

Sayı (Number): 4



**Basınçlı Akifer Parametre Tahminlerinde  
Grafiksel Yöntemler**

Mesut Çimen

**Nisan (April) 2017  
İstanbul - Türkiye**

**YERALTI SUYU KÜLLİYESİ  
TURKISH WATER FOUNDATION  
GROUNDWATER FACULTY**

## YERALTI SUYU BÜLTENİ : SAYI 4

Basınçlı Akifer Parametre Tahminlerinde Grafıksel Yöntemler

*Mesut Çimen*

©2017 SU VAKFI

Tüm yayın hakları anlaşmalı olarak Su Vakfı'na aittir.  
Kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir, izinsiz çoğaltılamaz, basılamaz.

Basıma Hazırlayan :  
Muhiddin YENİGÜN



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul  
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390  
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr

# Basınçlı Akifer Parametre Tahminlerinde Grafiksel Yöntemler

Mesut Çimen

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fak., İnşaat Mühendisliği Böl., 32260 Isparta

mesutcimen@sdu.edu.tr

## 1. Giriş

Akiferler, genel olarak basınçlı ve basınçsız olmak üzere iki tipte ele alınırlar. Bu tip akiferler içerisine başka bir akiferden (veya bir rezervuardan) bir beslenme ya da bu tipteki akiferlerden başka bir akifer içerisine bir boşalım olması durumunda isimleri sızıntılı basınçlı/basınçsız akiferler olarak anılırlar. Bu çalışmada göz önüne alınacak olan basınçlı akiferler, geçirimsiz jeolojik kayalar tarafından alttan ve üstten sınırlanmış akiferler olarak tanımlanırlar.

Basınçlı akiferlerin hidrolik parametreleri olan iletim kapasitesi ( $T$ ) ve depolama katsayısı ( $S$ ) değerlerinin bilinmesi önemlidir. İletim kapasitesi, akifer kalınlığı boyunca sıkışmış halde bulunan yeraltı suyunun akiferin bir noktasından başka bir noktaya hareket edebilme yeteneğini ifade eder. İletim kapasitesi değerleri  $0,5 - 5000 \text{ m}^2/\text{gün}$  arasında değişebilmektedir. İletim kapasitesinin yüksek değerleri; akiferin yeraltı suyu iletimini kolayca sağlayacağını (hidrolik iletkenlik katsayısının büyük olduğunu), pompaj kuyusu tesir yarıçapının büyük olacağını ve pompaj kuyusu içerisinde düşüm miktarının az olması sebebi ile pompaj kuyusunun hemen etrafında Darcy kanununun geçerli olabileceğini ifade eder. Depolama katsayısı, akiferden alınabilecek toplam ye-

raltı suyu hacminin (Çekilebilecek hacim = Depolama katsayısı x Toplam akifer hacmi) bir göstergesidir. Depolama katsayısı değerleri  $1 \times 10^{-1} - 1 \times 10^{-6}$  arasında değişebilmektedir. Depolama katsayısının yüksek değerleri; akiferden çekilecek yeraltı suyu miktarının, pompaj kuyusu tesir yarıçapının ve akifer sıkışmasının büyük olacağını ifade eder (Bear, 1979; Şen, 1995; Batu, 1998; Şen, 2017).

Bu çalışma, basınçlı akifer parametrelerinin tahmin edilebilmesi için literatürde geçerli olan yöntemlerden biri olan grafiksel yöntemleri ele almaktadır. İkinci bölümde verilecek olan yöntemler, Denklem (1)'de verilmiş olan yeraltı suyu diferansiyel denkleminin Denklem (2)'de verilen başlangıç ve sınır şartları altında analitik olarak çözümden elde edilmiştir.

$$\frac{\partial^2 s(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s(r,t)}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial s(r,t)}{\partial t} \quad (1)$$

$$s(r,t=0) = 0 \quad (2a)$$

$$\lim_{r \rightarrow 0} r \frac{\partial s(r,t)}{\partial r} = \frac{Q}{2\pi T} \quad (2b)$$

$$s(r \rightarrow \infty, t) = 0 \quad (2c)$$

Bu eşitliklerde;  $s(r,t)$  pompaj kuyusundan bir  $r$  mesafesinde yer alan gözlem kuyusunda  $t$  pompaj zamanında ölçülen düşüm değerini ve  $Q$  pompaj kuyusundan sabit miktarda çekilen debiyi göstermektedir. Denklem

