



# ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir TURGUT

YERALTINDA TERMAL ENERJİ DEPOLAMA  
TEKNİKLERİNDE BELİRLEYİCİ KOŞULLARIN  
İNCELENMESİ

Y.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

119890

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2002

119890

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YERALTINDA TERMAL ENERJİ  
DEPOLAMA TEKNİKLERİNDE  
BELİRLEYİCİ KOŞULLARIN  
İNCELENMESİ**

Bekir TURGUT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 23.01/2002 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliğiyle Kabul Edilmiştir.

İmza

Doç. Dr. Şaziye BOZDAĞ  
DANIŞMAN

İmza

Doç. Dr. Hasan ÇETİN  
ÜYE

İmza

Prof. Dr Halime PAKSOY  
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.  
Kod No 1959



Prof. Dr. Melih BORAL  
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü Araştırma Fonu Tarafından Desteklenmiştir.  
Proje No:FBE2000YL33

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

# YERALTINDA TERMAL ENERJİ DEPOLAMA TEKNİKLERİNDE BELİRLEYİCİ KOŞULLARIN İNCELENMESİ

**Bekir TURGUT**

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç. Dr. Şaziye BOZDAĞ  
Yıl : 2002, Sayfa:89  
Jüri : Doç. Dr. Şaziye BOZDAĞ  
: Doç. Dr. Hasan ÇETİN  
: Prof. Dr. Halime PAKSOY

Bu çalışmanın amacı, yeraltında termal enerji depolaması (UTES) teknikleri arasında ekonomik ve teknolojik uygulanabilirlik bakımından en ideal olan, akiferde termal enerji depolaması (ATES) ve yeraltı kanallarında termal enerji depolamasında (BTES) belirleyici koşulların ortaya konmasıdır. Söz konusu bu iki teknikte, termal enerjinin depolama alanı yeraltı olduğundan, hedef bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri önem kazanmaktadır. Bu nedenle UTES tekniklerinde yöntem ve kapasite belirlenmesi, belirlenen yöntemin güvenli ve ekonomik olarak tasarlanıp uygulanabilmesi, detaylı bir jeolojik ve hidrojeolojik araştırma gerektirmektedir. Bu amaçla bahsi geçen iki parametrenin detayları ile ortaya konmasına yönelik 2 adet inceleme alanı seçilmiş ve bu alanlarda açılan araştırma kuyuları aracılığı ile her iki yöntem için gerekli olan jeolojik ve hidrojeolojik bulgular ortaya konmuştur. **Anahtar Kelimeler:** yeraltında termal enerji depolama, akiferde termal enerjidepolama, yeraltı kanallarında termal enerji depolaması, jeolojik ve hidrojeolojik parametreler

## ABSTRACT

MSc THESIS

# INVESTIGATION OF BOUNDARY CONDITIONS IN UNDERGROUND THERMAL ENERGY STORAGE TECHNIQUES

**Bekir TURGUT**

ÇUKUROVA UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED  
SCIENCES DEPARTMENT OF GEOLOGY ENGINEERING

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Şaziye BOZDAĞ  
Year : 2002, Page: 89  
Jury : Assoc. Prof. Dr. Şaziye BOZDAĞ  
: Assoc. Prof. Dr. Hasan ÇETİN  
: Prof. Dr. Halime PAKSOY

The aim of this study is to find out boundary conditions in aquifer thermal energy storage (ATES) and borehole thermal energy storage (BTES) systems, which is the most feasible, both economically and technically the underground thermal energy storage (UTES) techniques. In ATES and BTES techniques, underground is used as a storage medium; therefore geological and hydrogeological parameters of the target area play an important role. A extensive geological and hydrogeological research is essential in order to select the type and the capacity of UTES techniques for a successful design, economic and appropriate application and also security of the projects. For this purpose, two research areas were selected and two different exploratory wells were drilled in order to investigate the geological and hydrogeological parameters in detail.

**Key Words:** underground thermal energy storage, aquifer thermal energy storage, borehole thermal energy storage, geological and hydrogeological parameters



## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Bu araştırma, 2001-2002 öğrenim yılında, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma, Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu FBE2000YL33 nolu proje kapsamında tamamlanmıştır.

Çalışmalarım süresince benden tecrübelerini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Doç. Dr. Şaziye BOZDAĞ'a teşekkür ederim.

Tez konusunun belirlenmesi, geliştirilmesi ve yazılması aşamalarında birlikte çalıştığım hocalarım; sayın Prof. Dr. Halime PAKSOY'a ve sayın Prof. Dr. Hunay EVLİYA'ya teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Deneyler ve verilerin değerlendirilmesi aşamalarında beni yüreklendiren ve ekibin bir parçası olan sevgili çalışma arkadaşlarım Uzman Sevgi GÖÇÜK, Uzman Alper ALTINOK, Arş. Gör. Derya DİKİCİ ve Arş. Gör. Muhsin MAZMAN'a her koşulda yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Ve son olarak ömür boyu benden maddi-manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve bu gün burada, bu tezi sunuyor olmamın baş mimarı aileme minnettarım.

## **SİMGE ve KISALTMALAR**

|              |                                                                                         |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| UTES         | : Yeraltında Termal Enerji Depolama                                                     |
| ATES         | : Akiferde Termal Enerji Depolama                                                       |
| BTES         | : Kanallarda Termal Enerji Depolama                                                     |
| CTES         | : Yeraltı Mağarası ve Oyuklarında Termal Enerji Depolama                                |
| TES          | : Termal Enerji Depolama                                                                |
| PCM          | : Faz Değiştiren Madde                                                                  |
| IEA ECES-IA: | Uluslararası Enerji Ajansı Enerji Depolaması ile Enerji Tasarrufu<br>Uygulama Anlaşması |
| OECD         | : Ekonomik ve İktisadi İş Birliği Teşkilatı                                             |
| WHO          | : Dünya Sağlık Örgütü                                                                   |
| CFC          | : Kloro Floro Karbon                                                                    |
| GIS          | : Coğrafik Bilgi Sistemi                                                                |
| TDT          | : Termal Duyarlılık Testi                                                               |
| GSHP's       | : Yer Kaynaklı Isı Pompası                                                              |
| GPS          | : Coğrafik Pozisyon Sistemi                                                             |
| HVAC         | : Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme                                                 |
| E.İ.E.İ.     | : Elektrik İşleri Etüd İdaresi                                                          |

| <b>İÇİNDEKİLER</b>                                                                           | <b>Sayfa No</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| <b>ÖZ</b>                                                                                    | <b>I</b>        |
| <b>ABSTRACT</b>                                                                              | <b>II</b>       |
| <b>TEŞEKKÜR</b>                                                                              | <b>III</b>      |
| <b>SİMGELER ve KISALTMALAR</b>                                                               | <b>IV</b>       |
| <b>İÇİNDEKİLER</b>                                                                           | <b>V</b>        |
| <b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b>                                                                    | <b>VIII</b>     |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                                         | <b>IX</b>       |
| <b>1. GİRİŞ</b>                                                                              | <b>1</b>        |
| 1.2. Termal Enerji Depolaması Nedir                                                          | 3               |
| 1.3. Termal Enerji Depolaması Teknikleri (TED)                                               | 3               |
| 1.3.1. Yeraltında Termal Enerji Depolama Teknikleri (UTES)                                   | 4               |
| 1.3.1.1. Akiferde Termal Enerji Depolama (ATES)                                              | 6               |
| 1.3.1.2. Kanallarda Termal Enerji Depolaması (BTES)                                          | 9               |
| 1.3.1.3. Tank, Çukur ve Kaya Oyuklarında Depolama (CTES)                                     | 12              |
| <b>2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR</b>                                                                   | <b>13</b>       |
| <b>3. MATERYAL ve METOD</b>                                                                  | <b>19</b>       |
| 3.1. Materyal                                                                                | 19              |
| 3.1.1. Termal Duyarlılık Testi Cihazı (TDT)                                                  | 24              |
| 3.1.2. TDT'nin Çalışma Prensibi                                                              | 24              |
| 3.2. Metod                                                                                   | 29              |
| 3.2.1. ATES Tekniğinde Jeolojik ve Hidrojeolojik Koşulların Belirlenmesinde Kullanılan Metod | 29              |
| 3.2.1.1. Araştırma Kuyusu                                                                    | 30              |
| 3.2.1.2. Bilgisayar Ortamında Simulasyon                                                     | 30              |
| 3.2.2. BTES Tekniğinde Jeolojik ve Hidrojeolojik Koşulların Belirlenmesinde Kullanılan Metod | 30              |
| 3.2.1.1. Araştırma Kuyusu                                                                    | 31              |
| <b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b>                                                                | <b>32</b>       |
| 4.1 I. Araştırma Alanının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özelliklerinin İncelemesi                | 32              |
| 4.1.1. Adana – Balcalı Yöresi ve Civarı Jeolojik İncelemesi                                  | 32              |

|                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.1.1. Handere Formasyonu (Üst Miyosen-Pliosen)                               | 32 |
| 4.1.1.2. Taraça ve Kalış                                                        | 33 |
| 4.1.1.3. Alüvyon                                                                | 33 |
| 4.1.2. Adana – Balcalı Yöresi ve Civarı Hidrojeolojik İncelemesi                | 34 |
| 4.1.2.1. Taraça ve Kalış                                                        | 35 |
| 4.1.2.2. Alüvyon                                                                | 35 |
| 4.1.2.3. Geçirimsiz Birimler                                                    | 36 |
| 4.1.3. Araştırma Kuyusu                                                         | 42 |
| 4.1.4. Kuyu Logu                                                                | 43 |
| 4.1.4.1. Doğal Gama Logu                                                        | 43 |
| 4.1.4.2. Rezistivite Logu                                                       | 44 |
| 4.1.4.3. SP Logu                                                                | 44 |
| 4.1.5. Kuyu Geliştirme                                                          | 45 |
| 4.1.5.1. Kuyu Borulama                                                          | 45 |
| 4.1.5.2. Kuyu Çakılama                                                          | 50 |
| 4.1.5.3. Kuyu Yıkama                                                            | 50 |
| 4.1.5.4. Aşırı Pompaj                                                           | 50 |
| 4.1.6. Pompaj testi                                                             | 51 |
| 4.1.7. ATEs Sistemi Tasarımı İçin Bilgisayarlı Ortamda Simulasyon               | 53 |
| 4.1.8. Kimyasal Analiz Sonuçları                                                | 60 |
| 4.2. II. Araştırma Alanının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özelliklerinin İncelemesi | 62 |
| 4.2.2. Hadımköy ve Civarı Jeolojik İncelemesi                                   | 62 |
| 4.2.1.1. Sazlıdere Formasyonu                                                   | 62 |
| 4.2.1.2. Çukurçeşme Formasyonu                                                  | 62 |
| 4.2.1.3. Kırklareli Resifal Kireçtaşı                                           | 63 |
| 4.2.1.4. Trakya Formasyonu                                                      | 63 |
| 4.2.3. Hadımköy ve Civarı Hidrojeolojik İncelemesi                              | 63 |
| 4.2.2.1. Trakya Formasyonu                                                      | 64 |
| 4.2.2.2. Kırklareli Resifal Kireçtaşı                                           | 64 |
| 4.2.2.3. Gürpınar Formasyonu                                                    | 64 |
| 4.2.2.4. Çukurçeşme Formasyonu                                                  | 66 |

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 4.2.3. Araştırma Kuyusu                                                | 67        |
| 4.2.4. Poli-Etilen Boru Yerleştirilmesi Dolgu ve Malzemesi Enjeksiyonu | 68        |
| 4.2.6. Termal Duyarlılık Testi (TDT)                                   | 73        |
| 4.2.7.1. TDT Ölçümü Verileri Değerlendirilmesi                         | 76        |
| <b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER</b>                                            | <b>81</b> |
| 5.1. ATEs Tekniği İçin Sonuçlar ve Öneriler                            | 82        |
| 5.2. BTES Tekniği İçin Sonuçlar ve Öneriler                            | 84        |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                                       | <b>86</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                                        | <b>89</b> |



## ÇİZELGELER DİZİNİ

## Sayfa No

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 4.1. Sonda boyunca kesilen jeolojik formasyon üyeleri              | 42 |
| Çizelge 4.2. Kesilen jeolojik formasyon üyelerinde tij ilerleme hızı       | 43 |
| Çizelge 4.3. Pompaj işlemi sırasında çekilen sudan arazide alınan ölçümler | 50 |
| Çizelge 4.4. Pompaj testi sonrası statik seviyenin zamana bağlı değişimi   | 51 |
| Çizelge 4.5. Pompaj testi sonrası dinamik seviyenin zamana bağlı değişimi  | 52 |
| Çizelge 4.6. Sondaj sırasında kesilen akiferin hidrojeolojik özellikleri   | 53 |
| Çizelge 4.7. Kimyasal analiz sonuçları                                     | 60 |
| Çizelge 4.8. Sonda boyunca kesilen jeolojik formasyon üyeleri              | 67 |
| Çizelge 4.9. Kesilen jeolojik formasyon üyelerinde tij ilerleme hızı       | 68 |
| Çizelge 4.10. Dolgu materyalini oluşturan malzemelerin karışım oranları    | 69 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

## Sayfa No

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. UTES teknikleri                                                        | 5  |
| Şekil 1.2. UTES teknikleri şematik görüntüsü                                      | 5  |
| Şekil 1.3. ATES tekniği temel çalışma prensibi                                    | 7  |
| Şekil 1.4. ATES tekniğinin ısı pompalı sisteme uyarlanması                        | 8  |
| Şekil 1.5. BTES tekniği temel çalışma prensibi                                    | 10 |
| Şekil 1.6. BTES sisteminde yatay kanal metodu                                     | 11 |
| Şekil 1.7. BTES sisteminde dikey kanal metodu                                     | 11 |
| Şekil 1.8. UTES tekniklerinde soğuk depolama kaynağı                              | 12 |
| Şekil 2.1. Türkiye’de UTES potansiyeli                                            | 17 |
| Şekil 3.1. I. araştırma alanı uydu fotoğrafı                                      | 20 |
| Şekil 3.2. II. araştırma alanı uydu fotoğrafı                                     | 21 |
| Şekil 3.3. I. araştırma alanı konumu                                              | 22 |
| Şekil 3.4. II. araştırma alanı konumu                                             | 23 |
| Şekil 3.5. TDT cihazının görünümü                                                 | 26 |
| Şekil 3.6. TDT cihazı ebatlarını                                                  | 26 |
| Şekil 3.7. TDT cihazı akış şeması                                                 | 27 |
| Şekil 3.8. TDT cihazı çalışma prensibi                                            | 28 |
| Şekil 4.1. I. araştırma alanları 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası               | 37 |
| Şekil 4.2. I. araştırma alanları 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası                | 38 |
| Şekil 4.3. I. araştırma alanları 1/25.000 ölçekli yeraltı su tablası haritası     | 39 |
| Şekil 4.4. I. araştırma alanları 1/25.000 ölçekli jeofizik ve drenaj ağı haritası | 40 |
| Şekil 4.5. I. araştırma alanı EC haritası                                         | 41 |
| Şekil 4.6. I. araştırma alanı sondaj işleminden görünüm                           | 46 |
| Şekil 4.7. I. araştırma alanı sondaj işleminden başka bir görünüm                 | 46 |
| Şekil 4.8. Sondaj boyunca kesilen formasyon örnekleri                             | 47 |
| Şekil 4.9. Sondaj boyunca kesilen formasyon örnekleri                             | 47 |
| Şekil 4.10. Araştırma kuyusu jeofizik ölçüm sonuçları                             | 48 |
| Şekil 4.11. Kuyu kesiti                                                           | 49 |
| Şekil 4.12. Pompaj testinden bir görünüş                                          | 55 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.13. Pompaj testinden bir görünüş                                                     | 55 |
| Şekil 4.14. Conflow akifer simülasyon programında soğuk enjeksiyon sonrası termal yayılımlar | 56 |
| Şekil 4.15. Conflow akifer simülasyon programında soğuk enjeksiyon sonrası termal yayılımlar | 57 |
| Şekil 4.16. Conflow akifer simülasyon programında sıcak enjeksiyon sonrası termal yayılımlar | 58 |
| Şekil 4.17. Conflow akifer simülasyon programında sıcak enjeksiyon sonrası termal yayılımlar | 59 |
| Şekil 4.18. II. araştırma alanı 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası                           | 65 |
| Şekil 4.19. II. Araştırma alanı hidrojeolojik özelliklerini gösteren kesit                   | 66 |
| Şekil 4.20. II. araştırma alanında sondaj işleminden bir görünüm                             | 70 |
| Şekil 4.21. II. araştırma alanında sondaj işleminden bir görünüm                             | 70 |
| Şekil 4.22. II. araştırma alanı araştırma kuyusu kesiti                                      | 71 |
| Şekil 4.23. Poli-Etilen “U” boruların yerleştirilen sabitleyiciler                           | 72 |
| Şekil 4.24. Poli-Etilen “U” boruların kuyuya indirilmesi                                     | 72 |
| Şekil 4.25. “U” Borunun yanal kesiti                                                         | 72 |
| Şekil 4.26. İstanbul Beykoz Acar Kent TDT Ölçümünden Bir Görünüm                             | 74 |
| Şekil 4.27. İstanbul Beykoz Acar Kent TDT Ölçümünden Bir Görünüm                             | 74 |
| Şekil 4.28. TDT cihazının II. araştırma alanına nakliyesinden bir görünüm                    | 75 |
| Şekil 4.29. II. araştırma alanında kullanılan U borularından bir görünüm                     | 75 |
| Şekil 4.30. 2-4 Aralık 2000 Hadımköy – İstanbul Sıcaklık Ölçümleri                           | 77 |
| Şekil 4.31. $T_f$ ‘nin logaritmik zamana karşı grafiği                                       | 77 |
| Şekil 4.32. $T_f$ ‘nin zamana karşı grafiği                                                  | 78 |
| Şekil 4.33. $T_f$ ‘nin zamana karşı grafiği                                                  | 78 |
| Şekil 4.34. $T_f$ ‘nin zamana karşı grafiği                                                  | 79 |
| Şekil 4.35. $T_f$ ‘nin zamana karşı grafiği                                                  | 79 |



## 1. GİRİŞ

1970’li yılların ilk yarısında tüm dünyayı etkisi altına alan enerji krizi sonrası, konu ile ilgili kişi, kurum ve araştırma merkezleri alternatif enerji kaynakları üzerindeki Ar-Ge çalışmalarına önem vermeye başlamışlar ve kısa sürelerde yapılan detaylı çalışmalar sonucu alternatif enerji sistemlerinin çevre ile dost ve ekonomik olduğunu kanıtlamışlardır. Bu bulguları takiben gelişmiş ülkeler, bu teknolojilere önemli bütçeler ayırma eğilimi göstermişlerdir. İçinde bulunan yüzyılda fosil yakıt rezervlerindeki azalma ve nükleer enerjinin getireceği tehlikeler göz önüne alındığında, alternatif enerji kaynaklarının bir adım öne çıkması göz ardı edilemez bir gerçektir. Alternatif enerji kaynaklarını, kullanma teknolojisine ve kabiliyetine sahip olan ülkelerin, dışa bağımlılığı azalacaktır. Bununla birlikte çevreyi koruyup ülke ekonomisine sağlayacağı yararlar göz önünde bulundurulduğunda Türkiye’nin de yenilenebilir enerji sistemleri üzerindeki Ar-Ge çalışmalarına öncelik tanınması gerçeği ortaya çıkmaktadır. Alınan sonuçlara göre bu teknolojilerin kullanımını destekleyerek, yaygınlaştırılması konusunda teşvik edici bir konum alınması gerekmektedir.

Türkiye’de hızla artan nüfus ve sanayileşmeden kaynaklanan enerji gereksinimi ülkenin kısıtlı kaynaklarıyla karşılanamaması ile birlikte enerji üretimi ve tüketimi arasındaki açık da hızla büyümektedir. Bu enerji açığının ancak dış kaynaklarla kapatılabilmesi ülke ekonomisine büyük yük getirmektedir. 2020 yılında enerji ihtiyacının dörtte üçünün ithalat yoluyla sağlanacağı ön görülmektedir (E.İ.E.İ Enerji Raporu, 2000). Ekonomiye getirdiği yükün yanı sıra, bu durum enerji güvenilirliği kaygılarına da neden olmaktadır.

Bu nedenle, Türkiye’nin kendi öz kaynaklarından daha etkin bir şekilde yararlanabileceği ve enerji tasarrufunu arttırabileceği teknolojilerin kullanımı önem kazanmaktadır. Enerji kullanımında, çevre üzerindeki olumsuz etkileri bilinen fosil yakıtların kullanılmasının çevre konusundaki uluslararası taahhütler nedeniyle de azaltılması gerekmektedir. Fosil yakıtlar dışında Türkiye’nin öz kaynaklarından olan, doğal enerji kaynakları, toprak, yüzey ve yeraltı suları ve havada doğal olarak bulunan termal enerji gibi, sanayideki atık ısı ve güneş enerjisi de

değerlendirilmelidir. Bu enerji kaynaklarının kullanımı ve elde edilmesi arasındaki zaman farkı enerji depolamasıyla kapatılabilir. Bu kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanılabilmesi için termal enerji depolama teknolojilerinin Türkiye’de de kullanılmaya başlanması gerekmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları tükenmez oluşları ve süreklilik göstermeleri açısından önemlidir. Ancak, teknolojik gelişmelerinin yeniliği ve alışlagelmış kaynaklarla şu an için ekonomik rekabetleri oldukça güçtür. Hidrolik enerji dışında yer alan ve "yenilenebilir kaynaklar" diye adlandırılan alternatif kaynakların kullanımının arzulanan düzeylerde yer almasını önlemiştir. Bununla birlikte birçok ülkede jeotermal, güneş ve rüzgar enerjileri ile ilgili üretim hızlı bir gelişme göstermiştir. Yeraltında termal enerji depolaması, özellikle gelişmiş ülkelerde hızlı bir yaygınlaşma sürecine girmiştir.

Yeraltında Termal Enerji Depolama Teknikleri (UTES), 1970’li yılların ilk yarısında baş gösteren petrol krizine bağlı olarak gelişen evsel, endüstriyel ve tarımsal enerji alanlarındaki gereksinim artışı ve bununla birlikte enerji tasarrufu ve verimliliğindeki talep artışı sonucunda gelişmeye başlamıştır. UTES tekniklerinin kullanılması nedeni ile meydana gelen enerjideki verim artışı ve tasarrufunun, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin çevre sağlığı ve ekonomilerine olan katkısı göz ardı edilemez bir gerçektir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan sistemlerle karşılaştırıldığında, bu tekniklerin kullanılması sonucunda fosil yakıt tüketiminin azalmasına bağlı olarak açığa çıkan CO<sub>2</sub> emisyonunda da önemli bir düşme olacaktır. Ozon tabakasını delici madde içeren klasik soğutma sistemlerine olan ihtiyaçtaki azalmanın önemli bir kısmının UTES ile sağlanabileceği unutulmamalıdır.

UTES sistemlerinde, depolama alanı yer altı olduğundan tasarlanan sistemin problemsiz çalışması için hedef alandaki jeolojik ve hidrojeolojik parametrelerin detaylı olarak ortaya konması gerekmektedir. Her lokasyonda farklılık gösterebilen bu iki parametrenin aydınlatılması daha sağlıklı tasarım yapma imkanını sağlamaktadır. Bu çalışma, UTES tekniklerinde, yöntem ve kapasite belirlenmesi açısından büyük önem taşıyan, hedef alanın jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin saptanması ve seçilen yöntemin tasarımı ve güvenliği üzerine Çukurova

Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

## 1.2. Termal Enerji Depolaması Nedir?

Termal enerji depolaması (TES), enerjinin elde edilmesiyle talep arasındaki fark ile yer ve zaman arasındaki uyumsuzluğu gideren, hem ısıtma hem de soğutma için çözümler veren bir sistemdir. Konut, sanayi, tarım ve ulaşım sektörlerinde uygulama şansı bulunan TES, elektrik enerjisi ve kömür, doğal gaz, petrol gibi fosil yakıtlardan tasarruf sağlayarak enerji verimliliğini artırmaktadır. Doğal enerji kaynaklarından (hava, su, toprak ve güneş enerjisi) ve atık ısıdan yararlanmak için de TES gereklidir. Ayrıca Türkiye’de yeni uygulanması kararı alınan elektrik fiyatlarının değişken tarifesine göre, talebin fazla olduğu saatlerle az olduğu saatler arasında %50’ye ulaşan bir fark oluşmaktadır. Ucuz olan dönemde depolanan enerjinin pahalı saatlerde kullanılmasıyla da daha ekonomik enerji tüketimi sağlanabilir.

## 1.3. Termal Enerji Depolaması Teknikleri

TES tekniklerinde, duyulur ısı (yeraltında termal enerji depolama), faz değiştiren maddelerin ergime ısısı (PCM) veya kimyasal tepkimelerin ısısı şeklinde depolanabilir. Bu tekniklerle uzun süreli (yaz-kış) veya kısa süreli (gece-gündüz) depolama yapılabilir.

Kısa süreli amaçlarla daha çok istenilen sıcaklıkta faz değiştiren (katı-sıvı, katı-katı), çeşitli organik ve inorganik maddelerden yararlanılmaktadır. En çok kullanılan maddeler arasında; su-buz parafinler çeşitli tuz hidratları sayılabilir.

Uzun süreli depolama teknolojileri daha çok duyulur ısı tekniklerinden (yeraltında termal enerji depolama) yararlanır (Şekil 1.1-1.2.). Bunlar; Akiferde Termal Enerji Depolama (ATES) (Şekil 1.3.-1.4.), Kanallarda Termal Enerji Depolama (BTES) (Şekil 1.5.), Yer altı mağaraları, çukur ve tanklarda termal enerji depolama (CTES) dir (Şekil 1.8.) (Bakema ve ark., 1993).

Termokimyasal tepkimelerden hem kısa süreli hem de uzun süreli olarak, özellikle yüksek sıcaklıklarda yararlanılmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan maddeler çeşitli olup, endüstriyel hammadde olarak Zeolitlerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Paksoy, 1998).

### 1.3.1. Yeraltında Termal Enerji Depolama Teknikleri (UTES)

Termal enerjinin yeraltında geniş bir hacimde, uzun süreli mevsimlik depolanma imkanı bulunmaktadır. Bu çerçevede yeraltında termal enerji depolaması, ısıtma amaçlı depolama, soğutma amaçlı depolama, hem ısıtma hem de soğutma amaçlı depolama olarak değerlendirilebilir.

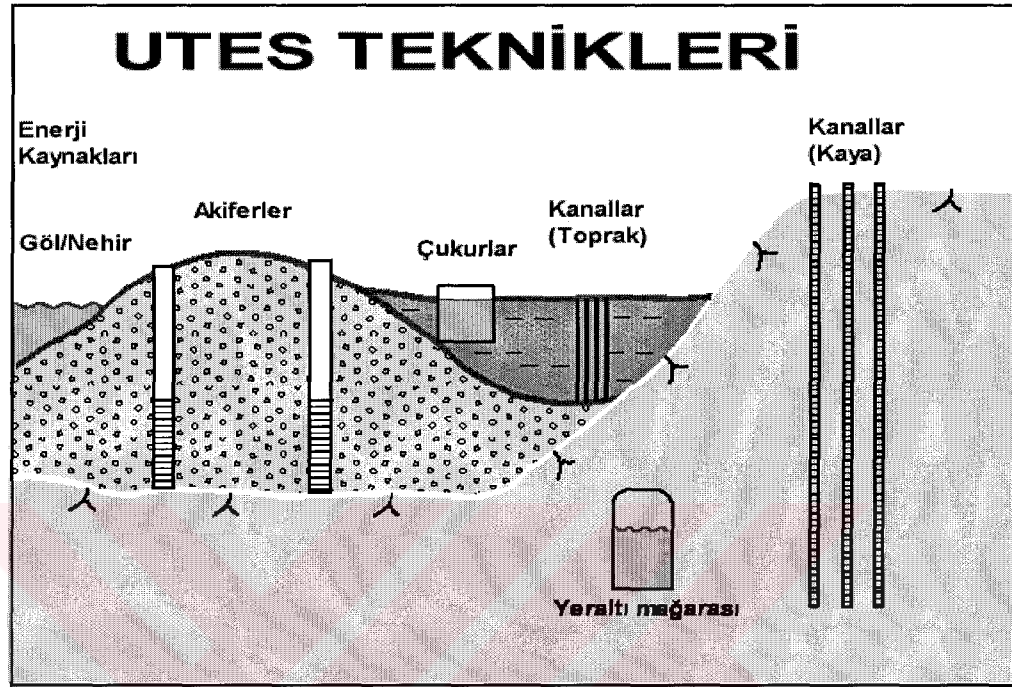
UTES tekniklerinin temel prensibi; yaz ayları boyunca yüzey ısısı ile yer altı ısısı arasındaki sıcaklık farkından yararlanmanın yanı sıra, yaz ayları boyunca mevcut olan sıcaklığı yeraltında depolayıp bir sonraki kış ısıtmada kullanmaktır. Kış ayları boyunca da yukarıda anlatılan prensibin tam tersi geçerlidir. Kış ayları boyunca yüzey ısısı ile yeraltı ısısı arasındaki farktan yararlanılabildiği gibi kışın mevcut olan soğuyuda yeraltında depolayıp bir sonraki yaz soğutmada kullanmaktır (Şekil 1.1. - 1.2.). Aynı temel prensiple son yıllarda gece-gündüz arasındaki sıcaklık farkını kullanarak daha çok telekomünikasyon istasyonlarının soğutulmasında kullanılmaya da başlanmıştır.

Isıtma amacıyla kullanıldığında fosil yakıt kullanımında sağlanan tasarrufla, hem enerjinin etkin olarak kullanımını sağlamakta, hem de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> gibi çevreye olumsuz etkileri olan gazlarının emisyonunu azaltmaktadır. Soğutma için kullanıldığında elektrik enerjisinde sağlanan tasarrufun yanı sıra ozon tabakasına zarar verdiği bilinen kloroflorokarbon (CFC) gazlarını kullanan soğutucu sistemlerin yerine geçmeleri bu gazların kullanımını da azaltmaktadır.

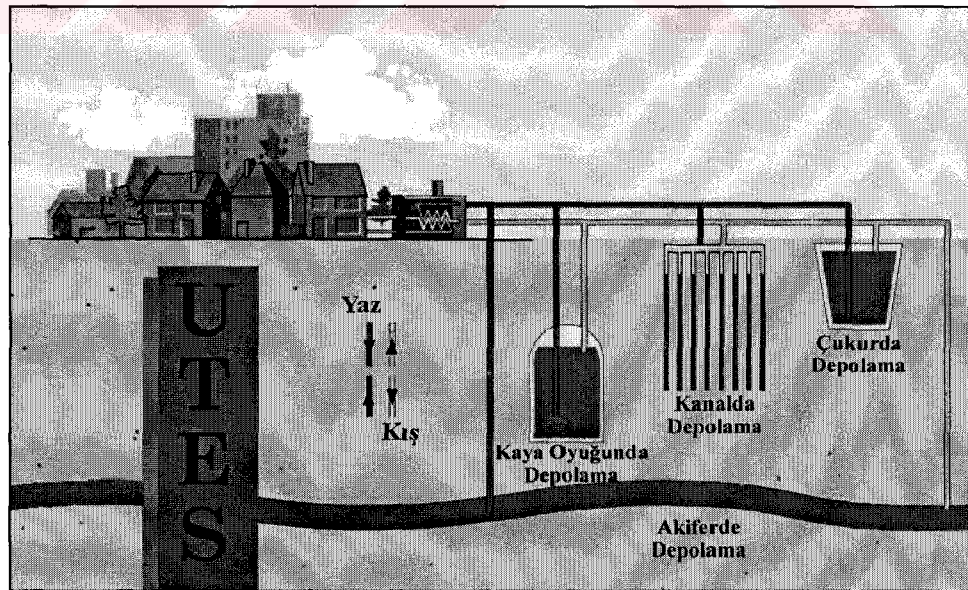
Yukarıda da belirtildiği üzere yeraltında depolama teknikleri üç grupta incelenmektedir:

- Akiferde termal enerji depolama (ATES)
- Yeraltı kanallarda termal enerji depolama (BTES)
- Tank, çukur ve kaya oyuklarında depolama (CTES)





Şekil 1.1. (UTES) Teknikleri (Andersson, 1997)



Şekil 1.2. UTES Teknikleri şematik görüntüsü (Bakema ve ark., 1994)

Türkiye’de jeolojik, çevresel, teknolojik ve ekonomik uygulanabilirlik bakımından, tezin ilerleyen aşamalarında, UTES sistemlerinden en önemli ikisi olarak kabul edilen ATES ve BTES sistemleri bu tez kapsamında incelenmiştir.

