

JEOTERMAL SONDAJI, MALİYET FAKTÖRLERİ VE KONTRATLARI

Sema TEKİN¹

¹ Ankara, Türkiye

tekin.sema@gmail.com

1. JEOTERMAL SONDAJINDAKİ FARKLILIKLAR

Jeotermal sondajı ile petrol ve gaz sondajı arasındaki farklılıklar alt başlıklar halinde aşağıda incelenmiştir.

1.1 Kuyu Dizaynı

Kuyu, üretim aşaması düşünülerek, planlanan sistem için gerekli akışın elde edilebileceği en geniş kuyu çapı ile bitirilmektedir. Ayrıca petrol ve gaz sondajında üretimde genellikle tubing dizileri ve packer kullanılırken, jeotermalde üretim muhafaza borusundan gerçekleştirilmektedir. Eğer kuyu içi pompası kullanılacak ise pompanın çapı ve yerleştirileceği derinlik de kuyu dizaynında göz önünde bulundurulmalıdır.

1.2 Muhafaza Borusu

Rezervuara soğuk yer altı sularının karışmasını ve bunun kuyunun üretimini etkilemesini

engellemek için iyi bir muhafaza borusu programı gereklidir. Yüzeysel borusu, yüzeysel sularını korumak için kullanılır. Üretim zonunda kullanılan muhafaza borusu veya liner deliklidir ve genellikle 7 inç çapında olmaktadır.

Muhafaza borusu tipi seçilirken sıcaklığa ve korozyona karşı olan dayanıklılıkları da göz önüne alınır. Amerika'daki bazı uygulamalarda korozyon sebebiyle titanyum muhafaza boruları kullanılmaktadır ve fiyatları yüksek olmasına rağmen saha özellikleri sebebiyle bu boruların kullanımı ekonomik olarak daha uygun hale gelmiştir.

1.3 Kuyubaşı Ekipmanları

Sıcaklığın etkisi ile muhafaza borularının uzayıp kısalmasından dolayı "expansion spool" kullanılmaktadır. Ayrıca genelde BOP (Blowout preventer) ekipmanlarının üzerinde kullanılan "rotating head" ile kuyudan gelen akışkan başka tarafa yönlendirilebilir.

1.4 Sıcaklığın Malzeme Üzerindeki Etkileri

Çamur sıcaklığının yüksek olması sebebi ile sondaj dizisi, matkaplar, muhafaza boruları, pompa ve sarf malzemeleri daha çabuk yıpranmakta ve çamur özelliklerinde bozulmalar meydana gelmektedir. Ayrıca elektronik ekipmanların kullanımı da kısıtlanmaktadır.

Soğutma kulesi kullanımı ile yüksek sıcaklığın malzeme ve kuyu üzerindeki etkisi azaltılabilir. Etkili çalıştırıldığında soğutma kulesi çamur sıcaklığında 15°C'ye kadar düşme sağlayabilmektedir.

1.5 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) mat-

kaplar ise sert kayalarda kullanılmamaktadır.

1.6 Kule Seçimi

Sondaj kulesinin seçiminde, kuyu programına göre kulenin sondaj yapabileceği maksimum derinlik, kanca yükü ve 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 sıralanabilir. Kaynak [1]'de, kule seçiminde hangi özelliklere dikkat edilmesi gerektiği ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır.

1.7 Çimentolama

Muhafaza borusu programı ile yüzey suları herhangi bir yer altı blowout'unu engellemek için iyi izole edilmelidir. Diğer muhafaza borularının çimentolarının çok iyi yapılması sondajda veya üretim aşamasında kuyunun ısınması veya soğuması sırasında muhafaza borularının uzayıp kılmasını en aza indirmek açısından çok önemlidir. Bu amaçla çimento yüzeye kadar yapılmaktadır. Dolayısı ile çoğu zaman çimentonun yüzeye geldiğini görene kadar ve açık kuyu hacminin 2-3 katı kadar çimento hazırlanmakta ve kuyuya basılmaktadır. Aynı zamanda, kanallaşmanın engellenmesi ve yüksek sıcaklıklarda daha sağlam bir bağ oluşturması için çimentoya diğer katkı malzemelerinin yanısıra SiF (Silika florür) de katılmaktadır.

Çimentolama süresi ve donma süresi yüksek sıcaklıktan etkilenmektedir. Bu açıdan, çimento operasyonunun eksiksiz ve kesintisiz olması büyük önem taşır. Yüksek debide ve türbülanslı akışta daha iyi çimento bağları oluşturulmaktadır.

