

Hasan YAZICIGİL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

Yeraltısuyu gözlem kuyularının sondajı ve tasarımı

Yeraltısuyu gözlem kuyuları yeraltısularının fiziksel, kimyasal veya bakteriyolojik analizleri için örnekleme yapılması, yeraltısuyu seviyelerinin ölçülmesi ve zeminin hidrojeolojik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılarak inşa edilen genelde küçük çaplı kuyulardır. Genel olarak yeraltısuyu gözlem kuyularının sondajı, teşhizi, ve inkişafı yeraltısuyu üretim kuyuları ile benzerlik göstermesine karşıt aralarında bazı önemli farklar bulunmaktadır. Bu yazıda yeraltısuyu gözlem kuyularının tasarımında ve inşa edilmesinde gözönüne alınması gereken önemli faktörlerden sondaj tekniği, çap, derinlik, teşhiz borusu, filtre, çakılama, tecrit ve geliştirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiş ve Mogan-Eymir gölleri civarında yapılan uygulamalardan örnekler sunulmuştur.

Giriş

Yeraltısuyu gözlem kuyuları yeraltısularının fiziksel, kimyasal veya bakteriyolojik analizleri için örnekleme yapılması, yeraltısuyu seviyelerinin ölçülmesi ve zeminin hidrojeolojik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla çeşitli yöntemler kullanılarak inşa edilen genelde küçük çaplı kuyulardır. Yeraltısuyu gözlem kuyularının tasarımında ve inşasında karşılaşılan en önemli problemler şunlardır:

1. Jeolojik ve hidrojeolojik ortama ve potansiyel kirleticilere uygun olmayan sondaj yönteminin seçilmesi kuyunun etkin bir şekilde inşa edilmesini engeller ve su ve formasyon örneklerinin kirlenmesine neden olur.

2. Hidrojeolojik ortam, potansiyel kirleticiler veya yeraltısuyu örnekleme programına uygun olmayan teşhiz borusu ve filtre kullanılması nedeniyle örneklerin kimyasal alterasyona uğraması veya kuyunun işlevini kaybetmesi.

3. Standartlara uygun olmayan filtreler kullanılması (örneğin arazide açılan yarıklar veya delikli teşhiz borusu) veya filtre yarık aralıklarının yanlış seçimi kuyunun siltasyona uğramasına ve alınan örneklerin bulanık olmalarına neden olur.

4. Uygun olmayan filtre uzunluğu seçimi veya filtrenin yanlış yerleştirilmesi, belirli tabakalardan su seviyesi ve su kalitesi verilerinin elde edilmesini imkansız kılar.

5. Uygun olmayan kum-çakıl zarfı malzemesinin seçimi ve yerleştirilmesi, kuyunun siltasyona uğramasına, filtre yarık aralıklarının tıkanmasına, su kalitesinin kimyasal alterasyona veya kuyunun işlevini kaybetmesine neden olur.

6. Uygun olmayan tecrit malzemesinin seçimi ve yerleştirilmesi, su örneklerinin kimyasal alterasyona uğramasına, kum-çakıl zarfının ve/veya filtrenin tıkanmasına ve uygun olmayacak şekilde tecrit edilmiş jeolojik katmanlardan kirliliğin kuyuya ulaşmasına neden olur.

7. Yüzey koruma önlemlerinin yetersiz oluşu, yüzey sularının kuyuya girmesine ve su örneklerinin kimyasal kalitesinin değişimine neden olur veya kuyunun kendisine hasar yaratabilir.

8. Kuyu geliştirme (inkişaf) işleminin yeterince yapılması kuyudan 'temsili' su örnekleri alınmasını engeller, verimi düşürür ve kuyu ile tabii formasyon arasındaki hidrolik iletimi azaltır.

Yukarıda belirtilen problemlerden herhangi biri veya birkaçı kuyuyu 'temsili' yeraltısuyu örnekleri alınması için uygunsuz duruma getirebilir. Bu durumda kuyunun kapatılması ve yeni bir kuyu ile değiştirilmesi gereklidir. Bu ise hem masrafa hemde zaman kaybına neden olur.

Yeraltısuyu gözlem kuyularının sondajı

Yeraltısuyu gözlem kuyularının sondajı üretim kuyularının sondajı ile benzerlik arzemesine karşıt su kalitesinin korunması ve 'temsili' su örneklerinin alınabilmesi için bazı aşamaların daha dikkatli yapılması gerekmektedir. Seçilen sondaj yöntemi ve ekipmanı aşağıda belirtilen hususları sağlamalıdır:

1. Tüm formasyon malzemelerini makul bir hızda delebilmeli,

2. Uygun çapta bir gözlem kuyusunun inşasına olanak sağlamalı,

3. Kirlilik yaratmamalı,

4. Delinen tüm formasyonların litolojileri hakkında güvenilir bilgiler sunabilmeli,

5. Sondaj sırasında çeşitli derinliklerden su örneklerinin alınabilmesine olanak sağlamalı,

6. Sirkülasyon sıvısı kayıpları, basınçlar, yanıcı ve toksik maddeler gibi problemlere karşı önlemler sunabilmeli,

7. Gözlem kuyusunun sondaj sırasında veya hemen akabinde inşa edilmesine olanak sağlamalı,

8. Düşük maliyet içermeli,

9. Sahaya ulaşım problemleri yaratmamalı,

10. İstenildiği takdirde jeofizik araştırma veya veri analizleri için kuyunun uzun bir süre açık kalabilmesini temin edebilmelidir.

Çizelge 1'de su üretim kuyuları sondaj yöntemlerinin yeraltı suyu gözlem kuyularının sondajı için kullanılmaları durumunda avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Bu yöntemler hakkında detaylı bilgiler Driscoll (1986) ve Davis ve diğerleri (1991) tarafından sunulmuştur.

Yeraltı suyu gözlem kuyularının tasarımı ve inşası

Yeraltı suyu gözlem kuyularının uygun bir şekilde tasarımı ve inşası, zemin koşullarına ait bilgiler ile kuyu tasarımı ve inşası ile ilgili yöntem ve pratik uygulamalara ait yeni bilgiler gerektirir. Zemin koşullarına ait bilgiler şunlardır:

- Yeraltı suyu izleme programının amacı (örneğin su kalitesinin veya su seviyesinin izlenmesi)

- Topoğrafya, drenaj, iklim ve mevsimsel değişimler ve sahaya ulaşım gibi bilgiler

- Bilinen veya tahmin edilen hidrojeolojik ortam, örneğin jeoloji (pekleşmiş/pekleşmemiş), akiferin fiziksel karakteristikleri (porozitenin cinsi, hidrolik iletkenlik), akiferin tipi (basınçlı/serbest), beslenme ve boşalım durumları, yüzey-yeraltı suyu ilişkileri

- Bilinen veya tahmin edilen kirlenmelerin özellikleri, örneğin kimyası, yoğunluğu, viskozitesi, konsantrasyonu vb.

- İnsanların hidrolojik rejimde yarattığı değişiklikler

- Uygulanan yönetmelikler

Kuyu tasarımı ile ilgili gözetimüne alınması gereken bilgiler şunlardır:

- Kapalı techiz boruları

- Filtreler

- Kum-çakıl zarfı

- Tecrit malzemeleri

- Yüzey koruması

Gözlem kuyuları kapalı boru ve filtre malzemelerinin seçimi

Yeraltı suyu gözlem kuyularının kapalı boru ve filtre malzemelerini seçerken malzemenin fiziksel dayanımı (mukavemeti), kimyasal dayanımı ve yeraltı suyu ve/veya kirlenmelerle

Çizelge 1. Yeraltı suyu gözlem kuyuları için sondaj yöntemleri (Driscoll, 1986).

