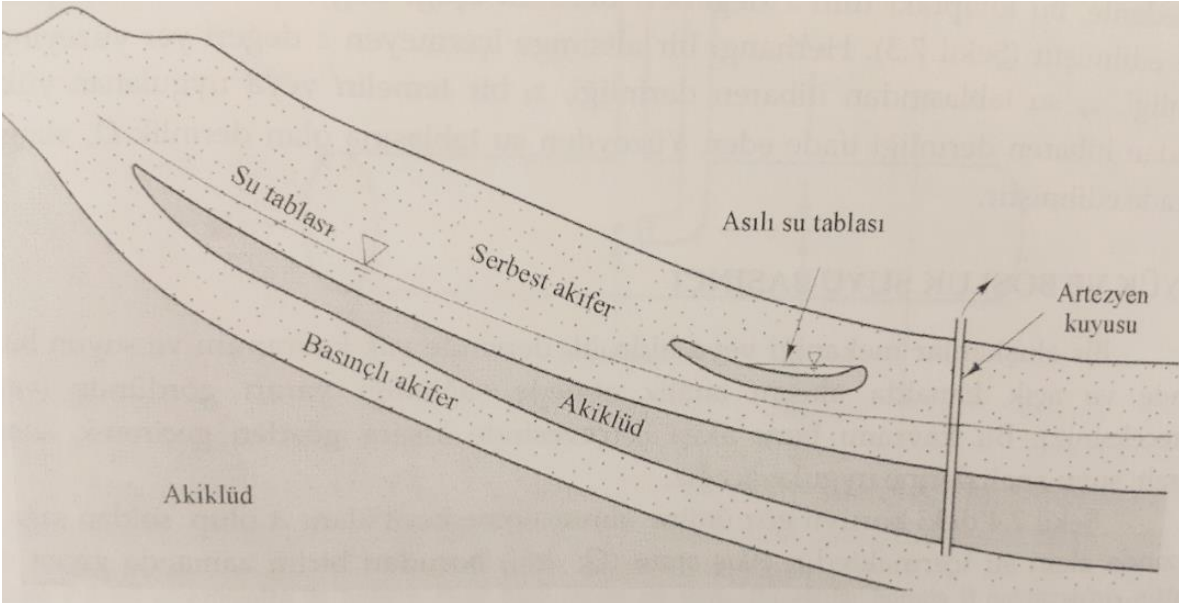


YERALTISUYU

Yeraltı suyu YASS olarak nitelendirilen kota kadar zemin boşluklarını tamamen doldurur. Bu seviyede atmosferik basınç altındadır.

Genellikle zemin yüzeyine paralel ve yerçekimi kuvvetleri etkisi altında yüksek kottan düşük kotlara doğru hareket halindedir.

Zeminlerin fiziksel özellikleri bünyelerindeki su miktarına bağlı olarak değiştiği ve zemin kütlelerine etkiyen hidrolik basınçlar YASS'ne ve sızma kuvvetleri de YASS hareketine bağlı olarak değiştiği için inşaat sahalarında yeraltı suyu akımının özelliklerinin saptanması gerekir.

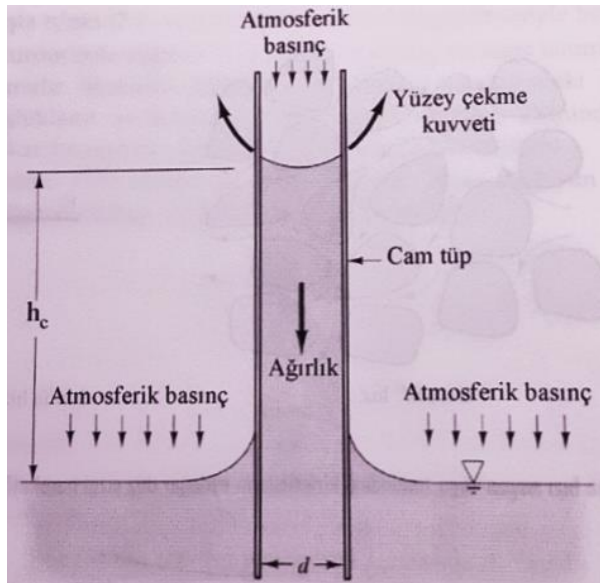


TUTUK SU

Taneler arası boşluklarda bazı kuvvetlerce tutulan suya denir. Absorbe su ve kılcal su diye ikiye ayrılır.

Absorbe su (hidroskopik su): Zemin taneleri tarafından havadan çekilen ve tanelerin dış yüzünü ince bir film tabakası gibi saran sudur. Bu su zemin tanelerinin bir parçası gibidir. Etüvde kurutulunca zeminden uzaklaşır.

Kapiler-Kılcal su: Zemin boşluklarında yüzey gerilim kuvvetleri tarafından tutulan su olup, zemin içerisinde serbestçe akamaz. *Farklı maddelerin ara yüzeylerinde ortaya çıkan yüzeysel çekme gerilmelerinden dolayı meydana gelir.* Kapiler su, mineral daneler ve hava yüzeyleri arasında meydana gelir. Zeminlerde gözlenen bu durum sıvılara batırılan küçük çaplı borularda sıvının yüzeysel çekme gerilmesi altında yükselmesi ile aynı fiziksel nedenlere bağlıdır.



YASS'nin üzerindeki zemin tabakaları zemin cinsine bağlı olarak değişen kalınlıklarda, YASS'den yukarı doğru kapiler kuvvetlerin etkisi altında tırmanan su tarafından beslenir.

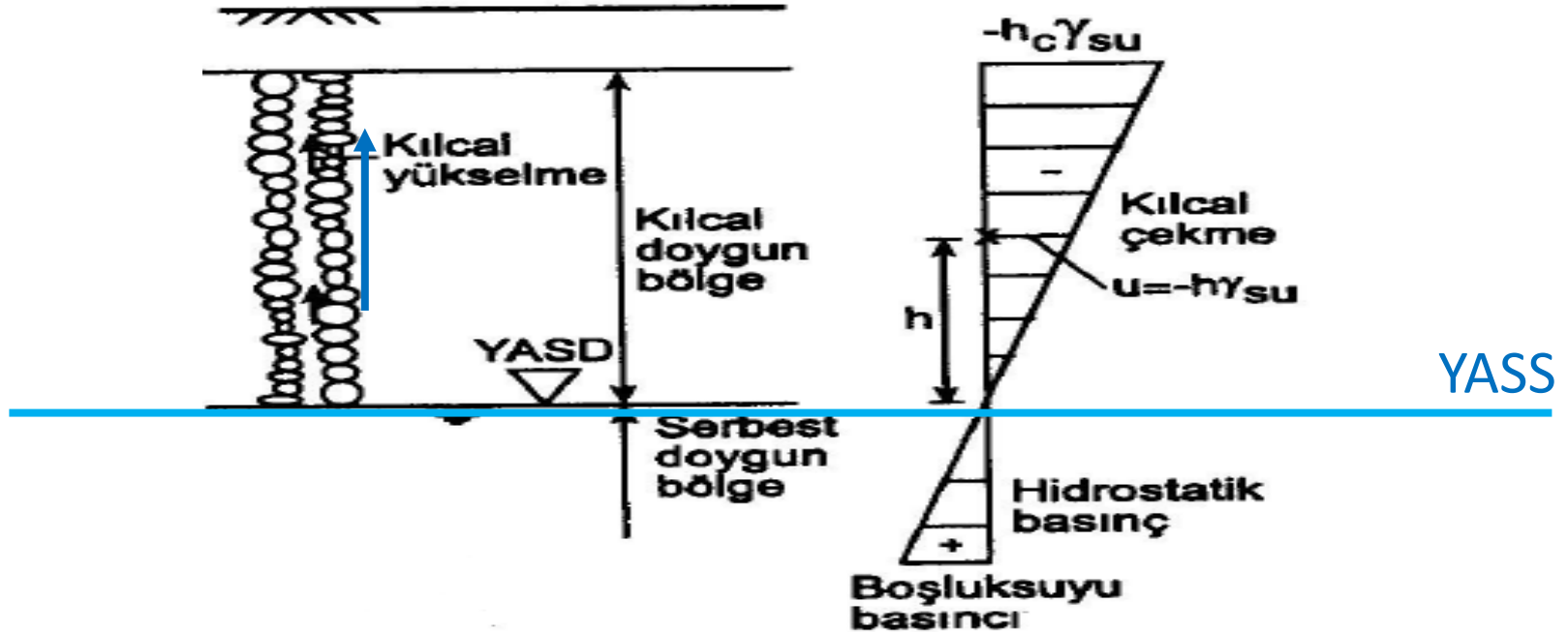
ZEMİN-SU

Zemin ile su arasındaki ilişkiler kapilerite, geçirimlilik, sızma olmak üzere üç ana kavram ile açıklanır.

