

JEOTERMAL ENERJİ REZERVUAR GÖZLEMİ

Niyazi AKSOY

ÖZET

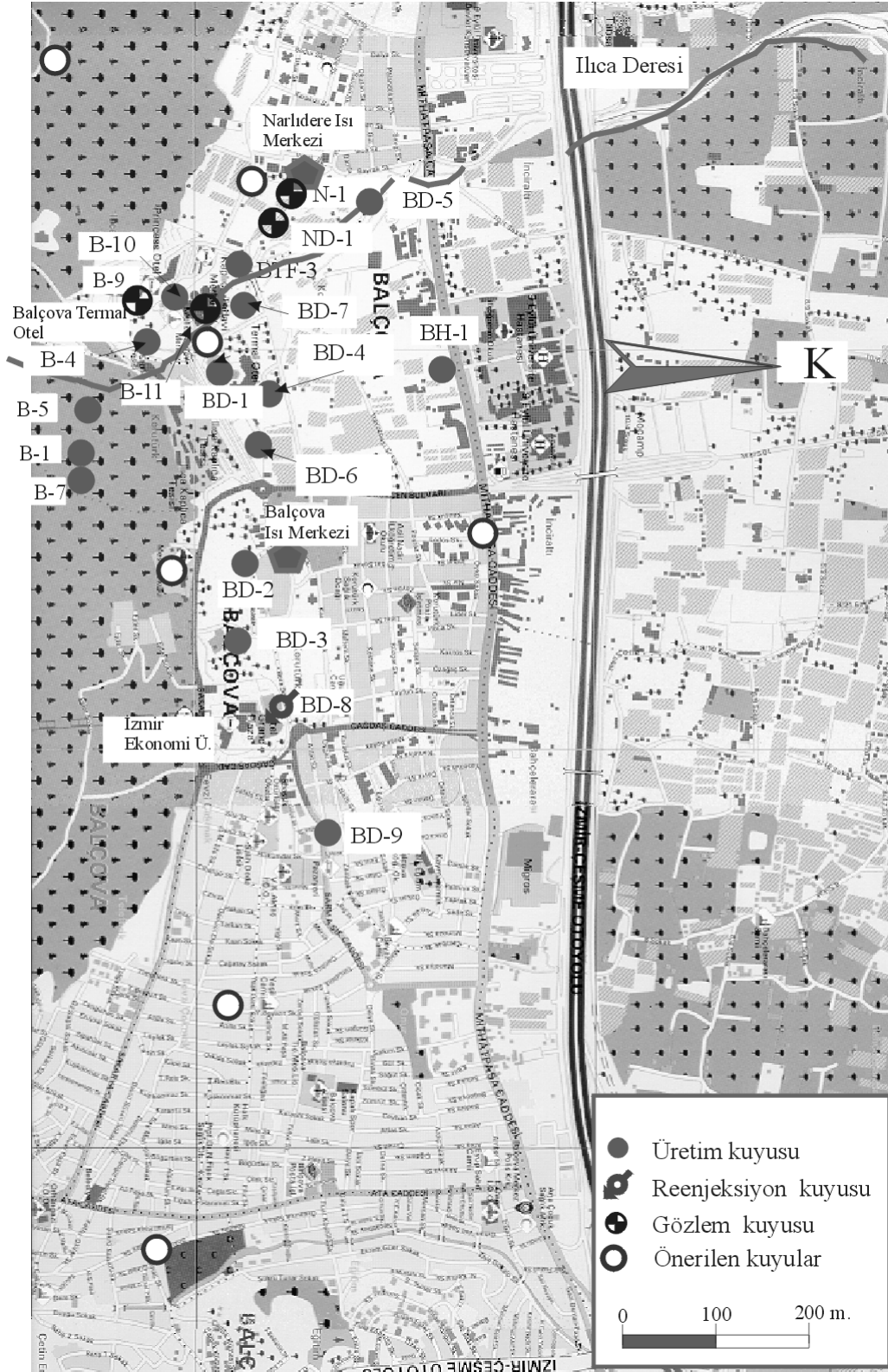
Jeotermal sahaların işletilmesi sırasında debi, sıcaklık, basınç, su seviyeleri, üretilen ve reenjekte edilen (geri basılan) akışkanın kimyasal bileşimi periyodik olarak gözlemlenmeli ve kayıt edilmelidir. Bu çalışmada Balçova jeotermal sahasında yapılan gözlem çalışmaları sonucu, terk edilmiş kuyuların üretim yapabileceği belirlenmiş, kuyuların toplam üretim kapasitesi 620 m³/st'den 1580 m³/st'e çıkartılmıştır. Her bir kuyunun karakteristik bir özelliği olan üretim indeksi ve enjektivite indeksleri hesaplanmıştır. Sahanın işletme stratejisi, reenjeksiyonun etkileri, sahadaki su seviyesi değişimleri incelenmiş ve sahanın sağlıklı gelişimi için yapılması gereken çalışmalar ve öneriler sunulmuştur. Bu çalışmada, Balçova jeotermal sahasında debi, sıcaklık, su seviyesi-basınç ölçümleri ve sonuçları tartışılmıştır.

1.GİRİŞ

Türkiye'nin sondajlı arama yapılan ilk jeotermal sahası olan Balçova'da 1963 yılında başlayan çalışmalar, 1996 yılında bölgesel ısıtma sisteminin devreye alınması ile yeni bir döneme girmiştir. 1998 yılında 2.500 KE (Konut Eşdeğeri) kapasiteye ulaşan sistem, hızlı bir büyüme ile 2003 yılı sonunda 18.000 KE kapasiteye ulaşacağı tahmin edilmektedir. Yeterli enerjinin temin edilmesi halinde, SİSTEM-2 olarak adlandırılan 2x5.000 KE'lik yeni bir bölgesel ısıtma sisteminin daha kurulması için çalışmalar sürdürülmektedir.

“Yenilenebilir” bir enerji kaynağı olan jeotermal enerji, doğa tarafından üretildiği kadar tüketilmesi durumunda “sonsuz” bir ömre sahiptir. Üretilen jeotermal suyun, enerjisi alındıktan sonra tekrar alındığı ortama basılması halinde jeotermal enerji temiz ve çevreci bir kaynaktır. Jeotermal enerji diğer enerji kaynaklarına göre daha ucuzdur. Uzak mesafelere taşınması ekonomik değildir, bu nedenle bulunduğu bölge ve çevresinde kullanılmalıdır. Dışa bağımlılığı yoktur.

Jeotermal kaynaklı bölgesel ısıtma sistemini, diğer bölgesel ısıtma sistemlerinden ayıran en önemli fark şüphesiz “jeotermal enerji kaynağı”dır. Bölgesel ısıtma sistemi ile ısı konfor sağlanacak konutlar, okullar, hastane ve işyerlerine kesintisiz, ısı konfor koşullarında enerji sunulması zorunludur. Jeotermal enerji kaynağının, enerji ihtiyacını kesintisiz olarak karşılaması gereklidir. Bu durumda sahanın kapasitesi nedir ? En çok ne kadar jeotermal enerji çekilebilir ? Sahadan daha fazla enerji çekmek için nasıl bir üretim ve reenjeksiyon stratejisi izlenmelidir ? Reenjeksiyonun sahaya etkisi nasıldır ? Sahanın gelişiminde nasıl bir yöntem izlenmelidir ? sorularına cevap aranmalıdır. Bu soruların karşılığı sahada yapılacak “gözlem” ve “rezervuar” çalışmaları ile bulunabilir. Bu çalışmada, 2000 yılından günümüze kadar sahada (Şekil 1) yapılan günlük debi, su seviyesi, basınç, sıcaklık ve aylık üretim–enjektivite testleri ile su kimyası çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Balçova jeotermal sahası ve kuyuların konumu

1963 yılından beri bilinen bir saha olmasına rağmen, sondaj ve kuyu logları dışında, 2000 yılına kadar saha ile ilgili hemen hemen hiçbir veri yoktur. Geçmişte delinen kuyuların büyük bir kısmının tam olarak test edilemediği için, gerçekte çok büyük miktarlarda üretim yapabilecek kuyuların kullanılmadığı ve bazılarında terk edildiği belirlenmiştir.

2.GÖZLEM (MONITORING) NEDİR ?

Jeotermal sahalarda, kuyuların üretim ve reenjeksiyon miktarları, sıcaklık ve basınçlar, sahadaki su seviyesi ve kimyasındaki değişimler, kısaca işletme sırasında sahanın verdiği tepkilerin izlenme ve değerlendirme işlerinin tümüne birden “gözlem” (monitoring) denir. Gözlem çalışmaları ile elde edilen veriler sahanın gelecekteki davranışını kestirmek için yapılan “rezervuar performansının belirlenmesi ve modellenmesinde” kullanılır. Bu çalışma sonucu ortaya çıkan “model değerleri” ile “gözlemlenen değerler” karşılaştırılır. Bu iki veri gurubu uyumlu ise modelin uygun olduğu kabul edilir, uyumsuz ise modelin yeniden gözden geçirilmesi gerekir.

