

Jeotermal kuyu testleri ve MTA uygulamaları

Safa BAKRAÇ¹

1. Giriş

Jeotermal sahalarda sondajların tamamlanmasının ardından verimlerinin ve özelliklerinin belirlenmesi için veri elde edebilmek amacıyla kuyu tamamlama testleri uygulanmaktadır. Kuyu tamamlama testleri kuyunun farklı koşullarındaki sıcaklık ve basınç değerlerinin ölçülmesi esasına göre uygulanan bir dizi testten oluşur. Kuyunun statik ve dinamik durumunda sıcaklık ve basınç profili ortaya konur. Üretim zonları belirlenir. Üretim ve reenjeksiyon verimleri (indeksleri) ve sınırları belirlenir. Bu testlerden elde edilen verilerin detaylı analizlerinden rezervuar modellemelerinde kullanılacak parametrelere ulaşılması sağlanabilmektedir.

Testlerin yapılış sıralaması daha çok bir sonraki aşamaya destek ve ön veri sağlanması esasına göre belirlenir. Öncelikle statik testler ve waterloss testi, daha sonra enjeksiyon testleri, ardından dinamik testler ve üretim testleri olarak birbirini destekleyen bir sıralama uygulanmaktadır. Testlerin uygulanabilirliğinin yanısıra sıralamalardaki diğer bir faktör ise çevresel olanaklardır (Pompa kapasitesi, su temini, atık havuz kapasitesi, deşarj imkanı, vs.).

2. Testlerin Tanımı ve Yöntemleri

2.1. Statik Basınç ve Sıcaklık Testleri

Yöntem olarak kuyuda herhangi bir akışın olmadığı durumda (statik halde) kuyubaşından tabanına kadar sıcaklık ve basıncın ölçülmesi olarak gerçekleştirilir.

Sıcaklık verisinden formasyon sıcaklık gradyanı ve olası üretim zonunun yeri ile ilgili sonuçlara ulaşılır (Şekil 1).

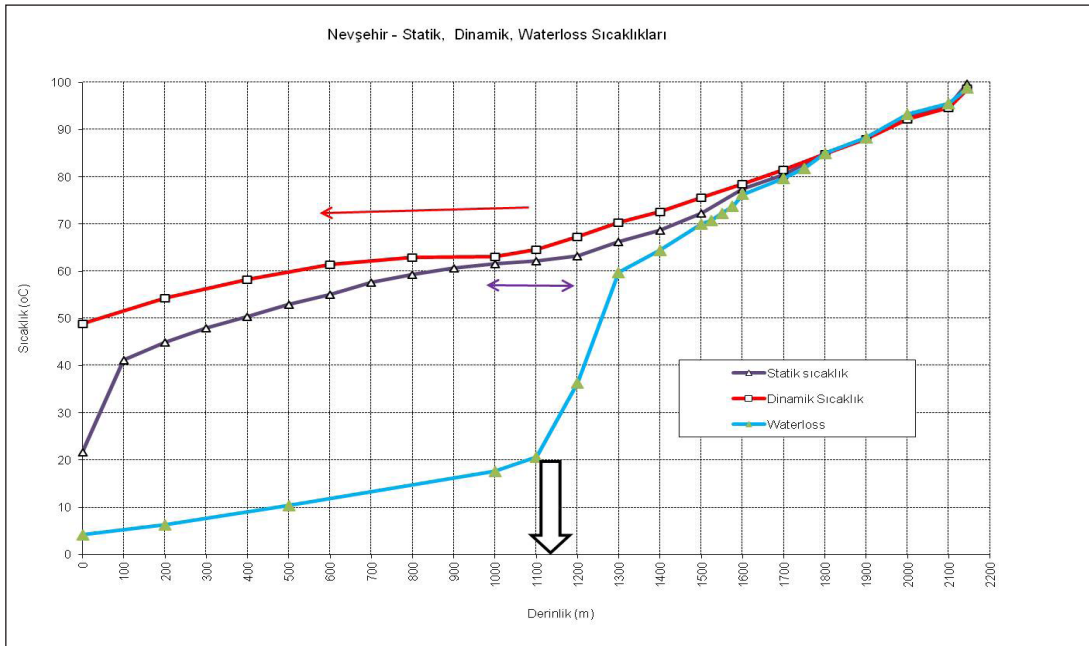
Basınç verisinden kuyu içi basınç profili, su seviyesi veya kuyubaşı basıncı ile ilgili sonuçlara ulaşılır.

