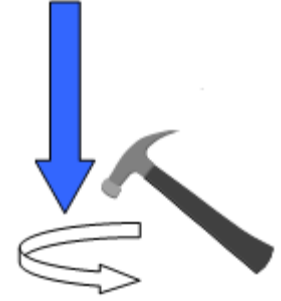
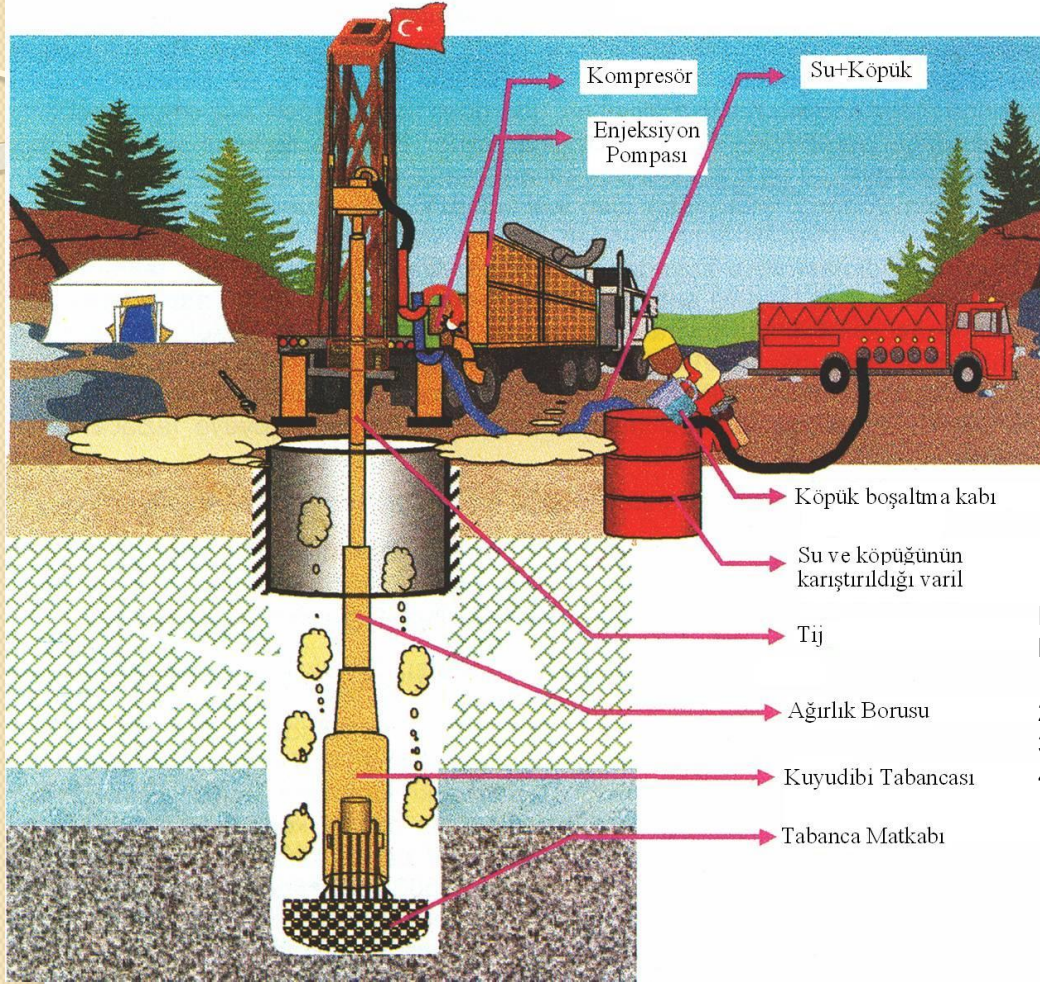


Havalı Sondaj Tekniği



Havalı sondaj ekipmanları, döner sondaj yönteminde kullanılan ekipmanlara ilaveten şu elemanlardan oluşur;




