

JEOTERMAL SAHALARDA YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK EN UYGUN GERİBASIM LOKASYONUNUN BULUNMASI

Serhat AKIN
Mahmut PARLAKTUNA

ÖZET

Günümüzde gerek geribasım kuyularının lokasyon seçimi gerekse enjeksiyon debisi gibi operasyonel parametrelerinin optimizasyonu sayısal rezervuar simülatörleri aracılığıyla yapılmaktadır. Çoğunlukla bir kaç lokasyon ve enjeksiyon debisi denenerek sistemin basınç ve sıcaklık tepkisi görülmektedir. Jeotermal rezervuarın fiziksel durumuna göre geribasım uygulamasının değişmesi beklenir. Bununla birlikte sistemin sıcaklığının düşük ya da yüksek olması geribasım lokasyonu, derinliği ve enjeksiyon debisi gibi operasyonel parametrelerin değişmesine neden olur. Bu çalışmada yapay sinir ağları kullanarak yapılan jeotermal sahalarda geribasım lokasyonu optimizasyonu düşük sıcaklıklı (Kızılcahamam) ve yüksek sıcaklı (Kızıldere) örnekleri aracılığıyla aktarılacaktır. Bu amaca ulaşmak için önce boyutsuz entalpi ve basınç optimizasyon grafiklerinin geliştirilmesi ve kullanımı aktarılacaktır. Daha sonra ise her iki jeotermal sahadaki en uygun geribasım lokasyonları gösterilecektir. Sonuçlar geribasımın tek başına rezervuar akışkan entalpisinin veya basıncının en düşük olduğu yerlerdense her iki parametrenin de düşümünün en az olduğu lokasyona yapılması gerektiğini göstermektedir.

1. GİRİŞ

Türkiye de jeotermal uygulamalar başta konut ısıtması, seracılık, kaplıca turizmi ve elektrik üretimi olarak yapılmaktadır. Jeotermal merkezi ısıtma sistemleri belediyeler ve özel idareler tarafından yatırımları yapılmakta ve işletilmektedir. Halen Türkiye’de yaklaşık 65’000 konut 750 MWt eşdeğeri ısıtma yapılmaktadır. Isıtma sistemlerinin konut ısıtmasında kullanılmasında kış aylarında sürekliliği düşünülüğünde uygun rezervuar basıncı ve sıcaklığı sistemin sağlıklı işletilmesi yönünden çok önemlidir. Üretilen jeotermal akışkan gerek yapısındaki mineraller sebebi ile gerekse rezervuar beslenmesi sebebi ile rezervuara geribasımı (re-enjeksiyonu) çok önemli olup jeotermal mühendisliğinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

Geribasım önceleri atık jeotermal sıvıların çevresel etkilerini en aza indirmek için kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde ise hemen her durumda tercih edilen bir yöntemdir [1-39]. Başarılı bir geribasım için fazla sıvının atımı, maliyet, rezervuar sıcaklığı ve basıncı, enjeksiyon kuyu lokasyonu ve debisi, silika kabuklaşması, rezervuar sıvısında oluşan kimyasal değişimler ve üretim düşümü gibi çeşitli parametrelerin etkileşimi göz önüne alınmalıdır. Bu parametrelerden enjeksiyon kuyu lokasyonu seçimi geribasım uygulamasının başarısını etkileyen belki de en önemli parametredir ve jeotermal literatürde en çok tartışılan konulardandır. Geribasım kuyusunun sahanın dış sınırına yakın olması en çok tercih edilen durumdur [30]. Özellikle jeotermal sahayı besleyen meteorik reşarj bölgesine yakın yerlerden enjeksiyonlar önerilmektedir [38,39]. Saha dışı enjeksiyona alternatif uygulamalara ise sahanın merkezinden enjeksiyon [29] ya da değişken enjeksiyon ve üretim kuyularının sahada düzenli uygulanması [33] örnek gösterilebilir.

Değişik zamanlarda sahanın değişik yerlerinde enjeksiyon uygulaması da denenmiştir [37]. Termal süpürme etkisinin sadece çevresel enjeksiyonla elde edilebileceği de iddia edilmiştir [36].

Günümüzde gerek geribasım kuyularının lokasyon seçimi gerekse enjeksiyon debisi gibi operasyonel parametrelerinin optimizasyonu sayısal rezervuar simülatörleri aracılığıyla yapılmaktadır. Çoğunlukla bir kaç lokasyon ve enjeksiyon debisi denenerek sistemin basınç ve sıcaklık tepkisi görülmektedir. Jeotermal rezervuarın fiziksel durumuna göre geribasım uygulamasının değişmesi beklenmelidir. Bununla birlikte sistemin sıcaklığının düşük yada yüksek olmasının geribasım lokasyonu, derinliği ve enjeksiyon debisi gibi operasyonel parametrelerin değişmesine neden olabileceği de aşıkardır. Türkiye'de yapılan geribasım uygulamalarında ise belirgin bir araştırma sonucundan ziyade operatör firmanın tercih ettiği yöntem tercih edilmektedir. Bu tercih de çoğunlukla maliyetleri azaltıcı sığ enjeksiyon yönünde olmaktadır.

