



Teknik Not / Technical Note

## Değişken Debili (Kademeli) ve Sabit Debili Pompa Testi Planlaması, Analitik ve Sayısal Analizlerinin Değerlendirilmesi

*Step Test and Constant Rate Pump Test Planning, Evaluation of Analytical and  
Numerical Analysis*

**Emrah DİRMİT**

*Yaşamkent Mah. 3250 cad. No:7/45, 06810, Ankara*

Geliş (Received): 31 Mart (March) 2020 / Düzeltme (Revised): 26 Haziran (June) 2020 / Kabul (Accepted): 14 Temmuz (July) 2020

### ÖZ

Hidrojeolojik araştırma çalışmalarında akifer parametrelerinin belirlenmesinde yaygın yöntem olarak uzun süreli sabit debili pompa testleri uygulanmaktadır. Yeni açılan kuyularda (kuyu geliştirme çalışmaları tamamlandıktan sonra) kademeli pompa testi yapılarak, kuyunun akifer ile olan etkileşiminin ön analiz süreci gerçekleştirilmelidir. Kademeli (değişken debili) pompa testi çalışmalarından, akiferin iletimliliği (T) ve kuyu kayıpları gibi önemli parametrelerin analizinde yardımcı araç olarak kullanılmalıdır. Böylece uzun süreli pompa testi için doğru pompa seçimi ve akifer parametreleri hakkında daha güvenilir bilgiler elde edilmesi sağlanabilecektir. Yapılan bu çalışma Kayseri ili, Himmetdede beldesi sınırları içerisinde, madencilik faaliyeti yürüten işletmenin susuzlaştırma çalışmalarına katkı sağlamak ve hidrojeolojik yapının ortaya konulması amacıyla proje alanı içerisinde birçok gözlem kuyusu ve susuzlaştırma kuyusu açılmıştır. Açık ocak maden susuzlaştırma çalışmalarına katkısının önemli olduğu düşünülen SK- 1 kuyusunda gerçekleştirilen kademeli pompa testi ve sabit debili pompa testi sonuçları bu çalışmada tartışılmıştır. Çıkan düşüm değerlerine, farklı analitik çözüm yöntemleri kullanılarak akifer iletimliliği (T) ve kuyu kayıp katsayısı (C) değerlerinin hesaplamaları yapılmıştır. Uzun süreli pompa testinin farklı sayısal yöntemler kullanılarak analizleri sunulmuştur. Çıkan sonuçların karşılaştırmaları yapılarak, hem analitik hem de sayısal yöntemlerin, akifer parametrelerinin çözümüne sağladığı katkılar sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Akifer iletimlilik (T), Kademeli (Step) pompa testi, Kuyu kayıpları, Sabit debili pompa testi, Maden Susuzlaştırma

### ABSTRACT

*In hydrogeological research studies, long-term constant flow pump tests are used as a common method for determining aquifer parameters. After the well development studies is completed in newly drilled wells, a preliminary analysis process of the well's interaction with the aquifer should be carried out by conducting a step drawdown test. Aquifer transmissivity (T) and the well loss parameters (C) should be determined by analyzing step drawdown test at variable discharge rate. Thus, for long-term pump testing, accurate pump selection and more reliable information about the transmissivity (T) of aquifer can be obtained. In this study was conducted within the borders of Himmetdede in Kayseri province, and many observation wells and dewatering wells were opened within the project area in order to contribute to the dewatering works of the enterprise carrying out mining activities and to reveal the hydrogeological structure. Constant rate pump test and step test results in SK-I dewatering well, which is thought to be important for open pit mine dewatering studies, are discussed in this study. Aquifer transmissivity (T) and well*

*loss coefficient (C) values were calculated using different analytical solution methods. Analysis of long-term pump testing using different numerical methods is presented. Comparisons of the results were made and the contributions of both analytical and numerical methods to the solution of aquifer parameters were presented.*

**Keywords:** *Aquifer Transmissivity (T), Constant Rate Pump Test, Step Test, Well Loss , Mine Dewatering.*

## GİRİŞ

Açık ocak madencilik faaliyetinin yürütüldüğü alan içerisinde akiferin hidrojeolojik özellikleri; akifer iletkenliği (T), hidrolik iletkenlik (k) ve akifer depolama katsayı (S) değerlerinin bulunması için birçok kuyuda sabit debili pompa testi ve değişken debili pompa testi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, hidrojeolojik yapı içerisinde önemli görülen SK-1 derin kuyusunda, değişken debili pompa testi planlaması ve elde edilen değişken debili pompa testi sonuçlarını farklı analiz yöntemleri uygulanarak, analitik çözümlerinin değerlendirilmesi sunulmuştur. SK-1 kuyusunda gerçekleştirilmiş olan sabit debili pompa testi sonuçlarının; farklı analitik yöntemlerle analiz edilmiş değişken debili test sonuçları ile sayısal yöntemlerle analiz edilmiş sabit debili test sonuçlarının karşılaştırılarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