Zeminde Kılcallık (Kapilerite) Olayı

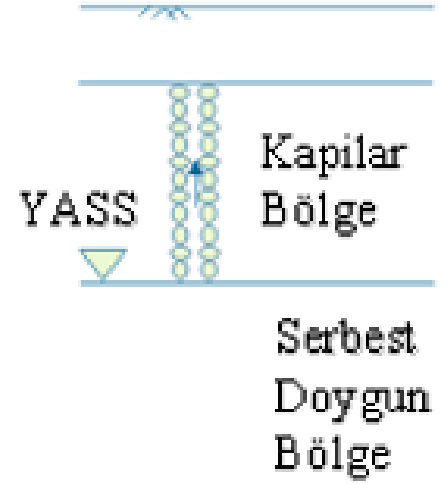
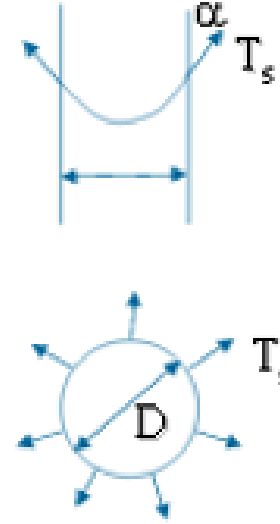
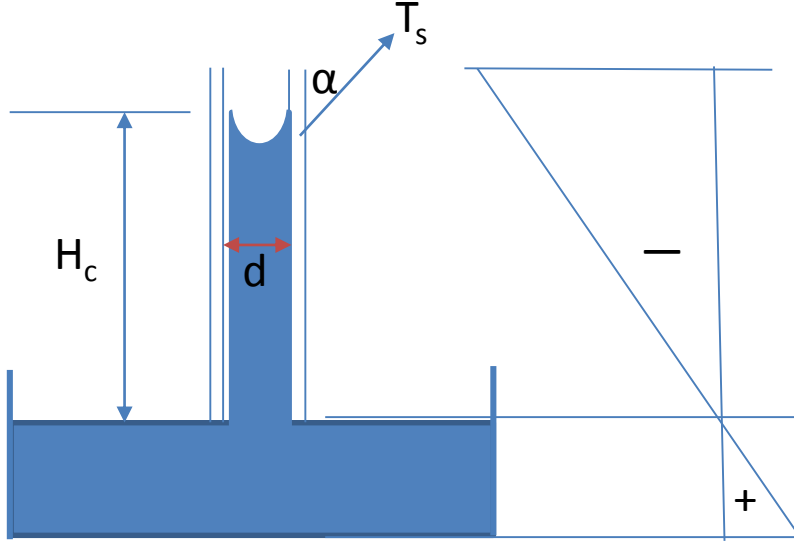
Kılcallık, suyun serbest su düzeyi üzerindeki bölgeye kılcal kuvvet adı verilen kuvvetlerle yukarı doğru çekilmesi olayıdır. İçi su dolu bir kaba daldırılan ince bir boru (tüp) içerisinde suyun yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisinde yükselmesine benzer olarak, serbest yeraltı suyu zemin taneleri arasındaki boşlukların oluşturduğu bir tür kılcal boru içinde yükselir. Bu kılcal hareket su ile ortam arasındaki yüzey geriliminin bir sonucudur.

Bir tüp içerisindeki su kolonunun ağırlığı ile yüzeydeki çekme gerilmeleri dengeleninceye kadar su tüp içerisinde yükselecektir.



ZEMİNDE KILCALLIK (KAPİLERİTE) OLAYI

Bir ince boru içinde suyun kılcal (kapilar) yükselme miktarı (h_c , kılcal yükseklik), borudaki suyun ve yüzey gerilim kuvvetlerinin düşey dengesi düşünülerek aşağıdaki eşitlikle kabaca belirlenebilir.



Bir ince boru içinde suyun kapilar yükselme miktarı

$$h_c = \frac{4T_s \cos \alpha}{\gamma_{su} D}$$

T_s ; Yüzey gerilim kuvveti olup, 20°C su için yaklaşık 73mN/m'dir
 α ; değme acısı, temiz bir cam tüp için sıfır ve $\cos \alpha$ 1 olur
 D ; Cam tüpün çapı
 $\gamma_{su}=9.87kN/m^3$

Temiz cam ve saf su için kılcal yükselim formülü çözüldüğünde eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$h_c (mm) = \frac{-0,03 \text{ m}}{D (mm)}$$

Kılcal yükselim serbest su yüzeyinde ve yukarı doğrudur. Ancak bir önceki sayfada gösterilen şekilden dolayı eksidir.

ZEMİNDE KILCALLIK (KAPİLERİTE) OLAYI

Bir önceki slaytta da ifade edildiği gibi cam tüplerde **kapiler yükselme** miktarı tüp çapı ile ters orantılıdır. Zeminlerde de **boşlukların çapı ile ters orantılı** olacağı tahmin edilebilir. Farklı çaptaki gözeneklerin birbiriyle irtibatlı ağından dolayı, zeminlerdeki kılcal yükselim cam tüptekinden daha karmaşıktır. Zemin içindeki boşlukların çapının sabit olmayıp geniş bir aralık içinde değişmesi olayı dahada karmaşıklştırmaktadır.

Kapiler yüksekliğin esas olarak küçük boşluklar tarafından kontrol edileceğini söyleyebiliriz. Zeminlerde boşluk büyüklüklerini doğrudan ölçmek pratik olarak mümkün değildir. *Fakat boşluk çaplarının dane çaplarına ve zeminin sıklık derecesine bağlı olarak değişeceği söylenebilir.*

Zemindeki kapiler yükseklik, efektif çap D_{10} esas alınır, ampirik olarak yandaki iki farklı bağıntı kullanılarak tahmin edilebilmektedir.

$$H_c = \frac{0,15}{D_{10}(mm)}$$

yada

$$H_c = \frac{C}{e * D_{10}(mm)}$$

$C = 0,1-0,5$ arasında değişen katsayı

D_{10} = %10 geçen yüzde için en büyük tane çapı (mm)

H_c = kılcal yükselim boyu *(m efektif çap mm cinsinden olmasına rağmen H_c m cinsindendir.)*

ZEMİNDE KILCALLIK (KAPİLERİTE) OLAYI

Serbest su düzeyinin altında *boşluksuyu basıncı + (basınç) işaretli olurken, kılcal doygun bölgede boşluksuyu basıncı - (çekme, emme) işaretlidir.* Kılcal doygun bölgede, herhangi bir noktadaki boşluk suyu basıncı, noktanın serbest su düzeyinden yüksekliği ile suyun birim ağırlığının çarpılmasına eşittir.

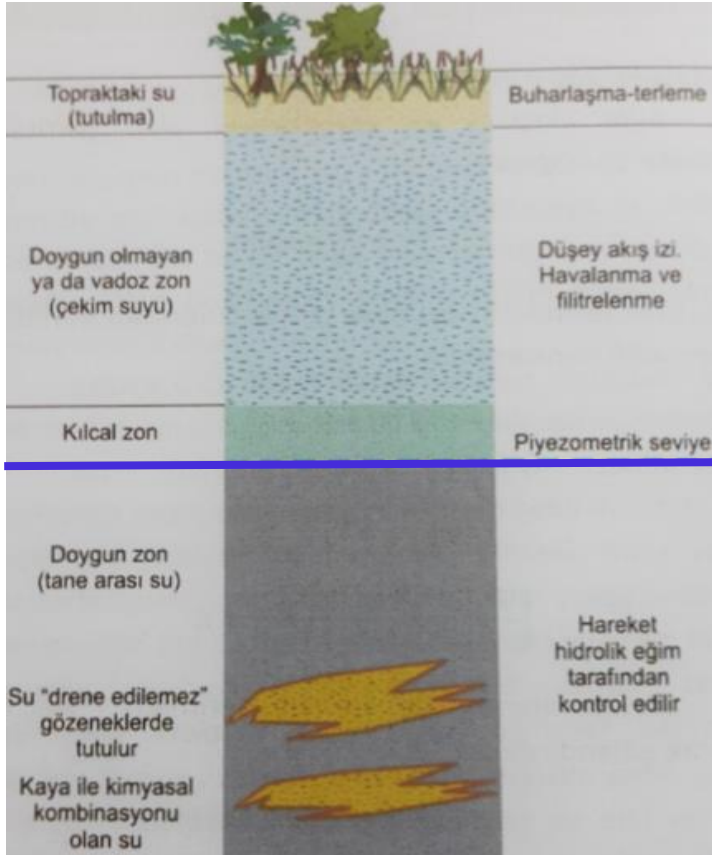
$$u = h \cdot \gamma_{su}$$

Kılcal yükseklik, ince taneli zeminlerde büyük, iri taneli zeminlerde küçük olmaktadır. Kılcal yükseklik, ince taneli zeminlerde teorik olarak çok büyük görünse de, pratikte bu değer bir kaç m'yi aşmıyor. Bu da, bu tür zeminlerde adsorbe suyun küçük boşlukları daha da azaltarak, kılcal suyun yukarı doğru hareketini engellemesi şeklinde açıklanabilir.

Zemin türü	Kılcal yükseklik (m)
Çakıl	0
Kum	0.1-1
Silt	1 - 10
Kil	> 10

ZEMİNDE KILCALLIK (KAPİLERİTE) OLAYI

Zemin yüzünden zemine giren sular, yeraltı su düzeyine ulaşırken, bir kısım su daneler arası temas noktaları civarında, yüzey gerilim kuvvetlerince tutulur. Böylece kısmen doymun bölge oluşur. Bu bölgede, taneler arası boşluklar; kısmen su, kısmen de hava ile (kısmen doymun zemin, yaş zemin) kaplıdır. Serbest yeraltı su düzeyi üzerinde, kılcallıktan dolayı, kılcal doymun bölge oluşur. Ancak, kılcal bölgede, kılcal yükselmenin zemin kitlesinde değişkenlik göstermesinden dolayı; kılcal tam doymun bölge ve kılcal kısmen doymun bölge oluşur.



