

Basınçlı Akifer Parametrelerinin Pompaj Analizi ile Belirlenmesi

Mesut ÇİMEN*¹, Ayşe BÖLÜKBAŞI¹

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

(Alınış / Received: 30.12.2015, Kabul / Accepted: 22.06.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 25.07.2016)

Anahtar Kelimeler

Akifer parametreleri,
Basınçlı akifer,
Pompaj,
Zaman - Düşüm verisi

Özet: Bu çalışma, basınçlı akifer parametrelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulanabilirliklerini ve güvenilirliklerini ele alır. Basınçlı akifer parametre tahminleri ve yöntemleri, Theis (1935) tarafından elde edilmiş eksponansiyel integral formülüne dayanır. Theis (1935) yöntemi grafiksel bir yöntem olup, çifte logaritmik olarak çizilmiş Theis tip eğrisinin akiferde ölçülmüş olan yine çifte logaritmik olarak çizilen zaman-düşüm eğrisine karşılaştırılmasını gerektirir. Diğer yöntemler ise, çeşitli sayısal ve grafiksel metotların Theis formülüne uygulanması esasına dayanır. Bu makale, arazide gözlenmiş üç adet gözlem kuyusunda ölçülmüş veriyi ele alarak güncel pek çok yöntemin tatbik edilmesini ve birbirleriyle kıyaslanmasını ele almaktadır. Bunun sonucu olarak, kullanılan bütün yöntemlerin avantaj ve dezavantajları ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Determining Confined Aquifer Parameters with Pumping Analysis

Keywords

Aquifer parameters,
Confined aquifer,
Pumping,
Time - Drawdown data

Abstract: The presented paper considers the procedures which are used in determining the confined aquifer parameters, and their applicability in a reliability manner. Estimates and methods of the confined aquifer parameters depend on the exponential integrate equation obtained by Theis (1935). Theis (1935) method is a graphical procedure and it needs a matching to a field time -drawdown data versus the Theis type curve on double logarithmic graph. The other methods depend on an application to the Theis equation of various numeric and graphical procedures. This paper deals with an applications of various methods considering data observed in three observation wells, and a comparison each other procedure. In a result, advantages and disadvantages of used methods find out.

1. Giriş

Temiz su kaynaklarından biri olan yeraltı suyu rezervinin bilinmesi, canlıların su ihtiyacı açısından önem arz etmektedir. Yeraltı suyu rezervinin tahmini, akifer parametrelerinden birisi olan depolama katsayısının belirlenmesi ile mümkün olabilmektedir. Depolama katsayısı değeri ne kadar büyük olursa, akiferden alınacak su miktarı (akifer rezervi) o kadar çok olacaktır. Bununla birlikte, bir diğer parametre olan iletim kapasitesi ise, akiferden alınabilecek suyun akifer ortamı içerisinde hareket edebilme yeteneğini, bir başka deyişle, akiferin yeraltı suyunu iletebilme yeteneğini göstermektedir. İletim kapasitesi değeri ne kadar büyük olursa, akiferden pompaj kuyusuna gelen yeraltı suyu o kadar hızlı gelecektir. Bu, özellikle pompa maliyetini etkilemektedir.

Akifer ortamı genel olarak homojen ve izotrop olmayan bir yapıdadır. Ayrıca, akifer jeolojik yapısı (kayaç tipi) karstik, çatlaklı ve gözenekli ortamlar olabilir. Akiferin yataydaki sınırları da sonsuz yayımlı ya da bir bariyer engelli olabilir. Akiferin yatay yayılımı gibi düşeyde de farklı jeolojik kayaçlar akiferi sınırlamış olabilir. Bu çalışmada, alttan ve üstten geçirimsiz tabakalar arasında bulunan sonsuz yayımlı, homojen, izotrop ve gözenekli basınçlı bir akifer göz önüne alınmıştır. Böyle bir akifer, her ne kadar gerçek olmayan ideal şartları sağlasa da, ortalama değerler (büyüklükler) açısından pek çok araştırmacı tarafından ele alınmış, araştırılmış ve araştırılmaya devam etmektedir. Akifer geometrisinde, kayaç tipinde ve çevresindeki tabakalarda farklı oluşumlar göz önüne alındığı takdirde, akımı ve onun sürekliliğini ifade eden diferansiyel denklemler ile başlangıç ve sınır şartları farklı olmakta ve dolayısıyla her bir durum için farklı analitik ya da sayısal yöntemler uygulanabilmektedir.