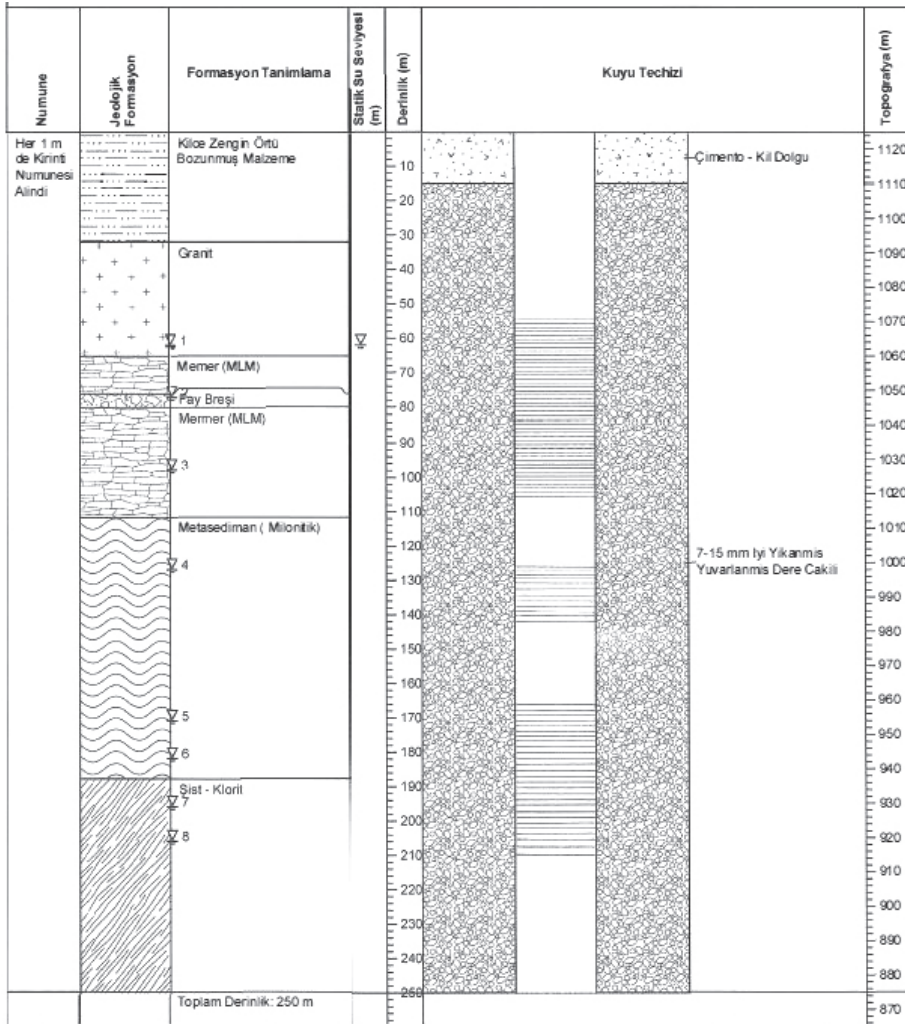
## PROJE ALANI GENEL JEOLJİSİ VE KUYU BİLGİLERİ

Proje alanı Kızıl Irmak havzası, Himmetdede alt havzası içerisinde bulunmaktadır. Genel jeoloji verileri MTA tarafından hazırlanan 1/100 000 ölçekli jeoloji haritaları ve alanda daha önceden yapılan literatür çalışmalarından derlenmiştir. Bölgenin temeli, Kırşehir masifi olarak tanımlanan, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ile Üst Kretase yaşlı ofiyolitik kayalardan ve bunları kesen Senoniyen yaşlı plütonik kayalardan oluşmaktadır.

Proje alanı içerisindeki formasyon genel itibari ile genç yaşlı örtü karasal sedimanter birim Ürgüp formasyonu altında metasediman kaya karmaşığında oluşmaktadır. Bu metasediman kaya karmaşığının içerisinde; rekristalize mermerler, granit, gnays ve şist gibi farklı jeolojik birimleri bulundurmaktadır. Yapılan madencilik arama sondaj çalışmaları faaliyetlerinden elde edilen karot bilgileri ve sahada gerçekleştirilen akifer test sonuçlarına göre; hidrotermal alterasyona bağlı bozunmalar, hidrolik iletkenlik değerlerini düşürmektedir. Faylanmalar ile kırık çatlak sistemlerine bağlı ikincil gözeneklilik gelişmektedir. Bu gibi yapıların varlığı da hidrolik iletkenlik değerini yükseltici özelliklerde görülmektedir. Jeolojik formasyon içerisinde hidrojeolojik birimler serbest ve yarı basınçlı – basınçlı akifer özellikleri göstermektedir.

SK- 1 susuzlaştırma kuyusu; UTM ED50 koordinat sisteminde 678203, 4313817, 1224 kotunda 250 m derinlikte rotary sistem ile açılmıştır. Kuyu çapı ilk 150 m 17.5 inç, son 100 m 15.5 inç olarak delgi çalışması gerçekleştirilmiştir. Kuyu içerisine çapı 225 mm uPVC teçhiz yerleştirilmiş, bunun 112 m filtreli, 138 m kapalı boru ile geçilmiştir.

Kuyu içi jeofizik log çalışmalarından elde edilen bilgilere göre; formasyondan su gelişi 8 farklı noktadan çeşitli debilerde gerçekleşmiştir. Özellikle yaklaşık 70 m ile 100 m arasında bulunan geçirimli birimin yarı basınçlı akifer özelliği taşıdığı düşünülmektedir. Kuyu statik seviyesi; 62.8 m' dir. SK-1 Kuyu Logu Şekil 1' de sunulmuştur.



Şekil 1. SK-1 Kuyu Logu.

Figure 1. SK-1 Well Log.

## DEĞİŞKEN DEBİLİ (KADEMELİ) VE SABİT DEBİLİ POMPA TESTİ PLANLAMASI

Değişken debili ve sabit debili pompa testinin analizi; kuyu düşüm verilerinden yapılacağı için verilerin doğruluğu önem taşımaktadır. Veriler toplanırken belirli zaman aralığında, deşarj miktarı kayıt altına alınarak yapılmalıdır. Kuyu düşüm verilerinin toplama işlemi; sıç

kuyularda düdüklü metre, derin kuyularda ise su seviye ölçüm sensörleri veya her iki yöntem birlikte kullanılarak yapılmalıdır. Akiferdeki düşüm sırasında debi değeri de düşecektir, debinin sabitlenmesi için vana ile ayarlama yapılmamalıdır. Debi takibi ise çıkış ve / veya deşarj borusu üzerinde su basınç ölçer saati ve eğer kuyudan gaz çıkışı yoksa orifis montajı yapılarak takip edilebilir. Bu yöntemde hata payı yaklaşık olarak %2' dir. (Johnson, 1966).

### Değişken Debili Test Kademe Sayısı

Değişken debili testlerde kademe sayısı en az 4 adet olmalıdır. Grafik analizlerinin doğruluğu veri noktalarının sayısına bağlıdır. Spesifik düşüm ve debi grafiğinde en az dört noktanın kullanılması önerilir (Clark, 1977).

Her bir kademede seçilen debi miktarı artışları, belirli bir oran içerisinde eşit miktarda gerçekleştirilmelidir. SK-1 kuyusunda eşit miktarlarda artış Q1, Q2, Q3, Q4 ve 1 adet eksik debi artışı gerçekleştirilerek Q5 olmak üzere 5 kademede test gerçekleştirilmiştir. Test sırasında önemli olan ardışık en az 4 kademedenin olmasıdır.

