

Keziban Biçim



İSKENDERUN TEKNİK
ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

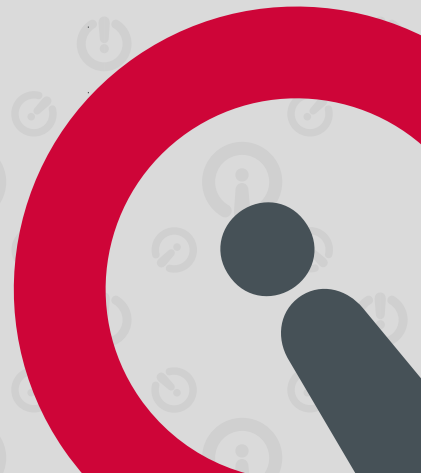
**BİR JEOTERMAL SAHA
SONDAJININ MALİYET ANALİZİ**

Keziban Biçim

**PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

MART 2022

MART 2022





BİR JEOTERMAL SAHA SONDAJININ MALİYET ANALİZİ

Keziban BİÇİM

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
PETROL VE DOĞALGAZ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

MART 2022

Keziban BİÇİM tarafından hazırlanan “BİR JEOTERMAL SAHA SONDAJININ MALİYET ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Petrol Ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Ergül YAŞAR

Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Üye: Prof. Dr. Özen KILIÇ

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

.....
.....

Tez Savunma Tarihi: 24/03/2022

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Yükseköğretim Kuruluna gönderilen kopya ile tarafından Sosyal Bilimler Enstitüsü'ne verilen basılı ve/veya elektronik kopyaların birebir aynı olduğunu,
 - Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza
Keziban BİÇİM
24/03/2022

BİR JEOTERMAL SAHA SONDAJININ MALİYET ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Keziban BİÇİM

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mart 2022

ÖZET

Enerji, geçmişten günümüze birçok alanda kullanılan temel bir ihtiyaç konumundadır. Bu nedenle enerji talebi giderek artış göstermektedir. Günümüzde bu enerji talebi ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan karşılanmasına rağmen nükleer santraller, jeotermal santraller, güneş ve rüzgar enerji üretim tesisleri gibi farklı yöntemlerle de karşılanabilmektedir. Ancak, enerji talebinin optimum şartlar altında karşılanabilmesi için düşük maliyet ile yüksek verimde enerjinin elde edilmesi gerekmektedir. Jeotermal kaynakların tespit edilmesinden sonra yapılacak sondaj çalışmaları ise maliyetin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada sondaj işleminin genel özelliklerine ve jeotermal sondajların sürdürülebilir çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kullanımının yaygınlaşması neticesinde optimum maliyetin incelenmesi amaçlanmıştır. Burada en önemli maliyet parametreleri için detaylı inceleme yapılarak sondaj maliyetine etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Enerji, jeotermal sondajlar, maliyet
Sayfa Adedi : 59
Danışman : Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

ECONOMIC ANALYSIS OF A GEOTHERMAL FIELD DRILLING
(M. Sc. Thesis)

Keziban BİÇİM

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

March 2022

ABSTRACT

Energy is a basic need used in many fields from past to present. Therefore, the demand for energy is gradually increasing. Although today this energy demand is mainly met from fossil fuels, it can also be met by different methods such as nuclear power plants, geothermal power plants, solar and wind energy production facilities. However, in order to meet the energy demand under optimum conditions, low cost and high efficiency energy must be obtained. Drilling works to be carried out after the determination of geothermal resources constitute an important part of the cost. In this study, it is aimed to examine the optimum cost as a result of the general characteristics of the drilling process and the widespread use of geothermal drilling as a sustainable environmentally friendly energy source. Here, the most important cost parameters were examined in detail and their effects on the drilling cost were evaluated.

Key Words : Energy, geothermal drilling, cost
Page Number : 59
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Yasin ERDOĞAN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenmesi aşamasında ve araştırılmasında gerekli verilere ulaşmamda sahip olduğu donanım ve tecrübesi ile çalışmam üzerinde duran danışman hocam Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunar, çalışmamın yürütülmesinde her türlü tecrübesi, yardımı ve içtenliğiyle desteğini hiç esirgemeyen İskenderun Teknik Üniversitesi Arş. Gör. Onur Eser KÖK'e sonsuz saygı, teşekkür ve minnettarlığımı sunarım. Ayrıca çalışmalarında üniversite öğrenimim boyunca beraber geçirdiğim ve aynı zamanda yüksek lisans öğrenimine de beraber başladığım meslektaşım Kübra GÜL DURMAZ'a ve son olarak da eğitim öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi üzerimden desteğini esirgemeyen aileme de sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. SONDAJ.....	2
2.1. Sondajın Tanımı.....	2
2.2. Dünyada Sondaj Çalışmaları.....	3
2.3. Türkiye’de Sondaj Çalışmaları.....	3
2.4. Sondajın Sınıflandırılması.....	3
2.4.1. Sondajın derinliğine göre sınıflandırılma.....	4
2.4.2. Sondajın kuyu çapına göre sınıflandırılma.....	4
2.4.3. Sondajın yapıldığı alanlara göre sınıflandırılma.....	4
2.4.4. Sondajın amaçlarına göre sınıflandırılma.....	5
2.5.5. Sondajın yöntemlerine göre sınıflandırılma.....	5
2.5. Sondaj Makinesi ve Sondaj Kulesi.....	8
2.6. Kule Ekipmanları ve Sistemleri.....	10
2.6.1. Kule güç sistemi.....	10
2.6.2. Kule kaldırma sistemleri.....	10
2.6.3. Döndürme sistemi.....	11
2.6.4. Kuyu kontrolü ve ekipmanları.....	12

	Sayfa
2.7. Sondajda Kullanılan Sondaj Çamuru.....	13
2.7.1. Sondaj çamurunun işlevleri ve etkileri.....	14
2.7.2. Sondaj çamurunun görevleri.....	14
2.7.3. Sondajlarda kullanılan başlıca kimyasal türleri.....	15
2.8. Sondajda Verimlilik ve Karşılaşılan Güçlükler.....	16
3. JEOTERMAL SONDAJLAR.....	17
3.1. Jeotermal Sondaj Tanımı.....	17
3.2. Jeotermal Sondajlarda Oluşan Sorunlar ve Çözümleri.....	21
3.2.1. Magmatik, volkanik ve metamorfik kayalar delen sondaj matkaplarında meydana gelen problemler.....	21
3.2.2. Jeotermal kuyularda çamur işleminde meydana gelen sorunlar.....	24
3.2.3. Jeotermal kuyularda çimentolama işleminde meydana gelen sorunlar.....	24
3.2.4. Jeotermal kuyularda koruma borusu tasarımında meydana gelen sorunlar.....	26
4. MATERYAL VE METOD.....	28
4.1. Kule Seçimi.....	28
4.2. Sondaj Planı.....	28
4.3. Casing Planı.....	28
4.4. Çimentolama Planı.....	29
4.5. Kuyu Kontrol Planı.....	29
4.6. Matkap Seçimi.....	30
4.7. Sondaj Çamuru Planı.....	30
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	31
5.1. Jeotermal Enerji Ekonomisine Genel Bakış.....	31

	Sayfa
5.2. İstatistiksel Veriler.....	31
5.2.1. Lokasyon ve yol yapım giderleri.....	35
5.2.2. Nakliyat giderleri.....	35
5.2.3. Matkap giderleri.....	35
5.2.4. Kuyuda kalan borusal malzeme ve ekipman giderleri.....	36
5.2.5. Çamur malzemesi giderleri.....	38
5.2.6. Çimento, kum, çakıl ve çimento katkı malzemeleri giderleri.....	44
5.2.7. Akaryakıt ve yağ giderleri.....	50
5.2.8. Kuyu başı malzeme giderleri.....	50
5.2.9. Genel giderler.....	51
5.2.10. Malzeme, yedek parça ve onarım giderleri.....	51
5.2.11. Personel giderleri.....	52
5.2.12. Maliyet analiz çizelgesi.....	53
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	55
KAYNAKLAR.....	56

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Sondajın derinliğine göre sınıflandırılma.....	4
Çizelge 2.2. Sondajın kuyu çapına göre sınıflandırılma.....	4
Çizelge 2.3. Sondajın yapıldığı alanlara göre sınıflandırma.....	4
Çizelge 2.4. Sondajın amaçlarına göre sınıflandırma.....	5
Çizelge 2.5. Sondajın yöntemlerine göre sınıflandırma.....	5
Çizelge 2.6. Sondaj çamurunun işlevleri ve etkileri.....	14
Çizelge 2.7. Sondajlarda kullanılan başlıca kimyasal türleri	15
Çizelge 2.8. Sondajda verimliliği artıran faktörler.....	16
Çizelge 2.9. Sondajda karşılaşılan güçlükler.....	16
Çizelge 3.1. Ülkelere göre dünyada jeotermal enerji kurulu gücü.....	20
Çizelge 3.2. Ülkelere göre kişi başına düşen jeotermal enerji kurulu gücü.....	21
Çizelge 5.1. Lokasyon ve yol yapım maliyetleri.....	35
Çizelge 5.2. Kuyuda kullanılan matkap türleri ve toplam maliyetleri.....	36
Çizelge 5.3. Kuyuda kullanılan casing borularının özellikleri ve maliyetleri.....	37
Çizelge 5.4. Kullanılan kimyasal katkı maddeleri ve işlevleri.....	38
Çizelge 5. 5. Kuyuda kullanılan çamur özellikleri.....	39
Çizelge 5.6. Kuyuda meydana gelen çamur kaçak zonları ve miktarları.....	40
Çizelge 5.7. Kullanılan çamur kimyasalları ve maliyetleri.....	43
Çizelge 5.8. 20" Casing borularının çimentolama maliyetleri.....	45
Çizelge 5.9. 13 3/8" Casing borularının çimentolama maliyetleri.....	47
Çizelge 5.10. 9 5/8" Casing borularının çimentolama maliyetleri.....	49
Çizelge 5.11. Genel giderler çizelgesi.....	50
Çizelge 5.12. Malzeme, yedek parça ve onarım giderlerinin maliyetleri.....	52

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.13. Sabit personel giderlerinin maliyetleri.....	52
Çizelge 5.14. Araziye yönelik personel giderlerinin maliyetleri.....	53
Çizelge 5.15. Maliyet analiz çizelgesi.....	54



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Çamur ve hava sirkülasyon yöntemi donanımları.....	2
Şekil 2.2. Darbeli sondaj yöntemi.....	6
Şekil 2.3. Döner sondaj yöntemi.....	7
Şekil 2.4. Bileşik (havalı) sondaj yöntemi.....	7
Şekil 2.5. Sondaj makinesi donanımları.....	8
Şekil 2.6. Sondaj kulesi donanımları.....	9
Şekil 2.7. Kule kaldırma sisteminin temel elemanları.....	10
Şekil 2.8. Kelly ile dizi döndürme sistemi.....	11
Şekil 2.9. Top drive sistemi.....	12
Şekil 2.10. Sondaj çamuru görünümü.....	13
Şekil 3.1. Jeotermal enerjinin oluşum mekanizması.....	17
Şekil 3.2. Jeotermal enerjinin elektrik enerjisi üretiminde toplam kurulu güç.....	18
Şekil 3.3. Jeotermal enerjinin toplam elektrik üretimi içerisindeki yüzdelik pay.....	19
Şekil 3.4. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli haritası.....	19
Şekil 3.5. Pdc matkap ve yapısı.....	23
Şekil 3.6. TSP matkabı.....	23
Şekil 3.7. Çimentolama işleminde kullanılan ekipmanlar ve çimentolama işlemi.....	25
Şekil 3.8. Tipik bir jeotermal kuyu boru tasarımı.....	27
Şekil 5.1. Verileri değerlendirilen 21 1 /4" kuyubaşı donanımı.....	32
Şekil 5.2. Verileri değerlendirilen 13 5/8" kuyubaşı donanımı.....	33
Şekil 5.3. Verileri değerlendirilen 13 5/8" kuyubaşı donanımı	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
sn / lt	Saniye Litre
gr / cm³	Gram Santim Küp
m	Metre
%	Yüzde
lb	Libre
\$	Dolar
°C	Celcius/ Santigrat derece –sıcaklık ölçme birimi
Ppg	Hacim
Bbl	Varil
NaCl	Sodyum Klorür
PCI	Potasyum Klorür
MW	Megawatt
NaOH	Sodyum Hidroksit
NaHCO₃	Sodyum Bikarbonat
KCl	Potasyum Klorür
CaCl₂	Kalsiyum Klorür
BaSO₄	Barit
CaCO₃	Kalsiyum Karbonat
L-80	API Sınıfı Çelik Cinsi
K-55	API Sınıfı Çelik Cinsi

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
API	American Petrol Enstitüsü
CFL	Kromsuz Lignosülfonat
CMC- HV	Yüksek moleküler ağırlıklığa sahip bir polimerdir.
CMC- LV	Selüloz esaslı anyonik bir polimerdir.
DSİ	Devlet Su İşleri
HSMS	Yüksek Mukavemetli Küçük Bilyeler
MÖ	Milattan Önce
MTA	Maden Tetkik Arama
PAC - HV	Polianyonik Selüloz
PAC- LV	Düşük Viskoziteli Polianyonik Selüloz
PDC	Polycristalline Diamond Compact
TSP	Thermally Stable Polycristalline
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
XCD	Polimer

1. GİRİŞ

Enerji, insan hayatının ve ülkelerin ekonomik açıdan kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Devamlı bir şekilde artan nüfus, sanayileşme, şehirleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi ile enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Enerji tüketiminin her geçen gün artması tüm dünyada uluslararası bir sorun haline gelmektedir. Bu enerji kaynağı kendini yenileme durumu olmayan fosil kaynaklardan ve yenilenebilir olan enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Yenilenemez enerji kaynaklarının hızlı bir şekilde tükenmesi, çevreye ve atmosfere yaydığı kirliliklerden dolayı insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik etmektedir. Bilim insanları yenilenebilir enerji kaynakları hakkındaki çalışmalarında, işletilen enerjinin ekonomik olması, gelecekte de enerji ihtiyacının karşılanabilmesi ve başka ülkelere bağımlı olmadan kullanmak için birçok alanda çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan biri de yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjinin kullanıma sunulmasıdır.

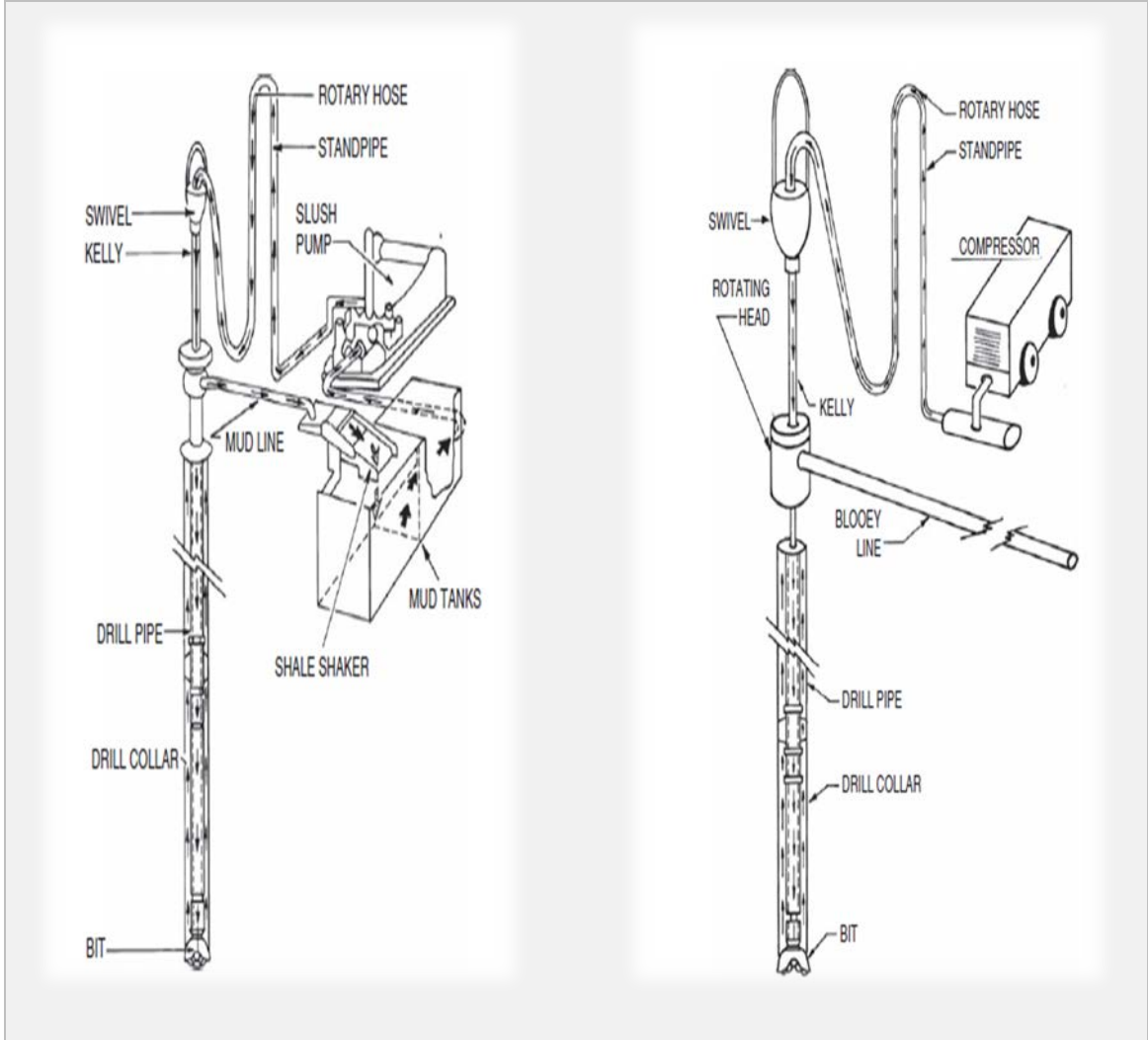
Ülkemizde jeotermal enerji kaynaklarının arama çalışmaları 1960'lı yıllarda başlanılmıştır. Dünyada yenilenemez enerji kaynakları olan petrol, doğalgaz ve kömür gibi kaynaklarının hızla azalması, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan önemi artırmıştır. Türkiye'nin Alp-Himalaya kuşağı üzerinde bulunması, genç bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda jeolojik ve coğrafi konumu bakımından aktif bir tektonik kuşakta yer alması jeotermal kaynak bakımından zengin olduğunu ve dünya ülkeleri sıralamasında yerini aldığını göstermektedir. Bu yüzden Türkiye jeotermal enerji kaynakları bakımından potansiyeli yüksek bir ülke konumundadır. Bu enerji potansiyeli teorik açıdan 31.500 MW olarak tahmin edilmektedir. Bu enerji türünün birçok alanlarda kullanımının olması, çevreyi daha az kirletmesi ve en önemlisi iklim koşullarından etkilenmemesi nedeniyle devamlı kendini yenileyen bir enerji kaynağı olması ülkemiz için büyük bir avantajdır.

Bu çalışmada sondaj işleminin genel özelliklerine ve jeotermal sondajların sürdürülebilir çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kullanımının yaygınlaşması neticesinde optimum maliyetin incelenmesi amaçlanmıştır. Burada en önemli maliyet parametreleri için detaylı inceleme yapılarak sondaj maliyetine etkileri değerlendirilmiştir.

2. SONDAJ

2.1. Sondajın Tanımı

Yer altı kaynaklarının gerekli donanımlar aracılığıyla yeryüzüne çıkarmak için yapılan birtakım operasyonlardır. Sondaj işlemine başlamadan önce zemin etüdünün çok iyi bir şekilde yapılmış olması gerekir. Daha sonra bu işlemin yapılacak olan alanın jeolojik yapısına göre sert veya yumuşak zemin olmasına karar verilir. Sert zeminlerde sondaj işlemi hava sirkülasyon yöntemi ile yapılırken, yumuşak zeminlerde çamur sirkülasyon yöntemi ile yapılmaktadır. Ve bazı durumlarda bu her iki yöntemde aynı anda uygulanabilmektedir. Çamur ve hava sirkülasyon yöntemi donanımları Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Çamur ve hava sirkülasyon yöntemi donanımları [1]

2.2. Dünyada Sondaj Çalışmaları

İlk olarak yapılan sondajın kesin bir tarihinin olmaması çok eskilere dayandığını göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucu ise ilk sondaj çalışmasının MÖ 2000'li yıllarda Çin'in tuzlu su elde etmek için yaptığı varsayılmaktadır. MÖ 1500 yılında ise Kahire'de 75 m derinliğinde bir kuyu sondajının yapıldığı düşünülmektedir. 1126 yılında Fransa'da artoissienne diye adı bilinen bölgede, ileriki zamanlarda artezyen olarak adı değiştirilen kuyu basınçlı bir akiferde açılmıştır.