(2a), pompajdan evvel akiferin her yerinde sabit ve eşit bir piyezometrik basıncın olduğunu; Denklem (2b), pompaj kuyusunun çizgisel bir kuyudan oluştuğunu (kuyu içerisinde bir yeraltı suyu depolamasının olmadığı) ve çizgisel kuyu cidarında oluşan akımın sabit olduğunu; Denklem (2c), akiferin çok geniş olduğunu ve pompaj kuyusundan çok uzak mesafelerde piyezometrik basıncın değişmediğini ifade eder.

Pompaj verisi olan zaman - düşüm değerleri, pompaj kuyusundan en az 20 m, en çok 200 m mesafede olan bir gözlem kuyusunda (tercihen 3 adet) ölçülmelidir. 20 m'den daha küçük mesafelerde, yeraltı suyu akımı yüksek hızlara sahip olabileceğinden, Darcy kanunu geçerli olamayabilecek ve dolayısıyla, aşağıda sunulacak yöntemler geçerli olmayacaktır. 200 m'den daha büyük mesafelerde ise, gözlem kuyusundan gözlenecek düşüm değerleri daha geç zamanlarda görülmeye başlayacağından, pompaj süresi (malîyeti) artacaktır.

## 2. Grafik Yöntemler

Aşağıda sunulan yöntemler, homojen ve izotrop basınçlı bir akiferin hidrolik parametreleri olan  $T$  ve  $S$ 'nin belirlenmesi amacıyla bir gözlem kuyusunda gözlenmiş bir pompaj verisi için güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır.

### 2.1. Theis Yöntemi

Denklemler (1) ve (2), Carslaw ve Jaeger (1902) tarafından bir ısı transferi problemi ne uygulanmış ve bir çizgisel kaynaktan  $r$  radyal mesafesinde ve  $t$  zamanında oluşabilecek ısı değişiminin analitik çözümünü aşağıdaki eşitlikle gösterildiği gibi elde etmişlerdir.

$$\frac{s(r, t)}{Q/4\pi T} = W(u) = \int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx \quad (3)$$

Bu ifade de,  $W(u)$  boyutsuz (kuyu) fonksiyonunu,  $u=r^2S/4Tt$  boyutsuz zaman fak-

törünü ve  $x$  ise integral değişkenini göstermektedir.

Bu çözüm, ilk defa Theis (1935) tarafından yeraltı suyu problemi için benzeştirilmiştir. Bu benzeştirmede, Denklem (3) göz önüne alınarak  $1/u$  ile  $W(u)$  arasında boyutsuz logaritmik bir ölçekte çizilen grafikler, arazi verisi olan pompaj zamanı,  $t$ , ile düşüm,  $s(r,t)$ , arasında yine logaritmik ölçekte çizilmiş grafik birlikte kullanılmıştır. İki grafiğin üst üste getirilerek karşılaştırıldığı bir durum Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu şekil üzerinde göz önüne alınan herhangi bir noktanın 2 apsis ( $t_m$  ve  $1/u_m$ ) ve 2 ordinat ( $s_m(r, t_m)$  ve  $W_m(u_m)$ ) değeri bulunmaktadır. Grafik kağıttan okunan bu değerler kullanılarak aşağıdaki eşitlikler yardımıyla, önce  $T$  ve daha sonra  $S$  değeri belirlenmektedir.

$$T = \frac{Q}{4\pi s_m(r, t_m)} W_m(u_m) \quad (4a)$$

$$S = \frac{4Tt_m}{r^2} u_m \quad (4b)$$

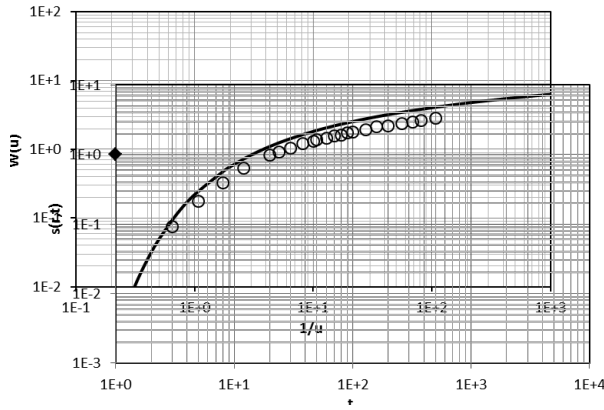
### 2.2. Cooper – Jacob Yöntemi

Cooper ve Jacob (1946), Denklem (3)'teki integral içerisindeki üssel fonksiyonun seriye açılıp ve sonra bu ifadenin integrali alındıktan sonra elde edilen Denklem (5a) da verilen ifadenin ilk 2 terimini göz önüne almıştır (Denklem (5b)).

