

# JEOTERMAL SANTRALLAR İÇİN KISA VE UZUN SÜRELİ KUYU TESTLERİ

Bayram ERKAN

## ÖZET

Jeotermal kaynakların verimli ve ekonomik kullanılabilmesi için gerekli bilgiler kuyu testleri ile elde edilmektedir. Kuyu testleri kuyular delinirken başlayan, jeotermal kaynağa uygun optimum performanslı işletmenin planlanması sürecinde devam eden ve jeotermal sistemlerin dinamiği gereği işletme aşamasında da süreklilik arz eden çalışmalardır.

Bu çalışmada, ülkemizde çalışan ve planlanan jeotermal santralların bulunduğu sahalarda yapılan test çalışmalarında kullanılan test aletleri ve ekipmanları ile yapılan testler hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan testler; dinamik, statik basınç ve sıcaklık ölçümleri, gaz oranı ölçümü, su kaybı testi, kararsız basınç testleri, üretim testleri ve yöntemleri, inhibitör ve izleyici testleri olarak özetlenmiştir. Bu testlerin amacı, planlaması, yapılışı ve elde edilen bilgiler sunulmuş, ilgili örnekler verilmiş, ancak; testlerin değerlendirilmesi çok detaylı olduğundan bu bildirinin kapsamı dışında tutulmuştur.

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda enerji fiyatlarında ve talebindeki artış, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması ve özendirilmesi, toplumsal çevre bilincinin gelişmesi, yerli kaynak kullanımına olan ilginin artması, yasal düzenlemelerin yapılması gibi nedenler jeotermal enerjiden elektrik üretmeye olan ilgiyi artırmıştır.

Jeotermal enerji kaynakları açısından zengin olan ülkemizde elektrik üretimine uygun jeotermal sahalarda Batı Anadolu bölgesinde yer almaktadır. İlk jeotermal elektrik santrali Denizli Kızıldere' de 1984 yılında devreye alınmış, ikinci santral ise Aydın Salavatlı' da 2006 yılında devreye girmiştir. Denizli Kızıldere'de var olan santrale entegre olarak çalışacak bir santralin kurulum çalışmaları devam etmektedir. Bir diğer jeotermal santral yatırımı ise Aydın Germencik' de devam etmektedir. Bazı sahalarda da jeotermal santral yatırımı ile ilgili ön çalışmaların devam ettiği bilinmektedir.

Jeotermal santral yatırımlarının hız kazandığı bu dönemde, jeotermal enerji kaynağına uygun sürdürülebilir projelerin planlanması oldukça önemlidir. Projelerin sürdürülebilir olması kaynakla ilgili olarak kuyular, rezervuar ve jeotermal sistem hakkında yeteri kadar bilginin elde edilmesi ile mümkündür. Elde edilen bilgiler sahanın optimum ve verimli işletilmesine yöneliktir. Kaynakla ilgili bu bilgilerin alınması sondajlar öncesinde sahada yapılan etüt çalışmaları ile başlar ve sahanın işletilmesi sürecinde de devam eder. Jeotermal sistemlerin dinamik yapısı bilgilerin sürekli güncellenmesini zorunlu kılar. Etüt safhasında yapılan jeoloji, jeofizik, jeokimya çalışmaları ile elde edilen veriler, sondaj çalışmaları esnasında ve sonrasında alınan daha gerçekçi verilerle güncelleştirilir. Kuyuların delinmesi sırasında ve sonrasında bilgilerin çoğunluğu kuyu testleri ile elde edilir.

Kuyu testleri kuyuların delinmesi esnasında başlar. Bu aşamada sıcaklık, basınç ve nadiren enjeksiyon veya üretim testleri yapılır. Bu testlerden elde edilen bilgiler, kuyu ile ilgili kararların alınmasında ve sondaj programlarının yapılmasında kullanılır. Sonraki aşamalarda kuyu ve rezervuar ile ilgili bilgiler elde edilir.

Sondaj çalışmalarının bitirilmesinden sonra yapılan testler kuyu tamamlama testleri olarak adlandırılır. Bu kapsamda su kaybı, enjeksiyon, basınç düşüm, statik-dinamik sıcaklık ve basınç testleri ile üretim testleri yapılır.

Sondaj makinasının lokasyondan ayrılıp kuyu başına üretim sistemlerinin bağlanmasından sonra kısa dönem testleri yapılır. Bu testler kapsamında genellikle sıcaklık ve basınç ölçümleri, kararsız basınç testleri, gaz oranı ölçümü, kimyasal analiz için numune alma ve üretim testleri gerçekleştirilir.

Uzun dönemli testlerde ise üretim ve/veya enjeksiyonla kuyu, rezervuar parametrelerindeki değişimler izlenir. Üretim kuyularında çökme problemlerine yönelik inhibitör testleri ve uygulamaları bu dönemde yapılır. Kuyular arası etkileşimin belirlenmesi, rezervuarın daha geniş bölgelerine ait parametrelerin bulunması amacı ile çok kuyulu testlerden olan girişim testleri uzun dönemde yapılır. Rezervuar basıncının korunması, ısı enerjisi üretiminin artırılması, sıcak ve kirlenici kimyasal maddeler içeren atık suyun ortadan kaldırılması gibi nedenlerle uygulanan tekrarbasma (reenjeksiyon) çalışmalarında yapılan izleyici testleri de uzun dönemde yapılan testlerdendir. Uzun dönemde girişim, inhibitör, enjeksiyon, izleyici testleri esas olmakla beraber bunların yanında diğer testlerde yapılmaktadır.

Jeotermal sahanın işletilmesi aşamasında da saha izleme programları hazırlanarak kuyu testleri ve ölçümler belirli aralıklarla yapılmaya devam edilir. Sıcaklık, basınç, debi, gaz oranı ve akışkanın kimyasal özellikleri sürekli gözlenerek daha önceki verilerle karşılaştırma ve güncelleme olanağı sağlanır.

Kuyu testlerinden kuyu performansı ile ilgili bilgiler ve rezervuar parametrelerinin yanında rezervuarın yapısı, şekli, durumu gibi birçok bilgi elde etmek mümkündür. Elde edilen bilgiler kuyu ve rezervuar ile ilgili kararların alınmasında, ileriye yönelik performans tahminlerinin yapılmasında ve modelleme çalışmalarında kullanılır.

Kuyularda yapılan testlerin tipi, sayısı, süresi, sırası konusunda geliştirilmiş bir uygulama olmayıp test yapılacak kuyuya, sahaya, sahadaki kuyu sayısına, testin amacına, daha önce kuyuda / sahada yapılan testlere göre değişkenlik gösterebilmektedir.

Bu çalışmada; Ülkemizde çalışan ve planlanan jeotermal santrallerin bulunduğu sahalarda yapılan test çalışmalarında kullanılan test aletleri ve ekipmanları genel olarak tanıtmakta, belirlenen sahalarda su baskın sahalardan, su baskın sahalarda yapılan testler hakkında genel bilgiler sunulmaktadır. Yapılan testler dinamik, statik basınç ve sıcaklık ölçümleri, gaz oranı ölçümü, su kaybı testi, kararsız basınç testleri, üretim testleri ve yöntemleri, inhibitör ve izleyici testleri olarak özetlenmiştir. Bu testlerin amacı, planlaması, yapılışı ve elde edilen bilgiler sunulmuştur.

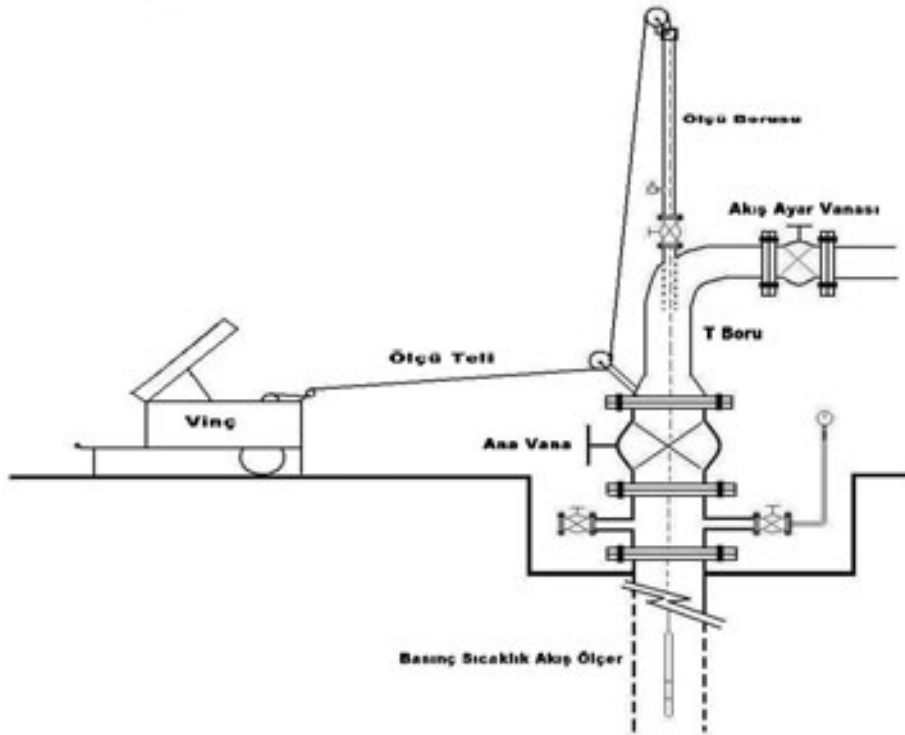
## **2. JEOTERMAL KUYU TESTLERİNDE KULLANILAN ALET VE EKİPMANLAR**

### **2.1. Vinç Üniteleri**

Kuyu içerisinde kullanılacak ölçüm alet ve cihazlarının kuyu içine indirilip çıkarılmasında kullanılırlar. Güç ünitesi, aktarma organları, tambur, fren sistemi, derinlik sayacı ve ağırlık göstergesinden oluşur. Hidrolik ve mekanik tür aktarma organları olan tipleri vardır. Vinç üniteleri kullanım amaçlarına göre değişik büyüklükte ve tipte imal edilmektedir.

Tambur üzerine sarılan borsal malzeme veya telin çapına ve özelliğine bağlı olarak tambur çapı ve dolayısı ile de vinç ünitesinin büyüklüğü değişmektedir. Kuyu içi ölçüm cihazları 0, 072- 0,092 inç çaplı, eksiz, paslanmaz, çelik ölçü telinin (wire line) ucuna bağlanarak kuyu içine indirilip çıkarılırlar. Bu vinçler amerada vinci veya ölçü vinci (wire line unit) olarak adlandırılırlar. Vinç üniteleri metal şase üzerine monteli ve tekerlekli tip olmak üzere iki ayrı tipte imal edilmektedirler. Kuyu derinliğinin fazla olmadığı durumlarda insan gücü ile çalışan, sadece tambur ve fren mekanizmasından oluşan basit sistemler de kullanılmaktadır.

Vinç üniteleri üzerindeki derinlik sayaçları genelde mekanik olup derinliği metre veya feet cinsinden gösterirler. Son yıllarda geliştirilen elektronik derinlik sayaçları (depth box), inilen derinliğin yanında iniş, çıkış hızlarını da sayısal olarak göstermekte ve elektronik ortamda bilgileri zamana karşı hafızaya kaydetmektedir. Kuyu içi ölçümlerin elektronik cihazlarla alındığı durumlarda alınan verilerin zamanla ve derinlikle değişimi belirlenebilmektedir. Kuyu içi ölçüm sisteminin şematik görünümü Şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1. Kuyu içi ölçüm sisteminin şematik görünümü.

## 2.2. Basınç, Sıcaklık ve Akış Ölçerler

Kuyu içindeki basınç ve sıcaklık ölçümleri jeotermal koşullara uygun olarak yapılmış özel cihazlarla yapılmaktadır. Son yıllara kadar mekanik cihazlar kullanılırken gelişen teknoloji ile birlikte elektronik cihazlar da kullanılmaya başlamıştır. Ülkemizde kullanılan cihazlarla ilgili bazı bilgiler Tablo 1 de verilmiştir [1].

Kuyu içinden ölçü almak amacı ile kullanılan mekanik aletler "Amerada" tipi olarak ilk imalatçısının ismi ile anılmakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Cihaz saat, element ve gövde olmak üzere üç ana parçadan oluşmaktadır. Element olarak basınç, sıcaklık veya akış ölçer algılayıcıları ayrı ayrı kullanılmaktadır. Gövdenin üstüne ölçü teline bağlantıyı sağlayan parça (wire line/rope socket), içine saat ve kaydedici mekanizma, altına ise element bağlanmaktadır. Gövdenin çapı 1 ¼ inç dir. Cihaza ayrıca kılavuz, merkezleyici ve ağırlık bağlanabilmektedir.

Zamana karşı basınç ve sıcaklık değişimi, safir uçlu bir çizici ile silindirik kart tutucu içinde bulunan, bir yüzeyi özel malzeme ile kaplanmış, ince, metal kart üzerine sürekli olarak çizilir. Saatin dönüş hareketi bir mekanizma ile kart tutucuyu dikey yönde hareket ettirir. Basınç veya sıcaklık elementine bağlı olan çizici ise yatay yönde hareketlenir. Ölçü sonunda kart üzerinde bulunan hem dikey hem yatay yöndeki mesafeler bir mercekle vasıtasıyla hassas olarak özel bir kart okuma aleti (two way chart reader) ile belirlenir. Ölçü esnasında yapılan işlemlerin kaydı tutulduğundan kart üzerindeki dikey mesafeden zamana karşı değişim belirlenir. Basınç veya sıcaklık değişimi ölçüden önce atmosferik koşullarda çizdirilen baz çizgiden olan yatay mesafedeki değişimden belirlenir. Elementlerin kalibrasyonu esnasında düzenlenen tablolardan bakılarak bu mesafeler basınç veya sıcaklık değerlerine dönüştürülür. Basınç ölçümlerinde ayrıca sıcaklık düzeltilmesi yapılır. Bilgisayar ve ekran yardımı ile kart okumanın yapılabildiği elektronik kart okuyucu da kullanılabilir.