1808 yılında ABD Virginia'da 18 m derinliğinde tuz madeninde yapılan sondaj ilk darbeli sondaj olarak bilinmektedir. ABD'de ilk darbeli sondaj ve buhar motoruna 1831 yılında geçilmiştir. 1859 yılında ilk petrol sondajına ABD'nin Pennsylvania eyaletinde başlanılmıştır. 1864 yılında ilk karotlu sondaja İtalya-Fransa Mt. Lewis tüneline gerçekleştirilmiştir. Belirli bir ücret talebinde su sondajlarına 1867 yılında ABD'de yapılmıştır. 1910 yılında ise ters dolaşimli sondaja ABD'nin Nebraska eyaletinde uygulanmıştır.

2.3. Türkiye'de Sondaj Çalışmaları

Ülkemizde sondaj faaliyetlerinin daha çok ilerlemesi için ilk olarak 1935'de MTA'nın kurulması ile yapılmıştır. Daha sonra 1956'da DSİ'nin kurulmasıyla sondaj faaliyetleri giderek artırılmıştır. Türkiye'deki sondaj faaliyetlerine petrol aramasıyla başlanılmıştır. İlk olarak yapılan sondaj ise 1887 yılında Hatay'a bağlı İskenderun'da kuyu açılarak başlanılmıştır ama istenilen sonuca varılamamıştır. Daha sonra Tekirdağ'a bağlı Şarköy ilçesinin Gaziköy mahallesinde 82 m'lik petrol kuyusuna başlanılmış ancak burada da istenilen sonuç elde edilememiştir. 1934 yılında ise Mardin'in Midyat ilçesinde 1351 m derinliğinde ilk derin petrol sondajı yapılmıştır.

2.4. Sondajın Sınıflandırılması

Sondaj işlemini anlaşılır hale getirmek için sınıflandırılmalara ihtiyaç duyulmuştur. Bu sınıflandırma: Sondajın derinliğine, kuyu çapına, yapıldığı alanlara, sondajın amaçlarına ve yöntemlerine göre Çizelge 2.1 - 2.2- 2.3 - 2.4. ve 2.5 olarak gruplara ayrılmıştır.

2.4.1. Sondajın derinliğine göre sınıflandırılma

Çizelge 2.1. Sondajın derinliğine göre sınıflandırılma

Derinliğine Göre Sınıflandırılma	
Sığ Sondajlar	100m-1000m(maden arama ve su kuyuları)
Çok Sığ Sondajlar	<100m
Derin Sondajlar	1000m-4000m(petrol ve doğalgaz kuyuları)
Çok Derin Sondajlar	>4000m (bilimsel amaçlı kuyular için)

2.4.2. Sondajın kuyu çapına göre sınıflandırılma

Çizelge 2.2. Sondajın kuyu çapına göre sınıflandırılma

Kuyu Çapına Göre Sınıflandırılma	
Dar Çaplı Sondajlar	<6 inch
Geniş Çaplı Sondajlar	6 - 24 inch
Çok Geniş Çaplı Sondajlar	>24 inch

2.4.3. Sondajın yapıldığı alanlara göre sınıflandırılma

Çizelge 2.3. Sondajın yapıldığı alanlara göre sınıflandırılma

Sondajın Yapıldığı Alanlar		
Yer Üstünde Yapılan Sondajlar	Yer Altında Yapılan Sondajlar	Su Üstünde Yapılan Sondajlar

2.4.4. Sondajın amaçlarına göre sınıflandırılma

Çizelge 2.4. Sondajın amaçlarına göre sınıflandırılma

Sondajın Amaçlarına Göre Sınıflandırılma	
Yapılış Amaçları	Aranan Maddenin Türü
Arama Sondajları	Petrol Sondajları
Geliştirme Sondajları	Su Sondajları
Üretim Sondajları	Temel (Zemin) Sondajları
Yardımcı Sondajlar	Maden Sondajları
	Enerji Amaçlı Sondajlar
	Enjeksiyon Sondajları

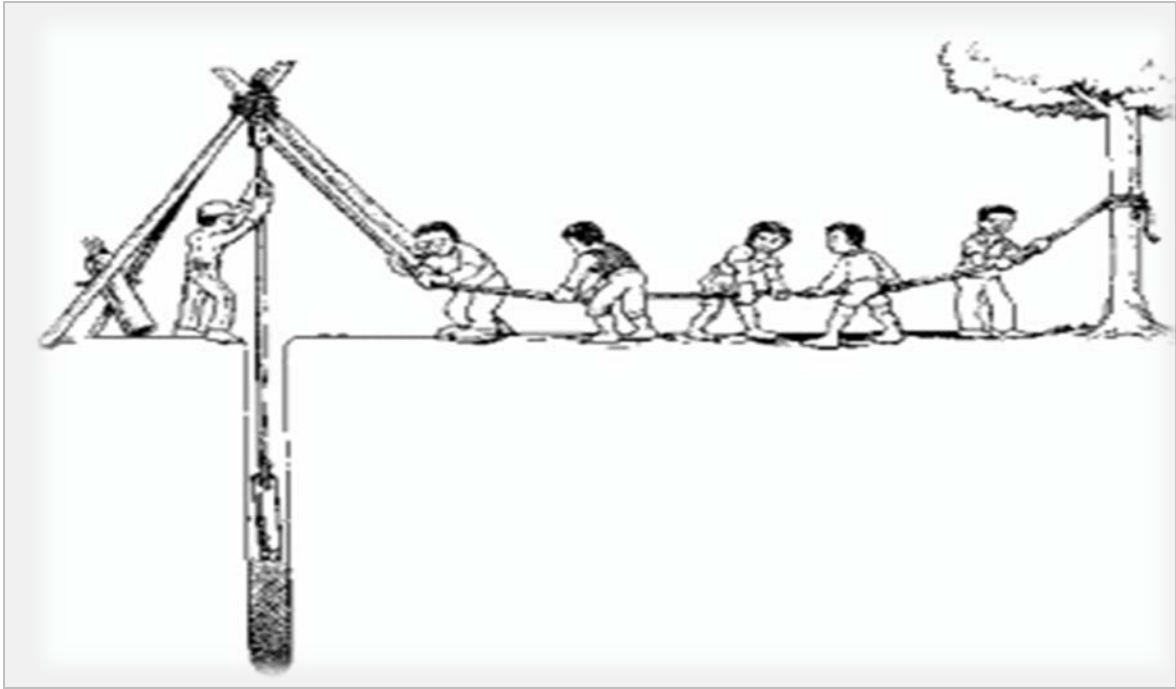
2.4.5. Sondajın yöntemlerine göre sınıflandırılma

Sondajcılıkta en önemli sınıflama olup üç aşamadan oluşur: Darbeli Sondaj, Döner Sondaj ve Bileşik Sondaj yöntemi olarak adlandırılır.

Çizelge 2.5. Sondajın yöntemlerine göre sınıflandırılma

Sondajın Yöntemlerine Göre Sınıflandırılma		
Darbeli Sondaj Yöntemi	Döner Sondaj Yöntemi	Bileşik Sondaj Yöntemi

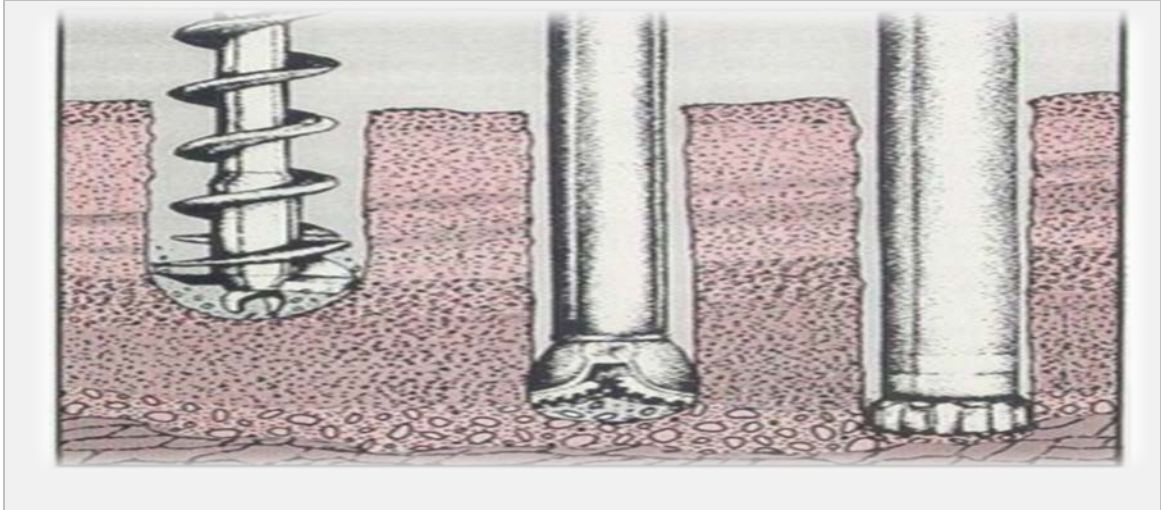
Darbeli Sondaj Yöntemi: Sondaj operasyonlarında kullanılan ilk yöntem olmakla beraber Şekil 2.2'deki gibi günümüzde kullanımının pek az olmasından dolayı tercih edilmemektedir. Kullanılan ekipmanlarının ülkemizde üretiliyor olması dış ülkelere bağımlı olmamızı engellemektedir. İşletme ucuzluğu, suya ihtiyaç duymaması ve bütün birimlerde uygulanır olması gibi avantajları vardır. Çok sayıda çalışanlara ve yoğun iş gücü gerektirmesi, sondaj yöntemlerinin hızlı bir şekilde uygulanmaması ve nitelikli personellere ihtiyaç duyulması ise dezavantajlarındandır. Dolayısı ile bugünkü yerini döner(rotary) sondaj yöntemi almıştır.



Şekil 2.2. Darbeli sondaj yöntemi [2]

Döner Sondaj Yöntemi: Günümüzde kullanılan en gelişmiş yöntem olup Şekil 2.3'teki gibi her açıda ve her doğrultuda yapılabilir. Bu sondaj yönteminde devamlılık söz konusudur. Kırıntıların yüzeye çıkarılması için sondaj işlemine ara verilmeden devam etmektedir. Döndürme ve dolaşım sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

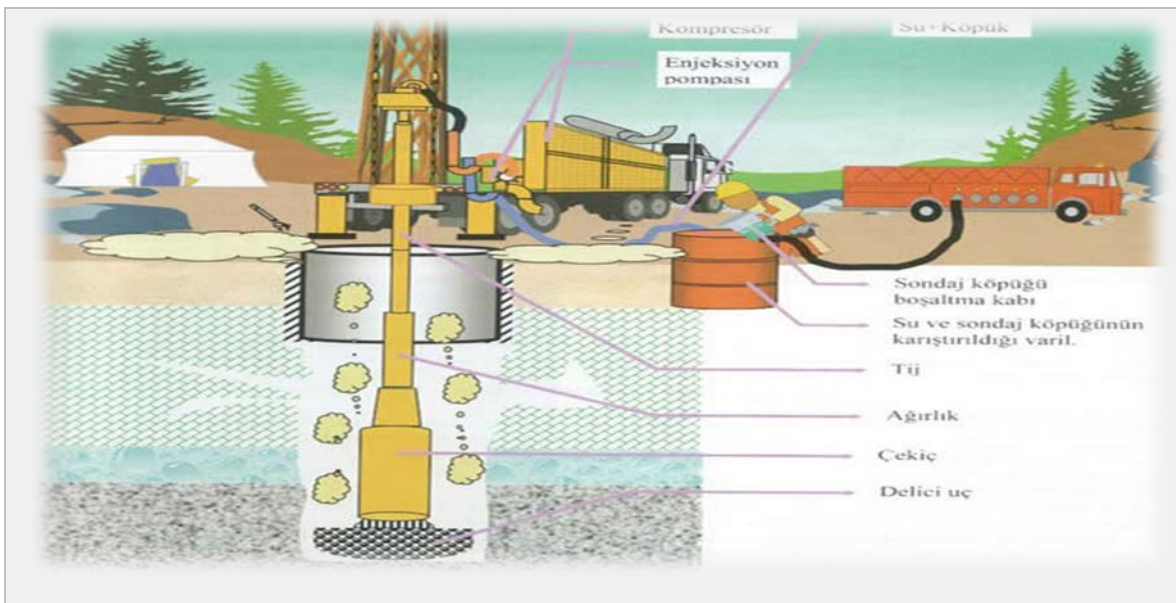
- Döndürme Sistemine Göre: Tablalı Sistem, Kovanlı Sistem, Başlıklı Sistem ve Turbo Sondaj Sistem çeşitleri olarak ayrılır.
- Dolaşım Sistemine Göre: Düz Dolaşım, Ters Dolaşım, Havalı Sistem ve Örnek Almalı Sistem çeşitleri olarak ayrılır.



Şekil 2.3. Döner sondaj yöntemi [3]

Bileşik Sondaj Yöntemi: Darbeli ve döner sondaj yöntemi bileşimi olarak bilinmektedir. Genellikle delinme işleminin zor olduğu formasyonlara uygulanmaktadır. Bu yöntemde Şekil 2.1’te gösterildiği gibi darbe ile parçalama işlemi baskın olduğundan, ilerlemesi darbe ve dönme aracılığıyla gerçekleşmektedir. Bu yöntemde havalı sondaj yöntemi de denilmektedir.

- Havalı sistem
- Hava çekiçli yöntem
- Çekiç kafalı yöntem

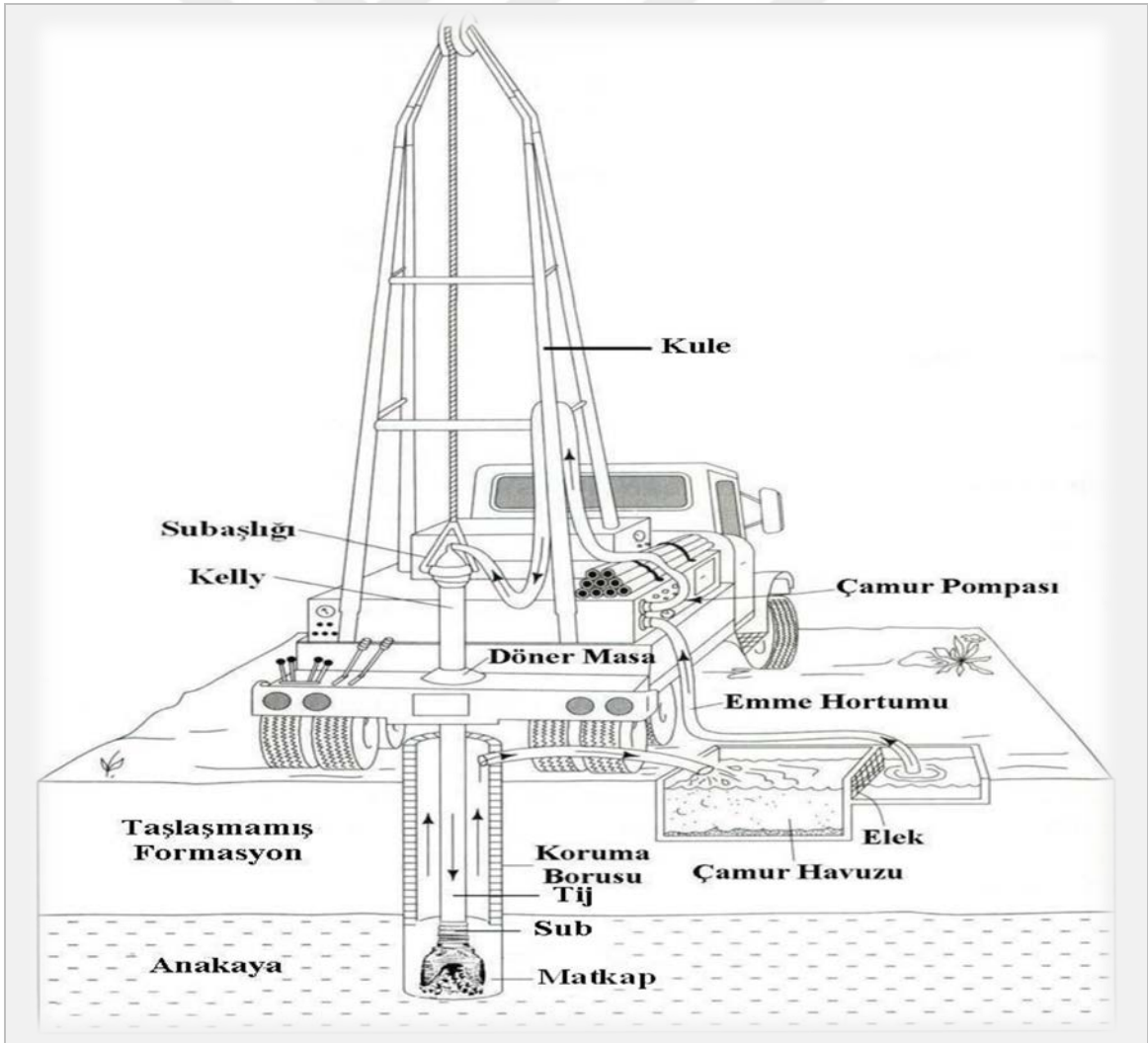


Şekil 2.4. Bileşik (havalı) sondaj yöntemi [4]

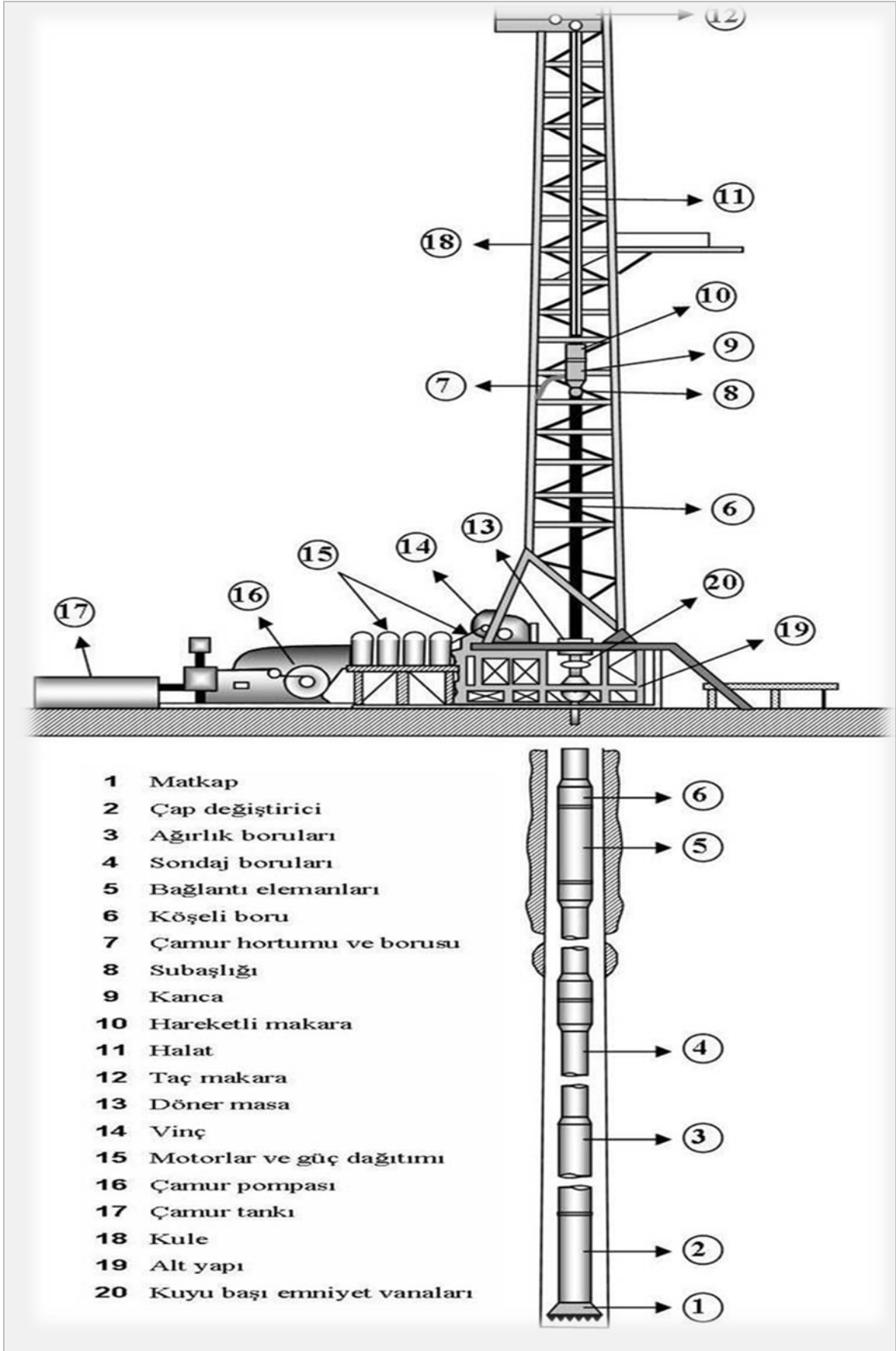
2.5. Sondaj Makinesi ve Sondaj Kulesi

Kuyu kazma işlemlerinde kullanılan Şekil 2.2'teki gibi donanımlara sahip makinelere denir. En çok kullanılan çeşitleri ise aşağıda verilmiş olup ayrıca Şekil 2.6'da da döner sondaj kulesinin donanımları verilmiştir.

