

JEOTERMAL KUYU TAMAMLAMA TESTLERİ VE SAHA UYGULAMALARI

Süleyman ÖZÜDOĞRU

ÖZET

Jeotermal kuyular kazılırken, sondaj operasyonu sırasında ve sondaj bitiminde, rezervuar hakkında olabildiğince fazla ve sağlıklı bilgi almak amacıyla bir dizi test operasyonu gerçekleştirilir. Bu testlerin, uygulama sırası ve tekniğine uygun olarak gerçekleştirilmesiyle alınacak sağlıklı veriler, yorumların hataya yer vermeyecek şekilde yapılmasını sağlayacaktır.

Jeotermal bir sondajın bitirilmesinin anlamı, kuyunun kazılması, teçhiz edilmesi ve kuyu bitirme testlerinin eksiksiz yapılması demektir.

1. GİRİŞ

Sondaj bitiminde, eksiksiz olarak uygulanması gereken kuyu tamamlama testlerinden alınacak sonuçlar, ilk ve bakir değerler olup, ileri dönemlerde yapılacak testlerden elde edilecek sonuçların yorumunda baz noktasını oluşturacaktır. Rezervuarın, üretim ve reenjeksiyona verdiği tepki ile bu tepkinin zamanla değişiminin gözlenip, sağlıklı yorumlanması sürdürülebilir işletme stratejisi ve ekonomik işletme yönünden çok önemlidir.

2. TEMEL FİZİK ve TERMODİNAMİK KAVRAMLAR

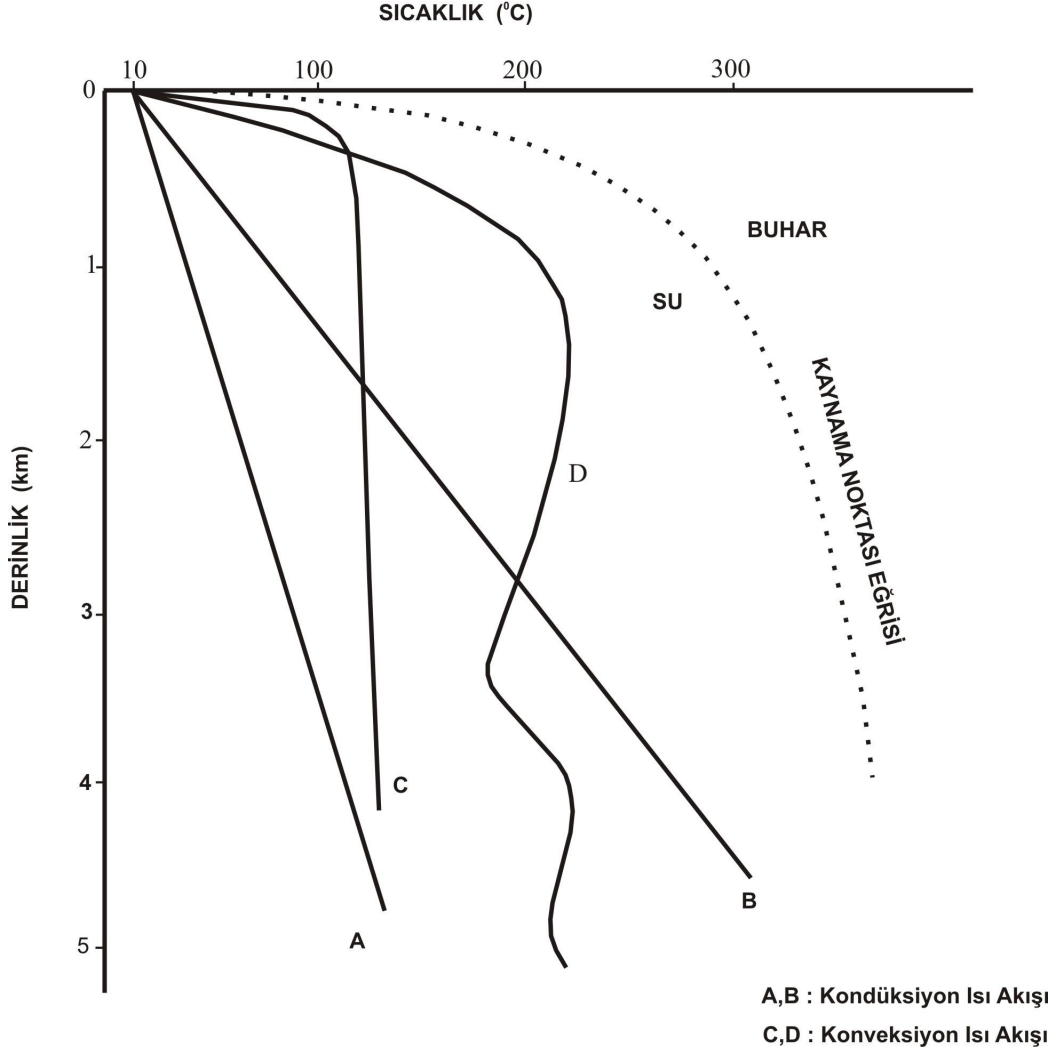
Jeotermal enerji ile ilgili çalışmalar yapılırken basınç, sıcaklık, entalpi,...vs. gibi birtakım fizik ve termodinamik kavramlar konunun temelini oluşturduğundan testlerin uygulanmasından önce bu temel kavramların bilinmesinde yarar olacaktır. Detay bilgilerine fizik ve termodinamik kitaplarında rahatça ulaşılacak bu kavramlara bildiride basit ve kısa tanımlamalar olarak verilmiştir.

SICAKLIK : Bir maddenin taneciklerinin ortalama kinetik enerjilerinin ölçüsüdür. Kavramı biraz açacak olursak iki komşu cismin termik denge seviyelerinin ölçüsü olarak görülebilir. Bu kavramdan hareketle termik denge seviyesi yüksek olan cisim, diğerine göre daha sıcaktır denir. İki farklı termik dengede olan cisim temas ettirildiğinde, termik denge seviyesi yüksek (daha sıcak) olan cisimden termik denge seviyesi düşük olan cisme (daha soğuk) doğru sıcaklık akışı oluşur. Yani daha yüksek sıcaklık daha düşük sıcaklığa doğru transfer edilir. Sıcaklık ölçüsü birimleri genel olarak °C, °K, °F dir.

ISI : Bir maddenin potansiyel ve kinetik enerjilerindeki değişme miktarıdır. Termik denge seviyesi yükselmekte (sıcaklığı artmakta) olan cismin taneciklerinde (molekül) enerji yüklenmesi başlayacaktır. Pratik olarak, sıcaklık farkı yardımıyla transfer edilen enerji şekline "ISI" denir. Isı birimi kalori, joule...vs dir.

KONDÜKSİYON ISI AKIŞI :Metal gibi katı bir cisim bir ucundan ısıtıldığında, ısı dağılımı uygulama yapılan noktadan itibaren katının diğer bölümlerine moleküller vasıtasıyla düzenli bir şekilde dağılır. Isı kaynağından uzaklaştıkça sıcaklık düşümü lineer olarak düşer.

KONVEKSİYON ISI AKIŞI :Isının kütle hareketi vasıtasıyla taşındığı haldir. Isıyı bünyesinde barındıran kütle hareket ettikçe ısıda beraberinde hareket eder.



Şekil 1. Konduksiyon, konveksiyon ısı akışı ve kaynama noktası-derinlik eğrisi

ENERJİ : Bir sistemin kendi hali değişirken diğer bir komşu sistemin halini değiştirebilme kabiliyetine enerji denir.

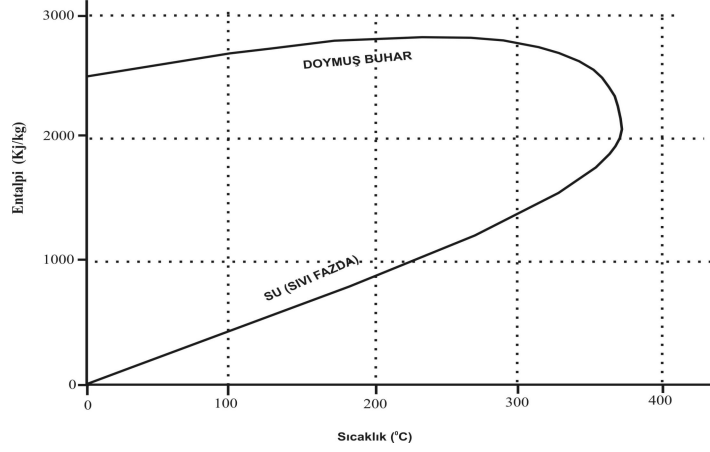
ENTALPİ : Bir maddenin taneciklerinde (tanecikleri oluşturan atomları arasındaki bağlarda) depolanan toplam enerjidir. Entalpi birimleri Kcal/kg, KJ/kg, BTU/lbdir.

