

BÖLÜM 1

1. GİRİŞ

Kuyu logu çalışmalarının temelini, belirli bir amaç doğrultusunda (yeraltı suyu, petrol, maden, zemin ve vd araştırmalar için) açılmış olan sondaj kuyularında ortamın bazı fiziksel parametrelerinin (özdirenç, yoğunluk, radyoaktif özellikler ve vd gibi) derinliğin fonksiyonu olarak ölçülmesi elle veya otomatik bir şekilde kaydedilmesi oluşturur (doğal potansiyel, özdirenç, sonik ve nötron logu gibi). Kuyu logu ölçümleri bazen elle çizilen grafiklerden (litolojik, paleontolojik log gibi) bazende ölçülerden hesap yolu ile yapılan değerlendirmelerin bilgisayarlarla hesaplanıp otomatik olarak çizilmesi sonucu elde edilen loglardan (porozite ve petrol saturasyonu logu gibi) oluşur. Kuyu logları başlangıçta petrol amaçlı açılmış sondaj kuyularında ve daha sonrada diğer yeraltı kaynakları için delinen sondaj kuyularında da uygulama alanı bulmuştur (kömür, radyoaktif mineraller ve yealtısı amaçlı açılmış kuyular). Günümüzde ise, özellikle ülkemizde yeraltısuyu bulma amacıyla açılmış kuyularda kuyu logu ölçüsü daha sık yapılmaktadır. Bu nedenle bu ders notlarında yeraltısuyu için açılmış kuyularda kullanılacak kuyu logu yöntemleri temel alınacaktır. Ayrıca genel bilgi açısından da diğer kuyu logu ölçüm yöntemleri de kısaca tanıtılacaktır. Bu amaç doğrultusunda önce kuyu logu ölçümlerinin daha iyi anlaşılması için gerekli olan temel bilgiler (kayaçlar ve türleri, akifer ortamlar ve sondajlar vd gibi) kısaca tanıtılıp daha sonrada kuyu logu ölçüm çeşitleri ayrıntılı olarak incelenecektir.

BÖLÜM 2

TEMEL TANIMLAR

Kuyu logu ölçümlerinde amaç kuyu içi ve çevresinde oluşan doğal ve yapay olayları tanımlayarak sonuçları yorumlamaktır. Örneğin, yeraltısuyu amaçlı açılmış olan kuyularda su miktarı, tabakaların derinlik kalınlık ve su taşıma özellikleri ve vd gibi soruların cavabı aranmaya çalışılır. Bu soruların en düşük hata ile yanıtlanabilmesi için kuyu logu ölçümlerinde bazı temel tanımların önceden bilinmesi gerekir. Bunun için sonuçları yorumlayacak kişilerin önce ortamın doğal özelliklerini (kayaçlar, akifer ortamlar) daha sonra uygulanacak yöntemlere göre ölçüleri etkileyecek kayaçların özellikleri (özdirenç, radyoaktivite, porozite, permeabilite ve saturasyon) ile sondaj açma tekniklerini bilmesi gerekir. Bu temel tanımlar bilinmeden ölçülerin en az hata ile yorumlanması zorlaşır.. Bu kitabın temel konusu yeraltı suyu araştırma amaçlı yapılmış kuyulardaki kuyu logu ölçümleri olduğu için, yeraltı suyunun bulunabileceği ortamlar, bu tür ortamların kuyu logları açısından önemi ve sondajlarda karşılaşılabilecek sorunları tanıtılmıştır. Bu çerçevede izleyen bölümde önce yeraltı suyu açısından önem taşıyan kayaç türleri, akifer oluşturan ortamlar ve kayaçların petrofizik özellikleri konusunda kısa tanımlamalar yapılmıştır. Ayrıca kuyu açma teknikleri, sondaj çamurunun genel özellikleri ve ayrıca sondaj çamuru ile delinmiş bir kuyunun içinde ve çevresinde oluşan olaylar tanıtılmıştır. İzleyen bölümlerde ise kuyu logu ölçü alma ekipmanları, ölçü alma yöntemleri, ölçüleri etkileyen ortam parametreleri, sonuçların yorumlanması ve elde edilen yapı ve ortam parametreleri tanıtılmıştır. Son olarak arazi ölçümlerinin planlanması, yöntemlerin uygulanması sırasında dikkat edilecek konular ve farklı özellikte kuyularda ve ortamlarda alınmış olan standart yeraltısuyu kuyu logu örnekleri verilmiştir.

2.1 KAYAÇLAR

Kayaçlar çeşitli minerallerin veya mineral parçacıklarının bir araya gelmesinden, ya da tek bir mineralin çok sayıda birikmesinden meydana gelirler. Kayaçlar oluşumları sırasında kazandıkları özelliklere bağlı olarak yeraltı suyu açısından önem taşırlar. Bu nedenle kuyu logu çalışması yapacak olan kişilerin kayaçların temel özellikleri ile akifer özelliklerini bilmesi gerekir. Bu nedenle bu bölümde önce kayaçların temel özellikleri ile akifer yapıları tanıtılacaktır. Daha sonra kayaçların kuyu logu ölçümlerini etkileyen petrofizik özellikleri de kısaca irdelenecektir. Sonraki bölümlerde kuyu açma teknikleri, sondaj çamurunun genel özellikleri ve ayrıca sondaj çamuru ile delinmiş bir kuyunun içinde ve çevresinde oluşan olaylar incelenecektir.

2.1.1. Kayaç Türleri

Kayaçlar oluşum şartlarına ve kökenlerine göre mağmatik, tortul ve metamorfik olmak üzere başlıca üç gruba ayrılır.

2.1.1.1. Mağmatik Kayaçlar

Erimiş silikat hamuru olan mağmanın yerkabuğunun derinliklerinde veya yer yüzünde soğuyarak katılaşması sonucu meydana gelen kayaçlar mağmatik kayaçları oluşturur. Bu soğuma ve katılaşma derinlerde uzun zamanda olursa derinlik kayaçları, soğuma ve katılaşma yeryüzünde veya yeryüzüne yakın derinliklerde hızla olursa yüzey kayaçları (volkanik kayaçlar) oluşur. Mağmatik kayaçlar genellikle sert ve sağlam kayaçlardır. Bu kayaçlar az ve ya çok çatlaklı olduğundan bazen bu çatlakları yeraltı suyu ve ya diğer maddeler doldurmuş olabilir. Bu kayaçların türleri Tablo 1 deki gibi özetlenebilir.

Tablo 2.1. Mağmatik Kayaçların Sınıflaması

Derinlik Kayaçları	Volkanik Kayaçlar
Granit	Riryolit , Riparit
Grano - diyorit	Riyadasit
Kuvarslı diorit	Dasit
Siyenit	Trakit
Monzonit	Latit
Diyorit	Andezit
Gabro	Bazalt , diyabaz
Peridotit	Dunit Pikrit

Bu kayaçların ülkemizde bulunma miktarlarına ve yeraltı suyu içermesine göre bazıları önem taşımaktadır. Bu kayaçların en önemlisi serpantin, bazalt ve andezit olup özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

Serpantin: Yeşil renkli parlak ve kaygan kırılma yüzeyli olan Serpantin bir ayrışma kayacı olup magnezyumlu silikatların su ile bozulmasından oluşur. Serpantin bileşiminde ki su kayaç hacmini artırır ve çatlakların oluşmasına neden olur. Basınç etkisi ile oluşan bu çatlakların arası cilalı bir yapı gösterir. Bazen bu çatlaklar yabancı kristallerle de dolar. Serpantin bu çatlaklı yapısı yeraltı suları açısından akifer özelliği taşımasına neden olur.

Bazalt: Yeryüzünde en çok rastlanan volkanik kayalardır. Ayrışma sonucunda çatlaklı yapısal özellik kazandıklarında yeraltı suyu açısından önem taşırlar. Yapısı gereği çok sert olduğu için delinmesi zor olan kayalardandır.

Andezit: Andezitler: Genellikle porfirik yapıda olup yeryüzünde büyük volkan silislerinde bol miktarda rastlanırlar. Lav akıntıları, dayklar veya boru biçimli şekillerde bulunabilir. Andezitler altın, gümüş ve bakır vd gibi ekonomik mineraller içerdiği için maden yatakları açısından önem taşır. Ayrıca çatlaklı ve kırıklı yapıda olduklarında yeraltı suyu taşıma özelliği gösterirler.

2.1.1.2. Tortul Kayalar

Bu kayalar; çeşitli etkilerle kayalardan koparılan parçaların sürüklenerek birikmesinden oluşur. Bu kayalar genellikle tabakalı yapıda olup çoğu kez fosil de içerirler. Tortul kayalar kökenlerine ve oluşum şartlarına göre üçe ayrılırlar.

2.1.1.2.a. Kırıntılı tortul kayalar :

Çeşitli büyüklüklerde taş ve mineral parçalarının karalarda ve denizlerde çökelmeleri ile meydana gelen kayalardır .Değişik boyuttaki tanelerin bir çimento maddesi ile birleşimleri sonucu katı ve sıkı halde bulunan çimentolu tortul kayaları oluşturur. (Örneğin; kumtaşı, konglomera). Eğer, taneleri birbirine bağlayacak ara madde yoksa taneler serbest kalır ve çimentosuz tortul kayalar meydana gelir (Tablo 2). (Örneğin; kum, çakıl, kil gibi)

Tablo 2.2 Tortul Kayaç Sınıflaması

Tane çapı (mm)	Çimentosuz	çimentolu
> 0.2	Blok Moloz Çakıl Kum Karışık kum Feldispatlı kum	Breş Konglomera Anglomera Grovak Kuvarsit Arkoz Kaba tuf
< 0.2	silt Kil	Şeyl Sleyt Arduvaz Lös

Kum : Kumlar genel olarak ayrışmaya uğramayan sert ve silisli kırıntılardan ve özellikle kuvars taneciklerinden oluşur. Bunlardan başka kalsiyum karbonatlı, jipsli vs.. kumlarda vardır. Kumlar tane çaplarına göre;

-) 0.1 - 0.2 mm. ise ince kum,
-) 0.2 - 1 mm. ise orta kum,
-) 1 - 2 mm. arasında ise iri kum

olarak sınıflanır. Ayrıca kumlar çok çeşitli renklerde de olabilir

Kil : (Sulu alüminyum silikat) Mağmatik kayaların, içersindeki feldispatların ayrışmasından oluşan ince taneler çökerek kil tabakalarını oluşturur. Bu tabakalar daha sonra sıkışarak kil taşlarını oluşturur. Kilin genel özellikleri ise; asitten etkilenmemesi, tırnakla kolay çizilmesi, dili çekmesi, gözenekliliğin fazla ve geçirgenliğin olmaması, elle dokunulduğunda sabun gibi kaygan bir yapı göstermesi ve yaşken özel bir kokuya sahip olması şeklinde özetlenebilir. Saf kile kaolin denir. Fakat killer çoğunlukla saf halde bulunmayıp diğer maddelerle karışık halde bulunur. Çeşitli renklerde olabilen kilin birçok türü vardır.