Sondaj Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Oyuklu Burgu (Hollow-stem auger)	• Sondaj sıvısı kullanılmadığı için sondaj sıvısı katkı maddeleri ile kirlenme olasılığı yoktur • Sondaj sırasında filtreli burgu veya 'well-point' kullanarak formasyon sularından örnekleme yapılabilir • Yarı tıp veya karotiyer ile alınan formasyon örnekleri çok güvenilirdir • Burgu içinde 'gamma ısıni' logları alınabilir • Burgu çekilmeden önce kapalı boru ve filtre yerleştirildiği için kuyunun göçmesi önlenir • Hızlıdır • Makinanın taşınımı kolaydır • Genel olarak rotari ve darbeli sondaj yönteminden daha ucuzdur	• Sadece pekleşmemiş malzemelerde kullanılabilir • 30-45 m derinlikle sınırlıdır • Kabaran kumların kontrol altına alınması zordur • Jeofizik logların tümü yapılamaz
Direkt Rotari (Direct Rotary)	• Pekleşmiş ve pekleşmemiş formasyonlarda kullanılabilir • Her türlü derinliğe kadar sondaj imkanı vardır • Karot örnekleri alınabilir • Açık kuyuda tüm jeofizik loglar alınabilir • Sondaj sırasında muhafaza borusu gerektirmez • Kuyu inşası için çok fazla seçenek imkanı sunar • Hızlıdır • Küçük sondaj makinalarının birçok yere ulaşımı kolaydır • Oldukça ucuzdur	• Sondaj sıvısı gereklidir ve kirlenmeler sondaj sıvısı ile sirküle edilir • Sondaj sıvısı formasyon suyu ile karışır ve formasyona nüfuz eder • Bentonitlik sondaj sıvıları metalleri emebilir ve diğer parametrelerle karışabilir • Organik bazı sıvılar bakteriyolojik analizlerde ve/veya organik parametrelerin ölçülmesinde karışıklık yaratabilir • Sondaj sırasında su tablasının konumu hakkında bilgi edinilemez ve su üreten formasyonlarla ilgili sadece kısıtlı bilgi alınabilir • Formasyon örnekleri doğru olmayabilir

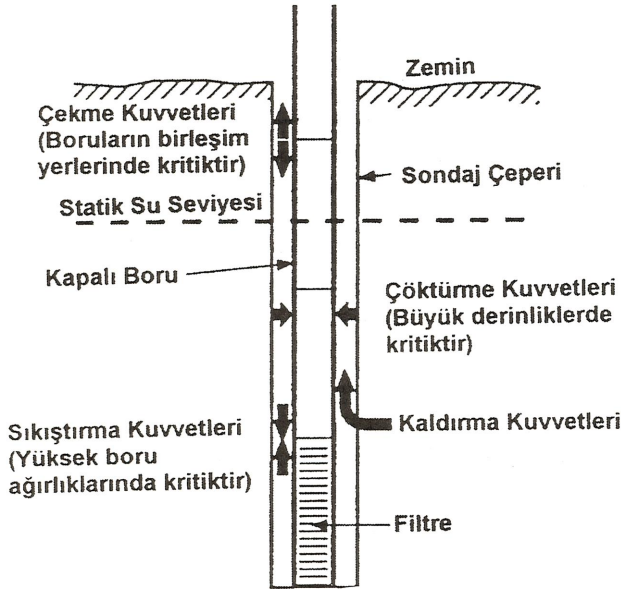
Sondaj Yöntemi	Avantajları	Dezavantajları
Havali Rotari (Air Rotary)	• Su-bazlı sondaj sıvısı kullanılmadığı için katkı maddeleri tarafından kirlenme olasılığı yoktur • Pekleşmiş ve pekleşmemiş formasyonlarda kullanılabilir • Her türlü derinliğe kadar sondaj imkanı vardır • Sert ve kuru formasyonlarda örnekleme çok iyidir • Su ihtiva eden ilk tabakayı belirlemek mümkündür • Kuyudan fıskıran suyun arazide analizi ile su kalitesi hakkında bilgi edinilebilir • Hızlıdır	• Su tablasının altında yumuşak ve göçebilen formasyonlarda sondaj sırasında muhafaza borusuna gerek vardır • Hidrostatik basınçların farklı olduğu birden fazla su ihtiva eden tabakalarla karşılaşıldığı zaman sondaj sırasında ve kuyunun tectritinden önce tabakalar arası akım olabilir • Göreceli olarak diğer yöntemlerden pahalıdır • Küçük işler için ekonomik olmayabilir
Kablolu darbeli (Cable Tool)	• Az miktarda ve genelde katkı maddesi içermeyen su sondaj sıvısı olarak kullanılır • Pekleşmiş ve pekleşmemiş formasyonlarda kullanılabilir; çok geçirgen formasyonlarda uygundur • Her türlü derinliğe kadar sondaj imkanı vardır • Tecrübeli bir sondör tarafından güvenilir formasyon örnekleri alınabilir • Su seviyesindeki değişiklikler gözlenebilir • Tecrübeli bir sondör farklı zonların göreceli permeabilitelerini belirleyebilir • Sondaj makinesi bir çok yere ulaşabilir • Oldukça ucuzdur	• Minimum kapalı boru çapı 4 inç olmalıdır • Çelik boru kullanılmalıdır • Jeofizik logların tümü yapılamaz • Genelde su örneği alınmadan önce filtre yerleştirilmelidir • Yavaşdır

reaksiyona girme potansiyeli gözetimüne alınmalıdır. Gözlem kuyuları için kullanılan kapalı boru ve filtre malzemeleri dört

grupta toplanabilir: termoplastik malzemeler (PVC ve ABS), fluoropolimer malzemeler (PTFE); metalik malzemeler (karbon çelik, düşük karbonlu çelik, galvanize çelik, paslanmaz çelik), ve fiberklas kuvvetlendirilmiş epoksi malzemelerdir (FRE). Aşağıda bu malzemelerin fiziksel ve kimyasal dayanımları ve yeraltısuyu ile kimyasal etkileşimlerine ilişkin bilgiler özet olarak sunulmuştur. Bu malzemelere ilişkin detaylı bilgiler Nielsen ve Schalla (1991) tarafından sunulmuştur.

Kapalı boru ve filtrelerin fiziksel dayanımı

Yeraltısuyu gözlem kuyuları kapalı boru ve filtrelerinin, montaj aşamasında ve çevreleyen jeolojik malzeme tarafından uygulanan kuvvetlere karşı, dayanıklı olmaları zorunludur. Kapalı boru ve filtrelerin üç önemli dayanımları: çekilme dayanımı, sıkışma (kolon) dayanımı ve çökme dayanımıdır (Şekil 1). Gözlem kuyuları için kullanılan küçük çaplı kapalı boruların çekilme ve çökme dayanımları Çizelge 2’de gösterilmiştir. Kapalı boruların birleşim yerlerindeki çekilme dayanımları bu çizelgede verilen değerlerden daha düşüktür. Çekilme dayanımları malzemenin kompozisyonuna, üretim yöntemine, birleşme cinsine ve boru ebatlarına (çap ve et kalınlığı) göre değişir. Yeraltısuyu gözlem kuyularında kullanılan kapalı boruların minimum çekilme dayanımları hava ile dolu bir kuyuya yüzeyden kendi ağırlıkları ile asıldığında bu ağırlığı taşıyabilecek kadar olmalıdır. Maksimum teorik yerleştirme derinliği seçilen malzemeye ait çekilme dayanımını borunun ağırlığına bölerek elde etmek mümkündür. Boruların birleşme yerleri genelde en zayıf noktalar olduğu için birleşme yerlerinin çekilme dayanımları borunun kendi çekilme dayanımından daha önemlidir. Sıkışma (kolon) dayanımı malzemenin özelliğine (yenilme dayanımı ve rijidlik) ve et kalınlığına bağlıdır.