- 1.Kuyu dibi Tabancası
- 2.Tabanca Matkabı
- 3.Köpük Pompası
- 4.Kompresör

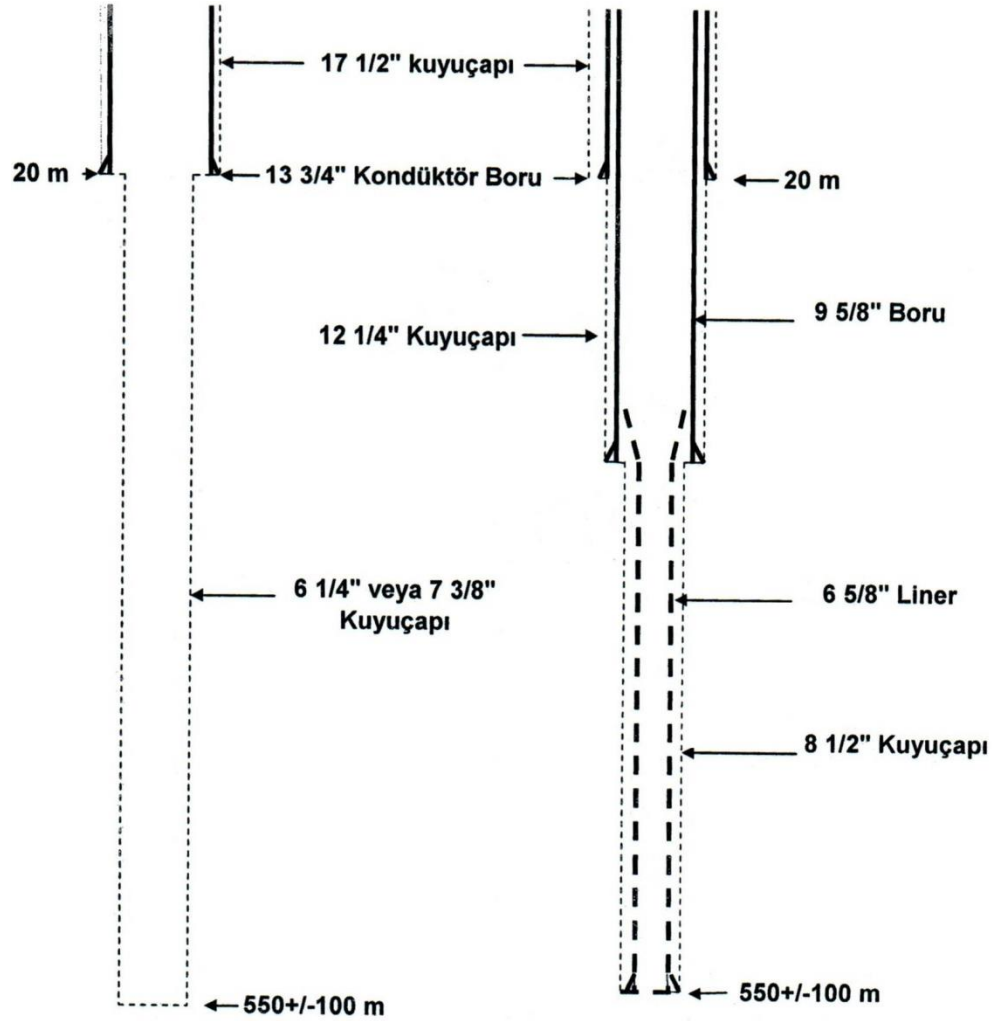
Avantajları

- Üretim zonlarına verilen zarar minimumdur.
- Kaçak problemi ortadan kalkmaktadır.
- Üretim zonlarının potansiyeli daha doğru olarak analiz edilebilmektedir.
- Sondaj hızı yüksektir.
- Matkap ömrü uzundur.
- Sert formasyonların delinmesinde daha etkindir.
- Kuyular daha düzgün ve dik açılabilir.
- Çevreye zararı az ve çalışma ortamı temizdir.
- Maliyetleri düşüktür.

Dezavantajları

- Rezervuar basınç kontrolü minimum düzeydedir.
- Kuyu duvarlarına uygulanan basınç yok denecek kadar azdır.
- Su girişlerinde hava ile devam etme zorlaşır.

Üst sistem	Sistem	Sistem	Formasyon	Simgesi	Kalınlık (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLER
MEZOZOYİK	KRETASE	Ü. KRETASE?-PALEOSEN	Yozgat granitoyidi	Gr	350		Altere granit	Altere zonlar geçirimli
							Granit, granitoyid	Yer yer kırıklı çatlaklı? Muhtemel rezervuar
			Yozgat granitoyidi	Gb	550		Gabro, gabroyid	Yer yer kırıklı çatlaklı? Muhtemel rezervuar
							Granit, granitoyid	Yer yer kırıklı çatlaklı? Muhtemel rezervuar
SENOZOYİK	TERSİYER	EOSEN	Lütésiyan çökelleri ve Yozgat volkanitleri	Ev	150		Bazalt, andezit	Yer yer kırıklı çatlaklı Fay zonu geçirimli
							Tüf, aglomera bazalt	Geçirimsiz
				Ei	315			