Elde edilen veriler: Sıcaklık gradyanı, kuyu içi maksimum sıcaklık (°C), basınç gradyanı, kuyubaşı basıncı (bar) veya statik seviye (metre).

2.2. Waterloss ve Warmup Testleri

Waterloss testi, kuyuya soğuk su basılarak soğutulması ve su basılmaya devam ediliyorken kuyubaşından tabanına kadar sıcaklığın ölçülmesi olarak gerçekleştirilir.

Sıcaklık verisinden, kuyu tabanına kadar soğutulabilen bölgelerin yerleri belirlenmekte ve böylelikle kaçaklı zonların tespiti ile ilgili sonuçlara ulaşılmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1- Sıcaklıklar.

¹ Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ege Bölge Müdürlüğü, İzmir

Warmup testi ile waterloss testi sırasında soğutulmuş kuyunun ısınması esnasında, hızlı ısınan ve geç ısınan bölgeler tespit edilip, bir veya birden fazla geçirgen zonların derinliklerine dair ayrıntılı tespitler yapılabilir.

Elde edilen veriler: Kaçak (üretim) zonları (metre).

2.3. Dinamik Basınç ve Sıcaklık Testleri

Yöntem olarak kuyunun akış halinde olduğu durumda (Dinamik) kuyubaşından tabanına kadar sıcaklık ve basıncın ölçülmesi olarak gerçekleştirilir.

Sıcaklık verisinden rezervuardaki sıcaklık, üretim sırasındaki ısı akışı ve entalpi ile ilgili sonuçlara ulaşılır (Şekil 1).

Basınç verisinden kuyu içi basınç profili, rezervuar basıncı ve faz değişiminin başladığı (flashpoint) kaynama noktasının tespiti ile ilgili sonuçlara ulaşılır (Şekil 2).

Elde edilen veriler: Sıcaklık profili, rezervuar ve kuyubaşı üretim sıcaklığı (°C), rezervuar basıncı (bar), kuyubaşı basıncı (bar) veya dinamik seviye (metre), kaynama noktası (flashpoint) (metre).

2.4. Buildup, Drawdown, Falloff Testleri

Yöntem olarak üretim halindeki kuyunun hızlı bir şekilde kapatılarak rezervuardaki basınç yükselmesinin ölçülmesi ile Buildup, kapalı bir

kuyunun hızlı bir şekilde üretime açılarak rezervuardaki basınç düşümünün ölçülmesi ile Drawdown, enjeksiyon yapılan bir kuyuda enjeksiyonun durdurulması sonrası rezervuardaki basınç düşümünün ölçülmesi ile Falloff testleri yapılmaktadır. Kararsız basınç testleri olarak tanımlanan bu testlerle rezervuarla ilgili parametreler elde edilip bu bilgiler modelleme çalışmalarında kullanılmaktadır.

Buildup grafiğinden “Üretim İndeksi (Verimi)” tespit edilmektedir (Şekil 3).

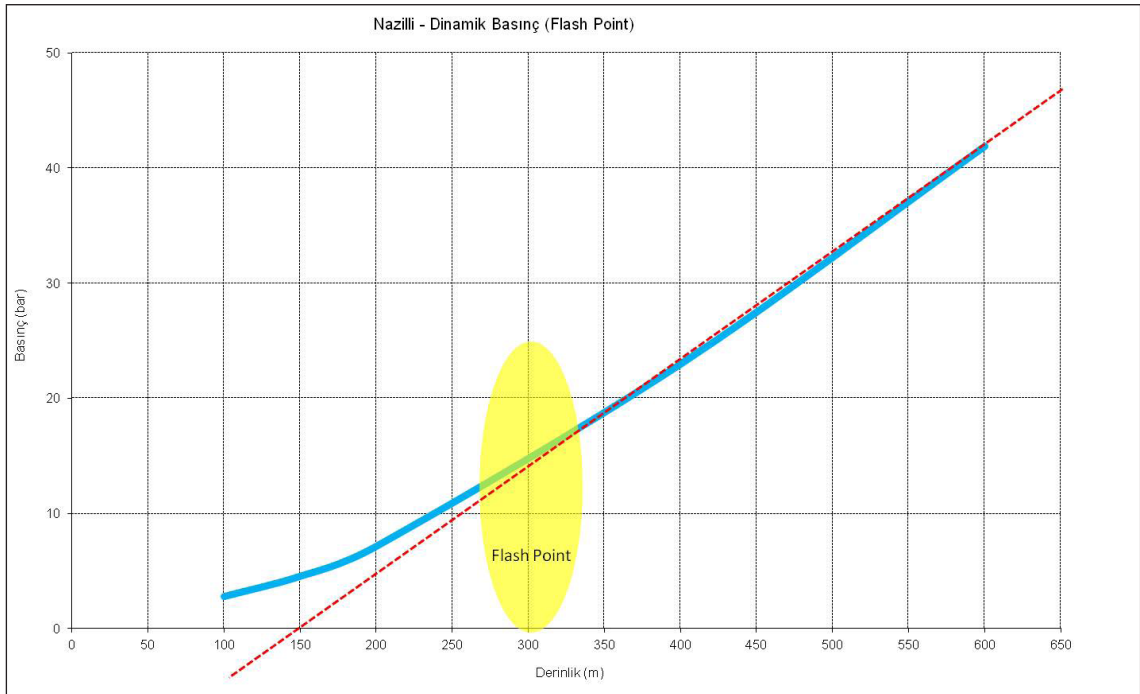
Elde edilen veriler: Üretim indeksi (productivity index) (t/h/bar).

