

Sayı (Number): 3



Yeraltı Suyu Çözümlemesinde Eğitim Yöntemi

Zekâi Şen

Şubat (February) 2017  
İstanbul - Türkiye

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

## YERALTI SUYU BÜLTENİ : SAYI 3

Yeraltı Suyu Çözümlemesinde Eğitim Yöntemi

*Zekai ŞEN*

©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

# Yeraltı Suyu Çözümlemesinde Eğim Yöntemi

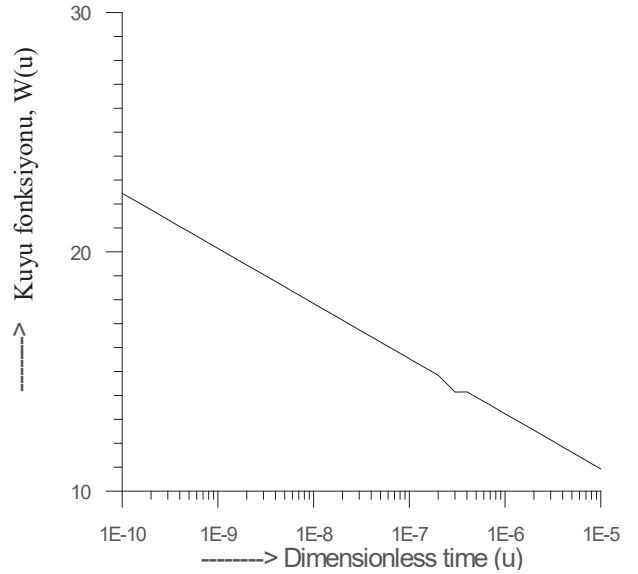
Zekâi Şen

Su Vakfı

## 1. Giriş

Jacob doğru hat yöntemi, çıktığı Theis çözümlerinin dayandığı kabuller düşünülmeden, arazi verilerine pratikte tatbik edilir. Yarı-logaritmik eksen takımında ortaya çıkan her doğru, mutlaka Jacob yönteminin uygulanmasının mümkün olduğunu göstermez. Maalesef, bu konuda dünyada yeraltı suyu değerlendirmeleri ile uğraşan araştırmacı ve mühendislerin bir kısım görüşlülüğü vardır. Yapılan kabulleri ve/ya arazi şartlarını ve akım durumunu düşünmeden, Jacob doğru çizgi yönteminin uygulanmasına mekanik olarak koyulurlar. Temel kabul ve şartlara uyduğu kontrolü yapılmayan mekanik bir Jacob yöntemi uygulanması sonucunda bulunan T ve S akifer parametreleri, ya fazla veya gerçekten az sayısal değerler alır. Bilhassa kuyu yakınlarında, hidrolik eğim fazla olduğundan akım laminer değil de türbülanslı hale gelir. Hâlbuki Theis ve onun doğurduğu Jacob yönteminin esasındaki kabullerden bir tanesi, tüm akifer akım şartları içinde Darcy lineer akım modelinin geçerli olduğu kabulüdür. Jacob yöntemlerinin geçerli olması için teorik matematik gerekliliklerden bir diğeri de, gözlem kuyusunun mesafe olarak ana kuyuya yakın olmasıdır. Hâlbuki bu çok tezatlı bir durumdur. Çünkü r azaldıkça kuyuya yaklaşılır ve buralarda da türbülanslı akımlar meydana gelir. Bunun sonucunda da, kuyu yakınlarında la-

miner akıma göre daha fazla düşümler gözlenir. Bu gibi durumlarda, Jacob yöntemlerinin geçerliliğinden şüphe edilmelidir. Şekil 1'den görüleceği üzere uzun zaman düşüm verileri yarı-logaritmik eksen takımında bir doğru olarak belirir ama bu doğrunun eğimi boyutsuz tip eğri durumunda 2,3'e eşittir.