**Tablo 1.** Kullanılan basınç ve sıcaklık cihazlarının özellikleri [1].

| Cihaz modeli | Algılayıcı tipi | Doğruluk        | Çözünürlük  | Basınç kapasitesi (psi) | Sıcaklık kapasitesi (°C) |
|--------------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------|--------------------------|
| KPG          | Bourden tüpü    | 0,2 % FS        | 0,05 %      | 1500-5200               | 400                      |
| KTG          | Bi- metal       | - / + 1°C       | 0,05 %      | -                       | 300                      |
| RPG-3        | Bourden tüpü    | 0,2 % FS        | 0,05 %      | 1500-2200               | 260                      |
| K8HTEMERGE0  |                 |                 |             |                         |                          |
| Sıcaklık     | RTD             | - / + 0,2 °C    | 0,01 °C     | 5000                    | 300(6saat)               |
| Basınç       | Piezoresistive  | - / +0,024% FS  | 0,0003% FS  | 5000                    | 300(6saat)               |
| K10HTEMERGE0 |                 |                 |             |                         |                          |
| Sıcaklık     | RTD             | - / + 0,015 °C  | 0,02 °C     | 5000                    | 300(6saat)               |
| Basınç       | Piezoresistive  | - / + 0,05% FS  | 0,0003 % FS | 5000                    | 300(6saat)               |
| Akış ölçer   | Reed Switch     |                 | 0,25-0,8RPS | 5000                    | 300(6saat)               |
| K8 S. UNİT   |                 |                 |             |                         |                          |
| Basınç       | Silicon Kristal | - / +0,024% FS  | 0,0003 % FS | 10000                   | -                        |
| PS           |                 |                 |             |                         |                          |
| Basınç       | Qartz           | - / + 0,01 % FS | 0,0001 %FS  | 1000                    | -                        |

FS, Full Scale, maksimum ölçüm kapasitesi

RPS, devir / saniye

Mekanik aletlerle farklı sürelerle sahip saatleri kullanmak mümkündür. Kullanılan saatlerin maksimum süreleri 3, 6, 12, 24, 48, 72, 120, 180 saat şeklinde değişmektedir. Kullanılacak saatlerin süreleri yapılacak testin süresine göre seçilir.

Basınç elementleri (KPG- RPG) çoklu helisel bourden tüpü prensibi ile çalışmaktadırlar. Sıcaklık elementleri (KTG) ise iki ayrı tipte imal edilmektedirler. KTG LV (liquid vapour) tipleri KPG ile aynı prensipte çalışırken, KTG BM (bi metal) tipleri sıcaklığa farklı reaksiyon gösteren birleştirilmiş iki metalin sıcaklık karşısında oluşturduğu dönme hareketi prensibi ile çalışırlar. Basınç ve sıcaklık elementleri test yapılacak kuyuda karşılaşılabilecek basınç ve sıcaklığa uygun olarak seçilirler.

Mekanik akış ölçer (Flowmeter MK II) kuyu içinde değişik seviyelerdeki akış hızlarını (toplam akışın- üretim veya enjeksiyon- % si cinsinden) karşılaştırmak amacı ile kullanılmaktadır. Direk olarak hız ve debi değeri vermezler, kuyuda bilinen bir noktadaki değerlerle diğer yerlerdeki değerler göreceli olarak karşılaştırılır. Basınç veya sıcaklık elementlerinin yerine gövdeye bağlanır. Belirlenen derinliklerde bekleme yapılarak ölçü alınmaktadır. Akış ölçer sonuçları kuyu içindeki akışkanın sıcaklık, yoğunluk ve viskozitesi ile akış tipi ve faz durumundan etkilendiğinden yorumlamalarda göz önüne alınmalıdır. Çok nadir olarak kullanılmaktadırlar.

Dikkatli kullanım, düzenli kalibrasyon, doğru ve hassas okuma ile mekanik aletlerle birçok ölçü için yeterli doğrulukta ölçüm yapılabilir. Ancak girişim (Interference) testlerinde ve kararsız basınç testlerinde (pressure transient tests) yetersiz kalmaktadırlar.

Bakım ve servislerinin kolay ve yerinde yapılabilir olmasının yanı sıra elektronik aletlere göre ucuz olmaları nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

K8-HT EMR jeotermal elektronik cihazı 300 °C sıcaklıkta 6 saate kadar ölçüm yapabilmektedir. Cihaz ısı iletimi düşük, silindirik muhafazanın içerisinde olup alt kısmında basınç ve sıcaklık algılayıcılar bulunmaktadır. Kuyudaki akışkanın basıncı kapiler bir boru içindeki özel sıvı ile basınç algılayıcısına iletilmektedir. Sıcaklık algılayıcısı ise direk akışkanla temas halinde olup iletim kablo ile sağlanmaktadır. Sabit aralıklarla veri alınabildiği gibi değişken aralıklarla da veri alınabilmektedir. K10-HT EMR jeotermal elektronik cihazı, K8 modeli ile benzer yapıda olup ilave olarak elektronik akış ölçer (spinner/ flowmeter) bağlanabilmektedir.

Kuyu içinden ölçü alan cihazlar yanında yüzeyde basınç değerlerini algılayan ve kaydeden basınç üniteleri de kullanılmaktadır. Bu tür cihazlar çoğunlukla girişim testlerinde kullanılmaktadır. Girişim testi düzenekleri ile sabit bir derinlikte kararsız basınç testlerinin yapılmasında da kullanılabilirler. Bu cihazlar genelde iki bölümden oluşmaktadır. Basıncı ölçen basınç algılayıcı, dönüştürücü birim (pressure transducer) ile transducerden aldığı frekans değerlerini sayısal basınç değerlerine dönüştüren ve bu verileri depolayabilen, bilgisayara aktarabilen, ekranda gösterebilen ve bilgisayar aracılığı ile programlanabilen bir arabirimden (data logger/ pressure monitor) oluşmaktadır. İki birim arasındaki bağlantı kablo ile sağlanmaktadır. Bu iki birimin beraber imal edildiği cihazlar da mevcuttur. K8 Yüzey Ünitesinde iki birim bir arada bulunmaktadır. Bu üniteye iki basınç ve bir sıcaklık algılayıcısı vardır.

### 2.3. Ölçü Borusu (Kurtarma Borusu –Recovery Tube)

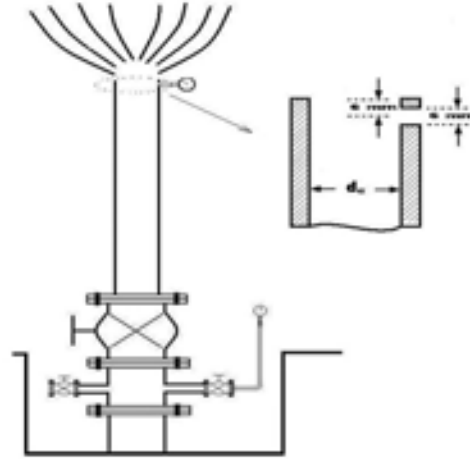
Kuyuda yapılacak ölçümlerde veya işlemlerde kullanılacak alet ve cihazların kuyuya indirilip çıkarılmaları esnasında basınç altında bekletildiği haznedir. Kuyuya indirilecek malzemenin çapına ve boyuna göre değişik çap ve boylarda imal edilirler. Kuyu başı üretim sistemlerinin bağlı olduğu durumlarda T-borunun üzerine bağlanarak hem statik hem dinamik durumlarda işlem yapılabilir. Kuyu başı üretim sistemlerinin bağlı olmadığı durumlarda ana vananın üzerine bağlanarak sadece statik durumlarda işlem yapılabilir. Kuyuya indirilecek malzemeye göre boyutu değişen makara en üst kısımda bulunur. Ölçüm borularının üst kısmında basınç altında sızdırmazlığı sağlamak için sızdırmazlık başlığı (stuffing box) vardır. Sistemin içinde kalan basıncı ve akışkanı tahliye edip boşaltmak için ölçü borusu alt kısmına yakın yerde tahliye vanası bulunur.

### 2.4. Yüzey Üretim Boruları

Akışkanın kuyu başındaki ana vanadan seperatör veya susturucuya yatay olarak yönlendirilmesini sağlarlar. Ana vana üzerine monte edilen T boru ile yatay borulardan oluşur. T boru ile yatay borular arasında testler esnasında akışı kontrol etmek amacı ile ikinci bir akış kontrol vanası kullanılır. T-borunun üzerine ölçü borusu bağlanır. Yatay borular üzerinde basınç, sıcaklık manometreleri ile numune alımı ve gaz ölçümlerinde kullanılmak üzere çıkışlar bulunur. Orifist ile ölçüm yapılacaksa yaklaşık olarak arada orifist bağlantı flanşları ile basınç manometreleri için bağlantılar vardır. Uç boru ile ölçüm yapılacaksa yatay boruların en ucunda uç boru bağlantı flanşları vardır. Hem orifist hem uç boru ile ölçüm yapılacaksa her iki bağlantı beraber bulunur.

### 2.5. Uç Boru

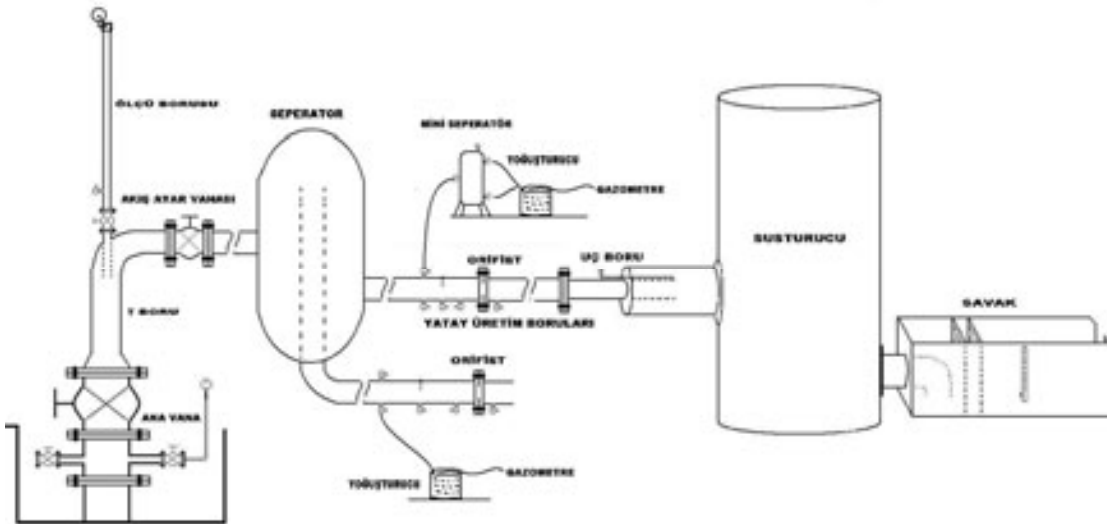
Üretim, entalpi hesaplarının uç boru yöntemi ile hesaplanacağı durumlarda uç boru basıncı (lip pressure) ölçümünde kullanılır [2]. Borunun kendisi ve çıkış yüzeyi düzgün olmalı, boru iç çapı hesaplamalarda kullanılacağından hassas olarak ölçülmelidir. Bir ucunda bağlanacağı vanaya veya flanşa uygun flanş bağlantısı, diğer ucunda ise uç basıncı okumayı sağlayacak şekilde manometre takılmasına uygun delik bulunur. Bu deliğin çapı 6 mm'dir ve borunun uç kısmından 6 mm içerde bulunur (Şekil 2).



Şekil 2. Dikey üretimde uç borunun şematik görünümü

## 2.6. Seperatör, Orifist, Susturucu (Silencer), Savak Sistemleri

Kuyudan üretilen su ve buhar karışımlarının belirli basınçta su ve buhar olarak ayrıştırılmasında seperatörler kullanılır. Ayrışmanın atmosferik koşullarda yapıldığı üstü açık seperatörler ise susturucu (silencer) olarak bilinirler. Susturucuların isimlerinden de anlaşılacağı gibi diğer bir görevi de uç borudan büyük bir gürültüyle çıkan akışkanın gürültüsünü azaltmaktır. Aynı zamanda akışkanın direk atmosfere verilmesi durumunda çevreye verilebilecek zararları da önlemektedir. Tekli veya ikili dikey silindirik sistemlerdir. Merkez kaç kuvvetinden yararlanmak amacı ile akışkan girişleri teğet olarak yönlendirilir. Seperatörde ayrışan buharın debisi orifistlerle ölçülürken, susturucudan ayrılan buhar susturucunun üst kısmından atmosfere atılır. Sıcak su ise susturucunun ön tarafında bulunan ve debiyi ölçmekte kullanılan bir savağa yönlendirilir. Susturucudan çıkan suyun savakta oluşturacağı aşırı dalgalanmaları önlemek için susturucu ile savak arasına dalgakıran görevi yapacak kapalı sistemler bağlanabilir. T-boru, ölçü borusu, seperatör, orifist, yatay üretim boruları, uç boru, susturucu ve savak monte edilmiş genelleştirilmiş bir kuyu başı üretim sisteminin şematik görünümü Şekil 3'de görülmektedir.