Silt : Tane çapları 1/16-1/256 mm arasındaki tanelerden oluşmuş tortul bir kayadır. Kayacın silt olması için, kayacı oluşturan malzemenin en azından %50 sinin çapı bu sınırlar içinde kalması gerekir. Malzemenin çoğunluğunu kuvars tanecikleri oluşturur. Ağıza alındığı zaman diş arasında ince kum gibi gıcırda. Silt kille karışırsa, sertleşme derecesine göre **şeyl, arjilit** ve

şeyl meydana gelir. Yeraltı suyu açısından akifer özelliğine sahiptir. Ancak, çok gevşek olduğundan sondaj aşamasında kuyu içi dolgulara neden olabilir. Kuyu içi borulandıktan sonra iyi çakıllama ve iyi teçhiz yapılmazsa zamanla kuyunun dolmasına neden olabilir.

Lös : Tane çapı 0.02 mm. den küçük olup bileşiminde kil, kum, mika ve kalsiyum karbonat bulunur.

Çakıl : Yuvarlak ve köşeli yapıda olan bu kayacın tane çapı 2 mm. den daha büyüktür.

Konglomera: Çakılların doğal bir çimento ara maddesi ile birleşmesinden oluşmuştur. Ayrıca çimentonun cinsine bağlı olarak sert, yumuşak geçirimli veya geçirimsiz olabilir.

Kumtaşı: Kum tanelerinin doğal bir çimento ara maddesiyle birleşiminden oluşur. Kumtaşı, konglomera gibi çimentonun cinsine göre farklı özellik gösterir. Örneğin kuvars kumlarının silis çimentosu ile birleşiminden oluşan kumtaşlarının sertliği ile kireç çimentolu kumtaşlarının sertliği birbirinden farklıdır.

Tüf : Volkanizma olayları sonucu çıkan kül, toz vs. in birleşiminden oluşan bu tür kayalar tabakalı bir yapıda olup ya deniz veya göl diplerinde yada yamaçlarda aralanmalı olarak bulunur.

2.1.1.2.b. Organik Tortul Kayalar:

Taş yapıcı organizmaların (foraminifer, alg, sünger, mercan vs.) birleşiminden oluşur. Tuzlu su içermesi olasılığı yüksek olan kayalar olarak kabul edilir.

2.1.1.2.c. Kimyasal Tortul Kayalar :

Doygun eriyiklerin çökmesi ve tuzlu suların buharlaşması sonucu oluşurlar. Mağaralardaki dikit ve sarkıtlar, deniz kıyılarındaki kireçli ve demirli oolitler, kapalı göl kenarlarındaki tuz birikintileri ve kaynaklar etrafındaki taşlaşmalar (travertenler) kimyasal tortulların başlıca örneklerini oluşturur. Bu tür kayaların sondajcılık açısından önem taşıyanları şunlardır.

Marn: Kil ve kalkerin %50 birleşiminden oluşan bu birim kil oranı fazla olursa killi marn, kalkerli fazla olursa kalkerli marn olarak tanımlanır. Beyaz, mavi, gri, kırmızı ve siyahımsı renkli olabilen bu birim genelde tabakalı bir yapıya sahiptir.

Kireçtaşı (Kalker): Bu tür kayaçlar, ya CaCO_3 ün kimyasal olarak çökmesinden yada bitki ve hayvan kabuklarının birleşiminden veya her ikisinin karışımından oluşabilir. Rengi beyazdan siyaha kadar değişim göstermesine karşın çoğunlukla gri renkli olur. Ülkemizde çok geniş bir alanı kapsayan bu birimin sertliği değişken olup genelde bileşiminde bulunan kalsitin sertliğine (kalsitin sertliği=3) özdeş olarak tanımlanır. Asitle reaksiyon sonucu köpüren bu birim, bileşimine giren çeşitli maddelere göre isim alırlar. Killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve vs. gibi. Kireçtaşları, genelde kırıklar, çatlaklar ve erime boşlukları içerdiğinden yeraltı suları açısından büyük önem taşır.

Dolomit: Kireçtaşına benzer yapıda olan bu birim kireçtaşına göre sertliği daha fazladır. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$ bileşiminden oluşan bu birim kireçtaşına göre daha kolay erir ve kırıldığında özel bir koku çıkarır.

Traverten: Yeryüzüne kaynak suyu olarak çıkan basınçlı ve mineral içerikli sularda bulunan CaCO_3 ün buharlaşma veya soğuma nedeniyle çökler. Bu çökme sonucu küçük tepeler, teraslar veya geniş platolar oluşturan porozlu ve süngerimsi yapıda olan ve içinde bitki ve hayvan kalıntıları da içerebilen travertenler oluşur.

Jips ve Anhidrit: Sularda erimiş halde bulunan madensel tuzların buharlaşması sonucu oluşan kayaçlardır. Sertlik derecesi 2 olan jips tırnakla kolay çizilir ve ayrıca beyaz renkli, parlak olup kristalli bir yapı gösterir. Anhidrit ise jipse göre daha mat renk gösterir. Bu tür kayaçlar içerdikleri yeraltı suyunun kimyasal özelliğini olumsuz yönde etkiledikleri için yeraltı suları açısından önem taşır.

2.1.1.3. Metamorfik Kayaçlar

Tortul veya mağmatik kayaçların çeşitli etkenlerle (sıcaklık, basınç, gerilme ve kimyasal olaylar) değişime uğramaları ve başkalaşmaları sonucu oluşan bu kayaçlar paralel tabakalanma sunar. Bu tür kayaçların en belirgin örnekleri aşağıda verilmiştir.

Sleyt: Çok az metamorfizma geçirmiş olan bu kayaçlar ince yapraklı paralel bir yapıya sahiptir. Bileşiminde Muskovit pulları bulunduran şeyllerden ve ince taneli volkanik tüflerden oluşmuştur.

Fillit: Sleyte benzer yapıda olup ondan biraz daha fazla değişime uğramış ince taneli ve kolaylıkla dilimlenebilen bir metamorfik kayaçtır. Bu tür kayaçlarında kökeni genellikle şeyller veya ince taneli tüflerdir.

Şist: Şiddetli metamorfizma sonucu düzlemsel ve çizgisel paralelliği iyi gelişmiş olan orta taneli bir metamorfik kayaçtır. Bileşimindeki başlıca mineraller; mikalar (biyotit, muskovit), klorit ve talktır. Bu mineraller kayacın yarısından çoğunu oluştururlar. Bu kayaçın en çok gözlenen örnekleri mikaşist, kloritist, talkşist ve yeşilistlerdir. Şistler kırıldığında kolaylıkla milimetrik olarak levhalara ayrılabilirler.

Gnays: İleri derecede metamorfizma geçirmiş olan bu kayaç orta ve iri taneli, iri kristalli ve çoğunlukla açık renklidir. Bu kayaç çoğunlukla kuvars ve feldispatlardan oluşur.

Amfibolit: Orta ve iri taneli olan bu kayaçlar bazik mağmatik tuf veya marnların değişiminden oluşmuştur. Ayrıca bileşiminde çok az veya hiç kuvars bulunmaz.

Mermer: Kalker veya dolomitin metamorfizma geçirmesi sonucu oluşan bu birim ufak ve iri taneli kalsit veya dolomit kristalleri içerir. Bu kayaç asitle köpürdüğü için diğer metamorfik kayaçlardan kolayca ayırt edilebilir.

Kuvarsit: Bileşiminde %80 den fazla kuvars taneleri bulunduran kristalli bir kayaçtır. Kuvars taneleri birbirinin içine girdiği için bu kayaç yüksek bir dayanıklılığa sahiptir.

Bazı kayaçlar metamorfizma sonucu orijinal yapı ve dokularını kaybetmezler. Bu tür kayaçlar mağmatik ve tortul kayaç isimlerine **meta** ön eki takılarak adlandırılır (metabazalt, metagrovak vd).

2.1.2.Kayaçların Kuyu Logu Ölçümlerini Etkileyen Temel Özellikleri

Kayaçların kuyu logu ölçümleri üzerinde etkili olan 5 temel özelliği vardır. Bunlar kayaçların porozitesi, permeabilitesi, saturasyonu, formasyon faktörü ve resistivite değerleridir. Bu özellikler aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

a) Porozite(Gözeneklilik ϕ): Kayaç içinde çeşitli olaylar nedeniyle oluşan boşluklar ve çatlakların miktarı kayacın içerebileceği sıvı miktarını ve kayacın öz direnç değerini doğrudan etkilediği için bu durum kuyu logu ölçülerinin değerlendirilmesinde büyük önem taşır. Bu nedenle bazı durumlarda porozitenin sayısal olarak hesaplanması gerekir. Genel olarak gözeneklilik kayaçtaki boşluk hacminin toplam hacme oranı olarak ifade edilir. Yüzde olarak olarak tanımlanan porozite

$$\% \phi = \frac{V_p}{V_T} \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanır.. Bu bağıntıda

V_p = Kayaçtaki boşluk hacmi

V_T = Kayacın toplam hacmi olarak tanımlanır.