Jacob yöntemlerinin geçerliliğinin kontrol edilmesi ilk önce literatürde Şen(1988) tarafından ileriye sürülmüş ve gerekli hesaplama adımları verilmiştir. Bunun için burada teorik ayrıntılarına girmeden, Şen tarafından yeni tabirler olarak, arazi boyutsuz zamanı, uf, ve boyutsuz düşümü,  $w_f$  tarif edilmiştir. Bunların matematik tarifleri ancak geçerliliğe bakmadan klasik olarak Jacob doğru çizgi yönteminin uygulanması ile elde edilen

akifer S ve T değerlerinin tespitinden sonra yapılır. S ve T değerlerinin arazi ölçümleri ile beraber elde olması halinde boyutsuz arazi büyüklükleri

$$u_f = \frac{r^2 S}{4t_f T} \quad \text{ve} \quad w_f = \frac{4\pi T}{Q} S_f \quad (1)$$

hesaplanır. Burada,  $t_f$  ve  $w_f$  arazi zamanı ve buna karşılık gelen düşüm miktarıdır. Eğer bu boyutsuz arazi değişkenlerinin yarı-logaritmik ekseninde işaretlenmesi ile bir doğru elde ediliyor ve bunun da eğimi 2,3'e eşit çıkıyorsa, Jacob doğru çizgi yöntemlerinden uygun olanı kullanılabilir. Aksi takdirde, eğim 2,3'e eşit değilse, Jacob doğru çizgi yönteminin kullanılmaması gerekir. Jacob yönteminden daha küçük eğimlerin çıkması durumunda, ya sızma veyahut serbest yüzeyli akifer halinde gecikmeli iç sızma veya beslenme veya bunların birkaçı bir arada bulunur. Küçük eğimler yüksek iletkenlik katsayısına, bu ise küçük düşümlerin ortaya çıkmasına sebep olur. Diğer taraftan, elde edilen doğrunun eğimi Jacob doğru çizgisinin eğiminden daha büyük ise, ya laminar olmayan mesela türbülanslı akım vardır veya yerel olarak geçirgenlikte azalma bulunur. Bir başka sebepte, sınırlı su haznesinin bulunmasıdır. Büyük eğimler küçük iletkenliklerin bulunduğu delalet eder. Bu sebeple, boyutsuz doğru çizgi yönteminden aşağıdaki faydalı sözel sonuçlar çıkarılabilir.

- a) Boyutsuz arazi değişkenlerinden yarı-logaritmik kâğıtta elde edilen doğrunun eğimi, 2,3'e eşitse Jacob doğru çizgi yöntemi güvenilirlikle kullanılabilir.
- b) Arazi boyutsuz değişkenleri ile elde edilen doğrunun eğimi, 2,3'den daha küçük ise sızma veya beslenme halleri mümkündür.
- c) Arazi boyutsuz değişkenlerinden elde edilen eğim 2,3'den daha büyük ise türbülanslı akım vardır. Bunun bir başka sebebi de akifer malzemesinin geçirgenlik katsayısının az olduğudur.

## 2. Sızdırmalı akifer Hantush-Jacob yöntemi

Theis yöntemi gibi analitik çözümler önce basınçlı akiferler için yapılmıştır. Tabiatta, saf basınçlı akifere çok nadir olarak geçirimsiz tabakaların kil, marn, şeyl veya siltli kil olması durumunda sadece sedimenter jeolojik kayalarda rastlanılır. Ancak, bu geçirimsiz tabakaların çatlaklı veya büyük taneli olmaları halinde esas akifere sızmalar şeklinde komşu akiferlerden su transfer edilebilir. Bu durumda, sınırlayıcı geçirimsiz tabakalar yarı geçirgen rolü oynar. Bunun sonucunda, sızdırmalı akiferler ortaya çıkar. İşte böyle sızdırmalı akiferlerin, akifer parametrelerinin hesaplanması için öncekilerden farklı yöntemler geliştirilmelidir. Tam nüfus eden bir kuyu sızdırmalı akiferden Q debisi çekerse, bunun farklı iki kaynaktan geldiği söylenebilir.

- a) Hidrolik yükteki kayıplar dolayısı ile kuyuya suyun sıkışma ve akifer malzemesinin de elastik olması özelliklerinden dolayı doğrudan akiferden olan katkı,
- b) Yarı geçirgen alt ve/ya üst tabakalar vasıtası ile komşu akiferlerden sızma yolu ile önce akifere oradan da kuyuya gelen sular.