### Değişken Debili Test Kademe Uzunluğu

Bir testteki kademe uzunluğu çekim yapılan akiferin özelliklerine göre değişebilir. Eden – Hazel yönteminde adımlar 60 dk. az olarak seçilebilir. Yarı log diyagramlarda analiz açısından kolaylık sağlamak için 100 dk. olarak alınır. Yeterli zaman var ise ve eğer düşüm sabitleniyorsa 3 saatlik kademelerde ayarlanabilir. Özellikle Theis analizi için yeterli veri sağlayacaktır (Clark, 1977). Birinci kademede çekilen debi miktarına göre akiferde gerçekleşen düşümün yavaşlaması ya da sabitlemesi ölçüm aralığını vermektedir. Yaygın çalışma yöntemi olarak serbest ve yarı basınçlı akiferlerde 1 sa. ve 4 sa. arasında kademe uzunluğu seçilmektedir. SK-1 kuyusunda gerçekleştirilen akifer testlerinde kademe uzunluğu, ilk kademede akiferde gerçekleşen düşümün sabitlendiği zaman aralığı olan 2 sa. (120 dk.) alınmıştır.

### Sabit Debili Pompa Testi Planlaması

Sabit debili pompa testi ile değişken debili pompa testinin birlikte uygulanması önerilmektedir. Öncelikle 4 ya da 5 kademe değişken debili pompa testi yapıp kuyu geri yükselimi tamamlandıktan sonra, elde edilen verilerden, analizler yapılarak kuyu kayıpları hesaplanmalıdır. Bu hesaplamalar ile nihai sabit debi seçmemize ve elde edilen sonuçlara göre kuyu içi ve dışında düşüm tahmini yapmamıza kolaylık sağlamaktadır.

Sabit debili pompa testleri genellikle 24 sa. veya 72 sa. süre ile gerçekleştirilmektedir. Testin tamamlanabilmesi için kuyuda geri yükselimin en az %95 oranında gerçekleşmesi gerekmektedir. Çalışma alanı ve çevresinde farklı sınır koşullarını ve düşümlerini gözlemek için test süresi uzatılabilir. SK-1 kuyusunda sabit debili pompa testi 192 sa. (8 gün) süre ile yapılmış ve geri yükselimi testi ile tamamlanmıştır.

### KADEMELİ (DEĞİŞKEN DEBİLİ) POMPA TESTİ TEORİSİ VE ANALİZİ

Yeraltı suyu çekimi gerçekleştirilen kuyularda düşüm iki farklı bileşenden meydana gelmektedir. Toplam düşümün içerisinde akifer kayıpları ve kuyu kayıpları vardır. Kademeli pompa testi bu iki bileşeni açıklamakta kullanılmaktadır.

Akifer kayıpları; akışın laminar olduğu akiferlerde, kuyudaki düşüm karşısında meydana gelen hidrolik yük kayıplarıdır (Clark, 1977). Diğer bir bileşen olan kuyu kayıpları ise kuyu cidarı, çakıl zarfı ve filtrelili kısımlarda türbülanslı akıma ve laminar akım etkisi altında gerçekleşen hidrolik yük kayıplarıdır (Kruseman ve Ridder, 2000).

Tüm analiz yöntemlerinin teorisi, Jacob'un çalışmasının üzerine geliştirilerek farklı çözüm yöntemleri sunulmuştur. Kademeli pompa testi kuyu etki yarıçapını tanımlamak yerine genellikle kuyu kayıplarını ve akifer iletkenliğini (T) öğrenmek için tercih edilmektedir. Jacob analizi (denklem 1) ve Bierschenk – Wilson analizi (denklem 3) tüm akifer tiplerinde çözüm sunmaktadır. Bu yöntemlerde bilinmeyen b ve c katsayılarının bulunması ve Eden – Hazel

(basıncı akifer) çözüm yönteminde (denklem 9) a, b, C katsayıları bulunarak, akiferin iletkenliği ve depolama katsayısı bulmada hidrojeologlara yardımcı olmaktadır.

Belirtilen analitik yöntemlerin çözümünde, Çizelge 1' de sunulan SK-1 kuyusuna ait düşüm verileri kullanılarak analizler yapılmıştır. Analitik çözümleri yapılan analiz yöntemleri aşağıda sıralanarak gösterilmiştir.

Çizelge 1. SK-1 Kademeli Pompa Testi Verileri.

Table 1. SK-1 Step Test Data.

Kademe (Step)	1	2	3	4	5	Yükselim
Pompaj Miktarı (m <sup>3</sup> /gün)	511.2	720	964.8	1200	1248	0
Step Ölçüm aralıkları (dk)	Düşüm (m)					Yükselim (m)
1	5.420	10.041	17.949	28.91	42.739	36.357
2	6.072	11.738	20.055	30.372	43.569	25.918
3	6.330	12.625	21.487	32.323	44.196	17.899
4	6.673	13.266	22.468	33.743	44.495	13.498
5	7.103	13.583	23.367	35.010	44.696	10.636
6	7.463	14.036	23.898	36.056	44.792	8.13
8	7.956	14.627	24.832	37.206	44.960	6.455
10	8.042	14.794	25.253	38.027	45.096	4.675
12	8.045	15.057	25.749	38.505	45.243	3.357
15	8.205	14.951	25.992	38.845	45.478	2.643
18	8.243	15.153	26.256	39.128	45.554	0.992
22	8.378	15.22	26.614	39.299	45.674	0.4
26	8.419	15.474	26.746	39.532	45.871	
30	8.480	15.431	26.926	39.712	45.961	
35	8.570	15.589	26.972	40.095	45.928	
40	8.614	15.619	27.162	40.196	46.220	
45	8.768	15.823	27.302	40.371	46.293	
50	8.863	15.803	27.390	40.569	46.521	
60	8.881	15.995	27.683	41.019	46.755	
70	9.084	16.149	27.864	41.164	46.856	
85	9.085	16.324	27.978	41.434	47.134	
100	9.228	16.307	28.114	41.766	47.357	
120	9.309	16.599	28.331	42.139	47.665	
150					47.880	

