

**T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI**

**YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA
KUYULARININ ÖZELLİKLERİ VE NUMUNE ALMA
ESASLARININ BELİRLENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

HAZIRLAYAN: FEYZA SANCAK

ANKARA, 2014

**T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI**

**YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA
KUYULARININ ÖZELLİKLERİ VE NUMUNE ALMA
ESASLARININ BELİRLENMESİ**

UZMANLIK TEZİ

HAZIRLAYAN: FEYZA SANCAK

**DANIŐMAN:
PROF. DR. MEHMET EKMEKÇİ**

ANKARA, 2014

**T.C. ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
SU YÖNETİMİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

FEYZA SANCAK

**YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA
KUYULARININ ÖZELLİKLERİ VE NUMUNE ALMA
ESASLARININ BELİRLENMESİ**

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. MEHMET EKMEKÇİ

**BU TEZ ORMAN VE SU İŞLERİ UZMAN YÖNETMELİĞİ GEREĞİ
HAZIRLANMIŞ OLUP JÜRİMİZ TARAFINDAN UZMANLIK TEZİ
OLARAK KABUL EDİLMİŞTİR.**

TEZ JÜRİSİ BAŞKANI: PROF.DR. CUMALİ KINACI.....

ÜYE: HÜSEYİN AKBAŞ

ÜYE: MARUF ARAS

ÜYE: MERTKAN ERDEMLİ

ÜYE: TANER KİMENÇE

ANKARA 2014

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanma sürecinde desteklerini esirgemeyen başta tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ'ye ve mesai arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Kasım 2014

Feyza SANCAK

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	ii
1. GİRİŞ	1
2. YERALTISULARI	3
2.1 Yeraltısularından Numune Alma	4
2.2 Yeraltısularından Temsil Edici Numune Alma.....	7
3. SU KUYULARI.....	9
3.1 Sığ Kuyular	11
3.1.1 Kazma Kuyular	11
3.1.2 Burgu İle Açılan Kuyular.....	13
3.1.3 Çakma Kuyular	13
3.1.4 Enjeksiyon İle Açılan Kuyular.....	15
3.2 Derin Kuyular	16
3.2.1 Kablolü Sondaj (Darbeli)	16
3.2.2 Düz Sıvı Devirli Döner Sondaj Metodu.....	18
3.2.3 Ters Sıvı Devirli Döner Sondaj Metodu	19
3.2.4 Havalı Döner Sondaj Metodu	20
3.2.5 Döner Darbeli Sondaj Metodu	20
3.3 İzleme Ağında Yer Alan Kuyular	23
3.3.1 Piyezometreler	23
3.3.2 Gözlem Kuyuları.....	24
3.3.3 İzleme Kuyuları.....	25
3.3.3.1 Tek Borulu İzleme Kuyuları	25
3.3.3.2 Çok Katmanlı İzleme Kuyuları	27
4. SU ÇERÇEVE DİREKTİFİ VE İLGİLİ TEKNİK DOKÜMANLARA GÖRE YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA VE KUYU SEÇİMİ.....	33
4.1 Su Çerçeve Direktifi	33
4.1.1 Yeraltısuyu İzlemesi	33
4.1.2 Numune Alma.....	35
4.2 Yeraltısularından Numune Alınmasına İlişkin Teknik Dokümanlar	35
4.2.1 Su Çerçeve Direktifi Kapsamında İzlemeKılavuzu (No:7).....	35

4.2.1.1 Numune Alma Planı.....	35
4.2.1.2 Numune Alma Metotları.....	36
4.2.1.3 Numune Depolama ve Nakliyat.....	36
4.2.1.4 Numune Tanımlama ve Kayıtlar.....	36
4.2.2 Yeraltısuyu İzleme Kılavuzu (No:15).....	37
4.2.2.1 Numune Alma ve Analiz Yöntemleri.....	37
4.2.2.2 İzleme Verilerinin Kalitesini Sağlama.....	38
4.3 Yeraltısuyu Numune Alma Kuyularının Seçimi.....	41
5. İZLEME KUYULARI AĞ TASARIMI.....	46
5.1 Hidrojeolojik Özellikler.....	47
5.2 Kirlenici Özellikleri.....	52
5.3 Kuyu Sayısı.....	56
5.4 Kuyu Konumları.....	56
5.4.1 Düşey Kuyu Yerleşimi.....	56
5.4.2 Yatay Kuyu Yerleşimi.....	58
5.5 Akış Aşağı Kuyuların Yerleşimi.....	60
5.5.1 Kirlilik Kaynağına Bağlı Akış Aşağı Kuyu Yerleşimi.....	60
5.5.2 Kuyular arası uzaklık.....	64
5.6 Arka Plan İzleme Kuyularının Yerleşimi.....	64
5.6.1 Konum.....	64
5.6.2 Kuyu Sayısı.....	65
6. YERALTISULARINDAN NUMUNE ALINMASI İLE İLGİLİ ULUSAL STANDARTLARIN VE MEVZUATIN İNCELENMESİ.....	66
6.1 Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu (TS ISO 5667-11).....	66
6.1.1 Numune Alma Malzemeleri.....	67
6.1.2 Numune Cihazları.....	68
6.1.3 Numune Alma Yerinin Seçimi.....	69
6.1.4 Numune Alma Sıklığı.....	70
6.1.5 Numune Alma Metodunun Seçimi.....	70
6.1.6 Numunelerin Muhafazası, Kararlı Hale Getirilmesi ve Taşınması.....	72
6.1.7 Numunenin Tanıtım ve Kaydı.....	73
6.1.8 Güvenlik Tedbirleri.....	74
6.2 Kirlenmiş Sahalardaki Yeraltısuyundan Numune Alma Kılavuzu (TS ISO 5667-18).....	75
6.2.1 Numune Alma Yerlerinin Seçimi.....	76
6.2.2 Numune Alma Sıklığı.....	78
6.2.3 Doymamış Bölgenin İzlenmesi.....	79

6.2.4 Doymuş Bölgenin İzlenmesi.....	82
6.2.5 Numune Alma Donanımları.....	85
6.2.6 Numune Alma Donanımı Yapı Malzemeleri	87
6.2.7 Kuyu Temizleme ve İyileştirme.....	89
6.2.8 Serbest Fazlı Kirleticilerden (SFYS ve SFHS) Numune Alma.....	90
6.2.9 Numune Alma İşlemi Sonrası Prosedür.....	90
6.3 Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi (TS 9359).....	92
6.3.1 Genel Kurallar.....	92
6.3.2 Numune Alma Ekipmanları	94
6.3.3 Kuyu Temizleme.....	98
6.3.4 Numunenin Muhafazası, Taşınması ve Raporlanması.....	99
6.4 Türkiye’de Yeraltısularından Numune Alma Mevzuatı	104
7. YERALTISULARINDAN NUMUNE ALINMASI İLE İLGİLİ ULUSLARARASI STANDARTLARIN İNCELENMESİ	105
7.1 Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Almak İçin Standart Kılavuz (ASTM D4448-01).....	105
7.1.1 Kuyu Tahliyesi.....	105
7.1.2 Malzemeler ve İmalat.....	108
7.1.3 Numune Alma Cihazları	113
7.1.4 Aşgari Temizleme, Ayrık Derinlik ve Pasif Numune Alma	124
7.1.5 Numune Kapları ve Muhafaza	125
7.2 Yeraltısularından Numune Alma Rehber Kılavuzu (EPA/600/2-85/104)	130
7.2.1 Hidrojeolojik Durum ve Numune Alma Sıklığı.....	130
7.2.2 Kuyu Tahliye Stratejileri.....	131
7.2.3 Parametre Seçimi	134
7.2.4 Numune Alma Yöntemleri ve Malzemeleri.....	137
7.2.4.1 Numune Alma Malzemeleri.....	137
7.2.4.2 Numune Alma Yöntemleri.....	141
7.2.5 Numune Alma Protokolü	147
7.3 Çevresel Alan Karakterizasyonu İçin Doğrudan-İtmeli Yeraltısuyu Numune Alma Standart Kılavuzu (ASTM D6001-05).....	150
7.3.1 Metodun Kullanımı ve Önemi	151
7.3.2 Ekipman	153
7.3.3 Kirlilik Giderme.....	160
7.3.4 Artırmalı Sondaj ve Numune Alma	161
7.3.5 Numune Alma.....	162

7.3.6 Tamamlama ve Ayrılma.....	164
7.3.7 Saha Raporu.....	169
8. YERALTISULARINDAN NUMUNE ALINMASI HAKKINDA MEVZUATA	
TEMEL OLUŞTARACAK TEBLİĞTASLAĞI.....	171
8.1 Amaç.....	171
8.2 Kapsam.....	171
8.3 Hukuki Dayanak.....	171
8.4 Tanımlar.....	171
8.5 Numune Alma, Taşıma, Saklama ve Korumaya İlişkin Genel Hükümler.....	172
8.6 Yeraltısuyundan Kimyasal Analiz İçin Numune Alma Şartları.....	173
9. SONUÇLAR.....	175
KAYNAKLAR.....	178
EKLER.....	184

KISALTMALAR

ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EPA	: Çevre Koruma Ajansı
FEP	: Florlanmış Etilenpropilen
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilâtı
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
PVC	: Polivinilklorür
PTFE	: Politetrafloroetilen
SÇD	: Su Çerçeve Direktifi
SFHS	: Susuz Fazlı Hafif Sıvılar
SFS	: Susuz Fazlı Sıvılar
SFYS	: Susuz Fazlı Yoğun Sıvılar
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TOK	: Toplam Organik Karbon
TOX	: Toplam Organik Halojen
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1: Kuyu açma metotları ve uygulamaları	10
Çizelge 4.1: Numune alma kuyularının özellikleri.....	44
Çizelge 6.1: Yeraltısuyu numune alma adımları	77
Çizelge 6.2: Toprak ve kaya numunesi alma yöntemleri	80
Çizelge 6.3: Gözenek sıvılarından numune alma cihazlarının karşılaştırması	81
Çizelge 6.4: İzleme noktası tesislerinin avantaj ve dezavantajları	83
Çizelge 6.5: Yeraltısuyu değişkenleri için numune alma cihazları	85
Çizelge 6.6: Sondaj kuyu donanımlarında kullanılan yapı malzemeleri	88
Çizelge 6.7: Yeraltısuyu izlemesi için muhafaza kapları ve koruma şartları	100
Çizelge 7.1: Numune alma ekipmanlarını seçiminde malzeme değerlendirmesi.....	109
Çizelge 7.2: Yeraltısuyu izleme parametreleri için numune alma prosedürleri	127
Çizelge 7.3: Araştırmacı izleme için önerilen parametreler	136
Çizelge 7.4: Numune alma uygulamalarında sert malzemeler için öneriler.....	137
Çizelge 7.5: Numune alma uygulamalarında esnek malzemeler için öneriler	139
Çizelge 7.6: Yeraltısuyu numune alma mekanizması performans değerlendirmesi. 141	
Çizelge 7.7: İzleme programları için önerilen numune alma yöntemleri	142
Çizelge 7.8: İzleme programları için önerilen numune alma hacimleri ve koruma yöntemleri	144
Çizelge 7.9: Genelleştirilmiş yeraltısularından numune alma protokolü	146
Çizelge 7.10: Yeraltısuyu numune alma tutanağı örneği.....	148
Çizelge 8.1: Numune alma tutanağı	176
Çizelge 8.2: Arazi kullanım formu	177

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 : Akifer çeşitleri.....	3
Şekil 2.2 : Aynı yeraltısuyu sisteminde farklı katmanlar	4
Şekil 2.3: Bir örnekleme planında dikkat edilmesi gereken öğeler	5
Şekil 2.4: Veri yoğunluğu dağılımı	8
Şekil 3.1: Kazma kuyusu	12
Şekil 3.2: Kuyu açma burguları	13
Şekil 3.3: Çakma kuyu.....	15
Şekil 3.4: Çakma kuyu açma düzeneği	15
Şekil 3.5: Enjeksiyon ile açılan kuyu	16
Şekil 3.6: Kablolü (darbeli) sondaj düzeneği	15
Şekil 3.7: Düz sıvı devirli döner sondaj	19
Şekil 3.8: Dairesel bir kollektör kuyu.....	21
Şekil 3.9: Başlıca kuyu tipleri.....	23
Şekil 3.10: Derinliğe özgü kısa filtreli kuyu.....	26
Şekil 3.11: Bütünleşik derinlikli kuyular	27
Şekil 3.12: İç içe izleme kuyusu ile kümeli izleme kuyusu düzeneği	29
Şekil 3.13: Çok seviyeli filtrelere sahip izleme kuyusu	30
Şekil 3.14: Kuyu filtrelerinin akiferdeki gerçek konsantrasyonu tespit etme ölçüsü	31
Şekil 5.1: Tünek akifer boyunca kirlenici madde ve akışkanların hareketi.....	48
Şekil 5.2: Kırık yapı boyunca kirlenici göçü için çoklu yollar.....	49
Şekil 5.3: Karstik araziye kurulan izleme kuyuları	50
Şekil 5.4: Yeraltısuyu ayırımına göre izleme kuyusu yerleşimi.....	51
Şekil 5.6: Yoğun ve çözünür bir kirlenicinin yeraltında yayılımı	53
Şekil 5.7: Düşük yoğunluklu, çözünür bir kirlenicinin yeraltında yayılımı	54
Şekil 5.8: Bir susuz fazlı yoğun sıvının yeraltında yayılımı.....	54
Şekil 5.9: Düşük yoğunluklu, susuz fazlı sıvının yeraltında yayılımı	55
Şekil 5.10: Doymuş bölgenin kalınlığına bağlı yerleştirilmiş kümeli kuyular	58
Şekil 5.11: Gölet sızıntısı ve ilişkili su tablası tümseği	61
Şekil 5.12: SFYS'nin geçirimsiz tabaka boyunca taşınımı	62
Şekil 5.13: Tehlikeli atık yönetim sınırına yerleştirilmiş akış aşağı kuyular	63
Şekil 5.14: Akış yukarı ve akış aşağı kuyuların saha yerleşimi	65
Şekil 6.1: Yeraltısularından numune alma raporu örneği	74
Şekil 6.2: Numune alma sıklığını hesaplama nomogramı	79
Şekil 6.3: İzleme tesislerinin büyük tipleri	83
Şekil 7.1: Sürekli-akış ölçer	108
Şekil 7.2: Tek kontrol vanalı bailer kova.....	113
Şekil 7.3: Çift kontrol vanalı bailer kova.....	113
Şekil 7.4: Diyaframlı pompa.....	116
Şekil 7.5: Emme pompa.....	117
Şekil 7.6: Dalgıç pompa	120
Şekil 7.7: Gaz deplasmanlı pompa	122
Şekil 7.8: Farklı geçirgenlikler için zamana karşı akifer suyu yüzdeleri	132
Şekil 7.9: Açık –filtreli numune alıcı	155
Şekil 7.10: Basit bir koruma filtreli numune alıcı	157
Şekil 7.11: Sürtünme redüktörleri içinde delikler arasından tecrit	167
Şekil 7.12: Tremi boru.....	168
Şekil 7.13: Çubuklar ve yapay uçlarla yeniden giriş tecriti.....	169

YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA KUYULARININ ÖZELLİKLERİ VE NUMUNE ALMA ESASLARININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Türkiye, Avrupa Birliğine (AB) üyelik sürecinde su ve çevre konularındaki AB mevzuatına uyum çalışmaları kapsamında ulusal mevzuatını uyumlaştırma sürecindedir. AB müktesebatının en önemli direktifi olan 2000/60/EC sayılı Su Çerçeve Direktifi (SÇD) tüm suların (iç sular, geçiş suları, kıyı suları, yeraltısuyu) korunmasına yönelik bir çerçeve çizmektedir. Direktif, yeraltısularının izlenmesi, izleme programlarının hazırlanması ve izleme çalışmaları kapsamında numuneler alınmasına yönelik esasları ortaya koymaktadır. Bu çerçevede, Türkiye'nin SÇD'yi kendi mevzuatına aktarması ve uygulaması çalışmaları devam etmektedir.

Bu çalışmada, yeraltısuları numune alma kuyularının belirlenmesi ve numune alma faaliyetlerine esas teşkil etmesi amacıyla TSE, ISO, ASTM, USGS ve EPA standartları gibi ulusal ve uluslararası geçerlilikteki standartlar ve düzenlemeler incelenmiştir. Bu kapsamda, numune alma, taşıma ve koruma prosedürlerinin oluşturulması ile ilgili detaylı bir çalışma ortaya konulmuştur. AB müktesebatına göre yeraltısuyu numune alma kuyuları ve numune alma esasları ile ülkemiz mevcut durumunu ortaya koyan bir boşluk analizi yapılarak eksiklikler belirlenmiş ve bu eksikliklerin giderilmesine yönelik öneriler sunulmuştur. Elde edilen bilgiler ışığında, ülkemizin coğrafi ve jeolojik koşullarına uygun bir yeraltısuyu numune alma tebliği hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu, numune alma, izleme, numune alma kuyusu

DETERMINATION OF PROPERTIES OF GROUNDWATER SAMPLING WELLS AND SAMPLING BASIS

ABSTRACT

At the process of membership of European Union (EU), Turkey has been in position that nation legislations on water and environment to be adapted. The water framework directive (WFD) for water (2000/60/EC), as the most important directive of EU acquis, creates a framework for protection of all kinds of waters such as inland surface waters, transitional waters, coastal waters and groundwaters. The directive set forth the essential issues of monitoring groundwater, getting monitoring programs and water sampling. On this context, adaptation and application of WFD to national legislation of Turkey have been continued.

In this study, in order to get the essential issues on determination of water sampling wells and water sampling procedures proposed by the national and international regulations issued by TSE, ISO, ASTM, USGS and EPA have been investigated. A gap analysis which presents fundamentals of groundwater sampling and sampling wells in accordance with the EU acquis and current situation of our country is performed to identify shortcomings and recommendations are presented for the elimination of these shortcomings. A detailed work about sampling, transportation and preservation procedures has been put forward and a groundwater sampling protocol which is suitable for geographical and geological formations of our country has been prepared.

Key Words: Groundwater, groundwater sampling, monitoring, sampling well

YÖNETİCİ ÖZETİ

2000 yılında yürürlüğe giren 2000/60/EC sayılı Su Çerçeve Direktifi, yeraltısularının miktar ve kalite açısından iyi duruma getirilmesini hedeflemektedir. Direktif, bu hedefe ulaşabilmek için izleme ağıyla yeraltısularının izlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Direktife göre, izleme faaliyetlerinin temel unsuru olan numune alma işlemleri için üye ülkeler bilimsel kalite verileri elde edilmesini sağlayacak ulusal ve uluslararası standartları kullanmalıdır. Avrupa Birliği'ne aday ülke statüsünde olan Türkiye için de bu gerekliliklerin yerine getirilmesi zorunludur.

Türkiye'de birçok kurum/kuruluş tarafından yeraltısuyu miktar ve kalitesinin izlenmesine yönelik numune alma faaliyetleri gerçekleştirilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü yeraltısularının miktar ve kalite açısından izlenmesi çalışmalarını yürütmektedir. Buna ilaveten, Sağlık Bakanlığı içme suyu elde etmek üzere kullanılan yeraltısularının kontrolü amacıyla; Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı ise tarımsal kirliliğin etkilerini araştırmak amacıyla yeraltısularından numune alıp analiz etmektedir. Birçok kurum ve kuruluş tarafından farklı zamanlarda, farklı amaçlar ve farklı numune alma metotları ile yeraltısuyunun izlenmesi, elde edilen verilerin doğruluğu üzerindeki görüşlere şüphe düşürmektedir. Bu kapsamda, yeraltısuyu numune alma kuyularının genel özellikleri ve numune alma işlemlerine yönelik standardizasyonun sağlanması amacıyla bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında, yeraltısularından numune alımına ilişkin ulusal ve uluslararası standartlar incelenmiştir. İncelenen ulusal standartlar şunlardır:

- 1997 tarihli “Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu” (TS ISO 5667-11)
- 2004 tarihli “Kirlenmiş Sahalardaki Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu” (TS ISO 5667-18)
- 1991 tarihli “Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi” (TS 9359)

Yeraltısularından numune alımına ilişkin incelenen uluslararası standartlar ise şunlardır:

- “Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Almak İçin Standart Kılavuz” (ASTM D4448-01),
- “Yeraltısularından Numune Alma Rehber Kılavuzu” (EPA/600/2-85/104)
- “Çevresel Alan Karakterizasyonu İçin Doğrudan-İtmeli Yeraltısuyu Numune Alma Standart Kılavuzu” (ASTM D6001-05)

Ülkemizde numune alma faaliyetlerini düzenlemek üzere 10.10.2009 tarihli ve 27372 sayılı “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” bulunmaktadır. Ancak bu tebliğ, temsil edici yeraltısuyu numune alımlarına yönelik ihtiyaçları tam olarak karşılayamamaktadır. Bu bağlamda, SÇD yeraltısuyu izleme gerekliliklerini yerine getirmek üzere, yeraltısularından numune alımına ilişkin bir tebliğ taslağı hazırlanmıştır. Taslak tebliğ ile yeraltısuyu numune alma faaliyetlerinin SÇD gerekliliklerine göre yerine getirilmesi amaçlanmaktadır.

Akiferi temsil eden yeraltısuyu numunelerinin alınabilmesi için, izleme programları oluştururken kavramsal model bilgileri dikkate alınarak numune alma kuyuları seçilmelidir. Ülkemizde yeraltısuyu kütlelerinin belirlenmesi çalışmaları devam etmektedir. Yeraltısuyu kütlelerinin belirlenmesine müteakip hazırlanacak olan izleme programlarında yer alacak izleme kuyularının seçimi/kurulumunda dikkat edilmesi gereken hususlar detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, yeraltısuyu izleme kuyularının seçimi ve numune alma faaliyetlerine yönelik Avrupa Birliği müktesebatı gereklilikleri ile ülkemizdeki mevcut durumun i değerlendirilmesi ortaya konularak, bu değerlendirme sonucunda tespit edilen eksikliklerin giderilmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Canlılar için vazgeçilmez bir kaynak olan su, sınırlı olması ve stratejik değere sahip olmasından dolayı gün geçtikçe önemini artırmaktadır. Dünya nüfusunun hızla gelişmesi ile suya olan talebin artması, yeraltısuları ile yüzeysel suların aşırı tüketimi sonucunu doğurmuştur. Yeryüzündeki tatlı su kaynağının önemli bir kısmını (yaklaşık % 22) oluşturan ve görünmez kaynak olarak da bilinen yeraltısularının sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi önem arz etmektedir.

Dünyanın kuraklık ve su sorunu ile karşı karşıya olduğu bu dönemlerde içme ve kullanma suyu olarak kullanılan ve oldukça geniş bir alana dağılmış bulunan yeraltısuları büyük bir potansiyel kaynak olup, ülkemizde gittikçe önemi artan su problemi ve kuraklık sorununa çözüm oluşturabilecek niteliktedir. Bu doğrultuda, yeraltısuyu kaynaklarını korumak ve sürdürülebilir bir şekilde yönetimini sağlamak amacıyla yeraltısuyu miktar ve kalitesini izlemeye yönelik izleme programlarının oluşturulması gerekmektedir. İzleme programlarının etkin bir şekilde yürütülmesinde yapı taşlarından birisi de izlemeye uygun kuyuların belirlenmesi ve temsil edici numunelerin alınmasıdır.

Temsil edici yeraltısuyu numunelerinin alınmasında, sahadaki işlemlerin standartlara uygun bir şekilde yapılması kadar numune alınacak kuyuların doğru seçimi de oldukça önemlidir. İzleme programında yer alacak kuyuların seçiminde izlemenin amacı, hidrojeolojik/jeolojik özellikler, kirletici özellikleri ve bütçe gibi birçok unsur etkili olmaktadır.

Yeraltısularına yönelik miktar ve kalite açısından çok sayıda veri ve gözlem bulunmasına karşın bu veri ve gözlemlerin kullanılabilirliği oldukça düşüktür. Farklı kurum/kuruluş ve üniversiteler kendi amaçları doğrultusunda gözlem, ölçüm, numune alma ve analiz yapmakta olup, yeraltısuyunun miktar ve kalitesine ilişkin veriler üretmektedir. Bu verilerin kullanılabilirliği ölçüm ve numunelerin temsil ediciliği ile ölçüm ve numune alma yöntemiyle doğrudan ilişkilidir. Türkiye’de sistematik bir izleme ağı bulunmadığı gibi her bir kurum ve kuruluş tarafından farklı ölçüm ve numune alma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle, elde edilen verilerin kullanılabilirliği sadece o nokta ve o an için geçerli olabilmektedir. Buda iş

gücü, maliyet ve zaman kaybına neden olmaktadır. Bu kayıpların önlenerek sürdürülebilir bir yeraltısuyu yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için, ölçüm ve numune alma faaliyetlerinin belirli bir standarda uygun bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Su Çerçeve Direktifi, yeraltısularından numune alınmasına ilişkin uluslararası veya denk bilimsel kalite verileri elde edilmesini sağlayacak diğer ulusal ve uluslararası standartların kullanılması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, yeraltısularından numune alınması ile ilgili gerek ulusal gerekse de uluslararası standartların ayrıntılı olarak incelenerek, ülkemizdeki yeraltısularından numune alma çalışmalarına altlık teşkil edecek ulusal nitelikte bir kılavuza ihtiyaç duyulmaktadır.

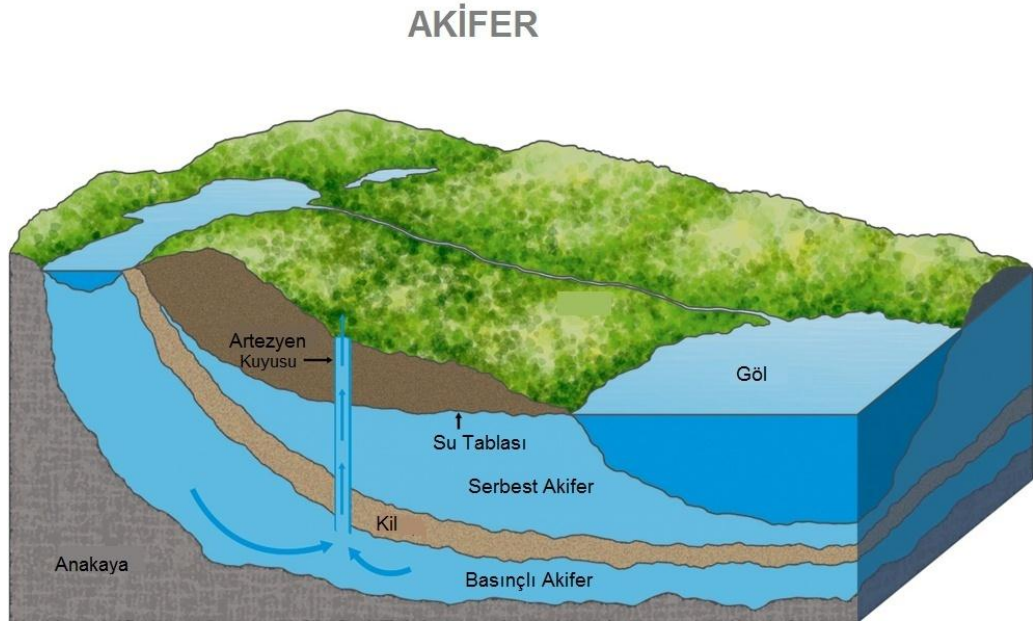
Bu anlayışla hazırlanan tezde, yeraltısuyu kalitesinin izlenmesine yönelik yeraltısuyu numunelerinin toplanmasından başlayıp, arazi ölçümleri, koruma, taşıma ve laboratuvara ulaşmasına kadar geçen aşamalarda gerçekleşen işlem ve düzenlemeleri içeren ulusal ve uluslararası standartlar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Öncelikle ülkemizdeki yeraltısularından numune alma standartları, daha sonra da uluslararası standartlar ele alınmıştır. Bu kapsamda, 1997 tarihli “Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu” (TS ISO 5667-11); 2004 tarihli “Kirlenmiş Sahalardaki Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu” (TS ISO 5667-18) ve 1991 tarihli “Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi” (TS 9359) incelenmiştir. Ayrıca “Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Almak İçin Standart Kılavuz” (ASTM D4448-01), “Çevresel Alan Karakterizasyonu İçin Doğrudan-İtmeli Yeraltısuyu Numune Alma Standart Kılavuzu” ve “Yeraltısularından Numune Alma Rehber Kılavuzu” (EPA/600/2-85/104) incelenmiştir.

Bu bilgiler ışığında, numune alma kuyularının seçimi ve yeraltısularından numune alınmasına yönelik AB Müktesebatı gereklilikleri ile ülkemizdeki eksiklikler ortaya konularak bu eksikliklere yönelik çözüm önerileri sunulmuş ve yeraltısularından numune alınması hakkında mevzuata temel oluşturacak bir tebliğ taslağı hazırlanmıştır.

2. YERALTISULARI

Yeryüzüne düşen yağışların topraktan sızıp gözenekli yapılardan geçerek geçirimsiz bir tabakada birikmesiyle yeraltısuları oluşur. Akifer ise yeraltısuyunu depolayan ve bu suyu ileten jeolojik formasyondur.

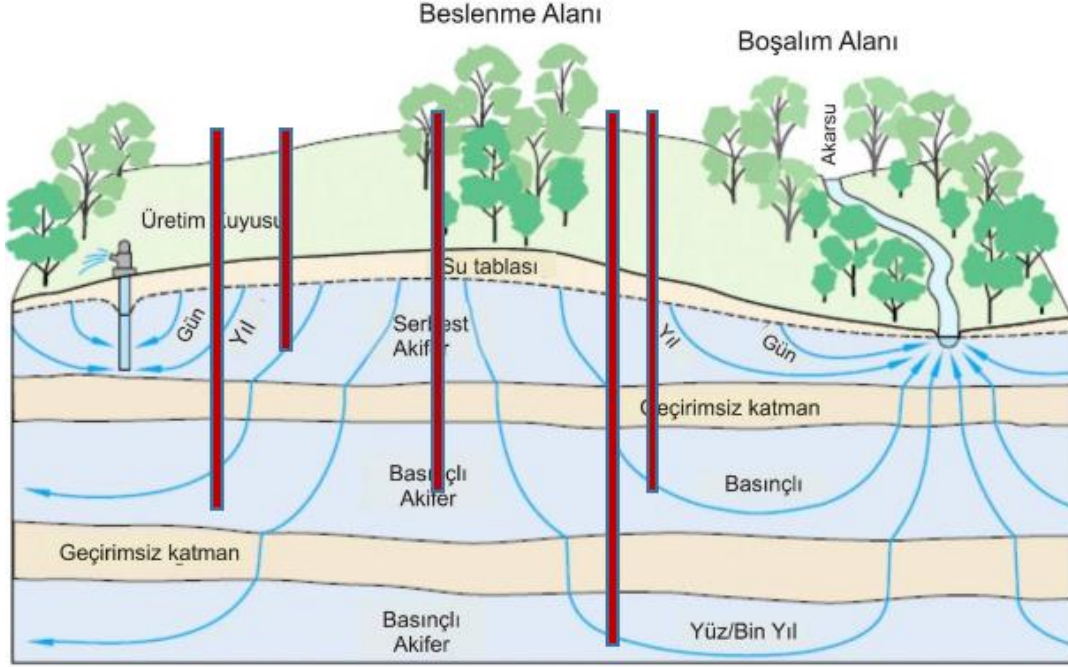
En çok bilinen akifer çeşitleri basınçlı, serbest (basınçsız) ve sızıntılı akiferdir. Basınçlı akifer, alttan ve üstten geçirimsiz katmanlarla sınırlandırılmış birimdir. Artezyen kuyusu ise basınçlı akiferdeki yeraltısuyunun su katmanını delmesi veya sondaj işlemiyle çıkartılmasıyla oluşur. Serbest akifer, alttan geçirimsiz üstten su tablası ile çevrili olan birimdir. Akiferdeki su atmosferik koşullara açık olduğu için atmosferik basınçla dengededir. Sızdıran akifer (yarı basınçlı akifer), alt ve üst katmanlardan en az birinde sızma olması durumunda oluşur.



Şekil 2.1: Akifer çeşitleri (Nationalgeographic, 2014)

Yeraltısuyu kimyasal içeriği, suyun kayalardaki mineraller ile etkileşime geçmesi sonucunda oluşur veya değişikliğe uğrar. Yeraltısuyu kimyasını etkileyen doğal süreçlerin yanı sıra insani faaliyetlerden kaynaklanan kirlilikler de yeraltısuyu kalitesini ciddi oranda etkilemektedir. Bu nedenlerden ötürü yeraltısuyu kalitesini gözlemlemek ve yeraltısularının kirlenmesini önlemek amacıyla numune alma faaliyetleri gerçekleştirilmektedir (Doğdu, 2009).

Numune alma işleminin hangi tür akiferden yapılacağıının bilinmesi kirleticilerin kısa vadeli veya uzun vadeli taşınımı tespit etmek açısından oldukça önemlidir.



Şekil2.2: Aynı yeraltısuyu sisteminde farklı katmanlar.

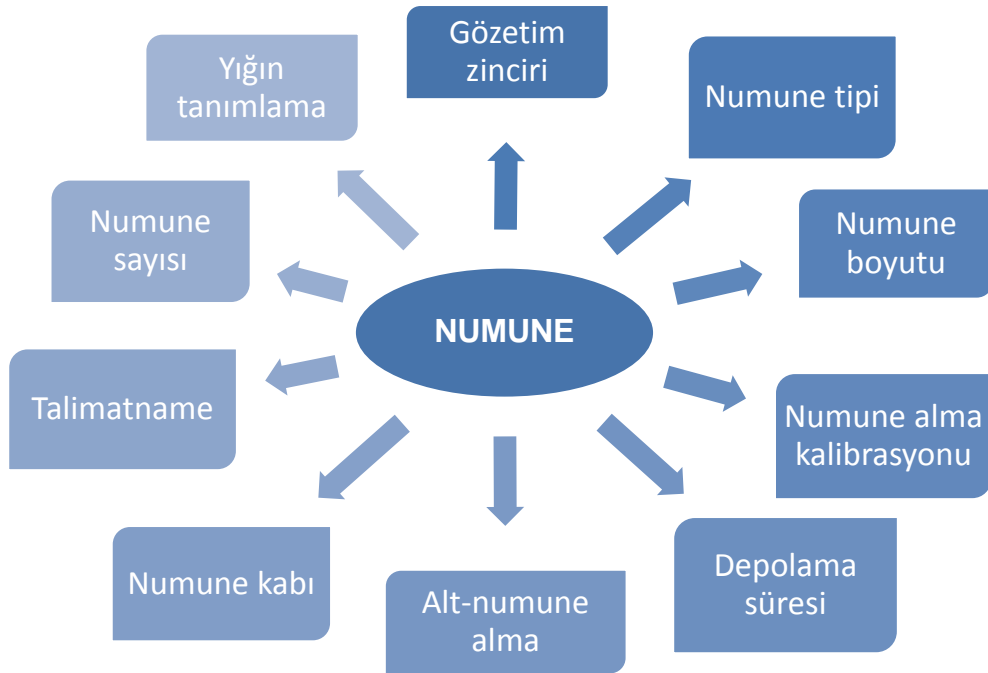
2.1 Yeraltısularından Numune Alma

Numune alma işlemi (örnekleme), laboratuvara uygun bir şekilde taşınmak ve analiz edilmek üzere yeterli hacimdeki malzemenin belli bir kısmının toplanmasını içeren bir süreç olarak tanımlanabilir. Pek çok insan analizinin numunenin laboratuvara ulaşmasıyla başladığını düşünür. Ancak, numune alma analitik sürecin ayrılmaz bir parçasıdır ve bu nedenle analiz işlemi numune alma ile başlar. Numune alma bazı durumlarda özellikle eser miktardaki kirlilik ölçümlerinde, tüm analitik süreçten kaynaklanan hatayı temsil eder. Bağlı hata, numune almaya bağlı mutlak olası hata, numune alma hazırlığı ve enstrümantal analiz matristen matrise farklılık gösterir ve büyük ölçüde analitlerin konsantrasyon aralığına bağlıdır. Genel manada, enstrümantal analizden kaynaklanan olası hata nispeten düşüktür.

Numune alma işlemine başlamadan önce numune almanın ve ölçümün amacı belirlenmelidir. Numune alma programı planlayıcılarının ve analitik bilim

adamlarının tüm ölçüm prosedürünü (numune alma aşaması da dahil) optimize etmesi gerekir. Analizin amacı belirlendikten sonra, bir numune alma planı hedefe ulaşmak için geliştirilmelidir. Bu plan aşağıdaki hususları içeren bir protokol (talimatname) olarak yazılmalıdır (Şekil :2.3):

- Numunelerin nerede, ne zaman nasıl toplanacağı
- Numune alma cihazları (bakım ve kalibrasyonu da dahil)
- Numune kapları (temizleme, stabilizatör ilavesi ve depolamayı da içeren)
- Numune-işleme prosedürleri (örneğin, kurutma, karıştırma)
- Alt-numune alma prosedürleri
- Numune kayıt tutma (örneğin, etiketleme, kayıt bilgisi, yardımcı bilgi ve gözetim zinciri gereksinimleri)



Şekil 2.3: Bir numune alma planında dikkat edilmesi gereken öğeler (Madrid vd, 2007)

Numune alma planı, analizin amacına göre ve arazinumune alma faaliyeti gerçekleştirilmeden önce yazılmalıdır. Numune alma planının geliştirilmesi birçok avantaj sağlamaktadır:

- Yapıcı düşünmeyi zorlar ve yorum, öneri ve değerlendirmeye teşvik eder
- Personel çalışmasında olası bir yanlışlık, yanlış anlama veya problem varsa düzeltir
- Numune alan personele kılavuz ve talimatname sunar
- Kalite güvence için çeşitli belgeler sağlar (Madrid vd, 2007)

Yeraltılarından numune alma, saha karakterizasyonu programlarının temel bir parçasıdır. Kirlenmiş toprak ile yeraltısu ölçüm ve değerlendirmesi kapsamında, yeraltısu numuneleri şu amaçla alınır: belirli bir kullanım için (örneğin, içme veya endüstriyel), kaynak ve kirlilik değerlendirmesi, iyileştirme programlarının dizaynı ve performans değerlendirmesi, varlık değeri, uzun dönem izleme gereksinimlerine yönelik kimyasal ve mikrobiyolojik analizler. Daha geniş manada, yeraltısu numuneleri su kaynaklarının değerlendirilmesi ve geliştirilmesi için de gereklidir. Bunlara ek olarak, yeraltısu kimyası yeraltısu akış sistemi (örneğin, farklı akiferler arası ilişki gibi), akifer yeniden dolun süreci ile yeraltı ve yüzey su kütleleri arasındaki etkileşimler hakkında önemli bilgiler sağlayabilir (Thornton vd, 2008).

Yeraltısu ölçüm, numune alma ve analiz sonuçlarının yorumlanmasıyla elde edilen bilgiler özetle şu konularda bilgi sağlar:

- Akiferler arası hidrolik bağlantının ve sızıntıların belirlenmesi,
- Yeraltısu hareket ve akış modellerinin değerlendirilmesi,
- Yeniden dolun ve boşalım mekanizmasının anlaşılması,
- Yüzey suyu ve yeraltısu bağlantısının belirlenmesi,
- Kirlenici taşınımının tespiti,
- Yeraltısu bağımlı ekosistemlerin tanımlanması ve değerlendirilmesi,
- Yeraltısu kimyası ve akış modellerindeki evrimin ve yeraltısu kalitesi değişikliklerindeki olası nedenlerin anlaşılması,

- Bölgesel yeraltısuyu miktarı ve kalitesi üzerinde arazi kullanımı, sulama ve yeraltısuyu çekimlerinin etkisinin değerlendirilmesi (USEPA, 1985).

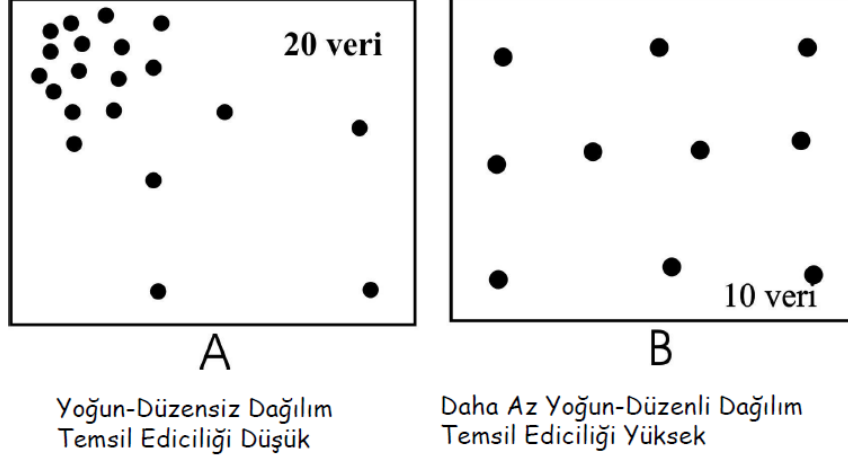
Etkili bir yeraltısuyu numune alma programının geliştirilip uygulanabilmesi için temsil edici yeraltısuyu numunelerinin toplanması ile analizlerden elde edilen veri kalitesini etkileyebilecek çeşitli faktörler göz önünde bulundurulmalıdır. Veri kalitesi hedefi, ilk numune alımından son analize kadar geçen numune alma sürecinin herhangi bir aşamasında ortaya çıkan sapmadan olumsuz etkilenebilir. Yeraltısuyu kalite verilerinde ortaya çıkan bu hatalar genelde, laboratuvarında yapılan analizlerden çok sahada numune alma esnasında uygulanan prosedürlerden kaynaklanmaktadır. Bu hatalar, izleme kuyu hidroliği ve formasyonu, izleme kuyusu yerleşimi, tasarımı, montaj ve bakımı, kuyu tahliye yöntemleri, tahliye ve numune alma cihaz seçimi ve işletimi ile numunenin toplanması, ön işleme tabi tutulması ve taşınmasıyla ilişkilidir. Bu kaynaklardan gelen hataların büyüklüğü değişebilir ve her durum için geçerli olmayabilir (Thornton vd, 2008).

2.2 Yeraltısularından Temsil Edici Numune Alma

Kimyacılar, doğal su numunelerinden temsili analitik sonuçlar elde etme konusunda yaşanan zorluklarla onlarca yıldır mücadele etmektedir. Diğer taraftan, istatistikçiler temsil edici numunelerin özelliklerine ilişkin kesin görüşlere sahiptir. İstatistiksel olarak temsil edici bir numune, bir serinin ortalama özelliklerine sahip bir dizinin alt kümesidir. Temsil edici numune alma ve kontrollü analitik tayinlerin sonuçları, numune alma zamanında yerinde (in situ) koşulunun doğru bir ölçümünü sağlar (USEPA, 1985).

Numune alma anında ve mevkiindeki yeraltısuyu koşullarını yansıtan yerinde (in situ) temsili numunelerin toplanması, yeraltısuyu kalitesinin izlenmesinde anahtar görevi görür. Bu durum, yeraltısuyu numunesinin kimyasal ve mikrobiyolojik özelliklerinin numune alma noktasının yanındaki akiferi de yansıttığı anlamına gelir. Yeraltısuyu numune alma faaliyeti genelde belirli bir sahanın yeraltısuyu kalitesi ölçümlerinin düzenleyici standartlara uygunluğunu teyit etmek için yapılmaktadır. Bu durumda, numune alma işlemi yeraltısuyu kalitesi üzerindeki herhangi bir etkiyi belirlemek için kullanılır. Bu etkiler sonucunda, kirleticilerin mekânsal ve zamansal

dağılımı, hızı ve taşınması, iyileştirme önlemlerinin tasarım ve performansı ile kuyunun kullanımı ve kapatılmasına yönelik tespitler yapılır (Thornton vd, 2008).



Şekil 2.4: Veri yoğunluğu dağılımı (Ekmekçi, 2013)

Ölçüm yapılan sistemden alınan temsil edici numuneleri belgelemek için gereksinimler, sahadan sahaya ve numune alma noktasından numune alma noktasına değişebilmektedir. Temsil edici numune alma, ölçümü yapılan sistemin kavramsal modeline dair bilgilere ve proje planlama personelinin deneyimine dayalı olmalıdır (USEPA, 1985).

3. SU KUYULARI

Bir su kuyusu, yeraltısuyunu yüzeye çıkarmak için kazılan genellikle düşey bir deliktir. Kuyu inşası için birçok yöntem mevcuttur; belirli bir yöntemin seçimi kuyunun kullanım amacı, elde edilmek istenen su miktarı, yeraltısuyu derinliği, jeolojik koşullar ve ekonomik faktörlere bağlıdır.

Kuyular genel manada sığ kuyular ve derin kuyular olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sığ kuyular inşa metotlarına göre 4'e ayrılmaktadır.

1. Kazma kuyular
2. Burgu ile açılan kuyular
3. Çakma kuyular
4. Enjeksiyon metodu ile açılan kuyular

Derin kuyular, sondaj makineleri ile açılan farklı derinlikteki kuyulardır. İnşa metotlarına göre 4'e ayrılmaktadırlar.

1. Kablolu (darbeli) sondaj metodu
2. Düz Sıvı Devirli Döner Sondaj Metodu
3. Ters Sıvı Devirli Döner Sondaj Metodu
4. Havalı Döner Sondaj Metodu
5. Döner Darbeli Sondaj Metodu

Bu kuyulara ilaveten farklı kolektör kuyular ve yatay kuyular da bulunmaktadır. Çizelge 3.1'de kuyu açma metotlarına ilişkin karşılaştırma ve açıklamalar yer almaktadır (Karpuzcu, 2005).

Çizelge 3.1: Kuyu açma metotları ve uygulamaları (Karpuzcu, 2005; Todd ve Mays, 2005)

Metot	En uygun zemin malzemesi	En uygun su tablası derinliği (m)	Maksimum derinlik (m)	Çap aralığı (cm)	Muhafaza borusu malzemesi	Kullanım maksadı	Verim (m ³ /gün)	Açıklamalar
<i>Burgu ile açılan</i> El burgusu	Kil, silt, kum, 2 cm'den küçük çakıl	2-9	10	5-20	Metal levha	Ev ihtiyaçları, drenaj	15-250	Gevşek malzeme gerekli
Motorlu burgu	Kil, silt, kum, 5 cm'den küçük çakıl	2-15	25	15-90	Beton, çelik veya yumuşakçelik	Ev ihtiyaçları, sulama, drenaj	15-500	Gevşek malzeme gerekli
<i>Çakma kuyular</i> El, havalı çekiç	Silt, kum, 5 cm'den küçük çakıl	2-5	15	3-10	Standart ağırlıkta boru	Ev ihtiyaçları, drenaj	15-200	Sığ su seviyelerine uygulanır
<i>Enjeksiyon kuyuları</i>	Silt, kum, 2 cm'den küçük çakıl	2-5	15	4-8	Standart ağırlıkta boru	Ev ihtiyaçları, drenaj	15-150	Sığ su seviyelerine uygulanır
<i>Sondaj kuyuları</i> Kablolu sondaj	Sert ve yumuşak kayalar	Sınır yok	450	8-60	Çelik veya yumuşak çelik	Bütün maksatlar için	15-15.000	Gevşek malzemede iksa gerekir
Düz sıvı devirli döner sondaj	Silt, kum, 2 cm'den küçük çakıl; sert zemin, kaya	Sınır yok	450	8-45	Çelik veya yumuşak çelik	Bütün maksatlar için	15-15.000	İksa gerekmez
Ters sıvı devirli döner sondaj	Silt, kum, çakıl	2-30	60	40-120	Çelik veya yumuşak çelik	Sulama, sanayi, kentsel	1.500-20.000	Yarı konsolide (pekişmiş) olmuş zeminlerde büyük çaplar için etkili
Döner darbeli sondaj	Silt, kum, 2 cm'den küçük çakıl; sert zemin, kaya	Sınır yok	600	30-50	Çelik veya yumuşak çelik	Sulama, sanayi, kentsel	2.500-15.000	Derin su kuyuları için etkili olabilir

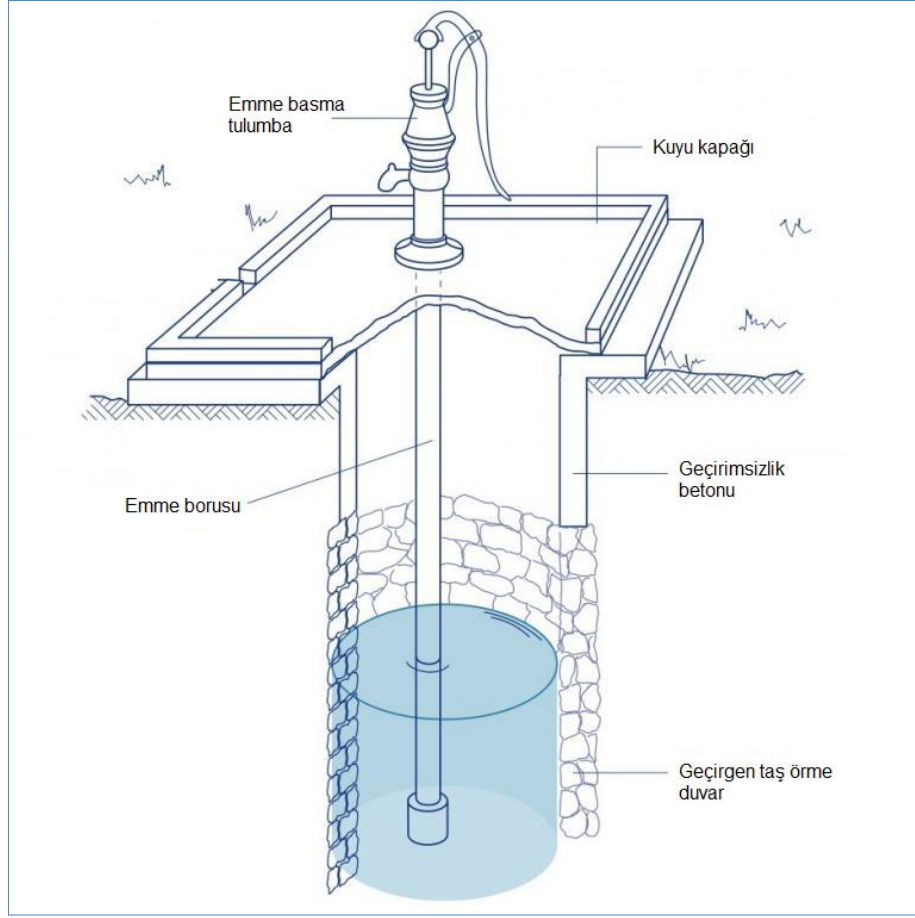
3.1 Sığ Kuyular

Sığ kuyular, kazma, delme, çakma ve püskürtme yöntemiyle inşa edilen genellikle 15 m'den daha sığ olan kuyulardır.

3.1.1 Kazma Kuyular

Eski çağlardan beri yeraltısularından en fazla kazma yoluyla yararlanılmıştır. Kazma yoluyla açılan bu kuyulara aynı zamanda adi kuyular da denilmektedir. Kazma kuyuları genelde daire (bazen kare ve dikdörtgen) kesitli olmak üzere basit el aletleri (kazma, kürek vb) ile kazılarak açılır. Kuyu derinliği, su tablası konuma bağlı olarak genelde 10-15 m arasında olup bazen 30-50 m arasında değişirken, kuyu çapları genelde 1 ile 10 m arasında değişmektedir. Kazma kuyular, sığ kaynaklardan su elde edilmesini sağlayan ve yaygın olarak gevşek buzul ve alüvyon çöktellerini içeren alanlarda bireysel su temini için kullanılmaktadır. Geniş çaplı olanları ise büyük miktarda su biriktirdiğinden depo görevi görür ve genelde sulamada kullanılırlar.

Kuyu güvenliği ve göçmeyi önlemek amacıyla deliğin duvarlarını desteklemek için ahşap veya levha döşemesi konulmalıdır. Modern bir kazma kuyusu ise tuğla, kaya, beton veya metal bir gövde ile kaplanır. Yeraltısuyu beslenmesi tabandaki tuğla, taş arası boşluklardan sağlanır. Birçok evsel kazma kuyuları 500 m³/günden daha az verimle çalışırken, uygun bir şekilde inşa edilmiş geçirimli akifere nüfuz eden bir kazma kuyusu 2500 ile 7500 m³/gün verimle çalışabilir (Todd ve Mays, 2005; Yolcubal, t.y.).



Şekil3.1:Kazma kuyu (Smet ve Wijk, 2002)

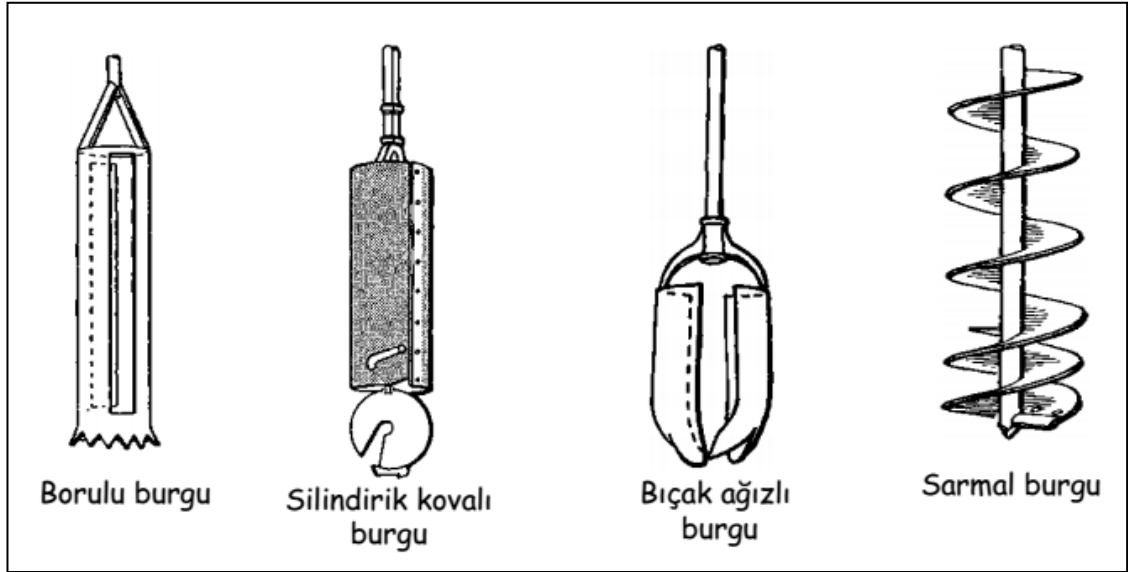
Keson Kuyular

Keson kuyular, kenarları betondan imal edilmiş silindirik parçaların örülmesiyle oluşturulmuş geniş çaplı kuyulardır. Kuyuların çapları genelde 3-6 m arasındadır. Bu kuyular genelde çok çakıllı ve kumlu formasyonlarda açılır. Kuyu açılırken ilk silindirik parçanın altına çarık adı verilen keskin uçlu bir parça eklenir ve keson içinde kalan kısım kazılır. Kazı ilerledikçe yerçekimi ile keson aşağıya doğru ilerler. Diğer silindirik parçalar eklenerek kuyu tamamlanır. Yüzeyin hemen altındaki yeraltı suları ile beslendikleri için kirlenme olasılıkları yüksektir. Bu yüzden, bu kuyular daha çok kullanma ve sulama suyu amaçlı kullanılırlar (Yolcubal, t.y.).

3.1.2 Burgu İle Açılan Kuyular

Burgu ile açılan kuyular, yeraltısuyu seviyesinin zemin yüzeyine yakın olduğu, pekişmemiş akiferlerde inşa edilen, küçük miktarlardaki ihtiyaçlar için en ucuz metottur. Bu kuyularda elle veya motorla çevrilen burgular kullanılır. Çeşitli burgular Şekil 3.2’de görülmektedir.

El burguları ile açılan kuyular nadiren 20 cm çap uzunluğu ile 15 m derinliği aşmaktadır. Motorlu burgularla 1 m çapında ve zemin şartlarının uygun olması halinde 30 m derinliğe kadar kuyu açılabilir. Burgu, ucunda kazıcı bulunan silindirik çelik bir kovadan oluşmaktadır. Kova döndürüldükçe kesici uç zemini parçalayarak kovaya doldurulur. Sonra kova zemin yüzeyine alınarak boşaltılır. İstenilen derinliğe ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir. Bu metot yumuşak zeminlerde ve alüvyonlu formasyonlarda iyi netice vermektedir. Yapışık killi zeminlerde de en iyi netice bu metotla alınmıştır.



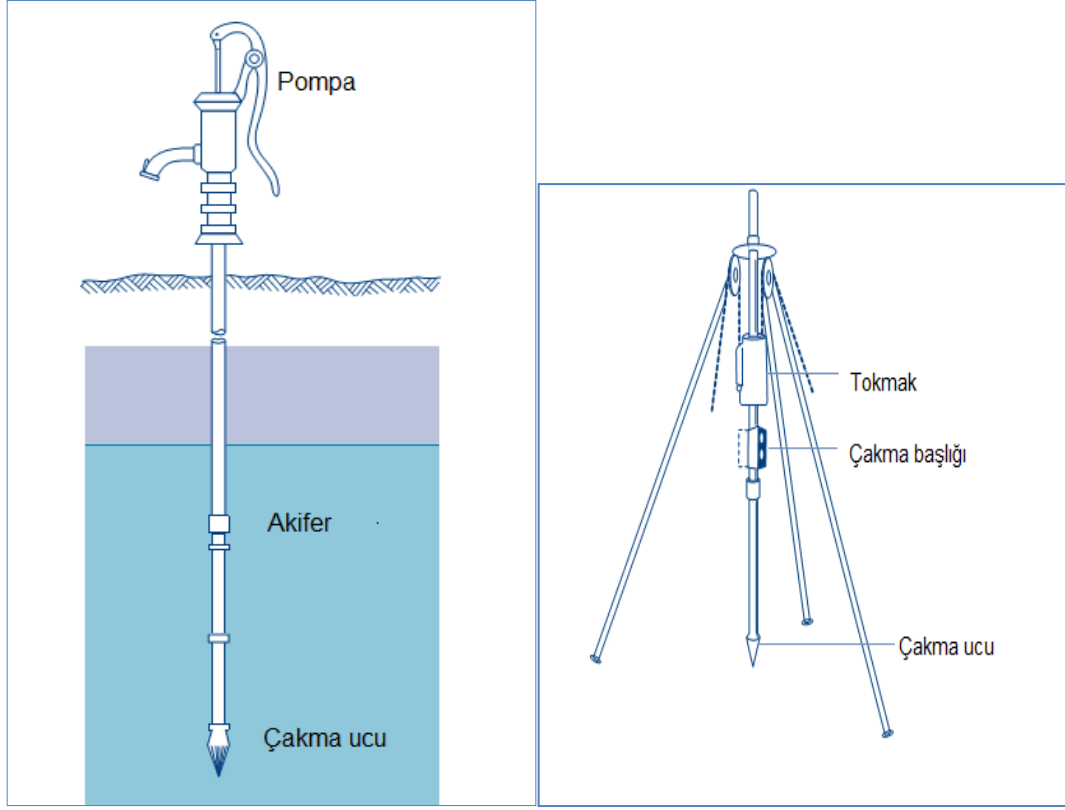
Şekil3.2: Kuyu açma burguları (Yolcubal, t.y.)

3.1.3 Çakma Kuyular

Çakma kuyular, birbirine eklenmiş boru parçalarının bir şahmerdanla zemine çakılması suretiyle inşa edilir. En alttaki borunun üzeri deliklidir ve ucuna konik

kuyu çarığı (çakma ucu) geçirilmiştir. Kuyu çapları küçük olup, 3-10 cm arasında değişir. Bazıları 20 m'yi geçmekle birlikte, derinlikleri genelde 15 m'yi geçmemektedir. Çakma kuyulardan emme tipli pompalarla su elde edilecekse, sürekli su temin edilebilmesi için yeraltısuyu seviyesinin yüzeye yakın olması gerekir. İyi netice alınabilmesi için yeraltısuyu derinliğinin 3 ile 5 m arasında olması gerekir. Bu kuyulardan elde edilen verim az olup, 100-250 m³/gündür (Todd ve Mays, 2005; Karpuzcu, 2005).