Pompa ile su çekilmesinin ilk zamanlarında, kuyu debisinin hemen hepsi doğrudan akiferdeki yeraltı suyundan gelir ama zamanın artması ile artık sızma suları da akifere girmeye başlar. Uzun zaman sonra ortaya çıkan durağan akım durumunda ise artık sular tamamen sızma ile komşu akiferlerden gelir. İşte bu son durumdaki durağan akım halinde, esas akifer artık suyu yarı geçirimli tabakalardan kuyuya nakil eden bir ortam haline gelmiştir.

Sızdırmalı akiferler hakkındaki ilk analitik çözümler Hantush and Jacob (1955) ve Hantush (1956, 1960) tarafından yapılmıştır. Diğer taraftan, Neuman(1972) ve Neuman ve Witherspoon (1969a, 1969b) gibi araştırmacılar da sızdırmalı akifer teori-

lerini genişletenler arasında yer almıştır. Komşu akiferlerden sızdırmaları da göz önünde tutarak durağan olmayan akım halinde sızdırmalı akifer denklemi

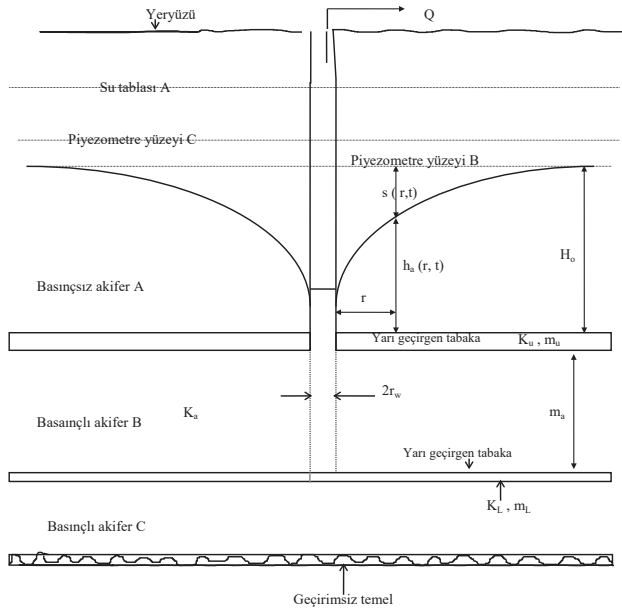
$$\frac{\partial^2 s(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s(r,t)}{\partial r} + \frac{s(r,t)}{L^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial s(r,t)}{\partial t} \quad (2)$$

olur. Burada,  $L$ 'ye sızdırma faktörü adı verilir. Bu denklemde kullanılan diğer notasyonlar Şekil 2'de gösterilmiştir. Sızdırma faktörü ise kısaca

$$L_u(r,t) = \frac{K_a}{m_a} S(r,t) \text{ ve } L_l(r,t) = \frac{K_l}{m_l} S(r,t) \quad (3)$$

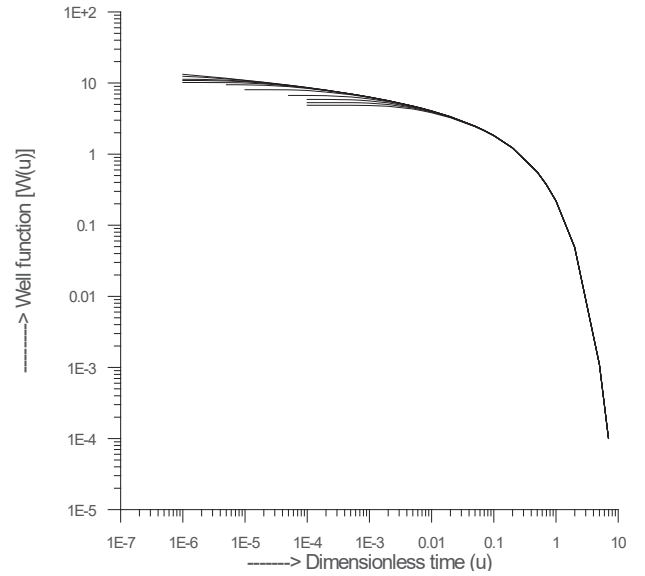
şeklinde yazılır. Denklem(2)'nin çözümü, Hantush ve Jacob (1955) tarafından Theis çözümüne benzer olarak aşağıdaki ifade ile verilmiştir.