2. YAPAY SINIR AĞI İLE GERİBASIM DERİNLİĞİ VE LOKASYONU OPTİMİZASYONU

2.1. Yöntem

Yapay sinir ağı ile geribasım derinliği ve lokasyonu optimizasyonu yönteminin temelinde sayısal rezervuar simülatörü bulunur. Kullanılan rezervuar simülatörünün jeotermal rezervuarın gerek ilk durumunu gerekse tarihsel üretim ve basınç azalımı davranışını benzetmesi gerekir. Kalibrasyonu yapılmış rezervuar modeli ile değişik derinlik ve lokasyonlarda geribasım debisi üst sınırı dahilinde planlanan geribasım dönemi süresince benzetimler yapılır. Seçilen geribasım noktalarının rezervuar modeli sınırları içinde değişik ve birbirinden uzak noktalarda olmaları gereklidir. Böylece rezervuarın hemen her yerinden örnekleme yapıldığı varsayılır. Daha sonra geribasım yapılan lokasyonun etkisini değerlendirebilmek için entalpi ve basınç düşümü analizi yapılır. Bu amaçla üretim kuyularının geribasım süresi sonunda ulaştıkları sıcaklık ve basınç değerleri boyutsuz olarak elde edilir. Boyutsuz sıcaklık ve basınç değerleri sahada gözlemlenen ilk basınç ve ilk sıcaklık değerleri olarak alınabilirler. Bir başka seçenek ise geribasım öncesi sıcaklık ve basınç değerleri kullanılmasıdır. Boyutsuz hale indirgenilen sıcaklık ve basınç değerleri yapay sinir ağına çıktı sağlar. Girdi olarak ise geribasımın yapıldığı x,y,z koordinatları ve geribasım debisi girilir. Bu değerlerin de boyutsuz olarak yapay sinir ağına tanıtılmaları problemin çözümünde herhangi bir parametreye sayısal ağırlık kazandırılmamasını amaçlamaktadır. Yapay sinir ağı girdi ve çıktı parametreleri tanımlandıktan sonraki aşama yapay sinir ağının eğitilmesidir. Bu aşamada problemin zorluk derecesine uygun olarak ara katman sayısı ve bu katmanlardaki düğüm sayıları belirlenir. Bu aşama genellikle deneme – yanılma yöntemiyle sürdürülen bir bölümdür. İyi bir yapay sinir ağı elde edilene değin ara katman sayısı ve bu katmanlardaki düğüm sayıları değiştirilir. İyi bir yapay sinir ağı, girdi verilerini kullanarak uygun bir hatayla çıktı verilerini tahmin eden sinir ağı olarak tanımlanır [57]. Bu aşamada yapay sinir ağının ezberleme ve konuyu iyi öğrenememesi durumlarından kaçınmak gereklidir. Bunları test etmek için girdilerin yaklaşık %10'u eğitim aşamasında kullanılmayarak test verisi haline getirilir. Sonuçları belli olan bu test verilerinin eğitilmiş yapay sinir ağına girilmesiyle yapay sinir ağının başarı düzeyi tespit edilir. Hata değerleri %10'un altında olan bir yapay sinir ağı başarılı kabul edilir.

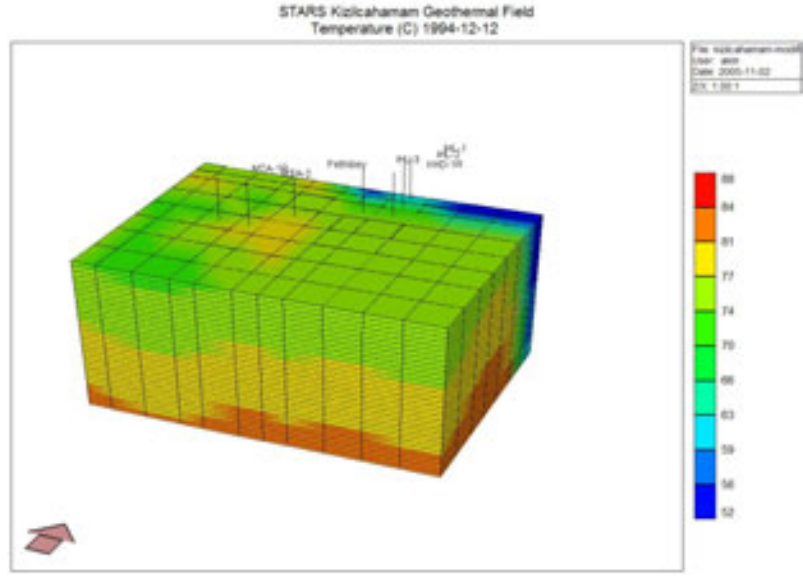
2.2. Örnek Uygulamalar

Yukarıda aktarılan simülasyon modeli ile yapay sinir ağı geribasım noktası optimizasyonu çalışmaları sırasıyla yüksek sıcaklıklı Kızıldere ve düşük sıcaklıklı Kızılcahamam jeotermal sahaları için yapılmıştır. Kullanılan yapay siniri ağı detayları 57 nolu referansta detaylarıyla açıklanan geri yayımlı bir girdi, iki ara ve bir çıktı katmanından oluşan bir yapıya sahiptir. Ara katmanlarda yirmişer düğüm kullanılmıştır. Girdi olarak geribasım kuyusu x, y, z koordinatları ve geribasım debisi girilmiştir. Yapay sinir ağı parametreleri olan momentum ve öğrenme hızı değerleri 0.5 olarak kullanılmıştır.