Bu kuyular, alt ucunda sivri bir ucu bulunan boruların, üzerlerine balyoz veya tokmaklarla vurulması sonucu zemine çakılması ile açılır. Çakma sırasındaki zeminin davranışı ve ilerleme hızına göre formasyonun cinsi hakkında bilgi sahibi olunabilir. Genellikle kuyu dış yüzeyi 3 m derinliğinde bir muhafaza borusu ile kaplanır. Çakma uçlarının çarıkları çelikten imal edilmekte olup, çakma uçları değişik şekillerde üretilebilmektedir. Çakma kuyuların kullanımı ev ihtiyaçları, geçici su ihtiyaçları ile araştırma ve gözlem ihtiyaçları için uygundur. Bu kuyuların en büyük avantajı kısa sürede ve en ucuz bir şekilde inşa edilebilmeleri olup, dezavantajı ise sert zeminlerde kurulamamalarıdır (Todd ve Mays, 2005; Yolcubal, t.y.; Karpuzcu, 2005). Aşağıda örnek bir çakma kuyu açma düzeneği yer almaktadır (Smetve Wijk, 2002)



Şekil3.3: Çakma kuyu

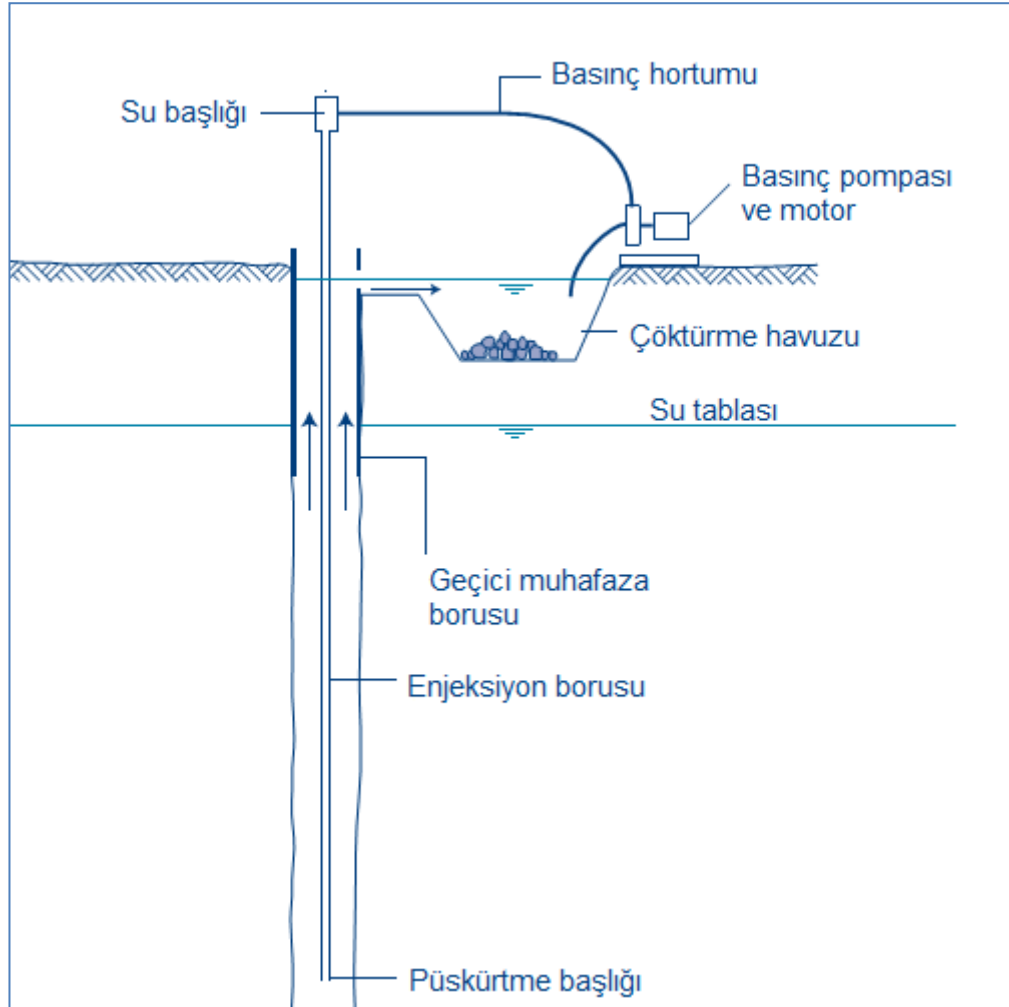
Şekil 3.4:Çakma kuyu açma düzeneği

3.1.4 Enjeksiyon İle Açılan Kuyular

Enjeksiyon metodu ile açılan kuyular, çakma kuyulardan çok farklı değildir ancak, filtrenin alt ucundaki noktanın içi boştur ve kuyu bu noktadan zemin içerisine püskürtülen su jetlerinin aşındırıcı etkilerinden faydalanılarak inşa edilir. Büyük çaplı bir muhafaza borusu içerisine yerleştirilen küçük çaplı bir borudan bir tulumba veya basınç pompası ile yüksek basınçlı su püskürtülür. Su zemini gevşettiği için kesici alet kolayca ilerler. Püskürtülen su parçalanmış birimleri dışarı atarken muhafaza borusu zeminin içine doğru ilerler. Bu metot ile 3-10 cm çaplı ve 15 m derinliğindeki kuyular açılmakla beraber, çapın 30 cm'ye kadar çıktığı ve derinliğin 15 m'yi geçtiği durumlar da mümkündür.

Enjeksiyonla açılan kuyuların verimleri düşüktür ve pekişmemiş zeminlerde iyi sonuç verirler. Bu metot daha çok gözlem kuyuları ile muayene borularının kurulumunda kullanılır. Çakma kuyulara kıyasla enjeksiyon ile açılan kuyular daha

hızlıdır. Mekanik kuvvet gerekli olmadığı için muhafaza borusu ve süzgeç için çelik yerine plastik kullanılabilir. Şekil 3.5'te enjeksiyon ile açılan kuyulara bir örnek verilmektedir (Karpuzcu, 2005; SMET ve Wijk, 2002).



Şekil3.5: Enjeksiyon ile açılan kuyu (Smet ve Wijk, 2002)

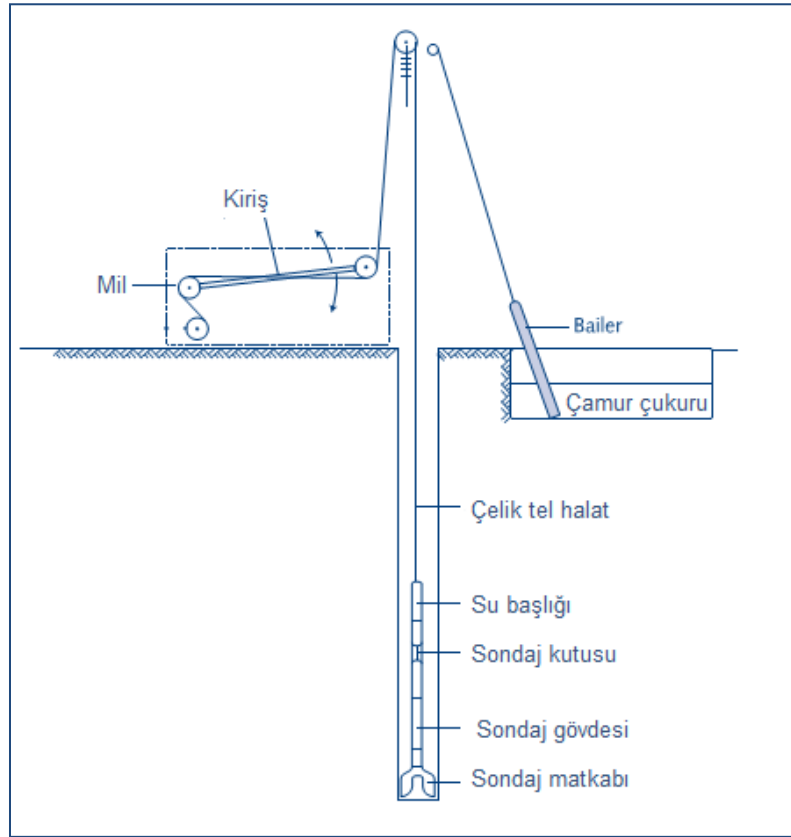
3.2 Derin Kuyular

Birçok derin, geniş ve yüksek kapasiteli kuyular sondaj makineleri ile açılmaktadır. Kuyu kurulumu darbeli veya döner sondaj metotlarından biri ile gerçekleştirilir.

3.2.1 Kablolü Sondaj (Darbeli)

Kablolu sondaj metodu, sondaj kuyusu içine ağır sondaj dizisinin daldırılıp çıkarılması ile oluşturulan kuyu açma metodudur. Bu metotla kuyu açılmasında standart sondaj makineleri kullanılmaktadır. Darbeli sondaj metodu ile 8-60 cm çaplı kuyular açılabilmektedir. Metot sert ve pekişmiş zeminlerde daha etkilidir ve bu metotla derinliği 600 m'ye varan kuyuların açılması mümkündür. Sondaj matkabının darbeli hareketi ile zemine vurularak delik açılır. Kazılan malzemede çamur oluşturmak için su kullanılır. Çamur kutusu (*bailer*) adı verilen bir alet ise sondaj devam ederken kuyudaki çamurun dışarı atılmasını sağlar. Muhafaza borusu açılan deliğe kablolu sondaj matkabı aracılığıyla sokulur.

Bir sondaj düzeneği, geniş tel halat makaralı hareket edebilen kirişli, kuleli bir vinçten oluşmaktadır. Kablolu sondaj dizisi 5 ana elemandan oluşmaktadır. Bunlar yukarıdan aşağıya doğru; su başlığı (firdöndü yuvası), sondaj kutusu, sondaj gövdesi, sondaj matkabıdır. Şekil 3.6'da tipik bir darbeli sondaj düzeneği görülmektedir (Todd ve Mays, 2005; Yolcubal, t.y.; Karpuzcu, 2005; Smet ve Wijk, 2002).



Şekil 3.6: Kablolu (darbeli) sondaj düzeneği (Smet ve Wijk, 2002)

3.2.2 Düz Sıvı Devirli Döner Sondaj Metodu

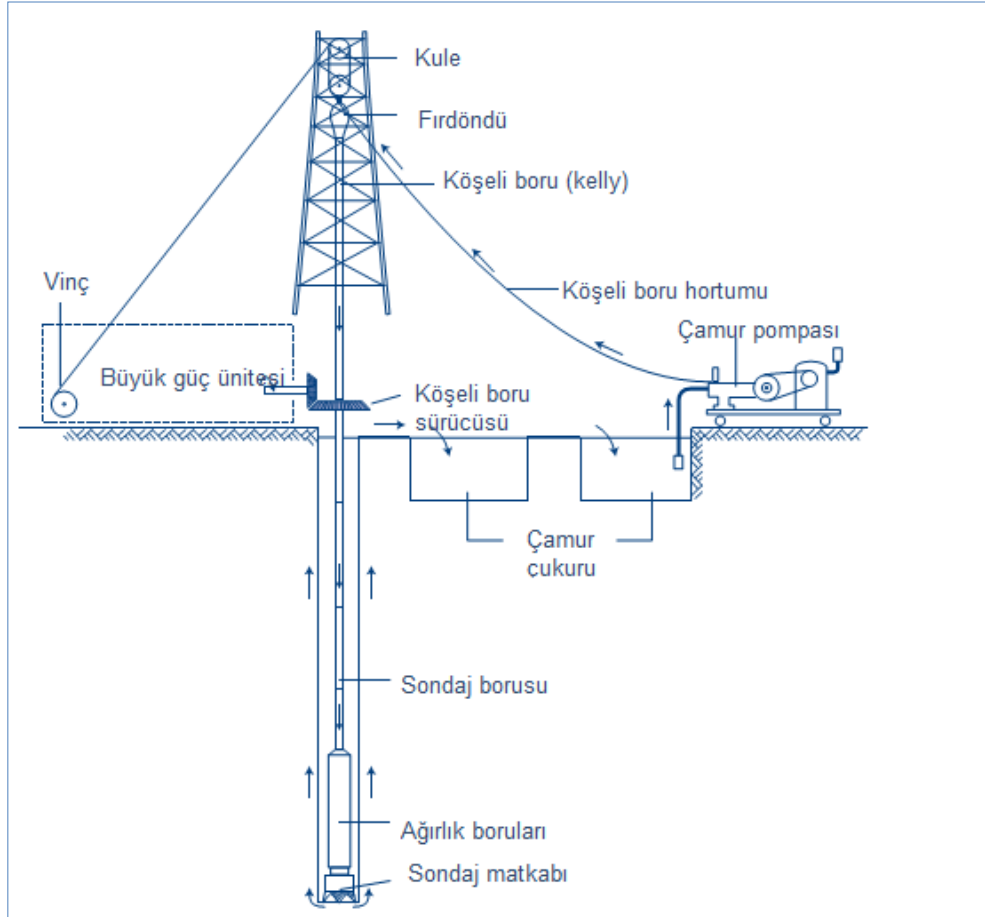
Pekişmemiş zeminler için en hızlı metotlardan biridir. Düz sıvı devirli sondaj metodu ile 45 cm çaplı derin kuyular rahatlıkla açılabilir. Döner sondaj metodunda boru ucuna bağlı matkaba ağırlık verilir ve dönme hareketi sağlanarak kayalar parçalanır. Boru dizisinin içinden pompalanan basınçlı su ile kayadan kopan parçalar tabandan alınarak boru ile delik arasında kalan annülüs denilen aralıktan yer yüzeyine çıkarılır. Yüze taşınan parçalar çamur havuzlarında biriktirilerek çökelmeye bırakılır. Kuyu açılma sırasında sondaj borusu içerisinden sürekli sondaj çamuru basılarak kuyu içinde sirkülasyon sağlanır. Sondaj deliğinden dışarı çıkan çamur yukarı doğru yükselirken açılan deliğin cidarlarında kilden bir tabaka oluşturur ve bu yüzden açılan deliklerde kaplama gerekmez.

Sondaj çamuru su, kil ve çeşitli organik katkı maddelerinin karışımı ile oluşturulmaktadır. Sondaj matkaplarının birçok şekli bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak; balta ağızlı matkaplar, balık kuyruğu matkaplar, konili matkaplar, elmas matkaplar verilebilir. Sondaj dizisi matkabin yeraltına indirilip döndürülmesi ve sondaj sıvısının iletilmesini sağlamak amacıyla farklı görevlerdeki parçaların birbirine bağlanması ile oluşan bir dizidir. Diziyi oluşturan parçalar ise yukarıdan aşağıya doğru şunlardır:

- Fırdöndü (*Swivel*)
- Köşeli boru (*Kelly*)
- Döner Masa (*Rotary Table*)
- Sondaj boruları(*Tij*)
- Bağlantı elamanları
- Ağırlık boruları (*Drill Collar*)
- Yardımcı parçalar

Bu metodun kullanım avantajları sondajın hızlı olması, sondaj esnasında kaplama ihtiyacının olmamasıdır. Dezavantajları ise yüksek ekipman maliyeti, karmaşık

işletim, kuyu geliştirme esnasında oluşan çamur kekinin uzaklaştırılması gerekliliği ve yüksek geçirgen ve gözenekli formasyonlarda sirkülasyon yapılması esnasında malzeme kaybı problemidir (Todd ve Mays, 2005; Yolcubal, t.y.; Karpuzcu, 2005; Smet ve Wijk, 2002).



şekil3.7: Düz sıvı devirli döner sondaj (Smet ve Wijk, 2002)

3.2.3 Ters Sıvı Devirli Döner Sondaj Metodu

Ters sıvı devirli döner sondaj metodu pekişmemiş zeminlerde büyük çaplı kuyuların açılmasında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu metotta kullanılan teçhizat, düz devirli sondaj metoduyla aynıdır. Yalnız bu metotta su sondaj boşluğundan zemin içine gönderilir ve bu su matkap borusu içerisinde yukarı doğru çıkar. Suyun sondaj

deliğindeki hızı sondaj deliği cidarında erozyona sebebiyet vermeyecek tarzda ayarlanmalıdır. Bunun için minimum delik çapı 40 cm'dir. Sondaj takımlarının çapı 0,40 ile 1,8 m arasında değişmektedir. Suyun boru içerisindeki yukarı doğru olan hızı zemin parçalarını sürükleyecek kadar büyüktür ve genelde 2 m/s'den fazladır. Ters devirli döner sondaj metodu pekişmemiş zeminlerde en hızlı ve en ekonomik usuldür. Bu metotla 125 m derinliğe kadar kuyu açılabilir (Todd ve Mays, 2005; Yolcubal, t.y.; Karpuzcu, 2005).

3.2.4 Havalı Döner Sondaj Metodu

Havalı döner sondaj metodu düz devirli sondaj metodundaki sondaj çamuru yerine basınçlı havanın kullanılması ile gerçekleştirilir. Kil kaplamasının kuyu duvarlarının göçmesine karşı destek yapamayacağı durumlarda, pekişmiş formasyonlarda küçük çaplı kuyular için hızlı ve kullanışlıdır. Kuyu derinliği 150 m'ye kadar çıkabilmektedir. Bu metodun en önemli avantajı çatlaklı kayalarda hiç su kullanılmadan kuyu açılabilmesidir (Todd ve Mays, 2005; Karpuzcu, 2005).

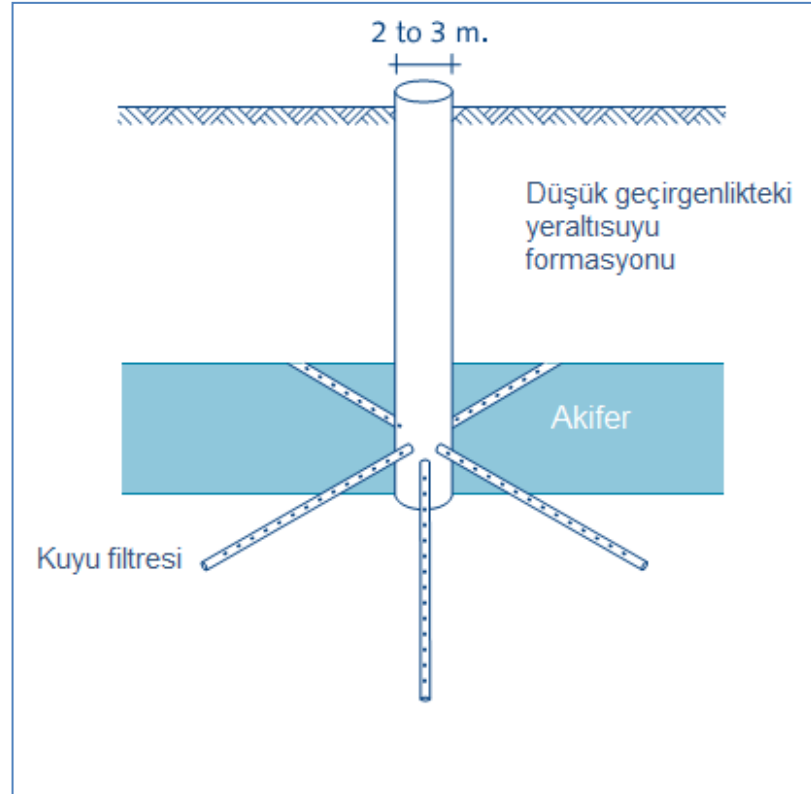
3.2.5 Döner Darbeli Sondaj Metodu

Döner darbeli sondaj metodu, sert kaya formasyonlarında sondaj için en hızlı metottur. Sondaj sıvısı yerine hava kullanılmaktadır. Döner sondaj takımı bir pnömatik çekiçle delik tabanına saniyede 10-15 darbe indirir. Bu metotla dakikada 0,3 m derinliğinde delik açılabilir.

Kollektör Kuyular

Amerika'da Ranney, Avrupa'da Felmann yeraltısuyu firmaları tarafından geliştirilmiş ve patentleri alınmış olan bu kuyular, büyük su gereksinimlerinin karşılanması için akarsulara yakın alüvyonlu ortamlarda geniş bir alandan su toplamak amacıyla akifer içine çepeçevre yatay borular (kuyu filtreleri) yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Kuyu filtreleri hidrolik krikolar ile istenilen

mesafelere kadar yerleştirilir. Boruların çapları 15-10 cm boyları ise 30-50 m arasında değişmektedir. Özellikle kirlenmiş akarsularda, akiferlerin belli bölgelerine yerleştirilmiş borularla, kirlenmiş suların zeminin doğal filtrasyonu ile temizlenip kullanılabilir hale gelmesi sağlanır. Türkiye’de 1963 tarihinde Bursa Sanayi Sitesi’nin su gereksiniminin karşılanması için Nilüfer Çayı’nın alüvyonları içine yatay borulu kolektör kuyular açılmıştır (MEB, 2014).



Şekil3.8: Dairesel bir kolektör kuyu (Smet ve Wijk, 2002).

Galeri kuyular

Galeri kuyular, yatay kuyular olup yeraltısuyu tablası altında inşa edilmektedir. Bu kuyular, ortamın geçirimsizliğinin düşük olmasından dolayı geniş akım alanına ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılmaktadır. Uzun ve derin bir çukur (trenç) açılır, çakıl döşenir, eksenini boyunca bir sıra prefabrik beton silindir ile galeri oluşturulur, su damarları açık bırakılır, galerinin etrafı çakıl ile döşenir ve daha sonra trenç geri doldurulur (MEB, 2014).

Tünel kuyular

Tünel kuyular, hafif eğimli tüneller olup, bir dağın ya da tepenin tabanında, genellikle alüvyonlu malzeme içerisinde açılıp, yukarı ucu yeraltısuyu tablası ile kesişir. Düşey şaftlar, tünelin tavanından yer yüzeyine doğru uzanır. Bu şaftlar, kazı sırasında hızlandırma işlemi için aynı zamanda kazılan malzemenin uzaklaştırılması için de kullanılırlar (MEB, 2014).

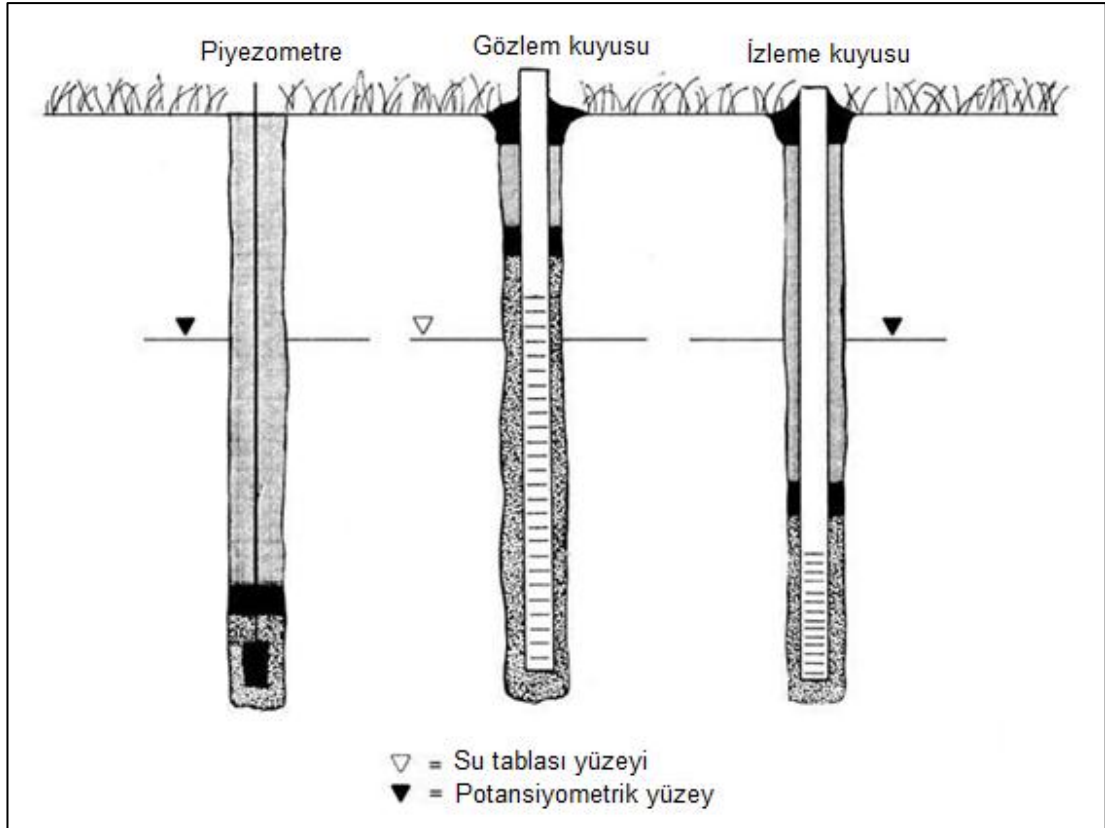
Yarma kuyular

Yarma kuyular, bir kaç kilometre uzunluğunda olabilen, hem sulama hem de kentsel su sağlama amaçlı kullanılabilen kuyulardır. Orta Doğu'da 2500 yıldır kullanılmakta olup, birçoğu İran'ın bazı bölgelerinde halen kullanılmaktadır (MEB, 2014).

3.3 İzleme Ağında Yer Alan Kuyular

Yeraltısuyu izleme ağlarının tasarımı ve kurulumu, yeraltısuyu akımı ve kirletici göçü gibi sahaya özgü etkenlerin değerlendirilmesini kapsamaktadır. Temsil edici numune alımının temel öğelerinden birisi de sahaya özgü koşullara ve numune alma amacına uygun kuyuların seçilmesi ve kurulmasıdır. Yeraltısuyu izleme programlarında yer alan kuyuları 3 ana sınıfta toplayabiliriz. Bu kuyu çeşitleri şunlar olup aşağıdaki şekilde gösterilmektedir:

- Piyezometreler
- Gözlem kuyuları
- İzleme kuyuları



Şekil 3.9: Başlıca kuyu tipleri(MassDEP, 1991)

3.3.1 Piyezometreler

Bir piyezometre, bir akifer içinde belirli bir bölgede kurulan kısa filtre uzunluğuna sahip bir kuyudur. Piyezometreler kısa filtre uzunluğu boyunca ortalama

potansiyometrik seviyeyi ölçmeye yararlar. Piyezometreler genellikle küçük çaplı kuyular olup (~2 cm-3 cm) kantitatif su numunelerinin alınmasına uygun tasarlanmış değildir. Bu aletlerin üst ve alt kısmı açıktır ve su seviyesi piyezometre içerisinde ölçüm noktasındaki basınç yüküne eşit seviyeye ulaşınca kadar yükselir. Sondaj ile açılan derin tertibatlar için piyezometre ile kuyu deliği arasındaki anülüs bentonit veya harç ile tecrit edilir. Farklı derinliklere yerleştirilmiş olan piyezometreler yatay ve düşey hidrolik yük hakkında faydalı bilgiler sağlar. Farklı kuyu delikleri içerisine yerleştirilmiş piyezometre grupları piyezometre kümesi olarak adlandırılır. Aynı kuyu deliği içerisinde yerleştirilmiş piyezometrelere ise piyezometre yuvası denir. Piyezometre yuvası içerisinde yapılan su seviyesi ölçümleri düşey hidrolik eğimi belirlemek için kullanılır (Yolcubal, t.y.; MassDEP, 1991).

- Avantajları:

Büyük çaplı izleme kuyularına göre düşük maliyetli kurulum sağlar.

- Dezavantajları:

Genellikle yeraltı suyu numune alımlarına imkan verecek şekilde tasarlanmamaktadırlar. Kuyu çapları numune alma cihazlarının kuyunun içine girmesine izin vermeyecek kadar küçüktür. (MassDEP, 1991)

Piyezometrelerde yeraltı suyu seviyesinin ölçümü için şu aletler kullanılmaktadır:

- Çelik metre şeridi
- Kuyu düdüğü
- Şamandıra (Yolcubal, t.y.)

3.3.2 Gözlem Kuyuları

Gözlem kuyuları, uzun filtreli tasarlanmış küçük çaplı kuyular olup, ortalama su seviyesini ölçmek için kurulmaktadır. Bu kuyular, numune almak amacıyla inşa edilmemektedir. Öncelikli amaç su seviyesi hakkında bilgi edinmek olduğu zaman gözlem kuyusu doymuş bölgede kurulmalıdır. Bu kuyular, su kalitesi numunelerine ihtiyaç duyulan kirlenmiş sahalarda kullanılmamalıdır. Gözlem kuyusu terimi çoğu zaman pompalama testleri sırasında kullanılan veya kurulan kuyuları temsil etmektedir.

- Avantajları:

Yeraltısuyu tablasına olan derinlik, in-situ geçirgenlik testi ve akifer pompalama testleri gibi akifer özellikleri hakkında genel bilgi elde etmek için ucuz bir metottur.

- Dezavantajları:

Gözlem kuyusunun yer aldığı doymuş bölge içinde geniş düşey gradyan varsa, olası hatalı okumalarla ve potansiyometrik koşulların yanlış yorumlanması ile sonuçlanan ortalama koşullar elde edilecektir. Kantitatif kimyasal numune alımları için uygun değildir (MassDEP, 1991).

3.3.3 İzleme Kuyuları

İzleme kuyusu terimi, yeraltısuyundan temsil edici numuneler ile kuyu seviyesine ilişkin veri elde etmek ve in-situ geçirgenlik testlerini yürütmek için kullanılan büyük çaplı (2.0 inç veya daha büyük) kuyuyu ifade etmektedir. İzleme programları oluşturulurken, tek bir kuyunun veya çok katmanlı (*multi-level*) bir kuyunun uygun olup olmadığına karar verilmesi gerekir. Bunun nedeni ise, yeraltısuyu problemlerinin üç boyutlu olması ve kirliliğin alt ve üst bölgesini tanımlamak için bazı çok katmanlı kuyulara ihtiyaç duyulabilmesidir. Seçilecek kuyu türünü belirleyen faktörler şunlardır: saha jeolojisi ve hidrojeolojisi, kirlileticiler, kuyu muhafaza borusu malzemesi ve mevcut herhangi bir izleme kuyusunun sayısı, konum ve tasarımı (MassDEP, 1991).

3.3.3.1 Tek Borulu İzleme Kuyuları

Tek borulu izleme kuyuları (*single standpipe wells*), bir akifer içindeki (belirli bir derinlikte) belirli bir bölgeyi izlemek için veya bir akifer içindeki geniş bir alanın (bütünleşik derinlik) izlenmesi amacıyla seçilir. Tek borulu izleme kuyuları, bir sondaj deliği içinde tek bir muhafaza borusu düzeneğinden oluşmaktadır. Bu izleme kuyuları birbirlerinden uzak farklı noktalarda kurulurlar.

a) Derinliğe özgü kuyular (*Dept-specific wells*)

Derinliğe özgü kuyularda, bir akifer içindeki belli bir bölgeyi izlemek için kısa filtre uzunluğu (1 ile 3m'den uzun olmayan) kullanılır. Örneğin, amaç sudan az yoğun

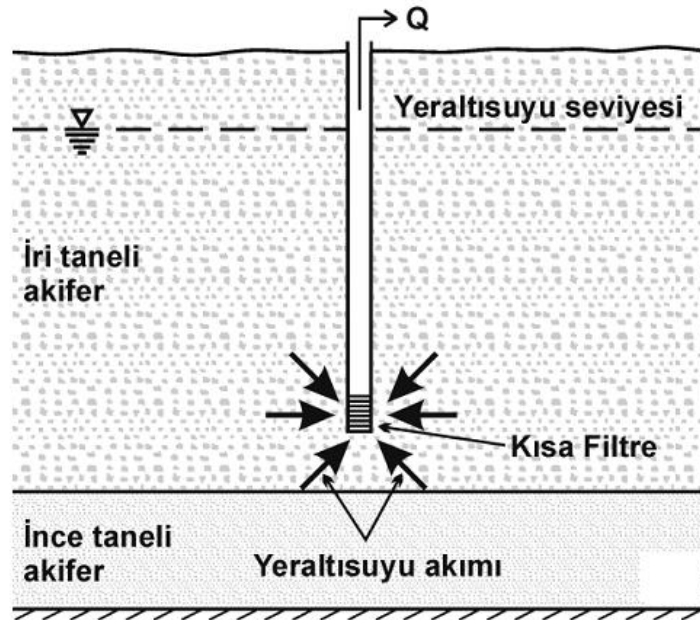
kirleticileri örneklemek ve tespit etmek ise, su tablası mesafesinde filtreli tek kuyu kullanımını uygun olabilir.

○ Avantajları:

Akiferin belirli bir derinliğindeki mevcut kirletici konsantrasyonunun belirlenmesini sağlar.

○ Dezavantajları:

Belirli bir derinlikteki izleme akiferin farklı bir seviyesindeki kirliliği tespit edemeyebilir (MassDEP, 1991).



Şekil 3.10: Derinliğe özgü kısa filtreli kuyu (Doğdu, 2009)

b) Bütünleşik derinlikli kuyular

Bütünleşik derinlikli izleme kuyularında bir akiferin büyük bir kısmını izlemek için uzun filtreler (>3 m) kullanılır. Bu kuyu tiplerinin kullanımının uygun olacağı saha koşulları şunlardır:

- Düşük geçirgenliğe sahip akiferler
- Geniş bir alanda dalgalanan su tablasına sahip akiferler

- Ayrı fazdaki sıvıların izlenmediği durumlar

o Avantajları:

Düşük geçirgenliğe sahip akiferlerde numune alınması için kuyuya yeterli su akışının gelmesini sağlar.

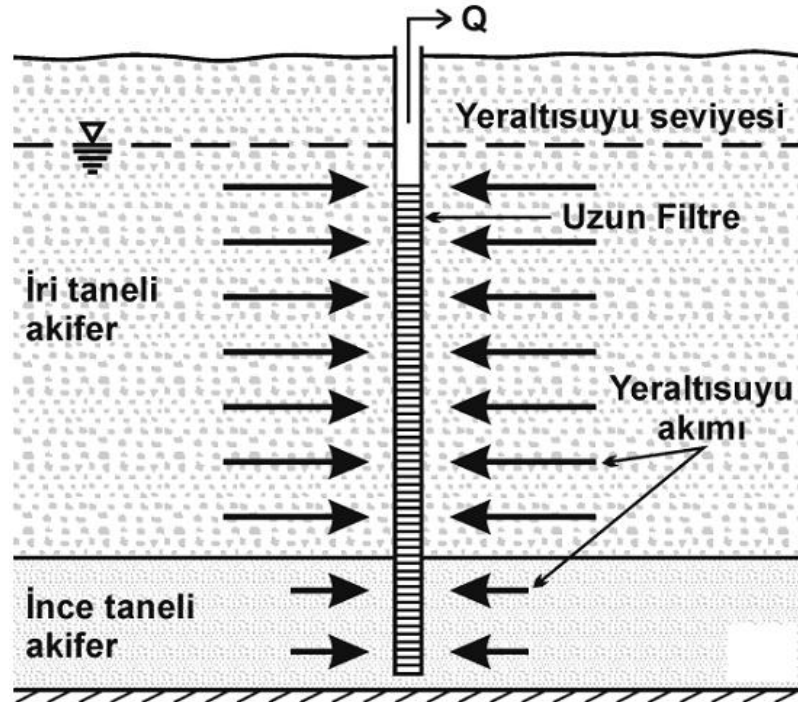
Geniş bir alanda dalgalanan su tablasına sahip akiferlerde sudan az yoğun olan kirleticiler için numune alımını sağlar.

o Dezavantajları:

Uzun filtreler, büyük hacimdeki kirlenmiş sular ile az kirlenmiş bölgelerdeki suların karışıp numune alımlarında kirliliğin seyrelmiş bir şekilde elde edilmesine neden olabilir.

Kirlilik kuyu filtresi boyunca belli bir derinlikten başka bir derinliğe geçebilir.

Bir hidrojeolojik araştırmanın keşif veya ön safhası haricinde bu kuyuların kullanımları çok uygun değildir (MassDEP, 1991).



Şekil 3.11: Bütünleşik derinlikli kuyular (Doğdu, 2009)

3.3.3.2 Çok Katmanlı İzleme Kuyuları

Çok katmanlı kuyular, bir akifer içinde birden fazla derinlikte, birden fazla akiferde veya çoklu kırık kayaç bölgelerinde izleme yapılacağı zaman kurulur. Bu kuyular, tek bir akifer içindeki kirliliğin düşey yöndeki dağılımının ortaya konulması açısından kullanışlıdır. Çok katmanlı izleme kuyuları üç çeşittir. Bunlar; iç içe izleme kuyuları, kümeli izleme kuyuları ve çok seviyeli izleme kuyularıdır (MassDEP, 1991).

a) İç içe izleme kuyuları (*Nested*)

İç içe izleme kuyuları, aynı sondaj deliği içinde iki veya daha fazla sayıda piyezometre yada muhafaza borusu düzeneğini bulunduran kuyulardır. Genelde, her bir muhafaza borusunun filtreleme aralığı farklı akiferlerden veya su taşıyan katmanlardan su elde etmek üzere dizayn edilir. Kuyu filtreleri, farklı derinliklerde veya farklı akiferlerde yer alır ve tecrit malzemeleri ile birbirlerinden ayrılırlar.

○ Avantajları:

Tek bir sondaj deliği ile birçok kuyunun inşa edilmesi bakımından ekonomiktir.

○ Dezavantajları:

Bu tür kuyu düzeneklerindeki en önemli sorun filtrelenen aralıklarda sızdırmazlığın sağlanmasına ilişkin şüpheli yaklaşımdır. Sondaj deliğindeki borular arttıkça önceki yerleştirilmiş filtreler ile yenileri arasında sızdırmazlığın sağlanması giderek zorlaşmaktadır.

Sondaj deliği ile borular arasındaki annülüs boşluğu sınırlı olduğu için birden fazla muhafaza borusu kurulumu zordur (MassDEP, 1991; DWR 1981).

b) Kümeli izleme kuyuları (*Clustered*)

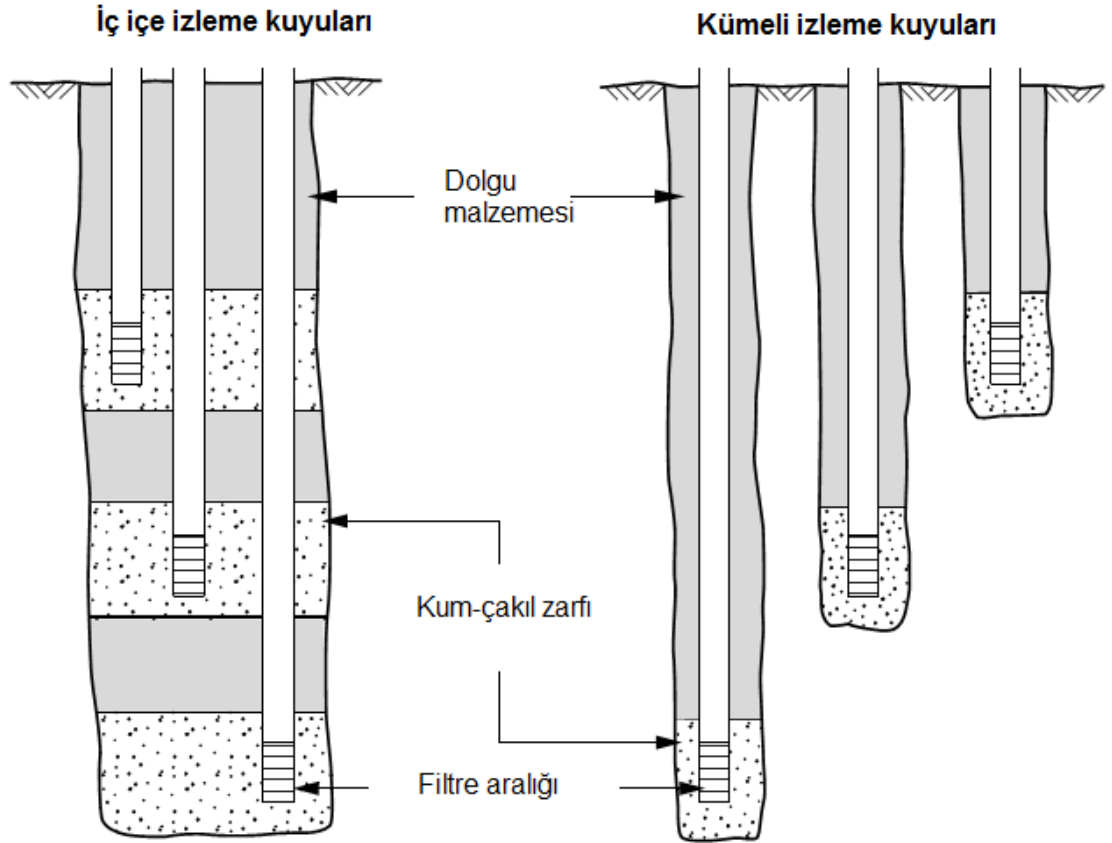
Kümeli izleme kuyuları, farklı sondaj deliklerinde yer alan, birbirlerine yakın mesafede bulunan bireysel izleme kuyularından oluşmaktadır. Bir küme içindeki kuyular genellikle farklı akifer veya su taşıyan katmanlardan su elde edilmesi için inşa edilir. Kümeli kuyular, çoğunlukla aynı alanda çeşitli derinliklerdeki yeraltısuyunun izlenmesi amacıyla kullanılır. İç içe izleme kuyularının kullanım amacı ile kümeli izleme kuyularının kullanım amacı hemen hemen aynıdır.

○ Avantajları:

Doygun bölge içindeki farklı düşey katmanların izlenmesini sağlar. Farklı derinliklerdeki potansiyometrik su seviyesi tayinine olanak sağlar.

○ Dezavantajları:

Sondaj sayısı ve kuyu kurulumu süresini artırır ve dolayısıyla bu sistemlerin kurulumu daha pahalıdır.



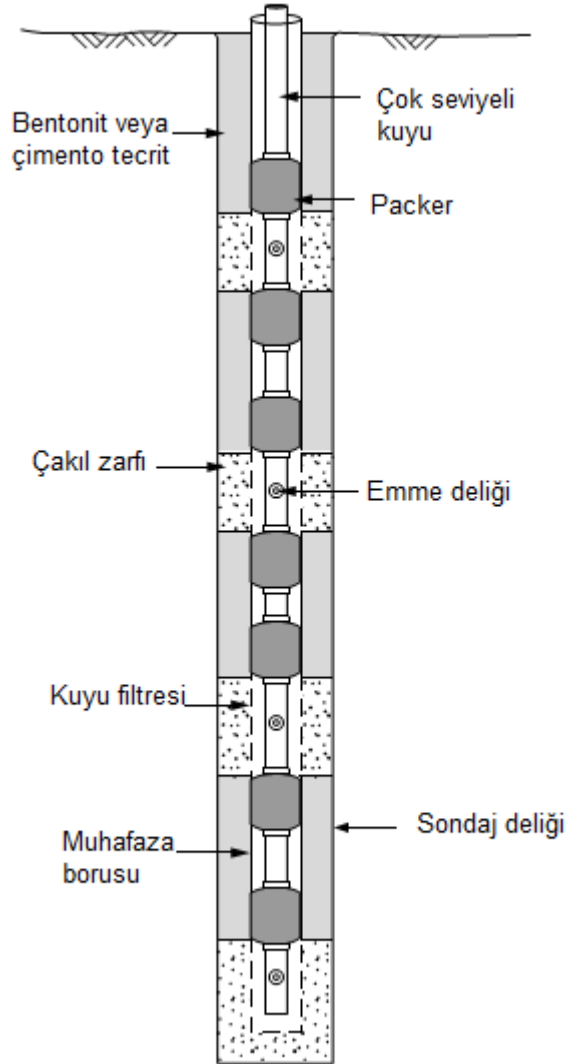
Şekil 3.12: İç içe izleme kuyusu ile kümelı izleme kuyusu düzeneği
(Einarson, 2006)

Şekil 3.12’de izleme kuyuları ayrı ayrı muhafaza borusu düzenekleri ile birden fazla akifer veya farklı derinliklerden su elde edilmesi için tasarlanmaktadır. Bu muhafaza borusu düzenekleri genellikle çoklu aralıklı filtre veya açıklıklara sahiptir. “Çok katmanlı izleme kuyuları” olarak bilinen bu kuyu düzenekleri, bazen düşük

kalitedeki su ve kirleticilerin bir birimden başka bir birime hareket etmesinde rol oynayabilir (MassDEP, 1991;DWR 1981).

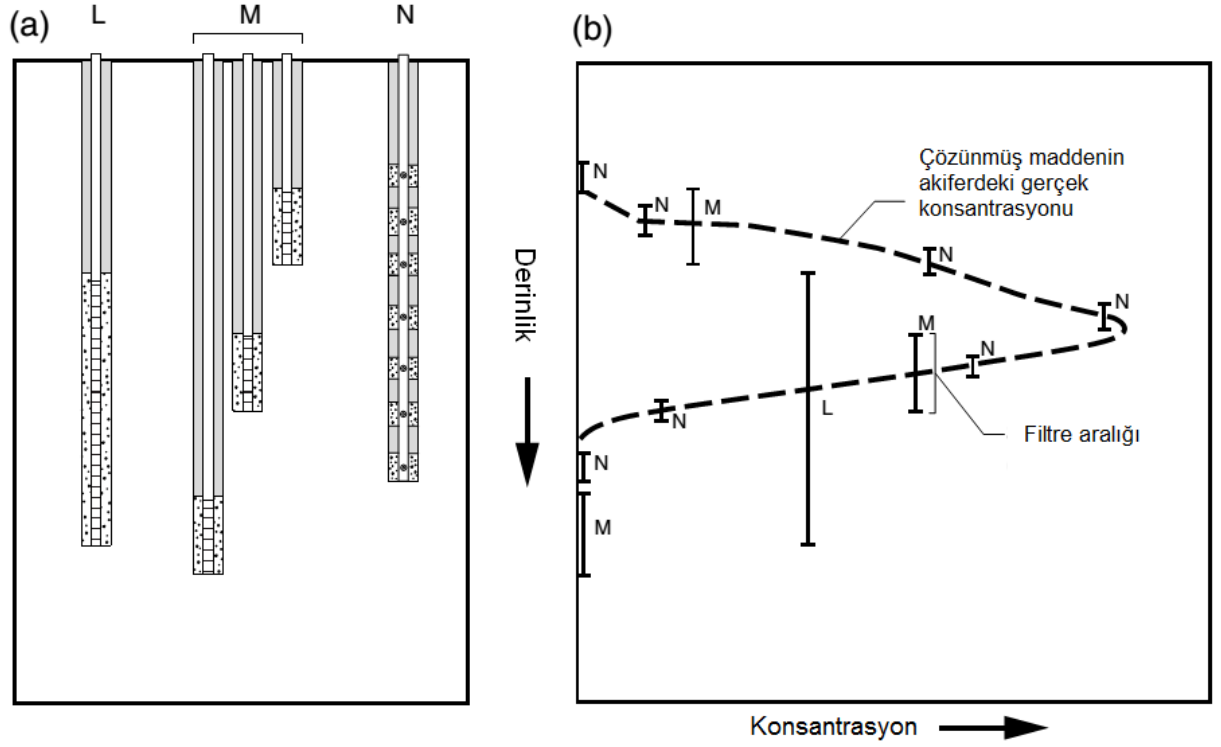
c) Çok seviyeli izleme kuyuları

Çok seviyeli izleme kuyuları, bir kuyu içinde farklı derinliklerde birden çok filtre aralığı oluşturularak kurulan izleme kuyularıdır. Belli bir seviyede izleme yapmak için kurulan bu kuyularda sızdırmazlık filtreler arası packerlar yardımıyla gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.13: Çok seviyeli filtrelere sahip izleme kuyusu (Einarson, 2006)

Bütünleşik derinlikten (uzun filtreli) izleme yapan bir kuyu ile kümeli izleme kuyuları ve farklı derinliklerde filtrelelere sahip çok seviyeli bir izleme kuyusunun, bir kirlilik bulutunu izleyebilme ölçüsüne ilişkin bilgi veren grafik aşağıda yer almaktadır.



Şekil 3.14: Kuyu filtrelerinin akiferdeki gerçek konsantrasyonu tespit etme ölçüsü (Einarson, 2006)

Şekil 3.14 a)'da birçok izleme kuyusu bir arada gösterilmektedir. "L" adıyla etiketlenmiş olan kuyu oldukça uzun filtreli bütünleşik numune alan bir kuyudur. "M" etiketli kuyular, akiferin farklı derinliklerinde kurulmuş olan üç kuyudan oluşan kümeli kuyulardır. "N" etiketli kuyu ise yedi farklı derinlikten yeraltısuyu numunesi alınmasını sağlayan çok seviyeli filtreleri olan bir izleme kuyusudur. Şekil 3.14'teki grafikte akiferdeki varsayımsal çözünmüş kirlitici konsantrasyonu kesikli çizgiler ile gösterilmektedir. "L" kuyusu (uzun filtreli kuyu), yüksek konsantrasyondaki kirlitici madde (kuyu filtresinin üst kısmından giren) ile düşük konsantrasyondaki çözünmüş maddeyi (akiferin derin kısımlarından kuyuya giren) içeren bir yeraltısuyu

karışımından numune alınmasını sağlar. Bu nedenle, “L” kuyusundan elde edilen numuneler:

- Kuyu filtre aralığının üst kısmındaki akiferin yüksek konsantrasyonlarını olduğundan düşük gösterir
- Akiferdeki çözünmüş faz kirliliğinin derinliği hakkındaki tahminlere yönelik abartılı sonuçlar vermektedir.

Kısa filtreli sahip 3 kuyudan oluşan kümeli kuyular (kuyu “M”), uzun filtreli tekli kuyudan elde edilen numunelere göre akiferdeki çözünmüş faz kirleticilerinin gerçek dağılımını daha iyi yansıtan numuneler vermektedir. Farklı derinliklerde filtreli sahip çok seviyeli kuyu (kuyu “N”) ise akiferdeki çözünmüş faz kirleticilerinin gerçek dağılımına çok daha yakın numuneler alınmasını sağlamaktadır (Einarson, 2006).

4. SU ÇERÇEVE DİREKTİFİ VE İLGİLİ TEKNİK DOKÜMANLARA GÖRE YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA VE KUYU SEÇİMİ

4.1 Su Çerçeve Direktifi

Su Çerçeve Direktifi (SÇD) Avrupa Birliğinin çevre müktesebatı kapsamında son yıllardaki en önemli yasal düzenlemesidir. Su alanında şemsiye bir direktif olması bakımından tüm sular ile ilgili direktifleri kendi çatısı altında toplayarak çerçeve bir mevzuat oluşturmuştur. SÇD'nin amacı, Avrupa genelinde su kalitesinin iyileştirilmesi, mevcut su kaynaklarının uzun vadeli korunması ve daha fazla bozulmaların engellenmesidir. SÇD'nin içindeki “su” terimi yüzey suları (göller ve nehirler), yeraltıları, geçiş suları ve kıyı sularını kapsamaktadır.

4.1.1 Yeraltısuyu İzlemesi

Yeraltılarından numune alma işlemi izleme programları dahilinde gerçekleştirilmektedir. Su Çerçeve Direktifinin 8. maddesi yüzey suları, yeraltıları ve korunan alanlarla ilgili izlemenin temel gereksinimlerini içermektedir. Her bir nehir havzası bölgesi içindeki su durumunun kapsamlı bir şekilde değerlendirilebilmesi için izleme programlarının hazırlanmasına gerekliliği vurgulanmaktadır. Yeraltıları için izleme programları kimyasal ve miktar durum izlemesini kapsamaktadır. Direktife göre izleme programları AB Üye Devletlerinde direktifin yürürlüğe giriş tarihinden itibaren en geç 6 yıl içinde, direktifin Ek V gerekliliklerini göre uygulanabilir hale getirilmelidir.

SÇD'nin Madde 8 Ek V'inde, yeraltılarında miktar ve kimyasal izleme gereklilikleri açıklanmaktadır. Yeraltılarında miktar durumunun sınıflandırılmasında “yeraltısuyu seviye rejimi” parametresi dikkate alınmaktadır. Yeraltısuyu miktar izleme ağı, bütün yeraltısuyu kütle yada kütle gruplarının miktar durumunu, mevcut yeraltı kaynağı değerlendirilmesini sağlamak üzere dizayn edilmeli ve NHYP'ında haritalarla gösterilmelidir.

İzleme sıklığı, geri beslenimdeki kısa ve uzun dönem değişiklikler dikkate alınarak her bir yeraltısuyu kütlesinin miktar açısından değerlendirilmesini sağlayacak yeterlilikte olmalıdır.

SÇD'ye göre, yeraltısuyu kimyasal durumunun değerlendirilmesinde iletkenlik ve kirletici konsantrasyonu parametreleri kullanılmaktadır. İyi yeraltısuyu durumu için kirletici konsantrasyonları: tuz yada diğer kirleticilerin etkilerini yansıtmamalı, diğer topluluk mevzuatlarında belirtilen kalite standartlarını aşmamalı, yeraltısuyu kütlelerine doğrudan bağımlı olan karasal ekosistemlerde önemli bir zarar vermemeli veya yüzeysel suların ekolojik ve kimyasal kalitesinde bozulmaya neden olmamalıdır.

Yeraltısuyu izleme ağı direktifin 7. (içme suyu elde edilen sular) ve 8. (izleme) maddelerindeki gerekliliklere uygun olarak; her bir nehir havzasındaki yeraltısuyu kimyasal durumunu, insani aktivitelerden kaynaklanan etkiler ile yukarı doğru artan eğilimlerin kapsamlı bir şekilde ortaya konulmasını sağlayacak şekilde kurulmalıdır.

Direktife göre yeraltısularında iki türlü izleme yapılmaktadır. Bunlar gözetimsel ve operasyonel izlemedir. Gözetimsel izlemenin amacı, etki değerlendirmesi süreci ve doğal durumdaki değişimler ile insani aktiviteler sonucundaki değişiklikleri değerlendirmektir. Gözetimsel izlemede yeraltısuyu kütlelerinde izlenmesi gereken parametreler şunlardır: oksijen içeriği, pH, elektriksel iletkenlik, nitrat ve amonyum. Direktif bu parametrelere ek olarak, risk altında olduğu tespit edilen yeraltısuları için kirlilik etkisini gösteren parametrelerin de izlenebileceğini ifade etmektedir.

Operasyonel izlemenin amacı, risk altında olan yeraltısularında kimyasal durumun ve insani faaliyetler sonucu kirletici konsantrasyonundaki artan eğilimin tespit edilmesidir. Operasyonel izleme, gözetimsel izleme ile çevresel hedeflere ulaşamama riski altında olan bütün yeraltısı kütleleri için uygulanmalıdır. İzleme sıklığı, en az yılda bir kez olmak üzere gözetimsel izleme programları arasındaki dönemde yeterli aralıklarla yapılmalıdır.

Herhangi bir kirletici konsantrasyonunda sürekli yukarı doğru artan bir eğilim tespit edilen yeraltısuyu kütleleri haritada siyah nokta; bu eğilimdeki tersine dönüş ise mavi nokta ile gösterilir.

4.1.2 Numune Alma

Su Çerçeve Direktifi, izleme faaliyetlerine yönelik numune alma metotları için uluslararası standartların veya denk bilimsel kalite verileri elde edilmesini sağlayacak diğer ulusal ve uluslararası standartların kullanılabilceğini belirtmektedir.

Sularda ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler için ilgili CEN/ISO standartlarına atıfta bulunmaktadır. Direktif, yeraltısularından numune alınmasına ilişkin belli bir standart önermemekle birlikte yukarıda bahsedildiği üzere üye devletleri bu konuda serbest bırakmaktadır.

4.2 Yeraltısularından Numune Alınmasına İlişkin Teknik Dokümanlar

Su Çerçeve Direktifi ve kardeş direktif Yeraltısuyu Direktifinin getirdiği yükümlülüklerin yerine getirilmesi amacıyla üye ve aday ülkelere yol gösterici niteliğinde olan kılavuz dokümanlar hazırlanmıştır. Yeraltısularında izleme ile numune alma ve analiz yöntemlerine ilişkin konuların yer aldığı kılavuz dokümanlar şunlardır:

- Kılavuz Doküman No:7 Su Çerçeve Direktifi Kapsamında İzleme
- Kılavuz Doküman No:15 Yeraltısuyu İzleme

4.2.1 Su Çerçeve Direktifi Kapsamında İzleme Kılavuzu (No:7)

Su Çerçeve Direktifi Kapsamında İzleme Kılavuzu (No:7), SÇD'nin Madde 8 ve 11 ile Ek V uyarınca izleme altyapısının oluşturulmasında yönlendirici bir belge niteliği taşımaktadır. Dokümanda, yeraltısularından numune alma faaliyetine dair bilgiler yer almaktadır.

4.2.1.1 Numune Alma Planı

Numune alma planı, numune alma stratejileri ve metotlarının tanımlanmasından önce bir ön koşuldur. Bir numune alma planı şunları içermelidir:

- Numune alma noktalarının tasarımı ve seçimi
- Numune alma süresi ve sıklığı
- Numune alma prosedürleri

- Analitik gereksinimler ve numune almanın iyileştirilmesi

Numune alma programlarının planlanması konusunda ISO 5667-1 ve EN 25667-1 standartlarına atıfta bulunmaktadır. Ancak CEN (Avrupa Standartlar Komitesi) tarafından EN 25667-1 standardı yürürlükten kaldırılmış olup, yerine ISO 5667-1 standardı kullanılmaktadır.

4.2.1.2 Numune Alma Metotları

ISO 5667-11, yeraltısuyu ihtiyaçlarının kalitesini sorgulamak, kirliliğini ortaya çıkarmak ve değerlendirmek ile yeraltısuyu kaynak yönetimine yardım etmeyi sağlayan yeraltısuyu numune alma metotları için prensipler sağlamaktadır. ISO 5667-18, kirlenmiş sahalardaki yeraltısuyu numune alma metotlarının prensiplerine dair bilgi vermektedir.

ISO 5667-2’de ise numune alma cihazı için materyal seçimi üzerine genel bilgi sunduğu ifade edilmektedir. Genel olarak, polietilen, polipropilen, polikarbonat ve cam kapları birçok numune alma durumu için tavsiye edilmektedir. Eğer izlenen parametre, ışıktaki ayrışıyor (ör, pestisitler) ışık geçirmeyen numune alma kapları tavsiye edilmektedir. Yeraltısuyu numunelerinde kirlenme ya da kimyasında olabilecek değişimler, numune alma aleti ve sondaj deliği yapımı için uygun materyaller seçilerek azaltılmalıdır.

4.2.1.3 Numune Depolama ve Nakliyat

Yeraltısuyu numunelerinin numune alma noktasından laboratuvara kadar geçen süreçte depolanma ve nakliyatı oldukça önemli olup, analiz sonuçları numune alma işleminin yapıldığı andaki koşulları temsil etmesi gerekir. Bu konularda genel kılavuz bilgiler ISO 5667-2 ve ISO 5667-3’te yer almaktadır. Yeraltısuyu örnekleri için spesifik göstergeler ise ISO 5667-11’de yer almaktadır.

4.2.1.4 Numune Tanımlama ve Kayıtlar

Açık ve net bir etiketleme sistemi, numunelerin etkili yönetimine, sonuçların doğru sunumu ve yorumuna olanak sağlamak için numunelerde doğru şekilde kullanılması oldukça önemlidir. ISO 5667-11 numune tanımlama ve kayıt prosedürlerine

rehberlik etmektedir. Buna ek olarak, diğere ilgili çevresel veriler, tekrarlanan bir numune alma faaliyetinin yapılabilmesi ve sonuçlarda herhangi bir değışkenliğin incelenebilmesi için raporlanmalı ve kaydedilmelidir. (EU CIS 7, 2003)

4.2.2 Yeraltısuyu İzleme Kılavuzu (No:15)

Yeraltısuyu İzleme Kılavuzu(No:15), SÇD'nin ve yeni Yeraltısuyu Direktifinin getirdiğı yükümlülüklerinin doğru ve etkin bir şekilde yerine getirilmesi amacıyla hazırlanmıştır. Kılavuzda yeraltısularından numune alınmasına yönelik verilen bilgiler aşağıda yer almaktadır.