Şekil 1. Yeraltısuyu gözlem kuyuları kapalı ve filtreli borularına montaj sırasında uygulanan kuvvetler (Nielsen ve Schalla, 1991).

Çizelge 2. Kapalı boru malzemelerinin dayanımları (Nielsen ve Schalla, 1991).

Malzeme	Çekilme Dayanımı (lb)		Çökme Dayanımı (lb/in. ²)	
	2-inç nominal	4-inç nominal	2-inç nominal	4-inç nominal
Termoplastik (PVC)	7500	22000	307	158
Termoplastik (ABS)	8830	22000	Veri yok	Veri yok
Fluoropolimer (PTFE)	3800	Veri yok	Veri yok	Veri yok
Metalik (Paslanmaz Çelik)	37760	92000	896	315
Fiberklas epoksi (FRE)	22600	56500	330	250

Çökme dayanımı malzemenin boyutlarına, özellikle et kalınlığına bağlıdır. Et kalınlığındaki az bir artış çökme dayanımında önemli miktarda artış sağlar. Birleşme dayanımları hariç, kapalı boruların tüm dayanımları delikli filtre haline dönüştürüldükleri zaman azalır.

Termoplastik malzemeler

Termoplastik malzemelerin (PVC, ABS) dayanımları, rijiditeleri ve ısı rezistansları bu malzemelerden yapılan boru ve filtrelerin yükleme, taşıma ve montaj sırasında normal olarak karşılaşılan kuvvetlere karşı dayanıklıdır. Ayrıca rijid ve sertleştirilmiş termoplastikler galvanik ve elektrokimyasal korozyona karşı tam dayanıklı, sürtünmeye karşı çok dayanıklı, yüksek dayanım-ağırlık oranı, hafif olmaları, birçok tabii yeraltısuyu ortamlarında duraylı olmaları, az bakım gerektirmeleri, çalışma rahatlığı sağlamaları ve düşük maliyetli olmaları bu malzemeleri yeraltısuyu gözlem kuyuları uygulamalarında ideal bir malzeme haline getirmiştir. Bu malzemeler ayrıca birçok asitlere, oksitleyicilere, tuzlara, alkalilere ve yağlara karşı dayanıklıdır. Bununla beraber yüksek konsantrasyonlu organik çözücülere karşı hassastırlar. Termoplastik malzemelerin hassas oldukları bazı kimyasallar ketonlar, aldehidler, aminler, klorlu alkenler ve alkanlardır. Bazı araştırmacılar (Parker ve diğerleri, 1990; Miller, 1982; Reynolds ve Gillham, 1985) termoplastik malzemelerden yapılan kapalı boruların kurşun ve bazı organik maddeleri (örneğin 1,1,2,2-tetrachlorethane, bromoform, hexachloroethane ve tetrachloroethylene) emerek su örnekleri analizlerinde doğru olmayan sonuçlar yarattığını ifade etmişlerdir. Bu nedenle, örnekleme yapılmadan önce, kuyuda uzun süre bekleyen yeraltısuyu boşaltılmalı ve kuyuya jeolojik ortamdaki yeni su akışı sağlanarak 'temsili' örnek alınmalıdır.

Fluoropolimer malzemeler

Bu malzemeler plastik malzemelere benzer ise de onlardan çok farklı özellikler sergilerler. Bu malzemeler çok konsantre ve agresif asitlere karşı (hidroflorik, nitrik, sülfürik, hidroklorik) ve organik çözücülere karşı tümüyle dayanıklıdır. Bu malzemeler ayrıca biyolojik reaksiyonlara, oksidasyona, bozunma ve ultraviyole radyasyona karşı dayanıklı olup, yüksek ısı aralığına (-240 °C-287 °C), yüksek dielektrik, düşük sürtünme ve yüksek ısı genleşmesi katsayılarına sahiptirler. Genelde ürettikleri ülkelere göre çeşitli ticari isimlerle adlandırılan bu malzemelerden en yaygın olarak bilineni Du Pont tarafından üretilen Teflon'dur. Çekilme ve sıkışma dayanımları termop-

lastik malzemelere göre daha düşüktür. Ayrıca termoplastik ve paslanmaz çelikten daha pahalıdır.

Metalik malzemeler

Metal kapalı ve filtreli borular karbon çelik, düşük karbon çelik, galvanize çelik ve paslanmaz çeliklerdir. Bu malzemelerden yapılan kapalı borular termoplastik, fluoropolimer veya fiberglas kuvvetlendirilmiş epoksi malzemelerden yapılan borulardan daha kuvvetli daha rijid ve ısıya karşı daha az duyarlıdır. Fakat bu malzemeler korozyona karşı duyarlı olup dayanıklılıkları etkilenebilir. Korozyon sonucu ortaya demir ve mangan oksitleri ile çeşitli metal sülfürler çıkar. Karbon ve düşük karbonlu çelik boruların galvanize edilmeleri hernekadar korosif dayanımı arttırsa da bu iyileşme az ve kısa ömürlüdür. Galvanize çelik boruların korozyona uğraması demir, mangan, çinko ve kadmiyum ortaya çıkarır. Bu maddeler yeraltı suyu örneklerinde karışıklık yaratır ve analiz sonuçları yanlış olur. Bu nedenle, karbon çelik, düşük karbon çelik ve galvanize çelik borular ve filtreler yeraltı suyu kalitesinin izlendiği yeraltı suyu gözlem kuyularında kullanılmamalıdır. Bu malzemelerden yapılan kuyular sadece yeraltı suyu seviyelerinin gözlenmesi veya metal ve organik bileşiklerin izlenmediği yeraltı suyu örneklemesi için kullanılabilirler. Buna karşın, paslanmaz çelik oksitleyici ortamlarda korozyona karşı çok dayanıklıdır. A.B.D. de gözlem kuyuları için en yaygın olarak kullanılan paslanmaz çelik 304 ve 316'dır. Bu malzemelerin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3'de gösterilmiştir. 304 çeliğe yüksek miktarda nikel ve % 2-3 molibden katılması 316 çeliği sülfür ihtiva eden maddelere ve sülfürik asit solüsyonlara karşı daha dayanıklı hale getirmekte olup redüksiyon ortamlarında da daha iyi bir performans göstermelerine neden olmaktadır. Fakat her iki malzeme de uzun süre korozif şartlarda korozyona uğrayabilir ve yeraltı sularında krom ve nikel kirliliği yaratabilir.

Fiberglas kuvvetlendirilmiş epoksi malzemeler

Bu malzemeler metalik ve termoplastik malzemelerin iyi özelliklerini ihtiva ederler. Paslanmaz çelik kadar kuvvetli olup PVC kadar da hafiftirler. Hernekadar yeraltı suyu gözlem kuyularında yaygın olarak kullanılırsalar da hafif olmaları, yüksek dayanımları ve birçok kimyasal ortamlara karşı duraylı olmaları gelecekte bu malzemelerin daha yaygın olarak kullanılmalarında tercih nedeni olacaktır.

Çizelge 3. Paslanmaz çelik kapalı boru/filtre malzemelerinin kompozisyonu (Nielsen ve Schalla, 1991).

