

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN POMPAJ ANALİZİ İLE
BELİRLENMESİ**

Ayşe BÖLÜKBAŞI

**Danışman
Prof. Dr. Mesut ÇİMEN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2016**



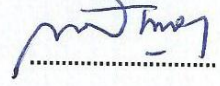
© 2016 [Ayşe BÖLÜKBAŞI]

TEZ ONAYI

Ayşe BÖLÜKBAŞI tarafından hazırlanan "**Basınçlı Akifer Parametrelerinin Pompaj Analizi ile Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Mesut ÇİMEN
Süleyman Demirel Üniversitesi



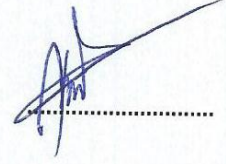
Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Murat KİLİT
Afyon Kocatepe Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Kemal SAPLIOĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç.Dr.Yasin TUNCER

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Ayşe BÖLÜKBAŞI

A.M.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	5
2.1. Giriş	5
2.2. Analitik Çalışmalar	6
2.2.1. Theis (1935) metodu	6
2.2.2. Doğrusal yöntemler	8
2.2.2.1. Zaman-Düşüm modeli	10
2.2.2.2. Mesafe-Düşüm modeli.....	11
2.2.2.3. Birleşik değişken modeli	12
2.2.3. Chow (1952) yöntemi.....	13
2.2.4. Papadopulos ve Cooper (1967) yöntemi	15
2.2.5. Şen(1982) yöntemi.....	17
2.2.6. Wikramaratna (1985) yöntemi.....	20
2.2.7. Çimen (2001) yöntemi	23
2.3. Nümerik Çalışmalar	25
2.3.1. Rai (1985) yöntemi.....	25
2.3.2. Şen (1986) yöntemi.....	25
2.3.3. Yeh (1987) yöntemi.....	27
2.3.4. El-Khatib (1987) yöntemi	27
2.3.5. Singh (2000) yöntemi	28
2.3.6. Singh (2001) yöntemi.....	30
2.3.7. Çimen (2008) yöntemi	31
2.3.8. Çimen (2009) yöntemi	32
3. POMPAJ KUYUSUNA DOĞRU YERALTI SUYUNUN HAREKETİ.....	34
3.1. Giriş	34
3.2. Darcy (1856) Kanunu.....	34
3.3. Depolama ve Özgül Depolama Katsayısı.....	36
3.4. İletim Katsayısı (Transmissivity)	36
3.5. Kontrol Hacmi Kavramı.....	36
3.6. Süreklilik Denklemi.....	37
3.5. Yeraltı Suyu Hareketi Denklemi.....	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	41
4.1. Küçük Çaplı Kuyular İçin Yöntemlerin Uygulamaları.....	41
4.2. Theis (1935) Metodu İle Çözüm	42
4.2.1. GK1 için Theis (1935) metodunun uygulanması	42
4.2.2. GK2 için Theis (1935) metodunun uygulanması	42
4.2.3. GK3 için Theis (1935) metodunun uygulanması	43
4.3. Doğrusal Yöntemler İle Çözüm.....	44
4.3.1. Zaman-Düşüm modeli ile çözüm.....	44
4.3.2. Mesafe-Düşüm modeli ile çözüm.....	46

4.3.3. Birleşik değişken modeli ile çözüm	46
4.4. Chow (1952) Yöntemi İle Çözüm	47
4.4.1. GK 1 için Chow (1952) yönteminin uygulanması	47
4.4.2. GK 2 için Chow (1952) yönteminin uygulanması	48
4.4.3. GK 3 için Chow (1952) yönteminin uygulanması	49
4.5. Rai (1985) Yöntemi İle Çözüm	49
4.6. Şen (1986) Yöntemi İle Çözüm.....	53
4.7. Singh (2000) Yöntemi İle Çözüm.....	57
4.7.1. GK 1 için Singh (2000) yönteminin uygulanması	57
4.7.2. GK 2 için Singh (2000) yönteminin uygulanması	58
4.7.3. GK 3 için Singh (2000) yönteminin uygulanması	59
4.8. Singh (2001) Yöntemi İle Çözüm.....	60
4.8.1. GK 1 için Singh (2001) yönteminin uygulanması	60
4.8.2. GK 2 için Singh (2001) yönteminin uygulanması	62
4.8.3. GK 3 için Singh (2001) yönteminin uygulanması	63
4.9. Çimen (2008) Yöntemi İle Çözüm	63
4.10. Çimen (2009) Yöntemi İle Çözüm	67
4.11. Yöntemlerin Güvenirlik Testleri.....	69
4.12. Büyük Çaplı Kuyular İçin Yöntemlerin Uygulamaları.....	72
4.13. Papadopulos ve Cooper (1967) Yöntemi İle Çözüm.....	73
4.14. Şen(1982) Yöntemi İle Çözüm	75
4.15. Wikramaratna (1985) Yöntemi İle Çözüm.....	76
4.16. Çimen (2001) Yöntemi İle Çözüm	77
4.17. Çimen (2009) Yöntemi İle Çözüm	77
5. SONUÇLAR.....	80
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ.....	86

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN POMPAJ ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

Ayşe BÖLÜKBAŞI

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mesut ÇİMEN

Pompaj deneyleri, basınçlı akifer parametreleri olarak bilinen akiferin iletim kapasitesi ve depolama katsayısı büyüklüklerinin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biridir. İletim kapasitesi, akiferin suyu iletebilme yeteneğini ifade eder. Bu katsayının değeri ne kadar büyükse, akiferin pompaj kuyusuna suyu iletebilme kabiliyeti o kadar iyi olmaktadır. Depolama katsayısı ise, akiferde depolanmış olan suyun birim hidrolik yük değişimi altında akiferin birim yüzeyinden serbest kalan / bırakılan suyun hacmi olarak tanımlanır. Depolama katsayısı ne kadar büyükse, akiferden elde edilebilecek su miktarı o kadar büyük olur.

Bu çalışmada; akifer parametrelerinin pompaj analizi ile belirlenmesinde, basınçlı ve gözenekli bir akiferde durağan olmayan (kararsız) akım ve akifere tam nüfus eden kuyudan sabit debi ile çekilen yeraltı suyu durumu varsayımları göz önüne alınmıştır. Bu varsayımlara dayanarak geliştirilmiş olan yöntemler göz önüne alınarak, sonsuz küçük çaplı ve sonlu çaplı pompaj kuyusu durumu için iki arazi verisi üzerinde akifer parametre analizleri yapılmıştır. Kullanılan yöntemler birbiriyle kıyaslanarak avantaj ve dezavantajları belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece bu varsayımlara sahip basınçlı bir akiferde yapılacak pompaj analizinde hangi yöntemin daha kullanışlı olduğu belirlenmiştir. Analizler sonucunda; sonsuz küçük çaplı pompaj kuyusu durumunda Çimen (2009) yönteminin en kolay ve en güvenilir yöntem olarak, sonlu çaplı pompaj kuyusu durumunda ise Papadopulos ve Cooper (1967) yöntemi diğerlerine göre daha güvenilir olarak elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akifer parametreleri, basınçlı akifer, pompaj, zaman – düşüm verisi, iletim kapasitesi, depolama katsayısı.

2016, 86 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINING CONFINED - AQUIFER PARAMETERS BY PUMPING ANALYSIS

Ayşe BÖLÜKBAŞI

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mesut ÇİMEN

Pumping test is the one of the procedures which are used for the determination of the transmissivity (transmissibility capacity) and storativity (or storage coefficient) known as the hydraulic parameters of an aquifer. Transmissivity refers to the ability of the aquifer to transmit water. The greater the value of this coefficient, the ability to convey water towards the pumping well in an aquifer is so good. The coefficient of storage of an aquifer is defined as the volume of water it releases from or takes into storage per unit surface area of the aquifer per unit change in the component of head normal to that surface. The bigger the storage coefficient, the amount of water that can be obtained from the aquifer that would be great.

This study, on the determination the aquifer parameters by the pumping analysis, considers the cases of the unsteady state ground water water at the porous and confined aquifer, and the constant discharge withdrawn from a pumping well penetrating exactly to the confined aquifer. By dealing with the procedures developed for these assumptions, the analysis for the aquifer parameters were carried out for two field data having the pumping wells with both the infinitesimally-small diameter and finite-diameter. All the used procedures were compared with each other and their advantages and disadvantages were carried out. This showed that which procedures were the most superior. In the result of analysis, it was found that the most superior procedures were Çimen's (2009) procedure in case of infinitesimally-small diameter well and the Papadopulos and Cooper's (1967) procedure in case of finite-diameter well.

Keywords: Aquifer parameters, pressurized aquifer, pumping time - drop data transmission capacity, storage coefficient.

2016, 86 pages

TEŞEKKÜR

Bu tezde beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Mesut ÇİMEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan eşim Adem BÖLÜKBAŞI' na, beni sabırla bekleyen kızım Nilda Su BÖLÜKBAŞI' na ve aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Ayşe BÖLÜKBAŞI
ISPARTA, 2016



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Basınçlı akiferde durağan olmayan akım.....	7
Şekil 2.2. Theis tip eğrisi	8
Şekil 2.3. Jacob' un yarı logaritmik kağıtta doğrusal modeli.....	9
Şekil 2.4. Zaman-Düşüm modeli	11
Şekil 2.5. Düşüm-Mesafe modeli.....	12
Şekil 2.6. Birleşik değişken modeli	13
Şekil 2.7. Chow yöntemi	15
Şekil 2.8. Büyük çaplı bir kuyu ile pompaj yapılan basınçlı bir akiferin şematik kesiti.....	16
Şekil 2.9. Papadopulos ve Cooper (1967) standart eğri ailesi	17
Şekil 2.10. Doğal sınırlı bir akifer ve plan görünüşü	18
Şekil 2.11. Sonsuz genişlikte bir akiferde büyük çaplı kuyuların tip eğrileri.....	20
Şekil 2.12. $L/r_w = 2$ için sonlu genişlikte bir akiferde büyük çaplı kuyuların tip eğrileri.....	20
Şekil 2.13. Karşılaştırma çizgisi ve W karşılaştırma noktasının $F(uW, \beta)$ - (β/uW) tip eğrileriyle birlikte gösterimi	22
Şekil 3.1. Darcy cihazı.....	35
Şekil 3.2. Dikdörtgenler prizması şeklinde kontrol hacmi.	37
Şekil 4.1. GK1 için Theis (1935) metodunun (s-t) uygulanması.	42
Şekil 4.2. GK2 için Theis (1935) metodunun (s-t) uygulanması.	43
Şekil 4.3. GK3 için Theis (1935) metodunun (s-t) uygulanması.	44
Şekil 4.4. GK1 için Doğrusal yöntemde (s-t) modelinin uygulanması.....	44
Şekil 4.5. GK2 için Doğrusal yöntemde (s-t) modelinin uygulanması.....	45
Şekil 4.6. GK3 için Doğrusal yöntemde (s-t) modelinin uygulanması.....	45
Şekil 4.7. GK1, GK2 ve GK3 için Doğrusal yöntemde (s-r) modelinin uygulanması.....	46
Şekil 4.8. GK1, GK2 ve GK3 için Doğrusal yöntemde $(s-t/r^2)$ modelinin uygulanması.....	47
Şekil 4.9. GK1 için Chow (1952) yönteminin uygulanması.	47
Şekil 4.10. GK2 için Chow (1952) yönteminin uygulanması.....	48
Şekil 4.11. GK3 için Chow (1952) yönteminin uygulanması.....	49
Şekil 4.12. GK1 için Singh (2000) yönteminin uygulanması.....	58
Şekil 4.13. GK2 için Singh (2000) yönteminin uygulanması.....	59
Şekil 4.14. GK3 için Singh (2000) yönteminin uygulanması.....	60
Şekil 4.15. GK1 için Singh (2001) yönteminin uygulanması.....	61
Şekil 4.16. GK2 için Singh (2001) yönteminin uygulanması.....	62
Şekil 4.17. GK3 için Singh (2001) yönteminin uygulanması.....	63
Şekil 4.18. Küçük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Çimen (2009) yönteminin uygulanması.	68
Şekil 4.19. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Papadopulos ve Cooper (1967) yönteminin uygulanması.	74
Şekil 4.20. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Wikramaratna (1985) yönteminin uygulanması.	76
Şekil 4.21. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Çimen (2009) yönteminin uygulanması.	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Yer küresinin su kaynakları	1
Çizelge 1.2. Yer küresinde tatlı suyun dağılımı	1
Çizelge 2.1. Boyutsuz zaman faktörünün hata seviyeleri.....	10
Çizelge 2.2. u değerine karşılık gelen $W(u)$ ve $F(u)$ değerleri tablosuand	14
Çizelge 2.3. $F(uW, \beta)$ ve (β/uW) nin değerler tablosu.....	21
Çizelge 2.4. Denklem (2.37) ve (2.38) için sayısal değerler	24
Çizelge 2.5. Theis denklemi eğim değerleri, α	26
Çizelge 4.1. Ana kuyudan GK1 (r=60,96 m), GK2 (r=121,92 m) ve GK3(r=243,84m) uzaklıktaki gözlem kuyularının verileri	41
Çizelge 4.2. GK1 (r=60,96 m) gözlem kuyusunun Rai (1985) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.	51
Çizelge 4.3. GK2 (r=121,92 m) gözlem kuyusunun Rai (1985) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları	52
Çizelge 4.4. GK3 (r=243,84 m) gözlem kuyusunun Rai (1985) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.	53
Çizelge 4.5. GK1 (r=60,96 m) gözlem kuyusunun Şen (1986) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.	55
Çizelge 4.6. GK2 (r=121,92 m) gözlem kuyusunun Şen (1986) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.	56
Çizelge 4.7. GK3 (r=243,84 m) gözlem kuyusunun Şen (1986) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.	57
Çizelge 4.8. GK1 (r=60,96 m) gözlem kuyusunun Çimen (2008) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.	65
Çizelge 4.9. GK2 (r=121,92 m) gözlem kuyusunun Çimen (2008) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.	66
Çizelge 4.10. GK3 (r=243,84 m) gözlem kuyusunun Çimen (2008) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.....	67
Çizelge 4.11. GK1 Verisi İçin Hata Hesapları.....	70
Çizelge 4.12. GK2 Verisi İçin Hata Hesapları.....	71
Çizelge 4.13. GK3 Verisi İçin Hata Hesapları.....	72
Çizelge 4.14. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Sabit (kPa)
A	Kesit alanı (m ²)
b	Sabit (saat)
B	Birim dönüşüm katsayısı
c _t	Toplam sıkışma (kPa ⁻¹)
f(u)	Rai fonksiyonu
F(u)	Chow fonksiyonu
F(u _w ,β)	Papadopulos ve Cooper fonksiyonu
h(r,t)	t pompaj zamanındaki piyozometri yüksekliği (m)
H ₀	Başlangıç piyozometre yüksekliği (m)
k	Permabilite (mgün)
K	Hidrolik iletkenlik (mgün)
L	Pompaj kuyusunun bariyere olan uzaklığı (m)
m	Akifer kalınlığı (m)
MH	Mutlak hata
n	Veri sayısı
OH	Ortalama hata
p'	Basıncın zamana bağlı türevi(Pa/sn)
R	Tesir yarıçapı (m)
r	Radyal mesafe (m)
r _c	Pompaj kuyusunun filtrelenmemiş yarıçapı (m)
r _w	Pompaj kuyusunun yarıçapı (m)
r _D	Boyutsuz mesafe (m)
r ₀	Veri üzerinde çizilmiş doğru üzerinde düşüm değerinin sıfır olduğu radyal mesafe (m)
s(r,t)	Basıncılı akiferin pompaj kuyusundan bir r radyal mesafesinde açılmış olan gözlem kuyusunda ölçülen bir t anındaki düşüm (m)
S _A	Zaman düşüm grafiğinde keyfi bir düşüm değeri (m)
s _w	Pompaj kuyusundaki düşüm (m)
s'	s/α (m ³ /dak)
s*	Tepe noktasındaki düşüm değeri (m)
s _w (t)	Bariyer etkisi olmadan gerçek kuyudaki düşüm (m)
s _w '(t)	Bariyerden etkilenen geniş çaplı kuyudaki düşüm (m)
s _i (t)	Görüntü kuyusundaki düşüm (m)
s _T (t)	Toplam düşüm (m)
S	Akiferin depolama katsayısı
S _{appr}	Akiferin yaklaşık depolama katsayısı
SS	Standart sapma
s _ö	Ölçülen düşüm değeri (m)
s _t	Tahmin edilen düşüm değeri (m)
(s/t)*	Tepe noktasının düşüm bölü zaman değeri (m/dak)
T	Akiferin iletim kapasitesi (m ² /dak)
T _{appr}	Akiferin yaklaşık iletim kapasitesi (m ² /dak)
T	Akiferin tam iletim kapasitesi (m ² /dak)

t_0	Veri üzerinde çizilmiş doğru üzerinde düşüm değerinin sıfır olduğu zaman (dak)
t_D	Boyutsuz zaman (dak)
t_*	Tepe noktasının zaman değeri (dak)
t	Zaman değeri (dak)
$(t/r^2)_0$	Veri üzerinde çizilmiş doğru üzerinde düşüm değerinin sıfır olduğu değişken (dak/m ²)
u	Boyutsuz zaman faktörü
u_w	Pompaj kuyusu boyutsuz zaman faktörü
u_*	Tepe noktasının boyutsuz zaman faktörü
u_{appr}	Yaklaşık boyutsuz zaman faktörü
$W(u)$	Boyutsuz kuyu fonksiyonu
$W(u_*)$	Tepe noktasının boyutsuz kuyu fonksiyonu
$W(u_w)$	Bariyer etkisi olmadan ana kuyudaki kuyu fonksiyonu
$W(u_w')$	Bariyer etkilenen geniş çaplı kuyunun fonksiyonu
$W(u_{2L})$	Bariyer etkisi ile görüntüye düşen kuyu fonksiyonu
$W_{appr}(u)$	Yaklaşık boyutsuz kuyu fonksiyonu
X	İntegral içindeki fonksiyonun değişkeni
Δr	Radyal mesafe (m)
Δx	$P(x,y,z)$ noktasının x kenarının uzunluğu (m)
Δy	$P(x,y,z)$ noktasının y kenarının uzunluğu (m)
Δz	$P(x,y,z)$ noktasının z kenarının uzunluğu (m)
Δh	Yük kaybı (m)
ΔL	Katedilen yol (m)
Δs	Logaritmik bir zaman aralığında oluşan düşüm farkı (m)
Δs_A	Keyfi düşüm değerinin bulunduğu ölçüm zamanındaki düşümün zamana göre eğimi (m)
Δs_r	Logaritmik bir mesafe aralığında oluşan düşüm farkı (m)
$\Delta s_{\left(\frac{t}{r^2}\right)}$	Logaritmik bir t/r^2 aralığında oluşan düşüm farkı (m)
Δs_t	Logaritmik bir zaman aralığında oluşan düşüm farkı (m)
q	Akım hızı (m/dak)
q_x	$P(x,y,z)$ noktasının x kenarının birim debisi (m/dak)
q_y	$P(x,y,z)$ noktasının y kenarının birim debisi (m/dak)
q_z	$P(x,y,z)$ noktasının z kenarının birim debisi (m/dak)
Q	Pompaj kuyusundan çekilen sabit miktardaki debi (m ³ /dak)
$Q_w(t)$	Kuyu depolamasından çekilen debi (m ³ /dak)
$Q_a(t)$	Akiferin pompaj kuyusu yüzeyindeki debi (m ³ /dak)
α	Theis denklemi eğim değerleri
α_*	Tepe noktasının α değeri
α_0	$s=0$ için x eksenini kestiği nokta
μ	Viskozite (kPa.sn)
\emptyset	Porozite
β	Papadopulos Cooper standart eğrisi
β_1	$Q/4\pi T$ (m)
β_2	$S/4T$ (dak/m ²)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)

1. GİRİŞ

Canlıların hayatını sürdürebilmeleri için suya ihtiyaç vardır. Günümüzde nüfusun sürekli artması ve pek çok alanda suya ihtiyaç duyulması suya olan gereksinimi artırır. Bu gereksinimle birlikte küresel ısınmadan dolayı meydana gelen iklim değişiklikleri su kıtlığına yol açabilir. Bu durum mevcut olan yeraltı suyu kaynaklarından yararlanılabilmesi için bilimsel yöntemlerin uygulanmasını gerektirir.

Çizelge 1.1’de görüleceği gibi dünyadaki su miktarının %97,39 ‘u denizlerden oluşur. Deniz suyu tuzlu olduğundan içme suyu ve tarımsal sulama suyu olarak kullanılamaz. Çizelge 1.2’de ise karalarda ve havada bulunan tatlı suyun dağılımı yapılmıştır. %77,23 buzul halinde, %12,35 yeraltı suyu halinde, %9,86 yüzeye yakın yeraltı suyu halinde, %0,35 göllerde, %0,17 yüzey nemi halinde, %0,04 atmosferde, %0,003 akarsularda görülür. Yeraltı suyu mevcut tatlı su kaynaklarının (buzullar hariç) yaklaşık 2/3 ünü oluşturur (Bayazıt, 1999).

Çizelge 1.1. Yer küresinin su kaynakları (Bayazıt, 1999).

	Hacim (10 ⁶ km ³)	%
Denizler	1348	97,39
Buzullar	27,82	2,01
Yeraltı Suyu	8,062	0,58
Göller, Akarsular	0,225	0,02
Atmosfer	0,013	0,001
Toplam	1384,12	100

Çizelge 1.2. Yer küresinde tatlı suyun dağılımı (Bayazıt, 1999).

	%
Buzular	77,23
Yüzeye Yakın Yeraltı Suyu	9,86
Derin Yeraltı Suyu	12,35
Zemin Nemi	0,17
Göller	0,35
Akarsular	0,003
Canlılar	0,003
Atmosfer	0,04

Yeraltı suları içimi güzel kaliteli su olarak bilinmektedir. Yeraltı sularının gerekli derinliğe inildiği takdirde her yerde bulunması mümkündür ve buharlaşma olmadığı için, kayıp yüzeysel su kaynaklarına göre önemsiz mertebededir. Yeraltında bulunan bu suların yeryüzüne çıkarılması kuyulardan pompajlanması sureti ile olmaktadır. Yeraltı sularının nitelik ve nicelik bakımından yeterli olup olmadığı pompaj analizleri ile gerçekleştirilmektedir. Pompaj analizi sonucu akifere ait hidrolik parametreler de bulunmuş olunur. Basınçlı akiferlerdeki pompaj deneyleri, akiferler parametreleri olarak bilinen akiferin iletim kapasitesi ve depolama katsayısı büyüklüklerinin belirlenmesi için kullanılan yöntemlerden biridir.

Doğadaki jeolojik formasyonların erime, çatlama ve bozulma süreçleri kimi kayaçların hidrolik iletkenliğini artırırken kimi kayaçlara geçirimsizlik kazandırır. Yeraltı sularının iletimini ve biriktirebilmesini sağlayan bu tabakalara akifer denir. En çok kullanılan ve çalışma yapılan üç çeşit akifer vardır: Basınçlı akifer, basınçsız (serbest yüzeyli) akifer ve sızdırmalı akifer. Basınçlı akifer, alt ve üst kısmı geçirimsiz tabakadan oluşan akiferler; serbest yüzeyli akifer, üst kısmı geçirimli bir tabaka ve alt kısmı geçirimsiz tabakadan oluşan akiferler ve sızdırmalı akifer ise alt ve üst tabakalardan birinde sızma varsa sızdırmalı akiferler olarak adlandırılmaktadır.

Yeraltı suyunun depolanması için akiferlerde boşluklar bulunmalıdır. Bu boşluklar jeolojik ortamlarına göre; gözenekli, çatlaklı ve erime boşluklu (karstik) ortam olarak üçe ayrılır. Gözenekli ortam, tamamen daneli malzemeden oluşur. Yeraltı suyu daneler arasındaki boşluklar boyunca hareket eder. Boşluklar, daneler arasındaki çok ince kanalcıklar vasıtasıyla birbirleriyle bağlıdır. Dane çapı küçüldükçe yeraltı suyunun hareket ettiği kanalcıkların boyutları okadar düzgün olur. Gözenekli ortamın en yaygın ve önemli olanı ayrık ve çimentolaşmış duruma gelmiş olan daneli tortul (sedimenter) kayaçlardır. Çatlaklı ortam, tektonik hareketler ve sıcak kayaçların soğuması sırasında çatlakların oluştuğu jeolojik kayaca denir. Yeraltı suyu oluşan her bir çatlak boyunca hareket eder. Çatlakların geometrik şekilleri gözenekli ortama göre daha karmaşık olduğu için yeraltı suyu akımı hesaplamaları daha zordur.

Bu ortamlar daha çok püskürük jeolojik kayalarda bulunur ve elde edilecek yeraltı suyu miktarı gözenekli ortama göre daha azdır. Erime boşluklu (karstik) ortam, jeolojik kayaların içerisinde bulunan kireçler su ile temasa geçince zamanla eriyerek kayaç içinde boşluklar meydana getirir. Bu boşluklara erime boşlukları denir.

Akifer parametreleri hesaplanırken, yeraltı suyunun dengeli (kararlı) akım ya da dengesiz (kararsız) akım halleri dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplanabilir. Dengeli akım, akiferin bir bölümünde yeraltı suyunun hızı ve yönünün zamanla değişmediği akım durumunu; dengesiz akım ise akiferin bir bölümünde yeraltı suyunun hızı ve yönünün zamanla değiştiği akım durumunu ifade eder.

Akifer parametrelerinin belirlenmesinde bir diğer önemli husus, pompaj kuyusunun akifer kalınlığı boyunca nüfus derinliğidir. Kuyular, akiferin doymuş tabakasında 3 şekilde görülebilir. Basınçlı akiferlerde kuyunun alt ucunun akifer doymuş tabakasından alttaki geçirimsiz tabakaya kadar gelmesine tam nüfus eden kuyular, kuyunun alt ucunun akifer üst geçirimsiz tabaka ile alt geçirimsiz tabaka arasında kalmasına kısmi nüfus eden kuyular, kuyunun alt ucunun üstteki geçirimsiz tabakayı delip doymuş tabakanın üst yüzeyinde kalmasına nüfus etmeyen kuyular denir.

Literatürde gözenekli ortamlara tam nüfus etmiş basınçlı akiferlerdeki basınçlı akifer parametrelerine ulaşmak için pekçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar “Analitik Hesaplama Yöntemleri” ve “Nümerik Hesaplama Yöntemleri” olarak iki gruba ayrılabilir. Analitik Hesaplama Yöntemleri; Theis (1935), Cooper ve Jacob (1946), Chow (1952), Papadopulos ve Cooper (1967), Şen (1982), Wikramaratna (1985) ve Çimen (2001) tarafından yapılmış çalışmalardır. Nümerik Hesaplama Yöntemleri ise Rai (1985), Şen (1986), Yeh (1987), El-Khatib (1987), Bourdet v.d. (1989), Srivastava ve Guzman-Guzman (1994), Singh (2000), Singh (2001), Çimen (2008) ve Çimen (2009) olarak öne çıkan çalışmalardır.

Bu çalışmada; akifer parametrelerinin pompaj analizi ile belirlenmesinde, basıncılı ve gözenekli bir akifer, durağan olmayan (kararsız) akım ve akifere tam nüfus eden kuyudan sabit debi ile çekilen yeraltı suyu durumu varsayımları göz önüne alınmıştır. Bu varsayımlar için geliştirilmiş yukarıda ifade edilmiş olan yöntemler bir arazi datası üzerinde akifer parametre analizleri yapılarak, yöntemler kıyaslanarak avantaj ve dezavantajları belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylece bu varsayımlara sahip basıncılı bir akiferde yapılacak pompaj analizinde hangi yöntemin daha kullanışlı olduğu belirlenmeye çalışılacaktır.