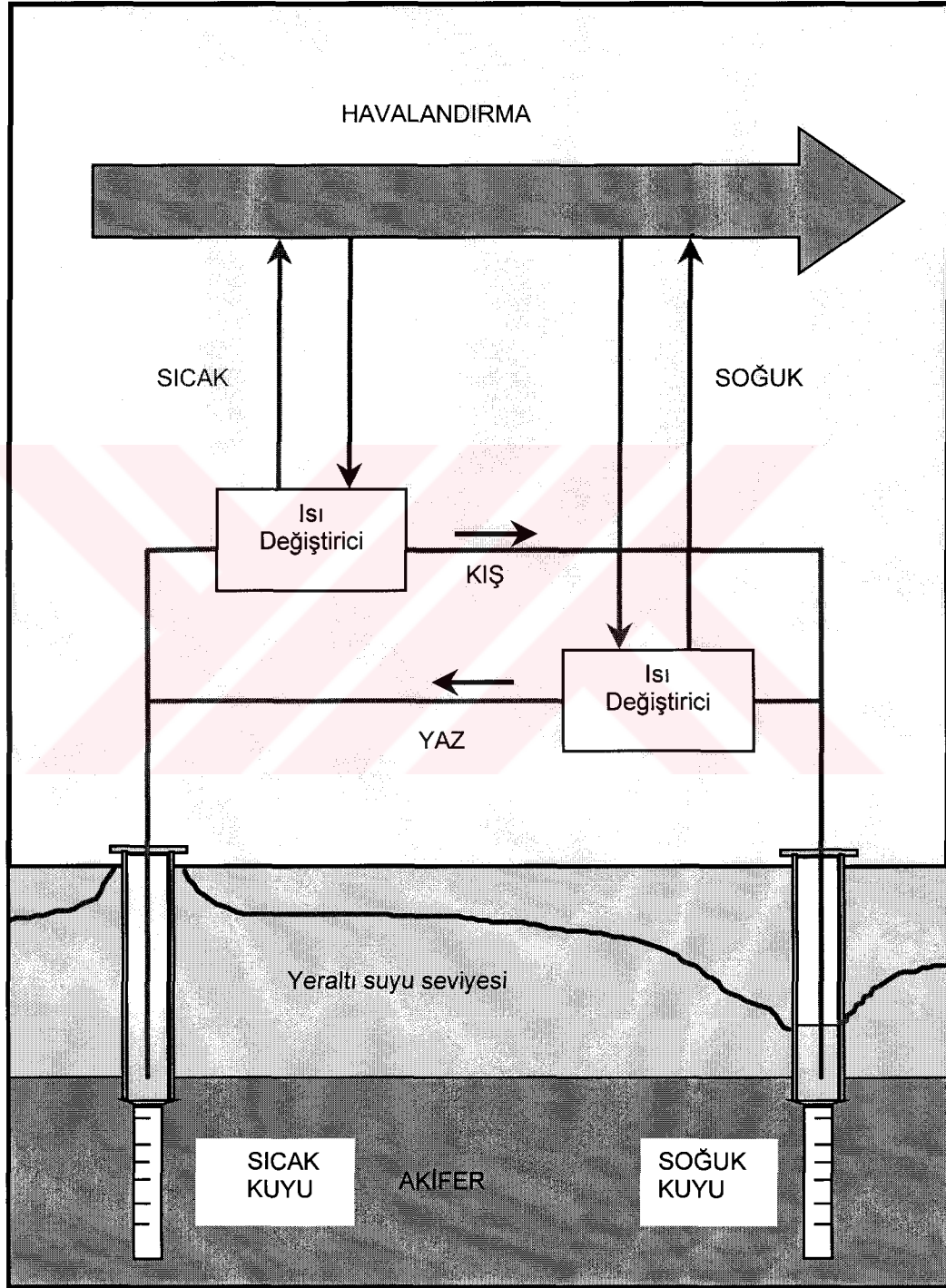
#### 1.3.1.1. Akiferde Termal Enerji Depolama (ATES)

Akiferde termal enerji depolaması (ATES) hem ısıtma hem de soğutma amaçlı kullanılabilir. Soğuk depolama işleminde yapılan işlem genel olarak anlatılacak olursa; yeraltı suyu, açılan kuyu aracılığıyla kışın çekilir, soğutulup tekrar farklı bir kuyu aracılığı ile akifere beslenir. Yer altı suyunun soğutulması için kışın soğuk dış ortam havasından veya yüzey sularından yararlanılır.

Kış ayları boyunca mevcut bulunan yüzey suyu veya dış ortam soğukluğu, ısı değiştiriciler aracılığı ile yeraltı suyuna aktarılır. Soğutulan su ise akiferde tekrar besleme yolu ile depolanır. Yaz ayları boyunca soğutmaya gereksinim duyulduğunda, akiferde depolanan soğuk su tekrar çekilir ve soğutmada kullanılır. Bu kullanım, yine ısı değiştiriciler aracılığı ile yeraltı suyunun soğukluğunun bir bina ya da başka herhangi bir tesisin mevcut soğutma sistemindeki akıma aktarılmasıyla gerçekleşir. Yazın soğutmada kullanım sonucunda ısınan yeraltı suyu, akifere başka bir kuyu aracılığıyla tekrar beslenir (Şekil 1.3.). Bu aşamada, isteğe ve şartlara bağlı olarak atık ısı veya güneş enerjisi ile desteklenebilen sistemde, yüksek sıcaklıklara çıkmak mümkündür.

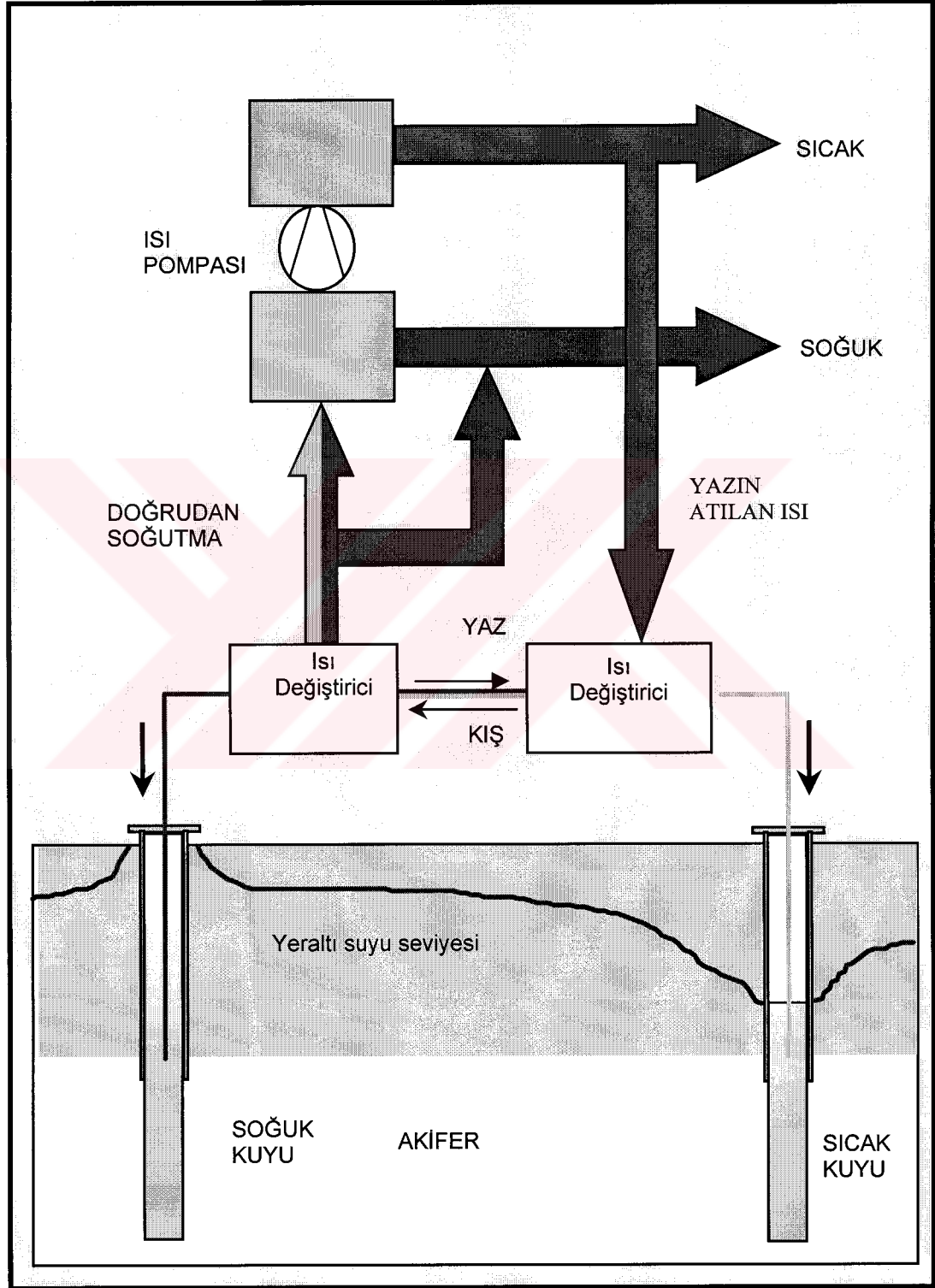
ATES tekniğinde biri sıcak diğeri de soğuk olmak üzere aralarında ısı etkileşimi önleyecek bir uzaklık bulunan en az iki kuyu bulunmalıdır. Yer altı su sıcaklığının doğrudan ısıtma ve soğutmaya yeterli olmadığı durumlarda ısı pompası ile çalışan sistemlerde tasarlamak mümkündür (Şekil 1.4.). Bu tip sistemlerde akifere çekilen su, ısı pompasının verimini yükseltmekte kullanılabilir.

ATES teknikleri dünyada başta Hollanda, İsveç, ABD, Kanada, Çin, Japonya ve Almanya gibi ülkelerde kullanılmaktadır. Özellikle Hollanda’da ATES tekniği ısıtma-soğutma pazarındaki payını gün ve gün artırmaktadır.



Şekil 1.3. ATES tekniğinin temel çalışma prensibi



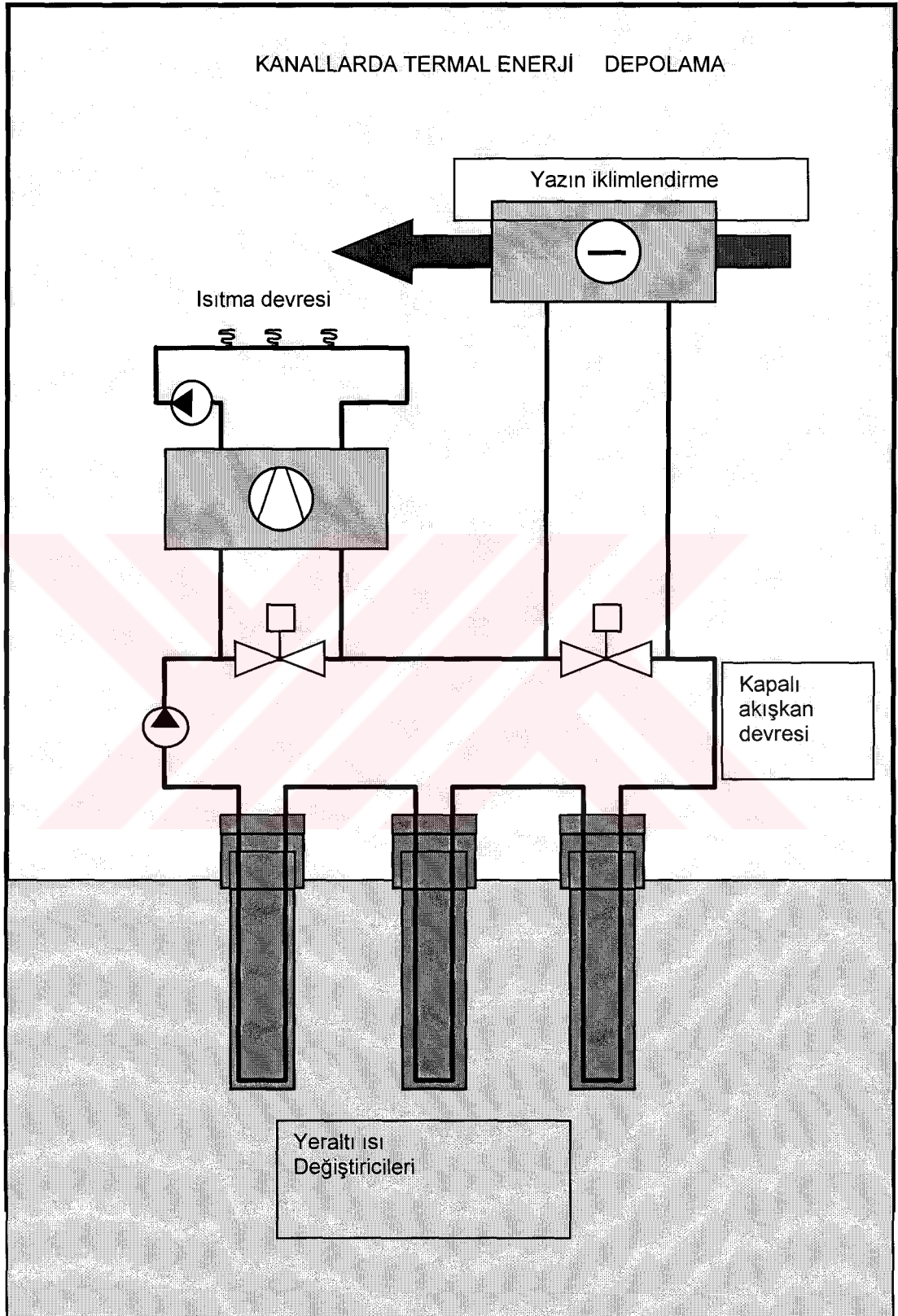


Şekil 1.4. ATES tekniğinin ısı pompalı sistemlere uyarlanması



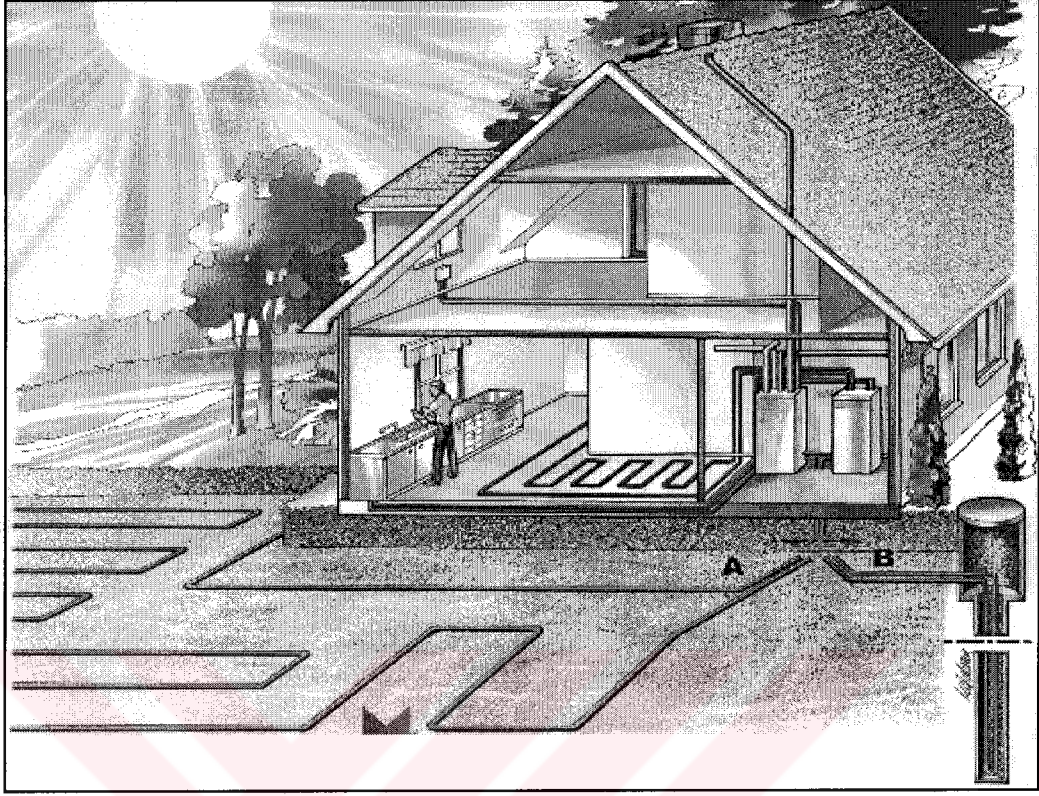
### 1.3.1.2. Yeraltı Kanallarında Termal Enerji Depolama (BTES)

UTES yöntemlerinden birisi olan BTES teknikleri daha çok akifer içermeyen jeolojik formasyonların bulunmadığı yerlerde tercih edildiği gibi bu teknik dünyada daha çok küçük ölçekli denebilecek konut uygulamalarında tercih edilmektedir. Sistemin genel çalışma prensibi kısaca, yeraltı ile yer yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının kullanılması temeline dayanır. Örneğin Türkiye'nin Güneyinde bulunan Adana ilinde Yazın sıcaklık 35-40 C<sup>0</sup> lere kadar çıkmaktadır. Kışın ise bu sıcaklık 2-5 C<sup>0</sup> lere kadar düşmektedir. Tüm bunlara karşılık dünyanın bu gradyanındaki yeraltı sıcaklığı yaz-kış ayları boyunca 19-21 C<sup>0</sup> dir. Kanalda termal enerji depolamanın temeli bu sıcaklık farkının ısıtmada veya soğutmada kullanılması fikrine dayanır. Bu farkı kullanma yöntemi ise kısaca şu şekilde yapılır; hedef alana soğutma veya ısıtma yükünü karşılayacak uzunluklarda kuyular açılır ve bu kuyular içerisine kuyu derinliği kadar poli-etilen "U" şekilli borular indirilir. Boruların kuyu içersinde düzgün inebilmesi için alt kısmına ağırlık yerleştirilir ve iki borunun birbirlerine ısı transferi yapmaması için her 10 m de bir aralarında ki mesafeyi sabit tutacak aparatlar yerleştirilir. Boru kuyuya indirildikten sonra jeolojik formasyon ile boru arasında kalan kısma dolgu malzemesi enjeksiyonu yapılır. Böylece kışın soğuk bir kaynaktan (hava, yüzey suyu v.s) elde edilen soğuk su bu kanalda dolaştırılarak kanal aracılığı ile mevcut buluna jeolojik formasyonun doğal ısısı düşürülür. Kış ayları boyunca yapılan işlem, yaz ayları gelince soğutmada kullanılır. Aynı çalışma prensibinin tersi de yaz ayları boyunca geçerlidir. Herhangi bir ısı kaynağından elde edilen (güneş enerjisi, dış ortam sıcaklığı sıcak, atık ısı v.s) sıcak su yaz ayları boyunca kanalda dolaştırılarak hedef bölgede ki jeolojik formasyonun doğal ısısı kanal aracılığı ile yükseltilir. Bir sonraki kış bu sıcaklık yine kanal aracılığı ile alınıp ısıtmada kullanılır (Şekil 1.5.). Böylece elektrik enerjisi kullanımından tasarruf sağlanmakla beraber soğutma ve/veya ısıtmada kullanılacak cihazlarda verim yükseltilip çap düşürülme imkanı sağlanmaktadır. BTES tekniklerinde genelde yer yüzeyine dik derin kuyular tercih edilmekle birlikte, kimi uygulamalarda kanallar yer yüzeyine paralel de olabilmektedir (Şekil 1.6. ve Şekil 1.7).

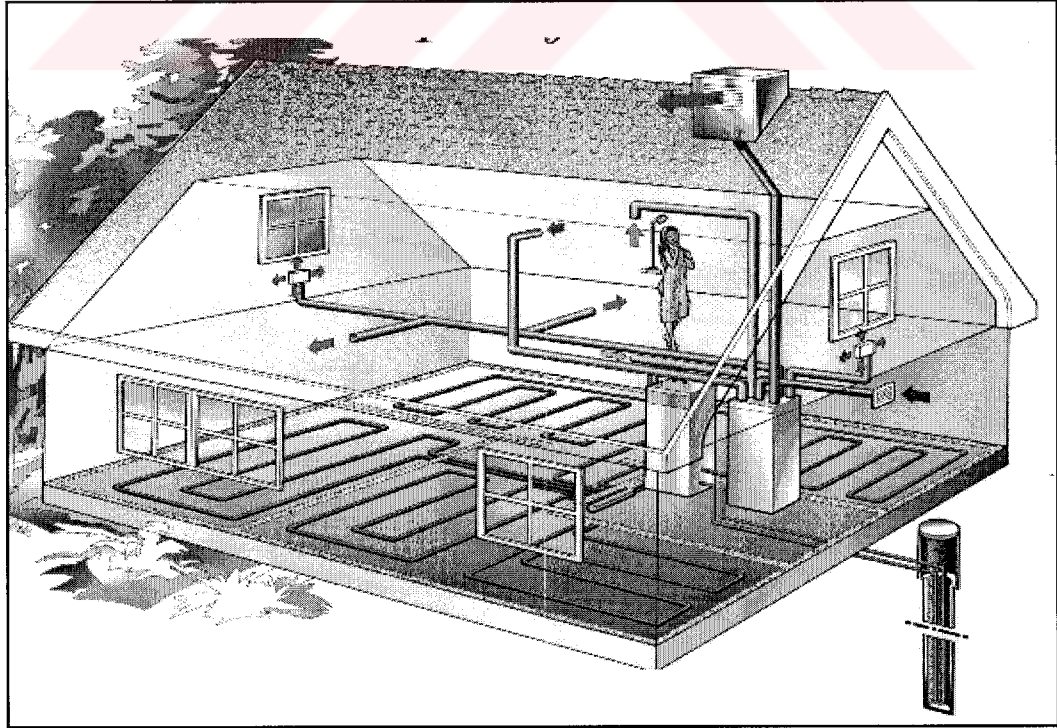


Şekil 1.5. BTES tekniğinin temel çalışma prensibi





Şekil 1.6. BTES tekniğinde yatay kanal metodu



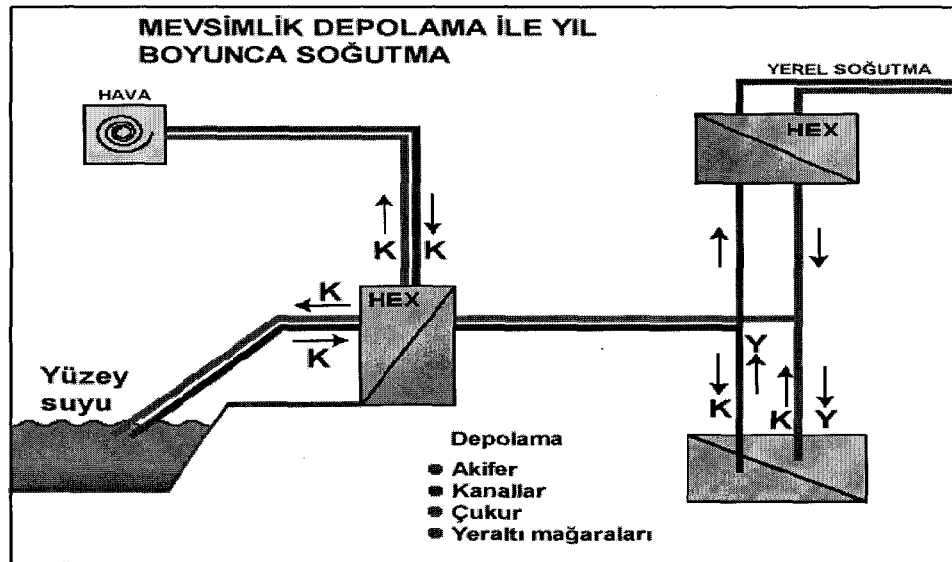
Şekil 1.7. BTES tekniğinde dikey kanal metodu

### 1.3.1.3. Tank, Çukur ve Kaya Oyuklarında Depolama (CTES)

UTES tekniklerinden sonuncusu olup, diğer iki yöntemle göre daha az uygulaması bulunmaktadır. Bu sistemin rağbet görmemesinin nedeni, yeraltında termal depolama amaçlı tanklar, çukurlar v.s inşasının ekonomik olmamasıdır. CTES teknikleri özellikle İsviçre, Almanya ve ABD’de araştırma amaçlı kullanılmaktadır.

CTES tekniğinin en ekonomik olan şekli, yeraltı mağaraları ve karstik boşluklarda yapılan depolamadır. Ancak depolamanın gerçekleştirilebilmesi için söz konusu oluşumların yerleşim yerlerine yakın yerlerde olması ve yapılarının depolamaya karşı uygun olması gerekmektedir. Bütün bu şartların yanına birde iklim koşulları ve enerji talebinin yeterliliği eklenince bu tip CTES uygulamaları da yaygınlaşamamıştır. İsveç’te bu tip başarılı CTES uygulamaları bulunmaktadır (Andersson, 1997).

CTES uygulamalarında da ATES ve BTES’de olduğu gibi soğuk depolama için kaynak, kış ayları boyunca mevcut bulunan yüzey suyu veya dış ortam soğukluğu olup yaz ayları için ise yine güneş enerjisi veya atık ısılar kullanılmaktadır (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. UTES tekniklerinde soğuk depolama kaynağı

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

1973'ten bugüne Uluslararası Enerji Ajansı Enerji Depolaması ile Enerji Tasarrufu Uygulama Anlaşması (IEA ECES-IA) kapsamında termal enerji depolama sistemleri ve özellikle yeraltında termal enerji depolama sistemleri üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Söz konusu çalışmalar Annex adı altında gruplar oluşturularak yürütülmektedir. Annex'lerin çalışması, Uygulama Anlaşmasına üye ülkelerden konu ile ilgili uzmanlar katılımı ile olmaktadır. Aşağıda tez konusu ile ilgili Annex'lerin listesi ve kısaca çalışma konuları verilmiştir.

**Annex 6 (1987-1996)** “ATES sistemlerinde kimyasal ve çevresel durum ve su şartlandırma metotları üzerine araştırma geliştirme” konulu çalışma Hollanda'nın önderliğinde yürütülmüş olup Kanada, Danimarka, Finlandiya, Almanya, İsveç, İsviçre ve ABD'den uzmanlar katılmışlardır. Bu çalışmanın amacı; ATES uygulamalarında karşılaşılabilecek kimyasal ve çevresel etkilerin ortaya konmasıdır. ATES sistemlerinde karşılaşılabilecek potansiyel problem kuyu borularında zamanla oluşacak paslanma ve tıkanmadır. Bu probleme çözüm aramak ve depolama alanı etrafındaki ekolojik çevrenin korunması amacı ile yer altı sularında kimyasal geliştirme ve testler üzerine bir çalışma grubu oluşturulmuştur.

**Annex 8 (1994-2000)** İsveç'in yürütücülüğünü üstlendiği “UTES uygulamaları” Annex'inin amacı UTES sistemlerinin farklı sektörlerde (Sanayi, Konut, Tarım) uygulanabilirliğini hızlandırmaktır. Bu amaçla standart projelere UTES tekniklerinin adapte edilmesi ve bu adaptasyon için gerekli araştırma ve geliştirmenin yanı sıra bu çalışmaların dokümantasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu araştırmanın bir başka ürünü ise konu ile ilgili bilgisayar simülasyonları ve modellemeleridir. Üye ülkeler; Belçika, Kanada, Hollanda, Türkiye ve ABD'dir.

**Annex 13 (1997- )** “UTES uygulamalar için kuyu tasarım ve açım yöntemleri” çalışmasına İsveç'in yürütücülüğünde Hollanda, ABD, Türkiye, Belçika, Japonya, Almanya ve Kanada'dan uzmanların katılımıyla gerçekleşmiştir. Annex 13'ün amacı adından da anlaşılacağı gibi UTES uygulamaları için açılması gereken kuyuların tasarımını yapmak ve sondaj sırasında karşılaşılabilecek potansiyel problemleri önceden belirlemek ve uygun çözümler üretmektir. Annex 13 kendi içinde de 4 konu başlığı altında çalışmaktadır. Bunlar;



- a) Üye ülkelerin UTES için açılan sondajlar üzerine standartlarını belirlemek, yok ise bu sistem için standart belirlemek.
- b) UTES uygulamaları için açılması planlanan kuyu ve kanallarla ilgili uygulama sırasında karşılaşılabilecek problemlerin ortaya konması ve problemler üzerine araştırma geliştirme çalışmalarının yapılması.
- c) Araştırma sondajları için bir kural kitapçığı geliştirme, kuyu, kanal tasarımı ve açımı
- d) UTES sistemlerinin çalışması esnasında kuyu/kanal nedeni ile meydana gelen veya gelebilecek hataların belirlenmesi ve meydana gelen veya gelebilecek hatalara çözüm üretilmesi, izlenmesi ve rehabilitasyonu.

Annex 13 kapsamında süren çalışmalar henüz tamamlanmamıştır.

Araştırmanın tamamlanma tarihi 2002 yılının sonu olarak planlanmıştır

**Guiguer ve ark., (1995)**'te ATES uygulamaları için açılan araştırma kuyularından elde edilen hidrojeolojik parametrelerin değerlendirilebildiği sayısal bir model geliştirmişlerdir (MODFLOW). Bu model kullanımı sonucu araştırma alanındaki kuyuların kapasitesinin ATES uygulamaları için uygun olup olmadığı saptanabilmektedir. Bununla birlikte yer altı suyunun kimyasal ve fizikler özelliklerinin belirlenmesi ve pompaj sonucu kuyulardaki statik ve dinamik seviyelerin izlenmesi imkanı vermektedir.

**Claesson ve ark., (1996)** İsveç'li araştırmacının geliştirdiği bilgisayar simülasyon modeli (CONFLOW) ile ATES uygulamalarında araştırma kuyusundan elde edilen hidrojeolojik verileri kullanarak, yapılacak enerji depolaması sonucunda kuyular etrafındaki sıcaklık yayılımını takip etme imkanı sağlamıştır. Böylece optimum ve ekonomik bir sistem tasarlama imkanı doğmuştur.

**Paksoy ve ark., (1997)** Türkiye'deki yeraltında termal enerji depolama potansiyelinin belirlenmesi çalışmalarının ilk sonuçlara göre konut, sanayi ve tarım sektörlerinde bu sistemlerin uygulanabileceği yerler belirlenmiştir. Türkiye'de enerji tüketiminde ilk iki sırayı paylaşan konut (17630 BTEP) ve sanayi (17884 BTEP) sektöründe yeraltında ısı enerjisi depolamasına uygun alanlar çok geniştir. Tarım sektöründe ise ısıtma ve soğutma gereksinimini karşılamak için özellikle seralarda, ürün kurutma ve balık üretme çiftliklerinde kullanılabilir. Bu sistemlerin yaygın

olarak uygulanabilmeleri durumunda toplam enerji tüketiminde %10-%20 arası tasarruf sağlanabileceği tahmin edilmektedir. Özellikle elektrik enerjisinden tasarruf sağlayan soğutma amaçlı depolamanın, elektrik kısıntılarının gündemde olduğu şu günlerde değerlendirilmesi gerekir. Bu potansiyel belirleme çalışması sırasında coğrafik bilgi sisteminden (GIS) yararlanarak nüfus, iklim, jeoloji, hidrojeoloji, sanayi bölgeleri, enerji kullanımı ve çevre etkileri, tarımsal üretim gibi konular analiz edilerek Türkiye'deki yeraltı termal enerji depolama potansiyeli yüksek olan alanları gösteren haritalar hazırlanmıştır (Şekil 2.1).

**Dikici, (1997)** Yeraltında termal enerji depolama tekniklerinde kimyasal sorunlar adı altında yılında yaptığı çalışmada akiferde termal enerji depolama tekniğinde karşılaşılabilecek kimyasal sorunlar ve bu sorunların çözümleri üzerine bir yüksek lisans tezi hazırlamıştır.

**Andersson, (1998)**'e UTES sistemlerinde meydana gelebilecek muhtemel sorunlar ve sistemlerin yasalar ile ilişkisine yönelik yaptığı çalışmada İsveç'in Malmö kentinde mahkeme kararı ile büyük ölçekli ATES uygulamaları yasaklanmıştır. Bu karara gerekçe olarak kuyu etrafındaki sıcaklığın değişimi gösterilmiştir.

**Diersch, (1998)**'de geliştirdiği bilgisayar modeli ile (FEFLOW) hedef akifer'in pompaj ve besleme sonucu iki boyutlu geometrisini izleme imkanı bulunmaktadır. Bu simülasyon programının amacında diğer programlar gibi optimum ve ekonomik tasarıma yardımcı olmaktadır.

**Gehlin, (1998)**'de yaptığı yüksek lisans tezinde; yerinde termal duyarlılık testi ilk olarak 1983 yılında Danimarkalı bilim adama Palne MOGENSE tarafından İsveç'in başkenti Stokholm'de düzenlenen termal enerji depolama konulu konferansta ortaya atıldığını belirtmiştir. Bu gelişmenin ardından İsveç'in Lulea kentinde kurulu bulunan Lulea Teknoloji Üniversitesinde ve ABD'de kurulu bulunan Oklahoma Üniversitesinde 1995-1996 yıllarında birbirleri ile eş zamanlı tasarlayıp yapılmıştır. Bu cihazları şu an kullanmakta olan ülkeler ise ABD, Almanya, Hollanda, Kanada, Norveç, İsveç, İngiltere ve Türkiye'dir.