Jeotermalde Stab-in de denilen dizi içinden çimentonun basıldığı uygulamalar da yaygındır. Bu yöntemin daha hızlı olması ve daha az öteleme ile tamamlanması gibi avantajları vardır. Ayrıca bu uygulama ile basılan çimento sıcaklığa daha az süre maruz kalmaktadır. Ancak basılan çimento kuyudaki akışkana göre daha soğuk olduğu için muhafaza borusu kısalabilmektedir ve dizi yerinden çıkabilmektedir. Liner çimentolamasında ise dizinin sökülmesi esnasında sıkışması problemi ile karşılaşmaktadır. Köpüklü çimento operasyonunda ise çimentonun özelliklerini geliştirebilmek için çimentoya nitrojen ve yüzey aktif madde eklenmektedir. Zayıf formasyonlarda düşük yoğunluklu çimento için seramik, perlit, jel bentonit ve mikrosilika kullanılabilir [2]. Yüksek sıcaklıklarda çimento yapılabilmesine olanak veren bazı geciktiriciler ise şeker, lignosülfanat, tartarik asit, organik fosfonik asit olarak sıralanabilir [2].

1.8 Sondaj Çamuru

Sondajda yüksek sıcaklık sebebiyle bozulan çamur özellikleri takım sıkışmasına yol açabileceği gibi, kaçak olması da bu riski artırmaktadır. Tedirici veya tam kaçağa özellikle üretim zonunda rastlanmaktadır. Kaynak [3]'te, jeotermal kuyu-

larda karşılaşılan kaçağın daha çok yüksek geçirgenlikli çatlaklı zonlarda gerçekleştiği, düşük sıcaklıklı ve üretim zonu olmayan yerlerdeki kaçakların su akiferlerinin korunması ve formasyon akışkanına karışmaması için kapatılması gerektiği, bunun çimento operasyonunda da yarar sağlayacağı belirtilmiştir. Kaynak [4]'te kaçak sırasında en çok kullanılan malzemelerin yer fıstığı kabuğu, mika ve selofan olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, fındık kabuğu ve pamuk çekirdeği de kullanılabilir.

Üretim zonundaki kaçarak sondajlarda sondaja su, polimer çamuru veya havalı sondaj ile devam etmek tercih edilebilir. Bu konudaki karar, formasyon karakteristikleri, kaçak miktarı ve gerekli ekipman ve malzemelerin maliyet açısından uygunluğu göz önünde bulundurularak verilebilir.

1.9 Kuyu Kontrolü

Jeotermalde kuyu kontrolüne neden olabilecek bazı durumlar 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 olarak sıralanabilir.

Çimento operasyonunun kuyu kontrolündeki önemi çok büyüktür. Eğer muhafaza boruları arasındaki çimentoda sıvı/su kalmış ise, üretim esnasında bu sıvı/su ısınacak ve buhar fazına geçebilecektir. Dolayısıyla daha fazla basınç uygulayacak ve borunun çökmesine neden olabilecektir.

Eğer bu su formasyonda ise formasyonu çatlatması olasıdır.

Kuyu kontrolü açısından, kuyu kontrol ekipmanlarının yüksek sıcaklığa dayanabilecek özelliklerde olması ve operasyonlarda duraksama olmaması da önemlidir. Kuyu kontrolü genellikle kuyunun sirkülasyona alınıp soğutulması ile gerçekleştirilir. Ayrıca kulede bulunan Top Drive sistemi ile sondaj dizisi kuyuya indirilirken aynı zamanda sirkülasyon da yapılabildiğinden kuyunun daha çabuk soğutulması sağlanacaktır. Ancak yine de muhafaza borusu indirme ve çimentolanması gibi operasyonlarda kuyuda sıcaklık artışı ve buna bağlı olarak da kuyu gelişi olabilmektedir. Burada da jeotermal sondajda deneyimli personelin önemi ortaya çıkmaktadır.

1.10 Yönlü Sondaj

Jeotermalde yatay veya yönlü sondajlar daha fazla fay/çatlak kesme olasılığından dolayı tercih edilmektedir. Yönlü sondajda rotary steerable tercih edilen bir yöntemdir. Daha düzgün kuyu çapı ve daha yüksek sondaj hızı sağlamaktadır. Volkanik bir formasyonda yönlü sondaj sıcaklığın yanısıra çekim kuvveti ve manyetizmadan da etkilenmektedir [5].