*İlgili yazar: mesutcimen@sdu.edu.tr

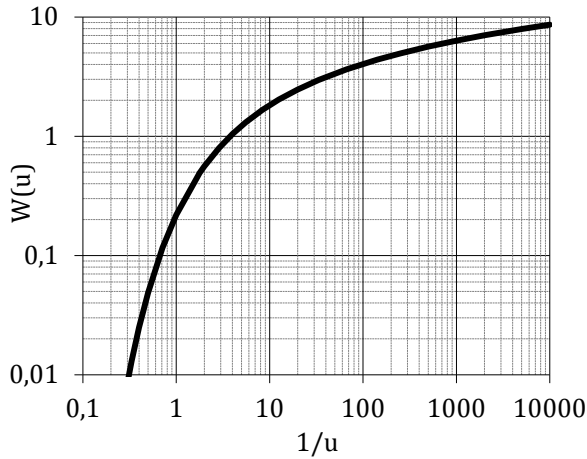
Theis [1], sonsuz yayımlı, homojen ve izotrop bir akiferde sonsuz küçük kadar denebilecek bir çapa sahip pompaj kuyusuna doğru akımı analitik olarak ifade eden düşüm denklemini aşağıdaki gibi ifade etmiştir.

$$\int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx \quad (1)$$

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t) \quad (1a)$$

Burada $s(r, t)$ basınçlı akiferin pompaj kuyusundan bir r radyal mesafesinde açılmış olan gözlem kuyusunda ölçülen bir t anındaki düşümü, Q pompaj kuyusundan çekilen sabit miktardaki debiyi, T akiferin iletim kapasitesini, $u = Sr^2/4Tt$ boyutsuz zaman faktörünü, S akiferin depolama katsayısını, $W(u)$ boyutsuz kuyu fonksiyonunu ve x ise integral içindeki fonksiyonun değişkenini göstermektedir.

Theis [1], $1/u$ ile $W(u)$ arasında çizilen bir eğriyi Şekil 1 'deki gibi elde etmiş ve bu eğri Theis tip eğrisi olarak bilinmektedir. Bu tip eğri, basınçlı bir akiferde bir pompaj kuyusuna doğru akım durumu için, akiferde açılmış bir gözlem kuyusunda ölçülmüş olan zaman - düşüm eğrisine benzemektedir ve bu iki eğrinin üst üste çakıştırılmasıyla akifer parametreleri (T , S) bulunabilmektedir. Bu tip eğrinin oluşturulması için pek çok kitapta Denklem (1a) kullanılarak hesaplanmış u değerlerine karşılık $W(u)$ değerleri bulunabilir [2,3].



Şekil 1. Theis tip eğrisi

Bu çalışmada, Theis yöntemi ile birlikte Denklem (1a) 'ya dayanan çeşitli sayısal yöntemler ele alınmıştır. Theis yöntemi, basınçlı akifer parametrelerinin belirlenmesinde her ne kadar ilk çalışma olsa da hem bu yöntemin ve hem de aşağıda sunulmuş olan diğer yöntemlerin pek çok avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışma, çeşitli yöntemleri ele alarak ve bunlar arasında gerekli kıyaslamaları yaparak en güvenilir ve uygulaması en kolay olabilecek yöntem(ler)i teklif edecektir.