Kimyasal Bileşken	Paslanmaz Çelik - 304	Paslanmaz Çelik - 316
Karbon	0.08	0.08
Mangan	2.00	2.00
Fosfor	0.04	0.045
Sülfür	0.03	0.03
Silikon	0.75	1.0
Krom	18.0-20.0	16.0-18.0
Nikel	8.0-11.0	10.0-14.0
Molibden	-	2.0-3.0
Demir	Arta kalan	Arta kalan

Kapalı boru ve filtre çapları

Yeraltı suyu gözlem kuyularının kapalı boru ve filtre çaplarının seçiminde aşağıdaki faktörler gözönüne alınmalıdır:

1. Gözlem kuyusunun amacı (örnekleme, su seviyesi ölçümü, pompa testi vs.)
2. Kuyuya indirilecek cihazlar (limniğraf, beiler, jeofizik logging cihazlar vb)
3. Sondaj yöntemi
4. Kuyunun derinliği ve gereken dayanımlılık özellikleri
5. Kuyu geliştirme (inkışaf) yöntemi
6. Örneklemeden önce kuyudan boşaltılması gereken su hacmi
7. Kuyudaki su seviyesinin yükselme hızı
8. Maliyet

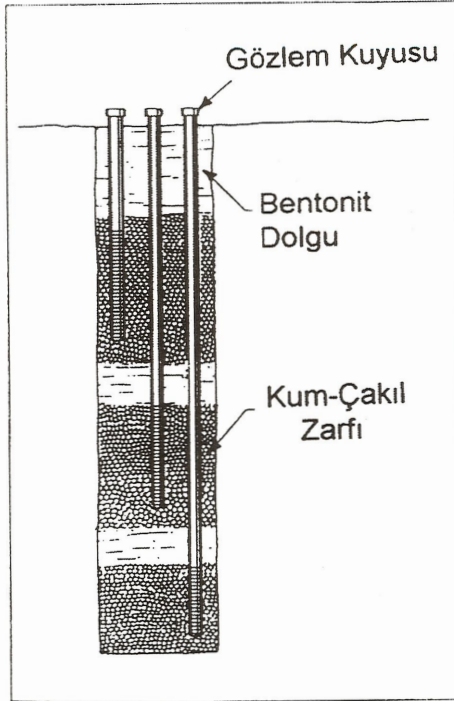
Yeraltı suyu gözlem kuyularının kapalı boru ve filtre çapları genelde üretim kuyularının çapından küçüktür. Yaygın olarak kullanılan boru ve filtre çapları 2 inç ve 4 inç olmasına rağmen 6 ve 8 inç çapında olanlar da vardır. Derin olmayan veya sadece su seviyesi ölçümleri için kullanılacak olan gözlem kuyularında 2 inç çapında olan boru ve filtreler yeterlidir. Fakat daha doğru örnekleme yapabilmek, iyi inkışaf, derin kuyular, bir çeşit pompa deneyi veya kuyu jeofiziği araştırmaları için boru ve filtre çapı en az 4 inç olmalıdır. Geniş çaplı (>4 inç) kuyulardan 'temsili' su örnekleri alınması küçük çaplı kuyulara nazaran daha zordur. Küçük çaplı kuyular için geliştirilen örnekleme pompaları genelde düşük kapasiteli pompalar olup geniş çaplı kuyularda efektif olarak çalışmazlar. Ayrıca geniş çaplı kuyularda su örnekleri alınmadan önce boşaltılması gereken kuyudaki su miktarı daha fazla ve su seviyesinin yükselmesi daha yavaştır. Bu da örnekleme yapılması için gereken zamanı arttırır. Diğer taraftan düşük permeabilite for-masyonlarda konuşlandırılan küçük çaplı kuyuların inkışafı daha zordur. Dolayısıyla kuyuda yeterince inkışaf yapılamadığı için 'temsili' su örnekleri alınması güçleşir. Bilindiği gibi kuyu çapı küçüldükçe sondaj ve inşaat maliyetleri azalır.

Çeşitli derinliklerden örnekleme yapabilmek için bazen geniş çaplı sondajlar yapılarak bunların içine farklı derinliklerde konuşlandırılmış kapalı boru ve filtreler yerleştirilir (Şekil 2). Küçük çaplı borular böyle bir sondaj kuyusu içine daha fazla sayıda gözlem kuyusu inşa edilmesine olanak sağladığı için sondaj maliyetlerini azaltır.

Filtre

Gözlem kuyuları filtreleri aşağıda belirtilen özellikleri sağlamalıdır:

1. Filtre malzemeleri su ile kimyasal reaksiyona girmeyecek malzemelerden seçilmelidir,
2. Hızlı örnek alımını kolaylaştırmak için açık alan yüzdesi artırılmalıdır,
3. Filtre yarı aralıkları kum-çakıl zarfının veya tabii jeolojik formasyonun belirli bir yüzdesini geçmemelidir ve kuyuya sediman girişini önlemelidir,



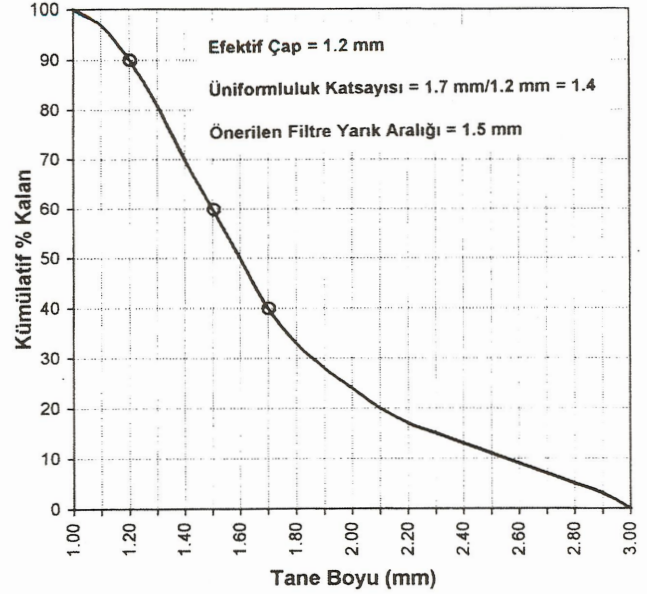
Şekil 2. Bir sondaj kuyusu içine farklı derinliklerde yerleştirilen yeraltısuyu gözlem kuyuları (Driscoll, 1986).

4. Filtre yarık aralıkları tıkanmaya imkan vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır,

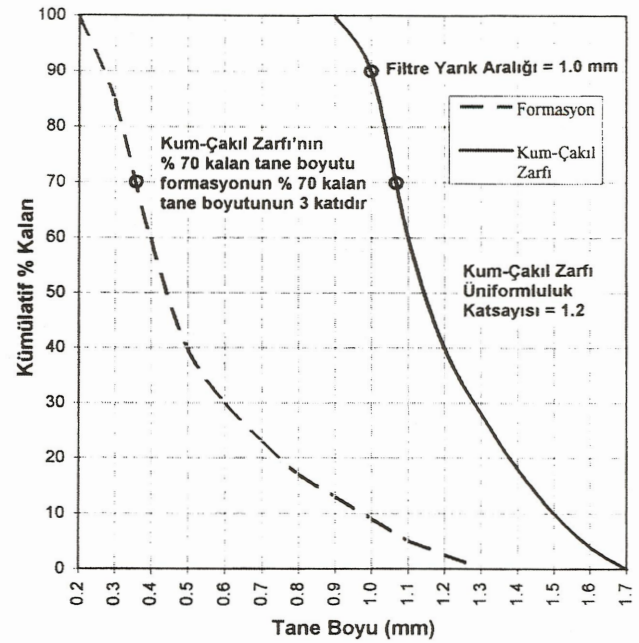
5. Filtre yarık aralıklarının genişliği, tasarımı, açık alan yüzdesi ve filtre çapı kuyunun efektif bir şekilde inkişafına imkan sağlamalıdır.

