

JEOTERMAL KUYULARDA ÜRETİM ÖLÇMELERİ

Umran SERPEN

ÖZET

Bu çalışmada jeotermal kuyulardan üretilen tek ve iki fazlı akışkanların üretim miktarları ve entalpilerinin yanında gaz ölçüm yöntemleri anlatılmış ve bu yöntemlerde kullanılan donanımlar hakkında bilgi verilmiştir.

1. GİRİŞ

Jeotermal enerjiden faydalanmada, bu enerjiyi taşıyan akışkanların ölçülmesi hayati önem taşımaktadır. Bu akışkanlar sıcak su, buhar ve gazdır. Ölçüm sırasında sıcaklığın yarattığı sorunlar yanında büyük ölçekte üretim yapılması da, başka sorunları beraberinde getirmektedir. Aslında su debilerini ölçmek kolay iken sıcak su, özellikle 100°C üzerinde buharın ayrılması dolayısıyla, ölçmede sorun yaşanmaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji dolayısıyla, soğuk sular için kullanılan aletlerin gelişmişleri sıcak sular için de kullanılmaya başlanmıştır. Öte yandan, jeotermal suların yarattığı çevre kirliliği dolayısıyla bazı basit yöntemlerin uygulanamaması, yukarıda bahsedilen teknolojik gelişmelerle aşılmıştır.

Aslında, yakın zamanlara kadar en büyük sorun iki fazlı akışkanlarda yaşanmaktaydı. Bunun nedeni de, yüksek entalpili sahalarda kuyuiçinde yükselirken basınç düşümü dolayısıyla bir kısmı buharlaşarak iki fazlı haline gelen jeotermal akışkanın toplam ve bileşen debilerinin ölçülmesi gereğiydi. Bunun için klasik yöntemler bulunmakla birlikte, son gelişen teknolojiyle iki fazlı akışkanın debisini ölçmek artık mümkün olabilmektedir. Ancak, bu iş için kullanılan donanım son derece pahalıdır.

Jeotermal kuyularda üretim ölçmeleri kütleli akış ile ısı akışını belirleyip değerlendirmek amacıyla ya belli bir kuyubaşı basıncının, ya da kuyudibi basıncının değişimine göre yapılmaktadır. Bundan ötürü, bu bildiri bu amaca yönelik olarak düzenlenmiştir.

2. ÜRETİM ÖLÇÜMLERİNİN KULLANIMI

Üretim ölçümleri kısa bir dönem için gerçekleştirilirse, rezervuar işletmesi için uygun yüzey donanımları seçimi için yapılacaktır. Diğer bir deyişle, bir tür kuyubaşı ve kuyuya akış yetkinliği ilişkisi "IPR" belirlenecektir. Artezyen kuyularda bu değişim kuyubaşı basıncına göre yapılır, pompayla üretim olan kuyularda ise kuyudibi veya kuyudaki dinamik su seviyesinin değişimine göre yapılır. Ancak, her iki durumda da, mümkünse kuyudibi basıncına göre yapılması arzu edilen bir durumdur.

Uzun dönemli üretim ölçümleri üretimin zamana göre değişimini gösteren, diğer bir deyişle, jeotermal sahanın yetkinliğini (performance) ortaya koyan veri üretirler. Zamanla üretimin değişiminin, sahadaki basınç düşümü, rezervuarda çökme veyahut da kuyular arası girişim dolayısıyla oluşabileceğine dikkat etmek gerekir.

3. ÜRETİM ÖLÇÜMLERİ SIRASINDA ALINACAK TEDBİRLER

Geçmişte tüm dünyada jeotermal kuyuların üretime açılmaları ve kapanmaları sırasında kuyudibinde formasyon yıkılmaları gözlenmiştir. Kuyuların korunması amacıyla, ölçüm işlemleri sırasında uygulanacak kuyu açma ve kapama işlemlerinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekir:

- Kuyuların açılma ve kapanma işlemleri yavaş ve dikkatli bir şekilde tüm donanımlar kontrol edilerek uygulanmalıdır.
- Kuyunun açılma ve kapanma basıncını kontrol etmek için kuyubaşına bir manometre takılmalıdır.
- Eğer kapanma sırasında kuyubaşı basıncında büyük bir artış gözlenirse, kapanma işlemi geciktirilmelidir.
- Kuyuyu açıp kapama işlemleri için ana vana (master valve) kullanılmamalıdır. Onun yerine, üzerine takılmış ikinci vana veya yatay akış kontrol vanası kullanılmalıdır.