Balçova sahası için iki yıl süren bir performans belirleme ve modelleme projesi 2002 yılında tamamlanmıştır [1]. Bu proje öncesi 2000 yılı başında başlayan gözlem çalışmaları halen sürdürülmektedir. Gözlem çalışması ile:

- Üretim ve reenjeksiyonun planlanarak sahadan maksimum enerjinin üretilmesi
- Üretim maliyetlerinin en aza indirilmesi
- Ve sahanın en optimum şekilde işletilmesi hedeflenmektedir.

Bu amaçlara yönelik olarak sahada periyodik olarak;

- Üretim testleri
- Su kimyası
- Suseviyesive basınç değişimleri
- Üretim ve reenjeksiyon debileri

gözlemlenmektedir [2].

3. KUYULARDA İYİLEŞTİRME ÇALIŞMASI SONUCU ÜRETİM ARTIŞI

Sahada geçmiş yıllarda açılmış, günümüzde çeşitli nedenlerle kullanılamayan kuyuların sisteme geri kazandırılması ve mevcut kuyuların eksikliklerinin giderilmesi amacıyla 1991 yılında başlatılan “Kuyularda İyileştirme Projesi” sonuçları açıklanmıştır. Sahanın büyük bir kısmı yerleşim alanı olduğu için yeni kuyu lokasyonlarının bulunmasında güçlük çekilmektedir. Yeni bir jeotermal kuyu delme maliyeti 300-400 \$/m arasında değişmektedir. Son yıllarda sahada delinen kuyuların ortalama derinliği 600 m olduğu göz önüne alınırsa, yeni bir kuyu maliyetinin 200 bin \$’ dan daha az olamayacaktır. Sadece eski ve terk edilmiş kuyuların, onarılması sonucu 2000 yılına göre üretilebilecek jeotermal su miktarı %255 artışla, 620 m³/st’den 1580 m³/st’e çıkartılmıştır (Tablo 1).

Tablo 1. Eski ve terkedilmiş kuyuların onarılması ile elde enerji miktarı

Kuyu no	Delinme Tarihi	2000 Debi (m ³ /st)	2003 Debi (m ³ /st)	(*) WHT, °C
B-1	1982	0	140	102
B-4	1983	60	140	100
B-5	1983	0	140	102
B-7	1983	0	140	96
B-10	1989	100	250	101
B-11	1989	40	0	100
BD-1	1994	0	50	110
BD-2	1995	0	180	132
BD-3	1996	80	120	120
BD-4	1998	140	140	135
BD-5	1999	0	80	115
BD-6	1999	120	120	135
BD-7	1999	80	80	115
Toplam Debi		620	1580	

WHT, KUYUBAŞINDA ÖLÇÜLEN ÜRETİM SICAKLIĞI

B-1 Kuyusu

Kuyu 1982 yılında delinmiş ilk sıcaklığı 115 °C, 104 m derinlikli bir kuyudur. Geçmişte, kuyu içi eşanjör kullanılarak Balçova Termal Otelı ısıtılmıştır. Kuyu, kabuklaşma ve eşanjör sisteminin verimsiz olması nedeniyle yeterli enerji üretiyordu. Kuyuda bulunan eşanjör ve 8-5/8 muhafaza boruları 14 Şubat 2002 'de çekilmiş, daha sonra kuyu temizletilmiş ve 9-5/8 kapalı-filtreli muhafaza borusu indirilerek, üretim ve test çalışmaları yapılmıştır. 19-27 Mart 2003 arasında yapılan pompa testleri kuyudan 150 m³/st debide üretim yapılabileceği görülmüştür.

B-5 Kuyusu

1982 yılında MTA tarafından delinmiş, 108,5 m. derinliğinde ve 124 °C sıcaklığa sahip kuyu, DEÜ hastanesinin kuyu içi eşanjörleri ile ısıtılmasında kullanılmıştır. Kuyudaki eşanjörler sökülüp kuyu temizlendikten sonra, testler yapılmış ve kuyuya 140 m³/st debide üretim yapabilecek, 75 kW pompa 72 m, inhibitör borusu 77 m'ye derinliğe monte edilmiştir.

B-7 Kuyusu

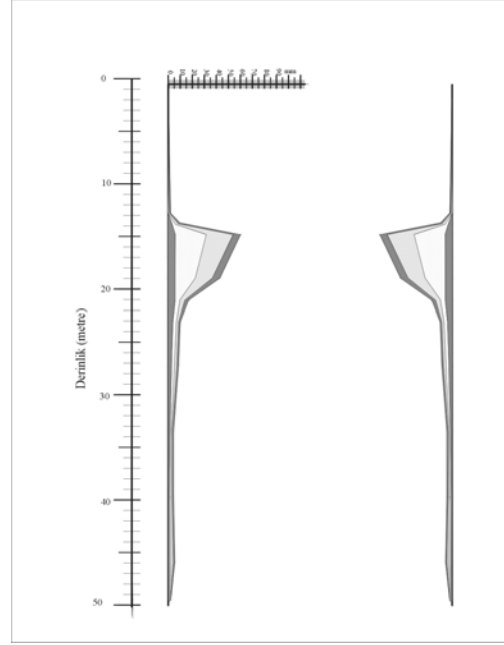
1982 yılında MTA tarafından delinen kuyu 120 m, 115 °C sıcaklığa sahiptir. Kullanılmayan kuyuda temizlik ve test çalışması yapıldıktan sonra, kuyunun 140 m³/st debide üretim yapabileceği belirlenmiştir. Kuyu enerji gereksinimi olmadığı için 2002 yılı sonuna kadar yedekte tutulmuştur. 2003 yılında pompa montajı yapılarak sisteme bağlanacaktır.

BD-1 Kuyusu

Kuyu, nisan 1994'de İl Özel İdaresi'ne ait Prensos Otel'in ısıtılması amacıyla MTA'ya deldirilmiştir. 560 m derinliğindeki kuyuda 135 °C sıcak su bulunmuştur. Yanlış üretim yöntemi kuyuda kabuklaşmaya neden olmuş (Şekil 2) ve jeotermal sondaj tekniği standartlarına uygun olmayan muhafaza borusu kullanılmış olması nedeniyle kuyu kısa bir sürede kaybedilmiştir. 2001 yılında İTÜ tarafından çalışmalar sırasında kuyunun 375 m' den aşağısının tıkanmış olduğu tespit edilmiştir. MTA ve özel sondaj şirketlerine kuyu temizletilmek istenmiş ancak söz konusu kuruluşlar, kuyunun standart dışı donanımına sahip olması nedeniyle, temizlik işine teklif vermemişlerdir.

Ocak 2002 yılında kuyunun içindeki kabuklaşmanın temizlenmesi ve Prensos Otelin ısıtmasının bu kuyudan temin edilip edilemeyeceğini araştırmak için bir çalışma başlatılmıştır. Bu çalışma sonunda

0-200 m arası temizletilmiş ve kuyunun 50 m³/st debide ve en az 110 °C sıcaklıkta üretim yapabileceği görülmüştür. Kuyu için gerekli pompa siparişi verilmiş olup, 2003 yılı içerisinde montajı yapılacaktır. Kuyunun bulunduğu lokasyonun daha yüksek debilerde üretim yapmaya elverişli olması nedeniyle, kuyunun yakınlarına jeotermal sondaj standartlarına uygun yeni bir kuyu yapılması yararlı olacaktır.



Şekil 2. BD-1' de oluşan kabuk (solda) kuyuya üretim için indirilen 200 mm çapında, 54 m uzunluğunda paslanmaz çelik boru kuyudan çıkartılmış ve 4'er metrelik parçalar halinde kesilerek kabuk kalınlıkları ölçülerek çizilmiştir. Oluşan kabuğun kuyu içindeki geometrisi (sağda) düşey eksen derinlik m., yatay eksen kabuk kalınlığı mm. (ölçeksiz)

BD-2 Kuyusu

Kuyu 1995 yılında MTA tarafından delinmiştir. Derinliği 677 m, kuyudibi sıcaklığı 137 °C' dir. Yanlış üretim yöntemi ve standart dışı boru kullanılmış olması nedeni ile kuyu kısa sürede tıkanmış ve kullanılamaz hale gelmiştir. MTA ve özel sondaj firmaları ile yapılan görüşmelerde kuyunun onarılamayacağı belirlenerek kuyu terk edilmiştir.

Kuyunun 0-200 m'lik bölümü Ağustos 2001 yılında temizletildikten sonra, 90 m'ye 75 kW, 13 kademe VJP-853 pompa ve 121 m inhibitör borusu monte edilmiştir. Kuyu halen 180 m³/st debi ve 133 °C sıcaklıkta üretim yapmaktadır.

BD-5 Kuyusu

1999 yılında delinen ve 1100 m derinliğindedir, 117 °C kuyu dibi sıcaklığı ölçülmüştür. Balçova sahasının en derin kuyusu olan BD-5 üretim yapmadığı için "terk" edilmişti. "İyileştirme Projesi" kapsamına alınarak 2002 yılında kuyu tabanındaki dolgu MTA'ya temizletilmiştir. Kompresör ve pompa ile yapılan test çalışmaları kuyudan 100 m³/st'e kadar ulaşacak debide üretim yapılabileceğini göstermiştir. Kuyuya 227 m inhibitör borusu ve 150 m'ye pompa montajı yapılarak devreye alınmıştır. Halen 115 °C kuyubaşı sıcaklığında üretim yapmaktadır.