2.5. Enjeksiyon Testleri

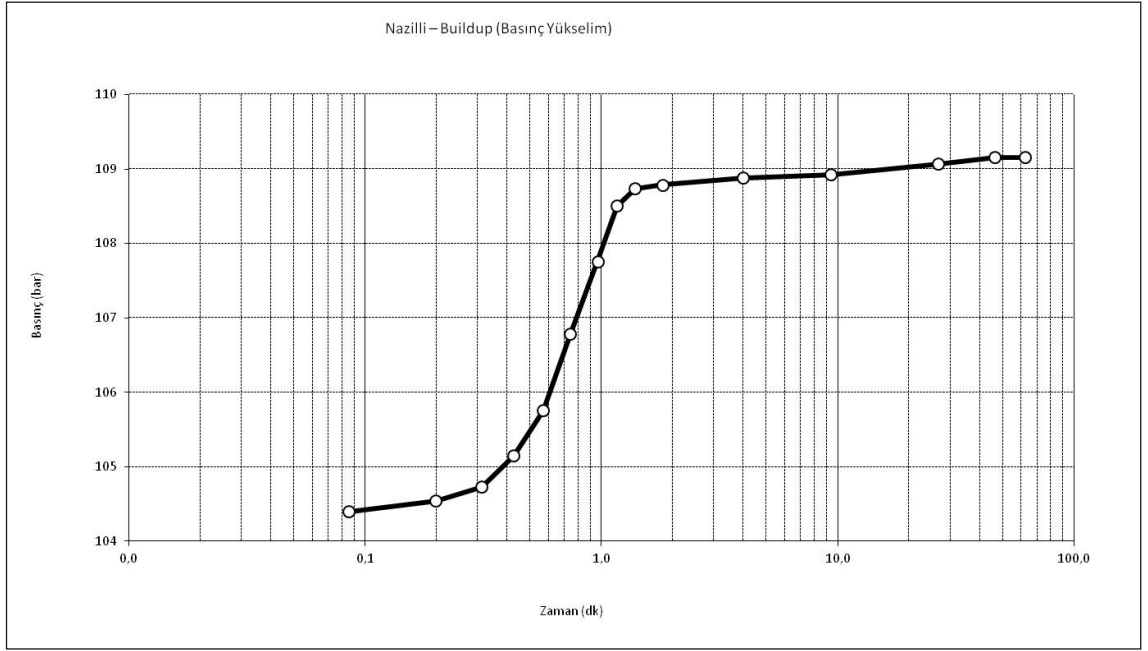
Yöntem olarak, kuyuya değişik debilerde su enjeksiyonu yapılırken rezervuarda oluşan basınç değişiminin ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilir. Tek debili ve çok debili olarak uygulanabilmektedir (Şekil 4).

Enjeksiyon sırasında oluşan basınç yükselimi verisinden “Enjektivite (basılabilirlik) İndeksi” tespit edilmektedir (Şekil 5).