2. Materyal ve Metot

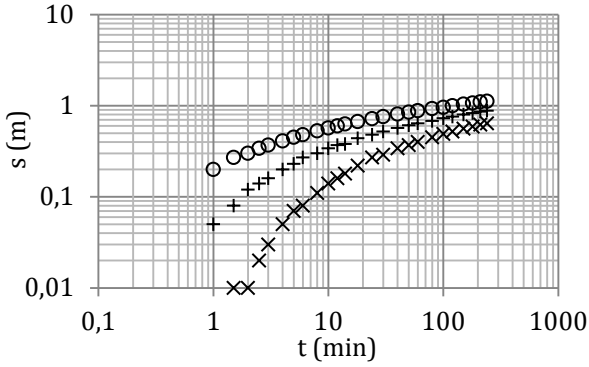
Sonsuz yayımlı, homojen ve izotrop basınçlı bir akiferde açılmış olan küçük çaplı bir pompaj kuyusuna doğru yeraltı suyunun hareketi teorik olarak incelendiğinde, pompaj kuyusundan herhangi bir radyal mesafede oluşacak olan düşüm ifadesi Denklem (1a) ile ifade edilmektedir. Bu denklem akifer içerisinde açılmış olan bir gözlem kuyusunu ve bu gözlem kuyusunda ölçülmüş olan zaman - düşüm değerlerini göz önüne alır. Tablo 1 basınçlı bir akiferde $Q=1.888$ m³/dk sabit miktarda çekilen yeraltı suyu için 3 adet gözlem kuyusunda gözlenmiş olan zaman - düşüm değerlerini ve Şekil 2 ise bu verinin çifte logaritmik ekseninde grafiğini göstermektedir. Bu veriler için akifer parametre tahminleri Theis [1] yöntemini de içine alan aşağıda bahsedilmiş yöntemlerle ele alınacaktır.

Tablo 1. Pompaj kuyusundan 60.96 m (GK1), 121.92 m (GK2), ve 243.84 m (GK3) uzaklıklardaki gözlem kuyularında ölçülmüş veriler [4].

	GK1	GK2	GK3
t (dak)	s (m)	s (m)	s (m)
1	0.20	0.05	0.00
1.5	0.27	0.08	0.01
2	0.30	0.12	0.01
2.5	0.34	0.14	0.02
3	0.37	0.16	0.03
4	0.41	0.20	0.05
5	0.45	0.23	0.07
6	0.48	0.27	0.08
8	0.53	0.30	0.11
10	0.57	0.34	0.14
12	0.60	0.37	0.16
14	0.63	0.38	0.18
18	0.67	0.44	0.22
24	0.72	0.48	0.27
30	0.76	0.52	0.29
40	0.81	0.57	0.34
50	0.85	0.61	0.37
60	0.88	0.64	0.40
80	0.93	0.68	0.45
100	0.96	0.73	0.49
120	1.00	0.76	0.52
150	1.04	0.80	0.56
180	1.07	0.83	0.59
210	1.10	0.86	0.62
240	1.12	0.88	0.64

Theis [1] formülü olarak bilinen ve analitik olarak elde edilmiş olan Denklem (1a) 'nın. akifer parametre analizinde farklı sayısal metotlarla ele alınması ile çeşitli sayısal yöntemler elde edilmiştir. Yeraltı suyu literatüründen seçilmiş aşağıdaki yöntemler en kabul edilebilir ve en güncel olanlardır. Bu yöntemler çok

kısa bir şekilde özetlenmiştir. Dolayısıyla, aşağıda bahsedilen sayısal ve grafiksel yöntemler ile bu yöntemlerde göz önüne alınmış olan şekiller ve tablolar için ilgili literatüre bakılabilir.



Şekil 2. Zaman - düşüm verisi grafiği

2.1. Cooper - Jacob yöntemi

Cooper ve Jacob [5], Denklem (1) 'deki eksponansiyel integral içerisindeki fonksiyonu seriye açarak aşağıdaki gibi elde etmiştir.

$$W(u) = -0.577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} \quad (2)$$

Boyutsuz zaman faktörünün $u \leq 0.01$ değerleri için Denklem (2) 'nin aşağıdaki ifadeye azalacağı ve böylece $u \leq 0.01$ için boyutsuz kuyu fonksiyonunun %1 'den daha küçük hata değerlerine sahip olacağı belirtilmiştir. Boyutsuz zaman faktörünün $u \leq 0.01$ değerleri, bir arazi verisi için geç zaman düşümlere karşılık geldiği ifade edilmiştir.

$$s(r, t) = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad (3)$$

Bu ifade logaritmik bir zaman aralığında göz önüne alındığında, zaman - düşüm grafiğinde doğrusal bir ilişki elde edilir ve bu yöntem zaman - düşüm modeli olarak bilinir. Zaman - düşüm modelinde akifer parametreleri aşağıdaki eşitlikler yardımı ile bulunabilir.