- Elmaslı Sondaj Makinesi: Genellikle çoğu formasyonlarda, derinliği yüksek, her açıdan ve her yönde yapılan sondajlarda kullanılmaktadır.
- Darbeli Sondaj Makinesi: Genellikle sirkülasyon sisteminin sağlanılmadığı çatlaklı tabakalarda kullanılması tercih edilir.
- Döner Sondaj Makinesi: Bu tip makineler genellikle maden cevherleri, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları aramalarında tercih edilmektedir.



Şekil 2.5. Sondaj makinesi donanımları [5]



Şekil 2.6. Sondaj kulesi donanımları [5]

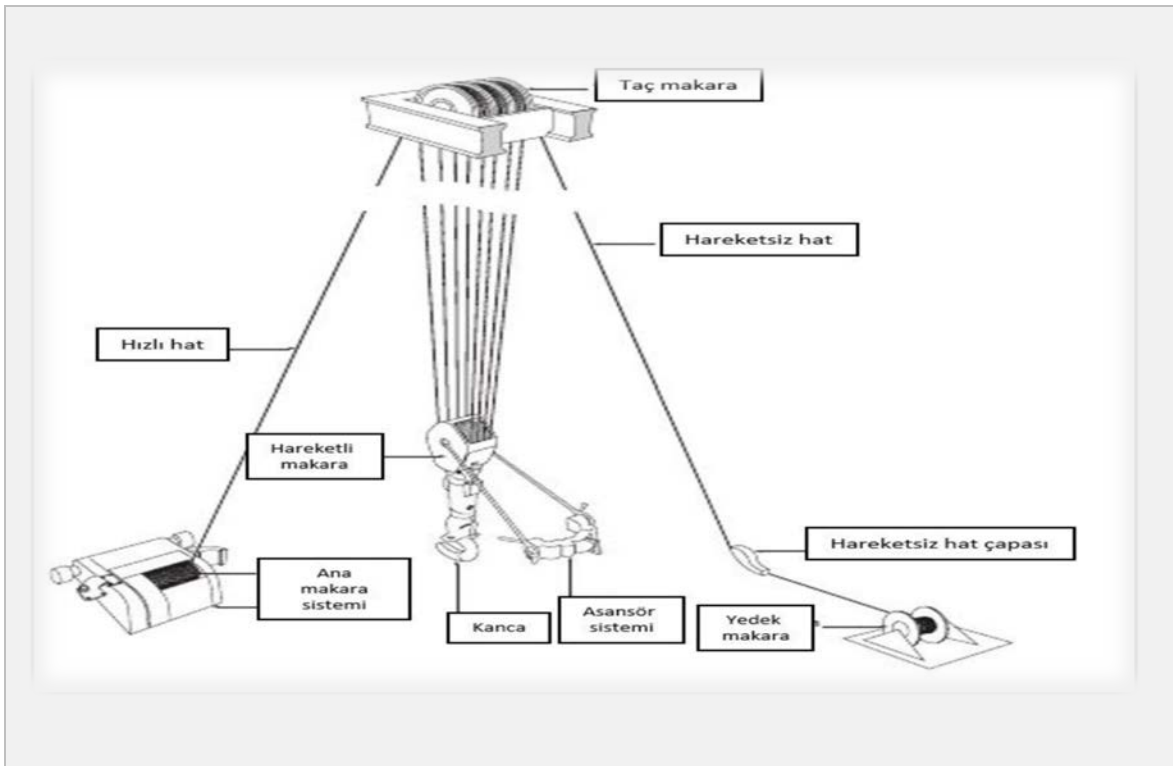
2.6. Kule Ekipmanları ve Sistemleri

2.6.1. Kule güç sistemi

Yer altı kaynaklarından olan petrol, doğalgaz ve jeotermal gibi enerji kaynaklarının yeryüzüne çıkarılması için yapılan sondaj operasyonlarında sondaj kulelerinin ihtiyaç duyduğu enerjinin sağlanmasında içten yanmalı dizel motorlar kullanılmaktadır. Bu dizel motorlardan sağlanan mekanik enerji: zincir, şaft, dişli ve kayış-kasnak sistemleri gibi mekanik aktarma organları yardımıyla kulenin ihtiyaç duyulan bölgelerine iletir. Birçok sondaj kuyusunun şebeke elektriğine uzaklık mesafesi yüzünden, sahalarda jeneratörlerle enerji sağlanmaktadır. Ayrıca “Elektrikli Kule” olarak bilinen kulelerde vardır. Bu kulelerdeki enerji, jeneratör ya da şebeke elektriğiyle sağlanmaktadır.

2.6.2. Kule kaldırma sistemleri

Sondaj takımının ya da koruma(muhafaza) borusunun hareketlerini düzenleyen bir sistem olarak Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Ana öğeleri ise taç makara, ana makara sistemi, kanca (hook), hareketli makara, sondaj halatı ve clampslerden oluşmaktadır.

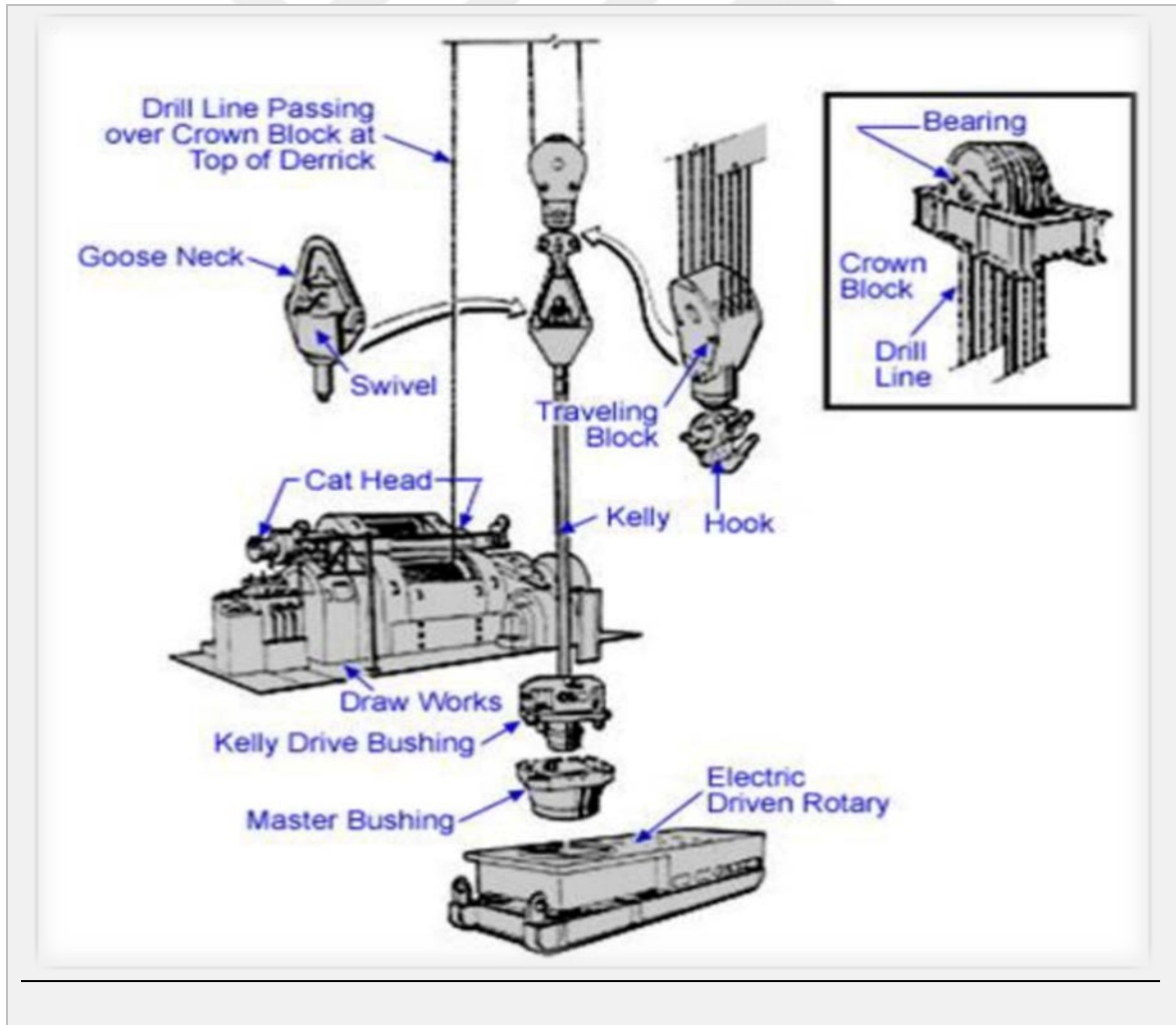


Şekil 2.7. Kule kaldırma sisteminin temel elemanları [6]

2.6.3. Döndürme sistemi

Bu sistem sondaj takımını ve matkabı döndürmede kullanılır. Kelly ve Top Drive olarak Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’ da gösterildiği gibi iki sisteme ayrılmaktadır.

Kelly Sistemi: Hareketli makaranın ucunda bulunan kancaya bağlı bir “swivel” ve ona bağlı bir Kelly’den oluşan sistemdir. Kelly sistemi, Kelly Bushing ve Master Bushing olarak ikiye ayrılmaktadır. Bu sistemi çevirmek için ise Kelly Bushing denilen, rotary masasında yuvası olan bir sistem kullanılır. Döndürme işlemi, motorlardan gelen mekanik gücün rotary masasında Rotary Bushing’e ve dolayısıyla Kelly Bushing’e aktarılmasıyla olur. Kelly Bushing, Kelly’i kavradığından dolayı, yani bütün dizi döner. Bu esnada, swivel içerisinde bulunan sistemden ötürü, swivel ve hareketli makara dönmeden kalır. Dizinin dönmesi de hareketi matkaba ulaştırır [6].



Şekil 2.8. Kelly ile dizi döndürme sistemi [7]

Top Drive Sistemi: Hareketli makaranın altında olan, sondaj takımına bağlı aşağı yukarı hareket edebilen bir donanımdır. Rotary masası ve bushing gibi donanımlara sahip değildir. Diziye doğrudan bağlanıldığından dolayı, dönme hareketi içerisinde bulunan mekanizmadan sağlanmakta olup diziye doğrudan iletilmektedir.



Şekil 2.9. Top drive sistemi [8]

2.6.4. Kuyu kontrolü ve ekipmanları

Bir sondaj operasyonunda kuyu kontrolünü sağlamada sondaj sıvısının(çamuru) rolü çok büyüktür. Sondaj sıvısının ağırlığının ne istenilenden fazla ne de az olması gerekmektedir. Sondaj çamurunun ağırlığının istenilenden fazla olduğu durumlarda statik basınç formasyon basıncını geçeceği için kuyuda kaçak oluşumu meydana gelir. Eğer sondaj sıvısının ağırlığı istenilenden az olur ise formasyonda bulunan akışkanın kuyuya girmesine sebep olur. Bu akışkan yüksek basınç altında kuyu içerisine girdiğinde, anülüste artarken üzerindeki basıncın düşmesiyle hacmi daha fazla olur ve kuyunun kontrolü zor bir hale gelir. Bu formasyon akışkanı zehirleyici veya yanıcı olması durumunda kuyu kontrolünün kesinlikle yapılması gerekmektedir. Bu tür durumlarda kuyu kontrolünü tekrar sağlamak için yüzeyde emniyet vanaları(blow-out preventer) yer almaktadır. Kuyu başı tasarımı kuyunun bulunduğu derinlik ve basınçlara göre yapılmaktadır. Sığ kuyularda ve basınç etkilerinin pek önemsenmediği formasyonlarda birer tane Annular BOP ve drilling spool karşılarken, basıncı fazla olan formasyonlarda ise Annular BOP'ye ilaveten double ve single ram' lar,

choke manifoldu ve seperatörler kuyu kontrol sistemine eklenilir. Kuyu kontrolünde en dikkat edilmesi gereken etmenlerden biri kuyu içerisine akışkan girişiminin olup olmadığını önceden tespit etmektir. Eğer kuyuda bir akışkan girişimi olursa kuyu kontrol ekipmanları ile kuyu yüzeyden kapatılır ve bu akışkan girişimini kuyudan uzaklaştırmak için hidrostatik basıncı yüksek olan ağırlaştırılmış çamur ilave edilir. Zorunlu olmadığı sürece sondaj takımı hareket ettirilmemeli ve çevredeki kişilere ve donanımlarda hasar bırakılmayacak şekilde dışarıya atılmalıdır. Stand-pipe basıncının düşmesi, tank hacimlerinin artması ya da sondaj hızının ani bir şekilde yükselmesi gibi durumlarda hemen flow-check uygulanmalıdır.

2.7. Sondajda Kullanılan Sondaj Çamuru

Sondajın uygulanması aşamasında kuyu içinde sirküle edilen sıvılardır. Sondaj işlemlerinde ilk olarak su kullanılmıştır ve ileri ki zamanlarda farklı sıvılar da kullanılmaya başlanmıştır. Bu sıvılar arasında daha çok kil ve su karışımının kullanılması “sondaj çamuru” olarak isimlendirilmektedir. Formasyonların özelliklerine göre sondaj çamurları kullanılmaktadır. Şekil 2.10’da gösterildiği gibi kuyu açmadaki rolünün büyük olmasıyla birlikte, yoğunluğu bakımından da işlevleri bulunmaktadır. Bunlardan ilki kuyu içindeki kırıntıları dışarıya atması, ikincisi ise şekillendirme basıncını önlemesidir.



Şekil 2.10. Sondaj çamuru görünümü [9]

2.7.1. Sondaj çamurunun işlevleri ve etkileri

Sondaj işlemlerinde kullanılan sondaj çamurunun birçok işlev ve etkileri bulunmaktadır bunlar Çizelge 2.6 'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Sondaj çamurunun işlevleri ve etkileri

Sondaj Çamurunun İşlevleri ve Etkileri	
İşlevler	Etkileri
Yağlama	Delici Verimliliği
Soğutma	Delici Verimliliği
Temizleme	Delici Verimliliği + İlerleme Hızı
Sıva Yapma	İlerleme Hızı + Sondaj Güvenliği
Basınç Dengeleme	Sondaj Güvenliği

2.7.2. Sondaj çamurunun görevleri

- Sondaj dizisinin ve matkabın soğutulup yağlanmasında,
- Kuyunun çökmesini ve göçmelerin önlenmesinde,
- Geçirimli olmayan çamur pastası oluşumu,
- Yatak basıncı ve kuyu kontrolünü dengede tutma,
- Uygun bir şekilde pompalanabilmesinde,
- Kuyunun tabanını kalıntılardan temizlemede,
- Korozyon etkisini önlemede,
- Sondaj aşamasında meydana gelen kalıntıların yerüstüne çıkarılıp kuyudan uzaklaştırması,
- Kuyu içerisinde dolaşan bu malzemedan dolayı sondaj operasyonunun daha rahat gerçekleşmesi gibi görevleri vardır.

2.7.3. Sondajlarda kullanılan başlıca kimyasal türleri

Sondaj işleminde sondajın daha kolay gerçekleşmesi için sondaj çamuru içerisine birçok kimyasal katkı madde kullanılmaktadır. Bunlar Çizelge 2. 7' de verilmiştir.

Çizelge 2.7. Sondajlarda kullanılan başlıca kimyasal türleri [10]

Katkı Madde	Formül	Açıklama
Bentonit	-	Şişme kapasitesine sahip kil minerali olarak kullanılır.
Kostik Soda	NaOH	Ph'ı dengelemek için kullanılır.
Soda Külü	Na ₂ CO ₃	Su bazlı çamur sistemlerinde kullanılır.
CMC – HV	CH ₂ CO ₂ H	Su kaybı düşürücü bir çamur katkısı ve sıcaklığa dayanımı düşüktür.
CMC – LV	C ₆ H ₉ OCH ₂ COONa	Su kaybı düşürücü bir çamur katkısı ve sıcaklığa dayanımı düşüktür.
PAC – LV	C ₆ H ₇ O ₂ (OH) ₂ OCH ₂ COONa	Modifiye edilmiş yüksek kalite polianyonik selülozdir. Su kaybı kontrolünde kullanılır.
CFL	-	Etkili bir şekilde viskoziteyi azaltır.
Xsantam Sakızı (XCD)	C ₃₅ H ₄₉ O ₂₉	Çamur içerisinde kolay dağılabilen bir katkı maddesidir.
Barit	BaSO ₄	Çamurun ağırlığını artırmak için en fazla kullanılan katkı maddesidir.
Sitrik Asit	C ₆ H ₈ O ₇	Ph değerini düşürmek ve çözünebilir haldeki kalsiyum ile demir iyonlarını etkisiz hale getirmede kullanılır.
Kalsiyum Karbonat	CaCO ₃	Çamurunun ağırlığını artırmak için kullanılır.

2.8. Sondajda Verimlilik ve Karşılaşılan Güçlükler

Sondajda verimliliği artıran faktörler ve sondajda karşılaşılan güçlükler Çizelge 2. 8 ve Çizelge 2.9 'da verilmiştir.

Çizelge 2.7. Sondajda verimliliği artıran faktörler

Verimlilikler	Açıklama
Personel	İyi eğitim ve deneyimlere sahip olunması.
Donanım	Yapılan işe uygunluğu, kalitesi, sağlamlığı ve bakımı.
Sondaj çamuru	Matkabın uzun süreli kullanımını denetler ve dolaşımında etkili olmaktadır.
Mekanik etmenler	Matkaba uygulanan ağırlık, strok ve frekansa bağlı etmenlerden oluşmaktadır.
Lojistik destek	Bilgi sağlanması, malzeme temini ve onarım desteğinde etkilidir.

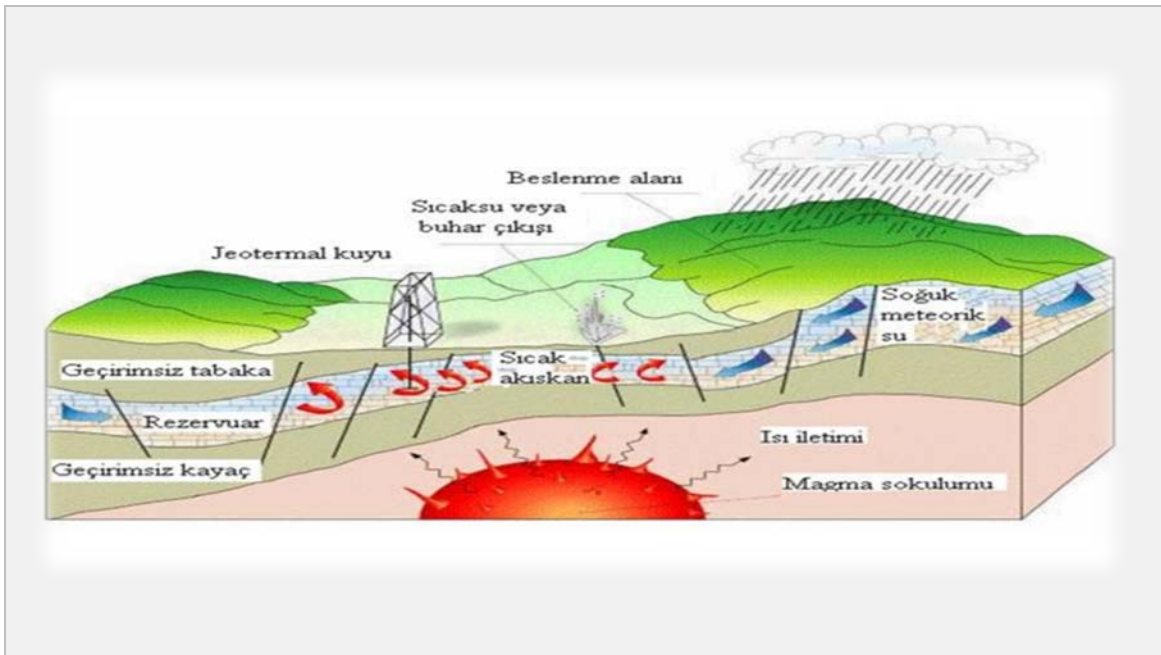
Çizelge 2.8. Sondajda karşılaşılan güçlükler

Karşılaşılan Güçlükler	Açıklama
Dolaşım bozukluğu	Artezyen ve sıvı kaçağı durumlarında gözlemlenir.
Yıkılma, göçme ve dolgu	Dolaşım bozukluğunda, uygun görülmeyen sondaj sıvılarının kullanılması ve zemin koşulları sebep olur.
Şişme ve takımın sıkışması	Zemin şartlarından dolayı takım sıkışması ve fazla seviyede sıva yapan çamurun ise takımın kilitlenmesine sebep olmaktadır.
Erime	Kil, tuz ve mineral erimeleri yüzünden sondaj sıvısının bileşimi ve sondaj kuyu çapının bozulmasından ilerleme zorlaşır.
Düşeyden sapma	Sondaj dizisinin rijitliği ile sapmanın ters orantılı olduğu, dizinin dış çapı ile kuyu çapı arasındaki farkın yüksek olmadığı durumlarda sapmazların kullanılmasıyla önlenmektedir.

