



## ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Öne Çıkan Sonuçlar:

- Yeraltı suyu model seçimi değerlendirmesi
- Yeraltı suyu yeni model ihtiyacı

## Yazışma yazarı:

Eyüp ŞİŞMAN,  
esisman@medipol.edu.tr

## Referans:

Şişman, E., Birpınar, E. M., Şen, Z., (2018), Basınçlı akifer parametrelerinin belirlenmesi için yeni ve eski model uygulamaları, Su Kaynakları, 3, (2) 31-50

Makale Gönderimi: 7 AĞUSTOS 2018

Online Kabul : 8 EYLÜL 2018

Online Basım : 1 OCAK 2018

## Basınçlı akifer parametrelerinin belirlenmesi için yeni ve klasik model uygulamaları

Eyüp ŞİŞMAN<sup>1,2</sup>, Mehmet Emin BİRPINAR<sup>3</sup>, Zekai ŞEN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kavacık, 34810, İstanbul.

<sup>2</sup>İstanbul Medipol Üniversitesi, İklim Değişikliği Uygulama ve Araştırma Merkezi (İKLİMER), Kavacık, 34810, İstanbul.

<sup>3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Esenler, 34220, İstanbul

**Özet** Araştırmacılar ve uzmanlar su depolayan akiferlerin hacimsel kapasitesini belirlemek ve bu kaynaktan birim zamanda temin edilecek su miktarını tespit edebilmek için bir asırdır sürekli bir çalışma içerisindeyler. Bu zaman zarfında yeraltı suyu hidrolojisi ve hidroliği konularında çok sayıda model ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında basınçlı akiferler için yakın zamanda Şen vd. tarafından geliştirilen model ile geçmişten günümüze gelen birçok modelin uygulaması yapılarak, sonuçta akifer parametreleri karşılaştırılmalı şekilde incelenerek sunulmuştur. Uygulama için Pakistan'ın Chaj Doab bölgesinde yapılan arazi pompaj test verileri kullanılmıştır. Akiferlerin depolama ve iletim katsayıları hesaplanmış ve elde edilen model sonuçları değerlendirilmiştir. Model sonuçları arasında kayda değer büyük farklılıklar olması, bu makalenin yazılmasının asıl amacıdır. Arazi pompajı sonrası seçilecek modele karar verme sürecinde, bu büyük farklar içerisinde hangi modelin uygun olduğuna karar verebilmek için, tecrübe sahibi uzmanlar modellerin her bir varsayımını titizlikle irdelenmeli ve gerekli ise tekrar tekrar pompaj testlerini inceleyerek, ayrıntılı değerlendirmeler sonrası akifer parametrelerinin elde edileceği modele karar verilmelidir.

**Anahtar Kelimeler:** Basınçlı akifer modelleri, İletkenlik katsayısı, Depolama katsayısı

## New and classic methods applications for determining the confined aquifer parameters

**Abstract** Researchers and experts are working for about a century to determine the capacity of aquifers and to calculate the amount of groundwater. During this time, a number of models have been put forward in groundwater hydrology literature. In this study, recently developed model for confined aquifers and many models from past to present are applied and ultimately the aquifer parameters are presented comparatively. Pumping test data were used for the application in Chaj Doab area in Pakistan. The storage and transmissivity coefficients are calculated and the model results are evaluated. Significant differences between the model results are the main objective of writing this article. In order to be able to decide which model is suitable, in the process of model decision, each model assumption are carefully examined and decided after detailed evaluations by repeating the pumping tests, if necessary.

**Keywords:** Confined Aquifer Models, Conductivity Coefficient, Storage Coefficient

## 1. Giriş

Su kürede kesintisiz şekilde hidrolojik çevrimine devam etmektedir. Çevrim sürecinde su sürekli olarak hava, kara, su ve canlı ortamlarda hareketini sürdürür. İçinde bulunduğumuz yüzyılda etkileri artan iklim değişikliği ile bu çevrim sisteminde bazı önemli ve insanlık için olumsuz değişimler tecrübe edilmeye başlamıştır. Bunlar arasında su sıkıntısı, kıtlığı ve buna bağlı kuraklık tehlikesi ön plana çıkmaktadır. Bu sorunların giderilmesi için uzmanlar ve araştırmacılar daha fazla su temin edebilmek için gerek atıl durumdaki alternatif su kaynaklarına ve gerekse mevcut su kaynaklarının verimli şekilde işletilmesine yönelik çalışmalara ağırlık vermektedirler. Su kaynakları içerisinde yeraltı suları bu açıdan çok önemli bir yer işgal etmektedir. Ancak bu zamana kadar genelde görmezden gelinmiş ve/veya uygun şekilde işletilememişlerdir. Bu kaynakların su bütçelerinde dikkate alınması ve kullanım ve işletmelerinde doğru bilimsel yöntemlere yer verilmesi, iklim değişikliği ile ortaya çıkan su sorunlarının etkilerinin hafifletilmesi ve hatta yer yer ortadan kaldırılması için gereklidir. Yeraltı sularından nasıl verimli şekilde faydalanılacağı öğrenilebilir ise, önemli miktarda ilave talepleri karşılayacak potansiyele sahiptir. Bunun için öncelikle akifer veriminin belirlenmesi ve yeraltı suyu kuyularının beslenme durumlarını da dikkate alarak değişkenlik gösteren talep ve beslenme durumuna göre dönemsel olarak bir plan dahilinde işletilmesi gerekir. Akiferlerin bu planlar dahilinde işletilebilmesi için depolama ve iletkenlik parametrelerinin öncelikle sağlıklı şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla akifer çeşitlerine, her bir akifer şekline ve kuyu tasarımına uygun matematik eşitliklerin geliştirilmesi için yapılan kabullere göre bu zamana kadar yeraltı suları konusunda çok fazla sayıda model geliştirilmiştir.

Bu makalede son olarak akifer parametreleri, Theis tip eğrisini kullanarak, bilinen ilk grafik yöntemin farklı biçimde uygulaması ile belirlenmiştir (Şen ve diğ., 2015). Theis eğrisi, kuyu testleri veri saçılma grafikleri ile farklı zaman aralıklarına en uygun şekilde kısmi olarak çakıştırılarak parametreler hesaplanmıştır. Çok sayıda çakıştırma sonucunda bulunan değerlerin, tek bir değer olarak gösterilmesi için zamansal ağırlıklı ortalama ve aritmetik ortalamalardan yararlanılmıştır.

Literatüre giren ilk çalışma 1856 yılında Henry Darcy tarafından gözenekli ortamlar için sunulan Darcy kanunudur (Darcy, 1856). Sonrasında bu konu üzerinden çok araştırma yapılmıştır (Dudgeon, 1964 Laushey ve Popat, 1980 Kutilek, 1969 Slepicka, 1961 Swartzenruber, 1969 Wilkinson, 1956 Basak, 1978).

Dengesiz yeraltısuyu akımı ilk incelemesi ise Theis tarafından basınçlı bir akifere tam olarak nüfuz eden bir kuyu için verilmiştir. Akifer parametrelerinin bulunması için matematik ağırlıklı denklemler yerine basit kullanılabilir grafik bir çözüm önermiştir (Theis, 1935). Yöntem Theis tip eğri çakıştırma olarak bilinir ve çok fazla kullanılmıştır. Sonrasında Cooper ve Jacob, Theis tarafından geliştirilen denklem üzerinde çalışarak geç zamanlarda boyutsuz zaman faktörü, u'nun 0,01'den küçük değerleri için, yarı-logaritmik ölçekte Theis fonksiyonları  $W(u) - 1/u$  arasındaki ilişkinin doğrusal şekilde olduğunu tespit etmişlerdir (Cooper, ve Jacob, 1946). Böylelikle bu ilişkiden zaman-düşüm, mesafe-düşüm ve birleşik değişken modelleri ortaya çıkmıştır.

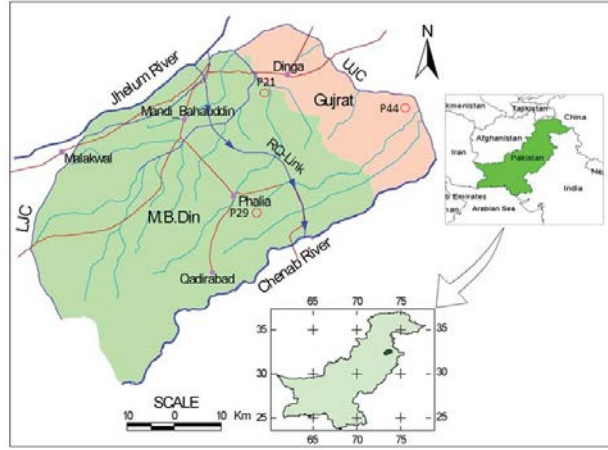
Jacob Metodu'nun uygulanması için geçerli fiziksel şartları Şen yaptığı çalışma ile ortaya koymuştur. Jacob metodunun kullanımının bazı şartlara bağlı olduğunu vurgulayarak, akifer ve akım şartlarının göz önünde bulundurularak modelin kullanılması gerektiğini belirtmiştir (Şen, 1998). Şen bir başka çalışmasında Jacob doğru yönteminin geçerliliğini koruduğu fiziksel şartları dikkate alarak, doğrunun kullanımı için gereken şartları belirtmiştir (Şen, 2012a). Ayrıca Jacob metodunda değişiklik önermiştir (Şen, 2012b). Akifer parametreleri için kullanılan boyutsuz doğru yöntemini geliştirmiştir. Jacob metodu için arazi veri dağılımına uyan eğrinin eğiminin 2.3 olmasının gerekli olduğunu göstermiştir (Şen, 2012b).

Chow eğri çakıştırma işlerinden kurtulmak için farklı bir grafik yöntem önermiş ve bu yöntemde kullanılması için bir  $F(u)$  fonksiyonu tanımlamıştır (Chow, 1952).

Şen akifer parametrelerini hesaplamak için, eğim çakıştırma metodu olarak isimlendirdiği ve birçok akifer tip eğrisine de uygulanabilecek bir model geliştirmiştir. Yöntemin ilk uygulaması için, kuyu testlerinden elde edilen, 2 ardışık zamandaki düşüm ölçümü yeterlidir. Parametrelerin ilk öngörüsü bu ölçümlere göre hesap edilir. Daha sonra ardışık zaman düşüm ölçümleri üzerinden hesaplanan her bir değişen eğim değeri ile bunlara karşılık akifer parametreleri hesaplanır. Dolayısıyla klasik yöntemlerden farklı olarak, akifer parametresi olarak ortalama tek bir değer yerine, bu parametrelerin zamanla değişimi model yardımıyla bulunabilir (Şen, 1986).