Filtre malzemeleri ile ilgili bilgiler daha önce verilmiştir. Filtre yarık aralıkları seçilirken filtre yapılacak formasyonun tane boyu dağılımı ve kum-çakıl zarfı kullanılıp kullanılmayacağı gibi faktörler gözönüne alınmalıdır. Kum-çakıl zarfı kullanılmayacak kuyularda filtre yarık aralıkları jeolojik formasyonun düzgünlük katsayısına (Uniformity coefficient) ve filtre seviyesinin üstündeki formasyonların geçebilme durumlarına göre filtrelenecek formasyonun % 40 ila % 60'ını tutabilmelidir (Şekil 3). Kum-çakıl zarfı kullanılacak kuyularda filtre yarık aralıkları kum-çakıl zarfının % 90 ila % 99'unu tutabilmelidir (Şekil 4). Bu şartlar gözönüne alınmaksızın piyasada mevcut bulunan yarık aralıklarının kullanılması kuyunun etkin bir şekilde inkişafına imkan sağlamayacağı gibi kuyuya sediman taşınımı gibi problemler de yaratabilir. Bu durum, özellikle su kalitesi için örnekleme yapılacak kuyularda örnekler için gerekli olan filtrasyon zamanını arttırabileceği gibi kimyasal analizlerde de doğru olmayan sonuçlar yaratabilir.

Filtre yarık aralıklarının boru eksenini etrafında düzgün bir şekilde dağılımı inkişafın etkin bir şekilde yapılmasını temin eder. Yarık aralıklarının kuyu merkezine doğru genişlemesi çakıl veya formasyon malzemesinin yarıkları tıkanmasını ve



Şekil 3. Pekleşmemiş zeminlerin elek analizi sonucuna göre çizilen tane boyu dağılım eğrisi.



Şekil 4. Formasyon ve kum-çakıl zarfı tane boyu dağılım eğrileri.

köprüleme oluşmasını engeller. Yarık aralıkları alanının toplam yüzey alanına oranı formasyonun veya kum-çakıl zarfının efektif porozitesine uygun olarak % 10-% 30 arasında değişmelidir. Bu durum 'temsili' örnekler alınması için gerekli zamanı ve kuyu inkişaf süresini azaltır. Yarıkların tıkanması açık alan yüzdesini azaltacağı için formasyondan 'temsili' örnek alınması için gerekli zamanı arttırır.

Yeraltısuyu gözlem kuyularının filtre uzunlukları üretim kuyularının aksine belirli zonlardan su örnekleri alınmasına

veya su seviyelerinin ölçülmesine imkan sağlayacak şekilde kısa olmalıdır (0.6 m-2 m). Kalın akiferlerde farklı derinliklerde son bulan filtreler inşa edilmelidir (Şekil 2). Kısa filtre uzunluğu su kalitesinin dikey dağılımı ve su seviyesi hakkında daha doğru bilgi verir. Su tablasının üzerindeki su kalitesinin izleneceği gözlem kuyularında filtre uzunluğu, su tablasının konumundaki beklenen mevsimsel dalgalanmalara göre, 3 m ila 6 m arasında olmalıdır. Filtrenin bir kısmı su tablasının üzerindeki suya doygun olmayan bölgede bulunmalıdır. Böylelikle serbest fazdaki hidrokarbonların veya volatil maddelerin izlenmesine olanak sağlanır.

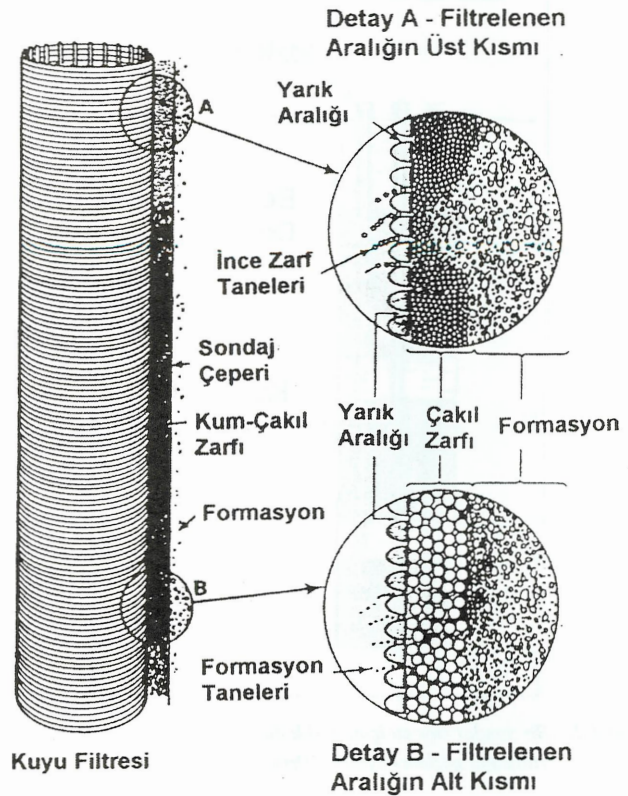
Kum-çakıl zarfı

Yeraltısuyu gözlem kuyularında kum-çakıl zarfının kullanılıp kullanılmayacağına karar verebilmek için filtrelenecek formasyonun ince taneli tabakalarının tane boyu dağılımı (granülometre) eğrilerine gereksinim vardır. Tabii formasyonun % 50'sini tutabilmek için seçilen yarık aralığı 0.02 inç (0.5 mm) veya daha az ise, kum-çakıl zarfı kullanılmalıdır.

Kum-çakıl zarfının tasarımı için kum-çakıl tane boyutu, tane boyu dağılım (granülometre) eğrisi, tane şekilleri, kum-çakıl zarfının kalınlığı ve uzunluğu, ve kum-çakıl zarfı malzemesinin özellikleri gözönüne alınmalıdır. Kum-çakıl zarfının % 70 kalan (% 30 geçen) tane boyutunu belirlemek için filtrelenecek formasyonun % 70 kalan (% 30 geçen) tane boyutu bulunarak 3 ila 6 arasında bir rakamla çarpılır. Formasyon ince taneli ve uniform ise 3, iri taneli ve uniform değilse 6 rakamı kullanılır. Bulunan bu ilk noktadan geçen ve uniformluk katsayısı 1-2.5 arasında olan düzgün bir tane boyu dağılım eğrisi çizilir (Şekil 4). Kum-çakıl zarfının uniform olması önemlidir. Aksi takdirde kum-çakıl zarfı kuyuya (su içinde) yerleştirilirken iri taneli malzeme kuyu tabanına yakın kısımlarda ince taneli malzeme ise filtrenin üst seviyesine yakın kısımlarda yerleşerek kum-çakıl zarfında bölgesel bir tane ayrışmasına neden olur ve kum-çakıl zarfı işlevini büyük ölçüde kaybeder (Şekil 5). Kum-çakıl zarfı kuyunun tabanından başlayarak filtre seviyesinin en az 0.6 m-1.5 m üst seviyesine kadar uzanmalıdır (Şekil 6). Kum-çakıl zarfının kalınlığı 5 cm'den az 8 cm'den fazla olmamalıdır. Kum-çakıl zarfı malzemesinin taneleri yuvarlak ve küresel şeklinde olmalıdır. Aksi takdirde filtre yarık aralıklarının tıkanmasına ve kum köprüleri oluşmasına neden olurlar. Kum-çakıl zarfı olarak kullanılacak malzemeler için silisli (kuvars) malzemeler seçilmeli ve silisli olmayan malzeme oranı % 5'den az olmalıdır. Bu malzemeler yıkanıp kurutulduktan sonra techiz borusu ile kuyu cidarı arasına çeşitli yöntemler (kürekle dökmek, çakıl borusu kullanmak, ters sirkülasyon yöntemi, geri yıkama) kullanılarak yerleştirilir.