$$W\left(u, \frac{r}{L}\right) = \frac{4\pi T}{Q} S(r,t) \text{ ve } u = \frac{r^2 S}{4tT} \quad (4)$$



Şekil 2. Sızdırmalı akifer sistemi

Burada,  $W(u, r/L)$  ve  $u$  sırası ile sızdırmalı akifer kuyu fonksiyonu ve boyutsuz zaman faktörüdür. İlk olarak, Walton (1970) sızdırmalı akifer kuyu fonksiyonunun değişik  $r/L$  değerleri için  $u$  ile değişimini tip eğriler halinde sunmuştur (bak Şekil 3). Bu şekildeki her tip eğrinin üç ayrı kısmı vardır.



Şekil 3. Hantush sızdırmalı akifer tip eğrileri (Walton, 1970)

İlk kısım küçük zamanlarda geçerlidir ve tamamen Theis eğrisinin başlangıcı ile çakışmaktadır. Bunun anlamı sızdırmalı akiferlerinde başlangıçta, basınçsız akiferler gibi zaman-düşüm eğrisi davranışı gösterdikleridir. Gözlem kuyusu mesafesinin artması veya sızdırma faktörünün değerinin düşmesi ile bu kısmın süresi azalır. Tip eğrilerin ikinci kısmı, Theis eğrisinden aşağıya doğru yavaşça artan bir şekilde ayrılışlar gösterir ve sonunda yataylaşır. İşte bu kısım süresince kuyuya akifer ve komşu akiferlerden sızma ile sular gelir. Akifer parametrelerinin bir sızdırmalı akifer için değerlendirilmesinde, bu kısımdaki zaman-düşüm verilerinin önemi büyüktür. Üçüncü kısımda ise, tüm tip eğriler tamamen yataydır. Bunun anlamı, kuyudan çekilen suların artık sadece komşu akiferlerden sızma yolu ile gelmesidir.

Hantush-Jacob yönteminin kayıt edilen arazi verilerinden yararlanarak kullanılması sırasında aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir.

- Önce zaman-düşüm verileri tıpkı Theis yönteminde olduğu gibi çifte logaritmik eksen takımında işaretlenir,
- Arazi verileri, tip eğrilerle üst üste çakıştırılarak, yatay ve düşey eksenler birbirine paralel kalacak biçimde ha-

reket ettirilirse sonunda arazi noktaları ile en iyi uyumu gösteren tip eğri belirlenir,

- c) İki kâğıt bu şekilde birbirine iyice tespit edildikten sonra ortak alanlarında keyfi olarak bir çakışma noktası alınır. İşte bu noktanın boyutsuz zaman ve sızdırmalı akifer kuyu değerleri ile arazi kâğıdı üzerinde yine bu noktaya karşı gelen yatay ve düşey eksenler üzerindeki noktaların değerleri okunarak bir tarafa kayıt edilir. Ayrıca en iyi uyan eğrinin etiket değeri  $r/L$ 'de okunur.
- d) Bu değerlerin Denklem (4)'de yerine konulması ile depolama ve iletkenlik katsayılarının değerleri tahmin edilir
- e) Ana kuyuya olan mesafenin arazi ölçümleri ile belli olması ile sızma faktörü  $L$ 'nin değeri de hesaplanır.

