

KIZILCAHAMAM İZ TESTİ ANALİZİ

Serhat AKIN
Tevfik KAYA
Mahmut PARLAKTUNA

ÖZET

Kızılcahamam Jeotermal Sahası Ankara'ya 70 km uzaklıkta olup, jeotermal saha 1994 yılından bu yana işletilmekte, 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. Sahayı tanıyabilmek için geribasım kuyusundan fluorescein basılarak yaklaşık 2 ay süren bir iz testi yapılmıştır. İz kimyasalı – zaman eğrileri homojen, çift gözenekli ve çatlaklı matematiksel modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Kızılcahamam sahasını en az 3 çatlakın kullanıldığı çatlaklı modelin en iyi şekilde temsil ettiği bulunmuştur. Sahadaki heterojeniteyi tespit etmek için moment analizi yapılmış ve sahanın akış-depolama kapasite eğrileri ve çatlak hacimleri bölgesel olarak elde edilmiştir.

1. GİRİŞ

Kızılcahamam Jeotermal Sahası Ankara'ya 70 km uzaklıkta olup (Şekil 1), jeotermal saha 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 mevcuttur [1]. Bu bilgiler MTA Genel Müdürlüğü [1-5] ve Kızılcahamam Belediyesi ile yapılan temaslar sonucunda elde edilmiştir.

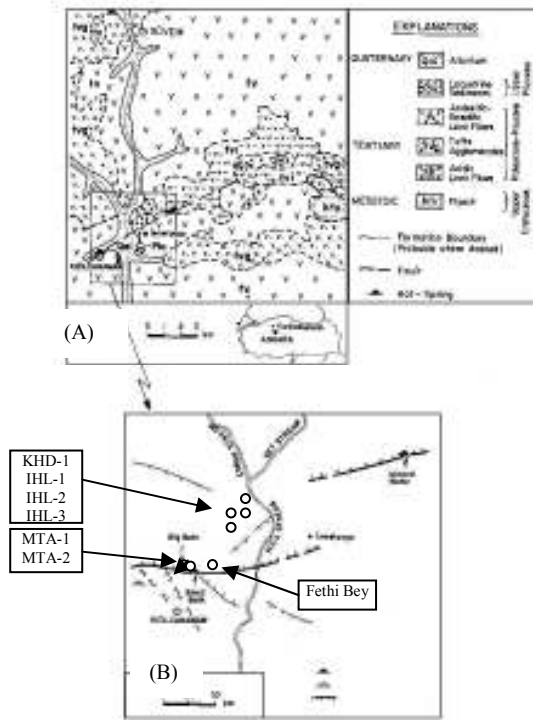


Şekil 1. Kızılcahamam yer bulduru haritası.

Sahada bulunan toplam 8 adet kuyudan altı tanesi üretim, iki tanesi geribasım kuyusu olarak kullanılmaktadır (Tablo 1). Kuyular arası en uzak mesafe kuş uçuşu olarak yaklaşık 1650 metredir (Şekil 2).

Tablo 1. 2006 sonu itibariyle mevcut üretim ve geribasım kuyuları.

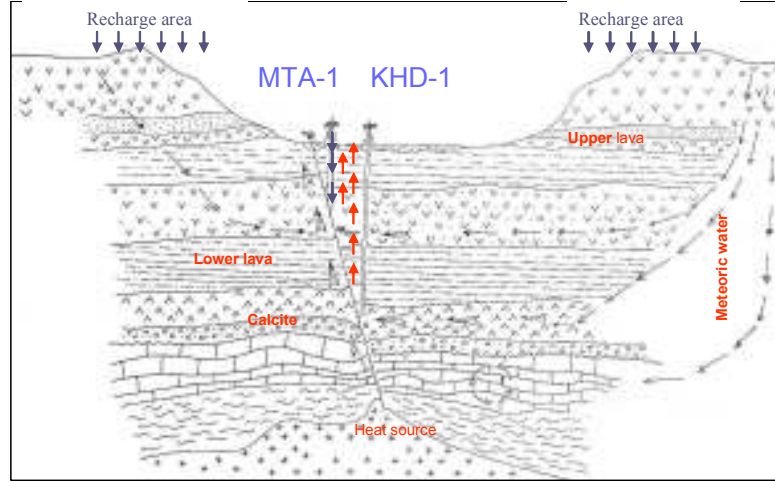
Kuyu adı	Kuyu derinliği (m)	Debi (l/s)	Kuyubaşı sıcaklığı (°C)	Tahmini dinamik seviye (m)	Pompa derinliği (m)	Kuyu durumu
MTA-1	179	40	42	0	0	Geribasım
MTA-2	310	30	76	120	65	Üretim
KHD-1	1556	15	42	0	0	Geribasım
İHL-1	590	20	76	25	65	Üretim
İHL-2	670	40	74	30	66	Üretim
İHL-3	673	20	79	20	57	Üretim
FETHİBEY	592	20	76	25	65	Üretim
Asya Finans	600	20	65	25	50	Beklemede Üretim



Şekil 2. Kızılcahamam jeolojik modeli [6] (A) ve mevcut üretim ve geribasım kuyularının kuyu lokasyon yerleri (B).