Kuru bölge

Kısmen doymun (yaş) bölge

Kılcal kısmen doymun bölge

Kılcal tam doymun bölge



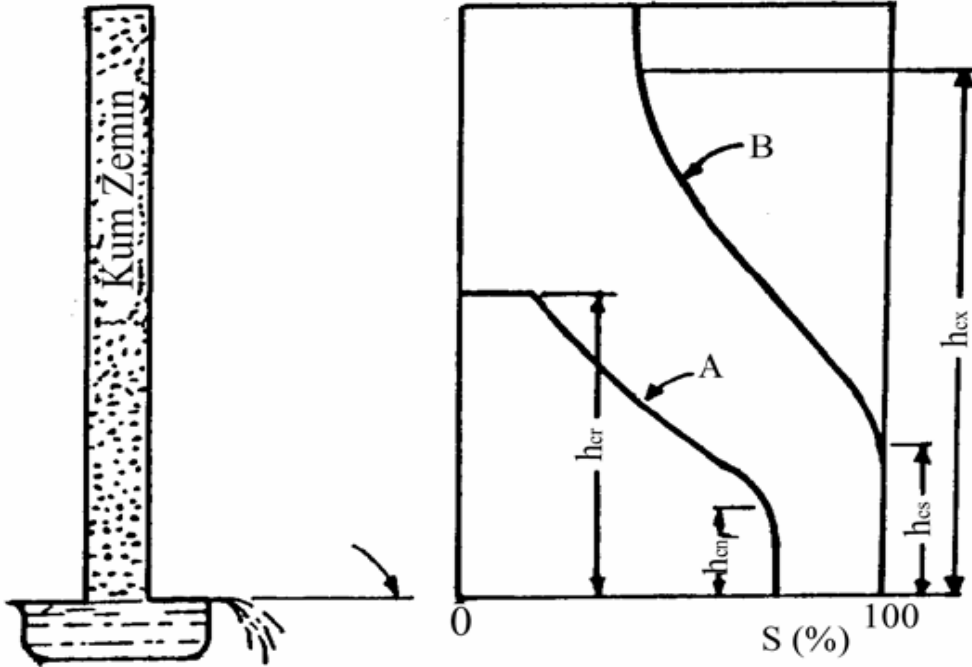
Serbest doymun bölge

ZEMİNDE KILCALLIK (KAPİLERİTE) OLAYI

Şekilde alt yüzeyinde su ile temas halinde bir ince kum kolonu ve bu kolon boyunca kapilarite etkisinde suyun yükselmesi görülmektedir.

A eğrisi kuru kum kolonunun alttan su ile temas etmesi durumunu,

B eğrisi ise kum kolonunun önce tamamen suyun doygun hale getirilip sonra drene olmasına izin verilmesi durumunu göstermektedir.



Şekilde görüldüğü gibi iki durumdaki kapiler yükseklik ve kum kolonu boyunca suya doygunluk derecesinin değişimi birbirinden farklıdır.

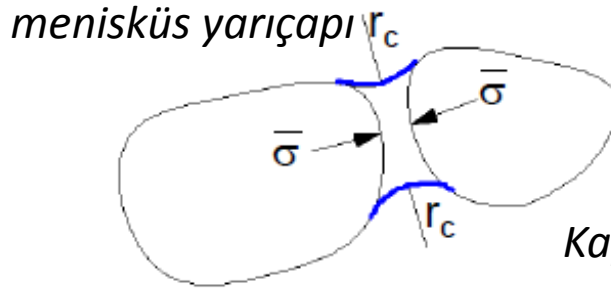
Tabii zemin tabakalarında da aynı farklılıklar kapiler suyun yeraltı su tablasından veya zemin yüzünden süzülen sulardan beslenmesine bağlı olarak gözlenmektedir.

Şekil 4.3.- Bir Kum Kolonu Boyunca Kapiler Su Yükselmesi

ZEMİNDE KILCALLIK (KAPİLERİTE) OLAYI

Kapiler su ve kapiler çekme gerilmeleri zeminlerin mühendislik davranışları üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır.

1. Zemin tabakalarının kapilerite yolu ile suya doygunlukları artar.
2. Kapiler sudaki çekme gerilmeleri zemin tanelerini birbirine doğru çeker ve taneler arası temas yüzeylerindeki gerilmeler artar. Bu durumda zeminde efektif gerilmelerin artmasına yol açar.



Kapiler çekmenin zemin davranışı üzerindeki etkisi

1. Kapiler çekme gerilmeleri zemin hacminde büzölmeye neden olur.
2. Kumlu zeminlerde taneler arasındaki kapiler su onları gevşek durumdayken bile duraylı konumda tutar. *Bu nedenle ıslak kumlarda kapiler gerilmenin etkisi altında taneler birbirini tutabilmekte ve bunun sonucunda da ıslak kumda açılan geçici şevler dik açılabilir.* Ancak kumun tamamen su altında kalması yada kuruması durumunda kapiler gerilmede ortadan kalkacak ve şev, göçerek kumun tabi açısında dengede kalmaktadır.
3. Taneler arası kapiler çekme, zemin hacim değişmesine karşı direnci artırdığı için ıslak kumların mekanik olarak sıkıştırılması zordur.
4. Kapilerite zeminlerin dondan etkilenmesine de büyük katkı sağlamaktadır.

ZEMİNLERİN GEÇİRİMLİLİĞİ-PERMABİLİTE

Geçirimsizlik boşluklardaki suyun akmasını sağlayan zemin özelliğidir. Mühendislik çalışmalarında, zemin içindeki su akımları ile birçok durumda karşılaşılır. Bu gibi yapıların inşa süreçlerinde zeminde su akımı ile ilgili bilgilerin öğrenilmesi gerekir. Sıklıkla kullanılan birimleri; m/sn, cm/sn, ft/gün

Zeminin geçirimsizlik özelliği, aşağıdaki parametrelere bağlıdır.

- **Tane şekil, boyut ve yüzeylerinin pürüzlülüğüne** (köşeli ve pürüzlü yüzeylere sahip tanelere sahip zeminlerde geçirimsizlik azalır.
- **Boşluk oranına** (boşluk oranı arttıkça geçirimsizlik artar)
- **Doygunluk derecesine** (doygunluk derecesi arttıkça geçirimsizlik artar)
- **Zemin türüne** (ince taneli zeminlerde geçirimsizlik azalır)
- **Zeminin yapı ve dokusuna** (yumaklanmış killerin geçirimsizliği dağınık kilden fazladır.)
- **Boşlukların sürekliliğine** (boşluklar bağlantılı ve sürekli ise geçirimsizlik artar)

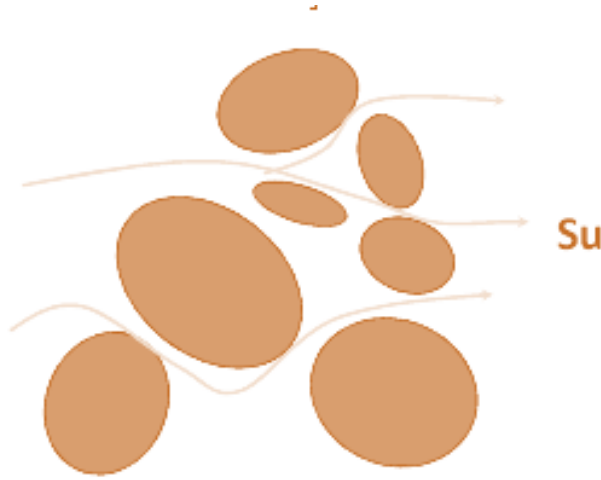
Sıvının;

- Yoğunluğuna
- Viskositesine

ZEMİNLERİN GEÇİRİMLİLİĞİ-PERMABİLİTE

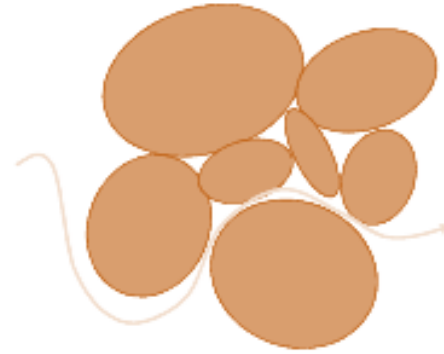
Su damlası zemindeki boşlukların oluşturduğu ve gelişi güzel bir iz takip eden kılcal kanallar boyunca hareket etmektedir. Bu kanalların kesit alanları ve yönü sabit değildir.

Hareket halindeki herhangi bir su damlası mikroskopik ölçekte, doğrultusu ve hızı sürekli değişerek hareket eder. **Mühendislik problemlerinin çözümünde genellikle akımın kesite dik doğrultuda ve sabit hızda gerçekleştiği kabul edilir** (birim uzunluktaki toplam enerji farklılıkları aynı olduğu sürece).



Gevşek Zemin

- Geçirgenlik kolay
- Yüksek Permeabilite



Sıkı Zemin

- Geçirgenlik zor
- Düşük Permeabilite

ZEMİNLERİN GEÇİRİMLİLİĞİ-PERMABİLİTE

Zemin türlerine ilişkin geçirimlilik katsayıları ve drenaj özellikleri aşağıdaki gibidir.