Tecrit

Yeraltısuyu gözlem kuyularında techiz borusu ile kuyu çeperi arasında kalan boşluk su ve/veya kirleticilerin dikey hareketleri için bir yol oluşturur. Dolayısıyla bu boşluğun efektif

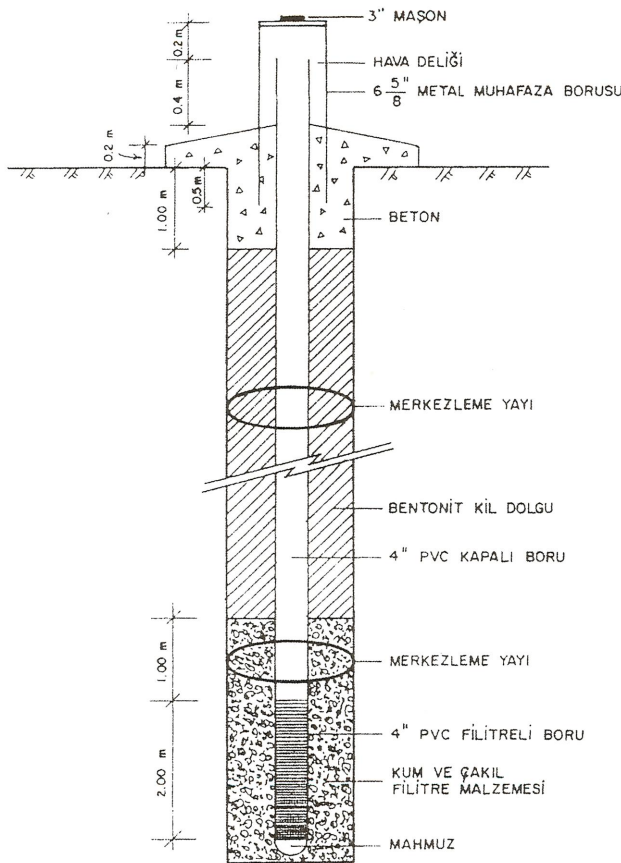


Şekil 5. Uniform olmayan kum-çakıl zarfı malzemesinde tane ayrışımı (Nielsen ve Schalla, 1991).

bir şekilde doldurulması gerekmektedir. Bu işleme 'tecrit' denir. Tecrit işlemi (1) yüzey sularının veya kirleticilerin yüzeyden kuyuya girmelerini engeller, (2) farklı örnekleme zonlarını hidrolik ve kimyasal olarak birbirinden ayırır, (3) suyun (farklı kalitede olabilir) bir akiferden diğerine veya yüksek hidrolik yüke sahip olan zonlardan düşük hidrolik yüke sahip olan zonlara olan dikey hareketini önler. Suyun bu tür dikey hareketleri 'temsili' yeraltısuyu örnekleri alınmasını veya hidrolik yüklerin doğru bir şekilde ölçülmesini engeller. Kuyu tecridi ayrıca kuyuyu harici korozyona veya kimyasal bozunmaya karşı koruyarak ömrünü artırır.

Tecrit malzemesi olarak bentonit (peletler, granüle, veya toz halinde) ve çimento yaygın olarak kullanılır. Kesinlikle sondaj kırıntıları, kum, veya başka bir malzeme kullanılmamalıdır.

Bentonit kil minerali montmorillonit'den oluşan ve su içinde kuru hacminin 8-10 katı kadar genişleyen bir malzemedir. Pelet ve granüle bentonit kuyu cidarı boşluğuna kuru halde yerleştirilmelerine rağmen toz halindeki bentonitin enjeksiyon şerbeti şeklinde yerleştirilmesi gereklidir. Bentonit enjeksiyon şerbeti 7 kg ağırlığındaki kuru bentonitin 27 lt temiz su ile karıştırılması sonucu elde edilir. Bentonitin yüksek katyon değiştirme kapasitesine ve yüksek pH (8.5-10.5) değerine sahip olması ve potansiyel bazı katkı maddeleri (organik ve inorga-



Şekil 6. Yeraltısuyu gözlem kuyusu tasarım detayı.

nik polimerler) içermesi temas ettikleri yeraltısuyu kalitesini etkileyebilir. Bu nedenle, bentonit kil dolgusu filtrenin üst seviyesinden en az 1-1.5 m yukarıdan başlamalıdır. Bentonitin efektif bir şekilde hidrasyona uğrayarak şişmesi için ortamda yeterli miktarda ve kalitede su bulunmalıdır. Bu nedenle suya doygun olmayan zonlarda veya yüksek klorür ve toplam erimiş katı maddeler (TDS>5000 mg/l) içeren sularda kullanılmaları tavsiye edilmez (Nielsen ve Schalla, 1991). Bu durumlarda çimento şerbeti tecrit malzemesi olarak kullanılmalıdır.

Çimento şerbeti 50 kg portland çimentosu ile 30 lt temiz suyun kumsuz karışımı ile elde edilmelidir. Karışımındaki su miktarı çok önemlidir. Su miktarının 30 lt/50 kg'dan fazla olması çimentonun aşırı miktarda büzülmesi sonucu çatlakların ve çimento içinde su ihtiva eden boşlukların oluşmasına neden olur. Bu durum arzu edilmeyen bir tecrit malzemesi oluşturur. Çimentonun kuyuda aşırı miktarda büzülmesini önlemek veya prizlenme zamanını kısaltmak için çimento karışımına bentonit (% 3-% 8 hacim oranında), kalsiyum klorür (%1-%3), jips (%3-%6) veya alüminyum tozu (%1) gibi katkı maddeleri ilave edilebilir. Çimento enjeksiyonunun kum-çakıl zarfının hemen üzerinden başlayacak şekilde yapılmaması gerekir. Aksi takdirde çimento kum-çakıl zarfının içine infiltrate olur ve çakıl

zarfını ve filtreyi tıkayabilir. Buna ilaveten çimentonun yüksek pH içermesi su kalitesinde de yüksek pH değerleri ölçülmesine neden olur. Bu nedenlerle çimento kum-çakıl zarfının hemen üzerine yerleştirilmemelidir. Çimento ile ana kum-çakıl zarfı arasında 0.5 m kalınlığında çok ince taneli ikincil bir kum-çakıl zarfı veya 0.5 m-1.0 m kalınlığında bentonit yerleştirilmelidir.

Yüzey koruması

Yüzey korumasının amacı yüzey sularının techiz borusu ile sondaj çeperi arasında kalan boşluktan kuyu tabanına doğru süzülmelerini önlemek ve kuyuyu dış etkenlere karşı korumaktır. Yüzey koruması için techiz borusu merkez olmak üzere kuyubaşı zemin kotunun en az 1 m altına kadar betonlanmalıdır. Kuyubaşı betonu techiz borusundan dışarıya doğru eğimli ve zemin kotundan en az 0.20 m yükseklikte olmalıdır. Techiz borusu kuyubaşı betonu üst seviyesinden en az 0.40 m çıkmalıdır. Kuyubaşı betonu prizlenmeden önce uygun çapta metal bir muhafaza borusu techiz borusu ile sondaj çeperi arasında, alt seviyesi zemin kotunun en az 0.5 m altında, üst seviyesi techiz borusunun üst seviyesinden en az 0.2 m yükseklikte olacak şekilde yerleştirilmelidir (Şekil 6). Metal muhafaza borusunun ağzına maşon veya menteşeli ve kilitli metal bir kapak takılmalıdır. Metal muhafaza borusuna en az dört adet hava delikleri açılmalıdır. Metal muhafaza borusu boyanmalı ve üzerine kuyu numarası yazılmalıdır.