4. TEK FAZLI AKIŞKANLARIN DEBİ ÖLÇÜMÜ

Kuyu, sıcak su (<100°C) veya buhar gibi tek fazlı akışkan üretiyorsa veya kuyudan iki fazlı üretilen akışkanın separatörde su ve buhar fazlarına ayrılmaları durumunda, aşağıdaki ölçüm yöntemi uygulanmalıdır:

4.1. Sıcak Suyun Debisinin Ölçümü

Savak Yöntemi

Tek faz su ise, 100°C altındaki sıcak suların debisini ölçmek için, savak yöntemi kullanılır. Bu sular doğrudan kuyudan gelen (artezyen veya pompayla) ve susturucudan (silencer) geçen sular olabilir. Hesaplamalar yapılırken, savaktan akan suyun sıcaklığının yoğunluğa etkisi de dikkate alınmalıdır. Kuyu artezyen akış yapmıyor, sıcaklığı 100°C'in altında ve ilk kez akışa açılacaksa (debisi tanınmıyorsa), kompresörle kuyuya değişik derinliklerden hava basılarak dışarıya alınan suyun debisi savaktan ölçülebilir.

Şekil 1 ve Şekil 2'de görülen dikdörtgen ve üçgen olmak üzere iki tür savak bu tür ölçümler için kullanılabilir. Bu savaklardan akan suyun debisini hesaplamak için aşağıdaki formüller kullanılır [1]:

Dikdörtgen savak için,

$$Q = K \times b \times h^{3/2} \quad (1)$$

Burada:

Q = Akış debisi, m³/dak

K = Savak konfigürasyonuna bağlı sabit,

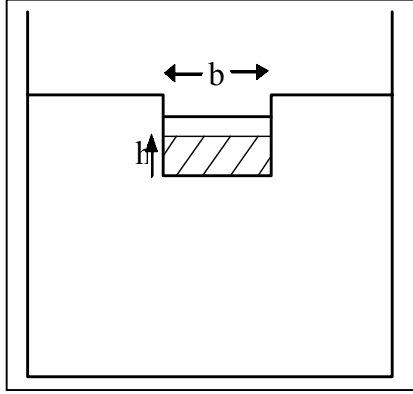
b = Akış kanalı genişliği, m

h = Akış kanalı tabanından su seviyesi yüksekliği, m

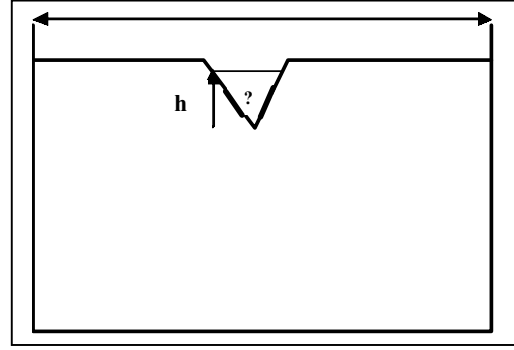
Üçgen savak için,

$$Q = K \times h^{5/2} \times \sin \alpha \quad (2)$$

Üçgen savağın tepe açısı 90°C olursa, $\sin \alpha = 1$ olduğu için formül sadeleşir.



Şekil 1. Dikdörtgen savak



Şekil 2. Üçgen savak

4.2. Pompayla Üretim Yapılan Kuyularda Ölçüm

Bu tür kuyularda üretim ticari cihazlarla ölçülebileceği gibi, Şekil 3'te gösterilen basit bir düzenele de ölçüm yapılabilir. Bu düzenek sonuçta bir orifise bağlı olup, o da Şekil 4'te gösterilmektedir. Orifisin kullanılması durumunda akışkan debisinin hesaplanması aşağıdaki formülle yapılmaktadır [2]:

$$Q = C \times A (2 \times g \times H)^{1/2} \quad (3)$$

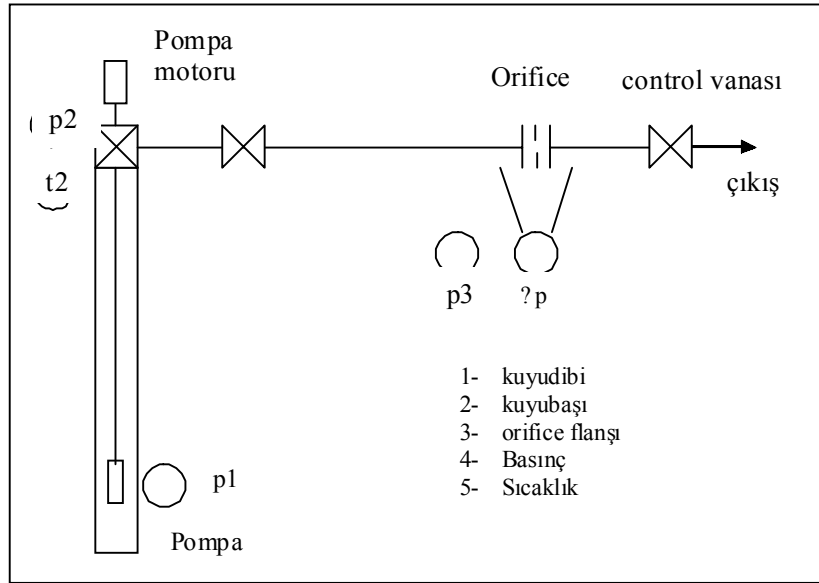
Burada:

Q = Akış debisi, ft³/sn

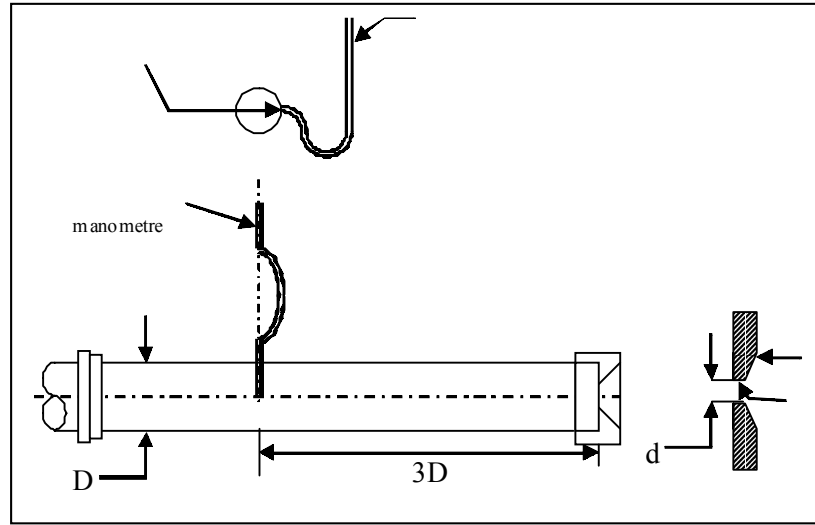
C = Akış katsayısı,

G = Yerçekimi ivmesi, 32.17 ft/sn²,

H = Manometre yüksekliği, ft.



Şekil 3. Pompalı kuyuda sıcak akışkan debisi ölçümü [2].



Şekil 4. Orifisin detayları [2].

4.3. Buhar Debisinin Ölçümü

Kuru veya doymuş buhar kuyularından üretilen veya separatörden çıkan buhar debisini ölçmek için orifis yöntemi kullanılmalıdır. Bu orifis Şekil 5'te gösterilmektedir. Bu yöntemin esası, gözlenen orifisteki basınç düşümünün değerlendirilmesidir. Debi hesabı aşağıda verilen formülle yapılmaktadır [1]:

$$Q = 0.01252 \times \alpha \times \epsilon \times m \times D^2 (\gamma \times \Delta P)^{1/2} \quad (4)$$

Burada:

Q = Buhar debisi, ton/st

$$m = d^2/D^2,$$

d = Orifis çapı, mm,

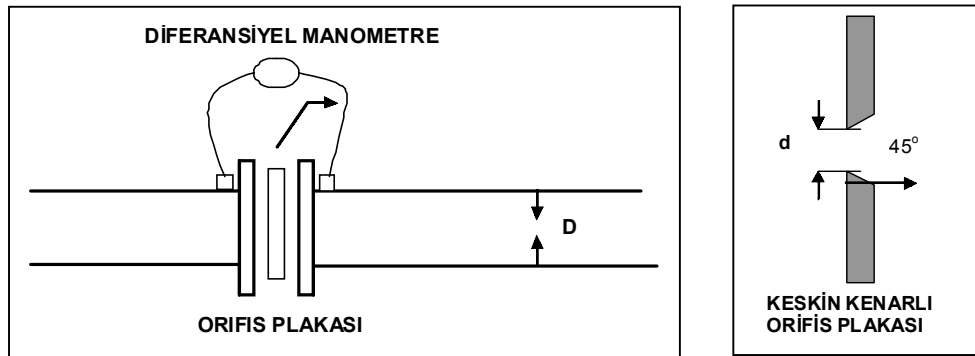
D = Akış borusu çapı, mm

α = Akış sabiti,

ϵ = Buhar sıkıştırma faktörü,

γ = Buharın kaynak basıncındaki yoğunluğu, kg/m^3 ,

ΔP = Orifiste basınç düşümü, kg/m^2 ,



Şekil 5. Orifis yöntemiyle buhar debisinin ölçümü için düzeneğin şematik gösterimi