Alan volkanik kayalar üzerinde yer almaktadır. Kızılcahamam içinde ve güneyinde üst lavlar olarak adlandırılan birim yüzeylenmektedir. Üst lavlar her iki MTA sondajında da görülmüştür. Bunun altında kuzeyde, batıda ve güneybatıda “aa” türü (Katılaştığı zaman pürüzlü ve çatlaklı bir yüzeye sahip olan lav türü) çok kalın bir lav birikimi yer almaktadır. Oluşumu sırasındaki parçalanma süreçleri sonucu birkaç metrelik som lav katmanları arasında kabarcıklı lavın parçalanmasından oluşan breşsel düzeyler yer alır. Bu iki tür katman defalarca ardalanırlar. MTA-1 kuyusunun bu birimden çıkamadığı görülmektedir [2-4]. Bu birimin kalınlığı KHD-1 kuyusunun loguna göre 1500 metre civarındadır [5].

Bu birimin tabanında hangi birimin bulunduğu tam olarak bilinmemekle beraber KHD-1 kuyusunun verilerine göre 1456 m'de kireçtaşı ve volkanik kayaç çakıllı, ayrıca yer yer kalsit çimentolu konglomeraya girilmesi daha derinlerde kireçtaşı seviyesinin bulunduğu dair bir işaret olarak kabul edilebilir. MTA tarafından yapılan rezistivite ölçümlerine göre Kızılcahamam Jeotermal Sahası 1,5 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Sahanın jeotermal modeli Şekil 2 ve 3'te verilmiştir [4]. Sahadan üretilen jeotermal sıvı ortalama 7.2 pH olup 250 mg/l çözülmüş mineral değerine sahiptir. Kimyasal olarak bikarbonat (67.18%), klorür (19.22%), sodyum (82.64%), arsenik (0.34 mg/l) ve karbon dioksit (283.4 mg/l) bulunmaktadır. Metabolik asit (18.95 mg/l) ve florür (1.96 mg/l) olduğu da görülmüştür. Sıcaklık ve kimyasal kompozisyondaki değişkenliği sıg soğuk suların derin jeotermal akışkan ile teması ile açıklanabilir. Sahada yapılan jeotermometre, silika entalpi ve entalpi klorür karışım modelleri 124–190°C rezervuar sıcaklığı ve maksimum %71 sıcak bileşen olduğunu ortaya koymuştur [7].



Şekil 3. Kızılcahamam jeotermal alanının jeolojik kesiti [4].

2. İZ TESTİ ÇALIŞMALARI

2.1. İz Testi Tasarımı

Geribasım kuyularında jeotermal akışkana karıştırılacak olan Rhodamine B ve Fluorescein miktarlarının tespit edilmesi için önce literatür taraması yapılmış ve 33 adet tasarım yönteminin önerildiği görülmüştür [8]. Bu yöntemlerin bir çoğunun iz testinde kullanılan kimyasala, enjeksiyonun yapıldığı formasyona (karst, kumtaşı vs) ve çatlaklı olup olmamasına, formasyon geçirgenliğine bağlı olarak değişiklik gösteren amirik denklemler olduğu görülmektedir. Bu yöntemlerde temel amaç enjeksiyon sıvısına karıştırılacak olan kimyasalın miktarını belirli hata payları dahilinde tespit etmektir. Örneğin Kilpatrick [9] basılacak iz kütlesini bulmak için M (kütle) = V (hacim) /200 denkleminin kullanılmasını önermiştir. Field [8] tarafından değerlendirilen bu yöntemlerin bazen sadece fluorescein gibi sadece tek bir kimyasala ya da çatlaklı karstik formasyonlara uygulanabilmekte olduğu görülmektedir. Tasarım denklemlerinin akış debisi, katedilecek mesafe (kuyular arası uzaklık) ve zamanın fonksiyonu olarak ifade edildikleri görülmektedir.

İz testi tasarımının en karmaşık noktalarından birisi de gözlem kuyusunda yapılacak olan örnekleme frekansının tespitidir [10]. Örnekleme frekansları bulunurken iki temel yöntem önerilmektedir: kalitatif iz testlerinin baz alındığı, örnekleme frekansının saatler, günler ve haftalar (en çok 1-2 hafta) yöntemler [11]; iz kimyasalının katedeceği mesafenin seyahat zamanları göz önüne alınarak hesaplandığı yöntemler [10]. Kalitatif yöntemlerin hatalı sonuçlar verdiği çeşitli çalışmalarda raporlanmıştır [12-13]. Kantitatif yöntemlerden biri ise Kirkpatrick ve Wilson'un [10] önerdiği yöntemdir. Bu yöntemde aşağıdaki denklem kullanılarak en yüksek iz konsantrasyonuna ulaşma zamanı tespit edilir. Örnekleme frekansı ise t_p 'nin 30'a bölünmesi ile bulunur.

$$t_p = 2.78 \times 10^{-4} \frac{L}{v_p} \quad (1)$$

Bu denklemde L kuyular arasındaki mesafe, v_p ise hızdır. Bu çalışmada basılacak olan kimyasal miktarı ve örnekleme frekansı Field [14-15] tarafından önerilen EHTD (Efficient hydrologic tracer-test design) yöntemiyle tespit edilmiştir. Bu yöntemde denklem 2 ile ifade edilen adveksiyon-dağılım denkleminin çözümüne dayanmaktadır.