**Andersson ve ark., (2000)**'de yaptıkları çalışmada, UTES uygulamaları için açılan araştırma kuyularından jeolojik ve hidrojeolojik parametrelerin toplanmasına



ilişkin bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, alınacak ölçümleri sondaj sırasında ve sonrasında olmak üzere iki kısımda incelemişlerdir. Sondaj sırasında olan ölçümler ise kendi arasında 3'e ayrılırken sondaj sonrası ölçümler 4'e ayrılmıştır. Bunlar;

I) Sondaj sırasında örnek alınacak parametreler

1) Örnekleme a)kesilen formasyondan b)var ise kesilen formasyondan çıkan sudan c) ve sondaj çamurundan. 2) Sondaj süresince ölçülmesi gereken hidrolik parametreler ise a) sondaj sıvısındaki kayıplar b) statik seviye. 3) Takip edilmesi gereken sondaj parametreleri ise a)sondaj makinesinin torku b) sondaj sıvısı basıncı c) dönme hızı d)ve delme hızıdır.

II) Sondaj sonrası alınacak ölçümler ise 1)Jeofizik ölçümler a)Doğal Gama b) Yoğunluk c)Resistivite d) Akım logu v.s 2) Hidrojeolojik testler a) Kapasite testi b) Pompaj testi 3) Termal Test (BTES Kuyusu ise) a) Termal duyarlılık testi b)termal profil 4) Örnekleme a)Kesilen formasyonda çıkan su olarak sıralanmıştır.

Yukarıda sıralanan söz konusu parametreler dikkatli bir şekilde toplandıktan sonra değerlendirilir ve veriler ışığında uygun UTES tasarımı yapılabilir.

**Andersson, (1999)**'a göre dünyada çalışmakta olan UTES uygulamalarının %40'a yakınında kuyuların yanlış tasarımı sonucu meydana gelen hatalar olduğunu vurgulamıştır. Söz konusu tasarım hatalarının hemen tamamı hedef bölgedeki jeolojik ve hidrojeolojik yapının tam anlamı ile ortaya konmaması nedeni ile meydana gelmiştir. Bu problemlerin büyük bir kısmı basit ölçümler ile giderilmiştir. Meydana gelen hatalardan %15'i kuyu kapasitesinin yetersiz oluşu ve geri kalan büyük kısmının da filtreli kuyu borularında tıkanma ve demir çökmesinden kaynaklandığı vurgulanmıştır.

**Andersson ve ark., (2000)** İsveç'in, IEA ECES-IA ile ortak yürüttüğü araştırmalar kapsamında, UTES sistemi uygulamalarında kuyu ve kanallardan kaynaklanana hataların en alt düzeye çekilmesi amacı ile bilgisayarla modelleme ve simülasyonları üzerine yoğunlaşmıştır.

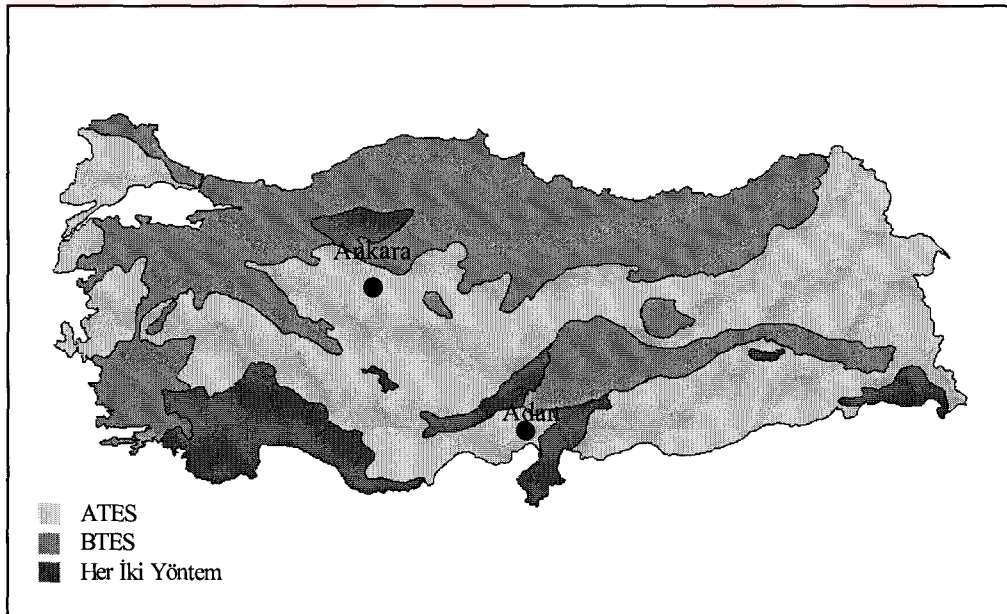
**Snijders ve ark., (2000)**'in Hollanda'da 100 ATES uygulamasından alınan dersler adlı yaptığı çalışmada hidrojeolojik ve jeolojik parametrelerin sağlıklı saptanmaması nedeni ile ortaya çıkan sorunlar ve bu sorunların çözüm önerilerini sunmuştur.

**Dupasquier ve ark., (2000)**'de **Diersch'in** 1998 yılında geliştirdiği FEFLOW modelini kullanarak 180 gün boyunca yapılan pompaj ve besleme sonucunda elde edilen hidrojeolojik verileri kullanarak akiferdeki ve depolama alanındaki termal değişimleri saptamaya çalışmışlardır.

**Elswijk ve ark., (2000)**'de yaptıkları ATES için en uygun kuyu konfigürasyonu ve optimizasyonu adlı çalışmada sistemin başarılı çalışması için hedef alanda izlenecek yolları madde, madde sıralamışlardır. Bunlar; a) Akifer seçimi b) Filtreli boruların seviyesinin belirlenmesi c) Sıcak ve soğu depolama yapılan kuyular arasındaki uzaklık d) Kuyuların doğal yer altı akışı ile yaptıkları çizgisel bağlantı açısının saptanması e) Sıcak ve soğuk kuyuların birbirleri ile olan durumunun belirlenmesidir.

**Gehlin ve Hellström, (2000)** Büyük ölçekli BTES uygulamalarında optimum ve ekonomik tasarım için yerinde termal duyarlılık testinin (TDT) gerekliliği vurgulamıştır. Bununla birlikte İsveç'in 17 farklı bölgesinde alınan TDT sonuçlarını sınıflandırmışlardır.

**Spitler ve ark., (2000)** Yerin termal özelliklerinin yerinde belirlenmesi adlı çalışmada, yer kaynaklı ısı pompaları (GSHP's) için ve BTES uygulamaları için en uygun tasarımın TDT ölçümleri sonucunda yapılacağını tekrar vurgulamışlardır.



Şekil 2.1. Türkiye'de UTES potansiyeli (Paksoy ve ark., 1997)

**Cruickshanks ve ark., (2000)**'de yaptıkları çalışmada Kanada'nın Nova Scotia eyaleti Halifax şehrinde bulunan Cunard Formasyonunun termal özelliklerini, yerinde termal duyarlılık testi ile belirlemişlerdir. Bulunan sonuçlar ışığında geniş kapsamlı bir BTES sistemi tasarlamışlardır.

**Sanner ve ark., (2000)**'de yaptıkları çalışmada yerinde termal duyarlılık testinin geniş ölçekli yer kaynaklı ısı pompası (GSHP's) ve BTES uygulamalarında tasarım açısından büyük önem taşıdığını vurgulamışlardır. Yine aynı çalışmada Almanya'nın değişik bölgelerinde bulunan farklı jeolojik formasyonlardan alınan yerinde termal duyarlılık testi sonuçlarının verildiği bir sınıflama bulunmaktadır.



### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1. Materyal

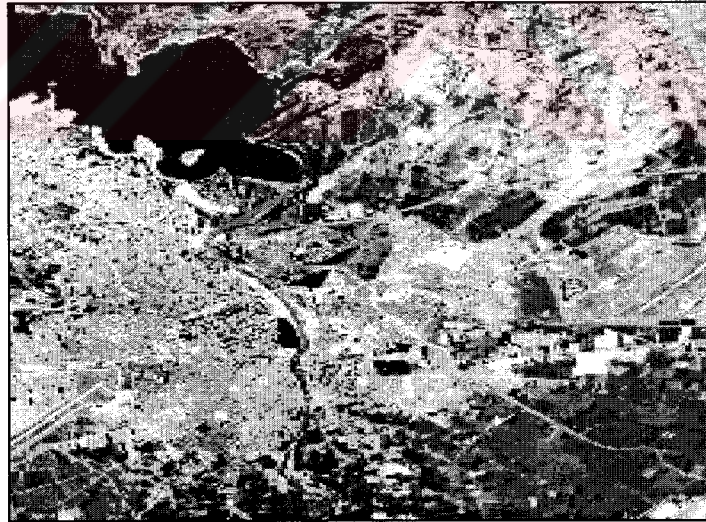
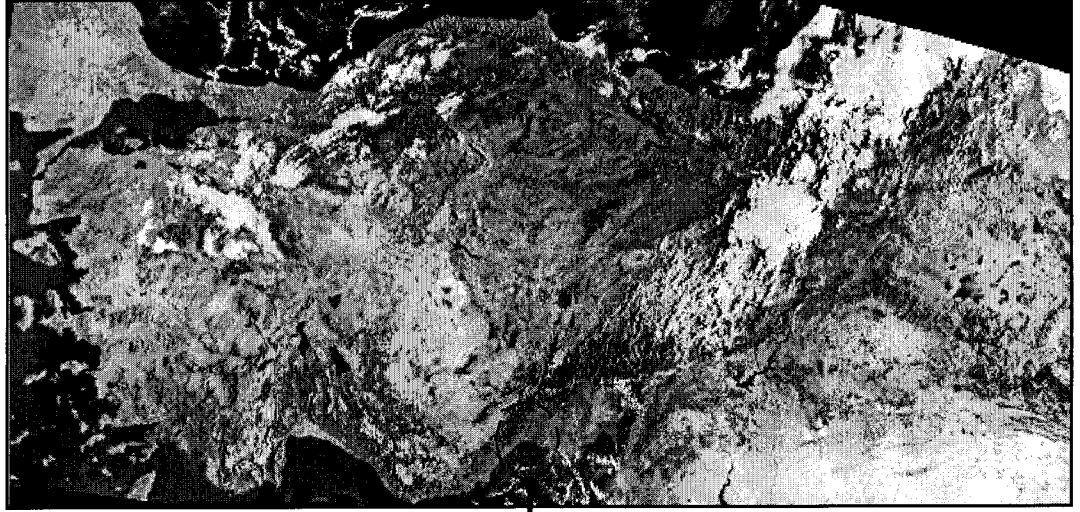
Bu çalışma, UTES teknikleri arasında, teknolojik ve ekonomik uygulanabilirliği nedeni ile daha çok tercih edilen, ATES ve BTES sistemlerinin tasarımı ve sistem güvenliği üzerine en önemli belirleyici koşulu olan jeolojik, hidrojeolojik ve hedef alandaki jeolojik formasyonun termal parametrelerinin irdelenmesi üzerine yapılmıştır. İki farklı yöntem üzerinde durulduğundan iki adet araştırma alanı bulunmaktadır.

Birinci araştırma alanı olarak Balcalı (Adana) yöresi seçilmiştir. Bu alanın belirlenmesindeki amaç Çukurova Üniversitesi Balcalı Araştırma ve Uygulama Hastanesinin Ek Binasının ATES ile iklimlendirmesi olup, proje alanına yakınlığı en önemli nedendir. Şekil 3.1.'de I. araştırma alanı uydu fotoğrafı, Şekil 3.3.'de ise konumunu gösteren 1/25.000 ölçekli topoğrafik harita bulunmaktadır.

İkinci araştırma alanı ise Hadımköy (İstanbul) ilçesi sınırları içindedir. Şekil 3.2.'de II. araştırma alanı uydu fotoğrafı, Şekil 3.4'te ise 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritası verilmiştir. Bu sahanın seçilmesinin en önemli nedeni ise termal duyarlılık testi için uygun kuyuların açılmış olmasıdır. Termal duyarlılık testi ölçümlerinin alındığı kuyular, İstanbul'da GSHP's (yer kaynaklı ısı pompası) uygulamaları üzerine çalışan özel bir firma tarafından açılmıştır.

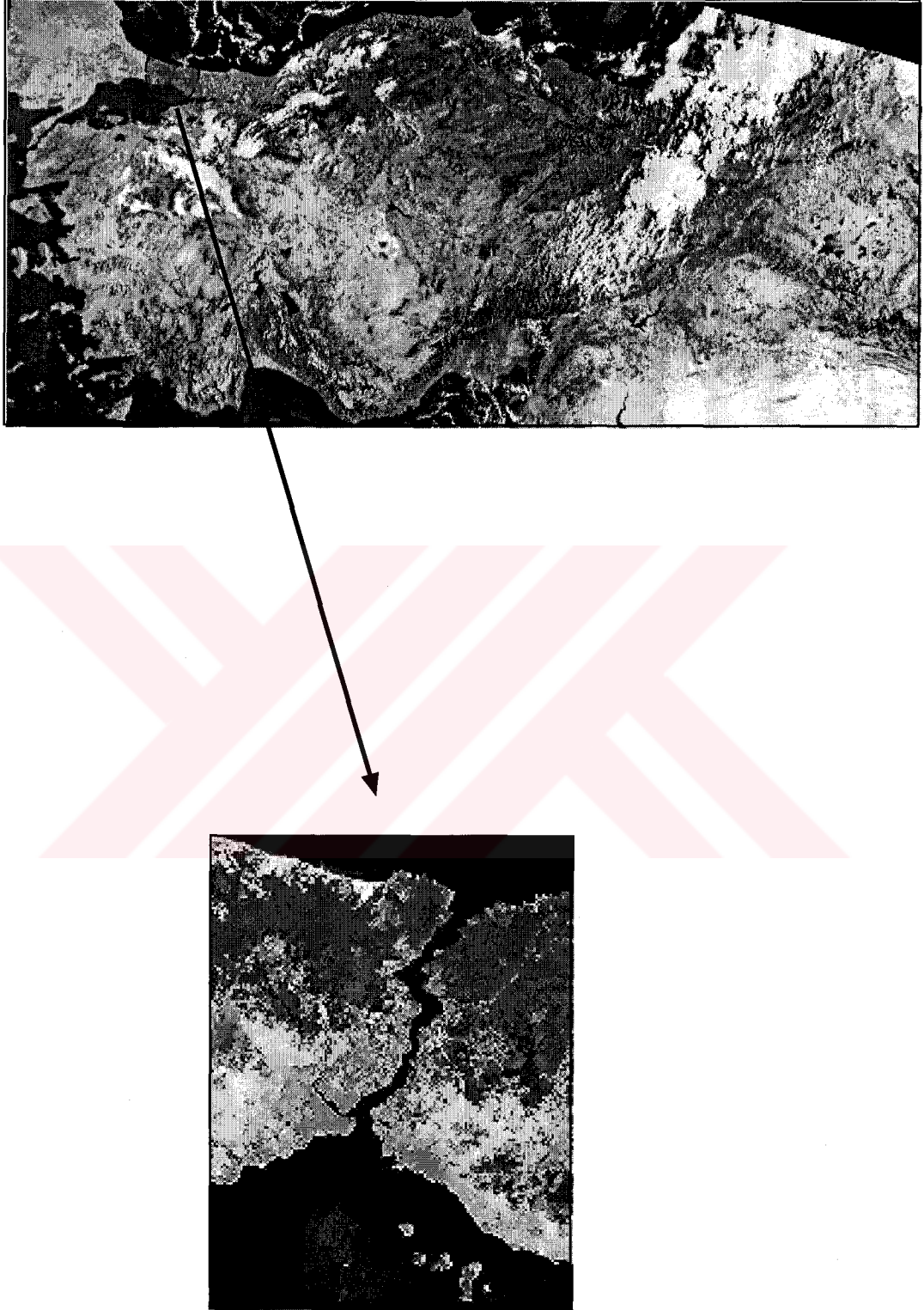
Hedefe yönelik çalışmalar başlıca ön araştırma, saha çalışması ve sahada elde edilen verilerin laboratuvar ve ofiste değerlendirilmesi olarak sıralanabilir. Saha çalışmaları sırasında coğrafik konumlandırma sistemi (GPS) , piyezometrik seviye ölçer, kimyasal ölçüm kiti, termal duyarlılık testi cihazı, jeofizik ölçüm cihazları (IP, SP ve Naturel Gama) kullanılmıştır. ATES tekniği için ofis çalışmaları kapsamında, IEA ECES-IA uzmanlarınca yazılmış Conflow (Cleasson ve ark., 1996) bilgisayar simülasyon programı kullanılmıştır. Bu program aracılığı ile ATES kuyularında sıcak-soğuk besleme ve çekim sonucu meydana gelen ısı değişimi ve yayılımları izlenmiş ve sonuçlar optimum tasarım için kullanılmıştır.





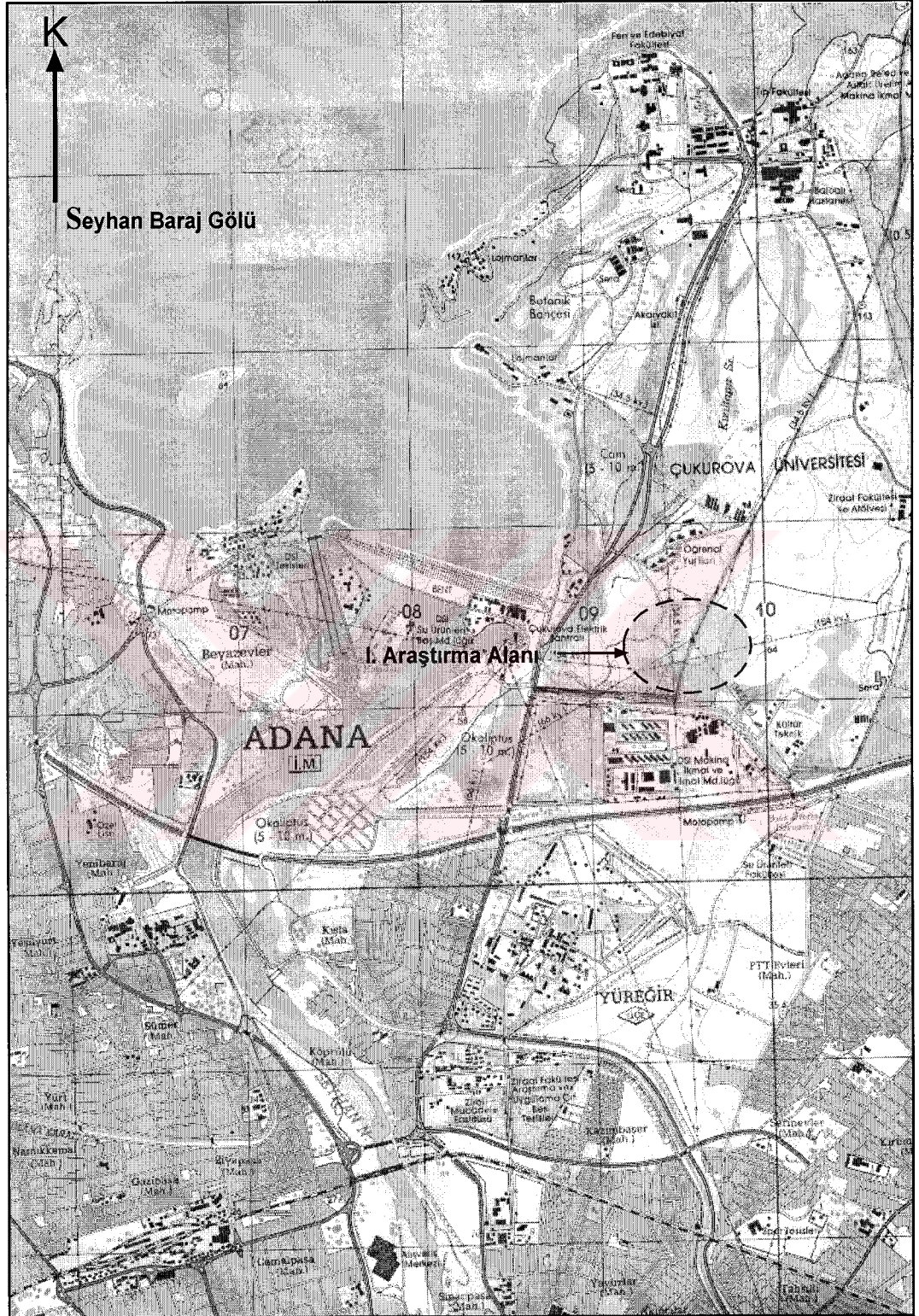
Şekil 3.1. I. Araştırma alanı uydu fotoğrafı





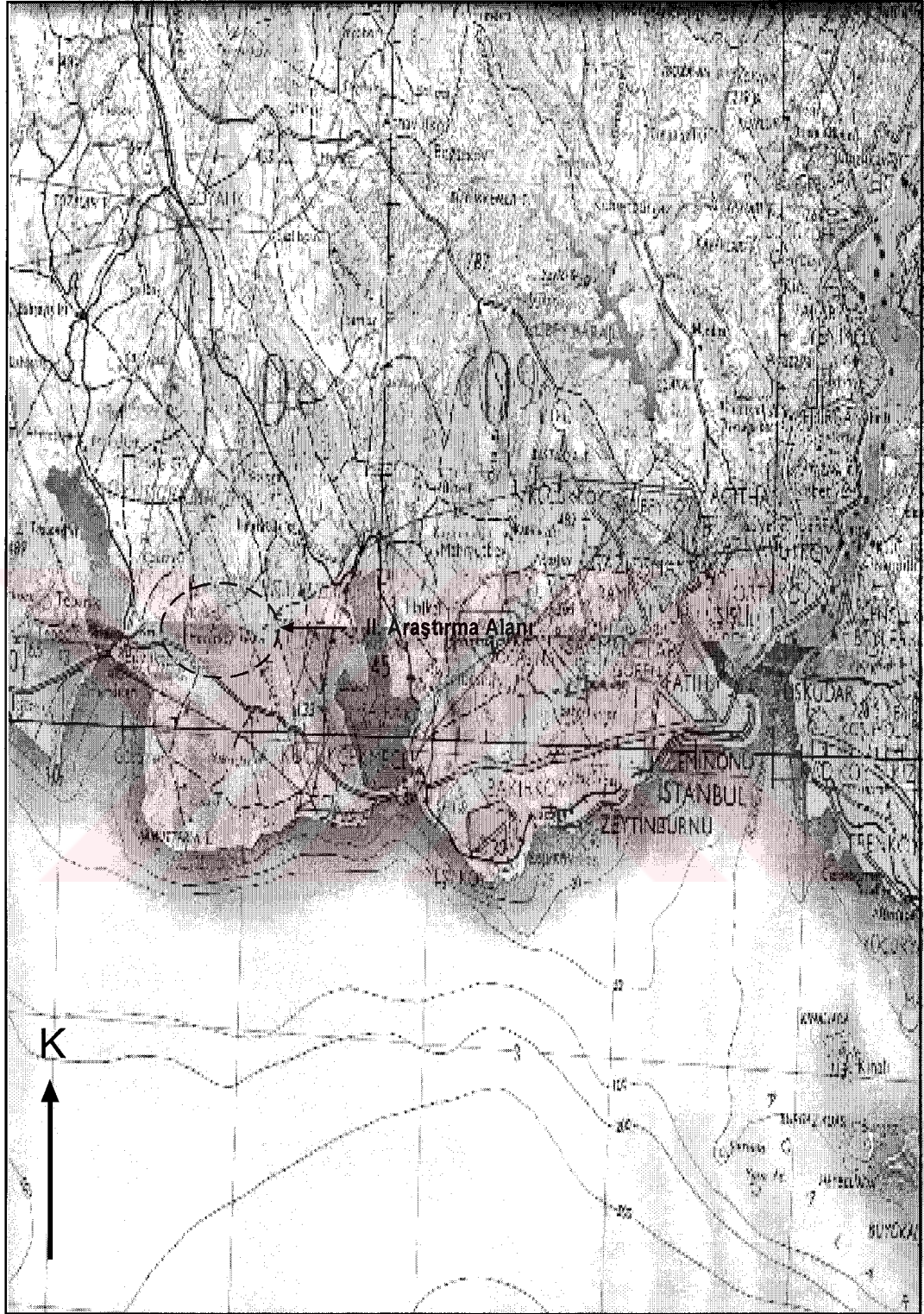
Şekil 3.2. II. Araştırma alanı uydu fotoğrafı





Şekil 3.3. I. Araştırma alanı konumu (1/25.000)





Şekil 3.4. II. Araştırma alanı konumu (1/100.000)

### 3.1.1. Termal Duyarlılık Testi Cihazı (TDT)

Yeraltında bulunan jeolojik formasyonların termal özelliklerinin belirlenmesi, yeraltı kanallarında termal enerji depolama ve yer kaynaklı ısı pompası uygulamalarında, uygun tasarım için önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra test sonuçlarından elde edilen termal özelliklere (Termal iletkenlik  $\lambda$ , ve Termal direnç  $R_b$ ) bağlı kalınarak yapılan tasarımlar sistemin ekonomik uygunluğunu da sağlamaktadır. Günümüzde yeraltındaki jeolojik formasyonların termal özelliklerinin yerinde belirlenmesi konusunda hareketli termal duyarlılık testi cihazından (Şekil 3.5.) daha uygun bilinen bir metod henüz yoktur. Yerinde termal duyarlılık testi ilk olarak 1983 yılında Danimarkalı bilim adamı Palne MOGENSE tarafından İsveç'in başkenti Stokholm'de düzenlenen termal enerji depolama konulu konferansta ortaya atılmıştır. Bu gelişmenin ardından İsveç'in Lulea kentinde kurulu bulunan Lulea Teknik Üniversitesinde ve ABD'de kurulu bulunan Oklahoma Üniversitesinde 1995-1996 yıllarında birbirleri ile eş zamanlı tasarlanıp yapılmıştır. Bu cihazları şu an kullanmakta olan ülkeler ise ABD, Almanya, Hollanda, Kanada, Norveç, İsveç, İngiltere ve Türkiye'dir.

Türkiye'de Çukurova Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi envanterinde bulunan TDT cihazı, merkezin IEA ECES-IA çatısı altında faaliyet gösteren Annex 8 ve Annex 13'teki başarılı çalışmaları sonucu Kasım 2000 tarihinde Lulea Teknik Üniversitesi tarafından hibe edilmiştir.

### 3.1.2. TDT'nin Çalışma Prensipleri

TDT'nin amacı yukarıda da belirtildiği üzere yer altında bulunan jeolojik formasyonların yerinde termal dirençlerini ( $R_b$ ) ve termal iletkenliklerini saptamaktır ( $\lambda$ ). Cihaz taşınabilir olması nedeni ile araç girebilen istenilen her yerde ölçüm alma şansını bize verir. Üç faz elektrik hattı ile çalışan TDT cihazı sirkülasyon sıvısı olarak çeşme suyu kullanmaktadır. Bir motorlu araç arkasına bağlanmaktadır. Ağırlığı yaklaşık 470 kg dir. Ölçüleri Şekil 3.6.'da verilmektedir.

Cihazın içerisinde bulunan aparatlar ise şunlardır;

- Su deposu
- Debi ölçer
- Sirkülasyon pompası
- Veri kayıt cihazı
- Isıtıcı (4x3 kW)
- Elektrik kontrol panosu
- Otomasyon içi gerekli vana, boru ve göstergeler (Şekil 3.7.)

Cihaz, su deposuna doldurulan su ile test alanının içinde açılan ve içine polietilen “U” boru indirilen kuyuya bağlanır. İlk etapta yeraltı sıcaklığının ve depodaki suyun termal dengeye gelmesi için 20-30 dakika kadar oluşturulan kapalı döngü, sirkülasyon pompası aracılığı ile başlatılır. Sirkülasyon basıncının 2-3 bar civarında olmasına dikkat edilmelidir. Basınç devamlı olarak cihaz üzerinde bulunan barometre aracılığı ile takip edilmelidir. Deney başladıktan sonra ilk 10 dakika içerisinde sistem içindeki hava alınmalıdır.

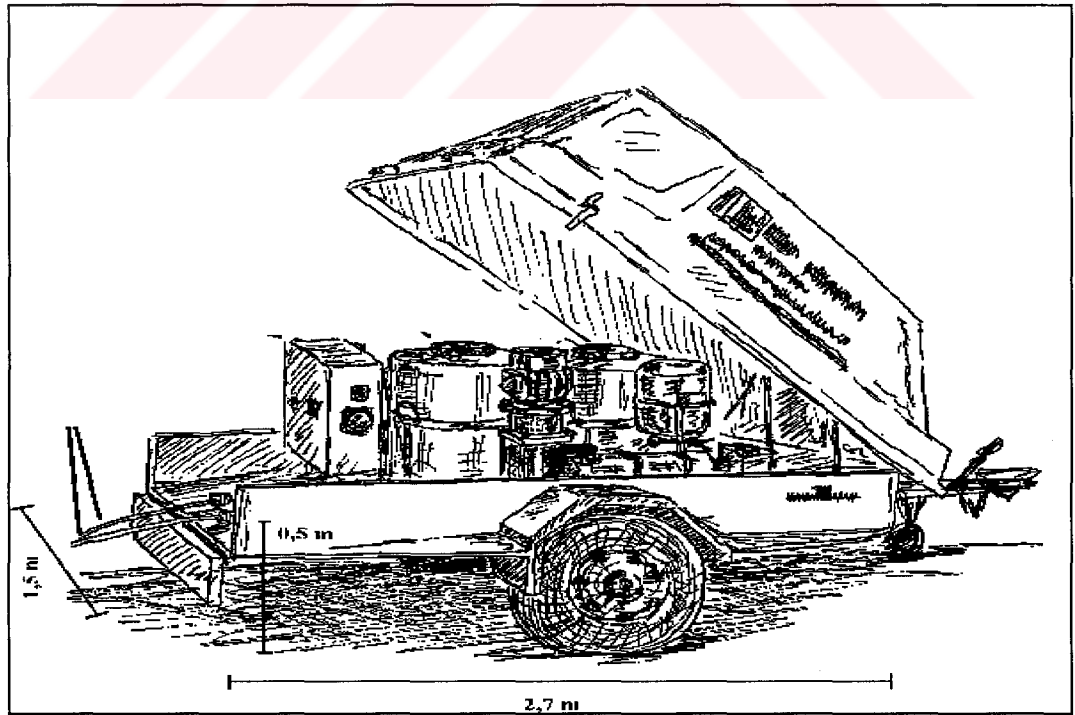
Daha sonra kuyunun derinliğine göre belirli güçte ısıtıcı açılır. Cihaz üzerinde 4x3kW gücünde ısıtıcı bulunmaktadır. Önerilen 100m. derinlikte olan kuyularda 3kW, 150m. derinlikte kuyular için 6kW, 200m. derinlikte olan kuyular için 9kW ve 200m.’den derin olan kuyular için 12kW’lık güç uygulanmasıdır. Isıtıcı çalıştırıldıktan sonra elektrik panosu içindeki sayaçtan güç okuması yapılır ve kayıt edilir. Veri kayıt cihazı sirkülasyon boyunca her 10 dakikada bir suyun kuyuya giriş, çıkış ve dış ortam sıcaklıklarını kaydeder (Şekil 3.8.). Sistem 50 saatten az olmamak şartı ile çalıştırılır. Deney sonunda bir diz üstü bilgisayar aracılığı ile veri kayıt sistemine bağlanılır ve kaydedilen veriler bilgisayara alınır. Bundan sonraki aşama bilgisayarda söz konusu verilerin değerlendirme aşamasıdır.

Deney bittikten sonra sistem içindeki su boşaltılır. Elektrik panosunun içindeki sayaçtan yeniden güç okuması yapılır ve vanalar kapatılır. Deney sonundaki güç okumasından, başlangıcındaki güç okuması çıkarılarak kayıt edilir.