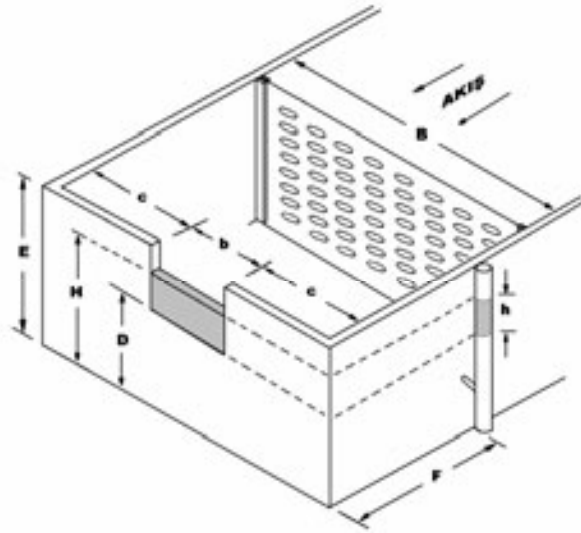
Şekil 3. Genelleştirilmiş kuyu başı üretim sisteminin şematik görünümü

Savakların ön pencereleri değişik şekillerde yapılabilmesine karşın yüksek debili kuyularda dikdörtgen şekilli savak pencereleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Şematik bir dikdörtgen savak penceresi Şekil 4' de görülmektedir. Savaktan geçen suyun oluşturacağı dalgalanmayı önlemek için savak içerisine delikli, metal saç dalgakıranlar yerleştirilmektedir. Savaklarla ilgili değişik standartlar ve formüller olmasına karşın yaygın olarak kullanılan formüller aşağıda verilmiştir. Ölçümlerin doğruluğunun artırılabilmesi için pencere kenarları düzgün ve keskin, savak havuzu kırıntı ve pisliklerden temizlenmiş, seviye ölçü borusu sıfırlaması iyi yapılmış olmalıdır. Seviye ölçüm noktasının savak penceresinden olan mesafesi (F), ölçülebilecek maksimum su seviyesinin ( $h_m$ ) en az 4 katı kadar mesafede olmalıdır. Savaktan geçen su debisi, savak ölçüleri metre olarak eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır [3].

$$M_w = 60 * \rho_w * b * h^{1,5} * \left(107,1 + \frac{0,177}{h} + 14,2 * \frac{h}{D} - 25,7 * \sqrt{\frac{(B-b)*h}{D*B}} + 2,04 * \sqrt{\frac{B}{D}}\right) \quad (1)$$

$\rho_w$  = Savak su yoğunluğu , (gr/cm<sup>3</sup>)

$M_w$  = Savak su debisi , (ton/ saat)



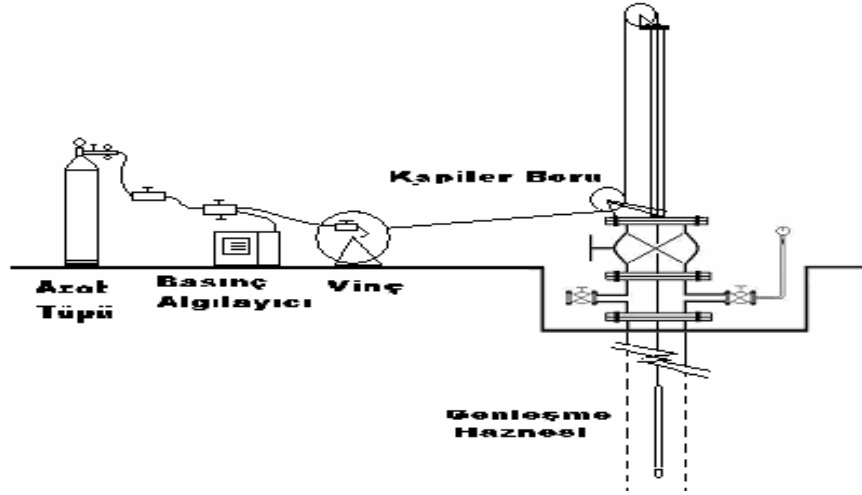
Şekil 4. Dikdörtgen savak penceresinin şematik görünümü

## 2.7. Girişim (Interference) Testi Sistemleri

Girişim (Interference) testinde aktif kuyu veya kuyuların (üretim veya enjeksiyon) gözlem kuyularında yaratmış olduğu basınç/ su seviyesi değişimi izlenir. Aktif kuyularda normal üretim veya enjeksiyon sistemleri kurulu iken gözlem kuyularında basıncı veya su seviyesini izleyecek sistemler kurulur. Su seviyeleri şerit metrelerle ölçülebileceği gibi otomatik ölçüm ve kayıt yapabilen tamburlu sistemler de kullanılabilir. Basınç değişimlerinin uzun süreli gözlenmesi ise özel sistemlerle yapılmaktadır.

Girişim testi basınç gözlem sistemleri yüzey sistemi, kuyu içi sistemi ve borular olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Yüzey sistemi kuyu başında bulunan ölçü borusu (kurtarma borusu, recovery tube), boru çapına uygun makara ve sızdırmazlık başlığı (stuffing box), boruları kuyuya indirip çıkarmakta kullanılacak vinç ünitesi, boruların yüzeyde kalacak ucuna bağlanan yüksek basınç manifold ve bağlantıları ile azot tüpü ve basınç algılayıcısından oluşmaktadır. Kullanılan kapiler borular (capillary tubing) eksiz, 1/8 inç (3.175 mm.) dış çaplı, 825 metal alaşımdan yapılmıştır. Kuyu içi sistemi ise boruların ucunda kuyuya indirilen sistemdir. Sistem boru bağlantı elemanı, genişleme haznesi (expansion chamber), ağırlık ve kılavuzdan oluşmaktadır.

Sistem kuyu içinde belirlenen derinliğe indirilerek yüzey sistemi, boruların içi ve genişleme haznesi azot gazı ile doldurulur. Genleşme haznesinin alt bağlantı elemanı yakınında delikler mevcut olup basınç iletişimi bu deliklerle sağlanır. Genleşme haznesinin büyüklüğü basınçta olması beklenen değişime göre belirlenir. İndirilen derinlikteki basınç azot gazı vasıtası ile yüzeye iletilir. Boruların içindeki azot gazının yapmış olduğu basınç ihmal edilir veya hesaplama yapılarak düzeltme yapılır. Gece gündüz sıcaklık farklarının yarattığı basınç değişimlerini minimuma indirmek amacı ile sistemin yüzeyde kalan kısımları izole edilir. Şekil 5'de gözlem kuyusunda kullanılan girişim testi sisteminin şematik görünümü yer almaktadır.

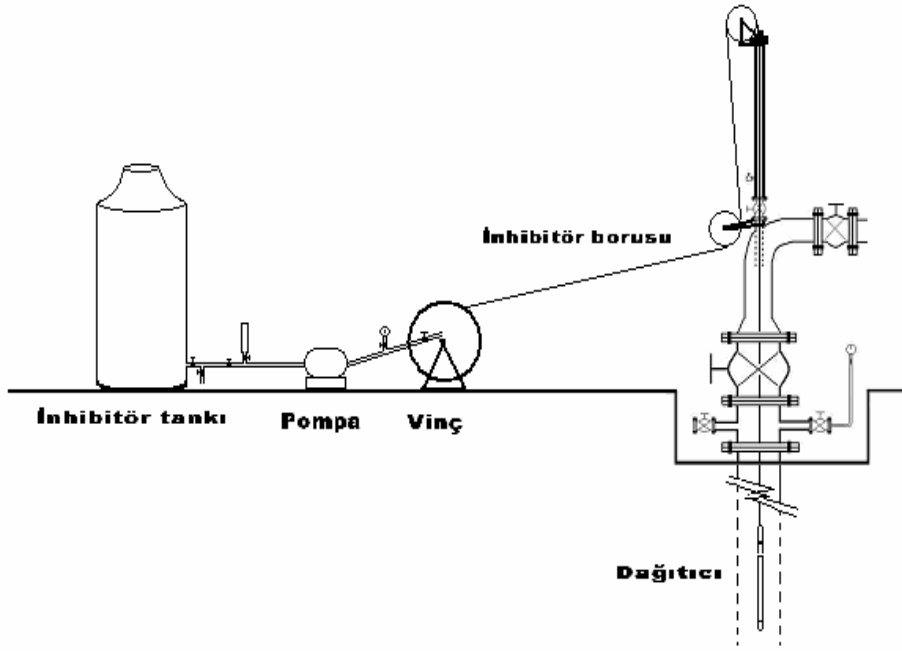


Şekil 5. Gözlem kuyusunda kullanılan girişim testi sisteminin şematik görünümü.

## 2.8. İnhibitör Basma Sistemleri

Jeotermal akışkanın oluşturduğu çökelmeleri, kabuklaşmayı (scaling) önlemek amacı ile kullanılan inhibitörler kuyu içinden inhibitör basma sistemleri ile basılmaktadırlar. İnhibitör basma sistemleri kullanılacak inhibitörlerin gerek teknik gerekse ekonomik açıdan değerlendirilmesi için test amaçlı çalışmalar yanında işletme aşamasında sürekli basma amaçlı kullanılabilirler. Çok basit sistemlerden çok detaylı sistemlere kadar değişen uygulamalar bulunmaktadır. İnhibitör basma sistemleri girişim testi sistemlerine benzer şekilde yüzey sistemi, kuyu içi sistemi ve borular olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır. Yüzey sistemi basit olarak kuyu başında bulunan ölçü borusu, boru çapına uygun makara ve sızdırmazlık başlığı, boruları kuyuya indirip çıkarmakta kullanılacak vinç ünitesi, boruların yüzeyde kalacak ucuna bağlanan yüksek basınç vana ve bağlantıları ile inhibitör tankı, pompası, çek valf, debi kalibrasyonu için ölçekli boru, filtreler ve basınç manometresinden oluşmaktadır. Değişik çap ve kalitelere borular kullanılmakta olup genelde eksiz, 4.65 mm dış çaplı içi teflon kaplı-1/4 inç- 3/8 inç- 8 mm. dış çaplı 316 SS, SSL veya incoloy 825 malzemeden yapılmış borular kullanılmaktadır. Kuyu içi sistemi ise boruların ucunda kuyuya indirilen sistemdir. Sistem boru bağlantı elemanı, dağıtıcı, ağırlık ve kılavuzdan oluşmaktadır (Şekil 6). Sistem kuyu içinde belirlenen derinliklere indirilerek; yüzeyden pompa debisi ve/veya inhibitör konsantrasyonları değiştirilebilmektedir. Yüzey sistemlerine kullanım amacına göre ek parçalar ilave edilebilmektedir. Bunlardan bazıları İnhibitör yükleme ve karıştırma pompası, yedek inhibitör karıştırma tankı, darbe söndürücü (pulsation dampener), kontaktörlü basınç manometresi, basınç tahliye vanası (pressure relief valve), debimetre, tank seviye göstergeleri, kaydedicileri ve alarm şeklinde sayılabilir. Değişik tipte (diyaframlı, pistonlu) basınç ve debi kapasitesine sahip pompalar kullanılmaktadır. Pompalar kuyunun debisine, basılacak inhibitörün miktarına, viskozitesine, su karıştırma oranına, boruların çapına ve indirileceği derinliğe bağlı olarak seçilmektedir.

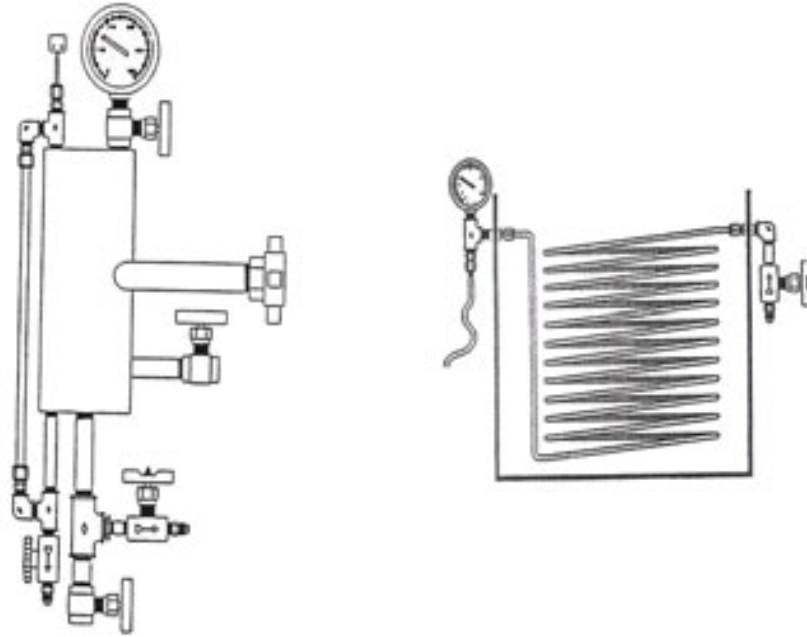




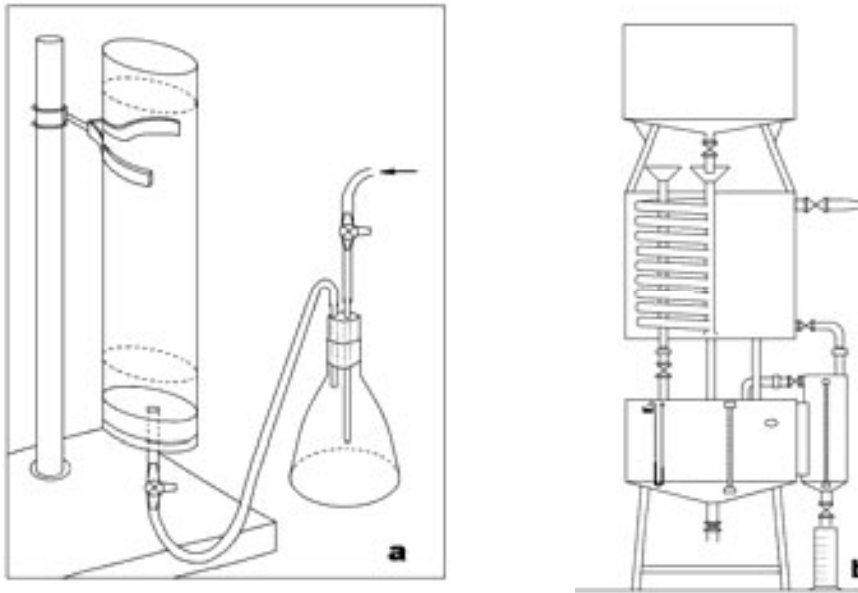
Şekil 6. İnhibitör basma sisteminin şematik görünümü.