## 2.1. Hantush büküm noktası yöntemi

Hantush(1964) tip eğrilerin, Theis tip eğrisinden ayrılmaya başladığı nokta üzerinde durarak bu yöntemi geliştirmiştir. Daha sonra 1956'da, Hantush sızdırmalı akifer arazi verilerinin  $t < t_i/4$  atalığına zaman olarak düşenlerin, Theis tip eğrisi ile yarı-logaritmik eksen takımında aynı olduğu sonucuna varmıştır. Burada,  $t_i$  yarı-logaritmik kâğıtta eğilme noktasının zamanını gösterir. Buradan,  $r/L$  değeri ne olursa olsun geçerli olan birtakım formülasyonlar bulmuştur. Bunlar

$$u_i = \frac{r^2 S}{4Tt_i} = \frac{r}{2L} \quad (5)$$

$$\Delta s_i = \frac{2,3Q}{4\pi T} \exp\left(-\frac{r}{L}\right) \quad (6)$$

$$s_i = 0,5 s_m = \frac{Q}{4\pi T} K_0\left(\frac{r}{L}\right) \quad (7)$$

ve

$$f\left(\frac{r}{L}\right) = K_0\left(\frac{r}{L}\right) \exp\left(\frac{r}{L}\right) = 2,3 \frac{s_i}{\Delta s_i} \quad (8)$$

dir. Burada,  $u_i$ ,  $t_i$ ,  $\Delta s_i$  ve  $s_i$  sırası ile boyutsuz zaman faktörü, zaman değeri, yarı-logaritmik eksendeki eğim ve düşüm değerleridir. Bütün bu değerler büküm noktasında okunmalıdır. Denklem(8)'e eşdeğer bir yaklaşık ifade

$$\log\left(\frac{2L}{r}\right) = 0,251 + \frac{s_i}{\Delta s_i} \quad (9)$$

dir. Bu ifade  $r/L < 0,01$  için  $s_i/\Delta s_i > 2$ 'ye karşı gelir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için bir gözlem kuyusunda yapılmış zaman-düşüm ölçümlerine gerek vardır. Ayrıca, büküm noktası düşey eksenden belirlenen en büyük düşüm ( $s_m$ ) değerinin yarısına eğri üzerinde karşı gelen nokta olarak tarif edilmiştir. Bu temsili en büyük düşümün, yarı-logaritmik kâğıt üzerindeki noktalama ile tespitinin sağlıklı belirlenebilmesi için durağan akıma ulaşımca kadar uzun süreli su çekimlerine gerek vardır. Yarı-logaritmik kâğıt üzerinde büküm noktası bu şekilde belirlendikten sonra onun yatay eksen üzerindeki zamanı,  $t_i$  ve düşümü,  $s_i$  tespit edilir. Bu değerlerin,  $s_i$  ve  $\Delta s_i$  olarak Denklem (8)'de yerine konulması ile  $r/L$  tahmini Çizelge 2'nin kullanılması ile yapılır. Böylece bulunan  $r/L$  değeri ile eğim,  $\Delta s_i$ , Denklem (6)'da yerine konulursa, akiferin iletkenlik katsayısı hesaplanır. Son olarak da, Denklem (5)'den de,  $T$ ,  $r/L$  ve  $t_i$  değerlerinin yerine konulması ile akifer depolama katsayısının sayısal değeri bulunur.

## 2.2. Hantush mesafe-eğim modeli

Bu yöntem ana kuyudan değişik yön ve mesafelere yerleştirilmiş, en azından üç gözlem kuyusundan yapılan arazi verilerinin bulunması durumunda kullanılır. Denklem (6)'nın iki tarafının logaritmasının alınması ile

$$r = 2,3L \left[ \log \frac{2,3Q}{4\pi T} - \log \Delta s_i \right] \quad (10)$$

elde edilir. Her bir gözlem kuyusu zaman-düşüm verilerinden eğimler, yarı-logaritmik eksendeki büküm noktasından elde edilir. Denklem(10)'dan anlaşılacağı üzere eğimlerin gözlem kuyularının ana kuyudan olan  $r$  mesafelerine göre yarı-logaritmik eksen takımında işaretlenmesi sonucunda elde edilen doğrunun eğimi

$$\alpha = 2,3L \quad (11)$$

dir. Bu doğrunun  $r = 0$ 'da kesim noktası,  $(\Delta s_i)_0$  aşağıdaki ifade ile verilmiştir.

$$(\Delta s_i)_0 = \frac{2,3Q}{4\pi T} \quad (12)$$

İletkenlik katsayısı,  $T$ , ve sızdırma faktörü,  $L$ , sırası ile Denklem (12) ve (11)'den, depolama katsayısı  $S$  ise gerekli büyüklüklerin Denklem (5)'de yerine konulması ile bulunur.