Toplam hacim V_T , kayac içindeki toplam boşluk hacmi V_P ile kayacın boşluksuz kısmını oluşturan parçasının hacminin toplamına eşit olur ve bu durum

$$V_T = V_p + V_k \quad (2)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu durumda (1) ve (2) bağıntılarından gözeneklilik

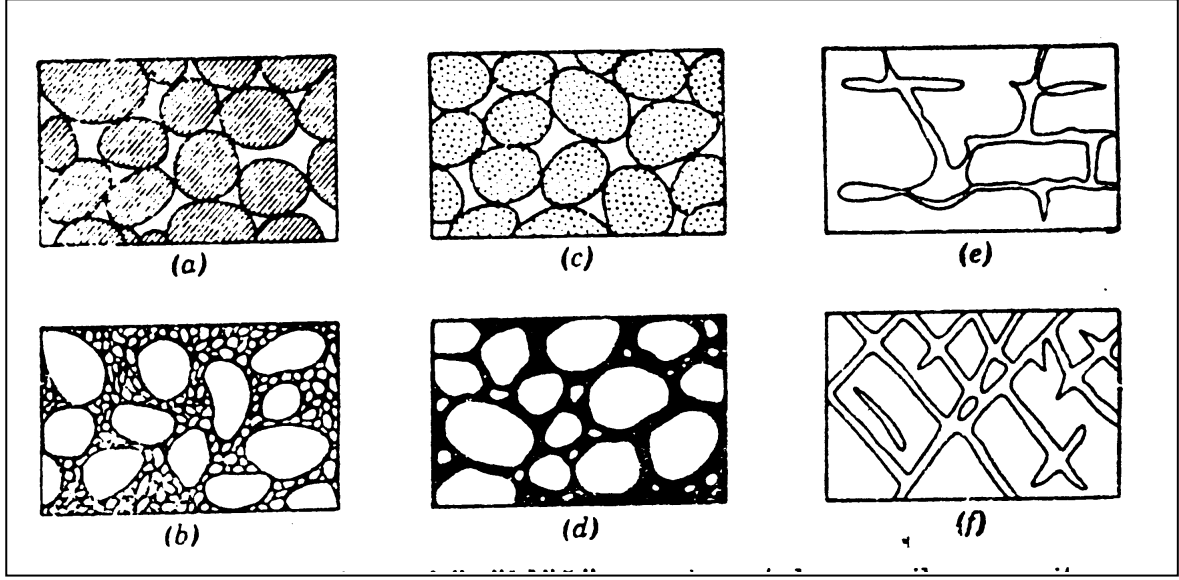
$$\% \phi = 1 - \frac{V_k}{V_T} \quad (3)$$

bağıntısı ile de ifade edilebilir. Boşluk oranı laboratuvar koşullarında kolayca hesaplanabilir. Bunun için kayac önce ısıtılarak tüm sıvısı buharlaştırılır ve ağırlığı ölçülür (W_k). Daha sonra %100 suya doygun hale dönüştürülerek ağırlığı bulunur (W_d).

Böylece bu veriler

$$\phi = \frac{W_d - W_k}{V_T} \quad (4)$$

bağntısında kullanılarak o kayacın porozitesi hesaplanır. Kayaçların poroziteleri tane büyüklüğüne, şekline , tanelerin sıralanmasına ve ara maddeyi oluşturan çimentolanma derecesine bağlı olarak değişim gösterirler (Şekil 2.1).



Şekil. 2.1. Tane büyüklüğü ve çimentolanma ile porozite arasındaki ilişki

Tanelerin üniform olup olmamasına bağlı olarak porozite değişir. İrili ufaklı tanelerin oluşturduğu ortamlarda ufak taneler iri tanelerin arasını doldurduğu için porozite azalır. Ayrıca tanelerin diziliş şeklide porozite miktarını etkiler. Dik dizilişlerde porozite artarken eğik dizilişlerde porozite azalır. Formasyonlar genelde “**primer**” ve “**sekonder**” olmak üzere iki tür gözenekliliğe sahiptir . .

Primer Porozite: Kayacın ilk oluşumu sırasında kayacın kazandığı düzenli porozite olarak tanımlanır.

Sekonder Porozite: Kayacın ilk oluşumundan sonra geçirdiği olaylar (kayacın sıkışması erimesi ve çatlama sonucu oluşabilen çatlaklar erime boşlukları vd. gibi) sonucu oluşan poroziteyi tanımlar. Bu olay daha çok metamorfizma geçirmiş kayaçlarda gözlenir.

Formasyonlar içerdikleri porozite oranına (% ϕ) göre genel olarak

% ϕ > %25	ise yumuşak formasyon
%25 > % ϕ > %15	ise orta sert formasyon
% ϕ < %15	ise sert formasyon

şekilde sınıflanabilir (Tablo 1.3)

b) Permeabilite (K): Formasyonların içerdikleri sıvı veya gazı dışarıya verebilme özelliği formasyonun permeabilitesi olarak tanımlanır. Gözeneklilik ile permeabilite arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Diğer bir deyişle her gözenekli formasyon permeabilite özelliği göstermeyebilir. Formasyon yüksek poroziteli olsa bile akışkanın akma yolları çok dar ve köşeli olabilir. Bu durumda bu formasyonlar az geçirgen sınıfa girer. Örneğin killi %45-55 oranında poroziteye sahip olmasına karşın geçirimsiz formasyon sınıfına girer. Bu karşın küçük çatlaklar içeren ortamlar düşük poroziteli olmasına karşın yüksek geçirimsizliğe sahip olabilir. Permeabilitenin ölçü birimi **darsi (d)** olarak tanımlanır ve sayısal olarak hesaplanmasında **Darcy** yasasına göre

$$K = \frac{\mu\theta L}{1.125A\Delta p} \quad (5)$$

bağıntısı kullanılır. Bu bağıntıda

μ =Viskozite

L= Cismin boyu

θ = Gözenekli cisimden 24 saatte geçen su miktarı

A= Cismin kesit yüzey alanı

Δp = Basınç farkı olarak tanımlanır.

Permeabilite katsayısı arazide ve labratuvarında çeşitli yollarla saptanır. Darsi birimi (d) yüksek bir değer olduğu için tanımlamalarda **milidarsi (md)** birimi kullanılır. Genel olarak formasyonların geçirgenliği 0-2000 md arasında değişir ve Tablo 2.4 deki gibi sınıflanır.

Tablo 2.3. Bazı kayaçların porozite değerleri (Erguvanlı 1987)

Kayaçın Cinsi	Porozite (% olarak)
Toprak	50 –60
Kil	45 – 55
Silt	40 – 50
Kaba ve ince kum karışığı	30 – 40
Çakıl	30 – 40
Kum ve çakıl	20 – 35
Kumtaşı	10 – 20
Killi Şist (şeyl)	1 –10
Kalker	1 – 10

Tablo 2.4. Permeabilite Sınıflaması

Formasyon tanımlaması	Geçirgenlik (milidarsi)
Geçirimsizliği çok az formasyon	1 – 5
Geçirimsizliği az formasyon	5 - 50
Geçirimsizliği orta olan formasyon	50 – 200
Geçirimsizliği yüksek olan formasyon	200- 2000

c) Saturasyon (Doğunluk) (S): Gözenekli kayalarda sıvıların girebileceği boşlukların formasyon sıvısı tarafından işgal edilen kısmının tüm boşluk hacmine oranı saturasyon olarak tanımlanır. Formasyon sıvısı su ise saturasyon S_w ile hidrokarbon ise S_h olarak tanımlanır ve aralarında

$$S_h = 1 - S_w \quad (6)$$

bağıntısı vardır. Saturasyon birimsiz olarak tanımlanır. S_w nin hesabında kayacın toplam gözenek hacmi (V_p) ile gözenek içerisindeki suyun hacminden (V_w) yararlanır ve

$$S_w = \frac{V_w}{V_p} \quad (7)$$

bağıntısından hesaplanır. Su ve petrolün birlikte bulunduğu durumlarda S_o bulunmasında (6) bağıntısından yararlanır.

d) Formasyon Faktörü (F) : Laboratuvar koşullarında kayaç boşluklarının %100 su ile doymuş olduğunda ölçülen öz direnç ile kayaç gözeneklerini dolduran suyun öz direnç değeri arasındaki oran formasyon faktörü olarak tanımlanır ve bu değer

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad (4)$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntıda $R_o = \%100$ su ile doymuş kayacın öz direnci, $R_w =$ Kayacı dolduran suyun öz direnci olarak tanımlanır.

e) Özdirenç (rezistivite, ρ): Ohm kanununa göre bir ortamdan elektrik akımı geçirildiğinde ortam bu akıma karşı R direnci ile karşı koyar. Bu durum

$$V = I * R$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (5)$$

bağıntıları ile ifade edilir.

Bu bağıntılarda $V =$ Potansiyel farkı, $I =$ Akım şiddeti, $R =$ Direnç, $\rho =$ Özdirenç, $L =$ Cismin boyu, $A =$ Cismin kesiti olarak tanımlanır. (5) bağıntısına göre öz direnç ortamın birim hacminin elektrik akımına karşı koyması olarak tanımlanır.

Kuyu logları açısından öz direnç kayaçların cinsine, boşluk miktarına ve aralarındaki ilişkiye, permeabilitesine ve boşlukları dolduran sıvının cinsi ve miktarına göre değişim gösterir. Kayaçlar ortalama öz direnç değerlerine ve içerdikleri porozite miktarlarına göre genel olarak aşağıdaki gibi sınıflanabilir.