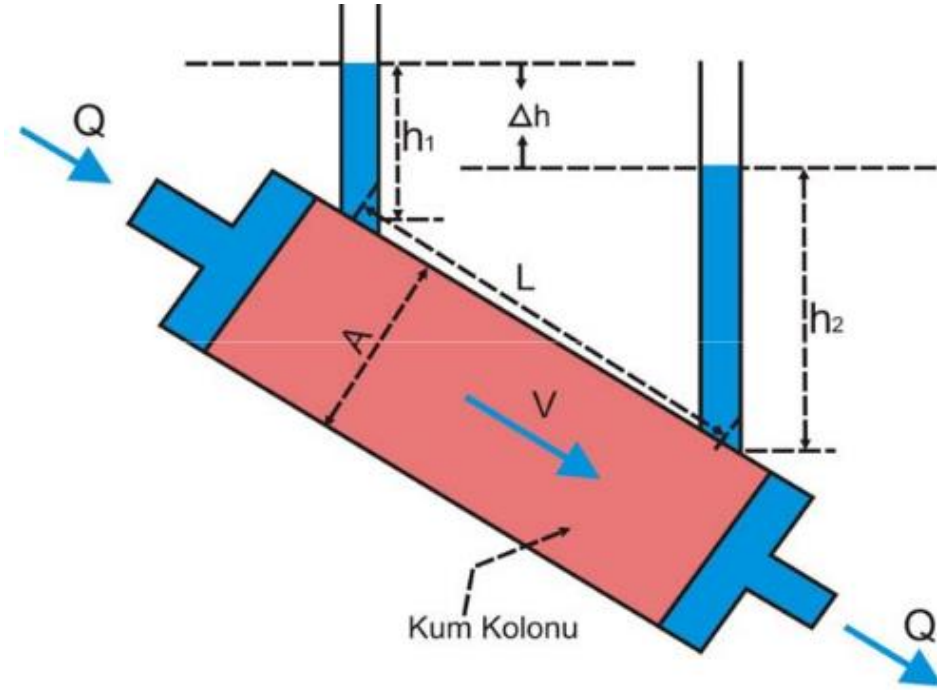
k (cm/sn)	10 ⁻²	10 ⁻¹	1	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	10 ⁻⁸	10 ⁻⁹	10 ⁻¹⁰
Drenaj	İyi drenaj özelliği						Orta drenaj		Geçirimsiz				
Zemin Türü	Temiz çakıllar		Temiz kumlar ve kum-çakıl karışımı			Çok ince kumlar, sitler ve kil-silt karışımı				Geçirimsiz zeminler Fissürsüz killer ve kil-siltler (>%20 kil)			
Grup	← GP ← GM ← SM ← SM ← GM ← GC 												

Zemin	k cm/sn	Geçirimlilik durumu
Çakıl	$>10^{-1}$	Çok Geçirimli
Kum	$10^{-1} - 10^{-5}$	Geçirimli
Silt	$10^{-5} - 10^{-7}$	Az Geçirimli
Kil	$<10^{-7}$	Çok Az Geçirimsiz yada pratikte geçirimsiz

DARCY YASASI (Darcy, 1856)

Darcy (1856), temiz kum numuneleri ve ekildekine benzer bir deney düzeni kullanarak akım hızı ile hidrolik eğim arasında lineer bir bağıntı bulunduğunu göstermiştir. Eğer, L uzunluklu, A enkesit alanlı bir zemin örneği, h₁-h₂ su düzey farkına maruz bırakılırsa, Darcy Yasası, aşağıdaki gibi yazılabilir.

Hidrolik eğim, birim uzunluk başına basınç kaybı olarak ifade edilmektedir.



$$i = \frac{\text{su düzeyleri farkı}}{\text{akım uzunluğu}} = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{\Delta h}{L}$$

$$v = ki$$

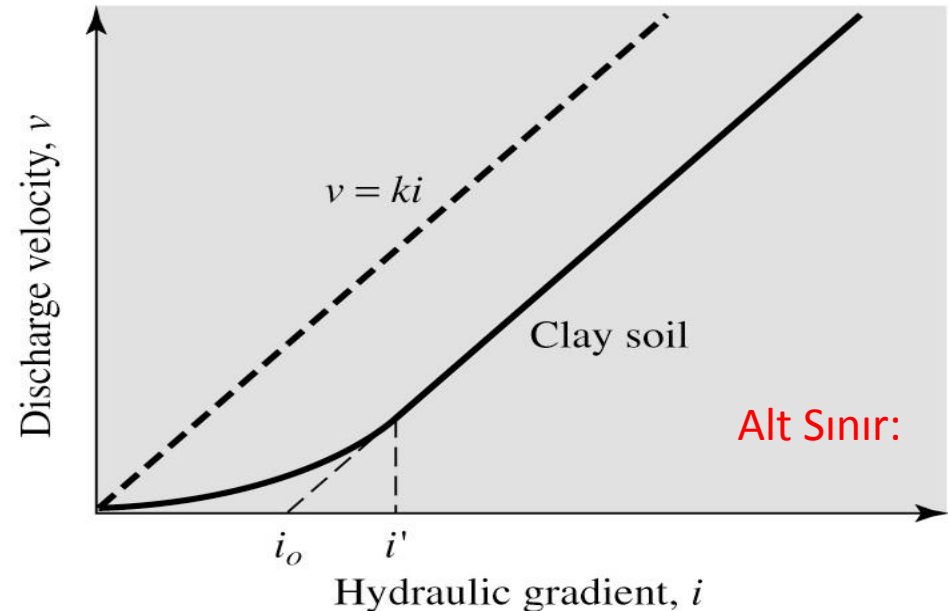
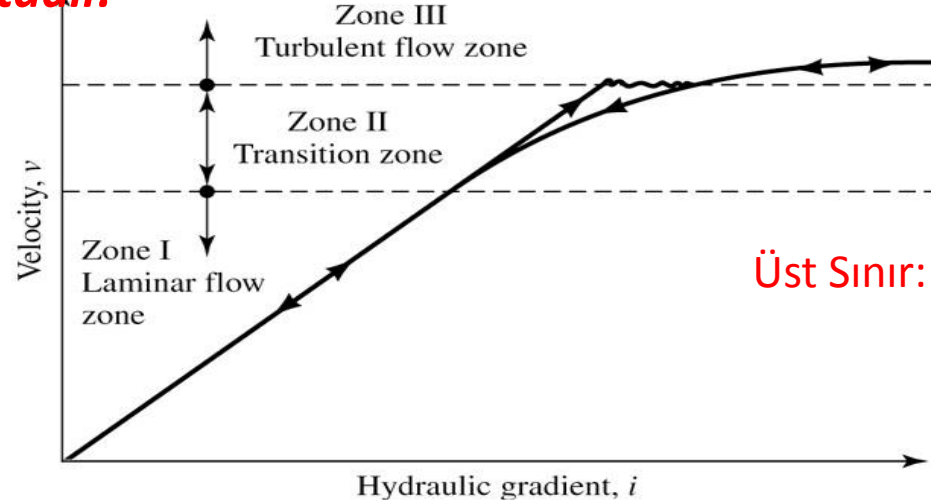
$$q = vA = kiA = k \frac{\Delta h}{L} A$$

v=hız, k= permeabilite, i=hidrolik eğim
Q=debi birim zamanda bir kesitten geçen suyun miktarı m³/sn

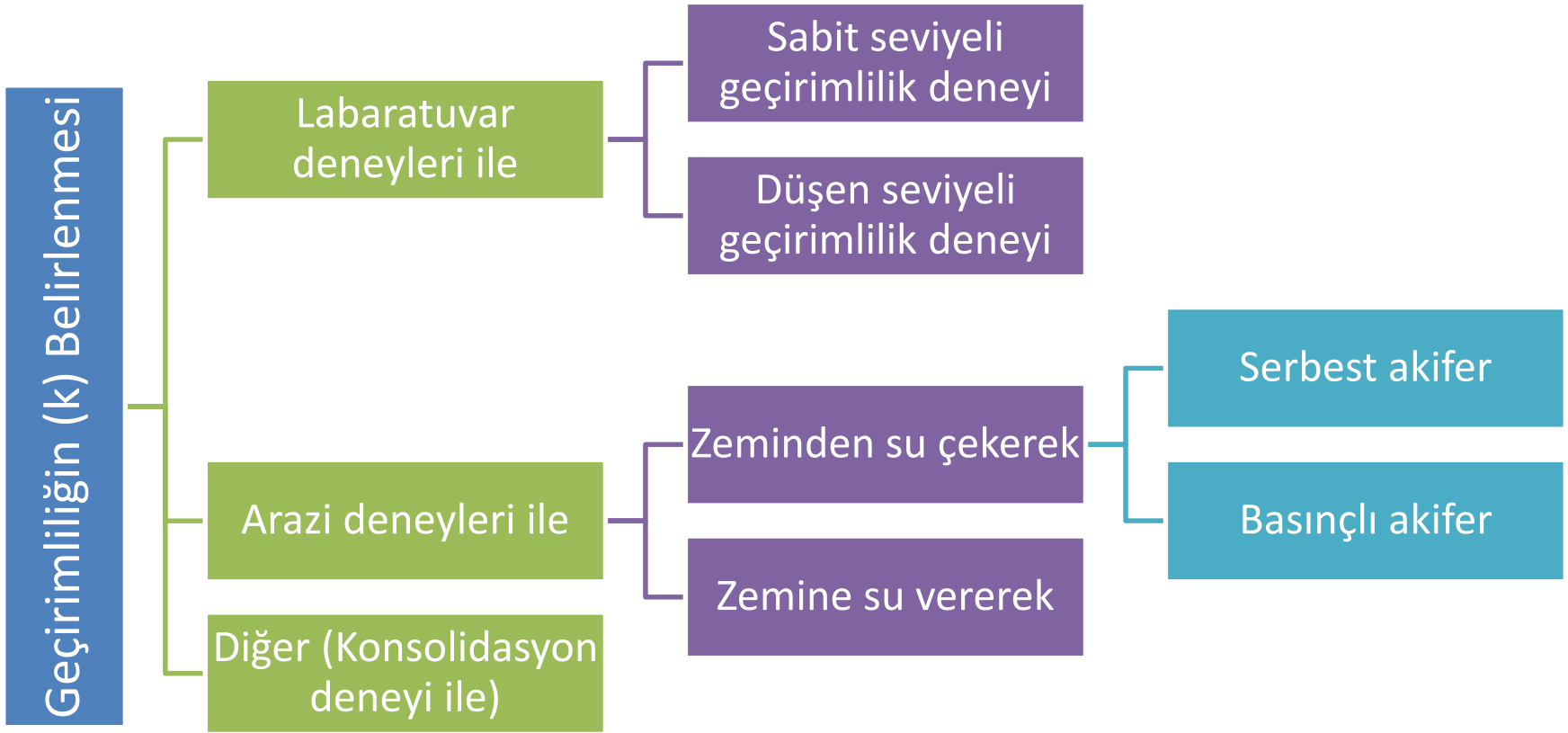
DARCY YASASI'NIN GEÇERLİLİĞİ

Darcy kanunu akım şiddeti ve hızının hidrolik eğimle lineer olarak arttığını göstermektedir. **Hidrolik eğimle akım hızı (ve şiddeti) arasındaki lineer bağlantı ancak düzgün akım durumlarında geçerli olmaktadır.**

