

# JEOTERMAL ÜRETİM KUYULARININ SONDAJINDA HAVALI AKIŞKANLARIN KULLANILMA İLKE VE UYGULAMALARI

**Adil ÖZDEMİR ve Okan DOĞAN**  
Sondajcılar Birliği Derneği, Ankara  
(adilozdemir2000@yahoo.com)

## ÖZ

Jeotermal sondajda havalı akışkanlar, sondaj sıvısı ve sondaj kesintilerinin geçirimli formasyonlar delinirken tam olarak dolaşımını sağlar. Özellikle, takım sıkışma ve formasyon hasarı riskini azaltır.

Jeotermal üretim kuyularının çoğunlukla yüksek geçirgenliğe sahip formasyonlarda açılması tercih edilmektedir. Bu formasyonlarının sığ derinliklerde olması sondaj sırasında birçok probleme yol açmaktadır. Düşük formasyon basınçlarıyla beraber yüksek geçirgenlik, sondaj sıvısında önemli kayıplara sebep olur. Bu sorunun üstesinden gelmek ve sondajın klasik sondaj sıvılarıyla (bentonit çamuru gibi) devamını sağlamak için akışkan kaçağı kademeli olarak engellenmelidir.

Havalı sondaj akışkanlarının kullanımı, sondaj sıvısı ve formasyon basıncı arasındaki farkı azaltıp, dengeleyerek sondaj sıvısının dolaşımını ve kırıntıların taşınmasını sağlar. Havalı ve köpüklü sondaj teknikleri, ilk olarak petrol sondajı sektöründe kullanılmıştır. Jeotermal sektörde ilk olarak Geothermal Energy New Zealand Ltd. Şirketi tarafından 1970 sonlarında jeotermal sondajlarda kullanılmıştır. Yakın zamanlarda, İzlanda jeotermal sondaj operasyonlarında kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. İzlanda'nın Trolladygja, Hellisheidi ve Reykjanes bölgelerinde 12 kuyu havalı akışkanlar kullanılarak başarıyla delinmiştir.

Bu bildiriye, havalı akışkanlarla yapılan jeotermal sondaj çalışmalarının teknik özellikleri tartışılmış ve ülkemizde kullanımının yaygınlaştırılması için altyapı oluşturulmasına katkı koymak amaç edinilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Hava katkılı sondajda, basınçlı hava sondaj akışkanı dolaşım sistemine uygulanarak kuyu çeperindeki akışkan kolonunun yoğunluğu azaltılır. Böylece, kuyu çeperindeki hidrodinamik basınç, jeotermal kuyunun geçirimli bölgelerindeki formasyon basıncıyla dengelenir.

Düşük yoğunluklu sondaj sıvısının kullanımı derin kuyu sondajlarında sıradışı yaklaşımlar ortaya koyar. Formasyon basıncının çamur hidrostatik basıncından büyük olması fişkırmaya (blow out) neden olur. Bu durumu engellemek için formasyon basıncını dengeleyecek kadar yoğunluğa sahip sondaj çamuru kullanılması gerekir.

Jeotermal sondajlarda, sondaj sıvısının dolaşım yapması önemlidir. Bu konu, kuyuda dolaşan sondaj çamurunun kuyuya formasyondan girebilecek basınçlı akışkanların hidrostatik basınçla kontrol altında tutulması için önemlidir. Jeotermal kuyuların kontrolü petrol kuyularından biraz daha karmaşıktır. Eğer jeotermal kuyu kontrol altında tutulmazsa, çok büyük hacimlerde buhar ve sıcak su tahliye olur ki bu tehlikeli bir durumdur.

## 2. TARİHÇE

Çamur dolaşım sistemine basınçlı hava enjekte etmek petrol sondajında dolaşım kayıplarını azaltmış ve ilk defa Utah'daki Phillips Petroleum adlı şirket tarafından 1941'de uygulanmıştır. Jeotermal sektörde ilk olarak Geothermal Energy New Zealand Ltd. Şirketi tarafından 1970 sonlarında jeotermal sondajlarda kullanılmıştır. Yakın zamanlarda, İzlanda jeotermal sondaj operasyonlarında kullanılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. İzlanda'nın Trolladygja, Hellisheidi ve Reykjanes bölgelerinde 12 kuyu havalı akışkanlar kullanılarak başarıyla delinmiştir (Birkisson ve Hole, 2007)..

Jeotermal kuyularda havalı sondaj ilk olarak 1978 ile 1982 arasında Geothermal Energy New Zealand Ltd. (GENZL) şirketi tarafından kullanılmıştır (Birkisson ve Hole, 2007). Bu sırada Kenya, Oklaria; Honshu, Japan bölgelerindeki jeotermal alanlarda çalışırken GENZL firması DOS (Disk İşletim Sistemi) bazlı havalı sondaj simülasyon paketini geliştirmiştir.

Jeotermal alanlardaki havalı sondaj uygulamalarının gelişimi şu şekildedir (Birkisson ve Hole, 2007);

**1982-1987**

Kuzeydoğu Olkaria – Kenya  
Aluto-Langano – Etiyopya

**1987-1992**

Nigorikawa, Hokaido – Japonya  
Sumikawa, Honshu – Japan  
Darajat – Endonezya  
Olkaria II ve Eburru – Kenya  
Los Humeros – Mexico

**1992-1997**

Los Humeros – Meksika  
Tres Virgenes – Meksika  
Wayang Windu, Patuha ve Salak – Java – Endonezya  
Ulumbu- Flores - Endonezya

**1997- Bugün**

Olkaria III – Kenya  
Los Azufres \_ Meksika  
Salak – Endonezya  
Ohaaki, Mokai, Rotokawa, Putauaki, Wairakei ve Tauhara – Yeni Zelanda  
Trölladygja - İzlanda  
Hellisheidi- İzlanda  
Reykjanes – İzlanda

### **3. SONDAJ ÇAMURU DOLAŞIM KAYIPLARI**

Çoğu jeotermal kuyunun sondajında, yüksek çamur dolaşım kaybı bölgeleri ile karşılaşılır. Düşük basınçlı bu bölgelerin sondajı, genellikle maliyet artışlarına ve zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Derinlerde, kuyu üretim çarığının altında yüksek dolaşım kayıpları potansiyel akışkan üretiminin diğer faktörlerle eşit olması açısından bir tetikleyicidir.

İlk önce, kuyunun üretim çarığı derinliğine kadar olan sondajına değinelim: üretim dizisinden önce tipik olarak en az iki takım muhafaza borusu indirilmelidir. Muhafaza borusu ve çevresindeki dairesel boşluğun tamamen yeterli özelliklere sahip çimentoyla (değişik sıcaklık şartlarında kullanılabilen, şiddetli fiziksel ve kimyasal şartlarda yapıları bozulmayan) doldurulması jeotermal koşullarca zorunludur. Aksi halde, üretim formasyonu ile yüzey arasında kontrol dışı akış başlar ki, bu durum kuyunun kaybına ve çevrenin kirlenmesine sebep olur.

Eğer, sondaj sırasında sabit bir kaçak söz konusu ise üç yaklaşım mümkündür. Bunlar;

**1.** Üretim zonu üst seviyelerindeki ardışıklı kaçak bölgelerinde, ilerleme sırasında karşılaşılabilecek tüm kaçak zonların tıkanması ve daha sonra yeniden delgiye devam edilmesi olarak adlandırılacak **del ve tıka yaklaşımı** uygulamak. Küçük kaçaklar, uygun kaçak önleyici maddelerle engellenebilir.

**2.** Muhafaza borusu indirilene kadar karşılaşılmış kaçaklar var ise, önce bu kaçaklar tapa çimento ile tıkanır ve yeniden delindikten sonra koruma borusu indirilerek çimentolanır.

**3.** Dolaşım sıvısının yoğunluğu düşürülerek ve 2. maddedeki gibi tıkama yapılarak dolaşım sağlanır.

Hangi yöntemin kullanıldığına bakılmaksızın muhafaza borusunun çevresindeki boşluğun doldurulması gerekir. Çoğu jeotermal sahada, sondaj çalışmaları sırasında dolaşım kaybı bölgeleri adım adım tıkanabilmekte ve muhafaza borularının ilk çimentolaması başarıyla tamamlanmaktadır.

Üretim çarığının altındaki bölgelerde dolaşım sıvısı kayıpları tıkanmak yerine geçici olarak önlenir. Sondaj sıvısı özellikleri, ilk büyük kaçağın engellenmesiyle normal olarak değişebilir. Artık sondaj çamuru rezervuarın geçirgen matrisinden geçen jeotermal akışkanların akışını biraz artırır ve suya dönüşüm olasıdır. Sondaj su ile sürdürülürken, kuyu başına akışkan dönüşü olmadan sondajda ve rezervuarda istenilmeyen durumlar oluşabilir. Bunlar;

**1.** Aralıklı dolaşım kayıpları, matkabın kestiği formasyon kırıntıları matkabın üzerinde ve sondaj dizisi etrafında birikerek sondaj dizisinin sıkıştırmasına sebep olur.

2. Eğer kırıntılar düşük geçirgenliğe sahip üretim seviyelerinde birikmişse rezervuar seviyeleri hasar görür.

#### 4. SONDAJ AKIŞKANI

Dolaşım kaybı, kuyu ve formasyon arasındaki herhangi bir noktadaki basınç farkından kaynaklanır. Dolaşım sıvısının yoğunluğunun düşürülmesi akışın sondaj süresince sürdürülmesini sağlar.

'Sondaj akışkanı' terimi hava, gaz, su ve çamur veya orta seviyede bu akışkanların birkaçının kombinasyonu veya hepsinin karışımıdır. Sondaj çamuru, su veya yağ süspansiyonudur ve yoğun akışkanları temsil eder. Genelde su jeotermal sondajlarda kullanılmasına rağmen, çok miktarda çamur kaybının olduğu yerlerde dolaşımı sağlamak için uygun değildir. Hava katkılı sondaj, dolaşımın sürdürülebilmesi için bir çözüm olabilir.