3. JEOTERMAL SONDAJLAR

3.1. Jeotermal Sondaj Tanımı

Yeraltında bulunan enerji kaynaklarından faydalanmak için yapılan bir sondaj işlemidir. Bu kaynaklar üç ana etmeden meydana gelir: Isı kaynağı, ısıyı yeryüzüne çıkaran akışkan ve su sirkülasyonunu elde etmeye yarayan kayaçların geçirimsizliği. Jeotermal enerjinin oluşum mekanizması Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



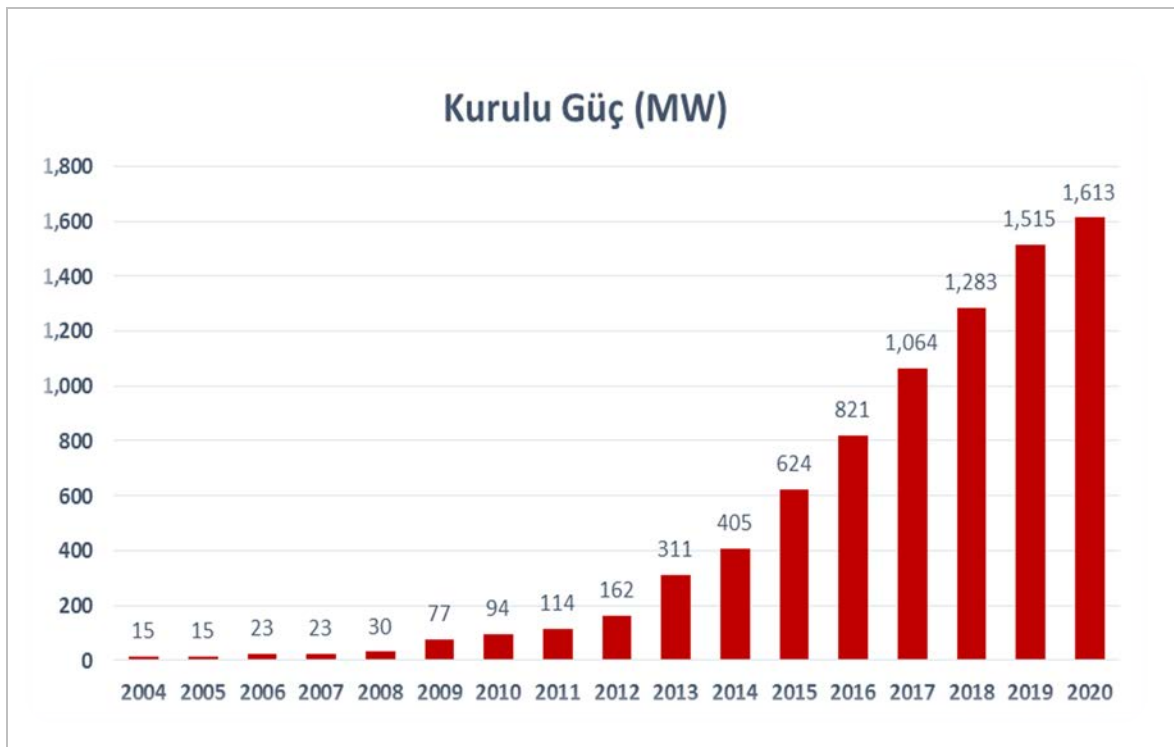
Şekil 3.1. Jeotermal enerjinin oluşum mekanizması [11]

Jeotermal kaynakların % 90'ı doğrudan uygulamalarda (ısıtma, termal turizm ve endüstriyel uygulamalar) ve % 10'unu dolaylı uygulamalarda (elektrik enerjisi üretimi) kullanılmaktadır. Ülkemizde jeotermal enerjinin kullanım alanları Doğrudan ve Dolaylı kullanımı güncel verilere göre kullanım değerleri aşağıda belirtilmiştir [12]. Jeotermal enerjinin elektrik enerjisi üretiminde toplam kurulu güç ve jeotermal enerjinin toplam elektrik üretimi içerisindeki yüzdelik payı Şekil 3 ve Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

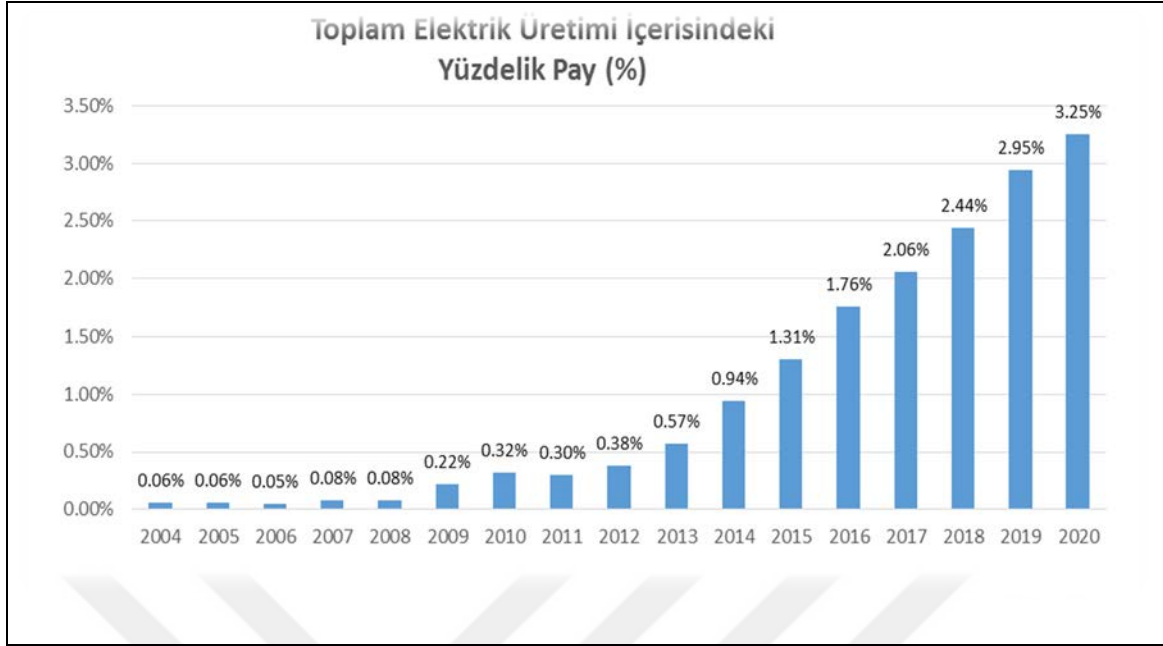
Doğrudan Kullanım:

Bölgesel ısıtma (şehir, konutlar) : ~ 140000 konut eşdeğeri (~1205 MWt)

Sera ısıtma	: ~ 4283000 m ² (820 MWt)
Termal ve sağlık tesisleri ısıtma	: ~ 46400 konut eşdeğeri (420 MWt)
Termal su ısıtma	: ~ 400 kaplıca (1005 MWt)
Zirai kurutma	: ~2 MWt
Isı pompaları	: ~43 MWt
Soğutma	: ~0,35 MWt
Toplam	: ~ 3495 MWt (340.000 konut eşdeğeri)
<u>Dolaylı Kullanım:</u>	
Toplam elektriksel kurulu güç	: 1515 MWe
CO ₂ üretimi	: ~ 240000 ton/yıl

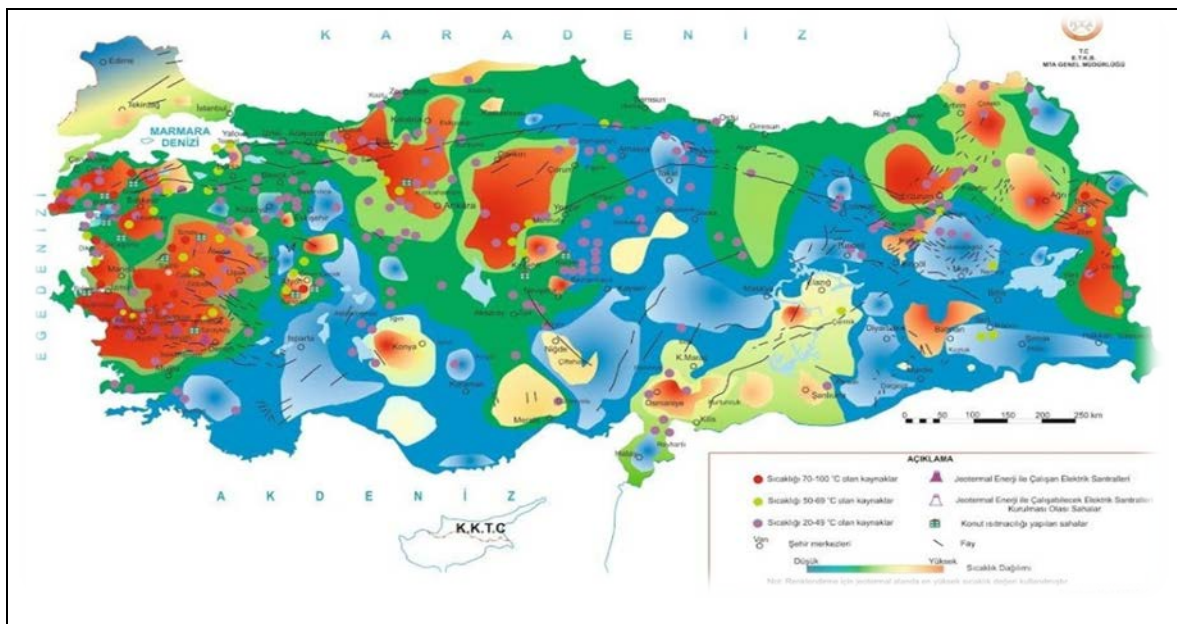


Şekil 3.2. Jeotermal enerjinin elektrik enerjisi üretiminde toplam kurulu güç [12]



Şekil 3.3. Jeotermal enerjinin toplam elektrik üretimi içerisindeki yüzdeler pay [12]

Türkiye jeotermal enerji kaynakları bakımından potansiyeli yüksek bir ülke konumundadır. Bu enerji potansiyeli teorik açıdan 31.500 MW olarak tahmin edilmektedir. Bölgesel olarak incelendiğinde en fazla Batı Anadolu'da jeotermal enerji kaynaklarına rastlanılmaktadır. Daha sonrasında İç Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ve diğer bölgelerde de bulunmaktadır. Ülkemizde yer alan jeotermal kaynakların dağılımını gösteren harita Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Türkiye jeotermal enerji potansiyeli haritası [13]

Ülkemiz güncellenmiş verilere göre jeotermal enerji potansiyeli yüksek olan bir ülke olmasından kaynaklı dünyada 4. sıraya ve Avrupa ülkelerinde ise 1. sırayı almıştır. Bu jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda takip etmektedir.

Türkiye jeotermal potansiyeli yüksek bir ülke olmasından dolayı Çizelge 3.2’de gösterildiği gibi ülkelere göre kişi başına düşen jeotermal enerji kurulu gücü sıralamasında 5. Sırada bulunup kurulu güç 1.624 MW ve kişi başına kurulu güç 19 Watt olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Ünelere göre dünyada jeotermal enerji kurulu gücü[13]

S.	Ülke	Güncelleme	Kurulu Güç(MW)
1	ABD	Aralık 2020	3.714
2	Endonezya	Aralık 2020	2.133
3	Filipinler	Aralık 2020	1.918
4	Türkiye	Mart 2021	1.624
5	Yeni Zelanda	Aralık 2020	1.005
6	Meksika	Aralık 2020	963
7	İtalya	Aralık 2020	944
8	Kenya	Aralık 2020	861
9	İzlanda	Aralık 2020	755
10	Japonya	Aralık 2020	603
11	El Salvador	Mart 2016	205
12	Kosta Rika	Mart 2016	204
13	Nikaragua	Mart 2016	109
14	Rusya	Mart 2016	97
15	Papua Yeni Gine	Mart 2016	56
16	Guatemala	Mart 2016	42
17	Almanya	Aralık 2016	38
18	Portekiz	Mart 2016	29
19	Çin	Mart 2016	27
20	Şili	Temmuz 2017	24
21	Etiyopya	Mart 2016	8
22	Avusturya	Aralık 2016	1
	Toplam		15.360

Çizelge 3.2. Ükelere göre kişi başına düşen jeotermal enerji kurulu gücü [13]

S.	Ülke	Kurulu Güç(MW)	Kişi Başına Kurulu Güç(Watt)
1	İzlanda	755	2.231
2	Yeni Zelanda	1.005	209
3	Kosta Rika	204	41
4	El Salvador	205	31
5	Türkiye	1.624	19
6	Filipinler	1.918	18
7	Kenya	861	17
8	Nikaragua	109	17
9	İtalya	944	16
10	ABD	3.714	11
11	Endonezya	2.133	8
12	Meksika	963	8
13	Papua Yeni Gine	56	7
14	Japonya	603	5
15	Portekiz	29	3
16	Guatemala	42	3
17	Şili	24	1
18	Rusya	97	1
19	Almanya	38	0
20	Avusturya	1	0
21	Etiyopya	8	0
22	Çin	27	0

3.2. Jeotermal Sondajlarda Oluşan Sorunlar ve Çözümleri

3.2.1. Magmatik, volkanik ve metamorfik kayaçları delen sondaj matkaplarında meydana gelen problemler

Jeotermal kaynak potansiyeli fazla olan yerlerde, formasyonların delme açısından tipik karakteristikleri sert aşındırıcı, kırıklı çatlaklı ve sıcak olmalarından dolayı genç tektoniğe bağlı fayların ve volkanizmanın daha yaygın olduğu alanlarda jeotermal sondajlar yapılmaktadır. Rastlanılan bu sert kayaçlar matkapların aşınmasına sebep olurken, sondaj takımında meydana gelen titreşimler ise yorulma ve kırılmalara neden olur. Sert kayaçları delmede fazla ağırlığa ihtiyaç duyulur, bu yüzden matkaplar fazla ağırlığa maruz kalır. Sıcaklığın fazla olduğu durumlarda matkapların metalik aksamaları zarar görür iken, lastik aksamalarını kullanılamaz hale getirir.

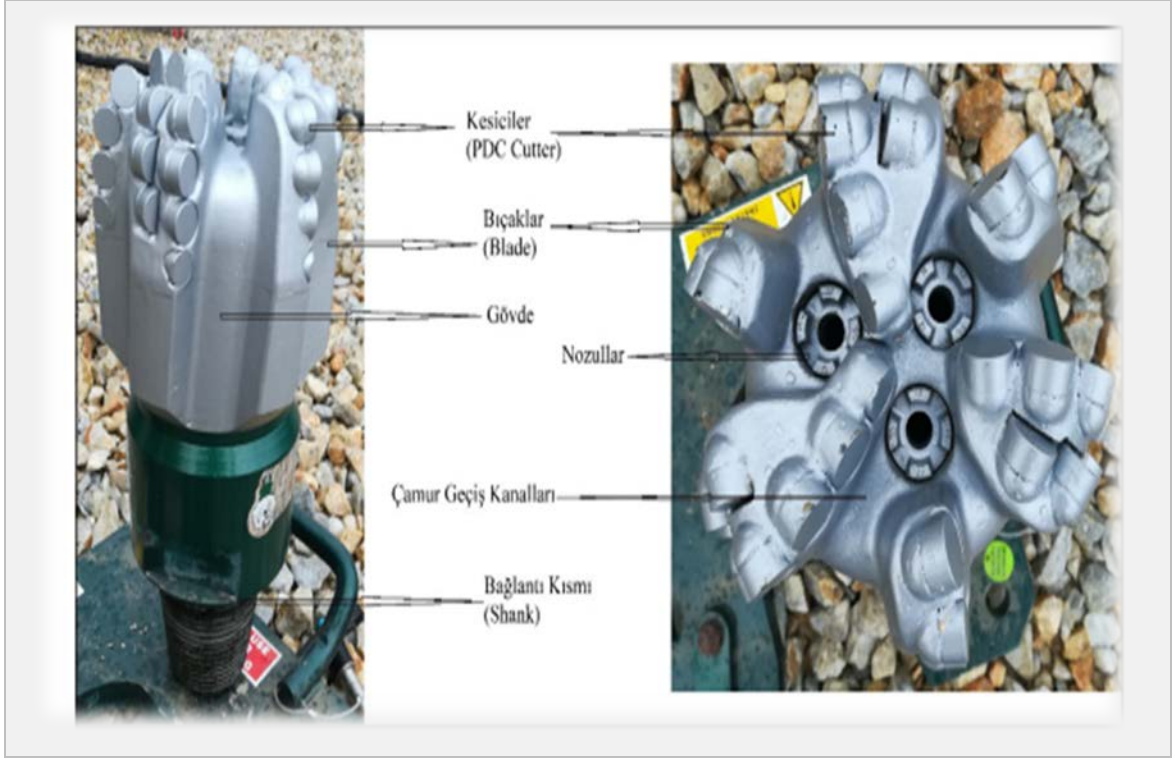
Diğer yandan kuyu içerisine giren korozif akışkanlar ise matkabın ömrünü kısaltmaktadır. Buna bağlı olarak delici uçlarda meydana gelen diğer problemler ve çözümleri şu şekilde sıralanabilir:

- Formasyonun aşındırıcı olmasından dolayı matkap çapının düşmesi, ayrıca fazla dış ve yatak aşınmalarına da yol açar. Bu durumların yaşanmaması için matkap konilerinin dış çeperlerine insertlerin takılması matkap çapının düşmesini engeller. Tungsten-karbit dişli matkapların kullanımı ise aşırı dış aşınması ve aşırı yatak aşınmasının yaşandığı alanlarda sürtünmeli tip yataklarının kullanımıyla önlenmektedir.
- Sıcaklığın fazla olmasından kaynaklı lastik aksamları bozularak kullanılamaz duruma gelir.
- Sıcaklığın 2000°C den fazla olduğu durumlarda, karbon çeliklerinin akma dirençlerinde düşüş yaşanması, matkabın ömrünü azaltmaktadır.

Jeotermal sondajlarda sert ve aşındırıcı formasyonlar için son zamanlarda kullanılmaya başlanan PDC tip matkaplar Şekil 6'te gösterildiği gibi uygun bir çözüm yolu olarak görülmektedir. Bu çeşit matkabın dönen yataklarının olmamasının sebebi ise matkapların sürtünmeyle çalışmasıdır.

PDC matkapları her ne kadar yumuşak formasyonlarda kullanılmak için işlenmiş olsa da ileriki zamanlarda sert kayaçlı formasyonlar içinde kullanmak uygun görülmüştür. Delici uçları için TSP(thermally stable polycrystalline) olarak bilinen ısıl stabilitesi olan polikristallerdir.

Fakat 300°C den fazla olan sıcaklıklarda kesici uçlar hemen aşınmaktadır. 700° C den fazla olan sıcaklıklarda ise tüm işlevlerini yitirmektedirler. Son yıllarda yapılan araştırmalara göre Şekil 7' daki gibi aşınmaya fazla maruz kalmayan ve 1200°C'a kadar dayanıklı kesici uçlar üretilmeye başlanmıştır.