Çizelge 2 Sızdırmalı akiferde durağan akım olması durumunda parametre ilişkileri (Şen, 1995)

x	$K_o(x)$	$K_1(x)$	$I_o(x)$	$I_1(x)$
0,01	4,7212	99,9739	1	0,005
0,02	4,0285	49,9547	1,0001	0,01
0,03	3,6235	33,2715	1,0002	0,015
0,04	3,3365	24,9233	1,0004	0,02
0,05	3,1142	19,9097	1,0006	0,025
0,06	2,9329	16,5637	1,0009	0,03
0,07	2,7798	14,1710	1,0012	0,035
0,08	2,6475	12,3742	1,0016	0,04
0,09	2,5310	10,9749	1,0020	0,0451
0,1	2,4271	9,8538	1,0025	0,0501
0,2	1,7527	4,7760	1,01	0,1005
0,3	1,3725	3,0560	1,0226	0,1517
0,4	1,1145	2,1843	1,0404	0,2040
0,5	0,9244	1,6564	1,0635	0,2579
0,6	0,7775	1,0283	1,0921	0,3137
0,7	0,6605	1,0503	1,1263	0,3719
0,8	0,5663	0,8618	1,1665	0,4327
0,9	0,4867	0,7165	1,213	0,4971
1	0,4210	0,6019	1,2661	0,5652
1,5	0,2138	0,2774	1,6467	0,9817
2	0,1139	0,1399	2,2796	1,5906
2,5	0,0624	0,0739	3,2898	3,5167
3	0,0347	0,0402	4,8808	3,9534
3,5	0,0196	0,222	7,3782	6,2058
4	0,0112	0,0125	11,3019	9,7595
4,5	0,0064	0,0071	17,4812	15,3892
5	0,0037	0,0040	27,2399	24,3356

## 2.4. Yükselim sınaması

Pompa tecrübesi sırasında en büyük düşüm miktarına ulaşıncaya, pompa birden kapatılırsa veya kaçınılmayan bazı sebeplerle kapanırsa, yeraltı suyu seviyesi tekrar kendi başladığı ilk seviyeye gelmek için yükselmeye başlar. Bu yükselim esnasında ana veya gözlem kuyusunda yapılan zaman-yükselim ölçümleri, yükselim sınamasının değerlendirilmesine yarar. Bu verilerden de yararlanarak akifer parametreleri hesap edilebilir.