$$R_d \frac{\partial C}{\partial t} = D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - v \frac{\partial C}{\partial z} - \mu C \quad (2)$$

Bu denklemde R_d boyutsuz çözücü geciktirmesi, C , derişim, t zaman, z uzaysal değişken, D_z eksensel dağılım katsayısı, v ortalama hız, μ ise çözücü bozulumudur. Kısmi diferansiyel denklemin gerçek köklerinin, iz kütlesi, M için çözümü aşağıdaki denklem ile elde edilebilir. Bu denklem elde edilirken çözücü bozulumunun gerçekleşmediği ve iz kimyasalının anlık basıldığı varsayılmıştır. Diğer sınır koşulları için Field [14] çalışmasında değişik çözümler önermiştir.

$$f(x^*) = C_p - \frac{M}{An_e \sqrt{4\pi D_z t_p}} \quad (3)$$

Yukarıdaki denklemin tasarım amaçlı olarak iz kimyasal kütlesinin tespiti için kullanılabilmesi için debi, Q , gözeneklilik, n_e , eksensel dağılım katsayısı, alan A ve en yüksek konsantrasyona ulaşma süresinin, t_p bilinmesi gereklidir. Field bu parametrelerin akış hızı ve yolculuk süresine olan fonksiyonel bağımlılıklarını sürekli karıştırılan tank reaktör modelinde kullanarak iz konsantrasyonu, iz kütlesi ve eksensel dağılımı tespit etmek için kullanmıştır. Diğer bilinmeyen parametreler için ise Field [14] tarafından verilen korelasyonlar kullanılmıştır. EHTD yöntemi kullanılarak yapılan analizler sonucunda MTA-1 kuyusundan $Q = 40$ l/s ile yapılan geribasım $n_e = 0.08$, 50 metre kalınlık için yaklaşık 100 metre ötedeki Fethibey üretim kuyusundan takip edilecek olan iz testinde en az 1.53 kg iz kimyasalı kullanılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Bu geribasımda iz kimyasalının yaklaşık 4 saat boyunca basıldığı varsayılmıştır.

2.2. İz testi uygulaması

KHD-1 kuyusunun sürekli olarak üretim kuyusu haline dönüştürülmesi nedeniyle 07.11.2004 tarihinde MTA-1 kuyusundan yapılan geribasım debisinin 34-38 lt/s (ortalama 36 l/s, 129,6 m³/h), sıcaklığının ise 42 °C olduğu görülmüştür. İz testinde 2 kg fluorescein 20 kg su ile karıştırılarak yaklaşık 6 dakika içerisinde MTA-1 kuyu başına yapılan vana aracılığıyla basılmıştır. Referans noktalarının oluşturulması için fluorescein basılmadan önce üretim ve enjeksiyon kuyularından numune alınmıştır. Bir önceki bölümde aktarılan programa uygun örnekleme zamanları personel durumuna göre adapte edilerek uygulanmıştır (Tablo 2). Jeotermal su örnekleri 100 ml hacimli plastik örnek kaplarına alınmış ve fluorimetre ile analizleri yapılmıştır.

KHD-1 kuyusundan yapılan Rhodamine basımı ise üretim kuyularından alınan örneklerde tespit edilmesine rağmen fluorimetre cihazının hassasiyet sınırları dahilinde analiz mümkün olmamıştır. Enjeksiyon kuyusunun derinliği, diğer kuyulara uzaklığı ve dolayısıyla temas ettiği rezervuar hacmi nedeniyle miktar yetersiz gelmiştir.

Tablo 2. İz testi örnekleme programı.

Kuyu Adı	Numune Sayısı	Zaman
MTA-1	1	08:00
MTA-2	4	08:00-14:00-20:00-02:00
FETHİBEY	2	08:00-20:00
İHL-1	1	08:00
İHL-3	1	08:00

2.2. İz Modelleri

İz testi eğrileri çok çatlaklı, tek çatlaklı, 1 boyutlu ve 2 boyutlu homojen, çatlak-matriks, çift gözenek küp ve slab, çift gözenekli yalancı kararlı akış modelleriyle incelenebilir [16]. Modeller ve sahada gözlemlenen kimyasal kurtarım eğrileri doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemiyle Microsoft Excel Solver fonksiyonu kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yöntemde 4 numaralı denklem ile tanımlanan R hedef fonksiyonu minimize edilir.

$$R = \sum_{i=1}^n w_i (C_{\text{model}} - C_{\text{saha}})^2 \quad (4)$$

Bu denklemde w_i sahada gözlemlenen verilerin hatalarının varyanslarının tersidir. Böylece parametrelerin en olası minimal varyans değerleri bulunur [16]. Bütün modellerde enjeksiyon ve üretim kuyuları arasında bir akış çizgisi aracılığıyla bağlandığı ve akış tüpünün sabit kesit alanına sahip olduğu varsayılmaktadır. Modelleri karşılaştırırken Akın'ın 2001 [16] çalışmasında aktarılan 1-B ve 2-B homojen gözenekli model, tek ve çok çatlaklı model, çift gözenekli yalancı kararsız akış modeli, çift gözenekli küp ve katman modelleri kullanılmıştır. Bu modellerde kullanılan derişim değerleri denklem 5 ile 10 arasında verilmiştir.