B-4 Kuyusu

Kuyu 1984 yılında MTA tarafından delinmiştir. Kuyuda ölçülen maksimum sıcaklık 117 °C' dir. Bölgesel ısıtma sistemine sıcak su sağlayan kuyuda Ocak 2002 yılında verim düşümü nedeni ile

pompa çekildiğinde, inhibitör borularında kopmuş olduğu tesbit edilmiştir. Kuyuda 89.92 m'ye inhibitör borusu ve 72 m'ye 55 kW, 20 kademe VJP (Vansan Jeotermal Pompa)-634 jeotermal pompa montajı yapılmıştır. Kuyu maksimum 55 m³/st debide üretim yapmaktadır. Yapılan pompa testleri kuyunun sahadaki en iyi kuyulardan biri olduğu ve kuyuya kapasitesinin altında pompa montajı yapıldığı ve kuyunun gerçekte mevcut pompa kapasitesinin birkaç katı üretim yapabileceğini göstermektedir. Kuyudaki üretim borusu çapı, kuyuya indirilebilecek pompa çapını sınırlandırmaktadır. Mevcut duruma göre kuyuya 140 m³/st kapasiteli pompa monte edilebilir.

B-10 Kuyusu

1987 yılında MTA tarafından delinen kuyunun derinliği 125 m ve başlangıç sıcaklığı ,114 °C' dir. Aralık 2001'de pompa arızası için kuyudan pompa çekildiğinde, inhibitör borularınında koparak kuyuya düştüğü tesbit edildi. Kuyuda 90.81 m. derinliğe inhibitör borusu ve 72 m'ye 45 kW, 13 kademe VJP-833 jeotermal pompa montajı yapılmıştır. Kuyu 110 m³/st'e ulaşan debide üretim yapabilmektedir, 2003 yılında yapılan pompa testleri kuyuya 250 m³/st debide pompa monte edilip üretim yapılabileceği belirlenmiştir.

B-11 Kuyusu

Kuyu 1987 yılında MTA tarafından delinmiştir. 116 m. derinliktedir. Maksimum kuyu sıcaklığı 109 °C' dir. Kuyu içerisine ne zaman düşürüldüğü bilinmeyen bir madde nedeni ile pompanın 56 m'den derine inilemediği belirlenmiştir. Kuyudaki pompa çekilerek kuyuda temizlik ve kurtarma çalışması yapılmıştır. Kuyuya düşürülmüş olan 6 m uzunluğunda 2 in. çapında boru parçası çıkartılmıştır. Test çalışması sonucu kuyunun, çalışma öncesinde olduğu gibi 40 m³/st debide üretim yapabileceği belirlenmiştir. Kuyu halen gözlem kuyusu olarak kullanılmaktadır.

BD-3 Kuyusu

1996 yılında delinen kuyu 750 m derinliğindedir. Kuyunun 450 m'den aşağı kısmının yıkılmış olduğu belirlendi. Sahada yürütülen "Kuyularda İyileştirme Projesi" kapsamına alınan kuyu 2002 yılında MTA'ya temizletildikten sonra kuyunun tekrar yıkılmaması için 6-5/8 filitreli boru ile teçhizi sağlanmıştır. 2002 yılı sonunda kuyuya 170 m'ye inhibitör borusu ve 150 m'ye 110 kW 12 kademe VAG pompa montajı yapılarak kuyu üretime alınmıştır. Halen devam eden test çalışmaları kuyunun en az 80 m³/st debide üretim yapabileceğini göstermektedir. 123 °C kuyubaşı sıcaklığına ulaşan kuyuya BD-8'e yapılan reenjeksiyonun etkisi izlenmektedir.

BD-4 Kuyusu

1998 yılında delinmiş olan 624 m derinliğindeki BD-4 kuyusu 160 m³/st ve 136 °C kuyubaşı sıcaklığı ile üretimine devam etmektedir. 2001 yılında inhibitör borusunun koptuğu tespit edilerek, pompa yüklenici firmaya çektirilmiştir. 210 m derinliğe inhibitör borusu ve 150 m derinliğe 110 kW, 12 kademe VAG pompa montajı yapılarak kuyu üretime alınmıştır. Kuyu halen 160 m³/ste ulaşan debilerde ve 135 °C' de üretim yapmaktadır.

BD-6 Kuyusu

1995 yılında MTA tarafından delinen kuyu 605 m derinliktedir. Kuyudibi sıcaklığı 140 °C olarak tahmin edilen kuyudan üretimle birlikte, formasyondan kopan kırıntılar taşınmakta ve sonuçta pompa sık sık arızalanmaktadır. 150 m'ye montajlı 110 kW 12 kademe VAG pompa kasım 2002 'de arıza yapmış olup, onarımı devam etmektedir. Kuyuda bulunan 175 m inhibitör borusu çekilmiştir. Kuyunun 280 m'de bulunan liner girişinde problem olduğu belirlenmiştir Kuyuda onarım yapılması gerekmektedir.

BD-7 Kuyusu

1999 yılında MTA tarafından delinen kuyu 700 m derinliktedir. 2001 yılında yapılan test çalışmasında kuyuda bulunan 150 m³/st kapasiteli ithal VAG pompanın kuyu kapasitesinin çok üzerinde olduğu

belirlenmiştir. Kuyuya yerli yapım, 75 kW 22 kademe VJP-832 pompa montajı yapılmıştır. Ağustos 2001'de montajı yapılan yerli pompa 2002 yılı sonu itibarı ile 722,000 m³ üretim yapmıştır. Halen 80 m³/st ve 117 °C sıcaklıkta üretim devam etmektedir. Kuyuda halen çalışan pompa derin ve yüksek sıcaklıkta denenen ilk yerli yapım pompadır.

4. ÜRETİM VE REENJEKSİYON TESTLERİ

Balçova jeotermal sahasında 2003 yılı itibarı ile B-4, B-5, B-10, BD-2, BD-3, BD-4, BD-5, BD-6, BD-7 kuyuları olmak üzere 3'ü sığ (B serisi) ve 7'si derin (BD serisi) üretim, BD-8 kuyusu ise reenjeksiyon için kullanılmaktadır. Yeni delinen BD-9 kuyusunda test çalışmaları devam etmektedir.

Üretim ve reenjeksiyon testleri sahada periyodik olarak yapılarak kuyuların Üretim İndeksleri (PI) ve İnjektivite İndeksleri (II) izlenmektedir. Üretim ve enjeksiyon indeksleri göreceli olarak arttıkça kuyulardan daha çok üretim veya enjeksiyon yapılabileceğini gösterir. Üretim ve enjeksiyon indekslerindeki azalma kuyularda kirlenme, yıkılma vb. üretimi veya reenjeksiyonu azaltan bir engelin oluştuğunun habercisidir. Bu testler sırasında elde edilen eğriler sahadaki genel basınç değişimini de gösterir. Kuyuların göreceli olarak karşılaştırılması, en verimli ve ekonomik kuyuların belirlenmesi bu çalışma ile elde edilir. Üretim İndeksleri ve sıcaklıkları yüksek olan kuyuların üretim maliyeti, üretim indeksi ve sıcaklığı düşük olan kuyulardan daha ucuzdur. Sonuç olarak bu çalışma ekonomik bir üretim stratejisi belirlemek için de kullanılır. Örneğin yapılan bir çalışmaya göre 4000 kW_t enerji üretimi için BD-2 kuyusu 10 kW elektrik enerjisi tüketirken, B-5 ve BD-5 kuyuları aynı enerjiyi üretmek için 25 kW elektrik tüketmesi gereklidir[3].

Kuyularda, pompanın altına kadar inen, 6 mm çapında çelik çekme borular kuyuda kabuklaşmayı önlemek için kimyasal madde basılmasında kullanılmaktadır. Aynı borulara azot gazı basılarak, gaz basıncının yüzeyden hassas dijital bir manometre ile okunabilmesi mümkündür. Bu durumda kuyubaşında okunan P_w basıncı, gaz borusunun alt ucu referans noktası olmak üzere, boru boyunca yükselen sıcak su sütununun ve Pann basıncının toplamına eşittir (Şekil 3). Bu durumda eşitlik (1) kullanılarak kuyudaki statik veya dinamik su seviyesi hesaplanabilir. Çalışma üretim yada enjeksiyon debisi değiştirilerek tekrarlanabilir

$$h = L - \left(\frac{P_w - P_{ann}}{\rho \cdot g} \right) \cdot 10^{-5} \quad (1)$$

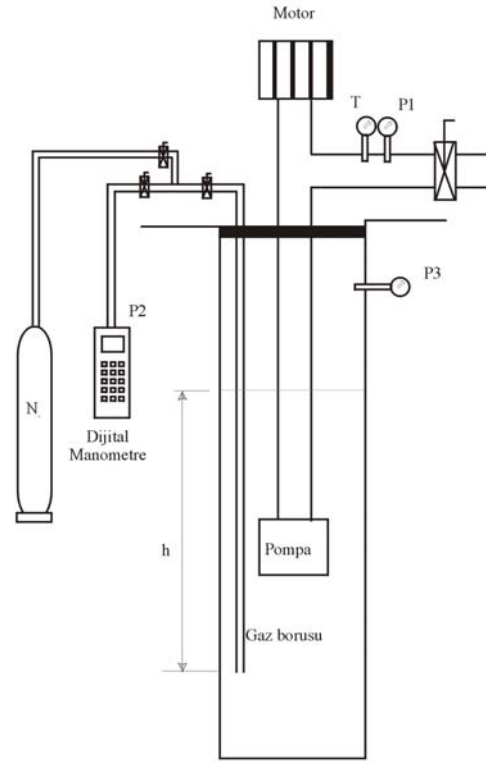
Burada,

h,	su seviyesi, m
L,	gaz borusu uzunluğu, m
P _w , Pann,	gaz basıldıktan sonra okunan basınç ve annülüsü basıncı, bar
ρ,	sıcak suyun yoğunluğu, kg/m ³
g,	yer çekimi ivmesi, 9.81 m/s ²

Prodüktivite (PI) veya enjektivite (II) indeksi ise:

$$PI(II) = \frac{\Delta Q}{\Delta h} \quad (2)$$

kısaca, debi farkının seviye (basınç) farkına oranı olarak tanımlanabilir.