4.2.2.1 Numune Alma ve Analiz Yöntemleri

Başlangıç noktası olarak, numune alma stratejileri, numune alma teknikleri, numune işlenişı, analizi, hesaplamaları ve raporlamaları, genel izleme sürecinin ayrılmaz parçaları olarak kabul edilmelidir. Yeraltısularından numune alınması için yöntem ve talimatlara ilişkin ISO 5667 serisine, diğere uluslararası ve ulusal standartlara, kılavuzlara ve ders kitaplarına başvurulabileceğı ifade edilmektedir.

Numune alma ve analiz için, amaca uygunluk konusunu da kapsayan doğruluğı kontrol edilmiş yöntemler kullanılmalıdır (kalite kontrol). Örneğinin uygun standart yöntemlerinin bulunmaması gibi hususlar nedeniyle aksini gerektiren bir durum söz konusu olmadığı sürece, numune alma ve analiz yöntemleri, yayımlanan uluslararası ve ulusal standartlara göre yapılmalıdır.

Yeraltısuyuna erişimdeki teknik zorluklar ve suyun mevcut noktasından taşınması durumunda kimyasında meydana gelebilecek hızlı değışimler nedeniyle yeraltısuyunun izlenmesi amacıyla yapılan numune alma işlemlerinde en uygun donanım ve yöntemlerin planlanması ve seçimi özenle yapılmalıdır.

Numune almaya ilişkin standart yöntemlerin kesinliğı analitik yöntemlere kıyasla genel olarak daha düşüktür. Bunun nedeni ise farklı noktalarda saha koşullarının değışiklik göstermesi ve numune alma amaçlarındaki farklılıklar, bir diğere nedeni de numune almanın standartlaştırılmasına yönelik sürecin kimyasal analizin standartlaştırılmasına ilişkin olan süreçten daha az gelişmiş olmasıdır. Bu yüzden, ulusal ve uluslararası standartlar bulunsa bile, numune alma işlemlerinin

karşılaştırılabilirliği ve temsil edilebilirliğini sağlamak amacıyla yaklaşım ve yöntemlerin uyumlaştırılması gerekmektedir.

Yeraltısuyu izlemesi için numune alma metotlarının seçiminde, bölgesel ve yerel kavramsal modeller göz önünde bulundurulmalıdır. Dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Hidrojeolojik koşullar (tabakalı akifer, gözenek/yarık/kırık akışı/geçirgenlik vb.)
- Numune alınan determinantların fizikokimyasal özellikleri (maddenin uçuculuğu, adsorplanma özellikleri, reaktivite vb.)
- Ölçülen parametrelerin türü (kimyasal, biyolojik, fiziksel) ve
- Numune alma noktalarının karakteristikleri (ör: kuyu çapı, filtre uzunluğu, numune alma derinliği, statik/akıcı).

pH, sıcaklık, iletkenlik, çözülmüş oksijen ve gerekli durumlarda redoks potansiyeli ve bulanıklık gibi ölçümü hassas parametreler olabildiğince hızlı bir şekilde sahada ölçülmelidir. Bunun için de, açık ölçüm yapma talimatları ve prosedürlerine sahip kalibre edilmiş ekipmanlara ihtiyaç vardır.

Benzer şekilde, numune içinde bulunan çözülmüş ve çözünmez fazlar arasında meydana gelebilecek değişimlerden kaçınmak için, su numunelerinin koruma ve süzgeçle süzülmesi gibi işlemlerin, sahada çabuk bir şekilde yapılması gerekir.

Yeni analitik metotlar ve parametreler, izlemenin kalitesini iyileştirmek ve verimlilik sağlamak amacıyla izleme programlarına eklenebilir. Bu yeni analitik metotlar ve parametrelerle ilgili olarak standart metotlar henüz mevcut olmayabilir. Bu tarz durumlarda, “kurum içi” doğruluğu kontrol edilmiş yöntemler kullanılabilir ve yeni metotların performansı düzenli olarak değerlendirilmelidir.

4.2.2.2 İzleme Verilerinin Kalitesini Sağlama

Yeraltısuyu izlemesi için gerekli olan kalite amaca göre değişir ancak aşağıdakileri kapsayan tüm sürecin her bir aşaması için belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar:

- Kavramsal modelleme,
- İzleme tasarımı,
- Arazi numunesi ve ölçümleri,
- Laboratuvar analizleri,
- Taşıma, depolama, modelleme,
- Verilerin yorumlanması,
- Sonuç raporlamalarıdır.

İstenen kalite, sürecin her bir aşamasındaki doğrulanabilir kalite gereklerinin tanımlanması yoluyla elde edilmelidir. İzlenecek sistemin değişkenliği, numune alma ve analize ilişkin belirsizlik, hata durumunda söz konusu olan riskler ve masraflar, amaca uygun kalite şartlarının belirlenmesinde göz önünde bulundurulmalıdır.

Numune almaya ilişkin kalite gereksinimleri, numune almada kabul edilebilir maksimum belirsizliğe göre formüle edilmelidir. Analize ilişkin kalite gereksinimleri, analizde kabul edilebilir maksimum belirsizliğe ve gerekli analitik tespit limitine dayanılarak formüle edilmelidir. Verilerin transferi, depolanması, modellenmesi ve yorumlanmasına ilişkin kalite gereksinimleri, iyi modelleme uygulamalarına dayanan veri yönetim, yorumlama ve karar kurallarının açık bir şekilde belgelenmesine dayanır.

Numune alma ve analizlerle ilgili olarak, uygun kalite güvence prosedürleri, numune alma ve analizlerdeki hataların en aza inmesini sağlar. Kalite güvence prosedürlerinde yer alması gereken unsurlar şunlardır:

- Numunelerin, cihazların ve operatörlerin belirlenmesi ve kayıtlarının alınması
- Numune alma metotları, numune alma planı ve numune alma saha raporları
- Numunenin taşınması, alımı, depolanması ve muhafazası
- Belirsizlik değerlendirmesi dahil olmak üzere metotların doğruluğunun kontrolü

- Analitik ölçüm prosedürleri
- Metotların iç kalite kontrolü
- Dış Kalite Kontrol programlarına katılım (yeterlilik testi programı vb.)
- Sonuçların anlatımı
- Belgelerin izlenebilirliği
- Ölçümlerinin izlenebilirliği

Numune alma verilerini ve analitik verileri kullananlar, alınan hizmetlerin kalitesine ilişkin belgelendirilmiş bilgileri talep etmeli ve gerekli kalite kriterlerinin karşılandığından emin olmalıdır.

Saha ölçümleri için uygun olan parametreler, saha ölçümleri, laboratuvar ölçümleri için gerekli olan metot doğrulama ve kalite kontrol işlemlerine tabi tutulmalıdır. Verilerin transferi, depolanması, modellenmesi ve yorumlanmasının kontrolünde, veri tutarlılığının kontrolü (transfer ve depolama) zorunludur (EU CIS 15, 2007).

4.3 Yeraltısuyu Numune Alma Kuyularının Seçimi

Su Çerçeve Direktifi yeraltısularının izlenmesine yönelik genel bir çerçeve çizerken, teknik dokümanlar uygulayıcı ülkelere izleme noktalarının belirlenmesinden, numune alımına kadar geniş yelpazede detaylı bilgiler sunmaktadır. Bu kapsamda, 15 numaralı teknik doküman olan Yeraltısuyu İzleme Kılavuzu'nun Ek 3'ünde yeraltısuyu izleme çalışmalarında mevcut kuyuların kullanımının avantaj ve dezavantajlarından bahsedilmektedir.

Birçok ulusal izleme programı, özellikle de zamanla geliştirilenler, büyük ölçüde mevcut boşalım noktalarından numune alımına yönelik hazırlanmaktadır. Bunlar içinde kamuya ait sondaj kuyuları (*public supply borehole*), belli bir süreklilik içinde çalışma avantajına sahip olduğu için kuyu tahliyesi gerektirmemektedir. Su temini yapılan pompadan (genelde yan taraftaki musluklardan) numune alımı kolay ve masrafsız olup, arazi parametrelerinin ölçümü de hemen gerçekleştirilebilmektedir. Evsel, özel, endüstriyel ve sulama amaçlı kullanılan sondaj kuyuları da yaygın bir şekilde kullanılmakta olup, daha seyrek kullanılmaları dışında sayılan avantajların birçoğuna sahiptirler. Bazı akiferlerde, kazma kuyuları çok sayıda ve kolay ulaşılabilir nitelikte olabilmekte ancak, bu kuyular doğrudan sızmalara veya kirlenme yollarına açık, kuyu tahliyesi zor ve sığ oldukları için akiferin yalnızca üst kısımlarını temsil eder nitelikte olabilmektedir.

Yeraltısuyundan kaynak boşalımlarının olduğu durumlarda, bu kaynakların kullanımı izleme maliyeti açısından kullanışlı olup tamamen masrafsızdır. Ayrıca kaynak sularından numune alımı kuyulardan numune alımına kıyasla oldukça kolaydır ve bunlar özellikle yeraltısuyu kütlelerinde dikkate alınmalıdır. Büyük kaynaklar, özellikle de büyük yarıklı akış yollarını kesen uygun sondaj kuyuları bulmanın veya inşa etmenin zor olduğu dağlık veya karstik bölgelerde uygun olabilir. Küçük kaynaklar ise bölgesel kirlenmeye açık sığ akış yollarına sahip, daha derindeki yeraltısuyu kütlelerini temsil etmeyen ve kuraklık durumunda kuruma veya mevsimlik olarak değişkenlik gösteren ya da kesintili akışlara sahip nitelikte olabilir. Bazen, kaynak akış yolları, altta uzanan daha geniş akiferler yerine yalnızca yüzeysel birikintilerden su alacak şekilde kısa ve sığ olabilir. Akiferlerin doğrudan nehirlere

döküldüğü yerlerde, yüzey suyu izleme ağıyla entegrasyon tavsiye edilmektedir çünkü, yüzey suyu kalitesi yeraltı suyunun kalitesini iyi bir şekilde yansıtabilir.

Eğer yeraltısuyu içme suyu temini amacıyla kullanılıyorsa, izleme ağı tasarımında bu durum göz önünde bulundurulmalıdır. Ham su numunelerine dayanmaları ve dağıtım sisteminden alınanlardan ziyade ayrı ayrı kuyulardan alınmaları şartıyla, temsil edici içme suyu kuyuları ve kaynakları izleme ağına dahil edilebilir veya mevcut içme suyu izleme sonuçları kullanılabilir.

Su temini amaçlı sondaj kuyularında, sondaj kuyusunun filtreli veya açık kısmından numune alınabilir. Numune, tek tip, taneler arası sedimanter akiferlerdeki dikey aralığın genelinde bulunan ya da sondaj kuyusunun kestiği ayrı yeraltısuyu akış katmanından çekilen farklı yaşlardaki suları birleştirebilir. Üzerinde en iyi şekilde çalışılan ve belgelenen kamuya ait sondaj kuyuları hariç olmak üzere numune alınan yeraltısuyunun gerçek derinlik kaynağı belirsizdir ve yeraltısuyu kalitesinde dikey farklılıklar söz konusu olabilir. Eğer çalışmakta olan su temini sondaj kuyuları derinse ve üst akifer katmanının daha düşük kalitede su içerdiği biliniyorsa ya da bekleniyorsa su temini sondaj kuyusundan alınan numuneler yeraltısuyunun kalitesi hakkında fazla iyimser bir tablo çizebilir.

Hidrojeolojik koşullar açısından akifer türü ve özelliklerinde dikey yönde büyük farklılıklar görünüyorsa veya mevcut kalite verilerinin bir analizi, katmanlaşmış yeraltısuyu kalitesinin varlığını işaret ediyorsa, temsil edici bir izleme ağının kurulabilmesi için ayrı izleme noktalarına da gerek duyulabilir. Bunun için birçok yaklaşım uygulanabilir ancak, bu yaklaşımların hepsi, yeraltısuyu koşulları ve uzmanlık isteyen inşaa teknikleri hakkında detaylı bilgi sahibi olunmasını gerektirmektedir ve özellikle kalın doymamış bölge ve yarıklı kayalara sahip akiferlerde maliyet yükselmektedir. Bu durumlarda, gözlem kuyularının kullanılması, sırf örnekleme tahsis edilmiş pompa kullanımını ya da her seferinde sahaya pompa getirilmesini gerektirmektedir. Ayrıca numunelerin kuyu içindeki durgun sudan alınmadığından emin olmak amacıyla yeterli kuyu tahliyesinin yapılması gerekir. Bu nedenle, numune alma işlemleri daha uzun sürer ve daha deneyimli ve daha fazla personele ihtiyaç duyulur. Ancak sığ su tablalarına sahip akiferlerde, sadece gözlem kuyularından oluşan izleme ağları uygun maliyetli

olabilir. Örneğin, özel saha kullanımı ve hidrojeolojik özelliklere ilişkin bilgiler kullanılarak tasarlanan çok-katmanlı veya tek-katmanlı gözlem kuyularının sahada temsil edici nitelikteki karışımını içeren bir izleme ağı, yeraltısuyu kalitesinde bölgesel açıdan büyük değişkenlik gösteren akiferler için etkili olabilir. Böyle bir durumda kaynakların, pompalı kuyuların ya da gözlem kuyularının seçimi, akış yollarının ve karakteristik taşınım sürelerinin değerlendirilmesini gerektirmektedir.

İzleme ağları, yukarıda sayılan kurulum ve işletimlerin bir karışımını içerecek şekilde oluşturulabilir. Yeraltısuyu numune alma noktalarının sahip oldukları özellikler, aşağıdaki tabloda özetlenmiştir. Seçilecek numune alma noktalarının türleri, izlemenin maliyeti hakkında bir ön bilgi sağlayabilir (EU CIS 15, 2007).

Çizelge 4.1: Numune alma kuyularının özellikleri (EU CIS 15, 2007)

Numune alma noktasının türü	Boşalım özelliği	Ayrık dikey numune alma noktaları	Kantitatif analizler	Hidrolik test	İnert malzemeler	Masraflar			Notlar
						Sondaj	Malzeme	Numune alma	
<i>Mevcut yeraltı suyu numune alma noktaları</i>									
Devlete ait su temini amaçlı sondaj kuyusu	Genelde yüksek ve sürekli	Filtre aralığı boyunca bütünlüklü	Genelde pompalama nedeniyle bozulabilir	Veri bulunabilir	Hayır	Yok	Yok	Çok düşük	
Özel mülkiyetli su temini amaçlı sondaj kuyusu	Genelde düşük ve aralıklı	Filtre aralığı boyunca bütünlüklü ancak sığ olabilir	Bazen pompalama nedeniyle bozulabilir	Veri bulunabilir	Hayır	Yok	Yok	Düşük	Düzensiz olarak kullanılan sondaj kuyularında temizlik sorunu/zaman alabilir
Sulama amaçlı sondaj kuyuları	Yüksek ancak aralıklı veya mevsimsel	Filtre aralığı boyunca bütünlüklü	Pompalama yapılmayan dönemlerde mümkün	Veri bulunabilir	Hayır	Yok	Yok	Düşük	Sondaj kuyuları kullanılmadığında kuyu tahliye işlemi zaman alabilir
Kazma kuyular	Genelde aralıklı	Hayır	Evet, genelde	Pek mümkün değil	Hayır	Yok	Yok	Düşük	Kuyuda yüksek depolama, numune alma pompasıyla kuyu tahliyesi zor
Büyük kaynaklar	Yüksek ve sürekli	Hayır	Evet, boşalım	Hayır	Malzeme yok	Yok	Yok	Düşük	Su toplama alanı büyük olabilir ve karstik alanlarda iyidir
Küçük kaynaklar	Düşük ve mevsimsel ya	Hayır	Evet, boşalım	Hayır	Hayır	Yok	Yok	Yok	Sığ, kirlenebilir akış yolları

	da düzensiz olabilir								
<i>Bir amaç için inşa edilen gözlem veya izleme amaçlı sondaj kuyuları</i>									
Tekli piyezometre	Düşük ve portatif pompalara gereksinim duyar	Bir tane, genelde zeminin yanında küçük bir filtre	Evet	Evet	Evet	Orta	Düşük	Orta ama pompaya ihtiyaç duyar	
Kümelı piyezometre grupları	Düşük ve portatif pompalara gereksinim duyar	Birçok farklı derinlik	Evet	Evet	Evet	Oldukça yüksek	Yüksek	Yüksek, pompaya ihtiyaç duyar	
Tek bir sondaj kuyusundaki piyezometre yuvası	Oldukça düşük ve portatif pompaya gereksinim duyar	İki ile beş arası	Evet	Evet	Evet	Yüksek	Yüksek	Yüksek	
Çoklu numune alma sistemleri	Oldukça düşük ve portatif özel pompaya gereksinim duyar	Çok	Bazı türler	Bazı türler	Evet	Orta	Yüksek	Yüksek	Kurulum ve işletim için özel teknik ve uzmanlık ister

5. İZLEME KUYULARI AĞ TASARIMI

İzleme kuyu ağı tasarımı her sahaya özgüdür. Uygun bir izleme ağı oluşturulurken her sahanın özelliklerinin o sahaya özgü olduğu ve yeraltısuyu akımı ve kirlletici göçünün sahaya özgü koşullardan etkileneceği göz önünde bulundurulmalıdır. Potansiyel kirlilik kaynaklarından dolayı oluşan yeraltısuyu kalitesindeki değişim, uygun şekilde tasarlanmış, yerleştirilmiş ve inşa edilmiş kuyular vasıtasıyla alınan yeraltısuyu numunelerinin kimyasal analizi ile değerlendirilebilir(OhioEPA, 2007; MassDEP, 1991).

İzleme kuyuları aşağıda yer alan nedenlerle kurulmaktadır:

- Yeraltısuyu akım yönünü etkileyen yatay ve düşey hidrolik gradyanları belirlemek
- Akifer özelliklerine ilişkin ölçümler elde etmek
- Su kalitesindeki zamanla değişimi izlemek
- Bilinen veya şüphelenilen bir kaynaktan kirlletici sızıntısını tespit etmek
- Bir akifer içindeki iki veya üç boyutlu kirlilik dağılımını tanımlamak
- Bir kirlilik bulutu oluşması ve yayılması durumunda potansiyel alıcı ortamlar için erken uyarı sistemi olarak işlev görüp önlem alınmasını sağlamak
- İyileştirme önlemlerinin etkinliğini takip etmek (OhioEPA, 2007; MassDEP, 1991)

İzleme kuyuları yerleştirilirken/seçilirken aşağıdaki unsurlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- İzlemenin amacı
- Hidrojeolojik/jeolojik özellikler
- Kuyulardan alınan numunelerin akiferi temsil etmesi
- Kirlletici özellikler
- Optimum sayıda kuyu kullanarak temsil edici veri sonuçları elde etmek
- Bütçe

Kirlilik kaynağı izlemesinin genel amacı muhtemel kirletici yollarının veya belirli bölgelerdeki yeraltısuyu kalitesinin değerlendirilmesidir. İzlenen her kirletici yolu için kuyu yerleşimi, düşey yönlü kalite ile arka plan kalitesinin karşılaştırılmasına olanak sağlamalıdır. Bir yeraltısuyu izleme ağında yeterli sayıda kuyunun yerleşimi, saha bazında ve kirletici unsurların daha iyi tanımlanabilmesi için sürekli gözden geçirilip değerlendirilmelidir.

İzleme ağı tasarımı aynı zamanda güvenlik, sistem bakım konuları, mülkiyet sınırları, ulaşılabilirlik, inşaat faaliyetleri ve araç trafiği gibi konular dikkate alınarak oluşturulmalıdır. Örneğin, araç yolu, binalar, konutlar ve çevredeki diğer tesisler nedeniyle kuyu bulmak yada kuyu inşa etmek zor olabilir. Diğer önemli bir konu ise potansiyel kirlilik kaynaklarının sayısı, aralıkları ve yönüdür.

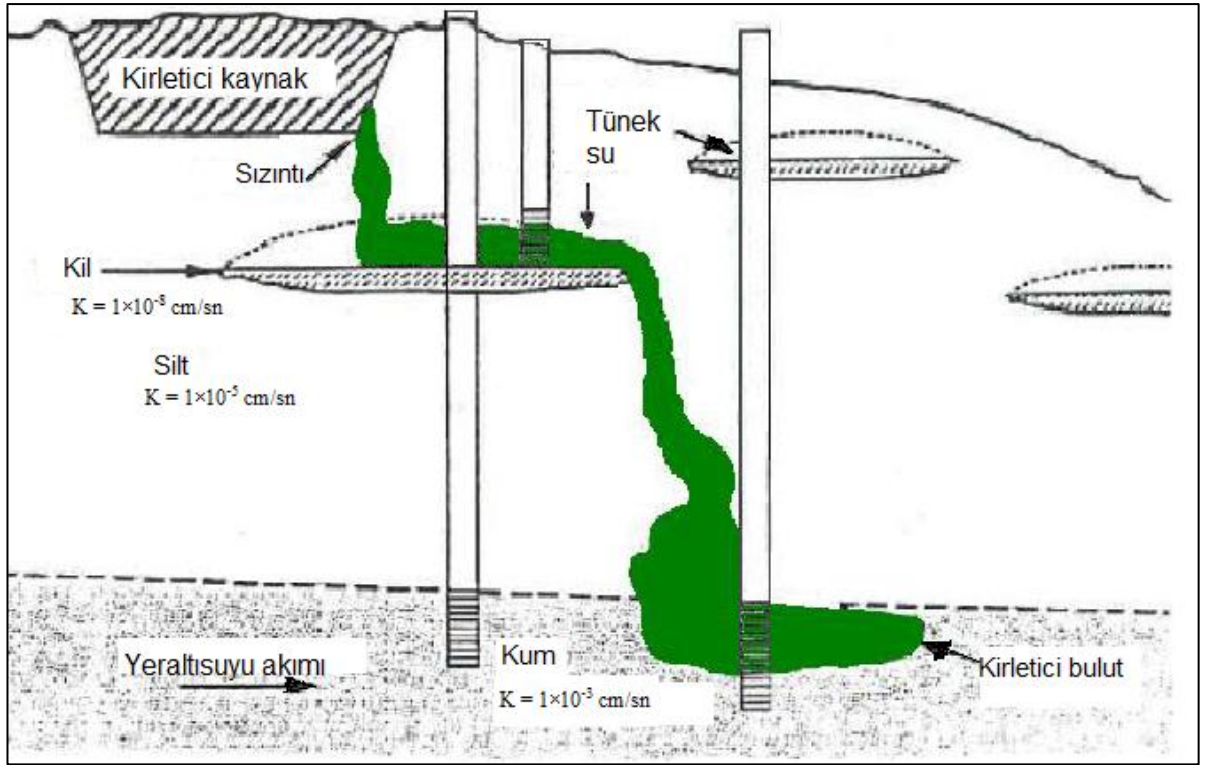
Kuyu yerleşiminde şunlara dikkat edilmelidir: kuyu sayısı, yatay yerleşim, düşey yerleşim. İzleme ağı tasarımında üç boyutlu bir sistem geliştirebilmek için kuyuların hem düşey hem de yatay yerleşimini göz önünde bulundurmak gerekir. Hidrojeolojik koşullar ile kirletici madde özelliklerinin çok iyi anlaşılması gerekmektedir (OhioEPA, 2007).

5.1 Hidrojeolojik Özellikler

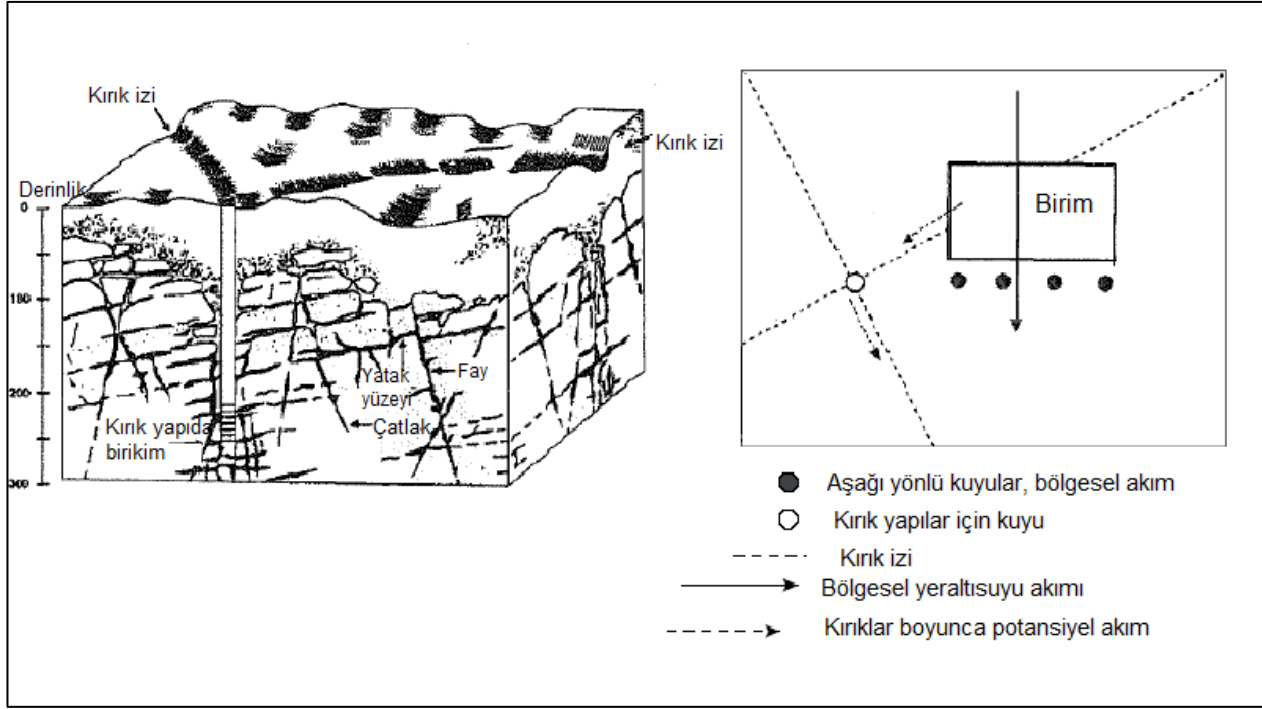
Çeşitli jeolojik formasyonlarda gerçekleşen yeraltısuyu hareketinin (akış hızı, yönü ve gradyanı) esaslarını anlamak, olası kirletici göç yollarının belirlenmesi ve yeraltısuyu izleme kuyusu yerlerinin belirlenmesi için stratejiler geliştirilmesinde önemli rol oynar. Eğer jeolojik formasyonun özellikleri ve malzemelerin formasyondaki dağılımı tanımlanamazsa, izlenmesi gereken bölgeler yanlış seçilir ve gerçek kirlilik yayılımı tespit edilemez. Su giriş ağzlarının (*intake*) yerleştirilmesini etkileyen hidrojeolojik koşullar şunlardır: su tablasına olan derinlik, tünek akifer varlığı, jeolojik malzemeler, (pekişmemiş, ana kayaç gibi), çoklu yeraltısuyu bölgesi varlığı, (serbest, basınçlı akifer), geçirgenlik, kırıklar ve kapiler saçak.

Kirletici göçü için tercihi yollar kırıklı veya nispeten yüksek hidrolik iletkenliğe (K) sahip bölgeleri içermektedir. Bu malzemelerin yeraltındaki dağılımı yeraltısuyu ve kirletici hareketi hakkında fikir edinmede önemli bir rol oynar. Az iletken bölgeler içindeki iletken bölgelerin varlığı kirletici taşınımında birden çok yolun oluşmasına

neden olabilir. Şekil 5.1, su ve kirleticilerin bir tünek akifer boyunca yatay yönlü taşınımını ve daha sonra kirleticilerin aşağıda yer alan su taşıyan bir katmana doymamış bölge boyunca düşey yönlü hareketini göstermektedir. Şekil 5.2’de ise kırık kayaçların akış modellerini nasıl karmaşık hale getirdiği görülmektedir. Bölgesel akış güney yönündedir. Ancak, kırıkların yönü, yoğunluğu ve bağlantısı yeraltı suyu ve kirleticileri başlangıçta güneydoğuya ve daha sonra güneybatıya doğru akmaya yönlendirmektedir (OhioEPA, 2007).



Şekil 5.1: Tünek akifer boyunca kirletici madde ve akışkanların hareketi (OhioEPA, 2007)

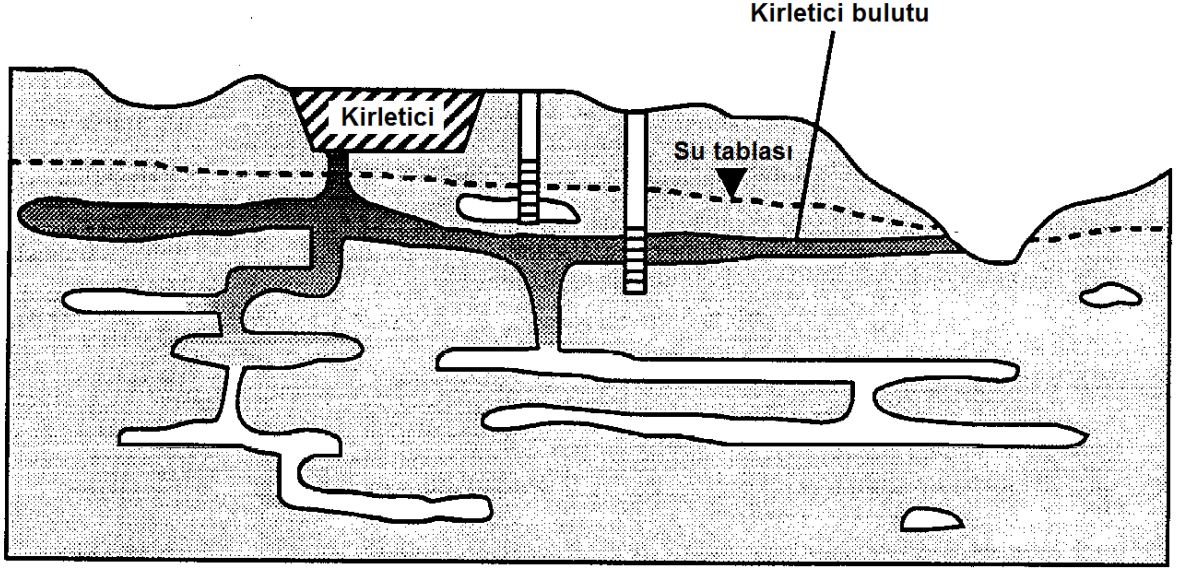


Şekil 5.2: Kırık yapı boyunca kirletici göçü için çoklu yollar (USEPA, 1993)

Kanal akışının hakim olduğu karstik yapılı akiferlerde, kirletici maddeler öncelikle yeraltı kanalları yoluyla göç eder ve bu türdeki akiferlerde kuyu yerleşimleri genelde etkili olamamaktadır. Karstik kanallar genellikle, karaya veya yüzey su kütleleri boyunca deşarj yapan kaynaklara suyunu boşaltır. Birçok karstik ortam için kirleticilerin yeraltısuyuna sızmasına yönelik erken ve güvenilir izleme sistemleri genelde tesis sınırları dışında kalan kaynaklarda ve mağaralarda gerçekleştirilebilmektedir. EPA karstik kanallardan yeraltısuyu akımının hakim olduğu akiferler için sızıntı suları, kaynaklar ve mağara akışlarının izlenmesini önermektedir (US EPA, 1993; Ouinlan, 1989).

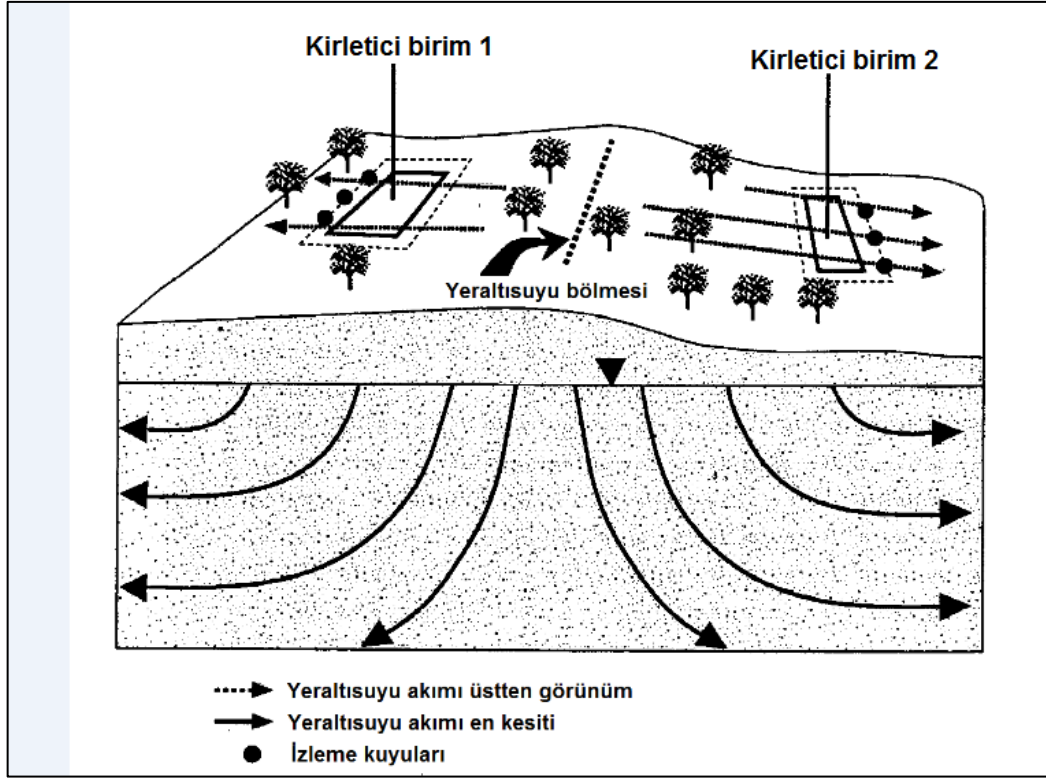
Şekil5.3, yeraltısuyu akımının çoğunlukla kanallar aracılığıyla gerçekleştiği bir karstik arazinin genel görünümünü göstermektedir. Kirletici birime çok yakın mesafede kurulan izleme kuyuları hidrolik açıdan kirletici birime bağlı kanalları kesemeyebilir. Boya izleyicileri kullanılarak atık yönetim birimi ile bölgesel su kaynakları arasında bir hidrolik bağlantının olup olmadığı kontrol edilebilir.

Hidrolik açıdan etkileşim içinde olduğu belirlenen su kaynakları için ayrı izleme programlarının oluşturulması gerekebilir (USEPA, 1993).

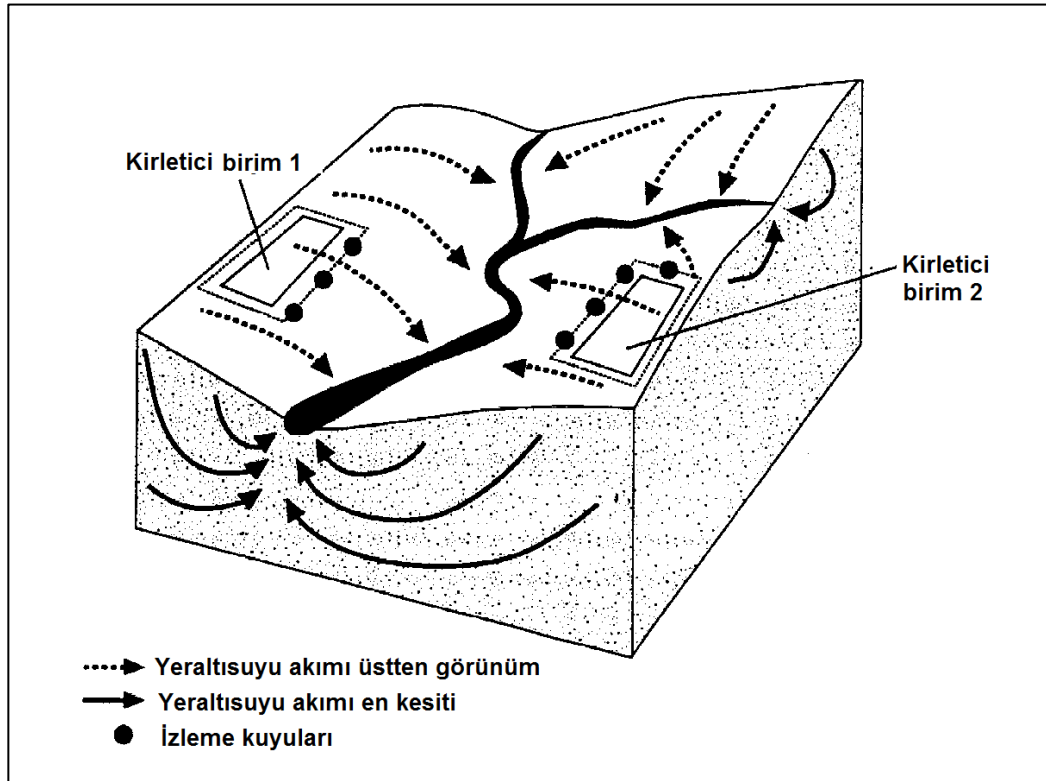


Şekil 5.3: Karstik araziye kurulan izleme kuyuları (USEPA, 1993)

Yeraltısuyu akımı ayrımının olduğu durumlarda, kirlenici kaynaklarının tespitine yönelik izlemelerde kuyuların sahadaki yerleşimini gösterir bir örnek aşağıdaki şekilde yer almaktadır. Kirlenici kaynak 1 için izleme kuyuları kaynağın solunda yer alırken, kirlenici kaynak 2 için izleme kuyuları kaynağın sağ tarafında yer almaktadır. Şekil 5.5’de ise iki farklı kirlenici biriminin bir nehrin farklı taraflarında yer alması durumunda yeraltısuyu akım yönüne göre izleme kuyularının sahaya yerleşimine yönelik bir örnek görülmektedir (USEPA, 1993).



Şekil5.4: Yeraltisuyu ayrimina göre izleme kuyusu yerleşimi (USEPA, 1993)



Şekil5.5: Nehir ayrimina göre izleme kuyusu yerleşimi (USEPA, 1993)

5.2 Kirletici Özellikleri

Bir izleme programı oluşturulurken sahadaki mevcut atık/kirleticilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri sahanın hidrojeolojik özellikleri ile bir bütün halinde değerlendirilmelidir. Yeraltına nüfuz eden kirleticilerin taşınımı ile ilgili fiziksel ve kimyasal özellikler, kirletici bulutunun oluşumu ve şekillenmesini doğrudan etkilemektedir. Kirletilmiş olan sahalarda temsil edici numunelerin alınabilmesi için bu etkiler dikkate alınarak etkin bir izleme programı oluşturulmalıdır.

Yeraltında oluşan üç kirletici türü bulunmaktadır. Bunlar sulu (yeraltısuyunda çözünen), susuz fazlı sıvılar (SFS) ve tanecikli maddelerdir (inert veya biyolojik olarak aktif koloit boyutlu parçacıklar). Bu kirletici maddelerin taşınımı bağlı çözünürlük, yoğunluk, viskozite ile bozulma ve reaksiyona girme potansiyeli gibi özelliklerin bir fonksiyonudur. Farklı özelliklere sahip kirletici madde kombinasyonu mevcut ise birden fazla kirlilik bulutu meydana gelebilir.

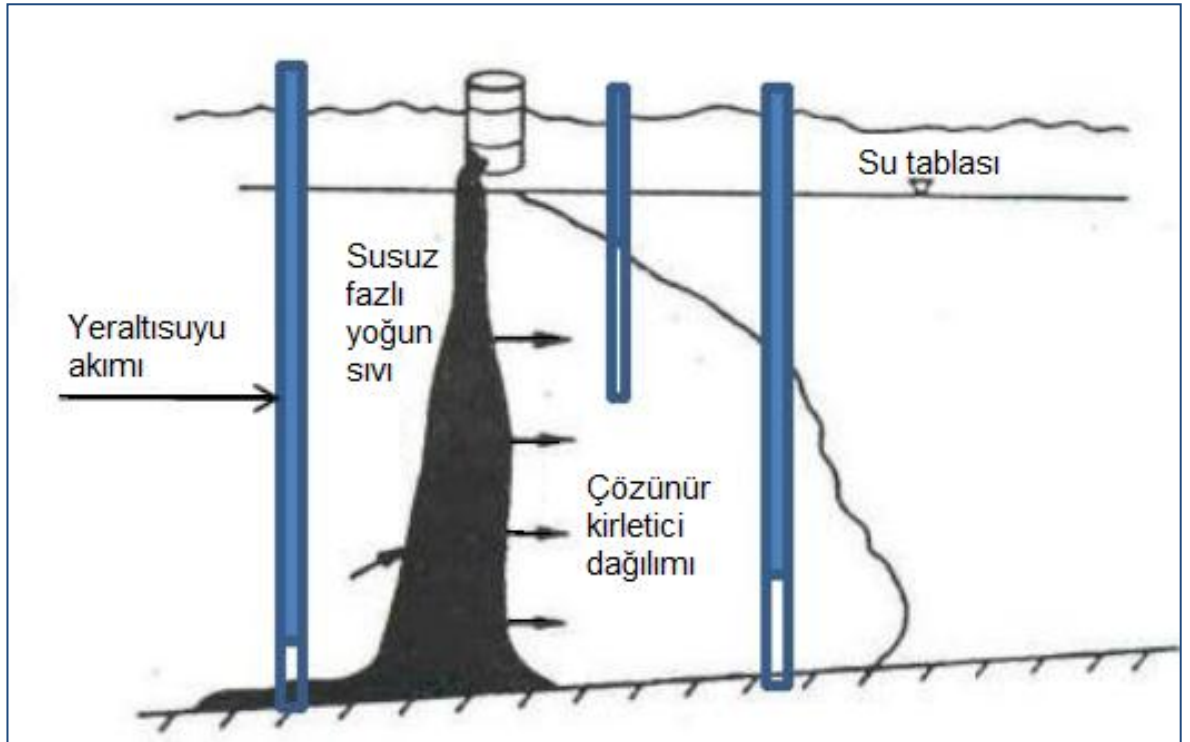
Bağlı çözünürlük, bir kirleticinin yeraltısuyunda çözünmüş (çözünür) veya serbest sıvı faz halinde (çözünmez) bulunup bulunmadığının ifadesidir. Çözünür fazın taşınımı genellikle yeraltısuyu akımı yönünde gerçekleşir. Susuz fazlı sıvıların hareketi ise akışkanın yoğunluğundan etkilenmektedir. Akışkan yoğunluğu, hacim başına akışkan kütlesi (g/cm^3) olarak tanımlanmaktadır. Bir kirletici yeraltısuyundan daha yoğun ise çökme eğilimi gösterir ve susuz fazlı yoğun sıvı (SFYS) olarak akiferde birikir. Buna karşılık, daha az yoğun olan bir kirletici madde, susuz fazlı hafif sıvı olarak (SFHS) doymuş bölgelerin üst kısımlarında birikmeye eğilimlidir. Birçok SFHS'ler yağ ve yakıt hidrokarbonlarıdır. SFYS'ler ise klorlu bileşikler (karbon tetraklorür, tetrakloroetilen gibi), PCB'ler ve kreozot içerir.

Bir kirleticinin yoğunluğu, kirletici maddenin bağlı çözünürlüğü ile bağlantılı olarak çözünmüş ve serbest faz bulutunun şeklini ve hareket alanını doğrudan etkilemektedir. Kirleticiler bağlı çözünürlük ve yoğunluğa göre sınıflandırılabilir:

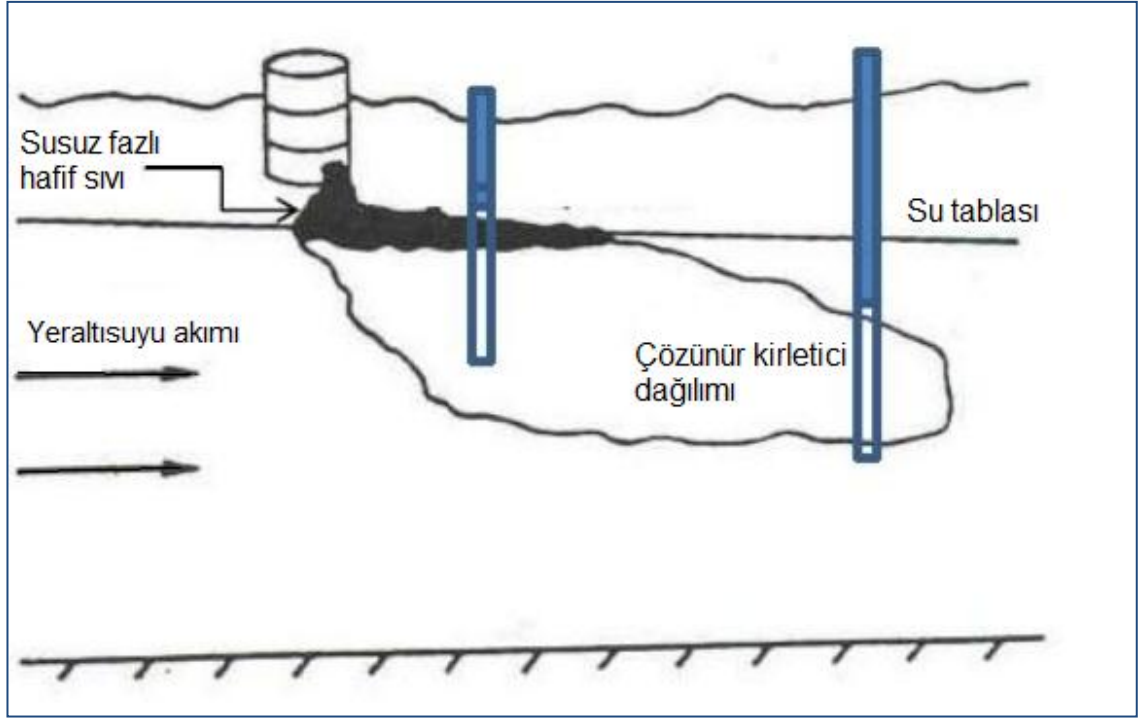
1. Düşük yoğunluk ve kısmen çözünür (Şekil 5.5)
2. Yüksek yoğunluk ve kısmen çözünür (Şekil 5.8)
3. Düşük yoğunluk ve kısmen çözünmeyen (Şekil 5.7)
4. Yüksek yoğunluk ve kısmen çözünmeyen (Şekil 5.6)

Kısmen çözünür kirletici maddeler genellikle yeraltında hareket halindedir ve geniş çözülmüş bulutlar oluşturabilir. Eğer kirletici yoğun ve çözünür bir sıvı ise oluşan bulutlar doymuş bölgenin tüm kalınlığını kaplayabilir (Şekil 5.6 ve Şekil 5.6). Benzer şekilde, kirletici çözünür fakat düşük yoğunluktaysa, kirletici bulutu yayılımının büyük bir kısmı doymuş bölgenin üst kısımları ile sınırlı olacaktır (Şekil 5.7). Çözülmüş fazın derinliği düşey akış unsuruna bağlıdır.

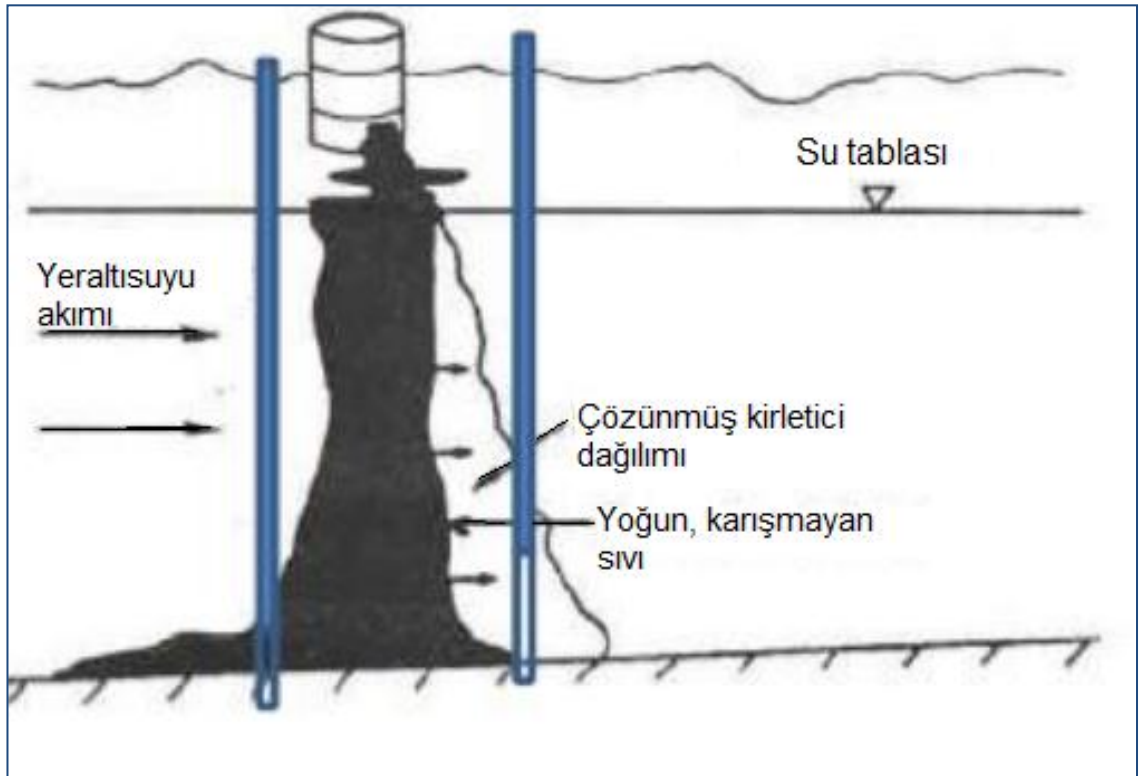
SFYS'ler yoğunluklarından ötürü düşey yönde hareket ederler ve geçirimsiz tabakanın yüzeyinde birikirler. Bazı durumlarda, SFYS'ler yeraltısuyu akım yönüne karşılık gelmeyen bir doğrultuda hareket edebilir (Şekil 5.6 ve Şekil 5.6). Susuz fazlı hafif sıvılar genellikle kapiler saçak tablasının üst kısmında hareket eder (Şekil 5.7 ve Şekil 5.7). Bir bileşiğin SFYS veya SFHS halinde bulunup bulunmadığını tanımlamak, içinde çözüldüğü madde dolayısıyla zor olabilir. Örneğin, serbest fazlı PCB'ler sudan daha yoğun olabilir ancak yağın içinde çözülmüş PCB'ler SFHS şeklinde taşınabilmektedir (OhioEPA, 2007).



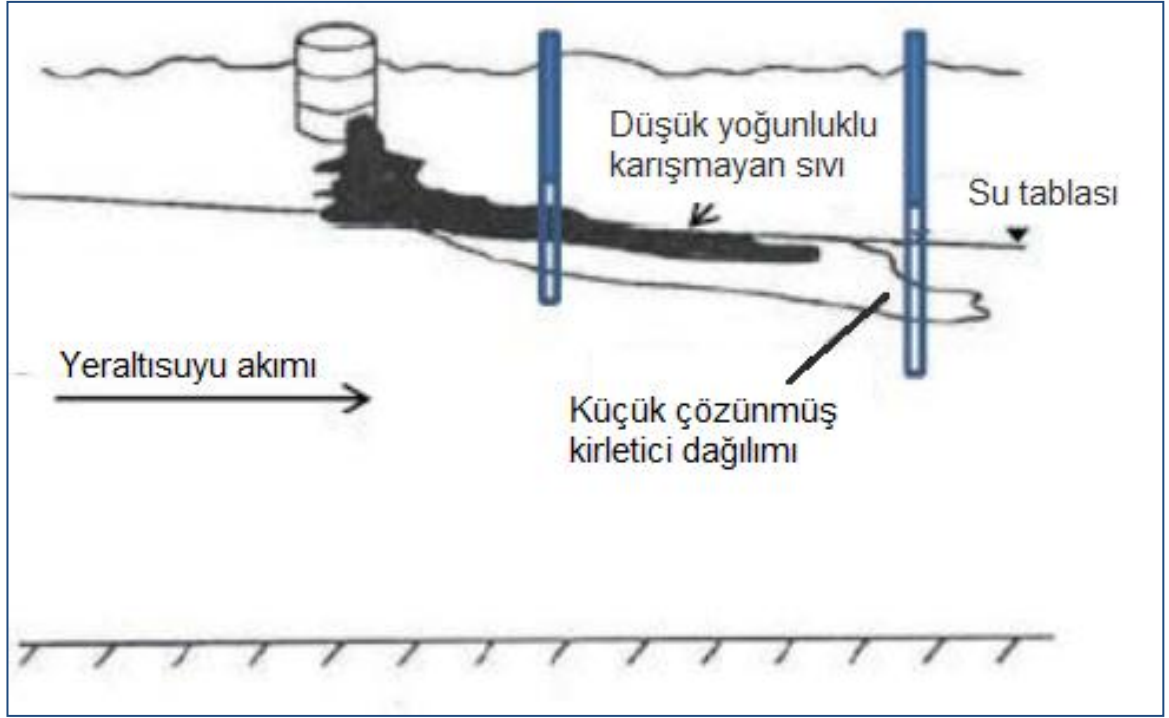
Şekil 5.6: Yoğun ve çözünür bir kirleticinin yeraltında yayılımı(OhioEPA, 2007)



Şekil 5.7: Düşük yoğunluklu, çözünür bir kirleticinin yeraltında yayılımı(OhioEPA, 2007)



Şekil 5.8: Bir susuz fazlı yoğun sıvının yeraltında yayılımı(OhioEPA, 2007)



Şekil 5.9: Düşük yoğunluklu, susuz fazlı sıvının yeraltında yayılımı(OhioEPA, 2007)

Bir susuz fazlı sıvının kinematik viskozitesi, bileşiğin yeraltından süzülebilme kapasitesinin bir göstergesidir. Kinematik viskozite dinamik viskozitenin yoğunluğa oranının ifadesidir. Dinamik viskozite ise bir maddenin (saf halinde) akma kolaylığının bir göstergesidir. Düşük kinematik viskoziteye sahip kirleticiler gözenekli bir ortama nüfuz etme eğilimi içinde olur. Genel manada, kinematik viskozite değeri 0.4 santistoktan (cs) küçükse akışkanlık yüksek, değer 0.4 ve 0.8cs arasında ise orta ve 0.8 cs'den büyük ise düşük olarak değerlendirilir.

Suyun kinematik viskozitesi yaklaşık olarak 1 cs'dir. Bir susuz fazlı sıvının bağlı viskozitesi yeraltısuyuna ne kadar hızlı bir şekilde nüfuz ettiğini gösterir. Örneğin, tetrakloroeten, 1,1,1-trikloroetan, metilen klorür (düşük kinematik viskozite) sudan 1.5 ile 3 kat daha hızlı bir şekilde akmaktadır. Hafif ısıtma yağı, dizel yakıt ve ham petrol (yüksek kinematik viskozite) ise sudan 2 ile 10 kat daha yavaş hareket etmektedir. Benzin gibi düşük viskoziteli bir SFHS, kapiler saçak/su tablası yüzeyinde yüksek viskoziteli bir SFHS'nin olabileceğinden daha hızlı yayılma eğilimindedir. Bir SFYS sudan daha viskozdur ve yeraltısuyunun ortalama lineer hızından daha yavaş hareket eder(OhioEPA, 2007; USEPA, 1991).

5.3 Kuyu Sayısı

Bir izleme programının etkin bir şekilde yürütülebilmesi için yeterli olabilecek kuyu sayısı, izleme programının amacı (mevzuat gereklilikleri) ile saha koşullarına bağlıdır. Yeraltısuyunda sadece kirlilik olup olmadığını tespit etmek amacıyla oluşturulan gözetimsel izleme, kirletici göçünün boyutu ve oranını belirlemek amacıyla veya iyileştirici faaliyetlerin etkinliğini değerlendirmek amacıyla kurulmuş olan operasyonel izlemeye göre daha az kapsamlıdır. İzleme amacıyla en az sayıda kuyu belirlenmeye çalışılır ancak, geniş birimler ile birden çok katmanın olduğu formasyonlar için kuyu sayısı artırılabilir (OhioEPA, 2007).

5.4 Kuyu Konumları

5.4.1 Düşey Kuyu Yerleşimi

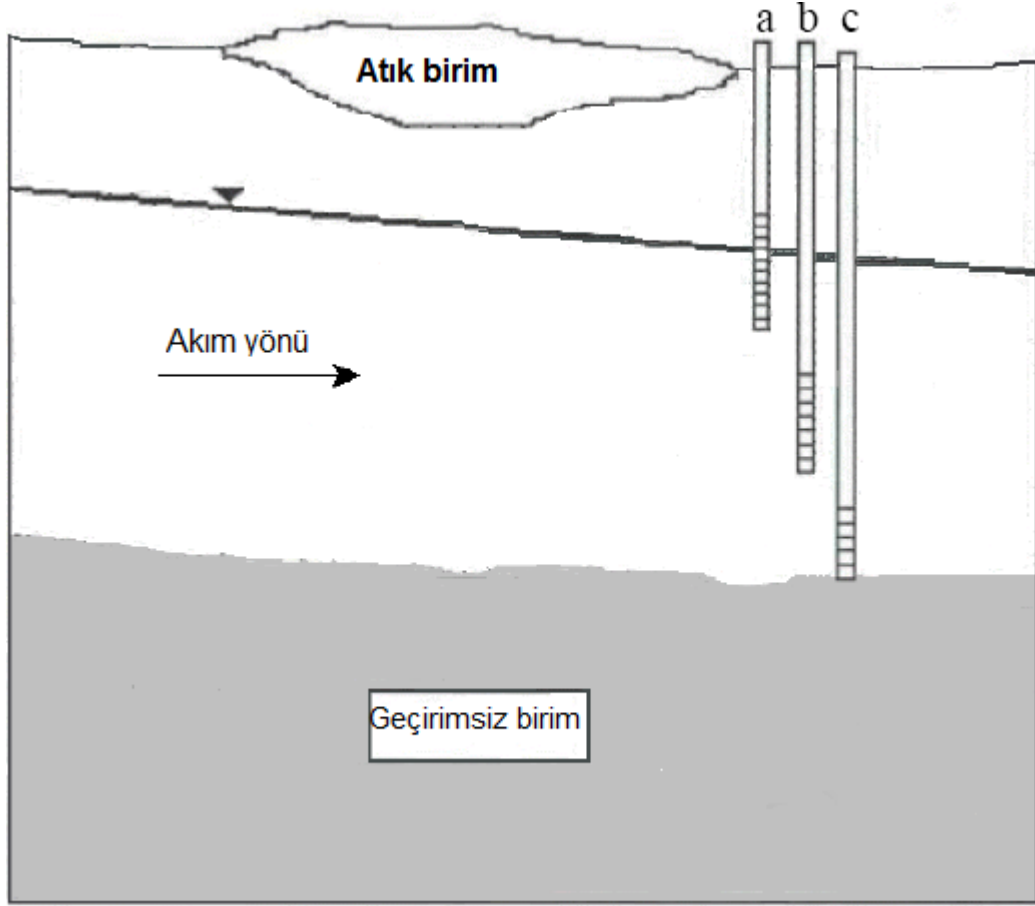
Düşey yönlü izleme kuyusu yerleşimi yeraltısuyu akım yolunun derinliği ve kalınlığına bağlıdır. İzleme kuyularının derinliği ve filtreleme aralığı kuyuların yerleştirileceği yatay aralık kadar önemlidir. Bazı durumlarda, düşey gradyanlar yatay gradyanlara göre daha önemli olabilmekte ve çözünür kirletici hareketinde daha büyük etkiye sahip olabilir. Düşey gradyanın belirlenmesi kısa filtre uzunluğuna sahip çok seviyeli kuyuların kurulmasını gerektirir. Kirletici maddelerin niteliği (çözünür veya çözünmez gibi) düşey yönde filtreleme aralığının belirlenebilmesi için dikkate alınmalıdır. Örneğin ilgili kirletici maddeler yüzer maddeler ise akiferin üst bölgesini izlemek uygun olacaktır. Yoğunluğu sudan fazla olan sıvılar için kuyu filtreleri sert kil (*till*) veya ana kayaç ara yüzeyi gibi geçirimsiz sınırında veya biraz üstünde yerleştirilebilir. Genellikle susuz fazlı yoğun sıvıların mevcudiyeti, kirletici çözünürlüğünün kirleticinin yeraltısuyundaki çözünmüş konsantrasyonu ile karşılaştırılması ile anlaşılmaktadır(OhioEPA, 2007).