-) **Yumuşak formasyonlar:** Bu tür formasyonlar gözenekliliği %25 den fazla olan (taneler arası gözenek içerir) zayıf pekleşmiş kumtaşı, kiltası, kil ve çamurtaşından oluşurlar. Gözeneklerdeki suyun miktarına ve cinsine bağlı olarak öz dirençleri 0.3 ohmm ile birkaç ohmmetre arasında değişir.

-) **Orta sert formasyonlar:** Çoğunlukla orta pekleşmiş ve gözenekliliği % 15 - 25 arasında değişen (tane arası ve kristal gözenek) kireçtaşı ve/veya dolomitten oluşan bu formasyonların öz dirençleri yine gözeneklerdeki suyun miktarına ve cinsine bağlı olarak 1 ohmm ile 50-100 ohmmetre arasında değişir.

-) **Sert formasyonlar:** Gözenekliliği %15 den az olan bu tür formasyonları ise 2-3 ohmm ile 100-1000 ohmm arası öz dirençli iyi pekleşmiş kireçtaşı ve/veya dolomit oluşturur.

f) Radyoaktivite: Kayaçlar farklı oranlarda içerdikleri radyoaktif elementler nedeniyle radyoaktif özellikleri açısından farklılık gösterirler. 83 nolu atomdan büyük olan kimyasal elementler radyoaktif elementler sınıfını oluşturur. Doğada, doğal olarak bulunan

- 1). Uranyum (U), Radyum (Ra),
- 2) Aktinyum (Ac),
- 3) Toryum (Th) o

lmak üzere üç seri vardır. Jeolojik formasyonlar açısından radyoaktif elementler sınıfına giren Potasyum 40 (K^{40}) radyoaktif elementi doğada özellikle sedimanter ve plütonik kayaçlarda bol miktarda bulunmaktadır.

Kayaçların radyoaktif özelliklerinin ölçülmesinde K^{40} ölçümleri kullanılır. Radyoaktif izotopların parçalanması sonucu doğal α, β ve γ (alfa, beta ve gamma) ışınları yayılmaya başlar. Bunlardan γ (doğal gamma) ışınlarının yayılımı diğerlerine göre daha uzun mesafelere kadar devam ettiği için kuyu logu ölçümlerinde γ ışınlarının değişimleri ölçülür.

Kayaçlar doğal gamma ray ışınımı yayma özelliklerine göre artan sırada aşağıdaki gibi sınıflanır.

1. Anhidrit
2. Kömür
3. Tuz
4. Dolomit
5. Kireçtaşı
6. Kumtaşı
7. Kumlu kireçtaşı
8. Killi kireçtaşı
9. Kumlu kiltası
10. Yeşilimsi gri kumtaşı
11. Kalkerli kil
12. Kil
13. Zayıf potas yatakları
14. Zengin potas yatakları
15. Organik deniz kili

Standart yeraltısuyu kuyu logu ölçümlerinde doğal gamma ışınım değerlerindeki değişimler yorumlanırken bu sıralama temel alınır.

2.1.3. Kayaçların Su Taşıma Özellikleri

Kayaçlar türlerine ve öz direnç değerlerine göre farklı su taşıma özelliği gösterirler. Kayaçların su taşıma özelliği **akifer** olarak tanımlanır. Her kayacın akifer özelliği farklıdır. Bu olay aşağıda özetlenmiştir.

2.1.3.1. Akifer

Kısa tanım olarak su taşıyan kayaçlara akifer denir. Akifer oluşturan kayaçlar içinde birbirleri ile bağlantılı olan boşluk, çatlak ve kırıklar içerir ve böylece suyun hem depolanmasına hem de iletilmesine olanak sağlar.

Sonuç olarak bir kayacın akifer olması yanında su açısından da verimli olabilmesi için aşağıda tanımlanan dört temel özelliğe de sahip olması gerekir.

- 1). Kayacın çatlaklı, kırıklı veya gözenekli olması (suyun depolanabilmesi için).
- 2). Bunların suyla dolu olması
- 3) Gözeneklerin birbirleri ile iletimli olması. Bu özellik olmazsa kayaç su içerse bile akifer özelliği taşımaz.
- 4) Akifer özelliği taşıyan kayacın altında ve üstünde su geçirmeyen bir tabakanın olması gerekir. Yoksa su kayaç içinde depo edilemeden başka bölgelere kaçmış olur.

2.1.3.2. Akifer Çeşitleri

Doğada karşılaşılan akifer çeşitleri aşağıda sınıflanmıştır.

a) Serbest akifer: Her taraftan su alabilen bir ortamda oluşan bu akifer türünün üzerinde geçirimsiz bir tabaka yoktur ve hava ile temas halindedir. Altlarında ise geçirimsiz bir tabaka bulunur (şekil 2.2)

b) Basıncılı akifer: Atmosfer daha fazla bir basınç altında bulunan yeraltı suları bu tür akiferleri oluşturur. Serbest yüzeyleri olmayan bu tür akiferler iki veya daha fazla geçirimsiz tabaka arasında oluşur. Bu çeşit akiferlerde su yüzeye kendiliğinden çıkarsa pozitif artezyenler veya boru içinde yükselir fakat akmazsa negatif artezyenleri oluşturur (şekil 2.2 ve 2.3)

2.1.3.3. Türlerine Göre Kayaçların Akifer Özellikleri

-) **Tortul kayaçlar;** yeraltı suyu taşıma bakımından en olumlu akiferi oluştururlar. Bunlar kum, çakıl, kireçtaşı, kumtaşı ve konglomeralardır. Marn ve killer suyu geçirmediğinden akifer özelliği taşımazlar.

-) **Mağmatik kayaçlar;** ancak yarıklı ve çatlaklı ise akifer özelliği gösterir. Ancak, bazaltlar büyük bir geçirgenliğe sahip olduğu için bol miktarda yeraltı suyu taşıyabilirler. Çuruf ve tüfler ise yüksek porozitesine rağmen düşük dereceli geçirgenliğe sahip olabildiğinden tam akifer özelliği taşımazlar.

-) **Metamorfik kayaçlar;** genel olarak suyu geçirmezler ve ancak çatlak ve kırıklarında çok az miktarda su taşırlar.

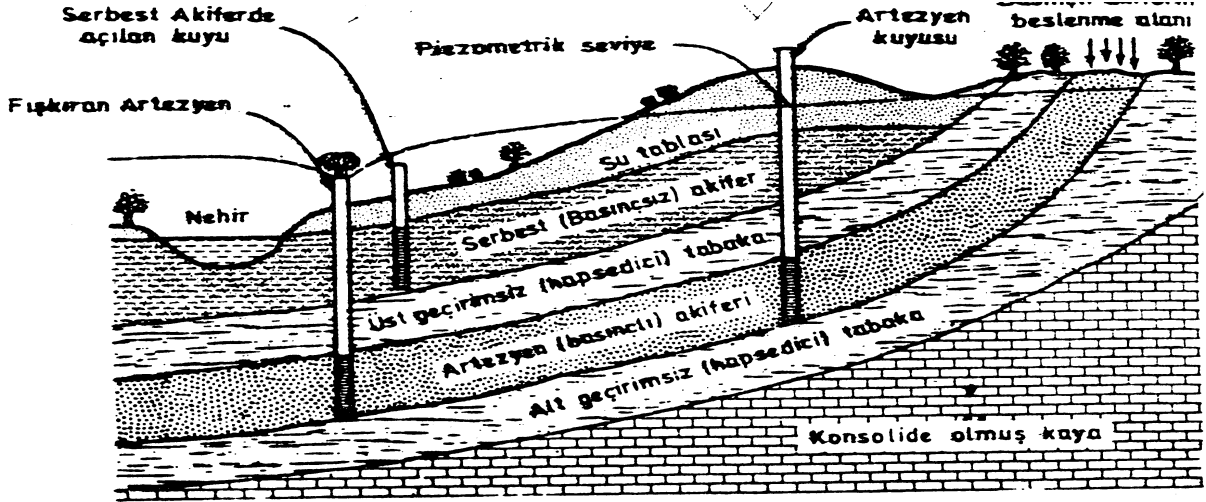
2.1.3.4. Akifer Özellikleri Açısından Formasyonların Sınıflanması

Yeraltı suyu araştırmalarında formasyonlardan kaynaklanan sorunların anlaşılabilmesi ve. log ölçümlerinin hangi sorulara cevap oluşturduğunu belirlenebilmesi için önce yeraltı suları açısından formasyonların akifer özelliklerine göre sınıflanarak incelenmesi gerekir.