5. İKİ FAZLI AKIŞKANLARIN ÖLÇÜMÜ

Sıcaklığı 100°C üzerinde olan suların kendiliğinden akan kuyulardan üretilirken basınç düşümüyle iki faza geçmesi veya rezervuarda akışkanın iki fazlı olması durumunda rezervuardan itibaren iki fazlı üretilen akışkanların debisi ve entalpisi aşağıdaki yöntemlerle belirlenebilir.

Düşey Deşarj Yöntemi

Bu amprik yöntemle kuyunun geliştirilmesi aşamasında kuyu üretimi hakkında bilgi edinilecektir. Bu yöntem kuyubaşına dudak basıncı ölçebilecek bir kısa boru düşey istikamette yerleştirilerek gerçekleştirilebilir. Bu yöntemde akışkan entalpisinin bilindiği varsayılmaktadır. Akışkan debisi için aşağıdaki formül kullanılır [3]:

$$G = (P_c^{0.96} \times d_c^2) / h^{1.102} \quad (5)$$

Burada:

G = Kütleli debi, ton/s,
 P_c = Kritik basınç, kg/cm² a,
 d_c = Akış borusu iç çapı, mm,
 h = Jeotermal akışkanın entalpisi, kCal/kg.

Orifis ve Dudak Basıncı Yöntemi

Russel James orifis-dudak basıncı "orifice-lip pressure" yöntemi olarak bilinen bu amprik yaklaşımda, orifisteki basınç düşümü boru ucundan alınan kritik basınçla birlikte değerlendirilmekte olup, ölçüm düzeneği Şekil 6'da verilmektedir. Bu yöntemle elde edilen değerler 250-305 kCal/kg arasındaki entalpili akışkanlar için daha sağlıklıdır. Hesaplama yöntemi ise aşağıdaki formülden deneme-yanılma yöntemi ile entalpi bulunduktan sonra, düşey deşarj yöntemindeki denklem (5) ile toplam debi hesaplanır [3,4]. Akışkanın CO² taşınması durumunda, sonuçlarda düzeltme yapılması gerekir.

$$h^{1.102} = 1229.71 (P_c^{0.96}/Y_{tp}) (d_c/d_m)^2 (1-\beta^4) \{[(h_o-h_f)^{1.5} (v_g-v_f) + v_f]/\Delta_{tp}\}^{1/2} \quad (6)$$

Burada.

P_c = Kritik basınç, kg/cm² a,
 h_o = Jeotermal akışkanın entalpisi, kCal/kg,
 h_f = Orifisin kaynak basıncındaki entalpi, kCal/kg,
 d_c = Akış borusu iç çapı, mm,
 d_m = orifis çapı, mm,
 $\beta = d_m/D$
 D = Ana boru çapı, mm,
 Y_{tp} = Genleşme katsayısı
 Δ_{tp} = Orifisteki basınç düşümü, mmHg,
 v_g = Orifisin kaynak tarafında buharın özgül hacmi, m³/ton,
 v_f = Orifisin kaynak tarafında suyun özgül hacmi, m³/ton.