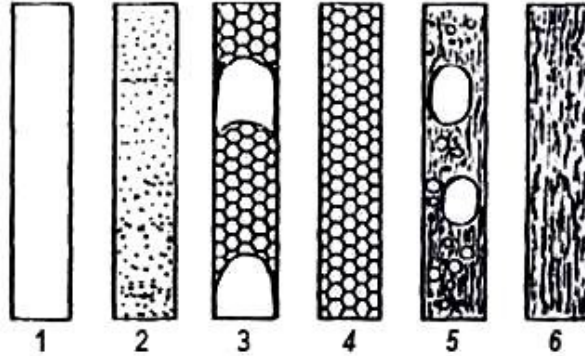
Havalı sondaj tipleri şunlardır (Allen, 1980);

1. **Kuru havalı sondaj:** hava akışına hiçbir madde eklenmez. Yeterli kuyu temizliği için annülüs hızı 12-15 m/sn'dir.

2. **Buğu (mist) ve köpükle sondaj:** Düşük miktarda köpük hava akışına eklenir. Düşük miktardaki bu köpük, formasyon suyunun kuyuya girişi yaptığı durumlarda kullanılır.

3. **Stabil köpük:** Baloncuklu, sıvı ve sürekli fazda, birbirine tamamen karışmış hava ve sıvı. Tipik annülüs hızı 0.5 m/sn'dir.

Şekil 1'de farklı sondaj akışkanlarının kuyu içerisindeki akış tipleri görülmektedir.



Şekil 1. Sondaj akışkanı kuyu akış rejimleri (Allen, 1980)

(1.Hava akışı 2. Mist akışı 3. Stabil köpük akışı 4. Baloncuklu akış 5. Sıvı akışı 6. Sondaj için uygun olmayan akış)

Farklı havalı sondaj yöntemleri için birçok avantaj ve dezavantajdan söz edilebilir. Bütün bunlara değinmek düşünülmediğinden, son bölümde anlatılanlar dışında, büyük önem arz eden faktörlerin özeti şu şekildedir:

HAVA:

Avantajları

- Yüksek ilerleme hızı
- Düşük matkap maliyeti
- Az su gereksinimi
- Çamur gerektirmemesi
- Su buharı veya sıcaksu ile karşılaşıldığının belirlenebilmesi

Dezavantajları

- Su girişi varsa zorluklar başlar
- Yüksek annülüs hızına bağlı olarak şiddetli kuyu erozyonu olabilir
- Yüksek annülüs hızına bağlı olarak sondaj dizisi ve muhafaza borusu zarar görebilir
- Kuyu başı donanımları yüksek sıcaklığa maruz kalabilir.

BUĞU (MIST):

Avantajları:

- Kuru havanın sağladığı avantajlar
- Akışkan olarak formasyon suyu kullanılabilir
- Havanın annülüs hızını düşürür

Dezavantajları:

- Köpük katkısı ve yavaşlatıcı maliyeti

- Kuyu başı donanımları yüksek sıcaklığa maruz kalabilir.

#### **KÖPÜK:**

##### **Avantajları:**

- Yüksek ilerleme hızı
- Düşük matkap maliyeti
- Az su ihtiyacı
- Yüksek kırıntı taşıyabilme kapasitesi
- Hava akışı gereksiniminde azaltma
- Düşük annülüs hızı
- Bazı durumlarda kuyu stabilitesini sağlama

##### **Dezavantajları:**

- Yüksek köpük maliyeti
- Köpük stabilitesinin sıcaklık artışıyla düşmesi
- Matkap soğutulamaması
- Köpük karışımının çok hassas kontrol edilememesi

Kuru buharlı jeotermal kuyuların delinmesinde bazen hava kullanılmaktadır, köpük ve buğu (mist) bugüne kadar çok sınırlı sayıda kullanılmıştır (Allen, 1980).

## **5. AVANTAJLAR**

### **5.1. Sondaj İşlemleri**

Hava katkılı sondaj uygulamasında öncelikli amaç sondaj sıvısı dolaşımını sağlamak ve buna bağlı olarak sondaj süresince kuyudaki kırıntıları temizlemektir. Bu temizleme işlemi, sondaj sırasında takım sıkışma riskini azaltır.

Jeotermal rezervuar sistemlerinin çoğu, herhangi bir derinlikteki hidrostatik su basıncından daha az formasyon basıncına sahiptir. Basınç altındaki bir sistemde ve geçirgen bir bölgede sondaj yapılıyorsa sondaj sıvısı kaybı olur. Çünkü, sondaj sıvısı yüzeye döndüğünden çok formasyona kaçar. Bu durumda, uygulanan geleneksel yöntem sondaja su ile 'kör' olarak devam etmektedir. Pompalanan suyun hepsi yıkanan kırıntılarla birlikte formasyona kaçar. Bu yöntemde karşılaşılan problem kırıntıların tamamının formasyona girememesidir. Kuyuda kırıntı birikmesinden dolayı takım sıkışır ve kuyu duvarı zarar görür. Bu problemin çözümü sondaj sıvısının yoğunluğunu düşürmektir.

Hava katkılı sondaj sıvısı, akışkan kolonunun yoğunluğunu düşürür. Böylece, kuyu duvarına ve formasyona hidrolik basınç uygulanır. Hava sıkışabilir olduğundan, kolonun yoğunluğu derinlikle değişir. Kuyu tabanında, hidrostatik basıncın en yüksek olduğu yerde hava bileşenleri çok fazla sıkışır ve böylece akışkanın yoğunluğu en yüksek değerine ulaşır. Kuyunun tepesinde hidrostatik basınç ve akışkanın yoğunluğu en düşük seviyededir. Kuyuya pompalanan su ve havanın birbirine oranı ve boşaltma için yapılan geri basınç veya kuyudan tahliye geçirimli bölgelerde kuyu dibi basıncıyla formasyon basıncının dengelenmesini sağlar. Böylece, sondaj sıvısı dolaşımı sağlanmış olur (düşük basınçlı sondaj/under balance drilling).

Önceleri bu teknik, sadece küçük çaplı üretim kuyularında uygulanıyordu. Fakat, üretim bölgesinin üstündeki formasyonun geçirgenliğinin yoğun olduğu bazı sahalarda tıkama (kaçak önleme) ve sondaja devam edebilmek için önemli derece de zaman kaybı olmaktadır. Hava katkılı sondaj bu tür sahalarda başarısını ispatlamıştır.

### **5.2. Formasyon ve Kaynak**

Belki de hava katkılı sondajın en önemli yanı kuyunun üretkenliğine olan etkisidir. Kırıntıların geçirgen bölgeye doğru itilmesi yerine yüzeye getirilmesi tıkama potansiyelini azaltır ve kuyu duvarına yakın olan geçirgen kısımları tıkar. Bu etki, kuyu duvarı veya yüzey hasarı olarak bilinir. Nispeten küçük bir miktar formasyon kırıntısının akışa katılması kuyunun üretiminde gözle görülür etkiler yaratır.

Hava katkılı sondajlarda bütün dolaşım sıvısının geri dönmesi ve kırıntıların toplanmasıyla kuyu duvarı hasarı sulu kör sondajdan daha azdır. Buna bağlı olarak daha üretken kuyular elde edilir. Ayrıca, hava katkılı sondajlar bentonit çamuruyla yapılanlardan daha verimlidir.

Kenya da yapılan bir çalışmada (Birkisson ve Hole, 2007), benzer yer ve derinliklerde yapılan sulu kör ve hava katkılı sondajlar karşılaştırıldığında, hava katkılı sondajların verimliliğinin daha yüksek olduğu görülmektedir (Çizelge 1).

**Çizelge 1.** Kenya-Olkarta’da Havalı ve havasız akışkanlarla delinen kuyuların termal verimlerinin karşılaştırılması (Birkisson ve Hole, 2007)

Su ile delinen Kör Kuyular		Havalı akışkanlar ile delinen Kuyular	
Kuyu No	Verim (MWt)	Kuyu No	Verim (MWt)
1	43.31	A-1	37.05
2	12.75	A-2	98.73
4	22.15	A-4	58.86
5 (çamurla delindi)	14.76	A-5	105.49
6	21.38		
		B-1	27.59
		B-3	36.26
		B-7	32.72
		B-9	67.63
<b>Ortalama</b>	<b>22.87 MWt</b>		<b>58.04 MWt</b>

### 5.3. Gelen Kırıntılar

Sondajcılıkta birincil hedef, kullanılan dolaşım sıvısının ve matkap tarafından kesilen kırıntıların yüzeye taşınmasının sağlanmasıdır. Bu dolaşım, ulaşılan her derinlikteki kırıntılardan örnek toplama ve analizi sağlar.

### 5.4. Yüksek İlerleme Hızı

Hava katkılı akışkan kullanılarak kuyu dibi hidrostatik basıncını düşürmek bazı formasyonlarda ilerleme hızının artmasını sağlar. İzlanda’daki jeotermal sahalarda karşılaşılan bazaltik lavlardaki ilerleme hızları geleneksel (çamurlu yöntem) sondaj yapılan aynı formasyondaki ilerleme hızlarının yaklaşık 3 katıdır (Birkisson ve Hole, 2007).

### 5.5. Sondaj Çamuru Bileşenleri ve Katkılar

Hava katkılı çamur kullanımı; bentonit, iyileştirme kimyasallarının, çimento maddelerinin, polimerik maddelerin tüketimini azaltır (çamurun düşük yoğunluğu nedeniyle dolaşım sağlanır ve çamur kaçak bölgelere fazla nüfuz edemez). Hava katkılı sondajda neredeyse tam dolaşım sağlanır ve sondaj sıvısı tekrar tekrar kullanılır (Birkisson ve Hole, 2007).