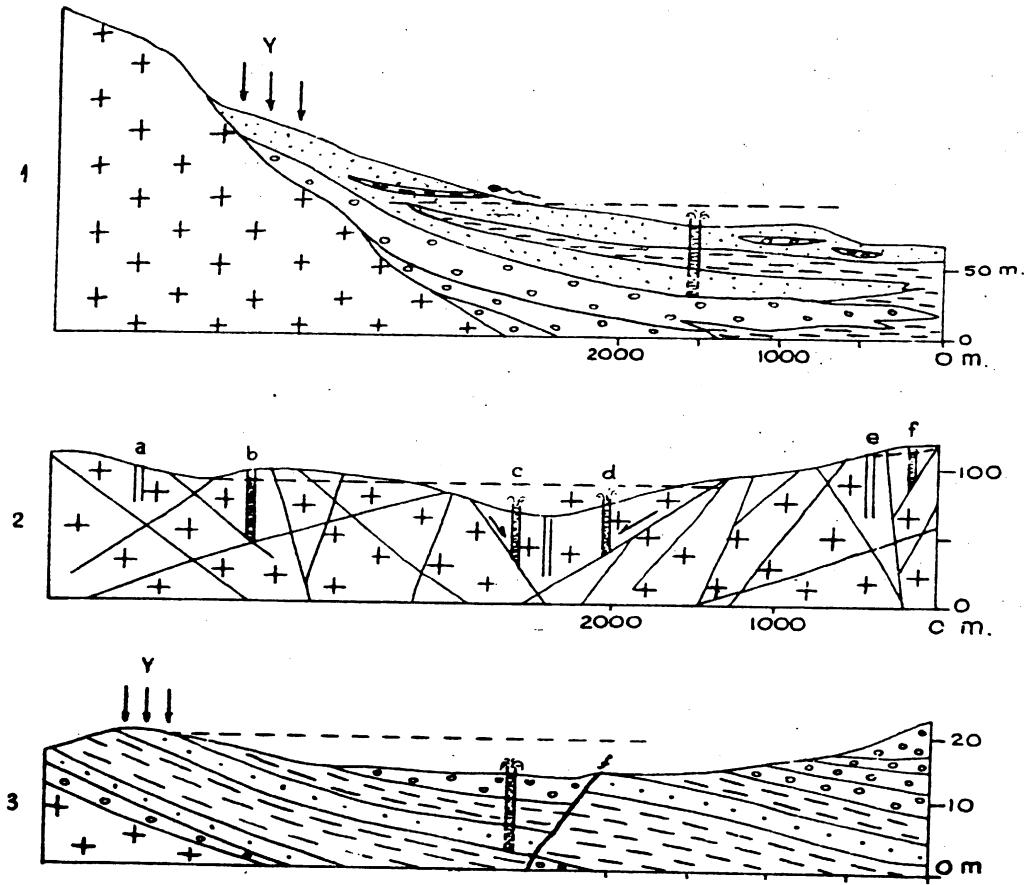
-) **Taneli Akifer:** Taneli gözeneklilik içeren karbonatlı kayaçlar ile çakıl, kum ve kumtaşı birimleri bu sınıflama kapsamına girer.

-) **Kil içerikli taneli akifer:** Bu tür akiferler kil ara katkılı taneli akifer özelliği gösteren birimlerin birleşiminden oluşur.

-) **Kırıntılı akifer :**Çatlaklı, boşluklu kayaçlar ile taneli akifer içermeyen formasyonlar bu tür akifer sınıfını oluşturur.



Şekil 2.2 . Serbest ve basınçlı akiferler (Erguvanlı, 1987)



Şekil 2.3 . Basınçlı akifer türleri (

1. Birikinti konisi artezyeni
2. Çatlaklı kayaç artezyeni
3. Faylı tabaka artezyeni

-)**Karmaşık akifer:** Kırıntılı ve taneli akifer özelliği gösteren formasyonlar ile boşluk içeren kayaçlar bu sınıflamayı oluşturur.

-) **Masif Kayaçlar:**Boşluk miktarı çok az veya hiç olmayan kayaçlar akifer özelliği göstermezler.

-) **Kil:** (Sulu alüminyum silikat) Mağmatik kayaçların, içersindeki feldispatların ayrışmasından oluşan ince taneler çökelerek kil tabakalarını oluşturur. Bu tabakalar daha sonra sıkışarak kil taşlarını oluşturur. Kilin genel özellikleri ise; asitten etkilenmemesi, tırnakla kolay çizilmesi, dili çekmesi, gözenekliliğinin fazla olmasına karşın permeabil olmaması,.elle dokunulduğunda sabun gibi kaygan bir yapı göstermesi ve yaşken özel bir kokuya sahip olması şeklinde özetlenebilir.

Yeraltı suyu kuyu logu ölçüm yöntemlerinde genellikle yukarıda tanımlanan akifer sınıflama göz önüne alınır. Doğal gamma ışını, doğal potansiyel normal log ölçümleri bu sınıflama temel alınarak yorumlanrr.

2.2. Hidrojeoloji

Hidrojeoloji yeraltı suyunun nerelerde, ne miktarda, hangi derinlikte ve hangi kalitede olduğunu araştıran bir bilim dalıdır. Bu araştırmalar sırasında aşağıdaki izleneye uygulanır.

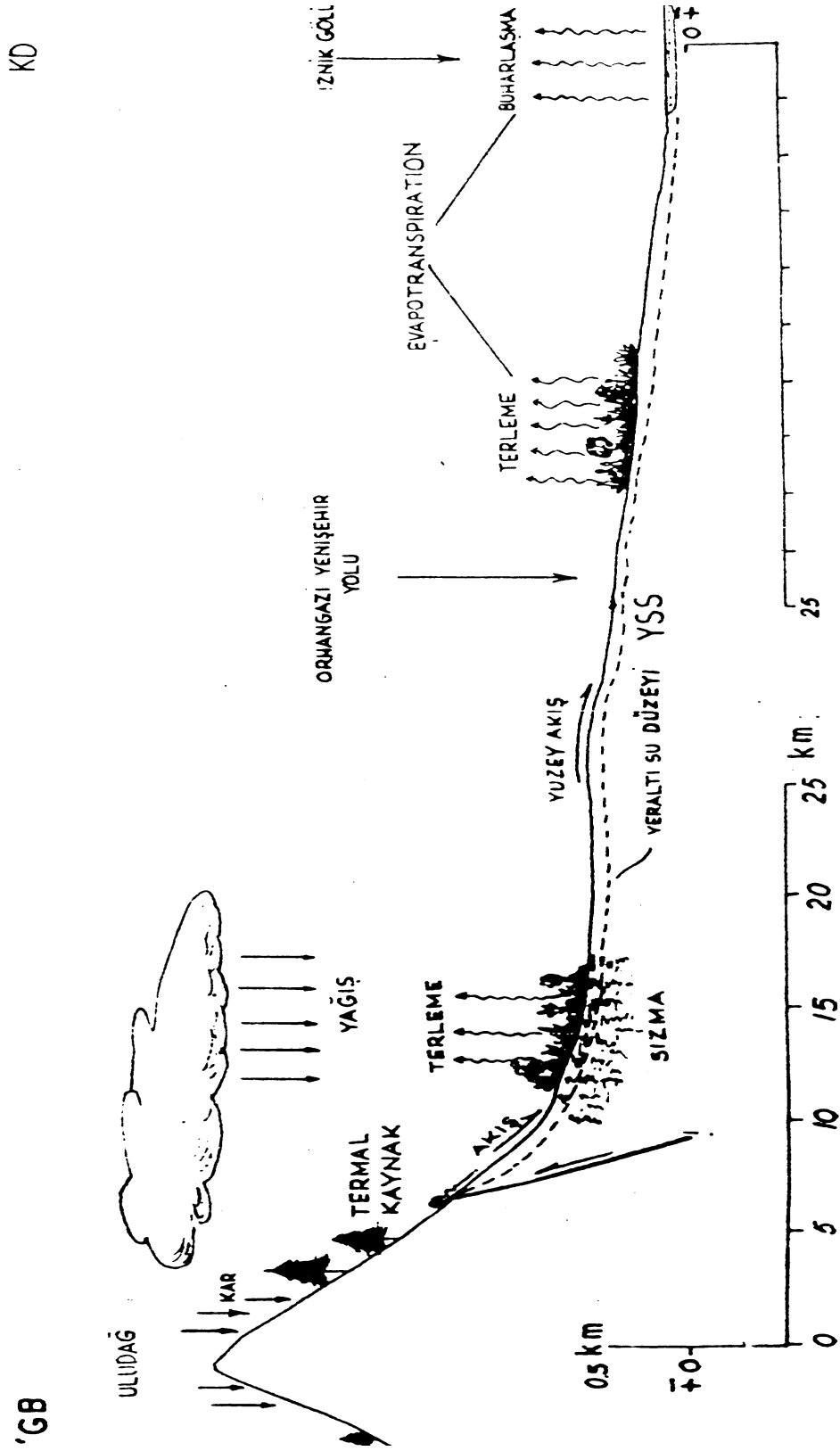
-) Yeraltı sularının nerelerde olduğunun araştırılmasında önce jeolojik etütlerin ve eğer veri varsa foto jeolojik yorumların da yapılması.
-) Yeraltı suyunun en bol olabileceği yerlerin ve yapı derinliklerinin sondaj öncesinde araştırılabilmesi için jeofizik etütlerin uygulanması
-) Yeraltı suyunun yeryüzüne çıkarılması için sondaj çalışmaları ve kuyu içi jeofizik çalışmaların yapılması.
-) Yeraltı su miktarının saptanabilmesi için pompa deneyleri ile hidrolojik araştırmaların yapılması
-) Yeraltı su kalitesi ile ilgili olarak hidrojeokimyasal çalışmaların yapılması.

2.2.1. Hidrolojik Dolaşım

Hidrolojik çevrim (dönüşüm-dolaşım) suyun 3 farklı ortamdaki hareketini tanımlar. Bu ortamlar atmosfer, yeryüzü ve yeraltı olarak tanımlanır. Bu dolaşım sistemine bağlı olarak birbirine bağımlı üç su sistemi oluşur (Şekil 2.4).

- a) Atmosferik sular (bulutlar ve yağış)
- b) Yüzey suları (akarsu, göl ve denizler)
- c) Yeraltı suları.

Yeryüzüne düşen yağmur, kar, dolu, kırağı, çığ vs. gibi etkenlerle oluşan sular ya yer yüzeyinden akarken buharlaşır ya da bitkiler tarafından önce alınır ve daha sonrada terleme yoluyla dışarı çıkar ve buharlaşır. Bu olaya suyun “kısa dolaşım yaparak tekrar atmosfere önmesi olayı“ denir. Aynı şekilde yeryüzüne düşen suların bir kısmı ise yüzeyde akarsuları ve yeraltına sızma yoluyla yeraltında tabakalar arasında veya içinde bulunan boşluk ve çatlakları doldurarak yeraltı sularını oluşturur. Yeraltı suları ya sondaj yoluyla veya kaynak suyu olarak kendiliğinden tekrar yeryüzüne çıkar. Bu şekilde su daha uzun bir dolaşım yaptığı için bu olaya “hidrolojik dolaşım” denir.