- Akım hızı arttıkça akım düzgün akım olmaktan uzaklaşmakta ve bu durumlarda Darcy kanunu geçerliliğini yitirmektedir.
- Dolayısıyla, akım hızının çok yüksek olduğu iri çakıllar gibi zeminlerde, akım problemlerini incelerken dikkatli olmamız gerekmektedir.
- Su geçirgenliğinin çok düşük olduğu bazı killer (İskandinav killeri gibi) üzerinde yapılan deneylerde de akım hızı ile hidrolik eğim arasındaki ilişkide lineerlikten sapmalar gözlenmiştir.



GEÇİRİMLİLİK KATSAYISININ BELİRLENMESİ



PERMABİLİTE KATSAYISININ LABORATUVAR DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ

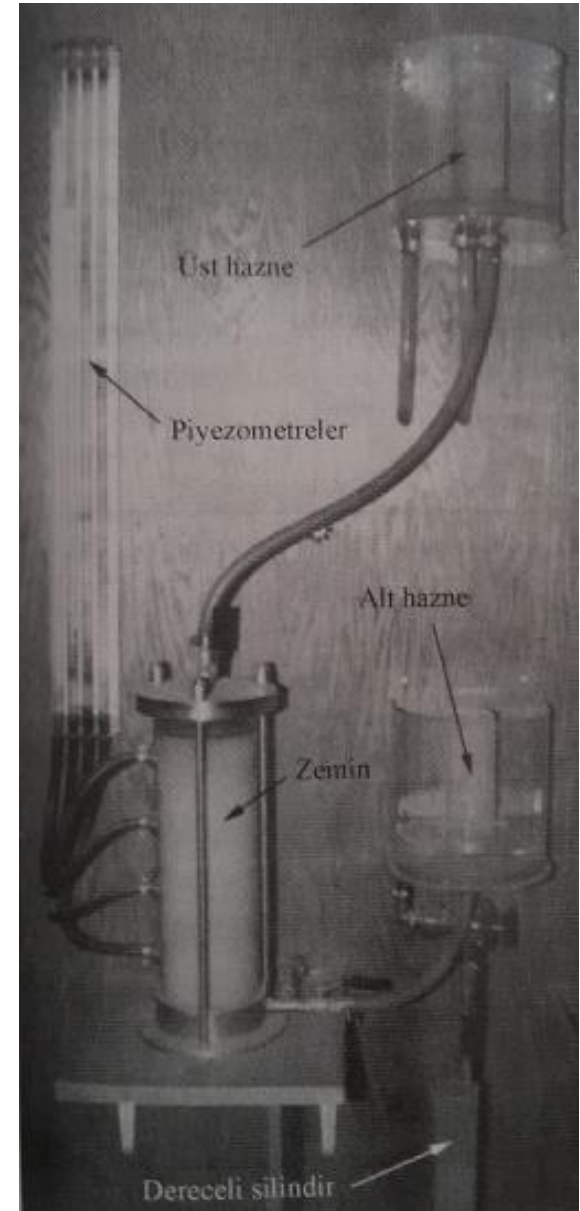
Sabit seviyeli permeabilite deneyi

Geçirimsliliği yüksek olan iri taneli zeminler için uygundur. Su boşalımının fazla olduğu zeminlerde güvenilir sonuçlar alınmaktadır.

Geçirimsliliği belirlenecek zemin, istenilen sıklıkta veya arazideki sıklığına benzer olarak saydam bir silindire yerleştirilir.

Sabit su düzeyli bir hazneden gelen su, zeminden geçerek, hacim bölümlü bir kaptan toplanır. *Kararlı akış elde edildikten sonra, belli bir sürede (Δt), kaptan toplanan su miktarı (ΔQ) belirlenir.*

Zemin örneğinin alt, üst ve orta kısımlarına bağlanan saydam borularda (piyezometre boruları), su düzeyleri gözlenir, okunur, kaydedilir. *Darcy Yasasından k hesaplanır.*

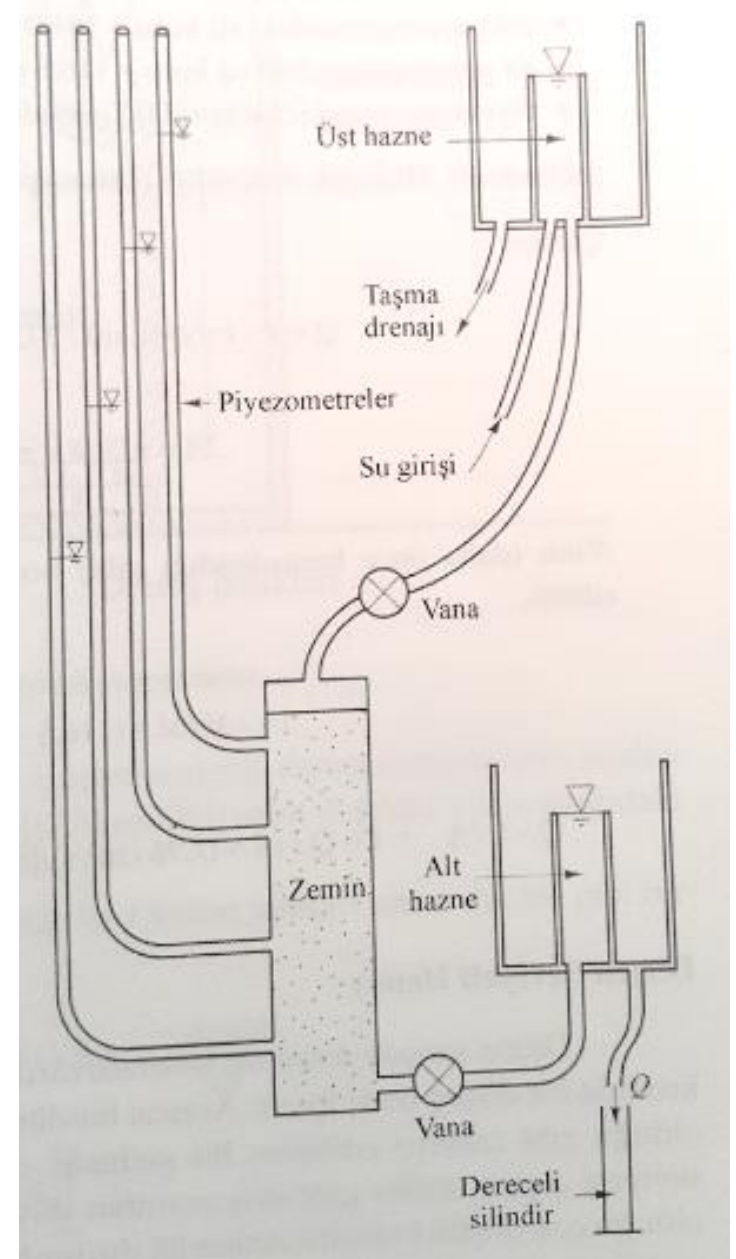


PERMABİLİTE KATSAYISININ LABORATUVAR DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ

Sabit seviyeli permeabilite deneyi

Zemin numunesi üzerindeki hidrostatik yük deney süresince sabit tutularak belirli bir zaman içerisinde geçen su miktarı ölçülmektedir.