Su Giriş Ağzı Derinliği

Killer ve buzul tili gibi ince taneli malzemelerden oluşan topraklarda su tablası üzerinde toprak nemli olur. Bu katman kılcal kuvvetlere (su molekülleri ile toprak parçacıkları arasındaki moleküler kuvvetler) maruz kalır ve bu bölgeyekapiler saçak denilmektedir. Genel olarak kapiler saçığın kalınlığı tane boyutu ile ters orantılı

olarak değişir ve su tablasının üzerinde iri taneli malzemelerde 0 ile 2/3 m arasında, ince malzemelerde (örneğin kil) ise daha fazladır (Yolcubal, t.y). Kapiler saçak kolayca su tablası ile karıştırılabilir. Bu yüzden, kapiler saçak suyunun kuyuya girişini önlemek için filtre kurulumu yapılmadan önce suyun boru içinde gözlemlenmesi önerilmektedir. Doymuş bölgenin üst, orta ve alt kısımlarını izlemek amacıyla kuyu kurulması gerekebilir (Şekil 5.9). Çoklu ayırık doymuş bölgeler var ise aynı yerde birden çok kuyunun açılması gerekebilir.

Yeraltısularında SFHS kirliliği tespiti amacıyla kurulan kuyular, su girişleri yeraltısuyu tablası ara yüzeyi boyunca ve mevsimsel seviye dalgalanmaları göz önünde bulundurularak yeterli derinlikte ve uzunlukta kurulmalıdır. Daha derin kuyular ise kirleticide belirgin bir çözünme olması durumunda kirliliğin düşey yöndeki dağılımını tespit etmek amacıyla gerekli olabilir. Yatay yönlü yeraltısuyu akımı baskın olsa bile yoğunluk farkından dolayı SFYS'ler düşey yönde hareket eder; bu yüzden, doymuş bölgenin yakını veya tabanında yada geçirimsiz tabakanın hemen üstünde kısa filtreler yerleştirilmelidir (Şekil 5.9, c Kuyusu). SFYS'ler ve SFHS'lerden her ikisinin de yeraltısuyuna karışması durumunda farklı derinliklerde birden fazla kuyunun kurulması gerekebilir. Eğer gözetimsel izleme yeraltısuyu kirliliği durumunu belgelediye ve kirleticilerin daha derin seviyelerde de bulunma ihtimali varsa, düşey yönlü kirlilik göçünü tespit etmek amacıyla daha derin kısımlara da su alma girişleri yerleştirilmelidir (OhioEPA, 2007).



Şekil: 5.10: Doymuş bölgenin kalınlığına bağlı yerleştirilmiş kümeli kuyular (OhioEPA, 2007)

5.4.2 Yatay Kuyu Yerleşimi

İzleme kuyuları yerleştirilirken veya mevcut kuyular içinden numune alınacak yeraltı suyu kuyuları belirlenirken, kuyular arası aralık her sahaya özgü belirlenmelidir. Alanın büyüklüğü, kirlilik boyutu, saha yerleşimi, kirlenici kaynaklar, jeolojik ve hidrojeolojik koşullar ve su kaynakları kuyular arası yatay mesafeye karar verirken dikkat edilmesi gereken faktörlerdir. Genel manada, saha koşulları ne kadar karmaşık olursa izleme kuyuları arası mesafe o kadar yakın olmalıdır.

Kirlilik incelemelerinde, kuyular arası yatay aralık kirlilik bulutunun alansal konumunu tanımlamaya yardım etmektedir. Saha hidrojeolojik koşulları (kavramsal model) göz önünde bulundurularak olası kirlilik kaynakları ve sahaya özgü kirlilik

özelliklerinin kombinasyonu kirlenmenin olduğu muhtemel bölgeler hakkında bilgi sağlayacaktır (MassDEP, 1991).

Yatay aralıklarla yerleştirilen izleme kuyuları iki kategoride incelenebilir:

- Akış aşağı kuyular (mansap tarafı)
- Akış yukarı kuyular (membra tarafı)

a) Akış Yukarı Kuyular

Bir akış yukarı kuyunun kullanılmasındaki amaç, bir akiferin arka plan (*background*) yeraltısuyu kalitesi koşullarının belirlenmesidir. Bir akış yukarı kuyusunun muhtemel kirlenici kaynağından gelen kirlilik yayılımından etkilenmeyecek bir noktada bulunması gerekir. Eğer bir akifer içinde birden fazla katman veya birden fazla akifer kirliliğe ise akış yukarı kuyuların sayısı her statigrafik bölgeyi izleyebilecek yeterlilikte olmalıdır. Bir kaynağın akış yukarı kuyusu başka bir kaynağın akış aşağı kuyusu olabilir. Eğer birden fazla kaynak varsa birçok akış yukarı kuyunun kurulması gerekebilir. Sonuç olarak, arka plan kuyularının ilgili alan veya kaynağın yukarı yönünde olduğundan emin olunmalıdır (MassDEP, 1991).

b) Akış Aşağı Kuyular

Akış aşağı kuyular, bir akifer içinde belirli bir nokta, alan veya bölge içinde hidrolik açıdan aşağıda yer alan kuyulardır. Bunlar potansiyometrik yüzeyin eğimine göre, “aşağı” yada daha düşük yönde yer alır. Akış aşağı kuyular, bir kaynaktan gelen kirlenicilerin yeraltısuyuna karıştığı alanlara yerleştirilmelidir. Kirlenici araştırmalarında, akış aşağı kuyular kirlilik bulutunun boyutunu tanımlamak ve kirlenicilerin göçünü izlemek üzere kullanılır.

Kirliliğin gerçek boyutunu hem düşey hem yatay yönde saptayabilmek için yeraltısuyu akışının üçboyutlu yapısına göre kirlenici bulutunun içinde ve dışında yeterli sayıda akış aşağı kuyunun bulunması gerekir. Sahada gözlemlenen hidrojeolojik koşullar, akış aşağı kuyuların yerleştirileceği mevkileri seçmeye yardımcı olan kavramsal modelin geliştirilmesi için yararlı bilgiler sağlayabilir. Kirlenicilerin tercihli akış bölgeleri ve alanları (yüksek hidrolik iletkenliğe sahip

katmanlar, kırıklar, faylar) izlenmelidir. İzleme kuyuları her defasında aynı stratigrafik bölgede veya muhtemel kirlilikten şüphelenilen veya tespit edilen yeraltısuyu akış yolunda izlenmelidir (MassDEP, 1991).

5.5 Akış Aşağı Kuyuların Yerleşimi

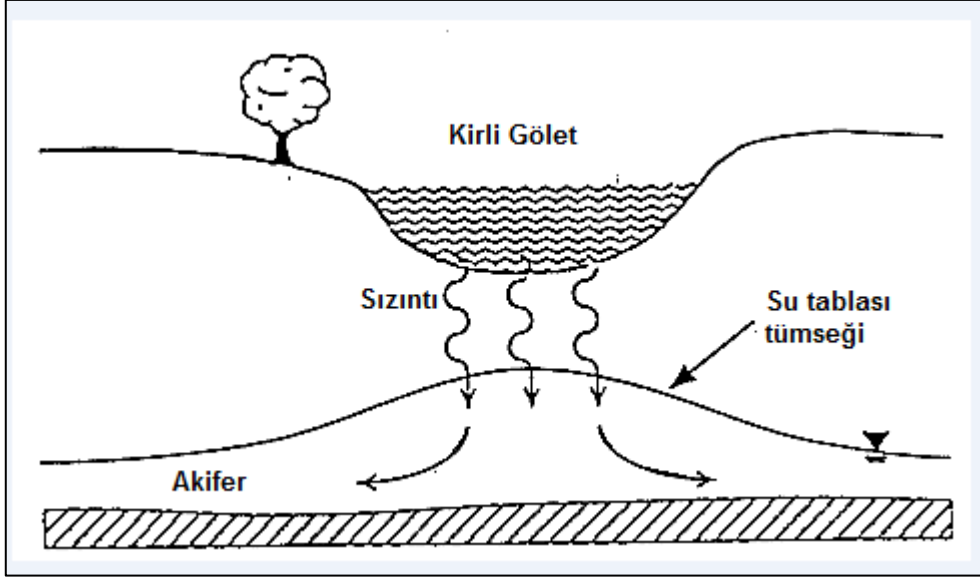
Akış aşağı izleme kuyularının alansal yerleşimi muhtemel kirletici yollarının mekânsal dağılımına dayalı olmalıdır. Alansal yerleşimin ana unsurları ilgili kirletici kaynağının konumu ile aralığını içerir. Ayrıca yeraltısuyu izleme ağı tasarımında kirlilik kaynağının aşağı yönünde kalan su temini kuyuları, kaynaklar ve yüzey suları gibi alıcı ortamlar da dikkate alınmalıdır.

Homojen, izotropik bir ortamda kuyu yerleşimi genel akifer özellikleri (ör., yeraltısuyu akım hızı ve yönü) ve muhtemel kirletici taşınma özelliklerine (ör., adveksiyon, dispersiyon) dayalı olabilir. Bununla beraber, genelde saha jeolojisi kirleticilerin göçünü kontrol eden değişken ve öncelikli akım yolları oluşturur. Bu tür heterojen, anizotropik jeolojik ortamlar, kirleticilerin taşınabileceği çok sayıda, farklı bölgelere sahiptir (OhioEPA, 2007).

5.5.1 Kirlilik Kaynağına Bağlı Akış Aşağı Kuyu Yerleşimi

Yeraltısuyu numune alımına yönelik uygun konumların belirlenmesi için tüm muhtemel kirletici göç yollarında yeraltısuyu akım yönünün belirlenmesi gerekir. Yeraltısuyu akım yönünün bilinmesi, potansiyel olarak kirlenmiş yeraltısuyunu kesen kuyuların kirletici kaynağının hidrolik açıdan aşağı yönünde yerleştirildiğinden emin olmak için gereklidir. Bir kirlilik sızıntısının oluşup oluşmadığını belirlemek için, akış aşağı kuyular muhtemel sızıntı kaynağının mümkün olduğu kadar yakın kısımlarına yerleştirilmelidir.

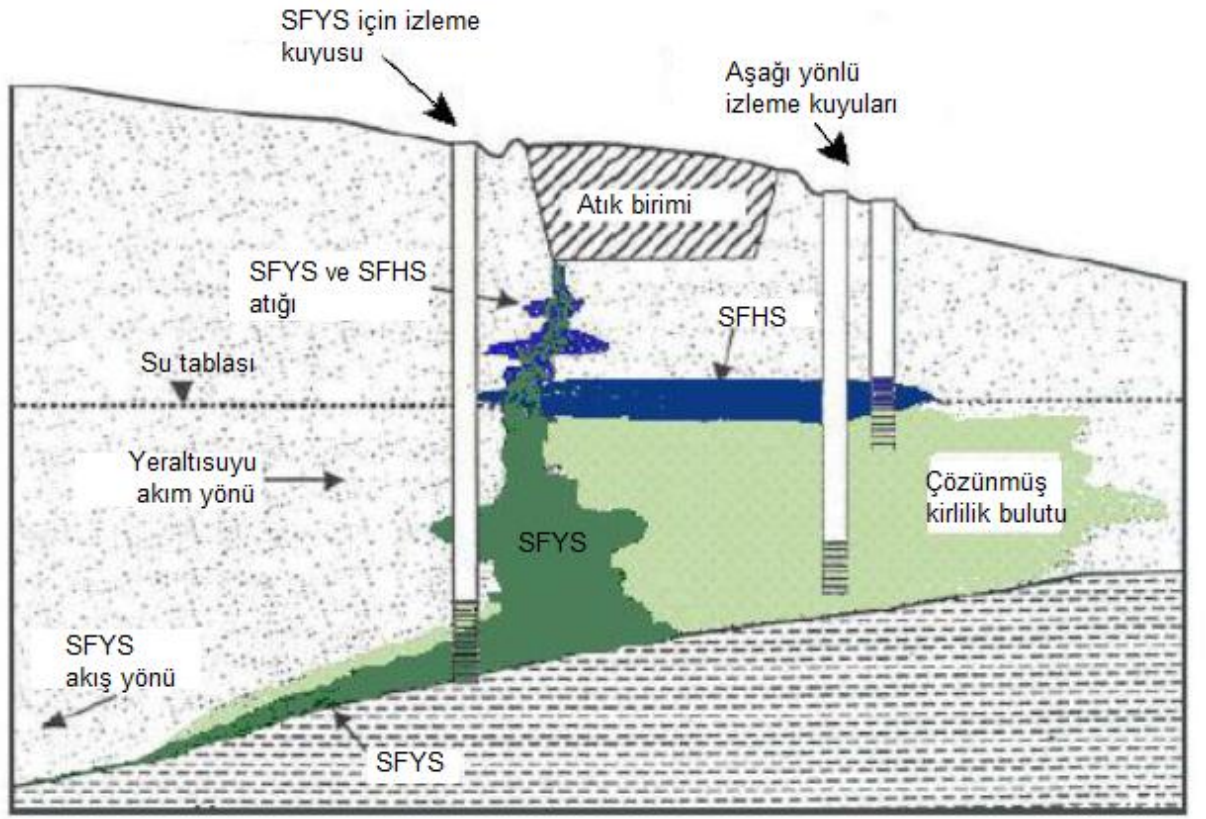
Sığ su tablasının olduğu bir alandaki kirli bir gölet su tablasında tümseklenmeye neden olabilir. Bu gibi durumlarda, tamamen kirlilik kaynağı etrafında akış aşağı kuyular yerleştirmek gerekebilir.



Şekil 5.11: Gölet sızıntısı ve ilişkili su tablası tümseği

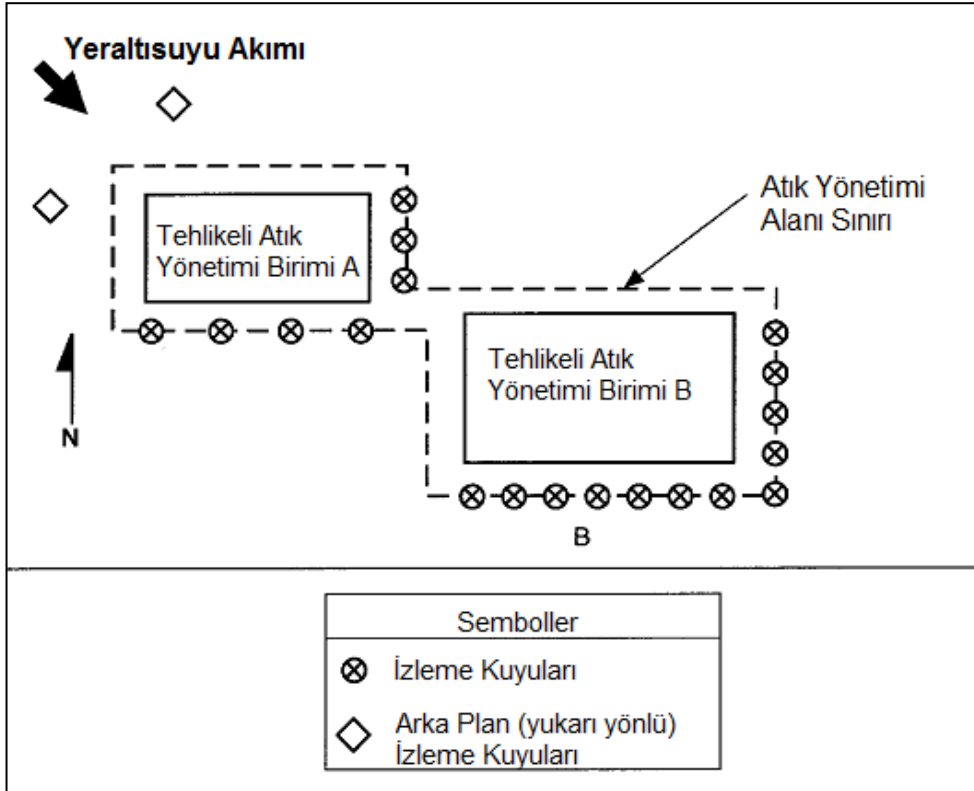
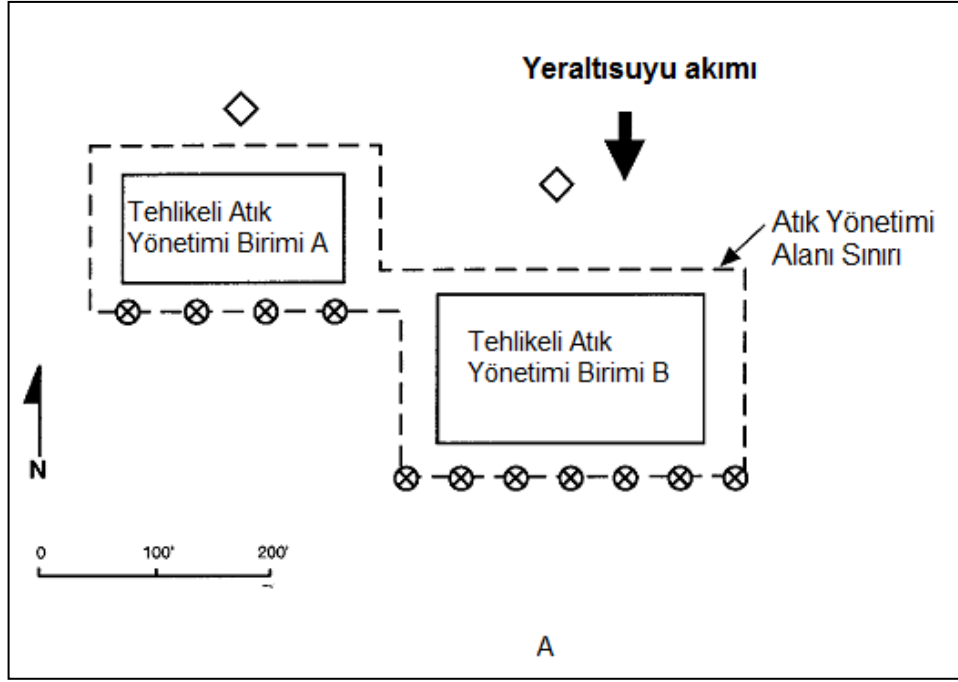
Mevcut bir SFYS varlığında kirletici maddenin düşey yönde taşınımı ve daha aşağıdaki geçirimsiz bir ara yüzeyde birikmesi durumunda, SFYS'nin göçünü izleyebilmek için kirlilik kaynağının yukarı yönünde kalan kuyular yerleştirilebilir. Yoğun sıvılar yerçekimine veya geçirimsiz tabakaya bağlı olarak hareket eder, bu yüzden yeraltısuyu akım yönünden farklı yönde hareket edebilirler (Şekil 5.12). Geçirimsiz tabakanın eğimine ilişkin bilgi yoğun fazı izlemek amacıyla yerleştirilecek kuyular için gerekli olabilir. Eğer yoğun faz aynı zamanda suda çözünüyorsa, çözülmüş kirlilik bulutu oluşabileceği ve yeraltısuyu akımı ile aynı yönde hareket edeceği dikkate alınmalıdır.

Eğer gözetimsel izlemenin sonucunda bir kirlilik durumu saptanırsa, kirlilik kaynağı alanından itibaren artan aralıklarla ilave kuyular eklenmelidir. Kuyular, yatay boyutlu yeraltısuyu kirliliğini değerlendirmek için örneklenir (OhioEPA, 2007).



Şekil 5.12: SFYS'nin geçirimsiz tabaka boyunca taşınımı (OhioEPA, 2007)

Şekil 5.12, iki farklı kirletici birimi için farklı yeraltısuyu akımlarına göre akış aşağı ve arka plan (akış yukarı) izleme kuyularının sahadaki yerleşimlerini göstermektedir.



Şekil 13: Tehlikeli atık yönetim sınırına yerleştirilmiş akış aşağı kuyular (USEPA, 1992)

5.5.2 Kuyular arası uzaklık

Karmaşık hidrojeolojik koşullar sık aralıklarla kuyuların yerleştirilmesini gerektirir. Jeolojik formasyonu yatay yönde farklılık gösteren bölgeler yakın yada değişen aralıklarla izleme gerektirebilir. Çakıllı kum formasyonundan geçen bir kirlilik kaynağı hızlı bir şekilde hareket edebildiği için dar kirletici bulutu oluşturur ve yakın aralıklarla kuyu yerleşimi gerektirir. Diğer yandan, düşük K ve yüksek difüzyon (kil-silt örneği gibi) özelliklerine sahip katmanlar geniş kirletici bulutu oluşturur ve geniş aralıklarla kuyuların yerleştirilmesini gerektirir. Yakın aralıklarla kuyu yerleşimini gerektirecek diğer özellikler ise dik veya değişken hidrolik gradyan, yüksek akış hızı ve değişken akış yönüdür.

Kırıklı kayaçlarda kuyu yerleşimi oldukça zordur. Kırıklı kayaçlar kirletici taşınımının farklı yollardan hareket etmesini sağlayan çok sayıda bölge içerir. İzleme kuyularının kirleticileri tespit edebilmesi için bu bölgeleri kesmesi gerekir. Ayrıca, gömülü boru, petrol hatları gibi noktasal kaynaklı sızıntıların oluşabileceği alanlarda da kuyular arası mesafenin yakın olması gerekir(OhioEPA, 2007).

5.6 Arka Plan İzleme Kuyularının Yerleşimi

Arka plan izleme kuyuları (akış yukarı kuyular) genellikle kirlilik kaynağının hidrolik açıdan yukarı yönüne yerleştirilmektedir. Yeraltısuyu arka plan seviyesini belirleyebilmek için civardaki tesislerin faaliyetlerinden etkilenmeyen kuyulardan temsil edici numuneler alınmalıdır. Yeraltısuyu arka plan kalitesinin belirlenmesinde hidrojeolojik farklılıklar ile mevsimsel, zamana bağlı ve mekânsal değişikliklerin ortaya konulabilmesi için yeterli sıklıkta numuneler alınmalıdır. Aynı zamanda, arka plan izleme kuyuları yeni kirletici madde taşınımında erken uyarı sistemi olarak çalışıp, bölgesel yeraltısuyu akış sisteminin kalitesinin sürekli kontrolüne olanak sağlar (OhioEPA, 2007).

5.6.1 Konum

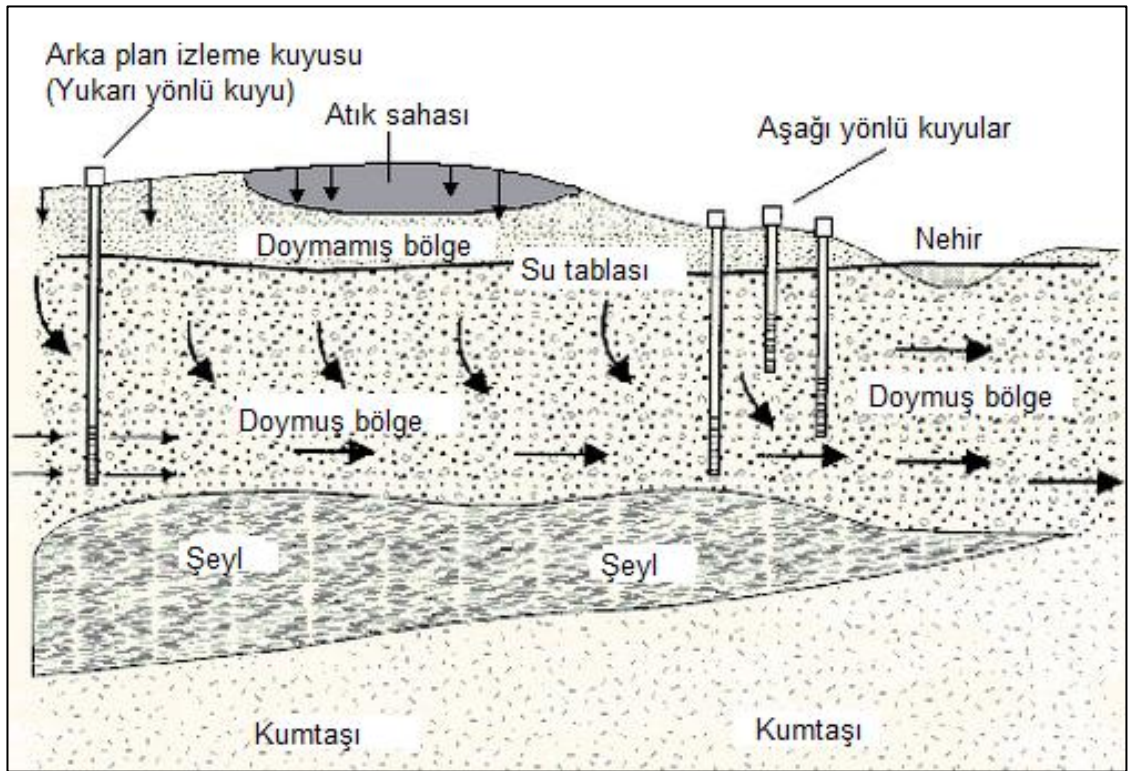
Aka plan izleme kuyuları, temsil edici karşılaştırma yapılabilmesi için aynı stratigrafik tabakada akış aşağı kuyular gibi yerleştirilir. Arka plan izleme kuyularının potansiyel kirletici kaynağına hidrolik etki yarıçapından daha uzak

mesafede yerleştirilmesi gerekir, böylelikle kuyu tahliye veya iyileştirme işlemleri esnasında kuyuya kirletici girişi olmaz (OhioEPA, 2007).

5.6.2 Kuyu Sayısı

Hidrojeolojik koşulların karmaşıklığı ve kirlilik kaynaklarının sayı, konum ve boyutuna bağlı olarak birden çok arka plan kuyusuna gerek duyulabilir. Kuyu sayısı belirlenirken dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Kirlilik kaynağının büyüklüğü
- Birden çok potansiyel kirlilik kaynağının bulunması
- Arka plan yeraltısuyu kalitesinin mevsimsel ve bölgesel olarak değişmesi



Şekil 5.14: Akış yukarı ve akış aşağı kuyuların saha yerleşimi

6. YERALTISULARARINDAN NUMUNE ALINMASI İLE İLGİLİ ULUSAL STANDARTLARIN VE MEVZUATIN İNCELENMESİ

Ülkemizde standart hazırlama veya hazırlatma görevi,18.11.1960 tarihli ve 132 sayılı kanunla kurulan Türk Standartları Enstitüsü'ne (TSE) verilmiştir. Her türlü standartları hazırlamak ve hazırlatmak, kabul edilen standartları yayımlamak gibi görevleri yerine getiren TSE'nin kabul ettiği standartlara Türk Standardı adı verilmektedir. Bu bölümde, TSE'nin yeraltısularından numune alımıyla doğrudan ilişkili olan3 standardı incelenmiştir. Bunlar: Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu (TS ISO 5667-11), Kirlenmiş Sahalardaki Yeraltısuyundan Numune Alma Kılavuzu (TS ISO 5667-18) ve Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi (TS 9359).

Bu standartlara ilaveten, ülkemiz mevzuatında yeraltısularından numune alma ile ilgili “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma Ve Analiz Metodları Tebliği” yer almaktadır. Tebliğin 11. Maddesi, yeraltısularından numune alma esaslarını belirlemektedir.

6.1 Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu (TS ISO 5667-11)

TSE tarafından1997 tarihinde yayımlanan TS ISO 5667-11 numaralı “Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu” fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik değerlendirmeler için yeraltısularından numune alma programlarının düzenlenmesini, numune alma teknikleri ve numunelerinin hazırlanmasını kapsamaktadır. Yeraltısuyu kalitesine dair genel numune alımı ile ilgili analizler için uygulanır, ancak içme suyu veya diğer amaçlar için çıkarılan yeraltısuyunun günlük kontrolü için numune almaya uygulanmamaktadır.

Bu kılavuzun amacı: yeraltısuyu kalitesindeki değişimleri izlemek, akifer kirliliğinin önceden tespitini sağlamak, kirleticilerin yeraltısuyundaki hareketini izlemektir.

Standartta, yer alan önemli tanımlamalar şunlardır:

- Akifer: Önemli miktarda su biriktirebilen geçirgen kaya, kum veya çakıldan oluşan yapıdır.
- Pekişmiş Akifer: Sıkışmış veya çimentolaşmış materyalden oluşan akiferdir.

- Yeraltısuyu: Yeraltında bulunan ve bir yeraltı oluşumunda beslenebilen sudur.
- Sondaj Deliği: Gözlem amacıyla veya suyun çıkarılması için yere açılan deliktir. Kuyu, delmeden ziyade kazılarak yapılır ve genellikle sondaj deliğinden daha büyük çaplıdır. Sondaj deliği, genellikle sadece izleme amacı ile açılır ve belli derinliklerde uygun bir kaplama malzemesi ve süzgeçlerle kaplanabilir.
- Kaynak: Toprak yüzeyine doğal olarak çıkan yeraltısuyudur.
- Gözenek Suyu: Kaya veya toprağın bünyesindeki boşluk veya gözenekleri dolduran sudur.

6.1.1 Numune Alma Malzemeleri

Kılavuzda numune alma cihazı ve şişeler için malzeme seçiminde ISO 5667-2'ye başvurulması gerektiği ifade edilmektedir. ISO 5667-2 yürürlükten kaldırılmış olup, bu standart ISO 5667-1:2006 standardına entegre edilerek yeniden düzenlenmiştir.

ISO 5667-1 standardında ışığa duyarlı maddeler için opak malzeme veya aktinik olmayan cam kaplar tavsiye edilmektedir. Çözülmüş gaz bileşiklerinin ölçümünde ise dar ağızlı şişeler ve cam kapaklar öneriliyor. Eser miktarda organik kirleticiler için alınan numuneler için de cam şişe ile PTFE kapaklar kullanılmalıdır.

ISO 5667-11 standardında numune kabı olarak polietilen, polipropilen, polikarbonat ve cam kaplar tavsiye edilmektedir. Suyun fizikokimyasal yapısında değişiklik olma ihtimaline karşın da mat numune alma kapları önerilmektedir.

Organik bileşiklerin eser miktarlarıyla ilgileniliyorsa sondaj deliği düzenlemesi veya numune cihazından kaynaklanabilecek bulaşma engellenmelidir.

Yeraltısuyu numunelerinin kimyasal yapısının bozulmasını engellemek için sondaj deliği muhafaza borusu ve filtrelerinde kullanılan malzemeler özenle seçilmelidir. Kuyu muhafaza borusu yapımında yapıştırıcı ve çimento yerine vidalı bağlantılar tavsiye edilmektedir. Polipropilen ve yüksek yoğunlukta polietilen maliyetinin düşük olması nedeniyle çok kullanılmaktadır ancak yeraltısuyunun sentetik organik çözücülerle kirlendiği durumlarda PVC kuyu muhafaza borusu ve

filtrelerinibozabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Paslanmaz çelik veya politetrafloroetilen, dayanıklılığı ve numuneyi etkilemeyen özelliğiyle en çok tavsiye edilen sondaj deliği malzemesidir.

6.1.2 Numune Cihazları

Standartta beş tip numune alma sisteminden bahsedilmektedir. Bunlar; pompalar, derinden ve yerinde numune alma cihazları ile kapanabilen ve gözenek suyundan numune alma sistemleridir.

Pompalar

Farklı kuyu derinliklerine uygulanabilecek pompa çeşitleri bulunmaktadır. Emme basma pompalar suyu 8 m'den daha yukarı çekemediği için, elektrikli dalgıç pompalar numune alımında önerilir. Dalgıç pompaların kullanımının mümkün olmadığı durumlarda ise paletli pompalar tercih edilir. Yeraltısuyunun gaz içeriğinin ölçülmesi gerektiği durumlarda emme basma pompaların kullanımı uygun değildir.

Derinden Numune Alma Cihazları

Derinden numune alma cihazları yapılarındaki ufak farklılıklarla kepçe numune alıcılar olarak bilinir. Açık tüp numune alıcılar, suyun tüpe girmesiyle mekanik veya elektrikli bir düzenele belli bir derinlikte kapatılabilir. Yoğunluk farkından dolayı karışmayan bir organik bileşikle bulaşmış bir akiferden numune almak gibi bazı özel amaçlar için belli derinlikte kapatılabilen numune alıcılar tercih edilir. Başka metotlarla numune almanın mümkün olmadığı ve özellikle derin akiferlerde (100 m'den derin) bu cihazlar tavsiye edilir. Sondaj deliğinden pompayla su almanın mümkün olmadığı diğer durumlarda, belli ağırlıkta bir şişe veya diğer bir açık ağızlı kap gibi basit bir numune alma kabı, akiferin yüzey tabakasından numune almak için sondaj deliğine indirilebilir.

Yerinde Numune Alma Cihazları

Piyezometre ve gözenekli kaplar en bilinen yerinde numune alma cihazlarıdır. Bunlar sondaj deliğinin farklı derinliklerine çakılırlar. Gözenekli seramik kaplarda, doymuş ve doymamış bölgelerde bağlanmış bir tüple vakum uygulanarak su çekilebilir.

Piyezometrelerde su seviyesi yüzeye yakınsa eğer emme veya küçük çaplı pompalarla numune alımı gerçekleştirilebilir.

Kapanabilen Numune Alma Sistemleri

Sabit ve taşınabilir olanlar bu sistemlerde, kuyudan aşağı indiğinde sistemin kapanmasını sağlayan hidrolikli veya pnömatik çalışabilen kapatma mekanizmaları bulunmaktadır. Bu cihazlar, çakıltaşı ile dolu bir sondaj deliğinden numune alımı için uygun değildir.

Gözenek Suyu Numune Alma Sistemleri

Bir akiferin doymuş ve doymamış bölgelerinde yeraltısuyu kalitesini incelemek için, sondaj amacıyla delme işlemi sonucunda elde edilen kaya numunelerinden su örneği alınabilir. Santrifüjle veya yüksek basınç altında sızdırmayla su çıkartılabilir. Bu işlem pahalı olduğundan tavsiye edilmez.

6.1.3 Numune Alma Yerinin Seçimi

Numune alınan tabakanın yapısal ayrıntılarını bilmek, yeni sondaj delikleri açıldığında da tasarım ve metodun seçiminde numune kirlenmesini ve akifer bozulmasını en aza indirecek tedbirlerin alınması önemlidir. Organik bileşik tayini amaçlı numune alma işlemlerinde yağ giderici, yağlama yağları, çamurlar, yağlar ve bentonitler kullanılmamalıdır.

İçme suyu amaçlı yeraltısuyu kalitesi izleme çalışmalarında pompalı sondajlar, kuyular ve kaynakların tamamından numune alınmalıdır. Akiferin dinamik özelliklerini incelemek için mevcut kontrol kuyularının uzak mesafesinde de sondaj delikleri açılabilir.

Diğer amaçlarla yapılan numune alma çalışmalarında optimum numune alma noktalarının seçimi güç olacağından bir hidrojeoloğun görüşünün alınması gerekir. Mevcut kuyular veya sondaj delikleri numune alma amacını tam olarak karşılamıyorsa kullanılmamalıdır.

Akiferlerde yaygın kirlenmenin izlenmesi amaçlanıyorsa akiferin büyük hacminden entegre numuneler alınmalı ve bunun için de büyük kapasiteli sondaj deliği

yapısındaki mevcut numune alma noktaları önerilmektedir. Eğer kirlenme bölgesel yada düşük yoğunlukta ise kapasitesi küçük pompalı sondaj delikleri kullanılmalıdır. Sondaj deliklerinden biri doymuş bölgenin yüzeye yakın kısmında filtreli olmalıdır.

Akiferlerde noktasal kaynaklı bir kirlenmenin olduğu durumlarda ise, yeraltısuyu akış yönüne bağlı olarak kirlenme kaynağının daha aşağısından sondaj deliğinin açılması önerilir. Diğer numune alma noktaları, noktasal kaynaktan hidrolik eğime göre aşağıya doğru artan aralıklarla yerleştirilmelidir. Kirliliğın yayılıp yayılmadığını anlayabilmek için de hidrolik eğimin yukarısına doğru birkaç sondaj deliğı daha konulabilir. Sudan az yoğun olan kirleticilerin izlenebilmesi için su tablasının altındaki sondaj deliklerinden en az biri filtreli olmalıdır.

6.1.4 Numune Alma Sıklığı

İçme suyu amaçlı yeraltısularının izlenmesi çalışmalarında birçok parametre aylık yada daha sık; içme suyunun dezenfekte edilmeden kullanılması durumlarında ise numune alma işlemi daha da sık yapılmalıdır. İçme suyu amacının dışında numune alma sıklığı belirlenirken kısa ve uzun vadeli yeraltısuyu değişimleri göz önünde bulundurulmalıdır.

pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenliğin sürekli izlenmesi, numune alma sıklığını artırma veya azaltmayı gerektirebilir ve yararlı olabilir. Sürekli izlemede belli bir parametrede kalite değişim oranı artıyorsa numune alma sıklığı artırılır; değişim oranı azalıyorsa da numune alma sıklığı azaltılabilir. Sürekli izleme, temsil edici numunelerin alınmasında faydalı olup, izleme dengeye ulaştığında numune alımının uygun olduğunu da gösterir.

6.1.5 Numune Alma Metodunun Seçimi

Alınan numunenin temsil edici olabilmesi için numune alma metodu yeraltısuyundaki kısa ve uzun süreli değişimleri yansıtabiliyor olmalıdır. Sondaj deliklerinde biriken maddelerin numuneye bulaşmaması için, numune işleminden önce sondaj deliğı iç hacminin 4-6 hacmi kadar su akıtılarak temizlenmelidir. Kuyuda dengeye ulaşılması için bazen yüksek hızlı pompalamanın ardından kısa süreli ve düşük hızlı pompalama yapılabilir.

Kirleticiler akiferin tabanında yada daha az geçirgen derin bir tabakanın üstünde birikebilir. Bundan dolayı numune alma metotları bölgesel olduğu kadar yeraltısuyundaki dikey değişimleri de tespit edebilir olmalıdır. Genel manada, iki çeşit numune alma metodu vardır. Bunlar; pompa ile numune alma ve derinden numune almadır.

Pompa İle Numune Alma

Pompa ile numune alma metodu, yeraltısuyu kalitesinin dikey olarak değişmediği durumlar için tavsiye edilir. İçme suyu amacıyla kullanıldığında ortalama bir değer sağlar. Numune sondaj çıkışına en yakın noktadan alınmalıdır.

Yeraltısuyunda numune alınması için durgun suyun uzaklaştırılması gerekliliği daha önce ifade edilmişti. Bununla beraber, kuyudan pompalanan suyun çözülmüş oksijen, pH veya elektriksel iletkenliğindeki değişimler de izlenerek sonuç doğrulanmalıdır. Birim hacimde kütle değişimi $<\pm \% 10$ veya sıcaklığa göre $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ oluncaya kadar temizlemeye devam edilmelidir.

Yeraltısuyu kalitesinin derinliğe bağlı olarak değiştiği durumlarda, özel açılmış gözlem sondaj deliğinden veya bir sondaj deliğinin farklı bölümlerinden numune alınır. Birinci yöntemde taşınabilir numune alma cihazları kullanılarak akiferin farklı derinliklerinden alınır. İkincisinde ise akiferin belli bir derinliğinden ayrı ayrı numune almayı sağlayan packer-pump kullanılarak bir deliğin belirli bir yerinden numune alınır. Bu metot sadece basınçlıakiferlere tavsiye edilmektedir.

Derinliğe Bağlı Numune Alma

Pompanın kullanılmadığı durumlarda, istenilen bir derinlikten suyun alındığı numune alma metodudur. Statik olması ve yeraltısuyunu temsil etmemesi yüzünden sondaj deliğinin muhafaza borusu kısmından numune alınmaz. Derinliğe bağlı numune alma işlemi, numunelerin kaynağı bilirse uygundur. Numune almadan önce sondaj deliği pompalanarak temizlenmelidir. Havalı pompalar, çözülmüş oksijen girişinden dolayı temizleme işlemine uygun değildir.

Diğer Metotlar

Pompa veya derinliğe bağlı numune almanın uygun olmadığı durumlarda piyezometre veya gözenekli kaplar gibi yerinde numune cihazları tavsiye edilir. Karot numune alma cihazıyla ve genelde santrifüjle su çekilen gözenek suyundan numune alma metodu da kullanılabilir. Bu metot, kalitedeki dikey değişimleri göstermesi ve doymamış bölgeden numune alınması açısından çok etkili bir metottur. Sürekli izleme için pahalı ve zahmetlidir.

6.1.6 Numunelerin Muhafazası, Kararlı Hale Getirilmesi ve Taşınması

Sıcaklık, pH, elektrokimyasal potansiyel, elektriksel iletkenlik, alkalinite ve çözülmüş gazlar (özellikle oksijen) gibi hassas parametrelerin yerinde ölçülmesi gerekir. Numuneleri kararlı hale getirmek için numunenin yerinde süzülmesi tavsiye edilmektedir. Cam yünü, polikarbonat süzgeçlere ve sellüloz esaslı membran süzgeçler tavsiye edilir. Süzgeçlerde genelde 0,4 µm ile 0,5 µm arası önerilir.

Numune kapları, gaz değişimi ve kimyasal reaksiyonları önlemek için hemen ve sıkıca kapatılmalıdır. Bir gün içinde analizi yapılmayan numuneler kararlı hale getirilir yada muhafazaya alınır. Kısa süreli muhafazalar 4°C, uzun süreli muhafazalar ise -20°C'ye kadar soğutulularak gerçekleştirilir.

Yeraltısı numunelerinin muhafaza ve taşınmasına ilişkin bu bilgilere ilaveten daha detaylı bilgi edinmek amacıyla ISO 5667-1 ve ISO 5667-3 standartlarına bakılması önerilmektedir.

ISO 5667-1 standardında bu bilgilere ek olarak, yüksek ortam sıcaklığında 8 saat boyunca bekletilen biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) değerinin % 40 oranında azalacağı ifade edilmektedir

ISO 5667-3 standardına göre, -20 °C'nin altındaki sıcaklıklarda muhafaza edilen numuneler için numune kapları plastik olmalıdır. Koruyucu madde ilavesinde, koruyucuların analiz ile herhangi bir girişim yapmaması dikkat edilmesi ve gerekiyorsa kontrol amacıyla deneyler yapılması önerilmektedir. Koruma amacıyla numunelere eklenen reaktiflerin isimleri (sodyum hidroksit, potasyum dikromat, çinko asetat nitrik asit vb.) verilmektedir.

6.1.7 Numunenin Tanıtım ve Kaydı

Her bir numune alma kabına tek bir referans numarası verilmeli ve etiketleme işleme açık ve net olmalıdır. Aşağıda numune tanıtımında dikkat edilmesi gereken hususlar ve örnek bir numune alma raporu yer almaktadır.

- Numune alma yerinin adı ve bölgesi,
- Numune alma zamanı ve tarihi,
- Akiferin ve su taşıyan tabakanın yapısı,
- Numune alma yerinin tipi (örneğin, sondaj deliği, kuyu veya kaynak),
- Tanımlayıcı bütün bilgiler (örneğin, kuyu boyutları),
- Pompalama durumu ve pompanın emme derinliği ve basma yüksekliği,
- Kuyu veya sondaj deliğinde su seviyesi,
- Numune alma metodu,
- Numune alma derinliği,
- Numunenin alındığı zamanki görünüşü (örneğin rengi, berraklığı ve kokusu),
- Yerde yapılan analizlerin sonuçları (örneğin pH, çözülmüş oksijen),
- Kullanılan numune muhafaza tekniklerinin ayrıntıları,
- Yerde yapılan süzme işleminin ayrıntıları (örneğin, süzgeç göz açıklığı),
- Kullanılan / gereken numune alma metodunun ayrıntıları,
- Numune alma aletinin adı.

YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA RAPORU

Numune alma sebepleri:

Numune alma yeri:

Numune alma yerinin yapısı:

Akiferin yapısı:

Tarih: _____
gün ay yıl

Su seviyesi ölçümü: Hacmi:

Numune alma, Başlama zamanı: Bitiş zamanı:

Numune alma metodu:

Pompalama durumu / pompa istasyonu derinliği:

Akiferdeki su seviyesi:

Numune alma derinliği:

Numunenin görünüşü:
.....
.....

Kullanılan muhafaza tekniklerinin ayrıntıları:

Kullanılan / gereken numune depolama metodunun ayrıntıları:

Numune alma cihazı:

Diğer notlar:

Şekil 6.1 : Yeraltısularından numune alma raporu örneği

6.1.8 Güvenlik Tedbirleri

Kuyudan numune alımlarında güvenlik amacıyla en az iki kişinin olması tavsiye edilir. Numune alım işlemleri atmosfere kapalı bir yerden yapıldığında oksijen azlığı durumu, yanabilen gazların veya diğer zararlı gazların bulunup bulunmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Numune alma işlemlerinde ve potansiyel olarak güvenli olmadığı görülen bütün günlük numune alma faaliyetlerinde her zaman uygun koruyucu giysiler giyilmelidir.

6.2 Kirilenmiş Sahalardaki Yeraltısuyundan Numune Alma Kılavuzu (TS ISO 5667-18)

TSE'nin 2004 tarihinde yayımlanan TS ISO 5667-18 numaralı "Kirilenmiş Sahalardaki Yeraltısuyundan Numune Alma Kılavuzu" kirilenmiş olması muhtemel sahalarda, yeraltısuyundan numune almanın plânlanması ve uygulanmasında gerekli hususlar konusunda kullanıcıya bilgi vermektedir. Kirilenmiş olma ihtimali olan bu sahalardan şunlardır:

- Kirilenmeye sebep olması muhtemel faaliyetlerin yürütüldüğü sanayi bölgeleri,
- Atık imha (gömme şeklinde) sahaları,
- Doğal ve/veya yapay süreçlerin, yeraltısuyunun kirilenmesine sebep olabileceği sahalardan,
- Kazasonucu ürünlerin çevreye dağıldığı sahalardan.

Bu standart, yeraltısuyundan numune almanın ISO 5667-11 kılavuzunda verilen durumlara uygun olmadığında, kaynağı yüzeyde veya yüzeyin hemen altında olan kirleticilerin aşağı doğru hareketi sonucunda yüzeyin alt kısımlarında ortaya çıkabilen kirilenmelerde uygulanmaktadır.

Standartta yer alan bazı önemli terimler ve tanımları aşağıda yer almaktadır.

- **Piyezometre:** Su seviyesi tespiti, hidrolik basınç ölçülmesi ve/veya yeraltısuyundan numune alma amacıyla, alt kısmı (piyezometre ucu) doymuş bölgedeki uygun bir seviyede zemine yerleştirilen ve tespit edilen, gözenekli bir kısım veya delikli bir bölümü olan (bir filtreyle çevrelenmiş) bir tüp veya borudan oluşan cihaz
- **Kümelili piyezometreler:** Daha büyük çaplı tek bir sondaj kuyusu içerisine yerleştirilen bir grup piyezometre
- **Az geçirgen tabaka (akuitard):** İki yeraltısı yatağı arasındaki suyun akışını durduran, geçirgenliği düşük jeolojik katman oluşumu
- **Doymuş bölge:** Oluşumda, gözenek boşluklarının suya tamamen doyduğu yeraltısı yatağı bölümü

- Doymamış bölge: Oluşumda, gözenek boşluklarının suya tamamen doymadığı yeraltısu yatağı bölümü
- Hapsedilmiş taban suyu: Yanal ve düşey kapsamda sınırlanmış, çok daha büyük bir yeraltısu kitlesinin üzerinde ve doymamış bölge içerisinde konumlanan, yalıtılmış yeraltısuyu kitlesi
- Ortam potansiyeli: Su moleküllerinin birbiriyle ve katı yüzeylerin su ile olan çekimi sonucu toprak suyunda (toprak/kaya ortamındaki gözenekler içerisinde bulunan su) ortaya çıkan, yerçekiminden bağımsız olarak rol oynayan kuvvetlerin bileşimi
- Ayırıcı: Sondaj kuyusu veya yeraltısu yatağındaki farklı bölge veya konumlardan yeraltısuyu numunesi almak üzere, sondaj kuyuları içerisindeki belirli düşey kısımların geçici olarak ayrılmasına/yalıtılmasına yönelik cihaz veya malzeme.
- Hidrolik iletkenlik: Su taşıyan bir oluşum içerisinde, birbirine bağlı yollardan suyu iletme kapasitesiyle ilgili özellik
- Etkili gözeneklilik: Yeraltısuyunun akışına doğrudan katkıda bulunan doymuş açıklık veya gözeneklerin su taşıyan bir oluşum içerisindeki oranı.
- Saha kapasitesi: Suyun yerçekimiyle akarak uzaklaşmasından sonra, toprak veya kayanın tutabileceği azamî su miktarı.
- Susuz fazlı yoğun sıvılar (SFYS): Suda çözünürlüğü düşük ve yoğunluğu sudan fazla olan organik bileşikler.
- Susuz fazlı hafif sıvılar (SFHS): Suda çözünürlüğü düşük ve yoğunluğu sudan az olan organik bileşikler.

6.2.1 Numune Alma Yerlerinin Seçimi

Numune alma yerlerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Araştırma sahasının hidrojeolojik durumu,
- Sahanın kullanımı,
- Uygulamanın amacı,
- Muhtemel kirleticiler,
- Kirlenmenin boyutu.

Bunlara ilaveten yerin eğimi, yeraltı hatlarının yakınlığı (gaz boruları, elektrik kabloları, vb.) ve delme cihazları yer seçiminde önemlidir. Kirleticilerin taşınmasını incelemek için izleme noktaları sahanın içinde ve dışında hidrolik farklılığın üst ve alt kısmında olmalıdır. Erken uyarı amacıyla izleme yapılıyorsa izleme noktaları, kirletici kaynağı ile muhtemel olarak bunlardan etkilenecek olan varlıkların arasına konulmalıdır. Çizelge 6.1'de yeraltısularından numune alma adımları gösterilmektedir.

Çizelge 6.1: Yeraltısuyunun numune alma adımları

Adım (diğer ISO standardlarına atıfla)	İşlem	Temel hususlar
Araştırma/izleme stratejisi	Elde edilebilir verilerin karşılaştırılması ↓ Masa başı çalışması ↓ Kavramsal bir model geliştirme ↓ Keşif çalışması ↓	Veri kaynaklarının tanıtılması Sondaj kuyusunun/numune alma noktalarının dağılımı ve numune alma programının tasarımı
Düzeneğin kurulması	Matkapla izleme noktalarının yerleştirilmesi ↓ Kuyunun temizlemesi ve geliştirilmesi	Sondaj kuyusunun tasarımı, malzeme seçimi ve yerleştirme teknikleri
Kuyunun tetkiki	Hidrolojik ölçmeler ↓	Su seviyesi ölçmeleri Hidrolik deneme
Kuyunun tahliyesi	Durgun suyun alınması veya yalıtılması ↓ Kuyu tahliyesiyle ilgili değişkenlerin tayini (meselâ elektrik iletkenliği (EI), pH, sıcaklık, redoks potansiyeli)	Temsili yeraltısuyu Temsili yeraltısuyunun doğrulanması
Numune toplama Filtrasyon	↔	Uygun mekanizmalarla numune toplama

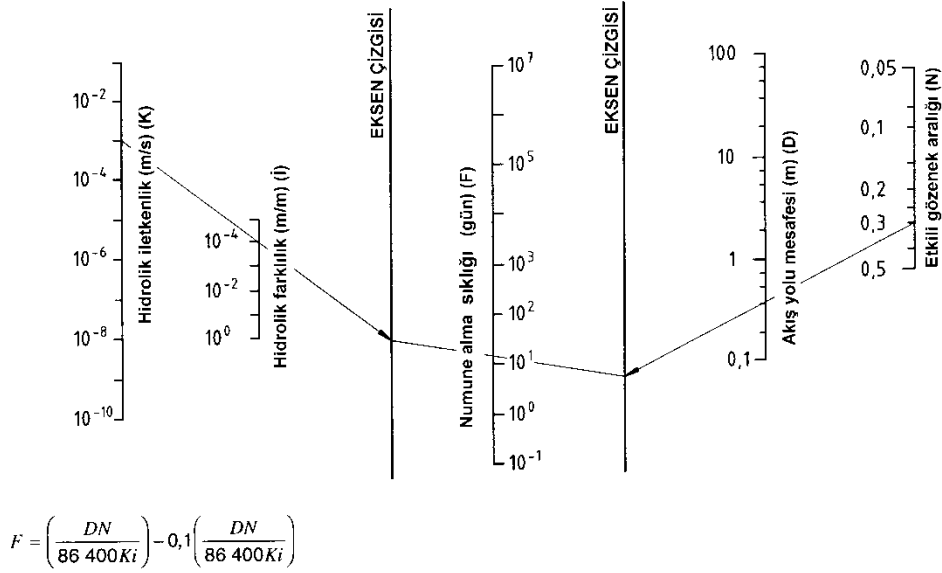
Saha tayinleri (ISO 5667-11, ISO 5667-3)	Süzülmemiş numune Organikler (hepsi) Çözünmüş gazlar Hassas inorganik türler, meselâ nitrit, amonyum, demir (II) Hareketli (kolloidal) yükler için izleyici metaller	Sahada süzülmüş numune Alkalilik/pH Belirli jeokimyasal bilgi için çözünmüş iz metaller Kükürt ve diğer hassas inorganik maddeler Önemli katyon ve anyonlar	Hassas değişkenler, pH, elektrik iletkenliği, sıcaklık, redoks potansiyeli, çözünmüş oksijenin sahada tespiti Tepe boşluğu giderilmiş numuneler Asgarî havalandırma veya basınç giderilmesi Asgarî hava teması Numunenin korunması
Numunelerin saklanması ve taşınması (ISO 5667-3)			Analiz öncesi numune bütünlüğündeki asgarî kayıplar

Susuz fazlı yoğun sıvıların (SFYS) ve susuz fazlı hafif sıvılar (SFHS) kimyasal özellikleri, suyun kimyasal özelliklerinden farklı olduğundan dolayı, yeraltı suyuna göre farklı yönlerde ve farklı hızlarda hareket edebilir.

6.2.2 Numune Alma Sıklığı

Numune alma sıklığı, hidrojeolojik ve çevre koşulları ile mevcut kirleticiler ve izlemenin amacına bağlı olarak değişir. Erken uyarı izlemelerinde, uygunluk konularının var olduğu yerlerde veya iyileştirici tedbirlerin performansının değerlendirmesi için, tavsiye edilen asgarî numune alma sıklığı, kimyasal bileşenlerin (başlıca iyonlar, vb.) çoğunluğu için üç ayda bir, reaktif bileşenler (meselâ, uçucu organik karbonlar ve çözünmüş gazlar) için de ayda birdir. Eğer çevre koşullarında hızlı bir değişim oluyorsa daha sık numune alımı gerçekleştirilir

İlgili hidrojeolojik değişkenler kullanılarak (hidrolik farklılık, hidrolik iletkenlik ve etkili geçirgenliği içeren) numune alma sıklığının belirlenebileceği bir örneği nomogram aşağıdaki şekilde verilmektedir.



Şekil 6.2: Numune alma sıklığını hesaplama nomogramı

6.2.3 Doymamış Bölgenin İzlenmesi

Doymamış bölgeden yeraltısuyu numunesi alınmasına ilişkin iki farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlar:

- Katı numunelerden özütleme
- Doymamış gözenekli akışkan numunesi alma

Katı Numunelerden Özütleme

Doymamış bölge içerisinde yeraltısuyundan numune almada en çok kullanılan yöntemdir. Numune alma esnasında katı numunelerin alınması gerekli jeolojik bilgileri elde etmeyi de sağlar. Katıdan numune alma işlemleri elle ve güç tahrikli çalıştırılan yöntemler ile gerçekleştirilir. Çizelge 6.2’de katı numunelerin özütlenmesi yoluyla gözenek suyu toplamak için kullanılan yöntemler gösterilmektedir.

Çizelge 6.2:Toprak ve kaya numunesi alma yöntemleri

Yöntem		Toprak/Kaya Çeşidi	Azamî Derinlik	Delme Akışkanı/Fışkırması ^a	Çap Aralığı
Deneme çukuru	Elle çalıştırılan	Bütün toprak çeşitleri ve sıkıştırılmamış kayalar	Azamî 6 m (ancak genellikle 4 m'ye kadar)	hayır	Çukurun derinliğine ve toprak/kaya çeşidine bağlıdır.
Tüple numune alma	Elle çalıştırılan	Toprak, kil ve ince taneli sıkıştırılmamış jeolojik malzemeler	Yaklaşık 10 m	hayır	25 mm ilâ 75 mm
Matkap	Elle çalıştırılan (meselâ “delik gövdeli”)	Toprak, kil ve sıkıştırılmamış jeolojik malzemeler	Yaklaşık 5 m	hayır	50 mm ilâ 100 mm
			Yaklaşık 30 m	hayır	75 mm ilâ 300 mm
Kablolu alet (“kabuk ve matkap” delici veya “hafif darbeli” delici gibi)		Toprak, kil ve sıkıştırılmamış jeolojik malzemeler	80 m ilâ 90 m	hayır /evet su	150 mm ilâ 300 mm
Döner matkap (meselâ “doğrudan” ve “ters” dönebilen)		Bütün jeolojik malzemeler ve zemin maddeleri çeşitleri	>100 m	evet hava, su, çamur, köpük, vb.	100 mm ilâ 200 mm

^aDelme yarıklarını kaldırmak, delme sırasında sondaj kuyusunu desteklemek, matkap ucunu yağlamak ve soğutmak için delme akışkanlarına ihtiyaç duyulur. Delme akışkanlarına ihtiyaç duyulan tekniklerin kullanımı, numune kalitesini olumsuz şekilde etkileyebilir.

Elle çalıştırılan numune alma cihazları boru veya matkap şeklinde olan numune alma cihazlarıdır. Boru şeklinde olanlar, delikli numune alma bölmesi bulunur ve numune alınırken yere çakılır. Matkap şeklinde olanların ise, en alt kısmında kesici uçlar ve üst kısımda bir numune bölmesi (tepesi ve tabanı açık) bulunur ve elle yerin içine doğru döndürülür.

Güç tahrikli çalıştırılan numune alma yöntemlerinde sondaj teknikleri uygulanır. Delme akışkanı olarak su, çamur, köpük veya hava kullanılabilir. Ancak bu akışkanların uygulanması yüksek basınçta olduğundan toplanan numunelerin kalitesini bozup kirlenmeye sebep olabilir. Özellikle uçucu organik maddeler ve diğer hassas kimyasalların belirleyici olduğu durumlarda hava püskürtmeli yöntem kullanılmamalıdır. Delmeden kaynaklanan çapraz kirlenmeyi azaltmak için alınan numunelerin alt kısımlarından örnek alınabilir. Bu numune alma yönteminde dolma ve çelik gövdeli matkaplar kullanılabilir. Dolma gövdeli matkaplar, çapraz kirlenme ve numune karışmasına neden olabilir. Delik gövdeli matkaplarda, ince duvarlı bir numune alma cihazı kullanıldığı için numunenin daha az zarar görmesi sağlanır. Katı numunedeki gözenek suları santrifüj veya mekanik sıkıştırma yoluyla özütlenir.

Gözenek Sıvılarından Numune Alma

Gözenek sıvılarından numune alma işlemi, süzmeli toprak suyu numune alma cihazı ve vakumlu toprak suyu numune alma cihazları kullanılarak gerçekleştirilir. Her iki yöntemin avantaj ve dezavantajlarının gösterildiği çizelge aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 6.3: Gözenek sıvılarından numune alma cihazlarının karşılaştırması

Numune alma cihazının tipi	Avantajları	Dezavantajları
Vakumlu numune alma cihazları	<ul style="list-style-type: none">• 15 m derinliğe kadar yerleştirilebilir.• Yerleştirilmesi nispeten kolaydır.• Yerleştirme sırasında zemin tahribatı en az düzeydedir.	<ul style="list-style-type: none">• Aşırı basınç, kontrol vanaları olmayan numune alma cihazlarına zarar verir.• Gözenekli kap tıkanabilir ve/veya kimyasal bileşenleri adsorblayabilir.• Redoks/pH değişiklikleri, kimyasal yapıyı değiştirebilir.