Şekil 2.4. Hidrolojik Dolaşım

Yeraltı suyu, kayaçların içindeki boşluklara yerleşerek bütün boşlukları dolduğunda topografyanın eğimine bağlı olarak yüksek seviyelerden alçak seviyelere doğru hareket eder. Bu olaya “**yeraltı suyunun hareketi**” denir. Normalde yeraltı suları akiferler içinde devamlı hareket halinde olup hidrolik eğime bağlı olarak belirli bir yöne doğru akar. Bu olay da “**yeraltı suyu akımı**” olarak tanımlanır. Yeraltı sularının hareket etmesinde en önemli etken hidrolik eğimdir. Hidrolik eğim; suyun giriş ve çıkış noktaları arasındaki yükseklik farkı olarak tanımlanır. Doğal olarak, hidrolik eğim arttıkça yeraltı suyunun akma hızı da artar.

2.3 Sondaj Açma Teknikleri Ve Sondaj Çamuru

Sondajlar genel olarak yeraltı suyu, petrol ve maden yataklarının araştırılması ile temel ve zemin etütlerin de kullanılır. Sondajlar araştırma ve işletme amaçlı olmak üzere iki şekilde yapılır.

2.3.1. Sondaj Yapılmasının Amaçları

Sondajlar yapılma amaçlarına göre aşağıdaki şekilde sınıflanabilir

2.3.1.1..Araştırma amaçlı yapılan sondajlar

- Yeraltı suyu araştırma sondajları
- Petrol arama sondajları
- Maden arama sondajları
- Temel ve zemin etüt sondajları

2.3.1.2. İşletme amacı ile yapılan sondajlar

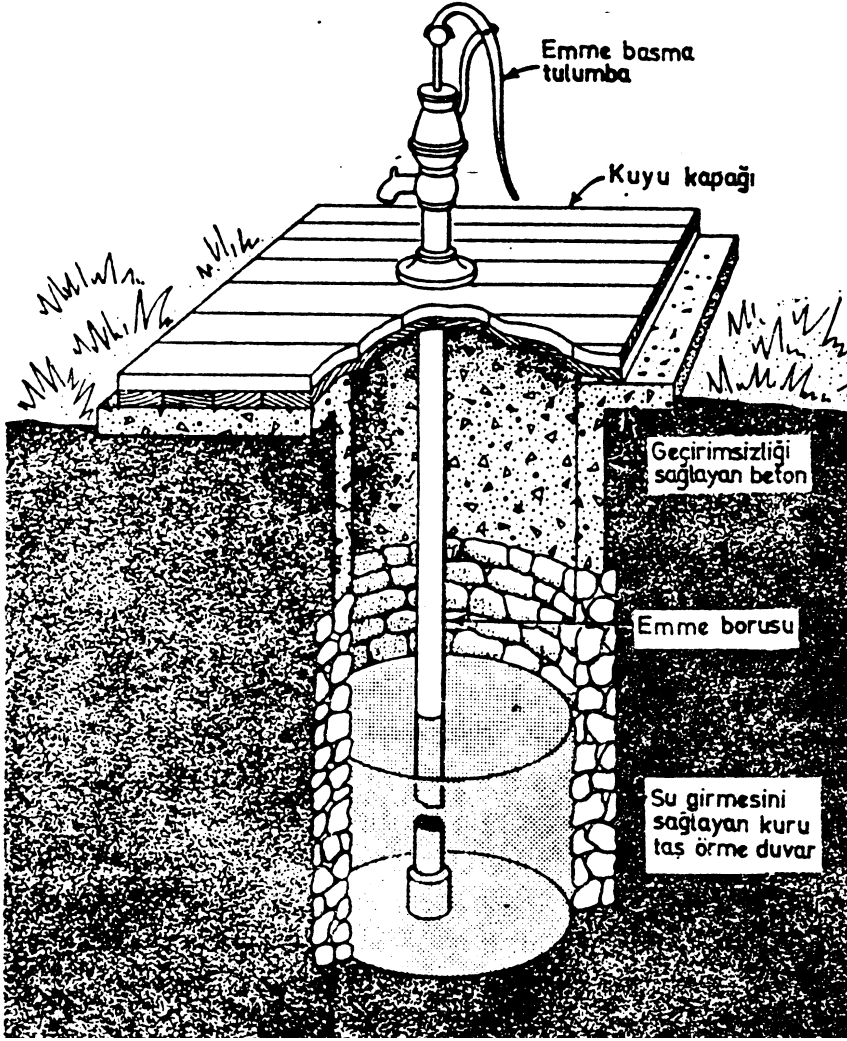
- İçme kullanma ve sulama suyu sondajları
- Petrol işletme sondajları
- Gaz ve buhar işletme sondajları
- Maden işletme sondajları

2.3.2. Kuyu ve Sondaj Açma Teknikleri

Kuyu ve sondaj açılmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler genel olarak; keson kuyu açılması, darbeli makinelerle, rotary makinelerle ve hem darbeli hem de rotary olan makinelerle yapılan sondajlar (kombine makineler) şeklinde sınıflanır. Bu sondajların açılma şekilleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır.

a) Keson Kuyu Açılması

En eski kuyu açma metodudur. İnsan gücü ve el çırığı kullanılarak açılır ve çapları 50-60 cm den 2-3 m ye kadar değişebilir. Bu yöntem tehlikeli olmakla birlikte kırsal kesimlerde sıkça kullanılmakta ve. her türlü birim içinde (alüvyon, kireçtaşı, andezit, tuf, bazalt ve konglomera) açılabilir. Keson kuyularda su verimini arttırmak için bazen ışınsal yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem çoğunlukla alüvyon ortamlarda kullanılmaktadır. Uygulamada önce geniş çaplı bir kuyu açılır ve daha sonra kuyu tabanına daire çevresi boyunca ışınsal olarak üzeri delikli borular yerleştirilir. Böylece su gelebilecek alan genişletilmiş olur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. .Adi kuyunun şematik görünümü (Erguvanlı, 1987)

b) Darbeli Makine Kullanılarak Kuyu Açılması:

Darbeleri makinelerle yapılan kuyularda genel olarak vinç, tambur, halat ve baltadan oluşan ekipmanlar kullanılır. Bu yöntemle kuyu açılırken halat tambur yardımı ile aşağı ve yukarı doğru hareket ettirilerek baltanın zemini öğütmesi ve vurduğu cıdarları sıkıştırarak bir delik meydana getirmesi sağlanır.

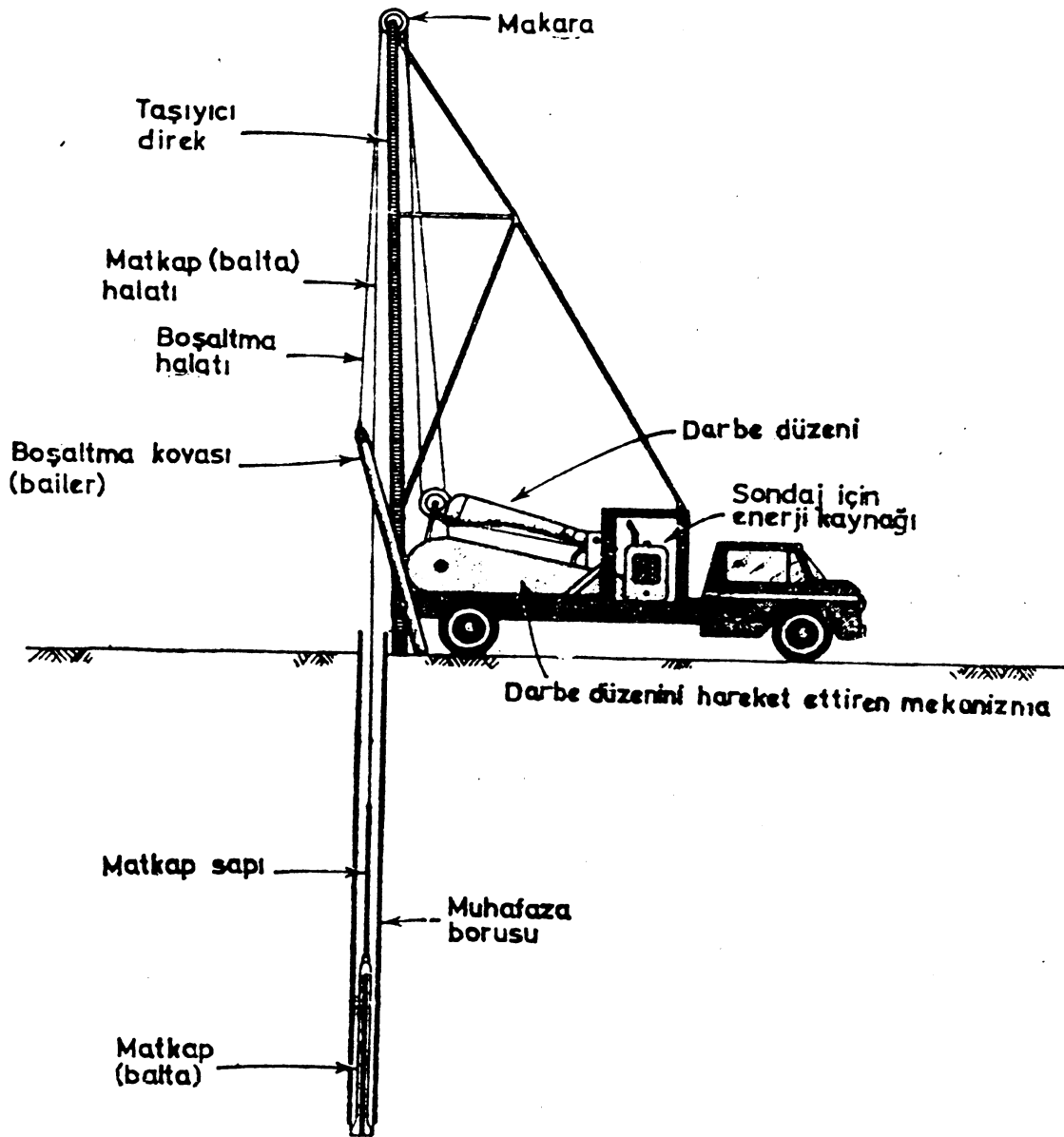
Kırılan parçalar da kum kovası ile yukarı alınır daha sonrada muhafaza borusu aşağı itilir. Bu işlem kuyunun açılması bitinceye kadar sürdürülür. Kuyu açılması bittikten sonra delinen kısmın içine normal teçhiz borusu inilmektedir. Sonuçta dışarıdaki muhafaza boruları yukarı çekilerek işlem tamamlanır. Bu yöntem sert ve kendini tutabilen formasyonlarda faydalıdır. Ayrıca darbeleri makinelerle yapılan sondajlarda; hem ilerlemede geçilen formasyonlar cm. mertebesinde ve çok iyi izlenir hem de suya girdiği metre ve su seviyesi hemen ölçülür.