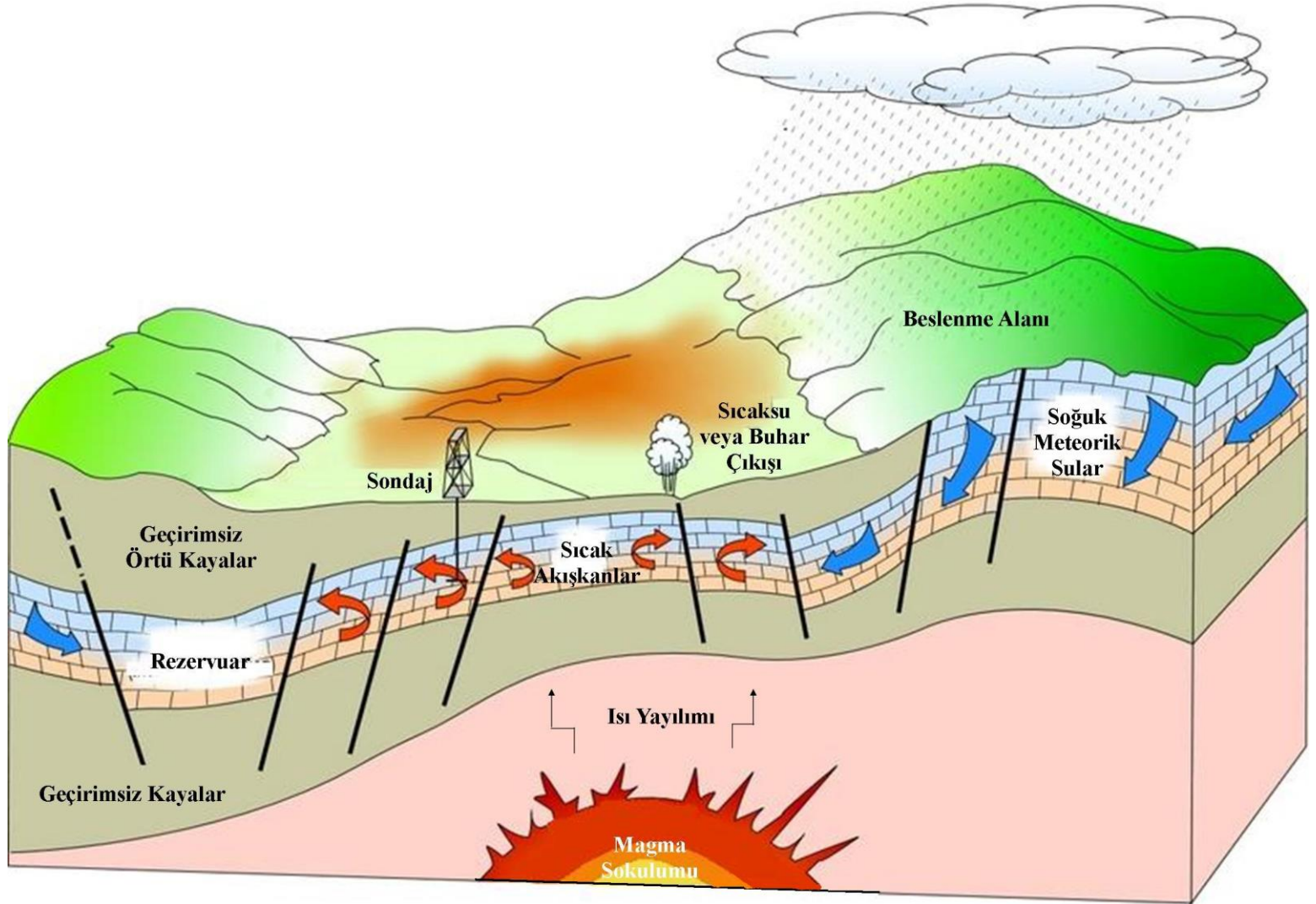


A) DAR ÇAPLI GRADYEN KUYUSU
BORU TASARIMI

B) ÜRETİM KUYUSU BORU
TASARIMI



Jeotermal Sondajlar



JEOTERMAL ARAŐTIRMALAR

- **Toprakta CO₂ Ölçümü**
- **Elektrik Özdirenç Çalışmaları**
- **Manyetik Çalışmaları**
- **Sismik Yansıma Çalışmaları**

KULLANIM ALANLARI

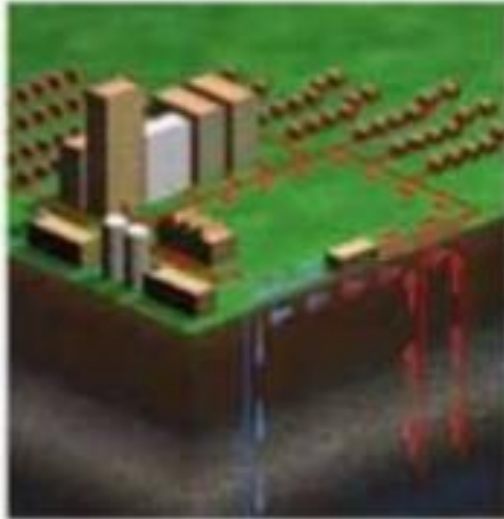
- **A** – ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ,
- **B** – MERKEZİ ISITMA, SOĞUTMA (AIR-CONDITIONING), SERA ISITMASI V.B.
- **C** – ENDÜSTRİYEL AMAÇLI KULLANIM, PROSES ISISI TEMİNİ, KURUTMA V.B.
- **D** – KİMYASAL MADDE VE MİNERAL ÜRETİMİ, KARBONDİOKSİT, GÜBRE, LİTYUM, AĞIR SU, HİDROJEN VB.
- **E** – KAPLICA AMAÇLI KULLANIM (TERMAL TURİZM)
- **F** – DÜŞÜK SICAKLIKLARDA (30 °C) KÜLTÜR BALIKÇILIĞI
- **G** – MİNERALLİ SU OLARAK İÇİLEREK KULLANIMI VB. GERÇEKLEŞTİRİLMEKTEDİR.