Termodinamik olarak entalpinin tanımı, iç enerji ile basınç ve hacmin çarpımının toplamına eşittir (Eşitlik 1) şeklindedir.

$$H \equiv U + PV \quad (1)$$

Termodinamik kavramlar yanı sıra bilinmesi gereken iki kavramda geçirgenlik (permeability) ve gözeneklilik (porosity) dir. Bunlardan geçirgenlik rezervuar kayacın içerisindeki çatlak yapısının bir

ölçüsü olup birimi (m^2 veya darcy) dir.Gözeneklilik ise kayaç hacmi içindeki boşluk oranının yüzdesel ifadesi olup birimsizdir.



Şekil 2. Sıcaklık Entalpi Grafiği

3. TESTLERİN AMACI

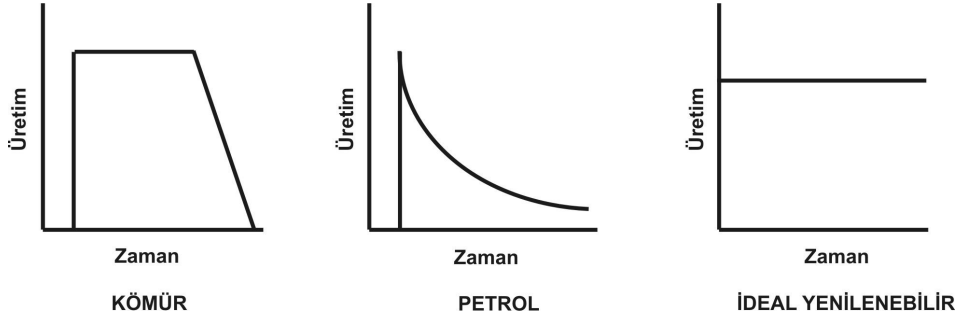
Jeotermal kuyu testlerinin amacı rezervuar ve kuyu hakkında tüm fiziki ve kimyasal verilere ulaşarak kısa, orta ve uzun dönemde üretimin, reenjeksiyonun rezervuar parametreleri üzerine etkilerinin gözlenmesi ve buna bağlı olarak sürdürülebilir işletme stratejilerinin oluşturulmasıdır.

Jeotermal kaynaklar sonsuz değildir.Eğer beslenme-tüketim (üretim) ilişkisi ve bu ilişki sırasında oluşan dengeler dikkate alınmadan saha işletmeye alınırsa hem ekonomik olmayan bir işletme ile karşı karşıya kalınacak, hem ülkemizde hemde dünyada örnekleri görüldüğü üzere sistem performansı ya kısmen ya da tamamen çökecektir.

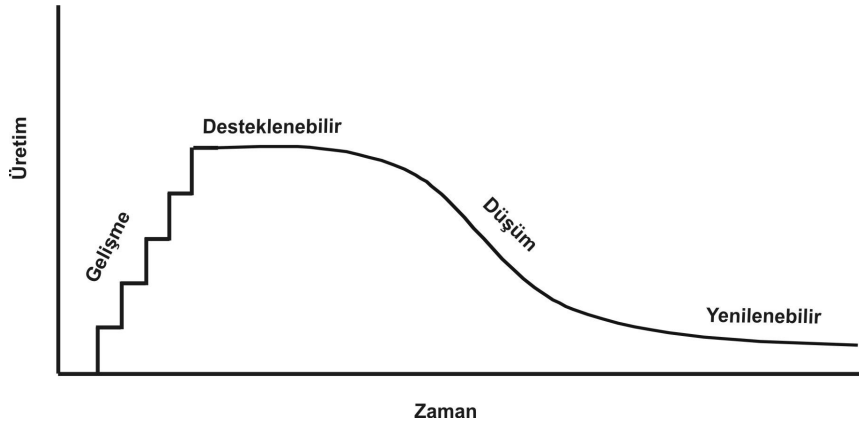
Konuyu biraz daha açacak olursak; jeotermal enerjinin üretim-zaman ilişkisi uzun dönemde öyle bir değere ulaşır ki saptanan bu değer dengenin sağlandığı, rezervuardan düzenli olarak üretim yapılabildiği değerdir.Buna sürdürülebilir üretimde denilebilir.

Sürdürülebilirlik kavramı, jeotermal enerjinin, rezervuardan düzenli olarak maksimum süre üretilmesi anlamındadır.

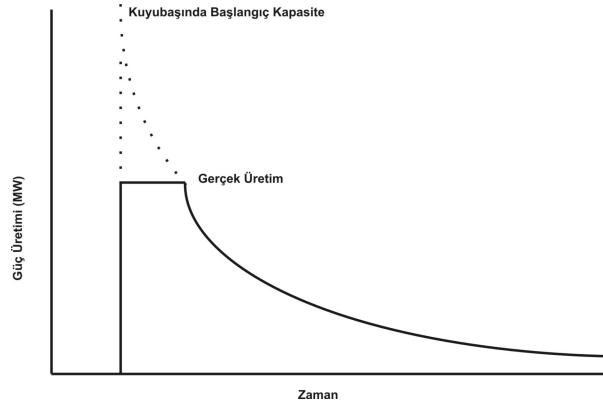
Maden ve petrolden farklı olarak jeotermal sahaların üretim-zaman ilişkisi farklı bir profil izler.Aşağıdaki grafikte jeotermal enerjinin ideal ve üretim profili görülmektedir.Grafik çizimlerinde sosyo-ekonomik faktör ihmal edilmiştir.



Şekil 3. Enerji kaynakları ömür periyotları



Şekil 4. Jeotermal saha üretim-zaman profili



Şekil 5. Jeotermal kuyu üretim-zaman profili

4. SONDAJ SIRASINDA YAPILAN TEST İŞLEMLERİ

Jeotermal bir kuyudan ilk veriler sondaj sırasında alınmaya başlanır. Çamur giriş ve çıkış sıcaklıkları rezervuar sıcaklığı hakkında ilk bilgiyi verirken, meydana gelen çamur kaçakları ve kaçak miktarı üretim zonu hakkında bilgilenmemizi sağlar. Sondajın kazılması sırasında alınan karot örnekleri ise rezervuar kayacın geçirgenlik (permeabilite) ve boşlulukluk (porozite) değerlerini verir.

Sondaja ara verilmesinden faydalanarak yapılan birkaç saatlik ölçümlerden elde edilen geçici sıcaklık verilerinden gerçek formasyon sıcaklıklarının saptanmasıyla ilgili birçok metod bulunmaktadır.

Bu metodlar arasında Mensles ve Horner tarafından önerilenleri hem uygulanabilmeleri açısından basittir, hem de doğru sonuçlar vermektedir. Bu yöntemlerle doğru değerler elde edebilmek için şu koşullara dikkat etmek gerekir.

-Ölçüm yapılan bölümde sadece kondüksiyon yoluyla ısı transferi olmalıdır.

-Sirkülasyon zamanı ile ısınma için bekleme süreleri eşit tutulmaya çalışılmalıdır (15-20 saat).

-Sıcaklık yükselme testi esnasında kuyudaki çamur seviyesi de kontrol edilmeli ve kuyuda basıncın sabit kaldığı gözlenmelidir. Yüksek basınçlı formasyonlarda, kuyu içine sızacak formasyon akışkanları kondüksiyonu bozacağından alınan sıcaklık dataları da geçersiz olacaktır.

Sondaj esnasında oluşacak herhangi bir kaçak (veya geliş), gerçek formasyon basıncını ölçmek için çok önemli bir fırsat yaratır. Çamur kaçağı kuyu ile rezervuar arasında bir bağlantı kurulduğunun göstergesidir. Kaçağın olduğu derinlik biliniyorsa, sirkülasyon kesilerek kuyudaki çamur yoğunluğu ve kuyudaki çamurun statik seviyesinden, formasyon basıncı hesaplanabilir. Ya da bu basınç kuyuya indirilecek bir basınç ölçüm ve kayıt cihazı ile belirlenebilir.