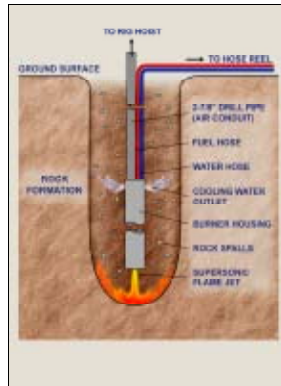
1.11 İş Güvenliği

Geçmiş tecrübelerde cellar havuzunda biriken H_2S 'in ölümlere yol açmasından dolayı Amerika'da artık cellar havuzları 3-4 ft derinliğinde yapılmaktadır [5].

2. FÜZYON SONDAJ (THERMAL SPALLATION) [6]

Füzyon sondajı jeotermal sondaj teknikleri arasında maliyetlerin düşürülmesi açısından gelecek vaadeden bir teknoloji olarak görülmektedir. Füzyon sondajını (Şekil 1) açık kuyularda düşük yoğunluklu petrol-hava alevi sondajı olarak nitelendirebiliriz. Bu sondajda kaya yüzeyi, parçalanmasına sebep olacak termal stresin oluşması için çok hızlıca ısıtılır. Bu yöntem siğ, açık kuyularda yıllardır kullanılmaktadır. EGS (Enhanced Geothermal Systems) projelerinde sıkça rastlanan granit gibi sert kayaların sondajında etkili bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır.

Bu sondajda yüksek yoğunluklu sıcaklık, Şekil 2'de görülebileceği gibi yüzeyin, altındaki tabakalara nazaran genişlemesine sebep olur ve mikro çatlaklar oluşur ve formasyon kesintileri taşınır. Bu yöntemdeki sondajda, sondaj, formasyon ile temassız yapıldığı için dizide yıpranma normal sondajla göre daha yavaş gerçekleşir dolayısıyla sondajla ara vermeden devam edilebilmektedir.



Şekil 1. Füzyon Sondajı [7].

Siğ kuyulara kıyasla derin kuyular kuyu stabilitesinin sağlanması için sondaj sıvısına gereksinim duymaktadır. Sondaj sıvısı kuyu dibinde yüksek bir hidrostatik basınç sağlar. Füzyon sondajının derin kuyulara uygulanabilmesi için yüksek yoğunluklu yüksek basınçlı bir ortamda yüksek sıcaklık ve yüksek ısı akışı sağlanması gerekmektedir. Sondaj sıvısı olarak su kullanıldığında hidrotermal alev ya da süperkritik suda üretilen alevler derin kuyuda kayacın parçalanması için kullanılabilir.

Bu yöntemin derin kuyulara uygulanabilmesi için hidrotermal alevin süperkritik özellikteki sudaki davranışı üzerine araştırmalar MIT (Massachusetts Institute of Technology) ve Potter Drilling, Inc. işbirliğiyle sürdürülmektedir. Yakıt olarak hidrojen, metanol ve metan üzerinde durulmaktadır.

3. SONDAJ MALİYET FAKTÖRLERİ – AFE (AUTHORISATION FOR EXPENDITURE)

Bir jeotermal kuyu sondajının maliyetinin büyük bölümünü kuyunun derinliği ve formasyon tipine bağlı olarak sondaj süresi ve muhafaza borusu ve çimentolanması oluşturmaktadır. Sondaj ile ilgili diğer maliyet faktörleri de aşağıda detaylı olarak belirtilmiştir:

Mühendislik çalışmaları, sondaj ve saha danışmanlık hizmetleri

Malzeme alımı: Muhafaza borusu ve aksesuarları, liner ve aksesuarları, kuyubaşı ekipmanları, matkap, soğutma kulesi



Şekil 2. Füzyon Sondajındaki Aşamalar [7].

Sondaj öncesi hazırlıklar: Lokasyon, kondüktör, cellar havuzu ve atık havuzu yapımı, yol yapımı, lokasyon ve yol yapımı ile ilgili izinler

Lokasyona sondaj için su sağlanması: Su kaynağı bulunması, kuleye su hattı çekilmesi ve bakımı, tanker ile su taşınması

Lojistik: İletişim, binek araçlar, içme suyu, yiyecek-içecek (catering hizmeti)

Sondaj servisi: Sondaj kulesi kiralınması, kulenin lokasyona mobilizasyonu, birden fazla sondaj yapılacak ise lokasyonlar arası mobilizasyon (intermobilizasyon) ve kulenin proje sonunda demobilizasyonu, sondaj kulesi için yakıt, vinç ve forklift kira bedelleri

Ekstra malzeme kiralari: Top drive, elek telleri, jar ve bakımı, stabilizer ve giydirmesi, shock sub, rotating head vb.