Şekil 3. Üretim ve enjeksiyon testlerinde kullanılan düzenek

4.1 KUYULARIN ÜRETİM VE ENJEKTİVİTE İNDEKSLERİ

Tek fazın egemen olduğu jeotermal sistemlerde üretim indeksi, PI ve injektivite indeksi, II, tanım ve değerlendirme olarak birbirine benzer şekilde yorumlanabilir [4]. Balçova sahasındaki tüm üretim ve reenjeksiyon kuyuları bir arada değerlendirildiğinde BD-8 kuyusu hariç tutulursa, sığ kuyuların üretim indekslerinin, derin kuyulardan onlarca kat daha yüksek olduğu açıkça görülmektedir (Tablo 2). BD-8 kuyusu ise 125 (m³/st)/m değeri ile derin kuyulara göre yüzlerce kat, sığ kuyulara göre ise 2-3 kat daha yüksek PI değerine sahiptir.

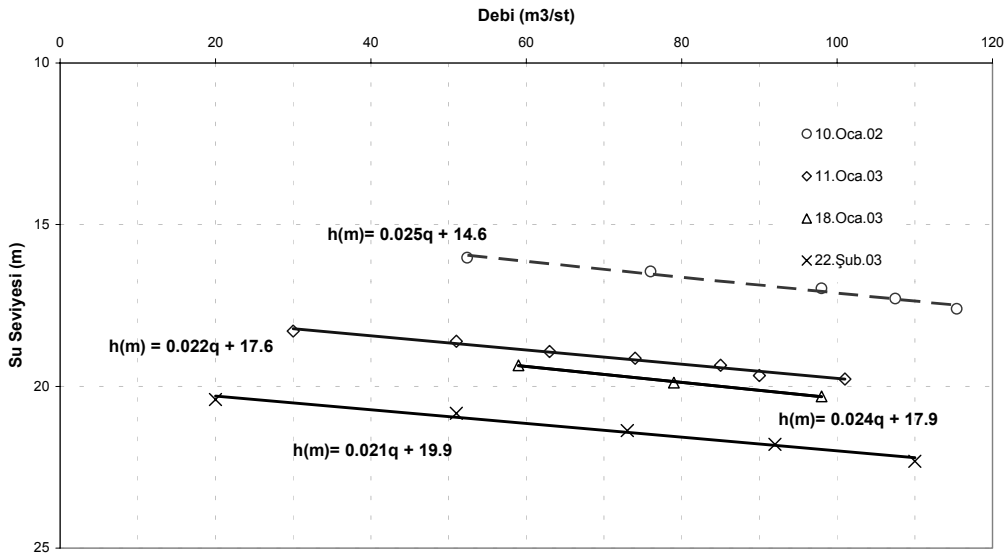
Tablo 2. Kuyuların PI ve II değerleri

Kuyu No	Üretim (PI) ve Injektivite İndeksi(II) (m ³ /st)/m
B-1(PI)	24
B-4(PI)	97
B-5(PI)	62
B-10(PI)	43
BD-1(PI)	0.7
BD-2(PI)	3.5
BD-3(PI)	1.2
BD-4(PI)	7.1
BD-5(PI)	1.5
BD-6(PI)	4.8
BD-7(PI)	0.8
BD-8 (II)	125
BD-9 (PI)	16

BD-8 ve BD-9 tamamlama çapı 12-1/4 in kuyu ve 9-5/8 liner şeklindedir ve sahadaki en geniş çaplı kuyulardır. Çapın PI(II) değeri üzerinde etkisi son derece sınırlıdır ve BD-8 kuyusundaki değer büyüklüğü sadece çap büyüklüğü ile açıklanamaz. BD-8 kuyusunda sahanın yüksek iletkenliğe sahip bir bölümünün delindiği anlaşılmaktadır.

Üretim ve enjeksiyon testi değerlendirmesinde, debi x , su seviyesi değişimi y ekseninde gösterildiğinde elde edilen $y=ax+b$ şeklinde bir doğru elde edilir. Bu denklemim b , değeri kuyudaki statik su seviyesini, $1/a$ değeri ise üretim testinde PI, enjeksiyon testinde ise II' yi gösterir. Böyle bir grafiği çizebilmek için en az iki farklı debide deneme yapılmalıdır, ancak ne kadar çok ve farklı debilerde deneme yapılırsa elde edilen sonuçlar daha sağlıklı olur.

Şekil 4'de B-10 kuyusunun üretim testi değerleri görülmektedir. Farklı tarihlerde yapılan çalışmada doğru denklemi eğimlerinin hemen hemen aynı olması kuyunun PI değerinin değişmediğini göstermektedir. Buna karşın kuyudaki statik su seviyesi sürekli olarak değişmiş ve 14.6 m'den 19.9 m'ye düşmüştür. Kış dönemi içerisinde 40 günlük süre içerisinde su seviyesinin 4.3 m düştüğünü göstermektedir. Bu değişim kış aylarındaki yüksek miktarda çekim yapılmasından ve doğal beslenme ve reenjeksiyonun toplamının üretilen miktarı karşılamamasından meydana gelmektedir.

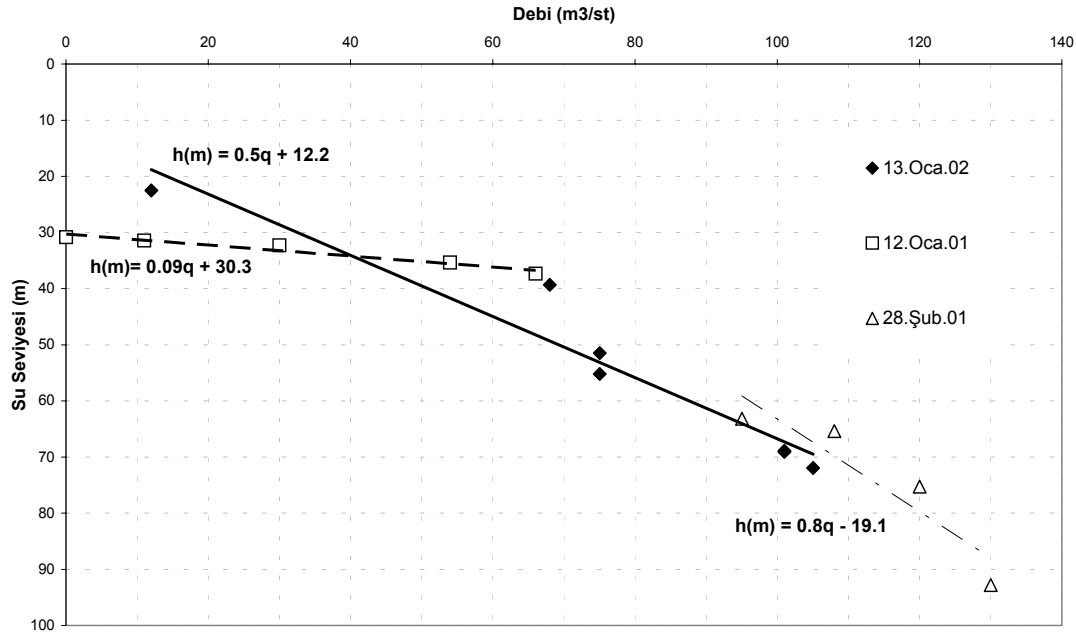


Şekil 4. B-10 üretim testi

Üretim ve enjeksiyon testleri, kuyuda oluşabilecek sorunların da habercisidir. Şekil 5'de sunulan BD-6 üretim testi değerlerine göre PI değeri aşağıda görüldüğü gibi zamanla azalmıştır.