## 2.9. Gaz Oranı Ölçüm ve Numune Alma Ekipmanları

Jeotermal kuyulardan üretilen akışkanlar genellikle yoğuşmayan gazlar (non-condensable gas) içerirler. Jeotermal akışkan içerisinde bulunan yoğuşmayan gazların ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4$  gibi) toplam akışkan içerisindeki oranının doğru belirlenmesi rezervuar mühendisliği, kuyu içi akış ve üretim hesaplamaları, kurulacak tesisle ilgili hesaplamalar ve jeokimyasal hesaplamalar açısından büyük önem taşımaktadır. Akışkan içerisindeki yoğuşmayan gaz oranının hesaplanabilmesi için gaz oranı ölçümleri yapılmaktadır. Genel olarak yoğuşmayan gazların %99'a yakın bölümünü  $\text{CO}_2$  gazı oluşturduğundan, gaz oranı hesaplamalarında yoğuşmayan gazların tamamı  $\text{CO}_2$  varsayılır. Yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalardaki gaz oranı ölçümü, buhardaki gaz oranı ölçülerek yapılır. Bunun için öncelikle kuyudan üretilen akışkanın buhar (buhar+gaz) fazının ayrıştırılması gerekir. Gaz oranı ölçümü yapılacak yerde seperatör varsa buhar+gaz, direk seperatör buhar çıkış hattından alınır. Seperatör yoksa kuyudan üretilen akışkan önce bu amaçlar için yapılmış mini seperatörden geçirilir. Ayrıştırılan buhar+gaz daha sonra su soğutmalı yoğuşturucudan geçirilerek buharın yoğuşması sağlanır. Mini seperatör ve yoğuşturucu Şekil 7'de görülmektedir [4]. Buhar+gaz içerisindeki gaz oranı, değişik tipteki gaz ölçüm düzenekleri (gazometreler) kullanılarak hacimsel yöntemle veya özel hazırlanmış cam şişelere doldurularak laboratuarlarda kimyasal yöntemle belirlenir. Hacimsel yöntemin kullanıldığı bir gaz oranı ölçüm düzeneği Şekil 8a'da görülmektedir [5]. Bu düzeneikle belirli zaman diliminde hacmi belirli tüpten geçen gaz ile yoğuşan suyun hacmi ölçülmektedir. Yaygın olarak kullanılan gazometrede ise (Şekil 8b) yoğuşturucu ve gaz ölçüm bölümü beraber imal edilmiştir. Atmosferik koşullarda gazın, hacmi bilinen haznedeki suyu ötelemesi esnasında oluşan yoğuşmuş suyun miktarı ölçülmektedir. Ölçülen gaz ve yoğuşmuş buharın ölçüm koşullarında veya standart koşullardaki hacimleri hesaplanarak gazın, buhar+gaz içindeki oranları saptanmaktadır.



**Şekil 7.** Mini seperatör (solda) ve yoğuşturucunun (sağda) şematik görünümü [4].



**Şekil 8.** Gaz oranı ölçümünde kullanılan düzeneklerin şematik görünümü.

Kimyasal analizler için yüzey hatlarının değişik yerlerinden numuneler alınabildiği gibi kuyu içinden istenilen derinlikten numune almak mümkündür. Kuyu içinden numune almak için özel yapılmış kuyu içi numune alıcılar (down hole samplers) kullanılmaktadır. Numune alımında numune alıcı ile özel mekanik saat beraber kullanılmaktadır. Belirli süreye ayarlanan saat, zamanı gelince akışkan giriş vanasını açmakta ve akışkan hazneye dolduktan sonra kapatmaktadır. Ölçü telinin ucunda belirlenen derinliğe indirilerek alınan numune, yüzeyde transfer aparatları ile özel numune kaplarına aktarılmaktadır. Kuyu içi numune alıcılar nadiren kullanılmaktadır.

Yüzey hatlarının değişik yerlerinden su, buhar ve gaz analizleri için numuneler alınmaktadır. Savaktan alınan su numunesi yanında, seperatörden ayrılan suyun yoğunlaştırucudan geçirilerek yoğunlaştırılması sonucu elde edilen sudan da su numunesi alınmaktadır. Buhar numunesi, seperatörden ayrılan buhar yoğunlaştırularak alınmaktadır. Gaz numunesi ise seperatörden ayrılan ve yoğunlaştırucuda yoğunlaşmayan gazlardan alınmaktadır. Ayrıca özel amaçlar için değişik basınç ve sıcaklık koşullarında da numuneler alınabilmektedir.

## 2.10. Kuyu İçi Çap Belirleme Ekipmanları (Go Devil- Caliper)

Kuyuların üretim borusu çapında olan azalmaların belirlenmesi amacı ile kullanılırlar. Genellikle kabuklaşma olan kuyularda kabuk kalınlığının ve derinliğinin belirlenmesinde kullanılmaktadırlar. Bu amaçlar için hazırlanmış değişik çaplardaki kısa boru parçaları (go devil) ölçü teli ucunda kuyuya indirilerek çapların değiştiği derinlikler kabaca belirlenir. Bu sistemle kuyudaki en dar çaplı kısmın altındaki çap değişimleri belirlenememektedir. Kuyu koşullarının uygun olması durumunda çap değişimlerinin derinliğe karşı sürekli kaydedildiği kaliper (caliper) log uygulamaları da yapılmaktadır.

## 2.11. İzleyici Testi (Tracer Test) Ekipmanları

Enjeksiyon testlerinde ve çalışmalarında rezervuar parametrelerinin saptanması amacı ile izleyici testleri (tracer tests) yapılmaktadır. İzleyici testinde genel olarak tekrarbasma kuyularından akışkanla birlikte basılan izleme maddelerinin üretim kuyuları ve varsa doğal çıkışlardan geliş miktarları sürekli olarak izlenir. İzleme maddeleri kimyasal, radyoaktif ve floresan izleme maddeleri olmak üzere üç ana grupta toplanmaktadır. Floresan izleme maddeleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Variş noktasındaki akışkan içindeki floresan izleme maddelerinin konsantrasyonu fluoremetre (fluorometer) ile yapılmaktadır. Arazi tipi ve laboratuvar tipi fluoremetre olmak üzere iki tipe imal edilmektedirler.

## 2.12. Manometreler, Termometreler, Barometre, Kronometre

Kuyu başı basıncı, yatay üretim borusu basıncı, orifist basınçları, seperatör basıncı, yoğunlaştırucu çıkış basıncı ve uç basıncı ölçmekte kullanılan, değişik ölçme aralık ve hassasiyetlerine sahip gliserinli, şoklara dayanıklı manometreler kullanılmaktadır. Ölçüm aralıkları ölçülecek basıncın değişim aralığına uygun olarak seçilmelidir. Ölçümlerin sağlıklı yapılabilmesi için manometreler ile ölçüm yapılacak hattın arasına üç yollu vana, titreşim kesici ve sifon bağlanmalıdır. Orifist öncesi ve sonrası basınçlar yerine iki basıncın farkını ölçen basınç ölçerler de kullanılmakta olup civalı tiplerinin yanında kart üzerine sürekli analog kayıt yapan tipleri de vardır.

Yüzey donanımlarındaki sıcaklık ölçümleri yatay üretim borusunda, seperatörde, yoğunlaştırucuda, savakta ve gazometrede yapılmaktadır. Civalı, kadranlı ve elektronik tipleri kullanılmaktadır. Ölçümün hassasiyeti için ölçüm aralıkları ölçülecek sıcaklığın değişim aralığına uygun olarak seçilmelidir.

Testler sırasındaki hava basıncını ölçmekte hassas barometreler kullanılmaktadır. Gaz oranı ölçümlerinde kronometreler kullanılmaktadır.

### 3. JEOTERMAL KUYULARDA YAPILAN TESTLER VE ÖLÇÜMLER

#### 3.1. Sıcaklık Ölçümleri

Sıcaklık jeotermal kuyularda en önemli parametrelerdendir. Sıcaklık ölçüleri sondaj esnasında alınmaya başlanır ve işletme aşamasında da belirli aralıklarla alınmaya devam edilir. Sondaj esnasında alınan sıcaklık ölçüleri sondaj ile ilgili kararların alınmasında kullanıldığı gibi daha sonraki değerlendirmelerde de kullanılır. Kuyu tamamlandıktan sonraki değişik aşamalarda kuyu kapalı durumda iken statik sıcaklık, kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik sıcaklık ölçüleri alınır.

##### 3.1.1. Statik Sıcaklık Ölçümleri

Kuyudan üretim yapılmadan veya kuyuya akışkan basılmadan, kuyu kapalı iken statik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi sıcaklık profilini belirlemek amacı ile yapılabildiği gibi belirli bir derinlikteki sıcaklık değişimini gözlemek amacı ile yapılabilir.

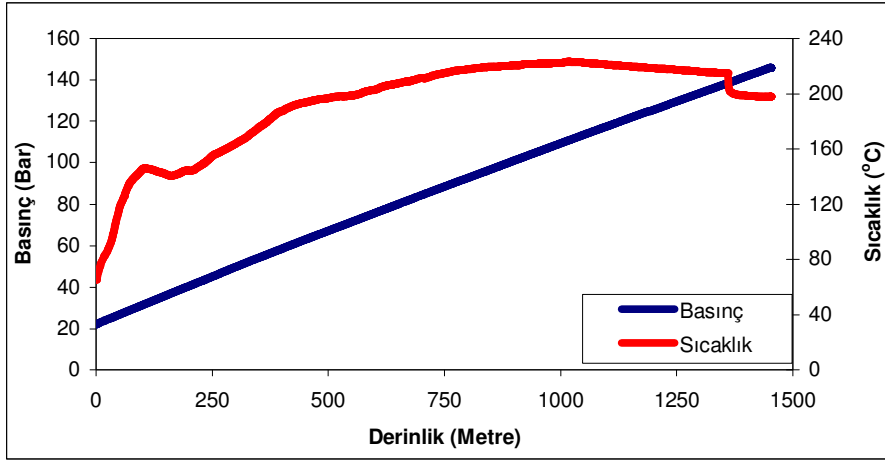
Sondaj esnasında geçilen formasyonların sıcaklık değerleri hakkında bilgiler elde etmek amacı ile statik sıcaklık ölçüleri alınmaktadır. Ara muhafaza borusunun indirileceği derinliğin belirlenmesinde, muhafaza borusu arkasına alınacak seviyeler hakkında bilgi edinilmesinde, kuyuya devam edilip edilmeyeceğine karar verilmesinde sondaj esnasında alınan sıcaklık ölçüleri kullanılmaktadır. Ayrıca farklı sıcaklıklı rezervuar seviyelerinin geçilmesi durumunda seviyelerin sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çünkü daha sonraki aşamalarda seviyeler arası akış olması durumunda seviyelerin gerçek sıcaklıklarının belirlenmesi zorlaşmaktadır. Bu veriler kuyu programlarının yapılması, diğer ölçülerin değerlendirilmesi ve rezervuar değerlendirmeleri gibi daha sonraki değişik aşamalarda da kullanılmaktadır. Sondaj çalışmalarına herhangi bir nedenle ara verilmesi sıcaklık ölçümleri için iyi bir fırsat oluşturmaktadır.

Ölçümlerden elde edilen geçici sıcaklık verilerinden gerçek formasyon sıcaklıklarının saptanmasında, kararsız basınç testlerindeki benzer şekilde Horner sıcaklık yükselme tekniğini kullanmak yöntemlerden biridir. Analiz tekniğinde kondüktif ısı akış modeli kullanıldığından önemli sirkülasyon kaçaklarının olduğu bölümde gerçek formasyon sıcaklıklarının saptanması için kullanılmamalıdır. Kuyu dibinde kaçaklar oluşmuşsa ölçüm, kaçağın başladığı noktadan yeteri kadar uzaklaşarak rezervuardan olacak konvektif ısı akışları ihmal edilebilecek seviyeye getirilmelidir. Değişik rezervuar seviyeleri arasında kuyu içi akış varsa değerler bozulacağından analiz tekniği kullanılmamalıdır [6].

Sondajın tamamlanmasından sonra kuyuda sondaj akışkanı varken ve üretime açılmadan genelde sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Üretim ile kuyu içerisine girecek akışkan diğer seviyelerin orijinal değerlerini bozacağından bozulmamış sıcaklıkların alınması açısından önemlidir. Bekleme zamanı ne kadar uzun olursa gerçek sıcaklık değerlerine o oranda yaklaşılır. Ancak sondaj ünitesini lokasyonda uzun süre tutmanın getireceği maliyetler yanında, sondaj esnasında kesilen kırıntıların ve çamurun uzun sürede rezervuarda yaratacağı hasarlardan kaçınma ve kuyuyu biran evvel devreye alma gibi düşüncelerle genellikle uzun süre beklenmez.