2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

2.1. Giriş

Literatürde, basınçlı akifer parametrelerine ulaşmak için akım halinin durağan olmayan (kararsız) bir akıma sahip olduğu ve sabit miktarda yeraltı suyunu çeken kuyunun akifere tam nüfus ettiği kabullerini yapan pek çok çalışma bulunur. Bu çalışmalarını “Analitik Hesaplama Yöntemleri” ve “Nümerik Hesaplama Yöntemleri” olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Analitik hesaplama yöntemlerinden ilki 1935 yılında Theis tarafından yapılan bir çalışmaya dayanır. Theis (1935), matematiksel çözüm kolaylığı sağladığı için pompaj kuyusunu sonsuz küçük çaplı bir kuyu olarak ele alıp analitik bir çözüm elde etmiştir. Cooper ve Jacob (1946) metodu, Theis formülünü temel alarak pompajın geç zamanları için basit hesaplama yöntemini ele alır. Chow (1952), sınır şartı olmayan Theis eğrisine benzer basit bir yöntem geliştirmiştir. Papadopulos ve Cooper (1967), diğer yöntemlerde ihmal edilen pompaj kuyusunun depolama hacmini dikkate alarak yeni bir yöntem ortaya koymuşlardır. Theis (1935), Cooper ve Jacob (1946), Chow (1952) ve Papadopulos ve Cooper (1967) gibi yöntemler basınçlı akifer geometrisinin sonsuz genişlikte olduğu varsayımını kabul eder. Fakat Şen (1982), geniş çaplı pompaj kuyusu ve basınçlı akifer geometrisinin sınırlı olabileceği varsayımını yaparak farklı tip eğriler geliştirmiştir. Wikramaratna (1985), Papadopulos ve Cooper (1967) eğrilerinin daha kullanılabilir olması için yeni bir tip eğri teklif etmiştir. Çimen (2001), basınçlı bir akiferde büyük çaplı ana kuyunun standart eğrilere gerek kalmadan basit bir denklemden yararlanılarak parametrelerin hesaplanabileceğini belirtmiştir.

Nümerik hesaplama yöntemlerinden biri Rai (1985) tarafından yapılmıştır. Rai (1985) herhangi bir pompalama anındaki üç ardışık düşün verisiyle Eğim-Eşleştirme metodundan faydalanarak bir Theis eğri tablosu yardımıyla akifer parametrelerinin hesaplanmasını sağlamıştır. Şen (1986), basınçlı ve sızdırmaz bir akiferde akifer parametrelerini belirlemek için Rai (1986) den farklı olarak çifte logaritmik bir kağıttan faydalanmıştır. Yeh (1987), sonlu farklar metodunu kullanarak tablo gerektirmeden başlangıçta tahmin edilen S ve T değerleri ile

basıncılı akifer parametrelerinin hesaplanabileceğini kanıtlamıştır. El-Khatib (1987), eğim-eşleştirme yöntemi kullanarak herhangi bir tablo veya S ve T için ilk tahmin değerleri gerektirmeden petrol mühendisliği alanında farklı bir yaklaşım ileri sürmüştür. Bourdet v.d. (1989), El-Khatib (1987) den sonra petrol mühendisliği alanında eğim-eşleştirme yöntemini kullanarak farklı bir yaklaşım öne sürmüştür. Srivastava ve Guzman-Guzman (1994), hiçbir tabloya gerek kalmadan eğim-eşleştirme yöntemiyle akifer parametrelerinin hesaplanması hakkında farklı bir yaklaşım öne sürmüştür. Singh (2000), Theis (1935) denklemini göz önüne alarak sadece erken zaman düşüm verilerinden akifer parametrelerinin tahmini için basit bağıntılar teklif etmiştir. Singh (2001), kuyu fonksiyonu ifadesinin türevini göz önüne alarak (eğim-eşleştirme yöntemi) erken zamandaki pompaj verileri için yine Singh (2000) de verilmiş basit bağıntıları kullanmıştır. Çimen (2008), eğim-eşleştirme yöntemini herhangi bir zaman-düşüm ölçümü anında, önceki ve sonraki ölçümlerin ağırlıklı ortalamasını dikkate alan bir çalışma yapmıştır. Çimen (2009), pompajın geç zamanlarını ve pompaj kuyusunun hem çizgisel hem de sonlu olması hallerinde akifer parametrelerinin belirlenmesi için yeni bir yöntem teklif etmiştir.

2.2. Analitik Çalışmalar

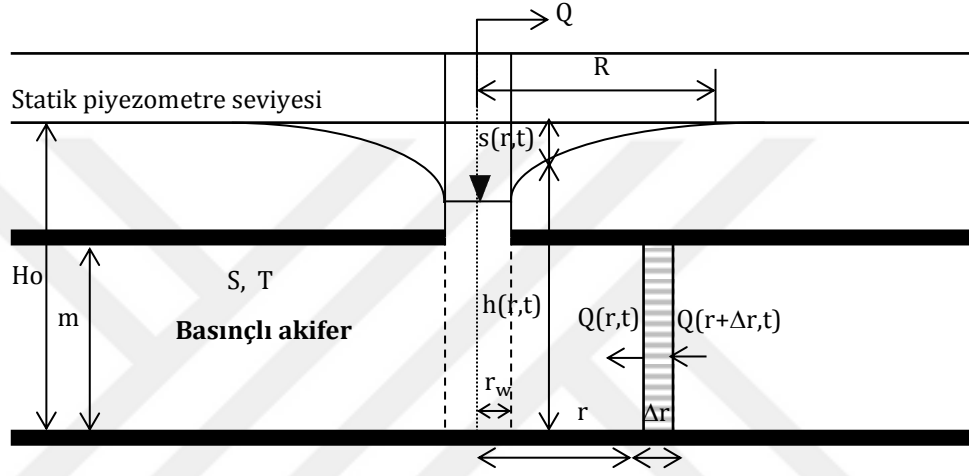
2.2.1. Theis (1935) metodu

Theis (1935) metodu, durağan olmayan (kararsız) yeraltı suyu akımını, basınçlı bir akifere tam nüfus eden ve kuyudan sabit Q debisi ile su çekildiği varsayımları yapılmıştır. Şekil 2.1 de $h(r,t)$ ve $s(r,t)$ pompaj kuyusundan bir r mesafesinde ve herhangi bir t pompaj zamanındaki piyezometre yüksekliği ile düşüm yüksekliğini, $Q(r,t)$ pompaj kuyusundan bir r mesafesinde ve herhangi bir t pompaj zamanındaki akiferdeki debiyi, S depolama katsayısını, T iletim kapasitesini, H_0 başlangıç piyezometre yüksekliğini, m akifer kalınlığını, r_w pompaj kuyusunun yarıçapını ve R tesir yarıçapını ifade eder. Theis (1935) metodu;

- Akiferin basınçlı ve sonsuz genişlikte olduğu,
- Akiferin sabit kalınlıkta, homojen ve izotrop olduğu,

- Pompalama işlemi başlamadan önce piyezometrik seviyenin hemen hemen yatay olduğu,
- Kuyudan çekilen debinin(Q) sabit olduğunu,
- Kuyuya doğru olan akımın kararsız halde olduğu,
- Kuyu çapının yok denecek kadar küçük olduğu ve dolayısıyla kuyudaki birikimin ihmal edileceği,

varsayımlarına dayanmaktadır.



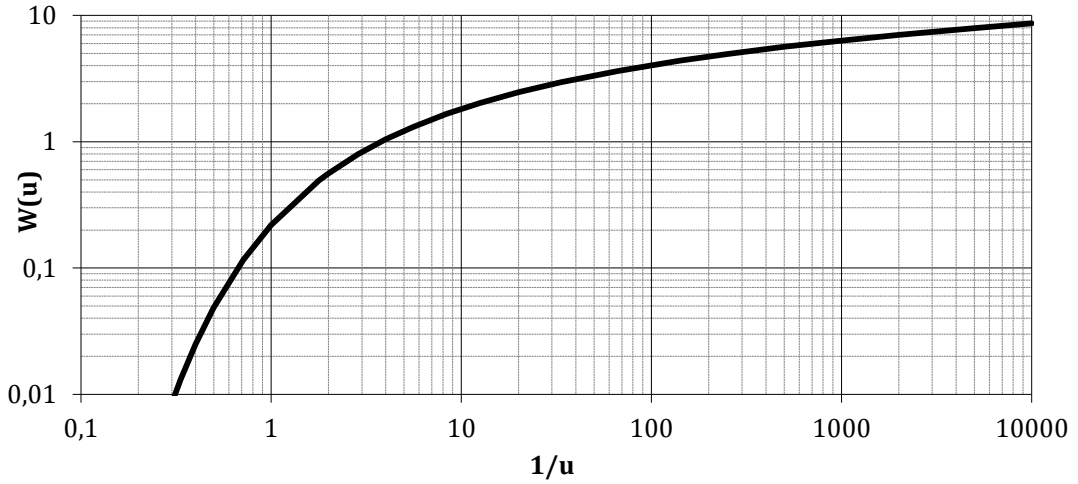
Şekil 2.1. Basınçlı akiferde durağan olmayan akım

Kuyudan su çekilmeye başladığı andan itibaren kuyunun etrafında düşüm konisi oluşur. Akım dengesiz olduğundan herhangi r ve $r + \Delta r$ radyal mesafelerindeki akifer debileri eşit değildir. Aşağıdaki Denklem (2.1) de u boyutsuz zaman faktörü ve Denklem (2.2) de $W(u)$ boyutsuz kuyu fonksiyonu olarak adlandırılır.

$$u = \frac{r^2 S}{4tT} \quad (2.1)$$

$$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (2.2)$$

Theis metodunda iletim kapasitesi ve depolama katsayılarını elde etmek için Şekil 2.2 de çizilmiş olan Theis tip eğrisinden yararlanılır.

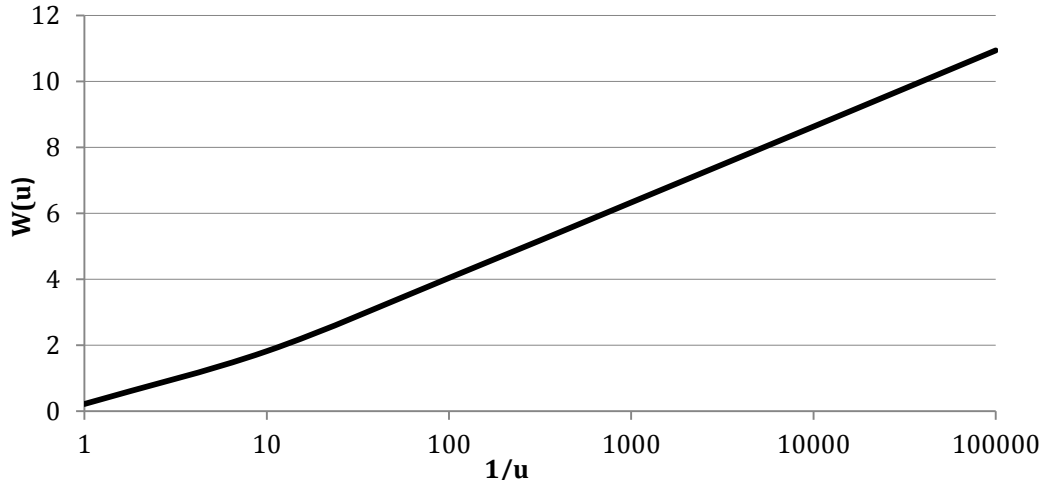


Şekil 2.2. Theis tip eğrisi

Theis tip eğrisi, boyutsuz zaman faktörü ile boyutsuz kuyu fonksiyonunun çifte logaritmik kağıt üzerine çizilmesiyle elde edilir. Bu eğri, karşılaştırma eğrisi olarak ta adlandırılır. Başka bir çifte logaritmik kağıt üzerine düşeyde s (düşümler) yatayda t (zaman) verileri işaretlenir. Bu işlem bütün gözlem kuyuları için de yapılabilir. Tip eğriyle $s - t$ eğrisi karşılıklı kordinat eksenleri birbirine paralel olacak şekilde tutularak çakıştırılır. İki kağıdın çakıştığı bölgede herhangi bir A (çakışma) noktası alınarak $W(u)$, $1/u$, s ve t değerleri okunur. Okunan değerler Denklem (2.1) ve (2.2) de yerine konularak akifere ait önce T ve sonra S değerleri elde edilir.

2.2.2. Doğrusal yöntemler

Cooper ve Jacob (1946) metodu, Theis (1935) metoduna dayanır. u 'nun 0,01 den küçük değerleri için Şekil 2.3' de de görülen yarı logaritmik bir kağıtta doğrusal bir ilişki elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Jacob' un yarı logaritmik kağıtta doğrusal modeli

Denklem (2.1) de t zamanı arttıkça u azalmaktadır. Bundan dolayı t nin büyük değerleri ve r nin küçük değerleri için, Denklem (2.2) nin seri ifadesi olan (2.3) Denklemde $\ln(u)$ dan sonraki terimler ihmal edilir.

$$W(u) = -0,577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots \quad (2.3)$$

Böylece denklem;

$$W(u) = -0,577216 - \ln u \quad (2.4)$$

şeklini alır. Denklem (2.4) ifadesi Denklem (2.3) ile karşılaştırıldığında hata 0,01 den daha küçüktür. Denklem (2.1) ve Denklem (2.2) nin Denklem (2.4) te yerine konulmasıyla;

$$s(r, t) = \frac{2,3Q}{4\pi T} \log \frac{2,25Tt}{r^2 S} \quad (2.5)$$

denklemini elde edilir. Bu denklem debi sabit tutularak düşümün zaman ve mesafe ile değişimini gösterir. Denklem 2.5 in, Çizelge 2.1 deki hata paylarınınca geçerliliği vardır.

Çizelge 2.1. Boyutsuz zaman faktörünün hata seviyeleri

Hata%	Geçerlilik
0,25	$u < 0,01$
2,00	$u < 0,05$
5,00	$u < 0,10$
10,00	$u < 0,15$

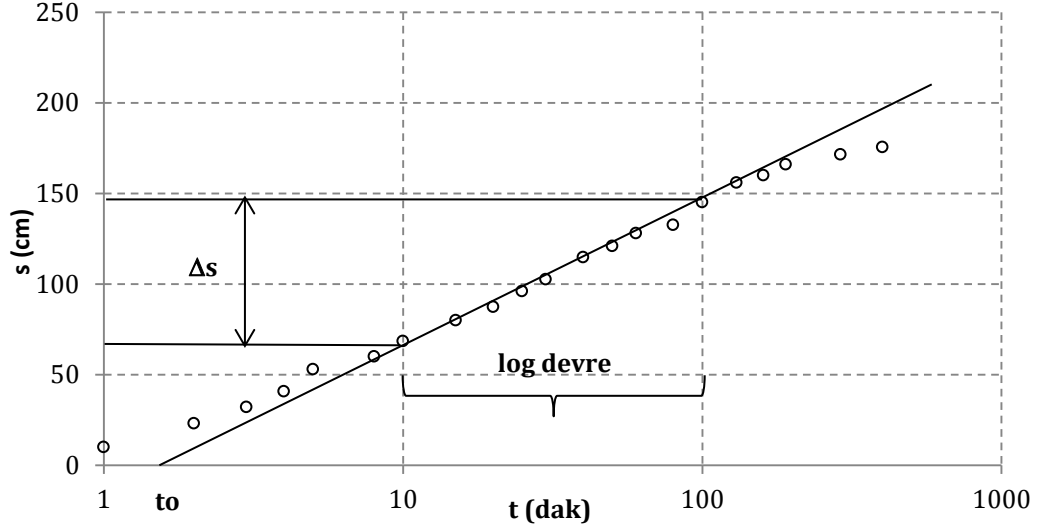
Bu metot 3 farklı model olarak kullanılır: a) Zaman - Düşüm Modeli, b) Mesafe - Düşüm Modeli, c) Birleşik değişken modeli.

2.2.2.1. Zaman-Düşüm modeli

Bu yöntemde ana (pompaj) kuyudan belirli mesafelerde açılan gözlem kuyularından sadece birisi için yapılan zaman-düşüm arazi ölçümlerinden akifer parametreleri bulunur. Bu yöntemde geç zaman yöntemi de denir. Yarı logaritmik bir kağıt da yatay ekseninde zaman logaritmik olarak ve düşey ekseninde ise düşüm yükseklikleri lineer olarak gösterilir. İşaretlenen veriler üzerinde en uygun doğru göz kararı ile çizilir. Bu doğrudan Δs ve doğrunun sıfır düşüm için zaman eksenini kestiği nokta t_0 bulunur (Şekil 2.4). Aşağıdaki eşitliklerde, belirlenen bu parametreler yerine konularak T ve S değerleri elde edilir.

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s} \quad (2.6)$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (2.7)$$



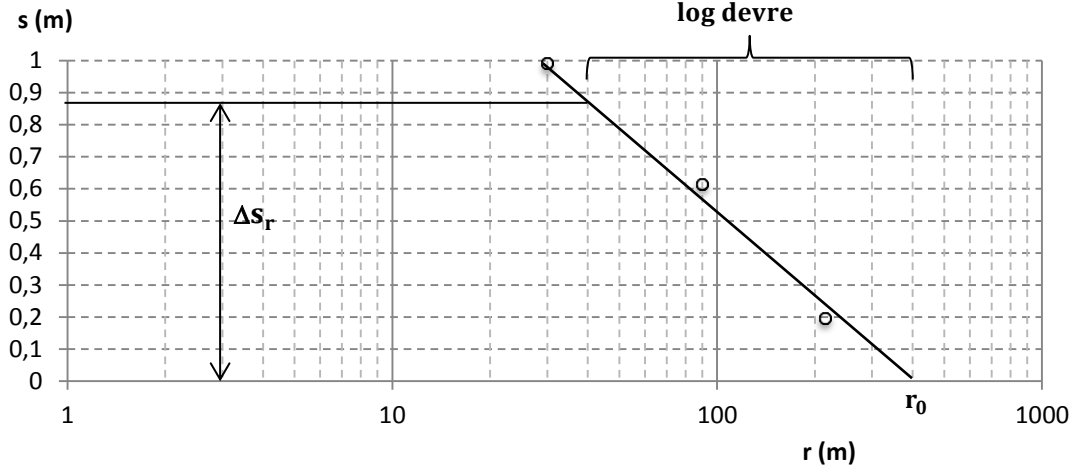
Şekil 2.4. Zaman-Düşüm modeli

2.2.2.2. Mesafe-Düşüm modeli

Düşüm konisi zaman ve mesafe ile değişmektedir. Bu değişimi hesaplayabilmek için ana kuyudan değişik mesafelerdeki en az üç tane gözlem kuyusunda aynı anda (t_0) düşümler ölçülür. Yarı logaritmik bir kağıt da yatay ekseninde mesafe logaritmik olarak ve dikey ekseninde düşüm gösterilir. Elde edilen veriler logaritmik ekseninde işaretlenir. İşaretlenen verilerden en uygun doğru göz kararı ile çizilir. Bu doğrudan Δs_r ve doğrunun zaman eksenini kestiği nokta r_0 bulunur. Denklem (2.8) ve (2.9) da yerine konularak T ve S elde edilir (Şekil 2.5).

$$T = \frac{2,3Q}{2\pi\Delta s_r} \quad (2.8)$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r_0^2} \quad (2.9)$$



Şekil 2.5. Düşüm-Mesafe modeli

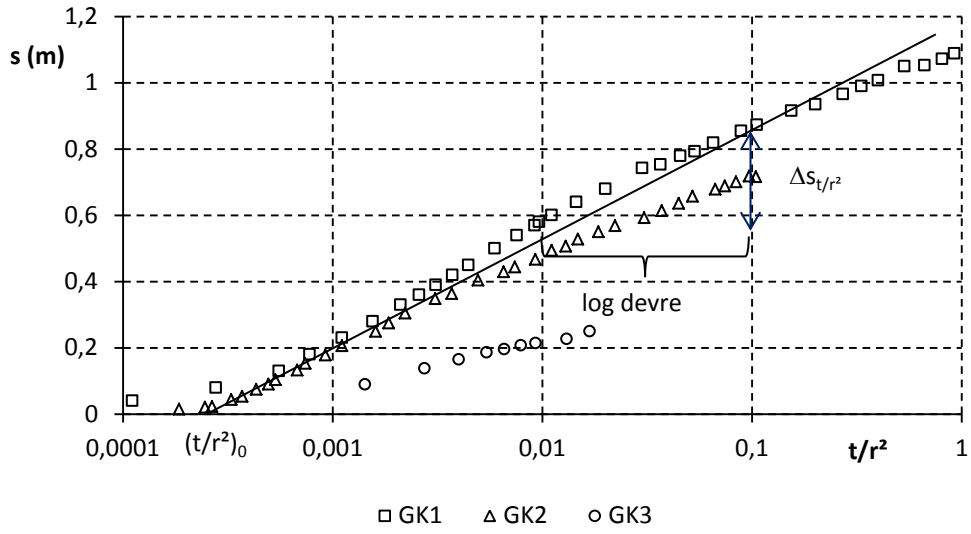
2.2.2.3. Birleşik değişken modeli

Birleşik değişken modelinde t/r^2 değişken olarak kabul edilir. Yine yarı logaritmik bir kağıt da yatay ekseninde t/r^2 logaritmik olarak ve dikey ekseninde düşüm gösterilir. İşaretlenen verilerden en uygun doğru göz kararı ile çizilir. Tek bir gözlem kuyusu için grafik hazırlanabileceği gibi, birçok gözlem kuyusu için de hazırlanabilir ve ölçülmüş tüm veriler aynı doğru üzerinde çakışır. Bu doğrudan $\Delta s_{\left(\frac{t}{r^2}\right)}$ ve doğrunun zaman eksenini kestiği nokta $\left(\frac{t}{r^2}\right)_0$ bulunur. (2.10)

ve (2.11) Denkleminde yerine konularak T ve S elde edilir (Şekil 2.6).

$$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s_{\left(\frac{t}{r^2}\right)}} \quad (2.10)$$

$$S = 2,25T\left(\frac{t}{r^2}\right)_0 \quad (2.11)$$



Şekil 2.6. Birleşik değişken modeli

2.2.3. Chow (1952) yöntemi

Chow (1952), Theis (1935) tip eğrisinin çizimine ve Cooper ve Jacob (1946) yöntemindeki en küçük r ve en küçük t değeri sınırlamaları ($u < 0,01$) olmayan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem Theis (1935) Denklem (2.2)' e dayanır. Aynı şartlar ve koşullar geçerlidir. Chow (1952) Denklem (2.12) geliştirmiştir.

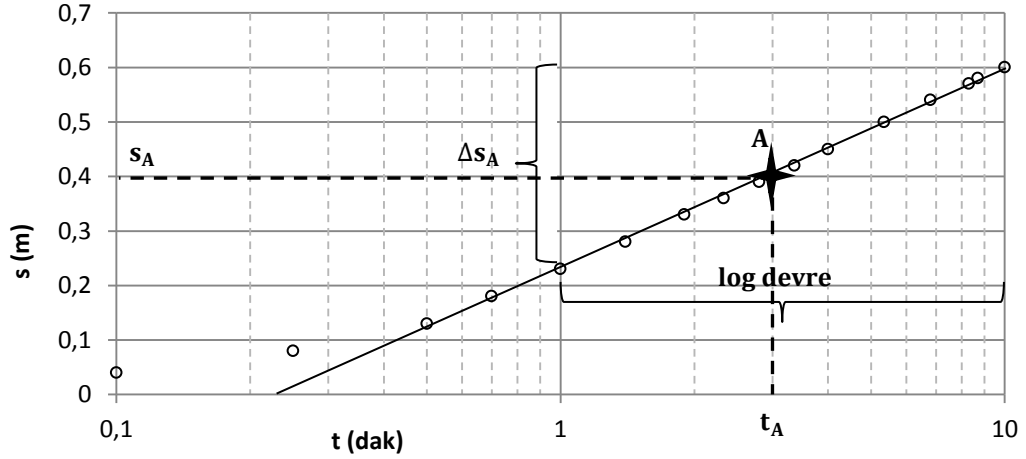
$$F(u) = \frac{W(u)e^u}{2,3} \quad (2.12)$$

F(u) fonksiyonu yarı logaritmik kağıda çizilen zaman-düşüm grafiğinden elde edilen s_A ve Δs_A değerleriyle (2.13) Denkleminden elde edilir (Şekil 2.7). Çizelge 2.2 den F(u) değerine bağlı W(u) ve u değerleri belirlenir.

$$F(u) = \frac{s_A}{\Delta s_A} \quad (2.13)$$

Çizelge 2.2. u değerine karşılık gelen W(u) ve F(u) değerleri tablosu (Kruseman and Ridder, 1988)

u	w(u)	F(u)
5E+0	1,14E-3	7,34E-2
4E+0	3,78E-3	8,98E-2
3E+0	1,30E-2	1,17E-1
2E+0	4,89E-2	1,57E-1
1E+0	2,19E-1	2,59E-1
9E-1	2,60E-1	2,76E-1
8E-1	3,11E-1	3,01E-1
7E-1	3,74E-1	3,27E-1
6E-1	4,54E-1	3,60E-1
5E-1	5,60E-1	4,01E-1
4E-1	7,02E-1	4,55E-1
3E-1	9,06E-1	5,32E-1
2E-1	1,22E+0	6,47E-1
1E-1	1,82E+0	8,74E-1
9E-2	1,92E+0	9,13E-1
8E-2	2,03E+0	9,56E-1
7E-2	2,15E+0	1,00E+0
6E-2	2,30E+0	1,06E+0
5E-2	2,47E+0	1,13E+0
4E-2	2,68E+0	1,21E+0
3E-2	2,96E+0	1,33E+0
2E-2	3,35E+0	1,49E+0
1E-2	4,04E+0	1,77E+0
9E-3	4,14E+0	1,82E+0
8E-3	4,26E+0	1,87E+0
7E-3	4,39E+0	1,92E+0
6E-3	4,54E+0	1,99E+0
5E-3	4,73E+0	2,07E+0
4E-3	4,95E+0	2,16E+0
3E-3	5,23E+0	2,28E+0
2E-3	5,64E+0	2,46E+0
1E-3	6,33E+0	2,75E+0
9E-4	6,44E+0	F(u) =W(u)/2,30
8E-4	6,55E+0	
7E-4	6,69E+0	
6E-4	6,84E+0	
5E-4	7,02E+0	
4E-4	7,25E+0	
3E-4	7,53E+0	
2E-4	7,94E+0	
1E-4	8,63E+0	
9E-5	8,74E+0	
8E-5	8,86E+0	
7E-5	8,99E+0	
6E-5	9,14E+0	
5E-5	9,33E+0	



Şekil 2.7. Chow yöntemi

s_A seçilen bir noktadaki düşüm, Δs_A ise A noktasında eğriye çizilen teğetin eğimidir. Bu yöntemde işlemler aşağıdaki gibidir:

- Bir gözlem kuyusunda t zamanına ait s düşüm değerleri yarı logaritmik kağıt üzerine işaretlenir.
- İşaretlenen noktalardan bir eğri geçirilir. Eğri üzerinden herhangi bir A noktası seçilir. Seçilen bu A noktasından eğriye bir teğet çizilir.
- A noktasının koordinatları (s_A , t_A) ve teğetin eğimi Δs_A yı gösterir.
- $F(u)$ Denklem (2.13) den hesaplanır.
- Hesaplanan $F(u)$ değerine karşı gelen ve Çizelge 2.2 den okunacak olan $W(u)$ ve u değerleri bulunur.
- Denklem (2.1) ve (2.2) den T ve S değerleri hesaplanır.
- $F(u) > 2$ ise $W(u) = 2.30 F(u)$ ve Şekil 2.2 Theis tip eğrisinden u bulunur.