5. KUYU TAMAMLAMA TESTLERİ

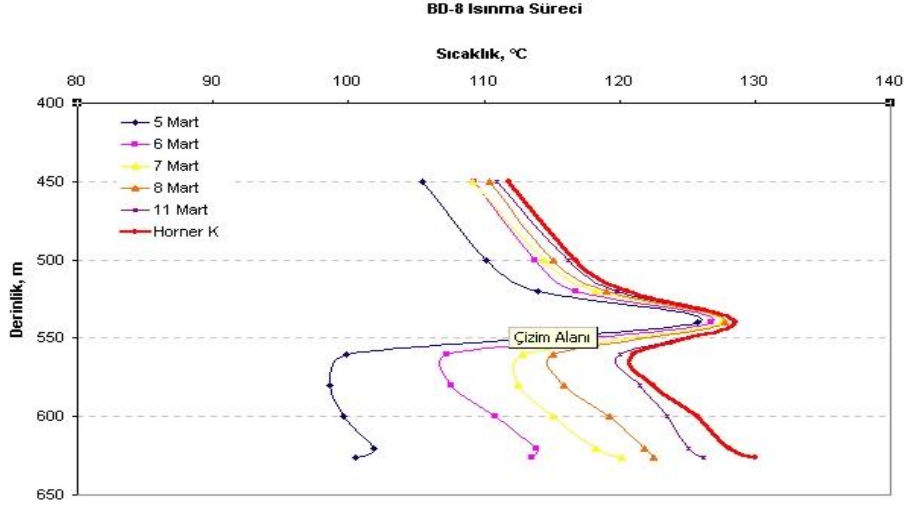
Kuyu tamamlama testleri genellikle, son derinliğe kadar kuyunun delinmesi ve liner indirilmesinden sonra yapılır. Kuyuya liner indirilmeden veya sondaja bir nedenle ara verildiği zamanda bu testler yapılabilir. Bu son yöntem (kademeli testler) sondajı geciktirmekle beraber, rezervuar ve geçilen üretim zonları hakkında bilgi edinmenin en hızlı ve en kolay yoludur. Buna alternatif olarak her değişik üretim seviyesini ayrı ayrı test edilebilmesini sağlayacak şekilde farklı derinliklerde kuyular delmenin çok pahalıya mal olacağı aşikardır. Kademeli testleri özellikle yüksek entalpili sahalarda, ilk delinen kuyularda uygulandığında çok önemli veriler sağlarlar. Çünkü, sahada ilk açılan kuyularda devam eden üretim testleri, rezervuardaki akış dengelerini bozarak sonraki kuyularda uygulanacak kademe testlerinin yorumlanmasını zorlaştırır.

Kuyu tamamlama testleri kuyudaki potansiyel besleme noktalarını (akifer) belirlemek ve toplam etkin geçirgenliği tahmin etmekte kullanılır. Bazı durumlarda, birkaç değişik beslenme noktasının ayrı ayrı geçirgenliklerini tahmin etmek mümkün olabilmektedir.

5.1. Kuyu Bitimi Alınan Statik Sıcaklık Ölçüleri

.Jeotermal kuyu kazma işlemi bitirilir bitirilmez kuyudaki çamur jeotermal akışkan ile doldurulmadan (üretim açılmadan) önce sondaj sırasında kaçak oluştuğunda yapıldığı gibi bir dizi sıcaklık ölçüsü alınır. Ölçüler kuyu boyunca ve belli zaman aralıkları ile tekrarlanır. (12,24,72 saat gibi)

Alınan sıcaklık ölçülerinden belli hesaplama yöntemleri ile (Horner Plot metodu gibi) orijinal rezervuar sıcaklığı tespit edilmeye çalışılır. Hesaplama parametreleri kuyuda yapılan sirkülasyon süresi ve ölçü alındığı anda sirkülasyondan sonra geçen zamandır.



Şekil 6. Sondaj bitimi (kuyu çamurlu iken) alınan kuyu sıcaklık ölçümleri ve Horner profili

5.2. Kuyunun Dikey Üretime Açılması

İki fazlı olan, yüksek basınç ve debi ile üretim yapan kuyularda kuyu, uç kısmında bir manometre olan dikey veya yatay bir boru ile üretime açılır (Şekil 8). Kuyu üretime açılırken ve kapatılırken vana tur sayısı ile birlikte kuyu başı basıncı ve manometrede okunan uç basınç kaydedilir. Hesaplanması Russell James (Yeni Zelanda) tarafından geliştirilen bu üretim metodu uç basınç yöntemi olarak anılır (lip pressure method) (Şekil 7, Şekil 8, Şekil 9). Akışkanın içerdiği yoğunlaşmayan gazlar nedeniyle bu yöntemde hata payı %4-8 arasındadır.

Bu yöntemde üretim hesabı Eşitlik 2 de sunulmuştur :

$$\text{SI biriminde } Mass = \frac{224000 * P_c^{0,96} * d_c^2}{h_0^{1,102}} \quad (2)$$

Burada;

Toplam Kütle (Mass) = lb/saat

Uç basınç (P_c) = psia

Uç boru iç çapı (d_c) = inch

Akış entalpisi (h_0) = BTU/lb olmaktadır.

Uç basınç yöntemiyle üretim formülü metrik sistem için de uyarlanmış (Eşitlik 3) olup değişkenlerin formül ve birimleri :

$$Mass = \frac{5199650 * P_c^{0,96} * d_c^2}{h_0^{1,102}} \quad (3)$$

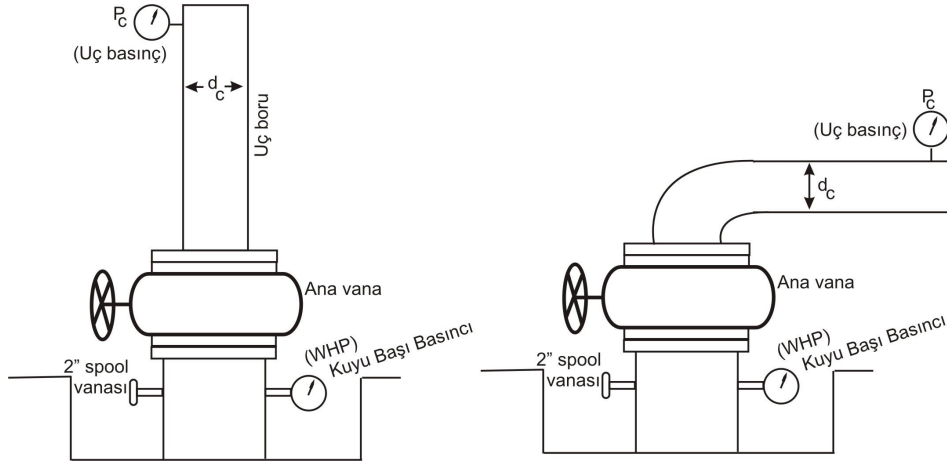
Toplam Kütle (Mass) = ton/saat

Uç basınç (P_c) = bar.a

Uç boru iç çapı (d_c) = metre

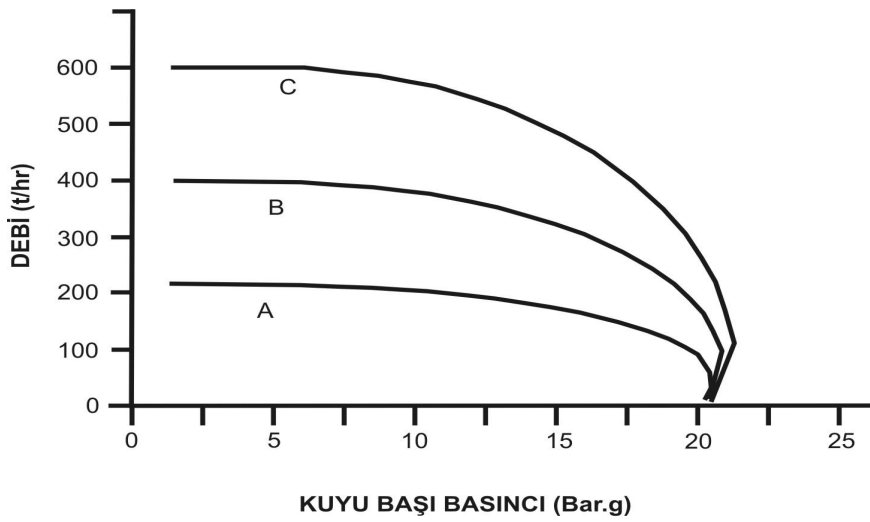
Akış entalpisi (h_o) = KJ/kg olmaktadır.

Entalpi değeri kuyudan daha sonra alınan rezervuar zonu sıcaklık değerine göre buhar tablosundan bulunur. Yani rezervuar seviyesindeki sıcaklık değerinin kuyubaşına aynen geldiği kabul edilmektedir. Dolayısıyla kaba bir hesaplama yöntemidir.



Şekil 7. Dikey üretimde kuyu başı

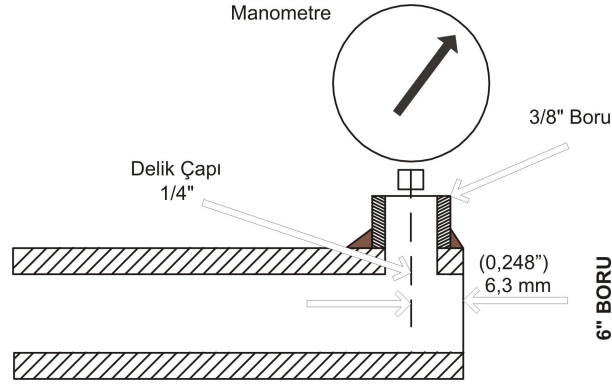
Birkaç saat ile birkaç gün süren bu üretimle kuyu başı basınç-debi grafiği çizilecek olursa rezervuar permeabilitesi hakkında bilgi veren değişik kuyular için değişik tipte eğriler elde edildiği görülecektir. Öte yandan bu test sonucu elde edilen üretim değerlerini kesinlikle kuyunun kalıcı sabit değerleri olarak düşünmemelidir.