Kuyu tamamlama testleri kapsamında yapılan su kaybı ve enjeksiyon testleri esnasında kuyu soğutulduğundan, kuyunun ısınma periyodunda belirli aralıklarla statik sıcaklık ölçümleri alınır. Ölçülerle kuyunun daha hızlı ısınan seviyeleri göreceli olarak belirlenir ve diğer sıcaklık ölçülerinin yorumlanmasında kullanılırlar [7].

Kuyuların uzun süreli kapalı kalmaları durumunda kuyu içinde çok belirgin ve sürekli bir kuyu içi akış yoksa kuyu içi sıcaklıklar uzun sürede dengeleneceğinden formasyon sıcaklıkları ve gradyan değişimleri hakkında bilgiler elde edilir. Uzun süreli üretimlerden sonra alınan sıcaklık ölçüleri olası değişikliklerin değerlendirilmesinde ve diğer ölçülerin yorumlanmasında kullanılır (Şekil 9).

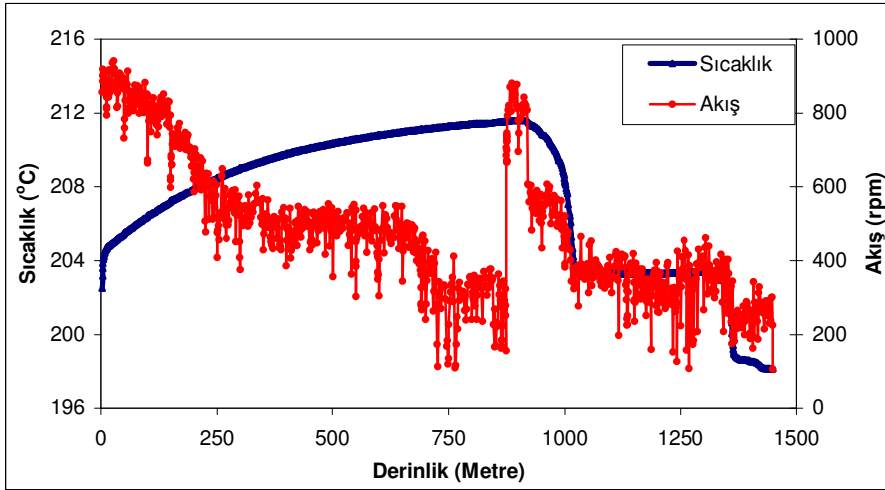


Şekil 9. Statik ölçüde basınç ve sıcaklığın derinlikle değişimi

### 3.1.2. Dinamik Sıcaklık Ölçümleri

Kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi sıcaklık profilini belirlemek amacı ile yapılır.

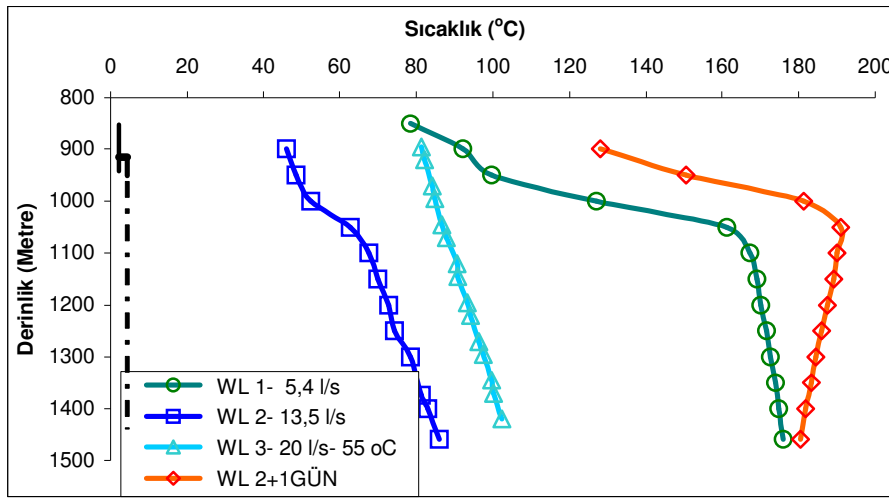
Üretim halinde ölçü alınırken üretim debisi sabit ve test aleti kuyuya rahatlıkla indirilip çıkartılabilecek seviyede olmalıdır. Üretim halinde alınan dinamik sıcaklık ölçümlerinden elde edilen kuyu içi sıcaklık profillerinden, farklı sıcaklıklara sahip rezervuar seviyelerinin olup olmadığı, varsa farklı seviyelerin sıcaklık veya kuyu içi karışım sıcaklıkları, kuyu içi faz değişimleri ve derinlikleri saptanmaktadır (Şekil 10). Belirli zaman aralıklarında alınan farklı dinamik profillerin karşılaştırılması sonucu ise üretimle rezervuar sıcaklıklarındaki değişimleri belirlemek mümkündür. Özellikle tekrarbasma uygulamalarının yapıldığı durumlarda ölçümler sıklaştırılmaktadır.



Şekil 10. Dinamik ölçüde akış ve sıcaklığın derinlikle değişimi

### 3.1.3. Su Kaybı (Water Loss) Testi

Su kaybı (water -loss) testi kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda yapılan ölçümlerdendir. Sondaj çalışmalarının bitiminde yapılan su kaybı testinde kuyu içi sondaj çamuru ve kırıntılardan arındırılmış olmalıdır. Bu amaçla sondaj çalışmalarının bitirilmesinden sonra ilk olarak kuyudaki çamur temiz su ile değiştirilerek kuyu yıkanır. Kuyu yavaş yavaş üretime açılarak ısınması sağlandıktan sonra kuyunun kendisini temizlemesi sağlanır. Daha sonraki aşamada belirli bir program çerçevesinde kuyu tamamlama testlerine geçilir. Kuyu tamamlama testleri kapsamında öncelikle su kaybı testi yapılmaktadır. Su kaybı testinde sabit debide kuyuya soğuk su basılırken alınan sıcaklık ve/veya akış profillerinden, suyun rezervuara gittiği veya rezervuardan kuyuya akışın olduğu seviyeler belirlenir. Kuyuda birden fazla üretim seviyesi olması ve pompa debisinin düşük kalması durumunda bazı seviyeler aktif hale geçmeyebilir [8]. Bu durumlarda değişik debilerde birden fazla su kaybı testi yapmak gerekebilir (Şekil 11). Su kaybı testleri ile belirlenen seviye, diğer testler ile beraber değerlendirilerek kararsız basınç testlerinde bekleme seviyesi olarak ve asitleme gibi operasyonlarda asit basma seviyesi olarak kullanılmaktadır.



Şekil 11. Su kaybı testinde sıcaklığın derinlikle değişimi

## 3.2. Basınç Ölçümleri

Jeotermal kuyularda önemli parametrelerden birisi de basınçtır. Basınç ölçümleri de sondaj esnasında alınmaya başlanır ve işletme aşamasında da belirli aralıklarla alınmaya devam edilir. Kuyu kapalı iken statik durumda, kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda ve bu ikisinin beraber uygulandığı durumlarda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi basınç profilini belirlemek amacı ile yapıldığı gibi belirli bir derinlikteki basınç değişimini gözlemek amacı ile de yapılmaktadır.

### 3.2.1. Statik Basınç Ölçümleri

Kuyudan üretim yapılmadan veya kuyuya akışkan basılmadan kuyu kapalı iken statik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi basınç profilini belirlemek amacı ile yapılabildiği gibi belirli bir derinlikteki basınç değişimini gözlemek amacı ile yapılabilir.

Sondaj esnasında oluşacak herhangi bir kaçak veya geliş, gerçek formasyon basıncını ölçmek için uygun bir ortam oluşturur. Çamur kaçağı veya akışkan gelişi kuyu ile rezervuar arasında bir bağlantı kurulduğunun göstergesidir. Kaçağın veya gelişin olduğu derinlik biliniyorsa, sirkülasyon kesilerek kuyudaki çamur yoğunluğu, kuyudaki çamurun statik seviyesi veya kuyu başı basıncı değerlerinden formasyon basıncı hesaplanabilir. Ancak kuyudaki akışkanın yoğunluğu tam olarak belirlenemediğinden rezervuar basıncı belirli bir hata payı ile bulunabilir.

Kuyudaki kaçak seviyesinden alınacak basınç ölçümü ile gerçek rezervuar basıncı saptanabilir. Basınç ölçümü kaçak oluşumundan hemen sonra tijlerin içinden yapılabilir.

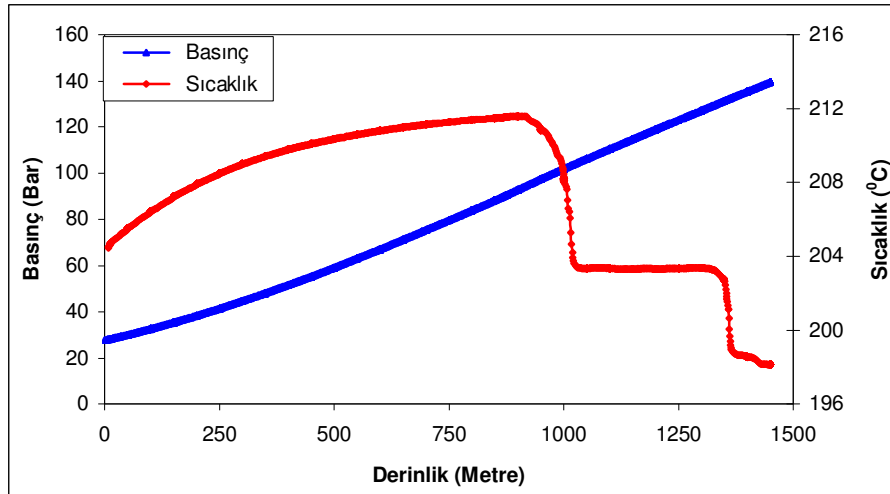
Kuyu tamamlama testleri kapsamında kuyunun ısınma periyodunda belirli aralıklarla statik basınç ölçümleri alınır. Isınma sürecinde kuyu içerisindeki akışkanın yoğunluğu ve basınç gradyeni değişeceğinden, bu süreçte alınan basınç ölçümlerinin beraber değerlendirilmesi sonucu kararsız basınç testlerinin yapılacağı derinlik saptanır.

Kuyularda belirli aralıklarla alınan statik basınç ölçümlerinden elde edilen ortalama rezervuar basınçları, kuyudaki ortalama rezervuar basıncının zamanla değişimini belirlemede kullanılır. Tüm kuyuların ortalama rezervuar basınçlarında oluşan değişimler beraber değerlendirilerek saha ile ilgili alınacak kararlarda kullanılır.

### 3.2.2. Dinamik Basınç Ölçümleri

Kuyudan üretim yapılırken veya kuyuya akışkan basılırken dinamik durumda yapılan ölçümlerdir. Kuyu içi basınç profilini belirlemek amacı ile yapılır.

Üretim halinde ölçü alınırken üretim debisi, sabit ve test aleti kuyuya rahatlıkla indirilip çıkartılabilecek seviyede olmalıdır. Üretim halinde alınan dinamik basınç ölçümlerinden elde edilen kuyu içi basınç profillerinden kuyu içi faz değişimleri ve derinlikleri saptanmaktadır (Şekil 12). Belirli zaman aralıklarında alınan farklı dinamik profillerin karşılaştırılması sonucu, ortalama kuyu içi akış basıncı ile kuyu içi faz değişimleri ve derinliklerinde oluşabilecek değişimleri belirlemek mümkündür. Dinamik basınç ölçümleri inhibitör basma derinliğinin belirlenmesi açısından önemli olup dinamik sıcaklık ve gaz oranı değerleri ile birlikte yorumlanırlar.



Şekil 12. Dinamik ölçüde basınç ve sıcaklığın derinlikle değişimi

### 3.2.3. Kararsız Basınç Testleri (Pressure Transient Tests)

Kararsız basınç testlerinde (pressure transient tests) kuyu debisinde yapılan değişikliğe karşılık rezervuarın tepkisi olarak kuyu dibi basıncında meydana gelen değişim kaydedilir. Testler esnasında basınç aleti debi değişimine başlanılmadan ana geçirgen seviyenin karşısına indirilir ve stabil bir basınç değeri elde edilecek kadar kısa beklemeden sonra debi değişimi yapılır. Tek kuyulu kararsız basınç testlerinde debi değişiminin olduğu kuyuda basınç değişimi ölçülürken, çok kuyulu kararsız basınç testlerinde basınç değişimi farklı kuyularda ölçülmektedir.

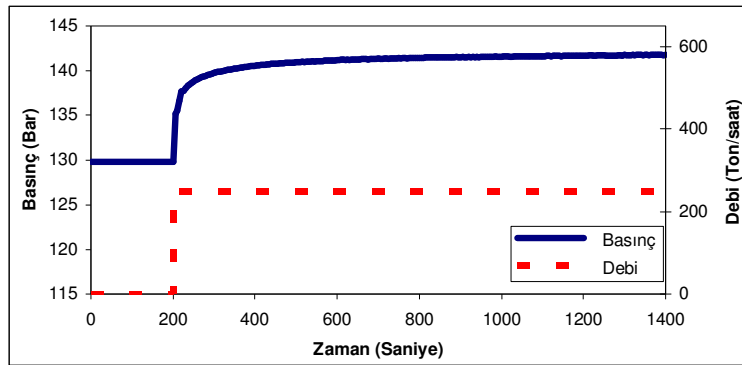
Tek kuyulu testlerde statik durumdaki bir kuyudan sabit debide üretim yapılmaya (basınç azalım) veya kuyuya akışkan basmaya (enjeksiyon) başlayınca kuyu dibi basıncında zamana bağlı değişim veya sabit debide üretim yapan kuyuda üretimin durdurulması (basınç yükselim) veya sabit debide akışkan basılan kuyuda akışkan basmanın durdurulması (basınç düşüm) ile kuyu dibi basıncındaki zamana bağlı değişim kaydedilir. Test süresince ideal olarak debinin sabit olması istenir. Debinin belirli zaman aralıklarında sabit olmak koşulu ile değiştirildiği çok debili testler yapılabilmektedir.