2.2.4. Papadopulos ve Cooper (1967) yöntemi

Bazı sebeplerden dolayı sadece mevcut pompaj kuyuları kullanılarak pompaj deneyleri yapılabilir. Fakat bu tarz kuyular büyük çaplı olabilir (Şekil 2.8). Bu kuyularda Theis (1935), Cooper ve Jacob (1946) ve Chow (1952) gibi yöntemler uygulanamazlar. Theis (1935) yönteminde kabul edilen varsayımlardan son madde olan 'Kuyu çapının yok denecek kadar küçük olduğu ve dolayısıyla kuyudaki birikimin ihmal edileceği' varsayımı hariç diğer varsayımlar bu yöntem için de geçerlidir. Papadopulos ve Cooper (1967) diğer yöntemlerde

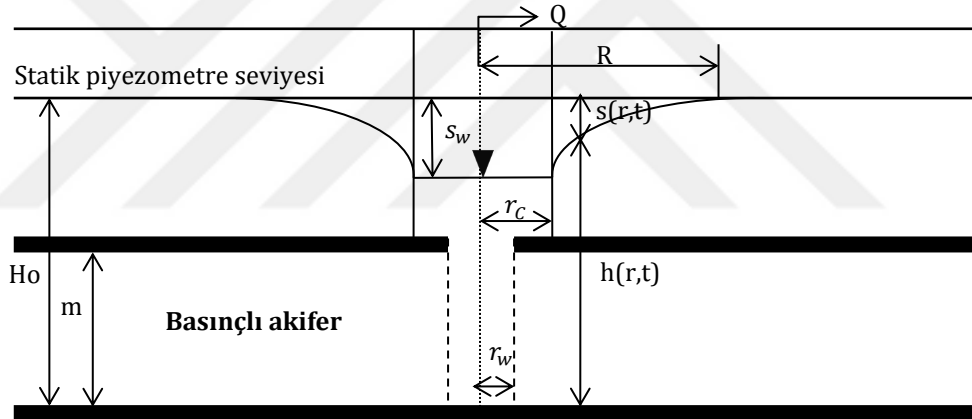
ihmal edilen kuyunun kendi depolamasını hesaba katan pompaj deneyleri için yeni bir analitik eşitlik ve tip eğri elde etmiştir. Bu yöntemde kuyudaki yük kaybı ihmal edilir, giriş direnci sıfırdır. Papadopoulos ve Cooper (1967) formülü Laplace dönüşümlerinden elde edilmiştir. Genel akım denklemi;

$$s_w = \frac{Q}{4\pi T} F(u_w, \beta) \quad (2.14)$$

şekindedir. Bu eşitlikte s_w pompaj kuyusundaki düşüm miktarını gösterir. u_w ve β değerleri Denklem (2.15) ve (2.16) dan hesaplanır. w indisi "pompaj kuyusundaki" anlamını, r_c kuyunun filtrelenmemiş yarıçapını ifade eder.

$$u_w = \frac{r_w^2 S}{4Tt} \quad (2.15)$$

$$\beta = \frac{r_w^2 S}{r_c^2} \quad (2.16)$$



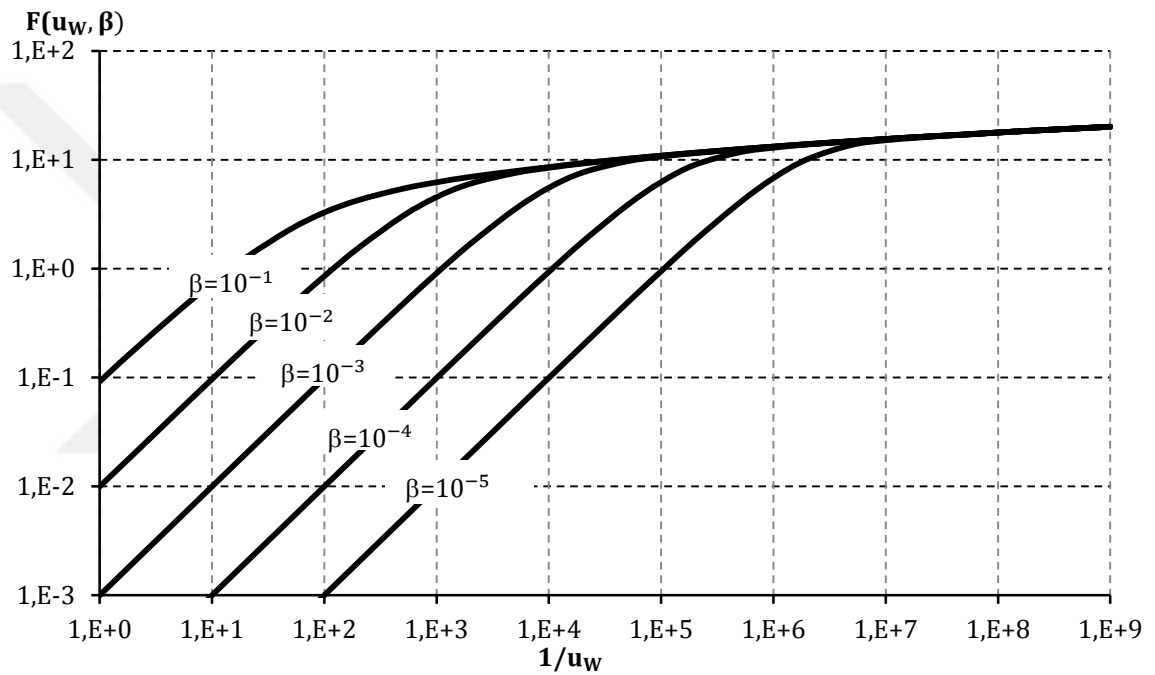
Şekil 2.8. Büyük çaplı bir kuyu ile pompaj yapılan basınçlı bir akiferin şematik kesiti.

Uygulama aşamasında;

- Çifte logaritmik bir kağıda Şekil 2.9 deki $F(u_w, \beta)$ standart eğri ailesi çizilir.
- Aynı modüllü başka bir çifte logaritmik bir kağıda, t değerlerine bağlı s_w gözlem verileri eğrisi çizilir.
- Koordinat eksenlerinin paralellikleri korunarak standart eğri ailesi ve gözlem verileri eğrisi karşılaştırılır. İşaretlenen en çok sayıdaki gözlem

verileri eğrisine ait noktanın standart eğri ailesinden birisinin üzerine düşmesi için ayarlanır.

- Ayarlanmış kağıtlar üzerinden bir A (çakışma) noktası belirlenir. A noktasının $F(u_w, \beta)$, $1/u_w$, s_w ve t değerleri belirlenir. Gözlem verileri eğrisinin en iyi uyduğu standart eğrinin β değeri bulunur.
- Bu değerler Denklem (2.14) de yerleştirilerek T değeri, T değeriyle birlikte diğer değerlerin kullanılmasıyla Denklem (2.15) den S değeri hesaplanır. Ya da Denklem (2.16) dan yine aynı S değeri hesaplanabilir.

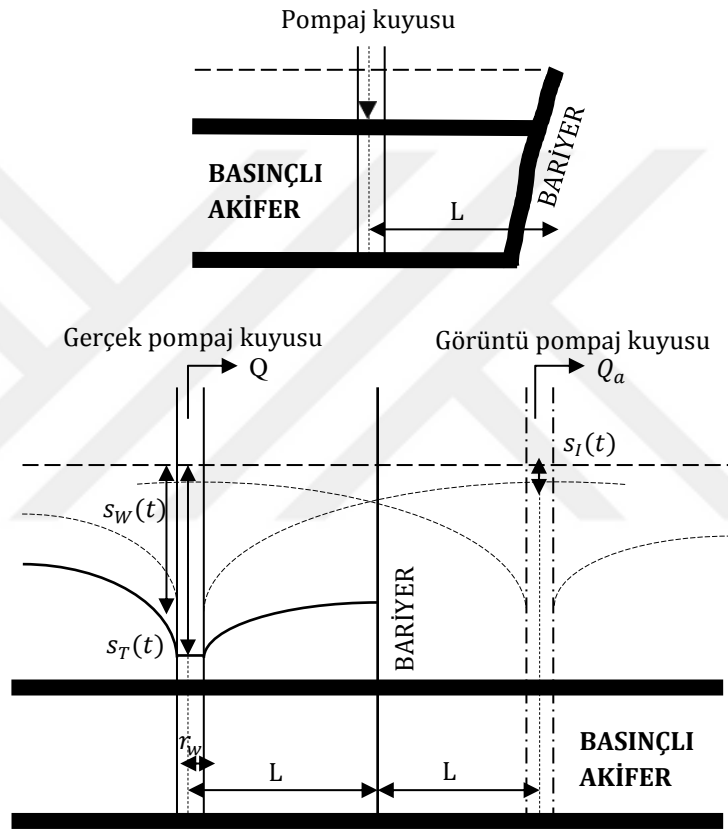


Şekil 2.9. Papadopoulos ve Cooper (1967) standart eğri ailesi

2.2.5. Şen(1982) yöntemi

Şen (1982) yöntemi, darcy yasasına ve geniş çaplı pompaj kuyular için süreklilik denklemine dayanır. Theis (1935), Papadopoulos ve Cooper (1967) vb. gibi yöntemlerde basınçlı bir akiferin sonsuz genişlikte olduğu kabul edilir. Fakat Şen (1982), akiferin herhangi bir nedenden dolayı kıvrımlar, geçirimsiz katmanlar, akifer kalınlığında azalma, bariyer veya önemli jeolojik oluşumlardan dolayı akiferin sonlu genişlikte olabileceğini ifade eder.

Şekil 2.10 da düzensiz keskin eğimli bir bariyer dikey bir sınır ile değiştirmiştir. Tam nüfus eden büyük çaplı gerçek pompaj kuyusundan L mesafede görüntü pompaj kuyusu yerleştirmiştir. Böyle bir sistemdeki toplam düşüm $s_T(t)$, bariyer etkisi olmadan gerçek kuyudaki düşüm $s_W(t)$ ve görüntü düşümlerin $s_I(t)$ toplamı olarak ifade edilmiştir (Denklem (2.17)). $Q_W(t)$ kuyu depolamasından çekilen debi, $Q_a(t)$ akiferin pompaj kuyusu yüzeyindeki debi ve Q ise bariyer etkisi altında çekilen pompaj debisidir (Denklem(2.18)).



Şekil 2.10. Doğal sınırlı bir akifer ve plan görünüşü

$$s_T(t) = s_W(t) + s_I(t) \quad (2.17)$$

Süreklilik denkleminde göre Denklem (2.18), (2.19), (2.20) ifade edilir.

$$Q = Q_a(t) + Q_W(t) \quad (2.18)$$

$$Q_W(t) = \pi r_w^2 \frac{ds_W(t)}{dt} \quad (2.19)$$

$$Q_a(t) = Q - Q_W(t) \quad (2.20)$$

Darcy kanununda yeraltı suyu akımı için Denklem (2.21) aşağıdaki şeklini alır.

$$Q_a(r, t) = -2\pi T r \frac{ds(r, t)}{dr} \quad (2.21)$$

Bariyer etkisi olmadan ana kuyuda u_w ve $W(u_w)$, Denklemler (2.22), (2.23) ve (2.24) ile hesaplanır.

$$u_w = \frac{1}{\exp W(u_w) + W(u_w) \left(\frac{1}{S} - 1\right) - 1} \quad (2.22)$$

$$u_w = \frac{r_w^2 S}{4Tt} \quad (2.23)$$

$$W(u_w) = 4\pi T \frac{s_w(t)}{Q_a(t)} \quad (2.24)$$

Bariyer etkisi ile görüntüye düşen kuyunun $s_w(t)$, $s_I(t)$ ve $W(u_{2L})$ ifadeleri Denklemler (2.25), (2.26) ve (2.27) ile hesaplanır.

$$s_w(t) = \frac{Q_a(t) \text{Ln}\left(\frac{2L}{r_w} - 1\right)}{2\pi T} \quad (2.25)$$

$$W(u_{2L}) = 2 \text{Ln}\left(\frac{2L}{r_w} - 1\right) \quad (2.26)$$

$$s_I(t) = s_w(t) - \frac{Q_a(t) \text{Ln}\left(\frac{2L}{r_w} - 1\right)}{2\pi T} \quad (2.27)$$

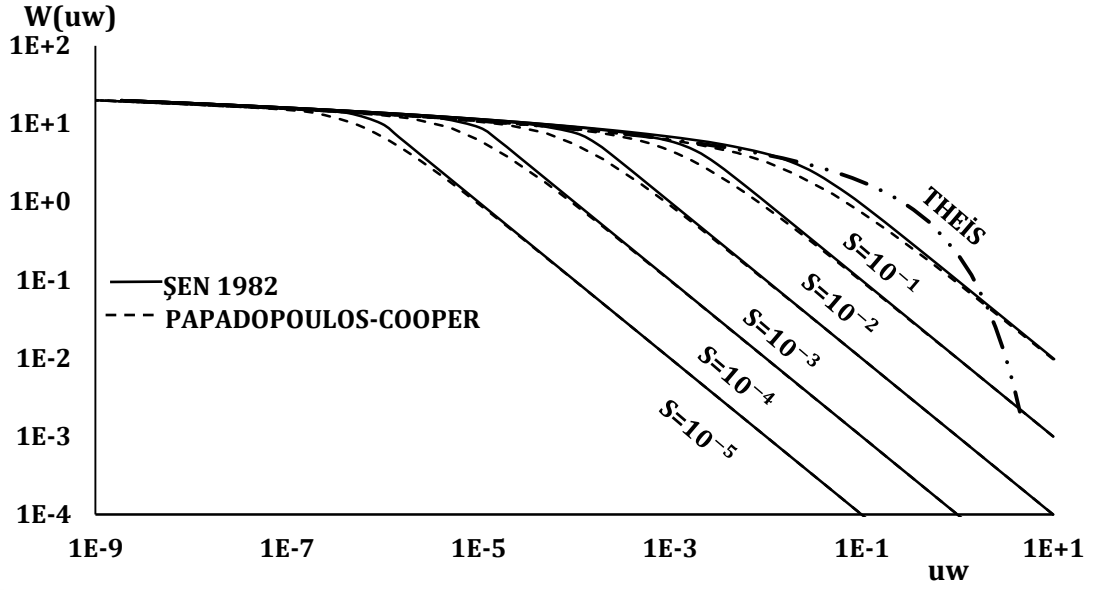
Bariyerden etkilenen geniş çaplı kuyunun $s_w'(t)$, u_w ve $W(u_w')$ eşitlikleri ise Denklemler (2.28), (2.29) ve (2.30) ile hesaplanır.

$$s_w'(t) = 2s_w(t) - \frac{Q_a(t) \text{Ln}\left(\frac{2L}{r_w} - 1\right)}{2\pi T} \quad (2.28)$$

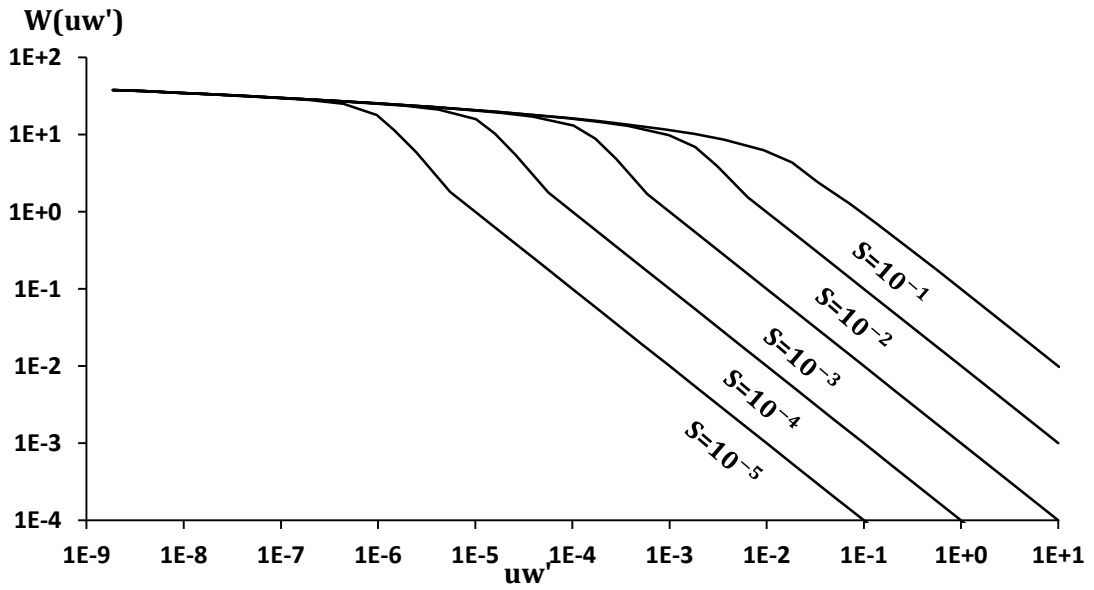
$$W(u_w') = 2W(u_w) - 2 \text{Ln}\left(\frac{2L}{r_w} - 1\right) \quad (2.29)$$

$$u_w = \frac{1}{\exp\left[\frac{W(u_w')}{2} + \text{Ln}\left(\frac{2L}{r_w} - 1\right)\right] + \left[\frac{W(u_w')}{2} + \text{Ln}\left(\frac{2L}{r_w} - 1\right)\right] \left(\frac{1}{S} - 1\right) - 1} \quad (2.30)$$

Şekil 2.11 ve Şekil 2.12 e bakıldığında; bariyer etkisi altındaki Şekil 2.11 deki tip eğrilerinin yukarıya doğru kıvrıldığı görülmektedir. Tek bir bariyer ile bir sonlu akiferdeki geniş çaplı kuyular için geçerli tip eğrisi setleri elde edilir. Süreklilik denklemi ve darcy kanunu görüntü yöntem ve depresyon koni hacmi ile birlikte kullanılır. Elde edilen tip eğri denklemi çok basit ve sıradan bir hesap makinesi ile hesaplanabilir. Gerekli herhangi bir tabloya veya tip eğrilerine gerek yoktur.



Şekil 2.11. Sonsuz genişlikte bir akiferde büyük çaplı kuyuların tip eğrileri



Şekil 2.12. $L/r_w = 2$ için sonlu genişlikte bir akiferde büyük çaplı kuyuların tip eğrileri

2.2.6. Wikramaratna (1985) yöntemi

Wikramaratna (1985) basınçlı akiferlerde geniş çaplı pompaj kuyular için geçerli olup Papadopulos ve Cooper (1967) eğrilerinin daha kullanılabilir olması için yeni bir tip eğri takımını teklif etmiştir. Papadopulos ve Cooper

(1967) yönteminde kabul edilen şartlar geçerlidir. Çizelge 2.3 de $F(u_w, \beta)$ Papadopulos ve Cooper (1967) nin değerleridir.

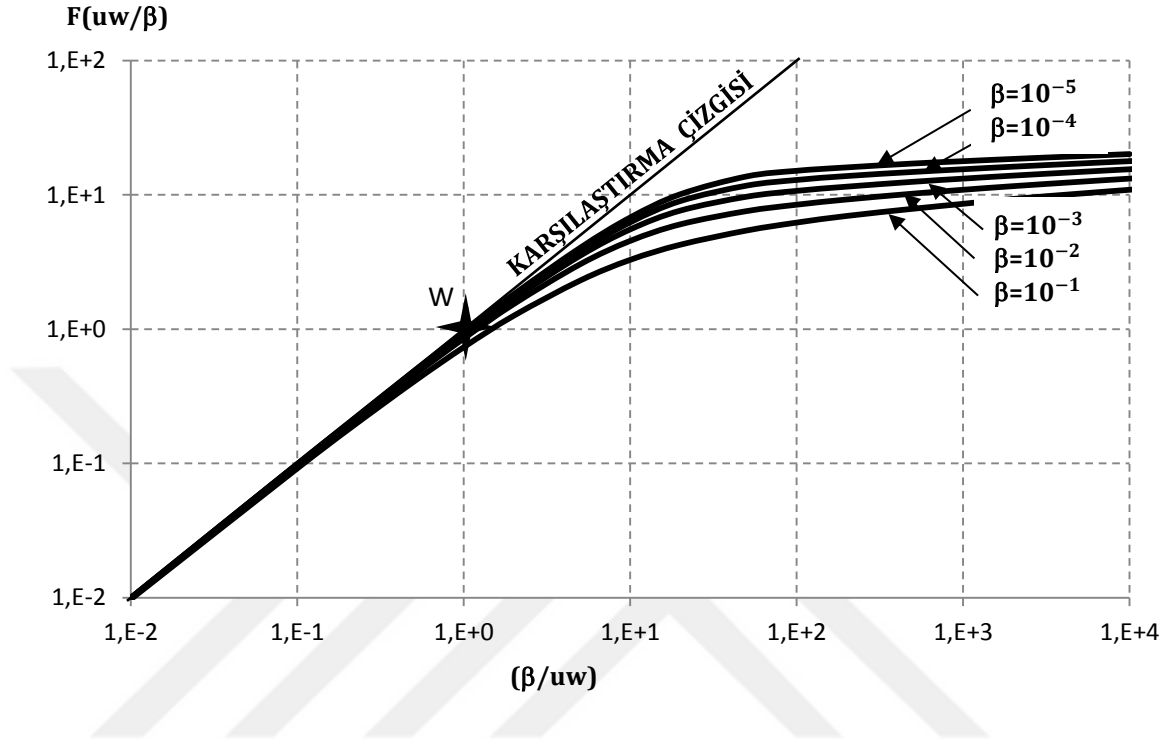
Çizelge 2.3. $F(u_w, \beta)$ ve (β/u_w) nin değerler tablosu (Wikramaratna, 1985)

$1/u_w$	$B=10^{-1}$		$B=10^{-2}$		$B=10^{-3}$		$B=10^{-4}$		$B=10^{-5}$	
	β/u_w	$F(u_w, \beta)$	β/u_w	$F(u_w, \beta)$	β/u_w	$F(u_w, \beta)$	β/u_w	$F(u_w, \beta)$	β/u_w	$F(u_w, \beta)$
1,00E-1	1,00E-2	9,75E-3	1,00E-3	9,98E-4	1,00E-4	1,00E-4	1,00E-5	1,00E-5	1,00E-6	1,00E-6
1,00E+0	1,00E-1	9,19E-2	1,00E-2	9,97E-3	1,00E-3	9,99E-4	1,00E-4	1,00E-4	1,00E-5	1,00E-5
2,00E+0	2,00E-1	1,77E-1	2,00E-2	1,97E-2	2,00E-3	2,00E-3	2,00E-4	2,00E-4	2,00E-5	2,00E-5
5,00E+0	5,00E-1	4,06E-1	5,00E-2	4,89E-2	5,00E-3	4,99E-3	5,00E-4	5,00E-4	5,00E-5	5,00E-5
1,00E+1	1,00E+0	7,34E-1	1,00E-1	9,66E-2	1,00E-2	9,97E-3	1,00E-3	1,00E-3	1,00E-4	1,00E-4
2,00E+1	2,00E+0	1,26E+0	2,00E-1	1,90E-1	2,00E-2	1,99E-2	2,00E-3	2,00E-3	2,00E-4	2,00E-4
5,00E+1	5,00E+0	2,30E+0	5,00E-1	4,53E-1	5,00E-2	4,95E-2	5,00E-3	4,99E-3	5,00E-4	5,00E-4
1,00E+2	1,00E+1	3,28E+0	1,00E+0	8,52E-1	1,00E-1	9,83E-2	1,00E-2	9,98E-3	1,00E-3	1,00E-3
2,00E+2	2,00E+1	4,25E+0	2,00E+0	1,54E+0	2,00E-1	1,94E-1	2,00E-2	1,99E-2	2,00E-3	2,00E-3
5,00E+2	5,00E+1	5,42E+0	5,00E+0	3,04E+0	5,00E-1	4,72E-1	5,00E-2	4,97E-2	5,00E-3	5,00E-3
1,00E+3	1,00E+2	6,21E+0	1,00E+1	4,54E+0	1,00E+0	9,07E-1	1,00E-1	9,90E-2	1,00E-2	9,99E-3
2,00E+3	2,00E+2	6,96E+0	2,00E+1	6,03E+0	2,00E+0	1,69E+0	2,00E-1	1,96E-1	2,00E-2	2,00E-2
5,00E+3	5,00E+2	7,87E+0	5,00E+1	7,56E+0	5,00E+0	3,52E+0	5,00E-1	4,81E-1	5,00E-2	4,98E-2
1,00E+4	1,00E+3	8,57E+0	1,00E+2	8,44E+0	1,00E+1	5,53E+0	1,00E+0	9,34E-1	1,00E-1	9,93E-2
2,00E+4	2,00E+3	9,32E+0	2,00E+2	9,23E+0	2,00E+1	7,63E+0	2,00E+0	1,77E+0	2,00E-1	1,97E-1
5,00E+4	5,00E+3	1,02E+1	5,00E+2	1,02E+1	5,00E+1	9,68E+0	5,00E+0	3,83E+0	5,00E-1	4,86E-1
1,00E+5	1,00E+4	1,09E+1	1,00E+3	1,09E+1	1,00E+2	1,07E+1	1,00E+1	6,24E+0	1,00E+0	9,46E-1
2,00E+5	2,00E+4	1,16E+1	2,00E+3	1,16E+1	2,00E+2	1,15E+1	2,00E+1	8,99E+0	2,00E+0	1,82E+0
5,00E+5	5,00E+4	1,25E+1	5,00E+3	1,25E+1	5,00E+2	1,25E+1	5,00E+1	1,17E+1	5,00E+0	4,03E+0
1,00E+6	1,00E+5	1,32E+1	1,00E+4	1,32E+1	1,00E+3	1,32E+1	1,00E+2	1,29E+1	1,00E+1	6,78E+0
2,00E+6	2,00E+5	1,39E+1	2,00E+4	1,39E+1	2,00E+3	1,39E+1	2,00E+2	1,38E+1	2,00E+1	1,01E+1
5,00E+6	5,00E+5	1,48E+1	5,00E+4	1,48E+1	5,00E+3	1,48E+1	5,00E+2	1,48E+1	5,00E+1	1,37E+1
1,00E+7	1,00E+6	1,55E+1	1,00E+5	1,55E+1	1,00E+4	1,55E+1	1,00E+3	1,55E+1	1,00E+2	1,51E+1
2,00E+7	2,00E+6	1,62E+1	2,00E+5	1,62E+1	2,00E+4	1,62E+1	2,00E+3	1,62E+1	2,00E+2	1,60E+1
5,00E+7	5,00E+6	1,70E+1	5,00E+5	1,70E+1	5,00E+4	1,70E+1	5,00E+3	1,71E+1	5,00E+2	1,71E+1
1,00E+8	1,00E+7	1,78E+1	1,00E+6	1,78E+1	1,00E+5	1,78E+1	1,00E+4	1,78E+1	1,00E+3	1,78E+1
2,00E+8	2,00E+7	1,85E+1	2,00E+6	1,85E+1	2,00E+5	1,85E+1	2,00E+4	1,85E+1	2,00E+3	1,85E+1
5,00E+8	5,00E+7	1,94E+1	5,00E+6	1,94E+1	5,00E+5	1,94E+1	5,00E+4	1,94E+1	5,00E+3	1,94E+1
1,00E+9	1,00E+8	2,01E+1	1,00E+7	2,01E+1	1,00E+6	2,01E+1	1,00E+5	2,01E+1	1,00E+4	2,01E+1

Wikramaratna (1985) bu çalışmasında Denklem (2.31) deki eşitlik kullanılarak karşılaştırma çizgisi ve $F(u_w, \beta) - (\beta/u_w)$ değerlerini kullanarak Şekil 2.13 de görüldüğü gibi çifte logaritmik bir kağıtta tip eğriler elde etmiştir. (β/u_w) nin sifıra yaklaştıkça tip eğrilerinin düzleştiği görülmektedir.

$$\log_{10} F(u_w, \beta) = \log_{10} (\beta/u_w) \quad (2.31)$$

Uygulama aşamasında aynı modüllü başka çifte logaritmik bir kağıda Denklem (2.32) ya da Denklem (2.33) den t değerlerine bağlı s_w gözlenen düşüm değerleri eğrisi çizilir.