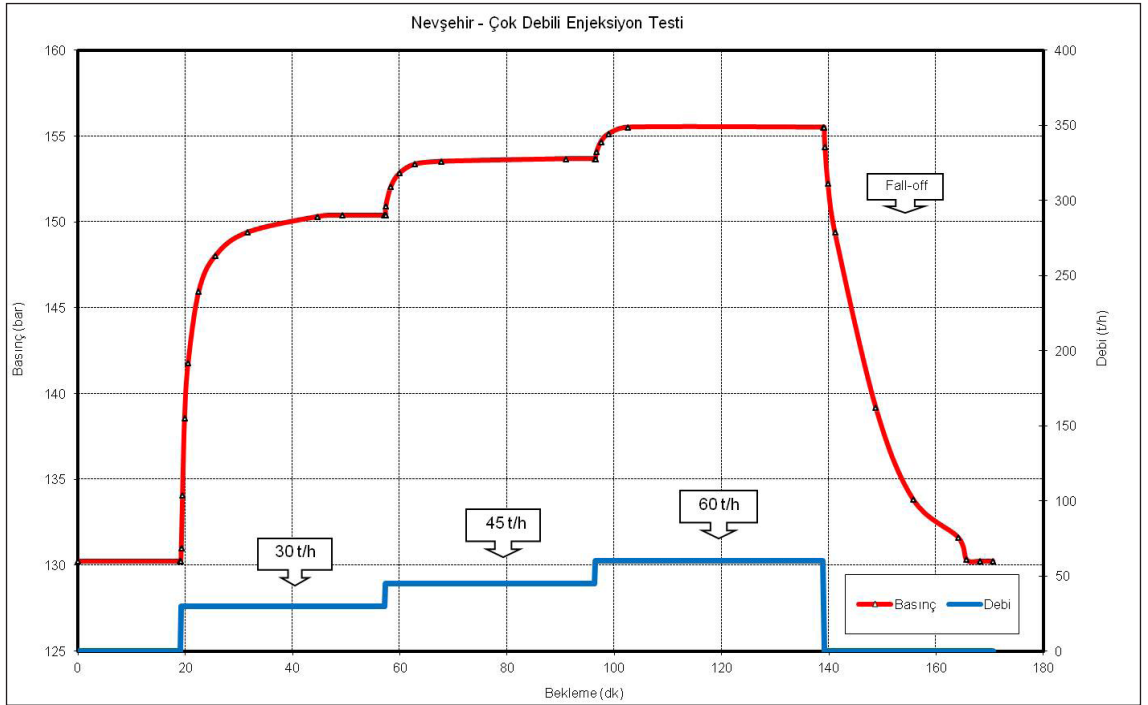
Elde edilen veriler: Enjektivite indeksi (injectivity index) (t/h/bar).



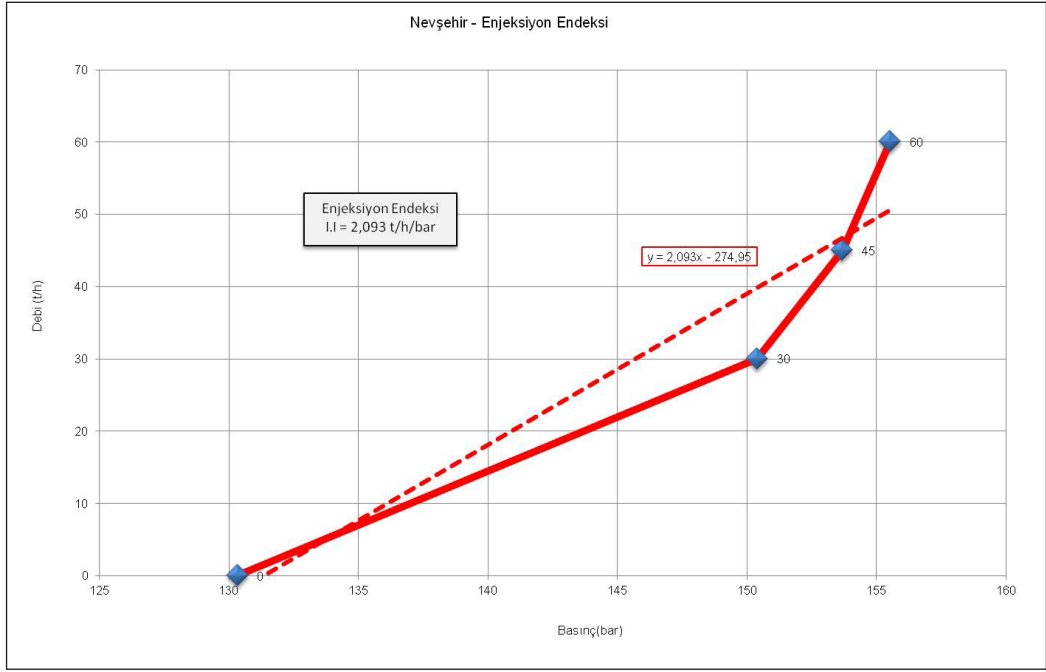
Şekil 2- Dinamik basınç ve kaynama noktası.