Çok kuyulu testlerden olan girişim testinde ise üretim veya enjeksiyonun yapıldığı aktif kuyu veya kuyular ile basınç değişiminin izlendiği gözlem kuyu veya kuyuları beraber kullanılır. Kararsız basınç testlerinden elde edilen veriler sayısal ve grafiksel olarak analiz edilir. Öncelikle tip eğriler ve basınç türev eğrileri ile uygun rezervuar modeli belirlenir. Daha sonra belirlenen model ile ilgili parametreler saptanır. Bunun için Horner, MDH gibi grafiksel doğru analiz yöntemleri, eğri abakları ile manuel eğri çakıştırma yöntemleri, bilgisayar destekli modern eğri analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Son aşamada da bulunan sonuçların değerlendirilmesi ve uyumluluğu yorumlanmaktadır [9,10].

Kararsız basınç testlerinden kuyu dibi akış basıncı, ortalama rezervuar basıncı, verimlilik/ üretilirlik/ prodüktivite indeksi ve enjektivite indeksi gibi kuyu performansı ile ilgili bilgiler, kuyu cidarı koşullarını belirleyen mekanik zar faktörü gibi parametreler, geçirgenlik, porozite, toplam sıkıştırılabilirlik gibi rezervuar parametrelerinin yanında rezervuarın yapısı (homojen, çatlaklı, tabakalı vs) ve rezervuar sınırının uzaklığı, şekli, durumu gibi birçok bilgi elde etmek mümkündür. Elde edilen bilgiler kuyu ve rezervuar ile ilgili kararların alınmasında, ileriye yönelik performans tahminleri ve modelleme çalışmalarında kullanılır. Rezervuarın dinamik yapısı gereği işletme sürecinde de bu testler belirli aralıklarla yapılır ve böylece daha önceki verilerle karşılaştırma ve güncelleme olanağı sağlanır.

### 3.2.3.1. Enjeksiyon Testi (Injection Test)

Kuyuya sabit debide su basılması sırasında kuyu içinde oluşan basınç değişiminin değerlendirildiği testtir (Şekil 13). Debinin belirli zaman aralıklarında sabit olmak koşulu ile değiştirildiği (genelde her adımda belirli oranda artan) çok debili testler de yapılmaktadır. Basılacak suyun temini ve kuyu başında depolanması ile su basmakta kullanılacak pompanın debi ve basınç kapasitesi testin süresini ve enjeksiyon debisini belirleyen önemli faktörlerdir. Genel olarak kuyu tamamlama testleri kapsamında su kaybı testinden sonra yapıldıklarından, testte; çamur pompaları ve tankları kullanılır. Enjeksiyon sırasında basılan su temiz, debiler sabit ve işlem kesintisiz yürütülecek şekilde organize edilmelidir. Basma ve tekrarbasma kuyularında enjeksiyon çalışmalarına başlarken test için uygun ortam olduğundan enjeksiyon testi yapılmaktadır. Test esnasında kuyu içi basınç bilgileri ile beraber veya bu bilgilerin alınmadığı durumlarda kuyu başı basınçları veya su seviyesi bilgileri de toplanmalı ve değerlendirilmelidir. Bu testte basınç aleti su basılmaya başlanılmadan ana geçirgen seviyenin karşısına indirilir ve kısa beklemeden sonra su basılmaya başlanılır. Su basma sırasında kaydedilen basınç değerleri uygun tekniklerle yorumlanarak rezervuar parametreleri hesaplanır. Üretim kuyularında çok kullanılmasa da tekrarbasma kuyularının tasarım ve işletilmesinde esas parametrelerden biri olan enjektivite indeksi bu test ile belirlenmektedir.

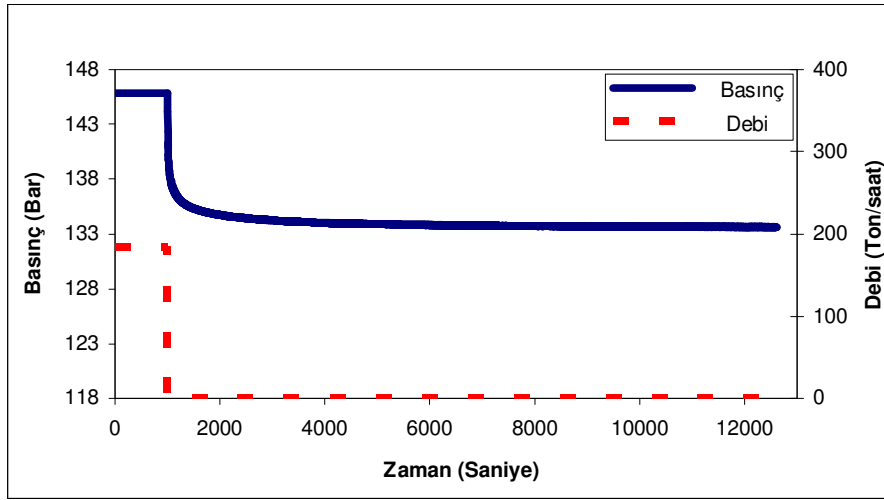


Şekil 13. Enjeksiyon testinde basıncın ve debinin zamanla değişimi



### 3.2.3.2. Basınç Düşüm Testi (Fall-off Test)

Kuyuya yapılan sabit debideki enjeksiyonun durdurulması ile kuyu içinde oluşan basınç değişiminin değerlendirildiği testtir (Şekil 14). Enjeksiyon testi sonunda ve basma/ tekrarbasma kuyularında enjeksiyon çalışmalarına herhangi bir nedenle ara verilmesi esnasında yapılır. Enjeksiyon testi süresince debiyi sabit tutmaktaki güçlükler ve debideki küçük değişimlerin kuyu dibi basıncını etkilemesi sonucu enjeksiyon testi yerine devamında yapılan basınç düşüm testini değerlendirmek daha uygun olabilmektedir. Bu testte basınç aleti su basılırken ana geçirgen seviyenin karşısına indirilir ve kısa beklemeden sonra su basma işlemi sonlandırılır. Enjeksiyon sırasında rezervuarda oluşan basınç yükseliminin enjeksiyonun kesilmesinden sonraki düşüşü kaydedilir. Bu bekleme esnasında kaydedilen basınç değerleri uygun tekniklerle yorumlanarak rezervuar parametreleri belirlenir.



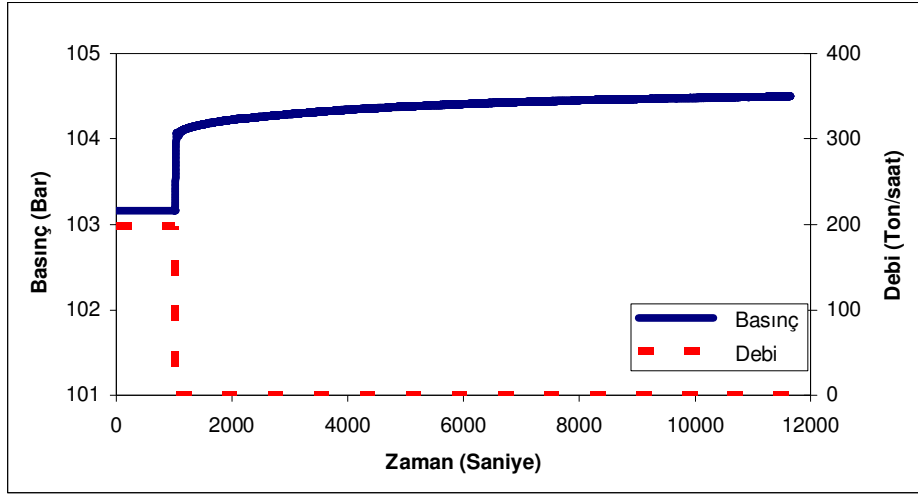
Şekil 14. Basınç düşüm testinde basıncın ve debinin zamanla değişimi

### 3.2.3.3. Basınç Azalım Testi (Pressure Draw-Down Test)

Kuyunun üretime geçirilmesi ile kuyu dibinde oluşan basınç düşmesinin değerlendirildiği testtir. Bu testte kuyu kapalı iken basınç aleti yüksek geçirgenlikli seviyenin karşısına gelecek şekilde indirilir ve kısa beklemeden sonra kuyu sabit debide üretime açılır. Bu şekilde üretimden dolayı oluşan basınç düşümü kaydedilir. Kuyunun ısıtılmadan aniden açılmasının fazla tercih edilmemesinin yanında debiyi ısınma sürecinde sabit tutmaktaki güçlükler nedeni ile uygulamada fazla tercih edilmeyen testlerdendir. Bu dezavantajları gidermek amacı ile önce kuyunun düşük debide üretime açıldığı ve kademeli olarak üretimin artırıldığı çok debili testler yapılabilmektedir. Bu şekilde kuyu içi akış performans ilişkisini belirlemek mümkün olabilmektedir. Bu basınç düşüm değerleri uygun tekniklerle yorumlanarak rezervuar parametreleri belirlenir.

### 3.2.3.4. Basınç Yükselim Testi (Pressure Build-Up Test)

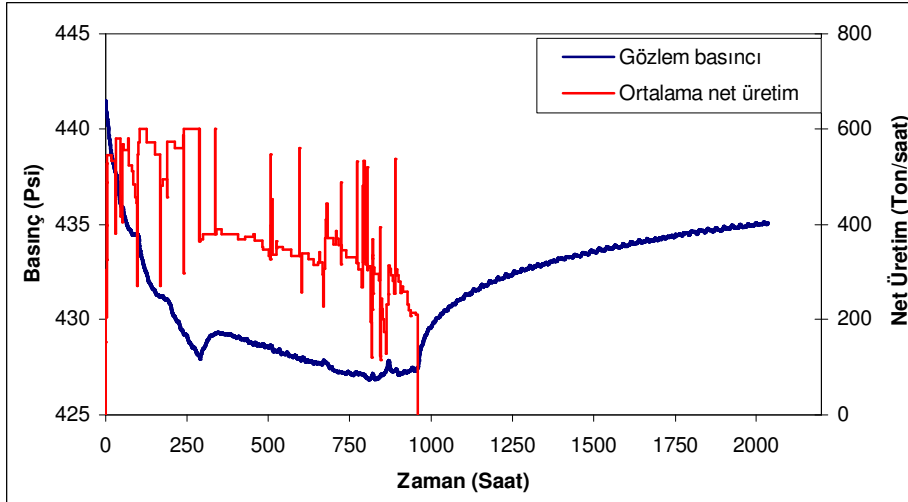
Basınç azalım testinin tersine sabit debide üretim yapan kuyunun üretiminin durdurularak kuyu dibinde oluşan basınç yükselmesinin değerlendirildiği testtir (Şekil 15). Bu testte de benzer şekilde kuyu üretim yaparken basınç aleti yüksek geçirgenlikli seviyenin karşısına gelecek şekilde indirilir ve kısa beklemeden sonra kuyu kapatılır. Kapatma sonucu oluşan basınç yükselimi kaydedilir. Ölçülen basınç değerleri uygun tekniklerle yorumlanarak rezervuar parametreleri belirlenir. Ayrıca kuyunun verimlilik indeksi (PI, productivity index) değeri de bulunabilir.



Şekil 15. Basınç yükselme testinde basınç ve debinin zamanla değişimi

### 3.2.3.5. Girişim Testi (Interference Test)

Girişim testi çok kuyulu testlerden olup, bu testte üretim veya enjeksiyonun yapıldığı aktif kuyu veya kuyular ile basınç değişiminin izlendiği gözlem kuyu veya kuyuları beraber kullanılır. Üretimin ve/veya enjeksiyonun gözlem kuyularındaki tepkileri kaydedilir (Şekil 16). Kuyular arası etkileşimin belirlenmesi, tek kuyu testleri ile elde edilen kuyu civarı rezervuar parametreleri yerine rezervuarın daha geniş bölgelerine ait parametrelerin bulunması, rezervuar heterojenliklerinin saptanması ve yapılacak modelleme çalışmalarına temel oluşturacak verilerin saptanması amacı ile girişim testleri yapılmaktadır. Genellikle uzun dönemli testler kapsamında yapılırlar. Sahanın işletilmesi aşamasında saha gözlem planlarına uygun olarak gözlem kuyularında sürekli ölçümler alınarak yapılan testlerdendir.



Şekil 16. Girişim testinde gözlem basıncı ve debinin zamanla değişimi

### 3.3. Üretim Testleri

Kuyudan yapılabilecek maksimum ve optimum üretim debilerinin saptanması, değişik kuyu başı ve/veya kuyu dibi basınçlarındaki debilerin ve entalpinin belirlenmesi, maksimum üretim basıncının saptanması gibi amaçlarla üretim testleri yapılmaktadır. Kararsız basınç testleri ile dinamik basınç ve sıcaklık ölçümlerinde üretim testleri dolaylı olarak yapılmakta olup, testler sonunda elde edilen debi değerleri diğer testlerin değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında kullanılmaktadır.