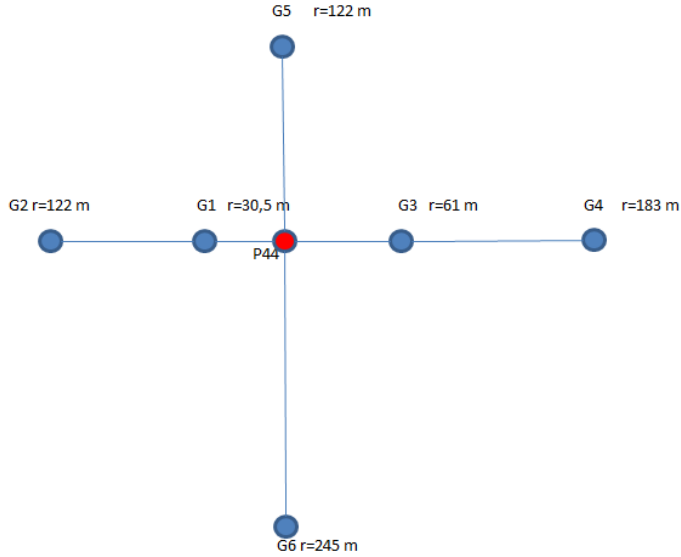
## 2. Çalışma alanı

Seçilen modellerin uygulaması için, kuyu pompaj tecrübesi araştırılmıştır. Pakistan'ın kuzeydoğusundaki Chaj Doab bölgesinde tarımsal sulama amaçlı kullanılan kuyularda yapılan pompaj testleri akifer sınamaları için kullanılmıştır. Bölgede yer alan P44-P21-P29 numaralı ana kuyular, Şekil 1 genel yerleşim planından görüldüğü üzere, Jhelum ve Chenab nehirleri arasında kalmaktadır. Bölge konum olarak 74° 30' E ve 72° 10' E boyları ile 31° 00' N ve 33° 00' N enlemleri arasındadır.



Şekil 1. Chaj Doab Bölgesi ana yerleşim planı (Şişman, 2016)

Akifer testleri ile iletkenlik ve depolama katsayılarını belirlemek için, ana kuyu çevresinde açılan Şekil 2'de görülen gözlem kuyularında da ölçümler gerçekleştirilmiştir. P44 numaralı ana kuyu ve çevresinde yer alan 6 adet gözlem kuyusu yerleşim planı Şekil.2' de görülmektedir.

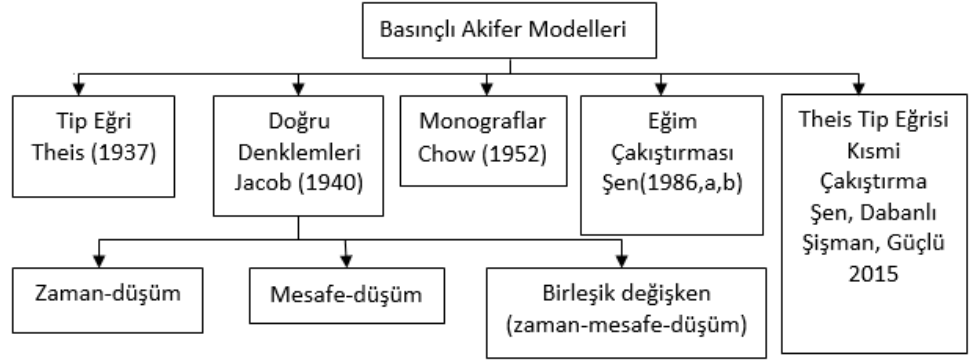


Şekil 2. P44 numaralı ana kuyu ve gözlem kuyuları planı (Şişman, 2016)

Pompa testleri Pakistan Su ve Toprak Araştırma Merkezi ile Su ve Güç Geliştirme Merkezleri tarafından yapılmıştır. Bölgede bulunan iki nehirde sınırlı miktarda su temin edilebilmesi ve yağışlardan da ihtiyaç miktarında su, verimli şekilde sağlanamadığı için kaynak olarak yeraltı sularına yönelim olmaktadır. Yeraltı suyunun da yetmediği dönemlerde uzak mesafelerden su taşınmaktadır. Bu bölgede, Chaj Doab'da yıl boyu tarım yapılmaktadır. Yaz mevsiminde muson yağışları görülmektedir. Yağışların görüldüğü aylar genelde temmuz, ağustos ve eylül'dür. Bölgeye ait su toplama havzasının güney kısmında yıllık ortalama 12 cm, kuzey kesimine doğru ise ortalama 50 cm' ye varan yağışlar olur (Ahmad, A., 1998 ve Gazioğlu, A.,1999).

### 3. Yöntemler

Bir akiferin su potansiyelinin bilinmesi için iletim (T) ve depolama (S) katsayıları belirlenmelidir. Yapılan arazi testleri sonucu elde edilen ölçüm verilerinde saklı bulunan bahse konu akifer parametreleri uygun modeller yardımıyla hesaplanmaktadır. Bu amaç için uygun arazi ölçüm verileri ve basit modeller öncelikle tercih edilmelidir. Akifer türlerine göre modeller çeşitlenmektedir. Doğada sıkça karşılaşılan ve bilimsel olarak üzerinde oldukça fazla çalışma yapılan basınçlı akiferlerin detaylı analizi için, konuyla ilgili ilk çalışmada yakın zamanda geliştirilen modellere kadar seçilen 7 farklı yöntem ile uygulama bölgesi akifer potansiyeli bu araştırma kapsamında değerlendirilmiştir. Modeller açısından genelde yapılan kabullerin benzerlikleri fazladır. Makale kapsamında değinilecek basınçlı akifer modelleri Şekil 3' de görülmektedir.



Şekil 3. Basınçlı Akifer Modelleri (Şişman, 2016)

### 3.1. Theis tip eğri çakıştırma yöntemi

Basınçlı bir akifere tam nüfuz eden bir kuyudan su çekilmesi durumunda kullanılacak hareket denklemi aşağıdaki eşitlik ile gösterilmiştir.

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

Bu eşitlik ile ana kuyudan alınan suya karşılık çevresinde açılan gözlem kuyularındaki su seviyelerinin zamanla değişimi bilinirse, akifer iletkenlik özellikleri hesap edilebilir. Bu hesaplar için su yüzü eğiminin kararlı duruma gelmesi de gerekmez. Bu denklemin çözümü için ısı dağılım eşitliği ile olan benzerlikten yararlanılarak aşağıdaki kuyu denklemi,  $W(u)$ , elde edilmiştir.

$$W(u) = \int_{-\infty}^u \frac{e^{-u}}{u} du \quad (2)$$

Burada u aşağıdaki şekilde ifade edilen boyutsuz zaman faktörünü göstermektedir.

$$u = \frac{r^2 S}{4tT} \quad (3)$$

r esas kuyu ile gözlem kuyusu arasındaki mesafeyi, S depolama katsayısını, T iletim katsayısını, t ise pompaj suresini göstermektedir. Denklem (2)' deki kuyu fonksiyonu da kısaca

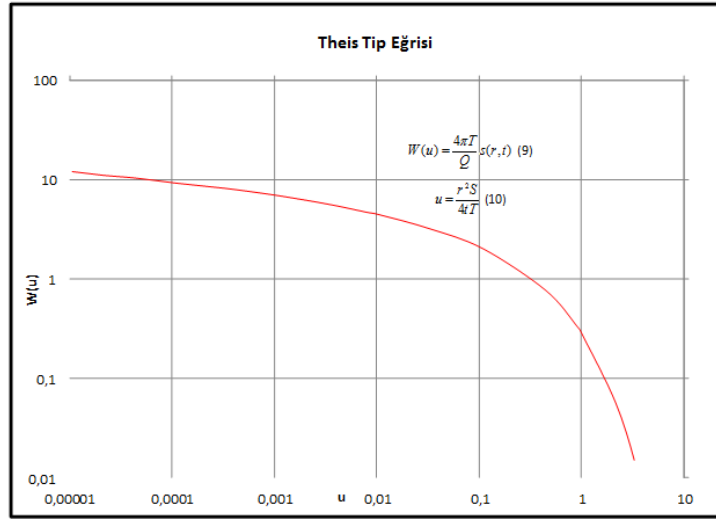
$$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t) \quad (4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada da  $s(r,t)$  gözlem kuyusunda t zamanındaki düşümü ve Q' da sabit kuyu debisini gösterir. Denklem (2)' nin seri açılımı aşağıdaki şekilde verilebilir. u boyutsuz zaman faktörü,  $W(u)$  ise kuyu fonksiyonudur.

$$W(u) = -0,5572 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \times 2!} + \frac{u^3}{3 \times 3!} - \dots \quad (5)$$

Akifer parametreleri (S, T) ile  $W(u)$  ve u fonksiyonları arasındaki matematik ilişkiden elde edilir. Basınçlı bir akifere tam nüfuz eden bir kuyu yanında gözlem kuyuları açılır ve pompaj testleri yapılır ise burada verilen eşitlikler kullanılarak dengesiz (durağan olmayan) akım şartlarında, bu akiferin iletkenlik ve depolama katsayıları belirlenir. Bu denklemlerin kullanılabilir olması için en azından bir gözlem kuyusunda zamanla düşüm ölçüm verileri olmalıdır. Modelin uygulamasında önemli noktalar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Yöntemin uygulamasında arazi pompaj testinden elde edilen verilere ait saçılma noktaları ile tip eğri grafikleri uygun ölçeklerde üst üste çakıştırılır.
- 3 ve 4 numaralı denklem içerisinde yer alan r, t, Q ve  $s(r,t)$  değişkenleri sayısal değerleri biliniyorsa, Theis çakıştırma yöntemi ile akifer parametreleri T ve S belirlenir.
- Tip eğri grafiği çifte logaritmik olarak hazırlanmıştır. Bu duruma uygun olarak arazi testlerinde elde edilen verilerin saçılma grafikleri de çifte logaritmik eksenli olarak tasarlanır.
- Düşüm verilerinin düşey ekseninde zaman verilerinin yatay ekseninde gösterimi genelde tercih edilir.
- Uygun çakışmaya karar verilirken, tip eğri ve arazi veri saçılma grafikleri eksenleri birbirlerine paralel şekilde kaydırılarak, gözle deneme yanılma ve tecrübe ile en iyi çakışma sınanır. Bilgisayar programları yardımıyla istenen kaydırma, tip eğri şeffaf şekilde tanımlanarak gerçekleştirilir (bak Şekil 4).



Şekil 4. Theis tip eğrisi

- Uygun çakışma(eşleşmeye) karar verildikten sonra, her iki eksen takımının ortak alanında rastgele bir çakışma (eşleşme) noktası (M) belirlenir. Bu noktanın eksen takımlarındaki koordinatları,  $W(u)$ ,  $u$ ,  $s$  ve  $1/t$ , (3) ve (4) numaralı eşitliklerde kullanılarak akifer depolama  $S$  ve akifer iletkenlik  $T$  değerleri hesap edilir.

### 3.2 Doğrusal yöntemler

Cooper ve Jacop Theis denklemini incelediklerinde,  $u$  değerinin  $0,01'$  den küçük olması durumunda, kuyu fonksiyonu  $W(u)$  ile  $u$  arasındaki ilişkinin yarı logaritmik ölçekte doğru şeklinde tanımlanabildiğini fark etmişlerdir. (5) numaralı denklem de kullanılırsa, şayet  $u$  değeri  $0,01'$  den küçük ise (diğer bir ifade ile  $r$  küçük ve  $t$  büyük değerlere sahipse)  $\ln u'$  dan sonra gelen terimler ihmal edilebilir. Bu son durumda eşitlik kısaca şu şekilde yazılabilir.

$$W(u) = -0,5572 - \ln u \quad (6)$$

İkinci bir işlem olarak (4) ve (3) numaralı  $W(u)$  ve  $u$  eşitliklerini (6) numaralı denklemde yerine koyacak olursak aşağıdaki eşitliğe ulaşılır.

$$s(r, t) = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (7)$$

Bu denkleme göre eğer debi ( $Q$ ) sabit olursa, düşümün ( $s$ ) zaman ( $t$ ) ve mesafe ( $r$ ) ile değişimi, arazi testlerinin ileri (geç) sürelerindeki verileri yardımıyla bulunur. Bu sayede, düşüm-zaman, düşüm-mesafe ve düşüm-zaman-mesafe, şeklinde isimlendirilen üç farklı çözüm yöntemi ortaya çıkmıştır. Üç çözüm yönteminde de Theis eğrisinin son(geç) zamanları için çizilen eğriler yarı logaritmik ölçek üzerinde doğru şeklindedir.

