

## JEOTERMAL KAYNAK ARAMALARINDA HİDROJEOLJİ ÇALIŞMALARINI

Nilgün DOĞDU\*

### GİRİŞ

Hidrojeoloji suyun yer altında bulunuşu, kalitesi, miktarı, işletilmesi, su içeren birimin (akifer) hidrolik ve ortam özellikleri ile ilgili bilim dalıdır. Hidrojeoloji; Jeoloji, Hidroloji, Kimya, Matematik, Fizik gibi bilimlerle disiplinler arası çalışmaları gerektirmektedir.

Jeotermal kaynak, jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğu ısısının etkisiyle sıcaklığı sürekli olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üzerinde olan, çevresindeki sulara göre daha fazla miktarda erimiş madde ve gaz içerebilen, doğal olarak çıkan veya çıkarılan su, buhar ve gazlar ile yer altına insan düzenlemeleri vasıtasıyla gönderilerek yer kabuğu veya kızgın kuru kayaların ısı ile ısıtılarak su, buhar ve gazların elde edildiği yerler olarak tanımlanmaktadır.

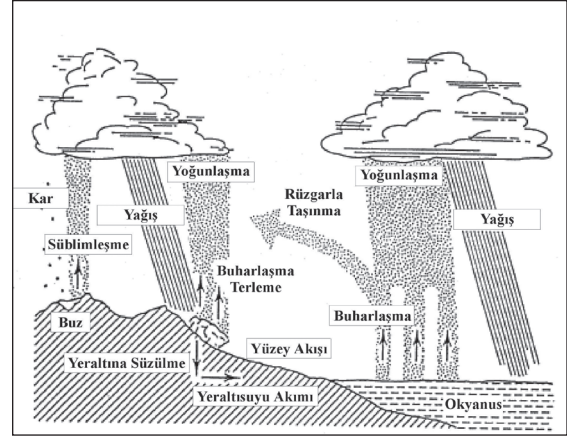
Jeotermal kaynak aramalarında jeoloji çalışmalarının tamamlanmasından itibaren yapılacak hidrojeolojik çalışmalar; birimlerin hidrojeolojik özelliklerinin tanımlanması, akışkan özellikleri, akışkan hareketi, alandaki yer altı suyu seviye, beslenme, boşalım ilişkisi, jeotermal sistemi oluşturan rezervuar kayaç (akifer), örtü kayaç, beslenme alanı, suyun yaşı, kökeni ve dolaşım sistemi, hidrojeokimyasal analizler ve yorumlanması vb. bilgilerin elde edilmesi çalışmalarını kapsamaktadır.

Hidrojeolojik çalışmalarda izlenecek yöntem; problemin tanımı, problemin çözümü için gerekli verilerin tanımlanması, veri toplama için saha çalışmasının programlanması, toplanan verilerin analiz edilmesi, çözüm yönteminin seçilip uygulanması ve uygulama sonuçlarının izlenmesi ve değerlendirilmesi şeklinde sıralanabilir.

## HİDROLOJİ

### Hidrolojik Çevrim

Suyun yüzey, yer altı ve atmosfer arasında sıvı, gaz ve katı hallerde döngü şeklinde dolaşımıdır. Hidrolojik çevrim, yüzeyden buharlaşma ile başlar, karalara doğru taşınarak bulutlarda yoğunlaşma ve soğuyarak yağış olarak yüzeye ulaşma olarak bir döngüyü tamamlar (Şekil 1).



Şekil 1- Hidrolojik çevrim (Kırmızıtaş ve diğerleri, 2005)

### HİDROLOJİK VE HİDROJEOLJİK BÜTÇE ELEMANLARI VE ÖLÇÜMLERİ

Hidrolojik çevrim içinde yer alan elemanların sisteme katkı miktarları ve oranlarının belirlenmesi ile yer altı suyu sistemi, su dengesi verileri elde edilir.

#### Buharlaşma

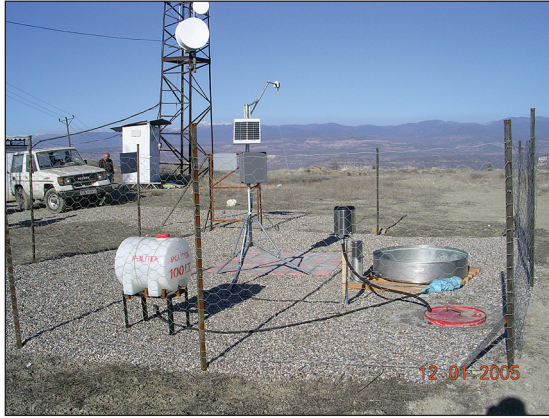
Özellikle açık su kütleleri (göl, dere vb.) için yapılan bütçe hesabında kullanılır. Boyanmamış galvanizli metalden yapılmış A tipi tavalarda "potansiyel buharlaşma" olarak ölçülür (Şekil 2). Her gün ölçülen seviye kayıt edilir. Ölçülen değerler 0.58-0.78 arasında tava kat sayısı ile çarpılır. A pan dışında bölgedeki bitki örtüsü, yağış, sıcaklık, rüzgar hızı, nem miktarı, güneşlenme süresi vb. verileri kullanan eşitlikler ile de buharlaşma miktarı hesaplanabilmektedir. Eşitlikler ile potansiyel ve gerçek

\* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara

buharlaşma-terleme değerleri hesaplanabilir. Potansiyel buharlaşma-terleme Penman ve Thornwaite vb., Gerçek buharlaşma-terleme Turc ve Coutange vb. yöntemlerle belirlenebilir.