### 5.6. Tahliye İşlemi

Takım sıkışmasının en yaygın sebebi yetersiz kuyu temizliğidir. Kuyunun anülüsü ile dizi arasındaki kırıntıların yüzeye alınamamasıdır. Kayıp bölgesindeki kuyu duvarı genellikle filtre görevi yapar, ufak kırıntıların formasyon içine girmesine izin verir ve büyük parçaların anülüste birikmesini sağlar. Bu koşullar altında, eğer yeni kaçaklar oluyorsa ve bütün sondaj sıvısı kuyu tabanından kaçırıyorsa bu biriken kırıntılar kuyu tabanına çöker ve takımın sıkışmasını ve geri alınamamasına sebep olurlar. Hava katkılı sondaj anülüsteeki kırıntı birikimini önler ve yeni kaçaklar bile olsa dolaşımın olmasını sağlar.

Belirgin kaçak bölgesinin ve basınç ayarsızlığının olduğu durumlarda, dolaşım kaybolabilir ve zorlaşan şartlar takımın sıkışmasına yol açabilir. Hava/su oranındaki düzeltmelerle dolaşımın tekrar sağlanması, anülüsün kırıntılardan temizlenmesi ve sondaja tam dolaşım ve kırıntı alımıyla devam edilmesi mümkün olur.

### 5.7. Kuyu Toparlanması

Sulu kör kuyularda kuyu tamamlamadan sonra kuyu ısınma sürecine girer. Rezervuara kaçan büyük hacimdeki suyun ısınması uzun süre alır. Sondaj sıvısına hava katmak formasyona akışkan kaçacağını ve kuyu çevresindeki rezervuarın soğumasını sınırlandırır. Hava katkılı sondajlarda kuyunun toparlanması daha hızlıdır. Isısal toparlanma sulu kör sondajda 2 haftayla 3 ay arası sürebilir. Hava katkılı sondajda ise 2 gün ile 2 hafta arasında bir zaman alır.

## 6. DEZAVANTAJLAR

Hava katkılı sondajın faydalı yönleri yanı sıra olumsuz yönleri de vardır.

## 6.1. Potansiyel Tehlikeler

Hava katkılı sondaj çalışmalarında bulunan personel, sıkıştırılmış hava ve sıkıştırılmış yüksek sıcaklıktaki geri dönen akışkanlarla ilgili konularda bilgi sahibi olmalıdır. Bu faktörler, personel için potansiyel tehlikelerdir (iş ve işçi güvenliği açısından) ve personelin daha dikkatli olmasını gerektirir.

Dengeli hava katkılı sondaj koşullarında, jeotermal rezervuarda sondaj yaparken fişkırtma-geri tepme (kick) potansiyeli büyük hacimli bir soğuk su kaçağıyla yapılan sondajdan daha fazladır. Hava katkılı sondajlarda fişkırtma-geri tepme (kick) yaygındır. Fakat, kırıntı boşaltma (blooie) hattındaki kısma valfi akışın arttığında geri basıncın artmasına sebep olur ki bu otomatik olarak geri tepme (kick) kontrol eder ve azaltır.

## 6.2. Matkap Ömrü

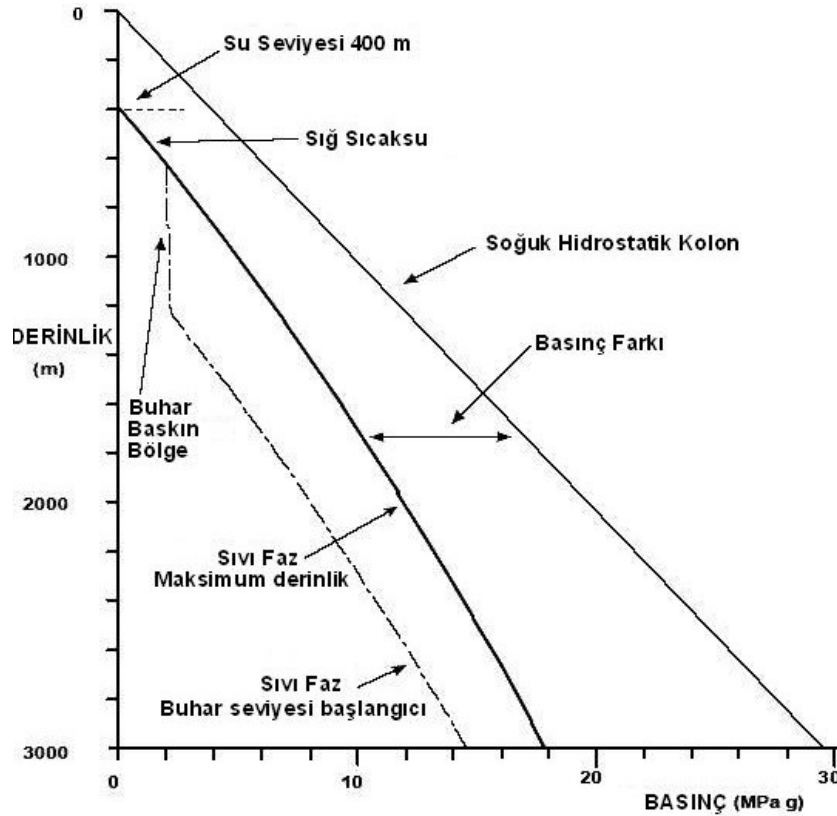
Hava katkılı sondaj, sondaj sıvısı kaçağını önler. Böylece, formasyon sıvısının soğumasını azaltır. Matkap ve kuyudibi aletleri, yüksek sıcaklıktaki sondaj sıvısına maruz kalırsa matkap ömrü azalır (matkap yatak ve keçesindeki tahribatlar nedeniyle).

Aletlerin ömürlerinin azalmasına karşın, bu zamana bağlı dezavantajı yüksek ilerleme hızları karşılar. Örnek olarak; İzlanda'daki hava katkılı sondaj uygulamalarında ortalama ilerleme hızları önceden yapılan sondajların neredeyse 2 katıdır (Birkisson ve Hole, 2007).

## 7. İŞLEMLER

Giriş bölümünde ifade edildiği gibi, geçirgen formasyonları delerken sondaj sıvısı dolaşımını sağlamak için, kuyudaki hidrolik (hidrostatik ve hidrodinamik) basınç formasyon basıncıyla dengelenmelidir. Tipik jeotermal sistemler, hidrostatik su kolonlarının yüzeye yaptığı basınçtan etkilenir. Formasyon basıncıyla kuyudaki basıncı dengelemek için kuyudaki akışkan yoğunluğu düşürülür. Şekil 2'de yüzeyden gelen soğuk hidrostatik su kolonlarıyla ilişkili bazı tipik jeotermal formasyon basınç rejimlerine değinilmiştir. Durgun su seviyesi 400 metre olarak alınmıştır.

Jeotermal sondajın ilk amacı, geçirgen seviyelere rastlamak ve buna bağlı olarak üretkenlik sağlamaktır. Çünkü, çoğu jeotermal sistemde geçirgenlik sadece rezervuarla sınırlı değildir. Örtü formasyonla da ilişkilidir. Kuyudaki akışkan ile formasyon arasındaki iletişim kaçınılmazdır. Şekil 3'de kuyu içindeki tipik basıncın sondaj sıvısındaki kaynayan su kolonuyla ilişkili olduğuna değinilmiştir.



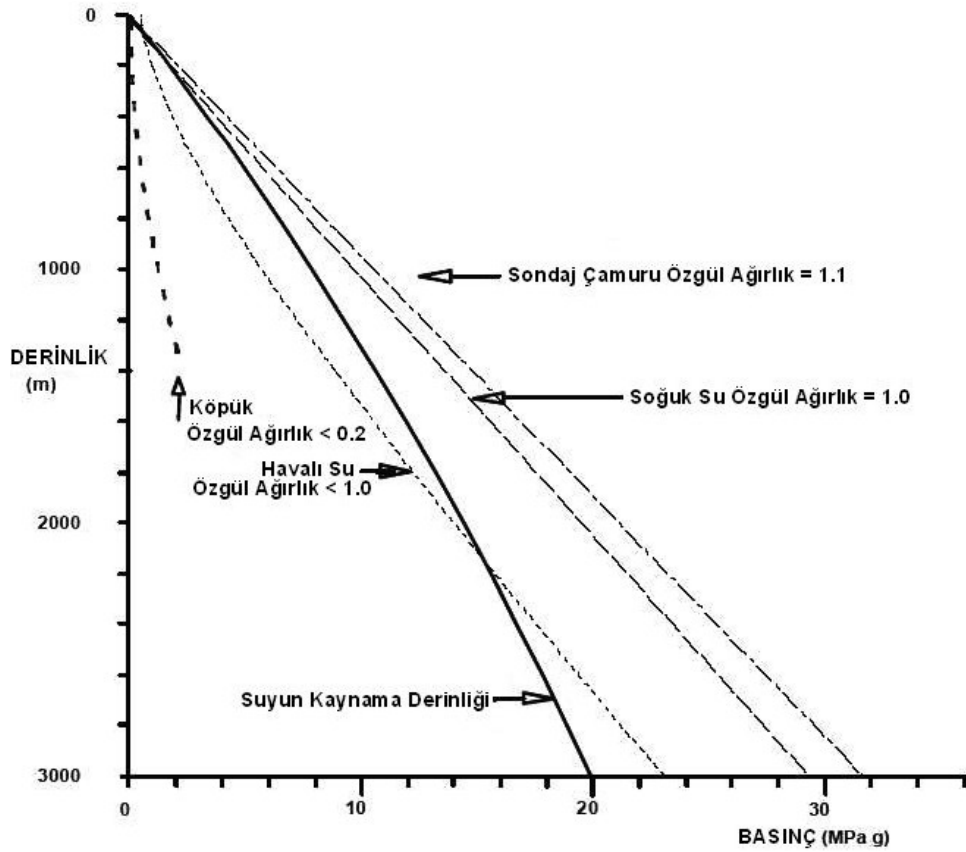
Şekil 2. Tipik formasyon basınçları (Birkisson ve Hole, 2007)

Etkin sondaj sıvısı yoğunluğu, yaklaşık özgül ağırlık aralığı havasız çamur için 1.1, hava için 0.1 aralığındadır ve hava/sıvı oranına bağlı olarak değişir (Çizelge 2).