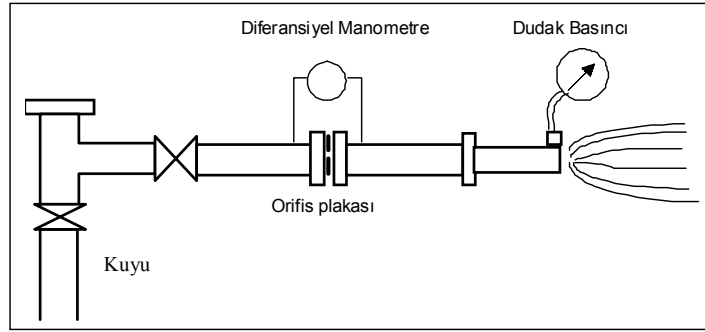
Orifis ve Susturucu (silencer) Yöntemi

Russell James orifis ve susturucu "lip pressure-silencer" yöntemi olarak bilinen bu amprik yaklaşımda, dudak basıncı değerleri susturucu savağından elde edilen debi verileriyle birlikte değerlendirilmektedir. Bu test için ölçüm düzeneği Şekil 7'de verilmektedir. Bu yöntem orifis-dudak basıncı yöntemine göre daha sağlıklı sonuçlar verir. Ayrıca, susturucu yalnız gürültüyü en alt düzeye indirmekle kalmaz (çevre kirlenmesi açısından), atmosferik basınçta çalışan bir separatör görevi görür. Kütleli debi aşağıda verilen formülle deneme yanılma yöntemi kullanılarak yapılır [3].

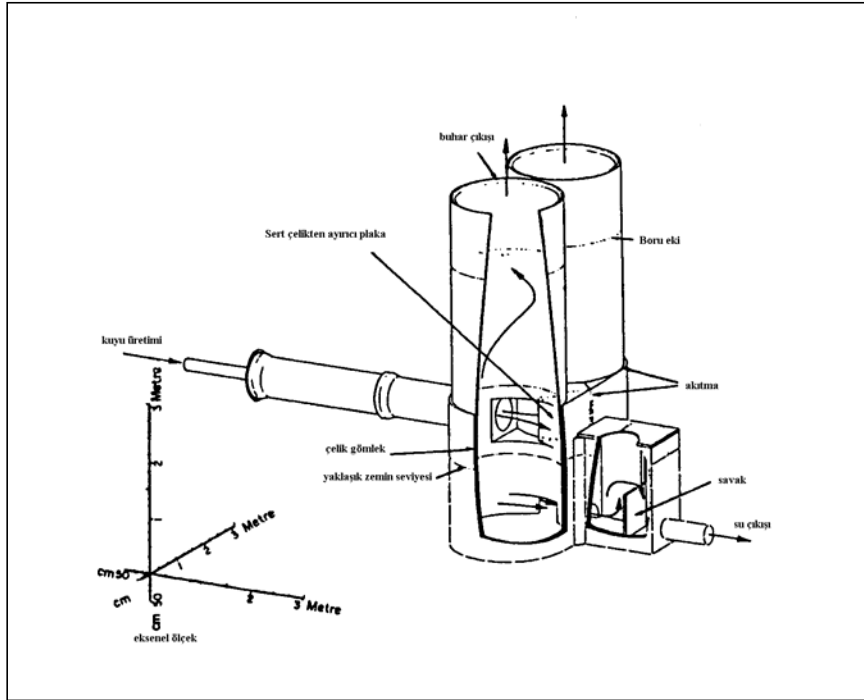
$$\text{Kütleli debi} = 1.052 (P_c^{0.96} \times d_c^2) / h_o^{1.102} = (538.9 \times W_w) / (638.9 - h_o) \quad (7)$$

Burada:

W_w = Savaktaki su debisi, ton/st



Şekil 6. Russel James'in orfis-dudak basıncı ölçüm cihazının şematik gösterimi

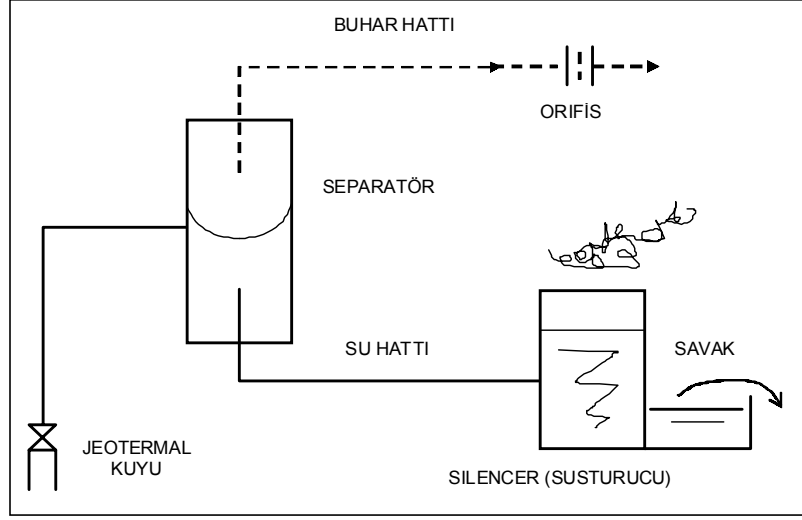


Şekil 7. Russel James'in dudak basıncı-susturucu test düzeneği şematik gösterimi.