#### 3.2.1 Doğrusal zaman-düşüm yöntemi

Denklem (7)' de bazı düzenlemeler sonrasında, elde edilen (8) ve (9) denklemleri yardımıyla, akifer depolama ve iletim parametreleri belirlenir. Yöntem sadece bir gözlem kuyusu olması durumunda uygulanabilir. Çok daha fazla sayıda gözlem kuyusu olması halinde, ayrıntılı çözümler ve değerlendirmeler mümkündür. Ekonomik ve pratik olması hasebiyle sıkça kullanılmaktadır. Yöntem uygulamasında önemli noktalar madde madde sıralanmıştır.

- Gözlem kuyularındaki geç (ileri) zamanlı düşüm ölçümlerinden faydalanılır.
- Zaman değişkeni logaritmik ölçekli düşünülerek zaman düşüm saçılma dağılımı grafikleri elde edilir.
- Bu grafiklerdeki veri saçılımlarını en iyi temsil eden doğru belirlenir. Bu doğrunun eğim değeri  $\Delta s_t$  ve zaman eksenini kesim noktası değeri  $t_0$  kullanılarak, depolama ve iletim katsayısı parametreleri elde edilir.
- Belli bir  $r$  mesafesindeki gözlem kuyusu için, (8 ve 9) numaralı denklemlerde, bulunan  $\Delta s_t$  ve  $t_0$  değerleri kullanılarak,  $T$  ve  $S$  parametreleri hesap edilir.

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi \Delta s_t} \quad (8)$$

$$S = \frac{2,25 t_0 T}{r^2} \quad (9)$$

### 3.2.2 Doğrusal mesafe-düşüm yöntemi

Basınçlı akiferde açılan bir ana kuyudan su çekilmesi durumunda, yeraltı suyu akımının denge durumuna geldiği veya bu duruma yaklaştığı akım şartlarında ve geç pompaj sürelerinde, ana kuyu çevresine yerleştirilmiş birden fazla gözlem kuyusunda eş zamanlı düşüm ölçümleri yapılırsa, bu veriler denklem (7) yardımıyla akifer parametreleri elde edilir. Mesafe düşüm veri saçılımları, eğer akifer model varsayımlarını taşıyor ise, geç sürelerde yarı logaritmik eksende doğru şeklinde veya doğruya yakındır. Bu yöntemin uygulanmasında dikkat edilecek hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Elde edilen ölçümler sonrası mesafe verileri logaritmik eksende gösterilecek şekilde, mesafe düşüm verileri saçılma grafikleri çizilir.
- Saçılma grafiklerine en uygun doğrular belirlenir. Bu doğruların eğimi  $\Delta s_r$  ve yatay eksen kestiği nokta  $r_0$ , yani düşüm konisi yarıçapı, kullanılarak aşağıdaki denklemler yardımıyla T ve S parametreleri hesaplanır.

$$T = \frac{2.3Q}{2\pi\Delta s_r} \quad (10)$$

$$S = \frac{2.25t_0T}{r_0^2} \quad (11)$$

Burada,  $t_0$  eş zamanlı düşüm ölçümlerinin yapıldığı sürelerdir. Tesir yarıçapının tahmin edilmesinde kullanılır.

### 3.2.3 Doğrusal birleşik değişken yöntemi (Düşüm-zaman-mesafe yöntemi)

Akiferlerde açılan kuyuların çevresinde pompaj ile birlikte ortaya çıkan düşüm konisinin zaman ve mesafe ile değişimi,  $t/r^2$  birleşik değişkenine bağlı olarak araştırılmıştır. Düşümün  $t/r^2$  değişkeniyle yarı logaritmik ölçekte saçılımının doğru veya doğruya yakın olmasından hareket edilmiştir. Elde edilen temsili doğrunun eğimi  $\Delta s_{(r^2/t)}$  ve yatay eksen kestiği noktanın  $(t/r^2)_0$  değerleri kullanılarak T ve S aşağıdaki denklemler vasıtası ile hesaplanır.

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s_{(r^2/t)}} \quad (12)$$

$$S = 2.25xT\left(\frac{t}{r^2}\right)_0 \quad (13)$$

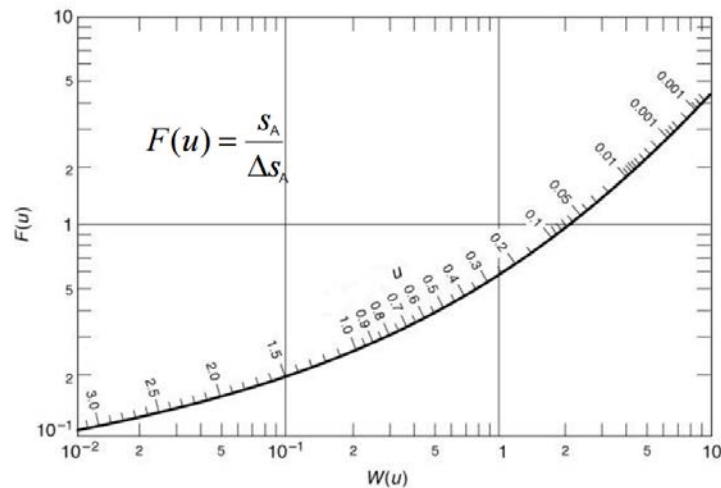
### 3.3 Chow yöntemi

Bu yöntemin uygulaması için, Theis modelinde tanımlanan boyutsuz fonksiyonlara  $[W(u)$  ve  $u]$  ek bir üçüncü boyutsuz fonksiyon  $F(u)$  tanımlanmıştır. Bu yeni tanımlı fonksiyon kullanılıp, eğri çakıştırma yöntemi kullanılmadan akifer parametreleri hesaplanmıştır.

$$F(u) = \frac{W(u)e^u}{2.3} \quad (14)$$

Chow fonksiyonu  $F(u)$ , arazi verileri üzerinden (15) denklemi yardımıyla hesaplanır.  $s_A$  seçilen bir A noktasındaki düşüm değeri,  $\Delta s_A$  ise A noktasından eğriye çizilen teğetin eğimidir. Değişkenlerden biri bilinirse, bu eşitlikteki diğer terimler Şekil 5'teki Chow abağı yardımıyla hesaplanır.

$$F(u) = \frac{s_A}{\Delta s_A} \quad (15)$$



Şekil 5. Chow Abağı (Şişman, 2016)

Yöntemin uygulama adımları sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

- Ölçülen zaman düşüm verilerinin saçılma dağılım grafikleri her bir kuyu için, zaman eksenini logaritmik seçilerek, hazırlanır.
- Her bir saçılım grafiğine uygun bir doğru geçirilir.
- Bu doğrular üzerinde rastgele bir nokta (A) seçilir. Bu noktanın koordinatları değişken eksenleri üzerinden düşüm  $s_A$ , süre  $t_A$  olarak ve teğetin eğimi  $\Delta s_A$  belirlenir.
- Chow fonksiyonu  $F(u)$  fonksiyonu değeri bir önceki adımda belirlenen değerler üzerinden, (15) eşitliği ile hesap edilir.
- Şekil 5' te görülen abaktan  $F(u)$  değerine karşılık gelen  $W(u)$  ve  $u$  değerleri belirlenir.
- Son aşamada Theis formülünden yararlanarak  $T$  ve  $S$  sırası ile aşağıdaki denklemlerden hesap edilir.

$$T = \frac{Q}{4\pi s_A} W(u) \quad (16)$$

$$S = \frac{4Tt}{r^2} u \quad (17)$$

### 3.4 Şen eğim eşleştirme yöntemi

Doğada yer alan akiferler, bilimsel çalışmalarda denklemlerin matematiğini basitleştirmek için yapılan kabullerin aksine, genelde homojen, izotrop, üniform ve sonsuz uzanımlı değildir. Yapılan bu kabuller sonrasında elde ettiğimiz akifer parametreleri, ortalama veya ortalamaya yakın bir değere sahiptir. Doğal ortamlarda yer alan akiferlerin parametreleri düşüm konisinin gelişimiyle sürekli değişkenlik gösterir. Konuyla ilgili Şen tarafından bir model önerilmiştir.

Şen eğim eşleştirme (çakıştırma) adı verilen yöntem için, ardışık iki zamanda ölçülen düşüm verisi yeterlidir. İkinci zamanda yapılan ölçüm ile birlikte akifer parametreleri hesaplanır. Zamanla ölçüm kayıtları eklendikçe, akifer parametrelerinin hesabı yapılabilir. Model akifer parametrelerinin zamanla değişimini ortaya koymaktadır. Şen tarafından Theis eğrisinden çıkarılan analitik eğim ifadesi  $\alpha$  şu şekilde tanımlanmıştır.

$$\alpha = \frac{e^{-u}}{W(u)} \quad (18)$$

Tablo 1. Şen Eğim Eşleştirme Yöntemi Eğimleri ( $\alpha$ )

u	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x10^0$	-1,680	-2,762	-3,830	-4,820	-6,125	-6,885	-7,599	-8,828	-10,284
$x10^{-1}$	-0,497	-0,671	-0,814	-0,958	-1,103	-1,220	-1,342	-1,449	-1,564
$x10^{-2}$	-0,245	-0,293	-0,328	-0,372	-0,385	-0,409	-0,0434	-0,455	-0,476
$x10^{-3}$	-0,158	-0,177	-0,191	-0,201	-0,210	-0,219	-0,226	-0,233	-0,239
$x10^{-4}$	-0,116	-0,126	-0,133	-0,138	-0,142	-0,146	-0,149	-0,153	-0,155
$x10^{-5}$	-0,091	-0,098	-0,102	-0,105	-0,107	-0,109	-0,111	-0,113	-0,114
$x10^{-6}$	-0,076	-0,080	-0,082	-0,084	-0,086	-0,087	-0,089	-0,090	-0,091
$x10^{-7}$	-0,064	-0,067	-0,069	-0,071	-0,072	-0,073	-0,074	-0,074	-0,075
$x10^{-8}$	-0,056	-0,058	-0,060	-0,061	-0,062	-0,062	-0,063	-0,063	-0,064
$x10^{-9}$	-0,050	-0,051	-0,052	-0,053	-0,054	-0,054	-0,055	-0,055	-0,056
$x10^{-10}$	-0,045	-0,046	-0,047	-0,047	-0,048	-0,048	-0,049	-0,049	-0,049
$x10^{-11}$	-0,040	-0,042	-0,042	-0,043	-0,043	-0,044	-0,044	-0,044	-0,044
$x10^{-12}$	-0,037	-0,038	-0,039	-0,039	-0,039	-0,040	-0,040	-0,040	-0,040
$x10^{-13}$	-0,034	-0,035	-0,035	-0,036	-0,036	-0,036	-0,036	-0,037	-0,037
$x10^{-14}$	-0,032	-0,032	-0,033	-0,033	-0,033	-0,033	-0,034	-0,034	-0,034

Şen eğim eşleştirme yöntem uygulaması aşağıda birkaç madde halinde özetlenmiştir.

- İlk olarak arazi ölçümleri kullanılarak 19 numaralı denklem ile eğimler hesaplanır.
- Hesaplanan eğimlere karşı gelen  $u$  değerleri Tablo 1' den belirlenir. Ara eğim değerleri için enterpolasyon yapılır.
- Eğim ve  $u$  değerleri 18 numaralı denklemde kullanılarak, her bir veri için bir kuyu fonksiyonu  $W(u)$  hesaplanır.

$$W_i(u) = \frac{e^{-u}}{\alpha_i} \quad (20)$$

- Theis tarafından verilen boyutsuz zaman faktörü ve kuyu fonksiyonu eşitlikleri kullanılarak  $T$  ve  $S$  akifer parametreleri aşağıda verilen denklemler ile Tablo 1'den yararlanarak hesap edilir.

$$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t) \quad (21)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4\pi T} \quad (22)$$

- Sırayla her bir zaman düşüm ölçümü için, bu adımlar tekrarlanarak akifer parametreleri elde edilir.