### Yağış Yüksekliği

Yağışın belirli bir zaman sresinde yatay bir yüzey üzerine düşen ve düştüğü yerde kar olarak biriktiği kabul edilen su sütununun "mm" cinsinden ifade edilen yüksekliğidir. Plvuyograflar (yağış ölçer) ile ölçülür (şekil 2).



şekil 2- rnek Meteoroloji istasyonu (Kütahya-Tunçbilek Kömür Sahası Hidrojeoloji Etüdü Projesi - MTA-GLI)

### Akım

Yağışın yeryüzüne düşüp dereler boyunca akışa geçmesiyle oluşur. Akım; dereler üzerine kurulan akım ölçüm istasyonları, boyutları ve eşitlikleri bilinen savaklar, muline, izleme deneyleri vb. gibi yöntemlerle ölçülür.

### Savak İle Akım lm

Genellikle akımı nispeten düşük akarsular-da, boyutları ve eşitlikleri bilinen savaklar yardımıyla yapılır (şekil 3). rnek olarak Francis tarafından dikdörtgen savaklar için türetilmiş bir eşitlik aşağıda verilmiştir.

$$Q = 1.83 \times (L - 0.2 \times h) \times h^{3/2} \quad (1)$$

Q=savaktan geçen suyun debisi (m<sup>3</sup>/s)

L=suyun aktığı açıklığın genişliği (m)

h = suyun savak üzerindeki yüksekliği (m)

### Muline İle Akım lm

Genellikle akımı nispeten düşük ve kesit alanı bilinen derelerde kullanılır. Burada muline yardımıyla deredeki akım hızı (V, m/s) bulunur ve derenin kesit alanı (A, m<sup>2</sup>) ile çarpılarak debi (Q=VxA, m<sup>3</sup>/s) elde edilir.

### İzleyiciler İle Akım lm

Boya (uranin, rodamin vb.) ve kimyasal tuzların (en çok kullanılan NaCl'dr) akarsuya verilmesi ile yapılır. Akarsuya verilen boya veya tuz derişiminin akarsuyun akış aşağısındaki bir noktada zamana karşılık ölçülmesiyle ve ilgili eşitliklerin kullanılmasıyla akarsu debisi (akımı) llr (şekil 4).

### Hidrolojik ve Hidrojeolojik Bütçe

Hidrolojik evrim elemanları (yağış, buharlaşma, terleme, akış) ile havzadaki su dengesinin belirlenmesi için hidrolojik bütçe hesabı yapılır.

Yüzey ve yer altı suları için hidrolojik bütçe genel olarak yukarıdaki eşitlik ile belirlenebilir (şekil 5).

#### Girdiler:

- Yağış
- Nehir akışı
- Yer altı suyundan sızma
- Yüzeysel akış

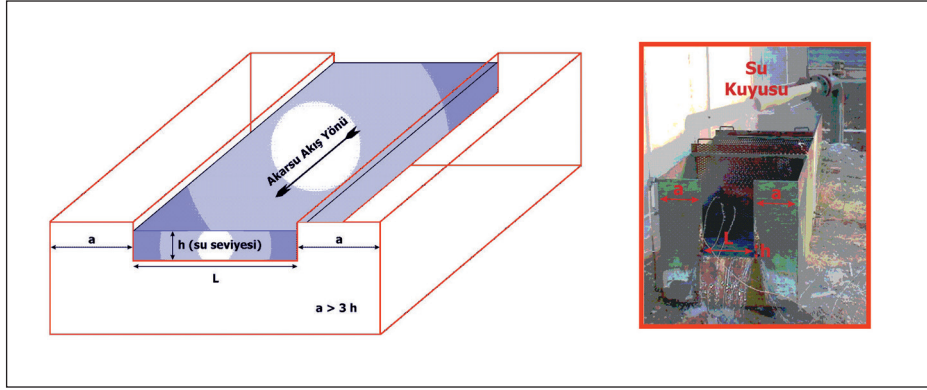
#### ıktılar:

- Buharlaşma
- Terleme
- Dışa nehir akışı
- Yer altı suyuna sızma

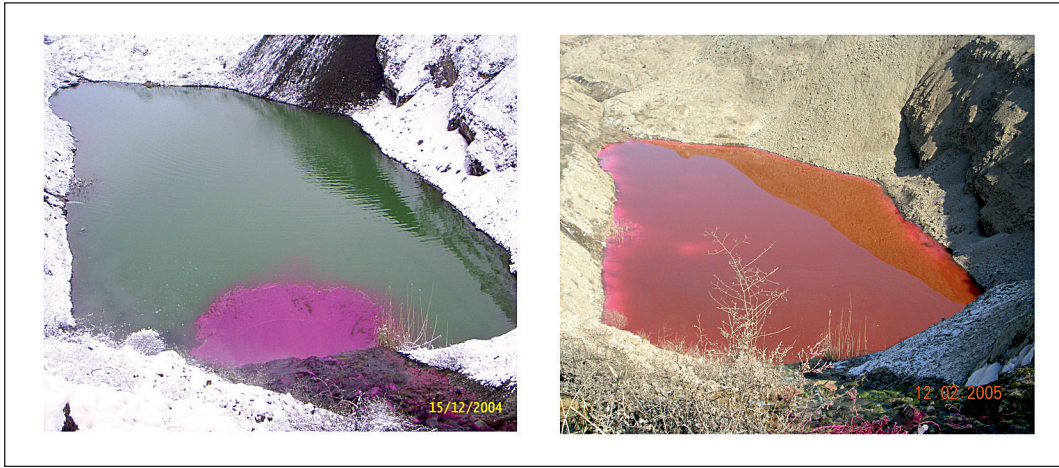
### Girdi (Beslenim)

*Yağıştan szlmeyle beslenim.*- Geçirimli birimlerin özelliğine bağlı olan ve arazi deneyleriyle belirlenen szlme katsayısı ile etkili yağışın çarpımıyla belirlenir. Yağışın geri kalanı yüzeysel akışa geçer, dere veya gllerin üzerine direkt düşer, geçirimsiz zemin üzerindeki çukurluklarda depolanır.

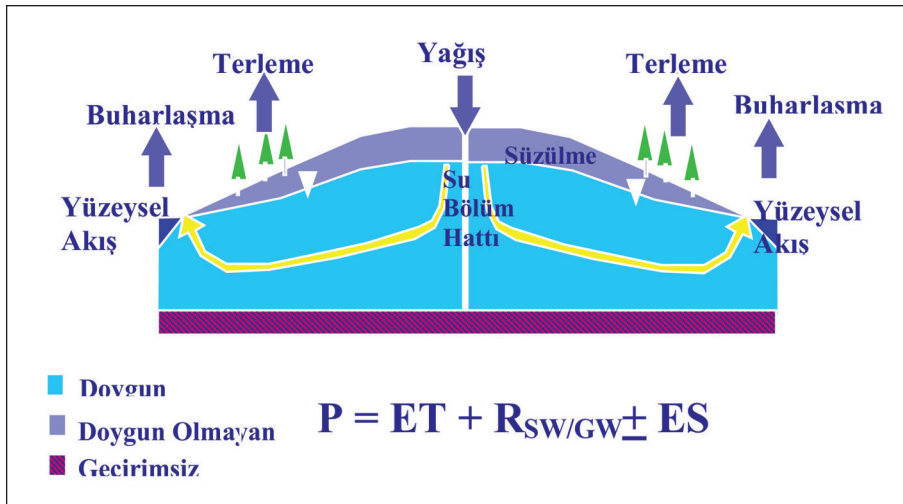
*Akarsulardan beslenim.*- Akarsu yataklarındaki geçirimli birimlerden yer altına olan szlme ile olan beslenimdir. Akarsu debilerinin zamansal değişimini ifade eden hidrografların incelenmesiyle belirlenir.



Şekil 3- Savak ile akım ölçümü



Şekil 4- İzleme Deneyi (Kütahya-Tunçbilek Kömür Sahası Hidrojeoloji Etüdü Projesi - MTA-GLİ)



Şekil 5- Hidrolojik bütçe elemanları

*Diğer beslenimler.*- Suni beslenme (yer altına besleme kuyularıyla su basılması), komşu havzadaki yağıştan, komşu havzadaki yer altı suyundan, kar erimesi ile akışa geçen sudan, sulama kanallarından, sulamaya verilen sudan sızmayla beslenme vb.

### Çıktı (Boşalım)

Yer altı suyundan Buharlaştırma, yer altı suyunun yeryüzeyinden itibaren 2 m derinliğe kadar olan bölümünden gerçekleşir. Yer altı suyu Dışa Akışı, yer altı suyunun komşu havzaya akışı ile gerçekleşir. Akarsulara Olan Boşalım, yer altı suyunun dereleri beslenmesi ile gerçekleşir. Akarsu debilerinin zamansal değişimini ifade eden hidrografların incelenmesiyle belirlenir. Kaynaklarla Olan Boşalım, yer altı suyunun kaynak aracılığı ile boşalımdır. Suni Boşalım, su kuyularından pompaj ile suyun çekilmesiyle gerçekleşir.

### YER ALTI SUYU

Yer altında geçirirli jeolojik formasyonların suya doymun bölgesinde bulunan ve kuyular, kaynaklar, akarsu, göl ve deniz gibi su kütleleri vasıtasıyla yüzeye ulaşan su yer altı suyu olarak tanımlanabilir. Yer altında pompaj ile alınabilecek miktarda bulunan, durgun veya hareketli tüm sular olarak da tanımlanabilir.

Yer altı suyu; içme ve kullanma suyu, sulama suyu, endüstri, sıcak su (jeotermal) kullanımı (elektrik, ısıtma, kaplıca, seracılık) gibi amaçlarla kullanılmaktadır.