Şekil 3- Buildup testi.



Şekil 4- Çok debili enjeksiyon testi.



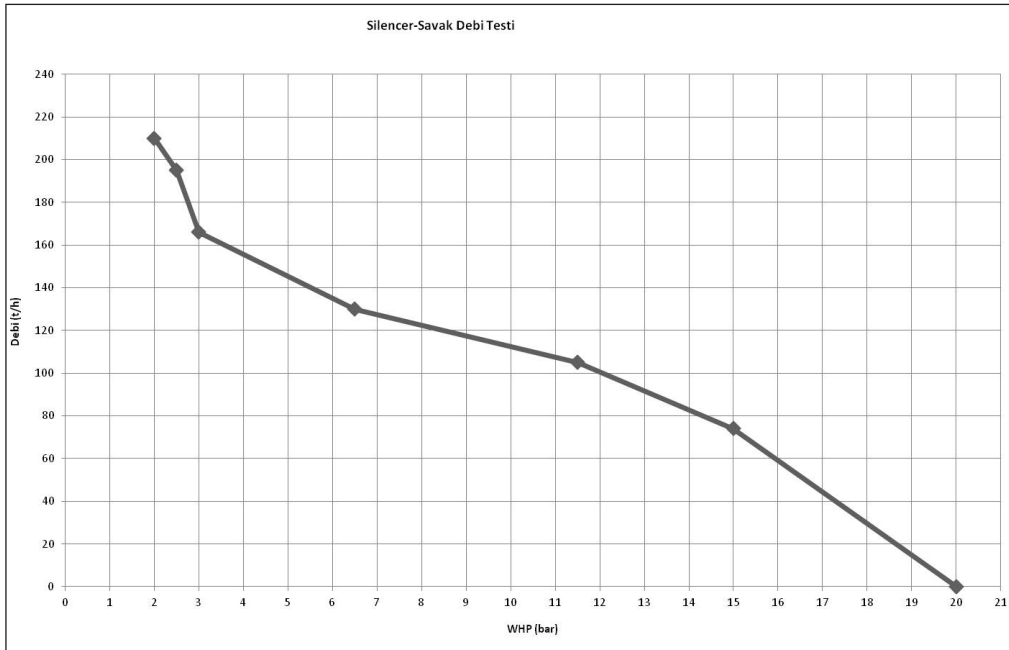
Şekil 5- Enjeksiyon indeksi.

2.6. Üretim Testleri

Yöntem olarak güvenilirliği yüksek olan Silencer-Savak kullanılarak kuyunun vanasının tam açık halden kademeli olarak kapatılarak kuyubaşı basıncına bağlı debi değişiminin ölçülmesi şeklinde gerçekleştirilir. Düşük entalpili sahalarda kompresör tahriki ile ya da kuyu içi pompa ile üretim yaptırılarak dinamik seviye değişiminin ölçülmesi olarak test gerçekleştirilir.

Üretim verilerinin oluşturduğu grafikten (özellikle enerji sahaları için), işletmenin şartlarına uygun basınç ve debi aralıklarının tespiti ile ilgili sonuçlara ulaşılmaktadır (Şekil 6).

Elde edilen veriler: Kuyubaşı basıncı (whp, bar), Debi (t/h), Buhar Oranı (%buhar).



Şekil 6- Üretim testi.

3. Test Ön Hazırlıkları ve Programlama

Test programı yapabilmek, uygun ekipman ve cihaz kullanabilmek için ön bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler iyi bir test programı yapabilmek ve en kısa yoldan en çok verinin alınması için büyük önem arz etmektedir. Elde edilecek verilerin sağlıklı olması için her testin ardından zaman müsait ise kuyunun orjinal dengesine gelmesi beklenmelidir. Ayrıca kuyu içi ve yeryüzü kayıtlarının tutulmasında senkronizasyon sağlanmalı, verilerde olağan dışı sapmalar gözleniyorsa test alternatif başka cihazlarla tekrar yapılmalıdır.

3.1. Saha ile İlgili Önceki Bilgiler

Sahada açılan ilk kuyu ise kuyu logları, rezervuar kayaç özellikleri ile sıcaklık ve basınç tahminlerinde yaklaşımda bulunmak gerekmektedir. Önceden açılmış başka kuyular var ise, kuyu raporlarındaki sondaj ve test bilgileri gereklidir.