Yeraltısuyu gözlem kuyularının geliştirilmesi

Kuyu geliştirme (inkışaf) işlemi filtre civarındaki tabii jeolojik formasyondan ve kum-çakıl zarfından ince malzemeleri (silt, kil, ince kum) ve sondaj sirkülasyon sıvısı (çamuru) artıklarını dışarı atmak amacı ile yapılır. Ayrıca kuyu geliştirme işlemi filtre civarındaki malzemenin oturmasını ve stabilizasyonunu sağlar. Kuyu geliştirme işlemi (1) kuyudan ve çakıl zarfı veya tabii formasyondan yeraltısuyunun içeri ve dışarı hareketini sağlayarak ince malzemenin serbest kalmasına ve kuyuya çekilmesine olanak sağlamak üzere kuyuya yeterli miktarda bir enerjinin uygulanması ve (2) kuyuya getirilen bu ince malzeme ile kuyu civarındaki sondaj çamuru artıklarını dışarı atılması için pompaj yapılmasından müteşekkildir. Kuyu geliştirme işlemi

- (1) Maksimum verimi sağlar,
- (2) Kuyu ile tabii formasyon arasında hidrolik iletişimi sağlar,
- (3) Daha sonra yapılacak akifer deneylerinden elde edilen verilerin kalitesini artırır,
- (4) Kuyudan 'temsili' örnekler alınmasını sağlar,
- (5) Örneklemiden önce kuyudaki suyun boşaltılması ve/veya akifer deneyleri sırasında kullanılan pompaların tıkanmasını ve zarar görmesini önler.

Kuyu geliştirme yöntemleri ile ilgili literatürde bulunan bilgiler genelde su üretim kuyularının geliştirilmesine aittir. Su üretim kuyuları genelde 6 inç ve daha geniş çaplarda olup akiferden yüksek miktarda su alabilmek için filtre açık alan yüzdeleri daha fazladır. Buna karşıt gözlem kuyuları yüksek verim elde etmekten ziyade belirli derinliklerden veya zonlardan temsili su örnekleri almak ve su seviyeleri ölçmek amacıyla inşa edilirler. Gözlem kuyuları akifer niteliği göstermeyen düşük verimli elde etmekten ziyade belirli derinliklerden veya zonlardan temsili su örnekleri almak ve su seviyeleri ölçmek amacıyla inşa edilirler. Gözlem kuyuları akifer niteliği göstermeyen düşük verimli formasyonlarda da açılabilirler. Birçok gözlem kuyuları 2 inç ve 4 inç çaplarında genelde düşük açık alan yüzdesine sahip PVC filtreleri kullanılarak inşa edilmişlerdir. Bu nedenlerle, standard su üretim kuyuları geliştirme yöntemlerinin, gözlem kuyuları için bazı değişiklikler yapılmadan uygulanması doğru değildir.

Kuyu geliştirme işleminden önce kuyunun mümkünse aynı formasyon suyu ile yoksa kimyasal karakteri önceden belirlenmiş temiz bir su ile yıkanması gerekir. Geliştirme işlemi sırasında kuyudan deşarj edilen su miktarı yıkama sırasında kullanılan su miktarından az olmamalıdır.

Küçük çaplı (2 inç-4 inç) gözlem kuyularının geliştirilmesi için en uygun yöntemler şunlardır (Kraemer ve diğerleri, 1991): (1) Basıncılı hava ile karıştırma/pompalama ile geliştirme, (2) Santirifuj pompa ile geliştirme, (3) Dalgıç pompa ile geliştirme, (4) Kapaklı ve hava delikli pistonla geliştirme, ve (5) Beiler ile geliştirmedir. Bu geliştirme yöntemlerine ilişkin bilgiler Kraemer ve diğerleri (1991) tarafından sunulmuştur.

Mogan-Eymir gölleri yeraltısuyu gözlem kuyuları

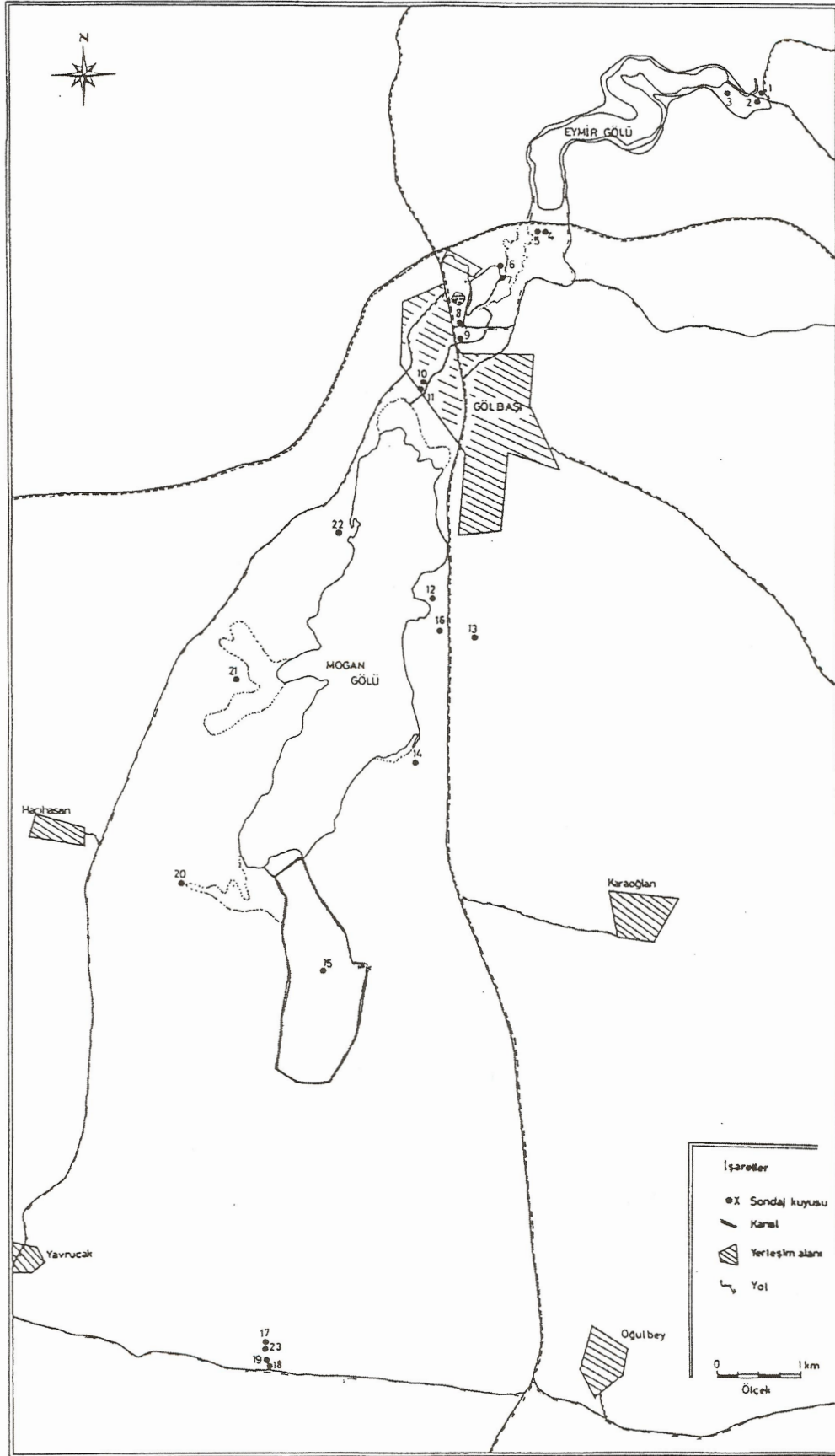
Orta Doğu Teknik Üniversitesi Rektörlüğü ile Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü arasında imzalanan bir protokolle Temmuz 1993-Temmuz 1995 tarihleri arasında yürütülen 'Gölbaşı Mogan-Eymir Gölleri için Su Kaynakları ve Çevre Yönetim Planı Projesi' kapsamında her iki göl civarında D.S.İ. 5. Bölge Müdürlüğü Sondaj Şubesi ekiplerince toplam derinliği 336 m olan 23 adet sondaj yapılmış ve bir tanesi dışında tümü yeraltısuyu gözlem kuyusu olarak techiz edilmiştir. Yeraltısuyu gözlem kuyularının amacı: (1) kuyuların açıldığı yerlerde zemin profillerinin tesbiti, (2) akifer özelliği gösteren litolojik birimlerin hidrolik parametrelerini belirlemek üzere pompa ve beiler deneylerinin yapılması, (3) yeraltısuyu akış hızını ve efektif poroziteyi belirlemek üzere izleme deneylerinin yapılması, (4) yeraltısuyu seviye ölçümlerinin yapılması ve (5) yeraltısuyu kalitesini belirlemek için su örneklerinin alınmasıdır.