$$C_r = \frac{K}{t_r} \text{Exp}\left(-\frac{P_e}{4t_r}(1-t_r)^2\right) \quad \text{1 B ve 2 B homojen} \quad (5)$$

$$C_r = \frac{1}{2\sqrt{\frac{t_r}{P_e}}} \text{Exp}\left(-\frac{(1-t_r)^2}{\frac{4}{P_e}t_r}\right) \quad \text{Tek ve çoklu çatlak} \quad (6)$$

$$C_r = JU(t-t_b)^{-1/2} \text{Exp}\left(-\frac{t_b}{w(t-t_b)}\right) \quad \text{Çatlak-matriks} \quad (7)$$

$$C_r = J \text{Exp}(-\alpha_m t) U(t-t_b)^{1/2} I_1(2(t_b \alpha_f \alpha_m (t-t_b))^{1/2}) \quad \text{Çift gözenekli yalancı kararsız akış} \quad (8)$$

$$C_r = J \text{Exp}(-t_b(2\sqrt{\frac{p}{wt_b}} \tanh\left(\frac{t_f}{2}\sqrt{\frac{p}{wt_b}}\right) + p)) \quad \text{Çift gözenekli katman} \quad (9)$$

$$C_r = J \text{Exp}(-t_b(2\sqrt{\frac{p}{wt_b}} \coth\left(\frac{t_f}{2}\sqrt{\frac{p}{wt_b}}\right) - \frac{4}{t_f} + p)) \quad \text{Çift gözenekli küp} \quad (10)$$

İz testleri bu modeller dışında Shook (2003) [17] tarafından aktarılan moment yöntemiyle de analiz edilmiştir. Bu yöntemde iz derişim eğrilerinin moment analizi yapılarak akış-depolama kapasite eğrisi elde edilir. Önce iz eğrisinin momenti alınır. Daha sonra ise her bir çatlaktaki akış kapasitesi toplam çatlak ağının akış kapasitesinin bölümü olarak hesaplanır (Denklem 11). Depolama kapasitesi (Denklem 12) de hesaplandıktan sonra akış kapasitesi depolama kapasitesinin fonksiyonu olarak Denklem 13 ve 14 kullanılarak elde edilir.

$$f_i = \frac{k_i A_i / L_i}{\sum_{j=1}^N k_j A_j / L_j} \quad (11)$$

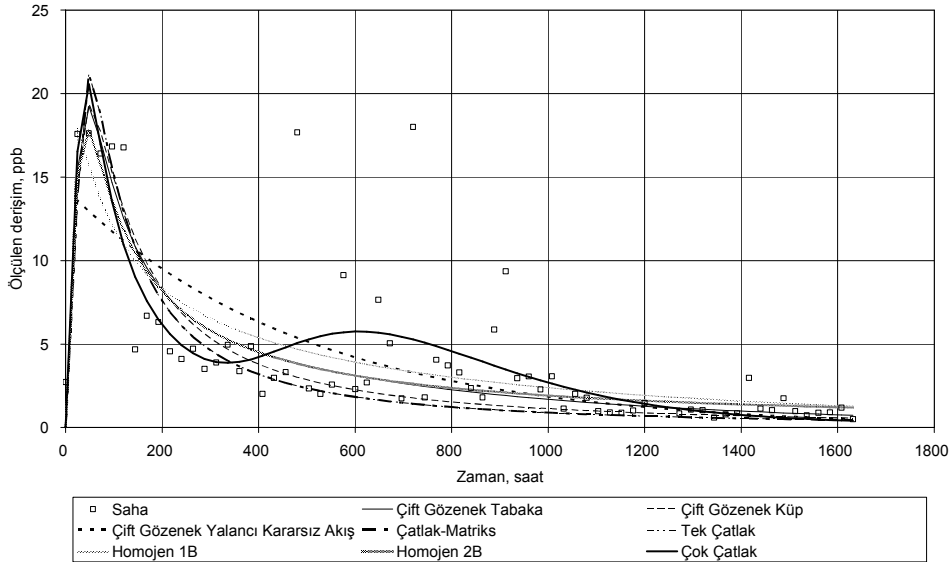
$$c_i = \frac{V_{pi}}{\sum_{j=1}^N V_{pj}} \quad (12)$$