### 3.4 Theis tip eğrisi kısmi çakıştırma yöntemi

Theis tip eğri çakıştırma uygulaması Şen vd. tarafından 2015' te farklı şekilde yorumlanarak literatüre yeni bir yöntem kazandırılmıştır. Yöntemin uygulaması için, Theis tip eğrisi ve bu eğrinin kullanımı için geliştirilen eşitliklerden faydalanılır.

Theis model uygulamasında, tip eğri ile pompaj süresince elde edilen tüm verilere ait saçılma dağılımları en uygun şekilde eşleştirmektedir (çakıştırmaktadır). Bu yeni kısmi çakıştırma yönteminde ise ilk zamanki düşüm değerlerinden başlanarak en uygun eşleştirme (çakıştırma) için tip eğrinin uygun kısmı ile eşleşen veri grupları parça parça dikkate alınmaktadır. Ölçülen tüm veri aralığını kapsayacak şekilde en uygun eşleştirmelere karar verilir.

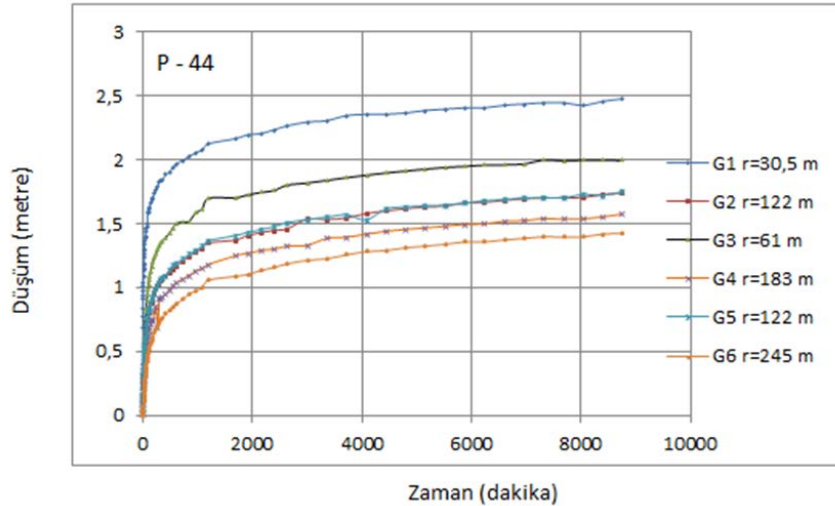
Yöntem uygulaması için ilk olarak tip eğri grafiği belirlenen uygun bir ölçekte hazırlanır. Aynı ölçekli arazi düşüm-zaman verileri saçılma grafikleri çizilir. Saçılma grafiklerinin tip eğri ile eşleşen kısımları baştan parça parça eşleştirilerek ardışık şekilde son zaman düşüm ölçümüne kadar devam edilir. Son olarak ta Theis tip eğri çakıştırma yönteminde geçerli olan eşitlikler kullanılarak akifer parametreleri tahmin edilmektedir. Bu yeni yöntemin uygulama adımları maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

- Kuyu ölçümleri sonrası, düşüm-zaman saçılma grafikleri çifte logaritmik olarak hazırlanır.
- Aynı ölçekli şeffaf olarak hazırlanmış Theis tip eğrisinin uygun kısımları ile, veri saçılma grafikleri deneme yanılma yöntemiyle eşleştirilir.
- Uygun eşleşmeye karar verildikten sonra, Theis yönteminde de olduğu gibi, her iki grafik üzerinde de rastgele ortak bir nokta (M) tespit edilir. Ve sırasıyla tip eğri ve arazi veri grafikleri üzerindeki koordinat değerleri  $u$ ,  $W(u)$ ,  $1/t$  ve  $s$  belirlenir.
- Theis eğri çakıştırma yöntemindeki akifer iletkenlik ve depolama katsayılarına ait eşitlikler ve M noktası koordinat okumaları kullanılarak, akiferlerin iletkenlik ve depolama katsayıları hesap edilir.
- Bu adımlar tüm ölçüm zamanı için tekrar edilerek, her bir eşleşme aralığı için T ve S akifer parametreleri Denklem (3) ve (4)'ten hesaplanır.
- Akiferleri tek bir değer üzerinden değerlendirebilmek için, aritmetik ve/veya zamansal ağırlıklı ortalama denklemlerinden faydalanılmalıdır.

## 4. Model uygulamaları ve bulgular

### 4.1 Arazi veri analizleri

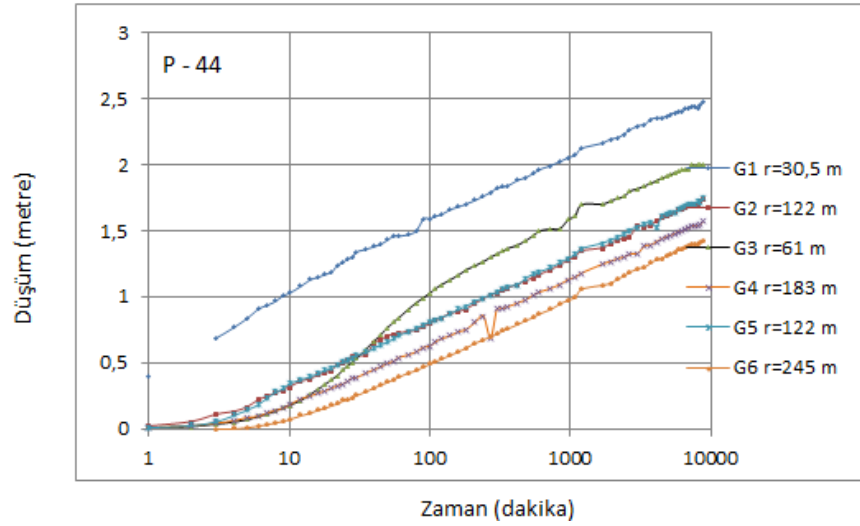
Bölgedeki pompaj kuyuları içinde P44 numaralı kuyu çevresinde bulunan gözlem kuyularına ait düşüm zaman saçılma grafikleri ve model uygulamaları bu bölümde verilmiştir. Farklı eksen takımlarında (Kartezyen koordinat, yarı logaritmik ve çifte logaritmik) verilerin saçılma dağılım grafikleri değerlendirilerek akiferle ilgili bazı faydalı ön değerlendirme ve yorumlarda bulunulmuştur (bak Şekil 6).



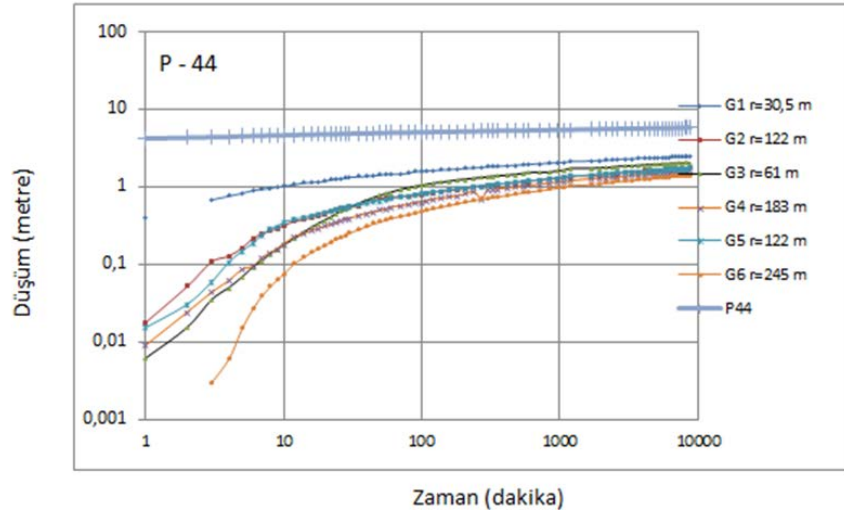
Şekil 6. G1-G2-G3-G4-G5-G6 Gözlem kuyuları düşüm-zaman eğrileri (0-8760 dak)(Şişman, 2016)

Şekil 6'nın incelenmesinde, öncelikle ana kuyudan eşit mesafede bulunan G2 ve G5 gözlem kuyularını dikkate alırsak, veri saçılım grafiklerinden zamanla düşüm değişimlerinin üst üste olduklarını kolaylıkla görebiliriz. Bu durum tektür (homojen) ve eşit yönlü (izotrop) özelliklere sahip akifer davranışının bir göstergesidir. Aynı verilerin düşüm-zaman veri saçılım grafiğinin Şekil 7' de görüldüğü gibi yarı logaritmik gösteriminde G3 dışında gözlem kuyularına ait veri saçılımlarının ilerleyen zamanlar için doğrusal oldukları görülmektedir. Bu dağılımlarda akiferin homojen ve izotrop yapıda olduğunu destekler. G3 gözlem kuyusunun düşüm-zaman grafiği incelendiğinde, eğrinin gidişatı kuyu çevresinde zemin yapısının kuyudan olan mesafe ile değişkenlik gösterdiğini düşündürür.





Şekil 7. P44 Pompaj kuyusu çevresindeki gözlem kuyularının düşüm-zaman grafikleri (yarı logaritmik) (Şişman, 2016)  
Düşüm zaman grafiklerinin hem ana kuyu için hem de bu kuyu çevresindeki gözlem kuyuları için logaritmik eksenlerde gösterimi durumunda basınçlı akiferlerde Şekil 8’ de görüldüğü gibi zamanla düşüm artışları bir süre sonra zaman eksenine paralel olmaktadır.



Şekil 8. P44 Pompaj kuyusu çevresindeki gözlem kuyularının düşüm-zaman grafikleri (çifte logaritmik) (Şişman, 2016)  
Model uygulamalarına gelince, her bir model uygulaması için birer örnek uygulama grafiğine bu makalede yer verilmiştir.

## 4.2 Theis tip eğri çakıştırma yöntemi

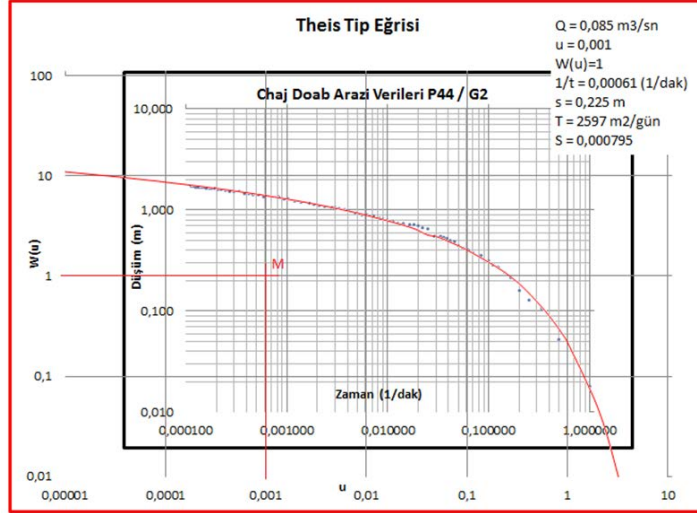
İlk model olarak Theis tip eğrisinin, gözlem kuyularına ait verilerin çifte logaritmik eksenle saçılma noktaları ile çakıştırması yapılmıştır. Theis eğrisi ve geliştirilen denklemler yardımıyla iletkenlik ve depolama parametreleri Tablo 2’de elde edilmiştir.