$$k = \frac{Q * L}{\Delta h * A * t}$$



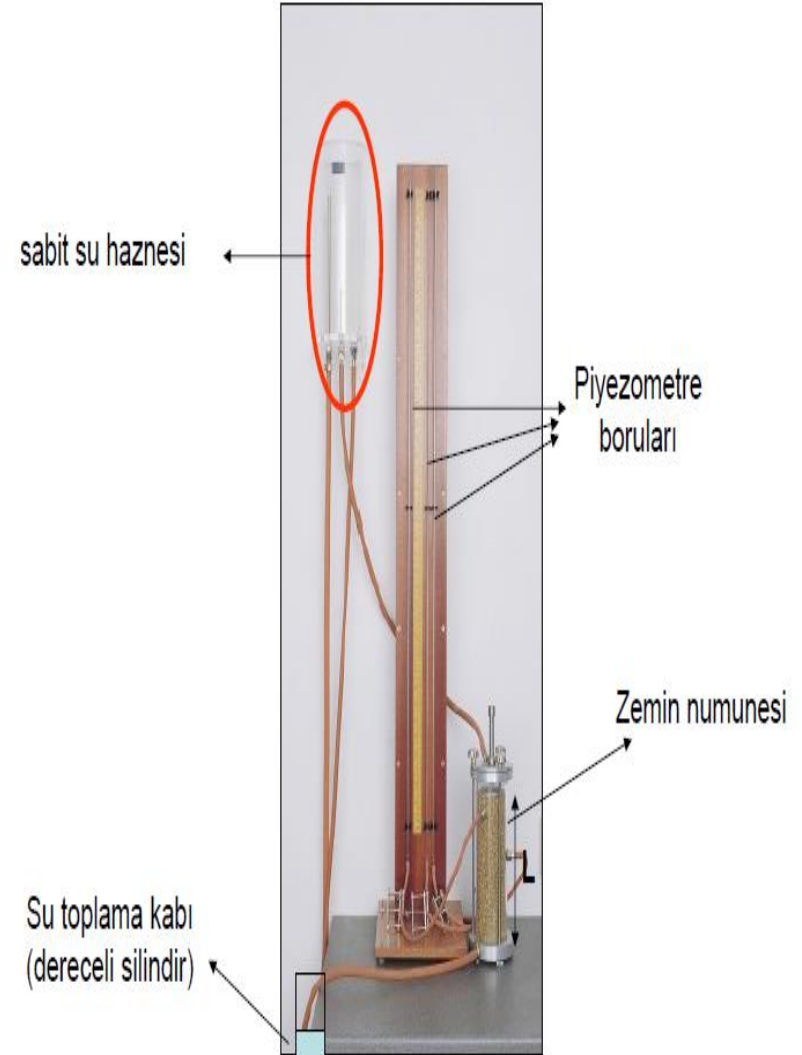
PERMABİLİTE KATSAYISININ LABORATUVAR DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ

Düşen seviyeli permeabilite deneyi

Geçirimliliği düşük olan ince taneli (kil, silt) zeminler için uygundur. Üst kısımda düşey bir boru içerir. Düşey boru içerisindeki su sabit seviyeli haznede olduğu gibi takviye edilmez. Deney devam ederken borudaki su seviyesi alçalır.

Zeminin cinsine göre, uygun enkesitteki (çaplı) saydam bir boru (iç çapları 5-20 mm) zemin örneği üzerine takılır.

Üstteki boruya doldurulan su, zeminden geçerek dışarı akar. Kararlı akış elde edildikten sonra; deney başında ve sonundaki su yükseklikleri ile arada geçen zaman ve enkesit alanlarından, zeminin geçirimsizlik katsayısı hesaplanır.



PERMABİLİTE KATSAYISININ LABORATUVAR DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ

Sabit seviyeli permeabilite deneyi

Zemin numunesi üzerindeki su deney süresince azalmaktadır.

$$k = 2,3 \frac{a * L}{A * \Delta t} \log_{10} \frac{h_1}{h_2}$$

Yada

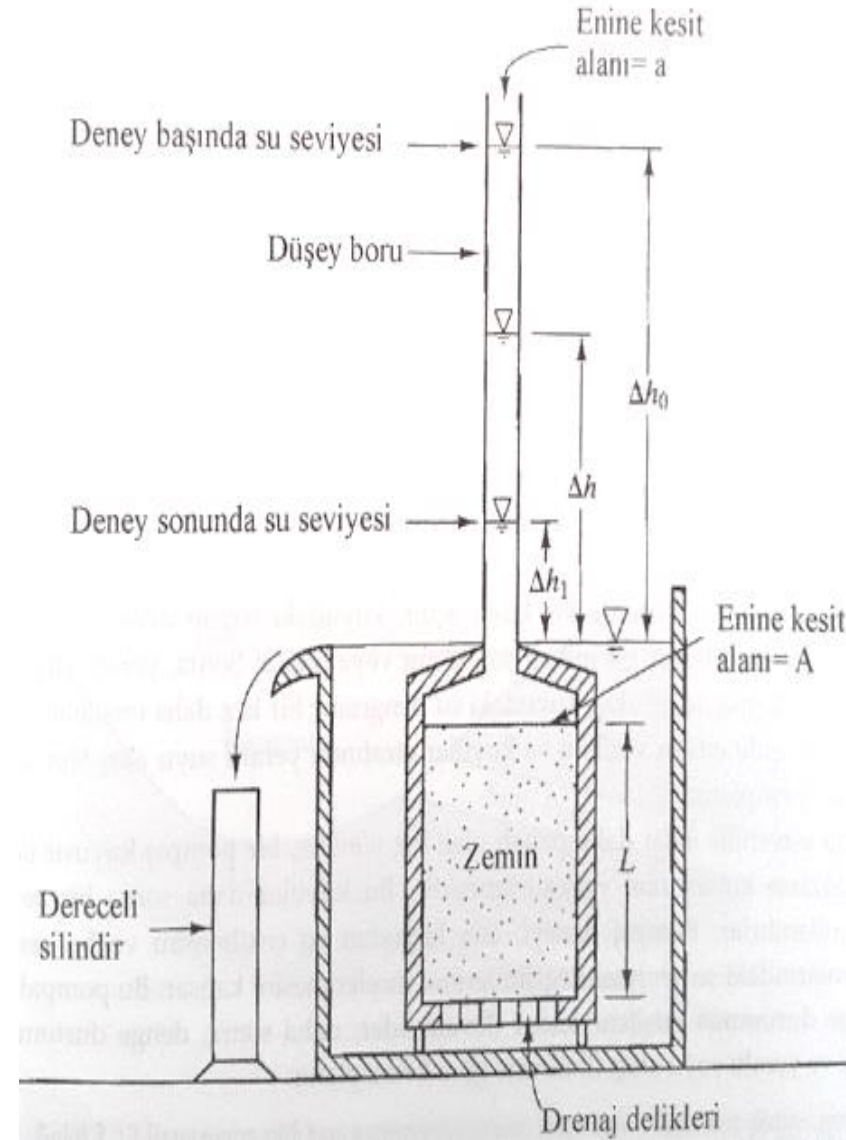
$$k = \frac{a * L}{A * \Delta t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

a; düşey borunun kesit alanı

A; Zemin örneğinin kesit alanı

L; zemin örneğinin yüksekliği

Δt ; düşey boru içerisindeki s seviyesinin h_1 'den h_2 'ye alçalması için geçen zaman



Suyun zemin içinde akma olayı sızma olarak tanımlanmaktadır. Birim zamanda zemine sızabilecek maksimum su miktarı *Sızma Kapasitesi* olarak adlandırılır.

Su zemin içerisinde akarken (permabilite deneylerindeki akışa benzer şekilde) münferit zemin taneleri üzerine sızma kuvvetleri olarak adlandırılan kuvvetler uygulanır. Bu sızma kuvvetleri zemin kütlesi içerisindeki taneler arası veya efektif gerilmeleri etkiler.

- Zemin dane büyüklüğü ve geçirimliliğinin artması sızmayı
- Zeminin yağıştan önceki nem miktarı fazla ise sızma o derece az olur.
- Bitki örtüsünün gür olması sızmayı azaltır
- Zemin yüzeyinin durumu etkiler (çok ince taneler; sodyum karbonat ve kalsiyum karbonat sızmayı azaltır)
- Zeminde hava birikintileri bulunması sızmayı zorlaştırır.
- Toprağın işlenme şekli de sızmayı etkiler.



$$v_s = \frac{k * i}{n}$$

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

DONMA KABARMASI

Soğuk mevsimlerde, suya doygun zeminlerde don olayı meydana gelir. Donma derinliği, Ülkemiz için, soğuk bölgelerde 0.1-1 m olabilir. Donan su, yaklaşık % 9 kadar bir hacim artmasına uğrar.

Boşluklardaki suyun donması sonucu, zemin hacminde bir kabarma (yukarı doğru) meydana gelir. Bu kabarma olayı, genellikle üniform olmaz ve varsa, zemin yüzündeki kaplamalar (yol, havaalanı vb.), hafif yapı vb. hasar görebilir. Böyle durumlarda yeraltı su düzeyinin indirilmesi (drenaj vb.) gerekir.

İnce daneli (silt, İnce kum vb.) kılcal doygun zeminlerde, donma olayı ile daha da kötü olaylar meydana gelir. Böyle zeminlerde, zemin altında önce buz mercekleri oluşur. Bu buz mercekleri, kılcal etki altında, serbest su düzeyinden su çekerek büyürler. Bunun sonucu, zemin yüzünde aşırı kabarma meydana gelip, varsa zemin üzerindeki yol, havaalanı, hafif yapı vb. büyük hasar görebilir.

Sıcak mevsimlerde, donma olayının tersine, erime (çözülme) meydana gelir ve zeminin su içeriği çok yükselir. Su içeriği yüksek ince daneli zeminlerin taşıma gücü düşük olacağından, özellikle, hareketli yükler altındaki kaplamalar gene hasar görür. Bu sakıncalar, zemini drenaja tabi tutarak (yeraltı su düzeyini indirerek) ve kaplama altında, iri daneli bir tabaka oluşturarak önlenabilir.