Çamur servisi: Çamur mühendisi günlük ücreti, çamur katkı malzemeleri, mühendis ve malzemelerin lokasyona ulaşımı

Çimento servisi: Muhafaza borusu çimentoları ve tapa çimento operasyonları, çimento, SiF ve katkı malzemeleri, çimento mühendisi, ekibi ve çimentola-

ma ünitesinin günlük ücretleri ile malzemeler, ekip ve ünitenin lokasyona ulaşımı

Jeolojik değerlendirme: Sondaj kesintileri toplanması ve incelenmesi, mud logging servisi, log alımı

Diğer opsiyonel servisler (Personel, ekipman, ulaşım): Liner indirme, yönlü sondaj ve gyro, havalı sondaj, karot alımı, H₂S izlenmesi, testi ve eğitimi, sağlık ve iş güvenliği

Kuyu testi

Muhtemel tahlisiye operasyonları

Atık havuzunun ve sondaj sahasının rehabilitasyonu

Kaynak [8]'de jeotermal sondajların maliyetinin petrol ve gaz sondajlarına göre 2-5 kat daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bunda üretim borularının daha geniş çaplı olmasının ve çimento hacimlerinin etkili olduğuna dikkat çekilmiştir. Kaynak [4]'te ise çamur sıcaklığı 50-70°C arasında iken çamur maliyetinin %70 oranında arttığı, çamur sıcaklığı 70°C'den fazla iken ise çamur maliyetinin %133 oranında arttığı belirtilmiştir.

4. JEOTERMALDE SONDAJ KONTRATI VE SİGORTA UYGULAMALARI

Sondaj kontratlarında en çok tercih edilen uygulamalar günlük ücret bazlı (Day rate/Unit time rate), metre başına ücret bazlı (Unit meter rate/Meterage) ve anahtar teslim (Turnkey/Lump-sum) olarak sayılabilir. Kaynak [9]'a göre Yeni Zelanda, Kenya ve Endonezya'daki jeotermal sondajlarda günlük ücret bazlı, İzlanda'da ise metre başına ücret bazlı ve anahtar teslim kontratlar yapılmaktadır. Metre başına ücret bazlı kontratlar Türkiye'de daha çok su kuyusu sondajlarında tercih edilmektedir. Türkiye'deki jeotermal sondajlarda daha çok günlük ücret bazlı kontratlar, nadir olarak da anahtar teslim kontratlar uygulanmaktadır.

4.1 Günlük Ücret Bazlı Kontratlar

Bu tip kontratlarda kule ücretine, kule ve çalıştırılması, sondaj dizisi ve kule ekibi dahildir. Talep edilen bazı ek servisler Müteahhit tarafından ilave ücret ile sağlanır. Müteahhit tarafından sağlanmayan diğer 3. taraf servisler

ise Operatör tarafından sağlanır. Bu tip kontratlarda sondaj riski ve sorumluluğu, kuyu sondaj süresi ve harcanan malzemeler gibi riskler Operatör'dedir.

4.2 Metre Başına Ücret Bazlı Kontratlar

Sondaj ilerleme hızı kesin olarak öngörülemediğinden, Müteahhit tarafından çok tercih edilmeyen bir kontrat tipidir. Bu tip kontratlarda Müteahhit, sondaj süresi, sarf malzeme ve kuyuda kalan ekipman konularında risk almaktadır. Genellikle muhafaza borusu ve çimentosu Operatör tarafından karşılanır. Risk ve sorumluluk konularındaki belirsizlik sebebiyle Operatör tarafından da çok tercih edilmeyen bir uygulamadır.

4.3 Anahtar Teslim Kontratlar

Müteahhit tarafından kuyunun belirlenen derinlikte sondajının tamamlanması için toplam bir fiyat verilir. Müteahhit tüm ekipman, malzeme ve operasyonlardan sorumlu olur. Kuyunun risk ve sorumluluğu da Müteahhit'tedir. Müteahhit sondajdaki muhtemel problemler ve belirsizliklerden dolayı bu tip kontratları tercih etmemektedir. Operatör'ün tercih etmeme

sebepleri arasında ise, karşılaşılabilecek muhtemel sorunlar sebebiyle eklenen ekstra ücret ve operasyonlar üzerinde kontrol yetkisinin istenilen oranda olmaması sayılabilir.