a) Seralarda kullanım



b) Cadde ısıtması



c) Konut ısıtması



d) Balık-timsah üretimi

Jeotermal bölgesel ısıtma merkezleri ve kapasiteleri

Adı	Başlama Yılı	Giriş Sıcaklığı (°C)	Çıkış Sıcaklığı (°C)	Maksimum Debi (kg/s)	Maksimum Güç (MW _t)
Gonen - Balıkesir	1987	75	45	110	13,8
Simav - Kutahya	1991	100	50	125	26,2
Kırşehir	1994	54	49	270	5,6
Kızılcahamam - Ankara	1995	70	42	150	17,6
Balcova and Narlidere - İzmir	1996	118	60	294	71,3
Afyon	1996	90	45	180	33,9
Kozaklı - Nevşehir	1996	92	52	100	16,7
Sandıklı - Afyon	1998	70	42	250	29,3
Diyadin - Ağrı	1998	86	73	200	10,9
Salihli - Manisa	2002	98	40	70	17,0
Sarayköy-Denizli	2002	97	50	55	10,8
Bergama-İzmir	2005	67	45	22	2
Toplam					255,1

(Erdogmuş vd., 2006 temel alınarak güncellenmiştir)

I. JEOTERMAL SONDAJLARIN PROGRAMLANMASI

Jeotermal amaçlı yapılmış olan jeolojik, jeokimyasal, hidrojeolojik ve jeofizik etütlerden elde edilen verilere göre;

- kuyu derinliği
- muhtemel litolojik log
- muhtemel borulama planı hazırlanır.

Litolojik logda jeotermal anlamda önemli olan parametreler ve jeolojik seviyeler yer alır. Bunlar;

- örtü kaya oluşturabilecek seviyeler
- rezervuar seviyeleri
- karşılaşılabilecek sıcaklık değerleri
- karot alınacak muhtemel seviyeler
- soğuk yeraltısuyu girişi olabilecek seviyeler
- kuyuda karşılaşılabilecek akışkanın muhtemel kimyası
- ani geliş (blow-out) ihtimali olup olmadığı belirlenmeye çalışılır.

Ayrıca, bu bilgilere dayanarak;

- kuyu çapı ve derinlikleri
- boru tipi, çapı ve yerleştirilme derinlikleri
- çamur türü ve ilave malzemeleri (bentonit, barit, sondaj köpüğü vb.) miktarları
- çimentolanacak seviyeler ve programı
- çimento türü ve miktarı sondaj işleminden sorumlu yetkili tarafından belirlenir.

Sondaj tekniği açısından ise;

1. yıkıntı ve akma
2. çamur kaçağı ve şişme
3. ani geliş (akışkan, gaz, buhar) yapabilecek ve sondaj problemlerine sebep olabilecek seviyeler belirlenmeye çalışılır.

Kuyu delme işlemi sırasında jeotermal amaçlı olarak ilk yapılacak gözlem;

- Başlangıç aşamasında şart olmamakla birlikte her metrede bir çamur(sondaj sirkülasyon sıvısı) giriş-çıkış sıcaklıklarının ölçümü

- Her metrede bir çamurla gelen kayaç kırıntılarının incelenmesi
- i. Litolojik tanımlama ve istif oluşturma
- ii. Alterasyon ve türlerini tanımlama
- iii. Çatlak ve gözenek analizi (gelişip gelişmediği, varsa dolgu minerali)
- iv. Kimyasal, petrografik ve sıvı kapanım analizleri için temsilci örnek alımı
- Her 5 veya 10 m de bir (sondaj ve çalışmanın özelliğine bağlı olarak) kırıntı örneğinin karot arşivine girecek şekilde muhafazası
- Derinlik arttıkça kırıntı geliş süresindeki gecikmeler göz önüne alınarak kırıntının hangi derinliği temsil ettiğine dair düzeltme yapılması
- Çamur tuzluluğundaki değişimler
- Çamurda renk değişimi
- Çamurda viskozite değişimi
- Çamurda gaz, kabarcık vb. oluşumların gözlenmesi ve kaydedilmesi
- Karot alma gerekliliğinin tespiti
- Gerekli görülen seviyelerde kuyu logu alımının sağlanması
- Blow-out riski gözlemi

Açılacak kuyunun daha önceden detaylı çalışmalar sonucu hazırlanmış olan kuyu tasarımına uygun olarak delmeye başlanmalıdır. Genelde uygulanan;

24” matkapla 4m ilerlenerek üç varil birbirine kaynatılıp kuyu ağzına inilmeli ve içerisinden 17 ½” matkapla delik açılarak üste 14” boru ile soğuk su girişini kapatacak şekilde yüzey muhafaza borusu indirilmeli veya

