

Afyon Ömer-Gecek Jeotermal Sisteminin. Modellenmesi

Modeling of the Afyon Ömer-Gecek Geothermal System

Berrin AKAN

Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM), 06532, Bey tepe, ANKARA

ÖZ

Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanı Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarından biridir. Bölgede MTA ve özel kuruluşlar tarafından açılmış çok sayıda sıcak su kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyulardan, 48-98 °C sıcaklıkta ve 4-100 l/s debi ile sıcak su elde edilmektedir. Afyon İl Özel İdaresi tarafından oluşturulan AFJET (Afyon Jeotermal Isıtma Tesisleri) şirketi, Afyon kentinin jeotermal enerji ile ısıtılması amacıyla bölgedeki sıcak suların yararlanmaktadır. Bölgede yer alan kuyuların birbirine çok yakın olması kuyular arasında girişime ve sıcaklık düşüşlerine neden olmaktadır. Sıcak su akiferini Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfileri oluşturmaktadır. Perméabilité değeri düşük ($k=10^{-12}$ m²) olan ve kırılgan ve çatlaklı bir yapı gösteren bu birim, eklem, kırık ve çatlakları içinde sıcak yeraltısuyu bulundurmaktadır. Bu çalışma kapsamında sıcak su dolaşım sistemini ortaya koymak ve mevcut işletme koşullarının sistem üzerindeki etkisini göstermek amacı ile sıcak su akiferindeki basınç ve sıcaklık dağılımı HST3D modeli aracılığıyla benzeştirilmiştir. Model sonuçlarına göre birbirine yakın açılmış kuyular ile yapılan yoğun işletme çalışmalarının sonucu, sıcaklık ve basınç değerlerinin kuyular çevresinde zaman içerisinde giderek azaldığı görülmektedir. Akiferin hidrolik iletkenliğinin düşük olması sistemin yenilenebilmesi için uzun zaman gerektirmektedir. Bu nedenle, bundan, sonra açılacak kuyuların mevcut kuyuların uzağında,,-alanın değişik noktalarına dağılacak şekilde tasarlanması ve düşük debi ile üretim yapılması kuyular arasındaki sıcaklık etkileşimlerinin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Sözcükler: Afyon, Gecek,, HST3D, jeotermal U Ömer, sıcak su akiferi

ABSTRACT

Afyon Ömer-Gecek is one of the important geothermal areas in Turkey, with lots of boreholes drilled by MTA and other organizations, These boreholes yield 4-100 l/s hot water at 48-98 °C. AFJET' Corporation established by Afyon Private City Directory utilizes this

hot water which has been obtaining from deep boreholes for the heating of the Afyon city. The short distance between the boreholes causes interference between the wells and the temperature reduction. The hot water aquifer composed of Afyon metamorphics of Paleozoic age. The hot water, is located in the cracks of this low permeable ($k-W^2$ rmt) formation.. Within the scope of this study, it is aimed to conceptualize the hot water circulation system, to indicate the effects of the current exploitation activities on the aquifer system by modeling the temperature and pressure distribution with the HST3D numerical model., According to the results derived from the model, the temperature and pressure around the boreholes decrease gradually in time. Due to the low permeability, the turnover of the system requires a long time., Therefore, new wells should be located far away from, the existing wells and exploited with low rates in order to prevent temperature interferences..

Keywords; Afyon, Gecek, geothermal area, hot water aquifer, HST3D, Ömer

Giriş .

Çalışmanın amacı

Bu çalışmanın amacı, Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanında, sıcak su dolaşım sistemini açıklamak ve mevcut işletme koşullarının sistem üzerindeki etkisini göstermektir, Ömer-Gecek jeotermal alanı Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarından biridir ve bölgede MTA başta olmak üzere çeşitli kuruluşlar tarafından açılmış çok sayıda sıcak su kuyusu bulunmaktadır. Bu kuyulardan, 48-98°C sıcaklıkta ve toplam 200 l/s debi ile sıcak su elde edilmektedir, Yüksek sıcaklığa sahip bu sular, bölgenin termal turizm açısından cazip bir hale gelmesine ve bu amaca hizmet eden oteller tarafından açılan kuyular ile termal akiferin kontrolsüz olarak işletilmesine neden olmaktadır, Bunun yanı sıra, Afyon İl Özel İdaresi tarafından oluşturulan AFJET (Afyon Jeotermal Isıtma Tesisleri) şirketi» Afyon kentinin jeotermal enerji ile ısıtılmasına yönelik olarak çok sayıda derin sondaj kuyusu aracılığı

ile bölgedeki, sıcak suların yararlanmaktadır, Günümüzde ısıtılan konut sayısı 4500 civarındadır, ancak jeotermal enerji ile ısıtmanın ucuz olması nedeniyle giderek artan bir talep söz konusudur, Bu talebi karşılamak amacıyla bölgede açılacak yeni kuyularla ısıtılacak konut sayısının artırılması planlanmaktadır. Ancak, Afyon kentinin ısıtılması için termal akiferin yeterli olup olmadığı konusunda bir bilgi ve çalışma bulunmamaktadır. Çok büyük yatırımlarla tüm Afyon kentinin ısıtılması için yapılan proje çalışmaları ısıtma sistemi üzerine yoğunlaşmış, jeotermal sistemle ilgili çalışmalar ise daha çok mevcut ve planlanan sondaj kuyularının tasarımı (derinlik, debî, sıcaklık, v.b.) ile ilgili olarak gerçekleştirilmiştir. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda, jeotermal sistemler tükenmez bir doğal kaynak olarak görülmüş ve sistemden faydalanılırken sistemin işleyiş mekanizmasının çözülmesine yönelik çalışmalar yapılmaksızın, sıcak suyun yüzeye çıkarılarak kullanımına ilişkin faaliyetlerde bulunul-

muştur. Bu çalışma ile bu alandaki eksikliğin giderilmesi ve jeotermal sistemin işleyiş mekanizması ile şu anda geçerli olan işletme koşullarının sistem üzerindeki etkisine ışık tutulması amaçlanmıştır..

Çalışına yöntemi

Bu çalışma kapsamında, izlenen yöntem üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki jeotermal sistemi oluşturan unsurların belirlenmesi ve alanın kavramsal modelinin geliştirilmesi, ikincisi, termal akifere ait hidrolik ve termal parametrelerin belirlenmesi ve üçüncüsü de bunların matematiksel bir model yardımıyla- benzeştirilmesidir. Öncelikle bu amaca yönelik olarak, inceleme alanına ait jeolojik (topoğrafik harita, jeoloji haritası, strati grafik istif, jeofizik haritaları, vb.) ve hidrojeolojik veriler derlenmiştir. Daha sonra, inceleme alanında açılan kuyulara ait kuyu loglarından yararlanılarak termal akiferin alt ve üst sınırları belirlenmiştir. MTA tarafından, inceleme alanında yer alan 13 adet kuyuda, 2000 yılının Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında yapılan kuyu başı basıncı ölçümleri ile statik sıcaklık,, dinamik sıcaklık, statik basınç, dinamik basınç, basınç toplanma,, üretim ve reenjeksiyon testlerine ait veriler elde edilmiştir., Bu testlerde ölçülen, derinliğe karşılık sıcaklık ve basınç değerlerinden yararlanılarak yeraltındaki basınç ve sıcaklık profili oluşturulmuştur. Tüm bu veriler ışığında,, termal akiferin yayılımı, beslenme-boşalm ilişkisi ve sınır koşulları belirlenmiş ve bu bilgiler matematiksel bir model yardımı ile değerlendirilerek Afyon Ö-

mer-Gecek jeotermal alanının hidrojeolojik modeli oluşturulmuştur. Modelleme aşamasında, Kipp (1987) tarafından geliştirilen HST3D (The Heat and Solute Transport Program) model programı kullanılmıştır. HST3D, ısı ve kütle taşınımını modelleyen üç boyutlu bir model programıdır.

Gözenekli Ortamlarda Isı Taşınımının Modellenmesi: HST3D

Jeotermal enerji üzerine yapılan araştırmaların artmasına paralel olarak gözenekli ortamlarda tek ve iki fazlı akışkan akımı ve ısı taşınımının benzeştirilmesi konusunda da büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Son yıllarda matematiksel modeller yardımıyla jeotermal alanların modellenmesi yoğun olarak çalışılan bir konudur. Afyon Ömer-Gecek alanının hidrojeolojik modellenmesi yapılırken Kipp (1987) tarafından geliştirilen tek fazlı sonlu farklar modeli olan HST3D model programı kullanılmıştır., Modelde kullanılan verilerin girişi ve sonuçlarının değerlendirilmesi, bir coğrafi bilgi sistemi programı olan Argus-ONE (Argus Interware, Inc., 1997) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.,

HST3D model programının genel yapısı ve bu çalışma kapsamında kullanılan fonksiyon ve eşitliklerle ilgili, açıklamalar Kipp (1987)'den kısaltılarak alınmıştır. HST3D bir ısı ve kütle taşınım modeli olup yeraltısuyu akımı ve bununla bağlantılı olarak ısı ve kütle taşınımını üç boyutlu olarak benzeştirmektedir. Modelde, içsel boşluk hızı,, basınç,, sıcaklık ve çözünmüş kütle o-

ra.n.s.na bağımlı olan akışkan yoğunluğu ve akışkan viskozitesinin birleştirilmesi ile elde edilen üç temel eşitliğin çözümü esas alınmaktadır. Eşitliklerin çözümünde sonlu farklar tekniği, kullanılmaktadır., Model .içerisinde sonlu farklar matris eşitlik çözümünde direk eliminasyon ve itératif çözüm, olmak üzere iki tür doğrusal çözüm söz konusudur., Katkı-kayıp süreçleri kuyularla ifade edilmektedir. Yüzeyle veya akiferdeki basınç koşulları ve akım. hızının benzeşti -rilmesi amacıyla karmaşık bir kuyu-akım modeli kullanılmaktadır.. Modelde kullanılan sınır koşulları, sabit değer, sabit akı, akifer ve yüzey suları sızması ve ısı iletimini kapsamakta olup tüm sınır koşulları zamanın fonksiyonudur. Veri girişi, metrik birim sistemi veya Amerikan birim, sistemine göre yapılabilmektedir.