**Çizelge 2.** Akışkan tipine göre etkin özgül ağırlıkları (Birkisson ve Hole, 2007)

Akışkan	Etkin özgül ağırlık
Su bazlı bentonit çamuru	1.1
Su	1.0
Petrol bazlı çamur	0.82
Hava içeren bentonit çamuru	0.4-1.1.
Hava içeren su	0.3-1.0
Mist	0.05-0.4
Köpük	0.05-0.25
Hava	0.03-0.05

Basıncılı formasyon şartlarında, kuyudibi akışkan basıncı dolaşımını dengelemek için dolaşım akışkanının yoğunluğu hava eklenerek düşürülmelidir. Sıvı/hava oranı, dolaşım akışkanı çıkışını ayarlamak ve anülüste geri basınç üretmek ve gereken basınç dengesini sağlamak için değişkendir.



**Şekil 3.** Tipik kuyu basınçları (Birkisson ve Hole, 2007)

Sondaj dolaşım sistemine hava eklemek sıkışabilen bileşenler oluşturur. Birim hacim havanın kuyu içinde belli derinlikte kapladığı hacim, bu derinlikteki akışkan basıncına bağlıdır. Diğer bir ifadeyle, kuyu tabanındaki hava kabarcığı hacimleri aynı hava kabarcıklarının kuyunun üst kısımlarında kapladığı hacimden daha azdır. Akışkan kolonun yoğunluğu derinlikle değişir. Bu durum 'sıvı hacim ayrımı' (LVF) olarak bilinir (Birkisson ve Hole, 2007).

LVF

1.0 - % 100 sıvı

0.0 - % 100 hava

Böylece, sadece kuyu içindeki basınç rejimi değişmekle kalmaz dolaşım akışkanı hacmi de değişir (LVF). Ayrıca, akışkan hızı da kuyu derinliğine bağlı olarak değişir.

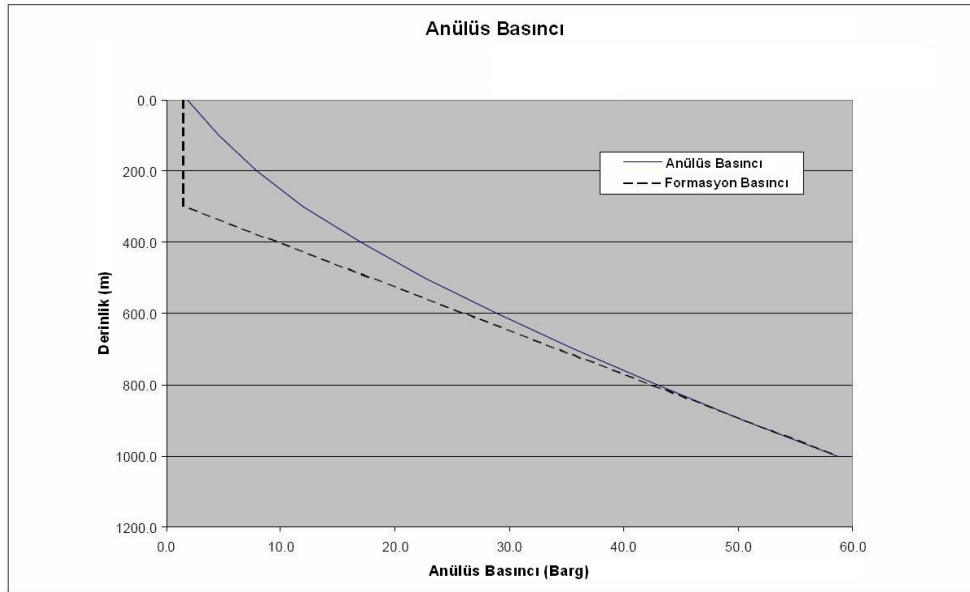
Çizelge 3’de GENZL Havalı Sondaj Bilgisayar Simülatörü ile elde edilmiş sonuçlara bakılarak, kuyu dibi basıncıyla beraber tipik hava katkılı kuyu dibi anülüs basınç profili, farklılık gösteren basınç (300 m nominal durgun su seviyesinde, kuyu dibi basıncı ile formasyon basıncı arasındaki fark), akış hızı ve Sıvı hacim ayrımı (LVF) derinlik fonksiyonu olarak gösterilmiştir.

Havalı Sondaj Bilgisayar Simülatöründe, üretim muhafaza borulu 700 m derinlikte bir kuyu ve 100 m kuyu tabanı sondaj takımı (ağırlık borusu) bulunmaktadır. Bu yüzden katsayılar bu derinliklerde değişmektedir. Çeşitli katsayıların grafikleri Şekil 5, 6, 7 ve 8’de verilmiştir.

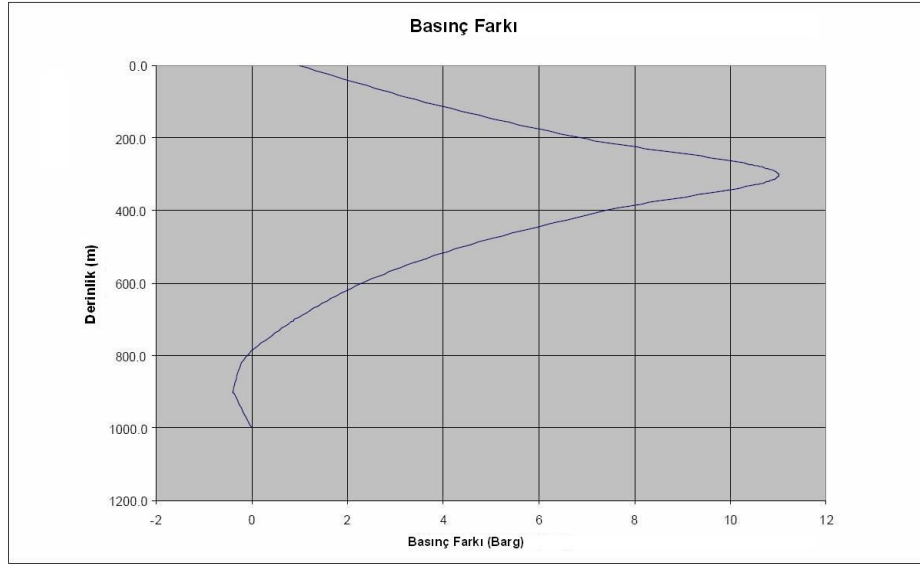
Belki bu verilerle çizilmiş grafiklerde kritik noktaların birçoğunda matkap çevresindeki ve kuyu tabanı takımı çevresindeki akışkan hızları hava eklemesi olmayan sondajınkiyle çok benzerdir. Pompalanması gereken akışkan kuyu tabanı takımının üzerindeki kısıntıları yukarı taşıyabilecek kapasitede olmalıdır. Takımın çapı, ağırlık borusundan ağır tijlere veya tijlere doğru azalma gösterir. Su sondajında tipik olarak en düşük hız 55-60 m/dk’dır (Birkisson ve Hole, 2007). Yoğunluğu azaltıp dengeyi sağlamak veya geçirgen bölgelerde sıfıra yakın basınç farkı elde edecek sıvı akış hızı için hava eklenebilir.

**Çizelge 3.** Havalı sondajda kuyudibi şartlarının simülasyonu (Birkisson ve Hole, 2007)

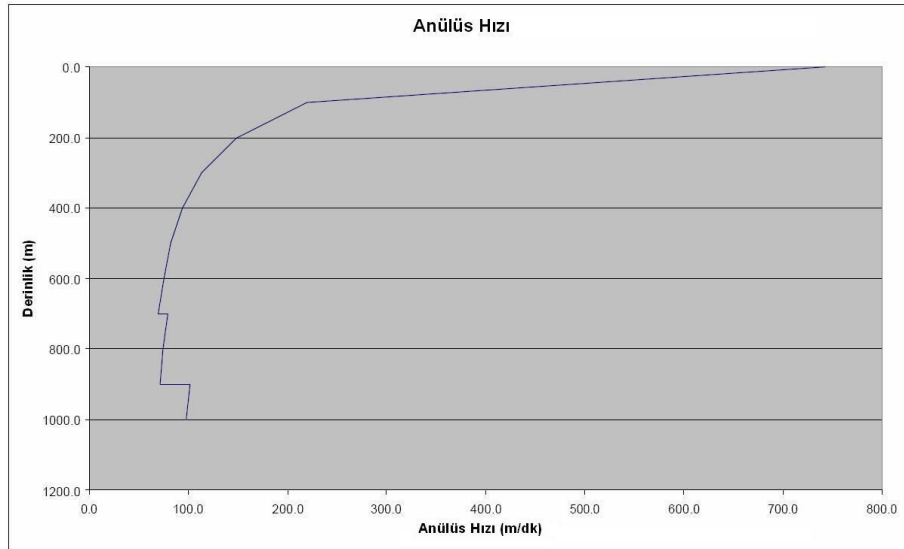
Ölçülen Derinlik (m)	Düşey Derinlik (m)	Anülüs Basıncı (Barg)	Basınç Farkı (Barg)	Hız (m/dk)	LVF
Kıvrıntı Boşaltma Hatı	0.0	1.9	1	742.0	0.10
100	100	4.6	3.6	219.6	0.21
200	200	7.9	6.9	148.7	0.31
300	300	12	11	113.9	0.40
400	400	17	7.4	94.5	0.49
500	500	22.6	4.4	82.7	0.56
600	600	28.9	2.3	75	0.61
700	700	35.6	0.9	69.7	0.66
700	700	35.6	0.9	78.9	0.66
800	800	42.9	-0.1	74.6	0.70
900	900	50.4	-0.4	71.4	0.73
900	900	50.4	-0.4	101.7	0.73
1000	1000	58.7	0	98	0.76
Kuyu Tabanı	1000	58.7	0	98	0.76