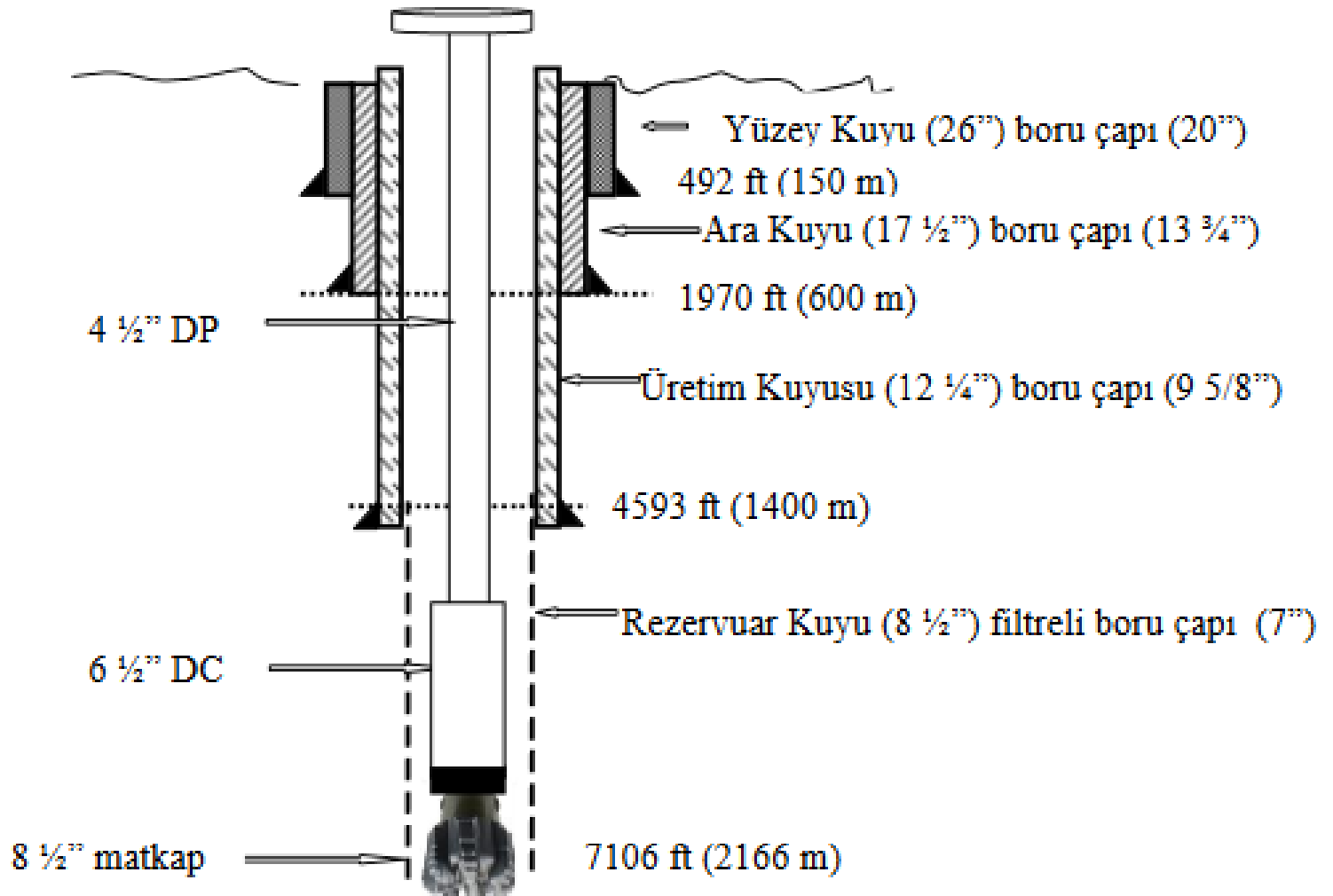
üstte alüvyon kalınlığı 30-40 metre civarındaysa 24-22 matkapla alüvyon seviyeler delinerek sağlam zeminden 1-2 metre gittikten sonra 19” muhafaza borusu kuyuya indirilip çimentolama yapılmalıdır (Akpınar, K., 2008) .

İlerleme sırasında her metreden dikkatlice alınacak örnekler uygun şartlarda muhafaza edilmeli, kuyu başında veya şantiyede mikroskop gibi gerekli ekipmanlarla incelenmeli ve pirit, kalkopirit, klorit gibi alterasyon mineralleri takip edilmelidir.

Kuyu başında her metrede kuyuya ait çamur giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülüp dikkatli olarak kayıt altına alınmalıdır. Bu ölçülen sıcaklıklarda olabilecek sıcaklık yükselmeleri ve çamur kaçakları iyi belirlenmelidir.

Çamur seviyesinde ani artış ve ani su gelişi çok dikkatli gözlemlenmelidir. Kuyu özellikle düşey açılmalıdır.

Borulama operasyonu için gerekli veriler toplanılıp boru dizaynına doğru karar verilmelidir. Çünkü sıcak su kaynağı için önemli olabilecek, ve özellikle su girişi olabilecek zonlar kapalı boru veya çimento ile kapatılmamalıdır. Kuyu logları ve kuyu taban sıcaklıkları dikkatli ve eksiksiz ölçülmelidir.