### Jacob Analizi

1946 yılında Jacob çekim gerçekleştirilen kuyudaki düşümü hesaplamak için iki bileşen arasındaki ilişkiyi aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

$$s_w = BQ + CQ^2 \quad (1)$$

$s_w$  = Toplam Düşüm

$BQ$  = Akifer Kayıpları

$CQ^2$  = Kuyu Kayıpları

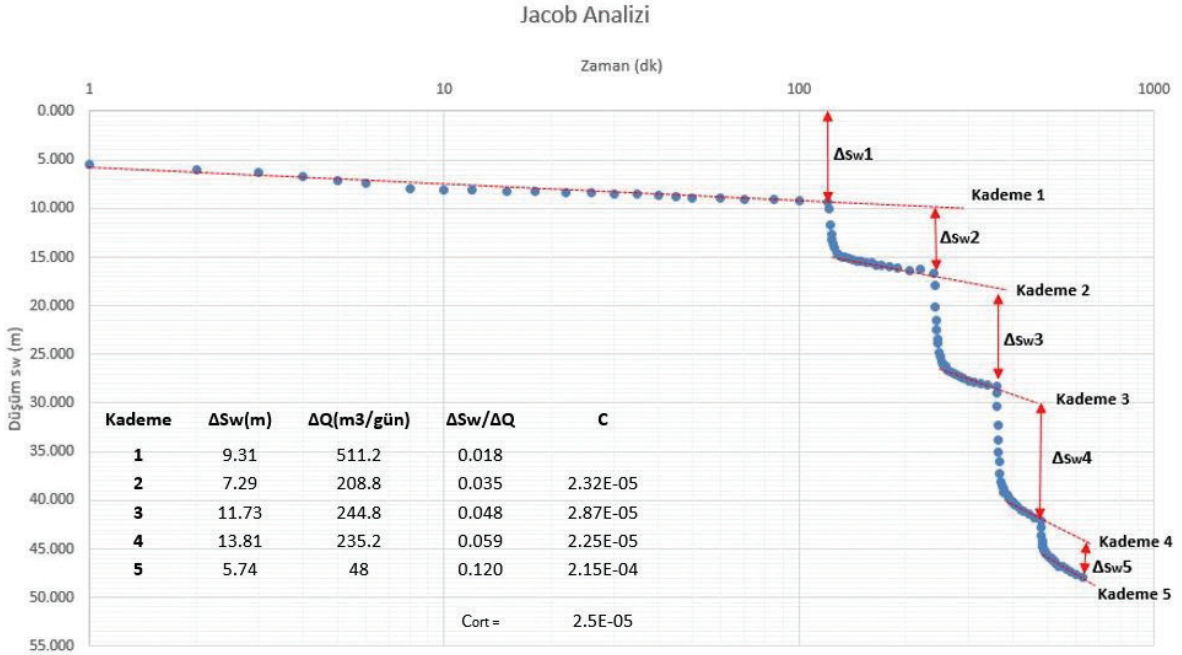
Jacob kuyu kayıp katsayısını (C) hesaplamak için aşağıdaki formülü geliştirmiştir:

$$C = \frac{(\Delta s_w^i / \Delta Q^i) - (\Delta s_w^{i-1} / \Delta Q^{i-1})}{\Delta Q^{i-1} + \Delta Q^i} \quad (2)$$

Analizin uygulanabilmesi için düşüm – zaman grafiği yarı log olarak çizilmeli ve her bir kademe için düşüm farkları ile kademeler arası debi farkları kullanılarak kuyu kayıp katsayısı (C) değerleri; denklem 2 kullanılarak hesaplanmıştır. C değerinin bulunmasında, kademe başına elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır (Walton, 1962). Şekil 2 'de düşüm zaman grafiğinde Jacob analizi çözümü sunulmaktadır.

### Bierschenk ve Wilson Analizi

Bu analiz yönteminde Jacob'un sunduğu 1 nolu denklemde, her iki tarafı Q'ya bölerek bir doğru denklemi oluşturulmuştur. Denklem 3' de sunulmuştur:



Şekil 2. Jacob analizi.

Figure 2. Jacob analysis.

$$s_w / Q = B + C Q \quad (3)$$

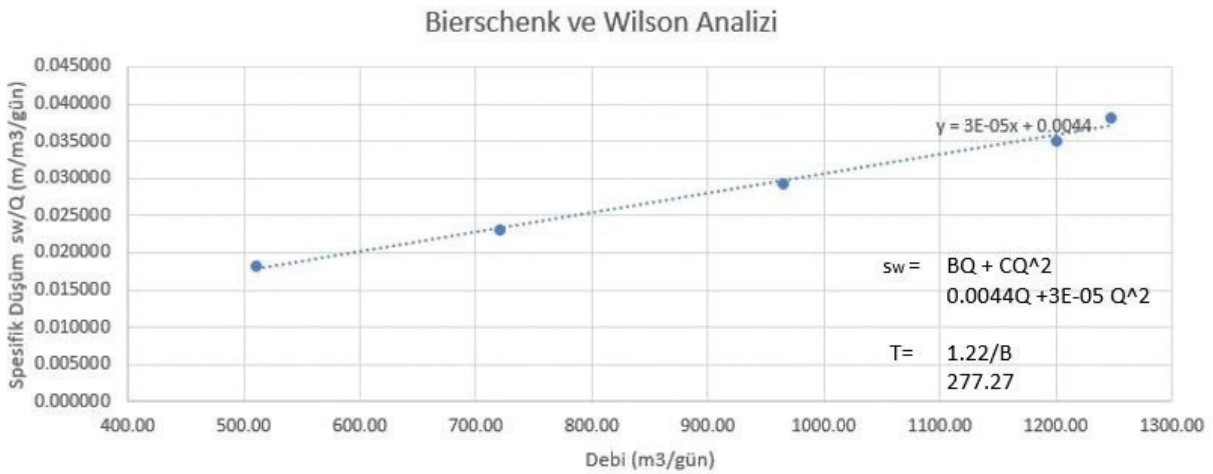
Her bir kademede toplam düşüm ile toplam çekim miktarı birbiri ile orantılanarak spesifik düşüm ( $s_w / Q$ ) değeri elde edilmiştir. Şekil 2 'de kademelerde spesifik düşüm'e karşılık toplam çekim (Q) miktarları işaretlenerek bir doğru elde edilmiş ve Şekil 3'de sunulmuştur. Bu doğrunun eğimi bize kuyu kayıp katsayısını (C) vermektedir.