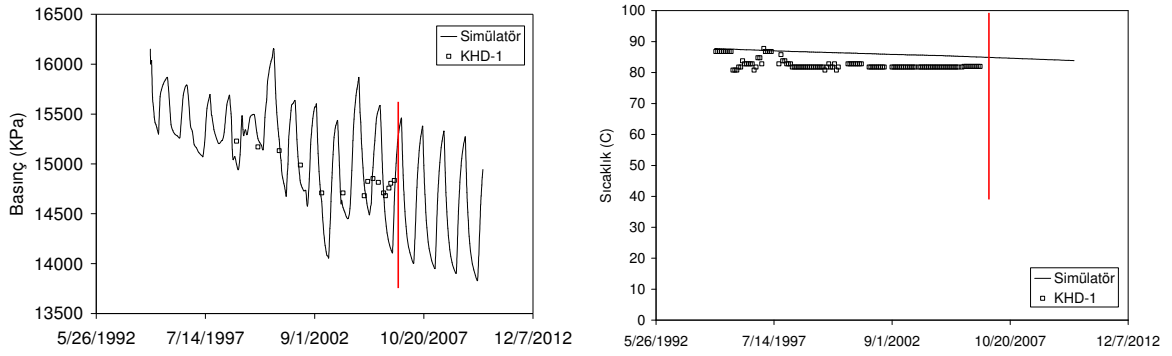
Çıktı değeri ise her sahada geribasımın 10 yıl sonrasında kuyularda gözlemlenen basınç ve entalpi değerlerinin ortalamasıdır. Girdileri oluşturmak için simülasyon modelinde herhangi bir lokasyon ve derinlikte bir geribasım kuyusu açılmış ve sahanın yaz – kış çevriminde daha önceki yıllarda görülen şekilde üretime ve geribasıma devam ettiği varsayılmıştır.

2.2.1. Kızılcahamam Sahası

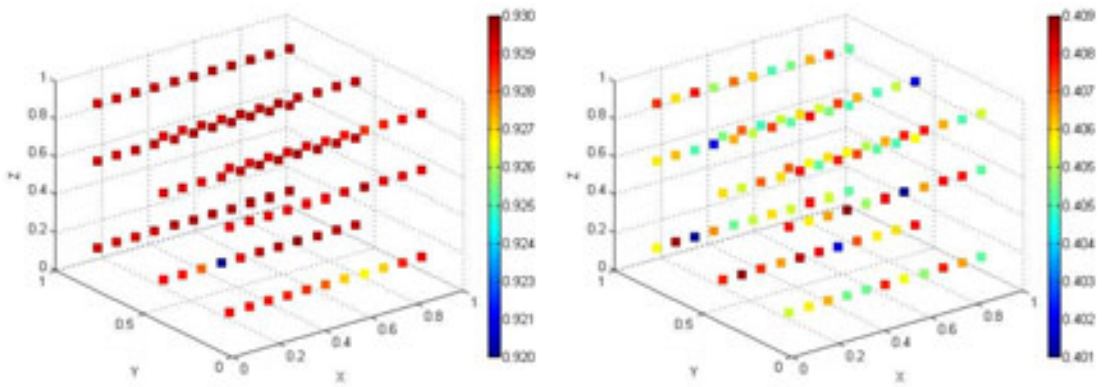
Kızılcahamam Jeotermal Sahası Ankara'ya 70 km uzaklıkta olup, 1994 yılından bu yana işletilmektedir. Jeotermal kaynaklar termal otel ve kaplıca kullanımı dışında, 25 MWt kurulu güç kapasiteli jeotermal ısı merkezinden 2500 konutun ısıtılması ve sıcak su sağlanması için kullanılmaktadır. Kızılcahamam jeotermal sahasında bulunan kuyuların sahanın keşfinden beri yapılan kuyubaşı basıncı, üretim debileri ve sıcaklıkları ölçümleri ve bu veriler dışında sahada bugüne değin yapılmış olan 1/25000 ölçekli 4990 km²'lik jeoloji çalışması, jeofizik çalışmaları, 290 nokta rezistivite, üretilen akışkanların kimyasal analizleri (80 adet), sahanın yüksek ayrımlı sismik etüdü tektonik ve jeolojik haritaları, jeolojik enine kesitleri, üretim kuyularında yapılan debi sıcaklık ölçüm sonuçları, kuyu sondaj logları, KHD-1 / MTA-1 kuyuları arasında çeşitli yıllarda yapılan iki adet statik basınç ve girişim testinin verileri kullanılarak sayısal modelleme çalışmaları CMG, STARS yazılımı ile yapılmıştır. İz testi analizleri sonucunda çatlaklı ve hetrojen bir yapı görüldüğü için sahayı benzetmek için kartezyen koordinat sisteminin kullanıldığı çatlaklı bir model geliştirilmiştir. Matriks geçirgenlik ve gözeneklilik değerleri sabit, çok düşük, sırasıyla 1 md ve 0.01%, alınmıştır. Çatlak yoğunluğu Fethibey bölgesinde nispeten az (yaklaşık 4x4x4 m matriks blokları) öte yandan diğer bölgelerde (2x2x2 m) olarak varsayılmıştır. Çatlak geçirgenliği alansal olarak dikey geçirgenliğin 10 katı ve sabit (1 Darcy) olarak tanımlanmıştır. Çatlak gözenekliliği ise sabit, 0.05 olarak varsayılmıştır. Çatlak görece geçirgenlikleri doymuşluğun üssel fonksiyonu olarak ($n=2.8$) alınmıştır. Geliştirilen modelin akifer blokları hariç 3 boyutlu izgara ve ilk sıcaklık dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Modelde dikey yönde her bir izgara hücrenin kalınlığı 50 m olarak alınmıştır. Tarihsel çakışma elde edilmesi için çatlak yoğunluğu, çatlak gözenekliliği ve geçirgenliği değiştirilmiştir. Modelin yan ve alt bölgelerine büyük bloklar (200x200x200) tanımlanmış ve termal bir akifer ile alttan ve yanlardan besleme yapılmıştır. Kuyuların tarihsel su üretimi simülatörde kısıtlanmış ve gözlemlenen tarihsel sıcaklık ve basınç verileri çakıştırılmıştır. Sıcaklık çakıştırmalarında kuyu başı sıcaklıkları jeotermal gradyanla kuyu dibine taşınmıştır. Aynı şekilde kuyularda yapılan dinamik seviye ölçümleri kuyu dibi koşullarında ifade edilmiştir. Geliştirilen modelin kalibrasyonu sahada bulunan kuyularda kuyu dibinde gözlemlenen basınç ve sıcaklık değerlerinin çakıştırılmasıyla yapılmıştır. Şekil 2'de sahada bulunan en derin kuyu olan KHD-1 için elde edilen basınç ve sıcaklık çakışması verilmiştir. Bir önceki bölümde aktarılan yöntemle Şekil 3'te verilen boyutsuz entalpi ve basınç noktaları (99 adet) sahanın bu noktalarına geribasım yapılması sonucunda diğer kuyularda elde edilebilecek sıcaklık ve basınç düşümlerinin üretim ağırlıklı aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Daha sonra yapay sinir ağı bu noktalar kullanılarak eğitilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen yapay sinir ağı saha sınırları dahilinde bir başka noktada veri üretmek için kullanılmış ve elde edilen 3 – boyutlu entalpi ve basınç uzayı ise Şekil 4'te verilmiştir. Geribasım sahanın batı ve güney batısında sığ bölgelerine yapıldığında entalpi düşümü diğer bölgelere oranla daha az olmaktadır. Öte yandan geribasım sahanın derin güney doğu kısmına yapıldığında basınç düşümü daha az olmaktadır. Kızılcahamam sahasında şu anda yapılmakta olan üretim / geribasım oranı yaklaşık 3.5'tur. Bu değer yüksekliği uzun vadede sahada basınç azalımına neden olacağından oranın 1.5 civarına çekilmesi durumunda basınç azalımının önüne geçilebilecektir. Bu yüzden şu anda termal otellerden ve diğer kullanımdan sonra atılan suyun geribasımının yapılması düşünülebilir. Sıcaklık düşümü ise basınç azalımı ile karşılaştırıldığında oldukça azdır. Bu sonuçlara göre geribasımın sahanın güney doğusuna açılacak olan bir kuyudan ortalama bir derinlikte yapılması hem sahada basınç azalımını en aza indirgeyecek hem de sıcaklık düşüşünü kontrol altına alacaktır. Şu anda devam eden geribasım stratejisi entalpiyi korumakla birlikte saha basıncının düşmesine neden olmaktadır.