Derin jeotermal sondajlar için örnek kuyu dizaynı

JEOTERMAL SONDAJLAR

- Gradyan
- Arama (Üretim)
- Geliştirme
- Üretim
- Re-enjeksiyon
- Gözlem kuyuları
- Destekleyici çalışmalar
- *Kuyu loğları
- *Rezervuar testleri
- * Rezervuar izleme



2. SONDAJ

Döner Sondaj

Formasyon ve basınç özellikleri dikkate alınarak:

- Düz çamur dolaşimli sondaj
- Üç konili matkap ve çift duvarlı tij ile ters dolaşimli sondaj
- Karotlu sondaj (gerekli olması durumunda)

Döner-Darbeli Sondaj

- Kuyudibi çekici ile düz dolaşimli sondaj(Havalı sondaj)
- Kuyudibi çekici ve çift duvarlı tij ile ters dolaşimli sondaj

5. KUYU TESTLERİ

Jeotermal kuyularda rezervuar değerlendirmesi için yapılan kuyu testleri Őunlardır;

Sıcaklık Testi

Basınç Testleri

Üretim Testleri

Gaz Ölçümleri

GiriŐim Testleri

Re-Enjeksiyon Testi

İzleyici Testleri

JEOTERMAL SONDAJ MALİYETLERİ

- **Kuyu maliyetleri petrol kuyu maliyetlerinden 2-4 kat daha fazladır. Maliyet artışını etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir :**
- Daha büyük çap,
- Sert kayalar dolayısıyla daha fazla matkap harcaması,
- Sıcaklık ve düşük basınç dolayısıyla ek çamur masrafları,
- Sıcaklık ve düşük basınç dolayısıyla ek çimentolama masrafları,
- Daha güçlü sondaj makinesi için ödenen ek masraf.

JEOTERMAL SONDAJDAKİ FARKLILIKLAR

- **Kuyu Dizaynı:** Kuyu, üretim aşaması düşünülerek, planlanan sistem için gerekli akışın elde edilebileceği en geniş kuyu çapı ile bitirilmektedir.
- **Muhafaza Borusu:** Rezervuara soğuk yeraltı sularının karışmasını ve bunun kuyunun üretimini etkilemesini engellemek için iyi bir muhafaza borusu programı gereklidir. Muhafaza borusu tipi seçilirken sıcaklığa ve korozyona karşı olan dayanıklılıkları da göz önüne alınır. Amerika'daki bazı uygulamalarda korozyon sebebiyle titanyum muhafaza boruları kullanılmaktadır.

Kule Seçimi

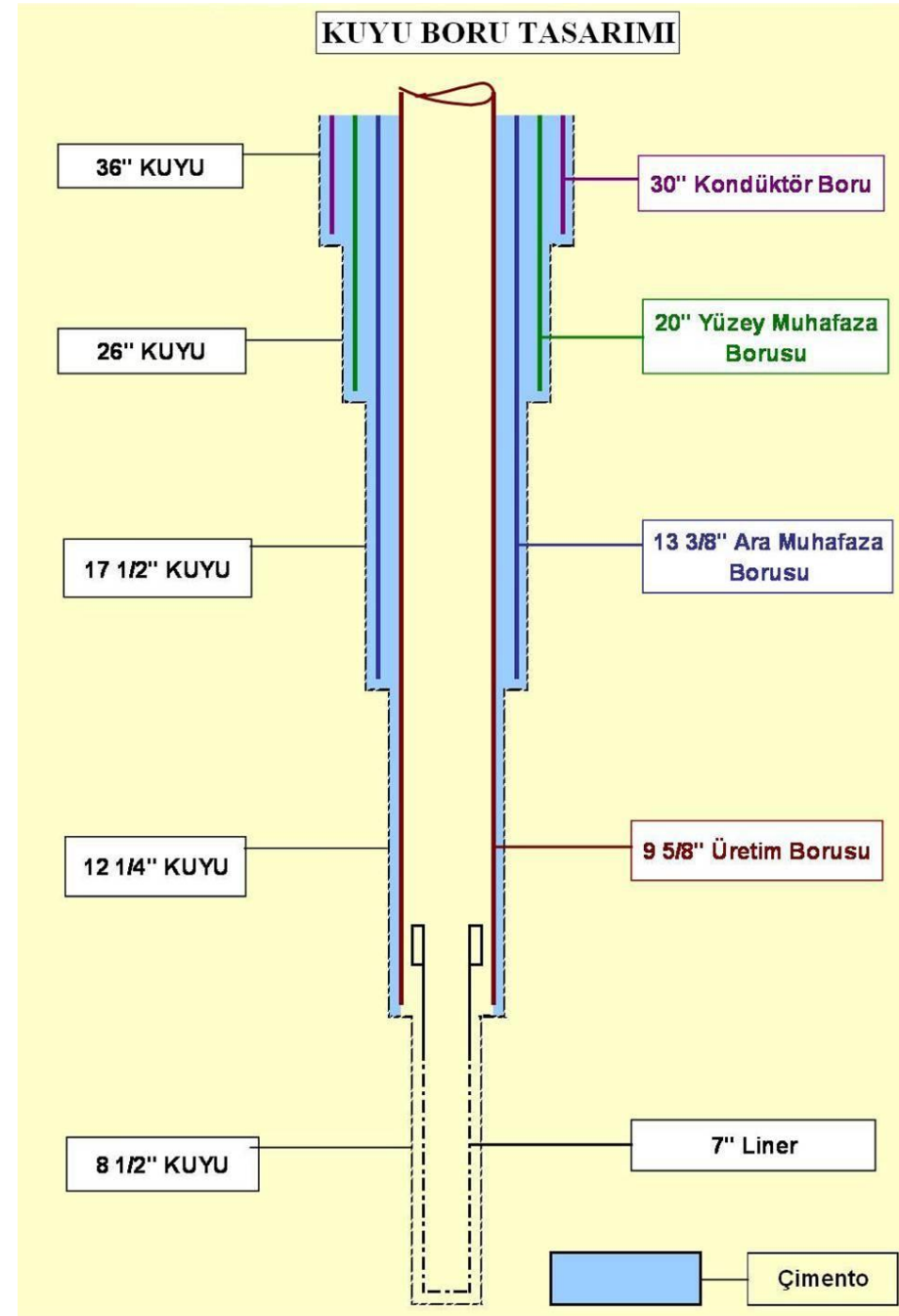
- Kuyu programına göre kulenin sondaj yapabileceği maksimum derinlik, kanca yükü ve vinç (drawworks) kapasitesi;
- casing programına göre rotary masası genişliği;
- sağlıklı kuyu temizliği gerçekleştirebilmesi için pompa kapasiteleri;
- kuyubaşı dizaynına göre platform yüksekliği ve
- soğutma kulesinin sirkülasyon sistemine dahil edilebilmesi gibi faktörler önemlidir.