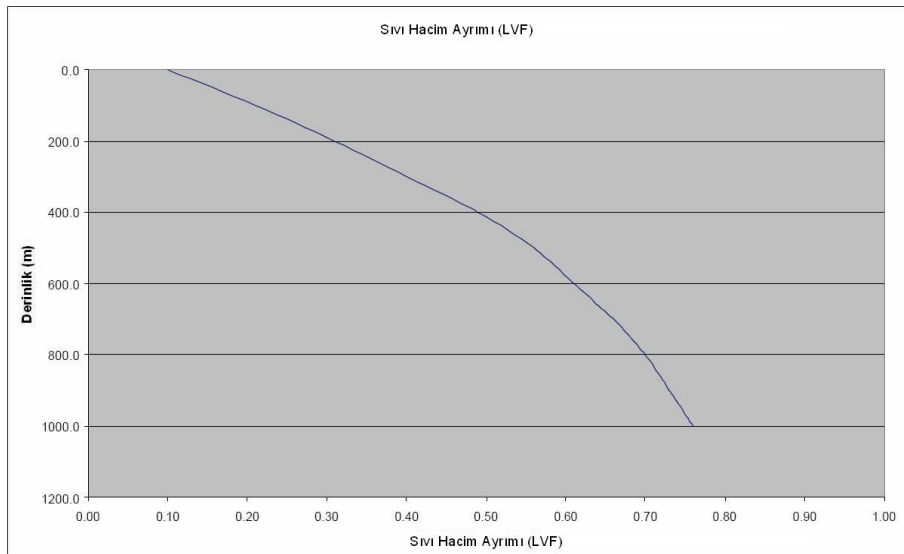
**Şekil 5.** Düşey derinlikte Anülüs Basıncı ve Formasyon Basıncı (Birkisson ve Hole, 2007)



**Şekil 6.** Düşey derinlikte Basınç Farkı (Birkisson ve Hole, 2007)



**Şekil 7.** Düşey derinlikte Anülüs Hızı (Birkisson ve Hole, 2007)



**Şekil 8.** Düşey derinlikte Sıvı Hacim Ayrımı (LVF) (Birkisson ve Hole, 2007)

Jeotermal kuyu programlarında, hava akışkanlı sondaja geleneksel yaklaşımlardan uzaklaşmayı gerektirir. Kuru havalı sondaj birçok sahada uygulanabilir olmasına rağmen burada üzerinde durulan sulu jeotermal sistemlerde havayla köpüğün kullanımınıdır.

Kenya'nın Olkaria sahasında açılan jeotermal kuyunun 30. metreleri civarında yüksek miktarda dolaşım kaybı olmuştur. Bu sebepten dolayı üretim muhafaza çarığının indirilebilmesinde 'stabil köpük' kullanılmıştır. Yaklaşık 550 metre derinlikte dolaşım sıvısının dönüşü sırasında formasyon suyu girişi ve buhar üretimi "buğu (mist) akışı" olmuştur. Kuyu 8,5 inç'lik çapla 2000 metre derinlikte tamamlanmıştır (Allen, 1980).

## 8. MALZEMELER

Standart donanıma ek olarak hava katkılı sondaj için gereken malzemeler şunlardır;

1. 30 kg/cm<sup>2</sup> basınçlı, 1 m<sup>3</sup>/sn debili kapasiteli hava kompresörü gereklidir normal sondaj için. Derinlerde, kısa zamanlı olarak 65 kg/cm<sup>2</sup> boşaltma basıncı sağlayabilmelidir (Allen, 1980). Daha yüksek basınçlar, tijler birbirine eklendikten sonra veya tekrar kuyuya yerleştirilirken kuyudaki suyu boşaltmak için gereklidir.

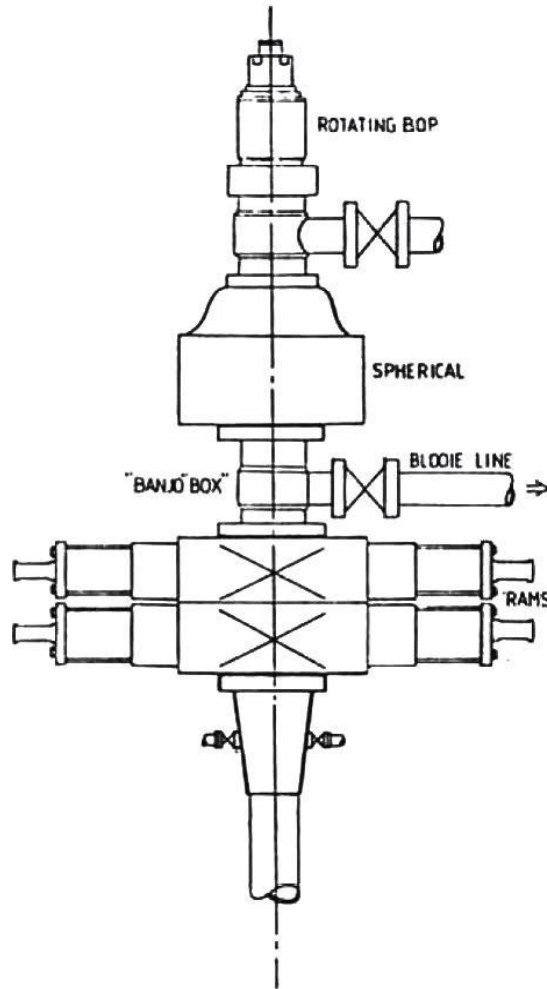
2. Su başlığından geçecek şekilde köpüğü hava yolundan pompalamak için yüksek basınçlı enjeksiyon parçaları gereklidir.

3. Kuyunun açılırkenki davranışını analiz etmek için hava akışı kayıt cihazı gereklidir.

4. Ekstra kuyu başı ekipmanları gereklidir.

Sondaj dizisinin etrafını sarmak ve hızlı akışkan dönüşünü yönlendirmek için kuyu başının en üst kısmında Rotating BOP gereklidir (Şekil 9). Gelen akışkanların tahliyesini sağlamak için orta seviye spool (banjo-box), BOP grubunun ortasına yerleştirilir.

Bütün kuyubaşı donanımları, kuyunun son derinliğine kadar yüksek sıcaklıklara (-/+150 °C) dayanıklı olmalıdır (Allen, 1980).



Şekil 9. Hava katkılı sondaj kuyu başı donanımları (Allen,1980)

5. 'fare deliği (mousehole)' sondaj dizisi bağlantıları için kolaylık sağlar. Bu bağlantı tijlerin birbirine hızla eklenmesi sonucunda köpük kolonlarının çökme olasılığını düşürür ve buna bağlı olarak dolaşım geri dönüşündeki gecikmeleri engeller.

Seçilen akışkan sistemine göre kullanılan malzemeler değişmesine rağmen genel olarak bütün sistemler şu malzemeleri içerir;

### **8.1. Ana Kompresör**

2 grupta incelenebilir; pozitif yer değiştirmeli ve dinamik. Pozitif yerdeğiştirmeli tipi genel olarak havalı sondaj uygulamalarında kullanılır, kompakt ve taşınabilir. Bu tip kompresörlerin en önemli özelliği, herhangi bir basınç değişikliğinde makineye doğru yönelen basıncın akışın hacimsel oranını önemli derecede değiştirebilmesidir. Tahliye sırasında yükselen basınç değerleri, nispeten sabit hacimsel çıktının üretimindeki giren gücün artırılmasıyla ile dengelenir. Böylece, değişken sondaj koşulları altında sabit koşullar sağlanır. Pozitif yer değişim birimleri pistonlu ve döner tip olarak alt başlıklara ayrılabilir. Sondaj uygulamalarında pozitif yer değiştirmeli tip kullanılmasına rağmen; teknolojik gelişmeler döner tiplerin daha kompakt fakat tahliye basıncı değişimine daha az duyarlı olmasını sağlamıştır. Bu durum onları yüksek yerlerde (çoğu jeotermal kuyunun bulunduğu yerler) kullanıldığında daha etkili kılmıştır. Ana kompresörler tipik olarak yaklaşık 25 bar'a kadar tahliye basıncına sahiptir.

### **8.2. Yükseltici (booster) Kompresör**

Yükselticiler, ana kompresörden tahliyeyi alıp daha yüksek basınçlı hava basan (200 bar'a kadar) pozitif yerdeğiştirmeli kompresörlerdir. Arazi yükselticilerinin genel olarak çıkış basıncı (ve sıcaklığı) sınırlıdır. Bu, giriş basıncı ve kullanmak için gerekli olan hacimsel akış oranına bağlıdır. Yükselticiye doğru olan hacimsel hava akış oranının verilen yükseltici basınç çıktısına göre yükselmesine rağmen yükseltici, beygir gücü kapasitesine ve çıkış basıncındaki yükselmeye bağlı olarak sınırlı hale gelir.

Ana ve yükseltici kompresörlerin ikisi de tahliyenin sıcaklığını düşürmek için kullanılan soğutma sonrası birimlerdir. Ana kompresörden gelen hava yükselticideki güç gereçlerinin soğutulması için soğutulmalıdır. Yükseltici tahliyesi ekipman hasarını önlemek için kule sabit hortumuna (standpipe) girmeden önce soğutulmalıdır. Ayrıca, ara soğutucular çok seviyelilerde seviyeler arası kullanılır.