GRANÜLER FİLTRE DİZAYNI

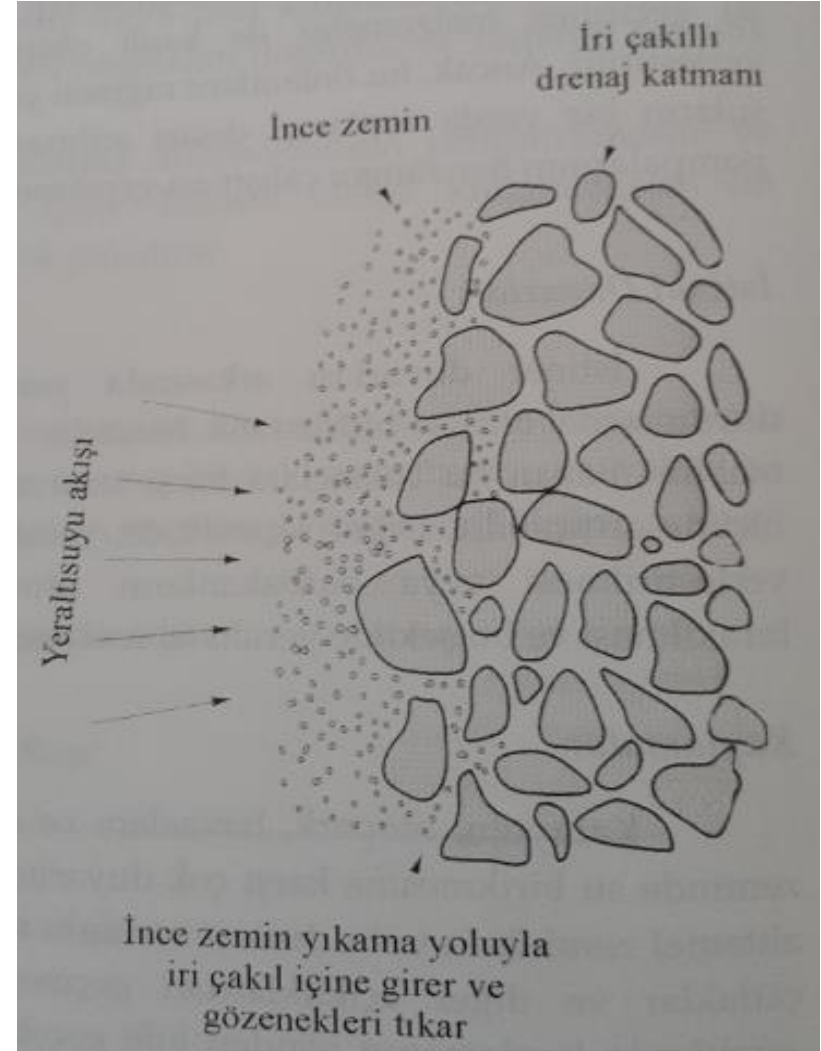
Zemin suyunda basınç artışlarını kontrol edebilmek için geçirimsizliği yüksek drenaj tabakaları kullanılmalıdır. Bu tabakalar hem drenajı kolaylaştırmak hemde ince daneli zeminlerin yıkanarak uzaklaşmasını engellemek amacıyla tasarlanırlar.

İki önemli kriter:

(a) Tıkanma Kriteri: Drenaj malzemesi granülometrisi ve boşlukların boyutları yakındaki ince danelerin dren içine sızmasına ve tıkanmaya yol açmasına engel olacak şekilde seçilmelidir.

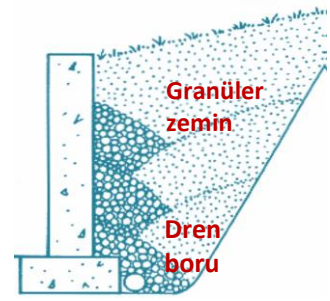
(b) Permeabilite Kriteri: Zeminin granülometrisi ve boşlukların boyutları dren tabakasının yüksek permeabiliteye sahip olmasına imkan verecek şekilde olmalı

- Drenaja izin vermeli böylece boşluk suyu basınçlarının oluşmasını engellenebilmeli.
- Filtreyi oluşturacak malzemeler çok iri daneli granüler zeminlerden seçilmemeli
- Filtreyi oluşturacak malzemeler çok ince daneli granüler zeminlerden seçilmemeli.



GRANÜLER FİLTRE DİZAYNI

Tıkanmama ve geçirimliliği sağlayacak optimum çözüm:



1. Tıkanmayı en aza indirmek için;

$$D_{85}(\text{ince daneli zemin}) \geq \frac{1}{5} D_{15}(\text{kaba daneli zemin})$$

2. Drenin yeterli permeabiliteye sahip olması için;

$$D_{15}(\text{kaba daneli zemin}) \geq 5 D_{15}(\text{ince daneli zemin})$$

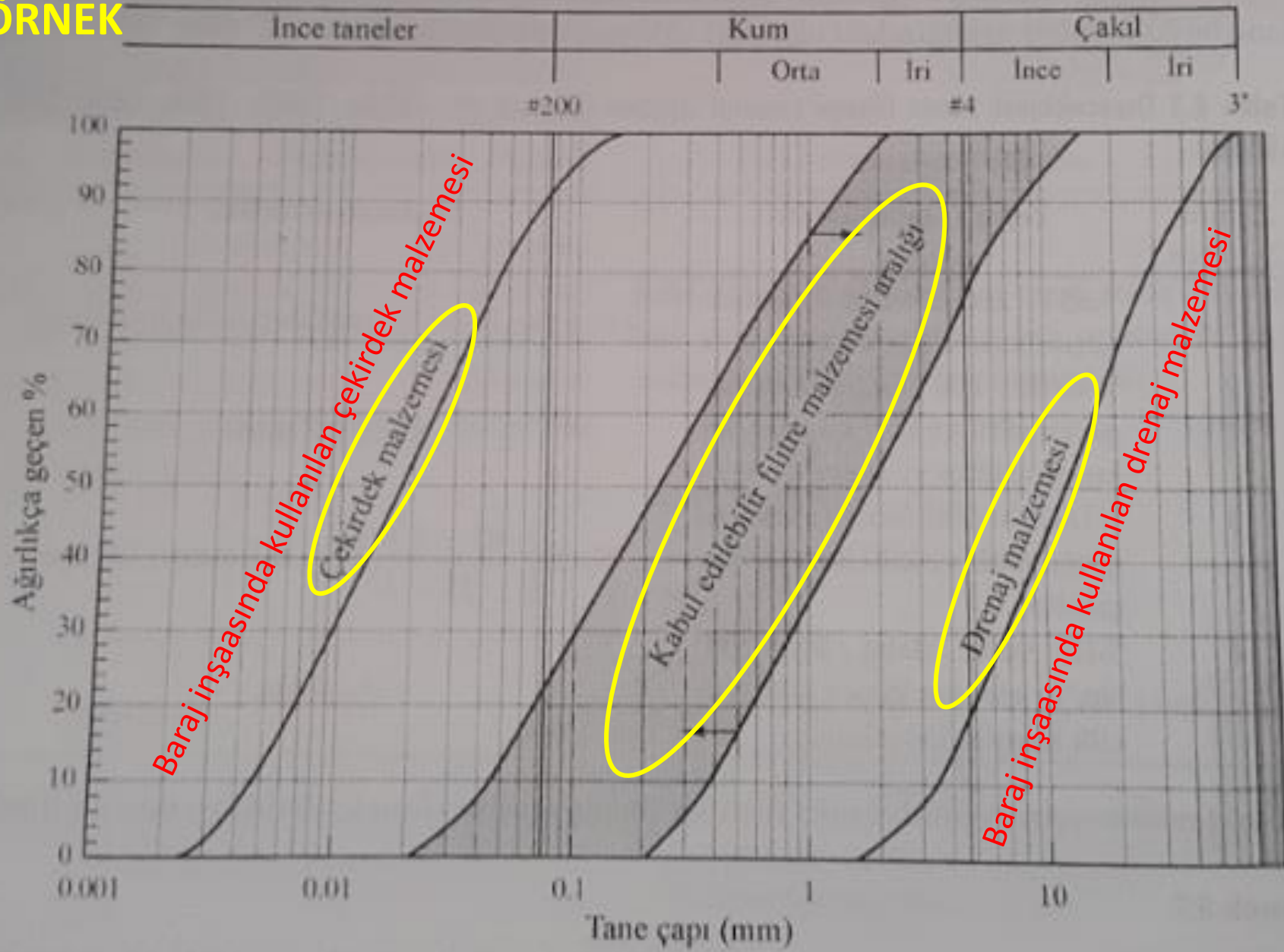
Birçok problemde, iri taneli zeminlerden oluşan dren parametresi çok küçük taneli ince taneli zeminlerle yan yana yerleştirilmek durumunda olmaktadır. Böyle durumlarda **dren ile ince daneli doğal zemin arasına** geçiş tabakası olarak **filtreler** yerleştirilmektedir. Bu durumlarda **Granülometri eğrisinde zemin ve filtre eğrileri birbirine paralel olmalıdır.**

Her iki durumu sağlaması için;

$$\frac{D_{15 \text{ filtre}}}{D_{85 \text{ ince}}} \leq 5 \leq \frac{D_{15 \text{ filtre}}}{D_{15 \text{ ince}}} \qquad \frac{D_{15 \text{ kaba}}}{D_{85 \text{ filtre}}} \leq 5 \leq \frac{D_{15 \text{ kaba}}}{D_{15 \text{ filtre}}}$$

GRANÜLER FİLTRE DİZAYNI

ÖRNEK



ÖRNEK

Şekilde gösterilen deney düzeni kumlu bir zeminin geçirimliliğini ölçmek için kullanılmaktadır. Zemin numunesinin kuru haldeki kütlesi 1100 g özgül yoğunlu 2,60 olup, kesit alanı ise 30 cm²'dir. Deney sırasında zeminden 100 saniyede 250 cm³ su geçtiği ölçüldüğüne göre