Şekil 2.13. Karşılaştırma çizgisi ve W karşılaştırma noktasının $F(u_w, \beta) - (\beta/u_w)$ tip eğrileriyle birlikte gösterimi (Wikramaratna, 1985)

$$s_w = (Q/\pi r_c^2)t \quad (2.32)$$

ya da,

$$\log_{10} s_w = \log_{10}(t) + \log_{10}(Q/\pi r_c^2) \quad (2.33)$$

t değeri sıfıra yaklaştıkça karşılaştırma çizgisinin düzleştiği görülmektedir. Erken zamanlarda kuyuda meydana gelen düşüm değerlerini Denklem (2.32) en iyi şekilde ifade eder. Denklem (2.32) ve Denklem (2.33) den $t=1$ için $s_w = (Q/\pi r_c^2)$ olduğu yani karşılaştırma çizgisinin düz olduğu anlaşılmaktadır. Çizilen $F(u_w, \beta) - (\beta/u_w)$ tip eğrisi ve $(s_w - t)$ gözlem verileri eğrisi karşılaştırma çizgileri üstüste konur. En uygun β değeri ile karşılaştırma çizgisi üzerinde en uygun bir W karşılaştırma noktası seçilir. $F(u_w, \beta)$, (β/u_w) , s_w ve t değerleri belirlenir. Denklem (2.16) dan S değeri, Denklem (2.14) ten de T değeri

hesaplanır. Hata oranı Papadopulos ve Cooper (1967) yöntemine göre çok düşüktür.

2.2.7. Çimen (2001) yöntemi

Çimen (2001); basınçlı bir akiferde büyük çaplı ana kuyu ve gözlem kuyuların standart eğrilere gerek kalmadan basit bir denklemden yararlanarak parametrelerinin hesaplanabileceğini gösterir. Papadopulos ve Cooper (1967) yönteminde kabul edilen şartlar geçerlidir.

$$r_D = \frac{r}{r_w} \quad (2.34)$$

$$t_D = \frac{Sr_w^2}{4Tt} \quad (2.35)$$

$$u = t_D r_D^2 \quad (2.36)$$

Sırasıyla Denklemler (2.34) ve (2.35) boyutsuz mesafe ve boyutsuz zamanı tanımlamaktadır. Denklem (2.37) den gözlem kuyusunun parametreleri hesaplanır.

$$\frac{s}{Q/4\pi T} = \left[\frac{1}{t_D} - \left(\frac{r_c}{r_w} \right)^2 \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{s_w}{Q/4\pi T} \right] \cdot \frac{\int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx}{\int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x^2} dx} \quad (2.37)$$

Denklem (2.36) da; $r_D = 1$ olursa $r = r_w$, $u = t_D$ olur ve;

$$\frac{s_w}{Q/4\pi T} = 1/t_D \left[\left(\frac{r_c}{r_w} \right)^2 \cdot \frac{1}{s} + \frac{\int_{t_D}^\infty \frac{e^{-x}}{x^2} dx}{\int_{t_D}^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx} \right] \quad (2.38)$$

Denklem (2.37), Denklem (2.38) dönüşür ve bu denklemle basınçlı bir akiferde geniş çaplı ana kuyunun parametreleri hesaplanır. Bu denklemlerde Çizelge 2.4 de gösterilen sayısal değerler kullanılmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen metot daha az hesaplama gerektirir böylece diğer yöntemlerden daha kolay sonuca varılabilir.

Çizelge 2.4. Denklem (2.37) ve (2.38) için sayısal değerler (Çimen, 2001)

u yada t_D	$\int_{t_D}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x^2} dx$	$\int_{t_D}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx$
1E-7	1.00E+7	15.54
1E-6	1.00E+6	13.24
1E-5	1.00E+5	10.94
2E-5	5.00E+4	10.24
5E-5	2.00E+4	9.33
1E-4	9.99E+3	8.63
2E-4	4.99E+3	7.94
5E-4	1.99E+3	7.02
1E-3	9.93E+2	6.33
2E-3	4.93E+2	5.64
3E-3	3.27E+2	5.23
4E-3	2.44E+2	4.95
5E-3	1.94E+2	4.73
6E-3	1.61E+2	4.54
7E-3	1.37E+2	4.39
8E-3	1.20E+2	4.26
9E-3	1.06E+2	4.14
1E-2	9.50E+1	4.04
2E-2	4.57E+1	3.35
3E-2	2.94E+1	2.96
4E-2	2.13E+1	2.68
5E-2	1.66E+1	2.47
6E-2	1.34E+1	2.30
7E-2	1.12E+1	2.15
8E-2	9.51E+0	2.03
9E-2	8.24E+0	1.92
1E-1	7.23E+0	1.82
2E-1	2.87E+0	1.22
3E-1	1.56E+0	9.07E-1
4E-1	9.73E-1	7.04E-1
5E-1	6.53E-1	5.61E-1
6E-1	4.60E-1	4.54E-1
7E-1	3.36E-1	3.74E-1
8E-1	2.51 E-1	3.12E-1
9E-1	1.92E-1	2.61E-1
1E+0	1.48E-1	2.19E-1
2E+0	1.88E-2	4.89E-2
3E+0	3.55E-3	1.30E-2
4E+0	8.00E-4	3.78E-3
5E+0	1.99E-4	1.15E-3
6E+0	5.30E-5	3.60E-4
7E+0	1.48E-5	1.15E-4
8E+0	4.31E-6	3.77E-5
9E+0	1.31E-6	1.24E-5

2.3. Nümerik Çalışmalar

2.3.1. Rai (1985) yöntemi

Theis (1935) denkleminin nümerik olarak değerlendirildiği ilk çalışmalardan biri Rai (1985) tarafından yapılmıştır. Rai (1985), Chow (1952) tarafından geliştirilen yöntemi ele alarak, akifer parametrelerini belirlemek için sonlu fark hesaplamaları ile bir eğim eşleştirme yöntemini kullanmıştır. Bu yöntem, herhangi bir pompalama zamanındaki iki ya da üç ardışık düşüm (s-t) verisini göz önüne alır.

$$\frac{s/t}{ds/dt} = W(u)e^u = f(u) \quad (2.39)$$

$$f(u) = \frac{\frac{s_2/t_2}{s_3-s_1}}{t_3-t_1} \quad (2.40)$$

$$T = \frac{Q}{4\pi s_2} W(u) \quad (2.41)$$

$$S = \frac{4uTt_2}{r^2} \quad (2.42)$$

Hesaplama işleminde evvela Denklem (2.40) tan $f(u)$ değeri elde edilir. Bulunan $f(u)$ değeri 2,3 e bölünerek $F(u)$ hesaplanır. Sonra Chow (1952) yöntemine göre $F(u)$ nun Çizelge 2.2 de karşılığı olan u ve $W(u)$ değerleri belirlenir. Bulunan $W(u)$ ve u değerleri Denklem (2.41) ve Denklem (2.42) de yerine konularak T ve S parametreleri her ardışık düşüm değeri için hesaplanır. Daha sonra bulunan bu parametrelerin tam bir pompaj süresi için ortalaması alınır ve akifer parametreleri elde edilmiş olunur.

2.3.2. Şen (1986) yöntemi

Şen (1986) bu metot da eğim eşleştirme yöntemi ile akifer parametrelerini belirlemiştir. Theis (1935)'a ait (2.1) ve (2.2) Denklemlerinden yararlanmıştır. Theis (1935) denklemini belirli ideal şartlar ve varsayımlara göre türetilmiştir. Akifer koşulları bu varsayımları karşılamayabilir. Ölçüm hataları, akiferin test süresi ve diğer faktörler akifer parametrelerini etkileyebilir. Theis (1935)

yönteminde bu faktörler ihmal edilmiştir. Çifte logaritmik bir kağıt üzerinde zaman-düşüm verisinin herhangi bir noktası bir eğime sahiptir. Akifer parametrelerini, bu faktörleri ihmal etmeden tespit edebilmek için Çizelge 2.5' te verilen ve Denklem (2.43) ten hesaplanmış (Şen, 1986) Theis denklemi eğim değerlerinden yararlanılabilir.

$$\alpha_i = -\frac{e^{-u_i}}{W_i(u_i)} \quad (2.43)$$

Çizelge 2.5. Theis denklemi eğim değerleri, α (Şen, 1986)

U	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
$\times 10^0$	-1.6798	-2.7619	-3.8298	-4.8199	-6.1254	-6.8854	-7.5990	-8.8279	-10.2841
$\times 10^{-1}$	-0.4971	-0.6711	-0.8141	-0.9576	-1.0831	-1.2196	-1.3421	-1.4494	-1.5637
$\times 10^{-2}$	-0.2451	-0.2926	-0.3278	-0.3585	-0.3851	-0.4095	-0.4337	-0.4547	-0.4760
$\times 10^{-3}$	-0.1578	-0.1769	-0.1906	-0.2014	-0.2104	-0.2189	-0.2262	-0.2329	-0.2394
$\times 10^{-4}$	-0.1159	-0.1259	-0.1322	-0.1379	-0.1424	-0.1461	-0.1494	-0.1525	-0.1551
$\times 10^{-5}$	-0.0914	-0.0976	-0.1016	-0.1047	-0.1072	-0.1094	-0.1112	-0.1128	-0.1144
$\times 10^{-6}$	-0.0755	-0.0797	-0.0824	-0.0844	-0.0859	-0.0873	-0.0886	-0.0896	-0.0906
$\times 10^{-7}$	-0.0643	-0.0673	-0.0692	-0.0707	-0.0728	-0.0727	-0.0735	-0.0743	-0.0745
$\times 10^{-8}$	-0.0560	-0.0583	-0.0597	-0.0607	-0.0616	-0.0623	-0.0629	-0.0634	-0.0640
$\times 10^{-9}$	-0.0496	-0.0514	-0.0524	-0.0533	-0.0539	-0.0545	-0.0549	-0.0553	-0.0557
$\times 10^{-10}$	-0.0445	-0.0459	-0.0468	-0.0475	-0.0480	-0.0484	-0.0488	-0.0491	-0.0494

Yöntemin uygulanmasında işlem adımları aşağıdaki gibi yapılır.

$$\alpha_i = \frac{\ln \frac{s_i}{s_{i-1}}}{\ln \frac{t_i}{t_{i-1}}} \quad i = 2,3,4 \dots \dots, n \quad (n=\text{Düşüm kayıtlarının sayısı}) \quad (2.44)$$

Denklem (2.44) den iki ardışık arazi verisi arasındaki eğim hesaplanır.

- Bulunan α_i değerinden Çizelge 2.5 yardımıyla u_i değeri bulunur.
- Denklem (2.43) den $W_i(u_i)$ hesaplanır.
- Bulunan u_i ve $W_i(u_i)$ değerleri kullanılarak Denklem (2.1) ve (2.2) den T ve S' ler hesaplanır.

- Bir sonraki zaman- düşüm verileri için işlem adımları tekrarlanır.

Bütün zaman-düşüm verileri için elde edilen akifer parametrelerinin tahmini değerleri bulunmuş olur. Bu değerler arasındaki fark büyük olmadığı sürece geçerlidir. Tahmini parametre değerleri arasında büyük farklar var ise o anda ideal şartlara uygun olmayan herhangi bir durum söz konusu demektir. Bunlar göz ardı edilebilir. İstenirse bütün hesaplanmış değerlerin ortalaması hesaplanarak ortalama bir T ve S parametre değerleri hesaplanabilir.

2.3.3. Yeh (1987) yöntemi

Yeh (1987), Rai (1985) yönteminde $f(u)$ değerine farklı bir yorum katmıştır. Basıncılı akifer parametrelerini belirlemek için sonlu farklar metodunu kullanmış ve hata oranı maksimum %10 olarak belirtilmiştir. Denklem (2.45) den elde edilen $f(u)$ değerleri sayesinde Denklem (2.46) nın kullanılmasını önermiştir. Denklem (2.46) Newton metodu olarakta bilinir.

$$f(u) = \frac{s_2}{\frac{(s_3-s_1)}{\ln\left(\frac{t_3}{t_1}\right)}} \quad (2.45)$$

$$U_{n+1} = U_n - \frac{F(u)}{F'(u)} \quad (2.46)$$

$F(u) = W(u) \cdot e^u - f(u)$, $F'(u) = \frac{dF(u)}{du} = e^u(0,4227843 - \ln u - \frac{1}{u} + \frac{u}{2} - \frac{u^2}{12} + \frac{u^3}{72} - \frac{u^4}{480} + \frac{u^5}{3600} - \frac{u^6}{30240})$, $W(u)$ =Theis fonksiyonunun seri ifadesidir. u_n 'in başlangıçta 0,001 alınması uygun görülmüştür. Ayrıca Newton metodunun yakınsama problemine sahip olduğunu belirtmiştir.

2.3.4. El-Khatib (1987) yöntemi

El-Khatib (1987) petrol mühendisliği alanında, eğime ya da $f(u)$ değerler tablosuna gerek olmayan eğim eşleştirme metoduna dayalı farklı bir yöntem önerdi. Direkt sonuca giden bir çalışmadır. Tekrarlanan bir çalışma olmadığı için başlangıç S ve T tahminlerine gerek yoktur. Yöntemin tek dezavantajı S ve T

parametrelerinin zamanla değişiminin tahmin edilemez olmasıdır. Bu yöntem aşağıdaki formüllere dayanır.

$$p'(\Delta r, t) = -A \frac{\exp(-b/t)}{t} \quad (2.47)$$

$$\ln(-tp') = \ln A - b/t \quad (2.48)$$

$$T = \frac{km}{\mu} = \frac{70.6QB}{A} \quad (2.49)$$

$$S = m\phi c_t = \frac{Tb}{948(\Delta r)^2} \quad (2.50)$$

Burada k=permabilite [mgün], μ =vizkosite [kPa.sn], ϕ =porozite, c_t = toplam sıkışma [kPa⁻¹], p' = basıncın zamana bağlı türevi [Pa/sn], Q= debi [stock-tank m³/gün], Δr =radial mesafe [m], S=depolama katsayısı [m.kPa⁻¹], T=iletim katsayısı [md.m/kPa.sn], t=zaman [saat], A=sabit [kPa], b=sabit [saat] ve B=birim dönüşüm katsayısıdır.

Yarı logaritmik bir kağıda yatayda 1/t, düşeyde t.p' değerleri girilerek bir grafik oluşturulur. Girilen değerlerden gecebilecek düz bir doğru geçirilir. Bu doğru sayesinde T ve S değerleri hesaplanır. Grafikte 1/t=0 iken (t.p') değeri A sabitini verir. Doğrunun eğimi $-b/2,303$ ifadesine eşittir. Bu durumda grafikten b sabiti ve A sabiti bulunur. Bu ifadeler Denklem (2.49) ve (2.50) de yerine yazılarak T ve S hesaplanır.

2.3.5. Singh (2000) yöntemi

Singh (2000), akiferin erken zamanlı düşüm hesabında $u=0,4348182$ değeri için basit bir çözüm teklif etmiştir. Theis tip eğrisi ya da $u<0,01$ den küçük değerlerini ele alan Cooper-Jacob metoduna gerek kalmadan basit bağıntılar vermiştir. Theis tarafından sonsuz genişlikte, homojen ve izotrop basıncılı akiferler için yazılan düşüm denkleminde yararlanılmıştır.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^x \frac{e^{-x}}{x} dx \quad (2.51)$$

$$s = W(u) \frac{Q}{4\pi T} \quad (2.52)$$

$$u = \frac{S}{4T\alpha} \quad (2.53)$$

$$\alpha = \frac{t}{r^2} \quad (2.54)$$

(2.54) Denklemine t, pompajın başladığı andan itibaren geçen zaman ve r, pompajın yapıldığı kuyunun gözlem kuyusuna olan uzaklığıdır. Aşağıdaki eşitlikte s', tek bir gözlem kuyusu ya da birden fazla gözlem kuyusu olması halinde geçerli bir parametreyi göstermektedir.

$$s' = \frac{s}{\alpha} \quad (2.55)$$

(2.52) Denklemine (2.55) Denklemine yazarsak (2.56) Denklemine elde ederiz.

$$s' = W(u) \frac{Q}{4\pi T\alpha} \quad (2.56)$$

Akifer parametre tahmini için yarı logaritmik bir kağıt da arazi verisinden α değerlerine göre s' değerleri işaretlenir. Oluşan çan biçimindeki eğrinin tepe noktası $s_*' = \frac{s_*}{\alpha_*}$ olarak tanımlanır. Denklem (2.56) yardımıyla tepe noktasındaki u_* ve $W(u_*)$ bulunur.

$$u_* = 0,4348182 \quad (2.57)$$

$$W(u_*) = 0,6473823 \quad (2.58)$$

(2.57) ve (2.58) eşitlikleri Denklem (2.52) ve (2.53) da yerine konulursa;

$$T = \frac{Q}{4\pi s_*} W(u_*) = 51,52 \times 10^{-3} \frac{Q}{s_*} \quad (2.59)$$

$$S = \frac{4Ttu_*}{r^2} = 1,7393T\alpha_* \quad (2.60)$$

elde edilir. (s' - α) grafiğinde α ya karşı gelen s' değerinin eşleşebilmesi için en az bir noktanın u değerinin 0,4348182 den büyük olması gerekir. Bu metodun kullanılabilmesi için birkaç tane düşün değerinin bilinmesi yeterlidir. (s' - α) grafiğinden tepe noktası değerleri ($t_*, s_*/t_*$) elde edilir. $\alpha_* = \frac{t_*}{r^2}$ denkleminin yardımıyla;

$$\frac{s}{s_*} = 1,5446W\left(\frac{0,4348\alpha_*}{\alpha}\right) \quad (2.61)$$

elde edilir. Eğer $(s' - \alpha)$ grafiğinde α ya karşı gelen s' değeri yerleşmiyorsa; α_* ve s_* parametreleri $u < 0,01$ için geç zamanlı düşün hesabı aşağıdaki (2.75) Denkleminde hesaplanır.

$$\frac{s}{s_*} = 3,5566 \log\left(\frac{1,2913\alpha}{\alpha_*}\right) \quad (2.62)$$

Logaritmik eksene α veya t yazılan düşey eksene de s yazılan bir grafikte elimizdeki veriler işaretlendikten sonra düz çizgi oluşur, bu düz çizgi için (2.63), (2.64) ve (2.65) ifadeleri elde edilir. $\alpha_0, s=0$ için x ekseninin kestiği nokta olduğu için $u > 0,01$ değerinde kullanılamaz.

$$s_* = 0,2812l \Delta s \quad (2.63)$$

$$\alpha_* = 1,2913 \alpha_0 \quad (2.64)$$

$$t_* = 1,2913 t_0 \quad (2.65)$$

2.3.6. Singh (2001) yöntemi

Singh (2001), Singh (2000) ve Theis (1935) düşün denklemlerinden yararlanarak eğriye gerek kalmadan akiferin erken zamanlı ($u \geq 0,01$) düşün hesabı için kesin çözüme gitmiştir. Theis (1935) tarafından yapılan kabuller geçerlidir. (2.69) Denkleminde t , pompajın başladığı andan itibaren geçen zaman ve r , pompajın yapıldığı kuyunun gözlem kuyusuna olan uzaklığıdır.

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = W(u) \frac{Q}{4\pi T} \quad (2.66)$$

$$\frac{s}{s_*} = 1,5446 W\left(\frac{0,4348\alpha_*}{\alpha}\right) \quad (2.67)$$

$$\alpha = \frac{t}{r^2} \quad (2.68)$$

Yöntem çoklu gözlem kuyusu olması halinde, parametreler en küçük kareler regresyonu uygulanarak hesaplanabilir. Yarı logaritmik bir kağıda x ekseninde α , y ekseninde (s/α) değerleri olacak şekilde işaretlenir. Oluşan eğrinin tepe noktası s_* ve α_* değerlerini verir. Denklem (2.69) ve Denklem (2.70) eşitlikleri yazılır.

$$s_* = 5,152 * 10^{-2} \frac{Q}{T} \quad (2.69)$$

$$\alpha_* = \frac{S}{1,7393 T} \quad (2.70)$$

Denklem (2.66), Denklem (2.71) ve daha sonra Denklem (2.72) şeklinde yazılabilir.

$$\frac{1}{s_*} \frac{\partial s}{\partial \alpha} = \frac{1,5446}{\alpha} \exp(-0,4348 \frac{\alpha_*}{\alpha}) \quad (2.71)$$

$$\ln \left(\frac{\alpha \partial s / \partial \alpha}{\beta_1} \right) = -\frac{\beta_2}{\alpha} \quad (2.72)$$

$$\beta_1 = 1,5446 s_* = \frac{Q}{4\pi T} \quad (2.73)$$

$$\beta_2 = 0,4348 \alpha_* = \frac{S}{4 T} \quad (2.74)$$

Tek bir gözlem kuyusu olması halinde aşağıdaki eşitliği göz önüne almıştır. $1/t$ zamanına karşın $t \partial s / \partial t$ değerlerinden bir grafik elde edilmekte ve bu grafiğin geç zamanları üzerinde çizilen doğrunun $t \partial s / \partial t$ eksenine ile kesişimi $Q/4\pi T$ değerini, eğimi ise $Sr^2/9.212T$ değerini vermektedir. Bu değerler yardımıyla akifer parametre değerleri hesaplanır

$$\log \left(\frac{t \partial s / \partial t}{Q/4\pi T} \right) = \log \left(\frac{t_i + t_{i+2}}{2} \frac{s_{i+2} - s_i}{t_{i+2} - t_i} \frac{1}{Q/4\pi T} \right) = -\frac{Sr^2}{9.212Tt} \quad (2.75)$$

2.3.7. Çimen (2008) yöntemi

Çimen (2008); nümerik yöntemle basınçlı akifer parametrelerini hesaplamak için eğim-eşleştirme metodu kullanmıştır. Cooper ve Jacob (1946) da ele alınan t nin büyük değerleri ve r nin küçük değerleri için $u \leq 0,01$ hata payını dikkate alınmıştır.

$$\frac{ds}{dt} = \frac{Q}{4\pi T} \frac{e^{-u}}{t} \quad (2.76)$$

$$t \frac{ds}{dt} = \frac{Q}{4\pi T} \quad (2.77)$$

$$\frac{dW(u)}{du} = -\frac{e^{-u}}{u} \quad (2.78)$$

Büyük zaman t ve küçük radyal mesafe r için $u \leq 0,01$ Denklem (2.89) da e^{-u} ihmal edilir. İfade Denklem (2.77) e dönüşür. $t \frac{ds}{dt}$ değerlerinin ağırlıklı ortalama değeri dikkate alınarak;

$$t_i \left. \frac{ds}{dt} \right| = t_i \frac{t_{i-1} \left[\frac{s_i - s_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right] + t_i \left[\frac{s_{i+1} - s_i}{t_{i+1} - t_i} \right]}{t_{i-1} + t_i} \quad (2.79)$$

T ve S aşağıdaki adımlarla elde edilir.

1. Denklem (2.79) den her pompalama için $t_i \left. \frac{ds}{dt} \right|$ değeri hesaplanır,
2. İlk adım yardımıyla Denklem (2.77) den yaklaşık geçirgenlik $T_{appr.}$ bulunur,
3. İkinci adım yardımıyla Denklem (2.2) dan $W_{appr.}(u)$ hesaplanır,
4. Denklem (2.78) yardımıyla $u_{appr.}$ bulunur,
5. Denklem (2.1) yardımıyla $S_{appr.}$ bulunur
6. Bulunan $T_{appr.}$ ve $S_{appr.}$ değerleri $e^{-u_{appr.}}$ ile çarpılarak T ve S değerleri bulunur,
7. Bulunan T ve S değerleri tekrardan 3,4 ve 5 adımları tekrarlanarak $W(u)$ ve u değerleri hesaplanmış olur,
8. $u \leq 0,01$ için T ve S değerleri diğer düşüm değerleri için adımlar tekrarlanarak hesaplanır. Çıkan T ve S değerlerinin ortalaması sonucu verir.

2.3.8. Çimen (2009) yöntemi

Çimen (2009) temelde Cooper ve Jacob (1946) yöntemiyle aynıdır. Akifer parametrelerinin belirlenmesinde eğim eşleştirme yöntemi kullanılır. Bu yöntem genellikle küçük çaplı kuyular için fakat geniş çaplı kuyular içinde kullanılabilir. Basınçlı akiferlerde pompalama ve gözlem kuyularının geç zaman-düşüm verilerinden akifer parametrelerini hesaplamak için geliştirilmiştir. Bu amaçla, zaman-düşüm veri grafiği MS Excel aracılığıyla kullanılmış ve daha sonra, geç zaman-düşüm verileri için kendi regresyon çizgisi ve denklemi elde edilmiştir. En az 5 adet düşüm- zaman verisi olmalıdır. Geç zaman-düşüm verileri yarı logaritmik kağıt ta düz çizgi olarak görülmektedir.

İletim kapasitesini tahmin etmek için Cooper ve Jacob (1946) formülü ve elektronik tablolar vasıtasıyla geç zaman-düşüm grafiğinin regresyon denklemiyle çizilen eğim değeri kullanılır. Depolama katsayısını belirlemek için ilk olarak regresyon denkleminde tutma süresini veren katsayılar ve sonrasında Cooper ve Jacob (1946) formülü kullanılır. Bu yöntemde önerilen prosedür için geç zaman-düşüm verilerinin başlangıç değerini belirlemek önemlidir.

Denklem (2.80), Çimen (2009) yöntemi için hata payının %0,5 den az olması gerektiğini gösterir.

$$\frac{\pi r_c^2 s_w(t)}{Q t} = 0,005 \quad (2.80)$$

$$s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} (-0,5772 - \ln u) = \frac{Q}{4\pi T} \ln(t) + \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right) \quad (2.81)$$

$$s = a \ln(t) + b \quad (2.82)$$

Denklem (2.83) regresyon denklemidir. Burada $a = \frac{Q}{4\pi T}$ ve $b = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right)$ ifadelerine eşittir. a aynı zamanda regresyon çizgisinin eğimidir. Denklem (2.83) Cooper ve Jacob (1946) yönteminde olduğu gibi çizginin $s=0$ anında eksenini kestiği nokta t_0 ifade eder.

$$S = \frac{2,25T t_0}{r^2} \quad (2.83)$$

Özellikle pompalama kuyularında düşümün sıfır olduğu zamanı belirlemek için Cooper ve Jacob (1946) yönteminin bazı zorlukları vardır. Logaritmik veriler üzerinde okumalar gerçek değeri vermiyor olabilir. Bu nedenle aşağıdaki Denklem (2.84) düşümün sıfır olduğu zamanı bulmak için kullanılabilir.

$$t_0 = \exp(-b/a) \quad (2.84)$$

3. POMPAJ KUYUSUNA DOĞRU YERALTI SUYUNUN HAREKETİ

3.1. Giriş

Yeraltı suyu, zemin içindeki gözeneklerin tamamen su ile dolu olduğu kabul edilen doymuş bölgede bulunan suya denir. Yeraltı suyu gözenekler arasında yerçekimi ve basıncın etkisi ile hareket etmektedir. Yeraltı suyu akımının olabilmesi için, akışkanın gözenekli ortamda hareketini sağlayan kuvvetlerin, hareket halindeki akışkan ile gözenekli ortamın taneleri arasında meydana gelen sürtünme kuvvetlerini yenmesi gerekmektedir. Bu hareket esnasında sürtünmeden dolayı mekanik enerjinin bir kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu ısı enerjisinin geriye mekanik enerjiye dönüşümü mümkün değildir. Akışkanın gözenekli ortamda bir noktadan diğer bir noktaya hareketini sağlayan itici güç, akışkanın iki nokta arasındaki enerji potansiyellerinin farklılığından kaynaklanmaktadır.

1856 yılına kadar yeraltı suyunun analizi tam olarak yapılamamıştır. Gözenekler karmaşık bir yapıya sahip bir aĐ meydana getirirler. Slichter, ağın karmaşık yapısını, “Zeminin meydana getirdiği ağın yapısı çok karmaşıktır. O kadar karmaşıktır ki, bir noktada, sıvı zerresinin istediği doğrutuda hareket edeceğini düşünebiliriz.” diye ifade etmektedir (Keskin, 2005). Bu sebepten dolayı gözeneklerin meydana getirdiği kılcal borucuklar sayesinde hareket eden yeraltı suyunun akışkan zerresi için sınır şartları yazılamamıştır. Darcy’ nin 1856 yılında yapmış olduğu çalışma sayesinde (Darcy kanunu) yeraltı suyu içinde çok sayıda boşluk bulunan bir zemin kesiti şeklinde ele alınmıştır.