Şekil 3.5. Pdc matkap ve yapısı [14]



Şekil 3.6. TSP matkabı [15]

3.2.2. Jeotermal kuyularda çamur işleminde meydana gelen sorunlar

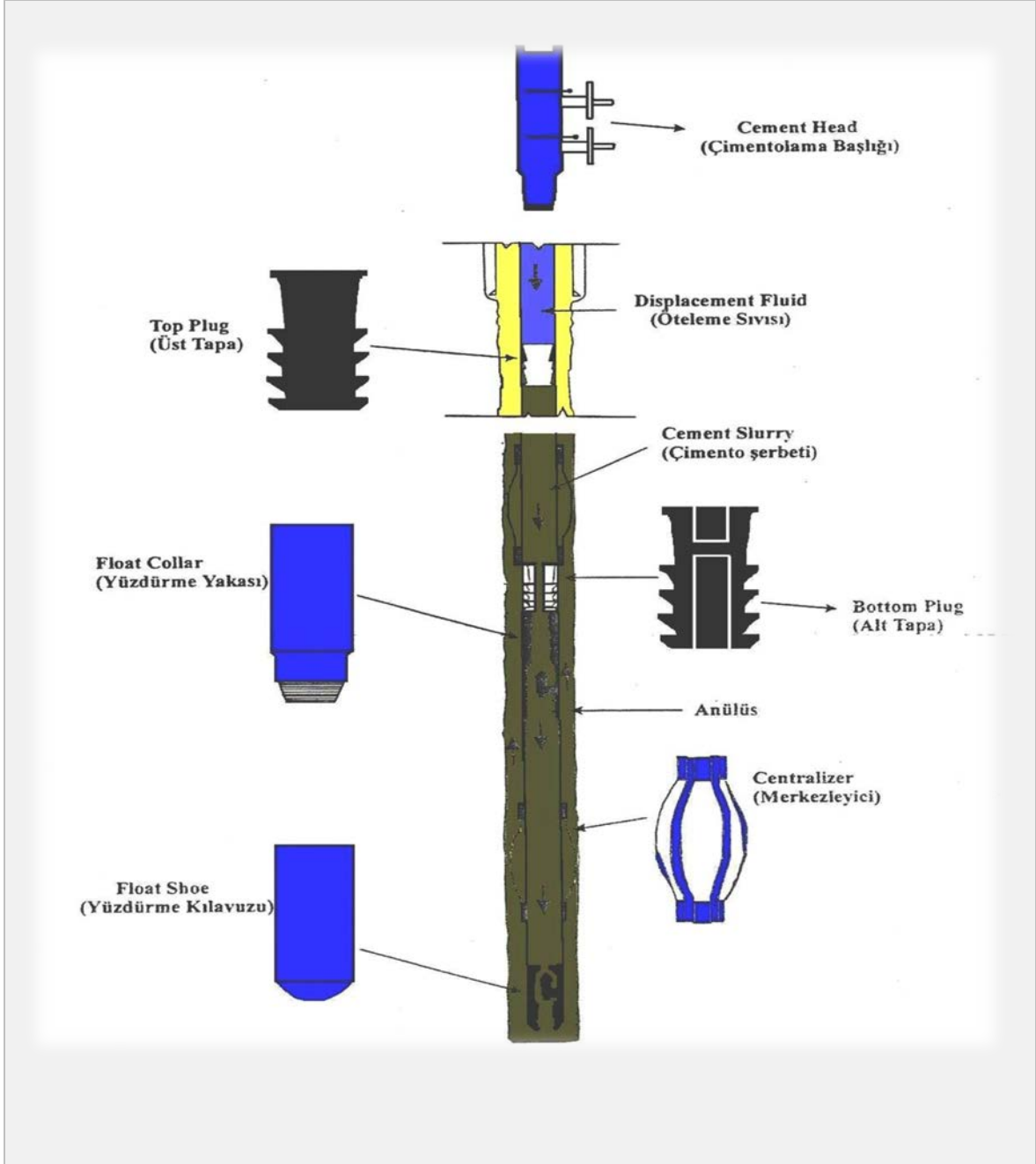
Jeotermal sondaj kuyularında kullanılan çamurun sıcaklığının fazla olması takımın sıkışmasına sebep olabileceği gibi, kaçakların olması da bu duruma zemin hazırlamaktadır. Bu kaçaklar daha çok üretim zonunda görülmektedir. Geçirgenliği fazla ve çatlaklı zonlarda meydana gelen bu kaçaklar, sıcaklığı az olup üretim zonu bulunmayan ortamlarda su akiferlerinin muhafaza edilmesi ve formasyona akışkanların karışmasını önlemek için kapatılmasının uygun görülmesi, çimento işlemlerinde de fayda sağlayacaktır.

Kaçakları önlemede pamuk tohumu, mika, fındık ve fıstık kabuğu gibi ürünler kullanılır. Diğer yandan bu kaçaklar sondaj operasyonunda sondaja polimer çamuru, su ve havalı sondaj yapılarak ilerleyebilmesi için de yapılabilir. Sonuç olarak ne kadar kaçak olduğunu, formasyonun özellikleri, gerekli materyal ve donanımlarının ekonomik yönden uygunluğuna bakılarak tercih edilebilir.

3.2.3. Jeotermal kuyularda çimentolama işleminde meydana gelen sorunlar

Jeotermal kuyularda çimentolama işleminde yaşanan en temel sorun, yüksek sıcaklıklar altında çimento mukavemetinde meydana gelen değişikliklerin kontrol altına alınmasıdır. Çimentonun mukavemetini kaybetmesini engellemek için, çimentoya % 35 oranında silika unu eklenmektedir. Formasyondaki farklı basınçların neden olduğu çimento kayıplarını azaltmak için ise genellikle hafif formdaki çimentolar tercih edilmektedir. Silika unu, sıcaklığın artmasıyla çimento içerisinde bulunan minerallerin tepkimeye girmesi ile ısıya dayanıklı Tobermorit, Truskotit ve Ksonolit gibi minerallerin meydana gelmesinde etkili olup çimentonun bozulmasını önler.

Diğer bir problem ise kuyu çimentolanmasında yüksek olmayan formasyon basıncının olmasıdır. Yeraltında bulunan su kaynaklarının yüzeye çıkmasını engellemek ve muhafaza borularının genişmesi için kuyunun yüzeyine kadar her tarafının çimentolanması gerekmektedir. Bu şekilde formasyon ve koruma borusu arasındaki bağ kuvvetlendirilmiş olur. İstenilen çimento yoğunluğu ise 15-16 lb/gal arasındadır ve bu yoğunluğu elde etmek biraz sıkıntılı bir süreçtir. Çimentolama işleminde kullanılan ekipmanlar ve çimentolama işlemi Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Çimentolama işleminde kullanılan ekipmanlar ve çimentolama işlemi [16]

Çimentonun yoğunluğunu azaltmak için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan biri genişmiş perlitin kullanılmasıdır. Ancak bu yöntemle istenilen sonuç elde edilememiştir. Daha sonralarında ise genişmiş perlite belirli miktarlarda çimento ekleyerek yoğunluk azaltılmaya çalışılmıştır. Yapılan bu karışım her iki katkı maddeden de aynı oranlarda eklenmiş olmasıdır. Bazı araştırmalar sonucunda farklı çözüm yolları bulunmuştur. Bunlardan ilki HSMS diğeri ise köpük çimentonun kullanılmasıdır.

HSMS, mukavemeti ve maliyeti bakımından yüksek olan, ufak ve içi boş bilyalardan oluşan bir katkı maddesi olarak kullanılır. Bu katkı madde ile 9,5–10 lb/gal yoğunluğunda geçirgenliği çok az olan çimento elde edilebilmektedir. Köpük çimento ise olan karışımın içerisine azot gazının eklenmesi ile köpük oluşturma işlemidir. HSMS'ye göre daha az maliyetli, geçirgenliği daha yüksek ve yoğunluğu 6 lb/gal'a kadar azaltılabilmektedir.

3.2.4. Jeotermal kuyularda koruma borusu tasarımında meydana gelen sorunlar

Jeotermal kuyularda koruma borusunun tasarımını düzenledikten sonra Şekil 3. 8'teki gibi sıcaklık, korozyon ve çökme eğilimli akışkanlar gibi unsurlar dikkate alınarak başka bir tasarım elde edilir. Burada daha çok sıcaklık ve korozyon unsurları etkilidir. Çünkü sıcaklık ısıl genleşmeye ve gerilmelere neden olmaktadır. Bu gerilme aşağıda gösterilen formülle hesaplanır [16].

$$S = \beta * E * T \quad (3. 1)$$

β : Isıl genleşme katsayısı, 6.9×10^{-6} psi

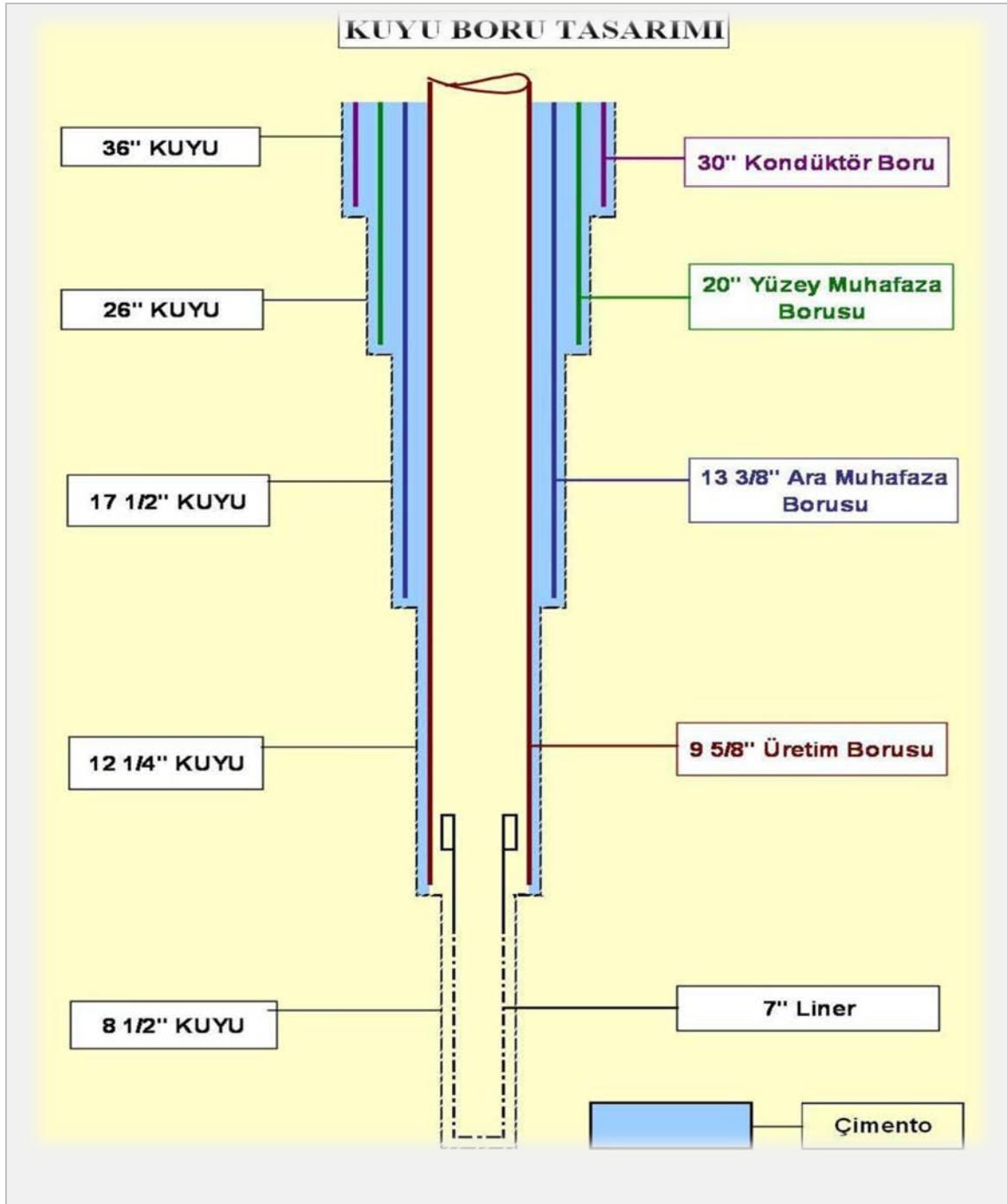
T: Sıcaklık farkı, 0° F

E: Elastisite modülü, 30×10^6 psi

Sıcaklığın artmasından kaynaklı meydana gelen gerilme, 10°C 'de 370 psi olarak hesaplanmaktadır. Böylece ortalama sıcaklığı 1490°C 'lık bir değişim, K-55 cins koruma borusunu istenilen akma noktasına getirmiş olacaktır. Derecesi düşük olan bu K-55, H_2S nin oluşturduğu hidrojen kırılabilirliği korozyona karşı daha etkili olduğu için jeotermal sahalarda tercih edilmektedir. Ancak bu çelik türü termal gerilmelerden dolayı pek tavsiye edilmemektedir. Bunun için sıcaklığın 2500°C 'nin üstünde olan sahalarda korozyona karşı etkili ve çok daha iyi mekanik özellikleri olan L-80 cins koruma boruları tercih edilmektedir. Bazı durumlarda dayanıklı ve daha sağlam çelik cins koruma boruları kullanılmamaktadır. Bu sorunu çözmek için koruma borusuna ön gerilme verilerek meydana gelebilecek tahribatlara engel olunabilir.

Koruma borusunun tasarımında önemsenilmesi gereken durumlardan biri, üretim koruma borusu göçme basıncının yüzey koruma borusu içten patlama basıncından fazla olmasıdır. Böylece, kazaların anülüslerinde su kalan ve üstü çimento ile doldurulan kuyularda üretim koruma borusunun ısınma sürecinde göçmesi önlenemez. Doğal olarak bu işlem göçmenin önlenmesini garantilemez, fakat hafifletir. Sebebi de, yüzey koruma borusu etrafındaki çimentonun sağladığı desteğin, sayısal olarak ifade edilememesidir.

Jeotermal kuyularda koruma borusu tasarımında önemslenmesi gereken bir diğer unsur, yüzey koruma borusu ayağındaki üst tabaka basıncının üretim koruma borusu ayağındaki derinliklerde karşılaşılabilecek sıcaklığa karşı gelen doymuşluk basıncından büyük olmasıdır. Aksi takdirde, sondaj sırasında bir kontrolsüz akış (blow-out) olduğunda jeotermal akışkanlar yüzeye kadar ulaşma olanağına kavuşurlar.



Şekil 3.8. Tipik bir jeotermal kuyu boru tasarımı [16]

4. MATERYAL VE METOD

Jeotermal sondajlar, temelde birçok parametre bulunmasına rağmen maliyetin önemli kısımları: kule seçimi, sondaj planı, casing planı, çimentolama planı, kuyu kontrol planı, matkap seçimi ve sondaj çamuru planı gibi etmenler oluşturmaktadır.

4.1. Kule Seçimi

Sondajlar derinlik, aranılan kaynak türü, kuyu çapı, yapıldığı alan ve yöntemine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflama ve sondaj kuyusunun planlanmasına bağlı olarak optimal kule seçiminin yapılması gerekmektedir. Sondaj dizi bilgilerine göre kulenin taşıyabileceği maksimum kanca yük miktarı, döner masa genişliği ve yüksekliği, güç aktarım üniteleri, sirkülasyon ve temizleme üniteleri ile soğutma üniteleri kule seçimini doğrudan etkilemektedir. Kule seçiminde dikkat edilmesi gereken bu faktörler, jeotermal sondajlarda kule maliyetleri ile doğrudan ilişkilendirilebilmektedir.

4.2. Sondaj Planı

Jeotermal sondajlarda maliyet faktörlerinin en önemlilerinden birisi sondaj planıdır. Hedef derinliğe ve formasyona bağlı olarak oldukça farklı sondaj planları hazırlanabilmektedir. Bu doğrultuda, tij, koruma boruları, bağlantı ekipmanları, kuyubaşı ekipmanları, lokasyon planı (ulaşım yolu, atık havuzu, yaşam alanları, araçlar vb), jeneratör gibi gerekli olan başlıca ihtiyaçların temin edilmesi ile personel ve danışmanlık giderleri maliyeti doğrudan etkilemektedir. Ayrıca sondaj işlemi esnasında yapılan kuyu testleri, olası durumlarda ihtiyaç duyulabilecek tahlisiye ekipmanları ve jeolojik değerlendirmeler de sondaj plan maliyetini etkilemektedir.

4.3. Casing Planı

Sondaj operasyonlarında hem sondajın ilerleyişi hem de kuyu güvenliği açısından casing planı oldukça önemlidir. Üretim yapılacak sıcak rezerve, yüzeye yakın yerlerden soğuk yeraltı akışkanlarının karışmasını ve üretim faaliyetlerini etkileyen casingler için bir planlama yapılmaktadır.

Bu planlama dahilinde farklı çap ve kalınlıkta koruma boruları ile jeotermal kaynağa ulaşıldığında ise üretim borularına ihtiyaç olmaktadır. Casing planına göre uygun muhafaza boruları seçilirken sıcaklık dayanımı ve korozyon direnci ön plana çıkmaktadır. Yeraltında meydana gelen sıcaklık artış durumunda deforme olmayan ve korozyona sebep olabilecek etmenler karşısında yüksek dirence sahip koruma borularının seçilmesi, jeotermal sondajlarda casing maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir.

4.4. Çimentolama Planı

Casing planı ile yüksek oranda ilişkilendirilen çimentolama planı, jeotermal sondaj maliyetlerinin önemli faktörleri arasında yer almaktadır. Kuyunun formasyondan izolasyonu esnasında gerçekleştirilen çimentolama işlemi, kuyu içerisinde meydana gelebilecek sıcaklık değişimlerini ve casinglerin mukavemet özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Başarılı bir çimentolama işleminin yapılabilmesi için ise sıcaklık, bekleme ve iletme süresi, çimento türü ve katkı malzemelerini içeren bir planlama gerekmektedir. Çimentolama esnasında ise gerekli ekipmanlar, taşıma ve depolama hatları, çimento ve katkı malzemelerinin maliyetleri de bu plana dahil edilmektedir. Çimentolama, jeotermal sondajlarda nispeten daha az maliyetli olmasına rağmen sondaj işleminin başarılı bir şekilde tamamlanması ve kuyu güvenliğinin sağlanması açısından oldukça önemli yere sahip olmaktadır.

4.5. Kuyu Kontrol Planı

Sondaj operasyonlarında hem iş sağlığı ve güvenliği hem de sondaj planının takibi açısından kuyu kontrolünün yapılması oldukça önemlidir. Jeotermal sondajlarda ise yüksek sıcaklık ve basınçtaki yeraltı akışkanlarının takibinin mutlaka yapılması gerekmektedir. Casing ve çimentolama planlarında meydana gelebilecek hataların kuyu kontrol planı ile tespit edilmesi ve mevcut aksaklıkların giderilmesi, sondaj işleminin başarılı bir şekilde tamamlanabilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, kuyu içerisine ani akışkan girişleri esnasında da kuyu koruma ekipmanları ile kontrolün sağlanması sayesinde de can ve mal kayıplarının önüne geçilebilmektedir. Bu sebeplerden ötürü, kuyubaşı ekipmanları (RAM, BOP vb) ve sondaj esnasında yapılması gereken kuyu kontrol testleri (DST, Leak-Off testi, halat gerilmeleri, choke vana kontrolleri, BOP testi vb) ve bu testler için gereken ekipman maliyetleri, kuyu kontrolünün sağlanabilmesinde önemli yere sahiptir.

4.6. Matkap Seçimi

Sondaj operasyonlarının önemli parametrelerinden birisi de matkap seçimi ve kullanımınıdır. Farklı formasyon türlerine göre çeşitli matkaplar kullanılmasına rağmen jeotermal sondaj operasyonlarında genellikle PDC ve Roller-Cone tipi matkaplar seçilmektedir [17]. Kuyu planı ve litolojiye bağlı olarak en hızlı ve güvenli ilerlemeyi sağlayacak matkap seçimi sondaj süresi açısından oldukça önemlidir. Farklı çapa sahip ve kullanım süresi değişen matkaplar, sondajın ilerleyişini doğrudan etkilemekle birlikte sondaj süresini ve sondaj için gerekli olan enerji (elektrik, yakıt vb) ihtiyacını da etkilemektedir. Dolayısıyla sondaj maliyeti üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Jeotermal sondajlarda maliyet açısından formasyonun yapısına uygun, en hızlı ilerlemeyi en kısa sürede ve en az enerji gereksinimi ile sağlayacak matkapların seçilmesi gerekmektedir [18].