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s_t} \quad (4a)$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2} \quad (4b)$$

Bu ifadelerde Δs_t logaritmik bir zaman aralığında oluşan düşüm farkını ve t_0 ise veri üzerinde çizilmiş doğru üzerinde düşüm değerinin sıfır olduğu zamanı göstermektedir. Denklem (3) 'de, pompaj kuyusundan farklı mesafelerdeki düşümler göz önüne alındığında ise mesafe - düşüm modeli elde edilir. Bu model de yine bir doğrusal modeldir ve akifer parametreleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunur. Bu modelin geçerli olabilmesi için en az üç tane gözlem kuyusunun arazi verisi olmalıdır.

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s_r} \quad (5a)$$

$$S = \frac{2.25Tt}{r_0^2} \quad (5b)$$

Bu ifadelerde Δs_r logaritmik bir mesafe aralığında oluşan düşüm farkını ve r_0 ise veri üzerinde çizilmiş doğru üzerinde düşüm değerinin sıfır olduğu radyal mesafeyi göstermektedir. Denklem (3), t/r^2 değerlerine karşın düşüm değerleri göz önüne alındığında ise birleşik değişken modeli elde edilir. Bu model de yine bir doğrusal modeldir ve akifer parametreleri aşağıdaki eşitlikler yardımıyla bulunur. Bu model, en az iki gözlem kuyusunun arazi verisi bulunması durumunda göz önüne alınır.

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi \Delta s \left(\frac{t}{r^2}\right)} \quad (6a)$$

$$S = 2.25T \left(\frac{t}{r^2}\right)_0 \quad (6b)$$

Bu ifadelerde $\Delta s \left(\frac{t}{r^2}\right)$ logaritmik bir t/r^2 aralığında oluşan düşüm farkını, $(t/r^2)_0$ ise veri üzerinde çizilmiş doğru üzerinde düşüm değerinin sıfır olduğu değişken değerini göstermektedir.

2.2. Chow yöntemi

Chow [6], Denklem (1a) 'yı göz önüne alarak aşağıdaki ifadeyi teklif etmiştir. Bu ifadeye $F(u)$ Chow fonksiyonunu, s_A zaman düşüm grafiğinde keyfi bir düşüm değerini ve Δs_A ise bu keyfi düşüm değerinin bulunduğu ölçüm zamanındaki düşümün zamana göre eğimini göstermektedir. Bu metod biri erken zamanda ve diğeri geç zamanda olmak üzere en azından iki nokta için $F(u)$ değerinin belirlenmesini gerektirir. Chow (1952), aşağıdaki denklemden üretilmiş u değerlerine karşın $W(u)$ ve $F(u)$ değerleri için bir tablo düzenlemiştir. Böylece, arazi verisinden hesaplanan her bir $F(u)$ değeri için, u ve $W(u)$ değerleri bu tablodan kolayca bulunabilmektedir. Belirlenen bu parametreler yardımıyla akifer parametreleri Denklem (1a) ve boyutsuz zaman faktörü ifadesinin kullanılmasıyla kolayca tahmin edilebilmektedir.

$$F(u) = \frac{W(u)e^u}{2.3} = \frac{s_A}{\Delta s_A} \quad (7)$$

2.3. Rai yöntemi

Rai [7], Chow yöntemine benzer bir yöntem geliştirmiştir. Rai (1985), arazi verisinin hepsi için düşüm değerlerinin eğimlerini hesaplamaktadır. Kullandığı formülasyon ve $f(u)$ fonksiyonu aşağıda verilmiştir. Zaman ve düşüm değerlerinden elde edilen $f(u)$ değerleri 2.3 sayısına bölünerek $F(u)$ değerleri hesaplanarak Chow (1952) tarafından

verilen tablo değerlerine geçilir ve parametre hesapları Chow [6] 'daki gibi yapılır.