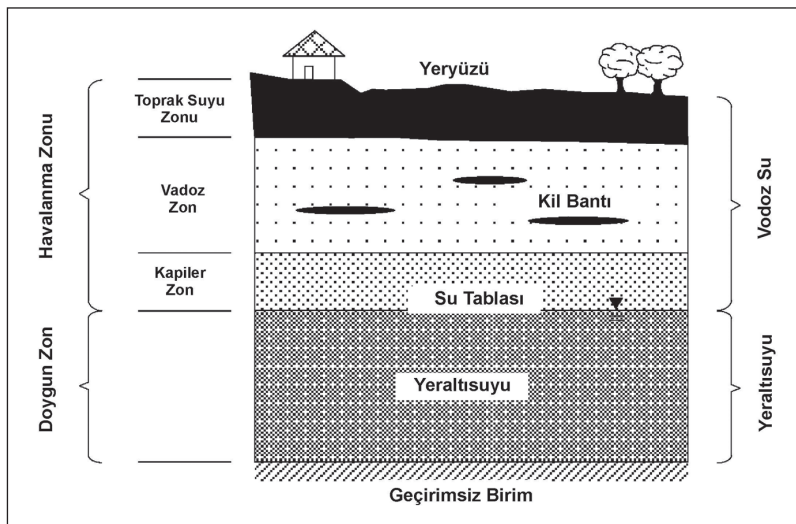
### Yer Altı Suyunun Düşey Dağılımı

Yer altı suyu düşey yönde iki bölüme ayrılmıştır. Toprak yüzeyinin hemen altında doymun olmayan bölge yer almaktadır. Burada gözenekler kısmen su, kısmen hava ile doludur. Bu bölgenin altında sınırları değişken olan ve su tablasının üzerinde bulunan kapiler bölge bulunmaktadır. En altta yer altı suyunun depolandığı doymun bölge yer almaktadır ki bu bölgede gözenekler tamamen su ile doludur (Şekil 6).

### Hidrojeolojik Sistemi Oluşturan Litolojiler

*Akifer.*- Gözenekleri tamamen su ile dolu ve kuyulara, kaynaklara yeterli miktarda su iletebilen ve kendisinden ekonomik olarak yararlanılabilen jeolojik formasyonlardır (Örn.: çakıl/kum, kırıklı çatlaklı kayalar).

*Akifer.*- Bölgesel yer altı suyu akımında önemli miktarda yer altı suyunu iletebilecek iletkenliğe sahip fakat bir kuyuya yeterli miktarda su sağlayacak hidrolik iletkenliğe sahip olmayan jeolojik formasyonlardır (Örn.: silt veya kumlu kil).



Şekil 6-Yer altı suyunun düşey dağılımı



**Akiklöd.**- Düşük hidrolik eğim koşullarında yeterli miktarda su iletme kapasitesi olmayan doygun jeolojik birimdir (Örn.: sıkı veya gevşek kil).

**Akifüj.**- Yer altı suyu içermeyen ve iletmeyen geçirimsiz jeolojik birimlerdir (Örn.: kırık-sız-çatlaksız masif granit).

## Akifer Türleri

**Serbest akifer.**- Alt tarafından geçirimsiz bir ortamla sınırlanmış ve yer altı suyu atmosfer basıncı altında (serbest yüzeyli) olan akiferlerdir (Şekil 7).

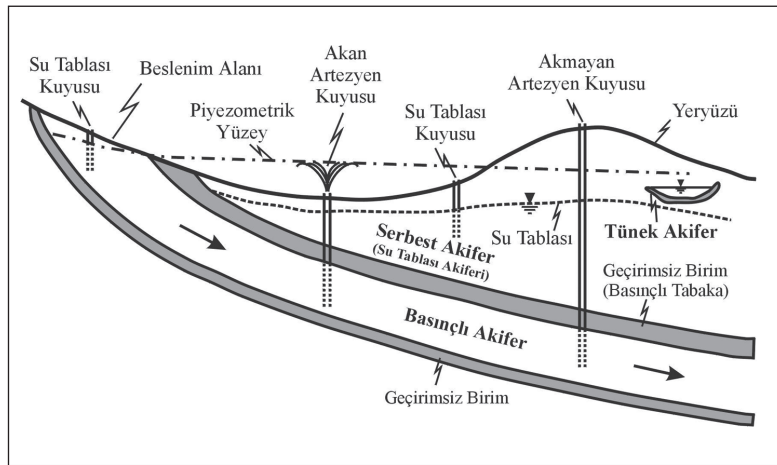
**Basıncılı akifer.**- Alttan ve üstten geçirimsiz bir yüzey ile sınırlandırılmış ve piyezometrik

seviyenin akiferin üst kotundan daha yukarıda bulunduğu akiferdir.