4.7. Sondaj Çamuru Planı

Sondaj çamuru, sondaj operasyonlarının en önemli parametreleri arasında yer almaktadır. Farklı türleri bulunmasına rağmen jeotermal sondajlar için ağırlıklı olarak su bazlı sondaj çamurları tercih edilmektedir. Formasyon akışkanını önleme, sondaj kesintilerinin yüzeye taşıma, sirkülasyon olmadığı zamanlarda kesintileri askıda tutma, formasyon cidarında kek oluşturma, kuyu stabilizasyonunu sağlama, sondaj dizisinde sürtünmeyi azaltma, yağlama ve matkabi soğutma sondaj çamurunun görevleri olarak sıralanabilmektedir. Bu önemli görevleri doğrultusunda sondaj çamuru ve planlanması jeotermal sondajlarda oldukça önemli olmaktadır. Sondaj çamurunun kuyu içerisinde sirkülasyonu ise pompalar sayesinde gerçekleşmektedir. Bu pompaların ise viskozitesi yüksek çamurların sirkülasyonunu sağlayabilmek için fazla enerji gereksinimi bulunmaktadır. Bu sebeple, sondaj esnasında az enerji gereksinimi bulunan optimal sirkülasyon şartlarının sağlanması gerekmektedir. Sondaj çamuruna farklı özellik ve görevlere sahip katkı malzemeleri de ilave edilmektedir. Bu katkı malzemeleri, sondaj çamurunun reolojik özelliklerini düzenlemekte ve formasyon ile kuyu şartlarına göre en uygun akış özelliklerini sağlamaktadır. Jeotermal sondajlarda, diğer sondaj türlerine kıyasla sıcaklık faktörü daha ön planda olduğu için sondaj çamurunun akış özellikleri de daha fazla deformasyona uğramaktadır. Dolayısıyla akış özelliklerinin yeniden kontrol edilebilmesi için katkı malzemesi kullanımı daha fazla olmaktadır. Bu durum da jeotermal sondajlarda çamur maliyetinin daha fazla olmasını sağlamaktadır.

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

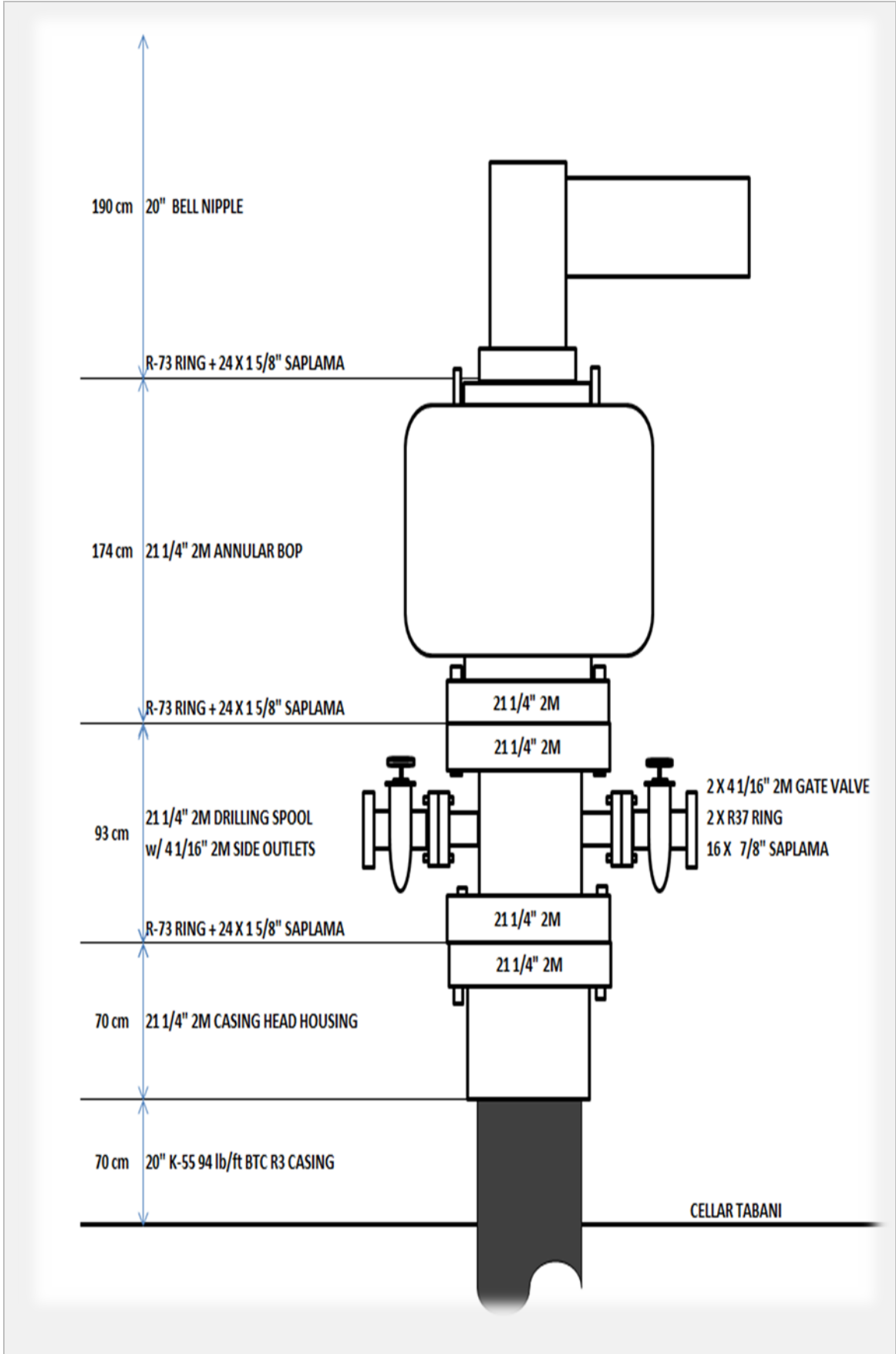
5.1. Jeotermal Enerji Ekonomisine Genel Bakış

Kendi öz varlığımız olan, dışa bağımlı olmayan, teknik ve ekonomik avantajlara sahip olan, çevre dostu jeotermal kaynakların maksimum ölçüde değerlendirilmesi enerji ekonomisi çalışmalarında önemli yer tutmaktadır. Bu doğrultuda, tüm diğer ısı sistemlerinde olduğu gibi termodinamiğin ikinci kanununun jeotermal kaynaklar için uygulanması, sistem verimliliği, kullanılabilirliği ve sınıflandırılması için sağlam bir temel oluşturur. Jeotermal enerji sistemleri ucuz, karlı ve yatırımı karşılama süresi oldukça düşük olan sistemlerdir [19].

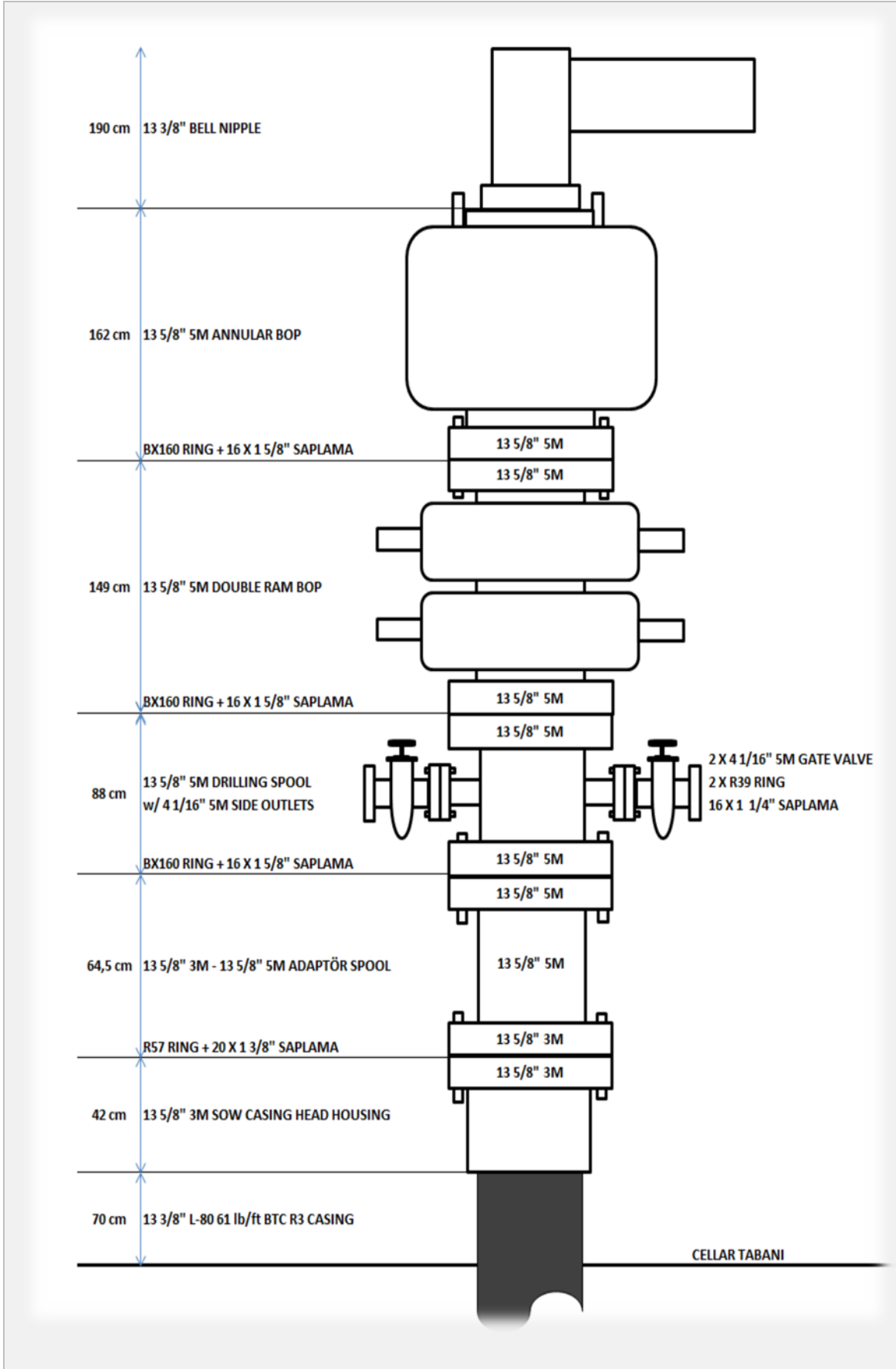
Ülkemizde jeotermal sektörünün hızlı büyümesi hiç kuşkusuz doğru zamanda ve eşgüdüm ile yapılan mevzuat değişiklikleri ile sağlanmıştır. YEKDEM kanunu ile sadece kapasite artışı değil enerji sektörü ile imalat sektörünün entegrasyonu hedeflenmiş, teknoloji transferi ve ekonomik refah artışına öncelik verilmiştir. Geçen dönem içerisinde ekonomik elektrik potansiyelinin önemli bir kısmı kullanılabilir duruma gelmiştir. Yine aynı dönemde yenilenebilir enerji teknoloji sektöründe yaşanan hızlı gelişme ile verimi artırmış, ilk yatırım ve işletme maliyetlerinde düşüş sağlayarak yenilenebilir enerji yatırımlarını daha rekabetçi pozisyona taşımıştır [20].

5.2. İstatistiksel Veriler

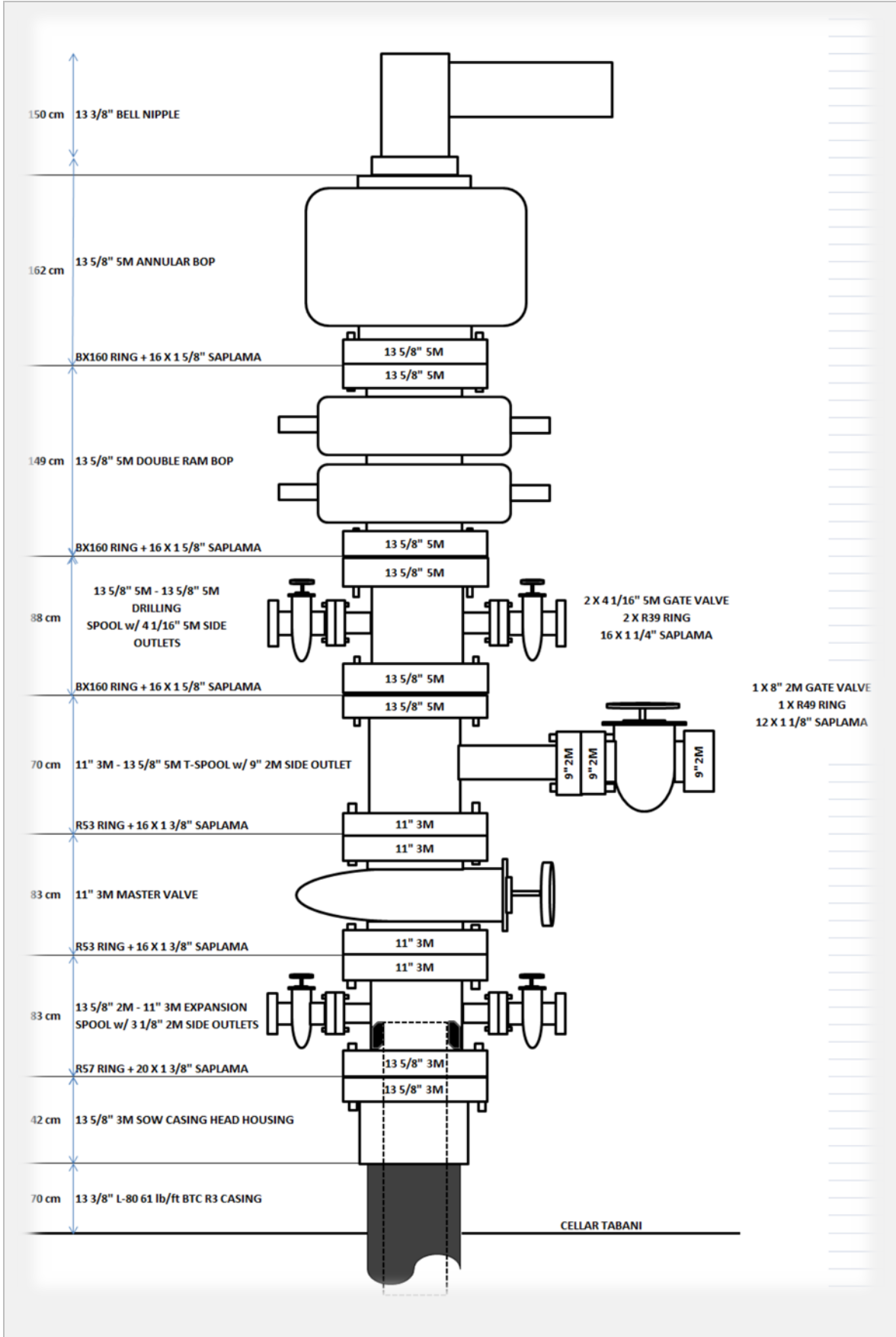
Yapılan araştırmalarda yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji çeşidi olan jeotermal enerjiye olan taleplerin artmasıyla kullanım alanları giderek artmaktadır. Dolayısıyla jeotermal sondajlarına yapılan yatırımları da artırmaktadır. Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre lokasyon yol yapım giderleri, nakliyat giderleri, matkap giderleri, kuyuda kalan borusal malzeme ve ekipman, çimento-kum-çakıl ve katkı maddeleri, çamur malzemeleri, akaryakıt ve yağ giderleri, kuyu başı malzemeleri, genel giderler, malzeme yedek parça ve onarım giderleri ve personel giderleri hesaplanarak bir analiz yapılmıştır. Bu yapılan sondaj işlemi 2017-2018 yıllarının fiyatlarına göre değerlendirilmiştir. Aşağıda X jeotermal üretim kuyusuna ait kuyu başı kontrol ekipmanları Şekil 5.1- 5.2 ve 5.3'te gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Verileri değerlendirilen 21 1/4 " kuyubaşı donanımı



Şekil 5.2. Verileri değerlendirilen 13 5/8" kuyubaşı donanımı



Şekil 5.3. Verileri değerlendirilen 13 5/8" kuyubaşı donanımı

5.2.1. Lokasyon ve yol yapım giderleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre kuyu lokasyon ve yol yapım maliyetleri Çizelge 5.1' de gösterildiği gibi toplam maliyetleri 51 668,41 \$ olarak hesaplanılmıştır.

Çizelge 5.2. Lokasyon ve yol yapım maliyetleri

Cinsi	Tutar (\$)
Lokasyon Yapımı	37 052,63
Yol Yapımı	6 610,52
Yol Islahı	8 005,26
Toplam Maliyet	51 668,41

5.2.2. Nakliyat giderleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre nakliyat giderleri uzun mesafede 300 000 \$ iken kısa mesafede 100 000 \$ olarak belirlenmiştir. Bu verilere göre toplam nakliyat giderlerinin maliyeti 400 000 \$ olarak hesaplanılmıştır.

5.2.3. Matkap giderleri

Sondaj operasyonlarının önemli parametrelerinden birisi olan matkap seçimi ve kullanımınıdır. Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre üç çeşit matkap kullanılmıştır.

Bunlar: 17 1/4" , 12 1/4" ve 8 1/2" matkap türleridir. Çizelge 5.2'de gösterildiği gibi kuyuda kullanılan matkap çapları, kullanım sayıları, kullanım oranları, birim fiyatları ve toplam maliyet değerleri verilmiştir. Burada toplam matkap giderlerinin maliyeti ise 28 558,93 \$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.3. Kuyuda kullanılan matkap türleri ve toplam maliyetleri

Cinsi	Çapı (inçh)	Adet	Kullanım Oranı (%)	Birim Fiyatı (\$)	Toplam (\$)
Rockbit	17 1/4"	1	66	3 289,47	2 171,05
Rockbit (insert)	12 1/4"	3	255	3 736,84	9 528,94
Rockbit (insert)	8 1/2"	5	520	3 242,10	16 858,94
Toplam Maliyet					28 558,93

5. 2. 4. Kuyuda kalan borusal malzeme ve ekipman giderleri

Sondaj işleminde maliyeti etkileyen bir diğer parametre ise kullanılan muhafaza borularının (casing) maliyetleridir. Emniyetli ve ekonomik sondaj uygulamaları yapabilmek için, delinecek formasyon özelliklerine göre belirli derinliklere muhafaza borusu indirilmektedir. Muhafaza borusu indirilme derinliklerinin seçiminde; kaçak zonları, formasyon gözenek ve çatlama basıncı gradientleri veya diğer çeşitli formasyon özellikleri etken olmaktadır.

Bununla birlikte, genellikle derin kuyularda karşılaşılan basınçlı formasyonları kontrol altında tutarak daha sığ derinliklerde bulunan formasyonların çatlatılmaması, derinlik seçiminde birinci derecede etken olmaktadır.

Yüzey ve ara muhafaza boruları derinliklerinin seçiminde, kolaylık açısından tabandan yukarıya doğru önce ara muhafaza borusu derinlikleri ve daha sonra yüzey muhafaza borusu derinliği seçilmektedir [21]. Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre kuyuda kullanılan casing borularının çapları, derinlikleri, sınıf-kalite, ağırlıkları, birim fiyatları ve toplam maliyetleri hesaplanılarak Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Kuyuda kullanılan casing borularının özellikleri ve maliyetleri

Cinsi	Çap (inç)	Derinlik (m)	Sınıf-Kalite	Ağırlık (lb/ft)	Birim Fiyatı(\$)	Toplam (\$)
Casing (Muhafaza borusu)	20"	138,00	K-55	94,0	78,94	10 893,72
	13 5/8"	790,00	N-80	61,0	89,47	70 683,67
	9 5/8"	1540,00	L-80	43,5	65,78	101 315,06
Liner (kapalı)	7"	1507,67	P-110	29,0	42,10	63 480,44
Liner (filtreli)	7"	2204,66	P-110	29,0	65,78	145 022,53
Casing Aparatları						15 000,00
Centralizer	13 3/8"	8 Adet			131,57	1 052,56
	9 5/8"	5 Adet			32,63	163,15
Toplam Maliyet						407 612,13

5. 2. 5. Çamur malzemesi giderleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre kuyuda kullanılan kimyasal katkı maddeleri, çamur özellikleri, kuyuda meydana gelen çamur kaçak zonları ve miktarları, kullanılan çamur türleri ve toplam çamur maliyet değerleri verilmiştir. Kuyu spud çamuru ile kazılmaya başlanmış olup, 17 1/2 " ve 12 1/4 " kuyu aralıkları; Light Polimer çamuru ile kazılmıştır. 8 1/2 " kuyu aralığında tam kaçak gözleendiğinden, bu kısım su ile kazılmış; belli aralıklar ile kuyuya Hi- Vis Sweep basılarak kuyu temizlenmiştir. Çamur filtrasyon ve reolojik özelliklerine bağlı kimyasal katkı maddeleri kullanımı Çizelge 5.4'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Kullanılan kimyasal katkı maddeleri ve işlevleri

Katkı Maddesi	Formül	İşlevleri
Bentonit	-	Şişme kapasitesine bağlı bir kil mineralidir.
XCD	C ₃₅ H ₄₉ O ₂₉	Çamur içerisinde kolay dağılabilen bir maddedir.
CMC – HV	CH ₂ CO ₂ H	Su kaybının yaşanmasında etkilidir.
CMC – LV	C ₆ H ₉ OCH ₂ COONa	Su kaybının yaşanmasında etkili olup sıcaklığa karşı dayanıksızdır.
PAC- HV	C ₆ H ₇ O ₂ (OH) ₂ CH ₂ COONa] _n	Su kaybının yaşanmasında etkilidir.
PAC- LV	C ₆ H ₇ O ₂ (OH) ₂ OCH ₂ COONa	Su kaybının yaşanmasında etkili olup, düşük viskozite artışı sağlar.
Kostik Soda	NaOH	Ph 'ı sabitlemede kullanılır.