$$W(u) = -0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{(2.2!)} + \dots \quad (5a)$$

$$W(u) \cong 2.3026 * \log \frac{0.5615}{u} \quad (5b)$$

Denklem (5b), boyutsuz zaman faktörü  $u$ 'nun 0,01 değerine eşit ve daha küçük değerleri için, düşüm ifadesi için bir yaklaşımı göstermektedir.  $u$  değeri küçüldükçe, Denklem (5b)'nin sonuçları, Denklem (5a)'ya yaklaşmaktadır.  $u=0,01$  için, Denklem (5b)'deki yüzde hata 0,2'dir (Denklem (5a) sonucu: 4,03793; Denklem (5b) sonucu: 4,02983).



Şekil 1. Theis eğrisi ile arazi verisinin çakıştırılması

$u \leq 0,01$ , Şekil 1’de verilen Theis eğrisinin geç zamanlarını göstermektedir ve Denklem (5b) ise, matematiksel olarak, zaman ekseninin logaritmik olması durumunda bir doğruyu ifade etmektedir. Denklem (5b) aşağıdaki gibi de ifade edilebilir.

$$s(r,t) = \frac{2,303Q}{4\pi T} \log \frac{2,246Tt}{r^2 S} \quad (5c)$$

Cooper ve Jacob (1946), bir doğrusal ilişkiyi gösteren Denklem (5c)’yi ve zaman – düşüm verisinin geç zamanlarında görülen veri üzerinde çizilen bir doğru çizgisini göz önüne alarak, aşağıda verilmiş üç farklı yöntem teklif etmişlerdir:

a) Yalnızca bir gözlem kuyusunun ele alınması durumunda ( $r$  sabit), Şekil 2a’da gösterilen  $t$ - $s(r,t)$  doğrusuna göre akifer parametre tahminleri aşağıdaki eşitlikler ile yapılır:

$$T = \frac{2,303Q}{4\pi \Delta s_r(r,t)} \quad (6a)$$

$$S = \frac{2,246Tt_0}{r^2} \quad (6b)$$

Bu ifadelerde;  $\Delta s_r(r,t)$ , logaritmik zamanın tam bir bölümüne karşı gelen düşüm değerleri arasındaki farkı ve  $t_0$ , zaman ekseninde düşümün sıfır olarak okunduğu zamanı göstermektedir.

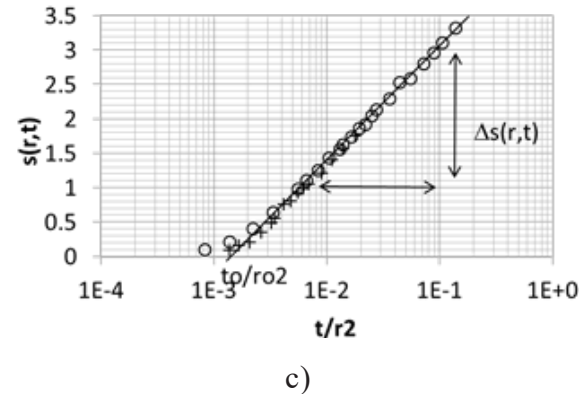
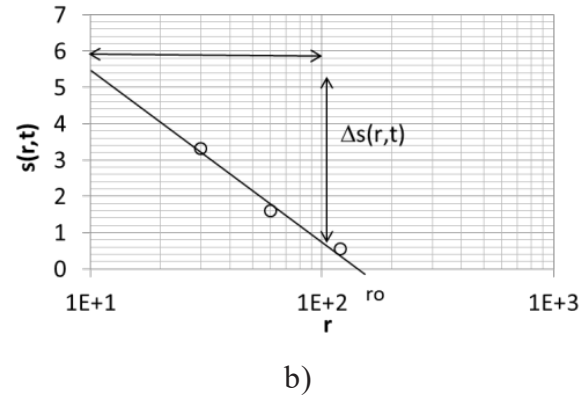
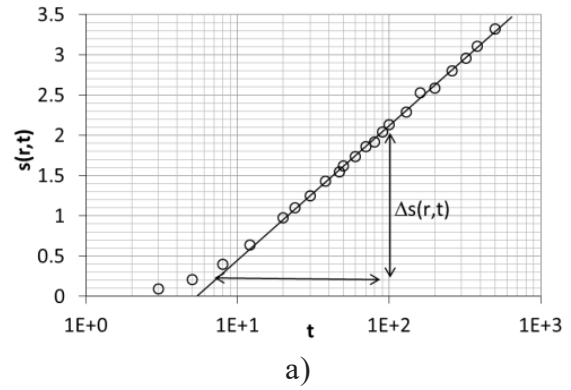
b) Birden fazla gözlem kuyusunun ele alınması durumunda (geç pompaj zamanlarında herhangi bir  $t$  zamanı için), Şekil 2b’de gösterilen  $r$ - $s(r,t)$  doğrusuna göre akifer parametre tahminleri aşağıdaki eşitlikler ile yapılır:

$$T = \frac{2,303Q}{4\pi \Delta s_r(r,t)} \quad (7a)$$

$$S = \frac{2,246Tt_0}{r^2} \quad (7b)$$

Bu ifadelerde;  $\Delta s_r(r,t)$ , logaritmik radyal mesafenin tam bir bölümüne karşı gelen düşüm değerleri arasındaki farkı ve  $r_0$ , mesafe ekseninde düşümün sıfır olarak okunduğu radyal mesafeyi göstermektedir.

c) Bir ya da birden fazla gözlem kuyusunun ele alınması durumunda; Şekil 2c’de gösterilen  $t/r^2$ - $s(r,t)$  doğrusuna göre akifer parametre tahminleri aşağıdaki eşitlikler ile yapılır:



Şekil 2. Cooper – Jacob yöntemlerinin uygulanması

$$T = \frac{2,303Q}{4\pi\Delta s_{t/r^2}(r,t)} \quad (8a)$$

$$S = \frac{2,246Tt_0}{r_0^2} \quad (8b)$$

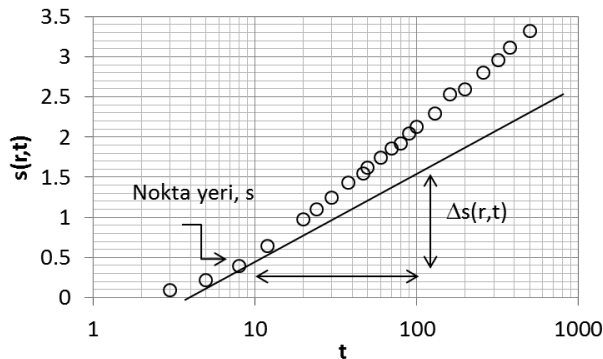
Bu ifadelerde;  $\Delta s_{t/r^2}(r,t)$ , logaritmik değişken  $t/r^2$  nin tam bir bölümüne karşı gelen düşüm değerleri arasındaki farkı ve,  $t_0/r_0^2$  apsis ekseninde düşümün sıfır olarak okunduğu bileşik değişkenin değerini göstermektedir.

### 2.3. Chow Yöntemi

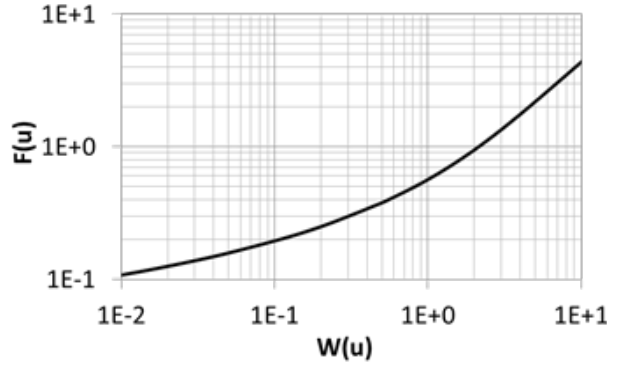
Chow (1952), yarı-logaritmik bir kağıda işaretlenen  $t-s(r,t)$  grafiği üzerinde çizilen bir eğriyi ve bu eğri üzerindeki (ya da dışındaki) herhangi bir noktadan bu eğriye göre çizilen teğetin bir logaritmik zaman devrine ait olan düşüm farkını göz önüne almaktadır (Şekil 3a). Arazi kağıdında seçilen bu nokta ile düşüm farkı arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$F(u) = \frac{s_F(r,t)}{\Delta s(r,t)} = \frac{W(u)e^u}{2,303} \quad (9)$$

