

# ZEMİN MEKANİĞİ

# BÖLÜM: 6 ZEMİNDEKİ SU

Mühendislik uygulamalarında zemindeki suyun hareket ve tutulmasını sağlayan başlıca kuvvete göre belirtilen sınıfları göz önüne alınır.

Yukarıda belirtilen kuvvetlere göre değişik sınıflara ayrılan zemindeki su, kimyasal karakteristik bakımından farklılık göstermez. Zemindeki adsorbsiyon ve kapilar suya, yerçekim kuvveti de etkili olur. Ancak söz konusu suya etki eden yerçekimi, adsorbsiyon ve kapilar kuvvetlerin yanında çok küçük olduğu için göz önüne alınmaz.

## 6.2. Higroskopik su

Zemin tanelerinin yüzeyinde net bir elektrik yükü bulunur. Buna karşılık su molekülündeki pozitif ve negatif yüklerin merkezleri üst üste gelmediği için, mıknatıs gibi iki kutuplu özellik gösterir. Zemin taneleri, yüzeyindeki **elektrik yükünün** etki alanında bulunan su moleküllerini çeker. Bu kuvvet **adsorbsiyon** veya **adhezyon** olarak belirtilir. Bir zemin tanesi, etki eden adhezyon ve yerçekimi kuvveti eşit olana kadar su tutar. Böylece su molekülleri zemin tanesinin çevresinde bir kaç katman halinde dizilir.

Zemin tanesinin su molekülünü çekme kuvveti, dış tarafa doğru giderek azalır. Ancak ilk birkaç su katmanındaki moleküller, yüksek bir kuvvetle tutulur. Higroskopik veya adsorbsiyon olarak belirtilen bu suyun yoğunluk ve viskozitesi gibi temel özellikleri, sıvı sudan farklılık gösterir. Zemin tanelerinin çevresinde bulunan higroskopik su, yerçekimi ve kapilar kuvvetle hareket etmez. Bunun için bağlı su olarak da belirtilir. Kuşkusuz bütün sıvılar, aynı derecede adsorbsiyon kuvvetine sahip değildir ve bu durum molekül yapılarından ileri gelir.

Adsorbsiyon kuvveti tanelerin yüzeyinde meydana geldiği için, bu kuvvetle tutulan suyun miktarı tanelerin özgül yüzeyine bağlıdır. Oldukça ince taneli ve iyi derecelenmiş bir zeminin adsorbsiyon gücü, kaba ve yeknesak olanlardan daha fazladır. Zemin tanelerinin yüzeyinde tutulan higroskopik su ile boşluk hacim azalır. Bunun bir sonucu olarak suyun, kuru zeminin yüzeyinden giriş hızı giderek azalır ve taneler, su tutma kapasitesine ulaştıktan sonra değişiklik göstermez.

### 6.3. Kapilar Su

Zeminin taneleri arasında bulunan ve yüzey gerilme zarı etkili olduğu için kapilar olarak belirtilen boşluklarda su tutulur. Buna kapilar su ve bunun tutulmasını sağlayan güce de kapilar kuvvet denir. Zeminin içerisindeki kapilar su, yerçekimi kuvvetinin etkisi ile sızmaz, ancak düşey ve yatay doğrultularda hareket eder. Kapilar su ile doymun duruma gelen zeminin taşıma kapasitesi azalır. Zemindeki kapilar kuvvet; yüzey gerilme, suyun atmosfere göre basıncı ile gözeneklerin büyüklüğü ve düzenlenme durumuna bağlıdır.

### 6.3.1. Yüzey gerilme

Sıvı suyun içindeki moleküller aynı miktarda kohezyon kuvvetinin etkisi altına olmasına karşılık, atmosfer ile temas eden yüzeyde bulunanlar, diğer yandan da atmosferdeki atom ve moleküller tarafından çekilir yani adhezyon kuvvetinin etkisinde bulunur. Su yüzeyinde bulunan moleküllere etki eden kohezyon kuvveti adhezyon kuvvetinden büyük olduğu için bunlar, serbest yüzeye dik ve yönü doğru etkili olan bir bileşke kuvvetin etkisinde bulunur. Bu kuvvetin etkisi ile, serbest su yüzeyinde bulunan moleküller, en küçük bir yüzey oluşturacak şekilde birbirine bağlanır ve böylece bir zar gibi davranır. Esnek bir özelliği olan bu yapıya, **yüzey gerilme zarı** denir. Yüzey gerilme zarı, kütlenin hacmi ile suyun bulunduğu kabın şekline bağlıdır.