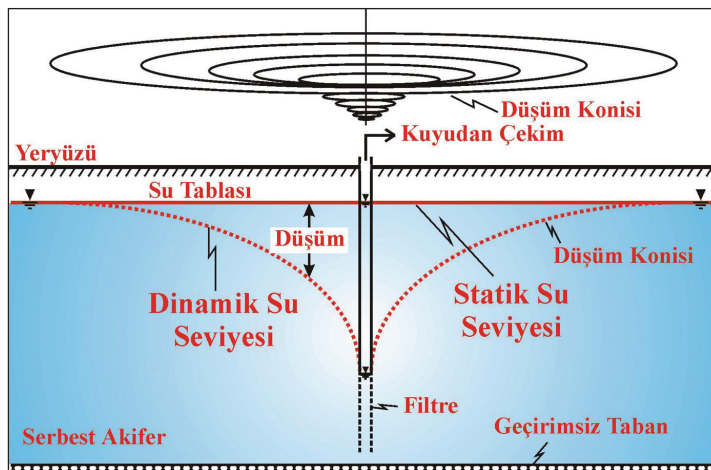
**Sızıntılı akifer.**- Basıncılı veya serbest akiferi sınırlayan yarı geçirimli ortamlardan su kazanıp kaybeden akiferdir. Akifer basıncılı ise "sızıntılı basıncılı akifer" serbest yüzeyli ise "sızıntılı serbest akifer" olarak nitelendirilir.

**Asılı (tünek) akifer.**- Yer altında doymamış bölgede geçirimsiz seviyeler üzerinde bulunan mercer şeklineki geçirimli ortamlar içinde toplanan suyu taşıyan akiferlerdir. Kapasiteleri sınırlıdır.

**Su tablası.**- Atmosferik basınç ile yer altı suyu basıncının eşit olduğu ve serbest akiferlerde yer altı suyunun üst yüzeyini gösteren çizgidir (Şekil 8).



Şekil 7- Akifer türleri (Bear, 1979)



Şekil 8- Düşüm konisi, su tablası ve piyezometrik yüzey

**Piyezometrik yüzey.**- Basıncılı akiferin üstündeki basınç yüzeyidir (Şekil 8).

**Statik su seviyesi.**- Akifere pompaj ile veya herhangi bir şekilde su alınmadığı veya akifere su verilmediği andaki kuyuda durgun (statik) halde bulunan yer altı suyu seviyesidir (Şekil 7).

**Dinamik su seviyesi.**- Pompaj kuyusunda sabit debide su çekilirken yer altı su seviyesinin kuyu içinde düşmesi sonucunda sabit kaldığı seviyenin zemine olan mesafesidir (Şekil 7).

### Hidrojeolojide Kullanılan Bazı Önemli Parametreler

**Hidrolik iletkenlik (K).**- Birim hidrolik eğim altında, akıma dik birim kesitten birim zamanda geçen su miktarıdır. Birimi m/gün, m/saniye veya cm/saniye olabilir. Laboratuvarda permeametre düzenekleriyle ve arazide pompalama testleri ile belirlenir (Şekil 9, çizelge 1).

**Hidrolik eğim (i)** .- Yer altı suyu akım yolu üzerinde birim mesafede meydana gelen yük kaybıdır. Arazide yer altı suyu seviye ölçümleriyle belirlenir.

$$\text{Hidrolik eğim (i)} = (h_2 - h_1) / L = dh / L \text{ (boyutsuz) (2)}$$

**Transmissivite (İletimlilik katsayısı, T).**- Bir akiferin bütün kalınlığı boyunca alınan birim genişlikteki kesitinden birim zamanda birim hidrolik eğim altında geçen su miktarıdır. Arazide pompalama deneyleriyle belirlenir (Şekil 10).

**Depolama katsayısı (S)** .- Akifere alındığında veya akifere verildiğinde akiferin birim kesit alanındaki yükte (su seviyesi veya piyezometrik seviyede), bu kesit alanına dik yönde birim değişiklik (düşüm veya yükselim) yapan su hacmidir. Arazide pompalama deneyleriyle belirlenir (Şekil 11).

**Porozite (Gözeneklilik).**- Kayacın boşluk hacminin tüm hacme oranı olup, "n" ile gösteri-

**Çizelge 1- Pekişmiş ve pekişmemiş kayalar için hidrolik iletkenlik değerleri**

Pekişmemiş (taneli zeminler) kayalar için kabul edilen hidrolik iletkenlik değerleri ve geçirgenlik durumları:		
<b>Çakıl, kaba kum</b>	$10^1 > K > 10^{-3}$ cm/s	Çok geçirgen zeminler
<b>İnce kumlar</b>	$10^{-3} > K > 10^{-4}$ cm/s	Geçirgen zeminler
Silt, mil	$10^{-4} > K > 10^{-7}$ cm/s	Yarı geçirgen zeminler
Killer	$10^{-7} > K > 10^{-9}$ cm/s	Geçirimsiz zeminler
Plastik killer	$10^{-9} > K > 10^{-10}$ cm/s	Çok geçirimsiz zeminler
Pekişmiş kayalar hidrolik iletkenlik değerlerine göre aşağıdaki şekilde sıralanabilirler:		
<b>Çok geçirgen kayalar</b>	$K > 10^1$ cm/s	
Geçirgen kayalar	$10 > K > 10^{-4}$ cm/s	
Az geçirgen kayalar	$10^{-4} > K > 10^{-7}$ cm/s	
Geçirimsiz kayalar	$K < 10^{-7}$ cm/s	