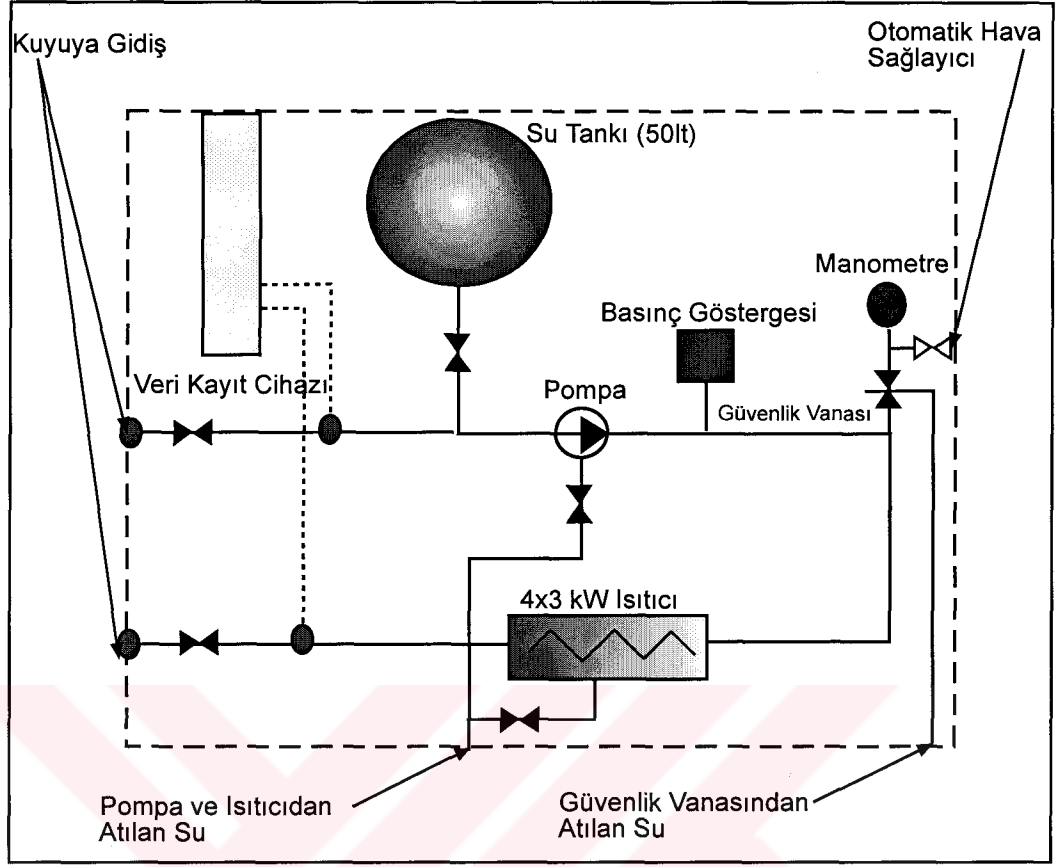




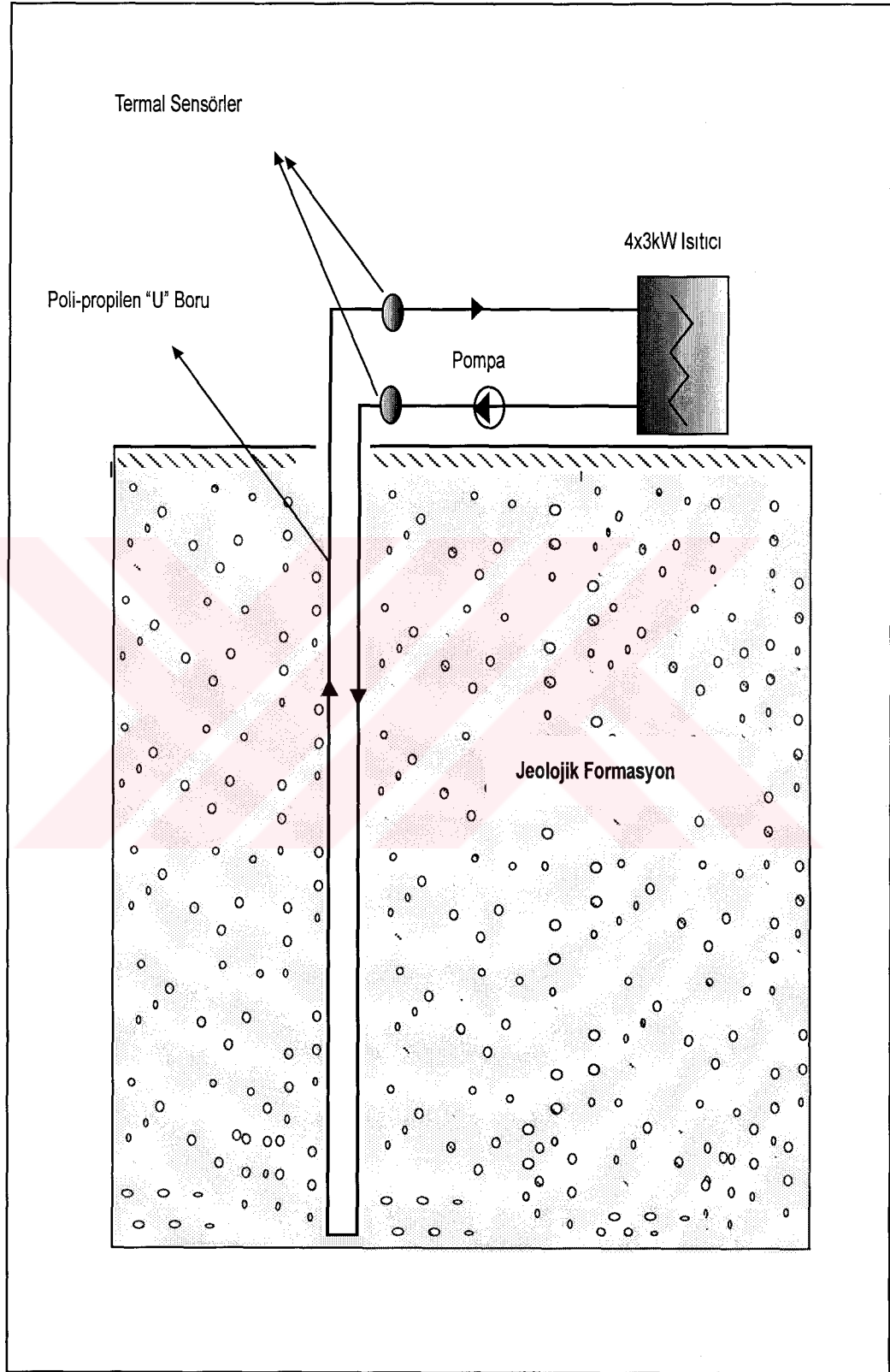
Şekil 3.5. Termal duyarlılık testi (TDT) cihazı



Şekil 3.6. Termal duyarlılık testi (TDT) cihazının ölçüleri (Gehlin, 1998)



Şekil 3.7. TDT cihazı akış şeması (Gehlin, 1998)



Şekil 3.8. TDT cihazı çalışma prensibi

### 3.2. METOD

Bu çalışmada iki farklı depolama yöntemi için iki farklı metod uygulanmıştır. Metotlardan birincisi ATES tekniklerinde jeolojik ve hidrojeolojik koşulların belirlenmesidir. Diğer ikinci metot ise BTES uygulamalarında hedef bölgede ki jeolojik formasyonun termal parametrelerinin belirlenmesine yöneliktir.

#### 3.2.1. ATES Tekniğinde Jeolojik ve Hidrojeolojik Koşulların Belirlenmesinde Kullanılan Metod

ATES tekniğinde, tasarlanan sistemin başarısı büyük ölçüde akifer ile ısıtma-soğutma ekipmanları arasındaki bağlantıyı sağlayan kuyuların tasarımına ve verimine bağlıdır. ATES tekniğinde sondaj öncesi, sırası ve sonrasında uygulanması gereken teknik şartlar temel olarak dört grupta incelenebilir;

- a. Ön Araştırma
- b. Araştırma Kuyusu
- c. Bilgisayar Ortamında Simülasyon
- d. Nihai ATES Kuyularının Sondajı

Açılacak her kuyuda olduğu gibi, açılan araştırma kuyusunun coğrafik koordinatları belirlenmiştir. Bu koordinatlardan faydalanarak bölgede daha önce yapılmış jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik raporlar bulunup bölge hakkında ön araştırma yapılmıştır. Bölgede bulunan yüzey suları, drenaj ağları ve daha önce açılmış kuyular belirlenmiş ve bunların birbirleri arasındaki bağlantının varlığı kontrol edilmiştir. Açılan araştırma kuyusundan toplanan verilerin değerlendirilmesinin amacı, aşağıda sıralanan parametrelerin aydınlatılmasına yöneliktir. Bu parametreler;

- Akiferin varlığının belirlenmesi,
- Akiferin bulunduğu jeolojik formasyonun belirlenmesi,



- Yeraltı su seviyesinin (YASS) statik ve dinamik değerlerinin belirlenmesi
- Akiferin özgül tutum , özgül verim ve düşümünün belirlenmesi
- Akiferin kalınlığının belirlenmesi
- Yeraltı sularının akım yönü ve hızının belirlenmesi
- Transmisibilite, porozite ve permeabilite gibi hidrojeolojik koşulların belirlenmesi
- Akiferin çevre yüzey suları ve komşu kuyularla ilişkisinin belirlenmesi,
- Suyun kimyasal bileşiminin analizi

#### 3.2.1.1. Araştırma Kuyusu

I. Araştırma alanında yukarıda belirtilen parametrelerin ortaya konması amacı ile araştırma kuyusu açılmış. Açılan kuyu, alınan jeofizik ölçümler ışığında borulanmış ve çakılanmıştır. Kuyu inkişafı işlemleri basamak basamak yapılmıştır. Ayrıca kuyudan alınan su örneklerinin kimyasal analizleri yapıldığı gibi kısa süreli pompaj testide yapılmıştır.

#### 3.2.1.2. Bilgisayar Ortamında Simülasyon

Açılan araştırma kuyusunun geliştirilmesi sırasında yapılan kısa süreli pompaj testinden elde edilen veriler kullanılarak CONFLOW akifer simülasyon programında modellemeler yapılmıştır. Böylece hedef alanda bulunan akiferde yapılacak sıcak-soğuk besleme ve çekimler sonucu meydana gelecek sıcaklık yayılımları belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, sıcak kuyu grupları ve soğuk kuyu grupları arasındaki mesafe belirlendiği gibi sıcak ve soğuk soğuk kuyular arasındaki olması gereken optimum uzaklık ve kuyu yerleri belirlenmiştir. Böylece optimum sistem tasarımı yapılmıştır. Kuyular mümkün olduğu kadar dar ve güvenli mesafelerde tasarlanmıştır.

### 3.2.2. BTES Tekniğinde Jeolojik ve Hidrojeolojik Koşulların Belirlenmesinde Kullanılan Metod

ATES tekniğinde olduğu gibi BTES tekniğinde de, tasarlanan sistemin çalışması ve ekonomik yöndeki başarısı büyük ölçüde depolama amaçlı açılan kuyulara bağlıdır. BTES tekniğinde sondaj öncesi, sırası ve sonrasında uygulanması gereken teknik şartlar temel olarak dört grupta incelenebilir;

- a. Ön Araştırma
- b. Araştırma Kuyusu
- c. Bilgisayar Ortamında Simülasyon
- d. Nihai BTED Kuyularının Sondajı

Anlaşılabacağı gibi ATES tekniğinde jeolojik ve hidrojeolojik koşulların belirlenmesinde kullanılan metot ile BTES tekniğinde jeolojik ve hidrojeolojik koşulların belirlenmesinde kullanılan metot, temel olarak aynı özellikleri taşımaktadır. Ancak iki metot arasındaki temel farklılık, araştırma kuyusunda yapılan ölçümler ile kullanılan bilgisayar simülasyon programlarıdır. Bunun nedeni teknikler arasındaki çalışma prensibinin farklılığıdır.

#### 3.2.2.1. Araştırma Kuyusu

II. araştırma alanında açılan kuyulardan bir tanesi yukarıda belirtilen parametrelerin aydınlatılması amacı ile araştırma kuyusu olarak kullanılmıştır. Araştırma kuyusu aracılığı ile bölgedeki jeolojik ve hidrojeolojik yapı hakkında bilgi edinilmiş ve araştırma kuyusunun, borulaması ve dolgu malzemesi enjeksiyonu işlemi takip edilememiştir. Araştırma alanındaki kuyulardan birinde sondaj takip edildiği gibi, sondajı biten bir diğer kuyudan TDT ölçümleri alınmıştır.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

##### 4.1. I. Araştırma Alanının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özelliklerinin İncelemesi

###### 4.1.1. Adana – Balcalı Yöresi ve Civarı Jeolojik İncelemesi

İnceleme alanının da içinde bulunduğu, Adana baseninin büyük bir kesimini Tersiyer birimleri ve havzanın Güney kesiminde yaygın olarak Kuvaterner birimleri ile temsil edilir. İnceleme alanının dışındaki Güvenç Formasyonu üzerine ortamın sıkışıp karasal fasiyese geçtiği Üst Serravaliyen-Messiniyen yaşlı Kuzgun Formasyonu, Kuzgun üyesi ve Memişli Üyesi gelmektedir (Yetiş ve Demirkol, 1986). Memişli Üyesinin tabanını bölgede yaygın mostralara sahip bulunan Salbaş Tüfit Üyesi oluşturur. Daha üstte Messiniyen-Pliyosen yaşlı Handere Formasyonu ve Gökkuyu alçıtaşı üyesi bulunmaktadır.

Adana havzasının güney kesimlerinde yaygın yüzleklere sahip Kuvaterner yaşlı taraça ve kalış birimleri görülmektedir (Yetiş ve Demirkol, 1986).

###### 4.1.1.1. Handere Formasyonu (Üst Miyosen-Pliosen)

Üst Miyosen (Messiniyen)-Pliyosen döneminde çökelen Handere formasyonu (Tha) ilk defa Schmidt (1961) tarafından adlandırılmıştır. Birim özellikle Adana-Misis'in kuzeyinde yüzlek vermektedir. Birim, akarsu-sığ deniz ortamında çökelmiş olan boz renkli çakıtaşı, çakıllı kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşı marn yapıllı olup yer yer alçıtaşı mercikleri birimi oluşturmaktadır. Formasyon aynı yaşta değişik ortamda çökelmiş konglomera, kum taşı, silttaşı, kilaşı/şeyl, fosilli kilaşı-kumtaşı gibi litolojik birimleri içermesi nedeniyle akarsu çökelleri, sığ deniz çökelleri ve kıyı delta çökelleri olarak üç kısımda incelenmektedir. Altta Kuzgun formasyonu üzerinde geçişli bir dokanağa sahip olan birim, üstte Adana baseninin yaygın taraça oluşumları, kalışları ve yer yer de genç alüvyonları ile örtülü bulunmaktadır.

#### 4.1.1.2. Taraça ve Kaliş

Adana baseninde temelde iki tür taraça malzemesi bulunmaktadır. Birincisi, havzanın güneyinde Handere Formasyonunun üzerine gelip, güneye doğru Adana ovasının eski ve yeni alüvyonları ile örtülü olan taraçadır. Bu taraçalar tamamıyla kaliş görünümünde olup yer yer kaliş-taraça ardalanması şeklindedir. İkinci ise Çakıt çayı ve Seyhan nehri kenarlarında az çok paralel olarak yüzeyleyen taraçalardır.

Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı kalişler çalışma alanı ve yakın civarında nispeten küçük alanlarda yüzlekler vermektedirler. Handere Formasyonu üzerinde yer alan taraçalarla birlikte bulunmaktadır. Genelde üst seviyeleri sert (hardpan), alt seviyeleri ise yumuşak (softpan) olan bu kaliş birimin oluşumu iki farklı yaklaşımla açıklanmaktadır. Bunlardan ilki yer altı sularının yüzeye doğru yükselirken buharlaşarak içindeki karbonatın çökmesi şeklindedir. İkinci yaklaşım ise yüzeyden sızan sulardaki karbonatın çökmesi şeklindeki oluşumdur. Üstteki sert kısım yaklaşık 1-2.5 m kalınlığındadır. Bu seviye sarımsı beyaz renklidir. Büyük oranda  $\text{CaCO}_3$ 'dan oluşan sert kısım orta sertlik ve dayanımdaki kayaç özelliği taşımaktadır. Alta doğru ise kalınlığı birkaç metreden 5-15 metreye kadar değişen çok katı-sert zemin özelliğinde, yüksek plastisiteli, kalker yumrulu seviyeler içeren ve su ile temasında şişebilen zemin özelliğindedirler. Adana'nın kuzeyinde özellikle taraça malzemelerinin üzerinde yaygın kaliş oluşumları gözlenmektedir. Güneyde ise Ceyhan nehrinin Karataş'a doğru olan kısımlarında kalişler bulunmaktadır. Kalınlıkları Adana il merkezinde 15-20 metreyi bulmaktadır.

#### 4.1.1.3. Alüvyon

Adana baseninde, Tarsus-Ceyhan E5 karayolunun kuzeyinden başlayarak Akdeniz'e kadar ulaşır. Adana ovasını oluşturan eski alüvyonlar ile dere boylarında gelişmiş genç alüvyonlar (Qa) birlikte bulunmaktadır. Eski alüvyonlar genellikle bitkisel toprak ile örtülü bulunmaktadır. Yeni alüvyonlar ise dere boylarında gelişmiş olup genelde kötü boylanmış, tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil



malzemesinden oluşmaktadır. Seyhan ve Ceyhan Nehirlerinin menderesli yapıları, çok iri taneli malzemeden ziyade iri-ince taneli (kum-silt-kil) malzemelerin çökelmelerine imkan vermektedir. Şehir merkezinden geçen Seyhan nehrinin güney kısımlarında kalın kum, çakıl ve kil malzemeleri bulunmaktadır. Bununla birlikte bu birim nehrin her iki yakasında da oldukça büyük derinlik ve yayılım göstermektedir. DSİ tarafından yapılmış sondajlarda birimin kalınlığı bazı yerlerde 350-400 metreyi bulduğu görülmüştür.

Şekil 4.1.'de I. araştırma alanı 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası verilmiştir. Şekil 4.2.'de ise araştırma alanı 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası bulunmaktadır.

#### 4.1.2 Adana – Balcalı Yöresi ve Civarı Hidrojeolojik İncelemesi

Çalışma alanının içinde bulunduğu Adana ili iklimi, dağlık ve ovalık alanlarda farklılık göstermekle beraber Akdeniz ikliminin tipik özelliklerini taşır. Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Yüksek bölgelerde yağışlar genellikle kar şeklindedir. Ortalama sıcaklık 18.71 °C, ortalama yağış metrekareye 663.24 mm.'dir. Yılın en sıcak ayı Ağustos ve en soğuk ayları Aralık ve Ocak'tır. Yılın ortalama 76 günü yağışlı geçer ve mevsim dağılımı oldukça düzensizdir. Ancak çoğu zaman Ocak ve Aralık aylarında yağış miktarında fazlalaşma gözlenmektedir.

Çalışma alanı Yüreğir ovası içinde yer almaktadır. Akdeniz Bölgesinin önemli akarsularından olan 560 km. uzunluğundaki Seyhan nehri ilçe sınırları içinden geçmektedir. Araştırma alanı içinde Seyhan baraj gölü dışında başka bir göl bulunmamaktadır.

Adana Baseninde akiferler genellikle alüvyon içeren formasyonlardır. Adana il merkezi içersinde konglomera ve çakıl çok iyi akiferlerdir. Ovanın güneyine doğru alüvyon kalınlaşır. Su veren tabakalar kum ve çakıldan ibarettir. Doğu - Batı istikametinde İncirlik kasabasından Tarsus ilçesine kadar su veren formasyonlar alüvyon ve konglomera bantlarıdır. İncirlikten Misis'e kadar ise su veren formasyonlar mevcut değildir. Ovanın doğu ve güneydoğusu killi formasyonlardan oluştuğu için akiferlere rastlanmaz. Ovanın kuzeyinde kaliçi,

Handere, Kuzgun Güvenç formasyonları su veren formasyonlar değildir. Ovanın güneyinde Eosen Karataş klastik fasiyesi olarak anılan flišlerde yeraltı suyu yönünden olumsuzdur. Akiferlerin beslenimi genellikle Adana yerleşim merkezi çevresindeki kumlu çakıllı ve konglomeratik kısımlarda yağıştan, sulama suyundan ve büyük çapta Seyhan Nehrinden süzülme ile olmaktadır. İçe akışla yer altı suyu beslenmesi ihmal edilecek boyutta olduğundan dikkate alınmamıştır. Yeraltı suyu boşalımı ise sondaj kuyuları ile suni çekim drenaj kanallarına ve Seyhan Nehrine, buharlaşma – terleme ile ve deniz akış şeklinde olmaktadır.

#### 4.1.2.1. Taraça ve Kalış

İnceleme alanının tamamını kaplayan taraçaların bir kısmı tamamen kalışleşmiş durumda bulunmaktadır. Yeraltı sularının bu birim içinde yüzeye doğru yükselmesi ve buharlaşması ile içindeki karbonat çökerek bu birimi oluşturmuştur. Yüzeyde yer alan kalış birimleri daha çok çakıl, kum, kil birikintisi görünümü sunmaktadır. Adana ovasının kuzey kesiminde bulunan taraça ve kalış birimleri kuzeye doğru azalırken, güneye doğru artmaktadır. Handere Formasyonu üzerine aşınmalı bir yüzeyle gelen taraçaların üzerinde yer alan eski ve yeni alüvyonlar da geçirimli birimleri oluşturmaktadır.

İnceleme alanında yer alan taraça birimini oluşturan çakıllar polijenik yani çok kökenlidir. Yapı içinde kireçtaşı, ofiyolit ve volkanik kayalardan türemiş çakıllar rastlamak mümkündür. Tane boyu ve boylanma çoğu kez düzensizdir.

#### 4.1.2.2. Alüvyon

İnceleme alanında, üzerinde düşerek süzülen yağış suları dışında Handere Formasyonundan gelen sularla beslenen en önemli akiferdir. Yer yer 200 m. kalınlığa sahip birimde açılan kuyularla, alüvyon özellikle çakıllı ve kumlu düzeylerinde bol miktarda su alınabilmektedir. Şehrin merkezinden geçen Seyhan Nehrinin hem doğusunda hem batısında nehir boyunca gelişmiş kötü boylanmalı tutturulmuş çakıl, kum ve kil malzemeler bulunmaktadır.

#### 4.1.2.3. Geçirimsiz Birimler

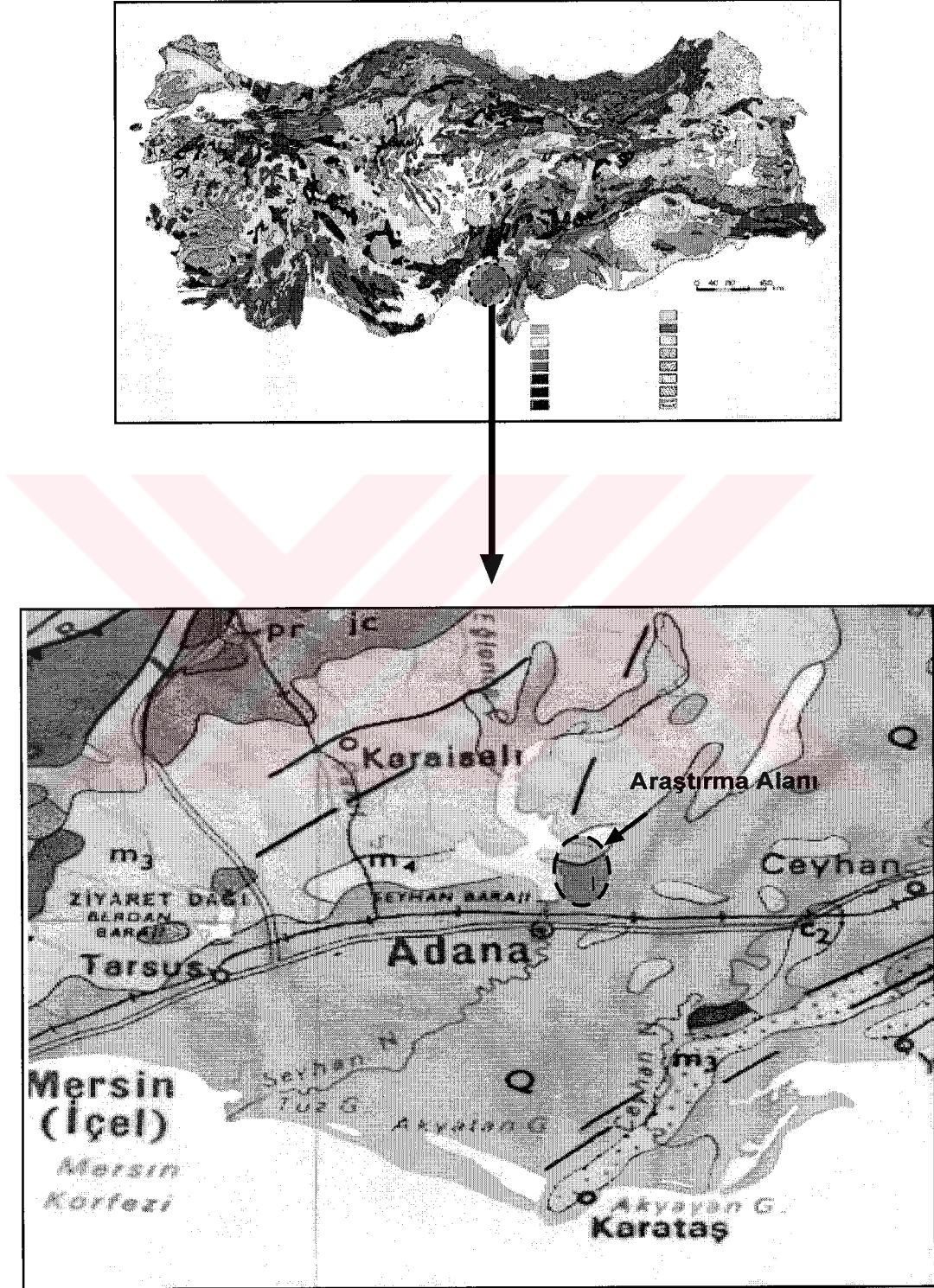
Kuvaterner yaşlı Taraça çökelleri içinde kalınlığı 5 metreye kadar olabilen kil seviyeleri bulunmaktadır. Taraça birimi altında yer alan ancak çalışma alanı dışında mostra veren Handere Formasyonu çamurtaşı ve kiltası içeren seviyelerinde de geçirimsiz birimler oluşturmaktadır. Bu birimlerin formasyon içinde dağılımları düzensizdir.

Şekil 4.3.'te araştırma alanı yeraltı su tablası haritası verilmiştir. Haritada anlaşılacağı gibi yeraltı su tablası hemen hemen araştırma alanından başlamaktadır ve akım yönü güneye doğrudur. Araştırma alanın kuzeyinde yapılan sondajlarda 200 m. derinliğe inilmesine karşın su veren bir tabakaya rastlanmamıştır. Üniversite kampüs alanında da su veren bir kuyu bulunmamaktadır.

Şekil 4.4.'de ise araştırma alanı drenaj ağı haritası, araştırma alanının hemen güneyinde DSİ tarafından daha önce açılan kuyular ve kapasitelerinin yanı sıra alınan jeofizik ölçümlerin yerini gösteren harita bulunmaktadır.

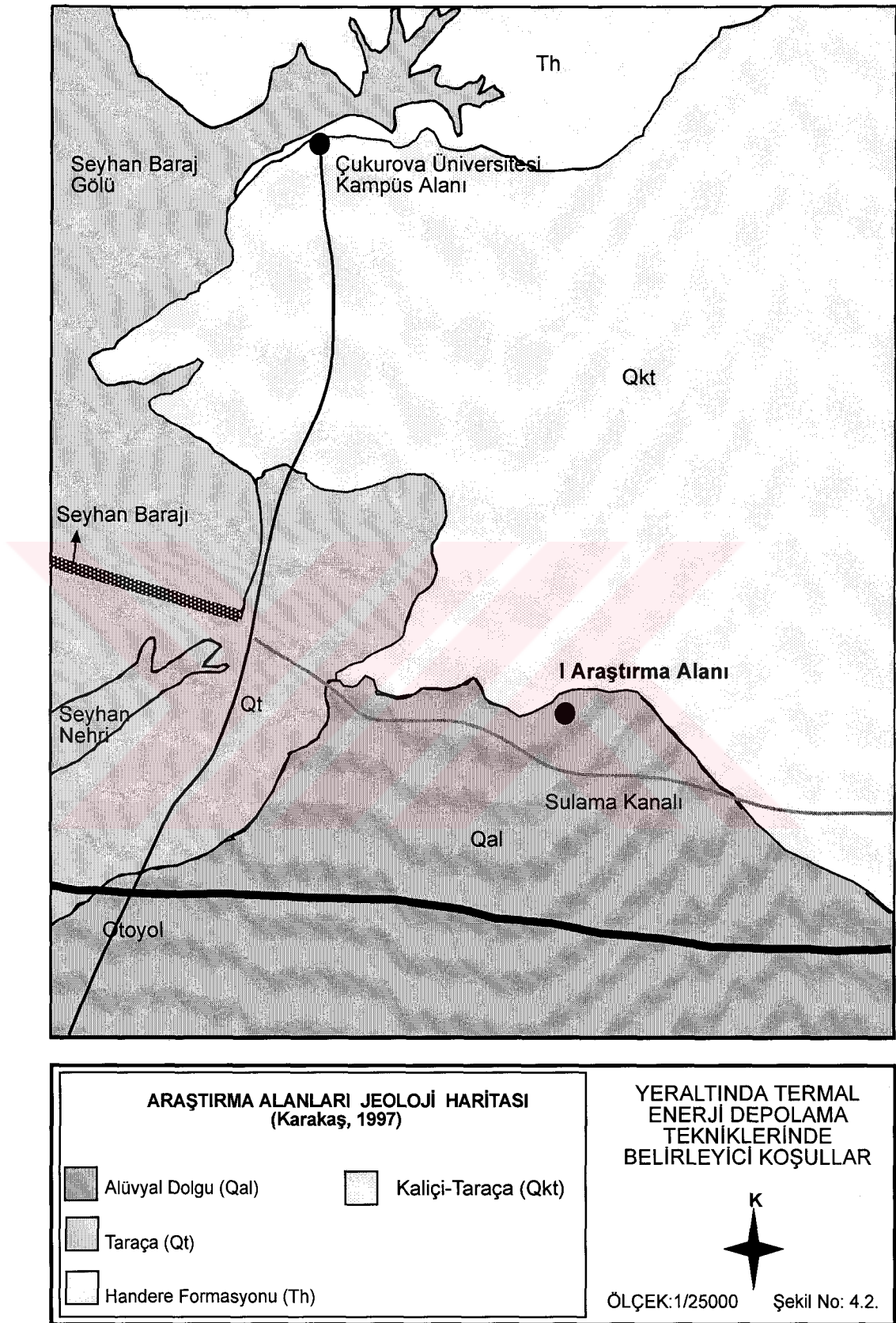
Şekil 4.5.'te ise araştırma alanı EC (mikromho/cm) haritası bulunmaktadır (Çobanoğlu, 2001). Bu haritadan da anlaşılacağı gibi Seyhan nehri boyunca EC değerlerinin düşük olduğu, buna karşılık nehirden İncirlik batısına doğru gidildikçe değerlerde artış olduğu görülmektedir. EC değeri, su içinde çözünmüş katı madde miktarı ile orantılıdır. Bu yüzden su içindeki çözünmüş katı madde miktarının İncirlik kasabasına doğru daha yüksek olması beklenen bir sonuçtur. Bunun nedeni suyun hareketi sırasında çözündürdüğü madde miktarındaki artışa bağlı olabilir.

EC değerleri, ATES uygulamaları sırasında oluşabilecek muhtemel kimyasal ve fiziksel problemler hakkında bir ön fikir verebilir. Hedef akiferde EC değeri yükseldikçe, kuyu içindeki filtreli borularda kimyasal ve fiziksel tıkanma riski artar. Tezin ilerleyen kısımlarında detayları verilen araştırma kuyusundan alınan EC değerleri (Çizelge 4.3.) 690 mikromho/cm'dir. Bu değer Şekil 4.5.'te verilen EC haritasındaki veriler ile örtüşmektedir.