Bu denklem şu şekilde yazılabilir;

$$s_w = (a + b \log t) Q \quad (5)$$

burada;

$$a = \frac{2.30 Q}{4\pi K D} \log \frac{2.25 T}{r_{ew}^2 S} \quad (6)$$



Şekil 3. Biershenk ve Wilson analizi.

Figure 3. Biershenk and Wilson analysis.

### Eden – Hazel Analizi (Basınçlı Akifer)

Eden - Hazel (1973) ilk defa kademeli pompa testini akifer parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmasını önermiştir (Clark, 1977). Jacob denklemini temel alınarak Theis denklemine uyarlanması ile elde edilen denklem:

$$s_w = \frac{2.30 Q}{4\pi K D} \log \frac{2.25 K D t}{r_{ew}^2 S} \quad (4)$$

$$b = \frac{2.30 Q}{4\pi T} \quad (7)$$

n. Kademeli t zamanına göre türetirsek;

$$s_{w(n)} = a Q_n + b \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \log(t - t_i) \quad (8)$$

burada;

Dirmit

$Q_n$  = n. kademedeki sabit debi

$Q_i$  = n. adımdan önceki sabit debi

$\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$  =  $t_i$  zamanında deşarj artışı

$t_i$  = i. adımın başladığı zaman

$t$  = test başlangıcından bu yana geçen süre

$$s_{w(n)} = aQ_n + bH_n + cQ_n^2 \quad (9)$$

Burada;

$$H_n = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i \log(t - t_i) \quad (10)$$

Bu yöntemin uygulanabilmesi için şu varsayımlarda bulunmaktadır.

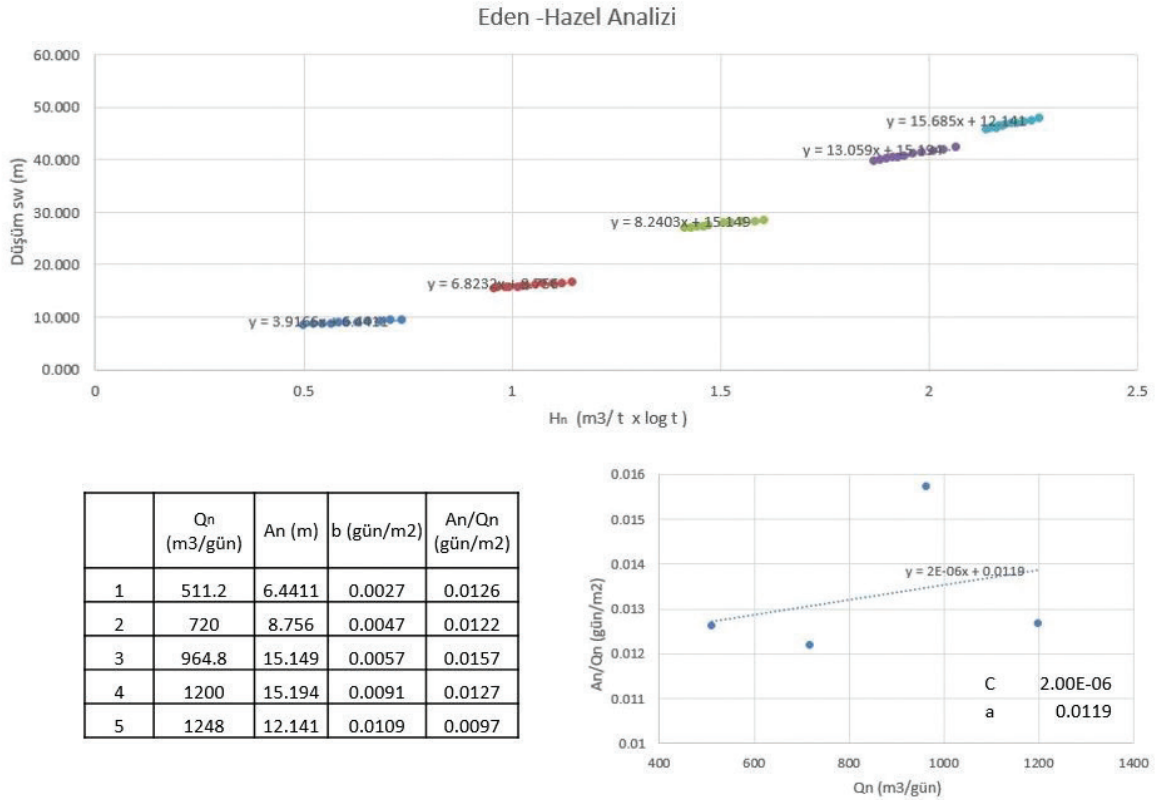
- Kuyuya gerçekleşen akım kararsızdır.

- Kuyu faktörü  $u < 0.01$

- Türbülans kaynaklı kuyu kayıpları ( $CQ^p$ ) katılır.

$p$  katsayısı debi ( $Q$ ) değerine bağlı olarak 1,5 ile 3,5 arasında değerleri alabilir (Lenox 1966) Jacob denkleminde önerildiği gibi  $n = 2$  olarak alınması büyük ölçüde kabul görmektedir (Ramey, 1982; Skinner, 1988).

Yöntemin çözümüne  $H_n$  değerinin hesaplanması ile başlanır. Daha sonra gözlenen  $s_{wn}$  değeri ile hesaplanan  $H_n$  değeri arasında grafik çizilir. Şekil 4'de grafik üzerinde belirtilen noktalara oturan en uygun doğru çizilir. Bu doğrunun eğimi bize  $b$  değerini vermektedir.  $H_n = 0$  olduğunda ise  $A_n$  değerleri okunur.



Şekil 4. Eden – Hazel analizi.

Figure 4. Eden - Hazel analysis.



$$\frac{A_n}{Q_n} = a + CQ_n \quad (11)$$

Her kademe için okunan  $A_n$  değerleri ile  $Q_n$  değerleri birbirine bölünür ve her kademeye düşen debi ile grafik Şekil 4' deki gibi çizilir. Bu grafik üzerine oturan doğrunun eğimi bize C değerini vermektedir.  $Q_n = 0$  olduğunda ise bize a değerini vermektedir. b değeri de bilindiği için 6 numaralı denklemde yerine konularak her bir kademe için iletimlilik T değeri hesaplanır.