3.2. Sondaj Sırasında Alınan Bilgiler

Çamur giriş ve çıkış sıcaklıkları, çamur kaçaklarının yerleri ve miktarları, kuyu teçhizi, kuyu logları, kuyunun yıkanmış olması ve kuyubaşı malzemelerinin basınç açısından test çalışmalarına uygunluğu gibi bilgiler tespit edilir.

3.3. Çevresel Bilgiler

Üretim yaptırılması sırasında akışkanın nereye ve ne kadar süre ile atılabileceği konusu çevre mevzuatına uygun tedbirlerin alınması için en önemli hususlardan biridir. Yerleşim yerlerinde çevreye zarar vermeyecek şekilde uygulanabilirliği olan testlerin programlanması gerekmektedir.

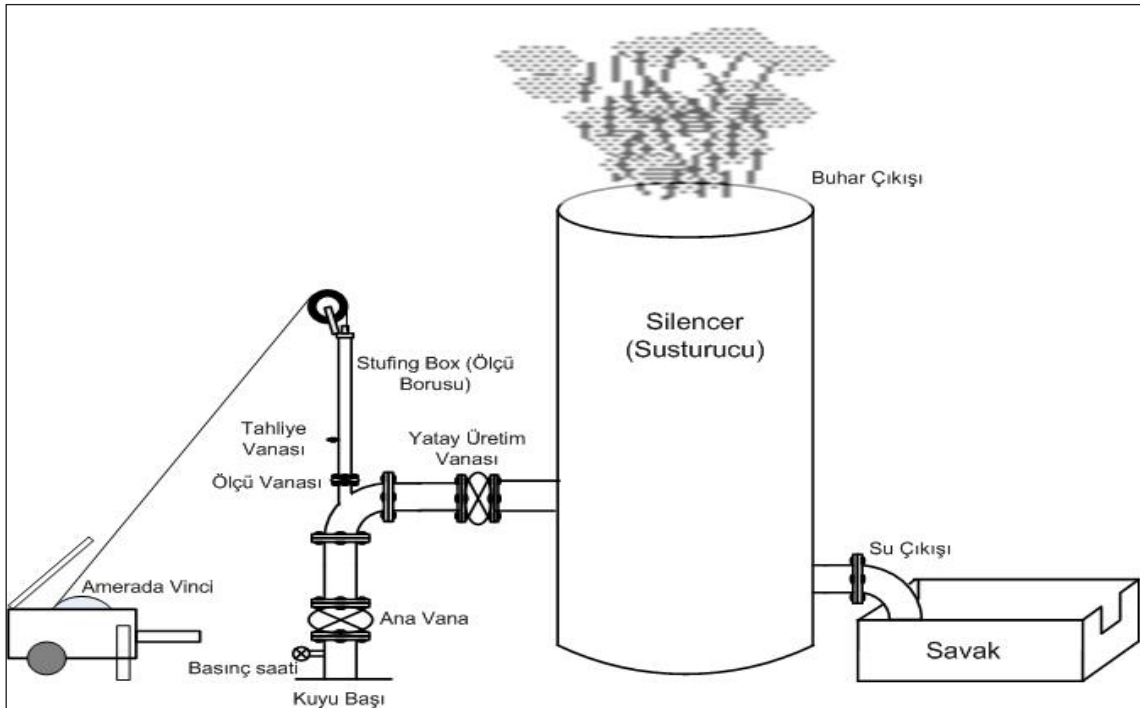
3.4. Lokasyonda Bulunan Ekipman ile İlgili Bilgiler

Pompaların kapasiteleri, water-loss ve enjeksiyon testleri için kullanılacak suyun temini ve kapasitesi ile ilgili bilgilerin ölçülerin planlamasına direkt olarak etkisi vardır. Silencer ve savak sisteminin oluşturulması. Vanaların ve manometrelerin kapasite sınırlarının bilinmesi gereklidir.

4. Test Düzeneği ve Hesaplamalar

4.1. Test Düzeneği

Yüksek entalpili sahalarda yüksek basınç ve sıcaklıklara uygun malzemeler kullanılmaktadır. Test düzeneği kuyubaşı vanasından itibaren dirsek, ölçüborusu, yatay üretim vanası, silencer (atmosferik seperatör), savak ve atık hattı olarak sıralanmaktadır (Şekil 7, 8). Düşük entalpili sahada sadece bir savak ve havuzdan oluşan sistem yeterli olabilmektedir.