Şekil 8. Dikey üretimde kuyubaşı basıncı-debi ilişkisi

Şekil 8'de görülen üç ayrı eğri bir sahada açılmış üç farklı kuyunun üretim eğrisi olabileceği gibi, aynı kuyunun kabuklaşma gibi nedenlerle üretimindeki düşüşü temsil edebilir. Farklı kuyular olduğu durum söz konusu ise, C ile gösterilen kuyu aynı kuyubaşı basıncında diğerlerine göre çok daha fazla üretim yapmaktadır. Buradan kabaca bu kuyunun permeabilite ve porozitesinin diğerlerine göre daha iyi olduğu söylenebilir. Tek bir kuyu söz konusu ise C den A ya kabuklaşmadan dolayı düşüş, kuyunun temizliği sonrası ise A dan C ye üretimde artış gözlenecektir.

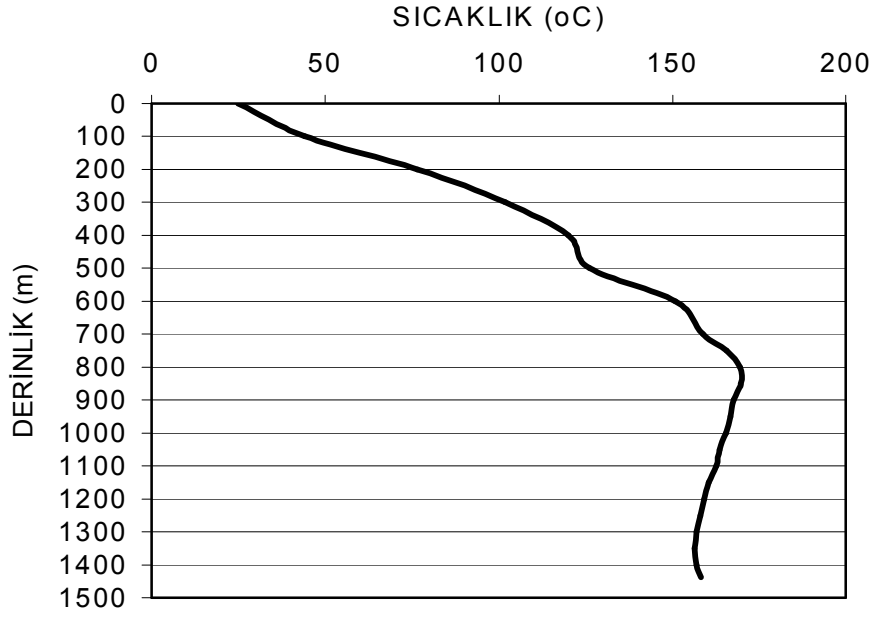
Daha önce de bahsedildiği üzere uzun süreli üretimde sıcaklık basınç düşümü, kabuklaşma gibi bir takım nedenlerle çeşitli dönemler gözlenecektir. Uzun dönem üretim testleri sırasında bu test ara ara tekrarlanarak kuyudaki değişimler takip edilir.



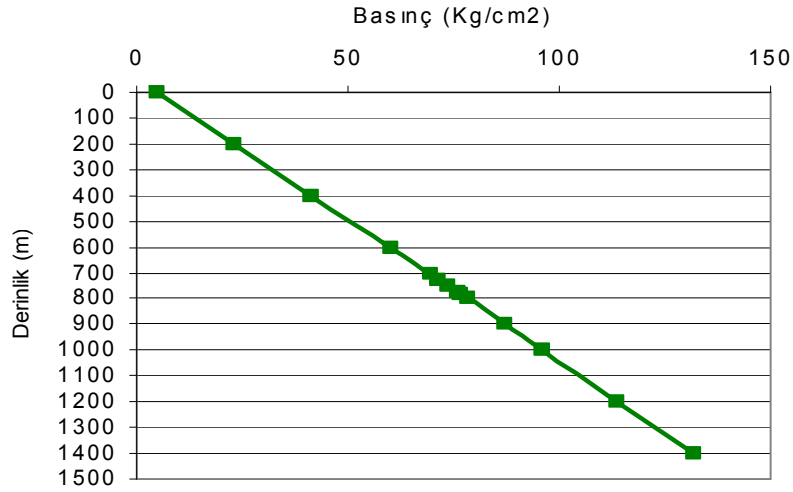
Şekil 9. Uç boru yapısı

5.3. Kuyu Bitimi Alınan Statik Sıcaklık ve Basınç Ölçüleri

Kuyu, yapılan bu ilk üretimden sonra kapatılarak kuyu içi sıcaklık ve basıncın stabil hale gelmesi beklenir. Stabiliteye ulaşıldıktan sonra ilk statik sıcaklık ve basınç ölçüsü alınır.