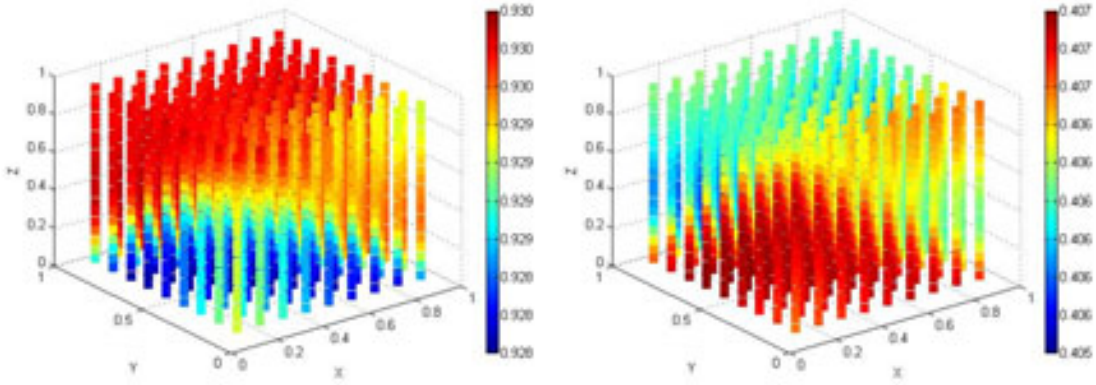
Şekil 1. Kızılcahamam sahası sayısal modeli blok yapısı ve ilk sıcaklık dağılımı .



Şekil 2. Kızılcahamam sahası KHD-1 kuyusu basınç (sol) ve sıcaklık (sağ) çakışması .



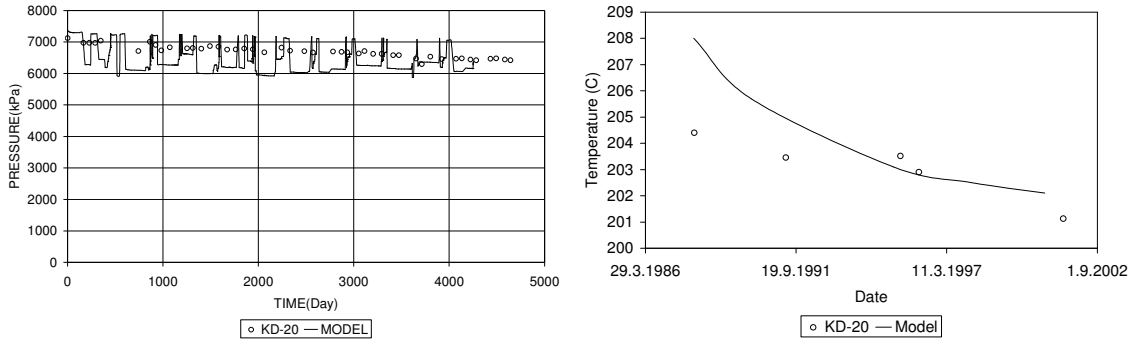
Şekil 3. Yapay sinir ağı için kullanılan noktalar. Sol şekil boyutsuz entalpi sağ şekil ise boyutsuz basınç noktalarını göstermektedir.