Girilen suyun debisini de anında ölçmek mümkündür ve istenilen su alınmışsa kuyu daha fazla ilerlemeden durdurulur (Şekil 2.6).

c) Rotary Yöntem Kullanılarak Kuyu Açılması:

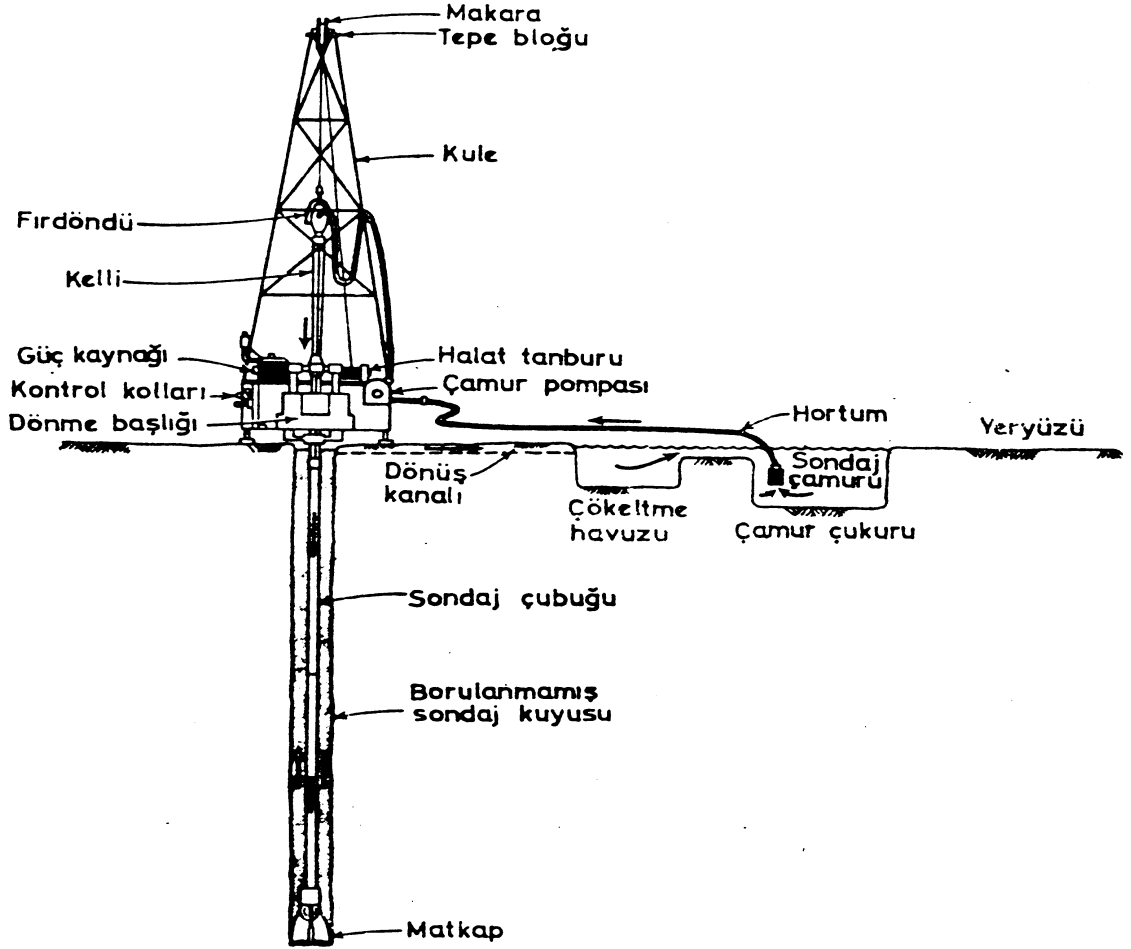
Rotary sistemle yapılan sondajlarda su, çamur veya hava kullanılarak işlemler yapılır. Bu işlemler kısaca aşağıda tanımlanmıştır (Şekil 2.7).

-) **Su veya çamur kullanmadan yapılan burgulu sondajlar:** Bunlar bir tirbuşon gibi birbirine eklenerek kuyuya indirilen burgulardan oluşur. Genel olarak silt, yumuşak kil, gevşek kum ve balçık gibi formasyonlarda kullanılan bu yöntem aynı zamanda köprü ve büyük binaların zemin etütlerinde veya fore kazık deliklerinin açılmasında da kullanılır. Ayrıca örnek alınmasının önemli olmadığı altın veya kil sondajlarında bu yöntem kullanılabilir.



Şekil 2.6 . Darbeli sondaj makinesi (Erguvanlı, 1987)

-) **Çamur Ve Su Kullanılarak Yapılan Rotary Sondajlar:** Bu tür sondajlar hızlı bir çalışma sağlar. Ayrıca çok derinlere inilebilir ve her türlü formasyonda rahat bir şekilde çalışılabilir. Ancak gelen numuneler parçalanmış ve fiziksel değişikliğe uğramış olduğu için iyi örnek alınmaz. Alınan örnekler gerçekte buldukları metreleri göstermeyebilirler. Hızlı ilerleme ve düşük hızlı çamurda örnek geç gelir ve ait olduğu derinliği göstermeyebilir. Su geçilen seviyelerin saptanması zor olur ve iyi örnek alınmazsa akifer ortam gözden kaçırılabilir. Sert formasyonların ince çatlakları çamur ile tıkanır ve temizlenmesi zor olur. Kuyu içini sıvamış olan çamurun temizlenmesi zor olabilir.



Şekil 2.7 . Rotari sistemli sondaj makinesi

-) **Hava Devir Daimli Makinalarla Yapılan Sondajlar:** Bu çeşit sondajlarda çamur yerine deterjan kullanılır. Çok az su kullanılarak elde edilen köpük sayesinde kuyu içindeki kırıntılar kuyu başına taşınır. Sert, çatlaklı ve boşluklu ortamlarda ideal bir çalışma sağlar. Makina ve takımlar aynı olup diğer sondaj makinalardan farklı olarak sadece uçta hava ile çalışan bir tabanca vardır. Bu tabanca aşağı ve yukarı hareket ederek kuyuyu hızla deler. Çoğu zaman günde 50-100 m. arası delme işlemi yapılır. Su seviyesi düşük olan ortamlarda da kullanılabilir.

2.4. Sondaj Çamuru ve Görevleri

Sondaj çamuru, sondajın yapılması sırasında kullanılan gerekli bir karışımdır. Sondaj çamurunun özellikleri sondajı yapılan formasyonların (tabakaların) cinsine ve karakterine uygun olmalıdır. Ayrıca sondaj çamurunun özellikleri (iletkenliği, kıvamı ve vd. gibi) kuyu logu ölçülerini de etkilemektedir.

Rotary makinelerle sondaj yapılırken kullanılan sondaj çamurunun çeşitli görevleri vardır. Bunlar aşağıda tanımlanmıştır.

a) Sondaj sırasında matkabın kopardığı parçacıkların kuyuda birikmesini önlemek: Sondaj devam ederken matkabın kopardığı küçük parçacıklar çamur yardımıyla yeryüzüne getirilir. Gelen çamur elekten geçirilerek parçacıklar elenir. Temizlenen çamur oluklardan geçerek çamur tankına girer. Çamur devamlı olarak kullanılırken diğer açıdan kuyunun temizlenmesini sağlar.

b) Matkap ve sondaj dizisinin soğutulmasını ve yağlanmasını sağlamak. Sondaj esnasında matkabın dönmesinden, kuyunun iç çevresine sürtünmesinden dolayı sıcaklık oluşur. Ayrıca matkabın bazı kısımlarında sürtünmeden dolayı aşınma meydana gelir. Sondaj çamurunun kullanılması ile tüm bu olumsuz etkiler azaltılmış olur.

c) Kuyu cidarında çok ince bir sıva oluşturarak kuyu içindeki çökmeleri engellemek.

d) Çamur devir daimi durduğunda kuyu içindeki malzemeleri askıda tutarak tabana çökmesini önlemek. Böylece, herhangi bir nedenle çamur devir daimi durduğunda matkabın kuyu içinde sıkışmaması sağlanır.

e) Kuyudan gelmesi olası olan basınçlı gaz ve sıvıları kontrol altında tutmak. Çamurun tabakalar üzerine uyguladığı hidrostatik basınç sayesinde bu olay gerçekleşir.

f) Sondaj sırasında geçilen formasyonlara ait bilgilerin elde edilmesi. Sondaj çamurunun kuyu içindeki devir daimi sayesinde yeryüzüne malzeme taşınır. Böylece geçilen formasyonlar hakkında bilgi sağlanır.

2.4.2. Sondaj Çamurunun Hazırlanması

Çamur yapımında temel madde olarak **bentonit** kullanılır. Toz halinde ve beyazımsı renkte olan bentonit kaliteli kil olarak ta tanımlanır. Çamurun içine amaca göre başka maddelerde katılabilir. Bunlar; **barit** (baryum sülfat), **NaOH** (kostik) ve **nignosülfatlar** olup özellikleri aşağıda tanımlanmıştır.

.) **Barit:** Çamuru ağırlaştırmak için kullanılır.