Chow (1952),  $u$ 'nun çeşitli değerleri için apsis ekseninde  $W(u)$ 'nun ve ordinat ekseninde ise  $F(u)$ 'nun olduğu bir grafik teklif etmiştir (Şekil 3b). Yönteme göre; Şekil 3a'dan elde edilecek olan  $s_F(r,t)$  ve  $\Delta s(r,t)$  değerleri Denklem (9)'da yerine konduğunda  $F(u)$ 'nun değeri ve sonra Şekil 3b'ye göre  $W(u)$  ve  $u$  parametreleri belirlenmektedir. Bulunan boyutsuz bu değerler kullanılarak Denklemler (4a) ve (4b)'den akifer parametreleri tahmin edilebilecektir. Bu yöntemde en az üç noktanın göz önüne alınarak parametre hesaplarının yapılması önemlidir.



a)



b)

Şekil 3. Chow yöntemi ve eğrisi

### 2.4. Singh Yöntemi

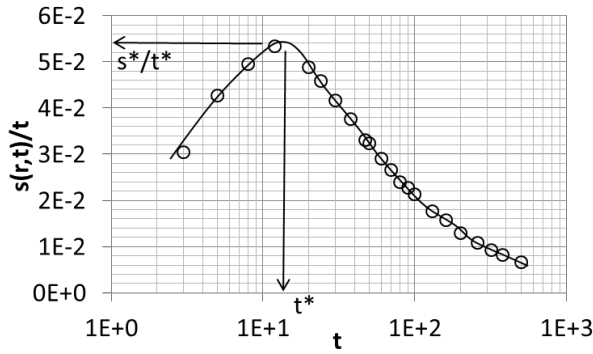
Singh (2000), Theis fonksiyonundaki boyutsuz zaman faktörü  $u^*=0,4348182$  değerine karşı gelen boyutsuz kuyu fonksiyonu değerinin  $W^*(u)=0,6473823$  olarak elde edildiğini ve  $1/u - u.W(u)$  arasında bir eğri çizildiğinde ise bu miktarlarda eğrinin bir maksimuma sahip olan bir çan eğrisine benzediğini görmüştür. Benzer şekilde,  $t-s(r,t)/t$  arasında çizilen bazı arazi ölçümlerinin de pompajın ilk zamanlarında bir çan eğrisini verdiği gözlenmiştir (Şekil 4).  $u^*=0,4348182$  değeri, boyutsuz zaman faktörünün erken zamanına işaret etmektedir. Arazi verisinde böyle bir çan eğrisi a)  $T$ 'nin küçük olduğu ve b)  $S$  ve/veya  $r$ 'nin büyük olduğu durumlarda görülebilmektedir.

Akifer parametre tahminleri için aşağıdaki eşitlikler verilmiştir.

$$T = 0,05152Q/s^* \quad (10a)$$

$$S = 1,7393Tt^* \quad (10b)$$

Bu eşitliklerdeki  $s^*$  ve  $t^*$ , Şekil 4'de de gösterildiği gibi, çan eğrisinin tepe noktasındaki değerleridir.



Şekil 4. Singh yöntemi

## 2.5. Çimen Yöntemi

Çimen (2009), Denklem (5b)'yi göz önüne alarak, gözlem kuyusunda ölçülmüş geç zaman düşüm ifadesini aşağıdaki gibi teklif etmiştir.