$$F_i = F_{i-1} + f_i \quad (13)$$

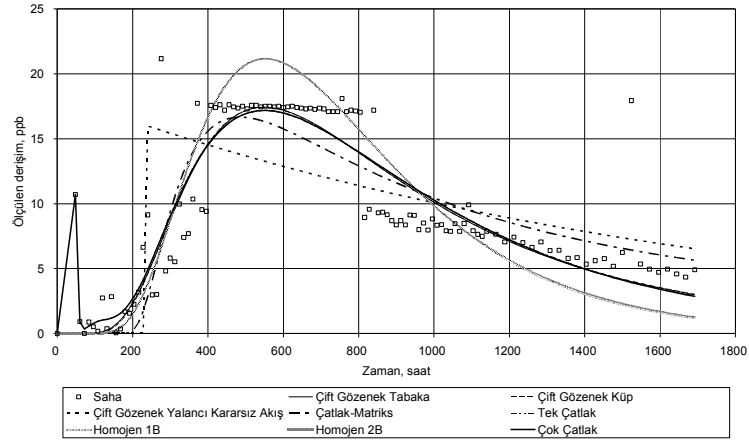
$$C_i = C_{i-1} + c_i \quad (14)$$

3. İZ TESTİ SONUÇLARI

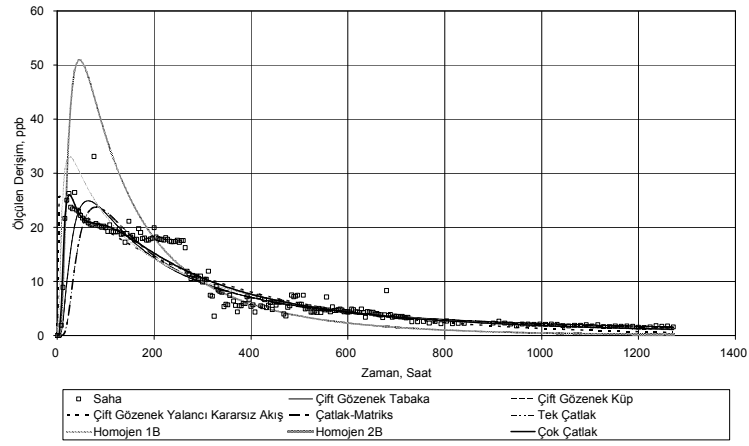
İz kimyasali (fluorescein) önce geribasım kuyusuna en yakın uzaklıkta bulunan MTA-2 kuyusunda, daha sonrasında ise Fethibey, İHL-1 ve İHL-3 kuyularında gözlemlenmiştir (Şekil 4 - 8). İz kimyasalının tüm kuyularda gözlemlenmesi rezervuarda bulunan geribasım ve üretim kuyularının birbirleriyle bağlantılı olduklarını göstermektedir. Bir önceki bölümlerde aktarılan iz analizi yöntemleri kullanılarak testler analiz edilmiştir. Analizler yapılırken MTA-1 kuyusuna geri dönüp tekrar basılan fluorescein miktarları düzeltilerek kullanılmıştır. Analizlerde tüm modellere çakışma sağlanmıştır. Bu çakışmalar sonucunda tüm kuyularda en iyi çakışmayı 3 çatlağın kullanıldığı çok çatlaklı akış modeli sağlamıştır (Şekil 9). Çift gözenekli küp ve tabaka modelleri ve çift gözenekli yalancı kararsız akış modelleri çakışmalarında elde edilen en küçük kareler toplamı çok çatlaklı model çakışmalarından elde edilen daha yüksek olmuştur. Testler arasında değişiklik göstermekle birlikte en kötü çakışma sonuçları homojen 1-B, homojen 2-B ve çatlak-matriks modelleri kullanıldığında elde edilmiştir. Bu sonuçlar Kızılcahamam rezervuarının çatlaklı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bir matriks yapısı söz konusu değildir. Çok çatlaklı model kullanılarak elde edilen çakışmalar sonucu Tablo 3 – 5 ile gösterilen parametreler elde edilmiştir. Analizler akışın büyük bölümünün (%81 - %98) nispeten kısa (6.11 m – 49.73m) bir çatlakta yayılma (dispersiyon) katsayısının değişken olduğu bir yapıdan olduğunu göstermektedir. Bu ana çatlağın yanı sıra daha hızlı akışların olduğu ikincil çatlaklar bulunmaktadır.



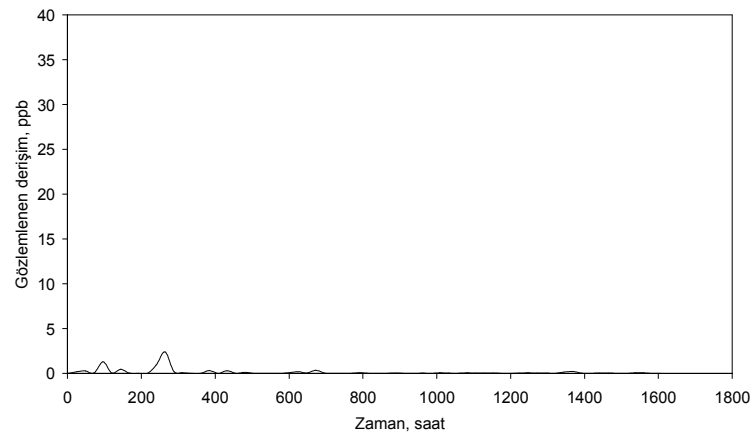
Şekil 4. MTA-1 kuyusunda gözlemlenen ve model iz derişimi çakışması.