- Yüzey gerilme zarının tansiyonu, yüzey gerilme kuvveti veya çekme gerilmesi olarak belirtilir. Sıvıların önemli bir fiziksel özelliği olan yüzey gerilme kuvveti, birim yüzey genişlik için belirtilir ve genellikle,  $\text{din/cm}$  veya  $\text{gr/sn}^2$  birimleri kullanılır.
- Sıvı suyun ısı artıca genleşme meydana geldiği için yoğunluğu azalma gösterir. Bunun bir sonucu olarak, sıvı suyun kohezyon kuvveti küçülür ve yüzey gerilme kuvveti azalır.
- Boruların girişinde bulunan sıvılara farklı kuvvetler etki eder. Adhezyon kuvveti, kohezyon kuvvetinden büyük olduğu durumda sıvı boruda, kapılar kuvvet ile ağırlığı dengelenene kadar bir miktar yükselir ve bu kuvvetlerin bir sonucu olarak sıvının yüzeyi yukarı doğru kıvrılır (iç bükey). Buna karşılık kohezyon kuvveti adhezyon kuvvetinden büyük olduğu zaman, sıvının yüzeyi aşağıya doğru bükülür (dış bükey). Bu durumlardan birincisine sıvı su, ikincisine cıva (özellik ağırlığı  $13,6 \text{ gr/cm}^3$ ) örnek olarak gösterilir.

Yüzey gerilme ve adhezyon kuvvetlerinin birlikte etkili olduğu borulardaki sıvılar, belli bir yere kadar yükselir veya alçalır. Bu olaya **kapilarite** ve bunu sağlayan kuvvete de **kapilar kuvvet** denir.

Burada kapilar kuvvetle hareket eden suyun yüksekliği yani kapilarite, aşağıda verilen ilişkiden bulunur.

İlişkilerde:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\gamma}$$

$h$  = Kapilarite, cm

$\sigma$  = Suyun yüzey gerilme kuvveti, din/cm

$\theta$  = Yüzey gerilme kuvvetinin birleşme açısı, derece

$r$  = Borunun yarıçapı, cm

$\gamma_w$  = Suyun hacim ağırlığı, g/cm<sup>3</sup>



Yeraltı suyunun üzerinde kapilar kuvvetin etkili olduğu boşluklarda su yükselir. Bu durumdaki boşluklar, tamamen zeminin tane boyutu ve yapısı ile ilgilidir. Zeminin tane dağılımı ve gözenek oranına göre kapilarite, aşağıda verilen ilişkiye göre de yaklaşık olarak bulunabilir.

İlişkide:

$$h = \frac{c}{eD_{10}}$$

h = Kapilarite, cm

c = Zemin tanelerin şeklini niteleyen sabit, (0.1-0.5 cm<sup>2</sup>)

e = Zemin gözenek oranı

D<sub>10</sub> = Zemin tanelerinin efektif çapı, cm

Yukarıda verilen ilişkiden görüldüğü gibi kapilarite, borunun çapı ile ters orantılı olarak değişir. Çapı küçük olan kapilar bir borudaki suyun yüksekliği, çapı büyük olandan daha fazladır .

Zeminde meydana gelen kapilarite; suyun sıcaklığı, mineral içeriği, tanelerin şekli, sıkışma derecesi ve boşluklardaki nemin basıncına göre değişir. İnce taneli ve oturmamış sediment zeminlerde yaklaşık olarak 1-2 m kapilarite meydana gelir. Buna karşılık killi zeminlerde 2-4 m kadar kapilarite olur.

### 6.3.3. Kapilar potansiyel

Zeminlerin kapilar su tutma kapasitesi, kapilar potansiyel olarak belirtilir. Zeminin herhangi bir noktasındaki kapilar potansiyelinin sayısal değeri, aynı noktadaki tansiyona eşittir fakat işareti tersdir.

Kapilar potansiyel her zaman negatif bir niceliktir. Kapilar su, elektrik ve ısıda olduğu gibi yüksek potansiyel bölgesinden düşük potansiyele doğru hareket eder. Sözü edilen potansiyel, cebirsel anlamda değerlendirilir ve -10, -5 ve 0 değerleri, kapilar potansiyelin artışı gösterir.