### **8.3. Akışkan Enjeksiyon Pompaları**

Buğu (mist) veya köpüklü sondaj uygulamalarında, küçük üç pistonlu (triplex) pompalar suyu (ve köpük kimyasallarını) hava kaynağının içine kontrollü bir oranda enjekte etmek için kullanılır. Bu pompalar genellikle 300 lt/dk kapasiteye sahiptir (Özdemir, 2006).

Piyasada birçok ürün vardır, fakat çoğu yüksek sıcaklıklarda verimsiz çalışmaktadır. Geri dönen köpük tekrar kullanmak için uygun olmadığından havalı akışkanların kullanımı genellikle 'tek kullanımlık' tır. Bu sebepten dolayı köpük tüketimi yüksektir ve çalışmanın ekonomisi ilerleme hızına çok bağlıdır. En çok kısıntı taşıyabilme kapasitesini sağlayabilmek için stabil köpüklerin toplam sıvı içeriği tipik hacim olarak %5'in altında olmalıdır (Allen, 1980).

Sıcak kuyulardaki hava-su-köpük karışımları sondaj ekipmanları için zor şartlar sunar ve köpüğe en az periyodik dozda uygun önleyici eklenmesine önem verilmelidir.

Kompresör ve yükseltici (booster) genellikle bağımsız dizel motorlu, kızağa monteli, sessizleştirilmiş ve yaklaşık 3 x 6 metre oturma alanına sahiptir. Bu ekipman Şekil 10'da gösterilmiştir.

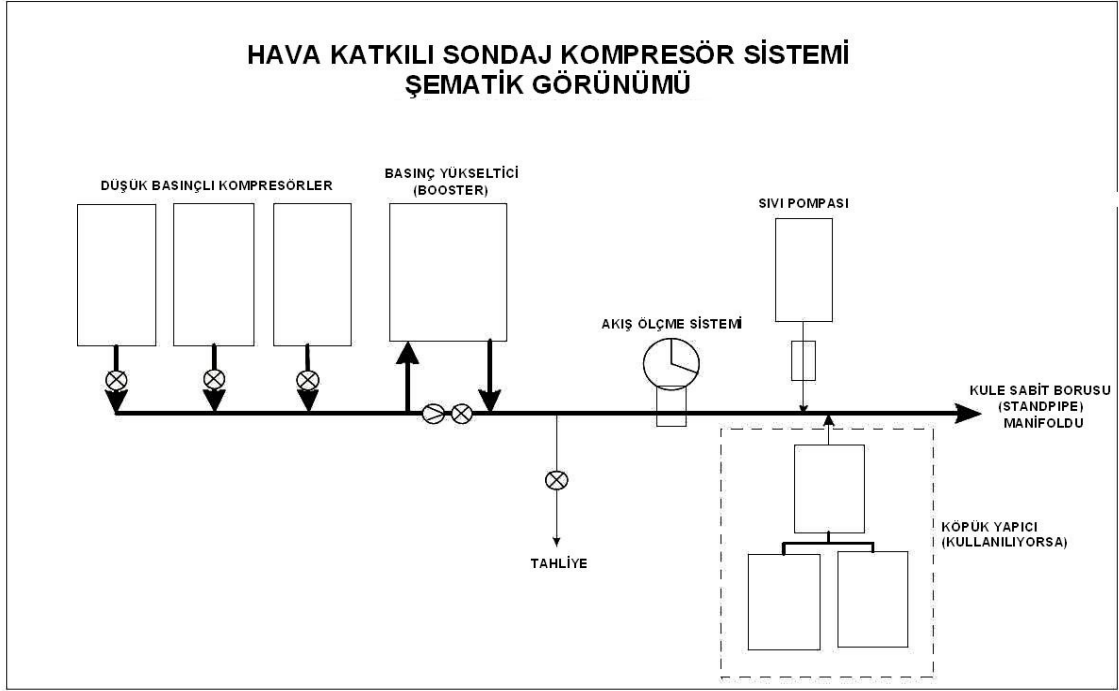
### **8.4. Kule Ekipmanları**

#### **8.4.1 Kule Sabit Borusu (Standpipe) Manifoldu**

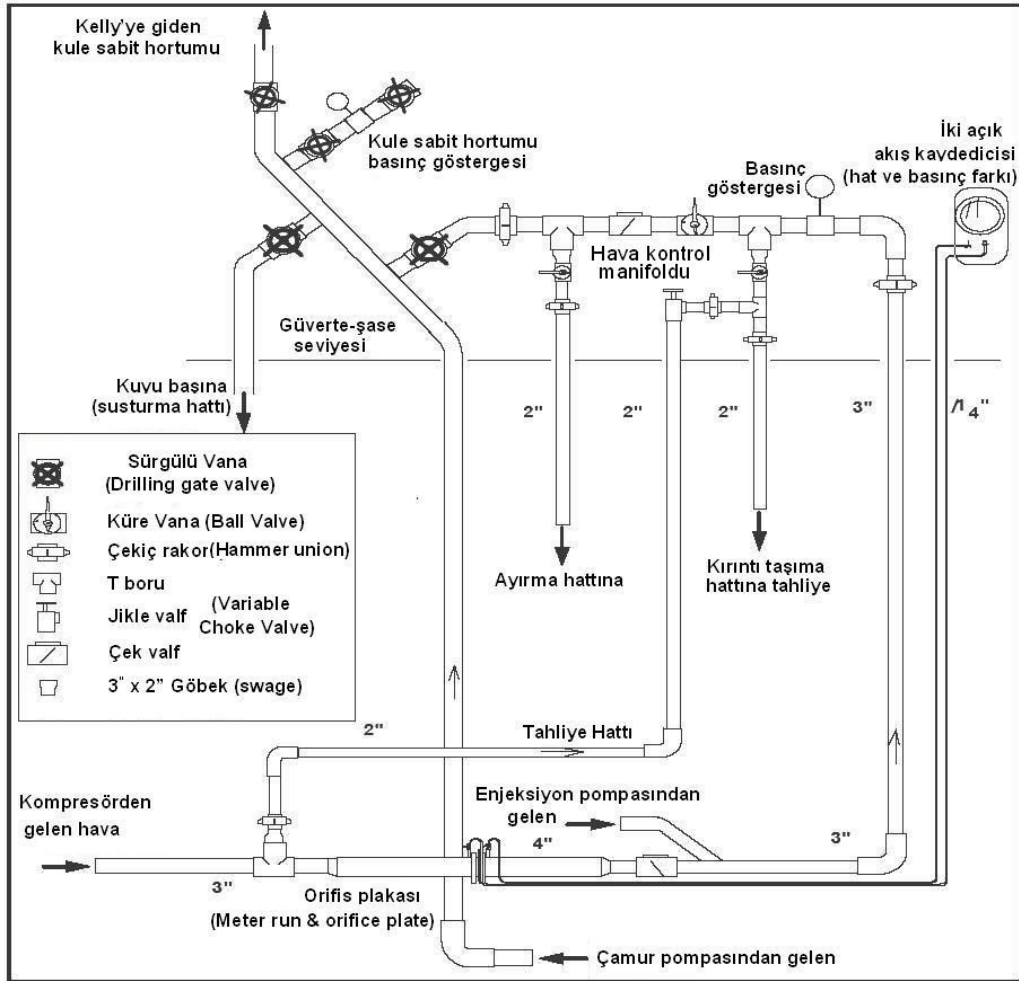
Kule veya hava tedarik hattından sıkıştırılmış havayı emme ve kısıntı taşıma (bloomie) hattına göndermek ile görevlidir. Manifold, genellikle zemin seviyesinde konumlandırılmıştır. Bu konum, sondörlerin hava tedarik hattı ile kule sabit borusunun sevkiyat basıncını ayırmak amacıyla yapılan bağlantılar için en uygun konumdur (Özdemir, 2009). Şekil 11'de tipik bir hava katkılı sondaj manifoldu görülmektedir.

#### **8.4.2. Döner Kafa (Rotating Head)**

BOP ünitesinin (kuyu fişkırması önleme takımı) tepesinde yer alır ve kapama ünitesi içerir ki bu sondaj dizisiyle beraber döner ve anülüse keçe görevi görür. Bu keçe hava katkılı akışkanla kısıntıları 'boolie' hattı içinde ayırır. Kapama elemanlarının ömrünü uzatmak için sondaj sırasında 'rotating'e soğuk su verilir.