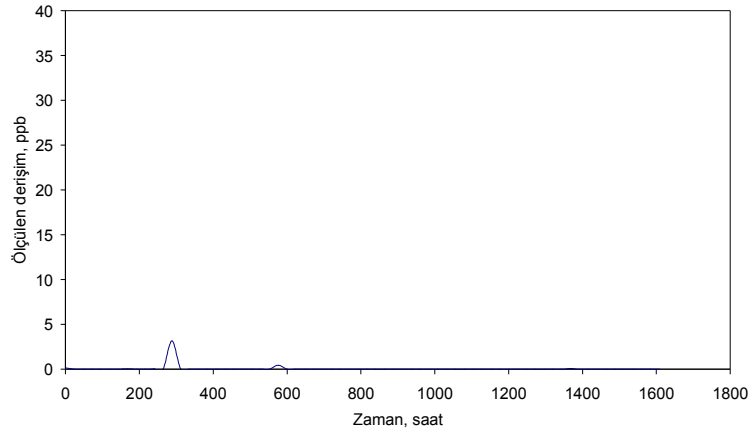
Şekil 5. FethiBey kuyusunda gözlemlenen ve model iz derişimi çakışması.



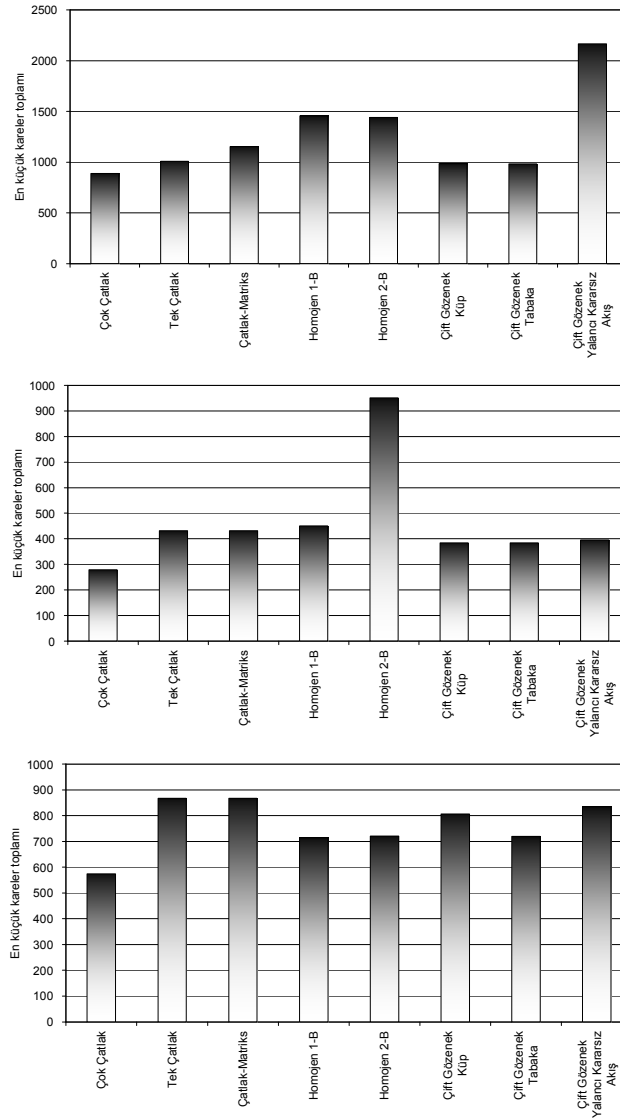
Şekil 6. MTA-2 kuyusunda gözlemlenen ve model iz derişimi akışması.



Şekil 7. IHL-1 kuyusunda gözlemlenen ve model iz derişimi akışması.



Şekil 8. IHL-3 kuyusunda gözlemlenen ve model iz derişimi akışması.



Şekil 9. FethiBey (üst), MTA-2 (orta) ve MTA-1 (alt) iz testi değişik modeller için en küçük kareler toplamı karşılaştırması.

Tablo 3. Fethi Bey çakışma parametreleri

Peclet sayısı	Çatlak uzunluğu (m)	Ortalama erişme süresi (hrs)	% Akışa katkı	D ₁ , Dispersiyon m ²	U, m/saat
70.61	7425.20	40.33	0.01	56.19	9.92
5.44	968.97	932.70	0.18	31.52	0.43
15.20	6.11	146.92	0.81	71.64	2.72
Görünen Hız					4.36

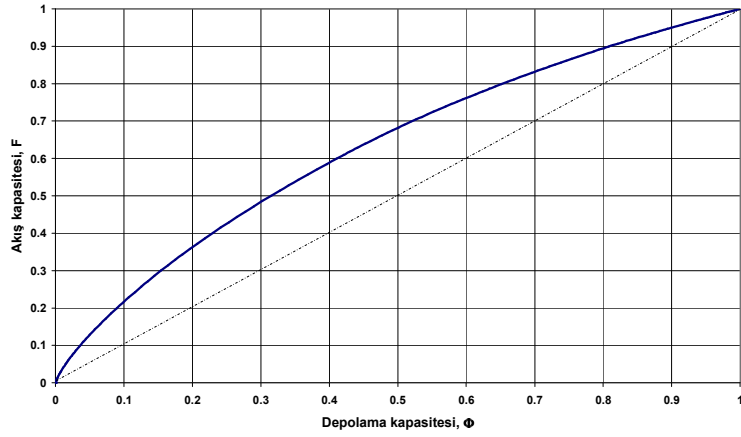
Tablo 4. MTA-2 çakışma parametreleri

Peclet sayısı	Çatlak uzunluğu (m)	Ortalama erişme süresi (hrs)	% Akışa katkı	D ₁ , Dispersiyon m ²	U, m/saat
50.92	0.41	46.24	0.07	0.38	0.65
1.44	529.47	624.59	0.10	1.00	0.05
1.77	49.73	89.93	0.83	5.66	0.33
Görünen Hız					0.35