Şekil 10. Statik sıcaklık ölçüsü



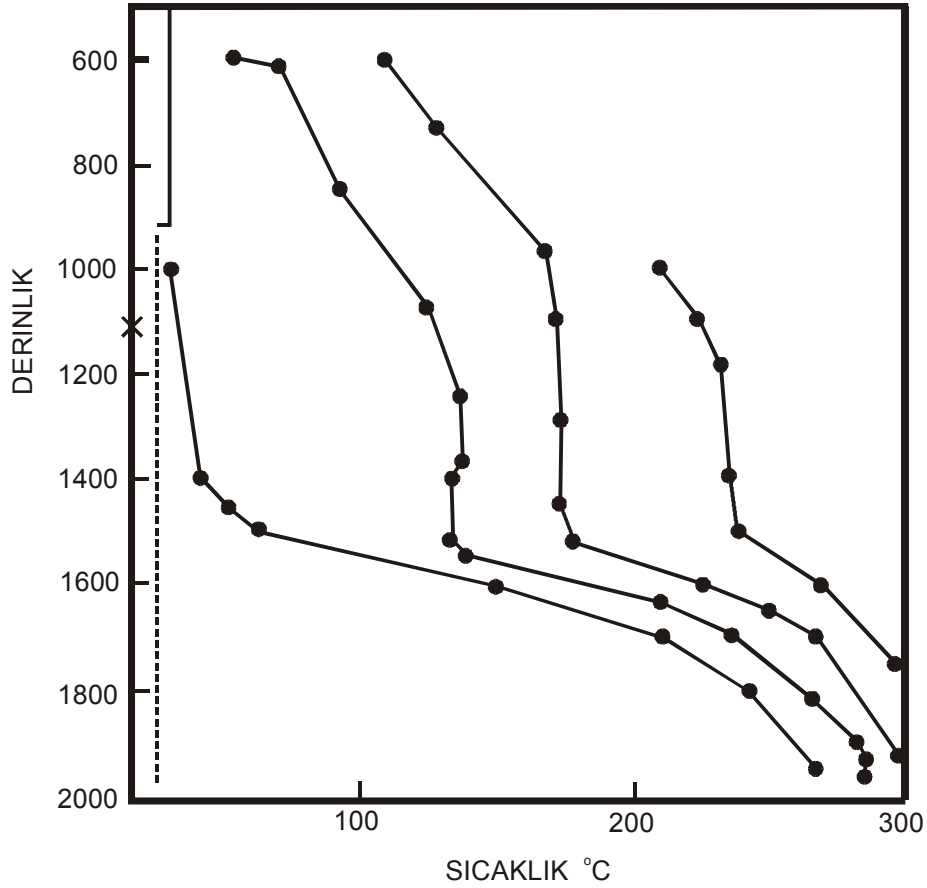
Şekil 11. Statik basınç ölçüsü

5.4. Su Kaybı (Water-loss) Testi

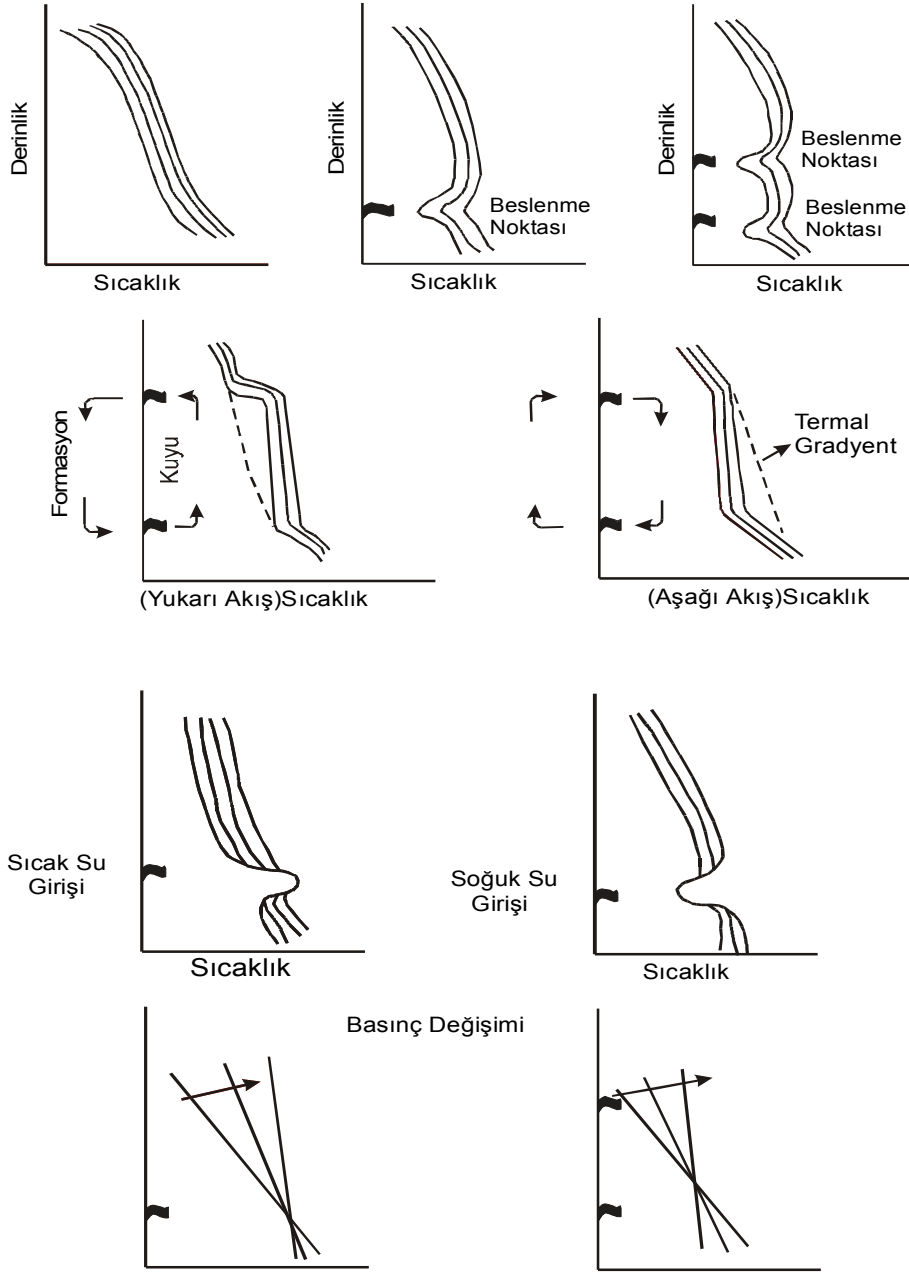
Statik (kuyu kapalı halde iken) ölçülerin bitiminde kuyudaki beslenme zon ve/veya zonlarının saptanmasına yönelik olarak su kaybı (water loss) testine geçilir. Sondaj sırasında meydana gelen çamur kaçağı ve/veya kaçaklarını baz alarak kaçak zonlarının belirlenmesi güç ve yanıltıcı olabilmektedir. Çünkü çamur kaçağının tek noktadan mı yoksa matkabın ilerlediği zon boyunca mı oluştuğu çoğu zaman tam olarak kestirilememektedir.

Bu testte kuyuya önce kuyu hacminin yaklaşık 1.5 katı kadar su basılarak kuyu iyice soğutulur. Daha sonra kuyuya değişik debilerde (örneğin: 10,15, 25 lt/sn) su basılırken kuyu boyunca sıcaklık ölçüleri alınır. Su basma sırasında geçirgen zonlardan rezervuara soğuk su girişi olacağından bu zonlar soğuyacak, geçirgen olmayan zonlarda ise soğuma görülmeyecektir.

Su basma kesildiğinde geçirgen zon veya zonlardan tekrar kuyu içine ısı akışı başlayacağından, kuyuda ısınma (warm up) oluşur ve bu seviyelerde ısınma daha fazla ve daha hızlı olacaktır. Su kaybı testi ile tespit edilen beslenme zonu seviyesi ileri aşamada yapılacak rezervuar testleri için ölçü alınacak yer olacaktır. Şekil 10'da gösterilen örnekte kuyu içinde beslenme zonunun 1100-1500 metreler arasında olduğu kolayca görülmektedir. Şekil 12 ve Şekil 13 de bu teste çeşitli örnekler verilmektedir.



Şekil 12. Su kaybı testi

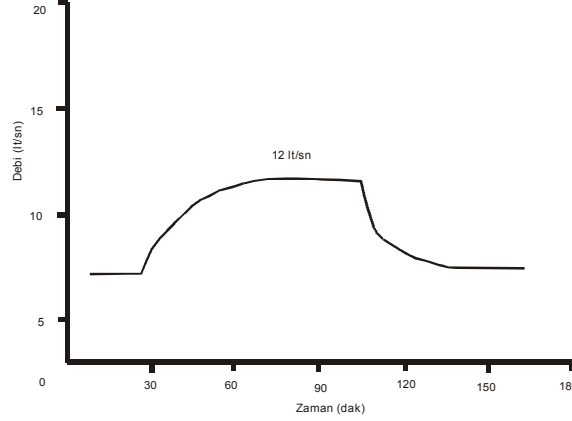


Şekil 13. Su kaybı testinde, ısınma sırasında oluşan eğrilerden geçirgen zonların saptanması

5.5. Tek Debili Enjeksiyon Testi

Su kaybı testi ile belirlenen üretim zonu seviyesine basınç elementi indirildikten (kuyu başı vanası kapalı iken) kuyuya sabit debide su basılır (Örneğin: 20 lt/s). Bu işlem esnasında rezervuar basıncında yükselme oluşur. Geçirgenliğin düşük olduğu rezervuarlarda kısa sürede yüksek basınç değerlerine ulaşılırken, geçirgenliğin yüksek olduğu sahalarda basınç yükselimi küçük değerlerde kalır hatta hiç gözlenmeyebilir. Bu test yardımıyla geçirgenlik-kalınlık (permeability-thickness) değeri tespit edilir. Bu değer birimi Darcy-metre veya Darcy-foot'tir. Çok küçük değerler söz konusu olduğunda Darcy'nin binde biri olan milidarcy 'de kullanılır ($1 \text{ Darcy} = 10^{-12} \text{ m}^2$).

Tek debili enjeksiyon testinde test öncesi ve test sırasında kuyubaşı basınçları, pompa stroku ve debisi sürekli kayıt edilmelidir. Pompa strokunda aşırı değişimlere müsaade edilmemelidir. Pompanın bir sebeple stop etmesi veya strokun aşırı düşmesi durumunda test tekrarlanmalıdır. Basınç değerinin kararlı akışa ulaşması doğru hesaplama ve yorumlamayı beraberinde getireceği için önemlidir.



Şekil 14. Tek debili enjeksiyon testi

5.6. Çok Debili Enjeksiyon Testi

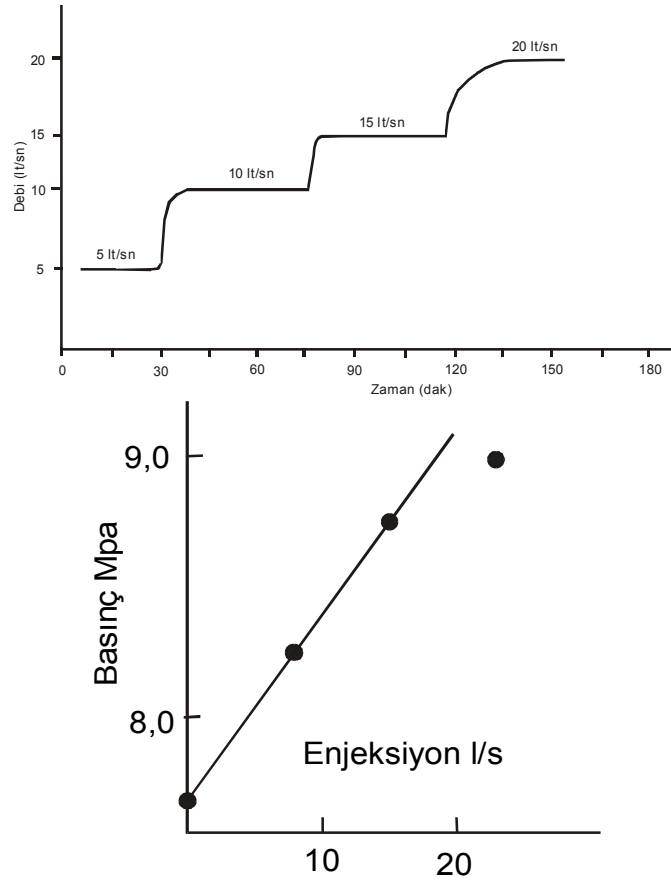
Tek debili enjeksiyon testinin ardından yapılan çok debili enjeksiyon testinde kuyuya değişik debilerde (Örneğin: 10,20,30 lt/sn) soğuk su basılarak rezervuarın bünyesine su alma kapasitesi tespit edilir (Şekil 15). Bu test sonucu rezervuar geçirgenliğine ait ilk bakir değerler elde edilir. Üretim aşamasında zaman zaman tekrar edilen bu testle üretimin rezervuar geçirgenliğini ne derece etkilediği gözlenir.