17 1/2" ve 12 1/4" kuyu aralıklarında gözlenen CO₂ bulaşımına, kireç ve kostik ile müdahale edilmiştir. Çamur ağırlığı ve katı madde, Decanter; kumluluk, mud cleaner ile kontrol altında tutulmuştur. 12 1/4" kuyu sondajından kalan çamura PAC- HV ve XC Polimerleri ilavesi ile hazırlanan High -Vis Sweep, başlangıçta her short trip öncesi 20-50 bbl; sondajın ilerleyen kısmında ise 1-2 ilavede bir 15-30 bbl hacimlerde; manevralarda 40-70 bbl hacimlerde kuyuya basılarak kuyu temizliği sağlanmıştır. Kuyuda kullanılan çamur özellikleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.6. Kuyuda kullanılan çamur özellikleri

Akışkan Özellikleri		26 "Section Spud Çamuru			17 1/2 " Section Bentonit Polimer			12 1/4 " Section Bentonit Polimer			8 1/2 " Section Polimer(su ile sondaj)		
		Plan	Gerçekleşen		Plan	Gerçekleşen		Plan	Gerçekleşen		Plan	Gerçekleşen	
			Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max
MW	Ppg	9.0-9.7	9.3	9.6	9.0-9.7	9.25	9.6	9.1-9.6	9.0	9.5	8.9-9.2	8.3	8.3
Huni Viskozitesi	Sec/qt	35-45	32	36	35-45	35	53	35-45	33	49	35-45	27	27
PV	Cp	Alap	3	9	NC	5	11	Alap	5	13	Alap		
YP	Lb/100ft ²	8-25	9	16	NC	7	19	8-20	3	30	8-20		
10 "GEL	Lb/100ft ²	3-8	2	6	NC	3	17	3-8	3	9	3-8		
10 "GEL	Lb/100ft ²	5-15	3	21	NC	9	38	5-25	3	30	5-25		
API-WL	Cc/30min	NC	NC	NC	<10	11.5	16	<10	8	15	<15		
MBT	Ppb	<15	NC	NC	<15	10	15	<15	4.5	10	<15		
PH		9.5-11	9.1	10.7	9.5-11	7.7	10.7	9.0-11	8	12.3	9.0-11		
PM		NC	NC	NC	NC	0.05	2.3	NC	0.3	5.26	NC		
PF		NC	NC	NC	NC	0.1	1.6	NC	0.1	1.45	NC		
MF		NC	NC	NC	NC	0.35	2.4	NC	0.4	2.92	NC		
CL	Mg/l	<3000	NC	NC	<3000	400	900	<3000	800	1750	<3000		
Ca ⁺⁺	Mg/l	<800	NC	NC	<800	20	80	NC	32	160	<800		

8 1/2 " kuyu aralığında tam kaçak gözlemlendiğinden, bu kısım su ile kazılmış; belli aralıklar ile kuyuya Hi- Vis Sweep basılarak kuyu temizlenmiştir. 1283-1285.5 metreler arası 13 bbl/h ortalama hızla başlayan kaçak 1330-1335 metreler arası 101 bbl/h'e yükselmiştir. Bunun üzerine 1335 metrede 95 bbl LCM (15 ppb CaCO₃M; 20 ppb CaCO₃C) kuyudan geçirilerek, kaçak miktarı düşürülmeye çalışılmıştır.

Kaçak miktarı anlık olarak azalmış akabinde tekrar artış gözlenmiştir. Kaçağın durmaması üzerine 1339,5 metrede sondaj sonlandırılmış tapa çimento operasyonu yapılmıştır. Tapa çimento sonrası kaçak önlenerek sondaja devam edilmiştir. 1543 metrede tam kaçağa girilmesinin akabinde kaçak miktarını azaltmak için çamur ağırlığı 9.25 ppg' den 9 ppg' ye düşürülmüştür. Çamur ağırlığının 9.1 ppg değerinin altına düşmesi ile kuyudan geliş gözlenmiştir. Çamur ağırlığı CaCO₃F ilavesi ile artırılarak kontrol altında tutularak kuyudan geliş önlenmiştir. Kaçağa CaCO₃F, CaCO₃M, 20 ppb CaCO₃C ile hazırlanan LCM tapalarla müdahale edilmesine rağmen kaçak önlenemeyerek 9 5/8" casing derinliği 1540 m olarak belirlenmiştir.

12 1/4" kuyu sondajında; sondajda, manevralarda ve sirkülasyonlarda toplam 5850 bbl çamur kaçağı gözlenmiştir. 8 1/2" kuyu sondajına; 1560 m' de tam kaçak gözlendiği için sondaja su ile devam edilmiştir. 1652 m' ye kadar tam kaçakla su ile devam eden sondajda, 1652 m' den itibaren eleğe az miktarda geliş gözlenmiştir. Aralık boyunca su ile yapılan sondajda saatlik kaçak miktarı aralık boyunca değişkenlik göstermiştir. 1818 m' de ve 1822,5 m' de anlık olarak tam kaçağa girilmiş ve akabinde yüksek kısmi kaçaklarla sondaja su ile devam edilmiştir. Yüzeyle gözlenen Hi-Vis Sweplerin eleğe kayda değer numune getirmediği gözlenmiştir. Aralık boyunca kuyuya basılan toplam 1453 bbl High Vis çamur kaçağı olarak kaydedilerek kuyuda meydana gelen çamur kaçak zonları ve miktarları Çizelge 5.6' da gösterilmektedir.

Çizelge 5.7. Kuyuda meydana gelen çamur kaçak zonları ve miktarları

Derinlik(m)	Kaçak Miktarı(bbl)	Formasyon
1283-1285,5	13	Menderes Masifi Metamorfikleri
1288,5-1291	10	Menderes Masifi Metamorfikleri
1291-1294,5	3	Menderes Masifi Metamorfikleri
1294,5-1299	3	Menderes Masifi Metamorfikleri
1299-1305	15	Menderes Masifi Metamorfikleri
1305-1307,5	82	Menderes Masifi Metamorfikleri
1307,5-1310,5	73	Menderes Masifi Metamorfikleri
1319,5-1322,5	17	Menderes Masifi Metamorfikleri
1326,5-1330	47	Menderes Masifi Metamorfikleri
1330-1335,5	101	Menderes Masifi Metamorfikleri
1335,5-1339,5	170	Menderes Masifi Metamorfikleri
1341,5-1346,5	25	Menderes Masifi Metamorfikleri
1354,5-1359	4	Menderes Masifi Metamorfikleri

Çizelge 5.8. (Devam) Kuyuda meydana gelen çamur kaçak zonları ve miktarları

Derinlik(m)	Kaçak Miktarı(bbl)	Formasyon
1363,5-1367,5	8	Menderes Masifi Metamorfikleri
1371-1376	6	Menderes Masifi Metamorfikleri
1385-1388	4	Menderes Masifi Metamorfikleri
1388-1391,5	4	Menderes Masifi Metamorfikleri
1448-1452	5	Menderes Masifi Metamorfikleri
1452-1455	16	Menderes Masifi Metamorfikleri
1455-1458,5	20	Menderes Masifi Metamorfikleri
1458,5-1462,5	15	Menderes Masifi Metamorfikleri
1462,5-1465,5	11	Menderes Masifi Metamorfikleri
1465,5-1468	21	Menderes Masifi Metamorfikleri
1468-1470	18	Menderes Masifi Metamorfikleri
1470-1473	19	Menderes Masifi Metamorfikleri
1473-1475	11	Menderes Masifi Metamorfikleri
1475-1479,5	9	Menderes Masifi Metamorfikleri
1479,5-1482	5	Menderes Masifi Metamorfikleri
1482-1484	5	Menderes Masifi Metamorfikleri
1484-1485	5	Menderes Masifi Metamorfikleri
1489,5-1492,5	7	Menderes Masifi Metamorfikleri
1492,5-1497,5	7	Menderes Masifi Metamorfikleri
1497,5-1500	5	Menderes Masifi Metamorfikleri
1500-1503	7	Menderes Masifi Metamorfikleri
1518-1522	8	Menderes Masifi Metamorfikleri
1543(tamkaçak)		Menderes Masifi Metamorfikleri
1543-1546,5	40	Menderes Masifi Metamorfikleri
1549,5-1551	18	Menderes Masifi Metamorfikleri
1555(tamkaçak)		Menderes Masifi Metamorfikleri
1559-1562,5	630	Menderes Masifi Metamorfikleri
1572-1574,5	630	Menderes Masifi Metamorfikleri
1574,5-1576	621	Menderes Masifi Metamorfikleri
1603,5-1605	310	Menderes Masifi Metamorfikleri
1652,5-1654	640	Menderes Masifi Metamorfikleri
1655-1656,5	635	Menderes Masifi Metamorfikleri
1659,5-1660	350	Menderes Masifi Metamorfikleri
1660-1661	320	Menderes Masifi Metamorfikleri
1673-1675	240	Menderes Masifi Metamorfikleri
1683,5-1685	265	Menderes Masifi Metamorfikleri
1705-1708	160	Menderes Masifi Metamorfikleri
1734-1736,5	240	Menderes Masifi Metamorfikleri
1767,5-1771	220	Menderes Masifi Metamorfikleri
1824,5-1826,5	600	Menderes Masifi Metamorfikleri
1827-1828	480	Menderes Masifi Metamorfikleri
1858-1860,5	440	Menderes Masifi Metamorfikleri
1860-1863,5	416	Menderes Masifi Metamorfikleri

Çizelge 5.9. (Devam) Kuyuda meydana gelen çamur kaçak zonları ve miktarları

Derinlik (m)	Kaçak Miktarı(bbl)	Formasyon
1863,5-1868	478	Menderes Masifi Metamorfikleri
1868-1871	448	Menderes Masifi Metamorfikleri
1871-1873,5	435	Menderes Masifi Metamorfikleri
1873,5-1883	370	Menderes Masifi Metamorfikleri
1883-1887	435	Menderes Masifi Metamorfikleri
1887-1889,5	400	Menderes Masifi Metamorfikleri
1889,5-1894	355	Menderes Masifi Metamorfikleri
1901-1906	380	Menderes Masifi Metamorfikleri
1913-1918	220	Menderes Masifi Metamorfikleri
1918-1922,5	479	Menderes Masifi Metamorfikleri
1922,5-1924	327	Menderes Masifi Metamorfikleri
1924-1937	383	Menderes Masifi Metamorfikleri
1937-1946	435	Menderes Masifi Metamorfikleri
1946-1962	480	Menderes Masifi Metamorfikleri
1962-1969	400	Menderes Masifi Metamorfikleri
1969-1978	350	Menderes Masifi Metamorfikleri
1978-1989,5	400	Menderes Masifi Metamorfikleri
1998-2001,5	425	Menderes Masifi Metamorfikleri
2001,5-2007	465	Menderes Masifi Metamorfikleri
2007-2012,5	478	Menderes Masifi Metamorfikleri
2012,5-2017	506	Menderes Masifi Metamorfikleri
2017-2021	444	Menderes Masifi Metamorfikleri
2021-2024,5	536	Menderes Masifi Metamorfikleri
2024,5-2029	435	Menderes Masifi Metamorfikleri
2029-2032,5	448	Menderes Masifi Metamorfikleri
2032,5-2042	435	Menderes Masifi Metamorfikleri
2042-2046	535	Menderes Masifi Metamorfikleri
2046-2055	435	Menderes Masifi Metamorfikleri
2055-2058	480	Menderes Masifi Metamorfikleri
2090-2094,5	370	Menderes Masifi Metamorfikleri
2103-2104,5	435	Menderes Masifi Metamorfikleri
2108-2119	400	Menderes Masifi Metamorfikleri
2119-2121	231	Menderes Masifi Metamorfikleri
2129-2138,5	383	Menderes Masifi Metamorfikleri
2138,5-2184,5	320	Menderes Masifi Metamorfikleri
2184,5-2187,5	383	Menderes Masifi Metamorfikleri
2187,5-2191	320	Menderes Masifi Metamorfikleri
2191-2195	345	Menderes Masifi Metamorfikleri
2195-2197,5	380	Menderes Masifi Metamorfikleri
2191,5-2201	345	Menderes Masifi Metamorfikleri
2201-2205,5	370	Menderes Masifi Metamorfikleri
2205,5-2206,5	220	Menderes Masifi Metamorfikleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporları göre kuyuda kullanılan çamur kimyasalları: Bentonit (ILBE), Bentonit(DDC), CMC-HV(BES), CMC-HV(ILBE), PAC-HV(DDC), PAC-HV(ILBE), XC Polymer(DDC), Kostik Soda(DDC), PAC-LV(DDC), XC Polymer (ILBE), Kostik Soda(ILBE), CaCO₃(f) CaCO₃(m) ve CaCO₃(c) olarak kullanılmıştır. Bu kimyasallar birim boyut, birim fiyat, kullanılan(adet), ürün maliyeti ve toplam çamur maliyetlerine göre hesaplanılmıştır. Kullanılan çamur kimyasalları ve maliyetleri Çizelge 5.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.10. Kullanılan çamur kimyasalları ve maliyetleri

Ürünler	Birim Boyut	Birim Fiyat	Kullanılan(Adet)	Ürün Maliyeti
Bentonit(ILBE)	1000 kg/BB	\$109,44	25	\$ 2.736,00
Bentonit(DDC)	1000kg/BB	\$114,54	19	\$ 2.176,24
CMC-HV (BES)	25 kg/sx	\$33,04	116	\$ 3.832,64
CMC-HV (ILBE)	25 kg/sx	\$31,15	156	\$ 4.859,40
PAC-HV(DDC)	25 kg/sx	\$59,00	26	\$ 1.534,00
PAC-HV(ILBE)	25 kg/sx	\$86,44	2	\$ 172,88
XC Polymer (DDC)	25 kg/sx	\$62,84	31	\$ 1.947,89
Kostik Soda(DDC)	25 kg/sx	\$22,13	2	\$ 44,25
PAC-LV(DDC)	25 kg/sx	\$30,39	22	\$ 668,47
XC Polymer(ILBE)	25 kg/sx	\$87,47	19	\$ 1.661,93
Kostik Soda(ILBE)	25 kg/sx	\$18,32	100	\$ 1.831,70
CaCO ₃ (f)(NİGTAS)	1300 kg/BB	\$53,89	101	\$ 5.442,89
CaCO ₃ (m)(NİGTAS)	1000kg/BB	\$47,84	8	\$ 382,70
CaCO ₃ (c) (NİGTAS)	1400kg/BB	\$53,58	7	\$ 375,05
Toplam Ürün Maliyeti				\$ 27 666,66
Toplam Çamur Maliyeti				\$ 27 666,66

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporları göre maliyeti etkileyen en önemli parametrelerden biri kullanılan sondaj çamurudur. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen kuyunun toplam çamur katkı malzemesi maliyeti 27 666, 66 \$ ve birim maliyeti 12,5 \$/m olarak hesaplanılmıştır. Bu jeotermal sondaj kuyusunda kullanılmış olan katkı malzemelerinden maliyeti en çok etkileyen CMC-HV (ILBE) en az etkileyen ise Kostik Soda(DDC) olarak belirlenmiştir.

5.2.6. Çimento, kum, çakıl ve çimento katkı malzemeleri giderleri

Kullanılan 20" Casing Borularının Çimentolama Aşamaları

1. 31 bb (46,5) ton çimento tozu, viking silobasına doldurulmaktadır. 157 bbl su ile % 0.065 defoamer viking batch mixerlerinde karıştırılarak, Mix on fly yöntemi ile çimento pompası içerisinde 1,8 sg (15 ppg) 251 bbl çimento karışımı hazırlanarak kuyuya basılmaktadır.
2. Çimentolama operasyon öncesi hazırlıklar yapılmaktadır.
3. İlk hwdp'ye stab in adaptör + hwdp + dp bağlanarak kuyu tabanına iniş yapılmaktadır.
4. Batch mixerlere 157 bbl su alınarak % 0.065 defoamer ile karıştırılmaktadır.
5. Cementing head bağlanılarak, cementing unite ve kule arası hat bağlantıları yapılmaktadır.
6. Safety meeting yapılmaktadır.
7. Çimentolama hatlarına geçilmeden önce 80 bbl su(spacer), kule pompası ile çimentolama öncesi kuyuya basılmaktadır.
8. Hatlar çimento pompasına göre ayarlanılmakta, hatlar etrafında cementing ekibi dışında kimse durmamakta ve kule çalışanları cementing ekibi işine karışmamaktadır.
9. Çimento pompası ile 5 bbl su basılıp çimentolama hatları 1500 psi'da 5 dk test edilmektedir.
10. CU ile 251 bbl çimento karışımı, 5" dp içinden basılmaya başlanılmaktadır.
11. 251 bbl çimento karışımı basıldıktan sonra CU ile 2 bbl su basılarak çimento karışımı ötelenmektedir.
12. Stap in adaptor dizisi ile tam çıkış yapılmaktadır.
13. Casing 1 metre yukarı çekilmektedir.
14. WOC

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre 20" casing çimentolama maliyetleri Çizelge 5.8' de verilmektedir. 20" casing borularının toplam çimentolama hacmi 233 bbl' dir. Yapılan hesaplamalar sonucu 1. Kademe kullanılan toplam çimentolama maliyeti 13 667,11 \$ olarak hesaplanılmıştır.

Çizelge 5.8. 20" Casing borularının çimentolama maliyetleri

1. Kademe Maliyet					2. Kademe Maliyet			
Çimento ve Katkılar	Miktar	Birim	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)	Miktar	Birim	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)
G Class Çimento	39,0	Ton	91,95	3585,86				
Silika								
RET-10 Retarder								
DİS-100 Dispersant								
FL-16 Fluid Loss Reducer								
AF-11 Defoamer	25,0	Lt	3,25	81,25				
Operasyon	1,0		10000	10000				
Toplam Maliyet (\$)				13 667,11				

Kullanılan 13 3/8 " Muhafaza(Casing) Borularının Çimentolama Aşamaları

1. 102 ton (68 bb) g class çimento ve 36000 kg (25 bb) kg silika, 6 adet silobas içerisinde karıştırılmaktadır. Viking Batch mikserlerinde 430 bbl su ile; 300 kg dis-100, 300 kg fl-16, 125 kg ret-02 ve 100 litre defoamer karıştırılmaktadır. Mix on fly yöntemi ile çimento pompası içerisinde 1,8 sg (15 ppg) 726 bbl çimento karışımı hazırlanarak kuyuya basılmaktadır.
2. Batch mixerlerde katkı kimyasalları, su ile karıştırılmaktadır.
3. Çimentolama öncesi 50 bbl su pe-flush olarak kuyuya kule pompası ile basılmaktadır.
4. Alt tapa casinge, üst tapa cementing head'e yerleştirilerek hat çimento pompasına çevirilmektedir.
5. Safety meeting yapılmaktadır.
6. 5 bbl su cementing unit ile basılarak çimentolama hatları 2500 psi'da 5 dk test edilmektedir.
7. Hatlar etrafında cementing ekibi dışında kimse durmamakta ve kule çalışanları cementing ekibi işine karışmamaktadır.
8. Çimento pompasında 1. 8 sg (15 ppg) ağırlığında çimento hazırlanıp kuyuya basılarak, karışımdan 6 adet numune alınmaktadır.
9. 723 bbl çimento karışımı basıldıktan sonra üst tapa 5 bbl CU su ile düşürülüp ötelenmektedir.
10. CU ile öteleme yapıldıktan sonra, CU vanaları kapatılarak kuyu kuleye devredilmektedir. Kule pompasıyla yüksek debide 371,2 bbl çamur (3160 stroke) öteleme yapılmaktadır.
11. Tapa oturma basıncı > 705 psi.
12. Öteleme tamamlandıktan sonra geri akış kontrol edilerek, geri akış yoksa vana açık bırakılmaktadır.
13. WOC

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre 13 3/8" casing çimentolama maliyetleri Çizelge 5.9'da verilmektedir. Yapılan hesaplamalar sonucu 13 3/8" casing borularının toplam çimentolama hacmi 718611 bbl ve 1. Kademe kullanılan toplam çimentolama maliyeti ise 28 658,33 \$ olarak hesaplanılmıştır.