.) **Kostik:** Çamurun ph (asitliği) nı düzenlemekte kullanılır.

.) **Lignosülfatlar:** Sondaj çamurunun kıvamını inceltici (viskozite düşürücü) olarak kullanılır.

Uygulamada çamur bileşimi ekonomi, sondaj tekniği ve kuyu logu ölçüm tekniğine bağlı olarak çeşitli şekillerde olabilir. Örnek olarak; tatlı su kullanılarak hazırlanmış sondaj çamuru, tuzlu su kullanılarak hazırlanmış sondaj çamuru, kalsiyum ile hazırlanmış sondaj çamuru, sodyum silikat çamuru verilebilir.

2.5. Kuyunun Delinmesi Sırasında Kuyu İçi Ve Çevresinde Oluşan Olaylar

Kuyular çoğunlukla petrol veya su arama amaçlı yapılmaktadır. Sondaj çamuru kullanılarak kuyu delindiği zaman kuyu içinde ve çevresinde ortamın doğasını bozan bazı olaylar oluşmaktadır. Bu olaylar kuyu logu verilerinin değerlendirilmesinde büyük öneme sahiptir. Özellikle rotary sistemle kuyu delinirken kuyu içine hava basıncıyla su ve çamur verilir. Basınç nedeniyle sondaj çamurunun basıncı formasyon sıvısına göre daha yüksek olduğu için çamurlu su formasyon içine girerek belirli bir uzaklığa kadar formasyon sıvısının doğal özelliğini bozar. Bu olay sonucunda; poroziteli bir formasyon içinde yaklaşık 3"-6" lik kısım sondaj çamuru tarafından tamamen istila edilir. Bu kısma "yıkılmış zon" denir. Daha sonra belirli bir uzaklığa kadar sondaj çamuru formasyon sıvısı ile karışmış durumda etkisi sürdürür. Bu zonada "karışım zonu" adı verilir. Sondaj çamuru tarafından etkilenmemiş bölge de "istila olmamış" zon olarak tanımlanır. Ayrıca bu delme sırasında kuyu çevresinde yaklaşık 1" (inç) kalınlığında çamur sıvaması oluşur. Bu sıvama sonucunda kuyu çevresinde oluşan çamur keki olarak adlandırılır. Kuyunun çapı "d" alındığında istila zonunun çapı "D_i" ile kuyu çapı d arasında

$$2d < D_i < 10d$$

bağıntısı vardır (Şekil 2.8) Sondaj çamuru ile delinmiş bir kuyunun içinde ve çevresinde oluşan bu olayların Rezistivite özellikleri farklı olup bu değerler

R_{mc} = Çamur kekinin rezistivitesi

R_{mf} = Yıkılmış zondaki formasyon sıvısının rezistivitesi

R_{X0} = Yıkılmış zonun rezistivitesi

R_i = Karışım zonunun rezistivitesi

R_z = Karışım zonundaki suyun rezistivitesi

R_0 = İstila olmamış zonun rezistivitesi

R_w = İstila olmamış zondaki sıvının rezistivitesi

R_t =

S_{X0} = Yıkılmış zonun doygunluğu

S_{Xi} = Karışım zonunun doygunluğu

S_w = İstila olmamış zonun doygunluğu

R_{0s} = Artık petrol doygunluğu.

ifadeleri ile tanımlanır. Sondaj sırasında geçilen formasyonun su veya petrol içermesine bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar geçerlidir. Eğer formasyon su içeriyorsa

$$R_{X0} = F \cdot R_{mf}$$

$$R_i = F \cdot R_z$$

$$R_0 = F \cdot R_w$$

$$R_{X0} > R_i > R_0$$

$$R_{mf} > R_z > R_w$$

bağıntıları geçerlidir.

Eğer formasyon petrol içeriyorsa

$$R_{X0} = \frac{F \cdot R_{mf}}{S^2_{X0}}$$

$$S_{X0} = 1 - R_{0S}$$

$$R_{X0} = \frac{F \cdot R_{mf}}{(1 - R_{0S})^2}$$

$$R_i = \frac{F \cdot R_z}{S^2_{XI}}$$

$$R_t = \frac{F \cdot R_w}{S^2_{W}}$$

$$R_{X0} < R_i < R_t$$

$$R_{mf} < R_z < R_w$$

bağıntıları kullanılır.

2.6. Kuyu Logu Ölçü Alma Ekipmanları:

Kuyu logu ölçüm sistemi genel olarak 6 ekipmandan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla aşağıda tanımlanmıştır (Şekil.2.9). Tüm kuyu logu yöntemlerinde temel olarak aynı ekipman kullanılır. Yöntemlere göre yalnızca alıcı ve enerji kaynağı değişir. Örneğin doğal potansiyel logunda sadece alıcı vardır. Enerji kaynağı yoktur.

1. Probe: Probe kuyu içinde hareketli olan parça olup kuyu derinliğinin fonksiyonu olarak kuyu içi ve çevresinin fiziksel özelliğinin değişimini algılamada kullanılır. Kuyuda incelenmek istenilen fiziksel parametreye bağlı olarak ya bir alıcı ve/veya hem alıcı hem de verici ünitelerden oluşur. Proben çapı 4-12 cm ve boyu 1-6 m arasında değişir. Ayrıca suya, çamura ve ısıya karşı “izolasyonu sağlanmış olmalıdır.

2. Tel ve kablo: Kuyu başındaki kayıtlar ve/veya enerji kaynağı ile kuyu içinde hareketli olan probe arasındaki hem iletimi hem de probun kuyu içindeki hareketini sağlar. Genelde tel ve kablo birlikte sarılmış olup çekmeye ve ağırlığa karşı tel olarak ince çelik halat kullanılır.

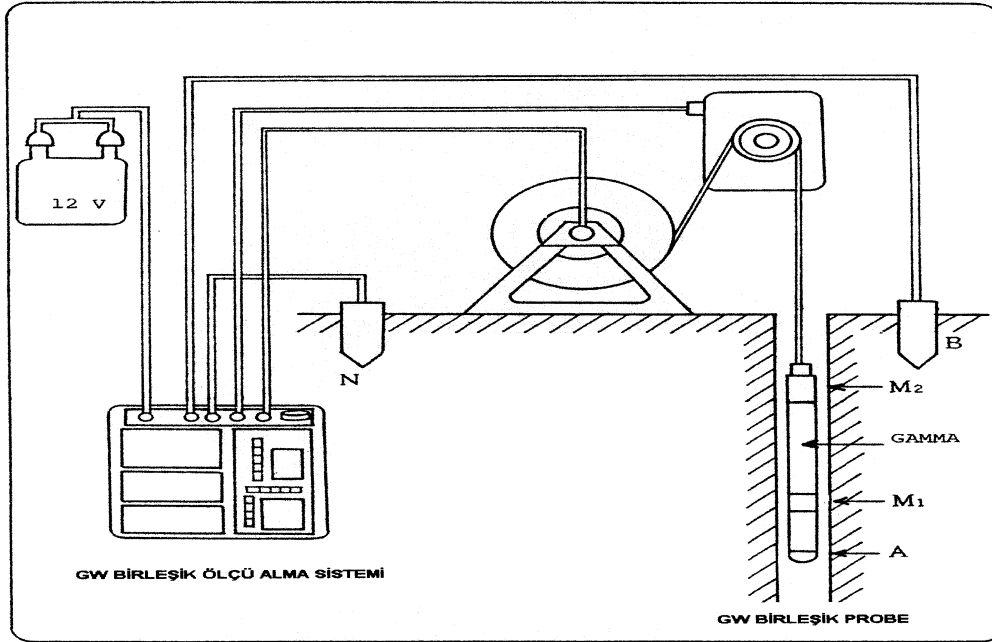
Probe gibi kablonun da ısı su ve çamura karşı izolasyonun sağlanması gerekir. Kuyu derinliğine bağlı olarak farklı uzunluklarda olan kablo ve halat yeterli genişlikte bir makaraya sarılmış olması gerekir. Günümüzde kullanılan modern aletlerde elektrik motorlu portatif vinçlerin tamburları üzerine bu kablo ve tel sarılmış konumdadır. İlkel aletlerde ise bu kablonun üzeri metrelenmiş olması gerekmektedir.

3. Kuyu Başı Makarası: Kuyu başında sabit konumda olan bu parça üzerinde serbestçe dönebilen bir makara bulunur. Tel ve kabloya bağlı olan probe bu makara vasıtasıyla kuyu içinde rahatça hareket ettirilir. Bazı makinelerde bu makaranın dönme sayısından inilen derinlik sayısal olarak saptanır.

4. Vinç: Ucuna probe bağlı olan tel ve kablunun kuyu başı makarası üzerinden geçirilmesi sonucunda kuyu içinde hareket sağlanır. Kablo ve tel kuyu başında ya bir makara veya vinç tamburu üzerine sarılmış olması gerekir. Kuyu içine iniş çıkış işlemleri eskiden insan gücü ile kablunun elle sarılması yoluyla yapılıyordu. Bu ise zaman kaybı ve derinlikte hatalara neden olmaktadır. Son yılların modern aletlerinde elektrik motorlu portatif vinçler ve derinliği ± 5 cm hata ile ölçebilen sistemler kullanılmaktadır. Böylece kuyu içine iniş ve çıkış zamanı, insan gücü ve derinlik ölçme hataları azaltılmış olur.

5. Recorder (Kayıtçı): Kayıtcı alıcıdan gelen sinyallerin kağıt üzerine çizilmesini sağlar. Gelişmiş makinelerde kayıtçı olarak hem verileri sayısal olarak hafızasında saklayabilen hem de grafik kağıdına çizebilen sistemler kullanılmaktadır.

6. Enerji kaynağı: Kayıtçının, vincin ve probe içindeki kaynağa enerji sağlamak için akü veya jeneratör enerji kaynağı olarak kullanılır.



Şekil 2.9. Kuyu logu ekipmanlarının şematik görünümü