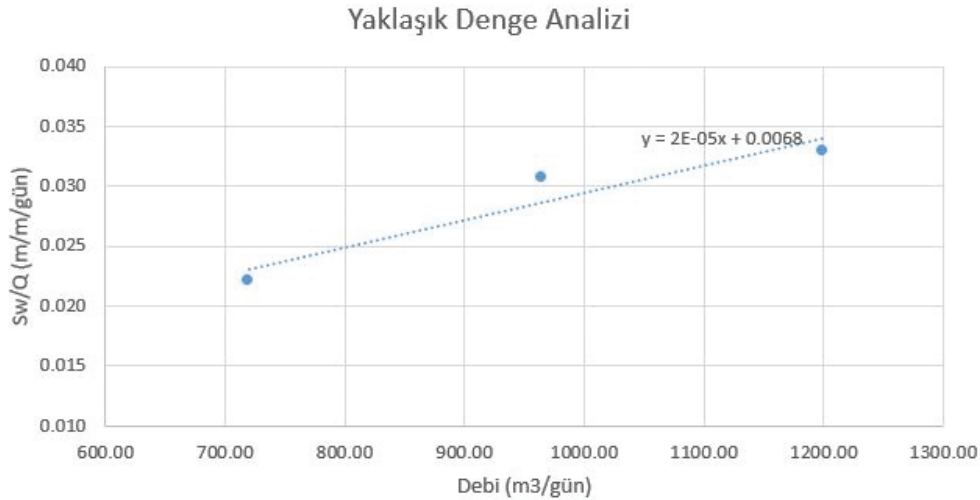
### Yaklaşık Denge Analizi

Bundan önce gerçekleştirilen 3 yöntemden elde edilen, spesifik düşüm - debi değerlerinin

ortalaması alınarak hesaplanmaktadır. Hesaplama Jacob analizi üzerinden gerçekleştirilmektedir. Kararlı olarak anılan adımlar 2., 3., 4. adımların spesifik düşüm - debi grafiği oluşturulur. Grafik üzerindeki en uygun noktaları birleştiren doğrunun eğiminin kuyu kayıp katsayısı (C) vermektedir.  $Q_n = 0$  olduğunda ise B katsayısını vermektedir Şekil 5' de sunulmuştur.

### KUYU VERİMİ HESAPLANMASI

Kademeli pompa testi analizini yaparken, spesifik düşümün toplam çekim ile orantılanması ile hesaplama yapılmıştı, Şekil 3' de Biershenk ve Wilson Analizi de sunulmuştur.



	$Q_n$	$Sw/Q$		
<b>1</b>	511.20	0.016		
<b>2</b>	720.00	0.022	<b>C</b>	<b>2.00E-05</b>
<b>3</b>	964.80	0.031	<b>B</b>	<b>0.0068</b>
<b>4</b>	1200.00	0.033		
<b>5</b>	1248.00	0.044		

Şekil 5. Yaklaşık denge analizi.

Figure 5. Approximate balance analysis.

Kademeli pompa testinin yapılmasındaki asıl amaçlardan biri kuyu kayıplarının ortaya konulmasıdır. Özellikle, test kuyusu çevresinde gözlem kuyusu bulunmayan testlerin analizinde önemlidir. Kuyu kaybının bilinmesi; uzun süreli pompa testlerinden elde edilen düşümden, kuyu kaybının çıkartılması ile doğru akifer parametresi hesaplanabilmesini sağlamaktadır.

Sadece tek kuyuda hesaplama yaparken kuyu kayıplarının göz ardı edilmesi iletimliliğin azalmasına neden olmaktadır (Clark, 1977).

Kuyu kayıpları genellikle kuyu verimi olarak adlandırılmaktadır. Kuyu veriminin hesaplanmasında akifer kaybının, toplam düşüme oranlarak hesaplanması aşağıda sunulmuştur:

$$\text{Kuyu Verimi} = \frac{BQ}{(BQ+CQ^2)} \times 100 \quad (12)$$

Kuyu verimi, kademe testi sırasında her bir kademe için ayrı ayrı hesaplanır. Hesaplanan değerlerin aritmetik ortalaması alınarak kuyu kayıp oranı ortaya çıkmaktadır.

Kuyu kayıp oranının yüksek çıkması kuyunun kötü bir şekilde tasarlanmış olabileceğini gösterebilir. Bunun yanında kuyu içerisinde türbülanslı akım ve sürtünme kayıpları da kuyu kayıp oranını etkilemektedir. Kuyu kayıp oranları ancak benzer akifer alanlarında, benzer derinlikli kuyularda karşılaştırma sağlamak için önem taşımaktadır.

## AKİFER PARAMETRESİ HESAPLANMASI

Akifer parametrelerinin hesaplanmasında hem analitik yöntemler hem de sayısal yöntemler kullanılmıştır. Analitik yöntemlerden; Bierschenk – Wilson analizi tüm akifer tiplerinde çözümü, Eden – Hazel analizi basınçlı akifer tiplerinde çözümü ve yaklaşık denge

analiz çözümü tüm akifer tiplerinde, akifer parametrelerinin hesaplamaları yapılmıştır. Son yıllarda sıklıkla kullanılan sayısal analiz programlarının yardımıyla, düzeltilmiş düşüm verileri üzerinden, farklı tip akiferlerde sayısal çözümler gerçekleştirilmiştir. Sayısal çözüm programı olarak 1989 yılından beri kullanılan Aqtesolv programı kullanılmıştır. Analitik ve sayısal yöntemlerle elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de sunulmuştur.

Hem analitik hem de sayısal yöntemlerin uygulanması aynı teorik kaynağa sahiptir. Akifer parametrelerinin hesaplanmasında teorik bilgileri ve uygulamaları aşağıda yer almaktadır.

### Akifer İletimliliğinin Hesaplanması

Dengeye ulaşan her adımdan elde edilen spesifik düşüm – debi değeri kullanılarak Şekil 2 iletimlilik değeri hesaplanabilir. Yaklaşık denge analizinde de kullanıldığı gibi kademeli pompa testinin ilk adımındaki veriler kuyu kayıpları düzeltildikten sonra Theis, Thiem ve sızıntılı akifer yöntemlerinden biri uygulanarak iletimlilik değeri hesaplanabilir.