Modelde kullanılan akışkan-kütle denge eşitliği aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \rho \left(\frac{\partial v_p}{\partial t} + \rho_g \right) + \rho - \quad (D)$$

Burada;

ρ akışkan basıncı (M/L/t)

t zaman (t)

n etkin porozite (boyutsuz)

ρ akışkan yoğunluğu (M/L³)

ρ^* sabit akışkan girdisine ait yoğunluk değeri (M/L³)

q akışkan girdisi akım hız yoğunluğu. (L³/L³t)

Akım eşitliği çözülürken Darcy eşitliğinden elde edilen gözenek hızı (v) kullanılmaktadır:

$$v = -\frac{1}{n} \left(\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g \right) \quad (2)$$

Modelde kullanılan ısı denge eşitliği şu şekilde ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\rho c_p T + (1-n) \rho_s c_s T \right) + \nabla \cdot [n \rho c_p T + (1-n) \rho_s c_s T] + \rho_s n D_h \nabla^2 T - \rho_s n p c_f T + q_h + q_p^* c_f T^* \quad (3)$$

Burada

T ; akışkan ve gözenekli, ortamın sıcaklığı (T)

T^* sabit akışkan girdisinin sıcaklığı (T)

ρ_s katı fazın yoğunluğu. (M/L³)

C_f sabit basınçtaki akışkan fazının özgül ısı (E/MT)

c_s sabit, basınçtaki katı fazın özgül ısı (E/MT)

K_f sıvı fazın termal iletkenliği (E/LtT)

K_s katı fazın termal, iletkenliği (E/LtT)

D_h termo mekanik dispersiyon tensörü (E/LtT)

q_h ısı kaynağı oransal yoğunluğu (E/L³t)

I birim matris (-)

$$E = ML^2/t^2$$

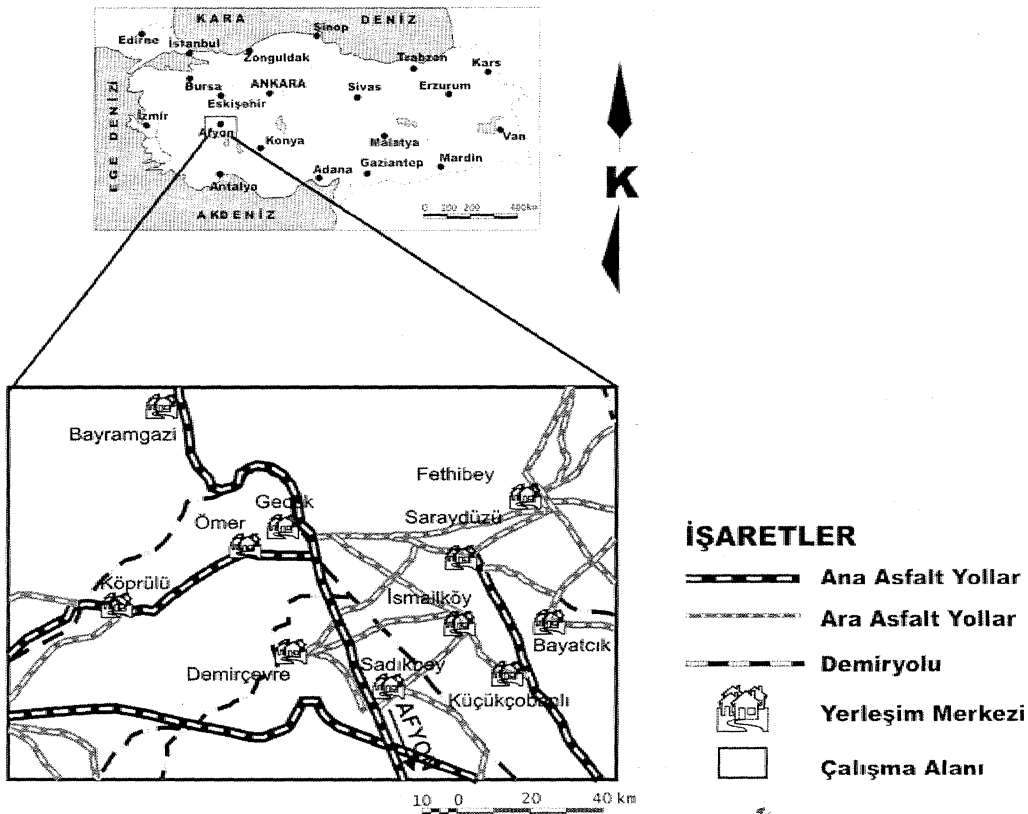
Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan akışkan ve gözenekli ortamı özellikleri ile (yoğunluk, viskozite, porozite, ısı kapasitesi, termal iletkenlik ve entalpi), sıcaklık, basınç ve çözülmüş kütle oranı gibi bağımlı değiş-

kenlerin bir fonksiyonudur.. Isı ve katı dispersiyon tensörleri ise boşluk, ve içsel boşluk hızının fonksiyonudur.

İnceleme Alanının Tanıtılması ve Jeotermal Sisteme Ait Kavramsal Model İnceleme Alanının Tanıtılması

Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarından biri olan Ömer-Gecek jeotermal alanı Afyon-Kütahya karayolu üzerinde Afyon'a yaklaşık 15 km uzaklıktadır.. Yaklaşık 16

km²'lik bir alan kaplayan inceleme alanı, Afyon K24-b3 paftasında yer almaktadır.. İnceleme alanına ait yer buldum haritası Şekil T de yer almaktadır,. İnceleme alanında yer alan yerleşim merkezleri; kuzeyde Bayramgazi, batıda Köprülü, güneyde Demirçevre, Sadıkbey, doğuda Saraydüzü, Fethibey, İsmailköy, merkezde Ömer ve Gecek köyleridir, önemli yükseltiler ise; Oyuklu Tepe (1214 m), Başçakmak Tepe (1148 m) ve Çalıldüzü Tepe (1129 m)'dir.

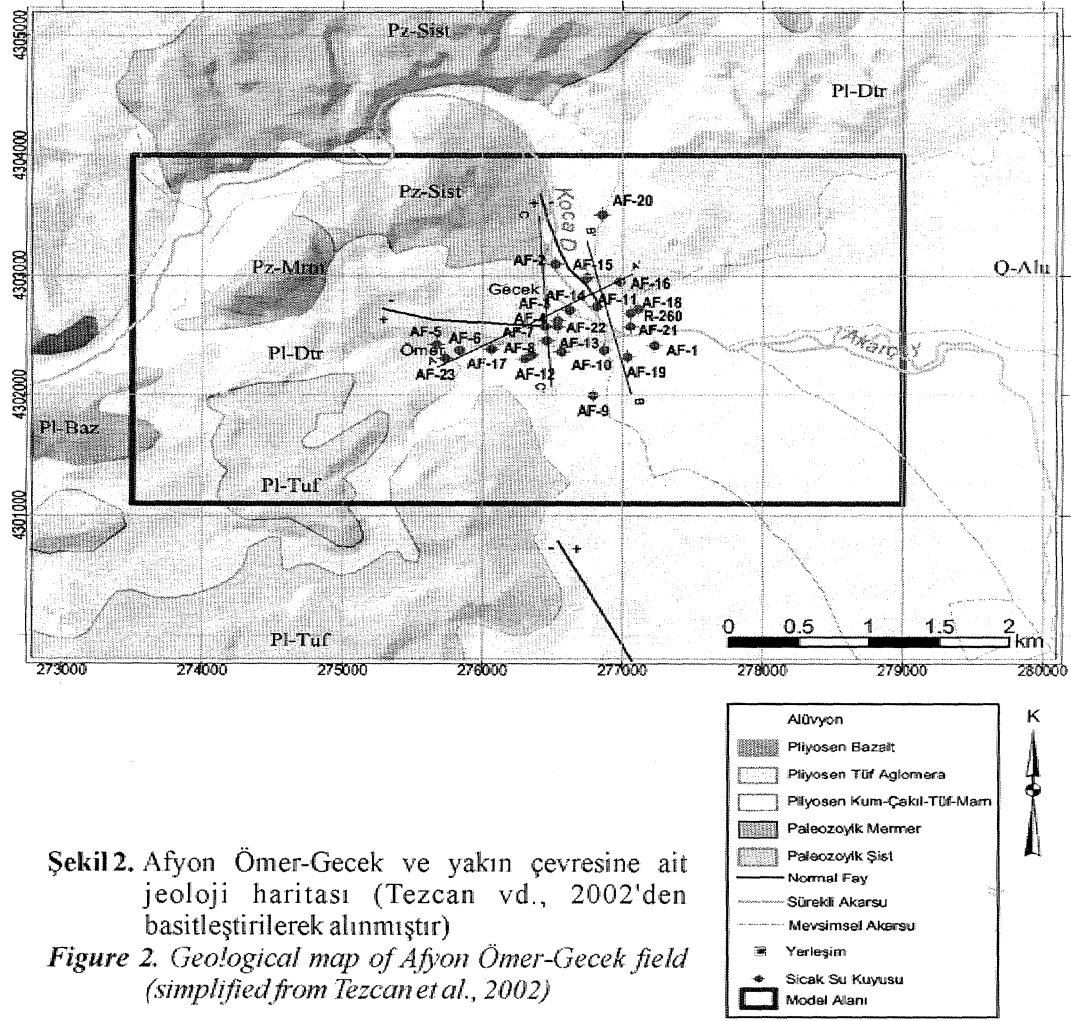


Şekil 1L İnceleme alanına ait yer buldum haritası
Figure 1. Location map of the study area

Jeoloji

İnceleme alanında. Erişen (1972), Karaman (1972), Tatlı (1973), Metin vd. (1987) ve Erkan vd. (1996) tarafından

ayrıntılı jeolojik incelemeler yapılmıştır. Bu bölümde, Afyon Ömer-Gecek ve yakın çevresinin jeolojisi bu çalışmalardan yararlanılarak özetlenmiştir. İnceleme alanına ait jeoloji haritası Şekil 2'de sunulmuştur..