Tablo 2. P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 Kuyuları Theis tip eğri çakıştırma yöntemi sonuçları (Şişman, 2016)

Kuyu No	Zaman (dak)	$U_M$	$W(U_M)$	$(1/t)_M$	$s_M$ (cm)	T (m <sup>2</sup> /gün)	S (-)
G-1	0-8760	0,0001	1	$9,50 \times 10^{-4}$	15	3.896	$1,23 \times 10^{-3}$
G-2	0-8760	0,001	1	$6,10 \times 10^{-4}$	22,5	2.597	$7,95 \times 10^{-4}$
G-3	0-8760	0,01	1	$4,00 \times 10^{-3}$	29	2.015	$3,76 \times 10^{-3}$
G-4	0-8760	0,001	1	$3,60 \times 10^{-4}$	21	2.783	$6,40 \times 10^{-4}$
G-5	0-8760	0,001	1	$6,80 \times 10^{-4}$	22	2.656	$7,29 \times 10^{-4}$
G-6	0-8760	0,01	0,1	$1,30 \times 10^{-3}$	2,4	2.435	$8,67 \times 10^{-4}$
Aritmetik Ortalama:						2.730	$1,34 \times 10^{-3}$

Diğer taraftan, Şekil 9’ da görülen örnek uygulama için Theis tip eğri ile arazi verileri saçılma noktalarının eşleştirilmesinde oldukça iyi bir uyumun olduğu görülmektedir. İletkenlik değerleri

$T > 500 \text{ m}^2/\text{gün}$  olduğu için, akifer yüksek potansiyelidir (Şen, 2003).



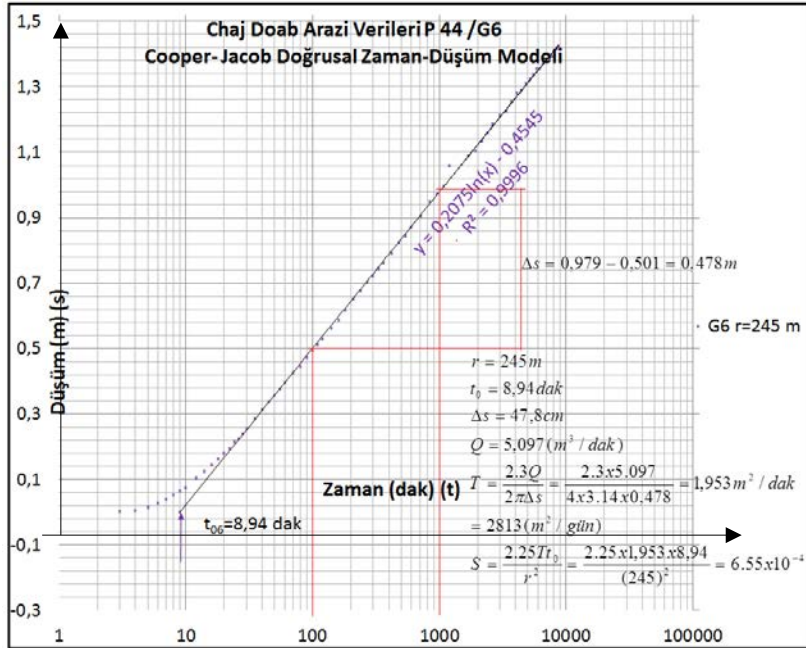
Şekil 9. Theis Metodu Uygulaması\_P44/G2 numaralı gözlem kuyusu (Şişman, 2016)

Tablo 2'den görüldüğü üzere 6 gözlem kuyusu iletkenlik değeri  $T$  günlük  $500 \text{ m}^2$ 'nin üzerindedir. Bu akiferde yeterli su olması durumunda yüksek potansiyelde su temin edilebileceğini gösterir. Aynı tablo incelendiğinde son iki sütunda yer alan akifer parametreleri birbirine yakındır. Bu akiferin homojen ve izotrop yapıda veya yakın olduğunun işaretidir. Ayrıca aritmetik ortalama iletkenlik katsayısı  $2.730 \text{ m}^2/\text{gün}$ , depolama katsayısı ise  $1.34 \times 10^{-3}$  olarak elde edilmiştir.

### 4.3 Doğrusal Yöntemler

#### 4.3.1 Zaman düşüm yöntemi

Doğrusal model uygulamalarında P44 kuyu çevresinde yer alan gözlem kuyularının yarı logaritmik saçılma grafikleri geç zamanlarda uygun doğruları elde edilerek akifer parametreleri belirlenmiştir. Zaman düşüm yönteminde her bir grafiğe ait doğrunun eğimi, yatay eksenindeki bir tam logaritmik süreye karşı düşüm eksenindeki fark değeri,  $\Delta s$  tespit edilmiştir (Şekil 10). Daha sonra bu doğruların logaritmik seçilen süre eksenini kesme noktaları  $t_0$ , belirlenmiştir. Tüm bu parametreler ile debi, gözlem kuyularının pompaj kuyusuna olan mesafeleri ve model için önerilen eşitlikler yardımıyla akifer parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 10. Doğrusal zaman düşüm yöntemi\_P44/G6 numaralı gözlem kuyusu (Şişman, 2016)

Uygulama sonuçları Tablo 3'de görülmektedir. Akifer çevresindeki gözlem kuyularında bu yönteme ile

en küçük iletkenlik değeri G3 numaralı gözlem kuyusu verilerine göre 2.719 m<sup>2</sup>/gün en yüksek G2 numaralı gözlem kuyusuna göre 2.827 m<sup>2</sup>/gün olarak hesaplanmıştır.

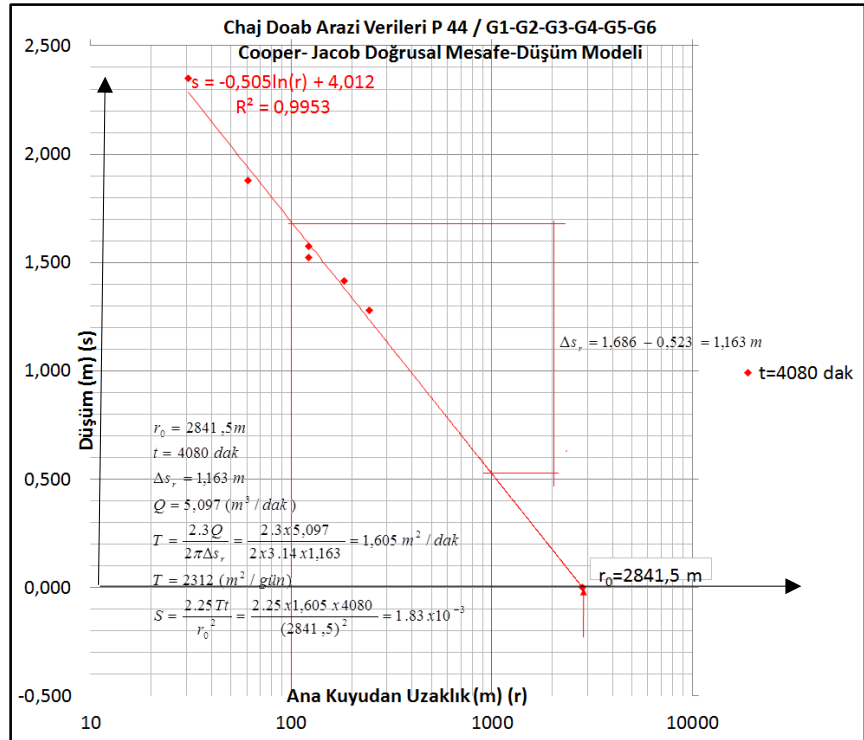
Tablo 3. P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 kuyuları zaman düşüm yöntemi sonuçları (Şişman, 2016)

Kuyu No	Mesafe r (m)	Doğru Okumaları		Parametre Hesapları	
		Eğim Δs (m)	Kesim t <sub>0</sub> (dak)	T (m <sup>2</sup> /gün)	S
G1	30,5	0,484	0,06	2.777	2,80x10 <sup>-4</sup>
G2	122	0,475	2,05	2.827	6,08x10 <sup>-4</sup>
G3	61	0,494	0,66	2.719	7,53x10 <sup>-4</sup>
G4	183	0,479	4,65	2.801	6,07x10 <sup>-4</sup>
G5	122	0,481	2,1	2.796	6,16x10 <sup>-4</sup>
G6	245	0,478	8,94	2.813	6,55x10 <sup>-4</sup>
Aritmeti Ortalama:				2.789	5,87x10 <sup>-4</sup>

G6 numaralı gözlem kuyusu uygulaması Şekil 10 ile yukarıda verilmiştir. Depolama katsayısının ise 7,53x10<sup>-4</sup> ve 2,80x10<sup>-4</sup> arasında olduğu tespit edilmiştir. Yöntem sonuçlarına göre tabloda ayrıntıları verilen akifer iletkenlik parametrelerinin birbirine oldukça yakın değerler aldığı görülmektedir. Depolama katsayıları da G1 kuyusu sonucu dışında yakındır. Bu sonuçlar akifer malzemesinin homojen ve izotrop yapıya yakın olduğunun bir göstergesidir.

### 4.3.2 Mesafe düşüm yöntemi

Yöntemin uygulaması sonrası elde edilen sonuçlar aşağıda tablo halinde verilmiştir. Uygulama için öncelikle mesafe ile düşüm değerlerinin belirlenen zamanlar için, yarı logaritmik ölçekte saçılma dağılımları Şekil 11'deki gibi elde edilmiştir. Daha sonra bu saçılımlara en uygun doğrular belirlenmiştir.



Şekil 11. Doğrusal mesafe düşüm yöntemi\_P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 numaralı gözlem kuyuları (Şişman, 2016)

Bu doğruların eğimi ve yatay eksenini kestiği r<sub>0</sub> değerleri grafiklerden elde edilerek, yöntemle birlikte tanımlanan eşitlikler yardımıyla akifer parametreleri hesaplanarak Tablo 4' te sunulmuştur.