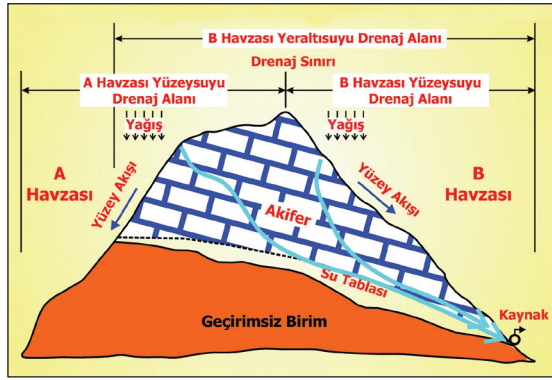


lır ve % olarak ifade edilir. Laboratuvar deneyleri ile belirlenir.

**Drenaj alanı (su toplama alanı).**- Yüzey ve yer altı suyu akışını aynı çıkış yerine gönderen bölgedir. Her yerde yüzey suyu ve yer altı suyu drenaj alanları aynı bölgeleri kapsamayabilir (Şekil 12).

**Beslenme alanı.**- Akifere suyun girdiği alanıdır. Bu alan; basınçlı akiferlerde akiferin yüzeylendiği alan, serbest akiferlerde ise akiferin yayılım alanının tamamıdır.

**Boşalım alanı** - Akiferde yer altı suyunun doğal olarak kaynaklar, akarsu, bataklık, göl ve deniz gibi su kütlelerine boşaldığı alanıdır.

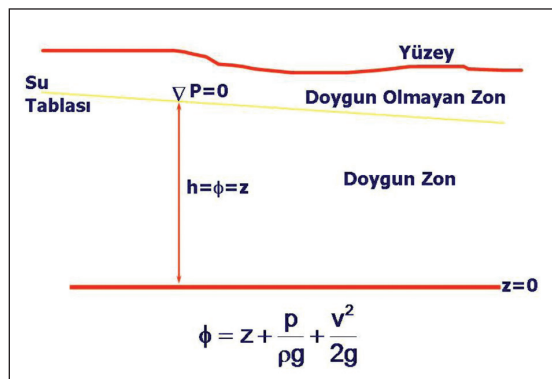


Şekil 12- Yüzey ve Yer altı drenaj alanı (Kırmızıtaş ve diğerleri, 2005)

## Yer Altı Suyu Hareketi

Yer altı suyunun bir noktadan diğer noktaya hareketi, bulunduğu kotta üzerindeki basınç etkisiyle kazandığı hız ile ifade edilir)

$$\text{Hidrolik yük} = \text{Kot yükü} + \text{Basınç yükü} + \text{Hız yükü} \quad (3)$$



Burada z: kot yükü,

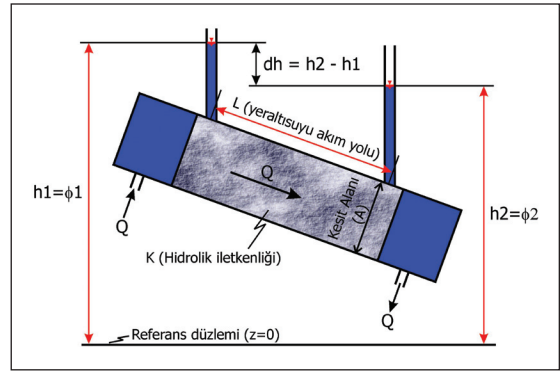
$$\frac{p}{\rho g} : \text{basınç yükü ve}$$

$$\frac{v^2}{2g} : \text{hız yükünü temsil etmektedir.}$$

## Darcy Yasası

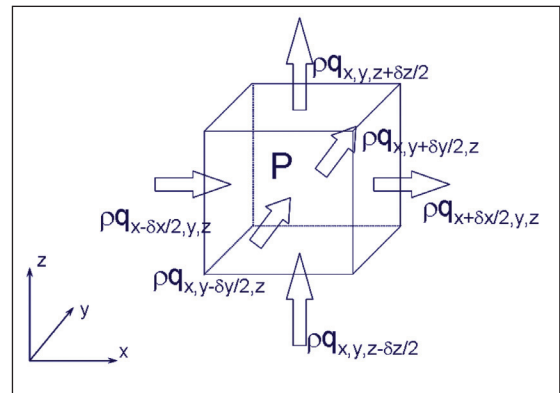
Gözenekli ortamdaki akım miktarı (Q), hidrolik yük farkı ile (dh) doğru orantılı, fakat suyun gözenekli ortamda kat ettiği yolla (L) ters orantılıdır (Şekil 13).

$$Q = A \times K \times (h_2 - h_1) / L = A \times K \times dh / L = A \times K \times i \quad (4)$$



Şekil 13- Darcy deneyi (Tezcan, 1999)

## Yer Altı Suyu Akımı



- Dengeli Akım Koşullarında Genel YAS Denklemi

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (5)$$



- Dengesiz Akım Koşullarında Genel YAS Denklemi

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (6)$$

- Gözenekli Ortamlarda YAS Denklemi Üç Boyutlu Hali

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (7)$$

K: hidrolik iletkenlik,

S: depolama katsayısı,

h: hidrolik yük,

Ss: özgül depolama,

W: katkı-kayıplarını temsil eden birim hacim için volumetrik akıdır (Tezcan, 1999).