Afyon Ömer-Gecek alanında Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfüeri temeli oluşturmaktadır., Genellikle kahve, boz, yeşil renkli, kivnmcıkh, granoblastik dokulu, şisti yapılı ve görünüşte ileri derecede metamorfik kayca izlenimi veren bu metamorfitle, genel

olarak, albit-klorit-muskovit-biotit-kuvars şistlerden oluşmuştur. Aynea bu şistler içerisinde yer yer büyük mercek ve bantlar halinde metakonglomera, metakumtaşı, mermer ve kalkşistler yer almaktadır., İnceleme alanında geniş bir alan kaplayan Senozoyik yaş-

lı oluşuklar genel olarak Neojen yaşlı birimler ile temsil edilmekte, Neojen çökelleri inceleme alanının tamamında, Paleozoyik kayalar üzerinde uyumsuz olarak görölmektedir. Miyosen yaşlı birimler, koyu, kırmızı/kirli sarı, okside, turuncu renkli,, kalın ve kötü katmanlanmalı, konglomera-kumtaşı-silttaşı ve kiltası aralanmasından oluşmaktadır., İnceleme alanında Pliyosen, göl sel ve volkanik kakaçlar ile temsil edilmektedir. Gösel çökeller alttan üste doğru birbiriyle geçişli 4 farklı birimden oluşmaktadır. En altta ince-orta ve kalın katmanlanmalı konglomera, kumtaşı, tüf, tüfit ara katkılı marn üyesi bulunmaktadır. Bu birim üzerine,, silis arabandı killi kireçtaşı üyesi gelmektedir., Kireçtaşlarının üzerinde kalın tabakalanmalı, karbonat çakıllı konglomera üyesi ve en üstte belirsiz tabakalanmalı (üst) marn üyesi bulunmaktadır. Pliyosen çökellerinin alt dokanağı Miyosen çökelleri üzerinde uyumsuz olarak izlenmektedir.. Üst dokanağı ise bazalt ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtölmüştür., Pliyosen yaşlı birimlerin kalınlığı genel olarak değişken olup; 25-350 m arasında değişmektedir. İnceleme alanının D ve GD'sunda geniş alanlar kaplayan Kuvaterner yaşlı alüvyon ise, akarsu yataklarında biriken kum,, çakıl, mil türü tutturulmamış güncel çökellerden oluşmaktadır.,

Afyon Ömer-Gecek jeotermal sisteminin kavramsal modeli

Jeotermal bir sistemin elemanları; sıcak su akiferi., bon un üzerinde yer alan geçirimsiz bir örtü kayaç, ısı kaynağı ve beslenme bölgesinden oluşmaktadır, Afyon Ömer-Gecek bölgesinde sıcak suların akifer kayacını Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfite-

leri'ne ait mermer ve şistler ile Pliyosen yaşlı bazaltlar oluşturmaktadır., Ancak bu çalışma kapsamında kuyuların büyük bir bölümünün şistlerden su aldığı göz önüne alınarak, Paleozoyik yaşlı şistler modellenmiştir. İnceleme alanında açılan kuyularda şistlerin alt sınırına ulaşılamamış olmasına rağmen yaklaşık kalınlıklarının 2000 m civarında olduğu tahmin edilmektedir. Perméabilité değeri düşük olan ve oldukça kırıklı ve çatlaklı bir yapı gösteren bu birim eklem, kırık ve çatlakları içinde sıcak su akiferinin örtü kayacını ise Neojen yaşlı birimler (Miyosen yaşlı konglomera ve marn üyesi ile Pliyosen yaşlı marn, konglomera, kireçtaşı ve üst. marn üyesi) oluşturmaktadır., Bu birimlerin kalınlığı değişkenlik göstermekte ve inceleme alanında rezervuar kayacının derinliğinin batıdan doğuya doğru artmasına paralel olarak Neojen örtünün kalınlığı da. artış göstermektedir. İnceleme alanının doğu kesiminde KB-GD yönlü büyük bir fay yer almakta ve bu fay nedeniyle meydana gelen kırılma sonucunda sıcak su akiferi derinlere gömölümekte, buna bağlı olarak örtü kalınlığı artmakta ve basamaklı bir yapı oluşmaktadır. Soğuk yeraltısuyu için bir akifer özelliği gösteren Neojen yaşlı birimlerin, kalın bir kil-mil-marn serisiyle başlaması ve Paleozoyik birimlerin hidrolik iletkenliklerinin çok düşük olması, Neojen akiferi ile sıcak su akiferi arasında yaygın bir ilişkinin olmasını engellemektedir.

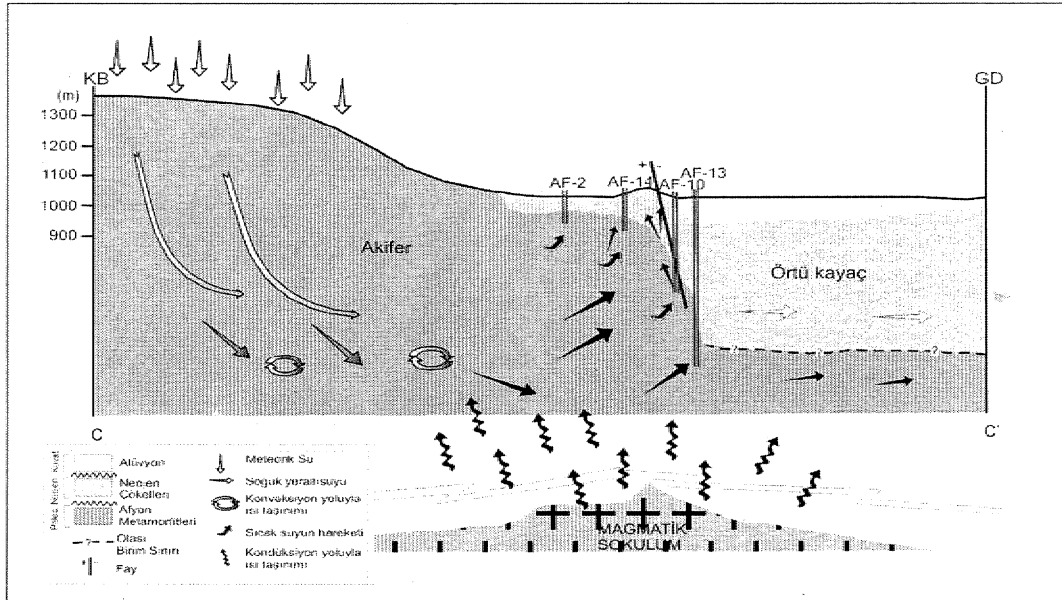
Bölgede özellikle Afyon civarında, tektonik faaliyetlere bağlı olarak Miyosen'de başlayan ve Pliyosen boyunca devam eden etkin bir volkanizmanın ürünleri geniş bir alan kaplamaktadır. Volkanik etkinliğin son

safhasını ise bazalt akıntıları meydana getirmektedir. Bu volkanik kayaçları oluşturan magma ceplerinin jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturduğu düşünülmemektedir. GSJ-MTA (1992), bölgede yaptıkları çalışmada bazaltlardan oluşan volkanik kayaçların içinde agglutinate oluşumlarına rastlamışlar ve bu oluşumların varlığını o bölgenin bazaltik erüpsiyonun merkezine çok yakın olması şeklinde açıklamışlardır.

Sıcak suların beslenmesi, yüksek kısımlarda yüzeylenen Paleozoyik yaşlı Afyon metamorfileri, bu birimin örtülü olduğu kısımlarda ise örtü kayacın geçirimsiz kısımları aracılığı ile dolaylı olarak ve fay hatları boyunca gerçekleşmektedir. Dolayısıyla beslenme bölgesinde yer alan Paleozoyik yaşlı metamorfilerin üzerine düşen yağış, derin bir dolaşım yolunu takip ederek, kırık ve çatlaklar boyunca derinlere süzülmemekte ve

jeotermal gradyanın da etkisi ile bir miktar sıcaklık kazanmaktadır. GSJ-MTA (1992) bu bölgede jeotermal gradyanın yaklaşık olarak $0.6-0.8 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ m}$ olduğunu bildirmişti

Derinlere inen meteorik kökenli suların, magma ceplerinden kaynaklanan ısı akısının da etkisiyle sıcaklığı artmaktadır. Bu sular, sıcak ve soğuk sular arasındaki yoğunluk farkından da kaynaklanan, basınç ve bölgede yer alan faylar aracılığı ile yükselerek yüze ulaşmaktadır (Şekil 3).. Şimşek (1993) ve Ercan vd. (1994) de, bölgede yaptıkları incelemeler sonucunda Afyon-Ömer-Gecek jeotermal alanında yer alan sıcak suların meteorik kökenli olduğunu bildirmişlerdir. Mutlu (1996) ise, Ömer-Gecek'teki sıcak suların yüksek Cl içeriğinin, bölgedeki suların derin dolaşım olmaları ve rezervuarda uzun bir geçiş dönemine sahip bulunmasından kaynaklandığını belirtmiştir.



Şekil 3» Afyon Ömer—Gecek jeotermal alanının kavramsal modeli

Figure 3. The conceptual model of Afyon Ömer-Gecek geothermal field

Termal akiferin işletilmesi

Afyon. Ömer-Gecek jeotermal alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklan,, termal turizme yönelik olarak 3 adet kaplıca ile 33 adet termal motelin ısıtılmasında ve termal olimpik bir havuza sıcak su verilmesinde kullanılmaktadır (Yılmaz, 1999). Sahada MTA başta olmak üzere çeşitli kuruluşlar tarafından açılmış çok sayıda sıcak su sondajı bulunmaktadır. Bunların sıcaklıkları 48-98 °C debileri ise 0,4-100 l/s arasında değişmektedir., Bölgede sondaj çalışmaları 1971 yılında başlamıştır.. MTA tarafından Afyon'da çeşitli tarihlerde toplam 24 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyulardan AF-2 ve AF-12'de yeterli kalınlıkta örtü kayaç ke-

silmediğinden kuyular kontrolsüz üretim yapmış ve bu nedenle kullanım dışı bırakılmışlardır (Tamgaç vd., 2000).