	<ul style="list-style-type: none"> Farklı seviyelerde yerleştirme mümkündür. 	<ul style="list-style-type: none"> Numuneyi çıkarmak için gerekli vakum/basınç uçucu bileşiklerden numune alınmasını etkileyebilir.
<p>Süzerek toprak suyu numune alma cihazları</p>	<ul style="list-style-type: none"> Aradaki boşluklarda bulunan sudan olduğu kadar, büyük gözeneklerin arasındaki akıntılardan da numune almaya imkân sağlar Daha büyük hacimde numune almak mümkündür. Organik bileşiklerin buharlaşması daha zordur. Sürekli vakuma ihtiyaç yoktur. 	<ul style="list-style-type: none"> Yerleştirilmesi zordur. Kirlenmiş topraklarda her zaman mümkün değildir. Yerleştirme doğal akışı değiştirebilir. Numune toplanması üzerinde daha az kontrol vardır. Elekli numune alma cihazları, sadece saha kapasitesi aşıldığı zaman çalışacaktır. Numune alma cihazına su çekilmesinde fitil kullanılması, kimyasal olarak yeraltısuyu temsil etmeyen numuneler toplanmasıyla sonuçlanabilecek kromatografik etkilere yol açabilir.

Vakumlu numune alma cihazları, bir sondaj kuyusunun içerisine yerleştirilen numune alma tüpünün sonunda bulunan gözenekli bir kaptan oluşur.

Süzmeli toprak suyu numune alma cihazları ise ortam suyunun ve tercihi yollardan (çatlaklar vb.) akan suyun yolunu kesmek için, yerçekimi ve/veya kılcal hareketi kullanır.

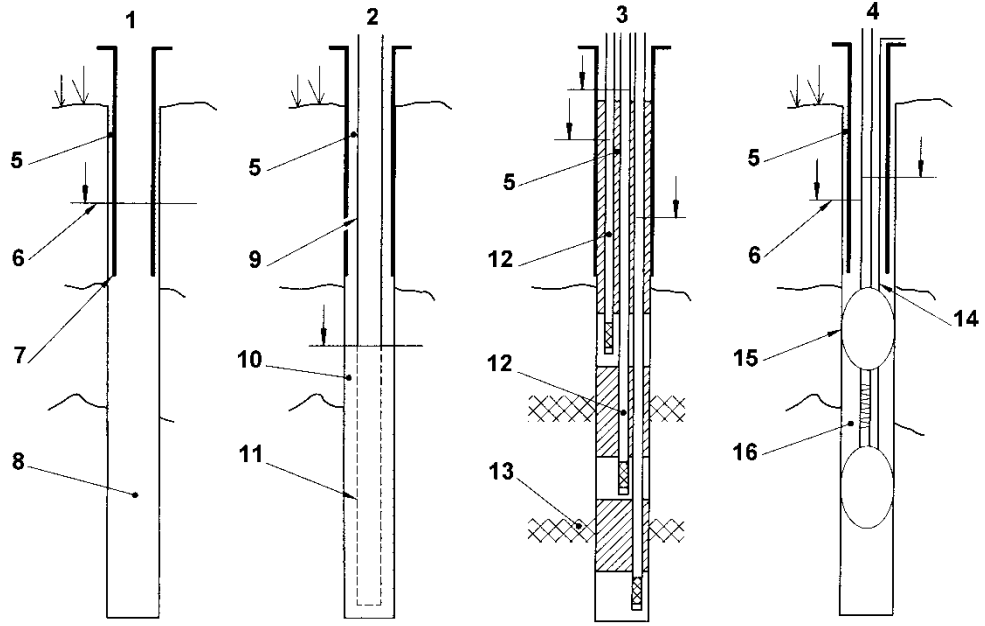
6.2.4 Doymuş Bölgenin İzlenmesi

Doymuş bölgeden numune almada en çok karşılaşılan yöntemler; tedarik sondaj kuyuları, kuyular ve gözlem kuyularıdır. Taban suyunun yüzeye yakın olduğu yerlerde deneme çukurları ve hendeklerden; kaynaklarda ise tasfiye suyundan yeraltısuyu numunesi alınabilir. Kirliliğin tam tespiti için mevcut kuyulara ilave bir izleme şebekesi kurulmalıdır.

Hapsedilmiş yeraltılarından numune alınacağı zaman bu yöntemlerin kullanılmasıyla birlikte, hapsedilmiş su kitleleri geçici olduğunda kuyudan numune alma tesisatı, emmeli (doymamış bölge) numune alma cihazlarıyla birleştirilmelidir.

Üç farklı tipte yeraltısuyu izleme noktası tesisi bulunmaktadır. Bunlar:

- Tek-elekli/eleksiz kuyular, sondaj kuyuları veya piyezometreler,
- Tek bir sondaj kuyusu içerisinde yerleştirilen kümeli piyezometreler,
- Farklı seviyelerden numune alabilen numune alma cihazları



Şekil 6.3: İzleme tesislerinin büyük tipleri

Açıklamalar

1 Açık sondaj kuyusu	5 Sızdırmazlık malzemesi	9 Kuyu muhafaza veya piyezometre borusu	13 Az geçirgen tabaka
2 Elekli sondaj kuyusu/ piyezometre	6 Taban suyu seviyesi	10 Çakıllı bölme	14 Ayırıcı şişirme gazı hattı
3 Kümeli piyezometreler	7 Muhafaza borusu	11 Delikli kuyu veya piyezometre eleği	15 Ayırıcı
4 Ayırıcılı sondaj kuyusu	8 Açık kuyu veya sondaj kuyusu	12 Piyezometre	16 Ayrılmış sondaj kuyusu bölümü

Çizelge 6.4 : İzleme noktası tesislerinin avantaj ve dezavantajları

Tipi	Avantajlar	Dezavantajlar
Tek elekli/eleksiz sondaj	— Basit, her tip jeolojik oluşum için	— Sistemin kısa-devre

<p>kuyusu/kuyu/piyezometre</p>	<p>tasarımlanabilir.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Yerleştirilmesi kolaydır. — Numune alma noktaları arasında, düşey çapraz kirlenme ihtimali yoktur. — Kuyu çapı esnektir. — Numune alma cihazının toplama yöntemi kısıtlı değildir. — Açılı deliklerle, kaynağın altına ulaşmak ve/veya düşey çatlakların yolunu kesmek mümkündür. — Çoklu sondaj kuyusu tanzimleritesis etmek için küçük bir alana farklı derinlikte sondaj kuyuları yerleştirilebilir. 	<p>yapmasına ve sorunun büyümesine sebep olabilir.</p> <ul style="list-style-type: none"> — Yeraltısu yatağındaki tabakalaşma gibi yatay değişimler hakkında bilgi veremez. — Eleğin hatalı yerleştirilmesi, kirleticilerin kuyuya ulaşmamasıyla sonuçlanabilir. — Derişimler, elekli uzunluğun ortalamalarını ifade eder. Tahliye hacminin büyük olması gerekebilir.
<p>Yukarıdaki açıklamalara ilâve olarak, Çoklu sondaj kuyusu tanzimlerinin sahip olduğu ilâve üstünlükler ve zaafılar</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Düşey değişimlerin araştırılmasına imkân verir. — Tasarımlanması ve işletilmesi kolaydır. — Farklı seviyeler arasındaki çapraz kirlenme ihtimali ortadan kalkar. — Kuyunun çapı, sadece delme yöntemiyle sınırlandırılır. — Kuyuların yerleşim tasarımı, düşey ekseni tam olarak kapsar. 	<ul style="list-style-type: none"> — Kuyuların birbirine yakın yerleştirilmesi, yerde aşırı hasara sebep olabilir. — Nispeten pahalıdır.
<p>Kümelı piyezometreler</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Düşey değişimlerin araştırılmasına imkân verir. — Daha küçük çaplar/iç çaplar, daha az tahliye gerektirir. — Hedeflenen noktalardan numune alınabilir. — Hidrolik iletkenlik gibi tayin 	<ul style="list-style-type: none"> — Kötü yerleştirme ve yarıkların iyi doldurulamaması, düşey sızmalarla sonuçlanabilir. — Numune alma noktalarının sayısı, sondaj kuyusunun çapıyla sınırlı olabilir. Elverişli sayı her bir sondaj kuyusu için en fazla üçtür.

	edilmesi gereken hidrojeolojik özelliklerdeki değişimleri mümkün kılar.	— Piyezometrelerin daha küçük çaplı olması, numune alma seçeneklerini sınırlayabilir. — Hidrolik iletkenliğin düşük olduğu bölgelerde, saklama hacimlerinin düşük olması, yeterli numune hacmini toplamayı zorlaştırabilir.
Farklı seviyelerden numune alabilen numune alma cihazları	— Özel noktalardan/katmanlardan farklı özellikte numuneler almaya imkân sağlar. — İşletilmesi, diğer donanımların pek çoğundan daha kolaydır. — Tahliye hacimleri en az düzeydedir. — Yeraltısu yatağı, numune alma sırasında en az düzeyde hasar görür.	— Yerleştirilmesi zordur. — Özel bilgi gerektirir ve pahalı olabilir. — Numune alma noktalarının sayısı, sondaj kuyusunun çapıyla sınırlı olabilir. —Kötü yerleştirme, çapraz kirlenmeyle sonuçlanabilir. — Numune alma yöntemi, büyük masraflara girilmediği takdirde, sığ derinliklerle sınırlıdır.

6.2.5 Numune Alma Donanımları

Numune alma cihazlarının çoğu doymuş bölgede yeraltısuyundan numune alımına uygundur. Aşağıdaki Çizelge 6.5'te farklı yeraltısuyu kimyasal değişkenleri için kullanılan sistemler yer almaktadır.

Çizelge 6.5:Yeraltısuyu değişkenleri için numune alma cihazları

Numune alma cihazı	Yeraltısuyu değişkenleri ^a												
	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	i)	j)	k)	l)	m)
Derinliği ayarlanabilen/çamur kutulu (açık) numune alma cihazı	√		√		√	√	√		√		√		√
Derinliği ayarlanabilen/çamur kutulu (kapalı) veya kapanabilir numune alma cihazları	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

Ataletli pompa	√	√	√		√	√	√		√				√
Keseli pompa	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√
Gazla çalışan pompa	√				√	√	√		√				
Gaz hareketli pompa	√				√	√	√						
Dalgıç pompa	√	√	(√)	(√)	√	√	√	(√)	√	(√)	(√)	(√)	(√)
Emmeli (yüze) pompalar	√	√	√		√	√	√		√				√
^a Yeraltısuyu değişkenleri [√ = uygun, (√) = sınırlı uygunlukta]													
a) Elektrik iletkenliği (κ) b) pH c) Baziklik d) Redoks (E_h) e) Başlıca iyonlar f) İz metaller g) Nitratlar h) Çözülmüş gazlar i) Uçucu olmayan organik bileşikler j) UOB (uçucu organik bileşikler) k) TOK (toplam organik karbon) l) TOH (toplam organik halojen) m) Mikrobiyolojik kimyasal maddeler													
Not - Bu çizelge, sadece genel bir kılavuz bilgi sağlar. Uygun bir cihazın seçilmesi; çalışmanın hedefleri, cihazın performansı ve özellikleri ve çevre şartlarına bağlı olacaktır. Bazı koşullarda, numune alma cihazlarının birleştirilmesi düşünülmelidir ve bazı cihazlar tayin edilecek bütün değişkenler için uygun olmayabilir.													

Derinliği Ayarlanabilen Numune Alma Cihazları

Derinliği ayarlanabilen numune alma cihazları, sondaj kuyuları veya piyezometre içerisindeki belirli bir derinlikten yeraltısuyu numunesi almayı sağlayan düzeneklerdir. En basit olanı sondaj kuyusundan aşağıya bir şişe veya numune kabı indirilerek alınan numunedir. Bu basit cihaza, alt ucunda bir kontrol vanasıyla donatılmış tüplü bir cihaz alternatif olarak verilebilir. Cihazı aşağı indirme ve çıkarmada kontrol vanası çalışır ve istenen derinlikten numune alınmasına olanak sağlar.

Ataletli Pompalar

Ataletli pompalar, bir tüp ve tek yönlü bir vanadan oluşmaktadır. Tüp sondaj kuyusundan aşağı indirilir ve kısa 0,3 m-05 m gibi kısa bir mesafede aşağı yukarı harekete ettirilerek çalıştırılır. Kaldırma indirme esnasında tek yönlü vanadan tüpün içine su girer. Uygulamada 60 m derinden numune çıkarılması mümkün değildir. Bu pompaların tasarımı ve montesi kolay olduğu için tercih edilir.

Keseli Pompalar

Keseli pompalar, giriş çıkışında kontrol vanası ve gazla şişen kesesi bulunan cihazlardır. İstenen derinlikte kesenin şişirilip söndürülme yöntemiyle numune alma cihazı doldurulur.

Gazla Çalışan Pompalar

Gazla çalışan pompalar, sondaj kuyusu dış kaplamasının içerisine hava basıncı verilmesi ve bu basınçla ucu açık tüpten numune yukarı doğru gelir. Bu cihazların dezavantajı şunlardır:

- Numune genellikle yüzeye bir aerosol (riskli olabilen) olarak taşınır,
- Gaz ve suyun karışması, uçucu bileşikler açısından suyun kalitesini etkileyebilir
- Kullanılan yüksek basınç, cihazın hasar görmesine sebep olabilir
- Yöntem, gazın jeolojik oluşumun içerisine doğru itilmesine sebep olabilir.

Dalgıç Pompalar

Geniş akış hızı sağlamasıyla derinlerden su çıkarılmasına olanak sağlar. 90 m derinliğe kadar olan kuyularda kullanılabilir.

Yüzey Pompaları

Yüzeye yerleştirilen ve emme-basma yöntemiyle çalışan pompalardır. Büyük kapasiteli pompalardan düşük hacimli pozitif yer değiştirmeli pompalara kadar çeşitleri bulunur ve sadece 8 m'ye kadar çalıştırılabilir.

6.2.6 Numune Alma Donanımı Yapı Malzemeleri

Numune alma donanımlarının yapı malzemeleri seçilirken göz önünde bulundurulması gereken hususlar şunlardır:

- Numune alma şartlarını karşılayabilme özelliği,
- Kimyasal etkiye karşı direnç,
- Uygun fiziksel mukavemet,
- Yeraltısu numunesi üzerine asgarî etki,
- Uygun numune elde etme özelliği.

Alt ve yüzey kirlenmelerinin organik bileşikler içerebileceği ve orta ile uzun dönemli izlemeler için PTFE (politetrafloroetan) ve paslanmaz çelik gibi malzemeler; yeraltısuyunun asidik veya bazik olduğu durumlarda ise mutlaka PTFE kullanılmalıdır.

Kirletici organik bileşiklerin bulunmadığı durumlarda ve kısa dönemli izlemeler için PVC (polivinil klorür) ve HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) tavsiye edilir. Organik kirleticilere bakıldığı durumlarda boru bağlantı yerlerinde yapıştırıcı yerine sızdırmaz lifli bağlantılar kullanılmalıdır. Çizelge 6.6’da kullanılan yapı malzemeleri ve genel özellikleri yer almaktadır.

Çizelge 6.6: Sondaj kuyu donanımlarında kullanılan yapı malzemeleri

Malzeme	Açıklamalar
<i>Floropolimer malzemeler:</i> PTFE (politetrafloroeten) TFE (tetrafloroeten) FEP (florlu etilen propen)	Kimyasal ve biyolojik etkilere karşı neredeyse tamamen dirençli olduğu için, aşındırıcı ortamların çoğu için uygundur. Pahalıdır ve işlenmesi zordur ve bağlantı oluşturma mukavemeti sınırlıdır. Bu malzemeler, derin veya büyük çaptaki kullanımlar için uygun değildir. Organik bileşikler ve iz metaller önemli olduğunda kullanılması tavsiye edilir.
<i>Metaller:</i> Karbon çeliği Düşük karbon çeliği Galvanizli çelik Paslanmaz çelik	Genellikle daha sağlam, daha sert ve sıcaklığa karşı plastikten daha dayanıklıdır. Büyük çaplı ve derin kuyulardaki kullanımlar için daha uygundur. Korozyon ihtimali yüksektir ve oluşan ürünler yeraltı su kalitesini etkiler. Paslanmaz çelik, korozyon ortamların çoğunda iyi iş görür. Önemli mikrobiyal faaliyetin bulunduğu durumlarda, korozyon ihtimali vardır. Metal kirlenmesine yol açabilir ve özellikle iz metal değişimlerini etkileyebilir.
<i>Termoplastikler:</i> PVC (polivinil klorür) HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen)	Daha az sert olan malzemelerdir ve metallerden daha zayıftırlar, ancak pek çok yerde elde edilebilirliği ve özellikleri bunları çok yönlü kullanılır hale getirir. Sondaj kuyusu çapının çok büyük olmadığı durumlarda, sığ ve derin kuyuların her ikisinde de kullanılabilir. Delikler daha derin olduğunda, koruyucu kaplama büyük çaplı bir deliğe yerleştirilirse, bükülebilir. Bu durum numune alma cihazlarının yerleştirilmesi vb. zorluklar çıkmasına sebep olabilir. Genellikle kısa ilâ orta dönemli olarak aşınmaya karşı dirençlidir. Organik kirleticiler özellikle PVC’ye karşı, kimyasal bir etki tehdidi oluşturur. Ayrıca kirleticilerin emilmesi de mümkündür. Ucuz malzemelerdir, genel olarak kirlenmiş saha/yeraltı suyu araştırmalarının çoğu için uygundur.

6.2.7 Kuyu Temizleme ve İyileştirme

Yeraltısuyundan numune alınmadan önce donanımın temizlenmesindeki amaç, sondaj kuyusundaki herhangi bir bulaşmanın uzaklaştırılmasıdır. İyileştirme pompalama yoluyla yapılır ve su temizlenene kadar devam eder. Suyun temizlendiği anlayabilmek için ölçülebilecek değişkenler şunlardır:

- Elektrik iletkenliği (κ),
- pH,
- Sıcaklık,
- Redoks potansiyeli (E_h),
- Bulanıklık ve
- Kirleticiye özgü değişkenler.

Kimyasal değişkenlerin ölçülemediği durumlarda kuyu hacminin en az üç katı hacminde su temizlenmelidir. Kuyu temizleme işlemi numune alma cihazı yerleştirildikten hemen sonra yada en azından bir hafta önce yapılmalıdır. Kil gibi geçirgenliği düşük materyalde bu deneme, her bir deneme arasında en az 48 saat olmak şekilde iki kez yapılmalıdır.

Kuyu tahliyesi işlemlerinde kirleticilerin birbirinden ayrı konumlarda bulunduğu veya serbest fazlı kirleticilerin (SFHS ve SFYS) olduğu kirli bir alan izlenirken tahliye işlemi kirleticileri tekrar dağıtıp yayabilir. Böyle bir durumda, mikro düzeyde tahliye işlemi düşünülmelidir. Tahliye suyu kirlenmiş ise suyun uzaklaştırılmasında özen gösterilmelidir.

Mikro Düzeyde Tahliye İşlemi

Büyük hacimli tahliye işleminin uygun olmadığı durumlarda mikro düzeyde tahliye işlemi uygulanır. Bu metot daha çok, tabakanın önemli düzeyde geçirgen olduğu yerlerde, elek uzunluğu fazla olan açık sondaj kuyuları veya piyezometreler için uygundur.

Mikro düzeyde tahliye işlemi için pompa seçilirken, kuyu sütunundaki suyun karışmasını en aza indirecek cihaz kullanılmalıdır. Ataletli pompalar, çamur kutulu numune alma cihazları ve diğer kavramalı numune alma cihazları uygun değildir.

Bu yöntemin avantajı atık hacmini, bulanıklığı ve uçucu hale gelme miktarını azaltmasıdır. Tahliye esnasında, elektrik iletkenliği, pH, sıcaklık, bulanıklık ve kirleticiye özel belirleyiciler gibi değişkenler takip edilmeli ve denge sağlanana kadar devam edilmelidir.

6.2.8 Serbest Fazlı Kirleticilerden (SFYS ve SFHS) Numune Alma

SFHS'nin yoğunluğu sudan daha az olduğu için yeraltısuyunun yüzeyinde yüzer ve taban suyunda yoğun hale gelir. Doymamış bölgede de bulunabilirler. Bu nedenle, numune alma faaliyetleri bölgelerden numune toplamaya yönelik düzenlenmelidir. SFHS kirleticilerine yönelik numune alımı, tahliye işleminin neden olduğu karıştırma durumunu bertaraf etmek amacıyla tahliyeden önce yapılmalıdır.

SFYS ise sudan daha yoğun olduğu için doymamış ve doymuş bölgeden geçerek yeraltısu yatağının tabanına kadar hareket edebilir. Bu hareket esnasında daha az geçirgenliğe sahip tabakalarda birikme olabilir. SFYS için numune alınırken izleme noktaları geçirgen katmanın tüm kalınlığını kapsamalıdır.

6.2.9 Numune Alma İşlemi Sonrası Prosedür

Numunelerin toplandıktan sonra korunması, kararlı hale getirilmesi ve taşınmasına yönelik bilgiler için ISO 5667-2, ISO 5667-3 ve ISO 5667-14 standartlarına başvurulması önerilmektedir.

ISO 5667-14 standardına göre, sıcaklık, pH, çözülmüş gazlar, askıda katılar gibi fiziksel parametreler yerinde veya numune alındıktan hemen sonra tayin edilmelidir. Numune kapları laboratuvara sıkıca kapatılmış olarak ve ışık ile aşırı ısı etkisinden korunarak gönderilmelidir. Alındıktan kısa süre sonra analiz edilemeyecek olan numuneler kararlı hale getirilmelidir

Kirlenmiş olması muhtemel sahalardan yeraltısuyu numunesi alınırken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

- Muamele edilecek malzemeler (numuneler, kimyasal maddeler, vb.),
- Mekanik tehlikeler (delme takımları, taşıtlar, vb.),
- Elektrikli cihazlar (jeneratörler, pompalar, vb.),

- Çevre (kişisel koruma, gazlar, zeminin sağlamlığı, vb.).

Saha izlemelerinde kaliteye ulaşmak için aşağıdakiler önerilmektedir:

- Hedeflerin açık bir şekilde ifade edilmesi,
- Sorumlulukların açık bir şekilde belirlenmesi,
- Uygun danışmanlık hizmetinin satın alınması,
- Teknik şartnamenin geliştirilmesi
- İzleme yöntemleri ve çalışmaların kalitesinin iyileştirilmesi ve
- İyi haberleşme.

6.3 Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi (TS 9359)

TSE'nin 1991 tarihinde yayımlanan TS 9359 numaralı "Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi" yeraltısuyu kalitesinin değerlendirilmesi, kirlenme belirtilerinin tespit edilmesi amacı ile yeraltısuyu kontrol kuyularından numune alınması ve muhafaza edilmesine dair uygulama adımlarını kapsamaktadır. Kuyu açma yerinin tespiti, derinliği, kuyunun geliştirilmesi, dizayn edilmesi, inşası ve korunması konularını içermemektedir.

Bu standartta, organizasyonun kolaylığı için numune alma süreci üç kademeye ayrılmış olup, her aşamada ekipman ve işlem seçme tercihleri incelenmektedir. Bu kademeler, kuyunun temizlenmesi, numunenin kuyudan alınması ile numunenin sahada hazırlanmasıdır.

6.3.1 Genel Kurallar

Yeraltısuyu kontrol kuyuları numune alma işleminden önce akıtılıp temizlenmelidir. Kuyunun boşaltılması mümkün değil ise işlemler numunelerin yeraltısuyunu temsil ettiğini gösterecek şekilde uygulanır. Belli bir parametre teşhisi yapılmakta ise kuyunun boşaltılması sırasında pH gibi belirleyici bir parametre gözlenebilir. Su seviyesi ölçümü kuyu akıtılmadan yapılmalıdır.

İdeal bir numune alma tertibatında tamamıyla inert bir malzemenin kullanımı esastır. Bu numune alma tertibatları, bütün malzemeler ve su temas teçhizatları, kirleticileri içeriye sokmayacak veya herhangi bir şekilde kimyasal olarak değişime uğramayacak olan malzemelerden yapılmalıdır. Numune negatif basınca maruz kalmamalı veya düşük seviyede pozitif basınca maruz kalmalıdır. Numune alınıp muhafaza kabına konulurken havayla temas etmemesi sağlanmalıdır. Numunenin alınma gayesi işlemin başında belirlenmeli; numunenin kimyasal ve konsantrasyon seviyelerinin kullanılacak ekipmanın seçiminde önemli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. pH, çözünmüş oksijen ve sıcaklık ölçümleri ile filtrasyon işlemlerinin hepsi numune alma yerinde yapılmalıdır.

Numune alma teçhizatının malzeme seçimi, numune alma noktası civarında mevcut olabilecek bileşikler ile ilgili bilgilere ve numune malzemelerinin yıkanma,

adsorbsiyon veya kataliz etkileri ile birbirlerine nasıl etki ettiklerine dair bilgilere dayandırılmalıdır. Bazı durumlarda PVC (polivinilklorür) veya diğer bazı plastikler bazı durumlarda ise camdan yapılmış cihazlara ihtiyaç duyulabilir.

Genel manada, eser miktardaki organik maddelerin analizi için numune alınmasında ve alınan numunelerin depolanmasında kullanılan cihazların cam veya TFE-florokarbon reçineden veya her ikisinden yapılması uygundur. Kuyunun su seviyesinin 1,0 m- 1,5 m üzerinden sondaj deliğinin tabanına kadar uzanan kısmında sadece TFE-florokarbon borunun kullanılması tercih edilir. Ancak PVC kuyu muhafaza boruları hala en popüler olanlardır.

TFE-florokarbon reçineler yüksek derecede inert olması, numune alma teçhizatları ile kuyu muhafaza borularında uygun yeterli mekaniksel dayanıklılığa sahip olmasından dolayı tercih edilebilir. TFE-florokarbon boru; kalıptan kalay çıkmasını sağlamak amacıyla kullanılan bir organik çözücünün yüzde olarak ifade edilen miktarlarda kalıntılarını ihtiva edebilir. Bu kalıntıların alınan numuneyi etkilememesi için su ile yıkanarak ortamdan uzaklaştırılması gerekir.

Eser miktardaki organik maddeler için numune alınmasında karşılaşılan en önemli problem kontrol kuyusunun inşasında PVC borularında kullanılan yapıştırıcılardan kaynaklanmakta olup, yapıştırma işleminin yerine diş açılmış vidalı bağlantıların kullanılması tercih edilir. Tetrahidrofuran, metil-etil-keton ve toluen gibi bileşiklerin mg/l (ppm) seviyelerindeki miktarları PVC boru yapıştırıcılarının çözücüsü olduğundan kuyu muhafaza borusundan süzülme yoluyla yeraltısuyu numunesine karışabilir.

Cam ve paslanmaz çelik, diğer inert iki materyaldir. Cam çok tercih edilse de yapı olarak tamamen mükemmel değildir. Çünkü cam, sodyum silikat ve demir gibi kirleticilerin serbest kalmasına sebep olduğu gibi, bazı bileşikleri de aynı derecede adsorbe edebilmektedir. Paslanmaz çelik ise korozyondan tamamen muaf olmayıp, metalik kirleticileri serbest bırakabilir.

Bazı paslanmaz çeliklerin alaşım bileşenleri; klorür, florür ve bazı hallerde de uygun bir pH aralığı boyunca sülfat gibi okside edici olmayan anyonların aşındırıcı etkisi ile

eritilebilir. Alüminyum, titanyum, polietilen ve diğer korozyona dayanıklı malzemeler de uygun olabilir.

Geçici olarak düzenlenmiş numune alma ekipmanı kullanıldığında, seçilmiş olan numune alma teçhizatı TFE-florokarbondan yapılmamışsa, plastik malzeme kullanılmamalı, eser miktardaki organik maddelerden temizlenebilir olmalı ve numunelerin kirlenmesinden önlemek için tertibat, kontrol kuyusunun her kullanımı sırasında tekrardan temizlenmelidir.

6.3.2 Numune Alma Ekipmanları

Standartta sekiz çeşit numune alma ekipmanının yapısal özellikleri kapsamlı bir şekilde anlatılmaktadır.

Kuyu İçi Numune Toplama Teçhizatları

Kuyu içi numune alma cihazlarına örnek olarak şunlar gösterilebilir: boşaltıcı kovalar (bailers), messenger (klavuz) boşaltıcı kovalar, emici numune alıcılar.

Bu teçhizatların avantajı, numuneyi yüksek basınçlara karşı koruması; dezavantajı ise büyük hacimli su numunesi alımları ve derin kuyular için uygun olmamasıdır.

Boşaltıcı kovalar numuneyi kuyudan çekerken numunenin bir kısmının atmosfere maruz kalmasına sebep olduğu için boşaltıcı kovada bir numune musluğunun olması ve numunenin üstten 3-5 cm kadar kısmının boşaltılması gerekir.

Numune alıcılar için kullanılan askı hatları kuyu çevresinde olabilecek muhtemel kirleticilerden uzak tutulmalıdır. derin kuyularda askı hatları aşağıya indirme ve çekmede zaman kaybına sebep olmaktadır.

Tekli ve çiftli kontrol vanalı boşaltıcı borular ve emici (*thief*) numune alıcılar olmak üzere üç tip kuyu içi teçhizat bulunmaktadır.

Tek kontrol vanalı boşaltıcı kova kuyunun içine daldırıldığında, su kovanın dibinden içeri girer ve kovanın çekilmesiyle kontrol vanası kapanır. Kontrollü vananın tam olarak kapanabilmesi için bilye yoğunluğunun 1,4-2,0 g/cm³ arasında olması gerekir.

İki kontrol vanalı boşaltıcı kova kuyunun belli bir derinlikte ve belli bir noktasından numune alınmasını sağlar. Boşaltıcı kova aşağı kuyuya indirildiğinde su boru içinden geçer ve belli bir derinliğe geldiğinde kova geri çekilir. Ünite geri çekildiğinde her iki kontrol vanası aynı kapanır. Numunenin hava ile temasından kaçınmak için de kovanın tabanına bir drenaj mili yerleştirilir.

Belli bir noktadan numune almak için kullanılan bir başka yöntem de, açık bir borunun her iki ucuna messenger yada pnömatik hareketli tıkaçlar konularak hücrenin kapanmasının sağlanmasıdır. Şırınga lastik bir tapa sistemiyle bir gaz hattına monte edilmiştir. Gaz hattına basınç verilir ve lastik piston şırınganın üst ucunda tutulur. numune kabı istenen kuyu derinliğine indirildiğinde gaz hattındaki basınç atmosfer basıncının altına düşürülür ve su şırınga içerisine girer. Bunun için üretilmiş değişik malzeme ve değişik şekillerde yapılmış messenger veya thief (emici) numune alma teçhizatları bulunmaktadır.

Emme Pompalar

Üç tip emme pompa bulunmaktadır.

- doğru hatlı
- santrifüj
- peristaltik pompalar

Bu pompaların dezavantajı, suyu emme gücünün atmosfer basıncı ile sınırlı olması ve sadece 760 cm yada daha düşük derinlikten suyun alınmasını sağlamasıdır. Bu pompalar pirinç ve yumuşak çelikten yapılır ve numuneler yağlayıcı malzemelere maruz kalabilir. Bu pompalarda gaz boşalması yada kavitasyon meydana gelebilir ve bu da numunenin hava ile karışmasına sebep olabilir. Bu pompalar kuyu temizlemesi için uygun olup numune alımı için uygun değildir.

Bu emme pompa çeşitleri arasında numune alımına en uygun olanı peristaltik pompadır. Bir rulman ile bir rotordan ibaret olan ve kendi kendine hareket edebilen, düşük hacimli pompalardır. Borunun bir ucu kuyu içerisine yerleştirilir diğer ucu da

bir numune alma kabına bağlanır. Pompa ile sıvı temas içinde olmaz. Peristaltik pompa başında genelde silikon bir boru kullanılır.

Organik numune alımları için medikal dereceli silikon borular da kullanılabilir. Ancak, belirlenmiş çevre sıcaklıkları aralığı dışında medikal dereceli silikon borunun kullanılması uygun değildir. Bazı imalatçılar pompalarda TFE-florokarbon veya viton kullanarak boru muhafazası yapmaktadır.

Kuyu veya piyezometre içerisine emme yoluyla bir plastik boru daldırılarak doğrudan numune alma işlemi gerçekleştirilebilir. Sabit bir vakum kontrolünü sağlamak için iki kat arasına bir kontrol vanası yerleştirilebilir. Numune pompa mekanizması ile temas etmeksizin doğrudan numune toplama kabına çekilir.

Sığ kontrol kuyularında basit bir metot olduğu için emme pompaların kullanılması tavsiye edilir. Numune alma esnasında önemli derecede oksidasyon ve karışma meydana gelebilir ancak doğru hat metodu en uygun olanıdır. Pompalama hızları 19 Lpm - 151 Lpm (5 gpm - 40 gpm)'ye ulaştığında ve daha büyük hızlarda santrifüj pompa numuneyi karıştırır. Peristaltik pompa diğer iki pompaya nazaran, daha az karıştırma yaptığı için daha düşük bir numune hızı sağlar.

Dalgıç Pompalar

Dalgıç pompalar, bir güç pistonu veya yüksek devirde çalışabilen tek helezon dişlisi olan izole edilmiş bir elektrik motorundan oluşur. Bu pompalar, emme basmanın yanı sıra suyu çeşitli derinliklerden çekebilmek için nisbeten yüksek olan boşaltma hızı sağlarlar.

Diğer pompa sistemlerine göre yüksek çekme gücü sağladıkları için kuyu endüstrisinde yıllardır kullanılmaktadır. Bununla beraber, suyu nakleirken numune çalkalanmasına sebep olduğu gibi, numuneye pompadan eser elementlerin bulaşma ihtimali de bulunmaktadır.

Havalı Pompalar

Havalı pompalar, suyu çekmek için sıkıştırılmış hava kullanırlar. Su bir edüktör bir ile yukarı doğru çekilir. Sıkıştırılmış hava iç boru içerisine enjekte edilir. Su numunesi dış ve iç borular arasından helezoni şeklinde geçerek yukarı çıkar.

Sıkıştırılmış gaz olarak 7,6 m'den daha küçük olan derinlikler için bir el pompası, daha büyük derinlikler için de hava kompresörleri, normal tazikte tutulan hava şişeleri ve bir otomobil cihazından elde edilen sıkıştırılmış hava kullanılabilir.

Bu pompalar numune çalkalanması ve karışmasına sebep olduklarından dolayı uçucu organik analizi için alınan numunelerde kullanılmamalıdır.

Süpürmeli Pompalar

Süpürmeli veya gaz basan pompalar teknik açıdan havalı pompalardan ayrılırlar. Süpürmeli pompalar, basıncı aynı seviyede tutarak mekanik kaldırma yoluyla suyu farklı bir sütundan yukarı doğru çeker. Su hücrenin içine dolmasıyla kontrol vanasının kapanması için gaz hattına pozitif bir basınç uygulanır ve böylece su numune hattına doğru çekilir. Eser miktardaki organik maddelerin tayini için alınan numunelerde TFE-florokarbondan yapılmış olan kontrol vanaları ile camdan yapılmış daha fazla komplike olan iki kademeli bir sistem kurulabilir. Piyezometrik ölçümler için de harici olarak muhafazası bulunmayan bir güç vericisi olan bir numune alıcısı kullanılabilir.

Süpürmeli pompalarda numune ile temasa gelen sevkedici gazın küçük bir kısmı pozitif bir basınç vasıtası ile numune gibi yukarı çıkmasından dolayı numune korunmasını sağlayan uygun sistem olarak kabul edilmektedir. Bununla beraber, gaz kayıpları ve bulaşma ihtimali yine de mevcuttur.

Diyaframlı Pompalar

Diyaframlı pompalar, sert bir koruyucu ile sarılmış esnek bir membrandan oluşan olan gaz operasyonlu sıkıştırma pompalarıdır. Su membran içerisine girer ve membran arasındaki boşluktan enjekte edilen sıkıştırılmış gaz ile membranın üst tarafındaki boşaltma hattı içerisine bir kontrol vanası vasıtası ile numune itilir.

Membran malzemesi olarak neopren, kauçuk, etilen propilenterpolimeri, nitril ve florokarbonviton kullanılabilir.

Bu pompalarda itici gaz ile numune temasının olmaması avantajdır. Ancak büyük gaz hacimlerine ihtiyaç olunması, pompalama hızlarının düşük olması ve diyafram malzemelerinin bir çoğunun ve rijid koruyucunun veya her ikisinin potansiyel bulaşma kapasitelerinin bulunması ise bu tertibatların dezavantajıdır.

Gaz Tahrikli Piston Pompaları

Gaz tahrikli piston pompaya basit örnek olarak şırınga pompası gösterilebilir. Bu pompa, basma tulumba silindiri ve ayrı olan 50 ml'lik bir plastik şırıngadan oluşur. Cihaz çalıştığında su numunesi monte edilen bir kontrol vanası arasından geçerek yüzeydeki bir numune kabına geçer. Gaz hattına pozitif ve negatif basıncın sıra ile uygulanması yoluyla tahrikli tulumba silindiri suyu yüzeye doğru hareket ettirir.

Bu pompaların hızları 30,5 m'de 9,5 l/h - 30,3 l/h arasında değişir ve 457 m'den derin olan kuyularda da numune alınır.

Sıkıştırıcı Pompa Tertibatı

Bu tertibatlar genişleyebilir iki sıkıştırıcı yoluyla kuyu içerisindeki iki sıkıştırıcı arasında bulunan numune alma ünitesini ayırır. Çünkü hidrolik veya pnömatik olarak harekete geçirilen sıkıştırıcılar muhafaza borusu duvarı veya süzgece karşı kama gibi ayırıcı olmaktadır. Sıkıştırıcı kuyu içerisindeki düşey hareket için gaz veya havayı boşaltır ve istenilen derinlikte hava ile doldurulur.

6.3.3 Kuyu Temizleme

Yeraltılarından numune alma konusundaki en önemli işlemlerden birisi numune alma öncesi kuyunun yeterli miktarda temizlenmesidir. Standart bu işlem için genel bir çerçeve çizmektedir.

Kontrol kuyusunda uzun bir süre kalan su, bu süre zarfında oluşabilecek muhtemel kimyasal veya biyokimyasal değişimler ile numune alma sırasındaki özelliklerini

temsil etmeyebilir. Bu sebeple, uzun süre kuyuda bekleyen su numune alma işlemine dahil edilmemelidir.

Standartta göre, kuyunun temizlenmesi işleminde kuyu hacminin yaklaşık 5-10 katı hacimdeki suyun kuyudan çekilerek uzaklaştırılmasının yeterli olacağı belirtilmektedir. Ancak kuyu hacmi hesaplamasına dair bir bilgi standartta yer almamaktadır.

Boşaltılıp dolması uzun süren kuyularda durgun suyun uzaklaştırılması için en pratik yol muhafaza borusunun boşaltılmasıdır. Bu şekilde kuyunun yeniden dolması ve en az bir kez daha tekrar boşaltılmasına imkân sağlar. Birikmiş suyun tamamını uzaklaştırmak için hazırlanmış metotların dezavantajı bazı durumlarda büyük hacimlerdeki suyun pompalanmasına sebep olmasıdır. Bu tür metotların avantajı ise numunelerin birikmiş sudan gelebilecek kirliliğin bulaşma potansiyelini asgari seviyeye indirmiş olmasıdır.

Bir başka yaklaşım olarak, kuyunun temizlendiğini pH, sıcaklık veya iletkenlik gibi belirleyici bazı fizikokimyasal parametrelerin takibi ile mümkün olacağı belirtilmiştir.

Bu belirleyici parametre veya parametrelerin sürekli ölçümler sonunda değişmemesi kuyunun temizlendiğini göstereceği kabul edilmiştir. Bu metodun avantajı olarak, muhafaza borusu içerisindeki herhangi bir yerden pompalama yapılabilmesi ve mevcut birikmiş su hacminin pompalanan suyun hacmi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmaması gösterilmiştir. Bu yaklaşımın dezavantajı ise suyun formasyonunu temsil eden sabit parametrelerin bütün durumlarda güvenilir olmaması gösterilmiştir.

Temizleme esnasında, kuyuda zaman-seviye düşüşünün hesaplanabilmesi için kuyu hidroliği bilgilerine ihtiyaç olacağı ve bu seviye düşüşünün asgariye indirecek nispette olmasının önemi vurgulanmıştır. Çünkü aşırı seviye düşüklüğü kuyu çevresindeki tabi akışı bozup kuyuda mevcut olmayan kirleticilerin kuyu içine sızmasına sebep olacaktır.

6.3.4 Numunenin Muhafazası, Taşınması ve Raporlanması

Numune alma konusunda kuyu temizleme gibi önemli olan bir diğer konu da numunelerin muhafazası ve muhafaza kaplarının seçimidir. Koruma işlemleri sınırlı olmakla birlikte suda oluşabilecek biyolojik faaliyetler ile kimyasal bileşik ve komplekslerin hidrolizini geciktirmek ve bileşenlerin uçuculuğunu azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu koruma işlemleri genellikle pH kontrolü, kimyasal madde ilavesi, soğutma işlemlerinden ibarettir. Su numuneleri için tek koruma tekniği olmamakla beraber en uygun koruma tekniği suların donma noktasının hemen üzerindeki sıcaklıklara (sulu buzda +4°C) soğutulmasıdır.

Numune alma noktasına gidilmeden önce muhafaza kaplarının seçilmesi, temizlenmesi, etiketlenmesi ve ortamdaki tecrit edilmesi amacıyla buz sandığına yerleştirilmesi arazide zaman kazanılmasını sağlamak açısından gereklidir. Aynı zamanda, numune alma planının hazırlanması numune alma personeline kolaylık sağlayacaktır. Bu plan, numune alma yerinde ihtiyaç duyulan ve not defterine kaydedilecek değerlerle ilgili bilgiler hakkında kolay anlaşılır talimatları içermelidir.

Numunelerden istenen hacimler yapılacak analizlere bağlı olduğu için önceden analizleri yapacak olan laboratuvar ile iletişime geçilip numune kaplarının seçiminin bu bilgiler doğrultusunda yapılması gereklidir. Bir yeraltısuyu numune alma programında kullanılması gereken muhafaza kapları ve koruma şartları parametre bazında aşağıdaki çizelgede verilmektedir.

Çizelge 6.7: Yeraltısuyu izlemesi için muhafaza kapları ve koruma şartları

Numune ve Ölçüm (ölçme)	İhtiyaç Duyulan Hacim (ml)	Numune Muhafaza Kabı P-polietilen C-cam	Koruyucu	Maksimum Tutulma (Bekletme) Zamanı
Metaller: As, Ba, Cd, Cr, Fe, Pb, Se, Ag, Mn, Na	1000-2000	P, C (özel asit temizlemesi)	Yüksek saflıkta nitrik asit, pH < 2	6 ay
Civa (Hg)	200-300	P, C (özel asit temizlemesi)	Yüksek saflıkta nitrik asit, pH < 2 + % 0,05 K ₂ Cr ₂ O ₇	28 gün
Radyoaktivite: Alfa, beta, radyum	4000	P, C (özel asit temizlemesi)	Yüksek saflıkta nitrik asit, pH < 2	6 ay
Fenolik maddeler	500-1000	C	4°C'da soğutulur,	28 gün

			H ₂ SO ₄ pH < 2	
Sertlik	100-200	P-C		6 ay
Asidite- Alkalinite	100-200	P-C	Buzdolabı, 4°C	24 saat
Amonyak	500-1000	P-C	40 mg/HgCl ₂ 4°C veya 0,8 ml/ H ₂ SO ₄	1-7 gün
Kjeldahl Azotu	500-1000	C	40 mg/HgCl ₂ 4°C veya 0,8 ml/ H ₂ SO ₄	stabil değil
Nitrit Azotu	100-250	C	40 mg/HgCl ₂ 4°C Dondurucu 20°C	1-2 gün
Nitrat	100-250	P,C		6 saat
Ortofosfat	100-250	P,C	Buzdolabı, 4°C	24 saat
Toplam fosfat	100-250	P,C	Buzdolabı, 4°C	1-7 gün
Sülfat	100-500	P,C		48 gün
Sülfid	100-250	C	2 ml/P çinko asetat	7 gün
Siyanür	500-1000	P	pH 11'e kadar NaOH	24 saat
Deterjan	500-1000	C	200 mg HgCP ₂ /P	1 gün
Florür	300-500	P		28 gün
Klorür	50-200	P,C		28 gün
Katılar	100-250	P,C		7 gün
Koku	200-500	C	Buzdolabı, 4°C	7 gün
Renk	100-250	P,C	Buzdolabı, 4°C	7 gün
Kondakivite	100	P,C		Yerinde/6 saat
pH	100	P,C		Yerinde
Bulanıklık	100	P,C		
Çözünmüş oksijen		C		Yerinde
Yağ ve gres	500-1000	C	2 ml/H ₂ SO ₄ -4°C	24 saat
KOI	100-200	C	2 ml/1 H ₂ SO ₄	7 gün
Toplam organik karbon	25-100	P,C	4°C'de soğutulur veya 4°C'de HCl veya H ₂ SO ₄ pH'sı < 2	24 saat 28 gün
Pestisitler herbisitler ve toplam organik halojenler	1000-4000	C, TFE-floro karbon ile as tarlanmış ve çözücü ile çalkalanmış kapak	4°C'de soğutulur	7 günde ekstraksiyon +30 günde analiz

Bozulabilir organik maddeler için kullanılacak muhafaza kapları TFE-florokarbon ile astarlanmış bir silikon tabaka (septum) ile teçhiz edilmiş 25 ml - 125 ml hacimli vida kapaklı bir şişe olmalı ve bu şişe laboratuvarda temizlendikten sonra hemen kapatılmalı ve sadece numune alma yerinde şişe içerisine numune konulmadan hemen önce açılmalıdır. Sonra su numunesi şişe başı boşluğu içerisinde hava kabarcıkları kalmayacak şekilde doldurularak kapatılır ve nakliye için derhal 4°C'da soğutulmalıdır. Büyük bir numune muhafaza kabından genelde dört tane numune alınması gereklidir. Akrolein veya akrilonitril alındıktan sonra en geç 14 gün içerisinde analize tabi tutulmalıdır. Halbuki akrolein veya akrilonitril analizlerinin yapılacağı durumlarda ise numuneler üç gün içerisinde analiz edilmelidir.

Organik maddeler, asitler ve pestisitler gibi çözücü ile ekstrakte edilen numuneler dar ağızlı, vida kapaklı 1 litrelik veya 2,0 litrelik şişelerde muhafaza edilmelidir. Şişeler kullanılmadan önce organik çözücüler ile temizlenmiş ve durulanmış olmalı ve en az bir saat 105°C'lik etüvde kurutulmuş olmalıdır. Alınan numuneler yedi gün içerisinde ekstrakte ve ekstraksiyondan sonra 30 gün içerisinde analiz edilmelidir.

Numunelerin numune alma tertibatından numune muhafaza kabına aktarılması için önceden temizlenmiş, çözücü ile durulanmış ve etüvde kurutulmuş paslanmaz çelikten yapılmış beherler kullanılmalıdır. Numune kaplarına su örneği alınmadan önce kap su örneğiyle bir defa çalkalanmalıdır.

Bazı parametrelerin yeraltısuyu numunesi alınırken ölçülmesi gerekir. Bunlar; kuyu su seviyesi, sıcaklık, pH, iletkenlik, bulanıklık, redoks potansiyeli, çözülmüş oksijendir.

Bazı parametrelerin ölçümünde ise toplam konsantrasyonlarından ziyade çözülmüş konsantrasyonları önem kazanmaktadır. Bu durumda, numunelerin yerinde veya imkan dahilinde mahallindeki bir laboratuvarda mümkün olan en kısa zamanda 0,45 mm membran filtre ile filtrelenmesi gerekir. Metal, radyoaktivite parametreleri, toplam organik karbon, çözülmüş ortofosfat ve toplam çözülmüş fosfor analizleri için numuneler filtre edilmelidir. Metal analizleri için asitlendirmeden önce filtreleme yapılmalıdır.

Numuneler alındıktan sonra taşınması mümkün olan en kısa sürede yapılmalıdır. Organik analizler ve diğer birçok parametreler numuneler nakledildikten sonra bir gün içerisinde laboratuvarında olmalı ve buzlu su ile muhafaza edilmelidir.

Raporlama yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar şunlardır:

- Deneyin yapıldığı laboratuvarın adı, deneyi yapanın ve/veya raporu imzalayan yetkililerin adları, görev ve meslekleri,
- Deney tarihi,
- Numunenin alındığı tarih,
- Numunenin tanıtılması,
- Deneyde uygulanan standartların numaraları,
- Sonuçların gösterilmesi,
- Deney sonuçlarını değiştirebilecek faktörlerin mahzurlarını gidermek üzere alınan tedbirler,
- Uygulanan deney metotlarında belirtilmeyen veya mecburi görülmeyen, fakat deneyde yer almış olan işlemler,
- Rapor tarih ve numarası.

6.4 Türkiye’de Yeraltısularından Numune Alma Mevzuatı

Ülkemizde yeraltısularından numune alımına ilişkin “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma Ve Analiz Metodları Tebliği” bulunmaktadır. Tebliğin 11. Maddesi, yeraltısularından numune alma esaslarını belirlemektedir. Bu esaslar şunlardır:

- Su numunesi kaynaklardan alınıyorsa kaynak gözünden, açık kuyularda ise su seviyesinin altından alınır.
- Su numunesi pompa ile alınıyorsa 5 dakika kadar akıtılır.
- Bir kirlenme durumu sonucunda ortaya çıkabilecek kalite değişiminin yakından izlenmesi için numuneler aylık, haftalık veya günlük alınabilir.
- Numune sayısı hidrojeolojik özelliklere göre değişebilir, ancak kalite ölçümü için alınacak numune sayısı yılda üçten az olamaz.
- Kuyu ilk açıldığında SKKY’nin Tablo 1’inde yer alan parametrelerin analizi zorunludur.
- Yeraltı suyunun kullanım amacı belirleninceye ve koruma önlemleri alınıncaya kadar; her mevsimde, en az bir kez, Tablo 1’de verilen bütün parametrelerin analiz edilmesi gerekir.
- Kullanım amacı belirlenen yeraltısuları için klorür, amonyum azotu, toplam çözünmüş madde, KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), fekal ve toplam koliform ölçümü yapılır.

7. YERALTISULARINDAN NUMUNE ALINMASI İLE İLGİLİ ULUSLARARASI STANDARTLARIN İNCELENMESİ

Bu bölümde, yeraltısularından numune alınmasına ilişkin uluslararası düzeyde kabul görmüş standartlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bunlar; Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) standardı ile Amerikan Test ve Malzeme Kurumu'nun (ASTM) standardıdır.

7.1 Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Almak İçin Standart Kılavuz (ASTM D4448-01)

Bu kılavuz, yeraltısuyu kontrol kuyularından temsil edici ve geçerli numuneler alınabilmesi için yöntemler, ekipmanlar içermekte olup; kuyu yeri, derinliği, kuyu geliştirme, tasarım ve inşası veya numune sonuçlarında önemli bir etkiye sahip olan analitik yöntemleri içermemektedir. Birçok numune alma metodu, ekipman ve numune koruma tekniklerinin avantajları ve dezavantajları detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

Standart kılavuzda yer alan önemli terimler şunlardır:

Düşük akışlı numune alma—Tahliye ve numune alma oranlarının sızma hızı oluşumunda önemli değişikliklere yol açmadığı yeraltısuyu numune alma tekniğidir.

Minimum tahliye numune alma—Sadece numune alma ekipmanının (yani tüpün, pompa torbasının) barındırdığı suyun miktarının tahliye edildiği, formasyonun örneği olan yeraltısuyunun toplanması.

Pasif numune alımı—Akifer üzerinde hidrolik gerilime neden olmamak için yeraltısuyu verilerinin toplanması.

Su kalitesi gösterge parametreleri—Kuyu tahliye işlemini kontrol etmek için kullanılan pH, özgül iletkenlik, çözülmüş oksijen, yükseltgenme-indirgenme potansiyeli, sıcaklık ve bulanıklık gibi saha kontrol parametrelerini ifade etmektedir.

7.1.1 Kuyu Tahliyesi

Bir kontrol kuyusunda uzun bir zaman periyodunda kalan su yeraltısuyunun gerçek özelliklerini taşımayabilir. Bunun sebebi de zaman içerisinde meydana gelen kimyasal veya biyokimyasal değişimlerin suyun kalitesinde değişikliklere sebep olmasıdır. Kılavuzda, kuyu tahliyesi işlemi için iki farklı bakış açısından bahsedilmektedir: yeraltısuyunun büyük bir hacminin veya küçük bir hacminin temizlenmesi ile numune alımı öncesi yeraltısuyunun hiç temizlenmemesi.

En sık uygulanan yaklaşım, numune alma anında çekilen suyun yeraltısuyunu temsil edebilmesi için yeterli hacimde suyun kuyudan çekilmesidir. Bunun için de genelde 3 ile 5 kuyu hacminde çekilen suyun yeterli olacağı belirtilmektedir. Kabul gören başka bir alternatif yöntem ise hacmi azaltmak için düşük bir akış hızında tahliyenin yapılması veya tahliye işleminin tamamen ortadan kaldırılmasıdır.

Herhangi bir kuyu tahliyesi yaklaşımında, kuyuda suyun çekilmesini minimize edecek bir çekilme oranı kullanılmalıdır. Aşırı seviye düşüşü kuyunun etrafındaki doğal akışı bozar ve kuyuda bulunmayan kirleticilerin suya girişine neden olur.

En çok kabul gören tahliye yöntemi, önceden belirlenmiş durgun su hacminin numune alma öncesi muhafaza borusundan uzaklaştırılmasıdır. Durgun su hacmi hesaplanırken muhafaza borusu ile filtresi arasındaki hacim dikkate alınmalı ama eğer kuyuya gelen tabii akış yeterli değilse kuyu filtresi ile çakıl tabakası hesaba katılmalıdır. Tam kapsamlı bir izleyici model araştırmasına göre ise, 2 inçlik PVC kuyusunun serbest su yüzeyine yakın bir giriş üzerinden 5 ila 10 kuyu hacmi pompalanması, muhafaza borusu içinde kalan tüm durgun suyun çıkarılması için yeterli olduğunu göstermektedir(Humenick, vd, 1980).3 ila 5 kuyu hacmi su tahliye ise ABD EPA tarafından önerilmiştir(USEPA, 1986).

Çok derin ve büyük çaplı kuyularda suyun tamamını uzaklaştırmak mümkün olmayacağından, su yüzeyinin altında kuyunun belli bir noktasına kadar pompanın indirilmesi ve sadece bu noktanın altındaki hacmin temizlenmesi ve sonra daha derin bir seviyeden numune alınması uygun olabilir. Tahliye edilen noktanın üzerinde bir packer ile sızdırmazlığın sağlanması yukarıdaki durgun suyun geçişini engelleyerek yaklaşımı daha güvenilir hale getirir.

Başka bir alternatif metot ise Barcelona, Wehrmann, ve Varlien (Barcelona vd, 1994)ile Puls ve Powell (Puls ve Powell, 1992)tarafından yapılan bir araştırmaya dayanmaktadır. Bu araştırmaya göre 1 L/dk'dan daha düşük oranda pompalama yapmak uçucu organik karbonlar ile metallerin daha iyi analitik sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Bu yöntem, çok düşük pompa hızında su kolonunda daha az karışmanın olması ve filtreye laminer yeraltısu akışından ötürü daha tutarlı bir numune alma faaliyetinin sağlanması önerisine dayanmaktadır. Aynı zamanda, bu numune alma metodu metaller için süzme ihtiyacını ortadan kaldıracak derecede az bulanık numune sağlar. Bu yöntem genel olarak düşük akışlı numune alımı olarak adlandırılır.

Düşük akışlı numune alma metodu, kuyu verimi yaklaşık olarak pompalama hızına eşit olan kuyularda uygulanabilir. Numune alımı esnasında kuyudaki su seviyesi sürekli olarak elektronik su seviye göstergesi ile izlenmelidir. Kuyu temizlenirken su seviyesi, gösterge probunun altına düşerse sinyal, su seviyesinin maksimum izin verilen çekilmenin altına düştüğünü ve pompalama oranının düşürülmesi gerektiğini gösterir. Pompalama yaklaşık olarak 100 mL/dk tahliye hızında başlar ve giderek kuyunun beslenme hızına göre ayarlanır. Diyaframlı pompa (*bladder*) dizaynı genelde bu numune alma yöntemi için kullanılır, ancak bu pompanın ineceği derinliğin sınırlı olması bazı durumlarda bir gaz tahrikli piston pompanın kullanımını gerektirebilir.

Yukarıdaki yaklaşımlara ek bir yaklaşım ise, bir yada birkaç indikatör parametrenin stabil hale gelene kadar izlenmesidir. Ölçümlerin önceden belirlenmiş bir aralığın içine girmesiyle stabilizasyonun sağlandığı kabul edilebilir. Stabilizasyon yaklaşımının bir dezavantajı, bu parametrelerin her durumda suyun yapısını temsil edeceğinin bir garantisinin olmamasıdır.

İzlenebilecek gösterge parametreleri olarak pH, sıcaklık, iletkenlik, bulanıklık, redoks potansiyeli ve çözülmüş oksijen gösterilebilir. Bir pompa ve arazi ölçerin birarada olması veya sürekli-akış ölçer (*flow-through cell*) ile donatılmış sondalar atmosfere maruz kalmadan sürekli olarak bu parametrelerin biri veya daha fazlasının izlenmesine olanak sağlamak için idealdir. Tipik bir sürekli-akış ölçer cihazı aşağıdaki şekilde görülmektedir. Bu yöntemde kullanılan pompalar, peristaltik

pompa veya diyaframlı pompa gibi sürekli akış sağlayan herhangi bir pompa olabilir. Bazı çalışmalar, 0.1 L/dk akış hızlarında, düşük yoğunluklu polietilen ve yumuşatılmış polipropilen boru donanımlarının soğurmaya eğilimli olduğunu ve TFE-florokarbon kullanılması gerektiğini göstermiştir (Parker, Ranney, 1997)



Şekil 7.1 : Sürekli-akış ölçer

Gibb ve Schuller (Gibb vd, 1981) tahliye işleminin başlamasından sonra herhangi bir anda filtrenin üzerine yakın bir pompa girişine giren durgun su yüzdesini tahmin etmek için kuyu hidroliği bilgilerinin kullanılmasını gerektiren bir zaman-düşüm yaklaşımı tarif etmektedir. Numuneler, yüzde kabul edilir ölçüde düşük olduğu zaman alınır. Avantajı ise kuyu hacminin pompalama süresinde doğrudan bir etkiye sahip olmamasıdır. Kuyu hidroliği güncel bilgilerinin varlığı bu yaklaşım için gereklidir. Su seviyesi düşmesinden başka durgun suyun aşağı doğru göçünün etkileri (örneğin, yoğunluk farklılıkları) bu yaklaşımda hesaba katılmamaktadır.

Kuyu tahliyesi için bir başka alternatif ise, su numunesinin filtreli zon içinden temizleme işlemi olmadan alınmasıdır. Bu teknik, belirli koşullar altında doğal yeraltısuyu akışının, kuyu filtresi içinde az veya hiçbir karışma olmadan yatay ve laminer olduğu çalışmalarına dayanmaktadır. Bu numune alma tekniklerini doğru kullanabilmek için su numunesi, muhafaza borusunun içinde az veya hiç karışmanın olmadığı filtrelenmiş su kolonunun içinden alınmalıdır.