$$s(r,t) = a \ln(t) + b \quad (11a)$$

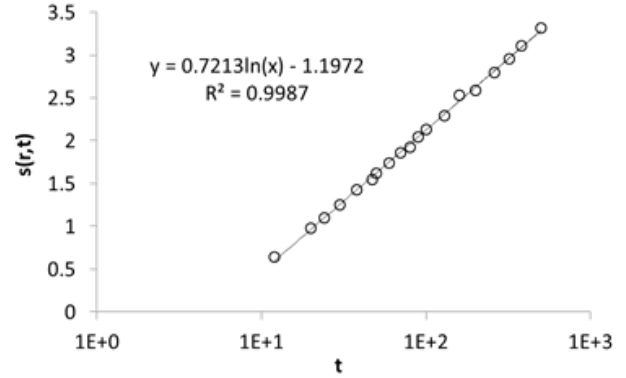
$$a = \frac{Q}{4\pi T} \text{ ve } b = a \ln\left(\frac{2,246T}{r^2 S}\right) \quad (11b)$$

Bu eşitlik, zamanın doğal logaritmasının bir değişken olarak alınması durumunda, zaman-düşüm eğrisinin geç zamanlarına ait bir doğru denklemini gösterir. Çimen (2009), böyle bir doğru denkleminin elektronik tablolama programında zaman – düşüm verisine ait regresyon denklemi ile kolayca bulunabileceğini belirtmiştir (Şekil 5). Yöntem uygulanırken, arazi verisi üzerinden geçirilen regresyon denkleminin uymayan veri çiftlerinin göz ardı edilmesi de regresyon katsayısına bakılarak kolayca belirlenebilmektedir. Regresyon eğrisiyle uyuşmayan veri noktaları, Denklem (5b)'nin kullanılması nedeniyle erken pompaj zamanlarında olabileceği gibi, çok geç zamanlarda olması ise akiferde bir beslenme durumunun oluşması nedeniyle olabilir. Regresyon katsayısının yüksek olması ve görsel olarak regresyon eğrisinin veri üzerinde mükemmel bir şekilde geçiyor olması, akifer parametrelerinin belirlenmesi için yeterli olacaktır. Bu yöntemde akifer parametre hesapları aşağıdaki eşitlikler ile yapılmaktadır.

$$T = \frac{Q}{4\pi a} \quad (12a)$$

$$S = \frac{2,246T}{r^2} \quad (12b)$$

$$t_0 = e^{-b/a} \quad (12c)$$



Şekil 5. Çimen yöntemi

Bu eşitliklerdeki ve katsayıları, regresyon denklemindeki katsayılar olup, ise düşümün sıfır olduğu zamanı göstermektedir.

## **Kaynaklar**

- Batu, V. (1998). *Aquifer Hydraulics: A Comprehensive Guide to Hydrogeologic Data Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Bear, J. (1988). *Dynamics of Fluids in Porous Media*. Dover Publications, Inc., New York.
- Chow, V.T. (1952). On the determination of transmissivity and storage coefficients from pumping test data. *Transactions, American Geophysical Union*, 33, 397-404.
- 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.
- Çimen, M. (2009). Effective procedure for determination of aquifer parameters from late time-drawdown data. *Journal of Hydrologic Engineering, ASCE*, 14(5), 446-452.
- Singh, S.K. (2000). Simple method for confined-aquifer parameter estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 126 (6) 404-407.
- Şen, Z. (1995). *Applied Hydrogeology for Scientists and Engineers*. Lewis Publishers, New York.
- Şen, Z. (2017). Yeraltı suyu akifer parametre ve özellikleri. *Yeraltı Suyu Bülteni, Su Vakfı*, Sayı 2.
- 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.



# SU VAKFI YERALTI SUYU KÜLLİYESİNDE DAHA ÖNCE YAYINLANAN BÜLTENLER

SAYI 3	Yeraltı Suyu Çözümlemesinde Eğitim Yöntemi <i>Zekai ŞEN</i>
2017 Şubat (February)	
TÜRKÇE	
SAYI 2	Yeraltı Suyu Akifer Parametre ve Özellikleri <i>Zekâi Şen</i>
2017 Şubat (February)	
TÜRKÇE	
SAYI 1	Durağan Olmayan Yeraltı Suyu Hareket Denklemi <i>Zekâi Şen</i>
2017 Şubat (February)	
TÜRKÇE	

Tüm Su Vakfı bültenlerini <http://bulten.suvakfi.org.tr> adresinden bilgisayarınıza indirebilirsiniz.



SU VAKFI

Libadiye Cad. Doğanay Sokak No:6 Kat:4 Üsküdar İstanbul  
Tel: (216) 412 3383 - Faks: (216) 412 3390  
suvakfi@suvakfi.org.tr - www.suvakfi.org.tr