Bölgedeki kuyuların 12 tanesi (AF-1, AF-2, AF-3, AF-5, AF-6, AF-7, AF-8, AF-10, AF-12, AF-15, AF-18 ve AF-19) zaman içinde çeşitli nedenlerle kullanım dışı kalmış, geri kalan kuyulardan (A.F4, AF-9, AF-11, AF-13, AF-14, AF-16, AF-17, AF-20, AF-21, AF-22, AF-23) ise kaplıca, otel ve AFJET'in sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır., Kuyulann açılışı sırasında elde edilen veriler ile 2000 yılında MTA tarafından yapılan testler sonucu elde edilen sıcaklık, kuyu başı basıncı ve debi değerleri derlenerek, Çizelge Pde sunul muştur..

Çizelge 1. Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanında yer alan kuyulara ait bilgiler (Tamgaç vd., 2000)
Table 1. The list of the wells located in Afyon Ömer-Gecek geothermal field (Tamgaç et al., 2000)

Kuyu Adı	Derinlik (m)	KB Kotu (m)	KB Sıcaklığı* (°C)	Dinamik Sıcaklık** (°C)	Debi* (l/s)	Debi* (l/s)	KB basıncı** (kg/cm ²)	Açıldığı tarih
R-260	166.0	1028	92.0	100.28	20	30.0	1.02	1971
AF-01	905.0	1023	97.4	97.00	7-20	-	-	1974
AF-02	56.8	1026	-	-	-	-	-	1996
AF-03	250.0	1065	97.0	-	110	-	-	1975
AF-04	125.7	1061	95.0	-	80	-	-	1982
AF-05	207.4	1048	79.0	-	15	-	-	1982
AF-06	211.4	1044	92.0	-	10	-	-	1982
AF-07	210.0	1041	100.0	-	5-6	-	-	1984
AF-08	250.0	1033	91.0	-	5-10	-	-	1984
AF-09	320.0	1027	51.0	-	66	-	-	1990
AF-10	320.4	1027	98.0	-	100	-	-	1990
AF-11	185.0	1028	98.0	106.32	150	68.3	1.61	1996
AF-12	59.0	1033	88.0	-	15	-	-	1996
AF-13	560.0	1026	81.0	-	4.7	-	-	1996
AF-14	122.0	1039	96.0	104.16	100	51.0	1.02	1996
AF-15	170.7	1030	97.0	106.35	4-5	38.0	1.65	1996
AF-16	218.0	1033	96.0	105.50	100	35.8	2.03	1996
AF-17	260.5	1034	99.0	101.13	80	22.7	0.91	1996
AF-18	363.6	1033	98.0	-	Gayzer	-	0.97	1996
AF-19	305.3	1031	90.0	-	100	54.3	-	1997
AF-20	230.0	1035	90.0	100.55	100	54.3	0.97	1997
AF-21	212.0	1026	91.0	102.24	45	63.4	2.03	1997
AF-22	227.0	1065	95.0	-	50-70	-	-	1997
AF-23	235.8	1045	90.0	-	50	-	-	1997

KB:Kuyubaşı

*: Kuyunun açıldığı tarihte alınan, ölçümler¹

**:.2000 yılında MTA tarafından yapılan testler sırasında alınan ölçümler

Afyon. Ömer-Gecek Jeotermal Sisteminde Sıcak Su Akiferinin Sayısal Modeli

Bo çalışma kapsamında jeotermal sistemin işleyiş mekanizması ve şti anda geçerli olan işletme koşulları ile sistemde gelecekte meydana gelebilecek değişiklikler göz önüne alınarak değişik model senaryoları türetilmiş ve sıcak su akiferinin hidrolik ve termal parametreleri göz önüne alınarak bir matematiksel model **aracılığı** ile jeotermal sistemin davranışı benzeştirilmiştir. Bu amaçla, geliştirilen jeotermal sisteme ait kavramsal modelden yola çıkılarak, sıcak su akiferine ait başlangıç ve sınır koşulları tanımlanmış ve HST3D model programı kullanılarak jeotermal sistem modellenmiştir.

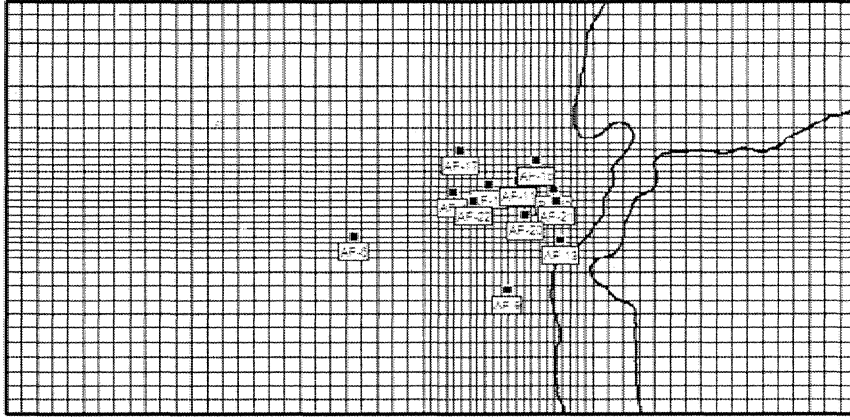
Sıcak su akiferinin termal ve hidrolik parametrelerinin konumsal değişimine ait bir bilgi bulunmadığı için akifer homojen "bir bütün olarak ele alınmıştır. İnceleme alanını temsil eden kavramsal yapı göz önüne alınarak, modelin alt sınırında ısı kaynağı ve alanın ovaya yakın kesimlerinde Neojen "bilimlerin oluşturduğu soğuk su akiferi sabit sıcaklık sınırı olarak tanımlanmıştır. Ömer-Gecek jeotermal sisteminin beslenme bölgesinde ve model alanının kuzeyi ve batısında hidrostatik basınçtan kaynaklanan bir sabit basınç sınırı tanımlanmıştır. İnceleme alanında halen çalışır durumda olan 12 adet kuyu aracılığı ile sabit debi ile yılın 210 günü çekim yapıldığı göz önüne alınmış, model 20 yıl süre ile çalıştırılarak sıcaklık ve basınçta meydana gelebilecek değişimler belirlenmiştir..

Sonlu farklar grid tasarımı

Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanının HST3D ile sayısal modelinin oluşturulmasında ilk adım model alanının sonlu-farklar gridlerine bölünmesidir. Yaklaşık olarak 16 km²'lik bir alan kaplayan model alanı için oluşturulan grid **ağı** 66 kolon, 37 satır ve toplam 2442 tane bloktan oluşmaktadır.. Tüm model alanı-için her bir hücre **100x100** m²'lik bir alanı temsil etmektedir. HST3D modeli her bir hücre içerisinde sadece tek bir kuyu bulunmasına izin vermektedir. Bu nedenle sıcak su kuyuları çevresinde bu koşulu sağlamak amacı ile her bir hücre 50x50 m²'lik bir alanı temsil edecek şekilde daha sık gridlere bölünmüştür (Şekil 4). Model alanı için hücre boyutları belirlenirken,, akifer parametrelerindeki değişimi temsil edecek, boyutta olmasının yanı sıra model çalışma süresini olumsuz yönde etkilememesi de göz önüne alınmıştır., Afyon Ömer-Gecek alanında,, sıcak sular için 'bir rezervuar ; özelliği' gösteren Afyon Metamorfileri,, üstten geçirimsiz bir örtü ile kaplı olduğu için basınçlı akifer-olarak değerlendirilmiştir.. Akifer, sıcaklık ve basınç gradyanını mümkün olduğunca hassas olarak modele aktarabilmek amacıyla, 8 model katmanına ayrılmıştır. Her katmanın kalınlığı eşit olup, 100 metredir., Katman kalınlığı belirlenirken kuyuların çekim, yaptığı derinlikler ve filtre aralıkları dikkate alınmıştır. Katman sayısının artması model çalışma süresini arttırmaktadır. Bu yüzden katman sayısı kuyuların filtre açıklıklarının yansıtacak şekilde ayarlanmıştır. Kuyuların büyük bir kısmının su alma zonları 725-1002 m

kotları arasında bulunmaktadır;. Bununla birlikte AF-13 kuyusu 445-645 m aralığından su almaktadır. Tüm kuyuların modelle-

nebilmesi amacıyla akiferin 300. m ile 1100 m kotları arasındaki bölümü benzeştirilmiştir.



Şekil 4. Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanının gridlere bölünmesi
Figure 4. The grid design of Afyon Ömer-Gecek geothermal field

Sınır koşulları

Isı taşınımı modellerinde, model için belirleyici sınır koşulları sıcaklık ve basınçtaki değişimi ifade eden sabit sıcaklık ve sabit basınç sınır koşullarıdır. İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfitlelerinin, alttan bir magmatik sokulumla temasta bulunduğu ve metamorfitleler içerisinde bulunan yeraltı suyunun bu sokulum ile ısındığı varsayılmıştır. Bu yüzden model alanının alt sınırının sabit sıcaklığa sahip yeraltı suyu ile sınırlandırıldığı düşünülerek en alt model katman sabit sıcaklık sınır (150 °C) olarak benzeştirilmiştir. Bu amaçla 9. düğüm katmanında sabit sıcaklık değeri 150 °C olarak girilmiştir. Ömer-Gecek jeotermal sisteminde sıcak su akiferinin, yüksek kesimlerde yüzeylenen Paleozoyik yaşlı şistler aracılı-