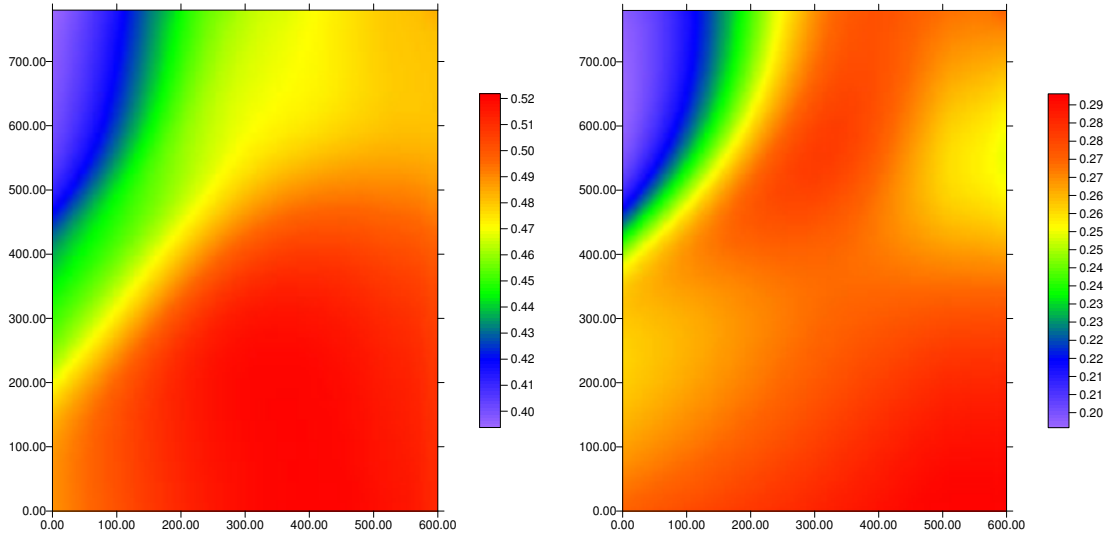
Şekil 4. Yapay sinir ağı sonuçları: Sol şekil boyutsuz entalpi sağ şekil ise boyutsuz basınç noktalarını göstermektedir.

2.2.2. Kızıldere Sahası

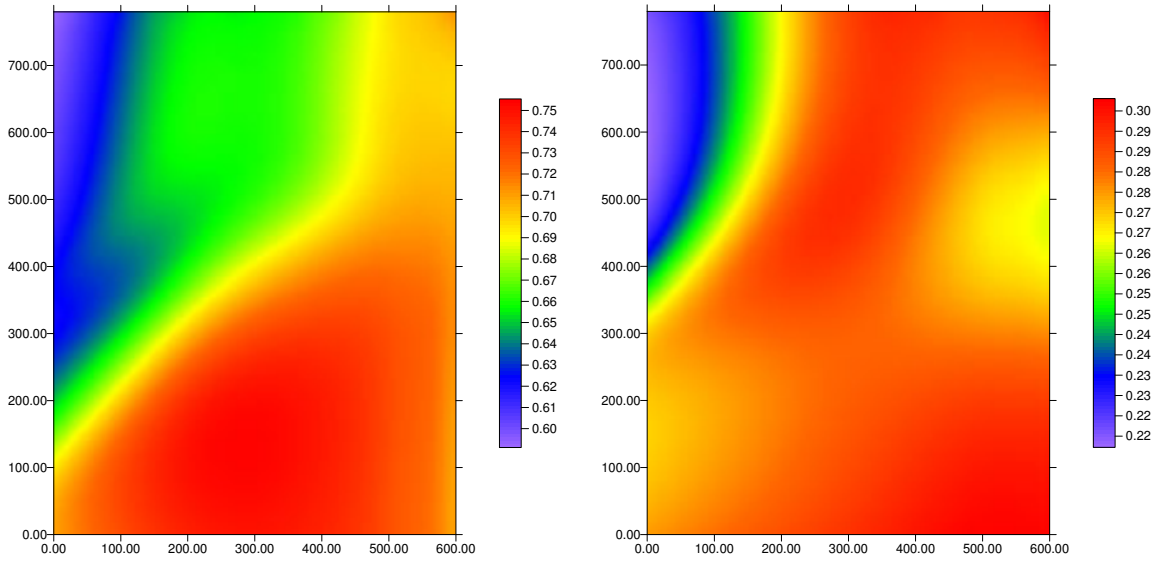
İkinci örnek ise Kızıldere Jeotermal Sahası olarak seçilmiştir. Rezervuar formasyonu (İğdecik) 8x12x6 adet eşit kalınlıkta 60 metrelik bloklara bölünmüştür. En son katman kalın (5000 m) olarak tasarlanmış ve termal akifer katmanı olarak düşünülmüştür. Matriks geçirgenliği sabit 1 md alınmıştır. Öte yandan matriks blok boyutları 20 metre ve bu değere uyumlu olarak çatlak geçirgenliği alansal olarak dikey geçirgenliğin 10 katı ve sabit (2 Darcy) olarak tanımlanmıştır. Çatlak gözenekliliği ise sabit, 0.08 olarak varsayılmıştır. Çatlak gözenekliliği ve geçirgenlikleri doymuşluğun üssel fonksiyonu olarak ($n=2.8$) alınmıştır. Bir önceki örnekte olduğu gibi tarihsel çakışma elde edilmesi için alansal çatlak yoğunluğu, çatlak gözenekliliği ve geçirgenliği değiştirilmiştir. Kuyuların tarihsel su üretimi simülörde kısıtlanmış ve gözlemlenen tarihsel sıcaklık ve basınç verileri çakıştırılmıştır. Sıcaklık çakıştırmalarında kuyu başı sıcaklıkları jeotermal gradyanla kuyu dibine taşınmıştır. Aynı şekilde kuyularda yapılan dinamik seviye ölçümleri kuyu dibi koşullarında ifade edilmiştir. Geliştirilen modelin kalibrasyonu sahada bulunan kuyularda kuyu dibinde gözlemlenen basınç ve sıcaklık değerlerinin çakıştırılmasıyla yapılmıştır. Şekil 5'te örnek olarak KD-20 için elde edilen basınç ve sıcaklık çakışması verilmiştir. Bir önceki bölümde aktarılan yöntemle benzer şekilde boyutsuz entalpi ve basınç noktaları sahanın bu noktalarına geribasım yapılması sonucunda diğer kuyularda elde edilebilecek sıcaklık ve basınç düşümlerinin üretim ağırlıklı aritmetik ortalaması alınarak elde edilmiştir. Bir önceki örnekten farklı olarak tüm geribasım derinlikleri rezervuar derinliği olarak alınmış ancak debi etkisi araştırılmıştır. Daha sonra yapay sinir ağı bu noktalar kullanılarak eğitilmiştir. Eğitim sonucunda elde edilen yapay sinir ağı saha sınırları dahilinde bir başka noktada veri türetmek için kullanılmış ve rezervuar seviyesinde elde edilen entalpi ve basınç uzayı ise sırasıyla düşük ve yüksek geribasım debileri için Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Basınç düzeyini korumak için yüksek geribasım debisiyle lokasyonun özellikle sahanın güney doğusunda seçilmesinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Öte yandan entalpi geribasım debisinden çok fazla etkilenmemektedir. Her iki geribasım debisi için sahanın Tekkehamam bölgesine yakın olan ve güney fay zonuna yakın bir bölgeye geribasım yapılması daha verimli olarak görülmektedir.