7.1.2 Malzemeler ve İmalat

Numune alma cihazlarının yapımında kullanılan malzemelerin seçiminin numune alma ortamında hangi bileşiklerin var olabileceği ve numune malzemelerinin özütleme, adsorpsiyon ve kataliz yoluyla ne şekilde etkileşime gireceği bilgisine bağlı olmalıdır. İkinci bir etmen de korozyon ve aşınmanın numune alma cihazının yapısal bütünlüğünü tehlikeye sokabilecek olmasıdır. Bazı durumlarda, PVC veya diğer plastikler yeterli olabilir. Diğerlerinde ise, tamamı TFE-florokarbon olan bir aparat yeterli olabilir. Varlığı numune alma cihazını olası çözücülerin yüksek yoğunluklarına maruz bırakacağından, susuz fazlı sıvının (SFS) olası varlığının da göz önünde bulundurulması gerekir. Her bir malzemenin kimyasalları bir dereceye kadar absorblama veya özütleme özelliğinden veya bir kimyasala maruz kaldıklarında çözünebilme olasılığından dolayı, hiç biri aslında ideal malzeme değildir. Söz konusu bu malzemelerin numune alma cihazına yönelik avantaj ve dezavantajları Çizelge 7.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 7.1: Numune alma ekipmanlarının seçiminde malzeme değerlendirme

Malzeme	Değerlendirme
Politetrafloroetilen	<ul style="list-style-type: none"> - İşlenmemiş PTFE bazı organik maddeleri kolayca çeker - İnorganik bileşiklerin bulunduğu korozif ortamlar için ideal bir malzemedir - PVC çözücülerin yüksek konsantrasyonda veya saf ürün (organik bileşik) olarak bulunduğu ortamlarda faydalıdır - Düşük çekme ve basınç dayanımları, düşük aşınma dirençleri nedeniyle diğer mühendislik plastiklerine göre yapısal sorunları vardır - Diğer plastiklere göre PTFE’nin düşük sürtünme katsayısı ve yapışmayı önleyici özellikleri yüzünden muhafaza borusu ile dairesel yalıtım malzemesi arasında sızdırmazlığı sağlamada problem yaratır - 2 inç (~5 cm) çaplı planlanan PTFE kuyu muhafaza borusunun maksimum dizgi uzunluğu 375 fiti (~115 m) geçmemelidir. - Pahalı
Polivinil klorür	<ul style="list-style-type: none"> - Polimer formülasyonu esnasında orijinal ısı dengeleyicilerin içinde bulunan kalay ve antimon bileşiklerinin sızması uzun süreli maruziyetten sonra oluşabilir - Tutkallı ek ile birlikte kullanıldığında, tetrahidrofur, metiletiketon, metilizobütiketon ve sikloheksanon gibi

	<p>PVC astar ve yapıştırıcılardan uçucu organik bileşikler yeraltısularına sızabilir</p> <ul style="list-style-type: none"> - Yüksek konsantrasyonlardaki PVC çözücülerinin bulunduğu ortamlarda kullanılamaz - Benzin varlığında, PVC'nin bozulmaya karşı direnci ile ilgili çelişkili veriler bulunmaktadır - 2 inç (~5 cm) çap dişli PVC muhafazasının maksimum dizgi uzunluğu 2000 fiti (~ 610 m) geçmemelidir - PVC yamulabilir ve eriyebilir - Eğer sulu çimento (çimento ve su) dairesel veya yüzey yalıtımında kullanılırsa, PVC çözülebilir ve eriyebilir. Bunun sebebi de, hidrasyon ısıdır - PVC doymamış bölge boyunca kloroflorokarbonların atmosfere doğru buharlaşmasına sebep olabilir - Kesme, montaj ve sondaj deliğindeki yerleşimi kolaydır - Ucuz
Paslanmaz Çelik	<ul style="list-style-type: none"> - Genellikle tipine göre değişen yüksek korozyon direncine sahiptir - Korozyon asidik ve oksitleyici koşullarda oluşabilir - Korozyon ürünleri bazı eser elementler ile birlikte çoğunlukla demir bileşikleridir - Öncelikli iki yaygın türü: <ul style="list-style-type: none"> (1) 304 paslanmaz çelik türü: Demir şu elementlerle alaşımlıdır (yüzdeleri): Krom (%18-20), Nikel (%11-14), Mangan (% 2), Silikon (% 0,75), Karbon (% 0,08), Fosfor (% 0,04), Kükürt (% 0,03) (2) 316 paslanmaz çelik türü: Demir şu elementlerle alaşımlıdır (yüzdeleri): Krom (%16-18), Nikel (%8-11), Mangan (% 2), Molibden (% 2-3), Silikon (% 0,75), Karbon (% 0,08), Fosfor (% 0,04), Kükürt (% 0,03) • 304 paslanmaz çelik türü için korozyon direnci aerobik koşullarda iyidir. • Pahalı
Galvanizli Çelik	<ul style="list-style-type: none"> - Paslanmaz çelikten daha az korozyon direncine sahip ve karbon çeliğinden korozyona karşı daha dirençlidir - Kimyasal olarak indirgenme koşulları altında oksit muhafaza borusu çözülebilir ve çinko ile kadmiyum salınımı ile pH değerinde yükselme meydana gelebilir - Organik ve inorganik bileşenler için bozunmuş ve aşınmış yüzeyleri bulunan aktif adsorpsiyon alanları - Ucuz
Karbon Çelik	<ul style="list-style-type: none"> - Korozyon ürünleri oluşabilir (örneğin, demir ve mangan oksitler, metal sülfürler ve çözünmüş metal türleri) - Metal korozyon ürünleri üzerine organik bileşiklerin soğurulması mümkündür - Organik ve inorganik bileşenler için bozunmuş ve

PVC

Yapıştırıcı maddelerden uzak durulacaksa, kullanılmaları, eser organikler bir etmen olduğunda veya SFS varlığı durumunda bazı problemlere yol açabilecek olsa da, birçok durumda PVC kullanılmaktadır. Hâlihazırda, PVC ile yeraltısuyu arasında gerçekleşen etkileşimler iyi anlaşılmamaktadır. PVC'ye ilave edilen organo dengeleyici formundaki kalay, PVC ile toplanan numunelere karışabilir.

PVC konusundaki yapısal kaygılar, yeraltısuyundaki PVC çözücülerinin varlığı nedeniyle artmaktadır. Hal böyle olunca da, PVC çözücülerini olan susuz fazlı sıvılar (SFS) temel sorun haline gelmektedirler. Söz konusu bu materyallerin özelliklerini kaybetmesi öncelikli olarak, bozulmaya yol açabilecek yumuşama ve en nihayetinde genişlemeye neden olan çözücü yoluyla malzemeye nüfuz etmesi anlamına gelen çözünme şeklinde gerçekleşmektedir. Düşük konsantrasyonlarda bile, her halükarda, PVC çözücülerini PVC'de bozulmaya yol açabilir. Çok etkin bir PVC çözücüsü olan metilen klorür PVC'yi çözünürlük limitinin onda biri oranında yumuşatır, daha az etkin olan trikloroetilen ise PVC'yi çözünürlük limitinin onda altısı kadar yumuşatır.

TFE-Florokarbon Reçineleri

TFE-florokarbon reçineleri oldukça inert olup, numune alma cihazlarının imalatına imkân tanıyacak yeterli mekanik güce sahiptirler. Kalıba dökülmüş parçalar imalat sırasında her türlü organik kirleticileri yok eden yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Fabrikasyon sırasında flüorlu bileşikler meydana gelebilir, hızlı bir şekilde kaybolur ve reçine erime noktasına kadar ısıtılmadığı sürece sonradan ortaya çıkmaz. PVC ve paslanmaz çeliğe nazaran, TFE-florokarbon daha az katyon emicidir.

Kalıptan çekilmiş TFE-florokarbon boru, kalıptan çekmek için organik çözücü izlerini barındırabilir. Bu, imalatçı tarafından kolaylıkla giderilebilecek olup, yıkama yoluyla bir kez giderildikten sonra numuneyi etkilemeyecektir. TFE-florokarbon florlanmış etilen propilen (FEP) ve TFE-florokarbon perfloroalkoksi reçinelerinin

söz konusu bu kalıptan çekme desteğine ihtiyaçları olmayıp, numune boru tesisatı için uygun da olabilirler.

Cam ve Paslanmaz Çelik

Cam ve paslanmaz çelik de sulu ortamlarda genelde inert kabul edilen iki başka malzemedir. Kullanım ve fabrikasyon esnasındaki güçlükler nedeniyle cam genel olarak kullanılmamaktadır. Paslanmaz çelik güçlü olup, ekipmanı imal etmek için makine ile kolaylıkla biçim verilebilmektedir. Bununla birlikte, metalik kirleticileri açığa çıkarabilecek korozyondan tam olarak muaf değildirler. Paslanmaz çelik içerisinde çeşitli metal alaşımları bulunmakta olup, bunlardan bazıları (nikel) reaksiyonları katalizleyebilir. Paslanmaz çeliklerin bazı alaşımlı bileşikleri, klorür ve flüorür gibi oksitleyici olmayan anyonların yüzey aşındırmasıyla ve bazı durumlarda, belirli bir pH koşulları aralığında sülfat yoluyla çözülebilir. Alüminyum, titanyum, polietilen ve diğer korozyona dirençli malzemeler, yeraltısuyu kalitesi ve ilgili bileşenlere bağlı olarak bazı kaynaklar tarafından önerilmektedir.

Malzemelerin Temizliği

Geçici olarak kurulmuş numune alma cihazlarının kullanıldığı yerlerde, seçilen numune alma cihazının eser organiklerden temizlenebilmesi ve kuyular ile numunelerin çapraz kirliliğinin önüne geçilebilmesi için her bir kuyu kullanımı arasında temizleme işlemi yapılmalıdır. Organik kimyasallara, tarım ilaçlarına veya nitroaromatik bileşiklere maruz kalmış, PVC ekipmanı ve paslanmaz çelikten imal edilmiş numune alma cihazlarının zararlı maddelerden arındırma işlemi, akabinde sıcak su ile durulamanın gerçekleştirildiği sıcak deterjan solüsyonu ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilir. Zira ilaç kalıntıları ve organik bulaşıcı maddelerin giderilebilmesi için, düşük yoğunluklu polietilen ve TFE-florokarbondan yapılmış cihazların ayrıca, yaklaşık 105°C sıcaklıktaki fırınlarda kurutulması gerekmektedir. Cihazın temiz ve kabul edilebilir olduğunun doğrulanmasının yaygın bir yolu ise, numune malzemelerinden veya saha koşullarından kaynaklanabilecek kirliliğin arka plan seviyesinin kontrol edilmesi için, numune alma cihazından geçirilmiş bir numunenin (cihaz kör numunesi) analiz edilmesidir. Numune alma işlemlerinin

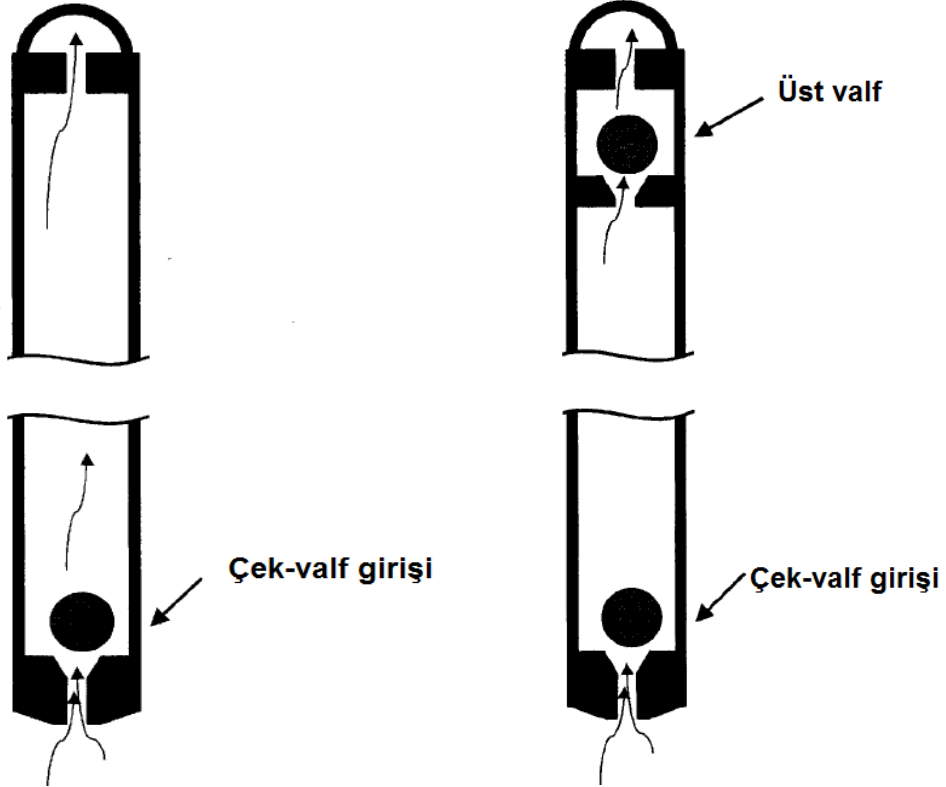
geçerli olduğunun doğrulanması için, sahadan çoğunlukla ilave numuneler toplanıp, depolanmaktadır.

7.1.3 Numune Alma Cihazları

Kuyu-İçi Numune Alma Cihazları (Down-Hole)

Bailer kova, taşıyıcı (*Messenger*) bailer kova ya da emici (*thief*) numune alıcılar kuyu-içi numune toplama cihazlarına örnek olarak verilebilir. Bunlar büyük hacimlerde suyun çıkarılması adına kullanışlı olmasalar da, kendi özel kullanımına uygun olarak ucuz ve de yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Söz konusu bu cihazlar çeşitli malzemelerden değişik şekil ve ebatlarda imal edilebilmektedirler. Numuneyi aşırı basınçlara maruz bırakmamaktadırlar.

Tek kontrol vanalı cihaz Şekil 5.2’de gösterilmektedir. Numune hacmini arttırmak amacıyla, ilave boru uzunluklarının eklenebilmesi için, bailer kova ortada vidalanmış olabilir. TFE-florokarbon, paslanmaz çelik ve PVC imalatta kullanılan en yaygın malzemelerdir.



Şekil7.2: Tek kontrol vanalı bailer kova

Şekil7.3: Çiftkontrol vanalı bailer kova

Çalışma sırasında, tek kontrol vanalı bailer kova, kuyu içerisine, su yüzeyinin hemen altındaki bir derinliğe kadar yavaşça indirilir, su alttan hazne içerisine dolar ve bailer kova geri çekilmesi esnasında, su kolonunun ağırlığı kontrol vanası kapatır. Haznenin dolumu esnasında kilit bilyesinin kontrol vanası üzerine yaklaşık olarak oturması için, bilyenin özgül ağırlığının yaklaşık 1.4 ile 2.0 arasında olması gerekmektedir. Bailer kovanın geri çekilmesi üzerine, kilit bilyesi kontrol vanası vasıtasıyla yerleşir.

Çift kontrol vanalı bailer kova belirli bir derinlikte noktasal numune alma işlemine olanak sağlamaktadır. Çift kontrol vanalı bailer kova ayrıca, izleme kuyusunun dibinden, susuz fazlı yoğun sıvı (SFYS) toplanmasında da etkilidir. Örneğine Şekil 5.3'de yer verilmiştir. Söz konusu bu çift kontrol vanalı tasarımda, tertibat aşağıya doğru indirildikçe, su numune haznesine dolmaktadır.

Konik uçlu bir venturi borusu giriş ve çıkışı suyun tertibattan sınırlı geçmesini sağlamaktadır. Numunenin alınacağı derinliğe ulaşıldığında, tertibat geri çekilir. Her bir kilit bilyesi ile kontrol vana yuvası arasındaki fark, kontrol vana bilyesinin düşey hareketini bloke eden bir pim tarafından muhafaza edildiği için, kontrol vanalarının her ikisi de geri çekilme esnasında eş zamanlı olarak kapanmaktadır. Hava oksidasyonu olasılığını azaltmak amacıyla, numunenin doğrudan bir toplama kabına boşaltılması için, bailer kovanın dibine bir drenaj pimi yerleştirilmiştir.

Tepeden-dolumlu bailer kova, tepesi açık, alt tarafı kapalı borumsu bir alettir. Tepeden-dolumlu bailer kova kuyu içerisnde su yüzeyinin altına yavaşça indirilir ve tüp içerisine tepeden su dolar. Tüp tasarımındaki bu değişiklik daha fazla numune karışımı ile sonuçlanacak olmasına rağmen, tüpün susuz fazlı hafif sıvılar (SFHS) yüzeyinin hemen altına daldırılması ve bailer kovanın su kolonunun yüzeyinden susuz fazlı hafif sıvı almasına olanak sağlamak için kullanılabilir.

Diferansiyel basınçlı bailer kova, sökülebilir üst kısmına farklı yüksekliklerde küçük çaplı iki tüpün yerleştirildiği kapalı bir kap gövdesidir. Bailer kova, istenilen numune alma derinliğine hızlı bir şekilde batmasına imkân sağlayacak yeterli ağırlığı verebilmesi için genellikle paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Bailer kovanın aşağıya doğru hareketine son verildiğinde, iki tüp arasındaki hidrostatik basınç

farklılıkları, yukarıdaki tüpten hava çıkarken, aşağıdaki tüpten kovanın dolmasına imkân tanımaktadır. Özellikle doğrudan numune şişesi dolumuna yönelik 40 ml'lik dâhili şişelerle donatılmış olmaları durumunda, bu bailer kova çeşitleri numunenin havaya maruz kalmasını minimize etmektedir.

Numunenin bailer kovadan numune şişesine aktarılması esnasında, numunenin havaya maruz kalmasını minimize etmek için özel tedbir alınmalıdır. Bu sorunun üstesinden gelmek için çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Örneğin, uçucu organik kimyasallar için numune alımında kullanılan dipten-boşaltımlı bailer kovaların, numunenin hava etkisine en az maruz kalacağı şekilde, yerleştirilebilir bir numune vanasına veya numune cihazının altında yada yakınında yer alan (çoğunlukla dip veya bailer kova boşaltma aleti olarak adlandırılan) bir çekiş vanası tertibatına sahip olması gerekmektedir.

Bailer kovalara veya diğer numune alıcı cihazlara yönelik askı kordonlarının zeminden ve kuyu içerisine taşınabilecek diğer kirletici malzemelerden uzak tutulması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda, izleme kuyusunun etrafındaki zemine plastik bir levha serilebilir. Zaman tasarrufu sağlayan ve numune alma işlemi esnasında çapraz kirlenme potansiyelini neredeyse ortadan kaldıran, kullanıldıktan sonra atılabilen TFE-florokarbon, PVC, polietilen ve propilen bailer kovaları mevcuttur.

Numune oksidasyonu, tek kontrol vanalı ve üstten dolumlu bailer kovalarda sorun teşkil etmektedir. Numune oksidasyonu, eğer su seviyesi yer yüzeyinin çok aşağısındaki derinliklerindeyse veya numunenin bailer kovasından numune şişelerine boşaltılmasında gecikme söz konusuysa ortaya çıkabilir. Buna karşın, nokta kaynaklı bailer kovaların kullanılması oksidasyon problemini asgari düzeylere indirecektir.

Nokta kaynaklı numune alımının bir başka yolu, bir ağırlık taşıyıcısı veya hazneyi kapatacak açık bir tüpün (örneğin tüp su numune alıcı veya emici numune alıcılar) her iki ucunda "trip" fişlere pnömatik değişiklik uygulanmasıdır. Değişik malzeme ve şekilde bir dizi taşıyıcı veya emici numune alıcısı mevcuttur.

Diyaframlı Pompalar (Bladder Pumps):

Diyafıramlı pompalar, sert bir kılıf ile kapatılmış esnek bir membrandan oluşmaktadır. Su, pompa boşluğuna genellikle pompanın alt kısmına konuşlandırılmış bir giriş vasıtasıyla girmektedir. Ya kompresörden ya da hava silindirinden sıkıştırılmış gaz, giriş üzerindeki kontrol vanasını kapanmaya zorlar ve pompanın uştündeki ikinci bir kontrol vanası yoluyla numuneyi tahliye hattından yukarı doğru zorlayarak pompa boşluğu içerisindeki kese içerisine enjekte eder. Uştteki kontrol vanası vasıtasıyla suyun, kese içerisine tekrar girmesi engellenmektedir. Bu durumda kesenin basıncının azaltılmış olması, pompanın yeniden dolmasına imkân tanımaktadır. 122 m (400 ft) derinlikten alınan numuneler raporlanır.



şekil 7.4: Diyafıramlı pompa

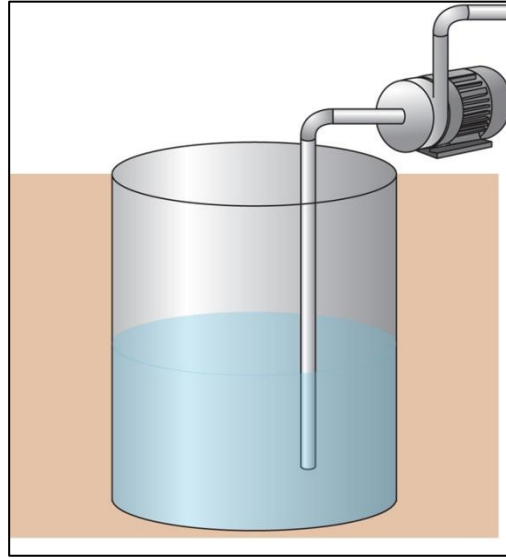
Bir dizi tasarım malzemesi mevcuttur ancak gerek PVC gerekse de TFE-florokarbon reçineli veya paslanmaz elik gövdeli TFE-florokarbon keseler ile bağlantı parçaları en yaygın olanlardır. Basıncı devirleri arasındaki süreyi kontrol etmek için otomatik kontrol sistemi kullanılmakta olup, basıncı düzenlemektedir.

Diyafıramlı pompaların, tahrik gazı ile temasları olmaması bakımından gaz basan pompalara göre farklı bir avantajı söz konusudur Dezavantajları arasında ise çok büyük gaz hacimlerine ihtiyaç duyulması ve pompanın kirlerinden arındırılmasında yaşanacak zorluktur. Söz konusu bu pompa tasarımı, düşük pompa oranı veya akış hızının (0.5 L/dk) gerektiği özel kuyu tesisleri için en uygun olanıdır. Diyafıramlı

pompadan akış hızı, diyaframlı pompanın boyutlarına, kumanda ayarlarına, gaz basıncına ve toplam dinamik yüke bağlıdır.

Emme Pompalar (Suction Lift Pumps)

Doğrudan hatlı, santrifüjlü ve peristaltik olmak üzere üç tür emme pompa çeşidi mevcuttur. Emme pompalarının en büyük dezavantajı, emme gücüyle mevcut atmosfer basıncına göre su kaldırma kabiliyetiyle sınırlı olmasıdır. Teorik emme sınırı yaklaşık 10.4 m'dir (34 ft), ancak emme pompalarının bir çoğu sadece 7.6 m (25ft) su kaldırabilmektedir.



Şekil 7.5: Emme pompa

Birçok emme pompa, içerisinde pompa dişlilerinin, pistonların veya diğer cihazların vakum oluşturmak için çalıştığı sarmal yapı vasıtasıyla su çekerler. Genelde pirinç veya yumuşak çelik gibi inert olmayan malzemelerden imal edildikleri için söz konusu bu pompalar muhtemelen birçok numune alma amacına yönelik olarak kabul görmeyecek olup, numuneleri yağlayıcı maddelere maruz bırakabilirler. Dönen pervaneler veya bu tür diğer parçalar potansiyel olarak kavitasyoneden olabilir. Gövde içerisindeki küçük delikler yoluyla havayı numune ile karıştırabilirler ve kullanımlar arasında yeterince temizlenmeleri zordur. Söz konusu pompalar kuyu tahliyesi için uygun olabilirler, ancak numune alma işlemi için genel olarak kullanılmamalıdır.

Peristaltik pompa (çoğu zaman dönerli peristaltik pompa olarak da bilinmektedir) yukarıdaki açıklamalara istisna teşkil etmektedir. Bir peristaltik pompa, makaralı rotordan oluşan kendinden emişli, düşük-hacimli emme pompasıdır. Pompa rotoru etrafına esnek boru sistemi yerleştirilmiş olup, döndükleri esnada makaralar tarafından sıkıştırılmaktadırlar. Boru tesisatının bir ucu (ağırlıklı uç kullanılabilir) kuyu içerisine yerleştirilirken diğeri doğrudan toplama kabına bağlanır. Rotorlar hareket ettikçe, kuyu içerisindeki boru hattında düşük basınç, rotor kafasından ayrılan tüpte ise yüksek basınç meydana gelir. Rotorun hızı değiştirilerek veya pompa rotorunu barındıran pompa kafasının ebatı değiştirilerek pompalama oranları kontrol altında tutulabilir.

Peristaltik pompa sıvıyı tamamen numune tüpü içerisine taşır. Pompanın hiç bir bölümü sıvı ile temas etmez. Peristaltik pompa kafası içerisinde çoğunlukla silikon boru hattı kesiti kullanılmaktadır ancak, özellikle kuyu içerisine uzanan bölümlerde veya pompadan alıcı kaba giden bölümlerde diğeri türlü boru tesisatı da kullanılabilir. Değişik imalatçılar pompalarının kullanımıyla ilgili olarak TFE-florokarbon ya da Viton ile uyumlu boru tesisatı önermektedirler. Eğer 0.1 L/dk'dan daha az olan akış hızları kullanılacaksa, plastikleştirilmiş polipropilen boru tertibatları ile düşük yoğunluklu polietilenden uzak durulmalıdır. Bu metotla özütleme hızı 0.04'ten 30 L/dk aralığında değişebilir.

Yeraltısuyu numunelerinin toplanmasına yönelik peristaltik pompaların kullanışlılığı konusunda anlaşmazlık söz konusudur. Tai vd. tarafından yapılan araştırma, peristaltik pompaların uçucu organik kimyasallara yönelik yeterli geri kazanım sağladığını göstermiştir(Tai vd, 1991). ABD EPA ise, numune alma işlemi esnasında uçucu organik kimyasalların kaybedilebilecek olmasından dolayı kullanımlarını tavsiye etmemektedir (Imbrigiotta vd, 1988).

Doğrudan emme yoluyla numune toplamanın bir yolu, belirli uzunlukta plastik bir boru parçasının bir ucunun kuyu veya piyezometre içerisine indirilmesidir. Boru tesisatının karşıt ucu iki yollu bir tıkaç şişesine bağlanır ve elle kullanılan veya mekanik bir vakum pompası şişeden ayrılan ikinci bir boru tertibatına eklenir. İki hat arasına sürekli vakum kontrolünü sürdürebilmek amacıyla bir kontrol vanası takılır.

Bu durumda numune pompa mekanizmasıyla herhangi bir temas olmadan doğrudan toplama kabına çekilebilir.

Kuyu içerisine indirilmiş belirli uzunlukta bir boru parçasına bir santrifüj pompa takılabilir. Tüpün havasının alınmasına yardımcı olmak için kuyu boru tesisatının ucuna genellikle bir ayak valfi takılır. Böyle bir düzenlemeye yönelik maksimum yükseklik yaklaşık 4.6 m'dir.

Emme pompa ile numune alma derin olmayan izleme kuyularına yönelik basit bir metot sağlamaktadır. Toplama sırasında önemli derecede oksidasyon ve karışma ortaya çıkabilecek olsa da, doğrudan hat metodu taşınmaya müsaittir. 19 ile 151 L/dk arasında pompalama hızı elde edilecek olsa da, santrifüj pompa numuneyi daha da fazla karıştıracaktır. Peristaltik pompa diğer iki pompaya göre daha az karıştırmanın olduğu daha düşük bir numune alma oranı sağlamaktadır.

Her üç sistem de numunenin şişeye girişi öncesinde su numunesinin sadece TFE-florokarbon veya silikon boru tesisatı ile temas edeceği şekilde özel olarak tasarlanabilir. Her bir kuyu veya piyezometre için özel boru tesisatı tavsiye edilmektedir.

Elektrikli Dalgıç Pompalar (Electric Submersible Pumps)

Elektrikli dalgıç pompalar, piston, pompa dişlisi veya sarmal tekli helezon dişlisini çalıştıran kapalı bir elektrik motorundan oluşmaktadır. Su, yüzeye tahliye tüpü kanalıyla getirilmektedir. Su kuyusu endüstrisinde benzer pompalar yaygınlıkla kullanılmakta olup, birçok tasarım mevcuttur.

Dalgıç tipi pompalar, emiş yüksekliği sayesinde farklı derinliklerden su çekimine yönelik daha yüksek boşaltım hızı sağlarlar. 3.6 cm (1.4 in) çapında ve 33.5 metrede (110 ft) asgari 4.5 L/dk. (1.1 gal/dk.) akış hızlı bataryayla çalıştırılan bir cihaz geliştirilmiştir. Bir başka dalgıç tipi pompanın dış çapı 11.4 cm (4.5 in) olup, 91 metreden (300 ft) su pompalayabilir. Toplam basma yüksekliğinin derinliğine bağlı olarak, pompalama hızları 53.0 L/dk'ya kadar değişebilmektedir.

Numune alma işlemi sırasında tahliye tüpünde ve kuyu içerisinde önemli derecede numune karışımı söz konusudur. Pompa malzemelerinden numune içerisine eser

metallerinin bulaşması olasılığı da ayrıca söz konusudur. Bununla beraber, özellikle çevresel işler için tasarlanmış dalgıç tipi pompalar da mevcuttur. Bu pompalar diğerlerine nazaran nispeten, paslanmaz çelik, TFE-florokarbon ve Viton gibi tepkimesiz malzemelerden yapılmışlardır. Dalgıç tipi pompaların komple temizlenmesi zor olup, cihaz kör numunelerinin toplanması yoluyla doğrulanması gerekmektedir.



Şekil 7.6: Dalgıç pompa

Dalgıç tipi pompalara yönelik göz önünde bulundurulması gereken bazı sorunlar mevcuttur. İzleme kuyularında genelde var olan şilt ve ince kum, dâhili pompa dişlilerinin ve bujilerin aşırı yıpranmasına neden olabilir. Bu pompalar ayrıca, genelde yüksek-amperli 120/220-V güç kaynağı ile hareket kabiliyetlerini sınırlayan makara ve vinç sistemini gerektirmektedirler. Ayrıca numune içindeki gazın uçmasına neden olması sebebiyle, dalgıç tipi pompalar uçucu organik kimyasal veya çözülmüş gazları içeren sıvıların toplanmasında uygun olmayabilirler.

Gaz-Basma Pompaları (Gas-Lift Pumps)

Gaz-basma pompaları suyu yüzeye çekmek için sıkıştırılmış havayı kullanmaktadırlar. Su, dış muhafaza borusu veya suyun altında kuyu çevresine batırılmış küçük çaplı bir borudan yukarıya doğru çekilir.

Alt ucunda delikler açılmış küçük çaplı plastik bir tüpten oluşan bir ünite için de benzer bir prensip kullanılmaktadır. Bu tüp biraz daha büyük çaplı başka bir tüp içerisine yerleştirilmiştir. Basınçlı hava iç tüp içerisine enjekte edilir böylelikle hava kabarcıkları delikler içerisinden iç ve dış boru tertibatı arasındaki dış dişli yoluyla su numunesini kaldırır. Uygulamada, edüktör (boşaltma) hattının, pompalama sırasında suya batırılmış toplam edüktör uzunluğunun %60'ına eşit bir derinlikte suya batırılmış olması gerekmektedir. %30'luk bir suya daldırma oranı yeterli olsa da, %60'luk bir oran en iyi seviye olarak kabul edilmektedir.

Basınçlı gazın kaynağı, genellikle 7.6 m'den daha az olan derinlikler için bir el pompası olabilir. Daha büyük derinlikler için, hava kompresörleri veya basınçlı hava silindirleri kullanılmaktadır. Hava kompresörleri kullanıldığında, yağın kuyu içerisine girişinin minimize edilmesi için hava-yağ filtresinin monte edilmesi gerekmektedir.

Gaz-basma metotları kuyu içerisinde fazlaca numune çalkalanması ve karışımı ile sonuçlanmakta olup, uçucu organik kimyasallara veya çözülmüş gazlara (örneğin, çözülmüş oksijen, metan) yönelik olarak test edilecek numuneler için kullanılmamaktadır. Edüktör borusu veya ağırlıklı plastik boru tertibatı numune kirlenmesinin potansiyel bir kaynağıdır. Buna ilaveten, inorganiklere yönelik numune alma işlemlerinde de kaygılar vardır. Bu kaygılar, redokstaki değişikliklere, pH, oksidasyon ve basınç değişikliklerinden kaynaklanan çözünürlük sabitindeki değişikliklere dayandırılabilir.

Gaz Deplasmanlı Pompalar (Gas Displacement Pump)

Gaz deplasmanlı veya gaz tahrikli pompalar, numune nakliyesi yoluyla gaz-basma pompalarından ayrılmaktadır. Gaz deplasmanlı pompalar, hava-kaldırma ekipmanı ile ortaya çıkan basınçlı gazın ve suyun aşırı karışımı olmadan mekanik kaldırma yoluyla, ayırık bir su kolonunu yüzeye doğru çeker.

Su hazneyi dolunca numune alıcının kontrol vanası kapatılarak ve su numune hattına zorlanarak gaz hattına pozitif bir basınç uygulanır. Basınç uzaklaştırılarak döngü devam ettirilir. Gaz ile birlikte vakum da ayrıca kullanılabilir. Cihaz kuyu içerisine kalıcı olarak monte edilebilir ya da kuyu içerisine indirilebilir.



Şekil 7.7: Gaz deplasmanlı pompa

TFE-florokarbondan yapılmış kontrol vanalı, camdan imal edilmiş daha komplike, iki aşamalı bir tasarım imal edilmiştir. 38 L/dk'ya kadar sürekli akış hızları mümkündür.

Pozitif basınç yoluyla numune yüzeye taşınırken çok az itme gazı numune ile temas ettiği için, gaz deplasmanlı pompalar numune bütünlüğünün korunmasına yönelik olarak sağlarlar. Buna karşın, çözülmüş gazların potansiyel bir kaybı ve itici gaz ile gövde malzemelerinden kirlenme söz konusudur.

Gaz Tahrikli Piston Pompalar (Gas Driven Piston Pumps)

Gaz tahrikli piston pompalarda basınçlı gaz pistonlar arasından hazneye girer. Alternatif hazne basıncı, pistonun emiş hareketi esnasında su girişine imkân tanıyan pistonu harekete geçirir ve basınç hareketi esnasında numuneyi yüzeye doğru zorlar. 30.5 m'den, (100 ft) 0.16 ile 0.51 L/dk (0.04 ve 0.13 gal/dk) pompalama hızları rapor edilmiştir. 457 metreyi (1500 ft) aşan derinlikler de mümkündür.

Gazlı piston pompalar, diğer metotlara göre daha derin mesafelerden numune çekimi sağlamaktadır. Yine de, paslanmaz çelik ve pirinçten eser elementlerinin katkısı potansiyel bir problem olup, kullanılan gazın miktarı önemlidir.

Packer Pompa Düzenegi (Packer Pump Arrangement)

Packer pompa düzenegi, genişleyebilen iki packerın kuyu içinde numune alma ünitesi ile iki packer arasını izole edilmesini sağlar. Hidrolik veya pnömatik hareketli

packerlar gövde duvarına karşı preslendiğinden, numune alma ünitesi sadece izole edilmiş kuyu bölümünden su örneği alabilecektir. Packerların kuyu içerisinde dikey harekete yönelik havası boşaltılmış olup, istenilen derinliğe ulaşıldığında havası arttırılmaktadır. Dalgıç tipli, gaz basmalı ve emme pompaları numune alma işlemi için kullanılabilir. Packerlar genel olarak kauçuk karışımından imal edilmektedir.

Packer tertibatı bir kuyu içerisindeki farklı numune alma noktalarının izole edilebilmesine olanak sağlamaktadır. Çok sayıda farklı numune alma cihazı, numune testine yönelik analitik özelliklere bağlı olarak packerlar arasına yerleştirilebilir. Packerlar şişirildiğinde, packerlar arasındaki aralığa erişim engelleneceği için, numune alma cihazlarının seçimi numune pompaları ile sınırlıdır.

Ataletli Pompalar (Inertial-Lift Pumps)

Ataletli pompalar esnek bir tüpün ucunda yer alan bir taban valfinden oluşmaktadır. Tüp ve taban valfi, tüpün bir ucu yüzeyde kalacak şekilde kuyu içerisine daldırılır. Tüp bu durumda sürekli bir yukarı-aşağı hareketine başlar. Yukarı doğru her bir hareket tüp içerisindeki su kolonunu, strok uzunluğuna eşit bir mesafeye kaldırır. Aşağı doğru harekette, tüpün içerisine suyun girmesine olanak sağlayan taban valfi açılır. Bu işlem yüzeye doğru bir akış gerçekleşinceye kadar devam eder.

Ataletli pompalar 30 m (100ft) derinliklerde verimli bir şekilde çalışabilecek yeterliliktedirler. Küçük çaplı kuyularda veya genel olarak 12.5 mm çaplı ($1/2$ -in.) doğrudan-itmeli teknoloji sondalarda etkilidir. Tüp çapı ve yukarı aşağı hareketin hızına bağlı olarak, pompalama hızı 0 ile 7.6 L/dk (0 ile 2 gal/dk) aralığında değişmektedir. Bu pompada kullanılan ekipman, numune ile temas etmeyen motor tahriği veya pompa kolu hariç bir kuyuya tahsis etmeye yetecek kadar ucuzdur.

Bununla beraber, ataletli pompaların çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. Derin, büyük çaplı kuyularda çalıştırılması zordur. Motor tahriği ile bu sınırlamanın üstesinden gelinebilecek olsa da, motor tahriğinin dâhil edilmesi ekipmanın taşınabilirliğini sınırlandırmaktadır. Potansiyel olarak ya gövdeye zarar vereceği ya da gövdenin yıpranmasına neden olacağı için taban valfinin, gövde malzemesine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Pompanın düzgün çalışması için, boşaltma

borusunun katı ve sert olması gerekmektedir. Bu boru tesisatının bir izleme kuyusuna takılmasını ve sökölmesini uygunsuz kılmaktadır.

7.1.4 Asgari Temizleme, Ayrık Derinlik ve Pasif Numune Alma

Eğer filtrelenme aralığındaki belli bir bölgeden numune alınacaksa ya da kuyu tahliyesine yönelik yeterli miktarda yeraltısuyu yoksa, sadece asgari su tahliyesi gerektiren numune alma teknikleri kullanılabilir. Bu teknikler arasında, asgari tahliye, ayrık derinlik numune alma ve pasif numune alma işlemleri yer almaktadır.

Numune alma işlemleri öncesinde, pompa vasıtasıyla yeterli suyun tahliye edilmesi amacıyla asgari temizleme numune alma işlemine yönelik tahsis edilmiş bir pompa kullanılmalıdır. Muhafaza borusunun, filtrenin veya formasyonun temizlenmesi için hiçbir girişimde bulunulmamalıdır.

Ayrık derinlik numune alıcısı, su numunesinin numune haznesinin içine çekildiği yerdeki filtre derinliğine kadar çok yavaş bir şekilde indirilir. Bu işlem ya kablo gibi bir tetikleme mekanizması kullanılarak elle ya da diferansiyel basınçlı bailer kova ile gerçekleştirilir. Buna karşın, ayrık derinlik numune alıcıları, numune alma derinliğine indirilirken, kuyu muhafaza borusu içinde yer alan su kolonundaki karışma nedeniyle çok dikkatli kullanılması gerekir.

Difüzyon numune alıcıları (suyla dolu membran) kullanan pasif numune alma işlemleri, uçucu organik kimyasalların yeraltısuyundan numune alıcı içerisine moleküler yayılması prensibine dayalıdır. (Uçucu olmayan organik kimyasal parametrelerinin toplanmasına yönelik difüzyon numune alıcılarının değerlendirilmesi amacıyla, hâlihazırda ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu tarafından araştırma yapılmaktadır, ancak araştırmanın sonuçları henüz yayınlanmamıştır). Difüzyon numune alıcısı genel anlamda su-doldurmalı, düşük-yoğunluklu, yarı-geçirgen membran olarak faaliyet gösteren polietilen borulama sisteminden oluşmaktadır. Numune alıcı ağırlıklı bir hatta takılır ve filtrelenmiş mesafe içerisinde önceden belirlenen bir derinliğe indirilir. Kuyu içerisindeki farklı derinliklerden numune almak için çoklu numune alıcılar birbirlerine bağlanabilirler. Yeterli süre geçtikten sonra, numune alıcı kuyudan çıkartılır, içi açılır ve numune, numune alma şişelerine boşaltılır. Numuneler muhafaza altına alınır ve analiz için laboratuvara gönderilirler. Söz

konusu bu numune alma metodunun kendine has uçucu organik kimyasallara uygulanabilirliği konusunda kaygılar dile getirilmiş olsa da, bu hususun detaylı bir değerlendirmesi yayınlanmamıştır. Numune alma tekniklerinin karşılaştırılmasında, difüzyon metoduyla elde edilen numunelerin, düşük-akış metoduyla toplanan numunelere göre daha az etkilenmiş olduğu tespit edilmiştir.

7.1.5 Numune Kapları ve Muhafaza

Numune kabı dolum sırası, dolum metodu, numune kabı türünün seçimi ve muhafaza metodunun numune ve analiz planında belirtilmesi gerekmektedir. Genel olarak, numune kabı dolum sırası en çok uçucu olan bileşikten en az uçucu olan bileşiğe doğru olacak şekilde ilerlemelidir.

Numunelerin tam ve anlaşılır bir şekilde muhafazası, ister evsel atık su, ister endüstriyel atık veya doğal sular olsun pratik olarak imkânsızdır. En iyi ihtimalle, muhafaza teknikleri sadece, numune kaynaktan ayrıldıktan sonra kaçınılmaz olarak devam eden kimyasal ve biyolojik değişikliklerin ertelenmesidir. Bu nedenle, bir su numunesinin zamanında analizinin güvence altına alınması, numune alım planında geçen en önemli ve öncelikli hususlardan biri olması gerekmektedir. Muhafaza metotları bir şekilde sınırlı olup, biyolojik değişmeyi yavaşlatma, kimyasal reaksiyonları ve kompleksleri geciktirme ve bileşenlerin uçuculuğunu azaltma eğilimindedir. Muhafaza metotları genel olarak pH denetimi, kimyasal katkı, soğutma ve dondurma işlemleri ile sınırlıdır. Su numuneleri için, donmanın hemen üzerinde (ıslak buzda 4°C) ani dondurma tekniği çoğunlukla mevcut en iyi tekniktir ancak ne tek muhafaza yoludur ne de her duruma uygundur. Numunelerin maruz kaldığı sıcaklığı barındırma konusunda ölçülü olduğu özel durumlar olabilir. Kayıt termometresi gibi bu amaca yönelik pahalı olmayan cihazlar mevcuttur. Numuneleri alan laboratuvar tarafından sıcaklık ölçümü için numune taşıma kaplarına suyla dolu bir şişe yerleştirilebilir.

Tüm şişe ve kapların sahaya gitmeden önce önceden temizlenmiş ve buzluklar içerisinde düzenlenmiş olması, numunelerin ve numune ekipmanının ortamdan izole edilmesi gerekmektedir. Sahadaki süre çok değerli olup, numunelerin etiketlenmesi veya düzenlenmesi ile değil, saha notlarının alınması, ölçümlerin yapılması ve

numunelerin belgelendirilmesi ile geçirilmelidir. Bu nedenle, numune alım planının, numune alım personeline saha veri kayıt defterinde gerekli bilgilerle ilgili, numune kabı etiketlerinde tanıma yönelik gereken bilgilerle ilgili, bakım protokolleri zinciri ile ilgili ve saha numuneleri ile yüklü numunelerin hazırlanmasına yönelik metotlarla ilgili açık talimatlar sağlayacak şekilde bilgileri içermesi gerekmektedir.

İhtiyaç duyulan numune miktarına yönelik kesin koşullar ile kullanılacak kapların sayısı laboratuvar dan laboratuvara değişebilir. Bir kuyunun yeterli miktarda numuneyi üretme kapasitesi yeterli olmayabileceğinden, numune ekibine gereken asgari numune miktarının temin edilmesi gerekmektedir. Numune alım programı yöneticisinin laboratuvar analizlerine yönelik varsayımlarda bulunmaması gerekmektedir. Laboratuvar koordinatörü ile numune alım programının koşullarının detaylarını önceden müzakere etmiş olması gerekir. Böylelikle uygun düzenlemeler yapılabilir.

Uçucu organik kimyasal numunelerine yönelik numune kaplarının özel olarak temizlenmesi ve taşınması gerekmektedir. Temizlenebilir organiklere yönelik numune kapları TFE-florokarbon yüzeyli septum ile donatılmış, vidalı-kapaklı (25 ile 125 mL arasında) şişelerden oluşmaktadır. Şişe, temizlenmeden hemen sonra laboratuvar da kapatılır ve ancak içerisine numune konulmadan hemen önce sahada açılır. Su numunesi bu durumda, şişe üst katmanı içerisine hava kabarcıkları olmadan kapatılmalı ve nakliye için derhal (4°C)' ye soğutulmalıdır. Kaplarda oluşabilecek sızıntılar kayba neden olabileceğinden, kap içerisine hava girebileceğinden ve bazı bileşenlerin hatalı analizine neden olabileceğinden çoklu numuneler alınır. Ayrıca, bazı analizler en iyi muhafaza edilmiş numuneler üzerinde gerçekleştirilmektedir. Uçucu organik kimyasallara yönelik numune alma işleminin, asgari olarak taşıma kör numunelerini (*trip blank*) içermesi gerekmektedir.

Numuneler toplandıktan sonra 14 gün içerisinde laboratuvar tarafından analiz edilmelidir. Çözücü ekstraksiyonuna yönelik (ekstrakte edilebilir organik-bazlı nötrler, asitler, pestisitler ve herbisitler) numuneler için numune şişeleri dar ağızlı, vidalı kapaklı, önceden temizlenmiş, çözücü organik ile çalkalanmış ve en az 1 saat süreyle 150° C' de fırında kurutulmuş şişelerdir. Bu şişelerin TFE-florokarbon hatlı kapaklarla kapatılmaları gerekmektedir. Organik ekstraksiyona yönelik numunelerin

7 gün içerisinde ekstrakte edilmesi ve ekstrakte edildikten sonra 40 gün içerisinde analiz edilmeleri gerekmektedir.

Çok sayıda yeraltısuyu parametresine yönelik, en güvenilir ölçümler numune toplama işlemi esnasında sahada yapılanlar veya en azından saha laboratuvarında yapılan ölçümlerdir. Kuyu içerisinde su seviyesi ve parametreler depolama ile hızlıca değişebilir. Su seviyesi ölçüm tekniklerine yönelik tartışma bu rehberin kapsamının dışında olmakla birlikte, düzgün ölçümlerin; ya kuyu tahliyesi yapılmadan önce ya da kuyunun geri kazanımı için yeterli vakit kazanıldıktan sonra yapılması gerektiği belirtilebilir. Depolama ile çabucak değişebilen parametreler içerisinde pH, bulanıklık, redoks potansiyeli, çözülmüş oksijen ve sıcaklık yer almaktadır. En doğru şekilde laboratuvar ortamında tespit edilebilmesine rağmen, özgül iletkenlik, çoğunlukla tahliyenin yeterli yapıldığını tespit etmek için bir parametre göstergesi olarak sahada ölçülmektedir. Diğer parametrelerin bazılarına yönelik olarak, yeraltısuyu izlemesinde vurgu, çözülmüş bileşenlerin toplamının yoğunluğu üzerinde değil, belirli çözülmüş bileşenin her birinin yoğunluğu üzerindedir. Bu tür ölçümlere yönelik numunelerin ideal olarak sahada 0.45 µm membran filtreler yoluyla veya mümkün olan en kısa sürede sahadaki bir laboratuvarında süzülmesi gerekmektedir. Sıklıkla, süzölmüş numune gerektiren analizler içerisinde metaller, radyoaktif parametreler, çözülmüş organik karbon, çözülmüş ortofosfat ile tamamen çözülmüş fosfor yer almaktadır. Eğer metaller analiz edilecekse, numune asit koruması öncesinde filtrelenmelidir. Katılardan etkilenebilecek metal sonuçları, TOK veya diğer parametreler karşılaştırılacaksa, her bir durumda aynı filtreleme (süzme) işlemi kullanılmalıdır. Tekrarlanan analitik sonuçların numunelerin filtrelenip filtrelenmediğini ya da ne şekilde filtrelendiğini belirtmesi gerekmektedir.

Aktarmadaki süreyi asgari düzeye indirmek adına, numunelerin nakliyesi veya alımı işlemlerinin laboratuvar ile koordineli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Depolama ve nakliye esnasında, organik analize yönelik tüm numunelerin (ve diğer birçok parametrenin) 4°C'de ($\pm 2^\circ\text{C}$) gerçekleştirilmesi ve nakliyeden sonraki bir gün içerisinde laboratuvara ulaşması gerekmektedir. Kayıp nakliyelerin izinin sürülebilmesi veya nakliye sırasında kırılma olursa yeniden numune alma işlemine imkân tanımak için numune alımının onaylanması gerekir.

Şişe bölücü ile donatılmış yalıtılmış buz sandığı (soğutucu) sıklıkla kullanılan bir nakliye kabıdır. Sızıntıların oluşmaması için buz ambalajına özen gösterilmesi gerekmektedir. Söz konusu sızıntılar numune etiketlerine zarar verebilir ya da eğer soğutucudan sızarsa, kurye tarafından tehlikeli sıvı olduğu şeklinde yanlış yorumlanabilir. Gözetim zinciri içeren, numune dokümantasyonu kapalı plastik bir çanta içerisinde ilişikte gönderilmeli ve sudan korunması için nakliye kabının iç kapağına bantla tutturulmalıdır. Numune etiketlerini su hasarından, eriyen buzdan veya diğer şişelerden akan numunelerden korumak için, numune kapları da plastik çantalar içerisinde kapatılabilir.

Birçok kurye hizmetinin ‘tehlikeli’ numunelere yönelik çok sıkı şartları mevcuttur. Eğer bir numunenin nakliyesinin ne şekilde yapılacağına dair kaygılar var ise, saha faaliyetleri öncesinde kurye servisi ile irtibata geçilmelidir.

Çizelge 7.2: Yeraltısuyu izleme parametreleri için numune alma prosedürleri

Parametre	Şişe tipi	Koruyucu	Analiz için, gerekli hacim, min. (mL)	Depolama süresi (korunmalı, uygunsu), max.
pH	P, C	Yok, arazi ölçümleri için hızlı analiz	25	Laboratuvar ölçümleri için en kısa sürede ($\leq 48h$)
Özgül İletkenlik	P, C	Soğuk (4°C)	100	28 gün
Alkalinite ve Bikarbonat	P, C	Soğuk (4°C)	100	14 gün
KOİ	P, C	En kısa sürede ($\leq 48h$) veya pH<2 olması için H ₂ SO ₄ ilavesi; soğuk (4°C)	100	28 gün
Toplam Çözünmüş Katı Madde	P, C	Soğuk (4°C)	100	7 gün
Toplam Askıda	P, C	Soğuk (4°C)	100	7 gün

Katı Madde				
Klorür	P, C	Yok	50	28 gün
Florür	P	Yok	300	28 gün
Nitrat	P, C	En kısa sürede ($\leq 48h$) veya $pH < 2$ olması için H_2SO_4 ilavesi; soğuk ($4^\circ C$)	100	28 gün
Sülfat	P, C	Soğuk ($4^\circ C$)	50	28 gün
Amonyak	P, C	En kısa sürede ($\leq 48h$) veya $pH < 2$ olması için H_2SO_4 ilavesi; soğuk ($4^\circ C$)	500	28 gün
Civa	P, C	$pH < 2$ olması için HNO_3 ilavesi	100	28 gün
Metaller, çözülmüş (Ca, Mg, K, Na kapsayan)	P, C	Sahada süzme; $pH < 2$ olması için HNO_3 ilavesi	200	6 ay
Metaller, Toplam (Ca, Mg, K, Na kapsayan)	P, C	$pH < 2$ olması için HNO_3 ilavesi	100	6 ay
Fenoller	P, C	H_2SO_4 ilavesi; soğuk ($4^\circ C$)	500	28 gün
Sertlik	P, C	$pH < 2$ olması için HNO_3 ilavesi	100	6 ay
Uçucu organik bileşikler	C, TFE-astarlı kap	$pH < 2$ olması için HCl ilavesi; soğuk ($4^\circ C$)	2×40 mL	14 gün
Toplam Organik Karbon (TOK)	C, TFE-astarlı kap	$pH < 2$ olması için H_2SO_4 veya HCl ilavesi; soğuk ($4^\circ C$)	40	28 gün

Toplam Organik Halojen (TOX)	Amber cam, TFE-astarlı kap	pH<2 olması için H ₂ SO ₄ ilavesi; soğuk (4°C)	250	28 gün
Bulanıklık	P, borosilikat cam	Soğuk (4°C)	100	48 saat

P: Plastik C: Cam

7.2 Yeraltısularından Numune Alma Rehber Kılavuzu (EPA/600/2-85/104)

Yeraltısularından numune alımına ilişkin teknik literatür etkili bir numune alma programı için geniş yelpazede bilgi sağlamaktadır. Yeraltısuyu numune alma programlarının yürütülmesi için yapılan önerilerle, temsili numunelerin toplanmasını sağlayacak numune alma yöntemleri ile malzeme seçimi konuları üzerinde durulmaktadır. ABD EPA'nın bu kılavuzunda yeraltısuyu izleme gerekliliklerini karşılamak üzere numune alma faaliyetine yönelik teknik bilgiler yer almaktadır

7.2.1 Hidrojeolojik Durum ve Numune Alma Sıklığı

Her sahadaki hidrojeolojik koşullar, izleme programlarının geliştirilmesi ve elde edilen verilerin kalitesi üzerinde olabilecek potansiyel etkileri açısından değerlendirilmelidir. Formasyonların jeokimyasal ve biyolojik bileşenleri ile kirleticiler arasındaki potansiyel etkileşimlerinin yanı sıra, jeolojik malzeme çeşitleri ve dağılımı, bu malzemeler arasından yeraltısuyunun hareketi ve dağılımı, bölgesel yeraltısuyu akış sisteminde sahanın konumu ve malzemelerin bağlı geçirgenliğine de dikkat edilmelidir.

Yeraltısularından numune alınması için optimum sıklıkların belirlenmesi, yüzey suyu izleme deneyimlerine benzer şekilde istatistiksel argümanlar veya düzenlemeler aracılığıyla yapılmıştır. Daha mantıklı bir yaklaşım, öncelikle izlenmekte olan kaynağın tipini değerlendirmektir: yayılı, noktasal, kesintili kaynak veya sürekli kaynak. Daha sonra da, anlık veya sürekli izlenmekte olan kirleticinin

yeraltısuyu akış yolu boyunca asgari numune alma sıklığını belirlemek için hidrolojik verilerin kullanılması gerekir.

7.2.2 Kuyu Tahliye Stratejileri

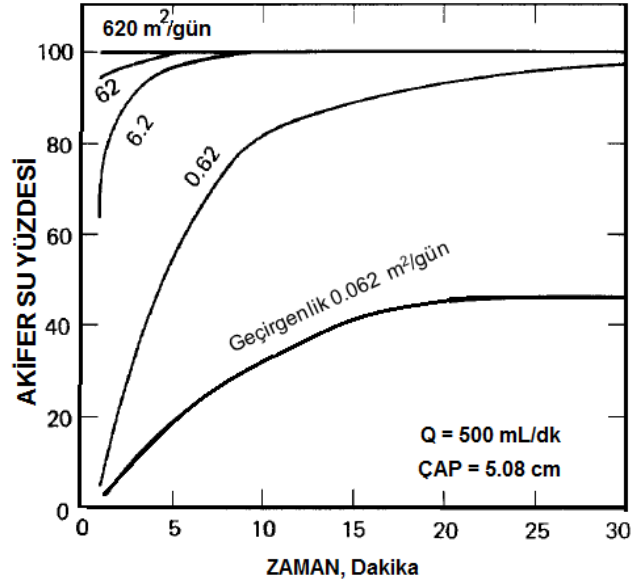
Kuyu tahliyesi yapılmadan veya numune almadan önce kuyudaki su seviyesinin ölçülmesi ve kaydedilmesi önemlidir. Su seviyesi ölçümü, kuyudan numune toplanmadan önce pompalanması gereken su miktarının tahmin edilmesi için gereklidir. Ayrıca, bu bilgiler izleme sonuçlarını yorumlarken yararlı olabilir. Düşük su seviyesi, civardaki kuyu tesisinin etkisini yansıtır olabilir. Yüksek su seviyesi, yılın diğer zamanlarında yapılan ölçümlere göre yeraltısuyunun beslenme durumunun göstergesidir. Bir bölgedeki tüm kuyular için pompalanmamış su seviyelerinin belgelenmesi o mevkiinin hidrolik koşulları hakkında bilgi sağlayacaktır.

Bir kuyu tahliye stratejisi oluşturmadaki amaç; bölgesel akış sisteminin ve alınan numunenin bozunmasını minimize ederken izlenmesi gereken jeolojik materyalden su temini sağlamaktır. Bu hedefe ulaşmak için kuyu hidroliği ve pompalamanın su numunesi kalitesindeki etkilerini anlamak gerekir. Kuyu muhafaza borusunda uzun süre (mesela, yaklaşık iki saatten fazla) kalan su, atmosferdeki gazlarla ve kuyu muhafaza borusundaki materyallerle etkileşime geçebilir. Bu etkileşimlerden ötürü kuyu muhafaza borusunda biriken su akiferi temsil etmeyecektir.

Kuyudan durgun su boşaltılma hızı asgari seviyede tutulmalıdır. Yüksek tahliye oranı, su numunesinde bulanıklığa sebep olabilir. Etkili bir kuyu tahliye hacmi ve süresinin belirlenmesi için kuyu hidrolik değerlendirmesinin iyi yapılması esastır.

Bir kuyu pompalandığı zaman kuyudaki su seviyesinde bir miktar düşüm olur ve çevredeki akifer sisteminden kuyuya doğru bir su akışı başlar. Papadopulos ve Cooper, kuyu muhafaza borusundan uzaklaştırılan su hacminin hesaplandığı bir denklem sunmuşlardır (Papadopulos, Cooper, 1967). Papadopulos ve Cooper'in denklemine dayanılarak, bir dizi geçirgenlik için 2 inç (5.08 cm) çapında 500 mL/dk pompa debisindeki bir kuyuda akifer suyu pompalama yüzdeleri hesaplanmıştır (Şekil 5.4). Eğer pompa debisi, kuyu çapı veya akifer özellikleri farklı olursa farklı yüzdeler ile sonuçlanır. Bu tür hesaplamalar, numune alımı öncesinde uygun pompa

debisi seçimi ve kaç kuyu hacminde suyun uzaklaştırılacağı belirlenmesi açısından kılavuz olarak kullanılmalıdır. Aşağıda pompalama oranı seçimi ve uygun kuyu tahliye hacmi ile ilgili iki örnek yer almaktadır.



Şekil 7.8: Farklı geçirgenlikler için zamana karşı akifer suyu yüzdeleri

Hidrolik iletkenlik verilerine dayanan kuyu tahliye stratejisi:

14 m derinlik, 5 cm çaplı kuyu

0.6 m uzunluğunda filtre, 1 m kalınlıklı akifer

Yüzeyin altında yaklaşık 4 m statik su seviyesi

Hidrolik iletkenlik = 10^{-2} cm/sn

Varsayımlar:

500 mL/dk tahliye oranı ve 100 mL/dk numune alma hızı kullanılacak.

Hesaplamalar:

Bir kuyu hacmi = $(14 - 4 \text{ m}) \times 2011 \text{ mL/m}$ (0.0508 m kuyu çapı)
= 20.1 litre

Akifer geçirgenliği = hidrolik iletkenlik \times akifer kalınlığı
= 10^{-4} m/sn \times 1 metre

= 10^{-4} m²/sn veya 8.64 m²/gün

Şekil 5.4'ten:

5 dakikada ~% 95 akifer suyu ve

(5 dk \times 0.5 L/dk)/20.1 L

= 0.12 kuyu hacmi

10 dakikada ~% 100 akifer suyu ve

(10 dk \times 0.5 L/dk)/20.1 L

= 0.25 kuyu hacmi

Bu hesaplamalara göre, yüksek orandaki akifer suyu nispeten kısa bir süreli pompalama ile elde edilebilir görünüyor. İndikatör parametreler izlenmeli ve sabitlenince numune alımı için pompalama oranı 100 ml/dk' ya yavaŐlatılmalıdır. İndikatör parametreler, pompalama baŐladıđı andan itibaren çok yakın aralıklarla, her 1 veya 2 dakikada bir izlenmelidir.