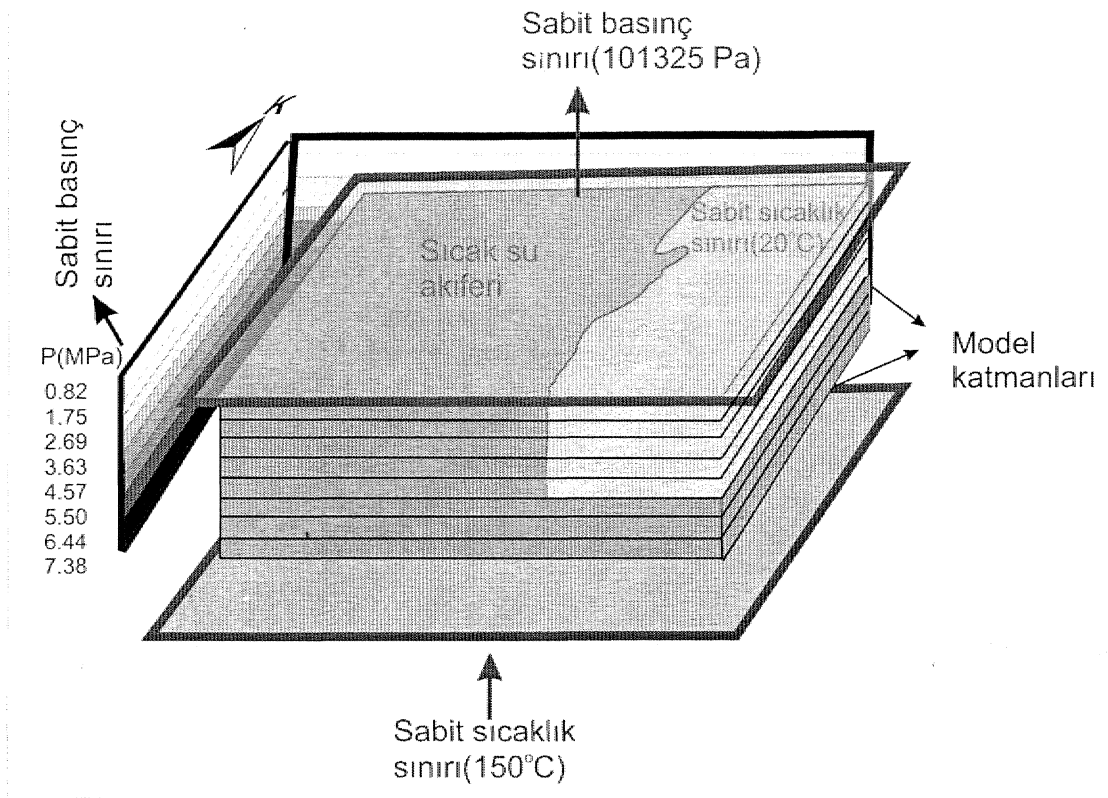
ıyla beslendiği düşünülerek, model alanında üstten sabit basınç sınırı tanımlanmış, 1. model katmanı atmosfere açık olduğu için, sabit basınç değeri atmosferik basınca eşit olarak girilmiştir.

Ömer-Gecek jeotermal alanının sınırları tam olarak bilinmemektedir. Akiferin işletilen kısmının dışında basınç ve sıcaklık değerleri ölçülmemiştir. Bu nedenle sadece işletme bölgesi ve çevresi modellenmiştir. Model alanının yanal sınırları,, akiferin işletilen bölgesinden uzak alınarak (en az 1 km) yanal sınır koşullarının akiferde meydana gelen basınç ve sıcaklık değişimlerine etki etmemesine dikkat, edilmiştir. Yeraltı suyu akımının olabileceği kuzey ve batı sınırları sabit basınç sınırı olarak benzeştirilmiştir. Bu sınırlarda, yüzeyde toplam yük • 1100 m olarak alınmış,, her bir model katmanında

basıncın derinlikle değişimi bu değere göre hesaplanmıştır.

Alanın doğusunda, ovaya yakın kesimlerde sıcak su akiferi ile Neojen birimlerin

sınırında sabit sıcaklık sınırı tanımlanmış, sıcaklık değeri soğuk su akiferinin sıcaklığını yansıtabilecek şekilde 20 °C verilmiştir (Şekil 5).



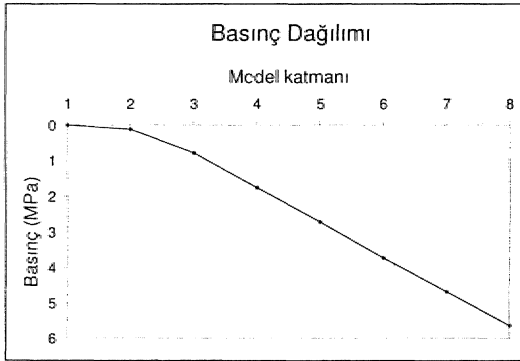
Şekil 5. HST3D'de model alanı için tanımlanan sınır koşulları
Figure 5. The boundary condition of model area in HST3D

Başlangıç koşulları ve model süresi

Model alanına şistin tavan topografyası aktarılarak, sıcak su akiferinin sınırları tanımlanmıştır. Başlangıç basınç değerleri, MTA tarafından kuyularda yapılan basınç testlerinde elde edilen sabit basınç değerleri kullanılarak üretilmiştir. Modelde, kuyular-

da değişik derinliklerde ölçülen sabit basınç değerlerinden her bir model katmanına karşılık gelen ortalama basınç değerleri kullanılarak basınç dağılımı oluşturulmuştur., Başlangıç sıcaklık değerleri de yine MTA tarafından kuyularda değişik derinliklerde ölçülen sabit sıcaklık değerleri kullanılarak

elde edilmiştir. Kuyularda derinlikle değişen sabit sıcaklık değerleri model katmanlarına ortalama olarak dağıtılmıştır. Her bir model katmanı için tanımlanan başlangıç basınç ve başlangıç sıcaklık değerleri Şekil 6'da grafiklerle gösterilmiştir., Akifene ait hidrolik ve termal parametrelerin bir kısmı MTA tarafından bölgede yapılan testlerden elde edilen verilerden yararlanılarak hesaplanmış, bir kısmı ise literatürden derlenmiştir (Çizelge 2). Model süresi 20 yıl olarak alınmıştır. Böylece, şu andaki işletme koşullarının 20 yıl süreyle devam etmesi durumunda sistemde meydana gelecek değişikliklerin belirlenmesine çalışılmıştır. AFJET, sıcak su kuyularını Eylül ve Mayıs ayları arasında, şehir ısıtımının yapıldığı dönem boyunca çalıştırmaktadır, Bu nedenle her yıl 150 ve 210 günlük 2 ayrı döneme ayrılmıştır. Dolayısıyla modelde her yıl **210** gün boyunca kuyulardan çekim yapılmış, geri kalan 150 günde ise kuyular çalıştırılmamıştır.



Şekil 6. Model alanı içinde basınç ve sıcaklık değerleri dağılımı

Figure 6. Pressure and temperature distribution in model area

Çizelge 2. Modelde kullanılan akifer hidrolik ve termal parametreleri

Table 2, The hydraulic and thermal parameter of the aquifer used in the model

Model Parametreleri	Referans	Sıcak su akiferi için aldığı değer
Perméabilité (σ^2)	(Akan,2002)	$10T^{12}$
Porozite	(Tezcan vd., 2002)	0.2
Dispersivite katsayısı (m)	(Gelha.ret.aL, 1992)	10
Termal iletkenlik katsayısı ($W/m^{\circ}C$)	Horai (1.971)	10
İsı kapasitesi ($J/m.^{\circ}C$)	(Scharli and Rybach,,2GÖl)	2.24×10^6

Beslenme-boşalım ilişkisi

İnceleme alanında beslenme bölgesini Paleozoyik yaşlı şistlerin yüzeleendiği yüksek kotlar oluşturmaktadır, ancak beslenme miktarına ilişkin kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Beslenme alan yüksekliği yaklaşık 1200 m. civarındadır (Tezcan. vd., 2002). Beslenme süreci model alanının kuzey ve doğu sınırında sabit basınç sınırı, aracılığı ile modellenmiştir. Model alanında basınç değeri sınırdaki basınç değerinden düşük olduğunda hidrolik gradyana bağlı olarak bir yeraltı suyu beslenimi gerçekleşmektedir.

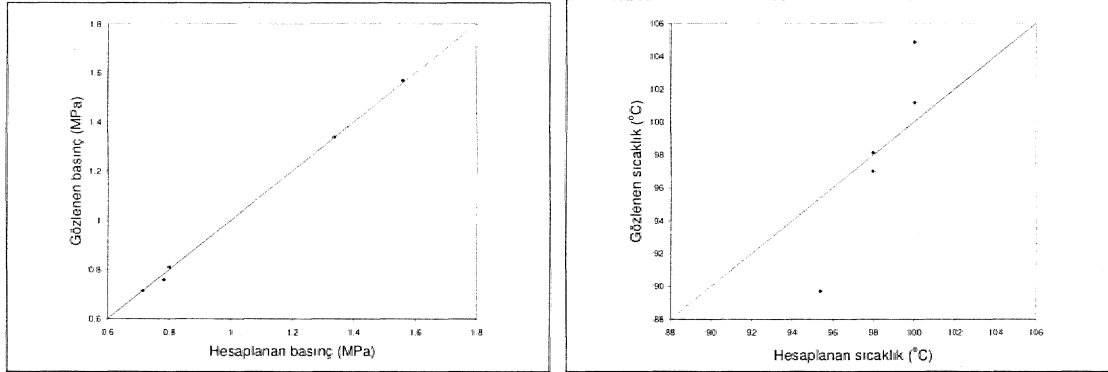
Ömer-Gecek bölgesinde, halen 24 adet kuyu bulunmakta ancak bunlardan 12 tanesi çeşitli nedenlerle çalı sınıamaktadır, geriye kalan 12 kuyu (AF4, AF-9, AF-11, AF-13,, AF-14, AF-16,, AF-17, A.F-2Ö, AF-21, AF-22, AF-23) ise yıl içerisinde belirli zaman dilimlerinde kullanılmaktadır. Bu kuyuların

bir kısmı kaplıca ve otellerin sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılmakta, geri kalan kısmı ise AFJET tarafından Afyon kentinin ısıtılması için kullanılmaktadır. Her bir kuyu için çekim miktarı MTA tarafından yapılan debi ölçümü üzerinden yararlanılarak belirlenmiştir (Bkz. Çizelge 1),

Model kalibrasyonu

Model kalibrasyonu, Tamgaç vd. (2000) tarafından inceleme alanındaki kuyularda yapılan statik basınç ve statik sıcaklık testlerinde elde edilen basınç ve sıcaklık değerleri ile yapılmıştır. Bu testler sırasında kuyudan yapılan çekime karşılık basınç ve sıcaklık değerlerinin derinlik ve zamanla değişimi

belirlenmiştir. Model aracılığıyla aynı zaman aralığında hesaplanan basınç ve sıcaklık değerleri gözlenen değerler ile karşılaştırılmıştır. Gözlenen ve hesaplanan değerler arasında iyi bir uyum sağlandığı için model parametrelerinde bir değişikliğe gidilmemiştir (Şekil 7). Sıcaklık değerlerinde doğrudan uzaklaşan değerler, kalibrasyon sırasında model katmanına karşılık gelen ortalama sıcaklık değerlerinin kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Bu bilgi göz önüne alındığında bu sapmalar model uyumunu etkilememektedir. Sonuç olarak gözlenen ve hesaplanan değerlere bağlı olarak model parametrelerinin ortamı yeterli bir şekilde temsil ettiği görülmektedir.