Şekil 10. Hava katkılı sondajda kullanılan hava sıkıştırma ekipmanlarının şematik görünümü (Birkisson ve Hole, 2007)



Şekil 11. Hava katkılı sondaj kule sabit hortumu manifoldu şematik gösterimi (Birkisson ve Hole, 2007)

### 8.4.3. Banjo Kutusu

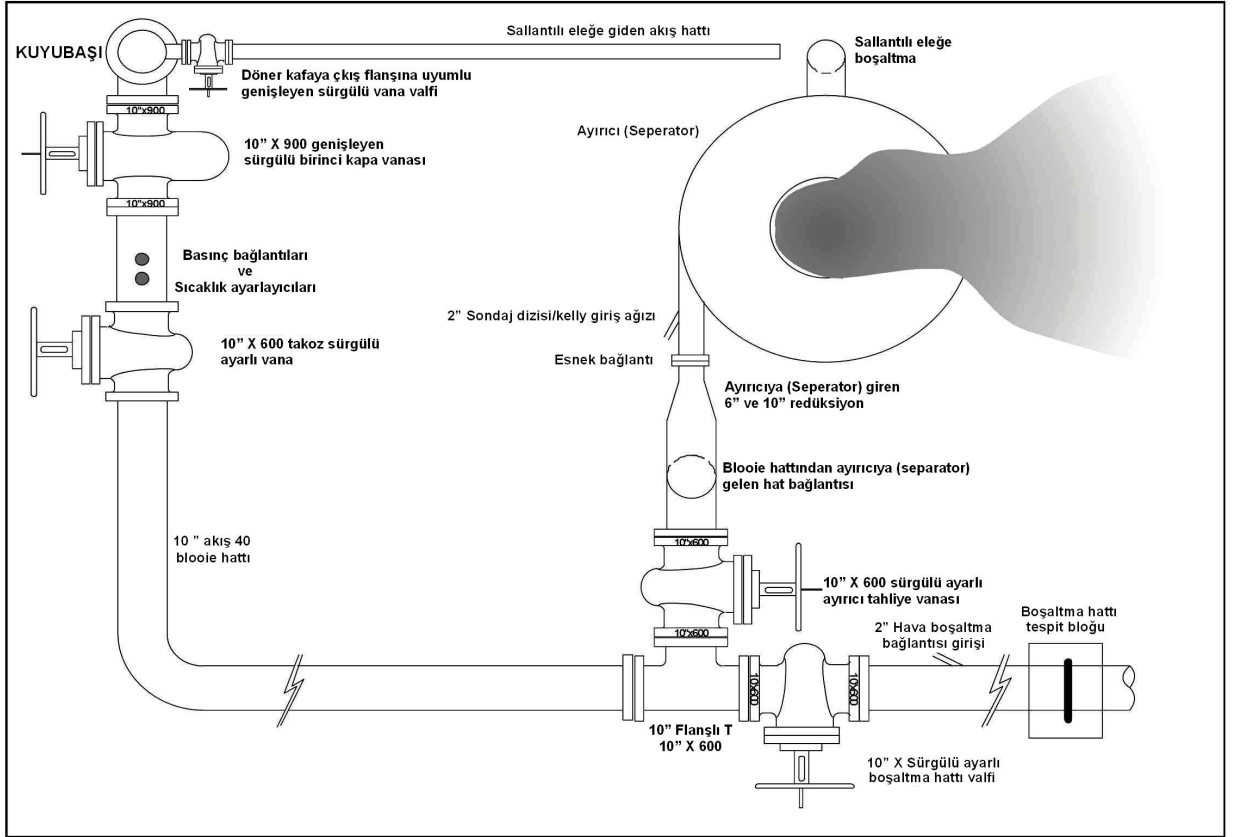
Tipik olarak BOP ünitesinde bulunan Ram girişinin üzerinde ve anüler BOP'un altında yer alan ağır duvarlı geri tepmenin ilk geldiği yerdir (t borusu). Banjo kutusunun kolları izole giriş valfleri bulunur ki bunlar BOP ünitesi değerine eşit basınç değerine sahiptir (API 3000). Basınç spool'u basınca sahiptir ve sıcaklık göstergeleriyle transducer (güç ayarlayıcı) izole valfin aşağı akış yönünde bulunmaktadır. Kısma ve geri basınç valfine bağlıdır.

### 8.4.4. Blooie (Kırıntı Taşıma) Hattı

Havalı sondaj ayırıcısına akışı sağlayan veya çıkan akışı doğrudan sondaj çukuruna taşıyan hattır.

### 8.4.5. Havalı Sondaj Ayırıcısı

Siklon ayırıcısına teğet giriş yapar. Genellikle yükseltilmiş iskelet takoza monte edilir ve yer çekimi yönünde ayrılmış su ve kırıntıların aşağı ağızdan eleğe akışını sağlar. Şekil 12'de tipik hava katkılı sondajın BOP ünitesi, blooie ve ayırıcısı gösterilmiştir.



Şekil 12. Hava katkılı sondaj kuyubaşı, blooie hattı ve ayırıcı (separator) şematik gösterimi (Birkisson ve Hole, 2007)

## 8.5. Kuyudibi Ekipmanları

### 8.5.1. Float Valfler

Küçük çaplı dikme veya kanatlı tip valfler içerir. Bunlar, tij veya ağırlık borusunun içine yerleştirilir ve ters hava akışı için kontrol valfi görevi görür. Matkaba yakın olan bir adet float valf matkabin hemen üzerindedir. Takım ekleme (manevra) veya hava akışındaki duraklama sırasında, kırıntıların takım içerisinden geri akışını engeller. Sıcak akışkanın ve buharın donanım içerisine doğru geri tepmesini engellemek ve hava katkılı karışımı üst float valfin altında tutarak, takım ekleme (manevra) zamanını kısaltmak için tijde birçok float valf kullanılır. Ayrıca, bu valfler tij ekleme yapıldıktan sonra gereken basıncı tekrar sağlamak için geçen süreyi de azaltır ve ekleme yapılırken matkap çevresindeki akışkan akışını sağlar.

### 8.5.2. Kuyudibi Parçaları

Hava katkılı sondaj için genel olarak tij ve özel kuyudibi malzemeleri standart çamur ve su sondajı uygulamalarınıninkine ayırdır.

Çamurlu sondajlarda matkap sıvı püskürtme hızları ve akışkan kolon basınçlarındaki düşmelerin ilerleme hızı üzerindeki etkisi kontrol edilebilmektedir.

Keçeli ve/veya mil yataklı insert (tungsten karbit dişli) üç konili matkaplar jeotermal operasyonlar ve hava akışkanlı sondajlar için en iyi seçim olmaktadır.

Bahsedildiği gibi, hava akışkanlı sondajın maliyeti ilerleme oranıyla çok sıkı ilişkilidir. Herhangi bir belirli kuyuda, kuyu içerisindeki matkap üzerindeki uygun ağırlık/devir için drill off testleri önerilmektedir.

Çoğu geleneksel kuyudibi aleti, korozyonun söz konusu olduğu ve kuyudibi sıcaklığının rezervuar sıcaklığını kısa sürede ulaştığı kuyularda hava akışkanlı sondajlar için uygundur.

Buhar (mist) sondajı sırasında, yüksek annülüs hızı ve erozyon oldukça önemlidir. Sert bantlı ve düz tool jointli (manşonlu) tijlerin kullanılması önerilir. Muhafaza borusu dizisinin üst kısmındaki hasarı azaltmak için ince kaplama önerilir (tool jointlerin-manşonların koruyucuları genellikle yüksek sıcaklıklardaki operasyonlar için uygun değildir).

Dolaşımın olabildiğince kısa bir gecikmeyle geri kazanımını sağlamak için manevradan veya tij eklemekten sonra sondaj dizisinin orta noktasında 'jet' sub (manşon) bulundurmaya önemlidir. Bu sub, bu noktadan geri dönen akışı engeller, matkap üst kısmından yük boşaltılması gereksinimlerini azaltır. Bu sub, yukarı doğru sivrilmiş küçük çaplı jet içerir ki bu normal olarak kuyu duvarını oymaması için muhafaza borusu çarığının üzerine yerleştirilir.

### **8.5.3. Matkaplar**

Hava katkılı sondaj için özel matkaplar gerekmemektedir. Fakat, yüksek kuyudibi sıcaklıkları matkabın ömrünü genellikle kısaltmaktadır. Yapılacak özel koruma yöntemi, soğutmaya yardımcı olmak için kuyuya yeni matkap indirilirken kuyu içindeki periyodik akışkan dolaşımını sağlamaktır.

Son yıllarda, özel PDC matkapların sıcak kuyu koşullarındaki başarısı kanıtlanmıştır. Yüksek kuyudibi sıcaklıkları yataksız veya elastomerik keçeli yataklı PDC matkapları etkilememektedir.

### **8.5.4. Jet Manşonlar (Subs)**

Kuyu boşaltımına yardım için 1980'lerden 1990'ların başlarına kadar çoğunlukla jet manşonlar kullanılıyordu. Kuyu boşaltma, kuyu içindeki hava katkılı akışkanın hava katkısız olanla yer değiştirmesi, akışkanın yüzeye gelmesini ve sabit bir dolaşımı sağlamaktır. Özellikle düşük statik su seviyesi kaynaklarında bu boşaltım işlemi zaman kaybıdır. Jet manşon (sub) tipik olarak takım içerisine ve üretim muhafazası çarığından yukarı konur. Kısmen az bir hacimde sıkıştırılmış hava jet sub'ın içinden anülüse doğru yollar. Kuyu içinde statik su seviyesine kadar akışkana hava katılmasına, akışkanın soğuk kaplamasının kaldırılmasına ve boşaltma sürecine yardımcı olur.

## **9. MUHAFAZA BORUSU ÇİMENTOLAMA**

Havalı akışkanlı sondajın en önemli avantajı, sondajın muhafaza borusu derinliğine çabuk ulaşabilmesidir. Dolaşım kaybı problemi herhangi bir yaklaşımın kabul edildiği çimentolamanın yapılamamasına sebep olmaz (çamur veya havalı sondaj yapılsa bile). Hangi yöntemin seçileceği jeotermal saha özelliklerini bağlıdır.

## **10. REZERVUAR DEĞERLENDİRMESİ**

Sondaj son derinliklere yaklaştığında akışkan akışı ayarlanır. Böylece kuyuda kısmen tahliye meydana gelir. Bu durum, kuyudaki üretim bölgelerini tanımlamak için önemli bir yardımcıdır. Geri dönen akışın ani sıcaklık yükselmesiyle buharın veya sıcak suyun kaynağını kesmenin önemi anlaşılır. Kuyu artan oranlardaki akışa izin verebilir. Kuyunun derinleştirilmesine rağmen veya dolaşım akışkanındaki su enjeksiyon oranının artırılmasıyla kontrol altına alınabilir. Başka bir yol da, yüzeydeki ölçümlerin kuyudibi durumuyla ilişkilendirilmesi ve gözlenmesidir. Açıkça bu teknik, üretim formasyonunun dengesi (stabilitesi) hakkında ön bilgi gerektirir.

## **11. ÇEVRESEL ETKİLER**

Var olan etkilere artı olarak 2 farklı etkiden daha söz edebiliriz.