Hidrolik iletkenlik verilerine dayanan kuyu tahliye stratejisi:

14 m derinlik, 5 cm çaplı kuyu

0.6 m uzunlukta filtre, 1 m kalınlıkta akifer

Yüzeyin altında yaklaşık 4 m statik su seviyesi

Hidrolik iletkenlik = 10^{-4} cm/sn

Varsayımlar:

500 mL/dk tahliye oranı ve 100 mL/dk numune alma hızı kullanılacak.

Hesaplamalar:

Bir kuyu hacmi = (14 m – 4 m) \times 2011 mL/m (0.6 m kuyu çapı)

= 20.1 litre

Akifer geçirgenliği = hidrolik iletkenlik \times akifer kalınlığı

= 10^{-6} m/sn \times 1 metre

$$= 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sn} \text{ veya } 0.0864 \text{ m}^2/\text{gün}$$

Şekil 5.4' ten:

5 dakikada ~% 20 akifer suyu ve

$$(5 \text{ dk} \times 0.5 \text{ L/dk})/20.1 \text{ L}$$

$$= \sim 0.12 \text{ kuyu hacmi}$$

10 dakikada ~% 30 akifer suyu ve

$$(30 \text{ dk} \times 0.5 \text{ L/dk})/20.1 \text{ L}$$

$$= \sim 0.75 \text{ kuyu hacmi}$$

Kuyu yenilenirken numuneler istenen 100 mL/dk hızında alınabilir. Papadopulos ve Cooper tarafından geliştirilen denklemler, su seviyesi filtre tepesine yakınken kuyunun yaklaşık 250 mL/dk hızında yenilenmesi gerektiğini göstermektedir(Papadopulos, Cooper 1967). Bu yüzden, numuneler pompalama durduktan sonra 5 dakika içinde toplanabilir ve istenen hacim alınana kadar devam edebilir.

Eğer kuyu 100 mL/dk aşan bir oranda yenilenme kapasitesine sahip değilse, numune küçük miktarlarda toplanmalıdır. Yenilenen suyun, alınmadan önce kuyu muhafaza borusunda 2 saatten fazla kalmamasına dikkat edilmelidir.

Özetle, kuyu tahliye stratejileri;

- Kuyunun hidrolik performansının tanımlanmasını
- Makul tahliye gereksinimleri, pompalama oranı ve hidrolik iletkenlik verisi, kuyu imar verileri, arazi hidrolik koşulları ve öngörülen su kalitesine dayanan hacimlerin hesaplanmasını
- Kimyasal dengelenme koşulunu sağlamak için kuyu tahliye parametrelerinin ölçülmesini
- Belgelemeyi (numune almadan önce pompalama oranı, pompalanan hacim ve tahliye parametre ölçümleri) ortaya koymalıdır.

7.2.3 Parametre Seçimi

Kimyasal ölçümler için parametre seçimi analitik protokollerin ve numune alımının etkili bir şekilde planlanması için çok önemlidir. İlave veriler, arazi koşullarının daha iyi tanımlanmasında değerlendirilebilir. Örneğin, bir arazi için hiçbir kimyasal verinin bulunmadığı durumlarda tam bir mineral analizi dahil edilmelidir. Sonuçlar, majör iyonik bileşenler, arazi ölçümleri (ör., alkalinite) ve yüksek düzeydeki metallerin potansiyel etkilerinin kontrolünü sağlar. Arazi ölçümleri ve mineral analizleri sonuçları, yeraltısuyu sisteminin genel yapısı için oldukça önemli olan majör iyon çözelti kimyasını tanımlar.

Genel Yeraltısuyu Kalite Parametreleri

Yeraltısuyu kalitesi hakkında genel bir bakış açısı sağlayan parametreler, çözülmüş katı madde içeriği ve yeraltısuyunun geleneksel su tahliye zorlukları ile ilişkilidir. Gaz giderme (örneğin, CO₂ kaybı) ve oksijenlenme (demir ve eser elementlerin kaybı), analitik sonuçları önemli derecede hatta su kalitesi bileşenlerini ppm seviyesinde etkileyebilir. Bu nedenle, tam mineral analizleri çoğu numune alma programında yer almalıdır.

Kirlilik Göstergesi Parametreleri

Bir kirlilik izleme programının amaçları şunlardır: bir tesisin yeraltısuyu kirliliğine sebep olup olmadığını tespit etmek, spesifik kirletici konsantrasyonlarının limit değerlerin altında olup olmadığı belirlemek ve ıslah edici eylemlerin etkinliğini ölçmek. Genel manada, kirletici madde izleme programı yaklaşımları iki çeşittir.

Genel yaklaşım, yeraltı koşullarındaki organik ve inorganik kimyanın bozulduğunu gösteren parametrelerin belirlenmesidir [örneğin, pH, iletkenlik, toplam organik karbon (TOK) ve toplam organik halojen (TOX)]. Genellikle, araştırmacı izlemede uygulanan düşük maliyetli bir alternatiftir.

Spesifik Kimyasal Bileşenler

Genel kirletici madde izleme programlarına karşı çeşitli alternatif yaklaşımlar, spesifik kimyasal bileşenlerin belirlenmesi ve örneklenmesi üzerinde durmaktadır. Yasal olarak zorunlu olan parametre paketinin belirlenmesi, imalat ve ticari ürün

malzemelerinin bileşimlerinden başlayarak, öncelikle geniş kullanım alanındaki spesifik bileşiklere odaklanılmasını amaçlar.

Bir yeraltısuyu numune alma programının ilk planlama maliyet etkinliğini sağlamak, gerekli araştırmalar yapılarak analitik ayrıntıların ortaya çıkarılmasıyla mümkündür. Bu yüzden, numune alma faaliyetleri üzerinde yakın denetimi sağlamak üzere en sorunlu kimyasal parametreler için numune alma programı hazırlamak yararlı olacaktır. Çözünebilir ve kalıcı kirleticilerin ilk göstergesi olan uçucu organik bileşikler (örneğin, benzen ve trikloroetilen), numune alma protokollerinin temel aldığı kimyasal bileşenlerdendir. Numune alma mekanizması ile gerçekleşen başlıca hatalar, gazın gitmesi veya buharlaşma ile süzme yada soğurma etkilerinden dolayı kaynaklanabilmektedir. Bu hatalar, iyon kimyası, TOK, TOX ve iz inorganik ve uçucu olmayan organik bileşenlerin belirlenmesinde değişen oranlarda gerçekleşebilmektedir. Genel manada, numune alma hataları sistematik ve doğrudan bir şekilde sonraki tüm analiz sonuçlarının doğruluğunu etkiler.

İzleme Veri Seti

Kirliliğin gelecekteki tespiti için tasarlanmış bir gözetimsel izleme programı, bir mevkiinin kimyasal ve hidrolojik koşulları hakkında asgari düzeyde bilgi sağlamalıdır. Aşağıda tanımlanan parametreler, yeraltısuyu kimyası hakkında önemli bilgi sağlayacaktır.

Kimyasal Parametreler: pH, İletkenlik, TOK, TOX, Alkalinite, Toplam Çözünmüş Katı Madde, Eh, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄⁻, PO₄⁻, SiO₂, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², NH₄⁺, Fe, Mn

Hidrolojik Parametreler: su seviyesi, hidrolik iletkenlik

Kirliliğin türünü ve boyutunu değerlendirmek için tasarlanmış bir araştırmacı izleme programı için minimum veri seti, daha detaylı araştırmacı izleme durumlarını ve endişe uyandırıcı potansiyel kirletici maddelerin tespitini içerir.

Kimyasal Parametreler: pH, İletkenlik, TOK, TOX, Alkalinite, Toplam Çözünmüş Katı Madde, Eh, Cl⁻, NO₃⁻, SO₄⁻, PO₄⁻, SiO₂, B, Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², NH₄⁺, Fe, Mn, Fe (II), Zn, Cd, Cu, Pb, Cr, Ni, Ag, Hg, As, Sb, Se, Be

Hidrolojik Parametreler: su seviyesi, hidrolik iletkenlik

Çizelge 7.3 :Araştırmacı izleme için önerilen parametreler

Analitler			
Parametre çeşidi	Tespit çeşidi Lab(L), Arazi (A)	Yönetmelik gereği	Tamamlayıcı olarak önerilen
Kuyu temizleme	A	pH, iletkenlik (İletkenlik)	Sıcaklık (T) Redoks potansiyeli (Eh)
Kirlilik göstergeleri	A	pH, İletkenlik	
	L	Toplam organik karbon (TOK)	
	L	Toplam organik halojen (TOX)	
Su kalitesi	L	Cl ⁻ , Fe, Mn, Na ⁺ , SO ₄	Alkalinite (A) yada asidite (A)
	L	Fenoller	Ca ⁺² , Mg ⁺² K ⁺ , NO ₃ PO ₄ , silikat, amonyum
İçme suyu uygunluğu	L	As, Ba, Cd, Cr, F ⁻ , Pb, Hg, NO ₃ , Se, Ag	
	L	Endrin, lindan, metoksiklor, toksafen 2,4-D, 2,4,5-TP (Silvex)	
	L	Radyum, alfa/beta koliform bakteri	

7.2.4 Numune Alma Yöntemleri ve Malzemeleri

Uygun numune alma yöntemleri ve malzemelerinin seçimi, herhangi bir yeraltısuyu incelemesinin başarısı için çok önemlidir. Bir mevki, hidrolojik koşullar, optimum numune alma sıklığı ile analit seçimi açısından iyice değerlendirilmiş ve numune alma noktaları akiferi temsil edecek şekilde inşa edilmiş olabilir; ancak eğer zayıf numune alma yöntemleri ve malzemeleri programa dahil edilmişse daha önceki bütün çabalar boşa gidebilir.

7.2.4.1 Numune Alma Malzemeleri

Numunelerle temas halinde olan malzemeler özenle seçilmiş olmalıdır. Kuyu muhafaza borusu malzemeleri, kuyu yapımı ve tamamlama prosedürleri ve numune taşıma tedbirlerinin hepsi yeraltısuyu verilerinin kalitesini etkiler. Kimyasal verileri etkileyebilecek başlıca işlemler şunlardır:

- Kimyasal madde etkisi: korozyon/bozulma
- Mikrobiyal kolonizasyon
- Soğurma etkileri: adsorpsiyon/absorpsiyon

Malzemelerin etkilerini değerlendirmek için, akifer katı maddeleri, kuyu muhafazası ve su numunesi ile birlikte numune alma borusunun ilgili yüzey alanıyla temasını dikkate almak gerekir. Doğal jeoloji üzerinde kontrol sağlanamadığından çakıl paketleri ve enjeksiyon malzemelerinin etkilerinin kuyu muhafaza borusu veya numune alma malzemelerinin etkilerinden daha önemli olması beklenebilir.

Çizelge 7.4: Numune alma uygulamalarında sert malzemeler için öneriler
(Tercih sırasına göre azalan)

<i>Malzeme</i>	<i>Öneriler</i>
Teflon (gömme dişli)	Detaylı organik analitik ihtiyaçları ile çoğu izleme durumları için önerilir. İnorganik kirleticileri ilgilendiren koroziif durumlar için hemen hemen mükemmel bir malzemedir.
Paslanmaz Çelik 316 (gömme dişli)	Detaylı organik analitik ihtiyaçları ile çoğu izleme durumları için önerilir.
Paslanmaz Çelik 304 (gömme dişli)	Asidik yüksek toplam çözünmüş katı maddelerin sulu çözeltileri ile teması oyuk korozyonunu yavaşlatmaya yatkın olur. Korozyon ürünleri, ağırlıklı olarak Fe, muhtemelen Cr ve Ni ile kısıtlıdır.

<p>PVC (gömme dişli) diğer yapışık olmayan bağlantılar, kuyu muhafaza borusu veya içme suyu uygulamaları için sadece NSF* onaylanmış malzemeler</p>	<p>İnorganik kirleticileri ilgilendiren ve zararlı sızıntı suyu karışımlarının temasının olmayacağı sınırlı çapta izleme durumları için önerilir. Yapışık tesisatlar belgelenmiş girişimlere neden olmuştur. Zararlı sulu organik karışımlar ile temas halinde olan PVC kuyu muhafaza borularından girişim ve etkileşim olma ihtimalini tahmin etmek oldukça zordur. PVC muhafazalar detaylı analitik programlar için tavsiye edilmez. Korozif, asidik inorganik durumlarda inorganik kirleticileri izlemek için önerilir. Uzun süre maruz kalma durumlarında orijinal ısı stabilizatörleri formülasyonunda Sn veya Sb bileşikleri serbest kalabilir.</p>
<p>Düşük Karbonlu Çelik Galvanizli Çelik Karbonlu Çelik</p>	<p>Zararlı sulu organik karışımlara maruziyet açısından PVC den üstün olabilir, bu malzemeler üretim artıklarını ortadan kaldırmak için çok dikkatli bir şekilde temizlenmelidir. Korozyon, özellikle sülfürlerin mevcut olduğu yüksek çözünmüş katı maddelerin asidik ortamlarında oluşma ihtimali yüksektir. Zn ve Cd' un serbest kalabileceği galvanizli çelik dışında ağırlıklı olarak korozyon ürünleri Fe ve Mn' dır. Yıpranmış çelik yüzeyleri, eser organik ve inorganik kimyasal türler için çok aktif adsorpsiyon alanına sahiptir.</p>

* Ulusal Hıfzıssıhha Vakfı onaylı malzemeler, performans ve formülasyon saflığı açısından endüstriyel standartları karşıladığına dair ürün sertifikası içeren NSF logosu taşır.

Numune alma borusu gibi ekipmanların seçimi, malzemeler ile ilgili hataları önlemek amacıyla yapılması gereken en kritik seçimlerdir. Yapılan bir çalışmada, çözünmüş organik bileşik sonuçlarındaki ciddi sapmanın, esnek boru üzerinde absorpsiyona maruz kalma sonucunda oldukça hızlı bir şekilde (5-10 dakika içinde) meydana geldiği görünmüştür (Barcelona vd, 1985). Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan boru malzemeleri (Teflon, polipropilen, polietilen, vb) bir miktar organik bileşikler soğurmuştur. Bu hata en çok, polivinil klorür ile silikonlu plastik tüpte oluşmuştur.

Çizelge 7.5: Numune alma uygulamalarında esnek malzemeler için öneriler
(Tercih sırasına göre azalan)

<i>Malzeme</i>	<i>Öneriler</i>
Teflon	En çok izleme işleri ve özellikle ayrıntılı organik analitik programları için önerilir. Çapraz kontaminasyonu önlemek üzere temizlenmesi kolay bir malzemedir.
Polipropilen Poliyeten (lineer)	Aşındırıcılığı yüksek çözünmüş katıların çözeltileri için kesinlikle tavsiye edilir. Analitik sonuçların içine ciddi bir sapmanın girmesi, teflon haricinde polimer formülasyonlar (PVC) yada diğer esnek malzemelere göre daha az olasıdır.
PVC (esnek)	Detaylı organik analitik programlar için tavsiye edilmez. Plastikleştirici ve stabilizatörler esnek kaldığı sürece ağırlığı ile malzemede bir yüzde oluşturur. Belgelenmiş girişimler bazı öncelikli kirletici sınıfları ile olması muhtemeldir.
Viton Silikon (yalnızca tıbbi sınıf) Neopren	Contalar, O-halkaları, diyaframlı ve boru donanımı uygulamaları için esnek elastomerik materyaller. Performansın, maruziyet tipi ile kimyasal direncin bir fonksiyonu olması beklenir. Sadece, belirli kullanım için daha uygun bir malzeme mevcut olmadığı zaman önerilir. Güncel kontrollü maruziyet çalışmaları, analitik sapma ihtimalini değerlendirmede yararlı olabilir

Numune alma zinciri ve tüm parçalarda numune alma malzemelerinin seçimine ilişkin birincil kriter, mekanik performans ve kimyasal inertlik olmalıdır. Numune alma elemanlarının seçiminde mevcut en inert ve hatasız malzemelerden imal edilmiş olanlar tavsiye edilmektedir.

7.2.4.2 Numune Alma Yöntemleri

Yeraltısuyu numunelerinin toplanması için numune alma yöntemleri, izleme programlarının en çok hataya açık unsurları arasında yer almaktadır. Yeraltısuyu gözlemlerindeki kimyasal analiz sonuçları, genellikle numune alma yöntemlerinin hatalı seçimlerinden etkilenmektedir.

Pozitif süpürmeli diyaframlı (*Positive displacement bladder*) pompalar, en güvenilir numune alma tekniği olarak bulunmuştur çünkü tasarım ve işleyişi basit ve işletimsel değişkenleri kolaylıkla kontrol edilebilmektedir. Aynı şekilde, Korte ve Kearn (Korte, Kearn, 1984), numunelerin asgari oranda bozulması ve kullanım kolaylığı nedeniyle, bailer kova ile emme (*suction-lift*) ve hava basmalı (*air-lift*) cihazlardan ziyade süpürmeli diyaframlı pompaları önermektedir. Aynı zamanda, diyaframlı pompalar arazide numunelerin etkin sıralı filtrasyonuna olanak sağlamaktadır.

Yeraltısuyu numune alma cihazlarının önemli özellikleri şunlar olmalıdır:

1. Cihaz, kullanıcı hatası ihtimalini en aza indirmek için kullanımı kolay olmalıdır.
2. Cihaz, sağlam taşınabilir, temizlenebilir ve arazide tamir edilebilir olmalıdır.
3. Cihaz, uçucu kimyasal bileşiklere yönelik numune alınması amacıyla, büyük hacimli numuneler için ve izleme kuyularındaki durgun suyu temizlemede yüksek akış hızları(> 1 L/dk) için olduğu kadar düşük akış hızına (= 100 mL/dk) da izin verecek şekilde iyi bir akış kontrol edilebilirliğine sahip olmalıdır.
4. Yöntemin, analitik sonuçlarda sapma veya hatalı ölçümü önlemek için bir yeraltısuyu çözültisi bileşiminin fiziksel ve kimyasal bozunumunu en aza indirmesi gerekir.

Yeraltısuyu numune alımında kullanılan mekanizmaların bir değerlendirmesi aşağıda yer almaktadır.

Çizelge 7.6: Yeraltısuyunun numune alma mekanizması performans değerlendirmesi

<i>Mekanizma Kategorisi</i>	<i>Genel Performans Sıralaması</i>	<i>Uyarılar</i>
Pozitif süpürmeli	Ortalamanın	Arazi çalışmalarında en az

(Diyaframlı)	üstünde	zorlukla, bazı üstün koşulları sayesinde hem etkili kuyu temizlemesi hem de temsili numuneler sağlaması beklenir
Elle yapılan numune alıcılar (Klasik boşaltıcı kova) (Çiftli kontrol vanalı bailer kova) (Şırınga pompası)	Orta Orta Orta—Ortalamanın altında	Kuyu temizlemesi için uygun değildir; arazi şartlarında çok dikkatli çalışma ve numune taşıma önlemleri gerektirir; arazi performansı sorunlara açık
Pozitif süpürmeli (Mekanik)	Orta—Ortalamanın altında	Kuyu temizleme için uygundur; numune alma performansı spesifik tasarımı ve operasyonel detaylara bağlıdır
Gaz basan (gaz tahrikli; hava kaldırmalı değil)	Orta—Ortalamanın altında	Klasik kurulumlarda kuyu temizlemek için kullanıldığında uygun olabilir; arızaları değerlendirmek ve onarmak zordur; uzaklaşabilir organik bileşikler ve gazların önemli ölçüde düşük geri kazanımları saha koşulları ve operatör deneyimlerine bağlı olarak gelişir
Emme (peristaltik)	Ortalamanın altında	Yaklaşık 20 fit derinliğe kadar olan kuyu temizlemeleri için uygundur; uzaklaşabilir organik bileşikler ve gazların önemli ölçüde düşük geri kazanımları bu mekanizma ile yapılan numune alımından kaynaklanır

Bilimsel literatür, numune alıcı türlerin ve başlıca işletim mekanizmalarının açıklamalarında biraz tutarsızdır. Bu kapsamda, sondaj kuyusundan suyun yukarı doğru çıkışını sağlayan şiddetli gaz/su karışımı yöntemini uygulayan havalı (gas-lift) mekanizmalar, kuyu içi ikili tüp düzenlemeleri ile örnek gösterilmiştir. Havalı cihazların, bir dizi kimyasal bileşenlerde sapmaya sebep olduğu kanıtlanmıştır.

Yeraltısınıyu incelemelerinin hiçbir türü için tavsiye edilmemektedir. Gaz tahrikli cihazlar, bir ara yüzey boyunca gaz basıncının uygulanması yada numune ile gaz temasını engelleyen bir membran üzerinden uygulanan gaz basıncı yoluyla numune alıcı gövdeden suyun yer değiştirmesi mekanizmasına dayanmaktadır.

Doğru numune alıcı seçiminin, kimyasal veri tutarlılığını belirleyeceği çok açıktır. En fazla sorun yaratan parametre bazında numune alıcı seçimi mantıklı bir yaklaşım olacaktır. Özellikle, çözülmüş gazlar ve uçucu organik bileşikler için numune alınması zordur.

Çizelge 7.7: İzleme programları için önerilen numune alma yöntemleri

Parametreler (çeşit)	Mekanizma (malzeme)*	Hidrolojik koşullar (verim kapasitesi)	
		>100 mL/dk verim	<100 mL/dk verim
		Sürekli numuneler	Ayrık örnekler
Kuyu temizleme (pH, Eh, İletkenlik)	Pompa (T, S, P, O) Akış oranı: 0.1-1.0 L/dk Kepçe (T, S, G, P, O)	Pozitif Süpürmeli Diyafıramlı Pompalar (hava, N ₂)	İkili kontrol vanalı bailer kova
	Pompa (T, S, P, O) Akış oranı: 0.1-1.0 L/dk Kepçe (T, S, G, P, O)	Pozitif Süpürmeli Diyafıramlı Pompalar (hava, N ₂)	İkili kontrol vanalı bailer kova
(TOK, TOX)	Pompa (T, S tercihli; O, P sadece destekleyici verinin bulunduğu yerde) Kepçe (T, S, G tercihli; O, P sadece destekleyici verinin	(100 mL/dk aşmayacak akış hızında çalıştırılan mekanizmalar) Şişeler aşağıdan yukarı doğru taşmasına izin verecek şekilde doldurulur + üst boşluğu kapatılmış	(TOK ve TOX uçucu kısımları koşullara bağlı olarak kaybolmuş olabilir) 40 mL' lik şişelerde (TOX için 500 mL Teflon-mühürlü cam şişeler) şişeler aşağıdan yukarı

Parametreler (çeşit)	Mekanizma (malzeme)*	Hidrolojik koşullar (verim kapasitesi)	
		>100 mL/dk verim	<100 mL/dk verim
		Sürekli numuneler	Ayrık örnekler
	bulunduğu yerde)	Teflon	doğru taşmasına izin verecek şekilde doldurulur + üst boşluğu kapatılmış Teflon
Su kalitesi	Pompa (T, S, P, O)	(100 mL/dk aşmayacak akış hızında çalıştırılan mekanizmalar)	Önerilmez
Çözünmüş gazlar (O ₂ , CH ₄ , CO ₂)		Şişeler aşağıdan yukarı doğru taşmasına izin verecek şekilde doldurulur + üst boşluğu kapatılmış Teflon	
Alkalinite/asidite	Kepçe (T, S, G, P, O)		
(Fe, Mn, Na ⁺ , SO ₄ Ca ⁺² , Mg ⁺² K ⁺ , NO ₃ , PO ₄)	Pompa (T, S, P, O) Kepçe (T, S, G, P, O)	Pozitif Süpürmeli Diyaframlı Pompalar (hava, N ₂)	Fe değerleri birçok kepçe mekanizmasına karşı hassastır
(Amonyum, Fenoller)	Pompa (T, S tercihli; O, P sadece destekleyici verinin bulunduğu yerde) Kepçe (T, S, P tercihli; O, P sadece destekleyici verinin bulunduğu yerde)	(1000 mL/dk aşmayacak akış hızında çalıştırılan mekanizmalar) Aşağıdan yukarı doldurulan cam kaplar	(Uçucu kısımlar koşullara bağlı olarak kaybolmuş olabilir) Aşağıdan yukarı doldurulan cam kaplar
İçme suyu uygunluğu	Pompa (T, S, P, O)	Pozitif Süpürmeli Diyaframlı Pompalar (hava, N ₂)	
(As, Ba, Cd, Cr, F, Pb, Hg, NO ₃ , Se, Ag)	Kepçe (T, S, G, P, O)		İkili kontrol vanalı bailer kova

Parametreler (çeşit)	Mekanizma (malzeme)*	Hidrolojik koşullar (verim kapasitesi)	
		>100 mL/dk verim	<100 mL/dk verim
		Sürekli numuneler	Ayrık örnekler
(Kalan parametreler)	Pompa (T, S, P, O) Kepçe (T, S, G, P, O) (eğer radyolojik tehlike mevcutsa her ikisi de)	Pozitif Süpürmeli Diyafıramlı Pompalar (hava, N ₂) Akış hızı 1000 mL/dk aşmamalı	(Uçucu kısımlar koşullara bağlı olarak kaybolmuş olabilir)

* Tercih sırasına göre malzemeler şunlardır: Teflon (T); paslanmaz çelik (S); PVC, polipropilen, polietilen (P); borosilikat cam (G); diğer malzemeler: silikon, polycarbonate, polikarbonat, hafif çelik, vb

Çizelge7.8: İzleme programları için önerilen numune hacimleri ve koruma yöntemleri

Parametreler	Gerekli hacim (mL) 1 numune*	Numune alma kabı (Malzeme)	Koruma metodu	Maksimum alıkonma süresi
Kuyu temizleme				
pH (anlık)	50	T, Ç, P, C	Yok; sahada ölçüm	<1 saat**
İletkenlik (anlık)	100	T, Ç, P, C	Yok; sahada ölçüm	<1 saat**
T (anlık)	1000	T, Ç, P, C	Yok; sahada ölçüm	Yok
Eh (anlık)	1000	T, Ç, P, C	Yok; sahada ölçüm	Yok
Kirlilik göstergeleri				
pH, İletkenlik (anlık)	Yukarıdaki gibi	Yukarıdaki gibi	Yukarıdaki gibi	Yukarıdaki gibi
TOK	40	C, T	Koyu renk, 4°C	24 saat
TOX	500	C, T	Koyu renk, 4°C	5 gün
Su kalitesi				
Çözünmüş gazlar (O ₂ , CH ₄ , CO ₂)	Minimum 10 mL	C, Ç	Koyu renk, 4°C	<24 saat

Alkalinite/Asidite	100 (Uygun ortamda basınç altında süzölmüş)	T, P, C	4°C/yok	<6 saat*/<24
Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg)	1000 mL (Tamamı süzölmüş)	T, P	HNO ₃ ile pH<2 olana kadar asitlendirme	6 ay
PO ₄ , Cl, Silikat	50	(T,P, C; Sadece cam)	4°C	24 saat/7 gün; 7 gün
NO ₃	100	T, P, C	4°C	24 saat
SO ₄	50	T, P, C	4°C	7 gün
NH ₄	400	T, P, C	4°C/H ₂ SO ₄ pH<2 olana kadar asitlendirme	24 saat/7 gün; 7 gün
Fenoller	500	T, C	4°C/H ₃ PO ₄ pH<4 olana kadar asitlendirme	24 saat
İçme suyu uygunluğu				
As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg, Se, Ag	Su kalitesi için yukarıdaki aynı (Fe, Mn, vb.)	Yukarıdaki gibi	Yukarıdaki gibi	6 ay
F	Klorürle aynı	Yukarıdaki gibi	Yukarıdaki gibi	7 gün
Diğer organik parametreler	TOX/TOK için asitlendirilmesinin hariç	olduğu gibi, gerektiği	gibi, numune analitik metotlar	24 saat

T: Teflon, Ç: Paslanmaz çelik, P: PVC, polipropilen, polietilen, C: Borosilikat cam

*Her saha çalışmasında, her numune alma tarihi için, bu numunelere eşdeğer hacimde saha kör (*blank*) numunesi ve standartlarının alınacağı varsayılmaktadır.

** Güvenilir raporlama için sıcaklık düzeltmesi yapılmalıdır. ~%10'dan daha büyük varyasyonlar, numunenin uzun süre beklemesi sonucu meydana gelebilir.

7.2.5 Numune Alma Protokolü

Bir kuyu için tasarlanmış numune alma protokolü, temsil edici yeraltısuyu verileri elde etmek için güncel numune alma ve analitik prosedürlerin yazılı açıklamalarından oluşur. Bir numune alma protokolünün temel adımları Çizelge 5.9'da listelenmektedir. Çizelgede, her bir aşama için amaç ve bu amacı gerçekleştirmek için genel bir öneri sunulmaktadır. Bu genel öğeler, tüm yeraltısuyu numune alma çalışmaları için ortaktır. Her numune alma noktasında protokol üzerinden kayıt tutulması işinin düzgün yürüyebilmesi için, bu işlem numune alma personelinin belirli bir üyesinin sorumluluğunda olmalıdır.

Numune alma çalışmalarından ve elde edilen verilerden maksimum faydayı sağlamak için, arazi çalışması kadar numune alma protokolü dokümantasyonu da önemlidir. Numune alma protokolünün üç temel unsuru kayıt edilmelidir:

1. Numune alımı öncesinde yapılan su seviyesi ölçümleri,
2. Numune alınmadan (kuyu tahliye) önce suyun hangi hacimde ve oranda uzaklaştırıldığı,
3. Kuyu tahliye parametreleri, numune muhafazası, numunelerin taşınması ve gözetim zinciri (*chain of custody*)

Çizelge 7.9: Genelleştirilmiş yeraltısularından numune alma protokolü

ADIM	AMAÇ	ÖNERİLER
Hidrolojik Ölçümler	Pompalanmamış su seviyesi tespiti	Su seviyesini ± 0.3 cm (± 0.01 fit) ölç
Kuyu Temizleme	Durgun suyun uzaklaştırılması	Kuyu tahliye parametreleri (ör., pH, T, Ω^{-1} , Eh) ± 10 sabitlenene kadar suyu en az ardışık iki kuyu hacmi pompala
Numune Alma	Numuneleri, toprak yüzeyinden veya kuyu deliğinden en az kimyasal bozulma ile almak	Pompalama oranları, uçucu organikler ve gaz duyarlı parametreler açısından ~ 100 ml/dk ile sınırlandırılmalıdır

Filtrasyon/Muhafaza	Filtrasyon çözülmüş bileşenlerin belirlenmesini sağlar ve bir koruma şeklidir. Numune alındıktan sonra en kısa sürede yapılmalıdır.	Filtre et: eser elementler, inorganik anyonlar/katyonlar, alkalinite. Filtre etme: TOK, TOX, uçucu organik bileşik numuneleri. Diğer organik bileşik numunelerini sadece gerektiğinde filtre edin.
Arazi Ölçümleri	Numunelerin arazide ölçümü parametreler tayininde hatayı önler: ör., gazlar, alkalinite, pH	Alkalinite, gazlar ve pH gibi parametrelerin tayini mümkün olduğunca arazide yapılmaya çalışılmalıdır.
Saha şahitleri/Standartları	Saha şahit numuneleri, numune alımından sonra meydana gelebilecek değişiklikler için analitik sonuçların düzeltilmesini sağlar: koruma, depolama ve nakliye	Her bir numune alımında, her hassas parametre için en az bir standart ve bir şahit numune alınmalıdır
Numune Depolama/Taşıma	Numunelerin kimyasal değişimin en aza indirmek için soğutma ve numune korumanın analizden önce yapılması gerekir.	Tavsiye edilen maksimum numune tutma veya saklama sürelerine dikkat edilmelidir

Tüm numunelerin düzgün toplanması ve numune alma esnasındaki güncel koşullar tamamen belgelenmelidir. Numune alma ekibinin bir üyesi bu dokümantasyonun sorumlusu olarak tayin edilmelidir. Belge formatı oldukça net ve sabit olmalıdır. Aşağıdaki çizelgede örnek bir form yer almaktadır.

Çizelge 7.10: Yeraltısuyu numune alma tutanağı örneği

Tesis adı:	Tarih__/__/__
------------	---------------

Kuyu no:		Kuyu derinliği:		Kuyu apı:		Muhafaza borusu Malzemesi:		
Numune alma ekibi:								
Pompa eşidi:					Boru tesisatı:			
Hava koşulları:								
Saat	Su seviyesi	Pompalama hacmi	Pompalama oranı	Numune alımı başlama/bitiş	Sıcaklık (°C)	Eh	pH	İletkenlik (µS)
Numune teslim adresi:								

Su numuneleri, pH, Eh, iletkenlik ve T okumalarının gösterdiği üzere, pompalanan yeraltısuyu kimyası dengelendiği zaman alınmalıdır. Uygulamada, tahliye parametre ölçümlerinin art arda 2 kuyu hacminde ve parametrelerin stabil olması durumu kararlı numune kimyasının bir göstergesidir. İlk olarak, uçucu bileşenler, TOK, TOX ve arazide filtrasyon veya arazi ölçümleri gerektiren bileşenler için numuneler alınmalıdır. Daha sonra, ekstrakte edilebilir organik bileşikler, tüm metaller ya da anyon besin değerlerini belirlemek için, büyük hacimli numuneler toplanmalıdır. Tüm buz, buz paketleri ve buz sandıkları reaktif ve her türlü çözücü depolanmasına uzak olan alanlarda hazırlanmış olmalıdır.

7.3 Çevresel Alan Karakterizasyonu İçin Doğrudan-İtmeli Yeraltısuyu Numune Alma Standart Kılavuzu (ASTM D6001-05)

Bu kılavuz, sondaj yapılmadan statik kuvvet veya darbe yöntemi ile numune alma cihazlarının yerleştirilmesi ile ayrı noktalarda yeraltısuyu numune alma yöntemleri ile ilgili bir değerlendirmeyi içermektedir. Su kalitesi analizi ve kirletici maddelerin tespiti için numune alma yöntemleri sunmaktadır.

Doğrudan-itmeli (*direct-push*) su numune alma yöntemleri yeraltısuyu kalite çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu metotla su numune alma işlemi bir veya birden çok kez yapılabilir.

Bu standarda özgü terimler ve açıklamaları şu şekildedir:

- *Tertibat uzunluğu*—Numune alıcı gövde ve tesisat kolonu uzunluğu.
- *Bentonit (yumuşak balçık)*—Sondaja yönelik sıvı katkı maddeleri ile çoğunlukla doğal oluşumlu sodyum montmorillonitten meydana gelen kuyu inşaatı ürünlerine verilen genel ad. Bazı bentonit ürünlerinde su kalitesi analizlerini etkileyebilecek kimyasal katkı maddeleri bulunmaktadır.
- *Doğrudan-itmeli numune alma*—Sondaj veya kuyu kazısı olmadan numune alınması için doğrudan toprağın içine sokulan numune alma cihazları.
- *Sondaj deliği*—Mekanik araçlarla yeraltına doğru açılmış, ayrıca sondaj kuyusu veya sondaj olarak da bilinen silindirik çukur.
- *Etkin filtre uzunluğu*—Su taşıyan katmana açılan filtre uzunluğu.
- *Etkin sızdırmazlık uzunluğu*—Tesisat kolonu ile yakın teması olan ve kuyu filtresinin diğer katmanlardan gelen yeraltısuyu ile bağlantısını engelleyen, kuyu filtresi üzerindeki toprak uzunluğu.
- *Anlık (grab) numune alma*—Kesikli numune alımı olarak da bilinen; tesisat kolonu vasıtasıyla su boşaltma kaplarıyla veya içerisinde pompalamanın da olabileceği diğer metotlarla atmosfer basıncına maruz kalmış sıvıdan numune alma işlemi.
- *Artırılmış sondaj ve numune alma*—Dönerli delme ve numune alma etkinliklerinin artırılmış numune almayla birbirini izlediği derç metodu.

Artırılmış sondaja genelde daha zorlu ve daha derin oluşumlara nüfuz etmek için ihtiyaç duyulmaktadır.

- *Darbeli daldırma*—Numune alma cihazını daldırmak için hızlı çekiç darbelerinin gerçekleştirildiği derç metodu.
- *İtme derinliği*—Doğrudan-itmeli su örneği alma cihazının ucunun sokulduğu zemin yüzeyi başlangıç noktasının aşağısındaki derinlik.

7.3.1 Metodun Kullanımı ve Önemi

Doğrudan-itmeli numune alma, sürekli kuyu izleme kurulum masrafının olmadığı, aralıklı yeraltı suyu numuneleri almaya yönelik ekonomik bir metottur. Bu rehber, tekrarlanan numune alma etkinlikleri gerçekleştirilerek potansiyel yeraltı suyu kirliliğinin profilini çizmek için kullanılabilir. Numune alınacak toprakların, numunenin kısa bir sürede alımına imkân tanıyacak şekilde geçirimsiz olması gerekmektedir. İnce akiferlerden farklı numuneler elde etmek için kuyu filtre uzunluğu karşılaştırılarak, numune alınacak bölge izole edilebilir. Söz konusu bu numune alma tekniklerinin kullanımı, çoklu su taşıyan akifer barındıran sahaların daha detaylı belirlenmesi sonucunu sağlayacaktır. Toprakla doğrudan temas içerisinde ve sızdırmaz kolonlu bir korumalı numune alma filtresi kullanılarak, numune alma etkinliğine yönelik, ilk başta gerçekleştirilen kuyu açılımına ve kuyu temizliğine gerek duyulmayabilir. Hedef akiferlerin lokasyon ve kalınlık bilgileri olmadan gerçekleştirilen doğrudan-itmeli numune alma işlemi yanlış akiferden numune alınması veya sınır tabakalarına nüfuz edilmesi ile sonuçlanabilir.

Numune alma cihazının yüzey girişine imkân tanıyan sahalarla yönelik, ayrık su örneği alma işlemi sıklıkla, akiferin stratigrafik haritalanmasına yönelik olarak kullanılan koni penetrasyon testi ile bağlantılı olarak ve yüksek-geçirimsiz alanların taslağını çıkarmak için gerçekleştirilir.

Yerinde basıncı muhafaza etmek, basınç ölçümüne ve geçirgenlik testine olanak sağlamak için su numunesi alma hazneleri kapatılabilir. Basınç altındaki numunelerin kapatılması bazı organik bileşiklerin olası buharlaşma durumunu azaltabilir. Numune alma ekipmanları ve metodlarındaki her türlü sistematik hatayı değerlendirmek amacıyla saha karşılaştırmaları kullanılabilir. Karşılaştırma

çalışmaları içerisinde basınçlandırma numunelerine yönelik ihtiyaç veya sıvıların düşük hidrolik geçirgenlikli topraktan daha çabuk çıkartılması için vakum kullanılmasına yer verilebilir.

Bazı çalışmalarda, araştırmacılar kapalı (korunmalı) filtreli ayırık numune alma işleminin, yerinde saha analitik testi ile birleştirilmesinin, test esnasında akiferin su kalitesi koşullarıyla ilgili doğru veriler sağladığını tespit etmişlerdir. Temizlik gerektirebilecek açık filtreli numune alma cihazlarıyla doğrudan-itmeli su numunesi alma işlemi, tarama aracı olarak kullanılabilir.

Sondaj deliğinin tabanındaki bozulmamış toprakların içine doğru bir kuyu filtresi sokulabilir ve sürekli monteli izleme kuyuları oluşturmak için dolgu yapılabilir. Bazı zorlu şartlarda, kuyu filtresinin sızdırmazlığını sağlayacak kadar gerekli derinliğe nüfuz etmek mümkün olmayabilir. İlgili sahada gerekli derinliğe ulaşmak için, doğru ekipman ve metotların seçiminin deneyimli operatörler ve imalatçılarla danışıklı bir şekilde yapılması gerekmektedir.

Belirli bir ekipman konfigürasyonuna yönelik tipik penetrasyon derinlikleri bir çok değişkene bağlıdır. Değişkenlerden bazıları arasında tahrik sistemi, numune alıcının ve tesisat kolonunun çapı ile malzemelerin mukavemeti yer almaktadır.

Bazı zorlu yeraltı koşulları, numune alıcının içeri girmesine engel olabilir. Sert kayalarda ve genellikle kil taşı, tortulu şist gibi kayalarda penetrasyon mümkün değildir. Çakıl, kaba çakıl, aşınmış kaya parçası gibi iri parçacıklara girilmesi zor olabileceği gibi, bu durum numune alıcıya ya da tesisat kolonuna da zarar verebilir. Katmanların mukavemeti ve kalınlığına bağlı olarak, çimento ile kaplanmış toprak kesimlerine nüfuz etmek de zor olabilir.

Tahrik sistemleri genellikle, gerekli test derinliği ve nüfuz edilecek malzemelere bağlı olarak seçilmektedir. Numune alma cihazını derç etmek için birincil statik tepki kuvvetini kullanan sistemlerde derinlik, ekipmanın ağırlık reaksiyonu ve malzemenin penetrasyon direnci ile sınırlıdır. Kol kirişini geri çekebilme kabiliyeti de göz önünde tutulması gereken ayrı bir husustur. Darbeli veya vurmali toprak sondası, penetrasyon için gerekli reaksiyon ağırlığını azaltma avantajına sahiptir. Elle kullanılan ekipmanlar, genelde derinliği 5 metreden az olan çok sığ derinlikler için

kullanılır. Bununla birlikte, çok yumuşak göl killerinde 10m derinliğe kadar ulaşabilmektedir. Küçük kamyon-monteli hidrolik-tahrikli itme ve vurmali sürücüler gibi orta boy tahrik sistemleri genellikle 5 ile 30 m aralığında değişen derinliklerde çalışmaktadır. 20-tonluk kamyonlar gibi, ağır statik-itmeli koni penetrasyon araçları genelde 15 ile 45 m arasında değişen derinliklerde çalışabilmekte ve ayrıca yumuşak zemin koşullarında 10² m kabilindeki derinlik aralıklarına da ulaşabilmektedir. Sondaj ve artırılmış numune almalı sondaj metotları genelde tüm derinlik aralıklarında ve 103 m kabilindeki derinliklere ulaşmak için kullanılmaktadır.

Farklı toprak türlerine yönelik derinlik aralıkları üzerine kullanıcılar ve imalatçılar arasında bir uzlaşma söz konusu değildir. Kullanıcıların kendi saha koşullarının derinlik kapasitesini belirlemek adına deneyimli üretici ve imalatçılara danışması gerekmektedir.

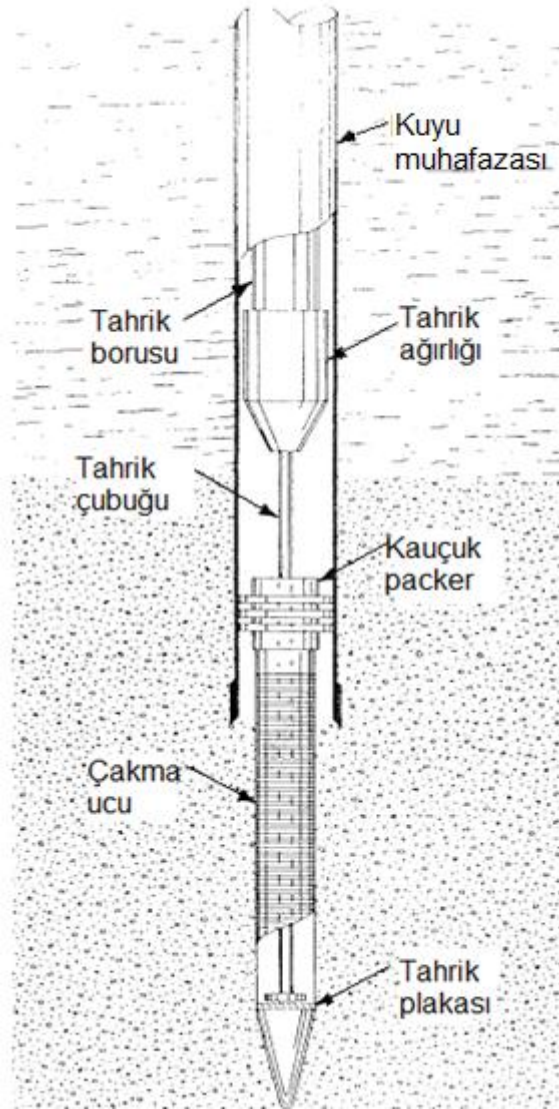
Çoklu-numune alma etkinliklerinin, temizleme olmadan tekli-numune alma haznesiyle birleştirilmesi genelde kabul edilebilir değildir. Haznenin temizlenmesi gerekir. Temizleme işlemi, yeni kimyasal özellikler stabilize edilene kadar veya elementler kimyasal sıvı ile temizlenene kadar, sıvının çeşitli hacimlerinin alınması yoluyla gerçekleştirilebilir. Temizleme koşulları, numune alıcıda kullanılan malzemeler ile malzeme tasarımına bağlıdır.

7.3.2 Ekipman

Doğrudan-itmeli bir numune alma sistemi; bir uç, kuyu filtresi, haznelere ve yüzeye kadar uzanan tesisat kolonlarından oluşmaktadır. Doğrudan-itmeli su örneği alma cihazlarını, sızdırmaz muhafazalı (kapalı) filtreli veya açık filtreli olarak iki gruba ayırabiliriz. Sızdırmaz filtreli numune alıcılar, numune alma aralığındaki toprağa veya diğer katmanlardan gelen suya maruz kalınmasını önleyen sızdırmazlık prensibine dayalıdır. Bu tür numune alıcılar tam nokta-kaynaklı dedektörler olarak da düşünülebilirler. Numune alma faaliyetleri arasında temizleme ve geliştirme işlemi gerektirebilirler.

Açık-Filtreli Numune Alıcılar (Exposed-Screen Samplers)

Doğrudan-itmeli numune alıcıların bazıları basit açık bir kuyu filtresinde ile pompa veya bailer kapları ile anlık numune alınmasına imkân tanıyan tesisat kolonundan oluşmaktadır. Böyle bir ekipmanınörneği, Şekil5.5'te gösterilmektedir. Çakma uçlarının basınçlı su ile çakılması uygulaması, batırma sırasında kullanılan suyun miktarının çok fazla olması ve de bu işlem sonucunda akifere verilebilecek potansiyel zarar ve su karışması nedeniyle çoğunlukla kabul görmemektedir. Eğer derç işlemi için su kullanılacaksa, su içerisindeki kimyasal bileşenlerin bilinmesi gerekir. Eğer açık-filtreli çakma uçları önceden delinmiş çukurlar içerisinde sokulursa, filtre ve kolon sondaj deliğinde mevcut bulunan su ile dolabilir ve numune alma öncesinde temizlenmesi gerekir.

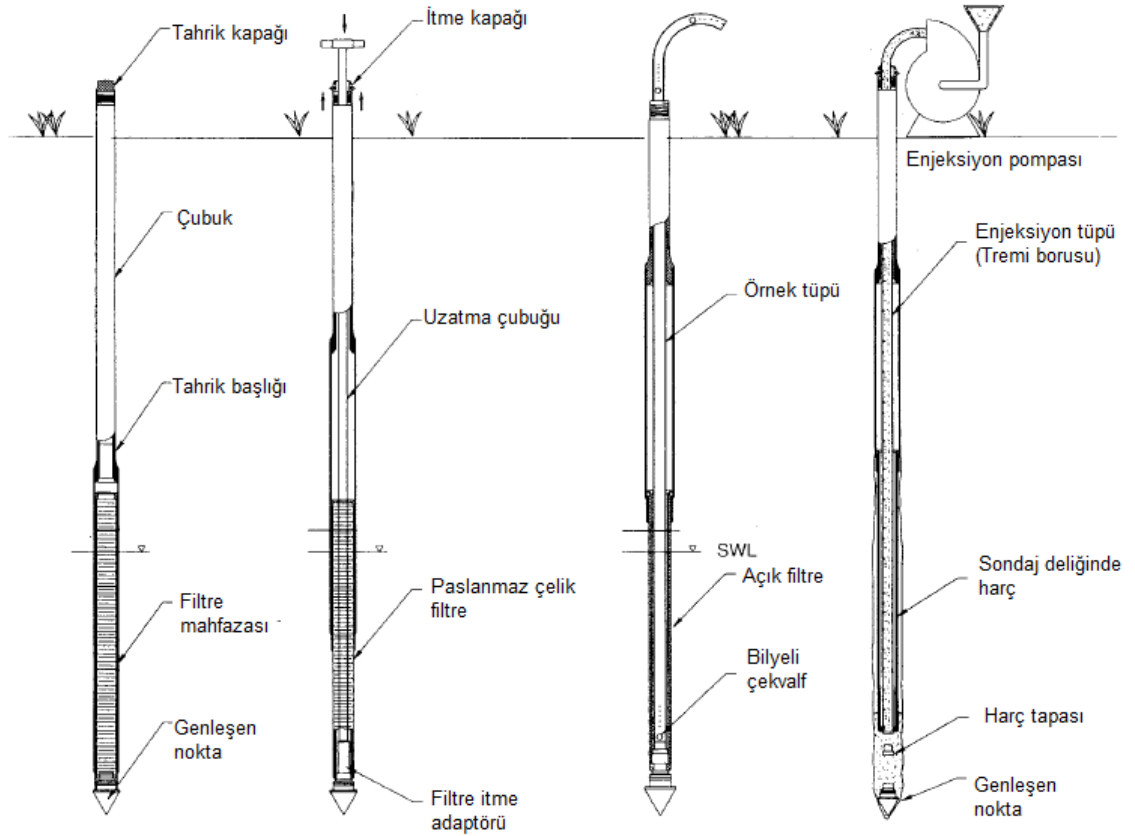


Şekil 7.9:Açık-filtreli numune alıcı

Açık-filtreli numune alıcıların bir başka şekli ise, koni penetrasyon gövdelerin içerisine yerleştirilmesiyle olur. Koni penetrometrelerin sıcaklık ve iletkenlik gibi ölçüm cihazları olan numune hazneleri bulunmaktadır. Koni penetrometrelerin bazıları, su içindeki numunelerin numune haznelere veya yüzeye çekilmesi için pompa ile donatılmışlardır. Hazne ile donatılmış ve çoklu numune alma işlemine tabi olan numune alıcıların, farklı numune alma işlemleri arasında temizlenmesi gerekebilir. Bu tasarımlardan bir kaçını önerilmesine rağmen, üretim uygulamasında başarılı olamamışlardır. Bunun nedeni, uzun süreli ve vakit alıcı temizleme gereklilikleridir. Çoğu durumda, temizleme gereksinimleri ile test etme derinlikleri öylesi uç noktalara ulaşabilmektedir ki, koni penetrometrelerin olmadığı tekli-numune alma faaliyetleri, temizleme gerektiren çoklu-numune alma faaliyetlerinden daha ekonomik olabilmektedir.

Kapalı-Filtreli Numune Alıcılar (Sealed-Screen Samplers)

Anlık numune alımına yönelik muhafazalı kuyu filtresi ile tesisat kolonları bulunmaktadır. Bir örneği Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Bu basit kuyu filtre tertibatı, eğer filtre contalarında ve tesisat kolonunda sızdırma yok ise, temizlik veya hazırlık gerekmeksizin tesisat kolonu vasıtasıyla numune toplanmasına imkân tanımaktadır. Basit numune haznelerinin çoğu hazneye akışa imkân tanımaktadır. Kapalı-filtreli numune alıcıların bazılarında, uçucu bileşiklerin buharlaşmasını önlemeye yönelik, numunedeki hacim ve basınç değişikliklerini azaltmak için tasarlanmış numune hazneleri bulunmaktadır. Basınç uygulama ihtiyacı araştırma programının koşullarına bağlı olup, numunenin atmosfer basıncında dengelenmesine imkân tanıyan daha basit sistemler ile sahadaki karşılaştırma çalışmaları yoluyla değerlendirilmelidir. Soy gaz basıncı kullanımı veya kapalı sistemler kullanılması dâhil numune haznesinin basınç altında tutulması konusunda farklı yaklaşımlar bulunmaktadır.



Numune alıcılar standart çubuklar kullanılarak istenen derinliğe sokulur

Uzatma çubukları, filtreyi tutmak için kullanılır

Boru kontrol vanası yeraltısuyundan numune almak için kullanılır

Şekil 7.10: Basit bir koruma filtreli numune alıcı

İmalat Malzemeleri

Doğrudan-itmeli numune alma cihazlarının yapımında kullanılan malzemelerin seçiminin, numune alınacak jeokimyasal çevrenin yapısına ve fiziksel, kimyasal veya biyolojik süreçler yoluyla malzemelerin numune ile ne şekilde temas halinde olacağına bağlıdır. Numune alıcı cihaz gövdesi genelde çelik, paslanmaz çelik veya diğer alaşımlardan oluşan metallere olmaktadır. Metal türünün, numune alınacak yeraltısuyunun olası etkileşimlerine dayalı olarak seçilmesi gerekmektedir. Kuyu filtre aksamalarında sıklıkla kullanılan malzemeler arasında çelik, paslanmaz çelik, katı polivinil klorür (PVC), politetrafloroetilen (PTFE), polietilen (PE), polipropilen (PP) ve pirinç yer almaktadır.

Numune Alıcı Gövdesi

Numune alıcı gövdesi, kuyu filtresi, tesisat kolonlarına ekleme amacıyla bağlantı tertibatı ile kullanılan koruyucu bir manşon ve eğer kullanılmışsa bir numune alma haznesinden meydana gelen bir kovandan oluşmaktadır. Numune alıcı, derç kuvvetlerine dayanabilmesi için çoğunlukla çelikten yapılmaktadır. Numune alma işlemi öncesinde, suyun girişini önlemek amacıyla, koruyucu manşonların, O-halkası ile donatılmış olması gerekmektedir.

Genleşebilir Numune Alıcı Cihaz Uçları

Bazı numune alıcı cihaz uçları genleşebilir olup, numune alma işlemi sonrasında yer altında bırakılabilmektedir. Numune alma derinliğine erişinceye kadar, tesisat kolonuna sızıntıyı önlemek için, ucun, O-halkalı conta ile numune alıcı manşonuna takılmış olması gerekir.

Numune alıcı uçları, numune alıcı gövdesi ve tesisat kolonu geri çekildiğinde, uç numune alıcı cihazdan bağlantısını koparacak şekilde tasarlanmışlardır. Uç çapı, numune gövdesine eşit şekilde veya biraz daha az olacak şekilde ayarlanabilir. Ucu geri çekilmesi konusunda problem yaşanması durumunda, uçlar numune alıcı gövdesinden 1 ile 3 mm (1/8 ile 1/6 in) daha büyük olacak şekilde tasarlanabilir. Daha geniş omuzlu veya uçlu genişletilmiş çap kullanımı, sürtünmeyi azaltacağından daha büyük derinliklere ulaşılmasına yardımcı olabilir.

Numune alıcı cihaz uçlarının çoğu itme gücüne dayanabilmeleri amacıyla çelikten yapılmaktadır. Bazı numune alıcılarda, numune alma işleminden sonra, uç yer altında kalabilir ve çukur harçla doldurulmuş olabilir. Bu durumda kullanıcıların, ucu yer altında bırakmanın saha koşullarına bağlı olarak çevre yeraltısuyu kimyasını olumsuz etkileyip etkilemeyeceğini göz önünde bulundurması gerekir.

Kuyu Filtresi

Doğrudan-itmeli numune alıcılara yönelik birçok kuyu filtre malzemesi mevcuttur. İmalat malzemesinin seçimi, numunesi alınacak yeraltısuyunun kimyasal bileşimi ve olası etkileşimli tesirleri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Girişlerin kapatılması için silindir içine kurulmuş, çelik veya pirinçten yapılmış filtre

kullanılabilir. Sürekli-sargılı, tel sargılı çakma-uçları da ayrıca yaygın olarak kullanılmaktadır. Kuyu filtre malzemesinin etkili boşluk büyüklüğünün, numune alınacak malzeme, numune almak için gerekli süre ve su numunesi içerisinde tolere edilebilecek toprak tortusuna bağlı olarak seçilmesi gerekmektedir. Temiz kumlar ve çakıllardan, aşırı tortu üretmeyen büyük boşluklu filtre ile numuneler alınabilir. İnce killi ve alüvyonlu topraklarda daha ince boşluklu filtrelere ihtiyaç duyulabilir. Genelde 10 ile 60 µm'ye kadar olan açıklıklar kullanılmaktadır. Daha ince boşluklar tortuyu azaltacak olmasına rağmen sıvının girişini de yavaşlatabilecektir.

En basit numune alıcı cihaz biçimi, kullan-at uçlu açık tesisat kolonlu olanlardır. Korumasız giriş ağzlarının kullanılması bazen toprak/anakaya ara yüzündeki yeraltısuyu numunesinin alınması için faydalı olabilmektedir. Eğer korumasız giriş ağzları kullanılacaksa, numune içerisinde tolere edilebilecek toprak tortusu miktarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

Tesisat Kolonları

Çoğunlukla "itici çubuklar" veya "uzatma çubukları" olarak da adlandırılmaktadırlar. Tesisat kolonları, itme kuvvetine dayanabilmeleri adına genelde çelikten yapılmaktadır. Bazı geçici çakma ucu tertibatlarında, çelik tüp tarafından itilen küçük-çaplı PVC çıkış borusu gibi çift-tüplü sistemler de kullanabilmektedir. Çift tüplü sistemler, tek bir itmede çoklu numune alma ihtiyacının olduğu durumlar için avantajlıdır. Diğer geçici sistemlerde, çakma ucuna bağlanmış esnek borulama sistemi kullanılabilir. Dış çelik boru tesisatı ile itilen PVC çıkış borusuna yönelik olarak, çelik itici çubuklarının çekilmesi, toprak ile PVC çıkış borusu veya boru tesisatı arasında küçük bir dairesel halka bırakacaktır. Söz konusu bu halkanın, kuyu filtresi üzerindeki etkili sızdırmazlığa bağlı olarak ve üstte bulunan katmanların çapraz kirlenme olasılığına karşı harç ile doldurulması gerekebilir. Koni penetrometre çubukları bazen numune alma sistemlerinde koni penetrometre ekipmanı ile konuşlandırılmış olarak kullanılmaktadır. Genelde 45 mm (1.75 in) gibi büyük çaplı çubuklar bazen koni penetrometre cihazı ile kullanılmaktadır. Kullanılabilecek en büyük çubuk çapı içerisine nüfuz edilecek malzemeye ve tahrik sistemine bağlıdır. Yükseltmiş rot çapı elverişli bir mesafeye

girmek için gerekli tahrik gücünde artışa neden olabilir. Çoğu doğrudan-itmeli tesisat kolonlarının çapı 50 mm'den (2 in) azdır.

Döner sondaj işleminde kullanılan standart sondaj çubukları, normal olarak numune alma işlemi sondaj deliğinin tabanında yapıldığında kullanılmaktadır. Birçok sondaj çubuğu bulunmaktadır. Çubukların anahtarla sıkıştırılması gerekir ve sızıntıyı durdurmak için dişler üzerinde PTFE şerit kullanılabilir. Sızıntıyı önlemek için bazen, çubuk eklenti parçalarının O-halka ile donatılması gerekli olabilir. Hassas konik vidalı koni penetrasyon çubukları genelde, 1 saate kadar süren numune alma etkinliklerinde hasar görmedikleri sürece su geçirmezdirler.

Sürtünme Redüktörleri

Tesisat kolonunun dış çapını genişleten sürtünme redüktörleri bazen çakma uçlarını veya numune alıcıyı ileriye doğru götürmek için gerekli olan itme kapasitesini düşürebilirler. Sürtünme redüktörleri, üst katmanlardan gelen sıvıların numune alma bölgesine girmesini önlemek için numune alma noktasının üzerinde yeterli mesafede bulunmaları gerekir. Eğer çapraz kirlenme olasılığı varsa, sürtünme redüktörlerinin kullanımından kaçınılmalıdır. Sürtünme redüktörlerinin türü ve yerleşimi proje raporunda belgelendirilmelidir.