Kuyuların üretim özelliklerinin ve performanslarının saptanması için yapılan üretim testleri, zaman açısından kısa ve uzun süreli üretim testleri olarak iki ayrı gruba ayrılabilir. En fazla birkaç gün süren kısa süreli üretim testlerinde farklı kuyu başı basınçlarına karşılık gelen üretim değerleri belirlenmesine karşılık daha uzun süreli, aylarca sürebilen uzun süreli üretim testlerinde, kuyu başı basıncı veya debi sabit tutularak, debi veya kuyu başı basınçlarındaki değişim saptanmaktadır. Kısa süreli üretim testlerinde kuyu içinde oluşabilecek kabuklaşmayı önleyici tedbirler genellikle alınmazken, uzun süreli üretim testlerinde kabuklaşmayı önleyici inhibitör basma düzenekleri ile çalışılır. Üretim testlerinde kuyunun açılması ve kapatılması kademeli olarak yapılır ve her kademede üretimin ve basıncın kararlı ve stabil olması beklenir. Bu süre su baskın yüksek geçirgenlikli jeotermal sahalarda kısa iken, buhar baskın jeotermal sahalarda daha uzun sürebilmektedir.

Jeotermal akışkan içerisindeki yoğuşmayan gaz içeriği yüksekse, hesaplanan entalpi ve debi değerleri gerçek değerlerden oldukça yüksek çıkmaktadır [2,11]. Ülkemizdeki jeotermal sahalarda yoğuşmayan gaz içeriği değerleri genelde yüksek olduğundan uç boru yöntemi ile hesaplamalar yapılırken gaz oranına göre düzeltmeler yapılmalıdır.

Üretim testlerinde çok basit ölçme donanımlarının yanında kapsamlı donanımlar da kullanılabilir. Basit sistemlerde ölçümlerdeki hata payı daha yüksek iken kapsamlı sistemlerde hata payı azalmaktadır. Genellikle ölçümlerde uç boru, orifist, seperatör, savak ve susturucudan oluşan değişik kombinasyonlar kullanılmaktadır.

#### 3.3.1. Uç Basınç (Lip Pressure) Yöntemi ile Üretim Testi

Russel James [12] tarafından deneysel olarak geliştirilmiş çok yönlü kullanılabilen basit bir yöntemdir. Seperatör metodu kadar doğru sonuçlar vermemesine karşın çok az donanım ve ekipmanla kolay yapılabilmesinden dolayı tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Uç boru çapı, akışı engellemeyecek kadar geniş ve uç basınç okunabilecek kadar dar seçilmelidir. Bu da kuyunun üretimine ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.

Sondaj çalışmalarının tamamlanmasından sonra kuyu tamamlama testlerine başlanmadan kuyunun ilk üretim testi genellikle bu yöntemle yapılır. Üretim esnasında kuyuda bulunan çamur ve kırıntılar atılarak aynı zamanda kuyunun kendini temizlemesi sağlanır. Çevre koşullarının uygun olması durumunda dikey veya dikeye yakın olarak üretim yapılır. Bu durumda uç boru direk ana vanaya bağlanır. Çevre koşullarının uygun olmadığı durumlarda ise uç boru kuyu başına bağlanan T- borunun bir ucuna bağlanarak yatay üretim yapılır. Şartlara göre yatay üretimde uç boru atmosferik seperatöre yönlendirilerek akışkanın kontrollü şekilde uzaklaştırılması sağlanır. Saha çalışmalarında çoğunlukla kullanılan birimlerle toplam akışkan debisini hesaplamakta eşitlik (2) kullanılmaktadır. Bu yöntemde uç boru iç çapı ve uç basıncın mutlak değeri ölçülebildiği halde akışkanın entalpisi ölçülmemekte veya hesaplanmamaktadır. İlk defa üretime açılan kuyularda kuyu dibi sıcaklığına karşılık gelen entalpi değeri kullanılmaktadır. Rezervuarın tek fazlı, sıkıştırılmış su olduğu durumlarda benzer şekilde kuyu dibi sıcaklığına karşılık gelen entalpi değeri alınır. Kızıldere Jeotermal Sahasında kuyuların mekanik olarak temizlenmesinden ve/veya asitlenmesinden sonra hem kuyunun kendini temizlemesi hem de üretim miktarının belirlenmesi için uç basınç yöntemi ile üretim testi yapılmaktadır. Bulunan değerler temizlik ve/veya asitleme öncesi değerlerle ve daha önceki yılların değerleri ile karşılaştırılarak sondaj makinası lokasyonda iken değerlendirme yapılabilmektedir.

$$M_t = 4 * 10^5 * \frac{P_C^{0,96} * d_C^2}{h_o^{1,102}} \quad (\text{ton/ saat}) \quad (2)$$

$M_t$  = Toplam akışkan debisi, (ton/saat)

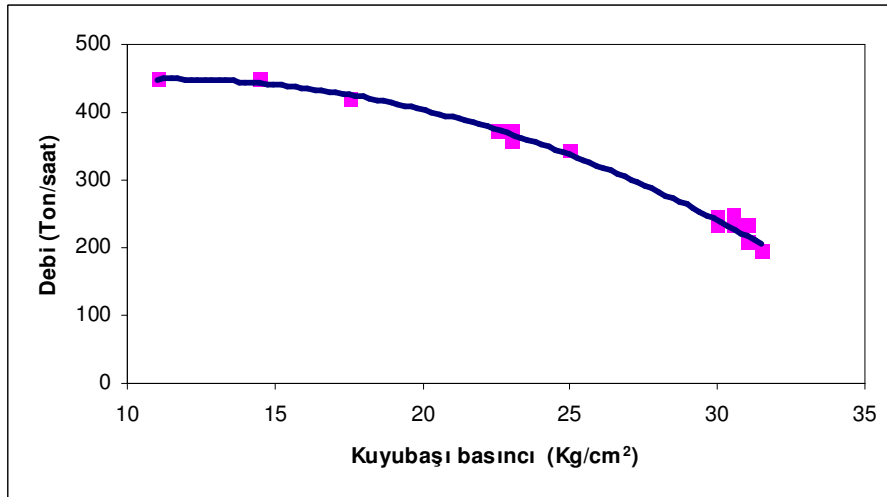
$h_o$  = Akışkanın entalpisi, (kj/kg)

$P_C$  = Ölçülen uç basıncı, (psia)

$d_C$  = Uç boru iç çapı, (metre)

### 3.3.2. Susturucu (Silencer) – Savak Yöntemi ile Üretim Testi

Bu yöntemde susturucuya gelen akışkan atmosferik koşullarda su ve buhar fazlarına ayrılmaktadır. Buhar susturucunun üst kısmından atmosfere atılırken su susturucunun alt kısmına bağlanan savağa yönlendirilir. Savaktan geçen suyun debisi savak formüllerinden hesaplanır. Savakta ölçülen suyun debisine susturucudaki buharlaşma miktarı eklenerek kuyunun toplam üretim miktarı bulunur. Susturucudan ayrılan buhar oranı hesaplanırken, atmosferik koşullardaki suyun ve buharın entalpi değerleri ile kuyudan üretilen akışkanın entalpi değerleri kullanılır. Bu yöntemin kullanılabilmesi için kuyudan üretilen akışkanın entalpi değerinin sabit ve biliniyor olması gerekir. Akışkanın rezervuar koşullarında tek fazlı ve sıkıştırılmış su olarak bulunduğu ve rezervuardan kuyuya tek faz olarak girip kuyu içinde veya yüzey hatlarında iki faza dönüştüğü kuyularda, uzun dönemde kuyu içi ısı kayıpları ihmal edilebileceğinden akışkan entalpisi olarak kuyuya giriş sıcaklığındaki suyun entalpisi kullanılmaktadır. Kuyuya giren akışkan sıcaklığının/ entalpisinin sabit olmadığı durumlarda entalpinin de hesaplanması gerektiğinden bu yöntem kullanılamamaktadır. Kuyudan üretilen akışkanın susturucuya gelmeden seperatörde ayrıştırılıp, seperatör koşullarında ayrıştırılan suyun susturucuya gönderilmesi durumunda da yukarıda belirtilen koşullarda bu yöntem kullanılabilir. Bu durumda susturucudan ayrılan buhar oranı hesaplanırken atmosferik koşullardaki suyun ve buharın entalpi değerleri ile seperatör koşullarındaki suyun entalpi değerleri kullanılır. Seperatördeki buhar oranı hesaplanırken ise seperatör koşullarındaki suyun ve buharın entalpi değerleri ile kuyudan üretilen akışkanın entalpi değerleri kullanılır. Seperatörden ayrıştırılan buhar miktarı, buhar hattı üzerine konulacak orifist ile ayrıca hesaplanabilir. Bu yöntem Kızıldere Jeotermal Santralında kullanılmakta olup kuyuların üretim değerleri sürekli olarak kaydedilmektedir. Üretim testinde değişik kuyu başı basınçlarında debinin değişimi belirlenerek eğrileri çizilir (Şekil 17).



Şekil 17. Üretim testinde debi, kuyubaşı basıncı değişimi

### 3.3.3. Uç Boru, Susturucu (Silencer), Savak Yöntemi ile Üretim Testi

Susturucu- savak yönteminin benzeri olup, bu yöntemden farklı olarak susturucu girişinde uç borunun kullanılmasıdır. Sistemin bu şekilde dizayn edilmesi susturucu- savak yöntemi ile hesaplanan üretime ek olarak uç boru yöntemi ile üretimin hesaplanabilmesinin yanında entalpi değerinin de hesaplanabilmesine olanak sağlamasıdır. İki farklı yöntemle hesaplanan üretim değerleri karşılaştırılabilmektedir. Rezervuarda iki fazlı akışın olduğu kuyularda entalpinin hesaplanabilmesi için kullanılan yöntemlerden birisi de bu yöntemdir. Yukarıda değinildiği gibi akışkanın rezervuar koşullarında tek fazlı ve sıkıştırılmış su olarak bulunduğu kuyularda akışkan entalpisi sabit olarak alınmaktadır. Ancak kuyuya uzun süre soğuk su basılmasından sonra kuyunun üretime açıldığı durumlarda, kuyuda farklı sıcaklıklı üretim seviyelerinin olması ve bu seviyelerin toplam üretime olan katkılarının farklı kuyu başı basınçlarında değişmesi gibi durumlarda kuyu dibi akışkan sıcaklığı sabit olmadığı zaman entalpinin de hesaplanarak kontrol edilmesi gerekebilir. Bu durumlarda bu yöntemle entalpinin de kontrolü mümkün olmaktadır. Susturucu-savak yönteminde atmosferik koşullar için verilen toplam akışkan debisini hesaplamakta kullanılan eşitlik (3) ile uç boru yöntemi ile toplam akışkan debisini hesaplamakta kullanılan eşitlik (2) birleştirilir ve yeniden düzenlenirse eşitlik (4) elde edilmektedir.

$$M_t = M_w * \frac{2257}{2676 - h_o} \quad (\text{ton/ saat}) \quad (3)$$

$$\frac{M_w}{P_c^{0,96} * d_c^2} = 177,23 * \frac{(2276 - h_o)}{h_o^{1,102}} \quad (4)$$

Elde edilen eşitlikte entalpi değeri direk çözülemediğinden, çözüm; deneme yanılma, grafik yöntemi, yaklaşık çözüm veya bilgisayar yöntemi ile bulunmaktadır. Grafik yönteminde çalışılan sahadaki yaklaşık entalpi değerleri için hazırlanan grafikten entalpi değeri bulunur [11]. Entalpi değeri belirli bir hata payı ile basitleştirilmiş bir bağıntı ile de bulunabilmektedir [11]. Ayrıca Newton Raphson yaklaşık kök bulma yöntemini kullanan bilgisayar programı ile entalpi değerini bulmak mümkündür. Bu yöntem Ömerbeyli jeotermal sahasındaki testlerde kullanılmıştır.