Çok debili enjeksiyon testinde de tek debili enjeksiyon testinde olduğu gibi test öncesi ve test sırasında kuyubaşı basınçları, pompa stroku ve debisi sürekli kayıt edilmelidir. Pompa stroku dikkatli takip edilerek istenen enjeksiyon debisinde pompalama yapıldığından emin olunmalıdır. Pompanın bir sebeple stop etmesi veya strokun aşırı değişimi durumunda test tekrarlanmalıdır. Bu testte de basılan her debi süresinin kararlı akış gözlemeye müsaade edecek periyotta olması önemlidir.

Çok debili enjeksiyon testi ile elde edilen değere enjektivite endeksi (injectivity index) denir. Enjektivite endeksi:

$$EE = \frac{Q}{P_i - P_{wf}} \quad (4)$$

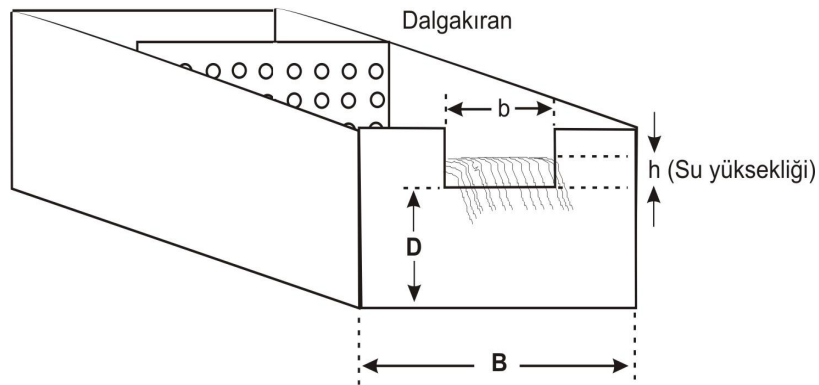
Eşitlik 4 ile hesaplanır. Formülde EE: Enjektivite endeksi (lt/sn/kg/cm², lt/sn/bar,...), Q: Kuyuya basılan akışkanın debisi (lt/sn), P_i: Enjeksiyon basıncı (Kg/cm², Bar,...), P_{wf}: Rezervuar derinliğinde beslenme noktası basıncı (Kg/cm², Bar,...) dir.



Şekil 15. Çok debili enjeksiyon testi ve enjektivite endeksinin çıkarılması

5.7. Silencer Savak Yöntemiyle Üretim Testi

İki fazlı üretim yapan kuyularda uygulanan ve hata payı % 2-4 gibi oldukça düşük olan üretim testidir. Kuyudan gelen akışkan silencer'da yoğunluk farkından dolayı iki faza ayrılır. Sıvı faz savakta ölçülür, buharlaşma oranına göre silencerdan çıkan buhar miktarı hesaplanarak kuyunun toplam üretimi belirlenir (Şekil 16, Şekil 17).



Şekil 16. Savak yapısı

Savak akış sabiti :

$$k = 107,1 + \frac{0,177}{h} + 14,2 \frac{h}{D} \quad 27,5 \sqrt{\frac{(B-b) \cdot h}{DB}} + 2,04 \sqrt{\frac{B}{D}} \quad (\text{Birimsiz}) \quad (5)$$

Hacimsel debi :

$$\Phi = k \cdot b \cdot h^{1,5} \text{ m}^3/\text{dak} \quad (6)$$

Bulunan sonuç 60'a bölünerek birim m³/saate çevrilir.

$$W = \Phi \cdot v_{\text{spec}} \cdot 3600 \text{ kg/san (Savak su debisi)}$$

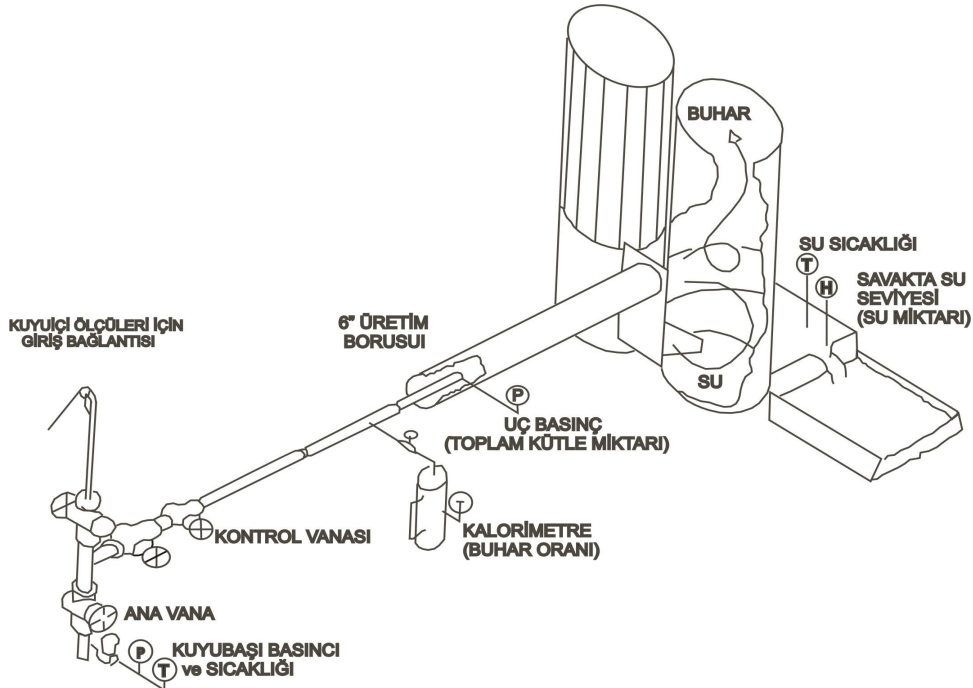
$$\frac{W}{P_c^{0,96} \cdot d_c^2} = 7,69 \cdot \frac{2676}{h_0^{1,102}} \quad h_0 \text{ (Akış Entalpisi) değeri iterasyon yolu ile bulunur} \quad (7)$$

$$M = \frac{2258 \cdot W}{2676 \cdot h_0} \text{ kg/san (Toplam kütle)} \quad (8)$$

$$S = M - W \text{ kg/sn (Buhar miktarı)}$$

$X = \frac{S}{M}$ % buhar oranı (birimsiz). Buhar oranı ayrıca $X = \frac{h_0}{h_{fg}}$ formülünden de hesaplanabilir.

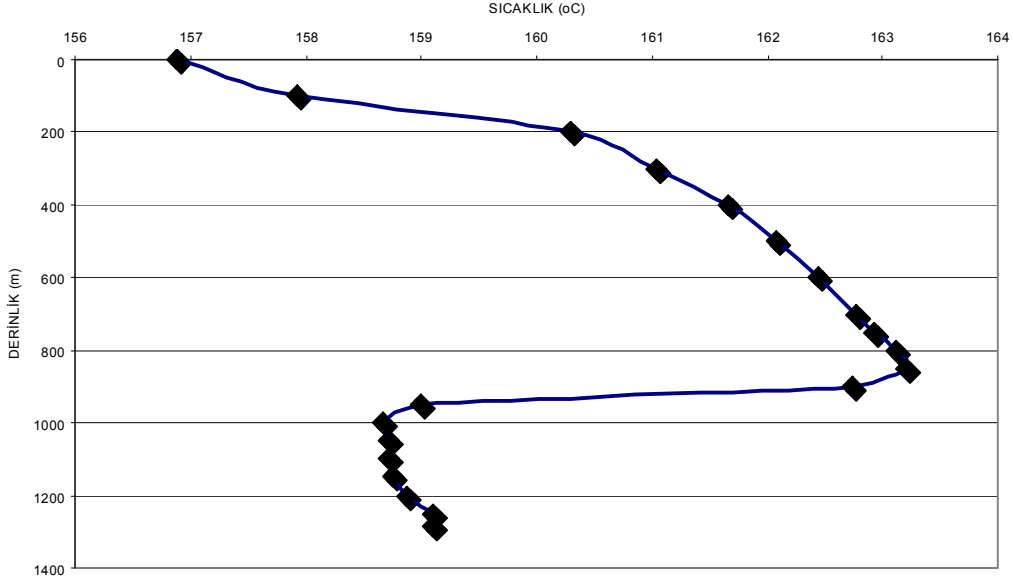
Formülde seperasyon şartlarındaki termodinamik değerler alınmaktadır. Burada jeotermal akışkanın atmosfere boşaldığı kabul edilmekte olduğundan 100 °C'de suyun entalpisi $h_f=418$ KJ/kg, buharın entalpisi $h_g=2676$ KJ/kg, karışım entalpisi olarak $h_{fg}=2258$ KJ/kg değerleri alınmıştır.