$$f(u) = \frac{s_2/t_2}{\frac{s_3-s_1}{t_3-t_1}} = W(u)e^u = 2.3F(u) \quad (8)$$

2.4. Şen yöntemi

Şen [8], Denklem (1a) yı kullanarak Rai [7] yöntemine benzer bir yöntem geliştirmiştir. Önerdiği α parametresi, Rai [7] 'nin $f(u)$ parametresinde kullandığı zaman - düşüm değerlerinin doğal logaritmasının alınmasını ve böylece zaman adımları arasındaki farkın daha iyi ifade edilmesine imkan vermektedir. Şen [8], kullandığı α parametresi için bir tablo düzenlemiştir. Akifer parametreleri, zaman - düşüm değerlerinden hesaplanmış α parametresine ve buna ait olan teklif ettiği tablodan u değerlerine ve buradan da aşağıdaki formül gereği $W(u)$ değerlerine karşı gelmektedir. Akifer parametrelerinin değerleri arazi verisinin tamamı için hesaplamayı ve bir ortalama değerin hesaplanmasını gerektirir.

$$\alpha_i = \frac{\ln s_i / s_{i-1}}{\ln t_i / t_{i-1}} = -W(u_i)e^{u_i} \quad (9)$$

2.5. Singh yöntemi

Singh [9], akiferin erken zamanlı düşüm hesabını göz önüne almış ve $u_* = 0.4348182$ ve $W(u_*) = 0.6473823$ değerleri için basit bir çözüm teklif etmiştir. Yöntem, yatay ekseninde zamanı düşey ekseninde ise (s/t) değerlerinin bir grafik kağıda işlenmesini ve ortaya çıkan noktalardan bir çan şekilli eğrinin el ile oluşturulmasını gerektirir. Bu eğrinin pik yaptığı zaman (t_*) ile $(s/t)_*$ değerleri grafikten belirlenerek aşağıdaki eşitlikler yardımıyla akifer parametreleri tahmin edilmektedir. Yöntem, iletim parametresinin küçük ya da depolama katsayısının büyük olduğu ve dolayısıyla arazi verisinin en az birkaç tanesinin $u > 0.4348182$ olduğu basınçlı akiferler için geçerlidir.

$$T = 0.05152 Q/s_* \quad (10a)$$

$$S = 1.7393 T t_*/r^2 \quad (10b)$$

2.6. Singh yöntemi

Singh [10] arazide ölçülmüş zaman - düşüm verisini ve düşümün zamana göre eğimini göz önüne alarak akifer parametre hesaplaması için bir yöntem teklif etmiştir. Yöntem çoklu gözlem kuyusu olması halinde, parametreler en küçük kareler regresyonu uygulanarak hesaplanabilmektedir. Tek bir gözlem kuyusu olması halinde aşağıdaki eşitliği göz önüne almıştır. $1/t$ zamanına karşın $t\partial s/\partial t$ değerlerinden bir grafik elde edilmekte ve bu grafiğin geç zamanları üzerinde çizilen doğrunun $t\partial s/\partial t$ eksenine ile kesişimi $Q/4\pi T$ değerini, eğimi ise $Sr^2/9.212T$ değerini vermektedir. Bu değerler yardımıyla akifer parametre değerleri hesaplanır.

$$\log\left(\frac{t\partial s/\partial t}{Q/4\pi T}\right) = \log\left(\frac{t_i + t_{i+2} \frac{s_{i+2} - s_i}{t_{i+2} - t_i} \frac{1}{Q/4\pi T}}{Sr^2}\right) \quad (11)$$