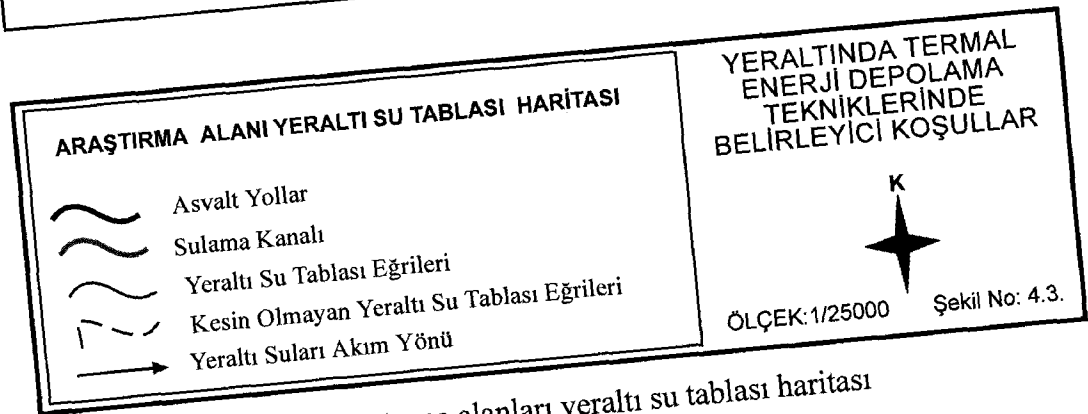
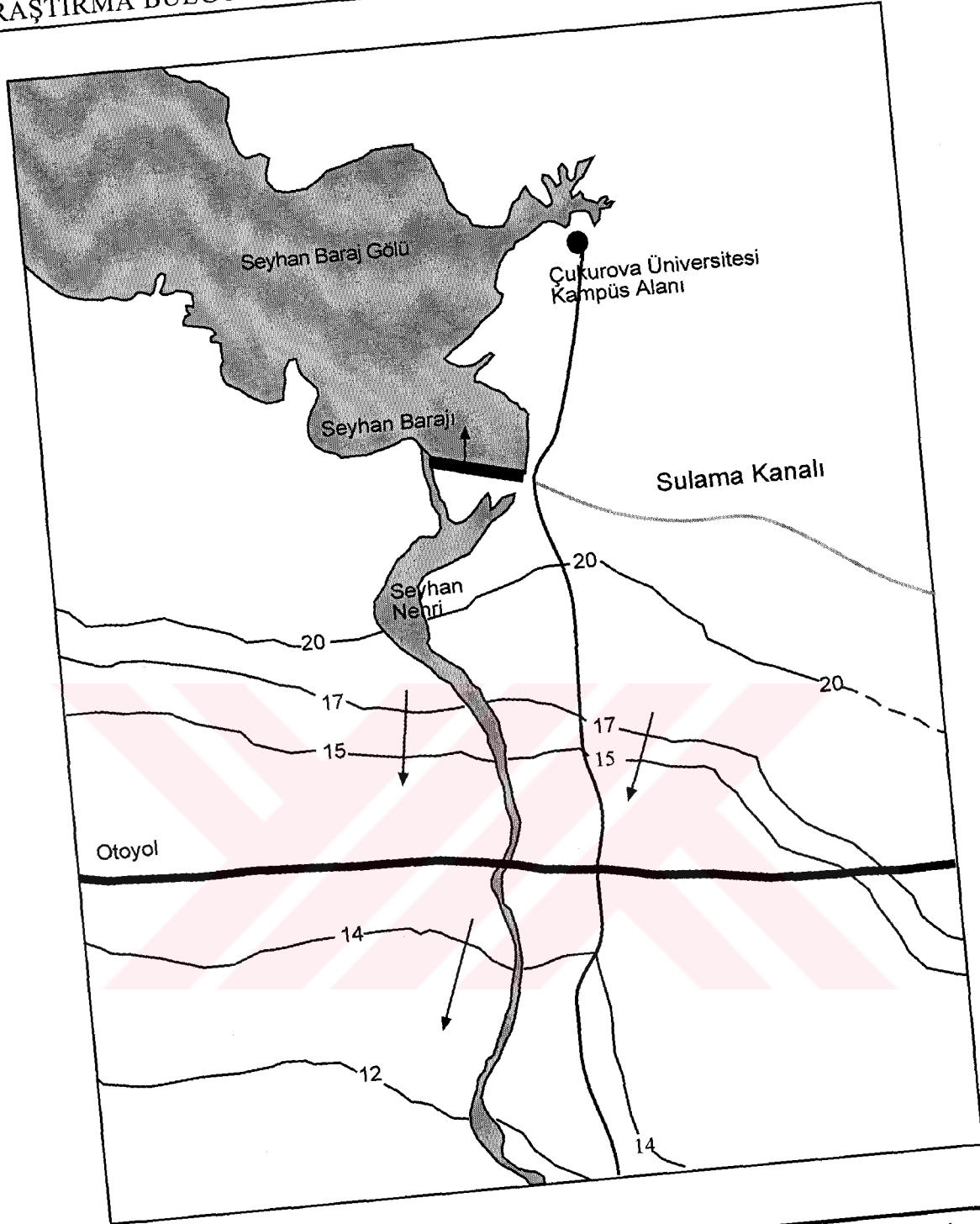
Şekil 4.1. 1/100.000 ölçekli I. araştırma alanı jeoloji haritası



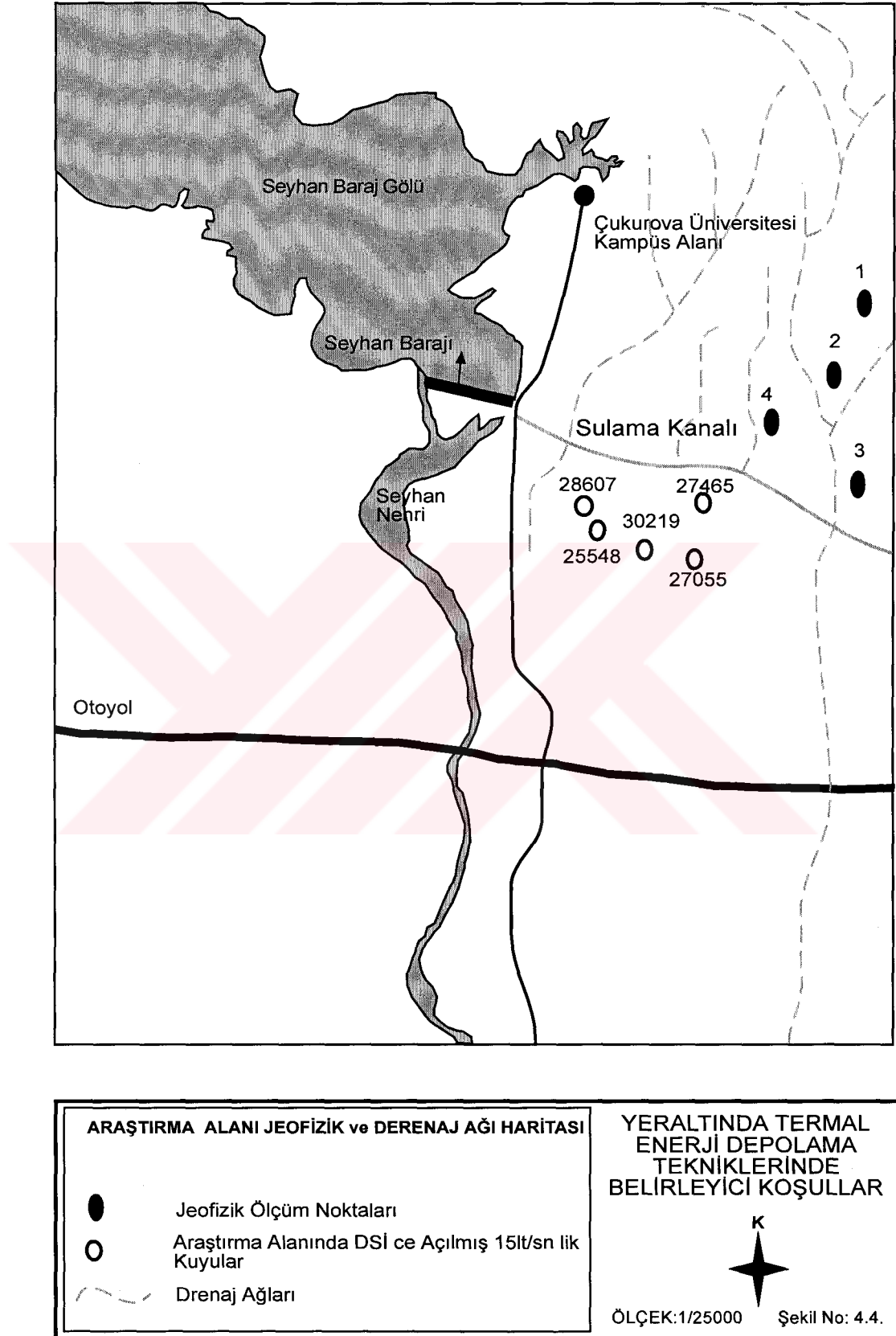


Şekil 4.2. Araştırma alanları jeoloji haritası (Karakaş, 1997)

## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI

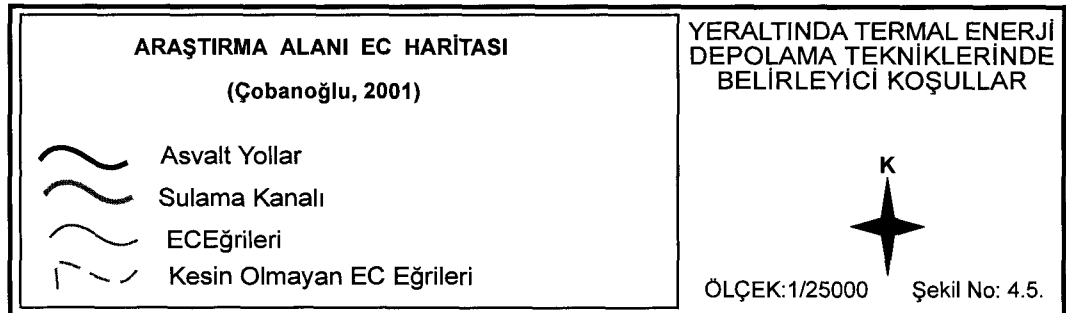
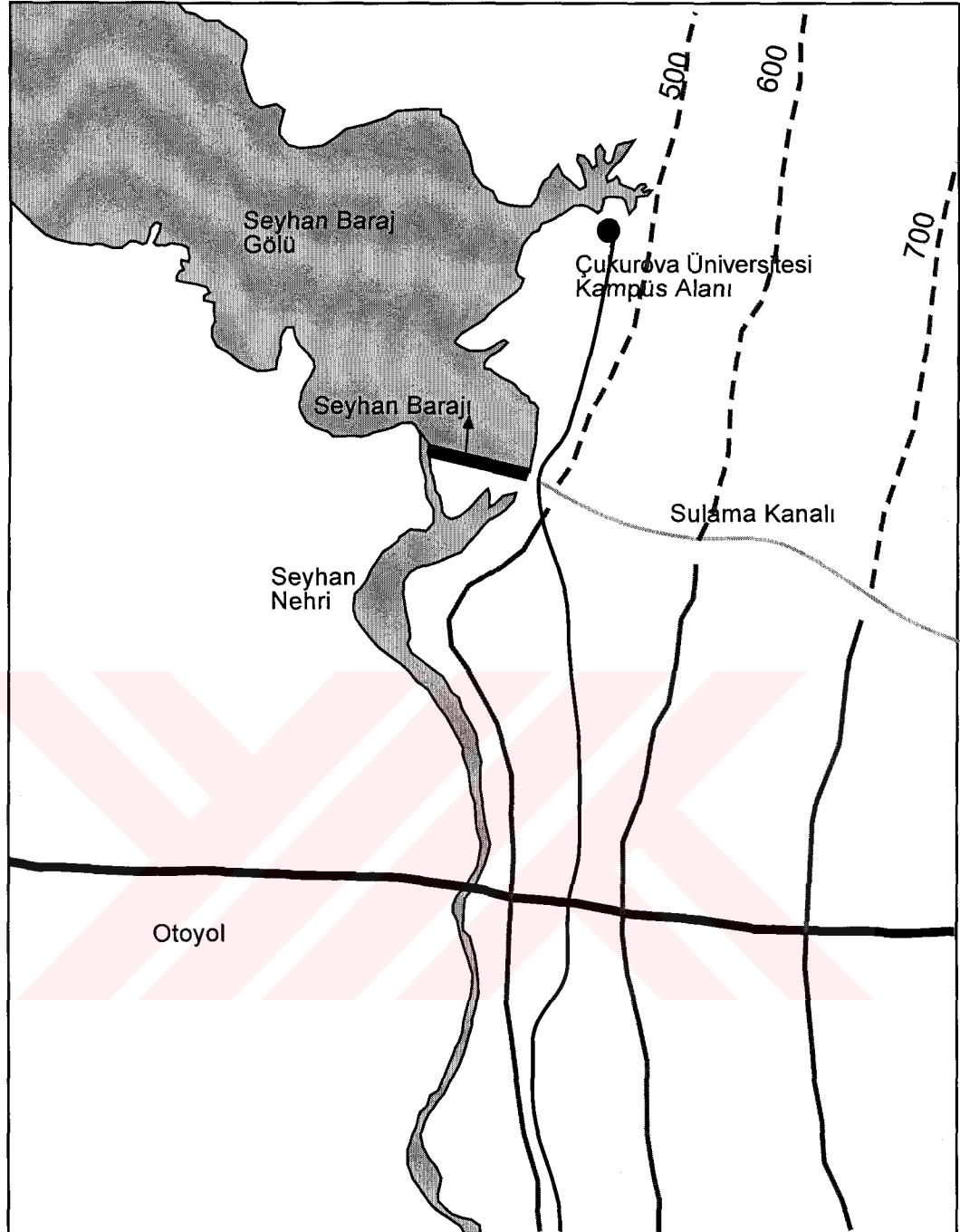


Şekil 4.3. Araştırma alanları yeraltı su tablası haritası



Şekil 4.4. Araştırma alanları drenaj ağı ve jeofizik ölçüm noktaları haritası





Şekil 4.5. Araştırma alanları EC haritası (Çobanoğlu, 2001)



#### 4.1.2. Araştırma Kuyusu

Yukarıda ayrıntıları verilen ön araştırmalardan sonra tasarım için gerekli jeolojik ve hidrojeolojik koşulların tam olarak belirlenmesi amacı ile araştırma kuyusu sondaj işlemine başlanmıştır. Sondaj tekniği olarak sedimanter formasyonlarda en uygun yöntem olarak bilinen düz dolaşımli döner sondaj seçilmiştir (Şekil 4.6. - Şekil 4.7.). Sondaj çamuru 2-3 bar basınç üreten bir kompresör sayesinde sirkülasyon sağlanmıştır. Sondaj çapı 10.5" olup. Sondaj çamuru olarak bentonit ve sudan oluşan bir karışım hazırlanmıştır.

Sondaj işlemi 80 m.'de son bulmuştur. Sondaj işlemi boyunca kesilen her metrede örnekler alınmış (Şekil 4.8. - 4.9.) ve bu örnekler ölçekli olarak bir cam tüpün içerisine yerleştirilmiştir. Çizelge 4.1'de ise derinliğine göre kesilen jeolojik formasyonlar verilmiştir. Çizelge 4.2.'de sondaj sırasında kesilen formasyonlarda tij ilerleme hızı verilmiştir. Sondaj hızı killi konglomeratik seviyelerde en yavaş seyrinde giderken mavi killi seviyelerde en hızlı seviyesine ulaşmıştır.

Kuyu açım işlemi tamamlandıktan sonra jeofizik ölçümler alınmış ve kuyu geliştirme aşamalarına başlanmıştır(Şekil 4.10.).

Çizelge 4.1. Sondaj boyunca kesilen jeolojik formasyon üyeleri

| Derinlik   | Formasyon        |
|------------|------------------|
| 0 – 1 m.   | Organik Toprak   |
| 1 – 3 m.   | Kil              |
| 3 – 25 m.  | Konglomera       |
| 25 – 34 m. | Killi Konglomera |
| 34 – 45 m. | Konglomera       |
| 45 – 46 m. | Killi Konglomera |
| 46 – 50 m. | Konglomera       |
| 50 – 57 m. | Killi Konglomera |
| 57 – 60 m. | Konglomera       |
| 60 – 64 m. | Killi Konglomera |
| 64 –80 m.  | Mavi Kil         |

Çizelge 4.2. Kesilen jeolojik formasyon üyelerinde tij ilerleme hızı

| Litoloji         | Delme Hızı (m/saat) |
|------------------|---------------------|
| Organik Toprak   | 1.5                 |
| Kil              | 0.7                 |
| Konglomera       | 1                   |
| Killi Konglomera | 1.2                 |
| Mavi Kil         | 0.6                 |

#### 4.1.4. Kuyu Logu

Kuyu logları, ATES uygulamalarında, hedef akiferin seviyesinin ve kalınlığının tam olarak belirlenmesi için çok büyük önem taşımaktadır. Böylece sağlıklı bir borulama yapıp başarılı bir ATES sistemi tasarlama imkanı bulunacaktır. Bu amaçla sondaj işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen jeolojik ve hidrojeolojik bulguların denetlenmesi amacı ile 3 tip kuyu logu alınmıştır. Bunlar naturel – gama, rezistivite ve SP olarak sıralanabilir.

##### 4.1.4.1. Doğal Gama Logu

Bu loglardan naturel-gama litolojileri ayırt etmekte ve killi seviyeleri belirlemekte kullanılmıştır. Yeraltındaki farklı kayaçlar, gama ışını yayan değişen miktarlarda radyoaktif madde içerir. Nötron bombardımanı ile yapay bir radyoaktivitede oluşturmak mümkündür. Radyo aktivite, artış sırasına göre en az kömürde sonra tuz, dolomit, kireçtaşı, kum-kumtaşı gibi kayaçlarda zayıf; kil marn, karbonlu bitümlü şistler, bentonit ve organik kilde kuvvetlidir. Sondaj kuyularında kesilen kayaçların, farklı olan radyasyon miktarlarının ölçülmesi ile bunların birbirinden ayırt edilmesi bu yöntemle yapılır. Ölçüler donanımlı veya donanımsız her türlü kuyudan alınabilir. Radyoaktivite logları ölçülen radyasyonun cinsine göre a) Gama ışını logları b) Nörton logları olmak üzere ikiye ayrılır. Yeraltı suyu

aramalarında en çok gama ışını logları kullanıldığından . Bu loglarda kil, kum, marn ve çakıl taşı seviyeleri kolaylıkla ayırt edilir. Ancak sudaki tuzluluk ve kalite ilgili diğer özellikler gama ışını ile anlaşılmaz. Gama ışını logları, kuyunun litoloji, rezistivite ve SP logları incelendiğinde daha iyi anlaşılır.

#### 4.1.4.2. Rezistivite Logu

Rezistivite logu ise yine litolojileri ayırmada ve tuz oranının belirlemede kullanılmıştır. Rezistivite logu alımı sırasında yer içine en fazla 1500 mA gücünde akım verilmiştir. Gözenekli ve kırıklı bir kayacın iletkenliği, bu sistemlerin, boyutlarına, şekillerine ve daha fazla içerdikleri suyun miktarına ve bu suyun iletkenliği ile değişir. Yeryüzüne yakın bir çok kayaçlarda iletim, çözeltiler yolu ile olur. Böyle durumlarda ileten ortam; kayaç içinde gözenekler çatlaklar, kırıklar ve düzensiz bir biçimde dağılmış olan yalın tuz çözeltisidir. Su tutan kayacın öz direnci, içerilen suyun miktarı, tuzluluğu ve ortamdaki dağılışı biçimine göre değişir. Kayaçların öz direnci tuttukları suyun miktarı arttıkça azalır. Kayacın suya doygun olması durumunda içerilen su gözenek hacmine denk olabilir. Ancak doygunluğu sınırlı olduğu durumlarda, kuruluğun öz direnci üzerinde etkisi dikkate alınmalıdır.

#### 4.1.4.3. SP Logu

SP logu ise sondaj boyunca kesilen geçirimli tabakaların belirlenmesi doğrultusunda kullanılmıştır. Sondaj kuyularında çamur bulunması koşulu ile, geçirgen akifer tabaka ile bunu alttan ve üstten sınırlayan kil ve marn gibi plastik özellik taşıyan diğer bir formasyonun bulunduğu ortamda tabii bir elektrik akımı oluşur. SP olarak ölçülen borulanmamış kuyularda ölçülen bu elektrikli potansiyel değişiminin, milivolt olarak miktarıdır. SP logu akiferin yerinin ve özelliklerinin saptanmasında çok kullanılan bir yöntemdir. Kuyularda killi seviyelerin saptanmasında çok iyi sonuç verir. Bu loglarda bir baz çizgisinden (örneğin kile ait

SP değeri) itibaren (-) ve (+) kaymalar işaretlenir. Bu çizgi, belirli kalınlıklardaki geçirimli ve geçirimsiz formasyona ait olabilir. Böylece sağlıklı bir kuyu borulama işlemi yapmak için zemin hazırlanmıştır.

Jeofizik ölçü noktasından yapılan ölçümler ile yedi ayrı jeoelektrik katman belirlenmiştir. Birinci katman organik toprak olup kalınlığı 1 m. dir. İkinci katman killi konglomera olup kalınlığı yaklaşık 16 m. dir. Üçüncü katman konglomera olup kalınlığı 10 m. civarındadır. Dördüncü katman ise yine killi konglomeradır ve kalınlığı 8 m. dir. Beşinci katman az killi konglomera olup kalınlığı 24m. dir. Altıncı katman ise killi konglomeradır. Kalınlığı 18 m.'dir. Yedinci ve son katman ise mavi kildir. Yaklaşık 75 m.'de kesilen bu üyenin kalınlığı, sondaja 80. m.'de son verildiği için tam olarak belirlenememiştir.

#### **4.1.5 Kuyu Geliştirme**

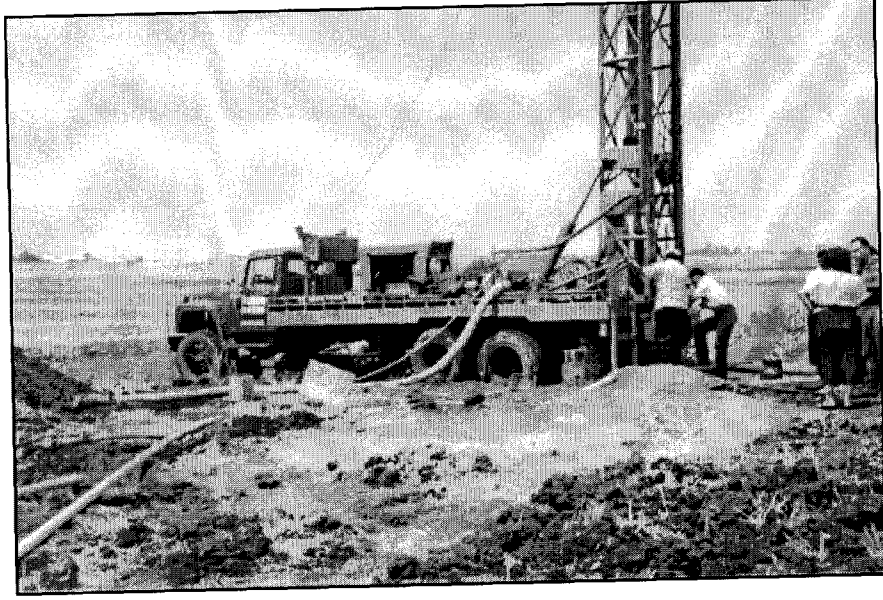
Akifer ile sondaj borusu arasındaki ilişkiyi en üst düzeye çıkarmak bakımından kuyu geliştirme işlemleri yapılmıştır. Bu işlem kuyunun verimini arttıracak gibi kuyunun kapasitesi hakkında da bilgi edinilmesine fayda sağlamıştır. Bu aşama ATES in sağlıklı çalışması bakımından oldukça önemlidir.

Kuyu geliştirme işlemi sırası ile kuyu borulama, kuyu çakılama, kuyu yıkama ve aşırı pompaj işlemleri yapılarak gerçekleştirilmiştir.

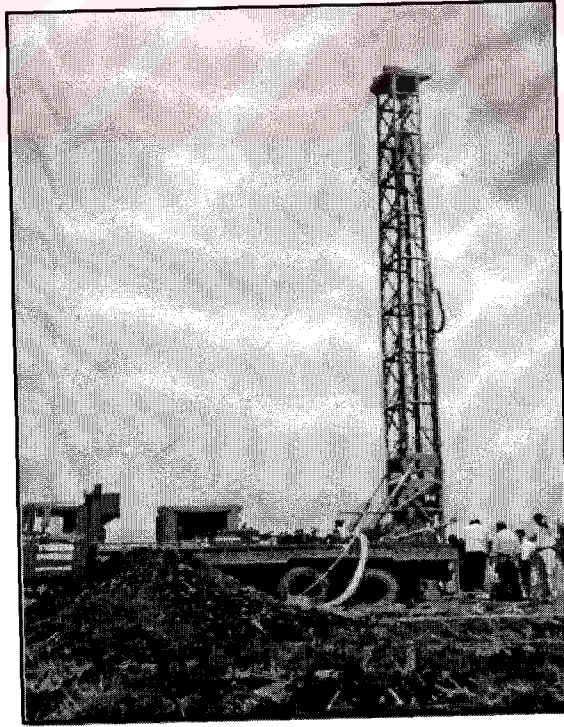
##### **4.1.5.1 Kuyu Borulama**

Sondaj sırasında kesilen her metreden alınan örnekler ve araştırma kuyusunda yapılan jeofizik etüt sonucu su veren seviyeler titizlikle belirlenmiş ve kuyu kesiti hazırlanmıştır (Şekil 4.11.). Böylece filtreli ve filtresiz geçilecek seviyeler belirlenmiştir. 6.5" olarak belirlenen metal borular ile borulama işlemi tamamlanmıştır.



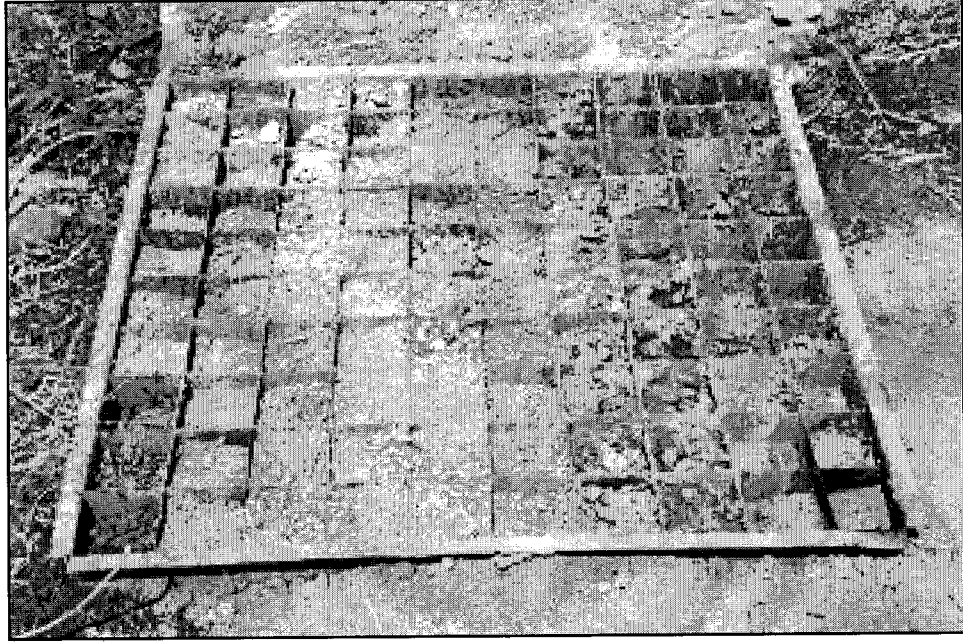


şekil 4.6. Sondaj işleminden bir görünüm



şekil 4.7. Sondaj işleminin başka bir açıdan görünümü

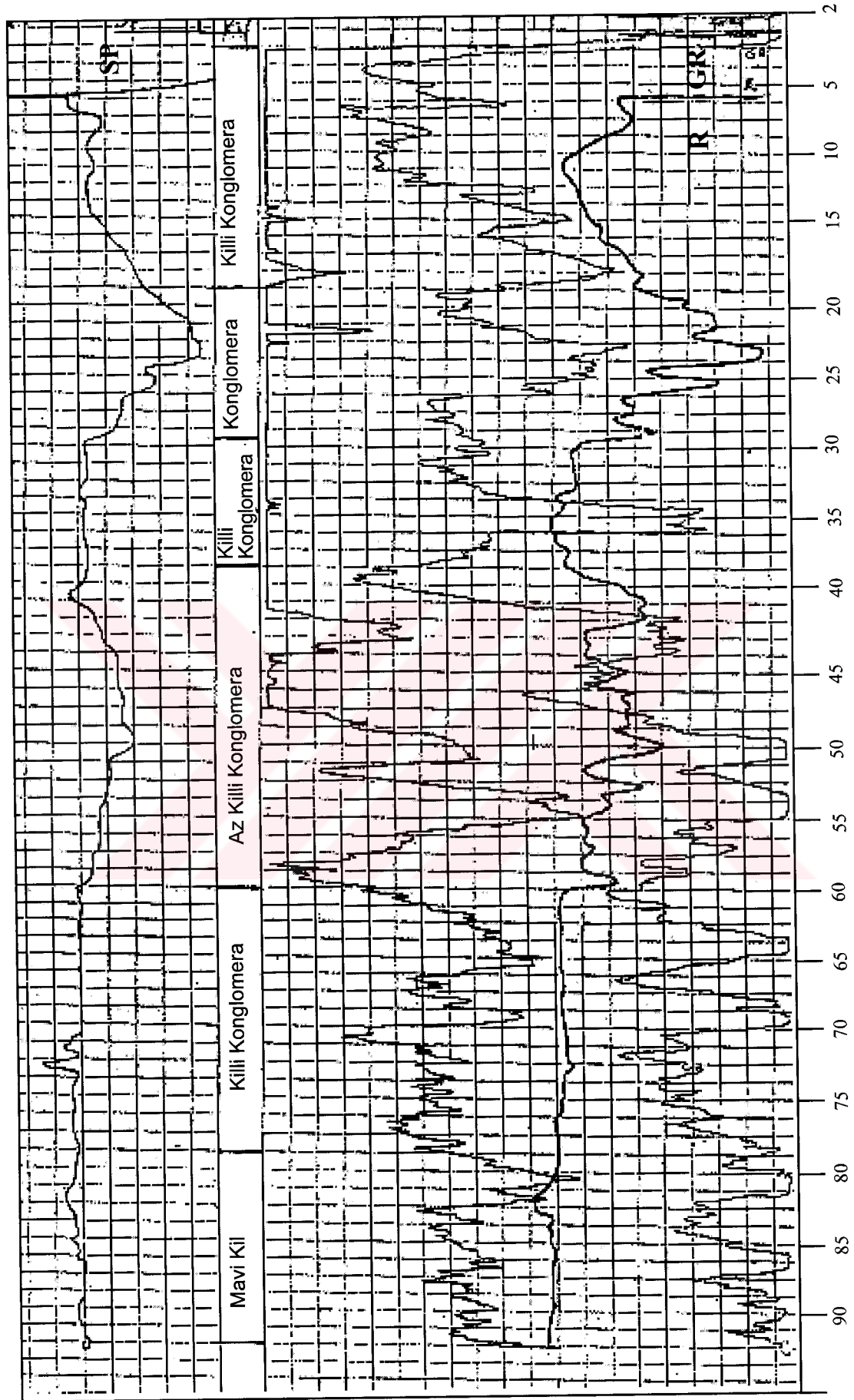




Şekil 4.8. Sondaj boyunca kesilen formasyon örnekleri

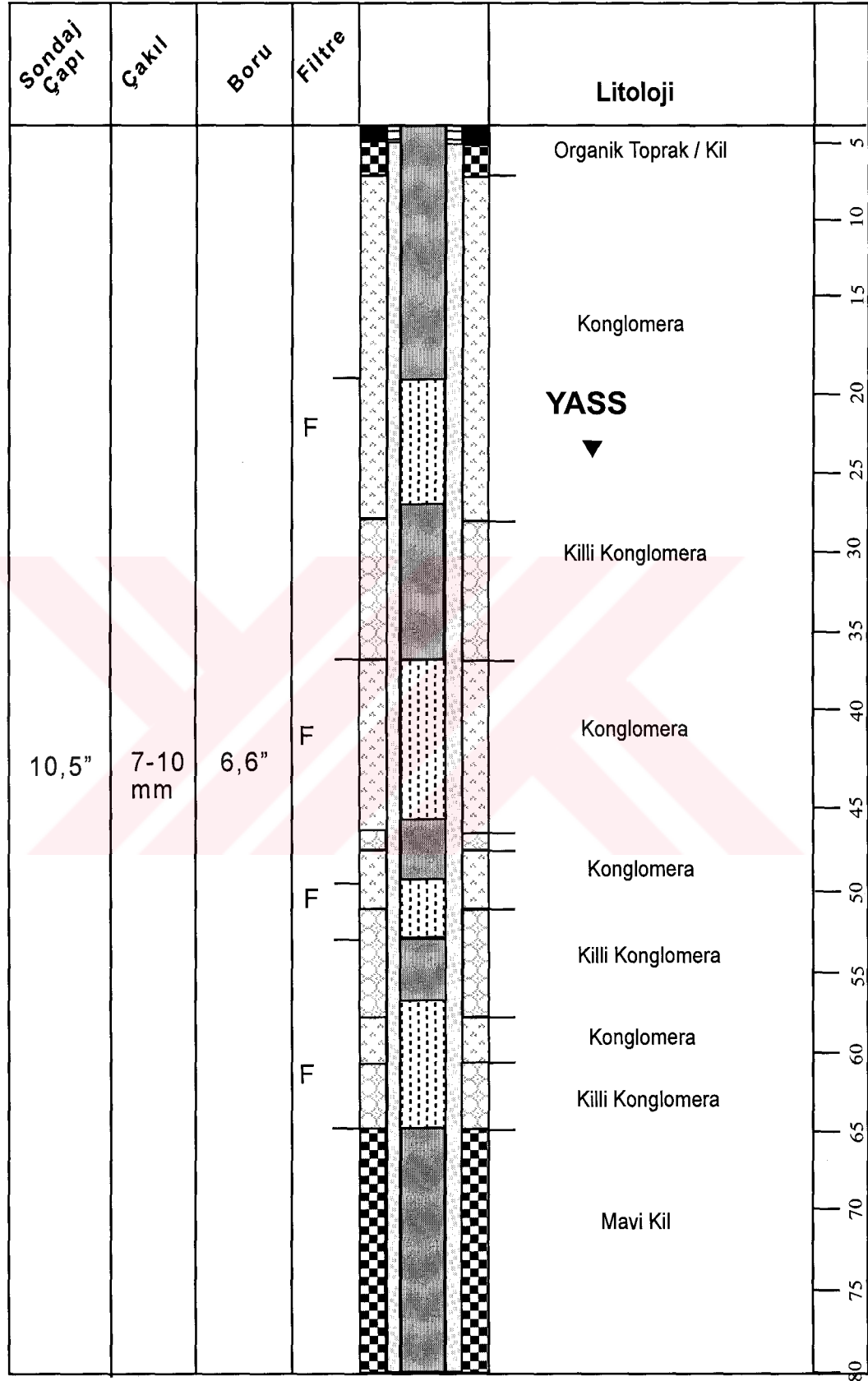


Şekil 4.9. Sondaj boyunca kesilen formasyon örnekleri



Şekil 4.10. Araştırma Kuyusu Jeofizik Ölçüm Sonuçları





Şekil 4.11. ATED için açılan kuyu kesiti



#### 4.1.5.2. Kuyu Çakıllama

Kuyu borulama işleminin hemen ardından fazla zaman kaybetmeden çakıllama işlemine geçilmiştir. Bu işlemde kullanılacak çakılların boyu, sondaj sırasında çıkan malzemelerin elek analizi yapılmasından sonra 5-10 mm olarak belirlenmiştir. Çakıllama işleminde yıkanmış nehir çakıllar tercih edilmiştir. Bu konu üzerinde hasasiyetle durulmuştur. Çünkü sondaj borusu ile akifer arasında kalacak olan çakıllı seviye verimin artması veya azalması konusunda direk etkili olduğu bilinen bir gerçektir.