3.2. Darcy (1856) Kanunu

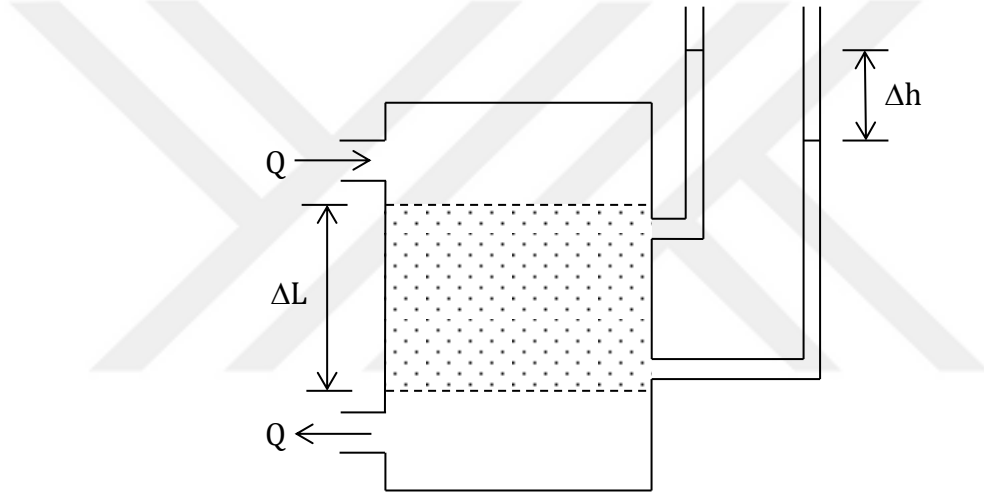
Darcy kanuna göre ortamdan geçen sıvının debisi (Q), yük kaybı (Δh), akım hızı (q) ve hidrolik iletkenlik (K) katsayısı ile doğru, katedilen yol (ΔL) ile ters orantılıdır. Denklem (3.1) şeklinde ifade edilir. Denklem (3.4) de $\Delta h/\Delta L$ hidrolik yük (eğim) (i) vermektedir. Birimleri Q ($m^3/gün$), q ($m/gün$), K ($m/gün$), A (m^2) dir.

$$Q = A k i \quad (3.1)$$

$$q = K \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (3.2)$$

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (3.3)$$

Darcy kanununda K hidrolik iletkenlik katsayısı sıvının ve ortamın özelliklerine bağlı bir katsayıdır. Birim eğim altında akıma dik olan birim kesitten geçen sıvı miktarıdır. Denklem (3.1) de her iki tarafın A ya bölünmesiyle 'q=Q/A' ifadesi birim zamanda birim alandan geçen su miktarı (Denklem (3.2)) elde edilir. Darcy tarafından kullanılan laboratuvar düzeneği Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Darcy cihazı (Şen, 2003).

Hidrolik yük herhangi bir referans düzlemine göre gözlem kuyusunda ölçülen sıvı yüksekliğidir. Darcy kanuna göre durağan (kararlı) ve durağan olmayan (kararsız) yeraltı suyu akımları için sırasıyla;

$$q = K \frac{dh}{dL} \quad (3.4)$$

$$q = K \frac{\partial h}{\partial L} \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir. Denklem (3.4) hidrolik yükün sadece mesafe ile değiştiğini, Denklem (3.5) de ise hidrolik yükün mesafe ile birlikte zamanla da değiştiğinin göstermektedir.

3.3. Depolama ve Özgül Depolama Katsayısı

Depolama katsayısı, birim kesitli bir yüzeyden, bu yüzeye dik olarak birim hidrolik yük değişmesi sonucu depolanan ve serbest hale geçen su hacmi olarak tanımlanır ve boyutsuz bir S harfi ile ifade edilir (Kruseman ve Ridder, 1982).

Özgül depolama katsayısı, depolama katsayısının akiferin suya doymun kalınlığına bölünmesiyle bulunur ve boyutsuz bir S_s hafi ile gösterilir. Basıncılı akiferde suya doymun kalınlık akiferin tabaka kalınlığına eşittir ve m ile gösterilir.

3.4. İletim Katsayısı (Transmisivity)

Birim hidrolik eğim altında birim alandan akiferin ileteceği su miktarıdır ve T ile gösterilir. Hidrolik iletkenlik (K) ile akiferin tabaka kalınlığının (m) çarpıma eşittir. Birimi m²/gün olarak ifade edilir.

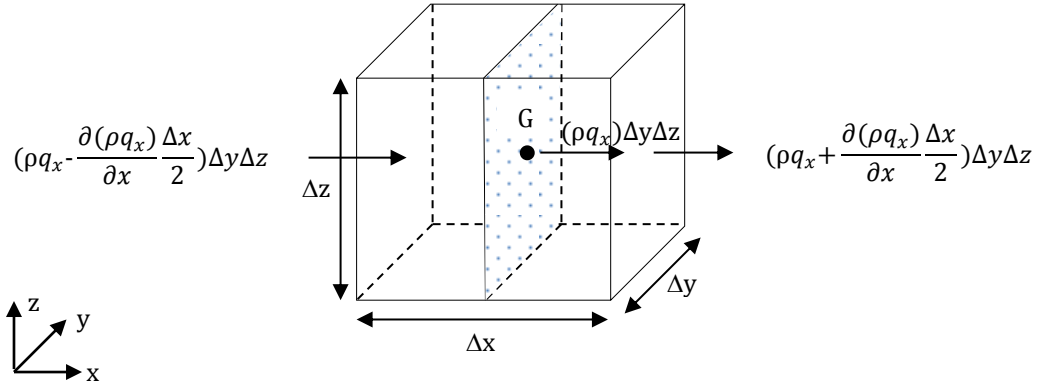
3.5. Kontrol Hacmi Kavramı

Yeraltı suyu akımında, süreklilik denklemini elde ederken daha kolay uygulanabilir olduğundan Euler metodu kullanılmaktadır. Bu metotta, uzayda tespit edilmiş kontrol hacmi diye adlandırılan belli bir hacim göz önüne alınır. Kontrol hacminin şekli gelişi güzeldir. Bu hacim, kontrol yüzeyi diye adlandırılan yüzleri kapalı bir hacim bölgesi meydana getirir. Kontrol hacminin içindeki maddenin miktarı zamanla değişebilir. Fakat bu hacmin şekil ve pozisyonu değişmez. Bu hacim, incelenen probleme göre, çok küçük ya da sonlu olmak şartıyla büyük boyutlu olabilir. İncelemeleri kolaylaştırmak için kontrol hacmi, kullanılan koordinat sistemine uygun herhangi bir formda düşünülebilir. Çünkü seçilen form sonuçta elde edilen denklemlere etki etmez (Keskin, 2005).

3.6. Süreklilik Denklemi

Yeraltı suyu hareketinin incelenmesinde, yeraltı su seviyesini (enerjisini) gösteren h değerinin bütün zemin kalınlığı boyunca dağılımı ölçülmedikçe Darcy kanunu yalnız başına yeterli olmayacaktır. Gelecekle ilgi durumların tahmin edilmesi durumunda h değerinin bilinmesi oldukça güçtür. Bu durumda Darcy kanunu, dört bilinmeyenli üç denklem halindedir. Bunlar, birim debi vektörünün x , y , z eksenlerindeki değerleridir. Dördüncü denklem kütle korunumu kanunu olarak bilinen temel fizik kanunu yardımıyla elde edilebilir. Buna göre akımın biçimi ne olursa olsun, kütle hiçbir şekilde değişmeyecektir. Yani zemindeki kontrol hacme giren ve çıkan toplam miktarlar eşittir (Cömertpay, 2005).

Üç boyutlu olarak (x,y,z) koordinat sisteminde, geçirimli zeminin herhangi bir $P(x,y,z)$ noktası etrafında, Şekil 3.2 de görüldüğü gibi kenar uzunlukları Δx , Δy , Δz olan bir kontrol hacmi dikkate alınmıştır. Burada ρ yoğunluk, ' $q_x, q_y, ve q_z$ ' birim debiyi ifade etmektedir.



Şekil 3.2. Dikdörtgenler prizması şeklinde kontrol hacmi.

Süreklilik denklemi kütle korunumu ilkesine dayanmaktadır. Bu ilkeye göre sonsuz küçüklükte bir kontrol hacminin içerisinden geçen akışkan yoktan var olamaz, vardan yok olamaz. Herhangi bir akışkan için x , y ve z doğrultularında;

Kontrol hacmine giren akışkanın kütlesi - Kontrol hacminden çıkan akışkanın kütlesi = Kontrol hacminde biriken akışkanın kütlesi

$$\left(\rho q_x - \frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right) \Delta y \Delta z - \left(\rho q_x + \frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right) \Delta y \Delta z = -\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z \quad (3.6)$$

$$\left(\rho q_y - \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} \frac{\Delta y}{2}\right) \Delta x \Delta z - \left(\rho q_y + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} \frac{\Delta y}{2}\right) \Delta x \Delta z = -\frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} \Delta y \Delta x \Delta z \quad (3.7)$$

$$\left(\rho q_z - \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} \frac{\Delta z}{2}\right) \Delta y \Delta x - \left(\rho q_z + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} \frac{\Delta z}{2}\right) \Delta y \Delta x = -\frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} \Delta z \Delta y \Delta x \quad (3.8)$$

eşitlikleri verilir. Kontrol hacminde biriken toplam akışkan kütlesi Denklem (3.9) da verilmiştir.

$$-\left[\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z}\right] \Delta x \Delta y \Delta z \quad (3.9)$$

Kontrol hacminde biriken akışkanın kütlesi = Kontrol hacmi içindeki akışkan kütlesinin zamana göre değişimi

$$-\left[\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z}\right] \Delta x \Delta y \Delta z = \frac{\partial(\rho \Delta x \Delta y \Delta z)}{\partial t} \Delta t \quad (3.10)$$

$$\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(q_z)}{\partial z} = 0 \quad (3.12)$$

Denklem (3.11) sıkıştırılabilen akışkanlar için süreklilik denkleminin verir. Denklem (3.12) sıkıştırılmayan akışkanlar için dengeli akım halinde ($\rho = \text{sbt}$) süreklilik denklemini vermektedir. Darcy kanunu ile elde edilen Denklem (3.2) yi, Denklem (3.12) de yerine koyarsak;

$$\frac{\partial\left(K \frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_x}{\partial x} + \frac{\partial\left(K \frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_y}{\partial y} + \frac{\partial\left(K \frac{\Delta h}{\Delta L}\right)_z}{\partial z} = 0 \quad (3.13)$$

denklemi elde edilir. Burada K değerinin sabit olduğunu düşünürsek sıvı sıkışmaz, zemin homojen ve izotrop ise Denklem (3.14) e dönüşür.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (3.14)$$

3.5. Yeraltı Suyu Hareketi Denklemi

Şekil 2.1 de basınçlı akiferin durağan olmayan akım için gerekli ifadeler gösterilmiş ve Theis metodunda yeraltı suyu hareketi denklemi için gerekli kabuller yapılmıştır. Dengesiz akım olduğu için r ve $r+\Delta r$ yarıçaplı konsantrik silindirik yüzeyde akifer debileri farklıdır. İki konsantrik r ve $r+\Delta r$ yarıçaplı silindir arasındaki süreklilik denkleminin yazılmasıyla,

$$Q(r, t)\Delta t - Q(r + \Delta r, t)\Delta t = S2\pi r\Delta r[h(r, t) - h(r, t + \Delta t)] \quad (3.15)$$

elde edilir. Burada, $Q(r, t)$ ve $h(r, t)$ debi ve piyozemetre yüksekliğinin t zaman ve r radyal mesafedeki değerlerinin gösterir. Sol taraftaki birinci ve ikinci terimler iki konsantrik silindir arasındaki yüzeylerden geçen su hacmini gösterir. Bunlardan biri giriş diğeri ise çıkış miktarıdır. Sağ taraf ise bu silindirler arasındaki ortamda meydana gelebilecek toplam akifer depolamasındaki değişimi verir. Büyük zamanlar için, $h(r, t+\Delta t) \cong h(r, t)$ ' dir. Bu durumda denklem dengeli haldeki Denklem (3.16) ya eşit olur (C integral sabiti). Diğer taraftan, çok küçük zaman ($\Delta t \rightarrow 0$) ve silindirler arası kalınlık ($\Delta r \rightarrow 0$) aralıkları için Denklem (3.15), Denklem (3.17) kısmi diferansiyel denkleme dönüşür (Şen, 2003).

$$s(r) = \frac{Q}{2\pi T} \ln r + C \quad (3.16)$$

$$\frac{\partial Q(r, t)}{\partial r} = 2\pi r S \frac{\partial h(r, t)}{\partial t} \quad (3.17)$$

Genel olarak, konsantrik bir silindir yüzey için debi,

$$Q(r, t) = 2\pi m r q(r, t) \quad (3.18)$$

Şeklinde tanımlanır. Burada, $q(r, t)$ özgül debiyi gösterir. $Q(r, t)$ nin (3.17) ve (3.18) Denklemleri arasında yok edilmesiyle,

$$\frac{\partial q(r, t)}{\partial r} + \frac{1}{r} q(r, t) = \frac{S}{m} \frac{\partial h(r, t)}{\partial t} \quad (3.19)$$

elde edilir. Bu denklem her türlü şartlar altında kuyu etrafındaki yeraltı suyu akımında piyozometrik yükseklik ile özgül debi arasındaki bağıntıyı gösterir. Darcy kanunuyla,

$$q(r, t) = K \frac{\partial h(r, t)}{\partial r} \quad (3.20)$$

olur. Bunun Denklem (3.19) de yerine konulması ile Denklem (3.21) elde edilir.

$$\frac{\partial^2 h(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h(r, t)}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h(r, t)}{\partial t} \quad (3.21)$$

Burada T iletim kapasitesi ve S ise depolama katsayısıdır. Denklem (3.21) basınçlı akiferde tam nüfus eden kuyuya doğru olan yeraltı suyu hareketini temsil eder (Şen, 2003).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Küçük Çaplı Kuyular İçin Yöntemlerin Uygulamaları

Bölüm 2 de bahsedilen analitik ve nümerik hesaplama yöntemlerinden, Theis (1935), Cooper ve Jacob (1946), Chow (1952), Rai (1985), Şen (1986), Singh (2000), Singh (2001), Çimen (2008) ve Çimen (2009) yöntemleri Çizelge 4.1 de ana kuyudan 60,96 m, 121,92 m ve 243,84 m uzaklıktaki gözlem kuyularında ölçülen zamana bağlı düşüm değerleri kullanılarak örneklendirilecektir. Pompaj kuyusundaki debi $1,888 \text{ m}^3/\text{dk}$ 'dır.

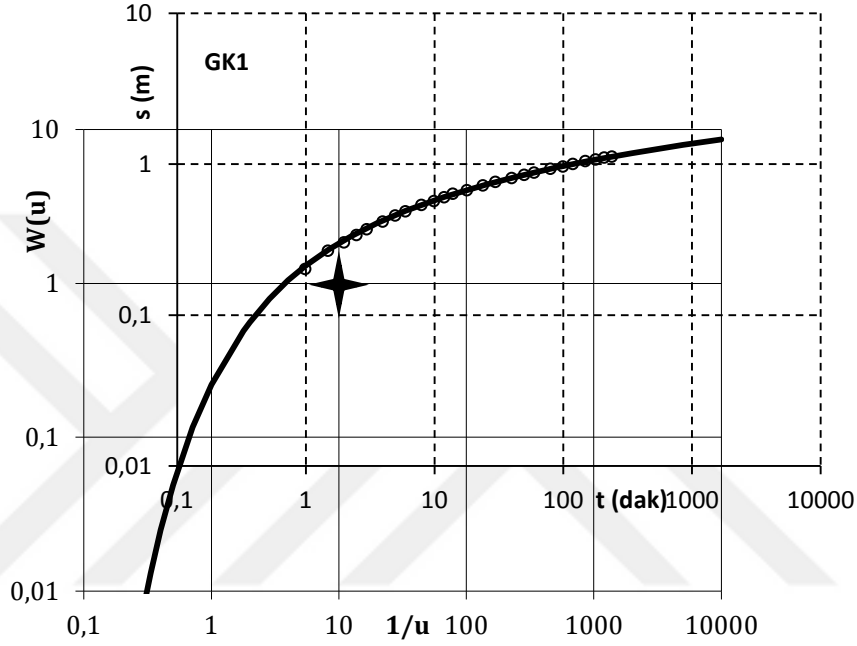
Çizelge 4.1. Ana kuyudan GK1 (r=60,96 m), GK2 (r=121,92 m) ve GK3 (r=243,84m) uzaklıktaki gözlem kuyularının verileri (Lohman, 1979).

t (dak)	GK1 (r=60,96 m)		GK2 (r=121,92 m)		GK3 (r=243,84 m)	
	s (m)	t/r ² (dak/m ²)	s (m)	t/r ² (dak/m ²)	s (m)	t/r ² (dak/m ²)
1	0,20	2,69E-04	0,05	6,73E-05	0,00	1,68E-05
1,5	0,27	4,04E-04	0,08	1,01E-04	0,01	2,52E-05
2	0,30	5,38E-04	0,12	1,35E-04	0,01	3,36E-05
2,5	0,34	6,73E-04	0,14	1,68E-04	0,02	4,20E-05
3	0,37	8,07E-04	0,16	2,02E-04	0,03	5,05E-05
4	0,41	1,08E-03	0,20	2,69E-04	0,05	6,73E-05
5	0,45	1,35E-03	0,23	3,36E-04	0,07	8,41E-05
6	0,48	1,61E-03	0,27	4,04E-04	0,08	1,01E-04
8	0,53	2,15E-03	0,30	5,38E-04	0,11	1,35E-04
10	0,57	2,69E-03	0,34	6,73E-04	0,14	1,68E-04
12	0,60	3,23E-03	0,37	8,07E-04	0,16	2,02E-04
14	0,63	3,77E-03	0,38	9,42E-04	0,18	2,35E-04
18	0,67	4,84E-03	0,44	1,21E-03	0,22	3,03E-04
24	0,72	6,46E-03	0,48	1,61E-03	0,27	4,04E-04
30	0,76	8,07E-03	0,52	2,02E-03	0,29	5,05E-04
40	0,81	1,08E-02	0,57	2,69E-03	0,34	6,73E-04
50	0,85	1,35E-02	0,61	3,36E-03	0,37	8,41E-04
60	0,88	1,61E-02	0,64	4,04E-03	0,40	1,01E-03
80	0,93	2,15E-02	0,68	5,38E-03	0,45	1,35E-03
100	0,96	2,69E-02	0,73	6,73E-03	0,49	1,68E-03
120	1,00	3,23E-02	0,76	8,07E-03	0,52	2,02E-03
150	1,04	4,04E-02	0,80	1,01E-02	0,56	2,52E-03
180	1,07	4,84E-02	0,83	1,21E-02	0,59	3,03E-03
210	1,10	5,65E-02	0,86	1,41E-02	0,62	3,53E-03
240	1,12	6,46E-02	0,88	1,61E-02	0,64	4,04E-03

4.2. Theis (1935) Metodu İle Çözüm

4.2.1. GK1 için Theis (1935) metodunun uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Theis yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.1 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1. GK1 için Theis (1935) metodunun (s-t) uygulanması.

Şekil 4.1 için; $r=60,96$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $u=10^{-1}$, $W(u)=1$, $t=1,9$ dak, $s=0,17$ m

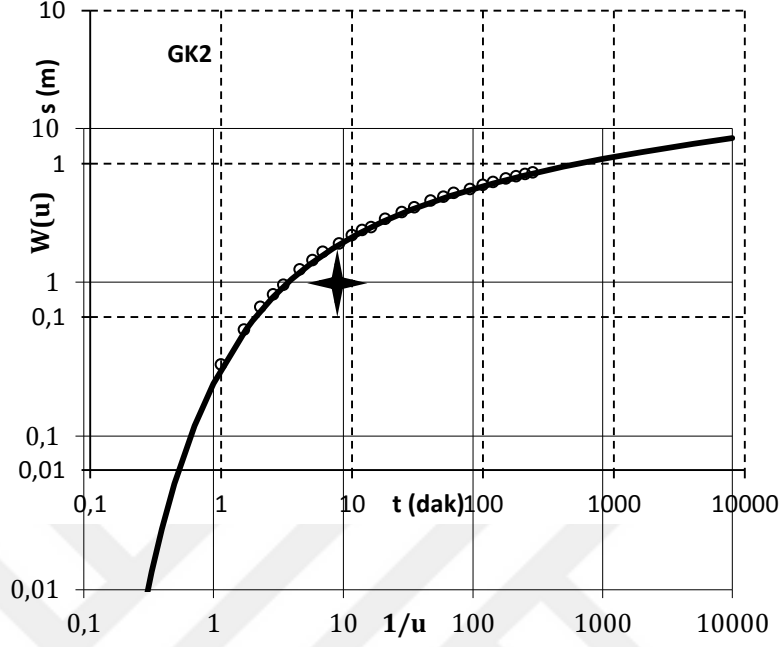
$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t)$	$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \times \frac{1,888}{4\pi \cdot 0,17} = 0,88$ m ² /dak
$u = \frac{r^2 S}{4tT}$	$S = \frac{u4tT}{r^2} = \frac{10^{-1} \times 4 \times 1,9 \times 0,88}{60,96^2} = 1,8 \times 10^{-4}$

4.2.2. GK2 için Theis (1935) metodunun uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK2 arazi verisinin Theis yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.2 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.2 için; $r=121,92$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $u=10^{-1}$, $W(u)=1$, $t=8$ dak, $s=0,18$ m

$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t)$	$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \times \frac{1,888}{4\pi 0,18} = 0,835 \text{ m}^2/\text{dak}$
$u = \frac{r^2 S}{4tT}$	$S = \frac{u4tT}{r^2} = \frac{10^{-1} \times 4 \times 8 \times 0,835}{121,92^2} = 1,8 \times 10^{-4}$



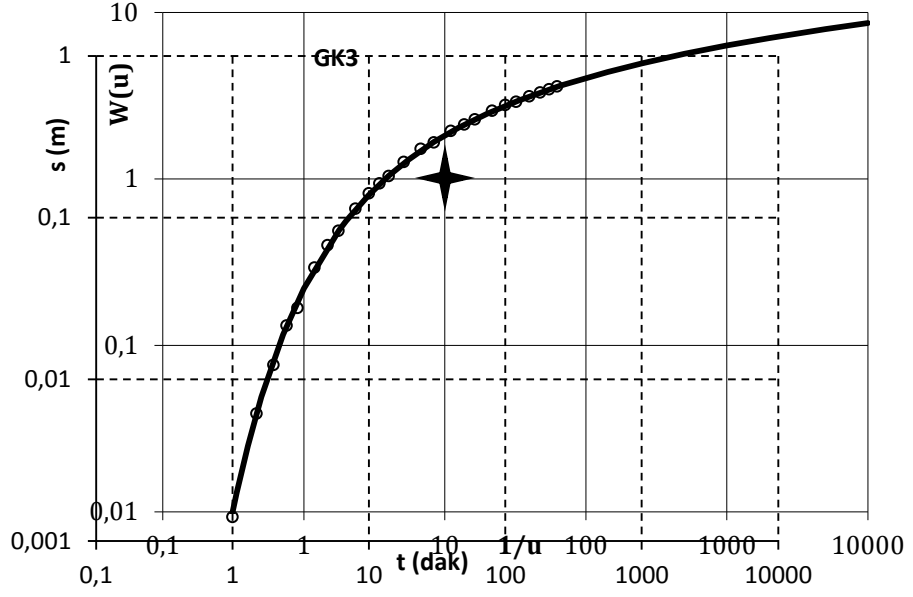
Şekil 4.2. GK2 için Theis (1935) metodunun (s-t) uygulanması.

4.2.3. GK3 için Theis (1935) metodunun uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK3 arazi verisinin Theis yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.3 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.3 için; $r=243,84 \text{ m}$, $Q=1,888 \text{ m}^3/\text{dak}$, $u = 10^{-1}$, $W(u)=1$, $t = 35 \text{ dak}$, $s=0,19\text{m}$

$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t)$	$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \times \frac{1,888}{4\pi 0,19} = 0,79 \text{ m}^2/\text{dak}$
$u = \frac{r^2 S}{4tT}$	$S = \frac{u4tT}{r^2} = \frac{10^{-1} \times 4 \times 35 \times 0,79}{243,84^2} = 1,86 \times 10^{-4}$

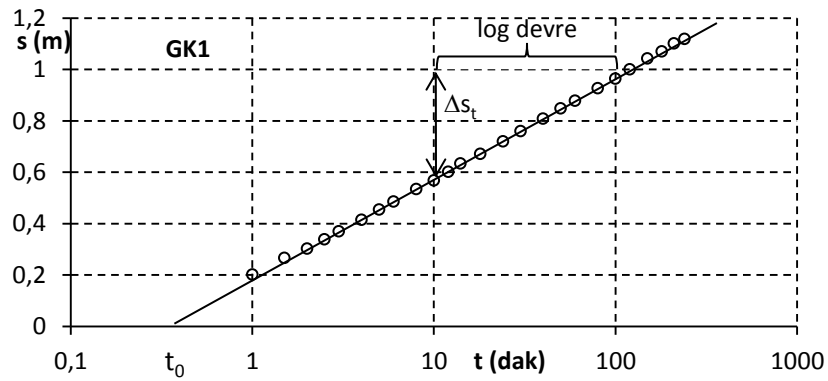


Şekil 4.3. GK3 için Theis (1935) metodunun (s-t) uygulanması.

4.3. Doğrusal Yöntemler İle Çözüm

4.3.1. Zaman-Düşüm modeli ile çözüm

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Zaman-Düşüm modeline göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.4 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

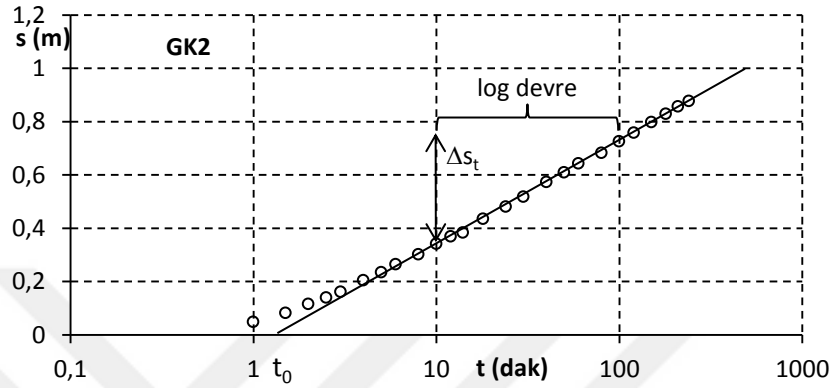


Şekil 4.4. GK1 için Doğrusal yöntemde (s-t) modelinin uygulanması.

Şekil 4.4 için; $r=60,96$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $t_0=0,36$ dak, $\Delta s_t=0,4$ m

$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s_t} = \frac{2,3 \times 1,888}{4\pi \times 0,4} = 0,86 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} = \frac{2,25 \times 0,86 \times 0,36}{60,96^2} = 1,87 \times 10^{-4}$
--	---

Çizelge 4.1 de verilen GK2 arazi verisinin Zaman-Düşüm modeline göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.5 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

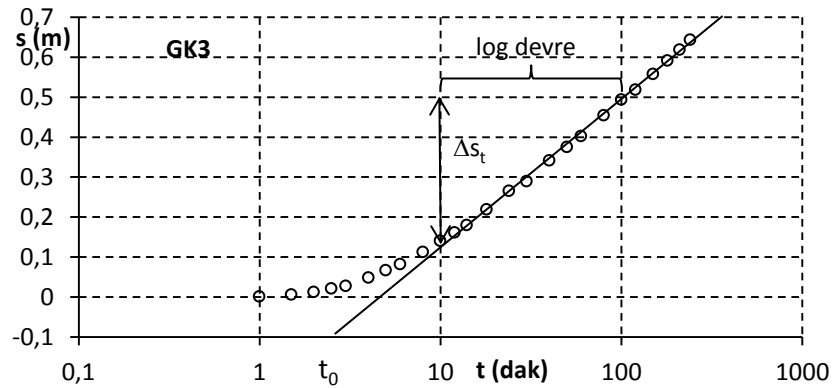


Şekil 4.5. GK2 için Doğrusal yöntemde (s-t) modelinin uygulanması.