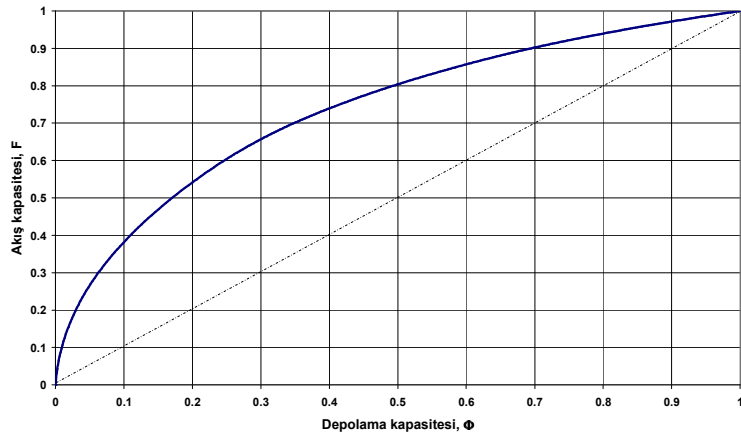
Tablo 5. MTA-1 çakışma parametreleri

Peclet sayısı	Çatlak uzunluğu (m)	Ortalama erişme süresi (hrs)	% Akışa katkı	D ₁ , Dispersiyon m ²	U, m/saat
50.00	0.41	45.82	0.01	0.88	0.98
15.48	2241.34	778.31	0.02	0.17	0.06
0.40	16.87	604.97	0.98	8.36	0.07
Görünen Hız					1.875

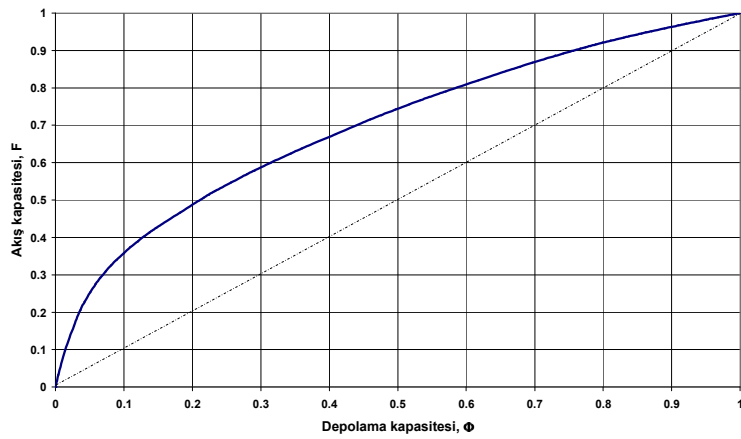
Ana ve yan çatlakların akışa olan katkılarını elde edebilmek için Shook (2003) tarafından önerilen ve önceki bölümlerde aktarılan moment analizi yapılmış ve akış-depolama kapasite eğrileri elde edilmiştir (Şekil 9 – 10). Akış-depolama kapasitesi eğrilerinde homojen bir rezervuarda elde edilmesi beklenen doğrusal yapı nokta nokta çizgilerle gösterilmiştir. Bu eğrinin üstünde kalın devamlı eğri ne kadar doğrusallıktan uzakta rezervuarda gözlemlenen akış o kadar heterojendir. Örneğin FethiBey iz testi için elde edilen akış-depolama kapasitesi eğrisi diğer testlerden elde edilen eğrilerle karşılaştırıldığında nispeten daha homojen olduğu görülmektedir. MTA-1 - FethiBey arasında kalan bölgede akışın %40'ı rezervuarın %23'ünden sağlanmaktadır. Öte yandan MTA-1 – MTA-2 bölgesinde akışın %40'ı rezervuarın yaklaşık %11'lik bir bölümünden sağlanmaktadır. Moment analizine göre rezervuar hacmi FethiBey testi için $6.825 \times 10^6 \text{ m}^3$ ve MTA-2 testi için $3.185 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır. Geribasım kuyusu olan MTA-1 ile MTA-2 ve FethiBey arasındaki uzaklıklar karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar mantıklıdır. Geribasım kuyusunda yapılan akış-depolama kapasite eğrisi analizi hesaplara katılmamakla birlikte geribasım kuyusuna bağlı akış ve depolama sağlayan çatlakların eğrisi olarak düşünülebilir. Bu eğrinin MTA-2 eğrisiyle uyumlu olması sonuçların doğruluğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 10. FethiBey iz testi akış – depolama kapasite eğrisi.



Şekil 11. MTA-2 iz testi akış – depolama kapasite eğrisi.



Şekil 12. MTA-1 iz testi akış – depolama kapasite eğrisi.

SONUÇ

Düşük sıcaklıklı Kızılcahamam jeotermal sahasında iz testi tasarlanmış, uygulanmış ve analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda aşağıda listelenen bulgular elde edilmiştir.