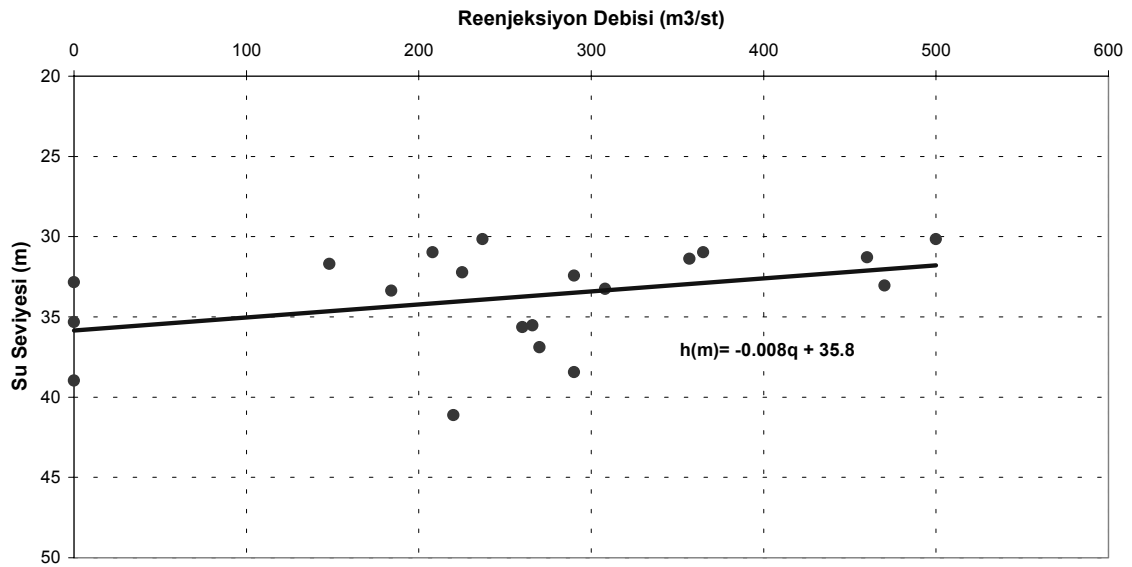
12 Ocak 2001'de	PI=11.1 (m3/st)/m
28 Şubat 2001'de	PI=1.25 (m3/st)/m
13 Ocak 2002'de	PI=2 (m3/st)/m

1999 yılında delinen BD-6 kuyusu sondaj verilerine göre sahanın en verimli kuyularından birisidir. 12 Ocak 2001 tarihinde PI değeri 11.1 (m3/st)/m iken, 28 Şubat 2001'de yapılan test çalışmasında bu değer 1.25 (m3/st)/m değerine düştüğü görülmüştür. Çalışmalarda BD-6'dan 120 m3/st'in üzerinde malzeme geldiği belirlenmiştir [5]. Bu durum filtrelili boruların, görev yapmadığını ve suyla birlikte taşınan formasyon kırıntılarının kuyuya girdiğini, kuyu içinde yığılması suyun akışını engellediğini göstermiştir. Sonuçta, kuyu bugüne kadar çok kısa süre çalışmış ve 2 kez pompa arızasına neden olmuştur. Pompaların kontrolünde her iki arızaya da formasyondan gelen malzemenin yol açtığı anlaşılmıştır. Mayıs 2003 tarihinde yapılan kuyuyu kontrolünde kuyunun 280 m'den aşağısının kapalı olduğu anlaşılmıştır.



Şekil 5. BD-6 üretim testi

Benzer çalışmalar reenjeksiyon kuyularında da yapılarak benzer yorumlamalar yapılabilir. Şekil 6'da farklı tarihlerde BD-8 kuyusunda farklı debilerde yapılan enjeksiyon testi sonuçları görülmektedir. Bu çalışmada kuyunun ortalama injektivite indeksi, II , $125 \text{ (m}^3/\text{st)/m}$, dinamik su seviyesi ise 30.1 m ile 41.1 m arasında değişmiştir. Kuyu iyi bir reenjeksiyon kuyusunun sahip olması gereken, yüksek injektivite indeksine sahiptir. Ancak, buraya yapılan reenjeksiyonun sahaya etkisi mutlaka izlenerek, reenjeksiyon buna göre yönlendirilmelidir.



Şekil 6. BD-8 kuyusunda çeşitli reenjesiyon debilerindeki su seviyesi değişimi

5. ÜRETİM ve REENJEKSİYON

Sahada 2000 yılı öncesinde yapılan üretim ve reenjeksiyon miktarını belgeleyen bir çalışma yoktur. Bu nedenle burada 2000 yılı başından 2003 yılı mayıs ayına kadar geçen sürede sahada yapılan üretim ve reenjeksiyon değerlendirilmiştir (Tablo 3 ve Tablo 4). Belirtilen süre içerisinde kuyulardan yapılan toplam üretim 8.5 milyon m³ 'dür. Sahada Balçova Jeotermal Şirketi'ne ait olmayan kuyularda hesaba katılacak olursa bu değer en fazla 9 milyon m³'e ulaşabilir. Toplam üretimin 4.18 milyon m³'ü B-4,5,10,11 gibi sığ kuyulardan karşılanırken, geri kalan %51'i de derin kuyulardan karşılanmıştır. BD-4 ve B-10 olarak bilinen iki kuyunun toplam üretimi, sahanın 2000 yılından bu yana yapılan toplam üretiminin %44'üne eşit olması ilgi çekmektedir. BD-4 genellikle kış aylarında yüksek debi ve sıcaklığı nedeniyle kullanılırken, B-10 kuyusu yaz aylarında da termal tesislere su sağlamak ve evlerde sıcak su üretmek için kullanılmaktadır. Bunların dışında kalan kuyuların ortalama payları %8-9 arasında değişmiştir.

Üretim indeksi yüksek kuyularda B-4, B-10 büyük kapasiteli pompa değişimi ile ve yeni devreye alınacak B-1, B-7 kuyularında etkisi ile önümüzdeki yıllarda sığ kuyuların üretimdeki paylarının artacağı öngörülmektedir. Bu nedenle sığ kuyuların ve rezervuarın bu artışa vereceği tepki önümüzdeki yıllarda dikkatle izlenmelidir.

Tablo 3. 2000 yılından, Mayıs 2003'e kadar geçen sürede sahada yapılan üretim miktarı

Kuyu No	Maksimum Üretim m ³ /st	Kuyubaşı Sıcaklığı, C	Toplam Üretimi, 1000* m ³	Toplam Üretimdeki Payı, %	Şimdiki Durumu
B-1	140	102			Üretim
B-4	50-60	101	847	9.9	Üretim
B-5	140	104	845	9.9	Üretim
B-10	110	99	1924	22.5	Üretim
B-11	40	93	567	6.6	Gözlem
BD-2	160	135	640	7.5	Üretim
BD-3	100	124	299	3.5	Üretim
BD-4	160	135	1839	21.5	Üretim
BD-5	100	118	158	1.8	Üretim
BD-6	100	135	706	8.3	Üretim
BD-7	80	118	722	8.4	Üretim

BD-8 kuyusunun delinmesi ve reenjeksiyon amaçlı olarak kullanılmasına kadar geçen işletme dönemi boyunca, Temmuz 2002'ye kadar, sahada bilinçli bir reenjeksiyon çalışması yapılmamıştır. Reenjeksiyon üretilen atık suların, bir şekilde kurtulma olarak görülmüş, üretim için kullanılmayan tüm kuyulara ve çevredeki keson kuyulara su basılmaya çalışılmış, büyük bir kısmı da Ilıca deresine boşaltılmıştır. Reenjeksiyon için seçilen kuyuların, üretim yapamayan kuyular olması sonucu doğal olarak bunlara reenjeksiyon da yapılamamıştır. Sahada kayıtlı olarak yapılan 4.4 milyon m³ reenjeksiyonun kuyulara göre dağılımı Tablo4'de görülmektedir. Kaba bir değerlendirme ile bugüne kadar sahadan üretilen toplam akışkanın %55'inin reenjekte edildiği görülmektedir. Sonradan devreye alınan BD-8 kuyusu hariç tutulursa, reenjeksiyonun ağırlıklı olarak B-9 ve B-2 kuyularına yapıldığı görülecektir. Bu kuyular sırası ile 48 m ve 150 m derinliğe sahip sığ kuyulardır, bunlara yapılan reenjesiyonun atık sudan kurtulma amacı dışında hiçbir amaca hizmet etmeyeceği açıktır. Sonuçta, sığ kuyulara yapılan reenjeksiyonun sığ üretim kuyularını soğuttuğu belirlenmiş ve işlemin durdurulması önerilmiştir [6,1]. Bu çalışmalar ve sonuçlarına ait bilgiler sonraki bölümde detaylı bir şekilde açıklanmıştır. 2002 temmuzundan sonra BD-8 kuyusunun devreye alınması ile hiçbir sığ kuyuya ve diğer kuyulara bir daha reenjeksiyon yapılmamıştır.