Şekil 4.5 için; $r=121,92 \text{ m}$, $Q=1,888 \text{ m}^3/\text{dak}$, $t_0 = 1,45 \text{ dak}$, $\Delta s_t=0,39 \text{ m}$

$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s_t} = \frac{2,3 \times 1,888}{4\pi \times 0,39} = 0,89 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} = \frac{2,25 \times 0,89 \times 1,45}{121,92^2} = 1,95 \times 10^{-4}$
---	--

Çizelge 4.1 de verilen GK3 arazi verisinin Zaman-Düşüm modeline göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.6 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



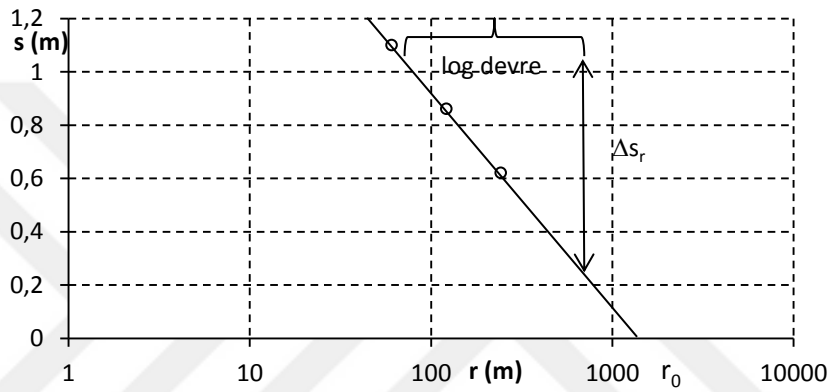
Şekil 4.6. GK3 için Doğrusal yöntemde (s-t) modelinin uygulanması.

Şekil 4.6 için; $r=243,84$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $t_0 =2,6$ dak, $\Delta s_t=0,38$ m

$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s_t} = \frac{2,3 \times 1,888}{4\pi \times 0,38} = 0,91 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} = \frac{2,25 \times 0,91 \times 2,6}{243,84^2} = 0,9 \times 10^{-4}$
---	--

4.3.2. Mesafe-Düşüm modeli ile çözüm

Çizelge 4.1 de verilen GK1, GK2 ve GK3 arazi verisinin Mesafe-Düşüm modeline göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.7 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.7. GK1, GK2 ve GK3 için Doğrusal yöntemde (s-r) modelinin uygulanması.

Şekil 4.7 için; $t=210$ dak, $Q=1,888$ m³/dak, $r_0 =1469$ m, $\Delta s_r=0,8$ m

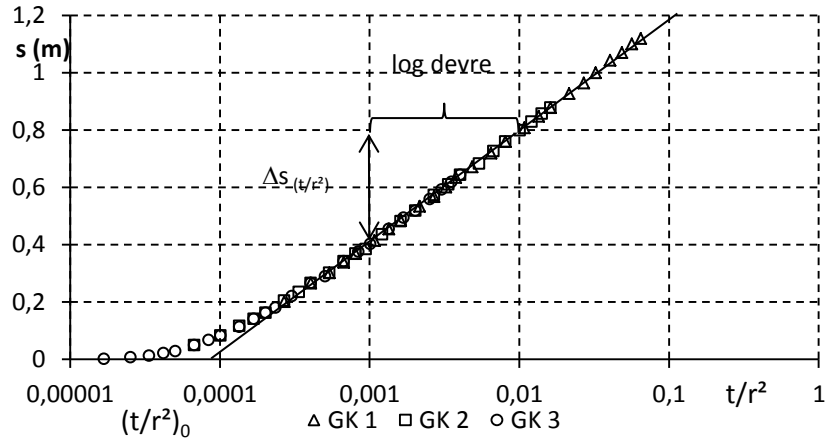
$T = \frac{2,3Q}{2\pi\Delta s_r} = \frac{2,3 \times 1,888}{2\pi \times 0,8} = 0,86 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = \frac{2,25Tt}{r_0^2} = \frac{2,25 \times 0,86 \times 210}{1469^2} = 1,88 \times 10^{-4}$
--	---

4.3.3. Birleşik değişken modeli ile çözüm

Çizelge 4.1 de verilen GK1, GK2 ve GK3 arazi verisinin Birleşik Değişken modeline göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.8 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.8 için; $Q=1,888$ m³/dak, $(t/r^2)_0 =0,9 \times 10^{-4}$ m, $\Delta s_{(t/r^2)}=0,4$ m

$T = \frac{2,3Q}{4\pi\Delta s_{(t/r^2)}} = \frac{2,3 \times 1,888}{4\pi \times 0,4} = 0,86 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = 2,25T \left(\frac{t}{r^2} \right)_0 = 2,25 \times 0,86 \times 0,9 \times 10^{-4} = 1,74 \times 10^{-4}$
--	---

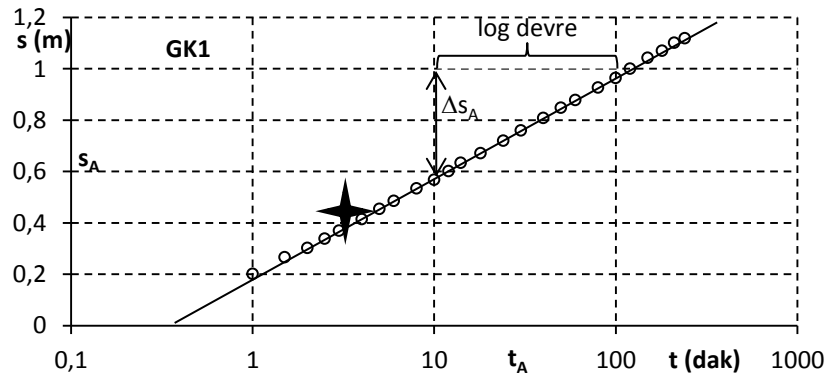


Şekil 4.8. GK1, GK2 ve GK3 için Doğrusal yöntemde ($s-t/r^2$) modelinin uygulanması.

4.4. Chow (1952) Yöntemi İle Çözüm

4.4.1. GK 1 için Chow (1952) yönteminin uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Chow (1952) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.9 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.9. GK1 için Chow (1952) yönteminin uygulanması.

Şekil 4.9 için; $r=60,96$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $t_A=3,5$ dak, $s_A=0,44$ m, $\Delta s_A=0,4$ m

$$A(s_A, t_A)=A(0.44, 3.5)$$

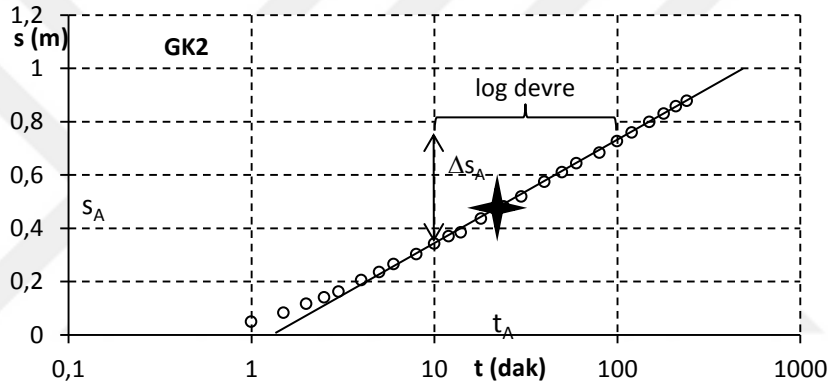
$$F(u) = \frac{s_A}{\Delta s_A} = \frac{0,44}{0,4} = 1,1$$

$F(u) < 2$ olduğu için Çizelge 2.2 den; $W(u)=2,39$ $u=0,062$

$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s_A} = 2,39 \times \frac{1,888}{4\pi 0,44} =$ $0,817 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = \frac{u^4 t_A T}{r^2} = \frac{0,062^4 \times 21 \times 0,817}{121,92^2} =$ $1,91 \times 10^{-4}$
--	---

4.4.2. GK 2 için Chow (1952) yönteminin uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK2 arazi verisinin Chow (1952) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.10 da ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.10. GK2 için Chow (1952) yönteminin uygulanması.

Şekil 4.10 için; $r=121,92$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $t_A = 21$ dak, $s_A = 0,48$ m, $\Delta s_A = 0,39$ m

$$A(s_A, t_A) = A(0,48, 21)$$

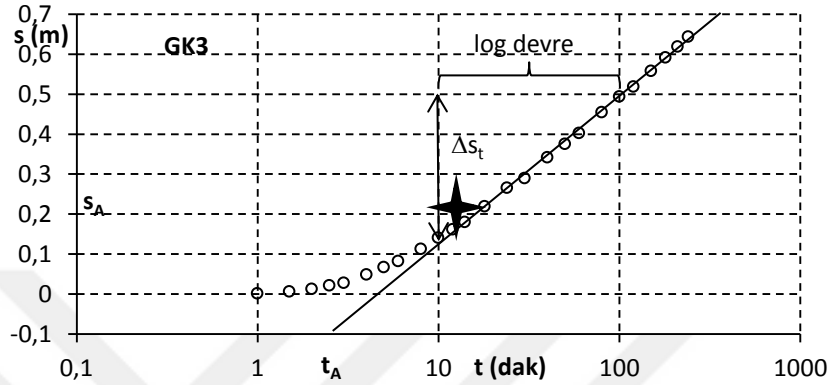
$$F(u) = \frac{s_A}{\Delta s_A} = \frac{0,48}{0,39} = 1,23$$

$F(u) < 2$ olduğu için Çizelge 2.2 den; $W(u)=2,68$ $u=0,04$

$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s_A} = 2,68 \times \frac{1,888}{4\pi 0,48} =$ $0,839 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = \frac{u^4 t_A T}{r^2} = \frac{0,04^4 \times 21 \times 0,839}{121,92^2} =$ $1,9 \times 10^{-4}$
--	---

4.4.3. GK 3 için Chow (1952) yönteminin uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK3 arazi verisinin Chow (1952) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.11 da ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.11. GK3 için Chow (1952) yönteminin uygulanması.

Şekil 4.11 için; $r=243,84$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $t_A=14$ dak, $s_A=0,22$ m, $\Delta s_A=0,38$ m

$$A(s_A, t_A) = A(0,22, 14)$$

$$F(u) = \frac{s_A}{\Delta s_A} = \frac{0,22}{0,38} = 0,58$$

$F(u) < 2$ olduğu için Çizelge 2.2 den; $W(u)=0,988$ $u=0,275$

$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s_A} = 0,988 \times \frac{1,888}{4\pi 0,22} = 0,675 \text{ m}^2/\text{dak}$	$S = \frac{u t_A T}{r^2} = \frac{0,275 \times 14 \times 0,675}{243,84^2} = 1,75 \times 10^{-4}$
---	---

4.5. Rai (1985) Yöntemi İle Çözüm

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Rai (1985) yöntemine göre belirlenmiş akifer parametreleri aşağıdaki adımları takip edilerek bulunur.

- Her ardışık düşüm verisi için Denklem (2.40) dan $f(u)$ değeri hesaplanır. Bulunan $f(u)$ değeri 2,3 e bölünerek $F(u)$ hesaplanır.

$$\frac{s/t}{ds/dt} = W(u)e^u = f(u) \quad (2.39)$$

$$f(u) = \frac{s_2/t_2}{\frac{s_3-s_1}{t_3-t_1}} \quad (2.40)$$

$$F(u) = \frac{W(u)e^u}{2,3} \quad (2.12)$$

- $F(u) < 2$ ise Çizelge 2.2 den $W(u)$ ve u değeri bulunur.
- $F(u) > 2$ ise $W(u) = 2.30 F(u)$ ve u ise Theis kuyu fonksiyonundan hesaplanır.
- Bulunan u ve $W(u)$ değerleri Denklem (2.41) ve (2.42) yerine koyularak her ardışık düşüm verisi için T ve S hesaplanır.

$$T = \frac{Q}{4\pi s_2} W(u) \quad (2.41)$$

$$S = \frac{4uTt_2}{r^2} \quad (2.42)$$

- Bulunan T ve S değerlerinin tam bir pompaj süresi için ortalaması alınır.

Çizelge 4.2, 4.3, 4.4 de Rai (1985) yöntemine göre hesaplanmış T ve S değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.3 de GK 2 ve Çizelge 4.4 de GK 3 tablolarında T ve S değerlerinin ortalaması alınırken ilk 2,5 dakika ortalamaya ilave edilmemiştir.

Çizelge 4.2. GK1 (r=60,96 m) gözlem kuyusunun Rai (1985) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dak)	s (m)	f(u)	F(u)	u	W(u)	T	S
1	0,20						
1,5	0,27	1,80	0,78	1,41E-1	1,57E+0	0,88	1,99E-4
2	0,30	2,14	0,93	8,60E-2	1,96E+0	0,98	1,82E-4
2,5	0,34	1,94	0,84	1,15E-1	1,73E+0	0,76	2,37E-4
3	0,37	2,64	1,15	4,75E-2	2,52E+0	1,02	1,57E-4
4	0,41	2,56	1,11	5,86E-2	2,42E+0	0,89	2,24E-4
5	0,45	2,57	1,12	5,14E-2	2,45E+0	0,82	2,26E-4
6	0,48	3,00	1,30	3,25E-2	2,89E+0	0,91	1,90E-4
8	0,53	2,94	1,28	3,42E-2	2,84E+0	0,81	2,37E-4
10	0,57	3,26	1,42	2,44E-2	3,18E+0	0,84	2,20E-4
12	0,60	3,33	1,45	2,25E-2	3,25E+0	0,81	2,37E-4
14	0,63	3,86	1,68	1,32E-2	3,82E+0	0,91	1,81E-4
18	0,67	4,14	1,80	9,40E-3	4,10E+0	0,92	1,68E-4
24	0,72	4,00	1,74	1,11E-2	3,97E+0	0,83	2,37E-4
30	0,76	4,50	1,96	6,43E-3	4,48E+0	0,89	1,84E-4
40	0,81	4,50	1,96	6,43E-3	4,48E+0	0,83	2,30E-4
50	0,85	4,86	2,11	4,38E-3	4,86E+0	0,86	2,02E-4
60	0,88	5,50	2,39	2,31E-3	5,50E+0	0,94	1,40E-4
80	0,93	5,81	2,53	1,70E-3	5,81E+0	0,94	1,38E-4
100	0,96	5,49	2,39	2,34E-3	5,49E+0	0,86	2,16E-4
120	1,00	5,21	2,26	3,08E-3	5,21E+0	0,78	3,12E-4
150	1,04	5,94	2,58	1,48E-3	5,94E+0	0,86	2,06E-4
180	1,07	5,94	2,58	1,48E-3	5,94E+0	0,84	2,40E-4
210	1,10	6,29	2,73	1,05E-3	6,29E+0	0,86	2,03E-4
240	1,12						
						0,87	2,07E-4

Çizelge 4.3. GK2 (r=121,92 m) gözlem kuyusunun Rai (1985) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları

t (dak)	s (m)	f(u)	F(u)	u	W(u)	T	S
1	0,05						
1,5	0,08	0,76	0,33	6,91E-1	3,81E-1	0,72	2,00E-4
2	0,12	1,00	0,43	4,46E-1	6,36E-1	0,80	1,91E-4
2,5	0,14	1,40	0,61	2,32E-1	1,12E+0	1,20	1,88E-4
3	0,16	1,33	0,58	2,58E-1	1,04E+0	0,97	2,03E-4
4	0,20	1,43	0,62	2,24E-1	1,15E+0	0,86	2,07E-4
5	0,23	1,31	0,57	2,67E-1	1,01E+0	0,66	2,37E-4
6	0,27	1,93	0,84	1,04E-1	1,73E+0	0,96	1,61E-4
8	0,30	2,14	0,93	8,61E-2	1,96E+0	0,98	1,82E-4
10	0,34	1,94	0,84	1,04E-1	1,73E+0	0,76	2,13E-4
12	0,37	3,08	1,34	3,00E-2	2,96E+0	1,20	1,16E-4
14	0,38	2,33	1,01	7,00E-2	2,15E+0	0,85	2,24E-4
18	0,44	2,44	1,06	6,00E-2	2,30E+0	0,79	2,28E-4
24	0,48	3,00	1,30	3,25E-2	2,89E+0	0,91	1,90E-4
30	0,52	3,08	1,34	3,00E-2	2,96E+0	0,86	2,07E-4
40	0,57	3,17	1,38	2,69E-2	3,08E+0	0,81	2,35E-4
50	0,61	3,49	1,52	1,89E-2	3,42E+0	0,84	2,15E-4
60	0,64	4,57	1,99	6,00E-3	4,54E+0	1,07	1,03E-4
80	0,68	3,78	1,64	1,46E-2	3,72E+0	0,82	2,59E-4
100	0,73	3,65	1,59	1,64E-2	3,60E+0	0,74	3,27E-4
120	0,76	4,52	1,97	6,29E-3	4,50E+0	0,89	1,81E-4
150	0,80	4,57	1,99	6,00E-3	4,54E+0	0,85	2,07E-4
180	0,83	4,61	2,00	5,86E-3	4,57E+0	0,83	2,35E-4
210	0,86	4,91	2,14	4,16E-3	4,91E+0	0,86	2,02E-4
240	0,88						
						0,88	2,07E-4

Çizelge 4.4. GK3 (r=243,84 m) gözlem kuyusunun Rai (1985) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dak)	s (m)	f(u)	F(u)	u	W(u)	T	S
1	0,00						
1,5	0,01	0,67	0,29	8,44E-1	2,89E-1	4,34	3,69E-4
2	0,01	0,50	0,22	1,38E+0	1,54E-1	2,31	4,30E-4
2,5	0,02	0,40	0,17	1,87E+0	7,06E-2	0,53	1,67E-4
3	0,03	0,50	0,22	1,38E+0	1,54E-1	0,77	2,15E-4
4	0,05	0,63	0,27	9,35E-1	2,45E-1	0,74	1,85E-4
5	0,07	0,93	0,41	4,83E-1	5,84E-1	1,25	2,04E-4
6	0,08	1,00	0,43	4,46E-1	6,36E-1	1,20	2,15E-4
8	0,11	0,92	0,40	5,00E-1	5,60E-1	0,77	2,06E-4
10	0,14	1,12	0,49	3,55E-1	7,95E-1	0,85	2,04E-4
12	0,16	1,33	0,58	2,58E-1	1,04E+0	0,97	2,03E-4
14	0,18	1,29	0,56	2,76E-1	9,82E-1	0,82	2,13E-4
18	0,22	1,36	0,59	2,50E-1	1,06E+0	0,73	2,20E-4
24	0,27	1,93	0,84	1,04E-1	1,73E+0	0,96	1,61E-4
30	0,29	2,21	0,96	7,91E-2	2,04E+0	1,06	1,69E-4
40	0,34	2,13	0,92	8,84E-2	1,94E+0	0,86	2,04E-4
50	0,37	2,47	1,07	5,86E-2	2,32E+0	0,94	1,86E-4
60	0,40	2,50	1,09	5,57E-2	2,43E+0	0,91	2,05E-4
80	0,45	2,50	1,09	5,57E-2	2,43E+0	0,81	2,43E-4
100	0,49	2,80	1,22	3,92E-2	2,70E+0	0,83	2,19E-4
120	0,52	3,10	1,35	2,88E-2	3,01E+0	0,87	2,02E-4
150	0,56	3,20	1,39	2,63E-2	3,11E+0	0,83	2,21E-4
180	0,59	3,28	1,43	2,38E-2	3,20E+0	0,82	2,35E-4
210	0,62	3,54	1,54	1,82E-2	3,47E+0	0,84	2,17E-4
240	0,64						
						0,89	2,06E-4

4.6. Şen (1986) Yöntemi İle Çözüm

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Şen (1986) yöntemine göre belirlenmiş akifer parametreleri aşağıdaki adımları takip edilerek Çizelge 4.5, Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.7 elde edilir.

$$\bullet \alpha_i = \frac{\ln \frac{s_i}{s_{i-1}}}{\ln \frac{t_i}{t_{i-1}}} \quad i = 2,3,4 \dots \dots, n \quad (n=\text{Düşüm kayıtlarının sayısı}) \quad (2.44)$$

Denklem (2.44) dan iki ardışık nokta arasındaki eğim hesaplanır.

- Bulunan α_i değerinden Çizelge 2.5. yardımıyla u_i değeri bulunur.

- Denklem (2.43) den $W_i(u_i)$ hesaplanır.

$$\alpha_i = -\frac{e^{-u_i}}{W_i(u_i)} \quad (2.43)$$

- Bulunan $W_i(u_i)$ değeri kullanılarak denklem (2.1) ve (2.2) den T ve S hesaplanır.
- Bir sonraki zaman- düşüm verileri için işlem adımları tekrarlanır.
- İstenirse hesaplanmış T ve S değerlerinin ortalaması alınarak T_{ort} ve S_{ort} hesaplanır.

Çizelge 4.5 de GK1, Çizelge 4.6 da GK2 ve Çizelge 4.7 de GK3 tablolarında T ve S değerlerinin ortalaması hesaplanırken GK1 de ilk 2 dakika, GK2 ve GK3 de ilk 3 dakika ortalamaya ilave edilmemiştir.

Çizelge 4.5. GK1 (r=60,96 m) gözlem kuyusunun Şen (1986) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dk)	s (m)	α_i	u	$W_i(u)$	T	S
1	0,20					
1,5	0,27	-0,7401	0,2480	1,05	0,587	2,350E-4
2	0,30	-0,3662	0,0429	2,62	1,311	1,210E-4
2,5	0,34	-0,5609	0,1370	1,55	0,687	2,534E-4
3	0,37	-0,4638	0,0843	1,98	0,805	2,192E-4
4	0,41	-0,3568	0,0394	2,69	0,988	1,676E-4
5	0,45	-0,4172	0,0632	2,25	0,752	2,557E-4
6	0,48	-0,3540	0,0385	2,72	0,851	2,117E-4
8	0,53	-0,3444	0,0354	2,80	0,795	2,423E-4
10	0,57	-0,3261	0,0295	2,98	0,785	2,494E-4
12	0,60	-0,2813	0,0176	3,49	0,875	1,989E-4
14	0,63	-0,3165	0,0268	3,08	0,734	2,964E-4
18	0,67	-0,2449	0,0100	4,04	0,907	1,757E-4
24	0,72	-0,2502	0,0111	3,95	0,825	2,366E-4
30	0,76	-0,2423	0,0095	4,09	0,809	2,480E-4
40	0,81	-0,2215	0,0064	4,49	0,833	2,294E-4
50	0,85	-0,2160	0,0057	4,60	0,814	2,497E-4
60	0,88	-0,1902	0,0030	5,24	0,895	1,717E-4
80	0,93	-0,1921	0,0031	5,19	0,839	2,268E-4
100	0,96	-0,1423	0,0005	7,02	1,100	5,896E-5
120	1,00	-0,2239	0,0067	4,44	0,667	5,754E-4
150	1,04	-0,1758	0,0019	5,68	0,821	2,571E-4
180	1,07	-0,1560	0,0009	6,41	0,900	1,621E-4
210	1,10	-0,1794	0,0022	5,56	0,760	3,746E-4
240	1,12	-0,1349	0,0003	7,41	0,994	7,706E-5
					0,838	2,335E-4

Çizelge 4.6. GK2 (r=121,92 m) gözlem kuyusunun Şen (1986) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dk)	s (m)	α_i	u	W(u)	T	S
1	0,05					
1,5	0,08	-1,1592	0,5558	0,49	0,930	2,086E-4
2	0,12	-1,4094	0,7627	0,33	0,415	1,702E-4
2,5	0,14	-0,6908	0,2138	1,17	1,255	1,805E-4
3	0,16	-0,7324	0,2429	1,07	1,006	1,973E-4
4	0,20	-0,7757	0,2731	0,98	0,737	2,168E-4
5	0,23	-0,6263	0,1743	1,34	0,877	2,055E-4
6	0,27	-0,8794	0,3455	0,80	0,448	2,500E-4
8	0,30	-0,3662	0,0429	2,62	1,311	1,210E-4
10	0,34	-0,5609	0,1367	1,56	0,688	2,528E-4
12	0,37	-0,4638	0,0843	1,98	0,805	2,191E-4
14	0,38	-0,1730	0,0018	5,77	2,282	1,544E-5
18	0,44	-0,5833	0,1423	1,49	0,508	3,500E-4
24	0,48	-0,3025	0,0228	3,23	1,012	1,491E-4
30	0,52	-0,3587	0,0401	2,68	0,774	2,505E-4
40	0,57	-0,3191	0,0275	3,05	0,804	2,382E-4
50	0,61	-0,3039	0,0232	3,21	0,792	2,474E-4
60	0,64	-0,2633	0,0138	3,75	0,880	1,965E-4
80	0,68	-0,2107	0,0050	4,72	1,044	1,132E-4
100	0,73	-0,3180	0,0272	3,06	0,630	4,616E-4
120	0,76	-0,2209	0,0063	4,50	0,890	1,803E-4
150	0,80	-0,2299	0,0076	4,32	0,811	2,472E-4
180	0,83	-0,2019	0,0041	4,93	0,893	1,757E-4
210	0,86	-0,2303	0,0076	4,31	0,753	3,239E-4
240	0,88	-0,1722	0,0018	5,80	0,990	1,122E-4
					0,896	2,163E-4

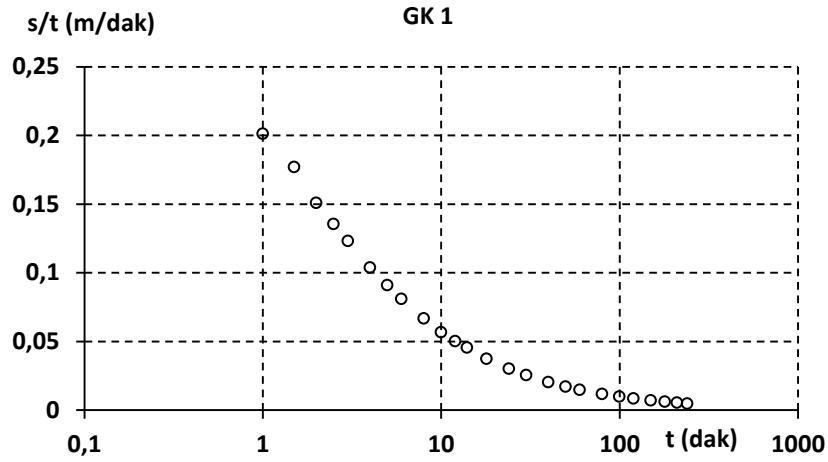
Çizelge 4.7. GK3 (r=243,84 m) gözlem kuyusunun Şen (1986) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dk)	s (m)	α_i	u	W(u)	T	S
1	0,00					
1,5	0,01					
2	0,01					
2,5	0,02	-3,1063	2,3225	0,03	0,237	9,265E-5
3	0,03	-2,2239	1,5028	0,10	0,501	1,521E-4
4	0,05	-1,7757	1,0886	0,19	0,570	1,670E-4
5	0,07	-1,5079	0,8512	0,28	0,608	1,741E-4
6	0,08	-0,7324	0,2429	1,07	2,012	1,973E-4
8	0,11	-1,1070	0,5175	0,54	0,736	2,049E-4
10	0,14	-1,0807	0,4981	0,56	0,604	2,023E-4
12	0,16	-0,7324	0,2429	1,07	1,006	1,973E-4
14	0,18	-0,7641	0,2650	1,00	0,838	2,093E-4
18	0,22	-0,7985	0,2891	0,94	0,641	2,244E-4
24	0,27	-0,7119	0,2285	1,12	0,622	2,296E-4
30	0,29	-0,3202	0,0278	3,04	1,574	8,845E-5
40	0,34	-0,5529	0,1321	1,58	0,701	2,490E-4
50	0,37	-0,3789	0,0477	2,52	1,022	1,639E-4
60	0,40	-0,4276	0,0675	2,19	0,821	2,238E-4
80	0,45	-0,4094	0,0600	2,30	0,768	2,480E-4
100	0,49	-0,3816	0,0487	2,50	0,766	2,507E-4
120	0,52	-0,3259	0,0295	2,98	0,861	2,048E-4
150	0,56	-0,3321	0,0314	2,92	0,783	2,482E-4
180	0,59	-0,2862	0,0187	3,43	0,874	1,973E-4
210	0,62	-0,3217	0,0283	3,02	0,733	2,926E-4
240	0,64	-0,2378	0,0088	4,17	0,979	1,384E-4
					0,876	2,056E-4

4.7. Singh (2000) Yöntemi İle Çözüm

4.7.1. GK 1 için Singh (2000) yönteminin uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Singh (2000) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.12 de verilmiştir.