1. Tüm kuyularda iz kimyasalı görüldüğü için geribasım ve üretim kuyularının birbirleriyle iletişim içinde oldukları ortaya çıkmıştır.
2. Analizler Kızılcahamam rezervuarında akışın çok çatlaklı bir yapıda olduğunu göstermiştir. Akışın büyük bölümünün (%81 - %98) nispeten kısa (6.11 m – 49.73m) bir çatlakta, yayılma (dispersiyon) katsayısının değişken olduğu bir yapıdan olduğunu göstermektedir. Bu ana çatlağın yanı sıra jeotermal sıvının daha hızlı aktığı ikincil çatlaklar bulunduğu ortaya çıkmıştır.
3. MTA-1 ile Fethibey kuyuları arasında kalan bölgede akışın %40'ı rezervuarın %23'ünden sağlanmaktadır. Öte yandan MTA-1 – MTA-2 bölgesinde akışın %40'ı rezervuarın yaklaşık %11'lik bir bölümünden sağlanmaktadır. Moment analizine göre rezervuar hacmi Fethibey kuyusu civarı daha homojen bir yapıda ve $6.825 \times 10^6 \text{ m}^3$ ve öte yandan MTA-2 bölgesi daha heterojen ve $3.185 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.
4. Sahada basınç düşümünün önlenmesi için geribasım yapılan miktarın artırılması gerekmektedir.

SEMBOLLER

A	alan, m^2
C ve C_r	Konsantrasyon, ppm
c_i	Kesirsel depolama kapasitesi
C_i	Toplam depolama kapasitesi
D_z	Eksensel dağılım katsayısı
f_i	Kesirsel akış kapasitesi
F_i	Toplam akış kapasitesi
I_i	Bessel fonksiyonu
J	Model değişkeni
K	Model değişkeni
k	Geçirgenlik
L	Kuyular arasındaki mesafe, m
M	İz kimyasalı kütlesi, gm
n_e	Gözeneklilik, oran
Q	Debi m^3/s
p	Laplace transformasyon parametresi
Pe	Peclet sayısı
R_d	Boyutsuz çözücü geciktirmesi
t	Zaman, s
t_b	İz konsantrasyonunun kuyuda görülme zamanı, s
t_f	İz konsantrasyonunun matriks bloklarını doldurma zamanı, s
t_f	Filtrasyon katsayısı
t_p	En yüksek iz konsantrasyonuna ulaşma zamanı, s
t_r	İz kimyasalının matrikste kalış süresi, s
V	Hacim
w	Çatlak-matriks modeli Peclet sayısı
w_i	sahada gözlemlenen verilerin hatalarının varyanslarının tersi
z	Uzaysal değişken
α_f	Çatlakta iz kimyasalının değişim oranı
α_m	Matrikste iz kimyasalının değişim oranı
λ	Transmissibilite
μ	Çözücü bozulumu
ρ	Yoğunluk
$\Delta\tau$	Zaman basamağı boyu
v	Ortalama hız
v_p	hız, m/s

KAYNAKLAR

- [1] TOKER, M., DURAK, S., "Kızılcahamam KHD-1 ve MTA-1 Kuyuları Test Raporu" MTA Ankara, 1990.
- [2] KESKİN, B., "Kızılcahamam Seyhamamı Bölgesinin Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları", MTA, Ankara, 1979.
- [3] KOÇAK, A., "Kızılcahamam Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü", MTA Rap. No 8565, MTA, Ankara, 1989.
- [4] ÜNLÜ, R.M., ERİŞEN B., "Ankara-Çubuk-Kızılcahamam-Kazan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları", MTA, Ankara, 1980.
- [5] 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.
- [6] EROL, O., "Koroglu Isıkdağları volkanik kutlesinin orta bolumleri ile Beypazari-Ayas arasındaki Neojen havzasinin jeolojisi hakkında rapor (in Turkish)" MTA Report No: 2299, 1955.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] Kilpatrick, F.A., 1993. 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.
- [10] KILPATRICK, F.A., WILSON, J.F. Jr., "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.
- [11] ALEXANDER, E.C. Jr., 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.
- [12] FIELD, M.S., "Ground-water tracing and drainage basin delineation for risk assessment mapping for spring protection in Clarke County, Virginia". Tech. Rep. NCEA-W-0936, 36p., U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 2000.
- [13] 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.
- [14] 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
- [15] 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.
- [16] Akin, S. (2001) "Analysis of Tracer Tests with Simple Spreadsheet Models" Computers & Geosciences, 27, 2, 171-178.
- [17] SHOOK, M., G. "A Simple, Fast Method of Estimating Fractured Reservoir Geometry from Tracer Tests" Trans., Geothermal Resources Council, Vol. 27, 2003.
- [18] 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.

Tevfik KAYA

1972 yılı Isparta doğumludur. 1994 yılında N.V. Turkse Shell şirketinin bursuyla okuduğu ODTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 2005 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. 1994 yılında aynı üniversitede 3 ay Araştırma Görevlisi olarak görev yaptıktan sonra ORME Jeotermal A.Ş.'ye girmiştir. Bu şirkette mühendis ve Genel Müdür Yardımcısı olarak görev yapmakta olup jeotermal saha işletmesi, kuyu üretim tasarımı, pompalar, inhibitör sistemleri, korozyon ve kabuklaşma 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.