Tablo 4. P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 kuyuları mesafe-düşüm yöntemi sonuçları (Şişman, 2016)

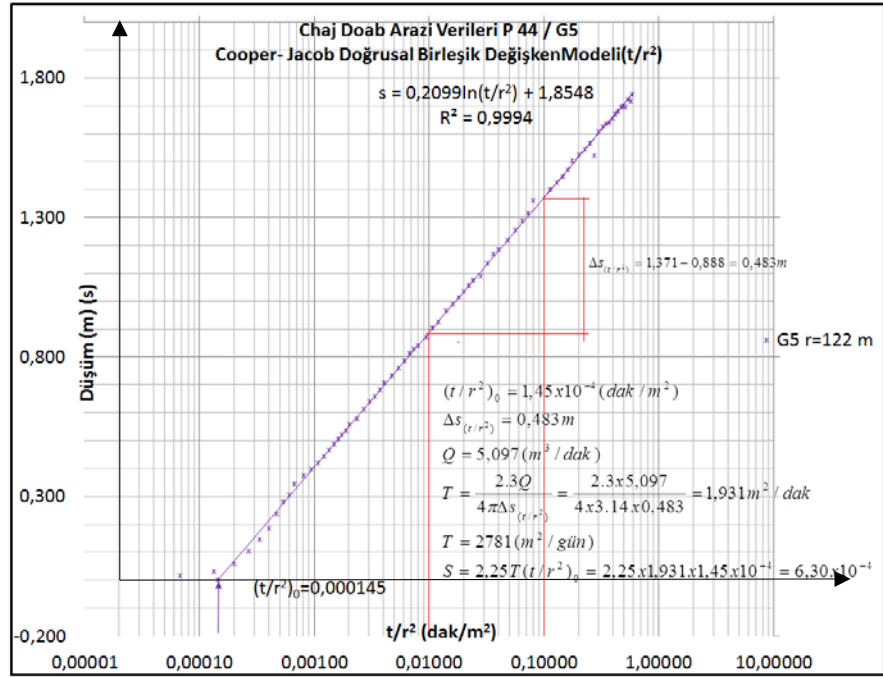
Zaman t (dak)	Doğru Okumaları		Parametre Hesapları	
	Eğim Δs (m)	Kesim r <sub>0</sub> (m)	T (m <sup>2</sup> /gün)	S
120	1,149	671,3	2.340	9,73x10 <sup>-4</sup>
420	1,163	1111,5	2.312	1,23x10 <sup>-3</sup>
1200	1,175	1810,5	2.289	1,31x10 <sup>-3</sup>
4080	1,163	2841,5	2.312	1,83x10 <sup>-3</sup>
8640	1,112	4501,7	2.417	1,61x10 <sup>-3</sup>
Aritmetik Ortalama:			2.334	1,39x10 <sup>-3</sup>

P44 numaralı ana kuyu ve 6 adet gözlem kuyusunun 8640 dakika süren pompaj testi sonucunda, her

bir gözlem kuyusundaki farklı süreli okumalara (120., 420., 1200., 4080. ve 8640.dakika) karşı gerçekleştirilen ölçümlerden, mesafe düşüm yöntemi kullanılarak akifer parametreleri belirlenmiştir. Yöntem sonuçlarını göreceğimiz Tablo 4 yukarıda yer almaktadır. Tablo ayrıntılı olarak incelendiğinde farklı zamanlarda tespiti yapılan akifer iletkenlik değerlerinin birbirine yakın seyrettiği görülmüştür. Yöntemin kullanılması ile öngörülen depolama katsayıları da birbirine oldukça yakındır. Yöntemin 5 farklı zaman için yapılan hesap sonucu aritmetik ortalaması alınır, iletim katsayısı 2.334 m<sup>2</sup>/gün ve depolama katsayısı 1,39x10<sup>-3</sup> olarak elde edilir.

### 4.3.3 Birleşik değişken yöntemi

Gözlem kuyularındaki düşümlerle birlikte,  $t/r^2$  değerleri belirlenerek, yarı logaritmik olarak saçılımları Şekil 12'de gösterildiği üzere elde edilir. Nokta saçılımları en iyi temsil eden doğruya karar verilerek akifer parametre hesapları yapılır. Model 6 farklı gözlem kuyusu için uygulanmıştır.



Şekil 12. Birleşik değişken yöntemi\_P44/G5 numaralı gözlem kuyusu (Şişman, 2016)

Bu yönteme göre elde edilen tüm sonuçlar aşağıda 5 numaralı tablo ile verilmiştir.

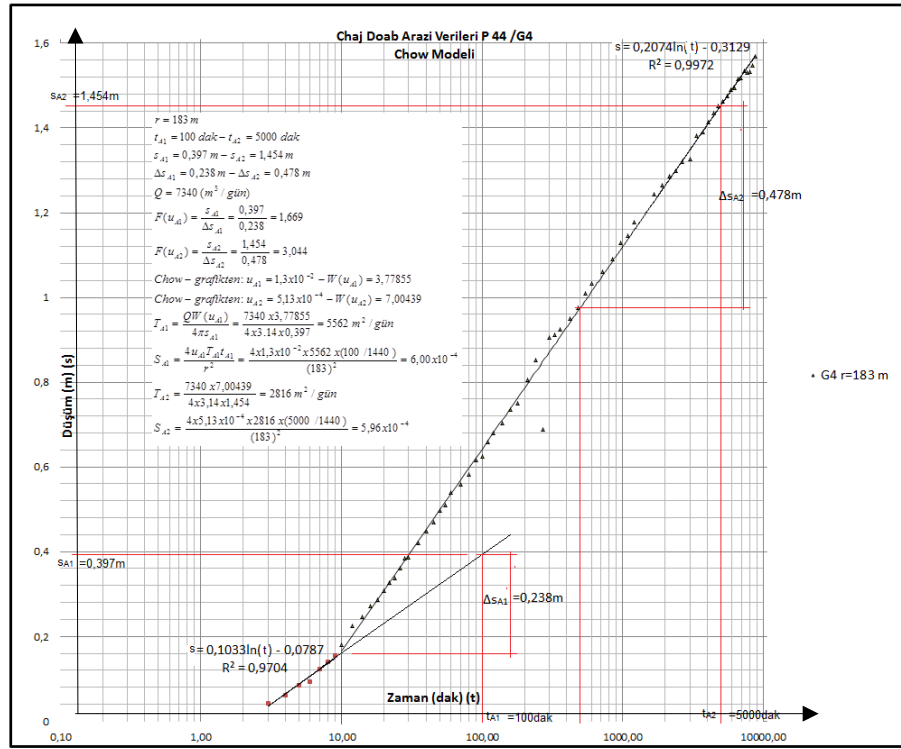
Tablo 5. P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 kuyuları birleşik değişken yöntemi sonuçları (Şişman, 2016)

Kuyu No	Mesafe r (m)	Doğru Okumaları		Parametre Hesapları	
		Eğim $\Delta s$ ( $t/r^2$ ) (m)	Kesim ( $t/r^2$ ) <sub>0</sub> (dak)	T (m <sup>2</sup> /gün)	S
G1	30,5	0,46	3,35x10 <sup>-5</sup>	2.953	1,55x10 <sup>-4</sup>
G2	122	0,479	1,44x10 <sup>-4</sup>	2.808	6,32x10 <sup>-4</sup>
G3	61	0,502	2,03x10 <sup>-4</sup>	2.676	8,48x10 <sup>-4</sup>
G4	183	0,475	1,31x10 <sup>-4</sup>	2.829	5,79x10 <sup>-4</sup>
G5	122	0,483	1,45x10 <sup>-4</sup>	2.781	6,30x10 <sup>-4</sup>
G6	245	0,474	1,44x10 <sup>-4</sup>	2.834	6,38x10 <sup>-4</sup>
Aritmetik Ortalama:				2.814	5,80x10 <sup>-4</sup>

Bu tablo incelendiğinde akifer parametrelerinin aritmetik ortalamasının 6 gözlem kuyusunu iyi temsil ettiği kanaati uyanmaktadır. Sadece G1 gözlem kuyusu depolama katsayısı aritmetik ortalamadan biraz uzaktır. Depolama katsayısı için bu durum çok normaldir. 6 uygulamanın ortalaması akifer iletkenliği 2.814 m<sup>2</sup>/gün, depolama katsayısı ise 5,80x10<sup>-4</sup> dir.

### 4.4 Chow yöntemi

Chow yöntemi sonuçları arasındaki kıyaslamada farkın daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Akiferin ortalaması için, aritmetik ortalama ve zamansal ortalama düşünülebilir. Şekil 13'dekine benzer grafikler yardımıyla, farklı zaman aralıkları için her bir doğrunun temsil ettiği zaman aralığı ve akifer parametreleri hesaplanabilir olduğu için, zamansal ortalama hesabı da kolaylıkla yapılabilir.



Şekil 13. Chow yöntemi\_P44/G4 numaralı gözlem kuyusu (Şişman, 2016)

Bu yöntemle elde edilen akifer parametreleri toplu olarak Tablo 6'de verilmiştir.

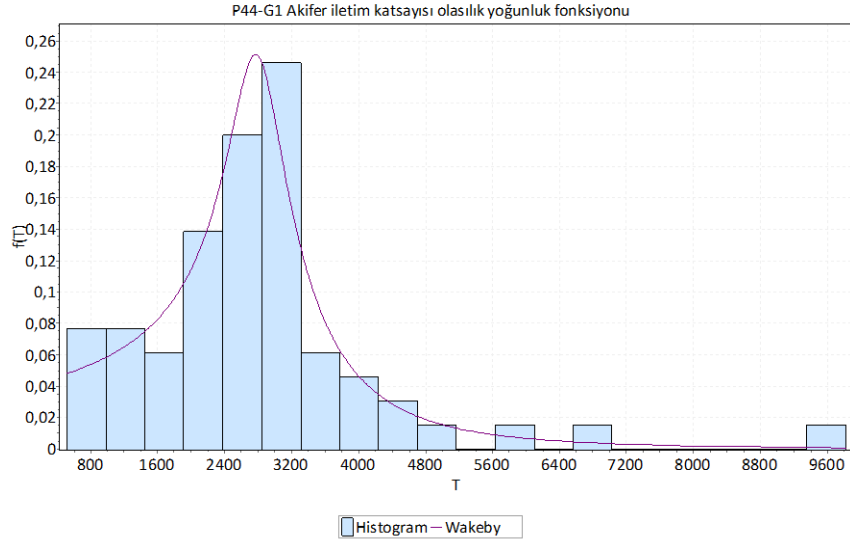
Tablo 6. P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 kuyuları birleşik değişken yöntemi sonuçları (Şişman, 2016)

Kuyu no	Düşüm (m)	Zaman (dak)	Eğim (m)	F(u)	u	W(u)	Parametre Hesapları T (m²/gün)	S
G1	2,044	1000	0,502	4,075	4,8x10 <sup>-5</sup>	9,3671	2,677	3,84x10 <sup>-4</sup>
G2	1,277	1000	0,471	2,708	1,1x10 <sup>-3</sup>	6,2363	2,855	9,38x10 <sup>-3</sup>
G3-A1	0,439	100	0,276	1,587	1,55x10 <sup>-2</sup>	3,6051	4,800	5,55x10 <sup>-3</sup>
G3-A2	1,035	100	0,933	1,108	5,3x10 <sup>-2</sup>	2,4126	1,363	5,39x10 <sup>-3</sup>
G3-A3	1,916	5000	0,491	3,905	7,00x10 <sup>-5</sup>	8,9899	2,742	7,16x10 <sup>-4</sup>
G4-A1	0,397	100	0,238	1,669	1,3x10 <sup>-2</sup>	3,7786	5,562	6,00x10 <sup>-4</sup>
G4-A2	1,454	5000	0,478	3,044	5,13x10 <sup>-4</sup>	7,0044	2,816	5,96x10 <sup>-4</sup>
G5	1,287	1000	0,477	2,696	1,15x10 <sup>-3</sup>	6,1919	2,812	6,03x10 <sup>-4</sup>

#### 4.5 Şen eğim yöntemi

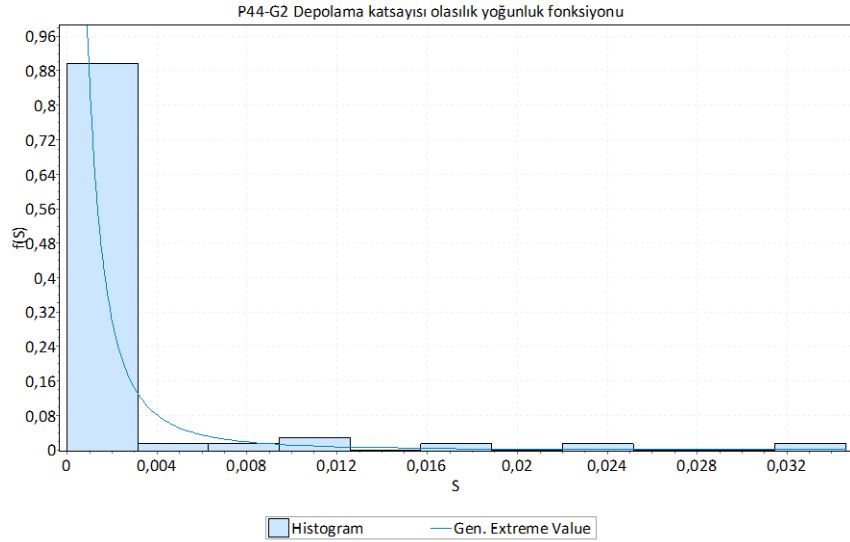
Akifer parametrelerinin hesaplanmasında buraya kadar anlatılan grafik yöntemler daha yaygın kullanılmaktadır. Ancak, tektür (homojen) ve eşit yönlü (izotrop) olmayan ortamlar için bu yaklaşımların kullanılması doğru değildir. Şen eğim yöntemi her tür ortam için rahatlıkla seçilip kullanılabilir. Bu yöntem yardımıyla değişkenlik gösteren akifer parametreleri kolaylıkla elde edilebilir ve parametreler için istatistik analizler gerçekleştirilebilir.