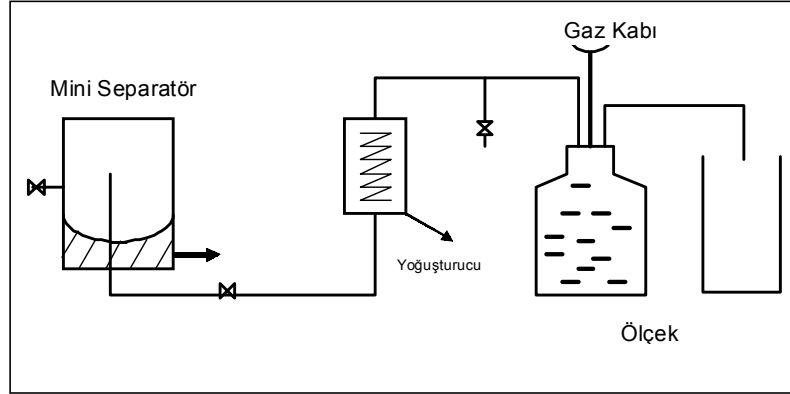
Separatör Yöntemi

Separatörle iki fazlı akışkanın debi ve entalpisinin ölçümü için, bu fazların buhar ve basınçlı su olarak (separatör basıncında) ayrılması gerekir (Şekil 8). Bu ölçümler geçici ve kapasitesi sınırlı bir separatörle yapılacağı gibi orfis-dudak basıncı yöntemiyle elde edilen kaba verilere göre tasarımı yapılmış kalıcı bir separatörle de olabilir. Ayrılan buhar fazı, yukarıda anlatılan orfis yöntemi ile kolaylıkla ölçülebilir. Su fazı ise, doymuş olduğu için doğrudan savağa verilemez. Bu nedenle, ya bu basınç, sıcaklık ve entalpide hatalı sonuç verebilecek orfis-dudak basıncı yöntemiyle sağlıksız, ya da bir susturucuya (silencer) verilerek dudak basıncı-susturucu yöntemiyle sağlıklı olarak ölçülecektir. Doymuş su fazı için ikinci bir ölçme yöntemi, bu suyun önce bir ısı değiştiricisinde soğutulup, savağa

gönderilmesi ve orada debisinin ölçülmesidir. İki fazlı akışkanın toplam ve fazların ayrı ayrı debileri en sağlıklı ve güvenilir olarak bu yöntemle ölçülür [1].



Şekil 8. Separatör yöntemiyle ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi.



Şekil 9. Mini separatörle gaz ölçüm düzeneğinin şematik gösterimi.

6. GAZ ÖLÇÜMLERİ

Gaz ölçümleri, kuyubaşındaki bir noktadan alınan akışkan Şekil 9'daki mini separatörden geçirilerek yapılır ve ayrıca, mini separatörden gaz örnekleri de alınır [1].

7. KUYUİÇİ SEVİYE ÖLÇÜMLERİ

Özellikle düşük sıcaklıklı jeotermal sahalarda en çok alınan ölçüm, kuyuiçi seviyeleridir. Bunlar rezervuardaki basınç düşümü yanında, akış yönlerini belirlemek için yararlıdır. Bu işlem için ıslak bant, elektrik sonda, kapiler tüp ve yüzer tapa gibi aygıtlar kullanılır. Bunların içinde en güvenilir ve popüler olanı elektrikli sonda olup, pompalı kuyularda ise kapiler tüp kullanılır.

KAYNAKLAR

- [1] Serpen, U., 1988. Jeotermal Enerji Ders Notları, İstanbul.
- [2] Stieger, S.G., Renner, E.G., Lienau, P.J., Culver, G., 1998. Well Testing and Reservoir Evaluation. Ed.: Lund, J.W., in: Geothermal Direct-Use Engineering and Design Guidebook. Geoheat Center, Oregon Institute of Technology, Oregon.
- [3] James, R., 1970. Factors Controlling Borehole Performance. Proceedings of 1st UN Symposium on Development and Utilization of geothermal Resources, VII/6 Pisa Italy.
- [4] James, R., 1965. Metering of Steam-Water Two-Phase Flow by Sharp-Edged Orifices. Proc. Inst. Mech. Engrs., 180, 549.

ÖZGEÇMİŞ

Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarda çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.