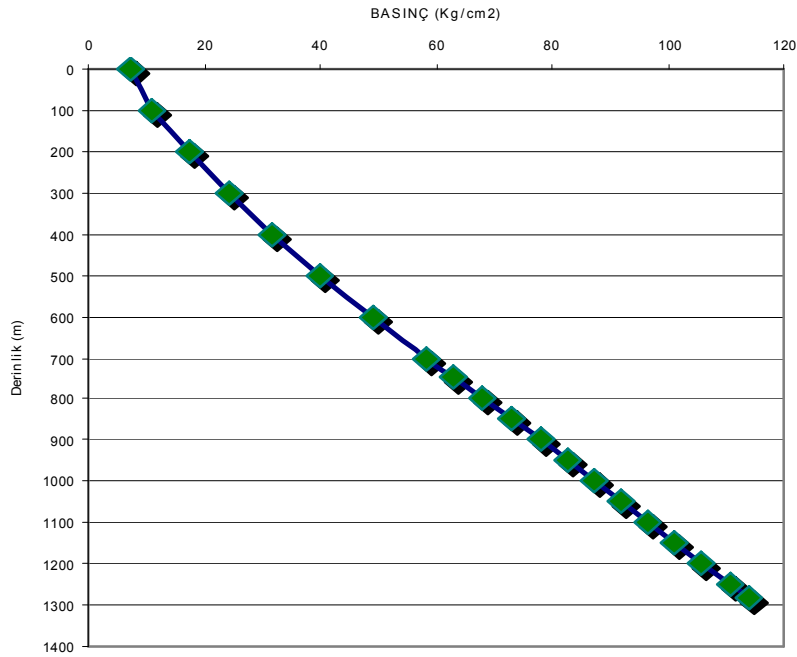
Şekil 17. Silencer-savak yapısı

5.8. Üretim Testi Sırasında Alınan Dinamik Sıcaklık ve Basınç Ölçüleri

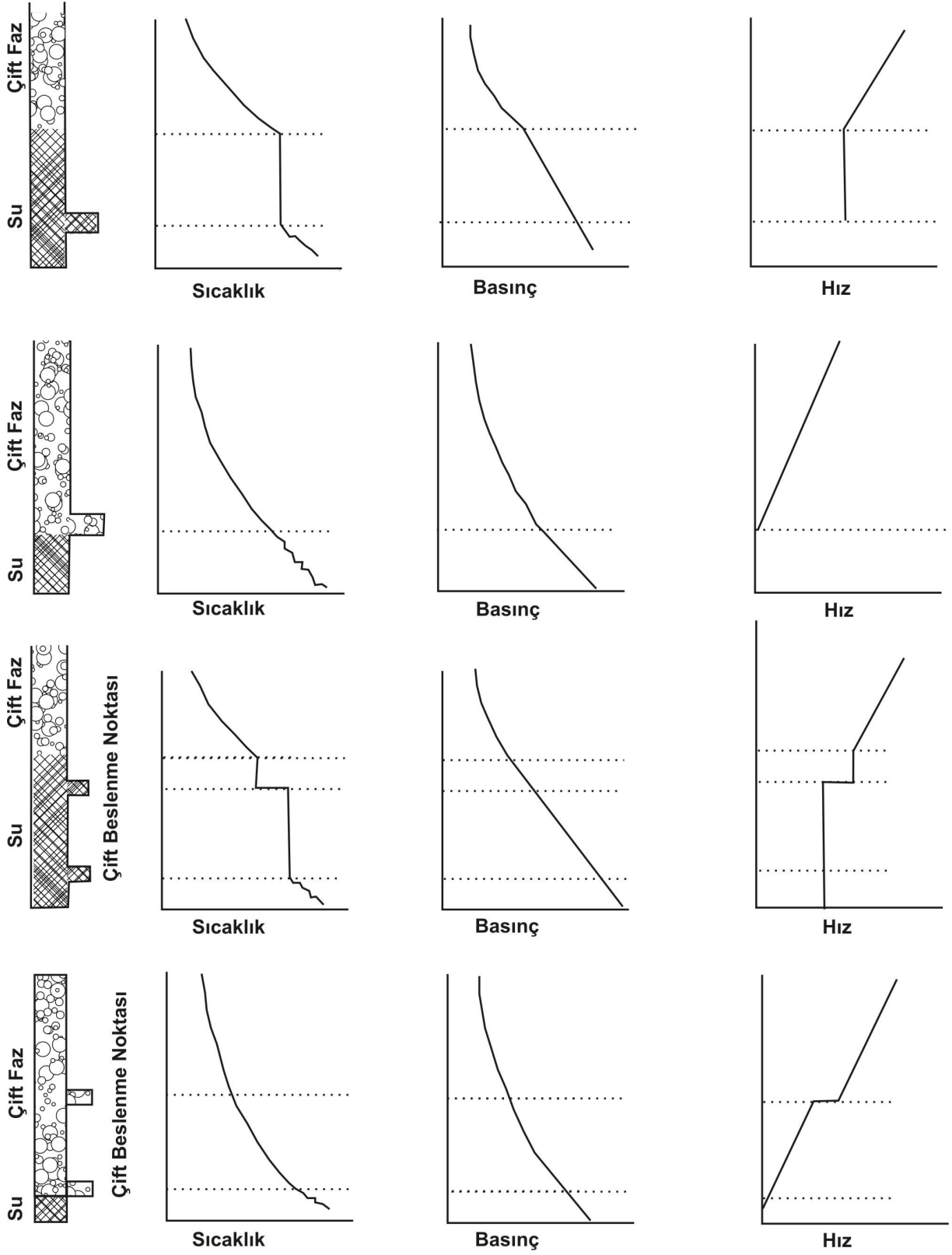
Jeotermal kuyu açık iken alınan ölçülerdir. Gerek statik, dinamik sıcaklık ölçüleri gerekse statik, dinamik basınç ölçüleri işletme sırasında belli aralıklarla alınarak grafiklerdeki profiller takip edilir. Dinamik basınç ölçüsünde lineer olarak düz bir çizgi halinde uzanan basınç profili belli bir seviyeden yüzeye doğru sapma gösterir ki bu da kuyu içinde kabuklaşmanın başladığı seviye hakkında belli bir fikir verebilir. Dinamik sıcaklık ve basınç ölçülerinde kısıtlayıcı faktör akışkanın kuyu içi yüksek hızı nedeniyle ölçü aletini kuyudan atma riskidir. Bu nedenle ölçü aleti üzerine belli ağırlıklar eklenerek bu risk azaltılmaya çalışılır.



Şekil 18. Dinamik sıcaklık ölçüsü



Şekil 19. Dinamik basınç ölçüsü



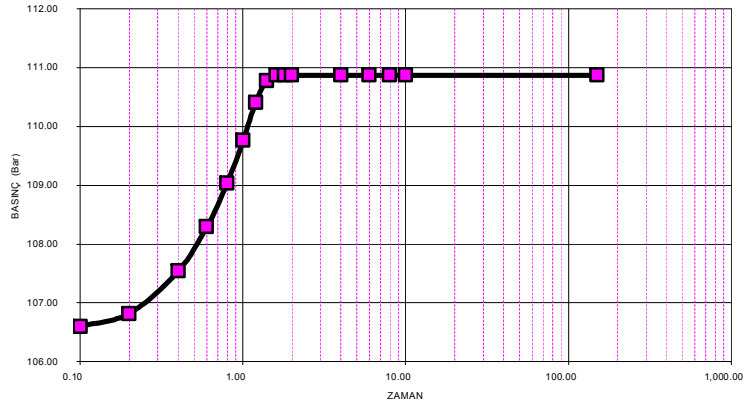
Şekil 20. Değişik tip kuyularda sıcaklık, basınç ve hız profilleri

5.9. Basınç Geçiş Testleri

Basınç düşüm ve yükselim testlerinin yapılması için en uygun zaman, üretilebilirlik testlerinin yapıldığı dönemdir. Bu testler yeterli detayda yapılarak, kuyu çevresindeki rezervuarın özellikleri belirlenmelidir. Örneğin, rezervuar su-baskın bir rezervuar ise ve doğrusal bir davranış gösteriyorsa, geçirgenliğin belirlenmesi için birkaç ölçüm yeterli olacaktır. Basınç geçiş testleri sırasında, basınç kayıt aracı su kaybı testi ile belirlenen beslenme zonu karşısına indirilir. Testler uygulanırken kuyu hızlı bir şekilde açılıp, kapatılacağından kuyunun collapse yapmamasına dikkat edilmelidir.