P44 ana kuyu pompaj testinde G1 gözlem kuyusu okumaları kullanılarak, farklı zaman okumaları için 65 adet akifer iletim ve depolama katsayısı değeri, Şen eğim yöntemi kullanılarak, geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır (Şen ve diğ., 2015). İletim ve depolama katsayıları için histogramlar ve istatistik değerlendirme tablosu örneği G1 gözlem kuyusu için örnek olarak verilmiştir (bak Şekil 14). Ortalama akifer iletimlik değeri 2791 m<sup>2</sup>/gün, depolama katsayısı 0,058 dir.



Şekil 14. Şen eğim yöntemi sonuçları\_ P44-G1 kuyusu akifer iletim katsayısı olasılık yoğunluk fonksiyonu (Şişman, 2016)

P44-G2 gözlem kuyusu için Şen eğim yöntemi uygulaması sonuçlarına göre hazırlanan depolama katsayısı histogramı Şekil 15' de görülmektedir. Ortalama depolama katsayısı 0,00222 olarak hesap edilmiştir.

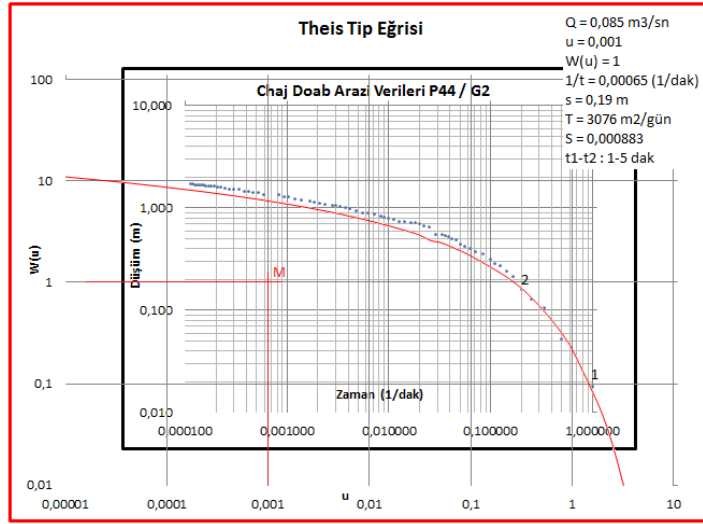


Şekil 15. Şen eğim yöntemi sonuçları\_ P44-G2 kuyusu akifer depolama katsayısı olasılık yoğunluk fonksiyonu (Şişman, 2016)

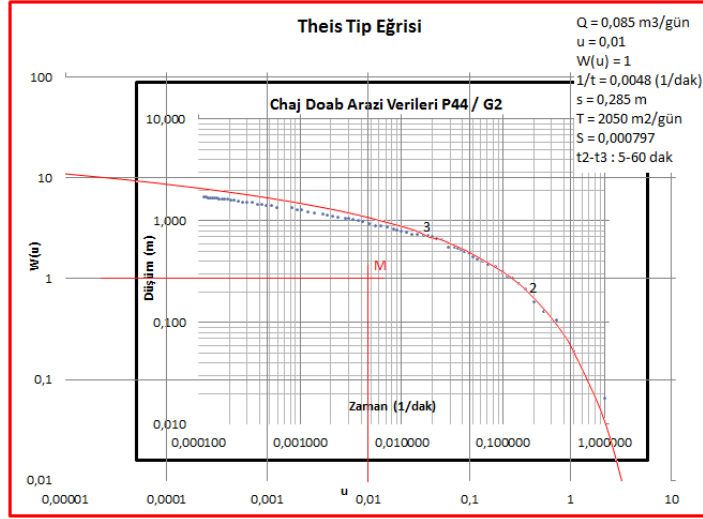
Yöntem tüm gözlem kuyularına uygulanmıştır. Bu makalenin sonuç kısmında yöntemin uygulaması sonrası bulunan ortalama akifer iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri verilmiştir. Şen eğim karşılaştırma yöntemi kullanılarak hesaplanan 6 gözlem kuyusu verisi üzerinde, zamanla akifer parametrelerinin aldığı değerler Şişman tarafından tez çalışmasında verilmiştir (Şişman, 2016).

#### 4.6 Theis tip eğri kısmi karşılaştırma yöntemi

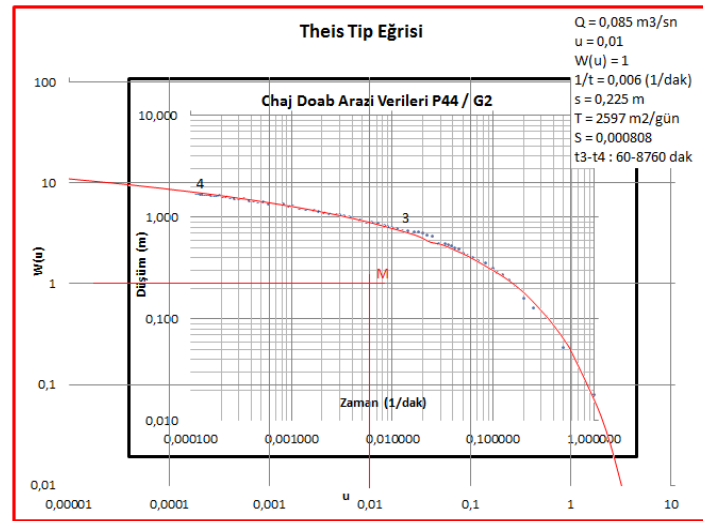
Akifer parametrelerinin tahmini için grafik yöntemlerin uygulamalarında ideal grafikler ile bire bir uyumlu arazi örneklerine nadiren rastlanılmaktadır, çünkü saçılımlarda sıklıkla sapmalar görülmektedir. Bu durum akiferlerin, yöntemlerin uygulaması için basitleştirilen, tektür ve eşit yönlü yapıya uygun olmayışından kaynaklanmaktadır. Bu yöntem akiferler parametrelerinin belirlenmesinde, daha esnek hesaplama imkânı sunmaktadır. Yöntem uygulamasıyla ilgili G2 gözlem kuyusu kısmi karşılaştırma örnek uygulaması aşağıda 3 farklı şekilde gösterilmiştir. Başlangıç zamanı arazi verileri Şekil 16 ile 1-2 numaralı zaman aralığında, orta zamanlar Şekil 17' de görüldüğü gibi ve son zamanlar Şekil 18 ile tanımlanarak akifer parametre hesapları bunlara göre yapılmıştır. G2 gözlem kuyusu verilerinden akifer parametreleri hesap edilirken 3 alt bölgede tüm arazi verileri grafik olarak kapsanmıştır.



Şekil 16. Theis tip eğri kısmi çakıştırma yöntemi\_P44/G2 numaralı gözlem kuyusu (Şişman, 2016)



Şekil 17. Theis tip eğri kısmi çakıştırma yöntemi\_P44/G2 numaralı gözlem kuyusu (Şişman, 2016)



Şekil 18. Theis tip eğri kısmi çakıştırma yöntemi\_P44/G2 numaralı gözlem kuyusu (Şişman, 2016)

Yöntem 6 gözlem kuyusu için uygulanmış ve 15 çakıştırma ile akifer parametreleri elde edilmiştir. G2-G3 ve G4 gözlem kuyuları için üçer çakıştırma ile tüm veriler ifade edilirken, diğer gözlem kuyularında ikiser çakıştırma yapılmıştır. Yöntem uygulaması sonrası Tablo 7'den iletim katsayısının  $1,243 \text{ m}^2/\text{gün}$  ile  $7,214 \text{ m}^2/\text{gün}$ , depolama katsayısı değerlerinin ise  $3,38 \times 10^{-4}$  ile  $9,48 \times 10^{-3}$  arasında olduğu görülmektedir. Tablo 7 ve önceki model sonuçları detaylı incelendiğinde hesaplamalar sonucu depolama katsayısı değerlerinin daha önceki modellere göre

nispeten daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 7. P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 kuyuları theis tip eğri kısmi çakıştırma yöntemi sonuçları (Aritmetik ortalama) (Şişman, 2016)

Kuyu No	Grup	Zaman (dak)	T (m <sup>2</sup> /gün)	S (-)	T (m <sup>2</sup> /gün)	S (-)
G-1	1.nci	0-45	2.015	8.99x10 <sup>-4</sup>	2.306	6.19x10 <sup>-4</sup>
	2.nci	45-8760	2.597	3.38x10 <sup>-4</sup>		
G-2	1.nci	0-5	3.076	8.83x10 <sup>-4</sup>	2.574	8.29x10 <sup>-4</sup>
	2.nci	5-60	2.050	7.97x10 <sup>-4</sup>		
	3.ncü	60-8760	2.597	8.08x10 <sup>-4</sup>		
G-3	1.nci	0-4	5.081	9.48x10 <sup>-3</sup>	2.887	5.51x10 <sup>-3</sup>
	2.nci	4-140	1.243	5.80x10 <sup>-3</sup>		
	3.ncü	140-8760	2.337	1.25x10 <sup>-3</sup>		
G-4	1.nci	0-6	7.214	8.55x10 <sup>-4</sup>	4.161	7.50x10 <sup>-4</sup>
	2.nci	6-1200	2.487	7.37x10 <sup>-4</sup>		
	3.ncü	1200-8760	2.783	6.59x10 <sup>-4</sup>		
G-5	1.nci	0-12	1.408	9.06x10 <sup>-4</sup>	2.032	7.84x10 <sup>-4</sup>
	2.nci	12-8760	2.656	6.61x10 <sup>-4</sup>		
G-6	1.nci	0-24	1.826	7.68x10 <sup>-4</sup>	2.212	7.38x10 <sup>-4</sup>
	2.nci	24-8760	2.597	7.07x10 <sup>-4</sup>		
Aritmetik Ortalama:					2.695	1.54x10 <sup>-3</sup>



Tablo 8. P44/G1-G2-G3-G4-G5-G6 kuyuları theis tip eğri kısmi çakıştırma yöntemi sonuçları (Zaman ağırlıklı ortalama) (Şişman, 2016)

Pompaj kuyusunun yer aldığı zemin özellikleri Tablo 7 ve Tablo 8' de yer alan akifer parametreleri üzerinden yorumlanabilir.