$$= -\frac{1}{9.212Tt}$$

2.7. Çimen yöntemi

Çimen [11], Denklem (1a) 'nın zamana göre türevini alarak aşağıdaki ifadeyi elde etmiştir. Arazi verisinden $t\partial s/\partial t$ değerlerini hesapladıktan sonra, ilk olarak u 'nun küçük değerleri için geçerli olan $\exp(-u)$ değerini 1 'e eşit almış ve yaklaşık $T_{yaklaşık}$ değerlerini ve bunların bir ortalama $T_{yaklaşık}$ 'ı hesaplamıştır. Aynı zamanda, Denklem (1a) 'dan $W_{yaklaşık}(u)$ değerlerini ve bu değerlere ait $u_{yaklaşık}$ değerlerini belirlemiştir. $u_{yaklaşık}$ değerlerinden de $S_{yaklaşık}$ değerlerini ve ortalamasını elde etmiştir. Daha sonra, $\exp(-u_{yaklaşık})$ ile $T_{yaklaşık}$ değerleri çarpılarak T_{tam} değerleri belirlenmiştir. T_{tam} değerleri tekrar Denklem (1a) da yerine konarak $W_{tam}(u)$ değerleri ve bu değerlere ait olan u_{tam} değerlerini belirlemiştir. u_{tam} değerlerinden de S_{tam} değerlerini ve ortalamasını elde etmiştir.

$$t \frac{\partial s}{\partial t} = t_i \frac{t_{i-1} \left(\frac{s_i - s_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right) + t_i \left(\frac{s_{i+1} - s_i}{t_{i+1} - t_i} \right)}{t_{i-1} + t_i} = \frac{Q}{4\pi T} e^{-u} \quad (12)$$

2.8. Çimen yöntemi

Çimen [12], Denklem (1) 'in geç zamanlarındaki ifadeyi aşağıdaki gibi ifade etmiştir. Bu ifade de $a = Q/4\pi T$ ve $b = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2.25T}{Sr^2}\right)$ olmak üzere logaritmik bir bağıntıyı göstermektedir. Bir arazi verisinin zaman - düşüm grafiği Excell 'de çizildikten sonra, arazi verisi için aşağıdaki formülasyona benzer bir regresyon eğrisi oluşturulur. Bu regresyon formülündeki katsayılar aşağıdaki formülasyondaki katsayıları vermekte ve önce T sonra da S değeri hesaplanmaktadır. Bu yöntemin uygulanması için birkaç veri göz önünde bulundurulmaz. Yöntem oldukça basittir ve herhangi bir karmaşık işleme gerek duyulmaz.

$$s = a \ln(t) + b \quad (13)$$

2.8. Yöntemlerin güvenilirlik testleri

Yukarıdaki yöntemlerle tahmin edilen akifer parametrelerinin (T ve S) ölçülmüş arazi verisi üzerinde ne kadar bir hataya yol açtığını belirlemek için, aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla her bir yöntem test edilmiştir. Denklem (14a) ortalama hatayı (OH), Denklem (14b) ortalama mutlak hatayı (MH), Denklem (14c) ise standart sapmayı (SS), n veri sayısını, s_0 ve s_t ise ölçülen ve tahmin edilen düşümleri göstermektedir. Teste tabi tutulan veri için OH , MH ve SS değerleri ne kadar küçük elde edilirse, yöntemin o kadar iyi sonuç verdiği ve dolayısıyla akifer parametre hesaplarında daha uygulanabilir olduğu ifade edilmelidir.

$$OH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_{\bar{o}} - s_t)_i \quad (14a)$$

$$MH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |s_{\bar{o}} - s_t|_i \quad (14b)$$

$$SS = \left(\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (s_{\bar{o}} - s_t)_i^2 \right)^{0.5} \quad (14c)$$

3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 1 'de üç adet gözlem kuyusu için verilmiş olan zaman - düşüm verisi, yukarıda belirtilen metotlar ile değerlendirilmiştir. Elde edilen akifer parametreleri ve bu parametreler göz önüne alınarak yapılan hata

analizleri sonucunda Tablo 2, 3 ve 4 'de verilmiş olan değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 2 'ye bakıldığında Singh [10] hariç ($S=0.258 \times 10^{-4}$) diğer bütün metotların akifer parametre değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Singh [9] yönteminde GK1 gözlem kuyusunda erken düşümler elde edilemediğinden parametre hesapları bu yöntem için yapılamamıştır, ancak diğer gözlem kuyuları için (GK2 ve GK3) akifer parametre değerleri elde edilmiştir. Hata değerlerine bakıldığında ise en küçük hatalar Çimen [12] yönteminde elde edilmiştir. Bunu Rai [7] ve Theis [1] yöntemleri takip etmiştir. Tablo 3 'e bakıldığında, bütün metotların akifer parametre değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Hata değerlerine bakıldığında ise en küçük hatalar Çimen [12] yönteminde elde edilmiştir.