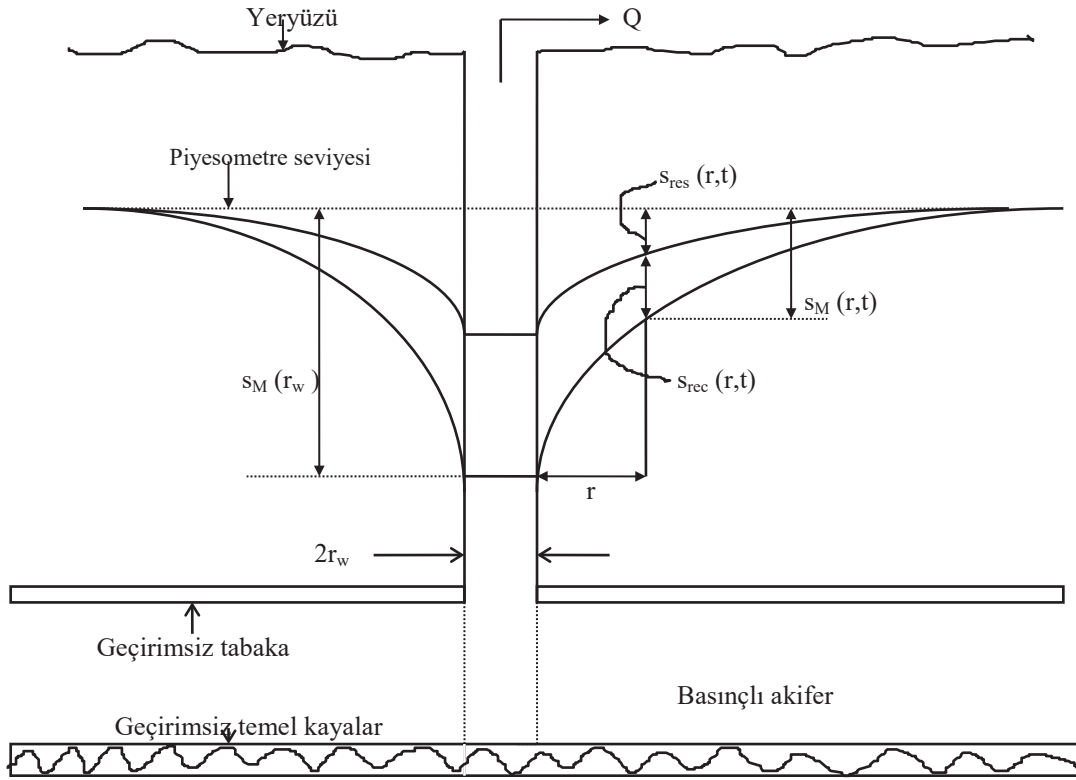
Bu tür sınamalar akifer hidrojeolojik parametreleri hakkında sayısal olan ve olmayan bilgiler verir. Bu sınamaya sıklıkla kullanılmamasına rağmen, başka yöntemlerle hesap edilmiş akifer parametrelerinin bağımsız bir yolla kontrol edilmesine yarar. Pompanın kapatılması ile düşüm konisi de geriye doğru yükselmeye başlar. Hidrolik eğim ana kuyunun civarında en büyük değerine ulaşır ve bu kısımda akımın Darcy kanununa uyup uymadığı da pek anlaşılabilir. Büyük bir ihtimalle, ana kuyu civarında en azından ilk dakikalarda akım türbülanslıdır. Analitik çözümler, Darcy kanununun geçerli olması durumunda kullanılabilir. Bu bakımdan geç zaman-düşüm verilerinin kullanılması daha sağlıklıdır.

Düşüm  $s_{\max}(r, t_\alpha), t_\alpha$ , pompa kapatma zamanında en büyüktür. En büyük düşüm iki kısma ayrılabilir,

- Yükselen düşüm srec  $(r, t')$ : Bu en büyük düşüm ile yükselim sırasında,  $t'$ , zamanında ölçülen düşüm arasındaki farka eşittir.
- Geri kalan düşüm sres  $(r, t')$ : Bu yükselim esnasında  $t'$ , zamanında ölçülen miktardır.

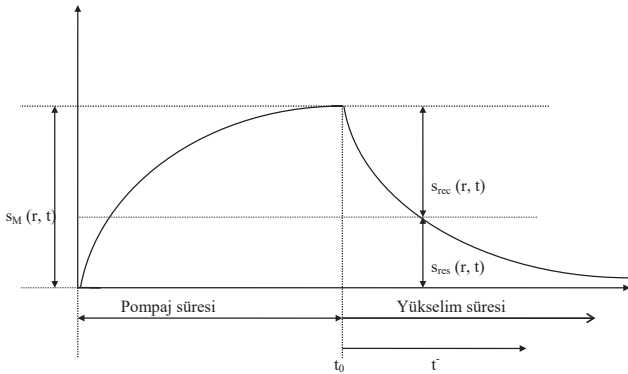
$$s_{\max}(r, t_\alpha) = s_{\text{rec}}(r, t') + s_{\text{res}}(r, t') \quad (13)$$

Bu düşümlerin ikisi toplam düşümle beraber Şekil 4 ve 5'da gösterilmiştir.