5.9.1. Basınç Yükselim Testi (Build-up test)

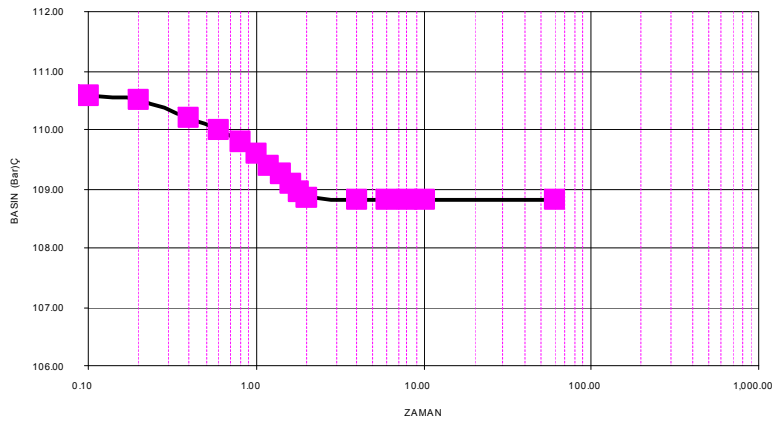
Üretim halindeki kuyunun hızlı bir şekilde kapatılmasıyla gerçekleştirilir. Belli basınç ve debide rezervuardan kuyu içine geçiş yaparak yüze ulaşan akışkan, kuyunun kapatılmasıyla rezervuarda ve kuyu içinde basınç yükselimi oluşur. Build-up testi vasıtasıyla rezervuar parametreleri yanında kuyunun verimlilik endeksi (productivity index) hesaplanabilir. Bu test işletme sırasında da sık sık tekrarlanarak kuyu performansının trendi yakından takip edilir.



Şekil 21. Basınç Yükselim Testi (Build-up test)

5.9.2 Basınç düşüm Testi (Draw-down test)

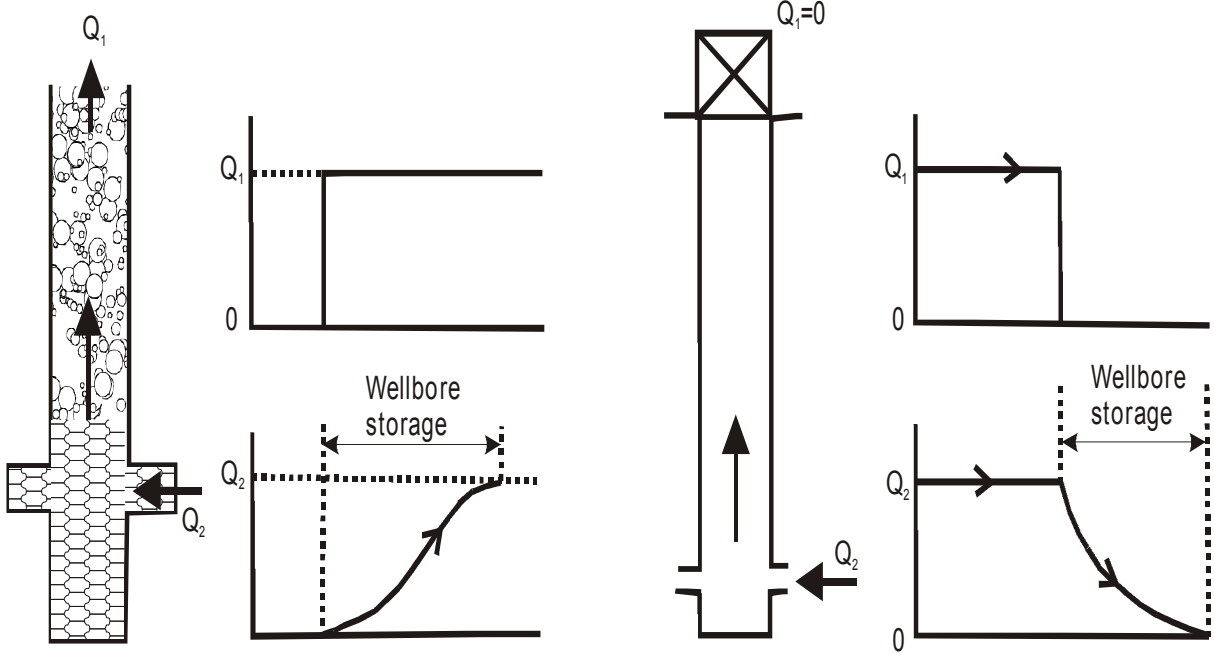
Basınç yükselim testinin aksine kapalı haldeki kuyunun hızlı bir şekilde açılmasıyla rezervuarda oluşan basınç düşümü kayıt edilir.



Şekil 22. Basınç Düşüm Testi (Draw-down test)

Basınç geçiş testleri ve enjeksiyon testleriyle rezervuarın bir takım parametreleri tespit edilerek işletme sırasında bu parametrelerdeki değişim trendleri yakından gözlenir ve gerekli tedbirler alınır.

Bahsedilen bu parametreler rezervuar kayacın akışkanlı iletme (transmissivity) yeteneği, kuyu içi depolaması gibi parametrelerdir.



şekil 23. Kuyu içi depolaması (Wellbore storage)

İletkenlik (Transmissivity), Eşitlik 9 :

$$\frac{k \cdot h}{\mu} \quad \frac{m^3}{Pa \cdot s} \quad (9)$$

k : Geçirgenlik (Permeability) (darcy)

h : Akifer kalınlığı (m)

μ : Dinamik vizkozite (Pa.s)

Kuyu içi depolaması (Wellbore storage), Eşitlik 10 :

$$\varphi \cdot c \cdot h \quad (10)$$

φ : Gözeneklilik (Porosity) (%)

c : Sıkıştırılabilirlik (Compressibility)

h : Akifer kalınlığı

5.9.3. Diğer Test İşlemleri

Yukarıda bahsedilen test operasyonlarına ilave olarak üretim sırasında akışkanın kimyasal özelliklerinin tespitine yönelik kimyasal analizler, üretim miktarı-kabuklaşma hızı ilişkileri, yoğunlaşmayan gaz analizleri de gerçekleştirilen diğer işlemlerdir.

KAYNAKLAR

- [1] A.GRAND MALCOLM, G.DONALDSON IAN,F.BIXLEY PAUL, "Geothermal Reservoir Engineering", Academic Press,1982.
- [2] J.O'SULLIVAN MICHAEL,McKIBBIN ROBERT, "Geothermal Reservoir Engineering", A manual for geothermal reservoir engineering courses at the Geothermal Institute,University of Auckland,1989.
- [3] Jeotermal Enerji Eğitim Kurs Notları, JICA, Kyushu- Japonya, 1989.
- [4] Jeotermal Enerji Eğitim Kurs Notları, UNU, Reykjavik-İzlanda, 1984.
- [5] KJARAN, SNORRÍ PALL, ELÍASSON JONAS, "Geothermal Engineering Lecture Notes",1983.

ÖZGEÇMİŞ

Süleyman ÖZÜDOĞRU

1956 yılı İzmir doğumludur.1979 yılında Ege Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünü bitirmiş ve aynı yıl MTA Genel Müdürlüğü Sondaj Daire başkanlığında göreve başlamıştır. Çeşitli sondaj servislerinde görev yaptıktan sonra 1983 yılında Jeotermal Sondajlar bölümüne geçerek Germencik-Ömerbeyli jeotermal sahasında kamp mühendisi olarak göreve başlamıştır. Kamp mühendisi ve kamp şefi olarak sahada yapılan sondaj çalışmaları yanısıra rezervuar ve üretim testlerinde de çalışmalarına devam etmiştir. Germencik-Ömerbeyli sahasından sonra Aydın-Salavatlı jeotermal sahası sondaj ve test çalışmaları, Denizli-Kızıldere sahasında İtalyan'larla yürütülen interference testleri, İzmir-Balçova jeotermal sahası sondaj çalışmaları, İzmir-Aliğa jeotermal sahası sondaj çalışmaları, Manisa-Salihli-Kurşunlu sahası jeotermal sondaj çalışmaları, İzmir-Dikili jeotermal sahası test çalışmaları, Aydın-Bozköy jeotermal sahası, Aydın-İmamköy jeotermal sahası sondajlarında kamp şefi olarak çalışmıştır. 1990-1992 yılları arasında MTA Ege Bölge Müdür Yardımcılığı görevini yürüttükten sonra halen, jeotermal sondaj ve testler konusunda çalışmalara devam etmektedir. Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Sondajcılık ve Mermencilik Meslek Yüksek Okulunda Sondaj dersleri vermektedir.