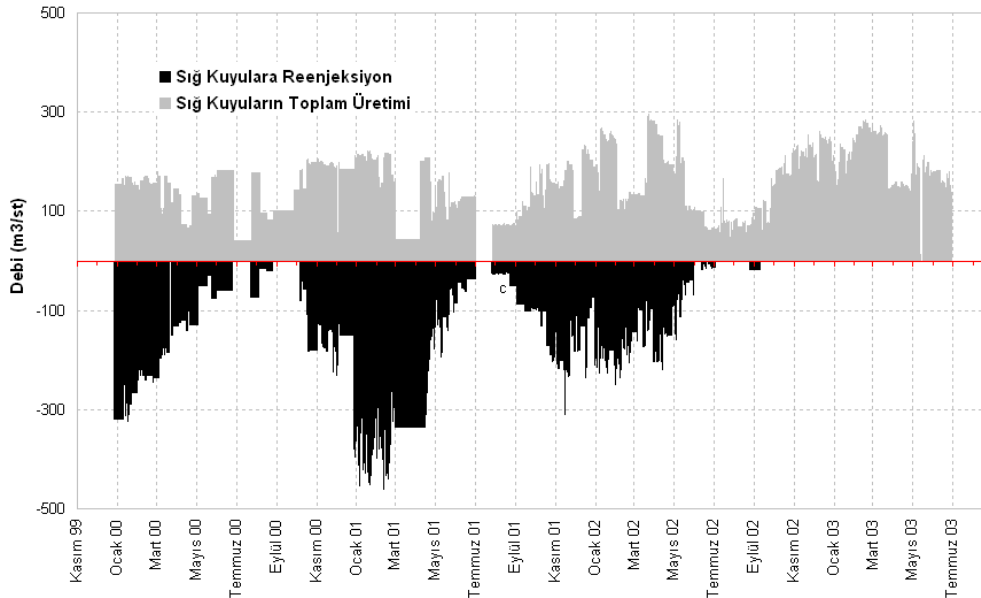
Tablo 4. 2000 yılından, mayıs 2003'e kadar geçen sürede sahada yapılan reenjeksiyon miktarı

Kuyu No	Maksimum Reenjeksiyon m ³ /st	Toplam Reenjeksiyon, 1000* m ³	Toplam Reenjeksiyondaki Payı, %	Şimdiki Durumu
B-2	70	549	12.3	gözlem
B-9	270	2246	50.2	gözlem
B-12	50	326	7.3	gözlem
N-1	10	10	0.2	gözlem
ND-1	10	10	0.2	gözlem
BD-1	20	50	1.1	gözlem
BD-2	100	100	2.2	Üretim
BD-5	30	50	1.1	Üretim
BD-8	500	1130	25.3	reenjeksiyon

2002-2003 ısıtma sezonu ile birlikte BD-8 kuyusuna reenjeksiyon başlamıştır. Bu dönemde toplam 2.7 milyon m³ jeotermal su üretilmiş ve 1.13 milyon m³ 'ü BD-8 kuyusuna reenjekte edilmiştir. Bu oran toplam üretimin %42'si kadardır. Sahada tam kapasite (üretilenin tamamının reenjekte edilmesi) için yeni reenjeksiyon kuyularına gereksinim bulunmaktadır.

6. REENJEKSİYONUN ETKİLERİ

Temmuz 2002 yılına kadar sahada toplam reenjeksiyonun %80 den fazlası sığ kuyulara yapılmıştır. Şekil 7 incelendiğinde, sığ kuyulara reenjeksiyon durdurulana kadar sığ kuyulara geri basılan suyun, sığ kuyulardan üretilenden fazla olduğu görülecektir.



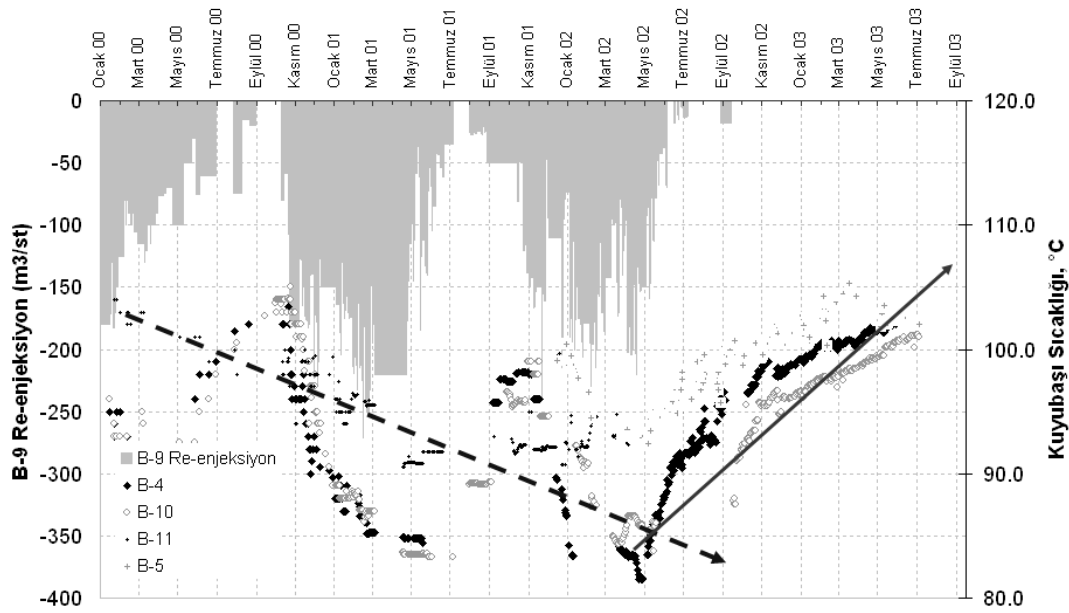
Şekil 7. Sığ kuyulardan yapılan toplam üretim (gri) ve sığ kuyulara yapılan toplam reenjeksiyon (siyah). Temmuz 2002'de sığ kuyulara üretim durdurulmuştur.

Reenjeksiyon sırasında basılan suların tekrar ısınarak üretim kuyularına ulaşması amaçlanır. Enjekte edilen suların üretim kuyuları ile kısa devreler kurarak, hızla üretim kuyularına ulaşması bu kuyuların soğumasına neden olur. Nitekim, B-9 kuyundan yapılan reenjeksiyona izleyici madde katılarak yapılan

gözlem sonucu, B-9'a basılan suların 3-4 m/st hızla hareket ederek, 30-40 st içerisinde yakında bulunan B4, B10 ve B11 kuyularına ulaştığı belirlenmiştir [5].

Bu durumda sözkonusu kuyularda soğuma olması beklenmeliydi. Nitekim kuyubaşında bulunan termometre ceplerinde, düzenli olarak dijital termometreler konularak kuyubaşı sıcaklıkları, WHT, ölçülmüştür. Bu çalışmalar sığ kuyuların B-9'a yapılan reenjeksiyondan çok ciddi bir şekilde etkilenerek soğudukalarını göstermiştir.

Şekil 8 incelendiğinde, B-9'a yapılan reenjeksiyon miktarının artması ile gözlem yapılan sığ kuyularda soğuma olduğu görülmektedir. Yaz aylarında sahada daha az üretim yapıldığı için, dolaylı olarak B-9'a da daha az reenjeksiyon yapılmaktadır. Reenjeksiyonun azalması ile de üretim kuyularında sıcaklığın arttığını, fakat bir önceki yılın en yüksek değerine ulaşmadığını, 7-8 derece her yıl soğuduğunu görmekteyiz.

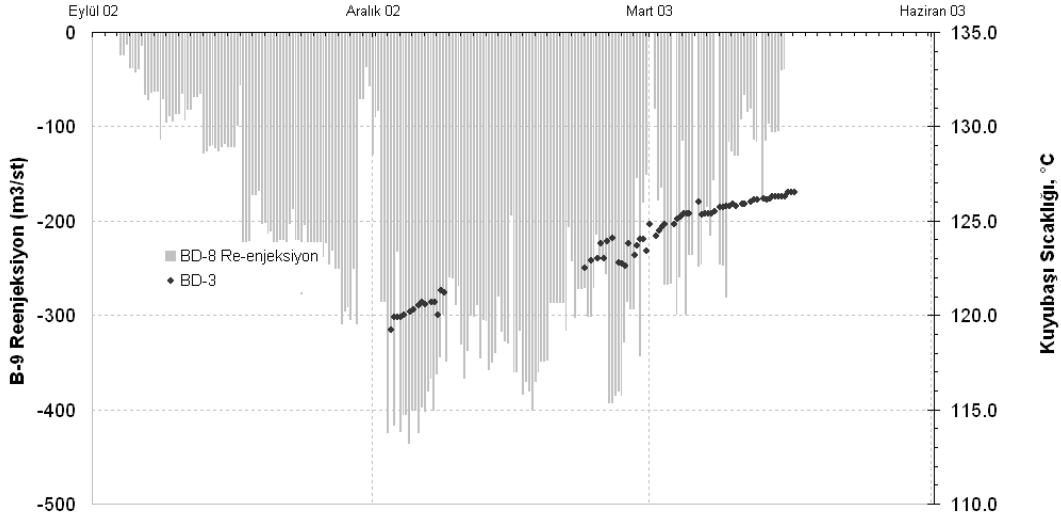


Şekil 8. B-9 kuyusuna yapılan reenjesiyon nedeniyle sığ kuyularda soğuma ve reenjesiyonun durdurulması ile ısınma

Sahada kurulu jeotermal ısıtma sisteminde jeotermal su çıkış sıcaklığının 60 °C' olduğu ve eşanjörlerin kirlendiği dönemlerde bu değer 65-68 °C'lere kadar yükseldiği düşünülürse, sığ kuyulardaki soğuma eğiliminin devam etmesi halinde bu kuyular giderek verimsizleşecek ve en çok 1-2 yıl daha kullanılabilir. Sığ kuyulardan sahadaki toplam üretimin %49'unun karşılandığı ve önümüzdeki yıllarda sığ kuyuların üretimdeki payının giderek artırılması planlanmaktadır. Temmuz 2002'de sığ kuyulara reenjeksiyon yapmama kararı uygulamaya konulduktan sonra bu kuyularda, son bir yıl içerisinde yaklaşık 20 °C'lik sıcaklık artışı olmuştur. Fakat kuyular hala orijinal değerlerine ulaşmamış olup, ısınma devam etmektedir. Kuyulardaki ısınma gerçekleşmeseydi, 80 °C giriş- 60 °C çıkış olmak üzere 20 °C sıcaklık farkı için kuyular çalışacaktı. Oysa ısınma sonucu 100 °C giriş-60 °C çıkış sıcaklığında sistem, 40 °C farkla çalışmaktadır. B-9'a reenjeksiyonunun kesilmesi ile sığ kuyulardan çekilen enerjinin 2 katına çıkmıştır. Böylece, 2002-2003 yılında sahada ısıtılan hacim miktarı artmasına rağmen, sığ kuyulardaki sıcaklık artışı, ek hiçbir yeni kuyu delinmeksizin, fazladan elektrik enerjisi ve kimyasal madde tüketilmeksizin sığ kuyuların yaklaşık %50 daha fazla jeotermal enerji üretmesi sağlanmıştır. Aksine reenjeksiyon devam etseydi bu kuyularda soğuyacak ve üretilecek su ısıtmada kullanılamayacaktı.