Şekil 7, Model sonucunda basınç ve sıcaklık değerleri için elde edilen kalibrasyon grafikleri
 Figure 7. The calibration graphics of pressure and temperature distribution obtained from model results

Hassasiyet analizi

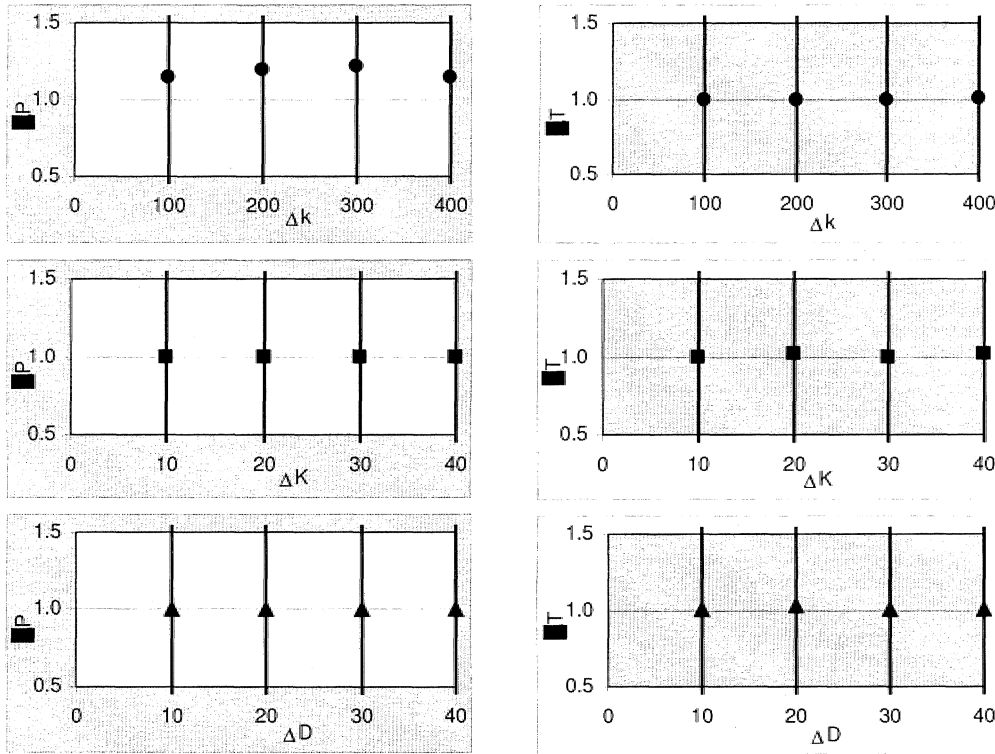
Hassasiyet analizi, modelde kullanılan akifere ait parametrelerin model sonuçlarına etkisini göstermektedir. Model kalibrasyonu yapıldıktan sonra, modele girilen parametre-

lerin kalibrasyon üzerindeki etkisini belirlemek, ve model sonuçlarının doğru olarak yorumlanmasını sağlamak amacıyla hassasiyet analizi yapılmaktadır. Model, belirli bir parametreye karşı hassas ise bu paramet-

rededeği değişim model sonuçlarında önemli ölçüde değişiklik meydana getirecektir. Bu da model sonuçlarının söz konusu parametreye bağımlı olması anlamına gelmektedir. Eğer model parametreye karşı hassas değilse bu parametredeki hata, model tahminleri üzerinde belirleyici bir etkiye neden olmayacaktır.

Modelin, perméabilite (k), termal iletkenlik (K) ve yatay ve düşey yöndeki dispersivite değerlerine göre hassasiyet ana-

lizi yapılmıştır. Bu amaçla, perméabilite, termal iletkenlik ve dispersivite değerleri değiştirilerek model yeniden çalıştırılmış ve bu değerlerin sıcaklık ve basınç değerlerinde meydana getirdiği değişimler yüzde olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen grafikler Şekil 8'de yer almaktadır. Buna göre, perméabilite, termal iletkenlik ve dispersivite değerlerinde meydana gelen değişimlerin model sonuçları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmektedir.



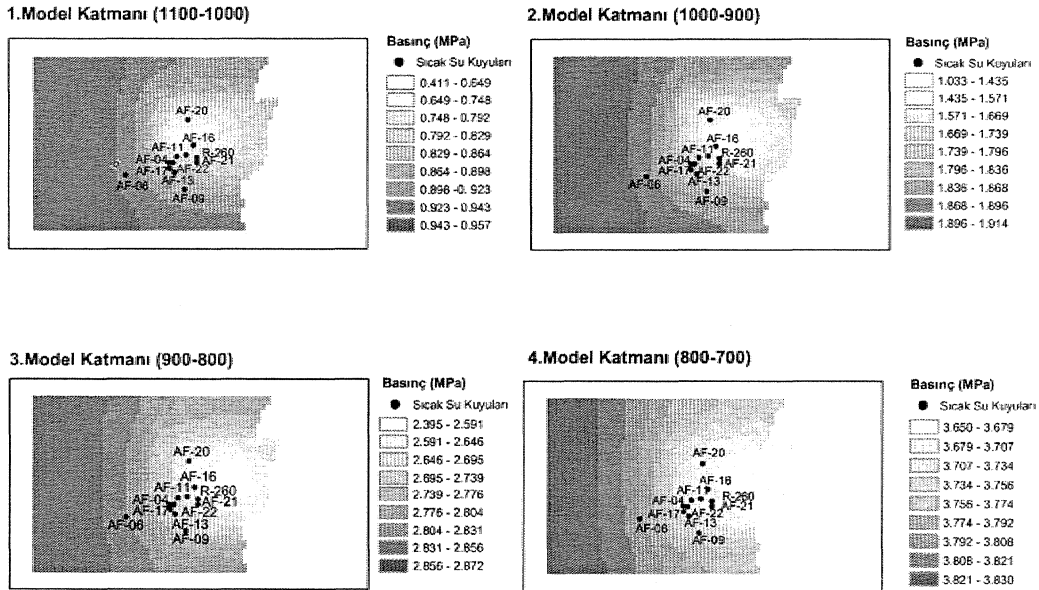
Şekil 8. Hassasiyet analizi sonuçlarının grafiksel değerlendirmesi (k : perméabilite, K : termal iletkenlik, D : dispersivite,, P : basınç, t : sıcaklık)

Figure & The graphical evaluation of sensitivity analyses results (k : permeability, K : thermal conductivity, D : dispersivity, P : pressure, T , temperature)

Model sonuçları

Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanı için grid tasarımı yapılmış, sınır koşulları ve başlangıç koşulları belirlenerek HST3D modelinde tanımlanmış ve model 20 yıl süre ile çalıştırılmıştır. Model sonucunda elde edilen basınç ve sıcaklık değerleri grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Modelde tanımlanan 8 model katmanından,, kuyularla yoğun olarak çekim yapılan ilk 4 model katmanına ait sonuçlar verilmiştir, Model ala-

nında ilk 4 model katmanına ait basınç dağılımları Şekil 9'da yer almaktadır, Buna göre 1. model katmanında basınç değerlerinin, 0.41-0.95 MPa (megapascal), 2. model katmanında 1.03-1.91 MPa, 3. model katmanında 2.39-2.87 MPa ve 4. model katmanında 3.65-3.83 MPa arasında değiştiği gözlenmektedir.. Tüm model katmanlarında basınç değerleri model alanının batısına doğru artmakta,, en düşük basınç değerleri sıcak su kuyularının çevresinde görülmektedir.



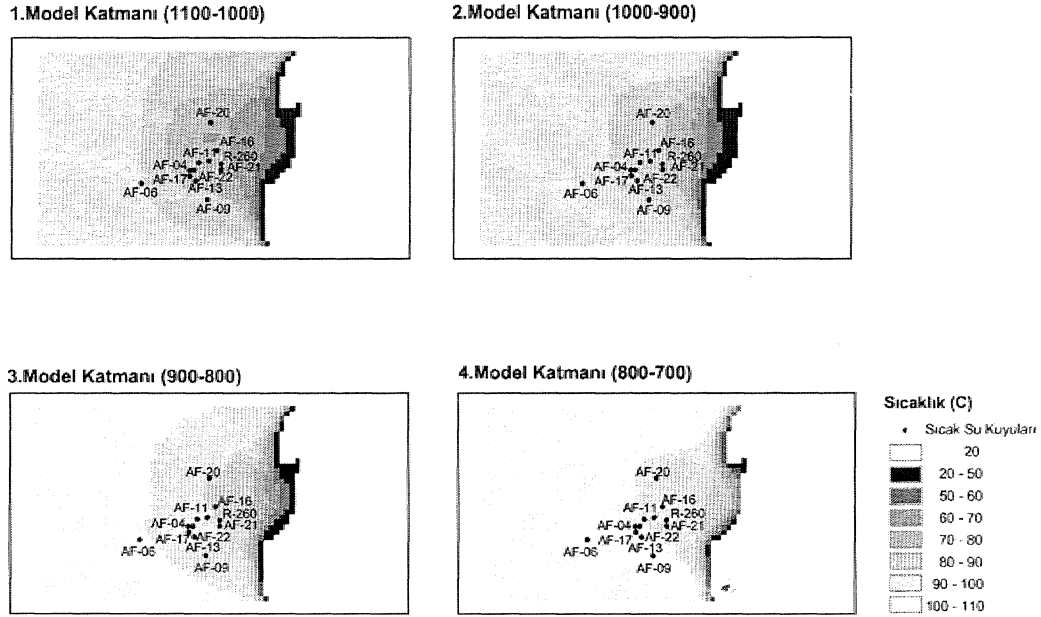
Şekil 9. Afyon Ömer-Gecek bölgesinde HST3D modeli ile hesaplanan basıncın dağılımı
Figure 9, Distribution of calculated pressure values by HST3D in Afyon Ömer-Gecek field