Şekil 5. Kızıldere sahası KD-20 kuyusu basınç (sol) ve sıcaklık (sağ) çakışması.



Şekil 6. 2500 m³/gün geribasım debisi için elde edilen yapay sinir ağı sonuçları: Sol şekil boyutsuz entalpi sağ şekil ise boyutsuz basınç noktalarını göstermektedir.



Şekil 7. 4911 m³/gün geribasım debisi için elde edilen yapay sinir ağı sonuçları: Sol şekil boyutsuz entalpi sağ şekil ise boyutsuz basınç noktalarını göstermektedir.

SONUÇ

Geribasım lokasyonu ve geribasım parametrelerinin en uygun şekilde elde edilebilmesi için yapay sinir ağı ve sayısal rezervuar simülasyonu uygulaması önerilmiştir. Geliştirilen yöntem iki değişik düşük ve yüksek sıcaklıklı iki jeotermal sahada uygulanmış ve geribasım optimizasyonu çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda aşağı belirtilen öneriler yapılmıştır.

1. Kızılcaham sahasında geribasım sahanın batı ve güney batısında sığ bölgelere yapılırsa entalpi düşümü diğer bölgelere oranla daha az olmaktadır. Öte yandan geribasım sahanın derin güney doğu kısmına yapılırsa basınç düşümü daha az olmaktadır.
2. Kızıldere sahası için en uygun geribasım bölgesi Tekkehamam bölgesine (güney fay zonuna yakın bir bölge) olarak görülmektedir. Basınç düzeyini korumak için yüksek geribasım debisiyle lokasyonun seçilmesinin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] BIXLEY, P.F. et al. "Reinjection at the Wairakei geothermal field" in Annual Geothermal Resources Council Meeting Transactions, v.16, p.621-625, 1992.
- [2] BODVARSSON, G. "Thermal Problems in the Siting of Reinjection Wells." Geothermics. Vol. 1, No. 2, p. 63-66, illus, 1972.
- [3] BODVARSSON, G.S., STEFANSSON, V. "Some Theoretical and Field Aspects of Reinjection in Geothermal Reservoirs." Water Resources Research Vol. 25, No. 6, p 1235-1248, June 1989.
- [4] COLAHAN, K., "Reinjection of geothermal water and the effect on surrounding wells," in International symposium on Class V injection well technology, 1987. Available from the Ground Water Protection Library.
- [5] CORLETT, D..H. "Engineering assessment of the deep system and site selection". A report summarising the initial work undertaken in Phase 2C. U.S. Dept. of Energy, 1991. Available from NTIS as DE92 732509XSP.
- [6] CROCKETT, C., "A walk through time: injection in southeast geysers," in Proceedings of the symposium on subsurface injection of geothermal fluids, 1990. Available from the Ground Water Protection Library.
- [7] CUELLAR, G., CHOussy, M., ESCOBAR, D., "Extraction-reinjection at Ahuachapan geothermal field". Second invitational well-testing symposium, proceedings, p. 15-25, 1978. Available from NTIS.
- [8] CULVER, G. "Geothermal injection monitoring, Klamath Falls," in Proceedings of the symposium on subsurface injection of geothermal fluids, 1990. Available from the Ground Water Protection Library
- [9] DEFFERDING, L. J. "State-of-the-Art of Liquid Waste Disposal for Geothermal Energy Systems": 1979. (Jun 1980) Department of Energy, Washington, DC. Report No.: PNL-2404 <NTIS> DOE/EV-0083 (252p)
- [10] FUKUDA, M, AOSAKI, K., ONODERA, S., Translated title: "An estimation of injection capacity by measurement of water pressure in reinjection well." Butsuri-Tanko. 31. (5). p. 285-292, 1978.
- [11] GALLUS, J. P., PYE, D. S., MESSER, P. H., "Injectivity Restoration of a Hot-Brine Geothermal Injection Well." Journal of Petroleum Technology, 1978 Vol. XXX, No. 9 (September), page 1225.
- [12] GASS, T. E., "Injection, Recharge and Return Wells." Water Well Journal, Vol 35, No 10, p 36-37, October, 1981.
- [13] HAYASHI, M, MIMURA, T., YAMASAKI, T., "Geological setting of reinjection wells in the Otake and the Hatchobaru geothermal field, Japan," in Combs, J. Geothermal energy, a novelty becomes resource, transactions, Volume 2, Section 1, p. 263-266, 1978.
- [14] HORNE, R.N., RAMEY, H.H., MILLER, F.G., BRIGHAM, W.E., KRUGER, P., "Reservoir and injection technology and Heat Extraction Project". Fifth annual report, January 1, 1989--December 31, 1989. Progress rept. U.S. Dept. of Energy. Available from NTIS as DE92 016033XSP, 1989.