Basitleştirilmiş Thiem kararlı akım formülü:

$$T = \frac{2.3 Q}{2 \pi s_w} \log \frac{r_i}{r_w} \quad (13)$$

Burada;

$r_w$  = Efektif kuyu çapı

$r_i$  = Kuyunun etki yarı çapı

Muskat, 1937 yılında  $\log r_i / r_w$  değerinin çok küçük bir değer olduğunu söylemiştir. Logan, 1964 yılında bu değerın 3.3 alınabileceğini belirtmiştir. Böylece Thiem denklemi şu şekli almıştır:

$$T = \frac{1.22 Q}{s_w} \quad (14)$$

Eden – Hazel grafik analitik çözüm yönteminde her bir kademe için hesaplanan b değerleri denklem 7’de yerine konularak her kademe için iletilimlik değerleri hesaplanır. Analitik doğrusal denklemlerden ve sayısal çözümlerden elde edilen sonuç değerleri Çizelge 2’de sunulmuştur.

### Akifer Depolama Katsayısı Hesaplaması

Eden – Hazel yönteminde denklem 6’da bulunan formülde düzenleme yapılarak şu denklik elde edilir:

$$S = \frac{4Tt}{r_w^2} \quad (15)$$

Eden – Hazel çözüm yönteminden analiz edilen düzeltilmiş kademe 1 verileri denklem 15’e yerleştirilir. Ancak sonucun bulunabilmesi için efektif kuyu çapının ( $r_w$ ) bilinmesi gerekmektedir. Bunun için tahminde bulunarak bir yaklaşım sergilenir. Sonuç olarak, akifer depolama katsayısı (S) hesaplanabilir.

Çizelge 2. Analitik ve sayısal analiz tablosu.

Table 2. Analytical and numerical analysis table.

Yöntemler		Kuyuda Düşüm denklemi	Teorik Kuyu Kaybı (m) Q=1200 m <sup>3</sup> /gün	Teorik Düşüm (m) 120 dk Q=1200 m <sup>3</sup> /gün	İletimlilik (T) m <sup>3</sup> /m/gün	Depolama Katsayısı (S)
Analitik Yöntem	Jacob		35.69			
	Bierschenk & Wilson	$s_w = (0.0044Q + 0.00003 Q^2)$	43.20	48.5	227.28	
	Eden - Hazel	$s_w = ((0.0119 + (0.0055) \log t) Q + 0.000002 Q^2)$	2.88	30.88	35.00	
	Yaklaşık Denge Analizi	$s_w = (0.0068Q + 0.00002 Q^2)$	28.80	36.96	39.61	
<b>Sabit Debili Pompa Testi Analizi</b>						
Sayısal Yöntem	Thies(1935)	Basıncılı Akifer		39.22*	34.84	4.84E-06
	Coper - Jacob				27.04	9.13E-05

\* 1250 m<sup>3</sup> /gün çekim miktarına karşı kuyu kayıplarından arındırılmış 120. dk gerçek düşüm değeri.

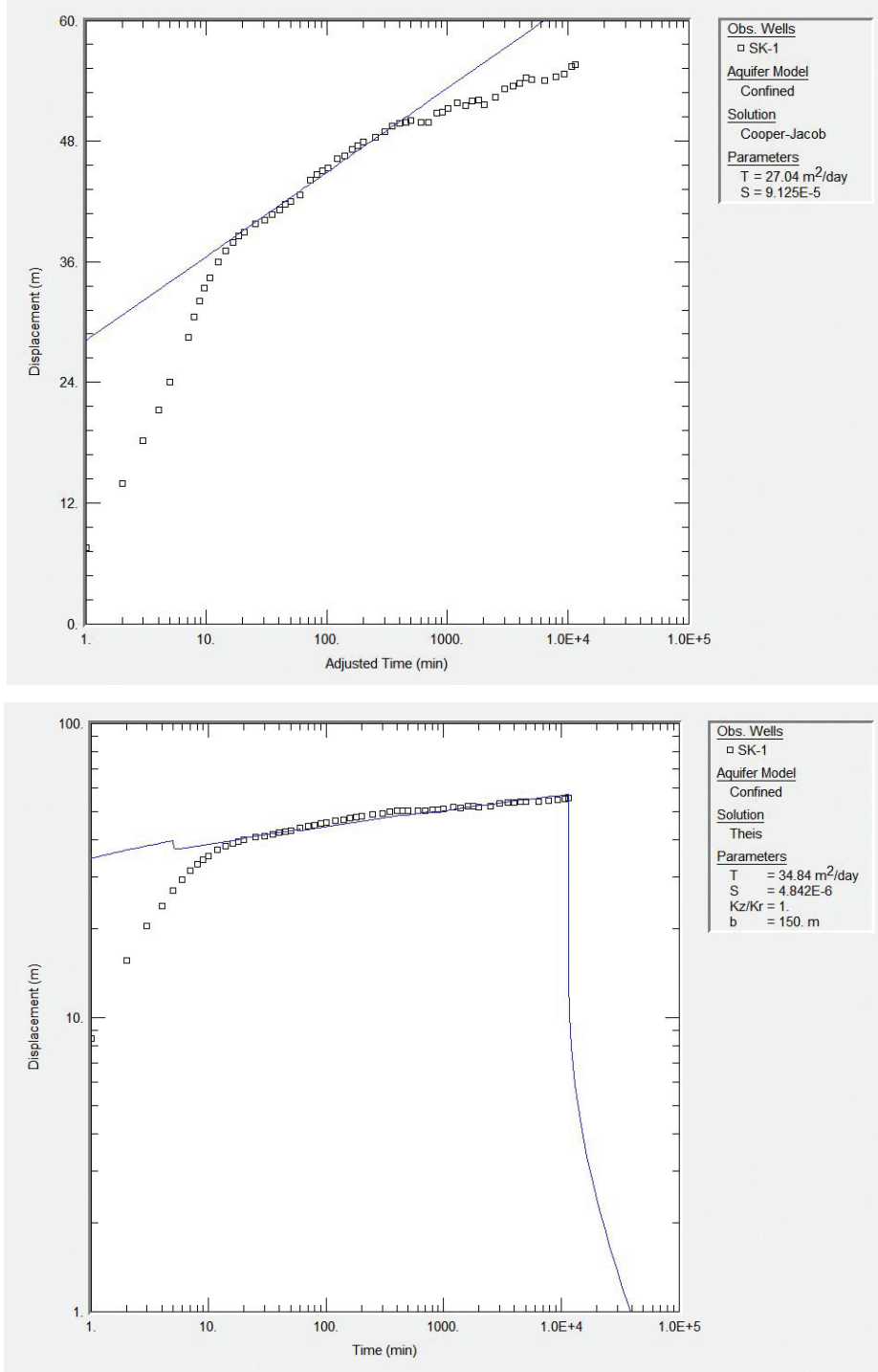
### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