Kuyuların yoğun olarak çekim yaptığı 2. model katmanında kuyuların bulunduğu alanda, model alanının geneline göre 0.8 MPa varan basınç düşüşü gözlenmektedir. Model alanında sıcaklık değerleri 20-110 °C arasında değişmektedir.. Soğuk su akiferinin sınırında 20 °C'e yakın sıcaklık değerleri

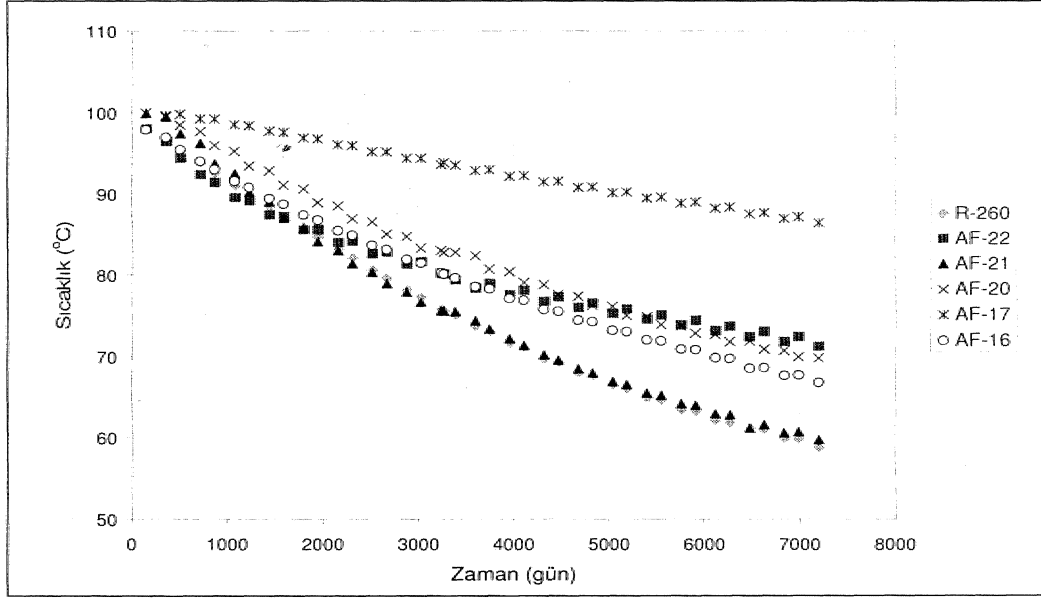
gözlenirken alanın batısına doğru sıcaklık değeri 11.0 °C'e ulaşmaktadır. Model katmanlarında derinlere indikçe sıcaklık değerlerinde genel bir artış gözlenmektedir.. Bu durum,, rezervuara yaklaştıkça sıcaklık değerinde meydana gelen artışı yansıtmaktadır. Ancak özellikle 1. ve 2. model katman-

lannda. görüldüğü gibi kuyular çevresinde sıcaklık değerinde alanın geneline göre kademeli olarak 20 °C'e yakın bir azalma görülmektedir (Şekil 10).. Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanının mevcut koşullarda işletilmesi durumunda 20 yıl sonunda kuyularda meydana gelebilecek sıcaklık değişiminin belirlenmesi amacıyla, AF-16, AF-17, AF-20, AF-21, AF-22 ve R-260 numaralı sıcak su kuyuların gözlem noktası olarak seçilmiş ve bu kuyularda meydana gelen, sıcaklık değişimi belirlenmiştir.. 20 yıl süreyle, ısıtma sezonu (210 gün) boyunca kuyulardan çekim yapılarak modelin çalıştırılması sonucu elde edilen sıcaklık değerlerinin grafiksel değerlendirilmesi Şekil 11 'de yer almaktadır. Buna göre, kuyularda 12-38 °C arasında değişen, sıcaklık düşüşü olduğu 'be-

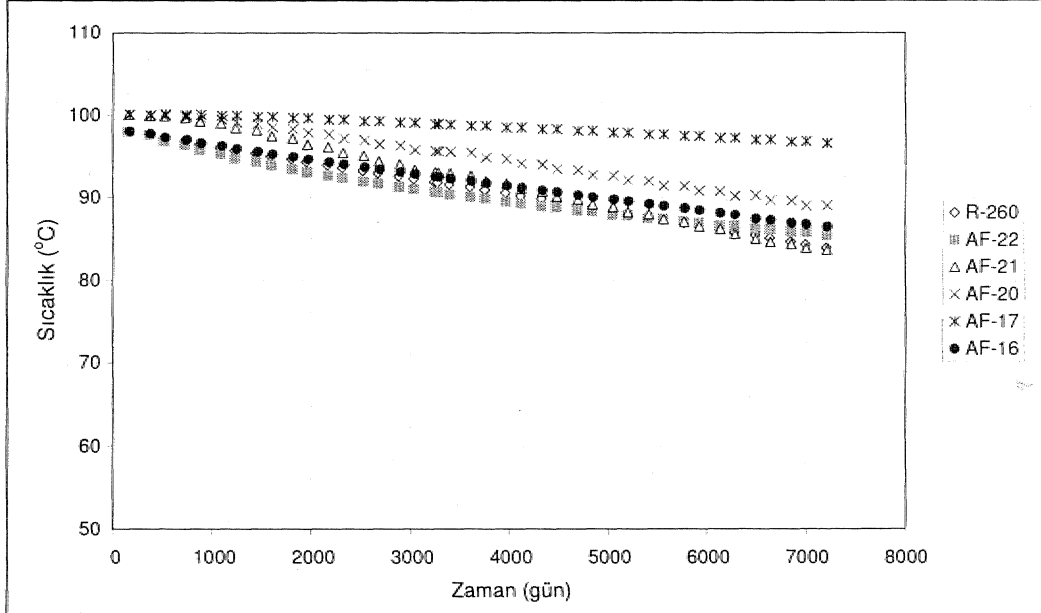
lirlenmiştir.. Bu azalmanın sebebi küçük bir alan içerisinde birbirine yakın kuyulardan yüksek miktarda çekim yapılması ve buna bağlı olarak, kuyuların yoğunlaştığı bölgeye doğru soğuk su girişiminin olmasıdır.. Bu tezi n doğrul uğunun de nenmesi amacı yi a mevcut kuyulardan yapılan çekim miktarı düşürülerek model yeniden çalıştırılmıştır. AFJETin 4500' konutu ısıtmak için ihtiyacı olan sıcak su miktarı 13478 m³/gün'dür. Modelde kuyulardan yapılan çekim bu ihtiyacı karşılayacak şekilde ayarlanmış ve elde edilen sonuçlara göre kuyularda 2-10 °C arasında sıcaklık düşüşü olduğu, 20 yıllık model sonucunda kuyularda gözlenen sıcaklıklarla karşılaştırıldığında ise 25 °C'e varan artış olduğu belirlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 10. Afyon Ömer-Gecek bölgesinde HST3D modeli ile hesaplanan sıcaklık değerlerinin dağılımı
Figure 10., Distribution of calculated temperature values: by HST3D in Afyon Ömer-Gecek field



Şekil 11. Modelin 20 yıl süre ile çalıştırılması sonucunda kuyular için hesaplanan sıcaklık değerleri
 Figure 11. The temperature values calculated from the model for wells after 20 years



Şekil 12* Kuyulardan 20 yıl boyunca düşük debi ile çekini yapılması sonucunda hesaplanan sıcaklık değerleri
 Figure 12. The temperature values calculated from, the model for low discharge conditions after 20 years

Bu sonuçlara göre sıcak su akiferinin mevcut koşullarla uzun süre işletilmesinin kuyularda ciddi sıcaklık düşüşüne sebep olacağı belirlenmiştir, Önümüzdeki dönemde jeotermal enerji ile ısıtılacak konut sayısında meydana gelebilecek artış ve bölgede termal, turizme olan talep artışı göz önüne alınırsa, sıcak su ihtiyacının giderek artması kaçınılmaz görülmektedir. Dolayısıyla, artan sıcak su kullanımına bağlı olarak kuyularda, model sonucunda hesaplanandan daha fazla soğuma meydana gelmesi, de söz konusu olabilecektir. Özellikle şehir ısıtıcılığı için oldukça büyük yatırım yapılan bu sahada, sıcak su akiferinde jeotermal sistemler için kısa sayılabilecek 20 yıllık bir sürede bu derece büyük bir sıcaklık düşüşü meydana gelmesi, hem jeotermal sistemin geleceği açısından hem de ekonomik açıdan olumsuz bir tablo ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, bundan sonra açılacak kuyuların mevcut kuyuların uzağında, alanın değişik noktalarına dağılacak şekilde tasarlanması ve düşük debi ile üretim yapılması gerek kuyular arasındaki sıcaklık etkileşimlerinin gerekse kuyularda meydana gelecek soğumanın önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.,

Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışına kapsamında Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanında,, sıcak su dolaşım sistemini ortaya koymak,, mevcut işletme koşullarının, sistem üzerindeki etkisini göstermek ve olası reenjeksiyon faaliyetlerinin

sistemde meydana getireceği değişiklikleri öngörmek amacı ile HST3D modeli kullanılarak sıcak su akiferi modelleri ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Afyon Ömer-Gecek bölgesinde sıcak suların akifer kayacım Paleozoyik yaşlı Afyon Metamorfikleri (mermer ve şist), örtü kayacını ise Neojen yaşlı birimler (Miyosen yaşlı konglomera ve marn üyesi ile Pliyosen yaşlı marn, konglomera, kireçtaşı ve üst marn üyesi) oluşturmaktadır. Jeotermal sistemin ısı kaynağını jeotermal gradyan ve volkanik kay açları oluşturan magma cepleri oluşturmaktadır. Sıcak suların beslenmesi, yüksek kısımlarda yüzeylenen Paleozoyik yaşlı 11 Afyon metamorfikleri ile bu birimin örtülü olduğu kısımlarda ise örtü kayacım geçirimli kısımlarından ve fay hatları aracılığı ile yan havzalardan gerçekleşmektedir.,
- inceleme alanını temsil eden kavramsal yapı göz önüne alınarak,, modelin alt sınırında sabit sıcaklık sınır tanımlanmış, model alanının tamamı için 9. düğüm katmanında sabit sıcaklık değeri 150 °C olarak girilmiştir. Alanın, ovaya yakın kesimlerinde Neojen birimlerin oluşturduğu soğuk su akiferinin sabit sıcaklıkta bir sınır olduğu düşünülerek,, sıcaklık değeri 20 °C verilmiştir. Ömer-Gecek jeotermal sisteminde sıcak su akiferi ni n, yüksek kesimlerde yüzeylenen Paleozoyik yaşlı şistler aracılığıyla beslendiği düşünülerek,, model alanında üst-

ten sabit basınç sınırı tanımlanmış» 1. model katmanı atmosfere açık kabul edilerek, sabit basınç değeri atmosferik basınca eşit girilmiştir.. Model alanının kuzeyi ve batısında hidrostatik basınçtan kaynaklanan sabit basınç sınırını tanımlamak için, yüzeyde toplam yük 1100 m olarak alınmış ve basınç yükünün derinlikle değişimi belirlenerek modele aktarılmıştır.