Çamur Enjeksiyonu

Doğrudan-itmeli sistemlerin bazılarında, sürtünmeyi azaltmak için sondaj çubuğu boyunca bentonit sondaj sıvısı enjekte edilmektedir. Genelde bu sıvı sürtünme redüktörünün arkasına enjekte edilir. Bu sistemler, numune alma işlemi için numune alıcı üzerinde daha iyi sızdırmazlık sağlar.

Numune Alma Cihazları

Çok değişik su numunesi alma metotları mevcuttur. Küçük çaplı birçok doğrudan-itmeli ekipmanlar için pompa seçimi sınırlıdır. Diyaframlı pompalar, süpürmeli pompalar, persaltik pompalar, ataletli pompalar numune alma işlemi için kullanılabilir. Yeraltısuyu numune alımına yönelik cihazların seçimi ASTM D 4448 Kılavuzunda detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

Numune Kapları

Yeraltısuyu numune alımına yönelik numune kaplarının seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlara ASTM D 4448 Kılavuzunda değinilmiştir.

Tahrik veya İtme Ekipmanı

Toprak sondaj (darbeli tahrik) sistemleri, penetrasyon sistemleri ile dönerli sondaj ekipmanları, doğrudan-itmeli su numunesi alma cihazlarının derç edilmesi için kullanılmaktadır. Ekipmanların, numune alıcısı daha ileriye veya filtreyi yeterli bir derinliğe götürmek için yeterli mekanik gücü uygulayabilmesi veya numune alınacak alanın üzerinde etkili bir sızdırmazlık sağlamak için yeterli reaksiyon ağırlığına ya da her ikisine sahip olması gerekir. Ayrıca ilerleme sisteminin çoğu zaman çubukları ilerletmekten daha zor bir görev olan çubukları sökme işlemi için yeterli çekme gücüne sahip olması gerekmektedir. Basit ilerleme sistemleri içerisinde elde kullanılan mekanik-sökme jaklı döner-darbeli çekiçler yer almaktadır. Birçok sistemde, çubukları numune alma yerine yerleştirmek için yüksek frekanslarda çalışan hidrolik veya titreşimli-darbeli çekiçler kullanılmaktadır. Eğer darbeli çekiçler kullanılacaksa, reaksiyon kuvveti azaltılabilir. Bazı titreşimli sondaj sistemleri çubuklara titreşim sağlar ve kohezyonsuz zeminlere kolay bir şekilde nüfuz edilebilir. Yumuşak topraklı zemin sahalarında, koni penetrasyon sistemleri, numune alıcısının ve tesisat kolonunun toprak içerisine daldırılması için hidrolik ayaklar kullanır. Dönerli sondaj teçhizatları genellikle artırılmış sondaj veya numune alma metodları ile kullanılmaktadırlar. Darbe veya titreşimin kullanılması daha sert topraklara girilebilmesine imkân sağlayacaktır.

7.3.3 Kirlilik Giderme

Numunesi alınacak yeraltısuyu ile temas eden numune alma ekipmanının, numune alma işlemi öncesinde ve sonrasında temizlenmesi gerekebilir. Numune alıcı gövdesinin genelde numune alma işlemi öncesinde temizlenmesi gerekmektedir. Yeni imal edilmiş filtreler ve numune alıcı aksamalarında imalattan kalma kalıntılar olabilir, bunların numune alma işlemi öncesinde temizlenmesi gerekir. Eğer numune alma işlemi tüp içerisinde gerçekleştirilecekse, tesisat kolonlarının temizlenmesi gerekir.

Temizleme

Açık-filtreli numune alma cihazlarının numune alma işlemi öncesinde temizlenmesi gerekebilir. Hem muhafazalı hem de muhafazasız filtreli numune alıcılarda, eğer üstteki kaynaklardan gelen yeraltısuyu tesisat kolonları içerisine girerse, temizleme gerekebilir. Temizleme işlemi, numune alma etkinliği öncesinde, yeraltısuyunun üst katmanının temizlenmesinden oluşur. Temizleme koşulları ASTM D4448 Kılavuzunda özetlenmiştir.

7.3.4 Artırılmış Sondaj ve Numune Alma

Bu metotta, sondaj metotları kullanılarak, numune alma mesafesine yakın bir sondaj kuyusu içerisinde ilerlenir. Sondaj metotları içerisinde en yaygın olarak kullanılanı, sondaj işlemi sırasında sondaj sıvısının ortaya çıkmadığı, dönerli içi-boş burgu ile sondajdır. Eğer sondaj sıvısı veya hava kullanılarak dönerli sondaj metodu kullanılacaksa, sıvının veya havanın numune kalitesine etkisi ile etraftaki akiferin kalitesinin göz önünde bulundurulması gerekir. Eğer göçme veya çamur meydana gelirse, koruyucu muhafazaların kullanılması gerekebilir.

Sondaj teçhizatı dengelenir ve sondaj teçhizatının direği dikilir. Çukur derinliğini ölçmek için bir referans nokta belirlenir. Bu referans nokta, sabit bir zemin yüzeyine, yüzey kaplamasının tepesine veya sondaj döşemesine sokulan bir kazıktan oluşabilir. Eğer çukur yükseklik için daha sonra araştırılacaksa, referans nokta ile zemin yüzeyi arasındaki yükseklik farkı kaydedilir ve raporlanır. Hedef numune alma mesafesinin üzerinde bir derinliğe erişilinceye kadar sondaj işlemine devam edilir. Numune alma makinesi sondaj deliği tabanında dinlendirilerek ve numune alma cihazı ucuna olan derinlik kontrol edilerek sondaj kuyusunun derinliği ve kuyu tabanının durumu, kontrol edilir ve belgelenir. Eğer muhafaza borusu kullanılıyorsa ve muhafaza içerisinde kabarma oluşmuşsa bu malzeme atılır ve çukurun daha derinlerine doğru ilerlenir. Aşırı kabarma, göçme veya toprağın çamur haline gelmesi durumunda, sabit toprak koşullarını devam ettirebilecek alternatif bir sondaj metodu düşünülmelidir.

Çakma ucu veya numune alıcı, tesisat kolonuna eklenip sondaj kuyusu içerisine indirilir. Çubuk bölümleri tertibata ilave edilirken tertibat uzunluğu dikkatli bir

biçimde kaydedilir. Tertibat sondaj kuyusunun tabanında dinlendirilir ve tertibatın ucuna olan derinlik tespit edilir ve raporlanır.

Çakma ucu veya numune alıcı, deliğin tabanının altına yeterli mesafede sürülür. Bu mesafenin en az 1 m (3 ft) ya da asgari etkili sızdırmazlığı sağlayacak şekilde olması gerekir. Tesisat kolonunun geri çekilmesiyle koruyucu filtrenin açığa çıktığı, muhafazalı-filtreli numune alıcılar için çekme işlemi, toprağı kesebilir veya çatlatabilir. Bu durumlarda, sokma ve geri çekme uzunlukları toprak koşullarına göre ayarlanır. Genelde, numune alıcının geri çekmeden etkin filtre uzunluğunun en az üç katı içeriye sokulması gerekir. Sıvı dolmuş çukurlardaki sızdırmazlığı kontrol etmek için, sondaj kuyusunun tabanındaki sıvı içerisine izleyici aygıtlar yerleştirilebilir. Eğer numune alıcı çekiç darbesi ile sürülürse, kuyu filtresi üzerindeki tesisat kolonunun etkin sızdırmazlığını azaltabilecek aşırı titreşimler olmadan nüfuz gerçekleştirilebilir.

Su ilavesi, numune alma alanında oluşacak bozulma ve filtre üzerinde etkin sızdırmazlık kaybı nedeniyle, çakma uçlarının basınçlı suyla çakılması işlemi tercih edilmemektedir. Eğer su püskürtmeli çakma işlemi kullanılacaksa, yaklaşık hacim ve suyun kimyasal kalitesi belgelendirilir.

7.3.5 Numune Alma

Numune alma işlemi kullanılan numune alma ekipmanı türüne bağlıdır. Bunlar, açık veya muhafazalı filtreli numune alıcılardır.

Açık-Filtreli Numune Alıcılarla Numune Alma İşlemi

Açık-filtreli numune alıcılarla, sıvılar filtreden ve tesisat kolonundan temizlendikten sonra numune alınabilir. Bu sistemler ASTM D4448 Kılavuzu doğrultusunda temizlenirler.

Muhafazalı-Filtreli Numune Alıcılarla Numune Alma İşlemi

Çıkış borusu vasıtasıyla yüzeye açık olan muhafazalı-filtreli numune alıcılarla, numune alma işlemi için filtre kullanılmadan önce, anlık numune alma işlemi için sistemdeki sızıntıya yönelik olarak test edilir.

Su numunesi almak için çeşitli metotlar mevcuttur. Eğer numune alma cihazı, akiferde mevcut olan hidrolik yük basıncını kullanıyorsa, suyun numune alma haznesine veya tesisat kolonuna dolması için yeterli zaman verilmelidir. Bazı sistemler, taranan numune alma alanlarına doğrudan bağlantı imkânı sunarak, filtre açıldıktan sonra numune alıcı gövdesindeki çıkışa boru tesisatı veya kapalı numune alma haznesine bağlantı imkânı sağlamaktadır. Bu sistemler kullanılarak, sızıntı suyu olup olmadığına dair tesisat borularının içinin kontrol edilmesine gerek kalmayacaktır. Su çekmek için numune alma pompaları kullanılabilir, ancak kimyasal bileşimleri değiştirebilecek ortam basıncı ve sıcaklık değişikliklerine dikkat edilmelidir. Düşük geçirgenlikli topraklarda anlık veya pompa ile numune alma işleminde kullanılan açık tüplü kuyu filtresiyle, bazı durumlarda yeraltısuyu akışını kolaylaştırmak için tesisat kolonunun (çıkış borusunun) üst tarafına vakum uygulanır. Vakum kullanmanın ve bunun kimyasal bileşikler üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerekir.

Yeterli hacimde numune alındıktan sonra, numuneler analiz edilmek üzere uygun kaplara yerleştirilir. Alınacak bir numunenin hacmi, yeraltısuyunun kimyasal bileşimine, test etme protokollerine ve veri kalitesi hedeflerine bağlıdır. Kullanılan filtreye bağlı olarak, numunelerde tortu olabileceğinden, kaplara yerleştirilmeden önce numunelerin süzgeçle gerekebilir. Bazı test usulleri ve düzenlemeleri su numunelerinin filtrasyonunu gerekli kılabilir.

Numune alma işlemi sonrasında, numune alıcı geri alınır yada sürekli tertibat için yerinde bırakılır. Geri alınabilen numune alıcıların bazıları sondaj kuyusunun tabanının altında uç veya kuyu filtre parçası ya da her ikisini bırakabilirler. Eğer aynı sondaj deliği içerisinde yinelenen numune alma işlemleri gerçekleştirilecekse, mevcutsa kuyunun bu parçalarıyla sondaj yapılması gerekecektir. Sondaj yöntemine bağlı olarak, sondaj tertibatı içerisine bir deneme ucu yeniden sokulur ve önceki numune alma faaliyetindeki derinlik geçilene kadar sondaja devam edilir. Bazen bir ucun veya parçanın yada her ikisinin de varlığı sondaj işlemi esnasında tespit edilebilir. Eğer sondaj işlemi sırasında bu parçalar tespit edilirse, konumu not edilir. Sondaj işlemi bir sonraki derinlikte devam edilir ve sondaj işlemi tekrar edilebilir.

Genişletilmiş sondaj çukuru derinliğinin önceki mesafenin numune alma ucuna olan derinliğine eşit olması veya bu derinliği geçmesi gerekir.

Yüzeyden Doğrudan-İtme

Çok amaçlı darbeli tahrik sistemleri, elde-kullanılan döner darbeli delme sistemleri, koni penetrasyon sistemleri veya istenilen derinliklere ulaşmak için yeterli gücü sağlayabilecek diğer sistemlerle, çakma kazıkları veya numune alıcılar yüzeyden doğruca yeraltına indirilebilir.

Ekipman test için düz ve stabil bir hale getirilir. Bazı lastik-monteli ekipmanlar için, ekipman yerden kaldırılıp, zor sürüş koşulları esnasında kaymayı önlemek amacıyla teçhizat yerden kaldırılabilir ve hidrolik ayaklarla aynı seviyeye getirilebilir. Çukur derinliğini ölçmek için bir referans nokta oluşturulup belgelendirilir.

Numune alıcı gövdesi, sürtünme redüktörleri gibi alt-tertibatlarla birlikte tesisat kolonlarına bağlanır. Çalışma öncesinde, numune alma işleminin derinliğini belirlemek için numune alma tertibatı ve tesisat kolonlarının uzunluğu lclr. Geçici bazı kuyu sistemlerinde, tesisat kolonunun ve muhafazanın ilave edildiği çift tüp veya borulu sistem kullanılmaktadır. Çubuklar, düzgün yarı-statik itiş veya darbeler yada her ikisi de kullanılarak itilir. İtme işlemi ilerledikçe, ilave tesisat kolonları eklenebilir. Numune alma etkinliğinin doğru derinlikte gerçekleştiğini teminat altına almak için, operatörlerin ilave edilen çubukları dikkatli bir Şekilde kaydetmeleri gerekir.

7.3.6 Tamamlama ve Ayrılma

Sürekli veya Geçici Kuyu Tertibatları

Gerek sondaj metotlarıyla gerekse de yüzeyden doğrudan-itmeli sistemle açılan kuyular, zeminde kalıcı veya geçici tertibatlar olarak bırakılabilir. Sondaj ukurlarına yerleştirilen kuyular için, çukur duvarı ve tesisat boruları arasındaki sızdırmazlığu teminat altına almak amacıyla, sondaj çukurunun sızdırmazlık malzemeleriyle doldurulması gerekmektedir.

Yüzeiden doğrudan-itmeyle kurulmuş kuyular için, sızdırmazlık ihtiyacı çevrenin büyüklüğüne, yeraltısuyunun kalitesine ve akiferler arasındaki çapraz kirliliğe ve kirlenmenin akiferler arasındaki hareketine bağlıdır. Koni penetrasyon ekipmanlarında kullanılan sürtünme redüktörleri çukur çaplarını sadece itmeye yönelik çelik borularınki kadar, 6 ile 13 mm arasında (1/4 ile 1/2 in.) arttırabilir.

Diğer Doldurma Metotları

Araştırmanın koşullarına bağlı olarak, koruyucu muhafazalı veya diğer sızdırmazlık özelliğine sahip özel doldurma işlemlerinin yapılması gerekebilir. Döner sondaj metotları ve artırılmış numune alma yöntemiyle kullanılan çukurlar için, çukur, izleme kuyusu olarak veya jeofizik testler gibi diğer testler için doldurulabilir. Muhafaza borularınınintecrit edilmesine yönelik çeşitli metotlar kullanılmaktadır. Enjeksiyonun sondajın deliğinin tabanına yapıldığı harç enjeksiyonu en çok tercih edilen yöntem olup, harçlar, yüzeye ulaşana kadar pompalanır.

Çukurdan Ayrılma

Çukurdan ayrılmaya yönelik gereksinim ve ayrılmaya yönelik kapatma metodu devlet düzenlemelerine, yerel düzenlemelere, saha koşullarına, yeraltısuyu kalitesine ve akiferler arasındaki çapraz-kirlenme veya akifer boyunca kirlenme hareketlerinin artışına bağlıdır.

Dönerli matkap işleminden kaynaklanan büyük-çaplı sondaj çukurları çoğunlukla kapatma işlemi gerektirir. Yeraltısı tablasını kesen sondaj kuyuları için ayrılma koşulları devlet ve yerel yönetmelikler ile düzenlenebilir.

Çukurların kapatılması ihtiyacı jeohidrolojik koşullara da bağlıdır. Eğer sondaj çukuru ilk yeraltısuyu tablasının üst bölümüyle kesişirse, komple kapatmaya gerek duyulmayabilir. Tünek su seviyesi veya artezyen koşullarının olmadığı, homojen tek bir akifer sistemi altında, farklı kotlardaki olası kirleticileri hareket ettiren çok az hidrolik eğim olacaktır. Akiferlerin olası çapraz-irtibatına yönelik en kötü durum, askıda veya sınırlanmış yeraltısuyu koşullarında ortaya çıkmaktadır.

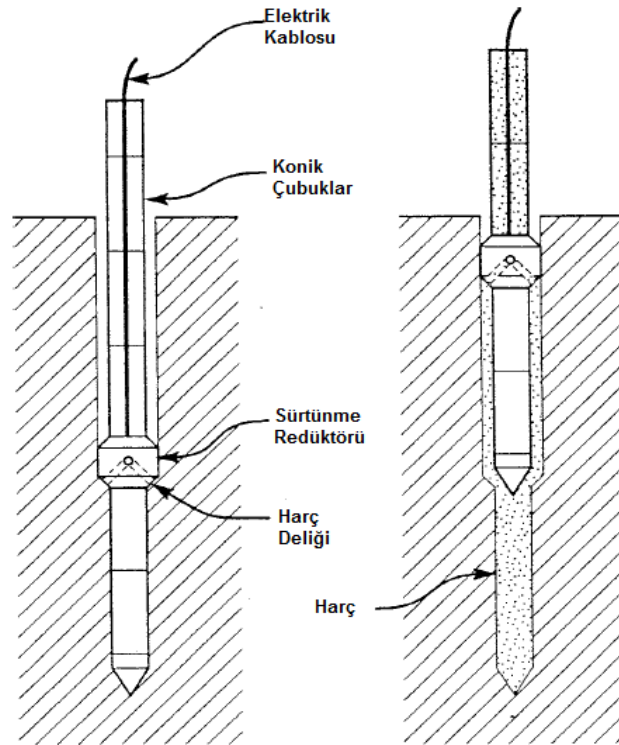
Çoğunlukla, yeraltısuyu tablasını kesen, doğrudan-itmeli sondaj çukurlarınının komple kapatılması gerekir. Sondaj çukurunun tamamen geri dolgu yapılması gerektiği

durumlarda, çukurun durumunun değerlendirilmesi ve belgelendirilmesi gerekmektedir. Komple kapatmayı engelleyen göçme veya tıkanmanın olduğu her alanın belgelendirilmesi gerekir.

Geri Çekme Tecriti

Tecrit metotlarından bir tanesi de, numune alıcı numune alma işleminden sonra geri çekilirken, doğrudan numune alıcı ucundan veya redüktörden tecrit etmedir. Uç geri çekme tecriti normalde küçük çaplı tüpler ve zeminde bırakılan uçlar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Uç geri çekme tecriti, dolgu karışımlarının tüp vasıtasıyla pompalanmasının zorluğu nedeniyle en az kullanılanıdır. Kullanılan çimento harçlarının viskoziteyi azaltmak amacıyla yüksek su içeriğine veya katkı maddelerine ihtiyacı olabilir.

Geri çekme tecriti bazen numune alıcı ucunun üzerindeki tecrit noktaları vasıtasıyla gerçekleştirilir. Bu işlem, Şekil 5.7'de gösterildiği gibi numune alıcının üzerindeki çapı genişletilmiş harç deliği kullanılarak gerçekleştirilir.



a) Montaj

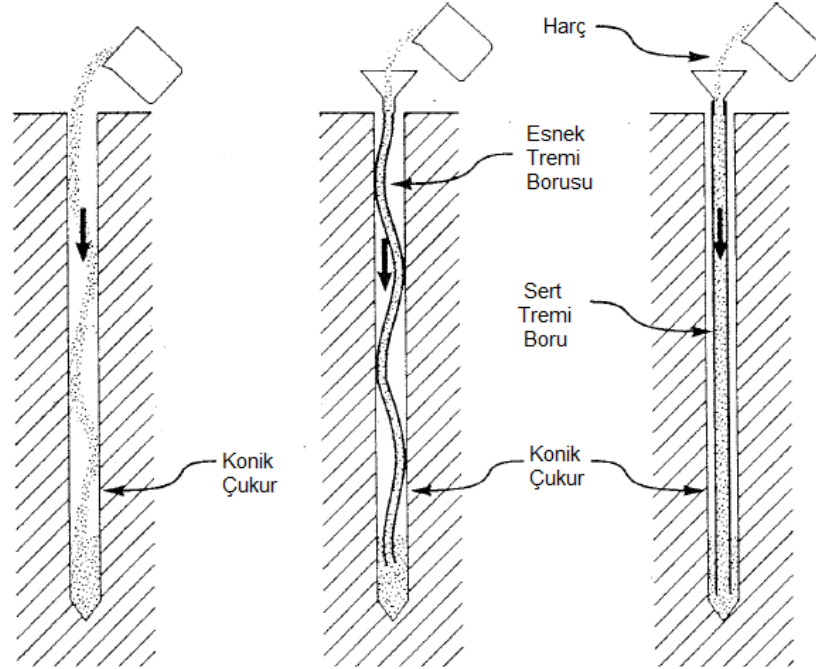
b) Tecrit

Şekil 7.11: Sürtünme redüktörleri içinde delikler arasından tecrit

Yeniden Giriş Tecriti

Yeniden giriş tecriti, çıkarma ve yeniden sokma işlemi arasında akiferlerin geçici bağlantısına imkân tanır. Geri çekme ve yeniden giriş tecritinin seçimi ekonomik bir karar olup, saha koşullarına ve sondajların derinliğine bağlıdır.

Yeniden giriş tecrit işleminde, Şekil 5.8 ve 5.9, test şeridi sondaj çukurundan tamamen çekilir ve ikincil bir tüp veya boru tesisatı çukurun derinliğinin tamamına yeniden sokulur. Eğer test şeridinin geri çekilmesi sonrasında sondaj çukuru açık kalırsa, test sonrasında esnek boru tesisatı veya küçük çaplı PVC'nin sondaj çukuru içerisine doğrudan elle sokulması mümkündür. Bu durumda, tecrit hattının çukurun orijinal derinliğine yakın bir şekilde yeniden sokulabilir. Proje ihtiyaçlarına, su yatağı katmanının lokasyonu ve toprak stratigrafisine bağlı olarak, bazı durumlarda tecrit hattının çukurun dibine ulaşmaması kabul edilebilir bir durumdur.

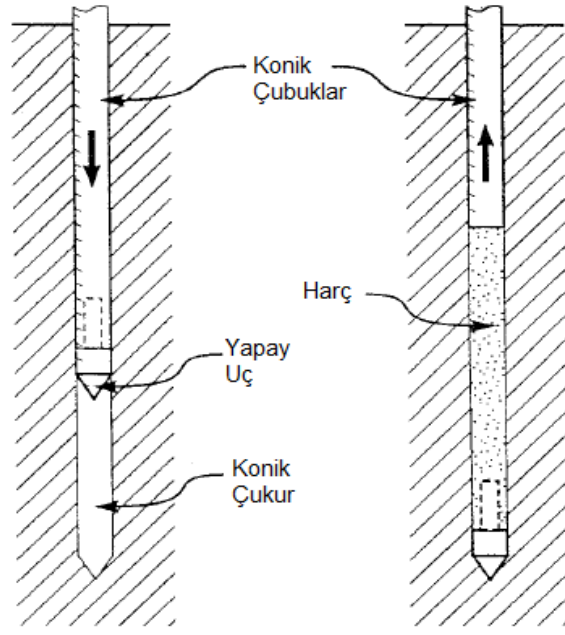


a) Yüzey enjeksiyonu

b) Esnek Tremit borusu

c) Sert Tremit Borusu

Şekil 7.12: Tremit boru



a) Montaj

b) Tecrit

Şekil 7.13: Çubuklar ve yapay uçlarla yeniden giriş tecriti

Eğer, yüksek hidrolik iletkenli kumlardan bir uç geri çekilecekse, çubukların içerisine su dolmasını önlemek için geri çekme işleminden önce çubukların içerisine harç ilave edilmesi gerekebilir. Harç bu durumda çukur içerisinden yüzeye yükselinceye kadar pompalanır yada çıkartıldıkları esnada çubukların içerisine bir harç sütunu ikame ettirilerek, tremi tecrit işlemi yapılır. Boru tesisatı çekilirken, çukuru tamamen doldurmak için tecrit işlemine devam edilir.

Doğrudan-itmeli su numunesi alma çukurları ya çimento yada bentonit harçlar ile tecrit edilebilir. Harç yoğunluğunun, sondaj kuyularının kapatılması için standart karışımlardan daha ıslak olması gerekli olabilir. En iyi oranların ne olduğunu gösteren bir araştırma bulunmamaktadır. Tipik bir karışımda; 1 torba Portland çimentosu 19 ile 22 L (5 ile 8 gal) suya karıştırılır. Çekmeyi azaltmak için % 2 ile 5 arasında düşük oranlarda bentonit ilave edilir. Tipik bentonit-bazlı karışımlar 22.7 kg kuru toz bentonit ile 50 ile 200 L (24 ile 55 gal) arasında sudan oluşmaktadır. Kuru yüksek-verimli bentonitin iyi sirkülasyon ekipmanı olmadan ve karışmaya ve hidratlaşmaya yeterli süre tanınmadan karıştırılması zordur. Ön-hidratlı bentonitin karışması kolaydır. Bentonitlerin bazıları tecrit kullanımı için kabul edilebilir

olmayan katkı maddeleri barındırmaktadır, bu nedenle kapatma ürünlerinin kabul edilebilir olduğunu teminat altına almak için kullanıcının regülatörlerle kontrol etmesi gerekir.

Enjekte edilen harcın hacmi kaydedilir ve teorik çukur hacimleri ile karşılaştırılır. Çoğu zaman, borular, tecrit boru tesisatı ve bağlantılar yoluyla oluşan hidrolik yük kaybından dolayı derindeki tecrit basıncı bilinmemektedir. Basıncı tecrit ekipmanlarının en azından yüzeyde basınç ölçer barındırmaları gerekmektedir.

7.3.7 Saha Raporu

Numune Alma

Aksamaların imalat malzemeleri dahil kullanılan numune alıcı ekipman türleri rapor edilir. Dış çap, filtre uzunluğu ve çapı ile sürtünme redüktörleri dâhil, ekipmanın boyutları kayıt edilir. Numune alımı öncesi ve sonrasında ekipmanın temizlenme metotları rapor edilir. Kuyuda kalan veya numune alma etkinlikleri arasında atılan malzemeler not edilir. Numune alma işlemi öncesinde gerçekleştirilen her türlü temizleme ve hazırlık faaliyeti rapor edilir.

Sondaj kuyusunun tabanında su numunesi alma işlemi gerçekleştirilirken, kuyunun tabanının durumu rapor edilir. Ayrıca, alınan numunede mevcut olan tüm çamurlaşma ve kesikler rapor edilir.

Numune alıcının veya çakma uçlarının batırılması esnasında, istenilen bölgeye ilerlerken veya koruyucu manşon çekilirken yaşanan zorluklar not edilir. Muhafazalı-filtreli numune alıcılara yönelik geri çekme mesafesi rapor edilir. Eğer numune alıcı, gerekli olan asgari numune alıcı mesafesinden daha fazla ilerletilemiyorsa, geçilen mesafe rapor edilir. Kuyu filtresinin ucuna ve orta noktasına olan derinlikler dâhil, numune alma derinlikleri not edilip raporlanır. Sıvı oluşumu veya elde edilen numunelerdeki çapraz kirliliğin kanıtı gibi numune alma işlemi esnasındaki tüm sıra dışı oluşumlar not edilir. Alınan numunenin hacmi ile diğer numune toplama ve muhafaza metotları not edilip, kaydedilir.

Su numunelerinin sahada rutin olarak gerçekleştirilen tüm ölçümleri rapor edilir. Bu lmler içerisinde, sıcaklık, pH ve iletkenlik yer alabilir. Test etme metotları, kalibrasyonlar ve kullanılan ekipmanlar rapor edilir.

Doldurma ve Tertibatlar

Doldurma malzemelerinin ve yerleştirme metotlarının, yerleştirilen yaklaşık hacimlerin, yerleştirme aralıklarının, yerleştirme onay metotlarının, zorluk ve sıra dışı oluşum alanlarının açıklaması kaydedilir.

8. YERALTISULARINDAN NUMUNE ALINMASI HAKKINDA MEVZUATA TEMEL OLUŞTARACAK TEBLİŐTASLAĐI

Bu tez çalışmasının ana maksadı ulusal ve uluslararası standartların incelenerek ülkemize özgü bir mevzuat alt yapısının oluŐturulmasıdır. Bu kapsamda, konuyla ilgili standartlar incelenerek elde edilen bilgiler ıŐıŐında yeraltısularından numune alınmasına ilişkin ülkemiz mevzuatına temel oluşturacak bir tebliŐ taslaŐı hazırlanmıştır.

8.1 Amaç

Bu TebliŐin amacı, yeraltısularından numune alınması, taşınması, korunması ve saklanmasına ilişkin usul ve esasları belirlemektir.

8.2 Kapsam

Bu TebliŐ, jeotermal kaynaklar hariç, kullanım maksadına bakılmaksızın yeraltısularından numune alınması, taşınması, korunması ve saklanmasına ilişkin hususları kapsar.

8.3 Hukuki Dayanak

Bu TebliŐ, 11/2/2014 tarihli ve 28910 sayılı Yüzeysel Sular ve Yeraltı Sularının İzlenmesine Dair YnetmeliŐin 26 ncı maddesinin, birinci fıkrasına dayanılarak hazırlanmıştır.

8.4 Tanımlar

- a) Akifer: Yeterli miktarda yeraltı suyu akışına ya da ierdiŐi yeraltı suyunun kullanılmasına izin veren gözeneklilik ve geirgenliŐe sahip litolojik birimleri,
- b) Kuyu ktŐ: Kuyunun açılması sırasında ve açıldıktan sonra kuyuya ilişkin bütün bilgilerin kaydedildiŐi belgeyi,
- c) Kuyu tahliyesi: Bir kuyuda yer alan durgun yeraltı suyunun uzaklaştırılarak taze yeraltısuyu ile yer deŐiŐtirilmesinin saŐlanması işlemini,

- d) Muhafaza borusu: Sondaj kuyusunun göçmesini, istenilmeyen su, gaz, silt, kum vs. gibi ince malzemelerin kuyuya girişini önlemek ve pompanın kuyu içinde kalan kısımlarını korumak maksadıyla kullanılan kapalı boruları,
- e) TSE: Türk Standartları Enstitüsü

8.5 Numune Alma, Taşıma, Saklama ve Korumaya İlişkin Genel Hükümler

(1) Yeraltı suları numune alma, taşıma, saklama, koruma işlemleri TSE standartlarına ve uluslararası kabul görmüş standartlara göre yapılması ve bu Tebliğde bahsi geçen TSE standartlarından herhangi birisi güncellendiğinde, güncellenen standart veya muadilinin güncellendiği tarihten itibaren geçerli olması,

(2) Yeraltı sularından numune alınması, taşınması, saklanması, korunması arazi çalışmaları öncesinde, “TS EN ISO 5667-1 Su Kalitesi - Numune Alma - Bölüm 1: Numune Alma Programlarının ve Numune Alma Tekniklerinin Tasarımına Dair Kılavuz” kapsamında numunelerin alınması ile ilgili tüm hususları içeren numune alma programlarının oluşturulması,

(3) Yeraltı sularından alınan numunelerin saklanması, taşınmasının ve korunmasının “TS EN ISO 5667-3 “Su Kalitesi-Numune Alma-Bölüm 3: Su Numunelerinin Muhafaza, Taşıma ve Depolanması İçin Kılavuz”una göre yapılması,

(4) Yeraltı sularından alınan numunelerin analizden önce gerekli koruma önlemleri alınarak laboratuvara getirilmesi ve taşınma esnasında kirletilmemesine dikkat edilmesi,

(5) Yeraltı sularından alınan her numune için, Ek 1’de yer alan numune alma etiketinin hazırlanması ve numune kabının üzerine yapıştırılması,

(6) Yeraltı sularından numune alınması esnasında Ek 2’de yer alan numune alma tutanağının doldurulması ve imza altına alınması, tüm numune alımlarında bu tutanağın kullanılması,

(7) Kimyasal analiz amacıyla alınan numuneler için doldurulan numune alma tutanağının numune alma sertifikası bulunan en az bir kişi tarafından imza altına alınması,

8.6 Yeraltısuyundan Kimyasal Analiz İçin Numune Alma Şartları

(1) Yeraltısuyundan genel amaçlı numune alınmasına ilişkin işlemler “TS ISO 5667-11 Su Kalitesi -Numune Alma - Bölüm 11 - Yeraltı Sularından Numune Alma Kılavuzu” ile “TS 9359 Su kalitesi - Yeraltı Suyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi”ne göre yapılır.

(2) Kirlenmiş sahalardaki yeraltı sularından numune alınmasına ilişkin işlemler “TS ISO 5667-18 Su Kalitesi - Numune alma - Bölüm 18: Kirlenmiş Sahalardaki Yeraltı Suyundan Numune Alma Kılavuzu”na göre yapılır.

(3) Yeraltı suyu kaynak ve kaptajlarından beslenim alanlarını karakterize edecek noktalardan numune alınır.

(4) Yeraltısuyu kuyularından numune alımı işlemi aşağıdaki ilkelere göre yapılır:

- a) Kuyu kütüklerindeki jeolojik formasyon geçişleri dikkate alınarak numune alınır.
- b) Sürekli kullanılan yeraltısuyu kuyularında, numune alımı öncesinde kuyu tahliyesine ihtiyaç yoktur.
- c) Numune alımı ve kuyu tahliye işlemine başlamadan önce, kuyuda stabil halde bulunan suyun seviyesi ölçülür. Su yüzeyine kadar olan derinlik ölçülürken, kuyu muhafaza borusu iç kısmının üst noktasından su yüzeyine kadar olan derinlik ölçülür ve kaydedilir. Kuyu kütük bilgilerinin olmadığı durumlarda, toplam derinliği hesaplamak için kuyu muhafaza borusu uzunluğu ölçülür ve kaydedilir.
- d) Sürekli kullanımı olmayan yeraltı suyu kuyularında, zamanla oluşabilecek muhtemel kimyasal ve biyokimyasal değişiklik akiferi temsil etmeyeceği için numune alınmasına başlamadan önce kuyu tahliyesi yapılmalıdır. Yeraltı suyu

kuyularında, kuyu muhafaza borusundaki durgun suyun boşaltılması için 5 kuyu hacminde su tahliye edilir. Kuyu içindeki durgun su hacmi, kuyu derinliği ve kuyu muhafaza borusu iç çapı ölçümlerine göre hesaplanır. Bu hesaplamayı gösteren formül aşağıda yer almaktadır.

$$V = 0.0785D^2(d_2 - d_1)$$

V = Kuyu hacmi (litre)

D = Kuyu muhafaza borusu iç çapı (cm)

d_2 = Toplam kuyu derinliği (m)

d_1 = Su yüzeyine kadar olan derinlik (m)

Kuyu hacmi hesaplandıktan sonra, 5 kuyu hacmi suyun pompalanması için gerekli olan kuyu tahliye süresi aşağıdaki formüle göre hesaplanır:

$$t = 0,0833 \frac{V}{Q}$$

t = Tahliye süresi (dakika)

V = Kuyu hacmi (litre)

Q = Pompa debisi (litre/saniye)

Pompanın olmadığı durumlarda bailer kova ile kuyu tahliyesi yapılır. Bailer kova ile tahliye işleminin kaç defa yapılacağı, kuyu hacminin bailer kovasının hacmine bölünmesiyle hesaplanır.

$$n = \frac{V}{v}$$

n = Kova tahliye adeti

V = Kuyu hacmi (litre)

v = Bailer kova hacmi (litre)

9. SONUÇLAR

2000/60/EC sayılı Su Çerçeve Direktifi, yeraltısularının miktar ve kalite açısından iyi duruma getirilmesini hedeflemektedir. Bu hedefe ulaşabilmek için izleme ağlarının kurularak yeraltısularının etkin bir şekilde izlenmesi gerekmektedir. İzleme faaliyetlerinin temel unsurunu ise numune alma işlemleri oluşturur. Direktif numune alma işlemlerinin sonucunda bilimsel ve doğru verilere ulaşabilmek adına belli kural ve kaideler oluşturmayı bu hususta ulusal ve uluslararası standartların kullanılması gerekliliğini belirtmiştir. Avrupa Birliği'ne aday ülke statüsünde olan Türkiye için de bu gerekliliklerin yerine getirilmesi zorunludur.

Ülkemizde yeraltısularından numune alınmasına ilişkin hâlihazırda doğrudan ilgili olan üç tane standart bulunmaktadır. Tez çalışması kapsamında incelenen standartlar şunlardır; 1997 tarihli “Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu” (TS ISO 5667-11); 2004 tarihli “Kirlenmiş Sahalardaki Yeraltısularından Numune Alma Kılavuzu” (TS ISO 5667-18) ve 1991 tarihli “Yeraltısuyu Kontrol Kuyularından Numune Alma Rehberi” (TS 9359). Ayrıca, yeraltısularından numune alınmasına ilişkin 10.10.2009 tarihli ve 27372 sayılı “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” bulunmaktadır. Ulusal standartların yanı sıra, uluslararası standartlardan ABD EPA, ASTM ve USGS standartları tez kapsamında detaylıca incelenmiştir.

Numune alma faaliyeti, izleme çalışmalarının temel ögesi olup, arazide numunelerin toplanmasından laboratuvara ulaştırılmasına kadar geçen tüm süreci kapsamaktadır. Bu sürecin etkin ve verimli bir şekilde yönetilebilmesi için öncelikle hangi amaçla numune alınacağı belirlenmeli ve bu amaç doğrultusunda bir numune alma programı hazırlanmalıdır. Bir yeraltısuyu numune alma programının etkinliğinin sağlanmasındaki en önemli unsur, numunelerin amacına uygun olarak temsil edici noktalardan uygun numune alma metotları ile alınarak, en uygun koşullar altında laboratuvara ulaştırılmasıdır.

Temsil edici yeraltısuyu numune alımının gerçekleştirilebilmesi için izleme ağı kavramsal model bilgileri üzerine kurulmalıdır. Bu yüzden, numune alımının gerçekleştirileceği bölgenin kavramsal modeli çok iyi biliniyor olmalıdır. İzleme ağı

kuruluşunda öncelikle hangi amaçla, nereden ve nasıl numune alınacağı dikkate alınmalıdır. Numune alma programları her izleme programı için numune alma amacına yönelik hazırlanmalıdır.

Numune alma işlemlerinin farklı eğitim seviyesindeki kişilerce farklı yöntemler kullanılarak yapılıyor olması ve numunelerin farklı analitik kapasiteli laboratuvarlarda analiz edilmesi veri tutarlılığını ve kullanılabilirliğini ciddi manada etkilemektedir. Numune alma işlemleri yeraltısuyu numune alma sertifikasına sahip personel tarafından gerçekleştirilmelidir.

Muhtemel bir kirlilik durumunda, kirliliğin yeraltısuyuna ulaşmadan tespiti için doymamış bölge (vadoz zon) izlenmelidir. Doymamış bölgenin izlenmesi erken uyarı sistemi olarak çalışıp, kirleticilerin yeraltısuyuna ulaşmadan önce önlemler alınmasını sağlar. Bu kapsamda, ülkemizde henüz bilinmeyen ancak Amerika'da yaygın bir şekilde kullanılan doğrudan-itmeli (*direct-push*) yeraltısuyu numune alma yöntemi doymamış bölgenin izlenmesi için kullanılmalıdır. Bu doğrultuda, yeraltısularından numune alımından sorumlu ilgili kurumların, deneme amaçlı doğrudan-itmeli yeraltısuyu numune alma teknolojisini pilot çalışma olarak kirlenme ihtimali yüksek sahalarda kullanması teşvik edilmeli; elde edilen faydalar neticesinde bu teknolojinin yaygınlaştırılması sağlanmalıdır.

Yeraltısuyu izleme çalışmaları kapsamında alınan numunelerin temsil edici olabilmesindeki en önemli unsur numune alınan kuyuların yeraltı su kütlesi ve/veya kütle gruplarını temsil etmesidir. Bu kapsamda, yeraltısuyu izleme programlarında yer alacak kuyuların seçiminde izlemenin amacı (gözetimsel/operasyonel) dikkate alınmalıdır. İzlemeye uygun olmayan kuyular izleme programlarında yer almamalıdır. Yeraltı su kütlesi ve/veya kütle gruplarını temsil eden numuneler alınmasını sağlayacak yeni izleme kuyularının kurulması için çalışmalara başlanmalıdır.

Bu çalışma kapsamında edinilen bilgiler ışığında, ülkemizde yeraltısularından temsil edici numune alımına ilişkin bir tebliğin mevcut olmadığı tespit edilmiş olup, bu eksikliğin tamamlanmasına yönelik yeraltısularından numune alınması hakkında

mevzuata temel oluşturacak bir tebliğ taslağı hazırlanmıştır. Bu tebliğ taslağı oluşturulmasında, ulusal ve uluslararası standartlardan faydalanılmıştır.

Numune alma kuyularının seçimi ile numune alma faaliyetlerine ilişkin Su Çerçeve Direktifi gereklilikleri ile ülkemizdeki mevcut durumun değerlendirilmesi ve bu değerlendirmelere yönelik önerileri içeren özet bir tablo Ek 3'te yer almaktadır.

KAYNAKLAR

ASTM, 2012: Standard Guide for Direct-Push Groundwater Sampling for Environmental Site Characterization, Designation D6001-05, American Society for Testing and Materials West Conshohocken, Pennsylvania, 2013.

ASTM, 2013: Standard Guide for Sampling Ground-Water Monitoring Wells, Designation D4448 – 01, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, 2013.

Barcelona, Michael J., Wehrmann, H. Allen, and Varljen, Mark D., "Reproducible Well-Purging Procedures and VOC Stabilization Criteria for Ground-water Sampling," *Ground Water*, Vol 32, No. 1, 1994, p. 12-22.

Barcelona, M. J., Helfrich J. A., Garske E. E., 1985: Sampling Tubing Effects on Ground Water Samples. *Analytical Chemistry* 57, 2, p. 460-464.

Doğdu, M.Ş., 2009: Kimyasal Amaçlı Yeraltısuyu Örneklemesi, *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı 106, 2009.

DWR-Well Standards, 1981: Monitoring Well Standards, Types of Monitoring Wells, California.

EAP, 2014: Standard Operating Procedure for Purging and Sampling Water Supply Wells plus Guidance on Collecting Samples for Volatiles and other Organic Compounds, Environmental Assessment Program, Washington State Department of Ecology, p. 27-28.

Einarson, M.D., 2006: Multilevel Ground-Water Monitoring, *in* Nielsen, D.M., ed., *Practical handbook of environmental site characterization and ground-water monitoring*, (2d edition.): Boca Raton, Fla., CRC Press, chap. 11.

Ekmekçi, M., 2013: Yeraltısuyu Sistemlerinde Gözlem ve İzleme Ağı Sunumu, Yeraltısuyu Kaynaklarına Yönelik Ulusal Gözlem ve İzleme Ağı Semineri, Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2013.

European Communities, 2003: Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive, Guidance Document No 7: Guidance on Monitoring Under The Water Framework Directive, 2003.

European Communities, 2007: Common Implementation Strategy For The Water Framework Directive, Guidance Document No 15: Guidance on Groundwater Monitoring, 2007

Gibb, J. P., Schuller, R. M., Griffin, R. A., "Collection of Representative Water Quality Data from Monitoring Wells," Proceeding of the Municipal Solid Waste Resource Recovery Symposium, EPA-600/9-81-002A, March 1981.

Humenick, M. J., Turk, L. J., Coldrin, M., "Methodology for Monitoring Ground Water at Uranium Solution Mines," Ground Water, Vol 18 (3), May-June 1980, p. 262.

Imbrigiotta, T. E., Gibb, J., Fusillo, T. V., Kish, G. R., and Hochreiter, J. J., 1988: "Field Evaluation of Seven Sampling Devices for Purgeable Organic Compounds," Ground-Water Contamination: Field Methods, Collins, A. G. and Johnson, A. J., eds., ASTM STP 963, ASTM, Philadelphia, 1988, pp. 258-273.

Karpuzcu, M., 2005: Su Temini ve Çevre Sağlığı, Bölüm III, Kubbealtı Neşriyatı, İstanbul, p. 108-152.

Korte, N., Kears P., 1984: Procedures for the Collection and Preservation of Ground Water and Surface Water Samples and for the Installation of Monitoring Wells, Bendix Field Engineering Corporation, prepared for U.S. Department of Energy, January, 58 pp.

Madrid Y, Zayas ZP. 2007: Water sampling: Traditional methods and new approaches in water sampling strategy.

MassDEP, 1991: WSC-310-91, Standard References for Monitoring Wells Section 4.1: Monitoring Well Network Design, Department of Environmental Protection Commonwealth of Massachusetts.

MEB, 2014: Yeraltı Su Kaynakları, Aile Ve Tüketici Hizmetleri, Ankara.

Nationalgeographic, <http://education.nationalgeographic.com/education/encyclopedia/aquifer/?ar_a=1> erişim tarihi 29 Haziran 2014.

Nielsen, D., Nielsen, G.L., Nielsen, 1999: "Technical Guidance on Low-flow Purging & Sampling and Passive Sampling," NEFS-TG001-99, Nielsen Environmental Field School, Galena, OH, 1999.

OhioEPA, 2007: Monitoring Well Placement, Technical Guidance Manual for Ground Water Investigations, Chapter 5, Ohio.

Quinlan, J.F. 1989. Groundwater Monitoring in Karst Terranes: Recommended Protocols and Implicit Assumptions. USEPA EPA/600/X-89/050, 79 pp.

Papadopoulos, I. S., H. Cooper. 1967: Drawdown in a Well of Large Diameter, Water Resources Research, Volume 3, Issue 1, p. 241-244.

Parker, L.V., Ranney, T.A., 1997: "Sampling Trace-Level Organics with Polymeric Tubing," Dynamic Studies Special Report, 97-2, 1997.

Puls, Robert W., and Powell, R. M., "Acquisition of Representative Groundwater Quality Samples for Metals," Ground Water Monitoring Review, 1992, pp. 16-176.

Smet, J., Wijk, C.V., 2002: Small Community Water Supplies: Groundwater Withdrawal, Chapter 10, The Hague: International Water and Sanitation Centre (IRC).

Su Çerçeve Direktifi, 2000: Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy (Water Framework Directive), 2000.

Tai, D. Y., Turner, K. S., and Garcia, L. A., 1991: "The Use of a Standpipe to Evaluate Ground Water Samplers," Ground-Water Monitoring Review, Winter, 1991, p. 125-132.

Thornton, S.F.,Wilson R.D., 2008: Principles and Practice for the Collection of Representative Groundwater Samples, Contaminated Land: Applications in Real Environments, Vol. TB3.

Todd, D.K., and Mays, L.W., 2005: Ground-water hydrology (Third Edition), John Wiley and Sons, New York, 636 p.

TSE, <<http://www.tse.org.tr/tse-hakkinda/kurulus-ve-gorevleri>>erişim tarihi 29 Haziran 2014.

TSE, 1991: Su Kalitesi, Yeraltı Suyu Kontrol Kuyularından NumuneAlma Rehberi, TS 9359, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1991.

TSE, 1992: Su Sondaj Kuyuları – Terimler, TS 10087, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1992

TSE, 1997: Su Kalitesi, Numune Alma, Bölüm 11: Yeraltı Sularından Numune Alma Kılavuzu, TS ISO 5567-11,Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1997.

TSE, 1999: Su Kalitesi - Numune Alma - Bölüm 14: Çevresel Sudan Numune Alma ve Hazırlamada Kalite Güvenlik Kılavuzu, TS ISO 5667-14, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 1999.

TSE, 2004: Su Kalitesi, Numune Alma, Bölüm 18: Kirlenmiş Sahalardaki Yer Altı Suyundan Numune Alma Kılavuzu, TS EN ISO 5567-18, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2004.

TSE, 2007: Su Kalitesi, Numune Alma, Bölüm 3: Su Numunelerinin Muhafaza, Taşıma ve Depolanması için Kılavuz, TS EN ISO 5567-3, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 2007.

TSE, 2008: Su Kalitesi - Numune Alma - Bölüm 1: Numune Alma Programlarının ve Numune Alma Tekniklerinin Tasarımına Dair Kılavuz, TS EN ISO 5667-1, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2008.

USEPA, 1985: Practical Guide for Ground-WaterSampling, U.S. Environmental Protection Agency,USEPA/600/2-85/104.

USEPA, 1991: Handbook of Suggested Practices for the Design and Installation of Ground-Water Monitoring Wells, EPA160014-891034, Environmental Monitoring Systems Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Las Vegas, Nevada.

USEPA, 1992: RCRA Ground-Water Monitoring:Draft Technical Guidance, Office of Solid Waste Washington, D.C.

USEPA, 1993: Waste Management Area (WMA) and Supplemental Well (SPW) Guidance, Washington, D.C.

USEPA, Region 1, 2009: Ground Water Sampling,Standard Operating Procedure, The Office of Environmental Measurement and Evaluation, EPA New England.

USEPA, 1986: RCRA Groundwater Monitoring Technical Enforcement Guidance Document, OSWER-9950-1.

USEPA, 2000:Data Quality Objectives Process for Hazardous Waste Site Investigations, EPA QA/G-4HW, EPA/600/R-00/007, U.S. EPA, January 2000.

USEPA, 2009: Standard Operating Procedure For Ground Water Sampling, SOP File, 01/09/03, p1-14.

USGS, 1995: Ground-Water Data-Collection Protocols and Procedures for The National Water-Quality Assessment Program: Collection And Documentation of Water-Quality Samples and Related Data, U.S. GEOLOGICAL SURVEY, Open-File Report 95-399, Reston Virginia, 1995.

Yolcubal, İ., t.y: Sondaj Tekniği JLJ 347 Sunumu, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü,Kocaeli.

Yolcubal, İ., t.y: II. Kuyu Sondaj Metodları Sunumu, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü,Kocaeli.

Yolcubal, İ., t.y: Döner Sondaj (Rotary Drilling) Yöntemleri Sunumu, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü,Kocaeli.

Yolcubal, İ., t.y: Hidrojeoloji Ders Notları, Kocaeli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kocaeli.

<<http://www.yei.com/media/accessories/YSI-3059-Flow-Cell-Field.jpg>> erişim tarihi 6 Temmuz 2014.

<http://home.ust.hk/~irenelo/main/3/3e_body.htm> erişim tarihi 6 Temmuz 2014.

<<https://www.clu-in.org/products/intern/leakInfl.htm>> erişim tarihi 10 Ağustos 2014.

<http://www.diapump.com/urundetay.aspx?dilID=1&id=23&s=DP_10_Metalik_Pompa_-_1> erişim tarihi 14 Kasım 2014.

<http://cbs.grundfos.com/india/lexica/WW_Suction_lift.html> erişim tarihi 14 Kasım 2014.

<<http://www.ftechpump.com/horizontal-openwell-pump.html>> erişim tarihi 14 Kasım 2014.

<<http://www.radcoind.com/tech-tips/selecting-a-pump-for-your-heat-transfer-system/>> erişim tarihi 14 Kasım 2014.

EKLER

Ek 1: Numune Alma Etiketi

Kurum Adı:			
Havza/Bölge No:		Kuyu No:	
Numune alma Tarihi Saati:			
Koruyucu:	Var <input type="checkbox"/>	Yok <input type="checkbox"/>	
Not:			
Numuneyi Alan:			

Ek 2: Numune Alma Tutanağı**YERALTISULARINDAN NUMUNE ALMA TUTANAğI**

Tarih: ___/___/___

Numune Alan Kurum/Kuruluş: _____

Kuyu Numarası : _____ Kuyu Adı: _____

Kuyu Koordinatı : x: _____ y: _____

Havza/İl Adı: _____

Kuyu Sahibi (şahıs/Kooperatif/DSİ vb.): _____

Arazi Ölçümleri	Toplam kuyu derinliği(d_2) : _____(m)	Numune Sıcaklığı : _____°C
	Su yüzeyine kadar derinlik(d_1) : _____(m)	pH: _____
	Numune alma derinliği : _____(m)	Elektriksel İletkenlik : _____ μ S/cm
	Kuyu çapı : _____(cm)	Çözünmüş Oksijen İçeriği : _____mg/l
	Numune alma yöntemi : _____	
	Kuyu tahliye yöntemi: _____	

Numune Kapları	Kap No	Numune Kabı Cinsi*	Numune Hacmi (ml)	Parametre(ler)	Koruma Önlemi	Alınanı İşaretleyin
		1	P, C	100	Anyonlar	
	2	P, C	100	Katyonlar		<input type="checkbox"/>
	3	P, C	50	Ağır Metaller		<input type="checkbox"/>
	4	C	250	Mikrobiyolojik		<input type="checkbox"/>
	5					<input type="checkbox"/>
	6					<input type="checkbox"/>
	7					<input type="checkbox"/>
	8					<input type="checkbox"/>
	10					<input type="checkbox"/>
	11					<input type="checkbox"/>

İmza	Numuneyi Alan Yetkili Personel:
------	---------------------------------

* P: Plastik, C: Cam

Ek 3: Kurumsal Boşluk Analizi

	<i>AB Müktesebatına Göre</i>	<i>Mevcut Durum</i>	<i>Tespitler/Öneriler</i>
Kuyu Seçimi	<p>Su Çerçeve Direktifi, kirleticilerdeki uzun dönemli antropojenik artan eğilimlerin varlığının tespitine yönelik her bir nehir havzası için yeraltısuyu kimyasal durumunun değerlendirilmesini sağlayacak izleme ağının kurulması gerekliliğini ortaya koymaktadır. ŞÇD'ye uygun gerçekleştirilen karakterizasyon ve etki değerlendirmesine dayalı olarak, Üye Devletler nehir havzası yönetim planının uygulandığı her bir dönem için gözetimsel izleme programı hazırlamak zorundadır. Gözetimsel izleme programlarının sonuçlarına göre, planın geriye kalan periyodu için uygulanmak üzere operasyonel izleme programları hazırlanmalıdır.</p> <p>Bu kapsamda, sistemli bir izleme ağının kurulabilmesi için yeraltısuyu izlemesine uygun kuyuların seçilmesi yada izlemeye yönelik yeni kuyuların açılması gerekmektedir.</p>	<p>Ülkemizde hâlihazırda içme suyu, kullanma suyu gibi birçok amaçla kullanılan belgeli veya belgesiz binlerce kuyu bulunmaktadır. Ancak bu kuyuların birçoğu yeraltısuyu izlemesine uygun değildir. Yeraltısuyu izlemesi yapan ilgili kurum/kuruluşların kendi izleme faaliyetlerini gerçekleştirmek amacıyla açtığı kuyular bulunmaktadır. Ancak bu kuyular genelde aynı anda birden çok akiferi kesen yada bir akifer boyunca uzun filtrelerin kullanıldığı kuyulardır. Bu tarz kuyuların kullanımı ise akiferi temsil eden yeraltısuyu kalitesinin anlaşılmasında yada kirletici konsantrasyonunun belirlenmesinde sağlıklı veriler elde edilmesi için uygun değildir.</p>	<p>✓ Mevcut kuyular içinden, izleme programında yer almak üzere numune almaya uygun kuyuların belirlenebilmesi maksadıyla ülke genelinde bir envanter çalışmasının yapılması gerekmektedir. Envanter çalışması kapsamında, izlemeye uygun görülen kuyulara bir künye verilerek diğer kuyulardan ayrılması sağlanmalıdır. İzlemeye uygun olduğu tespit edilen kuyuların diğer kuyularla karışmasını önlemek için renk kodlaması yapılmalıdır(yeşil/kırmızı)böylece, izleme programları oluşturulurken harita üzerinde numune almaya uygun olan kuyuların seçiminde kolaylık sağlanacaktır.</p> <p>✓ Her havza için gerçekleştirilen envanter çalışması sonucunda numune alınmasına uygun kuyu bulunmayan yeraltısuyu kütleleri için temsil edici yeni izleme kuyularının açılması gerekmektedir.</p> <p>✓ İzlemeye uygun kuyuların seçimi ve kurulumuna yönelik yasal olarak sorumlu kurum/kuruluşlar tarafından bilimsel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.</p>

	<i>AB Müktesebatına Göre</i>	<i>Mevcut Durum</i>	<i>Tespitler/Öneriler</i>
Numune Alma	<p>Su Çerçeve Direktifi, izleme faaliyetlerine yönelik numune alma metodları için uluslararası standartların veya denk bilimsel kalite verileri elde edilmesini sağlayacak diğer ulusal ve uluslararası standartların kullanılabilceğini belirtmektedir.</p> <p>Ayrıca, “Su Çerçeve Direktifi Kapsamında İzleme” (No:7) Kılavuz Dokümanı ile “Yeraltısuyu İzleme” (No:15) Kılavuz Dokümanında yeraltısularından numune alınmasına ilişkin detaylı bilgiler yer almaktadır.</p>	<p>Türkiye’de birçok kurum/kuruluş tarafından yeraltısuyu miktar ve kalitesinin izlenmesine yönelik numune alma faaliyeti gerçekleştirilmektedir. DSİ Genel Müdürlüğü, 6200 sayılı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü’nün Teşkilat ve Görevleri Hakkında Kanun ile 167 Sayılı Yeraltısuları Kanunu’nun verdiği yetkiyle yeraltısularının miktar ve kalite açısından izlenmesi çalışmalarını yürütmektedir. Buna ilaveten, Sağlık Bakanlığı içme suyu elde etmek üzere kullanılan yeraltısularının kontrolü amacıyla; Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı ise tarımsal kirliliğin etkilerini araştırmak amacıyla yeraltısularından numune alıp analiz etmektedir.</p> <p>Yeraltısularından numune alınmasına ilişkin, 10.10.2009 tarihli ve 27372 sayılı “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği” bulunmaktadır.</p> <p>AB müktesebatının su ile ilgili en önemli direktifi olan Su Çerçeve Direktifinin ülkemiz mevzuatına uyumlaştırılması çalışmaları kapsamında, Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından yeraltısularının izlenmesine yönelik 11.02.2014 tarihli ve 28910 sayılı “Yüzeysel Sular ve Yeraltısularının İzlenmesine Dair Yönetmelik” yayımlanmıştır.</p>	<p>✓ Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Numune Alma ve Analiz Metodları Tebliği yeraltısularından temsil edici numuneler alınmasına yönelik ihtiyaçları tam olarak karşılayamamaktadır. Bu bağlamda, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından Su Çerçeve Direktifi yeraltısuyu izleme gerekliliklerini karşılamak üzere yeni bir numune alma tebliği hazırlama çalışmalarına başlanmıştır. Taslak tebliğ ile temsil edici yeraltısuyu numunelerinin alınması amaçlanmaktadır.</p> <p>✓ Alınan numunelerden elde edilen analiz sonuçlarının sürekli takip edilebilmesi amacıyla Ulusal Veri Tabanına kaydedilmesi gerekmektedir. Verilerin kontrolünün merkezi bir sistemden yapılması verilerin doğruluğunun kontrol edilebilmesi açısından oldukça önemlidir.</p> <p>✓ Yeraltısuyu numune alma işlemleri, numune alma sertifikası olan personel tarafından gerçekleştirilmelidir. Bu kapsamda, numune alacak personel için yeraltısuyundan numune alma eğitimi düzenlenmeli ve katılımcılara numune alma sertifikası verilmelidir.</p>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad :Feyza SANCAK
Doğum Yeri :Ermenek
Tarihi :07/04/1984
Yabancı Dil : İngilizce
E-mail :fsancak@ormansu.gov.tr

Eğitim Durumu

2011-halen Ankara Üniversitesi- Kimya Mühendisliği – Yüksek Lisans
2002 – 2008 Marmara Üniversitesi – Kimya Mühendisliği
1999-2002 Vatan Anadolu Lisesi (İstanbul)

İş Denevimi

2011- halen Orman ve Su İşleri Bakanlığı – Uzman Yardımcısı
2005-2005 Altınyıldız Tekstil Fabrikası – Laboratuvar ve Üretim Stajı
2007-2007 Bioder- Üretim-Kalite Kontrol Stajı

Sertifikalar

2008 Üretim Planlama Stok Yönetimi – MMO Bakırköy Şubesi
2008 ISO 9001:2000 Kalite Yönetim Sistemi Eğitimi – KMO
Kadıköy Şubesi

Yabancı Dil Bilgisi

İngilizce İleri
Almanca Başlangıç