SK-1 kuyusunda kademeli pompa testi ve sabit debili pompa testi gerçekleştirilmiştir. SK-1 kuyusunda üç analitik analiz yöntemi uygulanarak düşüm – debi ilişkisini gösteren denklemler türetilmiştir. Sabit debili pompa testinde ilk 120. dk düşüm karşılaştırılması sağlanmıştır. Çizelge-2’de kademeli pompa testi ve sabit debili pompa testi analitik ve sayısal analiz verilerin değerlendirme sonuçları sunulmuştur.

Himmetdede alt havzası karasal sedimanter örtü birimi serbest akiferi, derinlere inildikçe farklı jeolojik formasyonlar yarı basınçlı – basınçlı akifer tiplerine raslanmaktadır. Proje alanı içerisinde bulunan SK-1 kuyusunda akifer sistemi; akifer test sonuçlarına göre yarı basınçlı – basınçlı akifer özelliği taşıdığı görülmüştür.

Analitik yöntemlerle hesaplanan teorik kuyu kaybının 28.8 m ile 35.7 m arasında değiştiği görülmüştür. SK-1 kuyusu için kuyu kayıp oranı % 16.5 olarak hesaplanmıştır. Bu kuyu kayıp oranı kullanılarak, sabit debili pompa testi düşüm verileri düzeltilmiş ve akifer parametre analizi gerçekleştirilmiştir.

Dimit



Şekil 6. Sayısal çözüm sonuçları (Cooper and Jacob, 1946 ve Theis).  
 Figure 6. Numerical solution results (Cooper and Jacob, 1946 and Theis).

1250 m<sup>3</sup>/gün çekim yapılarak gerçekleştirilen sabit debili pompa testinde 120. dk düşüm değeri 39.22 m olarak ölçülmüştür. Yaklaşık denge analizi ile belirtilen formül ile hesaplandığında ( $s_w = (0.0068Q + 0.00002)$ ) teorik düşüm 39.80 m olarak görülmüştür. Elde edilen iki değer karşılaştırıldığında değerlerin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Akifer iletimliliğinin hesaplanmasında basınçlı akiferlerde kullanılan analitik yöntemlerin (Eden – Hazel ve Yaklaşık Denge Analizi) geometrik ortalaması 37.23 m<sup>3</sup>/m/gün olduğu görülmüştür. Basınçlı akiferlerde sayısal çözüm yöntemi çözümlerinin geometrik ortalaması 30.69 m<sup>3</sup>/m/gün olduğu hesaplanmıştır.

Akifer depolama katsayısının (S) değerlendirilmesinde ise analize katkı sağlayan iki sayısal yöntem sonuçları; Coper – Jacob çözüm yönteminde 9.13E-05 değeri ile Theis çözüm yönteminde 4.84E-06 değerlerini aldığı görülmüştür. Bu sonuçların geometrik ortalaması alındığında ise 2.10E-05 olduğu hesaplanmıştır. Kademeli pompa testleri sonucunda elde edilen kuyu kayıp oranı kullanarak hesaplanan düşüm değerlerinden, doğru akifer parametrelerinin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu sebeple kademeli pompa testleri, akifer parametrelerinin belirlenmesinde önemli bir kontrol ve değerlendirme mekanizması sağlamaktadır.

Akifer tipine göre uygun sayısal yöntemlerin seçilerek çözümlerin gerçekleştirilmesi, hesaplama hatalarını ortadan kaldırırken çözümlerin daha hızlı sonuçlanmasını sağlamaktadır. Bu da akifer parametrelerinin belirlenmesinde, veri sayısını artırarak karşılaştırma sağlamasına yardımcı olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Clark, L., 1977. The analysis and planning of step drawdown tests. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 10, 125-143.
- Cooper, H. H., Jacob, C. E., 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. American Geophysical Union Transactions, 27, 526-534.
- Eden, R. N., Hazel, C. P., 1973. Computer and graphical analysis of variable discharge pumping tests of wells. Civil Engineering Trans. International Engineering, Austria, 5-10.
- Hazel, C. P., 1973. Lecture notes: Groundwater Hydraulics. Australian Water Resources Council. (yayınlanmamış).
- Jacob, C.E., 1946. Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Proc. Am.Soc. Civil Engineers, 79 (5).
- Johnson, E. E., 1966. Groundwater and wells, a reference book for the water-well in industry, Edward E. Johnson, Inc. Saint Paul, Minnesota, 440p.
- Kruseman, G.P., N.A. de Ridder, 2000. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, Second Edition, Publication 47. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 377 p.
- Lennox, D.H., 1966. Analysis and application of step-drawdown tests. Journal of Hydraulics Division, ASCE, 92 (6), 25-47.
- Logan, 1., 1964. Estimating transmissibility from routine production tests of water wells. Ground Water, 2, 35-37.
- Muskat, M., 1937. The flow of homogeneous fluids through porous media. McGraw Hill Book Co., New York.
- Ramey, H. J., 1982. Well-loss function and the skin effect: A review. In: Narasimhdn, T.N. (ed.) Recent trends in hydrogeology. Geol. Soc. Am., Special Paper, 189, pp. 265-271.

Skinner, A. C., 1988. Practical experience of borehole performance evaluation. *Journal of Institution of Water Environmental Management*, 2, 332-340.

Walton, W. C., 1962. Selected analytical methods of well and aquifer evaluation. Bull. 49. State of Illinois. Department of Registration and Education, Urbana, Illinois.