Tamgaç vd. (2000) tarafından yapılan testler sırasında belirli derinlikler için ölçülen sıcaklık değerleri modele girilerek model çalıştırılmış ve kalibrasyon yapılmıştır. Model kalibrasyonu sonucunda hesaplanan ve gözlenen basınç ve sıcaklık değerleri arasında iyi bir uyum görülmüş, model parametrelerinin ilksel değerlerinde bir ayarlama yapılmamıştır.

Model sonuçlarının model parametrelerine (perméabilité (k), termal iletkenlik (K) ve yatay ve düşey yöndeki dis persi vi te değeri eri) göre hassası yet analizi yapılmıştır., Elde edilen sonuçlara göre perméabilité, termal iletkenlik ve dispersivite değerlerinde meydana gelen değişimler model sonuçları üzerinde önemli bir etki oluşturmamaktadır..

Model sonucunda elde edilen basınç değerlerinin 0.411-3.830 MPa arasında değiştiği gözlenmektedir. Tüm model katmanlarında basınç değerleri model alanının batısına doğru artmakta, en düşük basınç değerleri sıcak su kuyularının çevresinde görülmektedir, Model alanında sıcaklık değerleri 20-110 °C arasında

değişmektedir. Model katmanlarında derinlere indikçe sıcaklık değerlerinde genel bir artış gözlenmektedir. Ancak özellikle 1. ve 2. katmanlarda görüldüğü gibi kuyular çevresinde sıcaklık değerinde alanın geneline göre kademeli olarak 20 °C'e yakın bir azalma görülmektedir Bu azalmanın sebebi küçük bir alan içerisinde birbirine yakın kuyulardan yüksek miktarda çekim yapılmasıdır.,

Afyon Ömer-Gecek jeotermal alanının mevcut koşullarda işletilmesi durumunda 20 yıl sonunda kuyularda meydana gelebilecek sıcaklık değişiminin belirlenmesi amacıyla, AF-16, AF-17, AF-20, AF-21, AF-22 ve R-260 numaralı sıcak su kuyuları gözlem, noktası olarak seçilmiş ve bu kuyularda meydana gelen sıcaklık değişimi belirlenmiştir. Buna göre, kuyularda 12-38 °C arasında değişen sıcaklık düşüşü olduğu belirlenmiştir, Bu azalmanın sebebi küçük bir alan içerisinde birbirine yakın kuyulardan yüksek miktarda çekim yapılmasıdır. Bu tezin doğruluğunun denenmesi amacıyla mevcut kuyulardan yapılan çekim miktarı AFJETin 4500 konutu ısıtmak için ihtiyaç duyduğu miktar olan 13473 nrVgün'e düşürülerek model yeniden çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre kuyularda 2-10 °C arasında sıcaklık düşüşü olduğu, 20 yıllık model sonucunda kuyularda gözlenen sıcaklığı ki arla karşılaştı rıldığı nda i se 25 °C'e varan artış olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre sıcak su akiferinin mevcut koşullarla uzun süre işletilmesinin kuyularda ciddi sıcaklık düşüşüne

sebeplere olacağı belirlenmiştir, Önümüzdeki dönemi de jeotermal enerji ile ısıtılacak konut sayısında meydana gelebilecek artış ve bölgede termal turizme olan talep artışı göz önüne alınırsa sıcak su ihtiyacının giderek artması kaçınılmaz görülmektedir.,

Bu çalışmada sıcak su akiferi tamamen horpojen bir bütün olarak ele alınmıştır, bunun nedeni akifere ait hidrolik ve termal parametrelerin konumsal değişimi hakkında bir bilgi bulunmamasıdır. Dolayısıyla akiferin heterojenliğini ortaya koymak amacıyla kuyularda sıcaklık, basınç ve basınç toparlanma testlerinin değişik derinlik ve farklı noktalarda yapılması, perméabilite ve dispersi-vitenin alanlar dağılımının belirlenmesi modelin geliştirilmesine olanak sağlayacaktır. Bu verilerin elde edilmesi durumunda söz konusu jeotermal alanda akiferin optimum işletilmesine yönelik somut işletme önerilerinde bulunulması mümkün olacaktır.

Katkı Belirtme

Yazarın, doktora tezinin bir bölümünü içeren bu çalışmada,, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi, 02.T05.604.002 no'lu proje kapsamında maddi destek sağlamıştır. HÜ - Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) ile Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü arasında yürütülen "Akarçay Havzası Hidrojeolojisi ve Yeraltısu Akım Modeli" Projesi kapsa-

mında jeolojik ve hidrojeolojik verilerin toplanması, bilgisayar ortamına aktarılması, ulaşım, konaklama ve arazi çalışmaları sırasında destek sağlanmıştır;. AFJET Şirketi sondaj logları ve kuyu testlerine ait sonuçların kullanılması konusunda anlayış göstermiştir., Yrd. Doç., Dr. Levent TEZCAN (HÜ, Müh. Fak.), çalışmanın her aşamasında yardımcı ve yol gösterici olmuştur., Prof. Dr., Hasan. YAZICIGİL, değerli görüş ve önerileri ile makalenin geliştirilmesine katkıda bulunmuştur., Yazar yukarıda adı geçen kişi ve kurumlara teşekkür eder.

Değinilen. Belgeler

- Akan, B., 2002.. Afyon Ömer-Gecek sıcak su akiferi hidrojeoloji! modeli. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi,, Ankara, 90 s (yayımlanmamış).
- Argus Interware, Inc., 1997. User's guide Argus ONE™, Argus Open Numerical Environments — A. GIS modeling system, version 4.0. Jerico, NY,, Argus Holdings,, Limited, 506 pp.
- Ercan,, T., Ölmez E., Matsuda, JX, Nagao, K., and Kita, L, 1994. Chemical and Isotopie features of hot and mineral waters and their gas content from. Northern and Western Anatolia. Energy Bull. Of Turkey,, 1 (2), 10-20..
- Erişen, B., 1972, Afyon-Heybeli (KızıUtilise) jeotermal araştırma sahasının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. MTA Rapor No :5490 (yayımlanmamış).

- Erkan,, Y., Bayhan, R, Tolluoğlu, Ü., Aydar, E., 1996,. Afyon yöresi, metamorfik ve volkanik kayaçlarının jeolojik, petrografik ve jeokimyasal incelenmesi. TÜBİTAK Proje Raporu,, Proje No: YBAG-Ö04/DPT (yayımlanmamış).
- Gelhar, L.W., Welty, C, Rehfeldt, K.R., 1992. A critical review of data on field-scale dispersion in aquifers. Water Resources Research, 28(7),, 1955-1974.,
- GSJ-MTA, 1992. Summary of the GSJ-MTA Cooperative project on the geothermal system in Turkey, examples at Hasandağı-Ziga and Sivrihisar-Sofular-Acıgöl areas in Central Anatolia and Afyon Area in Western Anatolia., Ankara,, 12 pp (unpublished)..
- Horai, K., 1971. Thermal conductivity of rock forming minerals., Journal of Geophysical Research,, 76 (5), 1278-1308.
- Karamanderesi,, İ.H., 1972., Afyon K.24-b paftası delay jeoloji etüdü ve jeotermal alan olanakları hakkında., MTA Rapor No: 5733 (yayımlanmamış),.
- Kipp, K.L., 1987., HST3D: A computer code for simulation of heat and solute transport in three-dimensional ground-water flow systems. U.S. Geological Survey,, Water-Resources Investigations Report 86-4095, Denver,, Colorado,, 393 pp.,
- Metin,, S., Genç, I. ve Bulut, V., 1987; Afyon ve dolayının jeolojisi. Rapor No: 2113 (yayımlanmamış).
- Mutlu, H., 1996. Geochemical assesment of thermal waters from the Afyon geothermal area: Geothermometry applications and fluid-mineral equilibria., Ph.D. Thesis,, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 169 pp (yayımlanmamış).
- Scharli, IX, Rybach, L., 2001.. Determination of specific heat capacity on rock fragments. Geothermics, 30, 93-110.
- Şimşek, Ş., 1993.. Isotope survey of geothermal systems of central Anatolia. IAEA Coordinated Research Program between HU-UKAM and IAEA,, Research Contract No:6716/RB, Final Report, 77 s (unpublished).
- Tamgaç, Ö.F., Güner,,A., Sarp,, S., Yıldırım, N., Durak, S., Küçük, O., ve Koçak,, A., 2000. Afyon -Ömer-Gecek jeotermal sahasının koruma alanları, test ve potansiyel değerlendirme raporu. MTA Rapor No: 10388 (yayımlanmamış),.
- Tatlı, S., 1973. Afyon-Gazlıgöl-Sırsuz alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları. MTA Rapor No: 2588 (yayımlanmamış).
- Tezcan, L., Meriç,, B.T., Doğdu,, N., Akan, JB., Atilla, A. Ö., Kurttaş, T., 2002. Akarçay havzası hidrojeolojisi ve yeraltisuyu akını modeli. Hacettepe Üniversitesi - Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM)-Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Final Raporu, 339 s (yayımlanmamış).
- Yılmaz, Ö., 1999. Jeotermal enerji ve Afyon'da kullanımı., Afyon Kocatepe Üniversitesi,, Afyon,» 93 s.