Tablo 2. GK1 Verisi İçin Akifer Parametreleri ve Hata Değerleri

Yöntem	T (m ² /dak)	S x10 ⁻⁴	OH	MH	SS
Theis [1]	0.880	1.800	-0.009	0.009	0.011
Cooper ve Jacob [5], (t-s)	0.860	1.870	-0.015	0.015	0.016
Cooper ve Jacob [5], (r-s)	0.860	1.880	-0.014	0.014	0.015
Cooper ve Jacob [5], (t/r ² -s)	0.860	1.740	-0.027	0.027	0.028
Chow [6]	0.817	1.910	-0.038	0.038	0.043
Rai [7]	0.870	2.070	0.008	0.008	0.01
Şen [8]	0.838	2.335	0.010	0.010	0.013
Singh [10]	0.847	0.258	-0.369	0.369	0.385
Çimen [11]	0.865	2.692	0.049	0.049	0.052
Çimen [12]	0.827	1.920	-0.003	0.004	0.006

Tablo 3. GK2 Verisi İçin Akifer Parametreleri ve Hata Değerleri

Yöntem	T (m ² /dak)	S x10 ⁻⁴	OH	MH	SS
Theis [1]	0.835	1.800	-0.028	0.028	0.032
Cooper ve Jacob [5], (t-s)	0.890	1.950	0.004	0.008	0.01
Cooper ve Jacob [5], (r-s)	0.860	1.880	-0.012	0.012	0.014
Cooper ve Jacob [5], (t/r ² -s)	0.860	1.740	-0.024	0.024	0.026
Chow [6]	0.839	1.900	-0.018	0.018	0.021
Rai [7]	0.880	2.070	0.008	0.009	0.011
Şen [8]	0.896	2.163	0.022	0.022	0.026
Singh [9]	0.839	1.970	-0.012	0.013	0.016
Singh [10]	0.841	1.160	-0.097	0.097	0.103
Çimen [11]	0.865	2.079	0.005	0.006	0.007
Çimen [12]	0.866	1.980	-0.002	0.004	0.005

Tablo 4. GK3 Verisi İçin Akifer Parametreleri ve Hata Değerleri

Yöntem	T (m ² /dak)	S x10 ⁻⁴	OH	MH	SS
Theis [1]	0.790	1.860	-0.024	0.024	0.032
Cooper ve Jacob [5], (t-s)	0.910	0.900	-0.095	0.095	0.104
Cooper ve Jacob [5], (r-s)	0.860	1.880	-0.009	0.010	0.011
Cooper ve Jacob [5], (t/r ² -s)	0.860	1.740	-0.019	0.019	0.022
Chow [6]	0.675	1.750	-0.058	0.058	0.082
Rai [7]	0.890	2.060	0.007	0.007	0.010
Şen [8]	0.876	2.056	0.004	0.005	0.007
Singh [9]	0.844	1.980	-0.006	0.007	0.008
Singh [10]	0.822	1.200	-0.077	0.077	0.088
Çimen [11]	0.979	1.758	0.010	0.021	0.045
Çimen [12]	0.867	1.950	-0.004	0.004	0.005

Bunu Çimen [11] ve Rai [7] yöntemleri takip etmiştir. Tablo 4 'e bakıldığında ise, bütün metotların akifer parametre değerleri yine birbirine yakın elde edilmiştir. Hata değerlerine bakıldığında ise en küçük hatalar Çimen [12] yönteminde elde edilmiştir. Bunu Şen [8] ve Singh [9] yöntemleri takip etmiştir.