Kuyu No	Mesafe (m)	Grup	Zaman (dak)	TG <sub>1</sub>	TG <sub>2</sub>	TG <sub>3</sub>	SG <sub>1</sub>	SG <sub>2</sub>	SG <sub>3</sub>	Zaman Ağırlıklı Ortalama	
										T(m <sup>2</sup> /gün)	S (-)
G1	30,5	1.	45	2.015	-	-	8.99x10 <sup>-4</sup>	-	-	2.594	3.41x10 <sup>-4</sup>
		2.	8715	-	2.597	-	-	3.38x10 <sup>-4</sup>	-		
G2	122	1.	5	3.076	-	-	8.83x10 <sup>-4</sup>	-	-	2.594	8.08x10 <sup>-4</sup>
		2.	55	-	2.050	-	-	7.97x10 <sup>-4</sup>	-		
		3.	8700	-	-	2.597	-	-	8.08x10 <sup>-4</sup>		
G3	61	1.	4	5.081	-	-	9.48x10 <sup>-3</sup>	-	-	2.321	1.32x10 <sup>-3</sup>
		2.	136	-	1.243	-	-	5.80x10 <sup>-3</sup>	-		
		3.	8620	-	-	2.337	-	-	1.25x10 <sup>-3</sup>		
G4	183	1.	6	7.214	-	-	8.55x10 <sup>-4</sup>	-	-	2.746	6.70x10 <sup>-4</sup>
		2.	1194	-	2.487	-	-	7.37x10 <sup>-4</sup>	-		
		3.	7560	-	-	2.783	-	-	6.59x10 <sup>-4</sup>		
G5	122	1.	12	1.408	-	-	9.06x10 <sup>-4</sup>	-	-	2.654	6.61x10 <sup>-3</sup>
		2.	8748	-	2.656	-	-	6.61x10 <sup>-4</sup>	-		
G6	245	1.	24	1.826	-	-	7.68x10 <sup>-4</sup>	-	-	2.595	7.07x10 <sup>-4</sup>
		2.	8736	-	2.597	-	-	7.07x10 <sup>-4</sup>	-		
Aritmetik Ortalama:										2584	7.52x10 <sup>-4</sup>

Bunlardan Tablo 7 aritmetik ortalamaya göre Tablo 8 ise zaman ağırlıklı ortalama esas alınarak tanzim edilmiştir. Ağırlıklı ortalama olduğu için Tablo 8'in akiferi daha iyi temsil ettiği düşünülmektedir. Bölgede birkaç pompaj tecrübesi daha yapılırsa yöntemler arasında daha iyi kıyaslama imkânı sağlanabilecektir. Aritmetik ortalama hesap sonucunda akiferin iletim değeri  $2,695 \text{ m}^2/\text{gün}$ , depolama katsayısı  $1,54 \times 10^{-3}$  olarak belirlenmiştir. Zamansal ortalama alınarak akifer iletim katsayısı  $2,584 \text{ m}^2/\text{gün}$ , depolama katsayısı  $7,52 \times 10^{-4}$  hesaplanmıştır. Akifer parametreleri hesap sonuçları birbirine yakın olduğu için akifer malzemesinin tektür ve eşit yönlü yapıda olduğu kabul edilebilir.

## 5. Sonuç

Tüm uygulama sonuçlarına ait özet tablolar toplu olarak aşağıda Tablo 9 ve Tablo 10' dan görülebilir. Theis eğri çakıştırma, Jacob doğrusal yöntemleri ve Chow gibi klasik modellerde varsayımlar çok önemlidir. Akifer malzemesinin tektür (homojen) ve eşit yönlü (izotrop) olması beklenir. Bu şartlara yakın olduğunda bile belirtilen yöntemlerin uygulanmasında akifer parametreleri yakın sonuçlar verir. Ancak bu şartlara doğal ortamlarda genelde rastlanılmaz, çünkü bu ideal durum dışında olmasına bağlı akifer parametreleri zamanla değişkenlik gösterir. Bu tür ortamlardaki çözümler için Şen eğim yöntemi ve/veya alternatif kısmi Theis tip eğri çakıştırma grafik yöntemi önerilebilir. Bu iki yöntemin uygula neticeleri de aritmetik ortalama ve zamansal ağırlıklı ortalama alınarak aşağıdaki tabloda değerlendirilmek üzere verilmiştir. Gözlem kuyuları verilerinden elde edilen akifer parametreleri çoğu modelde birbirine yakındır. Akifer iletim katsayısının aldığı değerlerden akiferlerin yüksek potansiyele sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 9. P44 / G1-G2-G3-G4-G5-G6 gözlem kuyuları kullanılarak hesaplanan akifer iletkenlik katsayısının farklı model sonuçları (m<sup>2</sup>/gün)

P44	Theis	Doğrusal Yöntemler						Birleşik Değişken	Chow	Şen Eğim Yönt.	Kısmi Theis Eğri Çakıştırma	
		Zaman Düşüm	Mesafe-Düşüm								Aritmetik Ortalama	Zamansal Ağırlıklı Ortalama
			120 dak	420 dak	1200 dak	4080 dak	8640 dak					
G1	3.896	2.777						2.953	2.677	2.791	2.306	2.594
G2	2.597	2.827						2.808	2.855	3.514	2.574	2.594
G3	2.015	2.719						2.676	2.968	2.410	2.887	2.321
G4	2.783	2.801	2.340	2.312	2.289	2.312	2.417	2.829	4.189	3.715	4.161	2.746
G5	2.656	2.796						2.781	2.812	2.709	2.032	2.654
G6	2.435	2.813						2.834		2.806	2.212	2.595
A.O:	2.730	2.789	2.340	2.312	2.289	2.312	2.417	2.814	3.100	2.991	2.695	2.584

Tablo 10. P44 / G1-G2-G3-G4-G5-G6 gözlem kuyuları kullanılarak hesaplanan akifer depolama katsayısı değerlerinin farklı model sonuçları

P 44	Theis	Doğrusal Yöntemler						Birleşik Değişken	Chow	Şen Eğim Yönt.	Kısmi Theis Eğri Çakıştırma	
		Zaman Düşüm	Mesafe-Düşüm								Aritmetik Ortalama	Zamansal Ağırlıklı Ortalama
			120 dak	420 dak	1200 dak	4080 dak	8640 dak					
G1	1.23x10 <sup>-3</sup>	2,80x10 <sup>-4</sup>						1,55x10 <sup>-4</sup>	3,84x10 <sup>-4</sup>	5,80x10 <sup>-2</sup>	6,19x10 <sup>-4</sup>	3,41x10 <sup>-4</sup>
G2	7.95x10 <sup>-4</sup>	6,08x10 <sup>-4</sup>						6,32x10 <sup>-4</sup>	9,38x10 <sup>-3</sup>	2,22x10 <sup>-3</sup>	8,29x10 <sup>-4</sup>	8,08x10 <sup>-4</sup>
G3	3.76x10 <sup>-3</sup>	7,53x10 <sup>-4</sup>						8,48x10 <sup>-4</sup>	3,89x10 <sup>-3</sup>	9,69x10 <sup>-3</sup>	5,51x10 <sup>-3</sup>	1,32x10 <sup>-3</sup>
G4	6.40x10 <sup>-4</sup>	6,07x10 <sup>-4</sup>	9,73 x10 <sup>-4</sup>	1,23 x10 <sup>-3</sup>	1,31x10 <sup>-3</sup>	1,83x10 <sup>-3</sup>	1,61 x10 <sup>-3</sup>	5,79x10 <sup>-4</sup>	5,98x10 <sup>-4</sup>	1,74x10 <sup>-3</sup>	7,50x10 <sup>-4</sup>	6,70x10 <sup>-4</sup>
G5	7.29x10 <sup>-4</sup>	6,16x10 <sup>-4</sup>						6,30x10 <sup>-4</sup>	6,03x10 <sup>-4</sup>	2,77x10 <sup>-3</sup>	7,84x10 <sup>-4</sup>	6,61x10 <sup>-3</sup>
G6	8.67x10 <sup>-4</sup>	6,55x10 <sup>-4</sup>						6,38x10 <sup>-4</sup>		1,32x10 <sup>-3</sup>	7,38x10 <sup>-4</sup>	7,07x10 <sup>-4</sup>
A.O:	1,34x10 <sup>-3</sup>	5,87x10 <sup>-4</sup>	9,73x10 <sup>-4</sup>	1,23x10 <sup>-3</sup>	1,31x10 <sup>-3</sup>	1,83x10 <sup>-3</sup>	1,61x10 <sup>-3</sup>	5,80x10 <sup>-4</sup>	2,97x10 <sup>-3</sup>	1,26x10 <sup>-2</sup>	1,54x10 <sup>-3</sup>	7,52x10 <sup>-4</sup>

## 6. Kaynaklar

- Ahmad, N., (1998). Evaluation of groundwater resources in the upper middle part of Chaj Doab area, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Basak, P., (1978). "Analytical solutions for two-regime well flow problems", *Journal of Hydrology*, 38: 147-159.
- Chow, V.T., (1952). "On the determination of transmissibility and storage coefficients from pumping test data", *Trans.Am.Geophys.Union*, 33:397-404.
- Cooper, H.H., ve Jacob, C.E., (1946). "A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history", *Trans.Am.Geophys. Union*, 27(4):526-534.
- Darcy,H., (1856). *Les Fontaines Publiques de La Ville de Dijon*, Victor Dalmont, Paris, France.
- Dudgeon, C. R., (1964). Flow of water through coarse granular materials, *Water Res. Lab., Univ. of New South Wales*, Report No. 76: 109.
- Gazioğlu, A., (1999). Dengesiz Akım Durumunda Serbest Yüzlü Akiferlere Ait Karakteristiklerin Belirlenmesi için Yeni Bir Model ve Uygulaması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Kutilek, M., (1969). Non-Darcian flow of water in soils (Laminar Region).1st IASH Symp. Fundamentals, Israel (Publ. by Elsevier, 1972), 327-340.
- Laushey, L.M., ve Popat, Y., (1980). Darcy's law during unsteady flow. *International Association Science Hydraulics, General Assembly of Bern*, Ground Water, 284-299.
- Slepicka, F., (1961). The laws of filtration and limits of their validity, *International. Association Hydraulic Research Proceedings 9th Convention*, 383-394.
- Swartzendruber, D., (1969). The applicability of Darcy's law. *Soil Sci.Soc.Am.Proc.*, 32.
- Şen, Z., (1988) "Dimensionless Time-Drawdown Plots of Late Aquifer Test Data." *Groundwater* 26.5: 615-618.
- Şen, Z., (2003). *Yeraltı Suyu*, Su Vakfı Yayınları, 198, İstanbul.
- Şen, Z., (2012-a). "Straightline method generalization for aquifer parameter estimations.", *J Irrig Drain Eng* 138(12):1082–1087. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000521.
- Şen, Z., (2012-b). "Dimensionless straight line fitting method for hydrogeological parameter determination." *Arabian J. Geosci.* DOI 10.1007/s12517-012-0783-3
- Şen, Z., Dabanlı, İ., Şişman, E., ve Güçlü, Y.S., (2015). "Hydrogeological parameter estimations by partial type curve matching methodology", *Arabian Journal of Geosciences*, 8(1): 565-578.
- Şen, Z., Al-Wagdani, E., Al-Gurashi, B., (2015). Slope Matching Aquifer Test Program.
- Şişman, E., (2016). "Basınçlı akifer parametrelerinin bulunması için alternatif yöntem uygulaması ve farklı modellerle karşılaştırılması", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Theis, C.V., (1935). "The relation between lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage", *Trans. Am. Geophys. Uni*, 16.th Annual Meeting, pt.2:519-524.
- Wilkinson, J.K., (1956). The flow of water through rock fill and its application to the design of dams, *Proceedings 2nd Australia.-New.Zealand Conference on SMEE*, 141.