- Zeminin geçirimlilik (permabilite) katsayısını hesaplayınız.
- Zemin suyunun deşarj hızını
- Zemin suyunun sızıntı hızını hesaplayınız.

$$a) k = \frac{Q * L}{\Delta h * A * t} = \frac{250 * 20}{35 * 30 * 100} = 4,76 \times 10^{-2} \frac{cm}{sn}$$

$$b) v = k * i \gg k * \frac{\Delta h}{L} = 4,76 \times 10^{-2} * \frac{35}{20} = 8,33 \times 10^{-2} \frac{cm}{sn}$$

$$c) v_{sızıntı} = \frac{v}{n} \text{ fomülde porozite (n) değeri bilinirse sızıntı hızı hesaplanır.}$$

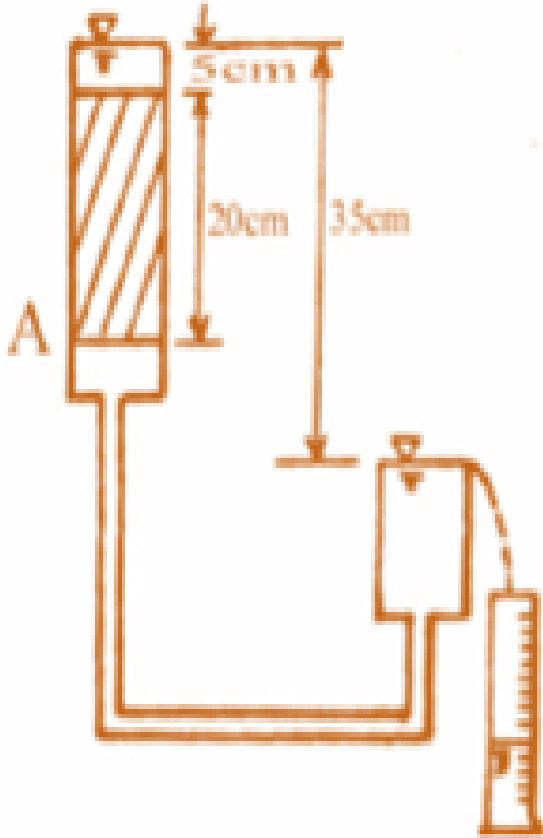
$$n = 1 - \frac{\rho_{kuru}}{\rho_{zemin}}$$

$$\rho_{kuru} = \frac{M_{kuru}}{V} = \frac{1100}{30 * 20} = 1,83 \frac{g}{cm^3}$$

$$G_s = \frac{\rho_{zemin}}{\rho_{su}} \gg \rho_{zemin} = 2,60$$

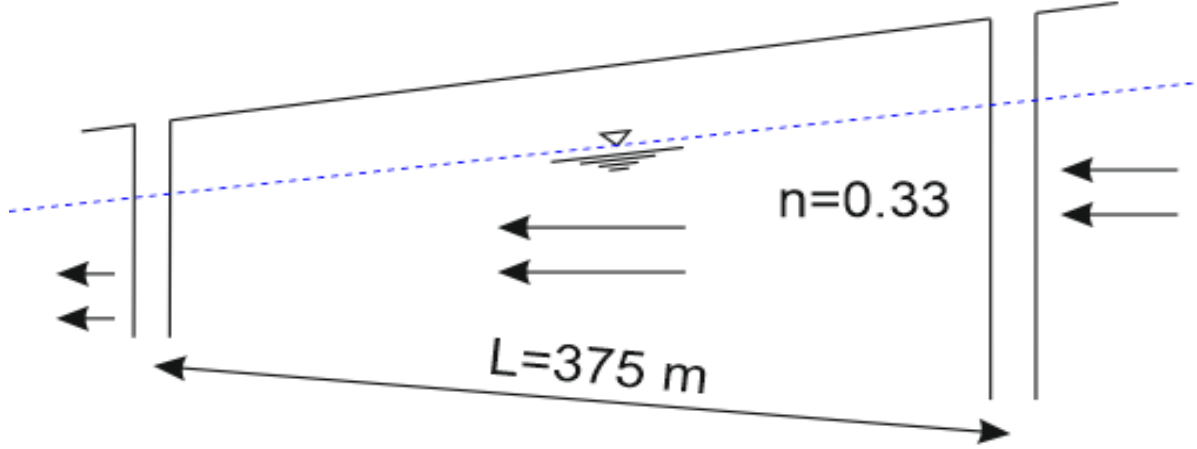
$$n = 1 - \frac{1,83}{2,60} = 0,31$$

$$v_{sızıntı} = \frac{8,33 \times 10^{-2} \frac{cm}{sn}}{0,31} = 2,69 \times \frac{cm}{sn}$$



ÖRNEK

Zemin profili aşağıdaki gibi olan bir ortamda yeraltısuyu akış doğrultusundaki yüksek kottaki kuyudan bırakılan izleyici ikinci kuyuya 9 saat 36 dakikada ulaşmıştır. Kuyuda yapılan seviye ölçümlerine göre iki kuyu arasındaki su seviye farkı 3.2 m dir. Bu verilere göre zeminin geçirimlilik katsayısını hesaplayınız.



Hareketli yeraltısuyu durumu için önerilen geçirimlilik katsayısı eşitliği kullanılarak sorunun çözümü yapılır.

$$k = \frac{v}{i} = \frac{n * v_{sızıntı1}}{i} = \frac{n * L / \Delta t}{\Delta h / L} = \frac{n * L^2}{\Delta t * \Delta h}$$

$$k = \frac{0.33 * (375 \text{ m})^2 *}{33420 \text{ sn} * 3.2 \text{ m}} = 0.43 \text{ m/sn}$$

ÖRNEK

Düşen seviyeli permeabilite aleti ile kesit alanı 64.73 cm^2 ve yüksekliği 4.31 olan bir zeminin geçirimlilik katsayısı belirlenmiştir. Yapılan bu deneyde su sevişesinin h_1 den h_2 ye düşmesi için 102 dk beklenmiştir. Bu verilerden yola çıkarak zeminin geçirimlilik katsayısını hesaplayınız.

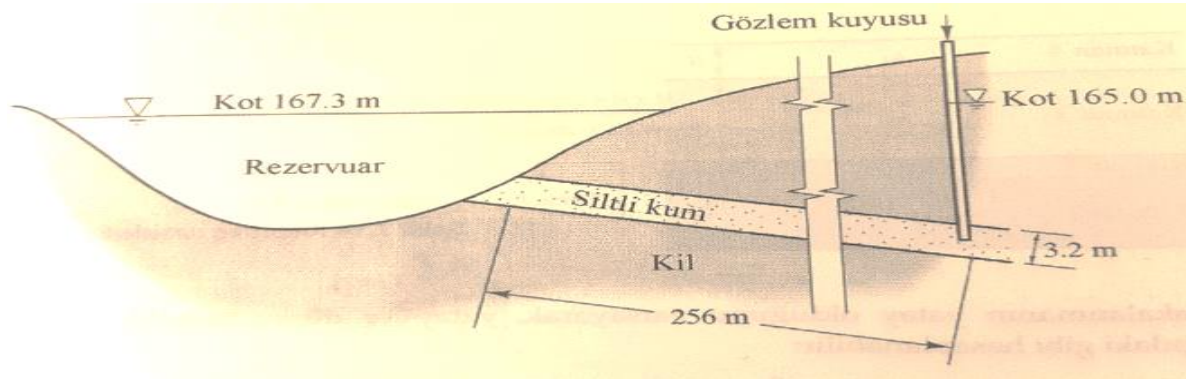
Not: deney boru alanı; 0.51 cm^2 , h_1 : 76 cm ve h_2 : 45 cm dir.

$$k = \frac{L * a}{(t_2 - t_1) * A} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

$$k = \frac{4.31 \text{ cm} * 0.51 \text{ cm}^2}{(6120 \text{ sn}) * 64.73 \text{ cm}^2} \ln \frac{76}{45} = 2.91 \text{ cm/sn}$$

ÖRNEK

3,2 m kalınlığındaki bir silt kum katmanı şekilde görüldüğü gibi bir rezervuarın bir tarafını kesmektedir. Bu katmanın hidrolik iletkenliği $4 \cdot 10^{-2}$ cm/sn olup, rezervuarın 1000 m uzunluğunun tamamı boyunca uzanmaktadır. Bu katman içine şekildeki gibi bir gözlem kuyusu yerleştirilmiştir. Bu katmandan rezervuar içine doğru meydana gelecek sızmayı hesaplayınız.



$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{167,3 - 165}{256} = 0,0090$$

$$A = 3,2 * 1000 = 3200 \text{ m}^2$$

$$k = 4 \times 10^{-2} \frac{\text{cm}}{\text{sn}} * \frac{\text{m}}{100 \text{ cm}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{saat}} * 24 \frac{\text{saat}}{\text{gün}} * 30 * \frac{\text{gün}}{\text{ay}} = 100 \frac{\text{m}}{\text{ay}}$$

$$Q = kiA = 100 \frac{\text{m}}{\text{ay}} * 0,0090 * 3200 \text{ m}^2 = 30000 \frac{\text{m}^3}{\text{ay}}$$

ÖRNEK

Kumlu bir zeminin geçirirnililiğini belirlemek üzere kurulan aşığıdaki gibi bir deney düzeneğinde özgül ağılığı 2.70 olan zeminin çapı 15 cm, kuru kütlesi 2000g dır. Deneyde 100 saniyede 200 ml su çekildiğine göre zeminin geçirirnililik katsayısını ve sızma hızını hesaplayınız.