### Heterojenite, Anizotropi

Hidrojeolojik olarak heterojenite, hidrolik parametrelerin akiferin her noktasında farklı değerlerde olması durumunu temsil eder. Heterojenite, hidrolik iletkenlik katsayısının konumsal değişimini, anizotropi, hidrolik iletkenlik katsayısının yöne bağlı değişimini ifade eder (Şekil 14).

### Kuyu Hidroliği

Kuyularda yapılan pompalama denemeleri sonucunda akifere ait hidrolik parametreler,

akiferin türü ve davranışı konusunda bilgi edinilir. Bu amaçla aşağıda zamana bağlı olmayan dengeli akım koşullarında ve zaman ve kumun değiştiği durumları içeren dengesiz akım koşullarında kullanılan yöntemler genel olarak verilmiştir (Çizelge 2). Pompalama denemesine bağlı olarak hidrolik yükün (ve düşümün) zamanla değişimi, kuyunun etki yarıçapı içerisinde kalan bölgede akifere ait tüm hidrolik ve geometrik özelliklerinin ortak bir yansımasıdır.

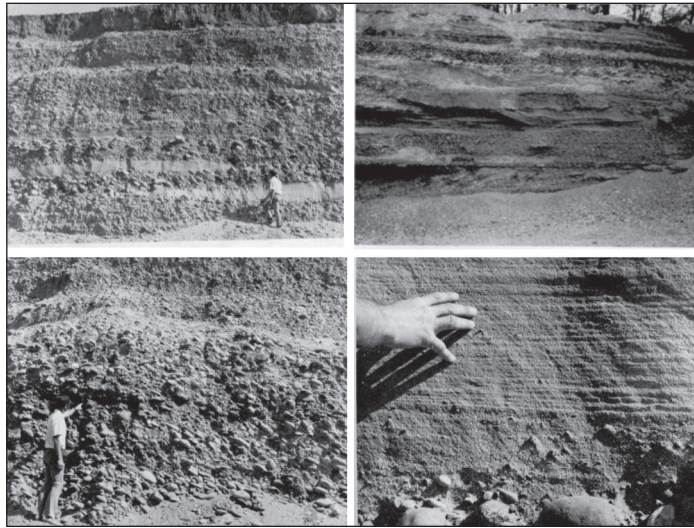
Basıncılı akiferlerde açılmış bir kuyuya doğru radyal akım:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial \phi}{\partial t} \quad (8)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;  $\Phi$  hidrolik yük (L), r çekim kuyusuna olan radyal uzaklık (L), S depolama katsayısı, T akiferin transmissivite katsayısı ( $L^2/T$ ), t (T) zamandır. Bu eşitliğin analitik olarak çözümü Theis (1935) tarafından:

$$\phi_0 - \phi(r, t) = \frac{Q_w}{4\pi T} \int_{x=u}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx \quad (9)$$

şeklinde verilmiştir.



Şekil 14-Homojenite, Heterojenite, İzotropi ve Anizotropi (Tezcan, 1999)

**Çizelge 2- Akiferlerde dengeli ve dengesiz akım koşullarında kullanılan kuyu hidroliği yöntemleri (Demirci, N, 1997)**

Dengeli Akım	Dengesiz Akım
Dengeli Tek Yönlü Akım (Darcy)	
Dengeli Radyal Akım	Dengesiz Radyal Akım
<p>a. Basınçlı akifer THIEM- sonsuz yayımlı, sabit debi</p> <p>b. Serbest akifer THIEM- Dupuit varsayımları</p> <p>c. Yarı-basınçlı akifer DE GLEE- sızma düşüm ile orantılıdır HANTUSH-JACOB- <math>r/L &lt; 0.05</math></p> <p>d. Sınır koşulları Geçirimsiz sınırlar (fay hattı) Beslenme sınırları (akarsu, başka bir akifer sınırı)</p> <p>DIETZ- bir ya da daha fazla beslenme sınırı, dengeli akım, basınçlı ve serbest akiferlerde uygulanabilir</p> <p>HANTUSH GÖRÜNTÜ- beslenme sınırı ile akarsu akım çizgisinin çakışmaması durumunda kullanılır.</p>	<p>STALLMAN- Geçirimli veya beslenme sınırı, dengesiz akım, basınçlı ve serbest akiferler</p> <p>HANTUSH (1957); (1961); (1964) : Kısmi Penetrasyon</p> <p>a. Basınçlı akifer THEIS- sonsuz yayımlı, sabit debi, küçük çaplı kuyular JACOB- <math>u &lt; 0.01</math>, yani <math>r</math> küçük, <math>t</math> büyük değerinde</p> <p>b. Serbest akifer NEUMANN- sonsuz yayımlı, sabit debi, küçük çaplı kuyular, BOULTON- Dengesiz akım, homojen izotrop, sonsuz yayılım, küçük çaplı kuyular, düşüm doymun kalınlığa göre çok düşük, gecikmeli debili serbest akiferlerde kullanılır</p> <p>c. Yarı-basınçlı akifer HANTUSH-1 HANTUSH-2 WALTON</p>