#### 4.1.5.3. Kuyu Yıkama

Sondaj açımı sırasında kullanılan kilin akiferin derinliklerinde neden olduğu tıkanmayı gidermek için kuyu yıkaması işlemi yapılmıştır. Sondaj borusu içerisinden 3-6 bar basınçla basılan su, boru ve jeolojik formasyon arasında kalan çakıllı bölümden tahliye edilmiştir. Bu işlem kilin büyük bir kısmının tahliye edildiğine kanaat getirilene kadar devam etmiştir.

#### 4.1.5.4. Aşırı Pompaj

Kuyunun yıkanması işlemi tamamlandıktan sonra yeterli debide ve sürede su çekilerek yıkama ile atılamayan kilin tahliyesi sağlanmıştır. Suyun rengi berraklaşmaya kadar çekime devam edilmiştir. 210 dakika sonra suyun rengi berraklaşmış ve çekim bırakılmıştır. Bu işlem sırasında sudan belirli aralıklarla örnekler alınarak, pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik ölçümleri alınmıştır ve sonuçlar çizelge halinde sunulmuştur (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.3. Pompaj sırasında çekilen sudan arazide alınan kimyasal ölçümler

| Zaman (dk.)           | 0       | 30      | 165     |
|-----------------------|---------|---------|---------|
| Sıcaklık (°C)         | 20      | 20      | 19      |
| Tuzluluk (ppm)        | 0.5/100 | 0.5/100 | 0.2/100 |
| Kondaktivite (mho/cm) | 690     | 690     | 690     |

#### 4.1.6. P ompaj testi

Yapılan araştırma sondajı ve jeofizik etüdler ile belirlenen akiferin hidrojeolojik ve mühendislik özelliklerinin saptanması açısından aşırı pompaj işlemi ile birlikte bir pompaj testi yapılmıştır (Şekil 4.12. – 4.13.). 15 lt/sn sabit debi ile çekilen yeraltı suyunun piyezometrik seviye ölçer ile zamana bağlı düşüm seviyeleri ölçülmüştür (Çizelge 4.4.). 210 dakika sonunda seviye sabit kalınca işlem tamamlanmıştır. Pompaj işlemi durdurulduktan sonra bu kez yer altı su seviyesinin yükselimi zamana bağlı olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.4. Pompaj testi sonrası statik seviyenin zamana bağlı değişimi

| Zaman (dakika) | Su Seviyesi (m) | Düşüm (m) |
|----------------|-----------------|-----------|
| 0              | 8.0             | 0.0       |
| 1              | 17.3            | 9.3       |
| 3              | 24.5            | 16.5      |
| 5              | 28.5            | 20.5      |
| 10             | 30.6            | 22.5      |
| 20             | 31.8            | 23.8      |
| 40             | 32.8            | 24.8      |
| 60             | 33.1            | 25.1      |
| 90             | 33.6            | 25.6      |
| 120            | 34.0            | 26.0      |
| 150            | 34.1            | 26.1      |
| 180            | 34.2            | 26.2      |
| 210            | 34.2            | 26.2      |

Çizelge 4.5. Pompaj testi sonrası dinamik seviyenin zamana bağlı değişimi

| Zaman (dakika) | Su Seviyesi (m) | Yükselim (m) |
|----------------|-----------------|--------------|
| 0              | 34.2            | 0.00         |
| 1              | 33.8            | 0.4          |
| 3              | 33.0            | 1.2          |
| 5              | 32.5            | 1.7          |
| 10             | 30.6            | 3.6          |
| 20             | 29.3            | 4.8          |
| 40             | 27.5            | 6.6          |
| 60             | 26.2            | 7.9          |
| 90             | 24.5            | 9.6          |
| 120            | 23.8            | 10.3         |
| 150            | 23.3            | 10.8         |
| 180            | 23.0            | 11.2         |
| 210            | 23.0            | 11.2         |

Yukarıdaki tablolardan da anlaşılacağı gibi 8 m. olan su seviyesi, 15 lt/sn debili aşırı pompaj sonucunda 34.2 m.'ye kadar düşmüştür ve bu noktada sabit kalmıştır. Yani düşüm değeri 26.2 m.'dir. Daha sonra pompaj bırakılmış ve yükselim takip edilmiştir. Su seviyesi 23 m.'ye kadar çıkmış ve sabitlenmiştir. Yani yükselim değeri 11.2 m. olarak belirlenmiştir.

Açılan araştırma kuyusunda yapılan pompaj testi sonucu yukarıda tablolar ile verilen değerler ve jeofizik etüdler sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda akiferin hidrojeolojik özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.6.). Belirlenen ve hesaplanan bu değerler Conflow akifer simülasyon programında değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.6. Sondaj sırasında kesilen akiferin hidrojeolojik özellikleri

|                           |                                            |
|---------------------------|--------------------------------------------|
| Akiferin toplam kalınlığı | 14 m.                                      |
| Üst Akifer                | 34-45 m ler arası                          |
| Orta Akifer               | 46-50 m ler arası                          |
| Alt Akifer                | 57-60 m ler arası                          |
| Çakıllama boyutu          | 5-10 mm                                    |
| Porozite                  | %20                                        |
| Transmisibilite (T)       | $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$ |
| Hidrolik Kondaktivite (K) | $1.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$           |
| Hidrolik Eğim             | 0.003 Güneye                               |
| Termal Kondaktivite       | 2.0 W/m K                                  |

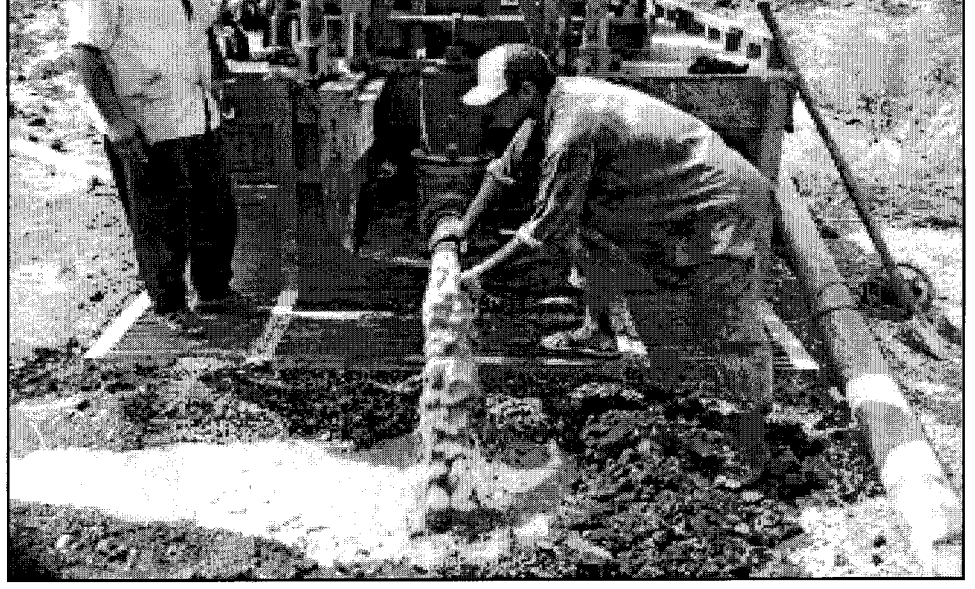
#### 4.1.7. Akiferde Termal Enerji Depolama Sistemi Tasarımı İçin Bilgisayarlı Ortamda Simülasyon

Akiferde Termal Enerji Depolaması sisteminde gerekli olan kuyu sayısı, kuyular arası uzaklık ve çevreye olan termo-hidrolik etkileri belirleyebilmek için Conflow (Cleasson ve ark., 1995) programı kullanılarak simülasyonlar yapılmıştır. Bu program ile yer altı suyunun akiferden çekilmesi ve tekrar beslenmesi (re-injeksiyon) simüle edilerek kuyuların etrafındaki sıcak ve soğuk cephelerin zamana bağlı olarak nasıl yayıldığı belirlenmiştir. Ayrıca kuyulardan olan uzaklığa bağlı olarak hidrolik etkilerde belirlenmiştir.

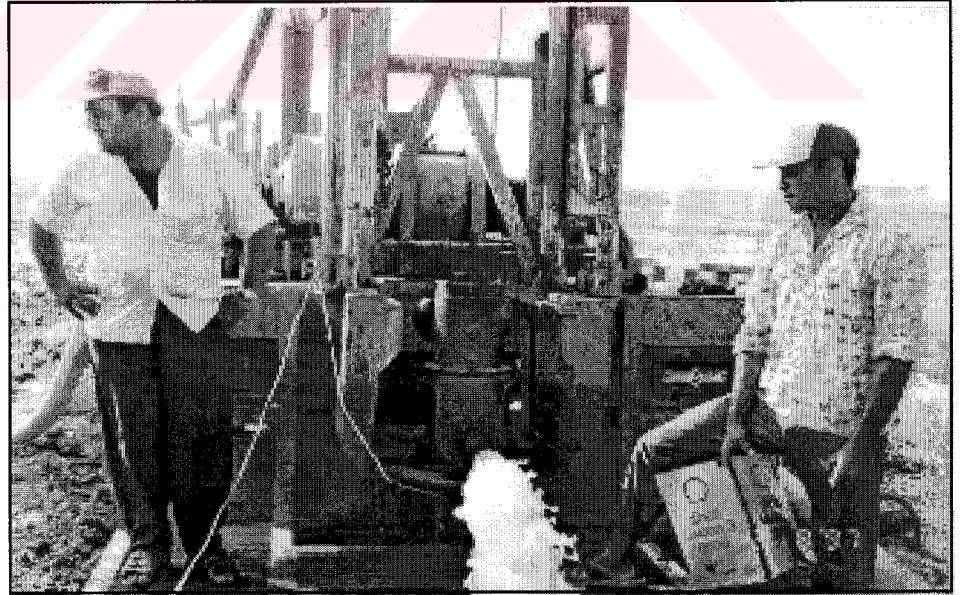


Simülasyonda kullanılan akifer özellikleri Çizelge 4.6.'da verilmiştir. Bu özelliklerden simülasyon süresince toplam akifer kalınlığı, transmisibilite, hidrolik kondaktivite, hidrolik eğim ve termal kondaktivite kullanılmıştır. Bu değerlerden trnasmisibilite yaklaşık Jakop yöntemi ile hesaplanırken, hidrolik eğim ise, araştırma kuyusu ile bölgede daha önce açılmış bir diğer kuyudan alınan dinamik su seviyelerinin farkının iki kuyu arasındaki mesafeye oranı ile bulunmuştur. Simülasyonun amaçlarından bir diğeri ise depolama alanını mümkün olduğu kadar dar ve güvenli mesafelerde tutabilmektir. Bunu için gerekli kriterlerden biri kuyuların bulunduğu alanda maksimum düşüm değerinin 10 m. ile sınırlamaktadır. Diğer bir kriterde sıcak-soğuk kuyular etrafındaki cepelerin birbiri ile çakışmamasıdır. Simülasyon sonuçları Şekil 4.14. - 4.17.'de verilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre 6 adet sıcak ve 6 adet soğuk kuyu ihtiyaç duyulan enerjiyi depolamaya yetecektir. Yine simülasyon sonuçlarına göre sıcak – soğuk kuyu grupları arasındaki termal açıdan en uygun uzaklığın 300-400 m. olduğu gözlenmektedir. Aynı grup kuyular (sıcak veya soğuk) için aralarında bulunması gereken mesafenin 60-80 m arası olması gerektiği tespit edilmiştir. Hidrolik açıdan maksimum düşüm 7-8 m olarak hesaplanmıştır. Bu değer kriter olarak alınan 10 m.'nin altında olduğu için uygundur. Sonuçlar, kare şeklinde 350 x 400 m.'lik bir alanda yerleştirilmiş kuyularda yılda yaklaşık 14000 MWh sıcak-soğuk termal enerji depolaması yapılabileceğini göstermektedir. Bu değer  $Q=m.c.\Delta t$  formülünden hesaplanmıştır.

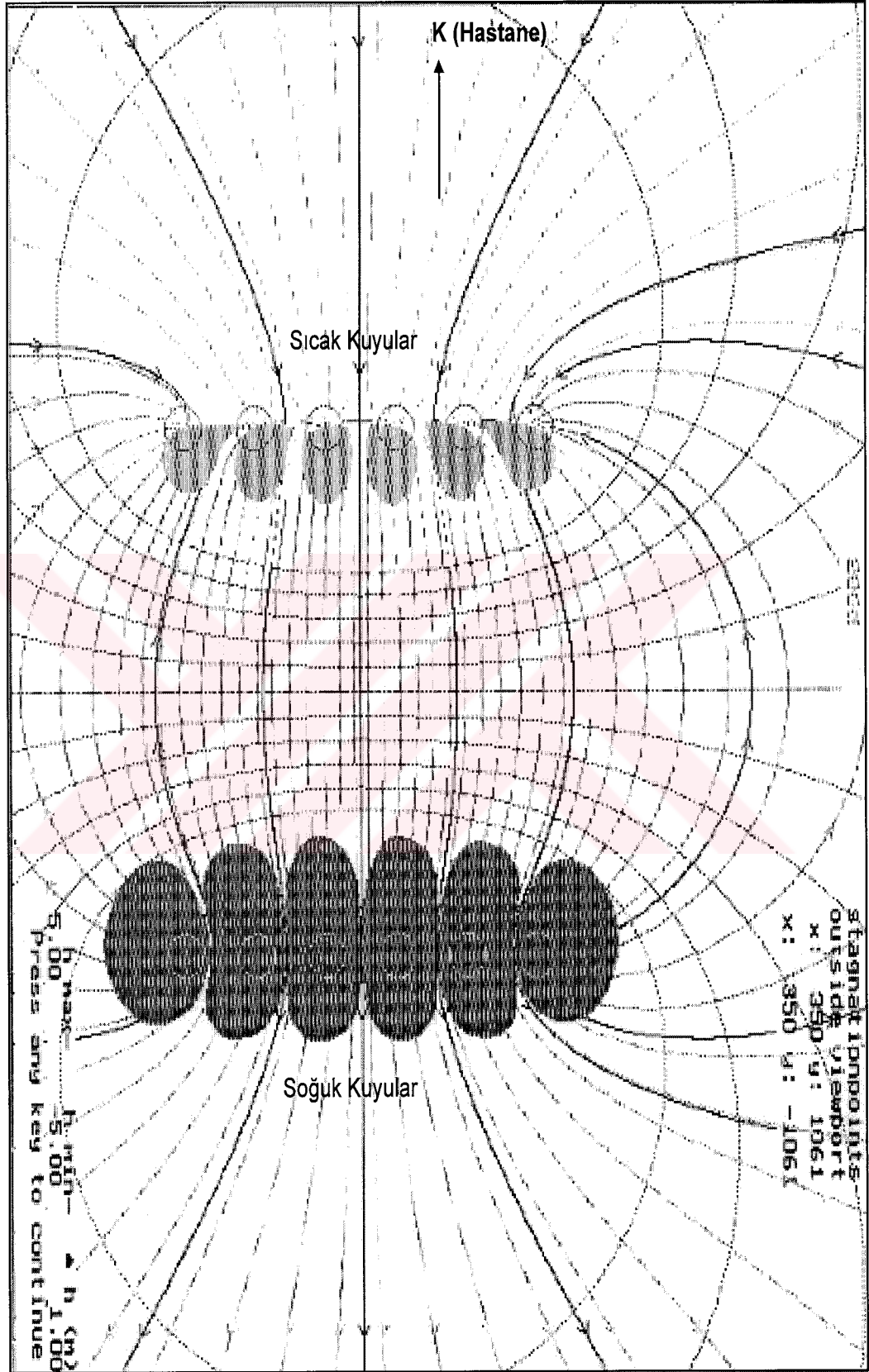
Simülasyon sonuçlarına göre sıcak-sıcak, soğuk-soğuk ve sıcak-soğuk kuyular arasındaki mesafe fazladır. Bunun nedeni hedef alanda bulunan akiferin sedimanter kökenli olup az tutturulmuş olmasıdır. Az tutturulmuş sedimanter kökenli akiferlerde iki kuyu arasındaki etki mesafesi oldukça yakındır. Bu nedenle, güvenli depolama yapılabilmesi için kuyular arası mesafe güvenli bir uzaklıkta olmalıdır. Aksi taktirde sıcak ve soğuk kuyular arası söz konusu etkileşim depolanan termal enerjinin kaybedilmesi anlamına gelebilir.



şekil 4.12. Pompaj testinden bir görünüş

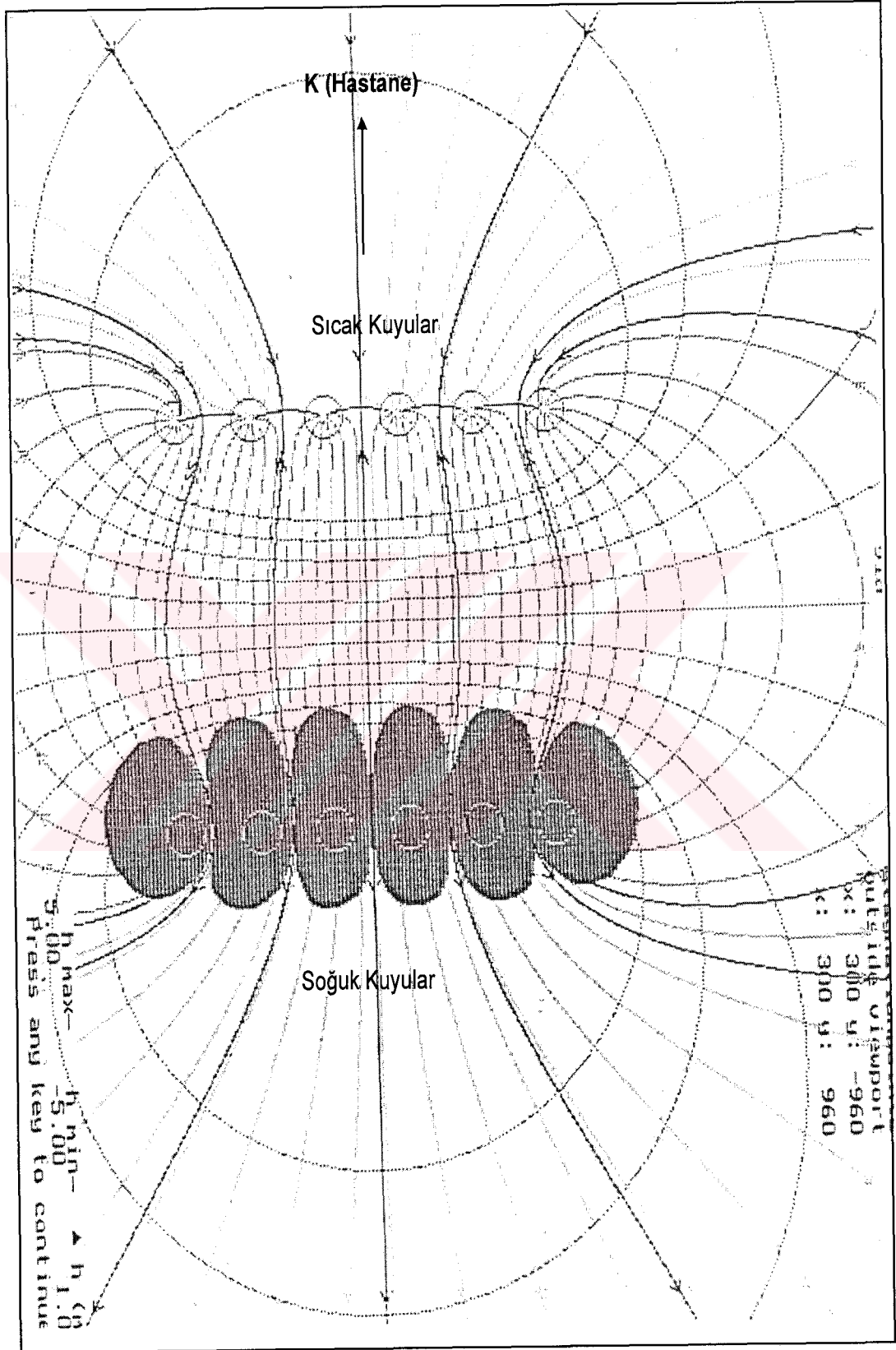


şekil 4.13. Pompaj testinden bir görünüş



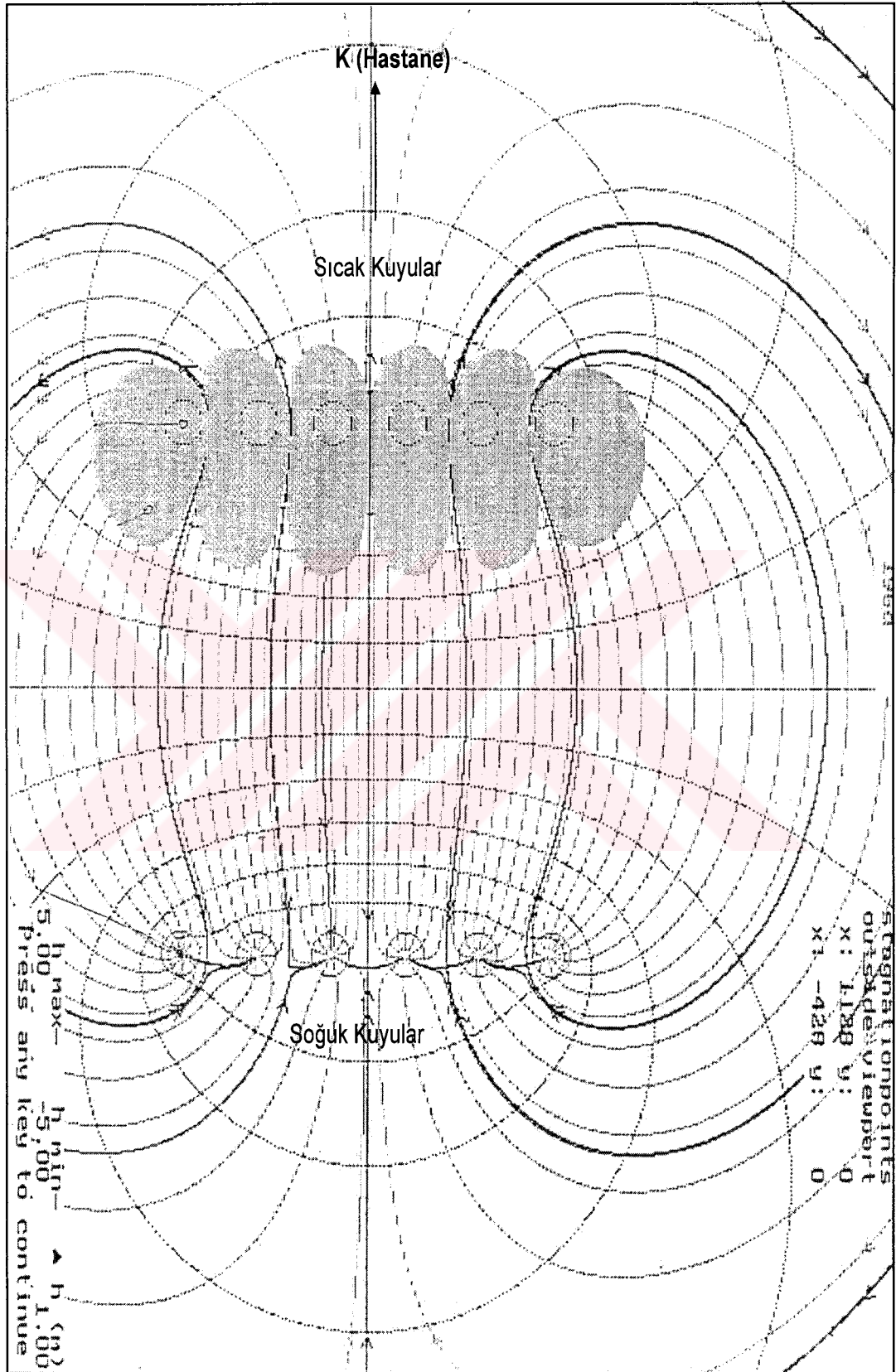
Şekil 4.14. Conflow akifer simülasyon programında soğuk enjeksiyon sonrası termal yayılım (sıcak-soğuk kuyular arası mesafe 350m. soğuk-soğuk, sıcak-sıcak kuyular arası mesafe 80m.)



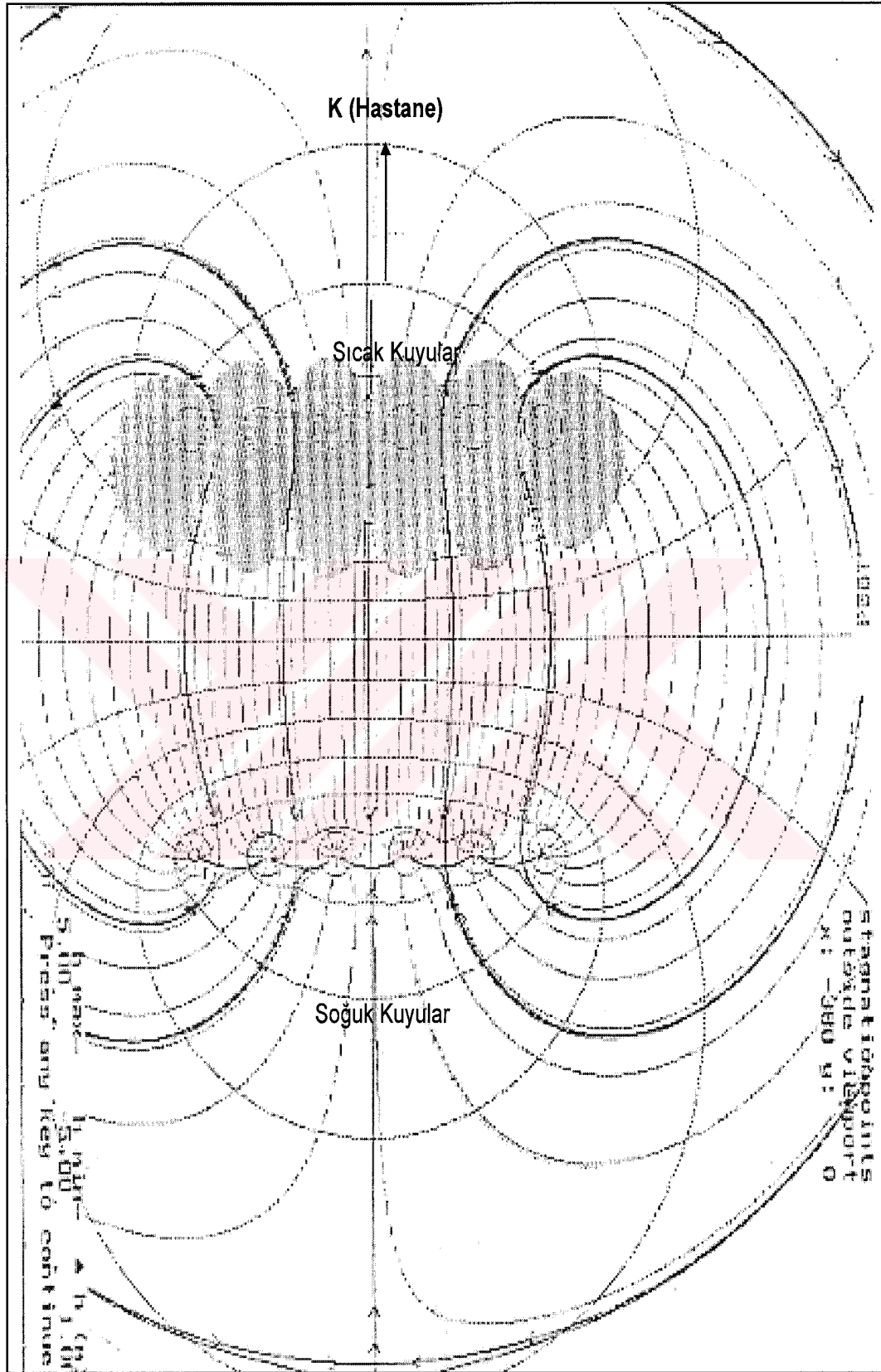


Şekil 4.15. Conflow akifer simülasyon programında soğuk enjeksiyon sonrası termal yayılımla (sıcak-soğuk kuyular arası mesafe 300m. soğuk-soğuk, sıcak-sıcak kuyular arası Mesafe 80m.)





Şekil 4.16. Conflow akifer simülasyon programında sıcak enjeksiyon sonucu termal yayılımlar (sıcak-soğuk kuyular arası mesafe 350m. soğuk-soğuk, sıcak-sıcak kuyular arası mesafe 80m.)



Şekil 4.17. Conflow akifer simülasyon programında sıcak enjeksiyon sonucu termal yayılımlar (sıcak-soğuk kuyular arası mesafe 300m. soğuk-soğuk, sıcak-sıcak kuyular arası mesafe 80m.)

#### 4.1.8. Kimyasal Analiz Sonuçları

Yapılan pompaj tecrübesi boyunca alınan su örneklerine yapılan kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.8'te verilmiştir. Bu parametreler tasarlanacak sistemin sağlıklı çalışması ve gelecekte karşılaşılabilecek muhtemel kimyasal sorunlara karşı önlem alınması için önemlidir.

Çizelge 4.7. Pompaj tecrübesi boyunca alınan su örneklerine yapılan kimyasal analiz sonuçları (Dikici, 1997)

| Parametre                                              | Ölçüm (meq/l) |
|--------------------------------------------------------|---------------|
| pH                                                     | 7.02          |
| T ( °C)                                                | 21            |
| Na <sup>+</sup>                                        | 0.99          |
| Ca <sup>+2</sup>                                       | 3.86          |
| Mg <sup>+2</sup>                                       | 4.34          |
| Mn <sup>+2</sup>                                       | 0.129         |
| Fe <sub>T</sub> (Fe <sup>+2</sup> , Fe <sup>+3</sup> ) | 0.2408        |
| CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>                          | 0.00          |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                          | 5.19          |
| SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>                          | 0.383         |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                           | 0.145         |

Yukarıda ölçülmüş kimyasal parametrelerden yola çıkılarak uygulanacak bir ATEs sisteminde genel olarak bazı iyonların ortam şartlarına göre değişebilen çökelmelerinden kaynaklanan sorunlarla karşılaşılabılır. Özellikle sıcak depolamalarda meydana gelen CaCO<sub>3</sub> (Kalsiyumkarbonat) çökmesi, ve silikatların çökmeleri kabuklaşma sorununu gündeme getirmektedir. Hedef alanda

bulunan akiferde, sıcak depolama yapılması halinde kabuklaşma sorunu olabilir.  $\text{CaCO}_3$  yeraltı suyunun çekilip ısıtılması sırasında ısı değiştiricilerde, kullanılan boru ve ekipmanda çökebilir.

Demir ve Mangan iyonları ise gerek oksitlenerek gerekse mikrobiyolojik yolla olan çökelmeleri tıkanma sorunu doğurabilir. Ancak meydana gelmesi muhtemel bu sorunlar çözümsüz değildir. ATES uygulaması sırasında sıcak depolamalarda,  $\text{CaCO}_3$  çökelmelerinin sebep olduğu kabuklaşmayı engellemek için yeraltı suyu çekilip iyon değiştirici kolonlar kullanılarak ( $\text{Ca}^{+2}$ ) iyonu derişimi  $\text{CaCO}_3$  'ün çökemeyeceği değerlere getirilebilir. Bunun için  $\text{Na}^+$  ve  $\text{H}^+$  iyon değiştiricileri kullanılabilir. Fakat sodyum iyon değiştirici kullanırken, artan  $\text{Na}^+$  iyonu derişimi tıkanmaya sebep olabilmektedir. Bu yüzden iyon değiştirme işlemine  $\text{CaCO}_3$  'ın doygunluk indeksini ATES için sorun olmaya başladığı 0,3'e erişinceye kadar devam edilmelidir (Dikici, 1997).

Basınç  $\text{CaCO}_3$  çökmesinde önemli bir faktördür. Bu yüzden çökelmeyi engellemek için, yeraltı suyunun çekilmesi sırasında basınç düşmesi sürekli kontrol altında tutulmalıdır.  $\text{CaCO}_3$  çökmesinde oldukça önemli olan  $\text{CO}_2$ 'nin kısmi basıncı mekanik kuyu içi pompası kullanılarak kontrol edilebilir.

Kireçtaşı reaktörü kullanılarak  $\text{CaCO}_3$  çökmesinin reaktörde olması sağlanabilir.  $\text{CaCO}_3$  'ın depolama kuyusunda çökmesini engellemek için ısı değiştirici ve depolama kuyusu arasında çöktürücü kolonlar yerleştirilebilir (Walton ve ark., 1984).