4.4 Hibrid Kontratlar [5]

Hibrid kontratlar Amerikalı jeotermal sondaj müteahhiti ThermaSource Şirketi'nin uygulamakta olduğu bir tür sondaj kontratıdır. Bu kontratlarda Operatör ve Müteahhit sondajın risk ve sorumluluğunu belirli oranlarda paylaşırlar ve bu iki taraf sondaj sonrası kuyunun başarı ve getirilerini de paylaşırlar. Bu kontratlarda Müteahhit tüm 3. taraf ekipman ve malzemeleri de içeren günlük toplam bir ücret üzerinden çalışır.

4.5 Hedef Kontratlar [10]

Bu kontratlarda zaman ve malzeme sarfı konularında Operatör ve Müteahhit anlaşarak hedef koyar. Hedef, normal şartlar altındaki beklentiye ek olarak %10-25 arası bir pay konularak oluşturulur. Müteahhit sondajı bu hedefin altında bir sürede gerçekleştirdiğinde belli bir oranla ödüllendirilir. Müteahhit sondajı eğer hedefin üzerinde bir sürede gerçekleştirirse de kendisi-

ne bir ceza uygulanır. Bu tür bir kontrat Operatör'ün tüm gereksinimlerini belirlemesini sağlar ve verimli bir kuyu kazılmaya odaklanılmasını ve Müteahhit'in riskinin en aza indirgenmesine çalışılmasını sağlar.

4.6 Sigorta Uygulamaları

Türkiye'de jeotermal saha operatörü olan şirketlerin, kuyuda problem olduğunda ya da kuyu kaybedildiğinde riskin ve sorumluluğun hangi tarafa ait olacağı konusunda sorularının olduğu gözlemlenmiştir. Operatörler bu konuda sondajı üstlenen Müteahhit'in de riskin bir kısmını üstlenmesi gerektiğini düşünmektedirler. Ancak genelde uygulanan günlük ücret bazlı sondaj kontratlarında Sondaj Müteahhitinin ve diğer 3. taraf servis sağlayıcılarının denetiminin Operatör'de olması sebebiyle bu uygulanabilir bir görüş olamamaktadır. Bu soruna çözüm olarak Amerika'da uzun süredir yapılmakta olan kuyu sigortasının Türkiye'de henüz uygulaması bulunmamaktadır. Amerika'daki bir jeotermal kuyu için 2011 yılı sigorta ücreti 3,5 Amerikan doları/ft olarak verilebilir [5].

KAYNAKLAR

- [1] Ndirangu, E.G., 2000. Selection of a Future Geothermal Drilling Rig for Kenya, The United Nations University, Reports 14, 285-302.
- [2] Najafi, H., Sauter, M. and Ryan, M., 2011. Module 4 Geothermal Cementing Presentation, National Geothermal Academy, University of Nevada, Reno. Basılmamış.
- [3] Dunn, J.C. and Livesay, B.J., "Geothermal Drilling Technology", Sandia National Laboratories, SAND--86--2943C, Albuquerque & Livesay Consultants, San Diego.
- [4] Fabbri, F. and Vidali, M., 1970. Drilling Mud in Geothermal Wells, Geothermics, Special Issue 2, 735-741.
- [5] Capuano, Jr. L., Livesay, B. and Capuano, III L., 2011. Module 4 Drilling Engineering Lecture, National Geothermal Academy, University of Nevada, Reno. Basılmamış.
- [6] Tester, J.W., 2011. Module 1 Introduction to Geothermal Energy Utilization Lecture, National Geothermal Academy, University of Nevada, Reno. Basılmamış.
- [7] Tester, J.W., Potter Drilling Inc., 2011. A Comparison of Geothermal with Oil and Gas Well Drilling Presentation, National Geothermal Academy, University of Nevada, Reno. Basılmamış.
- [8] Augustine, C., Tester, J.W., Anderson, B., Petty, S. and Livesay, B., 2006. A Comparison of Geothermal with Oil and Gas Well Drilling Costs, 7Proceedings of Thirty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, SGP-TR-179.
- [9] Hole, H., 2008. Geothermal Well Drilling Services Contracts, Petroleum Engineering Summer School, Workshop #26, Dubrovnik, Croatia.
- [10] King1, T.R., 1998. Drilling Contracts: Some Options, Proceedings 20th NZ Geothermal Workshop, pp.179-182.