Bu üç tabloya birden bakıldığında, akifer parametre hesaplarında güvenilir yöntemler olarak sırasıyla Çimen [12], Rai [7], Çimen [11], Şen [8], Theis [1] ve Singh [9] yöntemleri ifade edilebilir. Çimen [12] yöntemi, uygulaması çok kolay olan bir yöntemdir. Fakat, pompaj analiz süresi geç zaman düşümlerini verebilecek kadar uzun olması, pompa maliyeti açısından bir dezavantaj olarak düşünülebilir. Rai [7], Çimen [11] ve Şen [8] yöntemleri, düşümlerin eğimlerini göz önüne aldığından, zaman-düşüm verisi ölçülürken zaman adımlarının küçük olması yöntemlerin güvenilirliği açısından önemlidir. Büyük zaman adımları, eğim hesabında hataya yol açmaktadır. Bu metotlar, akifer heterojenliğinden dolayı akifer parametre değerlerinin pompaj devam ettikçe zamanla farklı değerler aldığı verebilmesi açısından önemlidir. Rai [7] ve Şen [8] yöntemleri parametre hesaplamalarında hazırladıkları tablo değerlerine ihtiyaç duyarken, Çimen [11] yöntemi ise sadece Theis formülüne ihtiyaç duyar. Theis [1] yöntemi ve tip eğrisi her ne kadar tam bir yöntem olsa da, tip eğri çakışmasından dolayı yapılan çok küçük bir hata, parametre değerlerini etkileyebilmektedir. Singh [9] yöntemi ise, pompajın erken zamanlarındaki düşüm değerlerini göz önüne aldığı için, bazı gözlem kuyularında yöntemdeki parametreler elde edilememekte olması bir dezavantajdır, ancak pompa maliyeti açısından en ekonomik parametre hesaplama yöntemidir.

4. Sonuç

Bu makale, üç gözlem kuyusunda ölçülmüş zaman - düşüm verisi üzerinde çeşitli yöntemlerin uygulanmasını ve bu yöntemlerin hata değerleriyle birlikte birbirleriyle kıyaslanmasını ele almaktadır. Küçük çaplı kuyulara doğru basınçlı yeraltı suyu akımında, akifer parametre analizlerinde her ne kadar Theis [1] yöntemi yaygın olarak kullanılıyor olsa da, tip eğri çakıştırılması sırasındaki zorluk nedeniyle, tip eğri ile arazi verisinin tam olarak çakıştırılamaması nedeniyle parametre tahminlerinde hatalara rastlanabilmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan arazi verisi için, Çimen [12] yöntemi uygulanması en kolay ve en güvenilir yöntem olarak bulunmuştur. Akifer heterojenliği araştırılmak istendiği zaman, Rai [7], Çimen [11] ve Şen [8] yöntemleri, sırasıyla, en güvenilir yöntemler olarak elde edilmiştir.

Kaynakça

[1] Theis, C.V. 1935. The Relation Between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using

Ground Water Storage. Transactions, American Geophysical Union, 16, 519-524.

- [2] Şen, Z. 1995. Applied Hydrogeology for Scientists and Engineers. Lewis Publishers, New York, 232s.
- [3] Batu, V. 1998. Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis. John Wiley & Sons, INC., New York, 727s.
- [4] Lohman, S.W. 1979. Ground-Water Hydraulics. U.S. Geological Survey Professional, Washington, Paper 708, 70s.
- [5] Cooper, H.H., Jr., Jacob, C.E. 1946. A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History. Transactions, American Geophysical Union, 27, 526-534.
- [6] Chow, V.T. 1952. On the Determination of Transmissivity and Storage Coefficients from Pumping Test Data. Transactions, American Geophysical Union, 33, 397-404.
- [7] Rai, S.P. 1985. Numerical Determination of Aquifer Constants. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 111(7), 1110-1114.
- [8] Şen, Z. 1986. Determination of Aquifer Parameters by the Slope Matching Method. Ground Water, 24(2), 217-223.
- [9] Singh, S.K. 2000. Simple Method for Confined-Aquifer Parameter Estimation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, 126 (6) 404-407.
- [10] Singh, S.K. 2001. Confined Aquifer Parameters From Temporal Derivative of Drawdowns. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 127(6), 466-470.
- [11] Çimen, M. 2008. Confined Aquifer Parameters Evaluation by Slope-Matching Method. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 13(3), 141-145.
- [12] Çimen, M. 2009. Effective Procedure for Determination of Aquifer Parameters From Late Time-Drawdown Data. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 14(5), 446-452.