Bir başka çözüm önerisi ise; yeraltı suyunun sahip olunan değerler ile 40  $^{\circ}\text{C}$ 'nini üzerine çıkılmadığı sürece  $\text{CaCO}_3$  çökmesi gibi bir problem yaşanmayacaktır. 50  $^{\circ}\text{C}$  ve üzeri ısılarda depolama yapıldığı taktirde söz konusu problem baş gösterebilecektir (Dikici, 1997).

pH  $\text{CaCO}_3$ 'ün oluşamayacağı bir değerde tutulabilir. Kabuklaşmayı engelleyen kalsiyum çözünür halde tutmayı sağlayan kimyasallar kullanılabilir (Dikici, 1997).



## 4.2. II. Araştırma Alanının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özelliklerinin İncelemesi

### 4.2.1. İstanbul - Hadımköy ve Civarı Jeolojik İncelemesi

#### 4.2.1.1.Sazlıdere Formasyonu

İstanbul'un Batı kesiminde Büyük çekmece gölünün kuzeydoğusunda yer alan araştırma alanı ve çevresi tersiyer sistemine ait birimlerden oluşan kalın bir sedimenter istifle kaplıdır. Bölgede çok geniş bir alan Sazlıdere Formasyonu olarak adlandırılan tek bir birimle örtülmüştür. Birim esas itibari ile kilitaşı, killi kireçtaşı ve marn'dan ibarettir. Yer yer kumtaşı – çakilitaşı ara katmanlıdır. Genel olarak beyaz – gri, mavimsi gri, bej ve sarıdır. Kireçtaşı ve kilitaşı ara katmanlı marn, yumuşak ve sert çört konkresyonları içerir. Dış yüzeyleri genellikle beyaz, iç yüzeyleri sarımsı beyaz ve grimsi, nadiren yeşilimsidir. Sazlıdere formasyonu, Kırklareli kireçtaşları ile yanal ve düşey geçişlidir. Birim Eosen yaşında resif önü fesiyesinde çökelmiştir. Söz konusu araştırma alanında bulunan 2.50 metre derinliğinde mevcut bir temel çukurunda yapılan gözlemlerin sonuçlarına göre yüzeyden 0.50 metre kadar killi organik toprak bulunmaktadır. Bitkisel toprağın altında 1.80 metreye kadar ise sarımsı açık kahverengi, silisli, karbonatlı kil gözlenmiştir. 1.80 – 2.50 metre arasında ise boz renkli silttaşı ve marn gözlenmektedir.

#### 4.2.1.2.Çukurçeşme Formasyonu

Çukurçeşme Formasyonu kırmızı alacalı, kum, çakıl, silt ve kilden oluşan gevşek tutturulmuş malzemeden oluşmuştur. Bölgedeki kalınlığı 40-50 metre civarındadır. Çukurçeşme Formasyonu Sazlıdere Formasyonu ve resifal kireçtaşlar ile yanal ve düşey geçişlidir. Araştırma alanının ve bölgenin büyük bir bölümü beyazımsı sarı, krem, yeşilimsi boz, killi marnlı ince katmanlı kireçtaşı ve kilitaşıyla oluşan Sazlıdere formasyonu ile kaplıdır. Birimin bu kesimdeki yaklaşık kalınlığı 60-90 metredir. Killi marnlı kireçtaşı ve kilitaşıyla resifal kireçtaşlar ile yanal ve düşey geçişlidir.

#### 4.2.1.3.Kırklareli Resifal Kireçtaşı

Sazlıdere Formasyonun hemen arkasından yerleşik bulunan Kırklareli Resifal Kireçtaşı beyaz, krem, sıkı, sert-çok sert, orta-kalın katmanlı bazen masif, yeniden billurlaşmış, bol fosilli ve erime boşlukludur. Dereköy çiftliği sırtları ve Kuzeyi, Menekşe Tepenin Ispartakule yamacı, Taşdere vadisi bu Resifal Kireçtaşları ile kaplıdır. Bir başka resif merceği Ispartakule deresinin Deliklikaya köyü, Hoşdere arasındaki kesimde gözlenmiştir. Birincil gözeneklilik ve geçirgenlik içeren Resifal Kireçtaşlarında karstlaşma sonucu yer alan erime boşlukları ve tektonik hareketler nedeni ile kırıklar meydana gelmiştir. Bu nedenle, kırık ve boşluklar boyunca yeraltı suyu içerir. Resifal Kireçtaşlarının ortalama kalınlığı 40-70 metre arasındadır. Resifal Kireçtaşlarının merkeksel ve geometrisel durumları nedeni ile havzada kapladıkları alan ve dolası ile hacimleri sınırlıdır.

#### 4.2.1.4.Trakya Formasyonu

Araştırma alanının temelinde Karbonifere ait Trakya Formasyonu (Kt) yer alır. Trakya Formasyonu, başlıca kumtaşı, grovak, kilitaşı ve şeyl düzeylerinin ardalanmasından oluşur. Kıvrımlı, kırıklı ve faylıdır. Kalınlığı 1500 metreden fazladır (Bakılar, 2000). Şekil 4.18.'de II. araştırma alanını 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası verilmiştir.

#### 4.2.2. İstanbul – Hadımköy ve Civarı Hidrojeolojik Özellikleri

Araştırma alanına yakın Florya Meteoroloji Gözlem ve Ölçüm istasyonundan alınan değerlere göre yıllık ortalama sıcaklık 13.6 °C dir. Ortalama en yüksek sıcaklık 23.2 °C ile Temmuz ve ortalama en düşük sıcaklık 5.1 °C ile Ocak ayındadır. Ortalama yağış 637.1 mm.'dir. Ortalama en yüksek yağış 100.4 mm ile Aralık ve en düşük 17.2 mm. ile Temmuz aylarında ölçülmüştür. Kasım, Aralık ve Ocak yağışları ortalamadan önemli sapmalar göstermektedir. Genel olarak Ekim sonunda başlayan

yağış dönemi Mart sonuna kadar devam etmektedir. Nisan'dan sonra azalan yağışlar Ekim sonuna kadar uzayan kurak bir devre oluşturmaktadır. Toplam yıllık yağışın yaklaşık %90'ı Kasım-Nisan aylarında, %10'u ise kurak devrede gerçekleşmektedir.

Bölge içi potansiyel buharlaşma-terleme değerleri yıllık 815.9 mm.'dir. En yüksek ortalama 155 mm ile Temmuz ve en düşük ortalama 15.5 mm. ile Ocak ayında gerçekleşmiştir.

#### 4.2.2.1. Trakya Formasyonu

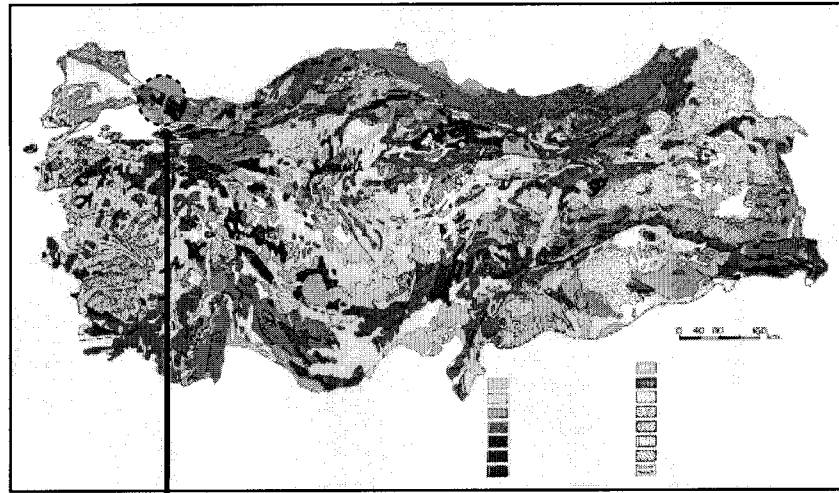
Araştırma alanındaki jeolojik birimlerin su taşıma ve depolama bakımından hidrojeolojik özellikleri belirlenmiştir. Havzanın temelini oluşturan Trakya Formasyonu sıkı, sert kırıklı kayalardan oluşmuştur. Yerel olarak kırık veya çatlaklı kesimlerden pek az su alınabilir. Bölgede daha önce açılan sondajlarda bu birimden 0.2-0.5 L/s veya günde 15-40 m<sup>3</sup> su alınabilmektedir. Pratik olarak Trakya Formasyonu, bölgede geçirimsiz temeli oluşturmaktadır.

#### 4.2.2.2. Kırklareli Resifal Kireçtaşı

Geçirimsiz temel kayalık üzerine gelen Eosen çökelleri, hidrojeolojik özellikler bakımından çok farklı birimler oluşturmaktadır. Resifal kireçtaşı genellikle iyi bir akiferdir. Suyu doymun olduğu yerlerde bu düzeyden yüksek miktarda su alınabilmektedir. Resifal kireçtaşı ile yanal ve düşey geçişler sunan killi marnlı kireçtaşı düzeyleri ise çoğu düşük geçirgenlikte ve zayıf akifer niteliğindedir. En uygun koşullarda bu düzeyden 1-1.5 L/s veya günde 80-120 m<sup>3</sup> kadar su alınabilmektedir. Bu iki kireçtaşı arasında yer alan şeyl ve killi düzeyler ise yeraltı suyu bakımından pratik olarak su vermeyen ve geçirimsiz birimlerdir.

#### 4.2.2.3. Gürpınar Formasyonu

Gürpınar Formasyonun kilaşları, hidrojeolojik olarak geçirimsizdir. Birim içindeki kum ve çakıl bantlarının beslenme olanakları az olduğundan taşıdığı yeraltı



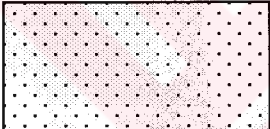
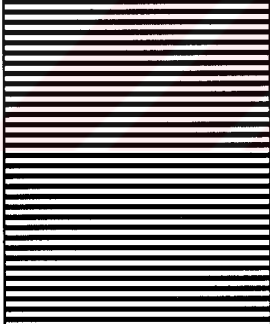
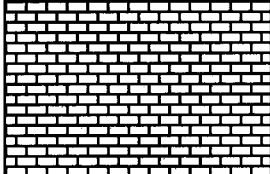
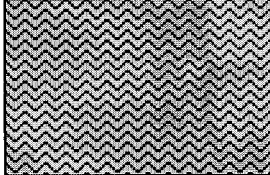
Şekil 4.18. 1/100.000 ölçekli II. araştırma alanları jeoloji haritası



suyu ekonomik değildir. Nitekim bu formasyondan boşalan kaynakların debileri 0.3 L/s'yi vermektedir . Litoloji bütünü ile, killi, kiltaşları, killi marndan kuruludur. Bunlar primer olarak geçirimsiz olduğu gibi sonradan edinebildikleri çatlaklara bağlı olan geçirimsizlikleri de yoktur (Bakılar, 2001).

#### 4.2.2.4. Çukurçeşme Formasyonu

İnceleme alanı içerisinde yer alan Çukurçeşme Formasyonu geçirimlidir. Beslenmesinin ve kalınlığının yeterli olması durumunda iyi bir akifer niteliği taşımaktadır. Güngören ve Bakırköy Formasyonları kalınlıkları ve kapladıkları alanın küçük olması nedeni ile değerlendirilmemiştir. Şekil 4.17.'de araştırma alanında bulunan jeolojik formasyonların hidrojeolojik özellikleri gösteren ölçeşiz kesiti verilmiştir.

|                                                                                     |                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
|  | Çukurçeşme Formasyonu (Geçirimli)                                    |
|  | Gürpınar Formasyonu (Geçirimsiz-Az Geçirimli)                        |
|  | Sazlıdere Formasyonu<br>(İnceleme Alanı İçin Geçirimsiz)<br>Tersiyer |
|  | Trakya Formasyonu (Geçirimsiz)<br>Karbonifer                         |

Şekil 4.19. Araştırma alanında bulunan jeolojik formasyonların hidrojeolojik özelliklerini gösteren kesit (Ölçeşiz)

#### 4.3. Araştırma Kuyusu

II. araştırma sahası içerisinde sondajı bitmiş veya bitirilecek yaklaşık 15 adet kuyu bulunmaktadır. Sondaj açımı tamamlanmış ve “U” boruları indirilmiş kuyulardan birinde TDT ölçümü alınırken, açılmakta olan diğer bir sondajda takip edilmiştir. Sondaj tekniği olarak sedimanter formasyonlarda en uygun yöntem olarak bilinen düz dolaşımli döner sondaj tekniği kullanılmaktadır (Şekil 4.20. - 4.21). Sondaj çamurunun sirkülasyonu 3-5 bar basınç üreten bir kompresör sayesinde sağlanmıştır. Hedef bölgedeki kil yoğunluğu nedeni ile sondaj çamuruna dışarıdan bentonit, kil v.s gibi katkı maddeleri karıştırılmamıştır. Sondaj çapı 8.5” olarak belirlenmiştir. Araştırma alanında açılan sondajların tamamı 150 m. derinliğe sahiptir.

Sondaj boyunca kesilen her metreden örnek alınarak geçilen birimler verilmiştir (Çizelge 4.8.). Çizelge 4.9.’da ise sondaj sırasında kesilen formasyonlarda tij ilerleme hızı verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.22.’de araştırma kuyusundan elde edilen verilere dayanılarak bir kuyu kesiti çıkarılmıştır.

Çizelge 4.8. Sonda boyunca kesilen jeolojik formasyon üyeleri

| Derinlik (m.) | Formasyon      |
|---------------|----------------|
| 0 – 1         | Organik Toprak |
| 1 – 30        | Kumlu Kil      |
| 30 – 75       | Kiltaş         |
| 75 – 90       | Killi Silttaş  |
| 90 – 110      | Şeyl           |
| 110 – 120     | Jips           |
| 120 – 135     | Kiltaş         |
| 135-150       | Kireçtaş       |

Çizelge 4.9. Kesilen jeolojik formasyon üyelerinde tij ilerleme hızı

| Litoloji                           | Delme Hızı (m/saat) |
|------------------------------------|---------------------|
| Organik Toprak                     | 1.5                 |
| Kumlu Kil / Kiltası /Killi Silttaş | 0.6                 |
| Şeyl                               | 1                   |
| Jips                               | 1.2                 |
| Kireçtaş                           | ?                   |

#### 4.4. Poli-Propilen “U” Boruların Yerleştirilmesi ve Dolgu Malzemesi Enjeksiyonu

Kuyu açım işlemi tamamlandıktan sonra ara vermeden Poli-Propilen “U” boruların yerleştirilmesi ve dolgu malzemesinin enjeksiyonunun yapılması gerekmektedir. Özellikle az tutturulmuş sedimanter formasyonlarda yıkılmalar olmadan bu işlemler yapılmalıdır (Şekil 4.23., 4.24., 4.25.).

Kuyu açım işlemi tamamlandıktan sonra, boruların su sirkülasyonunu önleyecek şekilde kırılmadan inebilmesi için borunu sonundaki kısma yaklaşık 60 kg. ağırlık bağlanmıştır. Ayrıca boru henüz yüzeyde iken içerisine su basılarak boru içindeki havanın alınması sağlanmış aynı zamanda kırılmaya karşı dayanımı arttırılmıştır. Borunun kuyuya indirilmesinden önceki son işlem ise, iki borunun kuyu içinde iken birbirlerine ısı transferi yapmaması için her 10 m.’ de bir aralarında ki mesafeyi sabit tutacak aparatlar yerleştirilmiştir (Şekil 4.23.). Daha sonra dikkatle boru kuyuya indirilmiştir (Şekil 4.24.). Şekil 4.25.’de ise kuyuya indirilen borunun şematik gösterimi bulunmaktadır.

Borunu kuyuya sağlıklı bir şekilde indirilmesinden hemen sonra jeolojik formasyon ile boru arasında ki bağlantıyı sağlayan, aynı zamanda boruların kuyu içerisinde sabit kalması amaçlı bir dolgu malzemesi, sondaj makinesi aracılığı ile kuyuya enjekte edilmiştir. Enjeksiyon malzemesi olarak, sondaj boyunca düz dolaşımli sirkülasyon sırasında çıkan ve açılan ikinci bir çukura aktarılan sondaj

çamuru kullanılmıştır. Bu malzemeye ek olarak belirli oranlarda bentonit ve çimento kullanılmıştır. Çizelge 4.10.'da kullanılan dolgu materyalini oluşturan malzemelerin karışım oranları yaklaşık olarak verilmektedir.

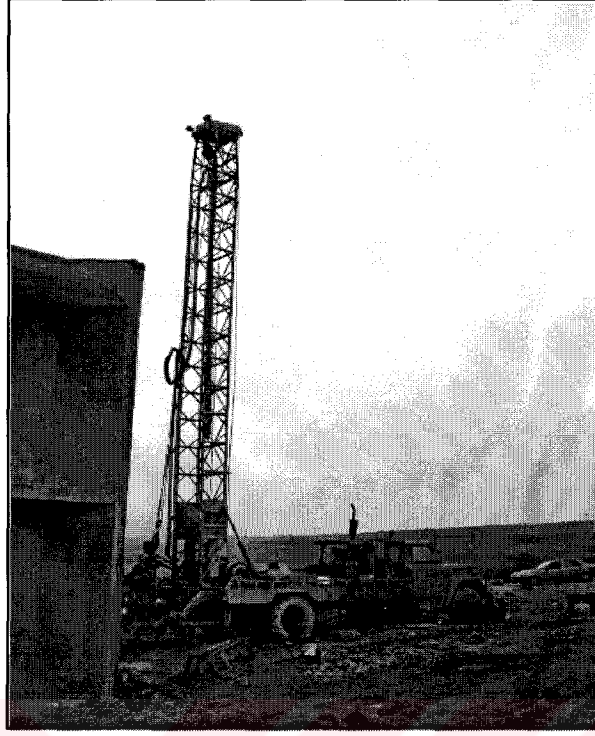
Çizelge 4.10. Kullanılan dolgu materyalini oluşturan malzemelerin yaklaşık karışım oranları

| Malzemenin Cinsi | Miktarı |
|------------------|---------|
| Sondaj Çamuru    | 1800lt  |
| Çimento          | 100kg   |
| Bentonit         | 5kg     |

Ancak Hadımköy SAN-1 villalarındaki uygulamalarda, 10 m.'de bir yerleştirilen ve borular arası ısı transferini önleyen aparatlar uygulayıcı firma tarafından yerleştirilmemiştir. Ayrıca dolgu malzemesi enjeksiyonu da geliş güzel yapılmaktadır. Borular indirildikten sonra sondaj sırasında çıkan malzeme kürekler aracılığı ile tekrara kuyuya atılmaktadır. Kuyu içerisinde 110 m. civarında olan su seviyesi ile karışan malzeme viskoz bir çamur oluşturarak dolgu malzemesi görevi görmektedir.

Dolgu malzemesi ve boru, BTES tekniğinde başarılı uygulamalar için önemli iki parametrelerdir. Sirkülasyon sıvısı ile jeolojik formasyon arasında ısı transferini gerçekleştiren bu iki etmen ne kadar başarılı seçilir ise uygulamadaki verimde o kadar artar. Bu nedenle boru tipi seçimi ve dolgu malzemesinin kompozisyonu önemli bir belirleyici koşuldur.

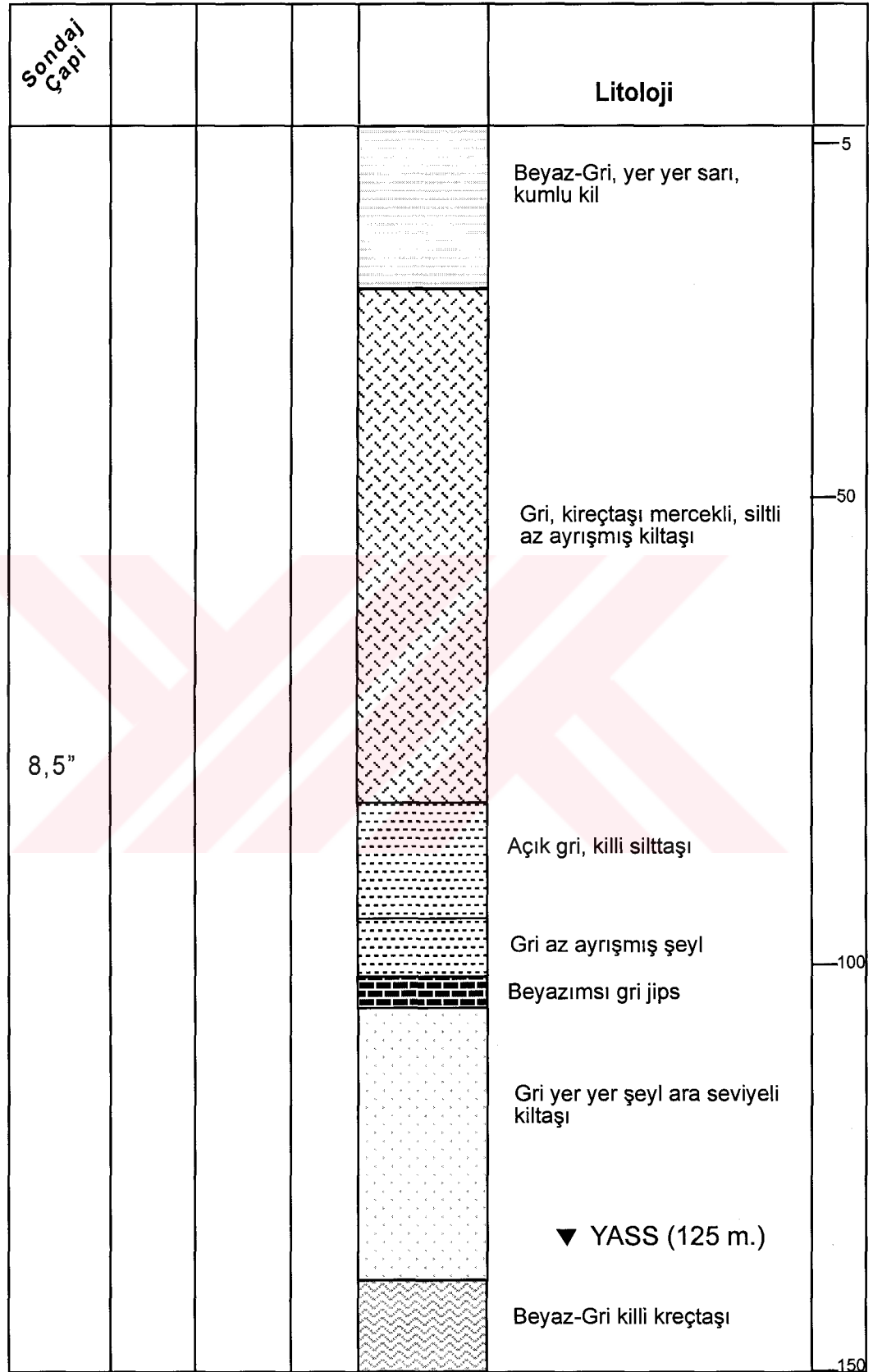




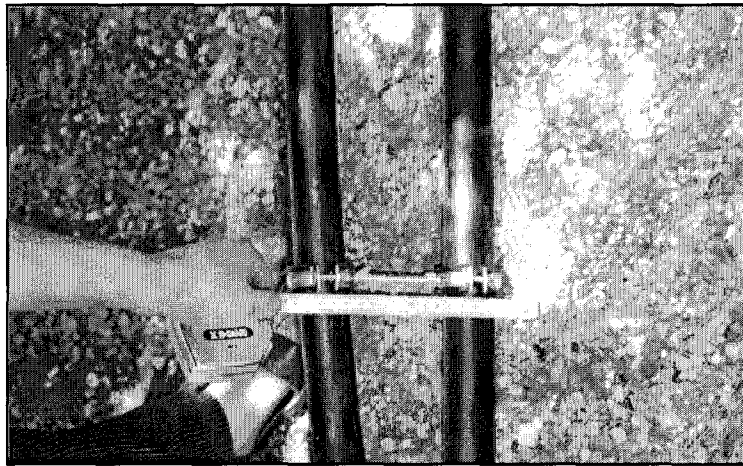
şekil 4.20. II. araştırma alanında sondaj işleminden bir görünüm



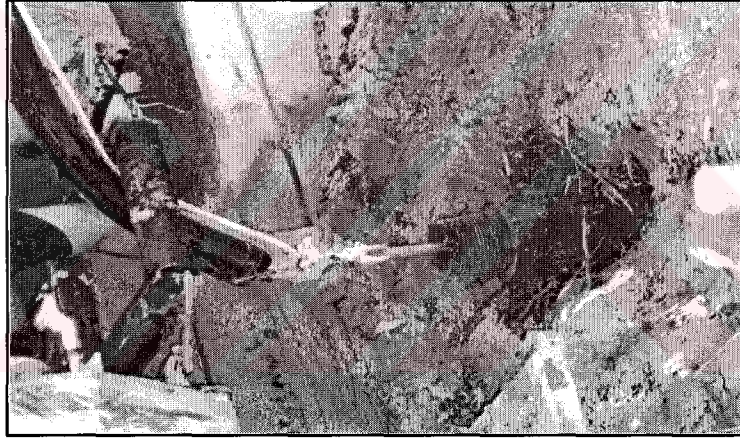
şekil 4.21. II. araştırma alanında sondaj işleminden bir görünüm



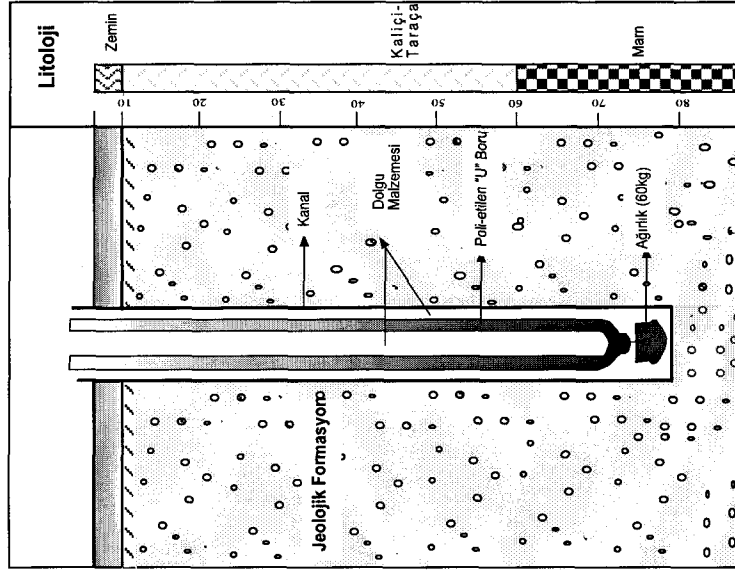
Şekil 4.22. II. araştırma alanı kuyusu kesiti



Şekil 4.23. Yerleştirilen sabitleyiciler



Şekil 4.24. Borunun kuyuya indirilmesi



Şekil 4.25. Şematik görünüm

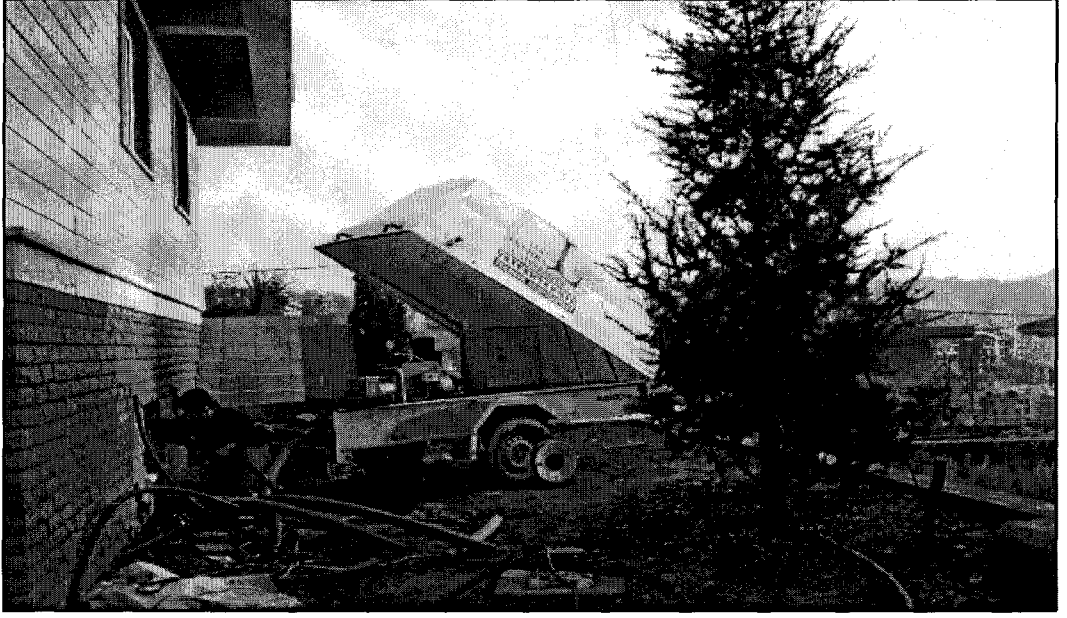
#### 4.2.6 Termal Duyarlılık Testi (TDT)

Materyal başlığı altında da belirtildiği gibi yeraltında bulunan jeolojik formasyonların termal özelliklerinin belirlenmesi, yeraltı kanallarında termal enerji depolama ve yer kaynaklı ısı pompası uygulamalarında, uygun tasarım için önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra test sonuçlarından elde edilen termal özelliklere (Termal iletkenlik  $\lambda$ , ve Termal direnç  $R_b$ ) bağlı kalınarak yapılan tasarımlar sistemin ekonomik uygunluğunu da sağlamaktadır.

Aralık 2000'den itibaren, Türkiye'de üç defa termal duyarlılık testi yapılmıştır. Bunlardan ilki İstanbul Hadımköy'de bulunan SAN-1 konaklarında, ikincisi ise yine İstanbul Beykoz'da bulunan Acar Kent'te uygulanmakta olan GSHP's uygulamalar için açılan kuyulardan alınmıştır (Şekil 4.26. - Şekil 4.27.). Üçüncü ve son ölçüm, Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Laboratuvarının BTES ile Soğutulması projesi kapsamında açılan araştırma kuyusundan alınmıştır. Tezin ilerleyen kısımlarında 2-4 Aralık 2000 tarihleri arasında Hadımköy'de (İstanbul) alınan TDT ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir.

II. araştırma sahası içinde bulunan GSHP's amaçlı kuyulardan birine TDT cihazı bağlanmış ve cihaz deposu şebeke suyu ile doldurulmuştur. Şekil 4.28. ve 4.29.'da TDT cihazının araştırma sahasına nakliyesi ve "U" borulardan bir görünüm bulunmaktadır. Elektrik panosu içindeki güç okunmuş ve pompa aracılığı ile sirkülasyon başlatılmıştır. 20 dakika sirkülasyon sıvısının yer ısısının termal dengeye gelmesi beklenmiş ve 20 dakika sonunda  $3 \text{ kW} \times 2 = 6 \text{ kW}$  gücünde ısıtıcı açılmıştır. Bu işleme yaklaşık 48 saat sonra son verilmiştir. Cihaz üzerinde 4 adet termal sensör bulunmaktadır. Bunlardan iki tanesi akışkanın kuyuya giriş ve çıkış sıcaklıklarını ölçmektedir ( $T_{\text{giriş}} - T_{\text{çıkış}}$ ). Üçüncü sensör dış ortam sıcaklığını ( $T_{\text{dış}}$ ) ve dördüncü sensörde veri kayıt cihazı üzerindeki sıcaklığı ölçmektedir ( $T_{\text{ref}}$ ). Şekil 4.32.'de Hadımköy ölçümleri sırasında alınan sıcaklık ölçümlerini göstermektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere kuyuya sıcak giren su soğuyarak çıkmaktadır. Yani sirkülasyon sıvısı sıcaklığını jeolojik formasyona transfer ederek çıkmaktadır. Grafikte  $T_{\text{ref}}$  'in  $T_{\text{dış}}$  'tan fazla olmasının nedeni ise veri kayıt cihazının kapalı ortamda olması ve bu ortamda çalışan elektrikli cihazların ürettiği ısıdır.