Bu eşitliğin dayandığı varsayımlar ise şu şekildedir:

- Akifer homojen, izotrop ve uniform kalınlığa sahiptir.
- Kuyuya doğru olan akım dengesiz rejimdedir.
- Akifer sonsuz yayılıma sahiptir ( $\Phi(\infty, t) = \Phi_0, \geq 0$ ).
- Pompalamadan önceki piyezometrik seviye hemen hemen yataydır ( $\Phi(r, 0) = \Phi_0, r_w \leq r \leq \infty$ ).
- Kuyu çapı çok küçüktür ( $r \gg r_w$ ).

$$\left( \lim_{r \rightarrow r_w} 2\pi r T \frac{\partial \phi}{\partial r} = Q_w = \text{sabit}, t > 0 \right)$$

- Pompalama verdisi sabittir .

Yukarıdaki varsayımlar altında, basınçlı akiferde dengesiz akım koşullarında düşüm değerleri için Theis (1935) eşitliği şu şekilde yazılabilir:

$$s(r, t) = \frac{Q_w}{4\pi T} W(u) = \frac{Q_w}{4\pi T} \left[ -0.577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots \right] \quad (10)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (11)$$

Bu eşitliklerde,  $r$  üretim kuyusunun yarıçapı ( $L$ ),  $Q_w$  pompalama verdisi ( $L^3/T$ ),  $W(u)$  Theis (1935) kuyu fonksiyonudur (Demirci, 1997).

### Jeotermal Sistemler

Yer altı suyunun hareketi soğuk ve sıcak su sistemlerinde farklı olmaktadır. Soğuk yer altı

suyu hareketinde suyun enerjisi hidrolik yük terimi ile ifade edilmekte, sıcak su hareketinde ise ısı taşınımı hareketi de söz konusu olmaktadır. Dolayısıyla bir jeotermal sistemde hidrolik parametrelerin yanında suyun ısı taşınımını ifade eden parametrelerinde belirlenmesi gerekmektedir.

Jeotermal bir sistemde ısı, kondüksiyon, konveksiyon ve radyasyon yoluyla olmak üzere üç yolla taşınmaktadır.

Kondüktif taşınım; ısının herhangi bir taşıyıcı ajan olmaksızın sıcaklık gradyanına bağlı olarak doğrudan iletimidir.

Konvektif ısı taşınımı; ısının yer altı suyu hareketi ile taşınımıdır.

Radyasyon; bir kütlenin sıcaklığından dolayı yaydığı enerjidir (Domenico ve Schwartz, 1990).

Sıcak suların oluşumu için meteorik suların derinlere inmesinde, sıcaklığını korumasında ve yüzeye iletilmesinde jeotermal akışkanın hareketinin gerçekleştiği rezervuar, ısıtıcı kayaç ve örtü kayaç gibi parametreler jeotermal sistemi oluşturmaktadır.

Isıtıcı kayaç; yerin derinliklerinde bulunan ısının, kabuk içerisinde yer kabuğu hareketleri nedeniyle oluşan tektonik hatlar aracılığıyla da daha sığ derinliklere ulaşabilmesini sağlayan kayaç/kayaçlardır. Bu ısı, kondüktif veya konvektif olarak taşınabilir.

Rezervuar kayaç; kabuk içerisinde suyun ekonomik olarak alınabildiği derinliklerde, yüksek porozite ve permeabiliteye sahip litolojik

birimler ve/veya zonlar içinde suyun depolanmasını sağlayan kayaçlardır. Örtü kayacın varlığına göre açık ve kapalı sistem olarak iki şekilde yer alır.

Örtü Kayaç; rezervuarda depolanan ve hareket halinde olan akışkanın ve ısının enerjisini kaybetmeden sürdürülebilirliğini sağlayacak geçirimsiz birimlerdir.

Beslenme; genellikle yüzey ve yer altı beslenme alanı varlığı, meteorik kökenli olan sıcak ve mineralli suların beslenme yollarını izleyerek haneye ulaşmaları şeklinde olabilmektedir.

## DEĞİNİLEN BELGELER

- Bear, J., 1979. *Hydraulics of Groundwater*, Mc-Graw Hill, 569p., USA
- Demirci, N., 1997. Değişik Akifer ve Akım Koşullarında Fiziksel Modeller Kullanılarak Yapılan Pompalama Denemelerinin Analitik Çözümlenmesi ve Sayısal Modeller ile Karşılaştırılması, H.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara, 127 s.
- Domenico ve Schwartz, 1990. *Physical and Chemical Hydrogeology*, 317-357, John Wiley and Sons, Canada.
- Freze, R.A. ve Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, 604p., USA
- Kırmızıtaş, H., Doğdu, M.Ş., Apaydın, A., Demirci ve Aktaş, S., 2005. Özel Hidrojeolojik Etüt Raporu Yazım Kılavuzu, JMO Yayını, No:92, Ankara
- Tezcan, L., 1999. Hidrojeolojik Modelleme Ders Notları, H.Ü. Hidrojeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara (yayımlanmamış).