Şekil 4.12. GK1 için Singh (2000) yönteminin uygulanması.

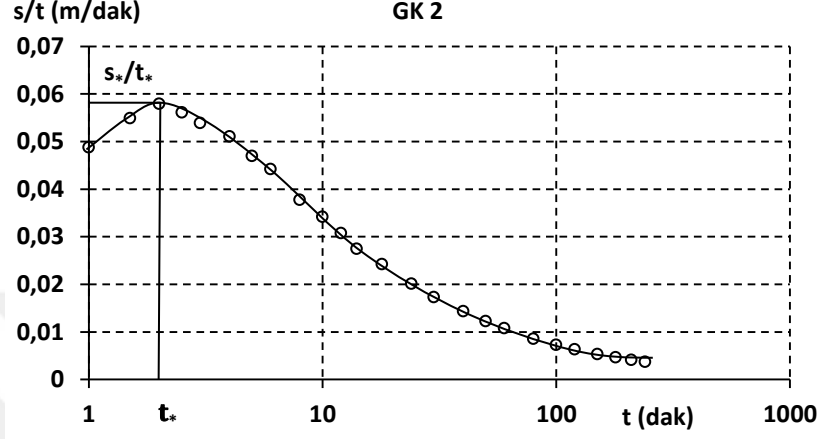
Şekil 4.12 de görüldüğü gibi ilk olarak yatayda logaritmik olarak zaman (t) değerleri, düşeyde ise düşümün zamana oranı (s/t) işaretlenir. Erken zamanlı düşümler işaretlenerek bir tepe noktası oluşması beklenir. Fakat Şekil 4.12' de GK1 örneğinde tepe noktası oluşmamaktadır. Tepe noktası oluşmadığı için T ve S değerleri hesaplanamamıştır.

4.7.2. GK 2 için Singh (2000) yönteminin uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK2 arazi verisinin Singh (2000) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.13 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir. Gözlem kuyusuna ait düşüm değerleri s/t oranına karşı, yarı logaritmik kağıtta t değeri işaretlendiği zaman oluşan eğrinin tepe noktasının koordinatları (t_* , s_*/t_*) olarak okunur. Elde edilen veriler (5.59) ve (5.60) eşitlikleri kullanılarak T ve S elde edilir.

Şekil 4.13 için; $r=121,92$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $t_*=2$ dak, $s_*/t_*=0,058$ m/dak, $s_*=0,116$ m dir.

$\alpha_* = t_*/r^2$	$\alpha_* = 2/121,92^2 = 1,35 \times 10^{-4}$ dak/m ²
$T = \frac{Q}{4\pi s_*} W(u_*) = 51,52 \times 10^{-3} \frac{Q}{s_*}$	$T = 51,52 \times 10^{-3} \frac{1,888}{0,116} = 0,839$ m ² /dak
$S = \frac{4Tt_*}{r^2} = 1,7393T\alpha_*$	$S = 1,7393 * 0,839 * 1,35 \times 10^{-4} = 1,97 \times 10^{-4}$

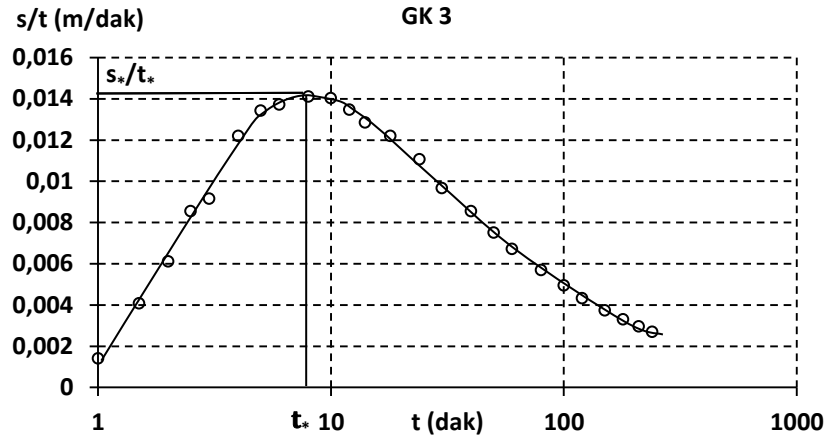


Şekil 4.13. GK2 için Singh (2000) yönteminin uygulanması.

4.7.3. GK 3 için Singh (2000) yönteminin uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK3 arazi verisinin Singh (2000) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.14 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir. Gözlem kuyusuna ait düşüm değerleri s/t oranına karşı, yarı logaritmik kağıtta t değeri işaretlendiği zaman oluşan eğrinin tepe noktasının koordinatları (t_* , s_*/t_*) olarak okunur. Elde edilen veriler (5.59) ve (5.60) eşitlikleri kullanılarak T ve S elde edilir.

Şekil 4.14 için; $r=243,84$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $t_*=8$ dak, $s_*/t_*=0,0144$ m/dak, $s_*=0,1152$ m dir.



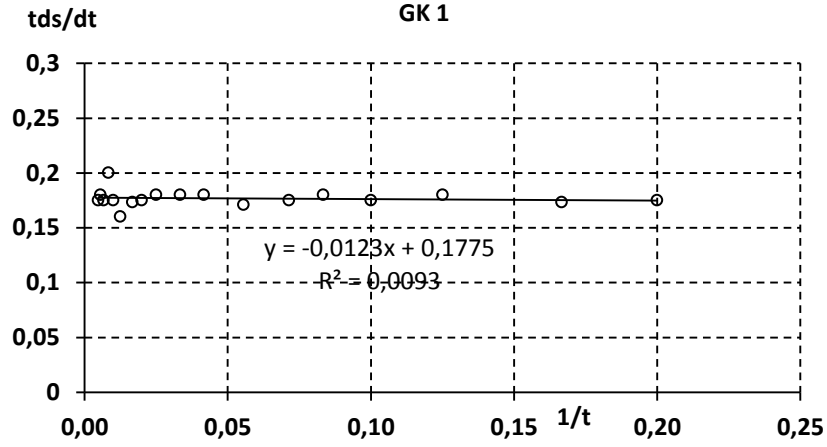
Şekil 4.14. GK3 için Singh (2000) yönteminin uygulanması.

$\alpha_* = t_*/r^2$	$\alpha_* = 8/243,84^2 = 1,35 \times 10^{-4}$ dak/m ²
$T = \frac{Q}{4\pi s_*} W(u_*) = 51,52 \times 10^{-3} \frac{Q}{s_*}$	$T = 51,52 \times 10^{-3} \frac{1,888}{0,1152} = 0,844$ m ² /dak
$S = \frac{4Ttu_*}{r^2} = 1,7393T\alpha_*$	$S = 1,7393 * 0,844 * 1,35 \times 10^{-4} = 1,98 \times 10^{-4}$

4.8. Singh (2001) Yöntemi İle Çözüm

4.8.1. GK 1 için Singh (2001) yönteminin uygulanması

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Singh (2001) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.15 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir.



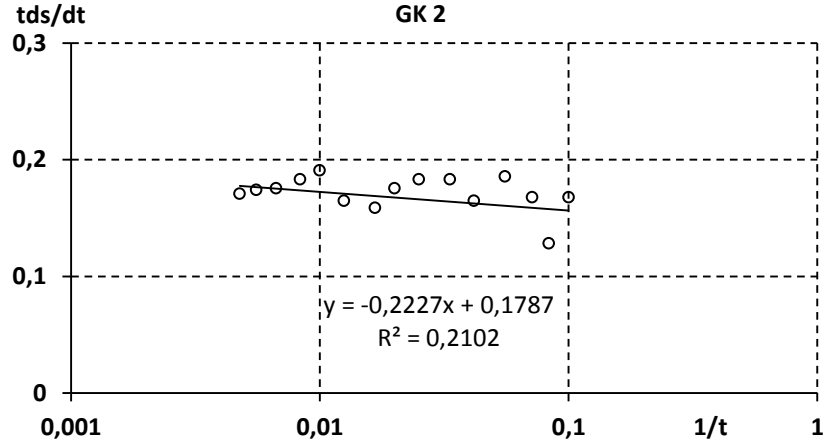
Şekil 4.15. GK1 için Singh (2001) yönteminin uygulanması.

Şekil 4.15 da görüldüğü gibi ilk olarak yatayda $1/t$ değerleri, düşeyde ise tds/dt işaretlenir. Excell tarafından en uygun doğru geçirilerek regresyon denklemi hesaplanır. Doğrunun eğimini $\beta_2 * r^2 / 2.303$ formülünü verir. Denklem (5.73), (5.74) kullanılarak S ve T elde edilir.

Şekil 4.15 için; $r=60,96$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $\beta_1 = 0,1775$ m, $\beta_2 r^2 / 2,303 = 0,0123$ dir.

$0,0123 = \beta_2 r^2 / 2,303$	$\beta_2 = 0,0123 * \frac{2,303}{60,96^2} = 7,62 \times 10^{-6}$
$\beta_1 = 1,5446 s_* = \frac{Q}{4\pi T}$	$T = \frac{1,888}{(4 * 3,14 * 0,1775)} = 0,847$ m ² /dak
$\beta_2 = 0,4348 \alpha_* = \frac{S}{4T}$	$S = 4 * 0,847 * 7,62 \times 10^{-6} = 2,58 \times 10^{-5}$

4.8.2. GK 2 için Singh (2001) yönteminin uygulanması



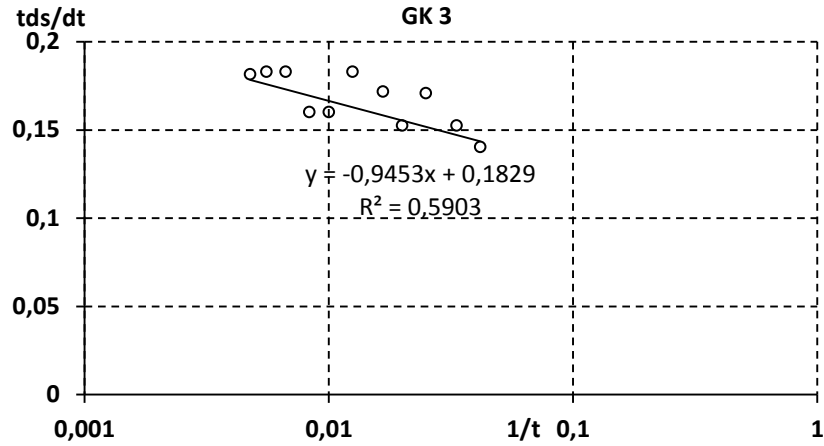
Şekil 4.16. GK2 için Singh (2001) yönteminin uygulanması.

Çizelge 4.1 de verilen GK2 arazi verisinin Singh (2001) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.16 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir. Gözlem kuyusuna ait tds/dt değerine karşı, yarı logaritmik kağıtta 1/t değeri işaretlendiği zaman oluşan doğrunun eğimi $\beta_2 * r^2 / 2.303$ formülünü verir. Elde edilen veriler (5.73) ve (5.74) eşitlikleri kullanılarak T ve S elde edilir.

Şekil 4.16 için; $r=121,92$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $\beta_1 = 0,1787$ m, $\beta_2 r^2 / 2,303 = 0,2227$ dir.

$0,2227 = \beta_2 r^2 / 2,303$	$\beta_2 = 0,2227 * \frac{2,303}{121,92^2} = 3,45 \times 10^{-5}$
$\beta_1 = 1,5446 S_* = \frac{Q}{4\pi T}$	$T = \frac{1,888}{(4 * 3,14 * 0,1787)} = 0,841$ m ² /dak
$\beta_2 = 0,4348 \alpha_* = \frac{S}{4T}$	$S = 4 * 0,841 * 3,45 \times 10^{-5} = 1,16 \times 10^{-4}$

4.8.3. GK 3 için Singh (2001) yönteminin uygulanması



Şekil 4.17. GK3 için Singh (2001) yönteminin uygulanması.

Çizelge 4.1 de verilen GK3 arazi verisinin Singh (2001) yöntemine göre belirlenmiş grafiği Şekil 4.17 de ve akifer parametre hesaplamaları aşağıda verilmiştir. Gözlem kuyusuna ait tds/dt değerine karşı, yarı logaritmik kağıtta 1/t değeri işaretlendiği zaman oluşan doğrunun eğimi $\beta_2 * r^2 / 2.303$ formülünü verir. Elde edilen veriler (5.73) ve (5.74) eşitlikleri kullanılarak T ve S elde edilir.

Şekil 4.17 için; $r=243,84$ m, $Q=1,888$ m³/dak, $\beta_1 = 0,1829$ m, $\beta_2 r^2 / 2,303 = 0,9453$ dir.

$0,9453 = \beta_2 r^2 / 2,303$	$\beta_2 = 0,9453 * \frac{2,303}{243,84^2} = 3,66 \times 10^{-5}$
$\beta_1 = 1,5446 s_* = \frac{Q}{4\pi T}$	$T = \frac{1,888}{(4 * 3,14 * 0,1829)} = 0,822$ m ² /dak
$\beta_2 = 0,4348 \alpha_* = \frac{S}{4T}$	$S = 4 * 0,822 * 3,66 \times 10^{-5} = 1,20 \times 10^{-4}$

4.9. Çimen (2008) Yöntemi İle Çözüm

Çizelge 4.1 de verilen GK1 arazi verisinin Çimen (2008) yöntemine göre belirlenmiş akifer parametreleri aşağıdaki adımları takip edilerek Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10 elde edilir.

1. Denklem (2.79) den her pompalama için $t_i \left. \frac{ds}{dt} \right|$ değeri hesaplanır,

$$t_i \left. \frac{ds}{dt} \right| = t_i \frac{t_{i-1} \left[\frac{s_i - s_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \right] + t_i \left[\frac{s_{i+1} - s_i}{t_{i+1} - t_i} \right]}{t_{i-1} + t_i} \quad (2.79)$$

2. İlk adım yardımıyla Denklem (2.77) den yaklaşık geçirgenlik $T_{appr.}$ bulunur,

$$t \frac{ds}{dt} = \frac{Q}{4\pi T} \quad (2.77)$$

3. İkinci adım yardımıyla Denklem (2.2) dan $W_{appr.}(u)$ hesaplanır,

$$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (2.2)$$

4. Denklem (2.78) yardımıyla $u_{appr.}$ bulunur,

5. Denklem (2.1) yardımıyla $S_{appr.}$ bulunur

$$u = \frac{r^2 S}{4tT} \quad (2.1)$$

6. Bulunan $T_{appr.}$ ve $S_{appr.}$ değerleri $e^{-u_{appr.}}$ ile çarpılarak T ve S değerleri bulunur,

7. Bulunan T ve S değerleri tekrardan 3,4 ve 5 adımları tekrarlanarak $W(u)$ ve u değerleri hesaplanmış olur,

8. $u \leq 0,01$ için T ve S değerleri diğer düşünüm değerleri için adımlar tekrarlanarak hesaplanır. Çıkan T ve S değerlerinin ortalaması sonucu verir.

Çizelge 4.9 da GK2 ve Çizelge 4.10 da GK3 tablolarında T ve S değerlerinin ortalaması hesaplanırken GK2 de ilk 2,5 dakika ve GK3 de ilk 3 dakika ortalamaya ilave edilmemiştir.

Çizelge 4.8. GK1 (r=60,96 m) gözlem kuyusunun Çimen (2008) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dk)	s (m)	tds/dt	T _{app}	W _{app} (u)	u _{app}	S _{app} x 10 ⁻⁴	T (m ² / dk)	W(u)	u	Sx 10 ⁻⁴
0	0									
1	0,20	0,140	1,074	1,43E+0	1,608E-1	1,858	0,914	1,22E+0	1,608E-1	1,582
1,5	0,27	0,138	1,089	1,96E+0	1,020E-1	1,793	0,984	1,77E+0	1,020E-1	1,620
2	0,30	0,143	1,052	2,10E+0	8,114E-2	1,838	0,970	1,94E+0	8,114E-2	1,695
2,5	0,34	0,172	0,873	1,97E+0	8,051E-2	1,891	0,805	1,82E+0	8,051E-2	1,745
3	0,37	0,147	1,021	2,51E+0	9,235E-2	3,044	0,931	2,29E+0	9,235E-2	2,775
4	0,41	0,160	0,939	2,56E+0	9,669E-2	3,911	0,853	2,33E+0	9,669E-2	3,551
5	0,45	0,172	0,873	2,61E+0	1,038E-1	4,876	0,787	2,36E+0	1,038E-1	4,395
6	0,48	0,164	0,919	2,93E+0	1,172E-1	6,954	0,817	2,61E+0	1,172E-1	6,185
8	0,53	0,177	0,849	2,99E+0	1,985E-2	1,451	0,832	2,93E+0	1,985E-2	1,422
10	0,57	0,172	0,873	3,31E+0	2,015E-2	1,893	0,855	3,24E+0	2,015E-2	1,855
12	0,60	0,180	0,835	3,33E+0	1,176E-1	12,68	0,742	2,96E+0	1,176E-1	11,27
14	0,63	0,172	0,872	3,66E+0	1,476E-2	1,940	0,860	3,60E+0	1,476E-2	1,912
18	0,67	0,163	0,921	4,11E+0	7,000E-3	1,250	0,915	4,08E+0	7,000E-3	1,241
24	0,72	0,177	0,849	4,06E+0	8,970E-3	1,966	0,841	4,03E+0	8,970E-3	1,949
30	0,76	0,172	0,873	4,41E+0	7,140E-3	2,012	0,867	4,38E+0	7,140E-3	1,998
40	0,81	0,177	0,849	4,57E+0	5,877E-3	2,147	0,844	4,55E+0	5,877E-3	2,135
50	0,85	0,172	0,873	4,94E+0	3,969E-3	1,865	0,869	4,92E+0	3,969E-3	1,857
60	0,88	0,164	0,919	5,38E+0	3,089E-3	1,832	0,916	5,36E+0	3,089E-3	1,827
80	0,93	0,154	0,974	6,03E+0	2,556E-3	2,144	0,972	6,01E+0	2,556E-3	2,139
100	0,96	0,178	0,846	5,40E+0	3,020E-3	2,749	0,843	5,38E+0	3,020E-3	2,740
120	1,00	0,196	0,766	5,09E+0	3,568E-3	3,528	0,763	5,07E+0	3,568E-3	3,515
150	1,04	0,172	0,873	6,04E+0	1,190E-3	1,678	0,872	6,03E+0	1,190E-3	1,676
180	1,07	0,180	0,835	5,94E+0	1,196E-3	1,936	0,834	5,94E+0	1,196E-3	1,933
210	1,10	0,172	0,872	6,38E+0	8,018E-4	1,581	0,872	6,38E+0	8,018E-4	1,580
240	1,12									
							0,865			2,692

Çizelge 4.9. GK2 (r=121,92 m) gözlem kuyusunun Çimen (2008) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dk)	s (m)	tds/dt	T _{app}	W _{app} (u)	u _{app}	S _{app} X 10 ⁻⁴	T (m ² / dk)	W(u)	u	Sx 10 ⁻⁴
1	0,05									
1,5	0,08	0,108	1,392	7,41E-1	2,710E-1	1,522	1,061	5,65E-1	2,710E-1	1,161
2	0,12	0,114	1,315	1,05E+0	2,443E-1	1,729	1,030	8,22E-1	2,443E-1	1,354
2,5	0,14	0,100	1,503	1,40E+0	2,028E-1	2,051	1,227	1,14E+0	2,028E-1	1,674
3	0,16	0,120	1,253	1,33E+0	2,061E-1	2,084	1,019	1,09E+0	2,061E-1	1,696
4	0,20	0,137	1,096	1,46E+0	1,464E-1	1,727	0,947	1,26E+0	1,464E-1	1,492
5	0,23	0,178	0,846	1,29E+0	1,577E-1	1,794	0,722	1,11E+0	1,577E-1	1,532
6	0,27	0,158	0,950	1,71E+0	1,015E-1	1,557	0,859	1,54E+0	1,015E-1	1,407
8	0,30	0,143	1,052	2,10E+0	9,239E-1	20,92	0,418	8,34E-1	9,239E-1	8,308
10	0,34	0,172	0,873	1,97E+0	0,000E+0	0,000	0,873	1,97E+0	0,000E+	0,000
12	0,37	0,115	1,312	3,23E+0	8,209E-2	3,479	1,209	2,98E+0	8,209E-2	3,205
14	0,38	0,145	1,034	2,61E+0	3,894E-2	1,517	0,994	2,51E+0	3,894E-2	1,459
18	0,44	0,186	0,810	2,37E+0	4,923E-2	1,931	0,771	2,26E+0	4,923E-2	1,838
24	0,48	0,160	0,939	3,00E+0	3,011E-2	1,827	0,912	2,91E+0	3,011E-2	1,773
30	0,52	0,172	0,873	3,02E+0	2,391E-2	1,685	0,852	2,95E+0	2,391E-2	1,645
40	0,57	0,177	0,849	3,22E+0	2,574E-2	2,351	0,827	3,14E+0	2,574E-2	2,291
50	0,61	0,172	0,873	3,54E+0	1,443E-2	1,695	0,860	3,49E+0	1,443E-2	1,670
60	0,64	0,147	1,021	4,35E+0	8,952E-3	1,475	1,012	4,31E+0	8,952E-3	1,462
80	0,68	0,183	0,822	3,72E+0	8,974E-3	1,588	0,815	3,69E+0	8,974E-3	1,574
100	0,73	0,194	0,773	3,75E+0	1,201E-2	2,498	0,764	3,71E+0	1,201E-2	2,468
120	0,76	0,169	0,889	4,49E+0	8,021E-3	2,302	0,882	4,46E+0	8,021E-3	2,284
150	0,80	0,172	0,873	4,65E+0	4,888E-3	1,722	0,869	4,62E+0	4,888E-3	1,714
180	0,83	0,180	0,835	4,61E+0	5,068E-3	2,050	0,831	4,59E+0	5,068E-3	2,040
210	0,86	0,172	0,872	4,99E+0	3,492E-3	1,722	0,869	4,97E+0	3,492E-3	1,716
240	0,88									
							0,865			2,079

Çizelge 4.10. GK3 (r=243,84 m) gözlem kuyusunun Çimen (2008) yöntemi ile hesaplanmış sonuçları.

t (dk)	s (m)	tds/dt	T _{app}	W _{app} (u)	u _{app}	S _{app} X 10 ⁻⁴	T (m ² / dk)	W(u)	u	S _x 10 ⁻⁴
1	0,00									
1,5	0,01	0,012	12,527	8,33E-1	6,873E-1	8,688	6,300	4,19E-1	6,873E-1	4,369
2	0,01	0,023	6,576	4,38E-1	7,285E-1	6,446	3,174	2,11E-1	7,285E-1	3,111
2,5	0,02	0,050	3,006	4,00E-1	5,118E-1	2,588	1,802	2,40E-1	5,118E-1	1,551
3	0,03	0,060	2,505	5,00E-1	4,751E-1	2,402	1,558	3,11E-1	4,751E-1	1,494
4	0,05	0,080	1,879	6,25E-1	4,476E-1	2,263	1,201	3,99E-1	4,476E-1	1,447
5	0,07	0,072	2,081	9,69E-1	3,561E-1	2,493	1,458	6,79E-1	3,561E-1	1,746
6	0,08	0,076	1,968	1,05E+0	2,980E-1	2,368	1,461	7,78E-1	2,980E-1	1,758
8	0,11	0,120	1,253	9,17E-1	3,248E-1	2,190	0,905	6,62E-1	3,248E-1	1,583
10	0,14	0,122	1,230	1,15E+0	1,918E-1	1,587	1,015	9,46E-1	1,918E-1	1,310
12	0,16	0,120	1,253	1,33E+0	2,246E-1	2,271	1,001	1,07E+0	2,246E-1	1,814
14	0,18	0,140	1,074	1,29E+0	2,197E-1	2,221	0,862	1,03E+0	2,197E-1	1,783
18	0,22	0,163	0,921	1,35E+0	1,444E-1	1,611	0,798	1,17E+0	1,444E-1	1,394
24	0,27	0,131	1,144	2,05E+0	9,286E-2	1,715	1,042	1,87E+0	9,286E-2	1,563
30	0,29	0,128	1,176	2,27E+0	8,118E-2	1,927	1,085	2,09E+0	8,118E-2	1,777
40	0,34	0,154	0,974	2,20E+0	8,118E-2	2,128	0,898	2,03E+0	8,118E-2	1,962
50	0,37	0,150	1,002	2,47E+0	5,041E-2	1,699	0,953	2,35E+0	5,041E-2	1,616
60	0,40	0,164	0,919	2,44E+0	5,101E-2	1,891	0,873	2,32E+0	5,101E-2	1,797
80	0,45	0,177	0,849	2,54E+0	5,122E-2	2,339	0,806	2,41E+0	5,122E-2	2,222
100	0,49	0,172	0,873	2,85E+0	1,893E-2	1,111	0,856	2,79E+0	1,893E-2	1,090
120	0,52	0,169	0,889	3,08E+0	2,024E-2	1,452	0,871	3,01E+0	2,024E-2	1,423
150	0,56	0,172	0,873	3,25E+0	3,122E-2	2,749	0,846	3,15E+0	3,122E-2	2,665
180	0,59	0,180	0,835	3,28E+0	1,995E-2	2,017	0,819	3,21E+0	1,995E-2	1,977
210	0,62	0,172	0,872	3,60E+0	2,048E-2	2,524	0,855	3,53E+0	2,048E-2	2,473
240	0,64									
							0,979			1,758

4.10. Çimen (2009) Yöntemi İle Çözüm

Çizelge 4.1 de verilen küçük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verilerinin Çimen (2009) yöntemine göre belirlenmiş akifer parametreleri aşağıdaki adımları takip edilerek Şekil 4.18 yardımıyla elde edilir. Şekil 4.18 küçük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verilerinin GK1 4 dak ve sonrası, GK2 14 dak ve sonrası, GK3 50 dak ve sonrası (kuyu depolama etkisinin olmadığı varsayıldı) veriler için akifer parametreleri belirlenmiştir. Böylece, Çimen (2009) yönteminin gerektirdiği logaritmik olarak veri - eğri çakışması gerçekleşebilmektedir.

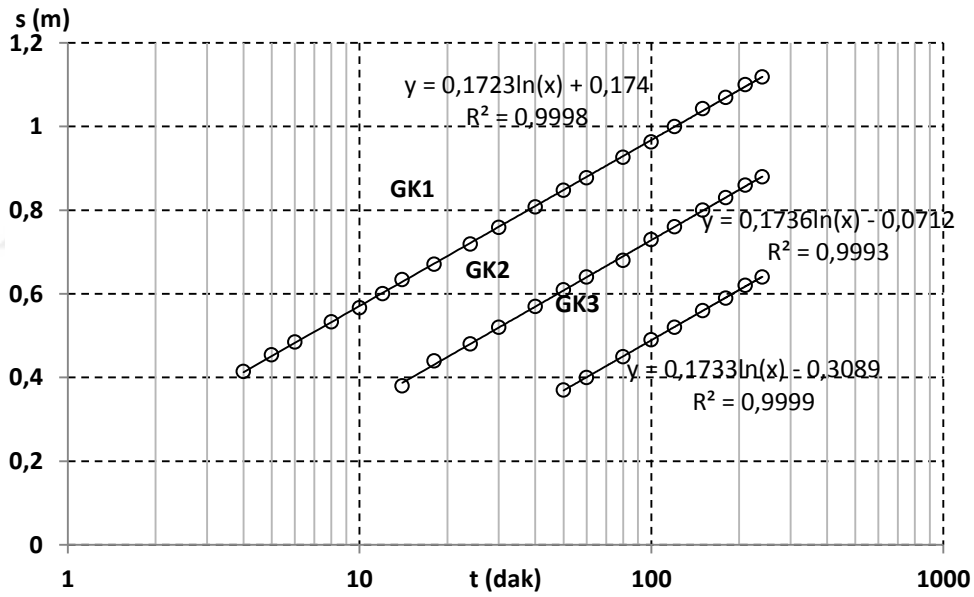
Yarı logaritmik (s-t) grafiğinden elde edilen regresyon denkleminde küçük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için a ve b değerleri bulunur. Denklem (2.82) de görüleceği gibi a ve b değerlerinin eşitliği verilmiştir. Burada $a = \frac{Q}{4\pi T}$ ve $b = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right)$ ifadesine eşittir.

$$s = a \ln(t) + b \quad (2.82)$$

Çizginin s=0 anında eksenini kestiği nokta t_0 ifade eder. Denklem (2.84) düşünümün sıfır olduğu zamanı bulmak için kullanılabilir. Denklem (2.83) Cooper ve Jacob (1946) yönteminde olduğu gibi t_0 kullanılarak S hesaplanır.

$$t_0 = \exp(-b/a) \quad (2.84)$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (2.83)$$



Şekil 4.18. Küçük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Çimen (2009) yönteminin uygulanması.