### 3.3.4. Orifist - Uç Boru Yöntemi ile Üretim Testi

Bu sistemde yatay boru hattında uç borudan önce orifist kullanılmaktadır. Tek fazlı akışkanların debisini ölçmekte başarı ile kullanılan orifist yöntemi, bu uygulamada iki fazlı akışkanın entalpisini hesaplamakta kullanılmakta olup debi hesabı uç boru yöntemi ile yapılmaktadır [6,12]. Bir önceki uç boru, susturucu, savak sistemine orifist ilave edilerek her iki sistem beraber kullanılabilir. Bu şekilde farklı yöntemlerle bulunan debi ve entalpi değerlerini karşılaştırılabilir olanağı bulunmaktadır. Bu yöntem Ömerbeyli jeotermal sahasının 1980 li yıllarda geliştirilme sürecinde yapılan testlerde kullanılmıştır. Entalpi değeri yine bir önceki bölümde belirtildiği gibi deneme yanılma, grafik yöntemi, yaklaşık çözüm veya bilgisayar yöntemi ile bulunmaktadır. Entalpi hesaplamasında eşitlik (5) kullanılmaktadır [6].

$$h_o^{1,102} = 191464 * \frac{P_c^{0,96}}{Y_{TP}} * \left(\frac{d_c}{d_m}\right)^2 * \sqrt{(1 - \beta^4)} * \sqrt{\frac{(h_o - h_w)^{1,5} * (v_s - v_w) + v_w}{\Phi_{TP}}} \quad (5)$$

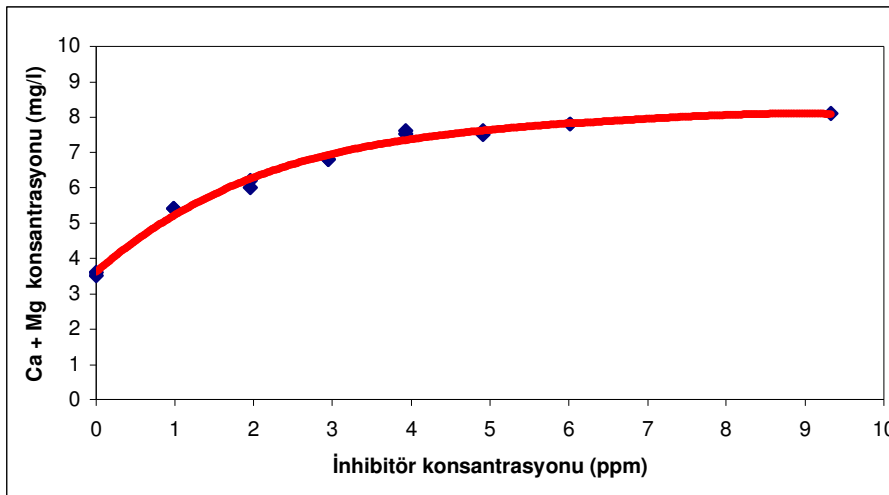
- $P_c$  = Uç basınç, bar  
 $Y_{TP}$  = iki faz genleşme katsayısı  
 $d_c$  = Uç boru iç çapı, metre  
 $d_m$  = Orifist iç çapı, metre

|             |                                 |
|-------------|---------------------------------|
| D           | = Yatay boru iç çapı, metre     |
| $\Phi_{TP}$ | = Orifist basınç düşümü, mm Hg  |
| $\beta$     | = $d_m / D$                     |
| $v_w$       | = Suyun özgül hacmi, $m^3/kg$   |
| $v_s$       | = Buharın özgül hacmi, $m^3/kg$ |
| $h_w$       | = Suyun entalpisi, kJ/kg        |
| L           | = Buhar- su entalpisi, kJ/kg    |

### 3.4. İnhibitör Testi

Kuyularda ve yüzey hatlarında oluşan  $CaCO_3$  çökmesi, su baskın jeotermal sahaların işletilmesinde karşılaşılan önemli problemlerden biridir. Sıvı faz içindeki karbon dioksitin gaz fazına geçmesi ile pH'ın yükselmesi sonucu çökme, kabuklaşma oluşmaktadır. Kabuklaşmanın önlenmesi için pH ve  $CO_2$  kısmi basıncı kontrolü amacıyla asit ve  $CO_2$  enjeksiyonu, kuyu içi pompa kullanma, periyodik olarak kimyasal veya mekanik temizlik yapma, kabuklaşmayı önleyici kimyasal madde (inhibitör) basma gibi yöntemler kullanılmaktadır. Ekonomik ve teknik açıdan yöntemlerin avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte mekanik temizlik ve inhibitör basma yöntemleri genellikle kullanılan yöntemlerdir. Bu iki yöntemin seçiminde mekanik temizliğin yapılma sıklığı ve maliyeti ile inhibitörün etkinliği, uygulamadaki başarısı ve maliyeti değerlendirilmektedir.

Uzun dönemli testler kapsamında genellikle inhibitör testleri de yapılmakta olup inhibitörler kuyu içinden inhibitör basma sistemleri ile basılmaktadırlar. Testler esnasında bir veya daha fazla inhibitör kullanılabilir. Testin tasarımında kullanılacak inhibitörün yoğunluğu, viskozitesi, pH'ı, referansları gibi özellikleri önem kazanmaktadır. Test öncesinde  $CO_2$  in gaz fazına geçme derinliğinin altındaki emniyetli bir derinliğe kuyu içi inhibitör basma sisteminin ucunda indirilir. İnhibitör borularının içi inhibitörle doldurulup kuyunun açılması ile teste başlanır. Kuyu debisine, inhibitörün sulandırılma oranına ve inhibitör basma debisine bağlı olarak değişik konsantrasyonlarda basılan inhibitörün kuyudan üretilen akışkan içerisindeki iyon konsantrasyonunda yaptığı değişiklikler belirlenir (Şekil 18). Yapılan değerlendirmeler sonucunda çıkarılabilecek maksimum ve optimum iyon konsantrasyonları ile bunlara karşılık gelen inhibitör konsantrasyonları saptanır. Değişik inhibitörlerin karşılaştırılması ile ekonomik analiz yapılır. Dağıtıcı derinliği değiştirilerek basma derinliğinin kontrolü yapılabilir. Çapı, kalınlığı, ağırlığı ölçülen ve istenildiği zaman yüzey üretim hatlarına takılıp çıkarılabilen değişik tiplerde metal kuponlar inhibitör etkinliğini saptamakta kullanılmaktadırlar.



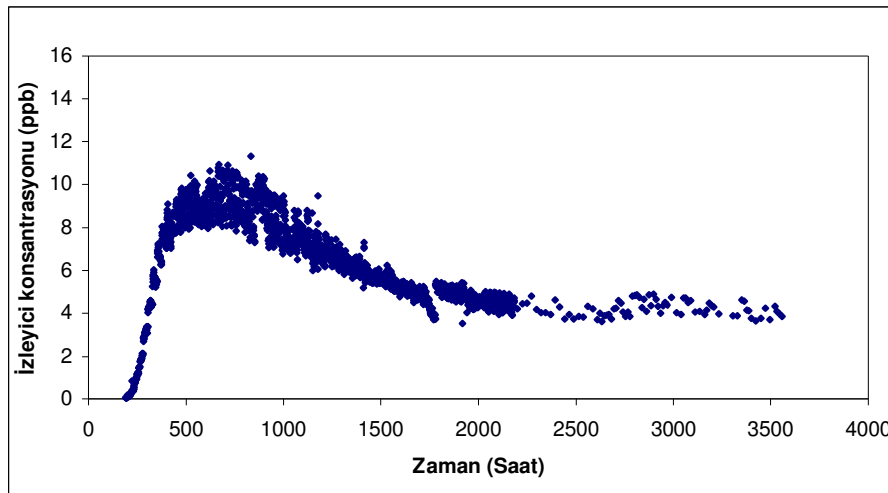
Şekil 18. İnhibitör testinde inhibitör performans eğrisi

### 3.5. İzleyici Testi (Tracer Test)

Rezervuar basıncının korunması, ısıl enerji üretiminin artırılması, sıcak ve kirlenici kimyasal maddeler içeren atık suyun ortadan kaldırılması gibi nedenlerle tekrarbasma işlemleri günümüzde hemen hemen tüm jeotermal sahalarda uygulanmaktadır. tekrarbasma uygulamalarında ne kadar akışkanın nereden basılacağı önem kazanmaktadır. Üretim kuyularında entalpi ve üretim düşüşlerine sebep olan erken sıcaklık düşmelerinin önlenmesi amacı ile tekrarbasma uygulamalarında izleyici testleri yapılmaktadır. İzleyici testleri ısıl cepheye öncü olacak kimyasal cephenin belirlenmesi esasına dayanmaktadır. Testler ile rezervuarın yapısı (homojen, çatlaklı), bu yapının bölgesel olarak dağılımı, akış yönleri ile akış parametreleri belirlenir ve yapılacak modelleme çalışmaları ile üretim kuyularında sıcaklık düşümünün nasıl olacağı yorumlanır.

İzleyici testlerinde kullanılan iz maddeler radyoaktif, kimyasal ve floresan boya (fluorescent dye) olmak üzere 3 ana grupta toplanmaktadır. İz maddelerin seçiminde maddenin yüksek sıcaklıktaki stabilitesi, akışkan ve kayaçla kimyasal etkileşimi, düşük oranlarda ölçümü, jeotermal akışkan içerisindeki miktarı, kullanma miktarı ve fiyatı, çevre ve insan sağlığına etkileri gibi faktörler rol oynamaktadır. Floresan boyalar en yaygın kullanılan iz maddeleri olup çok düşük konsantrasyonları tespit edilebilmektedir. İz madde miktarı fluorometre (fluorometer) ile ölçülmektedir. Kızıldere jeotermal sahasında 30 kg uranın (fluorescent sodyum dye) kullanılmış olup 0,01 ve 0,02 ppb ölçme hassasiyetli fluorometrelerle ölçüm yapılmıştır.

Belirli miktar ve konsantrasyondaki iz maddesi tekrarbasma kuyusundan rezervuara basılır ve arkasından ideal olarak sabit debide enjeksiyona devam edilir. Bu esnada üretim kuyularında iz madde konsantrasyonu ölçülür. Ölçümler ilk zamanlarda, genelde pik konsantrasyona kadar sık aralıkta yapılırken daha sonra zamanla ölçüm sıklığı azaltılır. İz madde konsantrasyon profilinin zamana karşı değişimi elde edilir (Şekil 19).



**Şekil 19.** İzleyici testinde izleyici konsantrasyonunun zamanla değişimi

Profilin şeklinin yanında, ilk varış zamanı, maksimum konsantrasyona erişme zamanı, üretilen iz maddenin sürekli olarak tekrar tekrar basılması durumunda uzun dönem dengelenmiş konsantrasyonu ve toplam iz madde kazanım miktarları da önemli olup değerlendirmelerde kullanılmaktadır.

Çok kuyulu izleyici testleri yanında iz maddenin belirli süre ötelendikten sonra aynı kuyudan geri üretildiği tek kuyulu izleyici testleri de yapılmaktadır. Yapay iz maddeleri yanında basılan akışkanın içinde var olan klor gibi uygun maddeler de doğal iz maddeleri olarak kullanılmaktadır.

## SONUÇ

Jeotermal enerji kaynağına uygun sürdürülebilir jeotermal santral projelerinin planlanması oldukça önemlidir. Sahanın optimum ve verimli işletilmesi için kaynakla ilgili olarak kuyular, rezervuar ve jeotermal sistem hakkındaki önemli bilgiler kuyu testleri ile elde edilmektedir. Kuyu testleri kuyular açılırken başlayan, jeotermal kaynağa uygun optimum performanslı işletmenin planlanması sürecinde devam eden ve jeotermal sistemlerin dinamiği gereği işletme aşamasında da süreklilik arz eden çalışmalardır.

Kuyu testlerinden kuyu performansı ile ilgili bilgiler ve rezervuar parametrelerinin yanında rezervuarın yapısı, şekli, durumu gibi önemli bilgiler elde edilir. Elde edilen bilgiler kuyu ve rezervuar ile ilgili kararların alınmasında, ileriye yönelik performans tahminlerinin yapılmasında ve modelleme çalışmalarında kullanılır.

Bu çalışmada, ülkemizde çalışan ve planlanan jeotermal santrallerin bulunduğu sahalarda yapılan test çalışmalarında kullanılan test aletleri ve ekipmanları hakkında bilgiler verilmiş, yapılan testler özetlenmiş, testlerin amacı, planlaması, yapılışı ve elde edilen bilgiler sunulmuş, ilgili örnekler verilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] KUSTER, GRC and PAROSCIENTIFIC COMPANIES, "Product Manuals"
- [2] JAMES, R., " Factors Controlling Borehole Performance", U.N. Symp. on the Development and Utilization of Geothermal Resources, Pisa, Proceedings (Geothermics Spec. Iss. 2) V.2 pt 2, p 1502, 1970
- [3] YAHARA, T., "The Application of Personal Computer to Geothermal Reservoir Engineering", Textbook for the Eighth International Group Training Course on Geothermal Energy (Advanced), Held at Kyushu University, 1997
- [4] ASTM E 1675-95 , "Standard Practice for Sampling Two- Phase Geothermal Fluid for Purposes of Chemical Analysis", March 1995
- [5] Geologica Inc, "Long Term Flow Testing Program, Geothermal Resource Development, Germencik Geothermal Project Aydın Province, Turkey", February 2006
- [6] Geothermal Energy New Zealand Limited, "Geothermal Well Testing and Sampling Manual" Draft Edition
- [7] GRANT, M.A., BIXLEY, P.F., and DONALDSON, I.G., " Internal Flows in Geothermal Wells: Their Identification and Effect on the Wellbore Temperature and Pressure Profiles", SPEJ, February 1983, 168-176
- [8] BIXLEY, P.F., "Downhole Measurements in Geothermal Wells", Proceedings of the Nato Advanced Study, Institute on Geothermal Reservoir Engineering, Antalya, Turkey, July 1-10, 1987, p: 41-55
- [9] HORN, R. N., "Modern Well Test analysis, A Computer- Aided Approach" Petroway Inc., 2000
- [10] BOURDET, D., " Well Test Analysis: The Use of Advanced Interpretation Models", Elsevier, 2002
- [11] GRANT, M.A., DONALDSON, I.G., and BIXLEY, P.F., "Geothermal Reservoir Engineering", Academic Press, 1982
- [12] JAMES, R., "Metering of Steam- Water Two Phase Flow by Sharp Edged Orifices", Proc. Inst. Mech. Eng., Volume 180, p 549, 1965



---

## **ÖZGEÇMİŞ**

### **Bayram ERKAN**

1961 yılı Bozkır, Konya doğumludur. 1984 yılında İ.T.Ü. Maden Fakültesi Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl M.T.A. Genel Müdürlüğü Sondaj Daire Başkanlığında çalışmaya başlamıştır. 1984-1997 yılları arasında Jeotermal Enerji Projelerinde Kamp Mühendisi ve Kamp Şefi görevlerini yürütmüştür. 1997 yılında Japonya'da düzenlenen ileri düzey jeotermal enerji kursuna katılmıştır. 1997-2004 yılları arasında Sondaj Projeleri Koordinatörlüğü görevini yapmıştır. Ağustos-2007'de MTA'dan ayrılmıştır. Halen GÜRMAT Elektrik Üretim AŞ'de görev yapmaktadır.