-
- [15] HORNE, R., RAMEY, H.J., MILLER, F.G., BRIGHAM, W.E., KRUGER, P., "Stanford Geothermal Program, reservoir and injection technology". Fourth annual report. Progress rept., 1988. U.S. Dept. of Energy. Available from NTIS as DE92 016029XSP.
- [16] HUNT, T. M., BIXLEY, P. F., CAREY, B. S., McCABE, W. M., YOUNG, R. M., "Results of a 13-month reinjection test at Wairakei geothermal field, New Zealand." Transactions - Geothermal Resources Council v 14 pt 2. Published by Geothermal Resources Council, p 1193-1200, 1990.
- [17] ITOI, R., FUKUDA, M., JINNO, K., HIROWATARI, K., SHINOHARA, N., TOMITA, T., "Long-term experiments of waste water injection in the Otake geothermal field, Japan." Geothermics v n 1 1989. p 153-159.
- [18] JORDA, R. M., "Use of Data Obtained from Core Tests in the Design and Operation of Spent Brine Injection Wells in Geopressured or Geothermal Systems". (Mar 1980) Department of Energy, Washington, DC. <NTIS> SAND-80-7047 (156p) Available from Ground Water Protection Council Library
- [19] LIPMAN, STEPHEN C., "Geothermal injection wells," in International symposium on Class V injection well technology, 1987. Available from the Ground Water Protection Library.
- [20] MESSER, P. H., PYE, D.S., GALLUS, J.P., "Injectivity restoration of a hot-brine geothermal injection well". Journal of Petroleum Technology. 30. (9). p. 1225-1230, 1978.
- [21] "Monitoring methods for injection of geothermal wastewater." Geothermal Energy, 1985 Vol. 13, No. 6 (June), page 16.
- [22] ORSER, LORI, STOCK, DONALD D., "Case history: reinjection in Dixie Valley, Nevada," in Proceedings of the symposium on subsurface injection of geothermal fluids, 1990. Available from the Ground Water Protection Library
- [23] SHOOK, M., FAULDER, D.D., "Analysis of reinjection strategies for The Geysers. National Technical Information Service", DE91 010059XSP. 20p. 1991. Sponsored by Department of Energy, Washington, DC.
- [24] TEWHEY, J.D., CHAN, M.A., KASAMEYER, P.W., OWEN, L.B., "Development of injection criteria for geothermal resources," in Combs, J. Geothermal energy, a novelty becomes resource", Transactions, Volume 2, Section 2. p. 649-652, 1978.
- [25] TSANG, C.F., BODVARSSON, G., LIPPMANN, M.J., RIVERA, R. J. "A study of alternative reinjection schemes for the Cerro Prieto geothermal field, Baja California, Mexico, in Combs, J. Geothermal energy, a novelty becomes resource, Transactions, Volume 2, Section 2. p. 659-662, 1978.
- [26] VETTER, O. J., CRICHLAW, H., B. "Injection, Injectivity and Injectability in Geothermal Operations: Problems and Possible Solutions. Phase I. Definition of the Problems." (Feb 1979) Petroleum Training and Technical Services, Norman, OK., Department of Energy, Washington, DC. <NTIS> SAN-2044-1 (183p)
- [27] WITHERSPOON, P. A. , BODVARSSON, G. S. , PRUESS, K. , TSANG, C. F. "Energy Recovery by Water Injection." AAPG Circum-Pacific Energy and Materials Conference, Honolulu, HI, Aug 22, 1982 Department of Energy, Washington, DC. Report No.: LBL-14820, CONF-820834-5 <NTIS> DE83002330 (30p)
- [28] AXELSSON, G., DONG, Z., "The Tanggu Geothermal Reservoir (Tianjin, China)" Geothermics, 27 (3), 271-294, 1998
- [29] BODVARSSON, G.,S., STEFANSSON, V., "Reinjection into Geothermal Reservoirs" in Geothermal Reservoir Engineering, Ed. E. Okandan, 103-120, Kluwer Academic, Dordrecht, 1988.
- [30] EINARSSON, S.S., VIDES, A., CUELLAR, G., "Disposal of Geothermal Waste Water by Reinjection", in 2nd United Nations Symposium on the Development of Geothermal Resources, 2, 1349-1363, 1975.
- [31] GOYAL, K.P., "Injection Related Cooling in the Unit 13 Area of the Southeast Geysers, California, USA" Geothermics, 28, 3-19, 1999.
- [32] McNICHOL, J.L., GETZLAF, D.A., PROTZ, M., "Neural Network Analysis Identifies Production Enhancement Opportunities in the Kaybob Field" SPE 71040 presented at the Rocky Mountain Petroleum Technology Conf. Keystone, Colorado, USA, 2001.
- [33] JAMES, R., "Reinjection Strategy", Proc. 5th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, CA, USA, 355-359, 1979.