Formasyon Tipleri ve Matkaplar

- Geniş kuyu çapı gereksinimi dolayısıyla kullanılan matkap çapları da büyük olmakta ve bu da sondaj hızını azaltabilmektedir.
- Jeotermalde çokça rastlanan sert kayalar için Roller cone-TCI (Tungsten Carbide Insert) matkaplar kullanılmaktadır.
- PDC (Poly Diamond Crystalline) matkaplar ise sert kayalarda kullanılmamaktadır.

3. BORULAMA

- Yüzey akiferlerini veya düşük sıcaklıklı akışkan taşıyan zonları kapatmak
- Kuyuların zayıf ve çatlaklı seviyelerinin kapatılması
- Sondaj sırasında istenilmeyen değişik basınçlardaki sıvıların kuyuya girişini önlemek
- Kaçaklı zonlar geçilirken çamur kaçaklarını önlemek
- Kuyu başı ekipmanlarını bağlamak
- Formasyonlar arası akışkan geçişini önlemek
- Kuyu çapını korumak (üniform çapta kuyu)
- Sondaj sırasında olabilecek ani gelişleri (blow-out olaylarını) önlemek ve kuyuda basınç kontrolü sağlamak
- Üretim sıvısını yüzeye alabilmek ve kuyu üretiminin sürekli olarak yapılmasını sağlamak gibi amaçlarla kuyulara indirilir.



- <https://www.youtube.com/watch?v=qdKlaRHchqc>

Jeotermal Kuyularda amur

- Tatlı su bentonit çamurlarında kullanılan Na bentonit 175 0 C sıcaklığının üzerinde buharlaşma ve bentonit yapısındaki değişiklikler (dehidratasyon) nedeniyle, sondaj çamurları jelleşirler. Bu sebeple, sirkülasyon sırasında çamuru soğutmak için bir soğutma kulesi kullanılması ve çamuru kuleden çıkış sıcaklığının en fazla 55-60 0 C civarında tutulması gerekmektedir.
- Yüksek sıcaklığın sondaj çamurunu jelleştirmesi yüzünden, yüksek entalpili sahalarda yapılan sondajlarda sepiolit bazlı çamurlara yönelinmiştir. Na-bentonit yerine koloidal madde olarak sepiolit kullanılmaktadır. Bu tip çamurlarla 260 0 C' ye kadar olan sıcaklıklarda problemsiz çalışılabilir. Sepiolit bazlı çamurların bir avantajı da, üretim zonuna kaçan çamurların katılaşmaması dolayısıyla, formasyona verilen hasarın (formation damage) önlenmesidir.

- **Kuyubaşı Ekipmanları:** Sıcaklığın etkisi ile muhafaza borularının uzayıp kışalmasından dolayı “expansion spool” kullanılmaktadır.