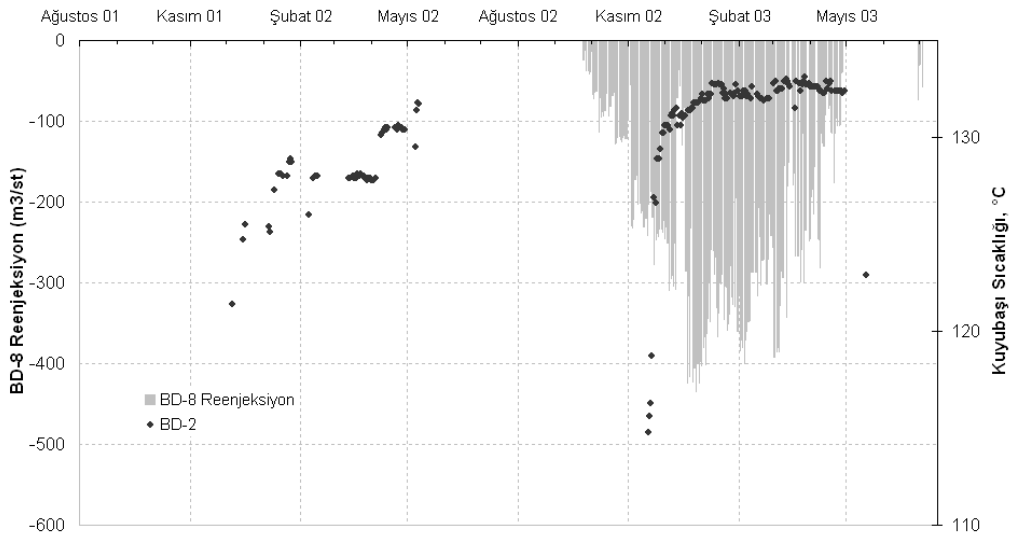
Daha önce de belirtildiği gibi 2002-2003 ısıtma sezonunda devreye alınan BD-8 kuyusu yüksek PI değeri ile dikkati çekmektedir. Kuyuya bu dönem içerisinde 500 m3/st'e ulaşan debilerde reenjeksiyon

yapılmış, ve sahada üretilen toplam akışkanın %42'si bu kuyuya reenjekte edilmiştir. Toplam 1.13 milyon m³ jeotermal akışkan BD-8'e reenjekte edilirken bu kuyuya en yakın üretim kuyuları BD-3 ve BD-2 kuyularında kuyubaşı sıcaklıkları yakından izlenerek soğuma olup olmadığının gözlenmiştir. Bu çalışmalardan BD-8 kuyusuna 175 m uzaklıkta bulunan BD-3 kuyusuna ait kuyubaşı sıcaklıkları Şekil 9'da görülmektedir. Kuyunun sıcaklığı 2000 yılında ölçülen değerlerden 5-6 °C daha soğuktur. Bu durumun BD-8 kuyusuna yapılan reenjeksiyondan mı yoksa 2001 yılı içinde kuyuda temizlik yapıp, teçhiz borusu indirildikten sonra birkaç ay süre ile yapılan reenjeksiyon denemesinden mi kaynaklandığı anlaşılamamıştır.



Şekil 9. BD-8'e yapılan reenjeksiyon ve BD-3 kuyubaşı sıcaklığı değişimi

BD-8 kuyusuna en yakın ikinci kuyu olan, yaklaşık 400 m uzaklıktaki BD-2 kuyusu kuyubaşı sıcaklığı izlendiğinde BD-8 kuyusuna yapılan reenjeksiyonun bu kuyuda soğuma etkisi yaratmadığını söylemek mümkündür (Şekil 10).



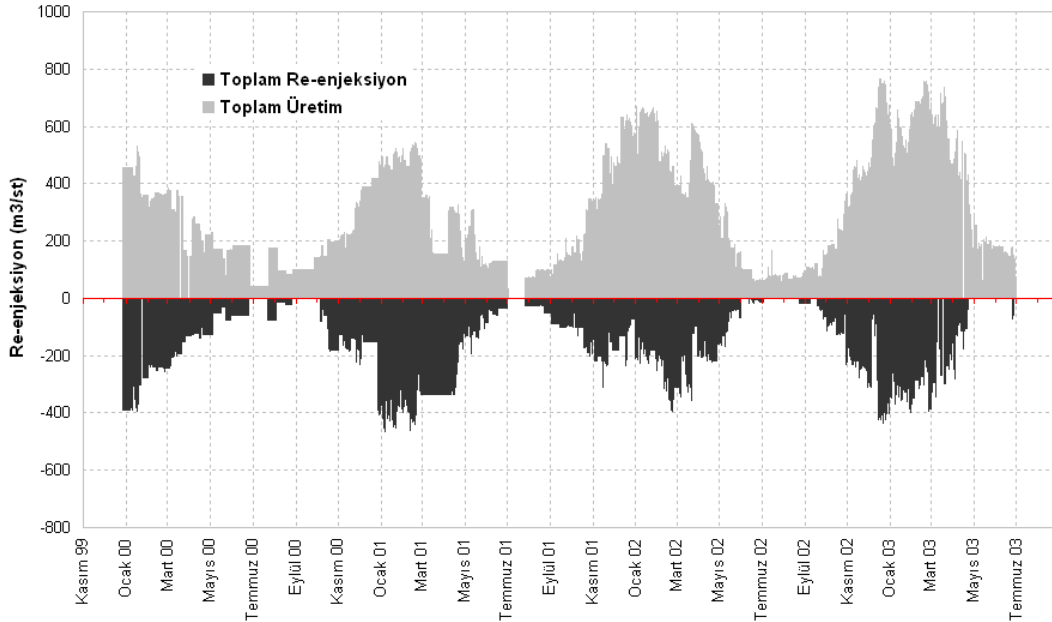
Şekil 10. BD-8'e yapılan reenjeksiyon ve BD-2 kuyubaşı sıcaklığı değişimi

Kuyularda BD-8'e yapılan reenjeksiyonun etkisini daha yakından gözlemlemek için, bu kuyuda izleyici testi yapılmasında fayda vardır.

7.SU SEVİYESİ DEĞİŞİMLERİ

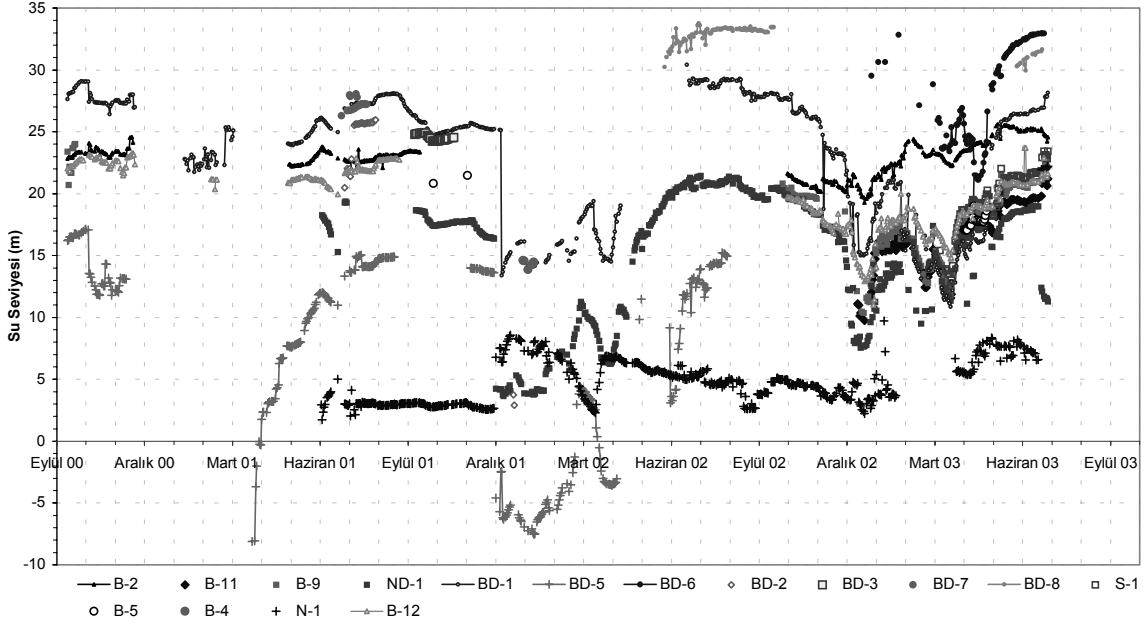
Gözlem kuyularında su seviyesi günlük olarak ölçülmektedir. Su seviyeleri ısıtma sezonuna bağlı olarak değişmektedir (Şekil 11). Ekim ayı sonlarında başlayan jeotermal su üretimi havaların soğuması ile artan ısı talebi sonucu giderek yükselmekte aralık, ocak ve şubat aylarında en yüksek değere ulaşmaktadır. Havaların ısınması ile bu sefer üretim giderek azalmaktadır. Mayıs- ekim ayları arasında sadece termal tedavi merkezi ve konutların su ihtiyacı için ortalama 150 m³/st üretim yapılmaktadır. Bölgesel ısıtma sisteminin büyümesi nedeniyle hem toplam üretim hemde pik yükte üretim miktarı artmaktadır. Üretim artışına paralel olarak reenjekte edilmesi gereken su miktarı da artış göstermektedir. Su seviyeleri ise sahadaki üretim miktarı ile ters ilişkili olarak değişmektedir.