Sızma hızının yavaş olması ve iklim koşullarının etkisi ile zemindeki kapilar su, denge durumunda bulunmaz. Kapilar bir tüp, su içine daldırıldığı zaman hemen kapilarite olur. Ancak zeminde, kapilaritenin olması için oldukça uzun bir zamana gerek vardır. Diğer taraftan zeminin yüzeyinden sızan yağmur, taneleri ıslatarak bir yüzey halinde ve yavaş olarak derine sızar. Bu sırada buharlaşma olduğu için zeminin üst katmanı kurur ve böylece buradaki nem, genellikle denge durumunda bulunmaz. Bunun bir sonucu olarak, bu katmanın kapilar potansiyeli, önemli ölçüde azalır. Bu koşul altında, ıslama yüzeyinden itibaren yukarıya doğru bir potansiyel eğim meydana gelir. Böylece yerçekimi kuvvetinin etkisi ile derine sızan suyun bir bölümü, ters yöne döner ve yukarıya doğru hareket eder.

## 6.4. Yerçekimi Suyu

Yeryüzünden sızan su adsorbsiyon, diğer bir deyişle adhezyon kuvveti ile tanelerin çevresinde ve kapilar kuvvetle de boşluklarda tutulur. Bitkiler bu suyu kullanır ve zeminden olan buharlaşmada bundan meydana gelir. Bu unsurların kapasitesinden daha fazla olan su, yerçekimi kuvvetinin etkisi ile derine sızar. Yerçekimi gücü ile zeminin taneleri arasından sızan su, geçirimsiz bir katmanın üzerindeki boşluklar da birikir. Buna yeraltı suyu denir. Bu boşluklarda serbest olarak bulunan su, kuyulara akıtılır ve buradan yeryüzüne çıkarılır.

Yeraltı suyu, serbest yüzeyinin üstünde bulunan ve su ile dolu olmayan fakat kapilar kuvvetin etkili olduğu boşluklarda yükselir. Kapilaritenin meydana geldiği katman, suya doymun duruma gelir ve bu katmanın mekanik özellikleri önemli derecede değişir.

Yeraltı suyunun serbest yüzeyini belirtmek amacıyla bir kuyu açılır. Bu kuyuda biriken suyun üst yüzeyi **yeraltı suyunun serbest yüzeyini** gösterir. Ancak sözkonusu serbest su yüzeyi, kuyudaki su ile yeraltı suyu denge durumuna ulaştıktan sonra ölçülür. Kuyudaki suyun serbest yüzeyi ile yeraltı suyunun serbest yüzeyinin denge durumuna ulaşması için gerekli zaman, zeminin su iletme özelliği yani hidrolik kondaktiviteye bağlıdır. Bu süre, sızma hızı yüksek olan zeminlerde, düşük olanlardan daha kısadır. Ancak bu dengenin yaklaşık olarak **24 saat sonra** sağlandığı söylenebilir.

Yeraltı suyunun serbest yüzeyinin üstünde olan kapilar doyma katmanındaki suyun basıncı, atmosfer basıncından küçüktür ve yükseklikte azalır. Buna karşılık söz konusu yüzeyin altındaki suyun basıncı, derinlikle artar.

**Drenajın Serbest Su Yüzeyine Etkisi:** Yeraltı suyunun serbest yüzeyi genellikle yataydır. Ancak bu suyun lateral olarak sızması, serbest su yüzeyinin alçalmasına neden olur. Bu durumdaki yeraltı suyunun serbest yüzeyine, kuyu anlamına gelen kelimedenden türetilen friatik yüzey denir.

Yeraltı suyunun serbest yüzeyi doğal boşalma yerinden daha derinde inşa edilen kapalı dren veya kanallar ile yapay olarak düşürülür.

Yeraltı suyunun serbest yüzeyi, drenlerin seviyesine kadar alçalmaz. Drenlerden uzaklaştıkça, serbest su yüzeyi artma eğilimi gösterir. Serbest su yüzeyinin drenlerin arasındaki eğimi zeminin karakterine bağlıdır. Bu yüzey permeabilitesi yüksek zeminde, düşük olana göre daha yatıktır.