### **11.1. Gürültü**

Büyük kompresör ve yükseltici (booster) üniteleri belirgin bir gürültü yaratırlar. Bunların beraber çalıştığı büyük soğutma fanları birincil gürültü kaynaklarıdır. Fakat şimdilerde bu üniteler gürültü emisyon standartları çerçevesinde çalışmaktadır.

## 11.2 Sondaj Sıvısı ve Kırıntı Dönüşü

Hava katkılı sondaj bütün sondaj sıvısı ve kırıntıların yüzeye geri dönmesini sağlar. Fakat, sondaj kuyuda geçirgen bir bölüme denk geldiyse üretim sondajı su ile kör olarak yapılır ve sondaj sıvısı veya kırıntı yüzeye gelmez. Hava katkılı sondajda çok miktarda kırıntı sondaj havuzunda birikir.

Yüzey aktif kimyasal veya köpük, su ile havanın birbirinden ayrışmasını önlemek için dolaşım suyuna eklenir. Bu eklenti, çamur tankı ve dinlendirme kuyusunda hissedilir miktarda köpük birikmesini sağlar. Köpük çirkin olmasına rağmen tamamen zararsız ve toprak tarafından emilebilen bir maddedir.

## 12. MALİYET

Havalı akışkanlı sondaj yüksek dolaşım kaçağı problemlerini ortadan kaldırır. İlerleme çamurlu sondajdakinden daha hızlıdır. Fakat, köpük sadece 'tek kullanımlık' tır. Çamurlu sondajda, çamur tekrar tekrar dolaşım sıvısı olarak kullanılabilir.

Hava akışkanlı sondaj kuyusu, kuyudibi aletleri için aşındırıcı bir ortam oluşturur. Fakat, kuyu tabanı şartları yüzey gözlemlerinden kestirilebilir.

Ekonomik koşullar, özgül saha şartlarının farkına varılmasıyla ilintilidir. Her şeye rağmen jeotermal kuyuların hava akışkanlı yöntemlerle delinmesi hızlı, tatmin edici ve tamamen pratik bir operasyondur.

Sondaj uygulamasının maliyeti, anlaşmaya ve alanın risk durumuna bağlıdır. Maliyet analizi için en kesin durum, anlaşılmış yapının standart birim zamana oranıdır ki orda mal sahibi bütün uygulama riskini üstlenir. En yaygın yöntem budur. Bir jeotermal kuyuda hava katkılı sondaj maliyeti toplam maliyetin %6'sı civarındadır (Birkisson and Hole, 2007).

Bir örnek olarak, New Zealand Geothermal sahasında 38 günde açılan 2600 m derinliğindeki güncel bir kuyunun maliyetlerini incelersek. 980 metre derinliğe kadar 9 5/8 inç üretim muhafaza borusu indirilmiştir. Üretim zonu, 8 ½ inç çaplı matkap ve hava katkılı akışkanlarla delinmiştir. Bu kuyunun toplam maliyeti 3 261 182 \$'dır. Hava katkılı sondaj hizmetlerinin bedeli (yakıt dahil), toplam maliyetin % 5,49 (178 964 \$)'udur (Birkisson and Hole, 2007). Çizelge 4 ve Çizelge 5'de kuyu maliyetinin detayları verilmiştir.

Çizelge 3. Bir jeotermal kuyunun tipik maliyet kalemleri (Birkisson and Hole, 2007)

Maliyet Tanımı	Maliyet %'si
<b>Sondaj Alanı Hazırlama Maliyetleri</b>	<b>8.23</b>
<b>Donanım Kurma ve Kaldırma</b>	<b>8.48</b>
<b>MALZEMELER</b>	<b>0.00</b>
Muhafaza Boruları	7.51
Muhafaza Borusu Aksesuarları	1.16
Kuyubaşı Ekipmanları	1.12
Sondaj Çamuru Ekipmanları	1
Matkaplar	3.36
Bağlantı Bileşenleri	0.03
Çimentolama Malzemeleri	3.23
Yakıt (hava katkılı akışkan yakıtı hariç) **	4.48
<b>Sondaj Hizmetleri Müteahhiti</b>	<b>24.53</b>
<b>Döner Kafa (Rotating Head)</b>	<b>3.46</b>
<b>Çimentolama Hizmetleri</b>	<b>2.94</b>
<b>Yönlü Sondaj Hizmetleri</b>	<b>2.37</b>
<b>Çamur Log Hizmetleri</b>	<b>1.89</b>
<b>Çamur Mühendisliği Hizmetleri</b>	<b>0.83</b>
<b>Hava Katkılı Sondaj Hizmetleri (Yakıt dahil)</b>	<b>5.49</b>
<b>Sondaj Ekipman Kiralamaları</b>	<b>1.67</b>
<b>Muhtelif Hizmetler</b>	<b>3.07</b>
<b>Tij ve Ağırlık Boruları Muayeneleri ve Onarımları</b>	<b>2.24</b>
<b>Jeotermal Danışmanlık Hizmetleri</b>	<b>3.60</b>
<b>Kuyu Ölçümleri</b>	<b>1.91</b>
<b>Yönetim</b>	<b>7.38</b>
<b>TOPLAM SONDAJ MALİYETİ</b>	<b>100</b>

\* Yakıt maliyeti, özellikle Türkiye gibi yakıtın yüksek vergili olduğu ülkelerde bu kadar düşük değildir (yazarların notu)

**Çizelge 4.** Hava katkılı sondaj hizmetlerinin tipik maliyet kalemleri (Birkisson ve Hole, 2007)

<b>Maliyet Tanımı</b>	<b>Miktar</b>	<b>Maliyet %'si</b>
Mobilizasyon	1	3
Demobilizasyon	1	3
Sondaj Alanı içi Taşıma	1	2
Ekipman Durma Maliyeti	41	32
Ekipman Çalışma Maliyeti	13	20
Personel İşçilik Maliyeti	33	14
Personel Yol Masrafları	1	2
Personel Taşıma Masrafları	2	0
Seyahat İzinleri	3	0
Muhtelif Giderler	1	3
Kauçuk Malzemeler (Stripper Rubbers)	3	2
Köpük Yapıcı	3	1
Hava Sağlayan Ekipmanların Yakıtı	53250	19
<b>TOPLAM</b>		<b>100</b>

### 13. SONUÇ

Jeotermal sondajlarda, sondaj sıvısının dolaşım yapması önemlidir. Bu konu, kuyuda dolaşan sondaj çamurunun kuyuya formasyondan girebilecek basınçlı akışkanların hidrostatik basınçla kontrol altında tutulması için önemlidir. Jeotermal sondajda havalı akışkanlar, sondaj sıvısı ve sondaj kesintilerinin geçirimli formasyonlar delinirken tam olarak dolaşımını sağlar. Özellikle, takım sıkışma ve formasyon hasarı riskini azaltır.

Hava katkılı sondaj uygulamasında öncelikli amaç, sondaj sıvısı dolaşımını sağlamak ve buna bağlı olarak sondaj süresince kuyudaki kırıntıları temizlemektir. Önceleri bu teknik, sadece küçük çaplı üretim kuyularında uygulanmıştır. Fakat, üretim bölgesinin üstündeki formasyonun geçirgenliğinin yoğun olduğu bazı sahalarda tıkama (kaçak önleme) ve sondaja devam edebilmek için önemli derece de zaman kaybı olmaktadır. Hava katkılı sondaj bu tür sahalarda başarısını ispatlamıştır.

Belki de hava katkılı sondajın en önemli yanı kuyunun üretkenliğine olan etkisidir. Kırıntıların geçirgen bölgeye doğru itilmesi yerine yüzeye getirilmesi tıkama potansiyelini azaltır ve kuyu duvarına yakın olan geçirgen kısımları tıkar. Bu etki, kuyu duvarı veya yüzey hasarı olarak bilinir. Nispeten küçük bir miktar formasyon kırıntısının akışa katılması kuyunun üretiminde gözle görülür etkiler yaratır.

Hava katkılı sondajlarda bütün dolaşım sıvısının geri dönmesi ve kırıntıların toplanmasıyla kuyu duvarı hasarı sulu kör sondajdan daha azdır. Buna bağlı olarak daha üretken kuyular elde edilir. Ayrıca, hava katkılı sondajlar bentonit çamuruyla yapılanlardan daha verimlidir.

Sulu kör kuyularda kuyu tamamlamadan sonra kuyu ısınma sürecine girer. Rezervuara kaçan büyük hacimdeki suyun ısınması uzun süre alır. Sondaj sıvısına hava katmak formasyona akışkan kaçacağını ve kuyu çevresindeki rezervuarın soğumasını sınırlandırır. Hava katkılı sondajlarda kuyunun toparlanması daha hızlıdır.

Havalı katkılı sondaj tekniklerinin ülkemizin jeotermal sahalarında açılacak üretim kuyularında kullanılması önemli faydalar sağlayacaktır.

### TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu bildiri metnini incelemek ve öneri yazmak için değerli zamanlarını ayıran ve bildirin son şeklini almasında katkıları olan hakem/hakemlere teşekkür etmeyi borç bilmektedirler.

### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Allen, M.D.,1980. The use of aerated fluids in the drilling of geothermal production wells, New Zealand Geothermal Workshop, 127-131
- Birkisson, S. and Hole, H., 2007. Aerated fluids for drilling of geothermal wells. Proceeding European Geothermal Congress, pp. 1-9
- Özdemir, A., 2006. Jeotermal kuyularda havalı sondaj tekniğinin kullanımı. Jeotermal Enerji ve Yasal Düzenlemeler Sempozyumu, Ankara, 12-15 Ekim 2006, Bildiriler Kitabı, 5-16
- Özdemir, A., 2009. Sondaj Tekniğine Giriş. 2.Baskı. Mattek Matbaası, 73 s.