2000 yılından günümüze kadar sürdürülen çalışmanın sonuçları Şekil 12'de görülmektedir. Şekil 12 incelendiğinde sıg gözlem kuyuları (S-1, N-1, B-1,2,5,9,11,12) ile derin kuyulardaki (ND-1, BD-1,2,3,5,6,7,8) kuyularının su seviyesi değişimlerinin birebir uyumlu olduğu ve büyük bir benzerlik gösterdiği görülmektedir. Bu sonuç sıg ve derin kuyular arasında güçlü bir hidrolik ilişki olduğunu göstermektedir.



Şekil 11. Sahadan yapılan toplam üretim ve reenjeksiyonun yıllara bağlı değişimi

Bu grafiğin gösterdiği en önemli sonuç ise, üretim artışı olan kış aylarlarında su seviyelerinin 15-20 m kadar düştüğü, fakat üretimin azaldığı aylarda ise sahanının beslenerek, su seviyelerinin önceki değerlerine ulaşmasıdır. Bu durum sahanın güçlü bir beslenmeye sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin; BD-1 kuyusunda ölçülen su seviyeleri üretim artışı ile birlikte 15 m kadar düşmekte ancak üretimin azalması ile yükselişe geçerek önceki seviyesine ulaşmıştır. BD-1 kuyusunda, 23.10.200'de ölçülen en yüksek su seviyesi 6,17 m'dir. Bu tarihten sonra yapılan üretimlere rağmen seviyeler tekrar, 2001'de 7,12 m, 2002 'de 4,80 m' ye kadar yükselmiştir. BD-5 kuyusunda 23 Ekim 2000'de 6,41 m olan su seviyesi 2000-2001 kış döneminde üretimle birlikte 25,12 m azalarak 19 nisan 2001'de 31,53 m'ye kadar düşmüş ve daha sonra üretimin azalması ile su seviyesi 2 Eylül 2001'de 8.59 m'ye yükselmiştir. 2001-2002 kış döneminde su seviyesi 30,96 m'ye kadar düşmüş ve daha sonra 8.57 m'ye kadar yükselmiştir



Şekil 12. Su seviyelerinin zamanla değişimi

8. SAĞLIKLI BİR BÜYÜME İÇİN ÖNERİLER

Jeotermal enerjili bölgesel ısıtmanın sağladığı ısı konfor ve ucuzluk nedeniyle Balçova ve Narlıdere yöresinde jeotermal enerjiye büyük talep bulunmakta ve sistem sürekli büyümektedir. Balçova sahası büyüme talebini karşılayacak ve sürdürecektir yeterli enerjiye sahip midir? Büyüme nereye kadar devam edebilir? Yapılacak çalışmalarda bu soruların cevabı aranmalıdır.

- 2002-2003 kış sezonunda 11.500 KE'ye ulaşan bölgesel ısıtma sistemini saha rahatlıkla desteklemiş ve sezonun sona ermesiyle, saha süratle beslenerek sezon öncesi durumuna dönmeye başlamıştır.
- Eski kuyuların kazanılmasıyla sahanın üretim kapasitesi 620 m³/st'den 1580 m³/st' çıkmıştır. 2002-2003 kış sezonunda pik yükte üretimin 765 m³/st olmuştur. Yıl içinde yapılan gözlemlerde üretim-reenjeksiyon farkının 500 m³/st'i aştığı hallerde sahada su seviyelerinin hızla düştüğü görülmektedir. Bu koşullarda üretimi artırmanın birinci koşulu reenjeksiyon kapasitesini artırmak ve üretilen bütün suyun reenjeksiyonunu sağlamak zorunludur. Böylelikle sahadaki basınç korunabilir.
- Reenjeksiyon sonucu sahada hızlı soğuma riskine karşın reenjeksiyon çalışmalarına ve gözlemlerine ağırlık verilmelidir.
- B-9 kuyusuna yapılan reenjeksiyon sonucu, sıg kuyularda 40 °C'ye ulaşan soğuma, bu kuyuya reenjeksiyonun durdurulması ile durmuş, kuyularda 20 °C'yi bulan sıcaklık artışı gerçekleşmiştir. Buna benzer sorunları çözmek için reenjeksiyon yapılan kuyularda mutlaka "izleyici testleri" yapılmalıdır.
- Su seviyelerini daha iyi izleyebilmek için birkaç gözlem kuyusuna, en azından ND-1'e otomatik seviye ölçme cihazı monte edilmelidir.
- Narlıdere hattından dönen jeotermal suların reenjeksiyonu için en uygun alan Prensos Otelin kuzeyinde veya güneyin bir bölgede uygun bir reenjeksiyon kuyusunun delinmesi için jeolojik ve jeofizik çalışma yapılarak yeri belirlenmelidir.
- BD-8 kuyusu, sahada bugüne kadar yapılmış en iyi kuyudur. Kuyuya 500 m³/st'e ulaşan debilerde reenjeksiyon yapılabilmektedir. Kuyunun delinmesinde ve tamamlama testlerinde

“İzmir Valiliği, Jeotermal Enerji Yönetmeliği (taslak)” ne uyulmuştur. Sahada yaklaşık 40 yıldır jeotermal kuyu delinmesine karşın, ilk defa bütün ölçüleri alınan ve testleri yapılan bir kuyu yapılmıştır. Sonuçta daha önce delinen kuyularda rastlanılan sorunlara bu kuyuda rastlanılmamıştır. Bundan sonra delinecek kuyular içinde bu yönetmelikte önerilen yolun izlenmesi önerilir.

- Sahada BD-9 kuyusu delinmektedir. Saha Doğu-Batı uzanımlı Agamemnon-I fayı boyunca gelişmektedir. Sahanın derinlik kazanabilmesi için yeri Şekil 2’de gösterilen araştırma kuyusunun delinmesinde fayda vardır.
- BD-1 ve BD-2 gibi son derece iyilikasyonlara sahip, ancak teçhiz sorunları nedeniyle yeterince yararlanılmayan bu kuyular, yakınlarına delinecek yeni kuyular ile yenilenmelidir.
- Su, gaz ve izotop çalışmaları ile su kimyası izlenmeye devam edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] SATMAN, A., SERPEN, U., ONUR, M. İzmir-Balçova-Narlidere Jeotermal Sahasının Rezervuar ve Üretim Performansı Projesi. Cilt 1-2. İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü. İstanbul, 2002.
- [2] AKSOY, N. Jeotermal Enerjili Bölgesel Isıtma Sistemlerinde Gözlem: Balçova Örneği. IV. Tesisat Mühendisliği Kongresi Doğrudan Isıtma Sistemleri; Temelleri ve Tasarımı, Seminer Kitabı pp. 275-286. İzmir. 2001.
- [3] SENER, A., TOKSOY, M., AKSOY, N. Importance of Load Based Automatic Control in Geothermal Energy Systems. The Third IFAC WS DECOM-TT, İstanbul, 2003.
- [4] GARG, K. S., COMBS, J. Use of slim holes with liquid feedzones for geothermal geothermal reservoir assesment. Geothermics 26, 2. 1997
- [5] AKSOY, N. BD-6 ve BD-7 Kuyusu Pompa Test Raporu. Balçova Jeotermal Ltd. Şti.’ne 28.02.2001’de verilen rapor. İzmir. 2001
- [6] AKSOY, N. Balçova-Narlidere Jeotermal Sisteminin Doğal ve Yapay İzleyiciler İle İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora tezi). İzmir. 2001.

ÖZGEÇMİŞ

Niyazi AKSOY

1962 Gümüşhane doğumludur. 1984 yılında İTÜ Maden Fakültesi, Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 1984-1994 yılları arasında MTA’da jeotermal sahalarda sondaj ve kuyu testleri konularında çalışmıştır. 2001 yılında DEÜ ‘de Uygulamalı Jeoloji alanında doktora yapmıştır. Halen DEÜ’de öğretim üyesi olarak çalışmaktadır.