Şekil 4. Yükselim sınaması düzeneği

Yükselim sınaması akifer sınamasından daha ekonomiktir. Ayrıca, teorik olarak çekilen debinin geliştirilen matematik denklemlerde sabit kalması kabulü bulunduğu, yükselim sınamasında debi sifıra eşit olduğundan sürekli olarak sabittir. Yükselim sınamasında geri kalan düşümler akifer parametrelerinin hesaplanması için kullanılır. Böylece akifer sınaması sırasında elde edilen arazi verilerinden bulunan parametrelerin yükselim sınaması ile kontrolü mümkün olur. Ancak, yükselim sınaması ile güvenilir akifer depolama katsayısı tahmini yapılamaz.



Şekil 5. Pompa ve yükselim kısımlarının grafik gösterimi

Sanki-durağan akım durumunda genel olarak akım lineer olduğu için yani Darcy kanunu uygulanabildiği için toplama kuralı geçerlidir ve değişik düşümler uygun biçimde toplanabilirler. Cooper ve Jacob(1946)'ya göre yükselim sınaması sırasında sanal bir kuyu akiferi beslemeye devam eder. Bu beslemenin debisi, akifer sınaması debisine eşittir. Eğer, t pompa çalışmaya başlamasından itibaren ve t' ise pompa durdurulduğundan beri geçen zamanı gösterirse, geri kalan düşüm,  $s_{res}(r, t)$ , Theis yöntemine göre

$$s_{res}(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} [W(u_1) - W(u_2)] \quad (14)$$

olur. Burada

$$u_1 = \frac{r^2 S}{4Tt_0} \text{ ve } u_2 = \frac{r^2 S}{4Tt'}$$

dir. Jacob yönteminin,  $u < 0,01$  şartı ve büyük zamanlar için geçerli olduğu düşüncesi ile

$$s_{res}(r,t) = \frac{2,3Q}{4\pi T} \left( \log \frac{2,25 T t}{r^2 S} - \log \frac{2,25 T t'}{r^2 S} \right) \quad (15)$$



veya

$$s_{res}(r,t) = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{t}{t'} \quad (16)$$

bulunur. Geri kalan düşüm değişiminin,  $\frac{t}{t'}$  oranına karşı yarı-logaritmik eksen takımında gösterilmesi ile eğimi,  $s_{res}(r,t)$  olan bir doğru elde edilir. İşte bu eğim değerinin bilinmesi ile akifer iletkenlik katsayısı

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi \Delta s_r} \quad (17)$$

olarak hesap edilir.

## Kaynaklar

- Cooper, H. H. and Jacob, C. E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history, Trans. Am. Geophys. Union, 27, 526.
- Hantush, M. S. and Jacob, C. E.(1955). Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer, Trans. Am. Geophys. Un., vol. 36, pp. 95-100.
- Hantush, M. S. (1956). Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers, Trans. Am. Geophys. Un., vol. 37, pp. 702-714.
- Hantush, M. S. (1960). Modification of the theory of leaky aquifers, Jour. Geophys. Res. vol. 65, pp. 3713-3715.
- Hantush, M. S. (1964), Hydraulics of Wells, Adv. Hydrosci., 1, pp. 281-305.
- Neuman, S. P. (1972). Theory of flow in unconfined aquifers considering delayed response of the water table, Water Resour. Res., vol. 8, pp. 1031.
- Neuman, S. P. and Witherspoon, P. A. (1969a). Theory of flow in a confined two aquifer system, Water Resources Res., vol. 5, pp. 803.
- Neuman, S. P. and Witherspoon, P. A. (1969b). Applicability of current theories of flow in leaky aquifers, Water Resources Res., vol. 6, pp. 817.
- Şen, Z. (1995). Applied Hydrogeology for Scientists and Engineers, CRC, Lewis pub. New York, pp. 161-299.
- Şen, Z. (1998). Non-Darcian groundwater flow in leaky aquifers. Hydrological Sciences Journal, Vol.45, No. 4, 595-606.
- Walton, W. C. (1970). Groundwater Resource Evaluation, McGraw-Hill, New York, pp. 664-670.

# SU VAKFI YERALTI SUYU KÜLLİYESİNDE DAHA ÖNCE YAYINLANAN BÜLTENLER

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