- [34] JOHNSON, V.M., ROGERS, L.L., "Applying Soft Computing Methods to Improve the Computational Tractability of a Subsurface Simulation–Optimization Problem", *Journal of Petroleum Science & Engineering*, 29, 153-175, 2001.
- [35] SERPEN, U., SATMAN, A., "Reassessment of the Kizildere Geothermal Reservoir", *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2869-2874, 2000.*
- [36] Sigurdsson, O., Arason, T., Stefansson, V., (1995), "Reinjection Strategy for Geothermal Systems" *Proc. World Geothermal Congress, 1967-1971.*
- [37] STEFANSSON V., "Geothermal Reservoir Management" United Nations Project, PHI-080-014, Manila, 45 pp., 1986.
- [38] STEFANSSON V., "Geothermal Reinjection Experience" *Geothermics*, 26 (1), 99-139,1997.
- [39] YELTEKİN K., PARLAKTUNA M., AKIN, S., "Modeling of Kizildere Geothermal Reservoir, Turkey" *Proceedings of the Twenty-Seventh Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, 26-28 January, Stanford, CA, USA, 2002.*
- [40] TOKER, M., DURAK S. "Kızılcahamam KHD-1 ve MTA-1 Kuyuları Test Raporu" MTA Ankara, 1990.
- [41] KESKIN, B., "Kızılcahamam Seyhamamı Bölgesinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları", MTA, Ankara, 1979.
- [42] KOÇAK, A., "Kızılcahamam Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü", MTA Rap. No 8565, MTA, Ankara,1989.
- [43] ÜNLÜ R.M., ERİŞEN B. "Ankara-Çubuk-Kızılcahamam-Kazan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları", MTA, Ankara, 1980.
- [44] GEVREK A.İ., "Ankara-Kızılcahamam Jeotermal Alanı Gradyan Sondajlarının (MTA-2, MTA-3, MTA-4, MTA-5, MTA-6) Kuyu Bitirme Raporu", MTA Rap No 8749, MTA, Ankara,1989.
- [45] FIELD, M., S., "A review of some tracer-test design equations for tracer-mass estimation and sample-collection frequency". *ENVIRON GEOL* 43 (8): 867-881 APR 2003.
- [46] KILPATRICK,F.A., "Simulation of Soluble Waste Transport and Buildup in Surface Waters Using Tracers". *Tech.Rep.Techniques of Water-Resources Investigations, Book 3,Chapter A20,37 p.,U.S.Geological Survey, 1983.*
- [47] KILPATRICK,F.A., WILSON,Jr.,J.F., "Measurement of Time of Travel in Streams by Dye Tracing".*Tech. Rep.27 Techniques of Water-Resources Investigations of the U.S. Geological Survey,Book 3,Chapter A9,27 p.,U.S.Geological Survey, 1989.*
- [48] ALEXANDER,Jr., E.C., QUINLAN,J.F., "Practical Tracing of Groundwater with Emphasis on Karst Terranes".*Tech.Rep.Short Course Manual, 2nd ed.,Geological Society of America,Boulder,Colorado, 1992.*
- [49] FIELD, M.S., "Ground-water tracing and drainage basin delineation for risk assessment mapping for spring protection in clark county,Virginia".*Tech.Rep.NCEA-W-0936,36p.,U.S.Environmental Protection Agency,Washington,D.C.,2000.*
- [50] SMART,P.L., ATKINSON,T.C., LAIDLAW,I.M.S., NEWSON,M.D., TRUDGILL,S.T., "Comparison of the results of quantitative and nonquantitative tracer tests for determination of karst conduit networks: An example from the Traligill Basin,Scotland". *Earth Surface Processes* 11, 249 – 261, 1986.
- [51] FIELD, M., S, "Efficient hydrologic tracer-test design for tracer-mass estimation and sample-collection frequency", 1. Method development. *ENVIRON GEOL* 42 (7): 827-838 OCT 2002
- [52] FIELD, M., S., "Efficient hydrologic tracer-test design for tracer-mass estimation and sample-collection frequency", 2. Experimental results. *ENVIRON GEOL* 42 (7): 839-850 OCT 2002.
- [53] EROL, O., "Koroglu Isıkdaglari volkanik kutlesinin orta bolumleri ile Beypazari-Ayas arasindaki Neojen havzasinin jeolojisi hakkında rapor (in Turkish)" MTA Report No: 2299, 1955.
- [54] GÜLEÇ, N., "Geochemistry of thermal waters and its relation to the volcanism in the Kizilcahamam (Ankara) area, Turkey" *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 59, 4, 295-312, 1994.
- [55] AKIN, S., "Analysis of Tracer Tests with Simple Spreadsheet Models" *Computers & Geosciences*, 27, 2, 171-178, 2001.
- [56] SHOOK, M. G., "A Simple, Fast Method of Estimating Fractured Reservoir Geometry from Tracer Tests" *Trans., Geothermal Resources Council, Vol. 27, 2003.*
- [57] AKIN, S., "Tracer Model Identification Using Artificial Neural Networks" *Water Resour. Res., Vol. 41, No. 10, W10421, 10.1029/2004WR003838, 2005.*

ÖZGEÇMİŞLER

Serhat AKIN

1967 yılı Ankara doğumludur. 1997 yılında ODTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünden Doktor ünvanını almıştır. 1997-1998 Yılları arasında doktora sonrası araştırmacı olarak Stanford Üniversitesi Petrol Mühendisliği Bölümünde bulunmuştur. 1999 - 2002 yılları arasında Y.Doç. Dr. 2002 sonrasında ise Doç. Dr. Olarak ODTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği bölümünde görev yapmıştır. 2006 yılında Stanford Üniversitesi Petrol Mühendisliği bölümünde Blaustein ziyaretçi profesörü olarak çalışmıştır. Rezervuar simülasyonu, kuyu ve iz testi analizleri konularında çalışmaktadır.

Mahmut PARLAKTUNA

1958 yılı Eskişehir doğumludur. 1988 yılında ODTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünden Doktor ünvanını almıştır. 1990-1991 ve 1998 - 1999 Yılları arasında doktora sonrası araştırmacı ve ziyaretçi profesör olarak Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesinde bulunmuştur. 1988 - 1994 yılları arasında Y.Doç. Dr., 1994 - 2001 yıllarında Doç. Dr. sonrasında ise Prof. Dr. olarak ODTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği bölümünde görev yapmıştır. 2006 yılında bölüm başkanı olan Dr. Parlaktuna jeotermal rezervuar mühendisliği ve doğal gaz hidratları konularında çalışmaktadır.