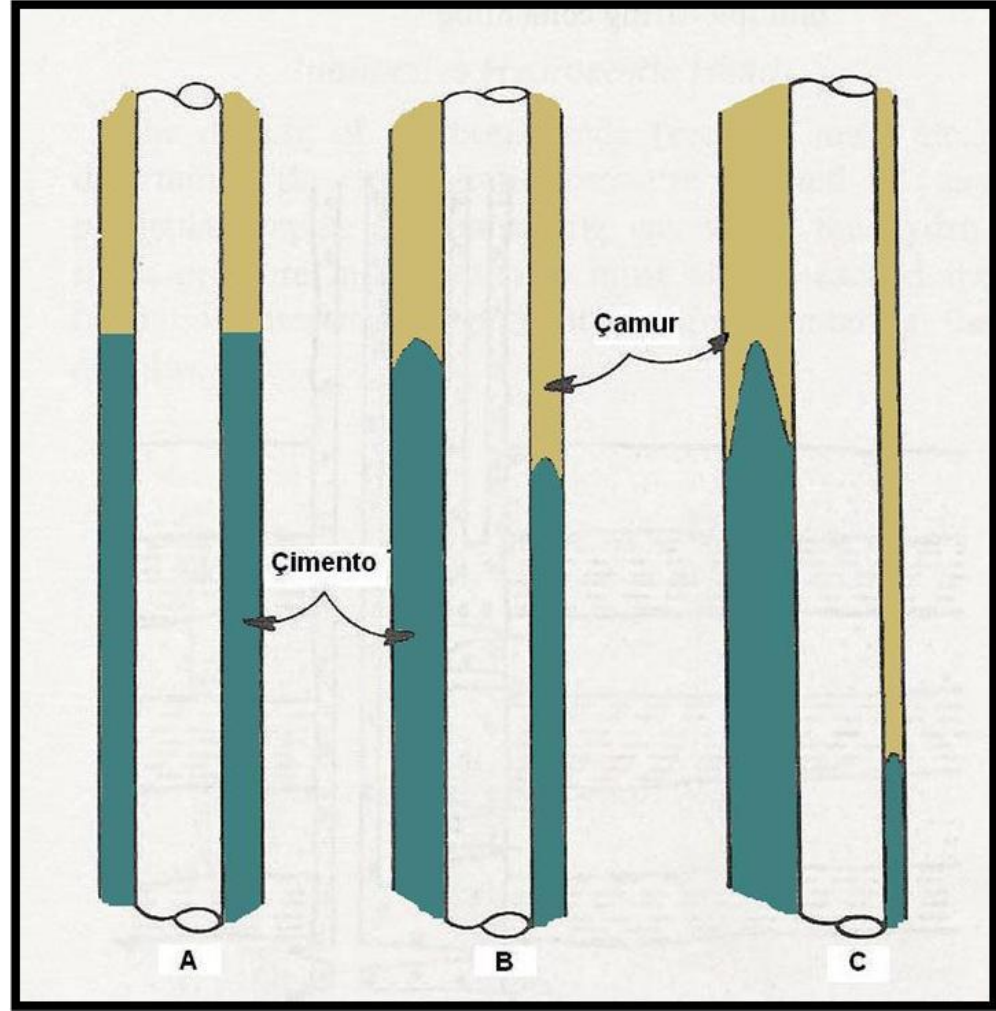
- Ayrıca genelde BOP (Blowout preventer) ekipmanlarının üzerinde kullanılan “rotating head” ile kuyudan gelen akışkan başka tarafa yönlendirilebilir.

4. ÇİMENTOLAMA

A-Boruların iyi merkezlendiği kuyuda yapılan çimentolama

B-Boruların çok iyi merkezlenmediği kuyuda çimento ve çamurun hareketi

C-Boruların merkezleyici takılmadığında, kuyuda çimento ve çamurun hareketi



Çimentolama

- Zayıf formasyonlarda düşük yoğunluklu çimento için seramik, perlit, jel bentonit ve mikrosilika kullanılabilir.
- Jeotermal kuyularda çimentonun en büyük sorunu yüksek sıcaklıklarda çimento mukavemetinin kaybolmasıdır. Bunu önlemek için çimentoya %35 oranında silika unu katılmaktadır. Bilinen çimento bileşimleri yüksek sıcaklıkta mineral dönüşümleri dolayısıyla, çimento özelliğini ve mukavemetlerini yitirirler.
- Çimentoya katılan silika unu, sıcaklığın yükselmesiyle çimento içinde var olan minerallerle tepkimeye girerek, **Tobermorit, Truskotit ve Ksonolit** gibi sıcaklığa dayanıklı yeni minerallerin oluşumunu sağlar. Böylece oluşan yeni bileşim, yüksek sıcaklıklı ortamlarda çimentonun bozulmasına engel olur.
- Yüksek sıcaklıklarda çimento yapılabilmesine olanak veren bazı geciktiriciler ise;
- şeker, lignosülfanat, tartarik asit, organik fosfonik asit olarak sıralanabilir.

Aynı zamanda, kanallaşmanın engellenmesi ve yüksek sıcaklıklarda daha sağlam bir bağ oluşturması için çimentoya diğer katkı malzemelerinin yanı sıra SiF (Silika flüorür) de katılmaktadır.

Kaçak zonları

- Kaçak sırasında en çok kullanılan malzemelerin yer fıstığı kabuğu, mika ve selofan olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, fındık kabuğu ve pamuk çekirdeği de kullanılabilir.
- Üretim zonundaki kaçak olan sondajlarda sondaja su, polimer çamuru veya havalı sondaj ile devam etmek tercih edilebilir.

Kuyu Kontrolü Problemleri

- iyi yapılmayan çimentolama,
- iyi dizayn edilmemiş muhafaza borusu programı ve muhafaza borusu problemleri,
- düşük rezervuar basınçları,
- kısmi ve tam çamur kaçakları,
- yüksek sıcaklıklar ve
- yetersiz BOP ekipmanı