Şekil 4.26. İstanbul Beykoz Acar Kent Konakları GSHP's uygulamaları için açılan kuyulardan alınan TDT ölçümünden bir görünüm



Şekil 4.27. İstanbul Beykoz Acar Kent Konakları GSHP's uygulamaları için açılan kuyulardan alınan TDT ölçümünden bir görünüm



Şekil 4.28. Hareketli TDT cihazının araştırma alanına nakliyesinden bir görünüm



Şekil 4.29. İstanbul Hadımköy SAN 1 Konakları GSHP's uygulamaları için kullanılan poli-etilen "U" borulardan bir görünüm



#### 4.2.7.1. TDT Ölçümü Verilerinin Değerlendirilmesi

TDT cihazının verilerinin değerlendirilmesi ile ilgili teorik kısmı İsveçli araştırmacılar Göran Helleström ve Singhild Gehlin tarafından 1998 yılında ortaya konmuştur. TDT'nin temeli, sisteme verilen ısının, sabit bir güç kaynağından verilmesi prensibine dayanır. TDT cihazı ile alınan ölçümler, yani kanala giriş-çıkış sıcaklık değerlerinin ortalaması ( $T_f$ ),  $\ln(t)$ 'ye karşı çizilir (Şekil 4.33) ve buradan elde edilen doğrunun eğimi ( $k$ , 1 numaralı formül), 2 numaralı formülde yerine konularak efektif  $\lambda$  değeri hesaplanır. Daha sonra bulunan bu değer 1 numaralı formülde yerine konarak  $R_b$  hesaplanır. Bu işlemi takiben, farklı  $\lambda$  değerleri, deneme yanılma yöntemi ile 4 nolu formülde yerine konulur ve bu işlem sonucu çizilen grafiklerden en uygun olanı bize termal iletkenliği ve termal direnci verir (Şekil 4.34. - 4.37.).

$$T_f = k \ln(t) + m \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{Q}{4\pi k H} \quad (2)$$

$$m = \frac{Q}{H} \left( \frac{1}{4\pi\lambda} \left( \ln\left(\frac{4a}{r_b^2}\right) - \gamma \right) - R_b \right) + T_{sur} \quad (3)$$

$$T_f = \frac{Q}{4\pi\lambda H} \ln(t) + \left[ \frac{Q}{H} \left( \frac{1}{4\pi\lambda} \left( \ln\left(\frac{4a}{r_b^2}\right) - \gamma \right) + R_b \right) + T_{sur} \right] \quad (4)$$

$\lambda$ = Termal İletkenlik (W/(mK))

$Q$ = Uygulanan Isıl Güç (kW)

$T_f$ = Giriş-Çıkış Ortalama Sıcaklık (K)

$r_b$ = Kuyu Yarıçapı (m)

$T_{sur}$ = Kuyu ilk Sıcaklığı

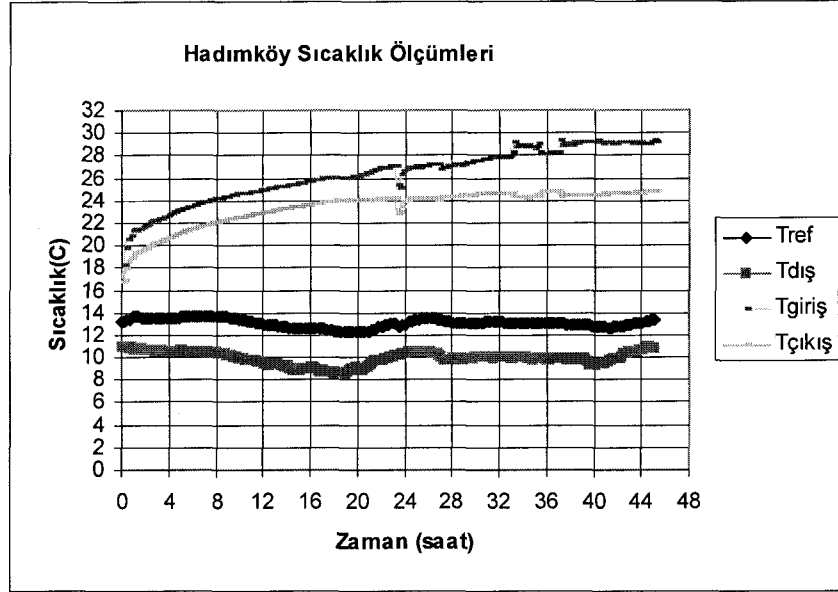
$a$ = Termal Yayılım ( $m^2/s$ )

$H$ = Efektif Kuyu Derinliği (m)

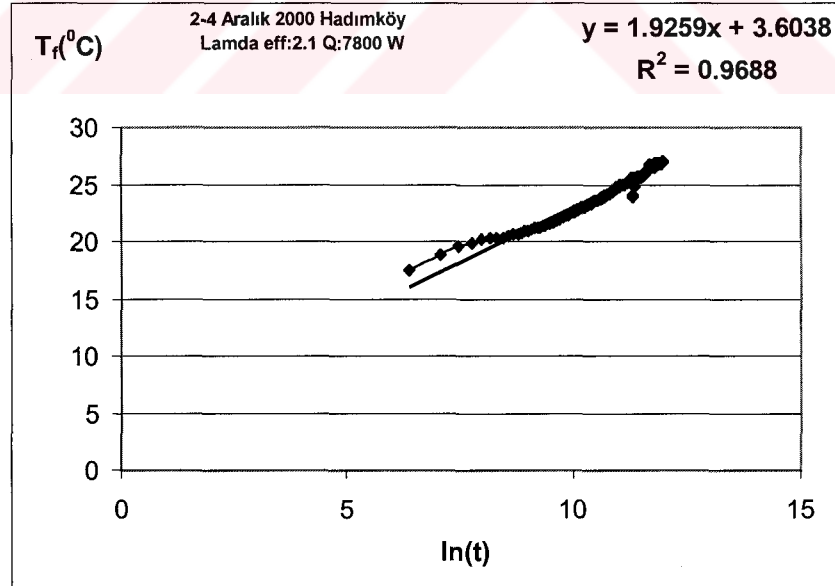
$t$ = Zaman

$R_b$ = Termal Direnç (K(W/m))

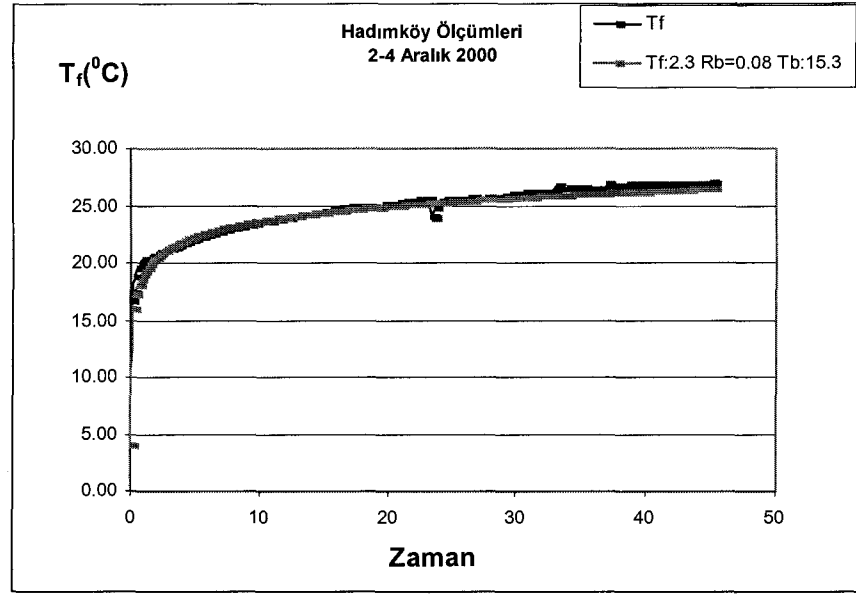
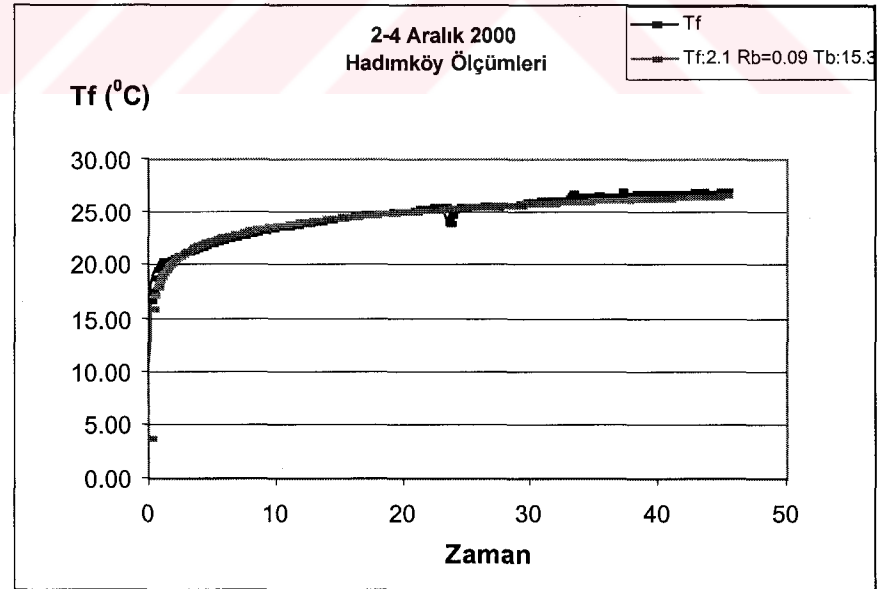
$\gamma$ = Euler Sabiti (0.57)

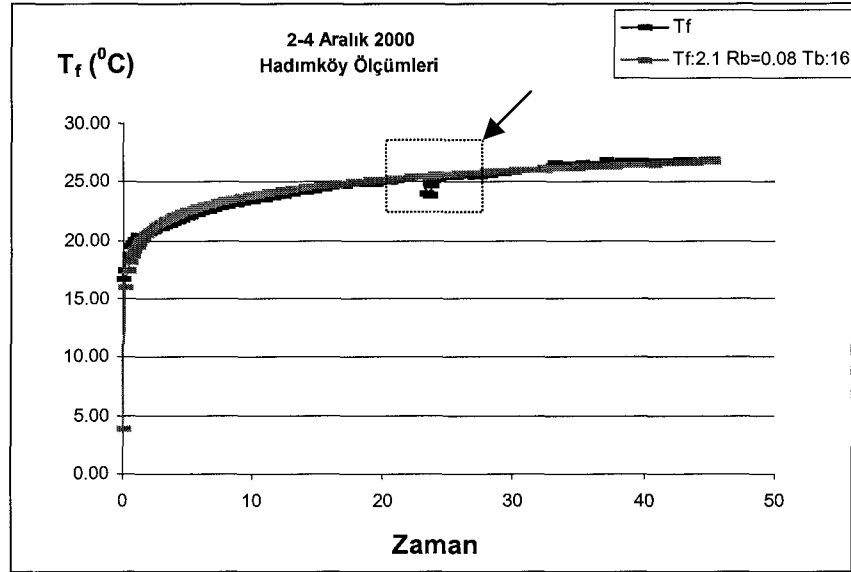
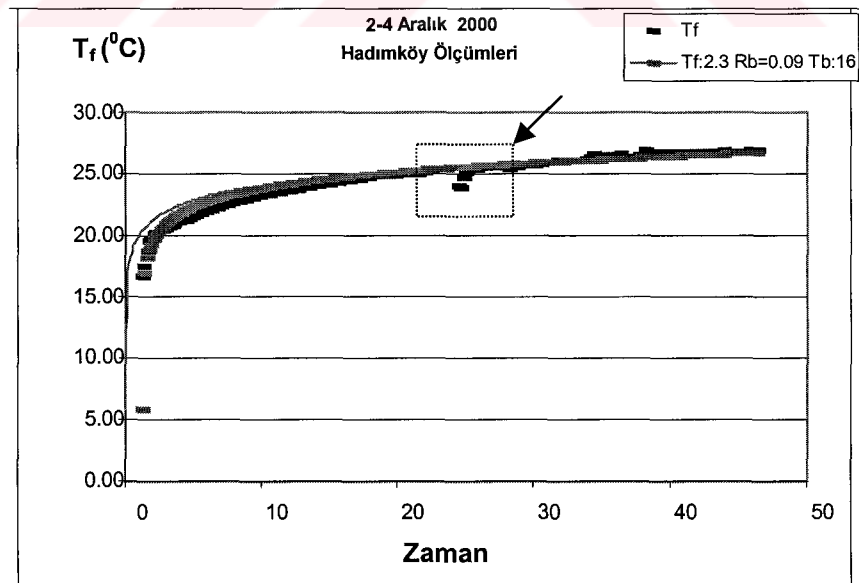


Şekil.4.30. 2-4 Aralık 2000 Hadımköy – İstanbul sıcaklık ölçümleri

Şekil.4.31. T<sub>f</sub>'nin logaritmik zamana karşı grafiği



Şekil.4.32.  $T_f$ 'nin zamana karşı grafiği ( $\lambda=2.3$  W/m,K ve  $R_b=0.08$  K/(W/m))Şekil.4.33.  $T_f$ 'nin zamana karşı grafiği ( $\lambda=2.1$  W/m,K ve  $R_b=0.09$  K/(W/m))

Şekil.4.34.  $T_f$ 'nin zamana karşı grafiği ( $\lambda=2.1$  W/m,K ve  $R_b=0.08$  K/(W/m))Şekil.4.35.  $T_f$ 'nin zamana karşı grafiği ( $\lambda=2.3$  W/m,K ve  $R_b=0.09$  K/(W/m))

Yukarıdaki grafiklerde (Şekil 4.30. - 4.35.) mavi renkle gösterilen eğri, sirkülasyon sıvısının kuyuya giriş-çıkış sıcaklıklarının ortalamasının ( $T_f$ ) deney süresine karşı çizimidir. Pembe tonda olan eğri ise, muhtemel termal iletkenlik ( $\lambda$ ) ve muhtemel termal direnç ( $R_b$ ) değerlerinin 4 nolu formülde yerine konması ile elde edilen  $T_f$  değerinin deney süresine karşı çizimidir. Bu iki eğrinin birbirine en yakın olduğu grafik bize hedef alandaki jeolojik birimin termal iletkenliğini ( $\lambda$ ) ve termal direncini ( $R_b$ ) verir. Hesaplamalar ve değerlendirmeler sırasında İstanbul için yüzeye yakın yer sıcaklığı  $15.8^{\circ}\text{C}$  alınmıştır. (METEONORM, Version 4.0, Edition 2000)

Yukarıdaki grafiklerden en uygun olanı Şekil 4.36.'da bulunan,  $\lambda$  değerinin  $2.1 \text{ W/m,K'ya}$  ve  $R_b=0.08 \text{ K/(W/m)}$ 'ye denk geldiği grafikdir.

Şekil 4.34. ve 4.35.'de işaret oku ile gösterilen bölgede deney sırasında ölçülen sıcaklık değerlerinde bir anomali gözlenmektedir. Bu anomalinin sebebi deney başlangıcından 24 saat sonra kontrol amaçlı TDT cihazının kapağının açılmasıdır. Kapağın açılması ile birlikte ortam ısısı düşmüş ve bu da verilere yansımıştır. Her ne kadar bu anomali deney sonuçlarını büyük ölçüde etkilemese de bize ölçümlerin hassasiyeti konusunda bir fikir verebilir.

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Hızlı bir şekilde gelişen ve sanayileşen Türkiye’de artan enerji talebi ve bu artan talebin karşılanması sonucu meydana gelen çevre sorunları geleceği tehdit eder duruma gelmiştir. Günümüzde kullanılan enerji kaynakları nedeni ile Türk ekonomisine önemli bir yük bindiği gibi, dışa bağımlılıkta göz ardı edilmemesi gereken bir sorundur. 1970’li yıllarda meydana gelen enerji krizi sonrası, fosil yakıtta dışa bağımlı ülkelerin düştüğü zor durum unutulmamalıdır. Bununla birlikte dünyada bulunan fosil yakıt rezervlerinin bu hızla tüketildiği taktirde yakın gelecekte biteceği bilinen bir gerçektir. Tüm bu olumsuz koşullara bir de nükleer enerjinin bilinen işletme ve atık problemleri eklendiğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının yakın gelecekte bir adım öne çıkacağı unutulmamalıdır.

1970 enerji krizi sonrası üzerinde çalışmaya başlanan ve bu tarihten itibaren yenilenebilir enerji kaynakları içerisindeki payını giderek arttıran UTES sistemlerinin Türkiye’de tanıtılması ve uygulamalarının yaygınlaştırılması doğrultusunda çalışılmalıdır. Böylece Türkiye kendi öz kaynaklarını daha etkin bir şekilde kullanacak ve dışa bağımlılığı azalacaktır. Bu tip sistemlerin yaygınlaştırılması sonucu göz ardı edilmemesi gereken bir başka sonuç ise ekonominin üstünden kalkacak büyük bir yük ve çevresel faydalardır.

UTES sistemlerin başarı ile çalışması hedef bölgedeki jeolojinin tüm detayları ile ortaya konmasına bağlıdır. Ancak jeolojik parametreler tam anlamı ile bilindiği taktirde sağlıklı ve ekonomik bir sistem tasarlanıp uygulanabilir. Bu nedenle UTES tekniklerinin yaygınlaştırılması Jeoloji Mühendisliği mesleği içinde önem arz etmektedir. Türkiye’de yakın gelecekte hızla uygulamalarının artacağına inanılan UTES sistemlerinin başarı ile uygulanabilmesi için çalışmalar hızlandırılmalıdır. Bu konuda ileri gitmiş ülkelerden teknoloji ve tecrübe transferi yapılmalı ve meydana gelen hatalar tekrarlanmadan başarılı uygulama sayısı arttırılmalıdır.

Ekonomik ve teknolojik uygulanabilirlik bakımından UTES tekniklerinden ATES ve BTES uygulamaları Türkiye için uygun görülmektedir.



### 5.1 ATES Tekniği için Sonuç ve Öneriler

Dünyada çalışır durumda olan ATES projelerinin %40'a (Andersson, 2000) yakın bir bölümünde problemler çıkmıştır. Bu hata oranının %15'ini kapasite yetersizliği ve geri kalan %25'lik kısmını ise filtreli kuyu borularında tıkanma ve demir çökmesinden kaynaklandığı bilinmektedir. Bu problemler hedef bölgedeki jeolojik ve hidrojeolojik parametrelerin yeterince ortaya konmaması sonucu meydana gelmiştir. Meydana gelen bu hataların büyük bir kısmı sonradan alınan basit önlemlerle giderilmiştir.

ATES tekniklerinin başarı ile çalışması, akiferin teknik özelliklerinin bilinmesine ve hedef binadaki HVAC (Havalandırma ve İklimlendirme) sistemi ile akifer arasındaki bağlantıyı sağlayan kuyulara ve bu kuyuların verimine bağlıdır. Yukarıda sıralanan parametrelerin aydınlığa kavuşturulması nedeni ile I. araştırma alanında açılan araştırma kuyusu aracılığı ile hedef bölgedeki akiferin varlığının belirlenmiş ve akiferin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri ortaya konmuştur. Bunlar;

1. 80 metrelik sondaj boyunca toplam kalınlığı 14 m. olan 3 parçalı akifere rastlanmıştır. Bunlardan üst akifer adı verilen 34-45 m. ler arası, orta akifer adı verilen 46-50 m. ler arası ve Alt akifer adı verilen de 57-60 m.'ler arası kesilmiştir. Akiferi oluşturan katmanlar araştırma alanında iyi akifer olma özelliği ile bilinen sedimanter kökenli, farklı tane boylarından oluşmuş konglomeralardır. Konglomera içindeki kil oranının arttığı seviyelerde akifer su tutma özelliğini azalmakta, çakıl oranı arttıkça artmaktadır. Konglomeralar araştırma alanına Seyhan Nehrinin getirdiği alüvyal dolgu ile yerleşmişlerdir.
2. Pompaj testi sonucu statik su seviyesi 8 m.'den 34.2 m.'ye inerek sabitlenmiş ve 26.2 m.'lik bir düşüm yapmıştır. Daha sonra pompaja ara verilerek yükselim ölçülmüştür. 34.2 m.'de olan su seviyesi 23 m.'ye tırmanarak 11.2 m.'lik bir yükselim gözlenmiştir. Böylece dinamik su seviyesi ise 23 m. olarak belirlenmiştir.
3. Sondaj boyunca çıkan malzemeye yapılan elek analizi sonucu akifer ile filtreli kuyu boruları arasındaki bağlantıyı en iyi sağlayacak efektif çakıl

boyutu 5-10 mm. Olarak belirlenmiş ve uygulanmıştır. Çakılların yıkanmış nehir çakılı olmasına ve tanelerin mümkün olduğu kadar homojen olmasına dikkat edilmiştir.

4. Kuyunun debisi 15lt/sn olarak belirlenmiştir.
5. Porozite %20 olarak belirlenmiştir.
6. Transmisibilite  $2 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$  olarak hesaplanmıştır.
7. Hidrolik Kondaktivite  $1.5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ 'dir. (Conflow)
8. Akiferin termal kondaktivitesi ise  $2.0 \text{ W/m K}$ 'dır (Conflow)
9. Hidrolik Eğim ise 0.003 Güney olarak saptanmıştır.
10. Yukarıda saptanan veriler (4, 6, 9) Conflow Akifer simülasyon programında değerlendirilerek optimum kuyu yerleşimi yapılmıştır. (7, 8) nolu veriler programda mevcuttur.
11. Simülasyon sonuçlarına göre 6'sı sıcak depolama amaçlı, 6'sı soğuk depolama amaçlı toplam 12 kuyu ihtiyaç duyulan enerjiyi depolamaya yetecektir. Yine simülasyon sonuçlarına göre sıcak ve soğuk kuyu grupları arasındaki termal açıdan en uygun uzaklığın 300-400 m. olduğu gözlenmektedir. Aynı grup (sıcak veya soğuk) için aralarında bulunması gereken mesafenin 60-80 m arası olması gerektiği tespit edilmiştir. Hidrolik açıdan maksimum düşüm 7-8 m olarak hesaplanmıştır. Bu değer kriter olarak alınan 10 m.'nin altında olduğu için uygundur. Sonuçlar, kare şeklinde 350x400 m.'lik bir alanda yerleştirilmiş kuyularda yılda yaklaşık 14000 MWh sıcak-soğuk termal enerji depolaması yapılabileceğini göstermektedir. Dünyadaki diğer ATES uygulamaları ile karşılaştırıldığında, sedimanter kökenli bir akiferde yapılan depolama ile mağmatik veya metamorfik kökenli bir akiferde yapılacak depolamada, kuyular arasındaki mesafenin sedimanter kökenli akiferde daha fazla olduğu gözlenmiştir.
12. Sıcak kuyularda yapılacak depolama sonucu karşılaşılabilmesi muhtemel bir diğer problem ise  $\text{CaCO}_3$  (Kalsiyumkarbonat) çökmesi, ve silikatların çökmeleri kabuklaşma sorunudur. Demir ve Mangan iyonları ise gerek oksitlenerek gerekse mikrobiyolojik yolla olan çökelmeleri tıkanma sorunu doğurabilir. Ancak meydana gelmesi muhtemel bu sorunlar çözümsüz

değildir. ATES uygulaması sırasında sıcak depolamalarda,  $\text{CaCO}_3$  çökelmelerinin sebep olduğu kabuklaşmayı engellemek için yeraltı suyu çekilip iyon değiştirici kolonlar kullanılarak ( $\text{Ca}^{+2}$ ) iyonu derişimi  $\text{CaCO}_3$  'ün çökemeyeceği değerlere getirilebilir. Bunun için  $\text{Na}^+$  ve  $\text{H}^+$  iyon değiştiricileri kullanılabilir.

13. Yakın gelecekte artan bir hızla Türkiye'deki ısıtma-soğutma pazarına gireceği düşünülen bu tip sistemler için bazı önlemler alınmalıdır. Artacak ATES uygulamaları ile çoğalacak depolama amaçlı kuyular ve depolama yapılan akifer sayısı artacaktır. Bu nedenle, ilerde kuyuların etki alanını birbirine karışması gibi bir kargaşaya neden olunmaması için planlama yapılmalıdır. DSİ üniversiteler ile işbirliği içinde ATES uygulamaları için bir şartname hazırlaması bu konuda fayda getirecektir. Şartnamenin hazırlanmasındaki bir diğer amaç, ATES amaçlı kuyular ile bilinen su amaçlı kuyular arasındaki farktır. Uygulanan ATES projelerinin, kuyu sayısı, kuyu kapasitesi, depolamanın yapıldığı akifer zonu v.s gibi bilgiler kayıt edilmeli ve bu konuda mümkün ise GIS sistemi kullanılmalıdır. Üniversitelerinin Jeoloji bölümleri konuya hassasiyetle eğilmeli ve bu konuda uzmanlar yetiştirilmelidir. Ülkemizde ATES konusunda yeterli uzman bulunmamaktadır.

## 5.2 BTES Tekniği İçin Sonuç ve Öneriler

Dünyada daha çok küçük ölçekli uygulamaları bulunan ve akifer bulunmayan yerlerde tercih edilen BTES tekniği için en önemli belirleyici koşul hedef alanda bulunan jeolojik formasyonun termal iletkenliği ( $\lambda$ ) ve termal direncidir ( $R_b$ ). Bu iki parametrenin ortaya konması ile birlikte sağlıklı bir tasarım ve uygulama yapılabilir. Bu amaçla II. Araştırma alanında açılan 150 m. derinliğindeki kuyudan alınan ölçüm ve simülasyon sonuçları aşağıda verilmiştir. Bunlar;

1. Araştırma kuyusunun içinde bulunan formasyonun, boru ve dolgu malzemesinin termal iletkenliği ( $\lambda$ ) 2.1 W/m, K., termal direnci ise ( $R_b$ ) 0.08 K/(W/m) olarak hesaplanmıştır.
2. Şekil 4.34. ve Şekil 4.35. işaretli okla gösterilen kısımdaki anomali TDT cihazının ısı değişimlerine karşı çok duyarlı olduğunu göstermektedir. Sağlıklı ölçümler için özellikle yaz aylarında arazide yapılacak deneyler sırasında TDT güneş ışınlamına karşı korunmalıdır. Özellikle kuzey ikliminin hüküm sürdüğünden İsveç'te tasarlanıp yapıldığından cihazın, güneş ışınlamı nedeni ile yüksek ortam sıcaklıklarında alınan ölçümlerin sağlıklı olması beklenemez.
3. Şekil 4.30.'da verilen sirkülasyon sıvısının kuyuya giriş-çıkış sıcaklıkları gözlemlendiğinde, kuyuya giren sirkülasyon sıvısının sıcaklığının düştüğü ve soğuyarak çıktığı görülmektedir. Söz konusu sıcaklık düşümünün nedeni TDT deneyi boyunca araştırma kuyusu ve çevresine bir sıcaklık atılmasıdır.
4. Araştırma alanındaki kuyuların derinliğine ve çapına geliş güzel karar verilmektedir. İleriki çalışmalarda, TDT deneyi sonucu elde edilen, termal iletkenliği ( $\lambda$ ) ve termal direnç ( $R_b$ ) kullanılarak, BTES tekniği uygulamaları için yazılmış EED ve SBM gibi bilgisayar simülasyon programlarında değerlendirilerek optimum kuyu çapı ve derinliği belirlenecektir.
5. Türkiye'nin çeşitli yerlerinde bulunan farklı kökenli ve yaşlı jeolojik formasyonlarında TDT ölçümleri alınarak bir sınıflama yapılabilir. Bu sınıflama için GIS yöntemi kullanılabilir. Böylece getirdiği çevresel ve ekonomik faydalar nedeni ile yakın gelecekte uygulamalarının hızla artacağı düşünülen BTES uygulamalarına bir veri tabanı oluşturulabilir.
6. BTES kanallarında, sirkülasyon sıvısı ile jeolojik formasyon arasında ısı transferi yapan boru ve dolgu malzemesi seçimi başarılı ve verimli bir sistem için önem arz etmektedir. Farklı dolgu malzemeleri ve farklı boru materyallerinin kullanıldığı kanallarda yapılacak TDT ölçümleri ile günümüzde kullanılan dolgu malzemelerine ve boru materyallerine alternatifler getirilebilir.



## KAYNAKLAR

- ALLEN, D.M., WOO, C., SHYMKO, G.F., MAYNARD, S. 2000, Operating Strategies for ATES in Areas with Non-idea Climates, Proc. of TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 93-98
- ANDERSSON, O., ve ANDERSSON, B., 2000. Collection of Geodata for UTES-Applications by the Use of Test Drilling. Proc. of TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 117-121
- ANNDRSSON, O., 1999, Failures and Cures in Swedish ATES Plants. IEA ECES IA Annex 13 4<sup>th</sup> Experts Meeting. Oct. 6-9, 1999
- ANDERSSON, O., 1997, ATES Utilization in Sweden- An Overview, Proc. of MEGASTOCK'97 7<sup>TH</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol.2, pp.925-930.
- ANNEX 6 Final Report. International Energy Agency Energy Conservation trough Energy Storage Implementing Agreement.
- ANNEX 8 Final Report. International Energy Agency Energy Conservation trough Energy Storage Implementing Agreement.
- ANNEX 13 Text. International Energy Agency Energy Conservation trough Energy Storage Implementing Agreement.
- BAKEMA, G., SNIJDERS, A.L. and NORDELL, B., 1995. Underground Thermal Energy Storage-State of the Art Report 1994, Arnhen, The Netherlands, 83 p.
- BAKILAR, G., 2000, Hadımköy ve Civarı Jeolojik ve Hidrojeolojik İncelemesi. İstanbul Mühendislik Tic.Ltd. Sti. Zemin Etüdü Raporu
- CLAESSON, J., BENNET, J., PROBERT, T., 1996, Thermal Front Tracking Model using a Conformable flow technique. Lund, Group of Thermal Analyses of Ground Heat Systems. University of Lund Sweden.
- CRUICKSHANKS, F, BRADSLEY, J., WILLIAMS, H., 2000. In-Situ Measurments of Thermal Properties of Cunard Formation in a Borehole, Halifax, Nova Scotia. TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 171-175

- ÇOBANOĞLU, D., 2001, Yüreğir İlçesi (Adana-Merkez) ve İncirlik Batısı Arasındaki Alanın Hidrojeolojik İncelemesi. Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Ana Bilim Dalı Lisans Tezi
- DİKİCİ, D., 1997, Yeraltında Termal Enerji Depolamasında Kimyasal Sorunlar. Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı Master Tezi
- DIRVEN, P. ve BAKEMA, G., 1997. Rapid Introduction of ATES into Flanders (Belgium) through Exchange of Experience and Expertise with the Netherlands, Proc. Of MEGASTOCK'97 7<sup>TH</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol.2, pp.907-912.
- DUPASQUIER, S., ve PARRUAUX, A., 2000. Parametric Study of a Single-Well Seasonal ATES Proc. of TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 99-104
- ELSWIJK, R., C., DRIJVER, B., JELLEMA, I., ve WILLEMSSEN, A. 2000. Optimization of Well Field Configuration for ATES, Proc. of TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 105-110
- E.İ.E.İ., 2000. Enerji Raporu
- GEHLIN, S., HELLESTRÖM, G., 2000. Recent Status of a In-Situ Thermal Response Test for BTES Applications in Sweden. Proc. of TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 159-164
- GEHLIN, S., 1998, Thermal Response Test In-Situ Measurements of Thermal Properties in Hard Rock. Licentiate Thesis. Lulea University of Technology Department of Environmental Engineering Division of Water Resources Engineering Sweden
- GUIGUER, N., ve FRANTS, T., Visual MODFLOW for Windows, version 2.60. Waterloo Hydrogeologic Software. Waterloo-Canada.
- HELLSTRÖM G., GEHLIN, S., 1997, Direct Cooling of Telephone Switching Stations Using a Borehole Heat Exchanger, Proc. of MEGASTOCK'97 7<sup>TH</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol.1, pp.235-241.

- METEONORM, 2000, Global Meteorological Data Base for Solar Energy and Applied Climatology Version 4.0-Edition 2000 (Software)
- NORDELL, B., 1990. A borehole heat store in rock at the University of Lulea, SCBR D12:1990, Stockholm.
- NORDELL, B., Dikici, D., 1998. Winter Air as a Source for Cold Storage Injection Underground Thermal Storage and Utilization. A Peer Review International Journal on Energy Conservation . Vol.1 Stockton College, N.J.,USA.
- PAKSOY, H.Ö., EVLIYA, H. and ABACI, Ş., 1997, "The underground thermal energy storage (UTES) potential in Turkey", Proc. MEGASTOCK'97 7<sup>TH</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, pp. 949-954, Sapporo, Japan, 18-21 June,.
- PAKSOY, H.Ö., 1998, Underground thermal energy storage - A choice for sustainable future, 17<sup>th</sup> Congress of the World Energy Council, Houston Texas, 103-112.
- PAKSOY, H.Ö., ANDERSSON O., EVLIYA H., ABACI, S ve TURGUT, B., 2000, Heating and cooling of a hospital using solar energy coupled with seasonal thermal energy storage in aquifer, Renewable Energy, 19,117-122,.
- SANNER, B., STILES, L., 1997. Status of Seasonal Cold Storage in Ground Source Heat Pump, Proc. of MEGASTOCK'97 7<sup>TH</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol.1. pp.13-19.
- SANNER, B., REUSS, M., MANDS, E., and MÜLLER, J., 2000. Thermal Response Test – Experiences in Germany. TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 177-182
- SPITLER, J., YAVUZTÜRK, C., REES, S.J., 2000. In Situ Measurements of Ground Thermal Properties. TERRASTOCAK 2000 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol I, pp 165-170
- SNIJDERS, A.L. ve BAKEMA, G., 1997. The Successful Introduction of Aquifer Cold Storage in the Netherlands, Proc. of MEGASTOCK'97 7<sup>TH</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Vol.2, pp.919-924.
- YETİŞ, C., DEMİRKOL, C., 1986, Adana Baseninin Batı Kesiminin Detay Jeolojisi–I, MT A ve Ç.Ü Müh-Mim Fak. Ortak Raporu, Adana.

## ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Adana’da doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Adana’nın çeşitli okullarında tamamladıktan sonra 1993 yılında Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladım. 1998 yılında lisans eğitimimi tamamladım. 1999 yılında Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimime başladım ve halen aynı Anabilim Dalında eğitimime devam etmekteyim. Haziran 2000’de Çukurova Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesine Araştırma Görevlisi olarak atandım ve halen aynı fakültede görevime devam etmekteyim.