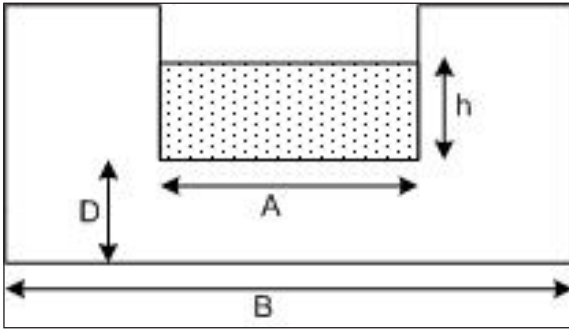


Şekil 7- Silencer-Savak üretim ve test düzeni.



Şekil 8- Silencer-Savak üretim ve test düzeni (Alaşehir).

4.1.1. Savak Debi Hesabı



Şekil 9 - Savak.

Hata payı en az olan üretim yöntemlerinden savak ile yapılan debi ölçümlerinde dikdörtgen savak ve formülü kullanılmaktadır.

$$K = 107,1 + \frac{0,177}{h} + 14,2 \cdot \frac{h}{D} - 27,5 \cdot \sqrt{\frac{(B-A) \cdot h}{B \cdot D}} + 2,04 \cdot \sqrt{\frac{B}{D}}$$

r = Savaktan akan akışkan yoğunluğu (kg/m^3)

$$Q = r \cdot 60 \cdot K \cdot A \cdot h^{1,5}$$

Q = Debi (Ton/Saat) (Savaktan geçen akışkan)

Su ve buhar olarak toplam üretimi hesaplayabilmemiz için rezervardaki sıcaklığı bilmemiz gerekmektedir. Bu sıcaklık değerindeki akışkan entalpisi, atmosfere açıldıktan sonraki akışkan ve buhar entalpisi buhar tablosundan bulunarak buhar oranı hesabı yapılabilir. Buhar, Savak'taki akışkanın debisine ilave edilerek toplam üretim hesaplanır.

H_r = Rezervuar sıcaklığındaki suyun entalpisi (Kcal/kg)

H_{ba} = Atmosfer basıncındaki buharın entalpisi (Kcal/kg)

H_{sa} = Atmosfer basıncındaki suyun entalpisi (Kcal/kg)

X = Silencer'dan atmosfere bırakılan buhar oranı

$$H_r = H_{ba} \cdot X + H_{sa} \cdot (1-X)$$

Toplam üretim = Savakta ölçülen su debisi / (1-X)

$$Q_t = Q_{savak} / (1-X) \text{ (Su + Buhar)}$$

4.1.2. Uç Basınç Debi Hesabı

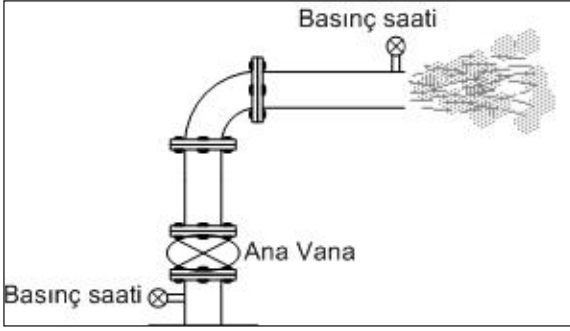
Debi ölçümlerinde alternatif olarak kullanılabilen bir yöntemdir. Kuyu başı vanasından sonra dikey veya yatay üretim borusu ucuna monte edilen manometre ile (Şekil 10) okunan değerlerin hesabı ile debi ölçümü yapılabilir. Vana kademe kademe açılır ve her kademe basınçların sabitlenmesi beklendikten sonra kuyubaşı ve uç basınç değerleri okunur. Uç basınç ve üretim borusu çapı, rezervuar sıcaklığı değerleri ampirik formülde yerine konularak üretim değerleri belirlenir. Bu yöntemde hata payı savak yöntemine göre daha yüksektir. Daha çok alternatif olarak iki fazlı üretimlerdeki debi ölçümlerinde kontrol amacı ile uygulanır (Şekil 11).

$$(Q_t) \text{Debi (t/h)} = 5.1909.650 \times (p_c + 14.6)^{0.96} \times d_c^2 / h_f^{1.102}$$

h_f = Rezervuar sıcaklığındaki akışkan entalpisi (Kj/kg)(Buhar Tablosundan)

p_c = Uç basınç değeri (psi)

d_c = Üretim borusu iç çapı (inch)



Şekil 10- Uç Basınç Test Düzeni.