Çizelge 5.11. 13 3/8" Casing borularının çimentolama maliyetleri

1. Kademe Maliyet					2. Kademe Maliyet			
Çimento ve Katkılar	Miktar	Birim	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)	Miktar	Birim	Birim Maliyet (\$)	Toplam Maliyet (\$)
G Class Çimento	110,0	Ton	86,67	9533,33				
Silika	36,0	Ton	46,67	1680,00				
RET-10 Retarder	125,0	Kg	5	625				
DİS-100 Dispersant	300,0	Kg	4,25	1275				
FL-16 Fluid Loss Reducer	300,0	Kg	9,1	2730				
AF-11 Defoamer	100,0	Lt	3,15	315				
Operasyon	1,0		12500	12500				
Toplam Maliyet (\$)				28 658,33				

Kullanılan 9 5/8" Muhafaza(Casing) Borularının Birinci Kademe Çimentolama Aşamaları

1. Safety meeting yapılarak operasyon detayları ile ilgili personellere açıklama yapılmaktadır.
2. Çimentolama operasyonu öncesi son kontroller yapılarak hazırlıklar tamamlanmaktadır.
3. CU ile 5 bbl su basılıp çimentolama hatları 2000 psi'da 5 dk test edilmektedir.
4. Hatlar etrafında cementing ekibi dışında kimse durmamakta ve kule çalışanları çimentolama ekibinin işine karışmamaktadır.
5. Viking Batch Mixer'lerine 74 bbl su, 37.5 kg dis-100, 37.5 kg fl-16, 15 kg ret-02 ve 25 litre neu af-15 alınarak karıştırılmaktadır. 15 ton (10 bb) g class çimento ve 5.6 ton (4 bb) silika tozu silobaslarda karıştırılıp lokasyondaki çimento unitesine bağlanılarak Mix on fly yöntemiyle hazırlanacak olan 117 bbl (14.5 ppg) ağırlığında çimento karışımı kuyuya basılmaktadır.
6. Kuyuya basılan (14.5 ppg) ağırlığındaki çimento karışımından 4 adet numune alınmaktadır.
7. 117 bbl çimento karışımı basıldıktan sonra first stage plug (top plug) cementing head içindeki yuvasından düşürülüp CU ile 5 bbl su basılarak ötelenmektedir.
8. CU ile öteleme yapıldıktan sonra CU vanaları kapatılarak kuyu kuleye devredilmektedir. Kule pompasıyla sabit debide 370 bbl çamur (2858 stroke) öteleme yapılarak ve tapa oturtulmaktadır.
9. Tapa oturma basıncı min; 680 psi. Test basıncı; 1500 psi olarak alınmıştır.
10. Çimento donması beklenmektedir.

Kullanılan 9 5/8 " Muhafaza(Casing) Borularının İkinci Kademe Çimentolama Aşamaları

1. Annular bop açılarak flow check yapılmaktadır. Anulüs çamur seviyesinde azalma varsa çamur ile doldurularak azalan seviye hesaplanmaktadır.
2. Safety meeting yapılmaktadır.
3. Çimentolama operasyonu öncesi son kontroller yapılarak, hazırlıklar tamamlanmaktadır.
4. Opening bomb 9 5/8 casing içerisine bırakılarak, sirkulasyon başlığı bağlanmaktadır. Kule pompası ile opening bomb ötelenerek dv toola oturtularak dv toolun portları açılmaktadır.

5. Sirkülasyon başlığı sökülerek çimento hatları bağlanmaktadır.
6. CU ile 5 bbl su basılıp çimentolama hatları 2000 psi'da 5 dk test edilmektedir.
7. Hatlar etrafında cementing ekibi dışında kimse durmamakta ve kule çalışanları çimentolama ekibinin işine karışmamaktadır.
8. Viking Batch Mixer'lerine 207 bbl su, 125 kg dis-125, 125 kg fl-16, 50 kg neu-ret 02 ve 75 litre defoamer alınarak karıştırılmaktadır. 49.5 ton (33 bb) g class çimento ve 16. 8 ton (12 bb) silika tozu silobaslarda karıştırılıp lokasyondaki çimento unitesine bağlanmaktadır. Mix on fly yöntemiyle hazırlanacak olan 346 bbl 1. 8 sg (15 ppg) ağırlığında çimento karışımı kuyuya basılmaktadır.
9. Kuyuya basılan 1. 8 sg (15 ppg) ağırlığındaki çimento karışımından 4 adet numune alınmaktadır.
10. 346 bbl çimento karışımı basıldıktan sonra closing plug (top plug) cementing head içindeki yuvasından düşürülüp CU ile 5 bbl su basılarak ötelenmektedir.
11. CU ile öteleme yapıldıktan sonra, CU vanaları kapatılarak kuyu kuleye devredilmektedir. Kule pompasıyla sabit debide 209 bbl çamur (1615 strok) öteleme yapılarak ve closing plug dv üzerindeki yerine oturtularak portlar kapatılmaktadır.
12. Tapa oturma basıncı; 1060 psi. Port kapama basıncı 1560 – 1860 psi arası. Test basıncı; 2000 psi olarak alınmıştır.
13. Eleklerden çimento gelişi gözlenmektedir.
14. Geri akış kontrol edilerek, geri akış yoksa vana açık bırakılıp çimento donması beklenilmektedir. Geri akış varsa, vana kapatılıp kuyu basınç altında tutularak beklenilmektedir.
15. WOC

Çizelge 5.12. 9 5/8" Casing borularının çimentolama maliyetleri

			1. Kademe Maliyet	2. Kademe Maliyet	Top Job 1	Toplam Maliyet (\$)
Çimento ve katkıları	Birim	Birim Maliyet (\$)	Miktar	Miktar	Miktar	
G Class Çimento	Ton	91,95	15,00	49,50	2,00	6 114,36
Silika	Ton	47,95	5,60	16,80		1 073,97
RET-02 Retarder	Kg	5,25		50,00		262,50
DİS-100 Dispersant	Kg	4,50		25,00		562,50
NEUFL16	Kg	9,45		125,00		1.181,25
AF-11 Defoamer	Lt	3,25	25,00	75,00		325,00
Operasyon		16 000,00	1,00		5.000,0	21 000,00
Toplam Maliyet (\$)						30 519,58

5.2.7. Akaryakıt ve yağ giderleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre kuyuda kullanılan motorin tüketim değerleri 159.662 lt'dir. Birim fiyatı 4,6 \$/lt olup toplam maliyeti ise 734 445,2 \$ olarak hesaplanılmıştır.

5.2.8. Kuyu başı malzeme giderleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre toplam kuyu başı malzeme giderleri maliyeti 9 102,63 \$ olarak hesaplanılmıştır.

5.2.9. Genel giderler

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre konaklama giderleri, araç kirası, elektrik ve su giderleri, kadrolu işçi iâşe giderleri, haberleşme ve kırtasiye giderlerinin maliyetleri Çizelge 5.11'de verilmiştir. Burada toplam maliyet 68 168,66 \$ olarak hesaplanılmıştır

Çizelge 5.13. Genel giderler Çizelgesi

Cinsi	Toplam (\$)
Konaklama Giderleri	30 636,84
Araç Kirası	15 500,78
Elektrik ve Su Giderleri	16 517,89
Kadrolu İşçi İâşe Giderleri	5 386,31
Haberleşme ve Kırtasiye Giderleri	126,84
Toplam Maliyet	68 168,66

5.2.10. Malzeme, yedek parça ve onarım giderleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre malzeme, yedek parça ve onarım giderleri, hafriyat, kepçe ve vinç kiralama giderlerinin maliyetleri Çizelge 5.12'de verilmiştir. Burada toplam maliyet 44 333,67 \$ olarak hesaplanılmıştır.

Çizelge 5.14. Malzeme, yedek parça ve onarım giderlerinin maliyetleri

Cinsi	Toplam (\$)
Malzeme, Yedek Parça ve Onarım Giderleri	28 404,73
Hafriyat Kepçe ve Vinç Kiralama	15 928,94
Toplam Maliyet	44 333,67

5.2.11. Personel giderleri

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre sabit personel giderleri çizelgesi ve araziye yönelik personel giderleri maliyetleri Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14' te verilmiştir. Toplam personel giderleri maliyeti 212.354,12 \$ olarak hesaplanılmıştır.

Çizelge 5.15. Sabit personel giderlerinin maliyetleri

Cinsi	Tutarı (\$)
Memur Maaş ve Diğer Hakları	30.568,94
Kadrolu İşçi Ücreti ve Diğer Hakları	15.850,45
Toplam Maliyet	46.419,39

Çizelge 5.16. Araziye yönelik personel giderlerinin maliyetleri

Cinsi	Tutarı (\$)
Memur Yollukları	33.284,21
Kadrolu İşçi Yollukları	28.449,47
Kadrolu İşçi Fazla Mesai ve Gece Zamları	12.900
Mahalli İşçi Ücret ve Diğer Hakları	91.301,05
Toplam Maliyet	165.934,73

5.2.12. Maliyet analiz çizelgesi

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre toplam kuyu maliyetleri kuyu için yapılan tüm harcamaların (Lokasyon ve yol yapımı, nakliyat giderleri, matkap giderleri, kuyuda kalan borsal malzeme ve ekipman, çimento- kum-çakıl katkı maddeleri, çamur malzemeleri, akaryakıt ve yağ giderleri, kuyu başı malzemeleri, genel giderler, malzeme yedek parça ve onarım giderleri, personel giderleri) gerçekleşen maliyetlerin toplamı olarak Çizelge 5.15'de gösterildiği gibi hesaplanılmıştır. Kuyu metre maliyeti ise aşağıdaki formülle hesaplanılmaktadır (Bu tez çalışmasında, kuyu maliyetleri sondajın yapıldığı dönem 2017-2018 yılların verileri baz alınarak para birimi Amerikan doları olarak alınmıştır) :

$$\text{Kuyu Metre Maliyeti} = \frac{\text{Kuyu Toplam Maliyeti}}{\text{Kuyu Metraji}} \quad (5.1)$$

$$= \frac{2.056.755,43}{2206,5}$$

$$= 932,134 \text{ \$/m olarak hesaplanılmıştır}$$

Çizelge 5.17. Maliyet analiz çizelgesi

Cinsi	Tutarı (\$)	Yüzdesi (%)	
		S. G. Dahil	S. G. Hariç
Lokasyon ve Yol Yapımı	51 668, 41	2,51	2,57
Nakliyat Giderleri	400 000	19,44	19,86
Matkap Giderleri	28 558,93	1,38	1,42
Kuyuda Kalan Borusal Malzeme ve Ekipman	407 612,13	19,81	20,27
Çamur Malzemeleri	27 666,66	1,34	1,37
Çimento, Kum, Çakıl, Katkı Maddeleri	72 845,02	3,54	3,62
Akaryakıt ve Yağ Giderleri	734 445,2	35,70	36,53
Kuyu Başı Malzemeleri	9 102,63	0,44	0,45
Genel Giderler	68 168,66	3,31	3,39
Malzeme Yedek Parça ve Onarım Giderleri	44 333,67	2,15	2,20
Sabit Personel Giderleri	46 419,39	2,25	
Araziye Yönelik Personel Giderleri	165 934,73	8,06	8,25
Genel Toplam (Sabit Personel Giderler Dahil)	2 056 755,43	100,00	
Genel Toplam (Sabit Personel Giderler Hariç)	2 010 336,04		100,00
Birim Maliyet (Sabit Personel Giderler Dahil)		932,134 \$/m	
Birim Maliyet (Sabit Personel Giderler Hariç)		911,097 \$/m	

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemiz, jeotermal enerji kaynakları potansiyeli bakımından iyi bir kapasitede olmasına rağmen hala istenilen düzeye ulaşmamıştır. Jeotermal enerjinin bulunduğu alanlardaki çalışmalardan daha ekonomik faydalanmak için o alanlara yapılacak yatırımın ne kadar ölçüde ve uygunlukta olabileceğini teknik ve bilimsel verilerden yola çıkarak ele alınması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında verileri değerlendirilen Manisa'nın Alaşehir ilçesine bağlı Kemaliye mevkinde yapılan X jeotermal üretim kuyusunun kuyu bitirme raporlarına göre; lokasyon hazırlığı, nakliyat, montaj, sondaj operasyonu, log alımları, kuyu geliştirme, kuyu testleri, demontaj ve yeni lokasyona nakliyat dahil toplam 80 günlük sürede gerçekleştirilmiştir. Kuyu 2206,5 m delinip teçhizi yapılmış, kuyu geliştirme operasyonları yapılarak üretime açılmıştır. Kuyu metre maliyeti 932,134 \$/m olarak hesaplanılarak kuyu maliyeti 2.010.336,04 \$ olmuştur. Buna sabit personel giderleri de eklenildiğinde kuyu maliyeti 2.056.755,43 \$ olmuştur. Bu durumda kuyunun birim maliyeti, sabit personel giderleri hariç 911,097 \$/m iken sabit personel giderleri dahil durumunda 932,134 \$/m olarak hesaplanılmıştır.

Bu durumda jeotermal kaynağın doğru bir şekilde aranması, araştırılması, bulunduğu bölgelerin kapasiteleri, işletilebilme özellikleri ve üretim kapasitesi iyi bir şekilde belirlenmesi gerekir. Bu kaynağı kamu yararına sunup ekonomik yönden zenginleştirilerek, kullanım aşamasında sürdürülebilirliğinin sağlanması için gerekli çalışmalara önem verilmelidir. Jeotermal kaynakların ölçülü bir derecede kullanılması, dışa bağımlılığını indirgemede ve bu enerji kaynaklarımızın ön planda olmasını sağlamak ülke ekonomisi için önem arz etmektedir.

KAYNAKLAR

1. Lyons, W. C. (2009). Air And Gas Drilling Manual: Applications For Oil And Gas Recovery Wells. Elsevier.
2. Machines4u “Elmas Çekirdekli, Döner ve Darbeli Delme - Fark Nedir?” Erişim Tarihi: 25.12.2021 (www.machines4u.com.au/mag/diamond-core-rotary-percussion-drilling-whats-difference)
3. Özcan, K. Sondaj Bilgisi Ders Notları. Erişim Tarihi: 31.01.2021 (www.kursatozcan.com/ders_notlari/sondajteknigi/turhan_ayyildiz_sondaj_bilgisi.pdf)
4. Delibaş, O. JEO 483 Sondaj Tekniği Ders Notları. Hacettepe Üniversitesi, Ankara Erişim Tarihi: 24. 12. 2021 (yunus.hacettepe.edu.tr/~odelibas/sondajders_1.pdf)
5. Özdemir, A. (2009). Sondaj Tekniğine Giriş. Ankara: Mattek matbaacılık basım yayını, 20-24
6. Avcı, E. (2018). Jeotermal Sularla Hazırlanmış Çamurların Sondaj Performansına Etkisi Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
7. Balkaya, A.T., Gül, S., İlgen, E. ve diğerleri (1990). Sondaj El Kitabı, Ankara: PMO Yayınları, 19-20
8. Shutterstock “Top Drive System(TDS) Spinning for Oil Drilling Rig -Oilfield Industry” Erişim Tarihi: 20.12.2021 (www.shutterstock.com/tr/video/clip-3249865-top-drive-system-tds-spinning-oil-drilling)
9. Advancedsciencenews “Sondaj Çamurunda Bentonit” Erişim Tarihi: 24.12.2021 (www.advancedsciencenews.com/bentonite-drilling-mud/)
10. Erdoğan, Y., Kök, O. E. ve Tanrıverdi, İ. (2017). Çanakkale Tuzla jeotermal sondaj sahası çamur maliyetinin araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), 11-20
11. Tesisat.org “jeotermal enerji nedir?” Erişim Tarihi: 27.12.2021 (www.tesisat.org/jeotermal-enerji-nedir.html)
12. Enerji Atlası “Ülkelere Göre Jeotermal Enerji” Erişim Tarihi: 27.12.2021 (www.enerjiatlası.com/)
13. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Erişim Tarihi: 24.12.2021 (www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/jeotermal-harita)
14. Akar, A. (2020). Sondajlarda kullanılan matkaplar. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 29, 165-175.

15. İmir, Ö. (2019). Batı Raman Sahası Üretim Kuyularında Matkap Performans Değerlendirmesi Ve Matkap Jet Çapı Seçimi Optimizasyonu Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman
16. Özdemir, A. Jeotermal Sondaj Tekniğinin Esasları. *Sondaj Dünyası Dergisi*. (www.sondajcilarbirliği.org.tr)
17. Erdoğan, Y., Yıldız M.İ., Kök, O. E. (2018). Correlating Rate of Penetration with the Weigth on Bit, Rotation per Minute, Flow Rate and Mud Weight of Rotary Drilling. *Natural and Engineering Sciences*, 3(3), 378-385.
18. Serpen, U. (1990). Jeotermal Sondaj Özellikleri. Ankomak Sondaj Sempozyumu, Ankara.
19. Etemođlu, B., İşman, K., ve Can, M. (2006). Bursa ve Çevresinde Jeotermal Enerjinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 11(1), 63
20. Türkiye Bilimler Akademisi “Jeotermal Enerji Teknolojileri Raporu” Erişim Tarihi: 01.02.2020
21. Güllü, A. (2021). Petrol ve Doğalgaz Sondajlarında Maliyet Optimizasyonu Yüksek Lisans Tezi, *İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik Ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay

DİZİN

A

Abstract, 5,7
Akaryakıt, 9, 50, 54
Akifer, 3
Ana makara sistemi,
10
Analiz, 9,11, 31, 53,
54
Arama sondajları, 5
Artezyen, 3

B

Barit, 13, 15
Bentonit, 15, 38, 39,
43, 56
Bileşik sondaj, 5, 7
Birim fiyat, 43
Birim maliyet, 45, 47,
50, 54

C

Casing, 8, 10, 28, 29,
37, 44, 45, 46, 47,
48, 50
CMC- HV, 14
CMC- LV, 14

Ç

Çamur, 2, 8, 10, 13,
14, 15, 24, 30, 31,
38, 39, 40, 41, 42,
43, 46, 48, 49, 53,
56
Çamur kimyasalları,
43
Çap, 37
Çekiç kafalı yöntem, 7
Çimentolama, 8, 12,
24, 25, 29, 44, 46,
48

D

Delici verimliliği, 14
Derinlik, 37, 40, 41,
42
Döndürme sistemi, 7,
11

Döner sondaj, 12
Drilling, 5,56

E

Ekipman, 9, 29, 31,
36, 53
Ekipmanlar, 12, 24,
25, 29
Ekonomik, 1, 24, 31,
36, 55
Elastisite modülü, 26
Elmaslı sondaj
makinesi, 8
Enerji, 56
Enerji, 1, 4, 5, 8, 14, ,
31, 56, 57
Enerji amaçlı
sondajlar, 5
Enjeksiyon sondajları,
5

F

Formasyon, 30, 40, 41,
42

G

Geliştirme sondajları,
5
Genel giderler, 9,10,
51

H

Hava çekiçli yöntem,
7
Havali sistem, 6
HSMS, 14, 25

İ

İstatistiksel, 8, 31

J

Jeotermal, 1, 4, 8, 17
Jeotermal sondajlar, 4,
30

K

Kaçak miktarı, 40, 41,
42
Kaçak zonları, 10, 36,
38, 40, 41, 42
Kalsiyum karbonat,
13, 15
Kelly, 11,12
Koroziif akışkanlar, 22
Korozyon, 26, 29
Koruma borusu, 8, 24,
26, 27
Kostik soda, 15, 38, 43
Köpük çimento, 26
Ksonolit, 24
Kule seçimi, 28
Kurulu güç, 12, 17,
18, 20
Kuyu maliyeti, 55
Kuyubaşı donanımı,
12, 32, 33, 34

M

Maden sondajları, 5
Magmatik, 8 21
Maliyet, 1, 4, 28, 30,
36, 38, 51
Matkap, 8, 9, 30, 35,
54, 57
Metamorfik, 9, 21

Ö

Örnek almalı sistem, 6
Özet, 4, 7

P

PAC - HV, 14
PAC- LV, 14, 38
PDC, 12, 23
Personel giderleri, 9,
52
Petrol sondajları, 5
Polimer çamuru, 38

R

Rockbit, 36

Rotary masası, 12

S

Sirkülasyon, , 2, 8, 12
28, 30
Soda külü, 15
Sondaj, 1, 2, 3, 4, 6, 7,
8, 10, 11, 12, 13,
14, 15, 16, 17, 21,
24, 27, 28, 29, 30,
31, 36, 39, 40, 43,
55, 56
Sondaj çamuru, 12,
13, 16, 30
Sondaj çamuru, 8, 13,
30
Sondaj kulesi, 9,12
Sonuç, 9, 55
Spud çamuru, 38

T

Taç makara, 10
Ters dolaşım, 6
Tobermorit, 24
Top drive, 11, 12, 56
Toplam maliyet, 35,
36, 37, 45, 47, 50,
51, 52, 53
Truskotit, 24
TSP, 12, 14, 22, 23

Ü

Üretim sondajları, 5
Üretim zonu, 24

Y

Yağ giderleri, 9, 31,
50, 53
YEKDEM, 14, 31



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