Yeraltısuyu gözlem kuyuları Mogan ve Eymir gölleri civarında genelde ince taneli sedimanların egemen olduğu alüvyon

inde açılmıştır (Şekil 7). Sondaj derinlikleri genelde 10-15 m civarında olup, dört lokasyonda ikişer adet değişik derinliklere sahip gözlem kuyuları yanyana açılmıştır. Böylece bu lokasyonlarda farklı derinliklerdeki yeraltı sistemlerinin davranışını izlemek için olanak sağlanmıştır. Sondajlar rotari sondaj tekniği ile açılmış ve uçtan su püskürtmeli rokbit kullanılmıştır. Sirkülasyon sıvısı olarak civarda aynı formasyon içinde bulunan bir kuyunun suyu kullanılmıştır. Techiz çapı 4 inç olan kuyularda sondaj çapı genelde 97/8 inç; 8 inç boru ile techiz edilen kuyularda ise sondaj çapı 12 1/4 inçdir. Böylelikle kuyu cidarı ile techiz borusu arasında kum-çakıl zarfının yerleştirilmesi için gerekli boşluk sağlanmıştır. Sondajlar sırasında sürekli olarak kuyu logları hazırlanmış, tüm litolojik birimler ayrıntılı bir şekilde tanımlanmış ve laboratuvarında elek analizleri için örnekler alınmıştır. Sondajların tamamlanmasından sonra gerekli görülen kuyularda SP ve Rezistivite logları alınmıştır.

Açılan 23 adet sondaj kuyusundan 22 adedi yeraltısuyu gözlemleri için techiz edilmiştir. 12 numaralı sondaj kuyusunda tümüyle yüksek plastisiteli kil kesildiği için techiz edilmemiştir. Yeraltısuyu gözlem kuyularının tasarım detayı Şekil 6'da gösterilmiştir. Tüm gözlem kuyuları PVC boru ve filtre ile techiz edilmiş olup, pompa deneyinin yapılmasına olanak sağlamak amacıyla sadece 17 numaralı kuyuda metal boru ve filtre kullanılmıştır. Techiz sırasında yarık aralıkları 2 mm olan 4 inç ve 8 inç çaplarında PVC filtreli boru kullanılmıştır. Filtrelerin uzunlukları tüm kuyular için 2 m olup, Gölbaşı Belediyesi tarafından çöp sahası olarak kullanılan bölgede konuşturulan 6 ve 7 numaralı kuyularda 3'er metredir. Boruların kuyu içinde merkezlenmesini temin amacı ile, bir tanesi filtrenin üst seviyesinden 0.5 m yükseklikte olmak koşulu ile her 6-7 m de bir merkezleme yayı kullanılmıştır. Kum ve çakıl zarfı kuyunun taban kotundan başlayarak filtrenin üst seviyesinden en az 1 m yüksekliğe kadar yapılmıştır. Kum-çakıl zarfının üst seviyesi ile zemin kotunun 0.5-1 m alt seviyesine kadar kuyu çeperi ile techiz borusu arasında kalan boşluk kil dolgu malzemesi ile doldurulmuştur. Kuyular temiz su ile yıkanarak kompresör ile kuyudan berrak su gelene kadar geliştirilmiştir. PVC techiz borusu merkez olmak üzere kuyubası toprak seviyesinden en az 0.2 m yüksekliğe kadar betonlanmıştır. Kuyubası betonu prizlenmeden önce 65/8 inç çapında metal bir muhafaza borusu PVC boru ile kuyu cidarı arasına, alt seviyesi zemin kotunun en az 0.5 m altında, üst seviyesi PVC borunun üst seviyesinden en az 0.2 m yüksekte olacak şekilde yerleştirilmiştir. Metal muhafaza borusunun ağzı 3 inç çapında maşonla kapatılmıştır. Metal muhafaza borusuna en az dört adet havalandırma deliği açılmış ve boyanarak kuyu numaraları yazılmıştır.

Şekil 7. Mogan-Eymir gölleri yeraltısuyu gözlem kuyuları lokasyon haritası.



Kuyuların tamamlanmasından sonra hidrolik parametreleri ve yeraltısuyu akış hızını belirlemek üzere seçilen kuyularda pompa ve yükselim deneyleri, beiler testleri, ve izleme deneyleri yapılmıştır. Yeraltısuyu gözlem kuyularından su kalitesini belirlemek amacı ile su örneklerinin alınması ve su seviyelerinin ölçülmesi Temmuz 1994'den beri devam etmektedir.

Sonuç

Bu yazıda yeraltısuyu gözlem kuyularının tasarımında ve inşa edilmesinde gözönüne alınması gereken önemli faktörlerden sondaj tekniği, çap, derinlik, teçhiz borusu, filtre, çakılama, tecrit ve geliştirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiş ve Mogan-Eymir gölleri civarında yapılan uygulamalardan örnekler sunulmuştur.

Değinilen Belgeler

Davis, H., Jehn, J., ve Smith, S., 1991, Monitoring well drilling, soil sampling, rock coring, and borehole logging, in Practical Handbook of Ground-Water Monitoring, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, 195-237.

Driscoll, F. G., 1986, Ground water and wells, Johnson Division, UOP, Inc., St. Paul, MN.

Kraemer, C.A., Shultz, J.A., ve Ashley, J. W., 1991, Monitoring well post-installation considerations, in Practical Handbook of Groundwater Monitoring, National Water Well Association, Worthington, Ohio, 236-245.

Nielsen, D. M. ve Schalla, R., 1991, Design and installation of groundwater monitoring wells, in Practical Handbook of Ground-Water Monitoring, Lewis Publishers, Inc., Chelsea, MI, 239-331.

Parker, L.V., Hewitt, A.D., ve Jenkins, T.F., 1990, Influence of casing materials on tracelevel chemicals in well water, Ground Water Monitoring Review, 10 (2), 146-156.

Reynolds, G.W. ve Gillham, R.W., 1985, Adsorption of halogenated organic compounds by polimer materials commonly used in groundwater monitoring, Proceedings of Second Canadian/American Conference on Hydrogeology, National Water Well Association, Dublin, OH, 125-132.