5. Diğer Testler

İşletmeye açılmış jeotermal sahaların sürdürülebilirliği için uygulanan testlerdir. Bunlar uzun dönemli olarak gerçekleştirilen “monitoring” denilen rutin ölçümlere ve gözlemlere dayalı testlerde olduğu gibi, ilave olarak etkileşim (interference) testi ve izleyici (tracer) testi gibi saha bazında yapılan testler de olabilmektedir.

5.1. Etkileşim (Interference) Testi

Kuyuların üretimine bağlı olarak sahadaki basıncın değişiminin ortaya konulmasına yönelik testtir. Genel prensip olarak test için bir veya birden fazla gözlem kuyusu belirlenip bu kuyulara kılcal boru indirilerek, basıncı iletmesi için azot gazı basılır. Ölçüm borusu kuyubaşında 0.001 kg/cm^2 hassasiyetle ölçüm yapabilen Quartz basınç ölççere bağlanır. Cihaz sürekli ölçümü kaydeder. Saha üretime açılmadan önce bir süre baz oluşturması için bu basınçta (seviye) kaydı yapılır. Daha sonra üretim kuyuları kademeli olarak sırası ile açılır. En sonunda tüm kuyuların üretim yapması sağlanarak, şartlar maksimum kapasiteye çıkarılır. Bu süreçteki basınç

kayıtları, üretim miktar ve zamanlarının verileri senkronizeli olarak değerlendirilir. Yorumlamaların daha sağlıklı olabilmesi için sahanın kontrolünün tam olarak yapıp kayıt altına alınması ve saha basıncını etkileyen tüm etkenlerin (sıcaklık, gelgit, depremler, hava basıncı vb.) bilinip etkilerinin bertaraf edilmesi gerekmektedir.

5.2. Tracer (İzleyici) Testi

Jeotermal sahalarda akış yönlerinin tespiti, reenjeksiyonun sahaya yaptığı olumlu veya olumsuz etkilerin ortaya konması ve rezervuar tipinin belirlenmesi ile ilgili sonuçlara ulaşabilmek amacıyla yapılan bir testtir. Reenjeksiyon kuyusuna reenjekte edilen akışkanla beraber yüksek konsantrasyonda izleyici (boya, radyoaktif madde, tuz vb.) tapa halinde basılır. Diğer üretim kuyularından periyodik olarak alınan su numunelerinin analiz edilmesi ile basılan izleyicinin konsantrasyon miktarı ölçülür. Basılan izleyicinin üretim kuyularından geliş zamanı ve yok olmasına kadar geçen süreçteki konsantrasyon değişimi düzenli kaydedilir. Her kuyu için kaydedilen bu veriler ışığında sahadaki akış yönleri, kimyasal etkileşim zamanları ve miktarları ortaya konur. Bu test sonunda sahanın akış yönü ve etkileşim hızlarından reenjeksiyonun oluşturabileceği muhtemel soğuma etkileri için yaklaşımlarda bulunulabilir. Sahadaki reenjeksiyon bölgelerinin seçiminde bu akış haritaları kullanılabilir.

6. Sonuç

Jeotermal sahalarda açılan kuyularda yapılan bu testler kuyuların kullanım şeklini (üretim, reenjeksiyon, gözlem kuyusu), özelliklerini (verim, sıcaklık, basınç) ortaya koymak için gerekli olan



Şekil 11- Uç Basınç Testi.

testlerdir. Sahada açılan diğer kuyuların toplu halde kullanılmasına yönelik sahanın sürdürülebilirliğini ve etkili biçimde kullanımını sağlamak için uzun süreli ve toplu halde yapılacak testlerde zorunluluk arz etmektedir.

Temiz enerji, yenilenebilir enerji ve özkaynağımız olması açısından jeotermal enerjinin kullanımında kaynak israfı ve tüketimin önüne geçmek adına amacına uygun testlerin rutin biçimde yapılarak kaynağın kontrol altında tutulması ve etkili biçimde kullanılması önem kazanmıştır.

Katkı Belirtme

Bu yazının makale haline getirilmesi sırasında Redaksiyon Kurulun'a, inceleme aşamalarında öneri ve düzeltmeleri ile katkı sağlayan, Mad. Y. Müh. Dr. Gülay GÜRPINAR, Jeo. Y. Müh. Selahattin KAHRAMAN ve Jeo. Y. Müh. Dr. Neşe OYAL'a teşekkür ederim.