GK1 için;

$y=0,1723 \ln(x)+0,174$ regresyon denkleminde $a=0,1723$ ve $b=0,174$ e eşittir.

$T = \frac{Q}{4\pi a}$	$T = \frac{1,888}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1723} = 0,872 \text{ m}^2/\text{dak}$
$t_0 = \exp\left(-\frac{b}{a}\right)$	$t_0 = \exp\left(-\frac{0,174}{0,1723}\right) = 0,364 \text{ dak}$

$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$	$S = \frac{2,25*0,872*0,364}{60,96^2} = 1,92 \times 10^{-4}$
----------------------------	--

GK2 için;

$y=0,1736 \ln(x)-0,0712$ regresyon denkleminde $a=0,1736$ ve $b=-0,0712$ e eşittir.

$T = \frac{Q}{4\pi a}$	$T = \frac{1,888}{4*3,14*0,1736} = 0,866 \text{ m}^2/\text{dak}$
$t_0 = \exp\left(-\frac{b}{a}\right)$	$t_0 = \exp\left(\frac{0,0712}{0,1736}\right) = 1,51 \text{ dak}$
$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$	$S = \frac{2,25*0,866*1,51}{121,92^2} = 1,98 \times 10^{-4}$

GK3 için;

$y=0,1733 \ln(x)-0,3089$ regresyon denkleminde $a=0,1733$ ve $b=-0,3089$ e eşittir.

$T = \frac{Q}{4\pi a}$	$T = \frac{1,888}{4*3,14*0,1733} = 0,867 \text{ m}^2/\text{dak}$
$t_0 = \exp\left(-\frac{b}{a}\right)$	$t_0 = \exp\left(\frac{0,3089}{0,1733}\right) = 5,94 \text{ dak}$
$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2}$	$S = \frac{2,25*0,867*5,94}{243,84^2} = 1,95 \times 10^{-4}$

4.11. Yöntemlerin Güvenirlik Testleri

Yukarıdaki yöntemlerle tahmin edilen akifer parametrelerinin (T ve S) ölçülmüş arazi verisi üzerinde ne kadar bir hataya yol açtığını belirlemek için, aşağıda verilen denklemler yardımıyla her bir yöntem test edilmiştir. Denklem (4.1) ortalama hatayı (OH), Denklem (4.2) ortalama mutlak hatayı (MH) ve Denklem (4.3) ise standart sapmayı (SS), n veri sayısını, s_{δ} ve s_t ise ölçülen ve tahmin edilen düşümleri göstermektedir. Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13 GK1, GK2 ve GK3 için hataları göstermektedir.

$$OH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_{\delta} - s_t)_i \quad (4.1)$$

$$MH = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |s_{\delta} - s_t|_i \quad (4.2)$$

$$SS = \left(\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (s_{\delta} - s_t)_i^2 \right)^{0.5} \quad (4.3)$$

Çizelge 4.11. GK1 Verisi İçin Hata Hesapları

Yöntem	T (m²/dak)	S x10⁻⁴	OH	MH	SS
Theis (1937)	0,880	1,800	-0,009	0,009	0,011
Cooper ve Jacob (1946) Zaman-Düşüm	0,860	1,870	-0,015	0,015	0,016
Cooper ve Jacob (1946) Mesafe-Düşüm	0,860	1,880	-0,014	0,014	0,015
Cooper ve Jacob (1946) Birleşik Değişken	0,860	1,740	-0,027	0,027	0,028
Chow (1952)	0,817	1,910	-0,038	0,038	0,043
Rai (1985)	0,870	2,070	0,008	0,008	0,01
Şen (1986)	0,838	2,335	0,010	0,010	0,013
Singh (2001)	0,847	0,258	-0,369	0,369	0,385
Çimen (2008)	0,865	2,692	0,049	0,049	0,052
Çimen (2009)	0,827	1,920	-0,003	0,004	0,006

Çizelge 4.12. GK2 Verisi İçin Hata Hesapları

Yöntem	T (m²/dak)	S x10⁻⁴	OH	MH	SS
Theis (1937)	0,835	1,800	-0,028	0,028	0,032
Cooper ve Jacob (1946) Zaman-Düşüm	0,890	1,950	0,004	0,008	0,01
Cooper ve Jacob (1946) Mesafe-Düşüm	0,860	1,880	-0,012	0,012	0,014
Cooper ve Jacob (1946) Birleşik Değişken	0,860	1,740	-0,024	0,024	0,026
Chow (1952)	0,839	1,900	-0,018	0,018	0,021
Rai (1985)	0,880	2,070	0,008	0,009	0,011
Şen (1986)	0,896	2,163	0,022	0,022	0,026
Singh (2000)	0,839	1,970	-0,012	0,013	0,016
Singh (2001)	0,841	1,160	-0,097	0,097	0,103
Çimen (2008)	0,865	2,079	0,005	0,006	0,007
Çimen (2009)	0,866	1,980	-0,002	0,004	0,005

Çizelge 4.13. GK3 Verisi İçin Hata Hesapları

Yöntem	T (m ² /dak)	S x10 ⁻⁴	OH	MH	SS
Theis (1937)	0,790	1,860	-0,024	0,024	0,032
Cooper ve Jacob (1946) Zaman-Düşüm	0,910	0,900	-0,095	0,095	0,104
Cooper ve Jacob (1946) Mesafe-Düşüm	0,860	1,880	-0,009	0,010	0,011
Cooper ve Jacob (1946) Birleşik Değişken	0,860	1,740	-0,019	0,019	0,022
Chow (1952)	0,675	1,750	-0,058	0,058	0,082
Rai (1985)	0,890	2,060	0,007	0,007	0,010
Şen (1986)	0,876	2,056	0,004	0,005	0,007
Singh (2000)	0,844	1,980	-0,006	0,007	0,008
Singh (2001)	0,822	1,200	-0,077	0,077	0,088
Çimen (2008)	0,979	1,758	0,010	0,021	0,045
Çimen (2009)	0,867	1,950	-0,004	0,004	0,005

4.12. Büyük Çaplı Kuyular İçin Yöntemlerin Uygulamaları

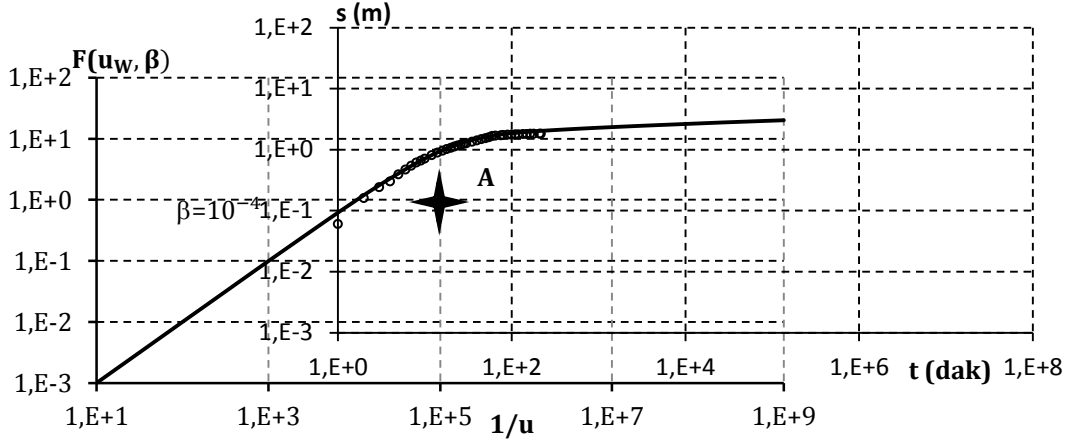
Bölüm 2 de bahsedilen analitik ve nümerik hesaplama yöntemlerinden Papadopulos ve Cooper (1967), Şen (1982), Wikramaratna (1985), Çimen (2001) ve Çimen (2009) yöntemleri Çizelge 4.14 de verilmiş olan pompaj kuyusunda ölçülen zamana bağlı düşüm değerleri kullanılarak örneklendirilecektir. Debi 0,48 m³/dak, r_w=1,5 m 'dir.

Çizelge 4.14. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri (Şen, 1995).

t(dak)	s (m)	t(dak)	s (m)
0	0	30	1,27
1	0,06	35	1,34
2	0,16	40	1,41
3	0,24	45	1,48
4	0,30	50	1,54
5	0,39	55	1,60
6	0,47	60	1,66
7	0,54	65	1,68
8	0,61	75	1,71
9	0,66	80	1,73
10	0,71	90	1,75
12	0,81	100	1,76
14	0,89	110	1,765
16	0,96	120	1,775
18	1,02	135	1,790
20	1,07	150	1,805
22	1,12	165	1,815
24	1,16	180	1,820
26	1,20	210	1,821
28	1,23	217	1,8215

4.13. Papadopulos ve Cooper (1967) Yöntemi İle Çözüm

Theis (1935) yönteminde kabul edilen varsayımlardan son madde olan 'Kuyu çapının yok denecek kadar küçük olduğu ve dolayısıyla kuyudaki birikimin ihmal edileceği' varsayımı hariç diğer varsayımlar bu yöntem için de geçerlidir.



Şekil 4.19. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Papadopulos ve Cooper (1967) yönteminin uygulanması.

Çizelge 4.14 büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri Papadopulos ve Cooper (1967) yöntemi ile aşağıdaki işlem sırasıyla hesaplanır.

- Çifte logaritmik bir kağıda Şekil 2.8 deki $F(u_w, \beta)$ standart eğri ailesi çizilir.
- Aynı modüllü başka bir çifte logaritmik bir kağıda, t değerlerine bağlı s_w gözlem verileri eğrisi işaretlenir.
- Şekil 4.19 de koordinat eksenlerinin paralellikleri korunarak standart eğri ailesi ve gözlem verileri eğrisi çakıştırılır. İşaretlenen en çok sayıdaki gözlem verileri eğrisine ait noktanın standart eğri ailesinden birisinin üzerine düşmesi için ayarlanır.
- Ayarlanmış kağıtlar üzerinden bir A (çakışma) noktası belirlenir. A noktasının $F(u_w, \beta)$, $1/u_w$, s_w ve t değerleri belirlenir. Gözlem verileri eğrisinin en iyi uyduğu standart eğrinin β değeri bulunur.
- Bu değerler Denklem (2.14) de yerleştirilerek T değeri, T değeriyle birlikte diğer değerlerin kullanılmasıyla Denklem (2.15) den S değeri hesaplanır. Ya da Denklem (2.16) dan yine aynı S değeri hesaplanabilir.

$$s_w = \frac{Q}{4\pi T} F(u_w, \beta) \quad (2.14)$$

$$u_w = \frac{r_w^2 S}{4Tt} \quad (2.15)$$

$$\beta = \frac{r_w^2 S}{r_c^2} \quad (2.16)$$

Şekil 4.19 için; $Q=0,48 \text{ m}^3/\text{dak}$, $r_w=r_c=1,5 \text{ m}$, $\beta=10^{-4}$, $F_A(u_w, \beta) = 1$, $(1/u_w)_A = 10^5$, $(s_w)_A = 0,132 \text{ m}$ ve $t_A=13,3 \text{ dak}$ olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki hesaplar 2 farklı depolama katsayısı (S) değerini göstermektedir. Bu iki değer birbirine yakın olması gerekmektedir. Papadopulos ve Cooper (1967) tip eğri takımı sabit β değerleri için verildiği için, depolama katsayısının tam değerinin bulunması zor olmaktadır. Bu iki değer ortalama değeri depolama katsayısı (S) olarak kabul edilmiştir. Papadopulos ve Cooper (1967) yönteminde S ler birbirine daha yakın çıkmıştır.

$s_w = \frac{Q}{4\pi T} F(u_w, \beta)$	$T = \frac{0,48}{4\pi 0,132} 1 = 0,289 \text{ m}^2/\text{dak}$
$u_w = \frac{r_w^2 S}{4Tt}$	$S = \frac{4 \cdot 0,289 \cdot 13,3 \cdot 10^{-5}}{1,5^2} = 6,83 \cdot 10^{-5}$
$\beta = S r_w^2 / r_c^2$	$S = 1 \cdot 10^{-4}$
	Sortalama = $8,4 \cdot 10^{-5}$

4.14. Şen(1982) Yöntemi İle Çözüm

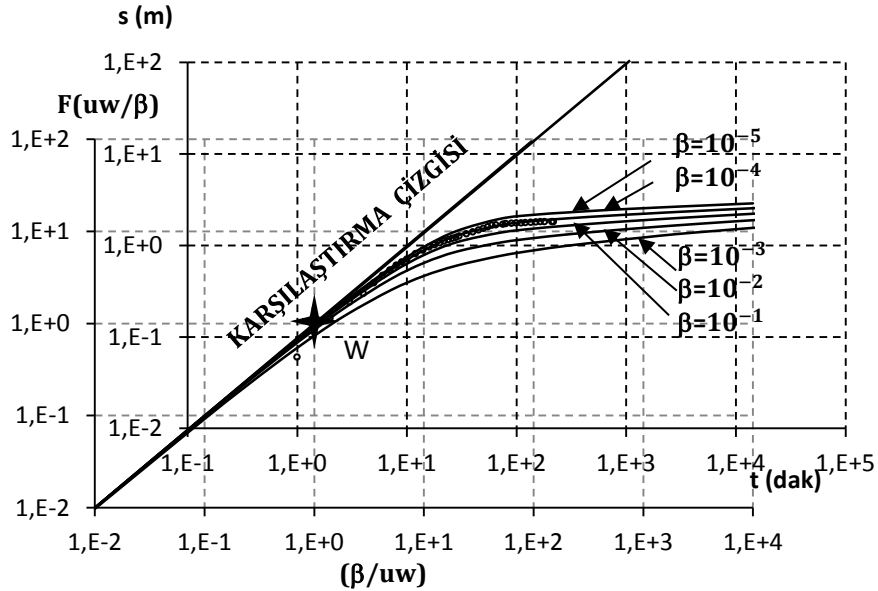
Şen (1982) 'in analitik olarak geliştirdiği Denklem (2.24) 'de, kuyu fonksiyonu ifadesinde pompaj debisi (Q) yerine kuyu yüzeyindeki debiyi (Q_a) göz önüne almıştır. Şen (1982) tip eğrileri (Şekil 2.10) Papadopulos ve Cooper (1967) tip eğrilerine (Şekil 2.11) benzese de özellikle pompajın orta (geçiş) zamanlarında bir fark bulunmakta ve debi olarak kuyu yüzeyindeki debiyi göz önüne almaktadır. Bu nedenlerle, Şen (1982) tip eğrileri ile sonsuz yayımlı basınçlı bir akiferin depolama katsayısının belirlenmesinde dikkat edilmelidir. Çizelge 4.14 de verilen arazi verisinin parametre hesapları, Şen (1982) tip eğrileri için kullanılmamıştır. Şen (1982) 'in boyutsuz zaman ile boyutsuz kuyu fonksiyonu arasındaki ilişkinin çok basit olduğunu ve basınçlı bir akiferde şayet bir bariyer etkisi varsa güvenilir olarak kullanılması gerektiğini belirtmek gerekir.

$$W(u_w) = 4\pi T \frac{s_w(t)}{Q_a(t)} \quad (2.24)$$

4.15. Wikramaratna (1985) Yöntemi İle Çözüm

Wikramaratna (1985) yönteminde, Papadopulos ve Cooper (1967) yönteminde kabul edilen şartlar geçerlidir. Şekil 2.20 de Papadopulos ve Cooper (1967) 'ın formülüne dayanılarak çifte logaritmik kağıda çizilen karşılaştırma çizgisi ve W karşılaştırma noktasının $F(u_w, \beta) - (\beta/u_w)$ tip eğrileriyle birlikte gösterimi ile aynı modüllü başka çifte logaritmik bir kağıda $(s_w - t)$ eğrisi karşılaştırma çizgileri üst üste konur. En uygun β değeri ile karşılaştırma çizgisi üzerinde en uygun bir W noktası seçilir. $F(u_w, \beta)$, (β/u_w) , s_w ve t değerleri belirlenir. Denklem 2.15 den S, Denklem 2.14 den T değeri hesaplanır.

Çizelge 4.14 büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri Wikramaratna (1985) yöntemi ile aşağıdaki gibi hesaplanır. Şekil 4.20 için; $Q=0,48 \text{ m}^3/\text{dak}$, $r_w=r_c=1,5 \text{ m}$, $\beta=10^{-4}$, $F_w(u_w, \beta) = 1$, $(\beta/u_w)_w = 1$, $(s_w)_w = 0,132 \text{ m}$ ve $t_w=13,3 \text{ dak}$ olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki hesaplar 2 farklı depolama katsayısı (S) değerini göstermektedir. Bu iki değer birbirine yakın olması gerekmektedir. Bu iki değer ortalama değeri depolama katsayısı (S) olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.20. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Wikramaratna (1985) yönteminin uygulanması.

$s_w = \frac{Q}{4\pi T} F(u_w, \beta)$	$T = \frac{0,48}{4\pi 0,132} 1 = 0,289 \text{ m}^2/\text{dak}$
$u_w = \frac{r_w^2 S}{4Tt}$	$S = \frac{4 \cdot 0,289 \cdot 13,3 \cdot 10^{-4}}{1,5^2} = 6,83 \cdot 10^{-4}$
$\beta = Sr_w^2/r_c^2$	$S = 1 \cdot 10^{-4}$
	Sortalama = $3,92 \cdot 10^{-4}$

4.16. Çimen (2001) Yöntemi İle Çözüm

Çimen (2001) 'in tip eğrileri ile Papadopulos ve Cooper (1982) tip eğrileri birbirine benzese bile, pompajın orta (geçiş) zamanlarında küçük bir fark bulunmaktadır. Çimen (2001) 'in tip eğri formülü olan Denklem (2.38) her ne kadar hesaplaması çok basit ifadeler içerse de, depolama katsayısının belirlenmesinde bir hata verebileceğinden akifer parametre hesaplamalarında göz önüne alınmamıştır.

$$\frac{s_w}{Q/4\pi T} = 1/t_D \left[\left(\frac{r_c}{r_w} \right)^2 \cdot \frac{1}{S} + \frac{\int_{t_D}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x^2} dx}{\int_{t_D}^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx} \right] \quad (2.38)$$

Papadopulos ve Cooper (1967), Şen (1982), Wikramaratna (1985) ve Çimen (2001) yöntemleri, pompaj kuyu yüzeyinde oluşan yük kaybını göz önüne almadığını da özellikle vurgulamak gereklidir. Çözümler kuyu içerisindeki düşüm ile kuyu yüzeyindeki düşümün eşit olduğu varsayımlarına dayanmaktadır.

4.17. Çimen (2009) Yöntemi İle Çözüm

Çizelge 4.14 de verilen büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verilerinin Çimen (2009) yöntemine göre belirlenmiş akifer parametreleri aşağıdaki adımları takip edilerek Şekil 4.21 yardımıyla elde edilir. Şekil 4.21 büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verilerinin 55 dak ve sonrasındaki (kuyu depolama etkisinin olmadığı varsayıldı, ayrıca 190 ve 210 dak lardaki iki veri ihmal edildi) veriler için akifer parametreleri belirlenmiştir. Böylece, Çimen (2009) yönteminin gerektirdiği logaritmik olarak veri - eğri çakışması gerçekleşebilmektedir.

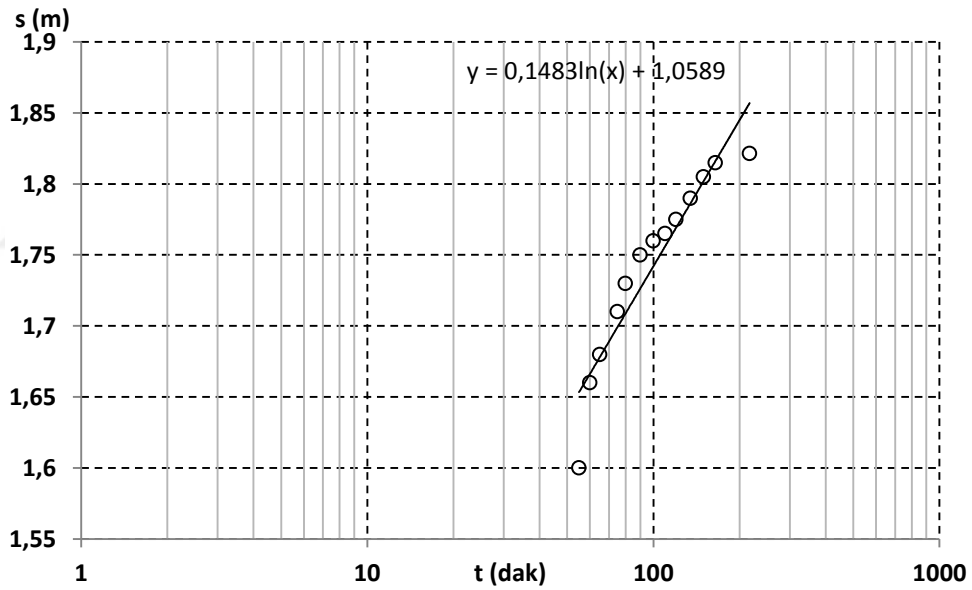
Yarı logaritmik (s-t) grafiğinden elde edilen regresyon denkleminde büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için a ve b değerleri bulunur. Denklem (2.82) de görüleceği gibi a ve b değerlerinin eşitliği verilmiştir. Burada $a = \frac{Q}{4\pi T}$ ve $b = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2,25T}{r^2 S}\right)$ ifadesine eşittir.

$$s = a \ln(t) + b \quad (2.82)$$

Çizginin s=0 anında eksenini kestiği nokta t_0 ifade eder. Denklem (2.84) düşümün sıfır olduğu zamanı bulmak için kullanılabilir. Denklem (2.83) Cooper ve Jacob (1946) yönteminde olduğu gibi t_0 kullanılarak S hesaplanır.

$$t_0 = \exp(-b/a) \quad (2.84)$$

$$S = \frac{2,25Tt_0}{r^2} \quad (2.83)$$



Şekil 4.21. Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için Çimen (2009) yönteminin uygulanması.

Büyük çaplı pompaj kuyusunda ölçülen pompaj verileri için;

$y=0,1483\ln(x)+1,0589$ regrasyon denkleminde $a=0,1483$ ve $b=1,0589$ e eşittir.

$T = \frac{Q}{4\pi a}$	$T = \frac{0,48}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,1483} = 0,258 \text{ m}^2/\text{dak}$
$t_o = \exp\left(-\frac{b}{a}\right)$	$t_o = \exp\left(-\frac{1,0589}{0,1483}\right) = 7,925 \times 10^{-4} \text{ dak}$
$S = \frac{2,25 T t_o}{r^2}$	$S = \frac{2,25 \cdot 0,258 \cdot 7,925 \times 10^{-4}}{1,5^2} = 2,04 \times 10^{-4}$



5. SONUÇLAR

Çizelge 4.1. 'de üç adet gözlem kuyusu için verilmiş olan zaman - düşüm verisi, yukarıda belirtilen metotlar ile değerlendirilmiştir. Elde edilen akifer parametreleri ve bu parametreler göz önüne alınarak yapılan hata analizleri sonucunda Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13 'de verilmiş olan değerlere ulaşılmıştır.

Çizelge 4.11 'e bakıldığında Singh (2001) hariç ($S=0.258 \times 10^{-4}$) diğer bütün metotların akifer parametre değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Singh (2000) yönteminde GK1 gözlem kuyusunda erken düşümler elde edilemediğinden parametre hesapları bu yöntem için yapılamamıştır, ancak diğer gözlem kuyuları için (GK2 ve GK3) akifer parametre değerleri elde edilmiştir. Hata değerlerine bakıldığında ise en küçük hatalar Çimen (2009) yönteminde elde edilmiştir. Bunu Rai (1985) ve Theis (1935) yöntemleri takip etmiştir.

Çizelge 4.12 'e bakıldığında, bütün metotların akifer parametre değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. Hata değerlerine bakıldığında ise en küçük hatalar Çimen (2009) yönteminde elde edilmiştir. Bunu Çimen (2008) ve Rai (1985) yöntemleri takip etmiştir.

Çizelge 4.13 'e bakıldığında ise, bütün metotların akifer parametre değerleri yine birbirine yakın elde edilmiştir. Hata değerlerine bakıldığında ise en küçük hatalar Çimen (2009) yönteminde elde edilmiştir. Bunu Şen (1986) ve Singh (2000) yöntemleri takip etmiştir.

Küçük çaplı kuyulara doğru basınçlı yeraltı suyu akımında, akifer parametre analizlerinde her ne kadar Theis (1935) yöntemi yaygın olarak kullanılıyor olsa da, tip eğri çakıştırılması sırasındaki zorluk nedeniyle, tip eğri ile arazi verisinin tam olarak çakıştırılmaması nedeniyle parametre tahminlerinde hatalara rastlanabilmektedir. Bu yöntem de uzun zaman arazi verileri kullanıldığı için pompa maliyeti artmaktadır. Buda yöntemin dezavantajını oluşturur.

Cooper ve Jacob (1946), Theis (1935) yöntemine dayanmaktadır. Küçük çaplı gözlem kuyularında t nin büyük değerleri için kullanılır. Bu durum ekonomik açıdan dezavantaj sağlamaktadır. Bu yöntemin üç farklı şekilde uygulaması vardır. Bu yöntemler arasında pratikte en ekonomik olan zaman-düşüm yöntemidir, çünkü sadece bir gözlem kuyusuna ihtiyaç vardır. En yaygın olarak kullanılan doğrusal yöntem zaman-düşüm yöntemidir. Mesafe-düşüm ve birleşik değişken yöntemleri birden fazla gözlem kuyusuna ihtiyaç duyar. Her üç yöntem içinde hesaplamalar yapılırken işaretlenen verilerden en uygun doğru geçirilir. Geçirilen doğrunun hatalı olması parametre değerlerinin yanlış hesaplanmasına sebep olur. Buda bir dezavantajdır.

Chow (1952) küçük çaplı gözlem kuyularında t nin bütün değerleri için kullanılabilir olması bu yöntemin avantajıdır. Fakat diğer analitik yöntemlerde de olduğu gibi eğriye çizilen teğetin hatalı çizilmesi sonucu parametre değerleri yanlış hesaplanır. Buda yöntemin dezavantajıdır.

Papadopulos ve Cooper (1967) büyük çaplı gözlem kuyularında kullanılır. Çifte logaritmik bir kağıda çizilen, t değerine bağlı s_w gözlem verileri eğrisi Papadopulos ve Cooper (1967) standart eğri ailesi karşılaştırıldığında, eğri ailesinden birinin üzerine düşmesi doğru ayarlanamazsa diğer analitik metotlar gibi parametre değerleri yanlış hesaplanır. Bu durum bu yöntem için dezavantajdır.

Şen (1982) büyük çaplı gözlem kuyularında kullanılır. Oldukça basit ve güvenilir bir yöntemdir. Bizim gözlem kuyularımızda bariyer etkisi söz konusu olmadığı için hesaplanmamıştır.

Wikramaratna (1985) büyük çaplı gözlem kuyularında kullanılır. Papadopulos ve Cooper (1967) ve diğer analitik metotlarda olduğu gibi bu metotta da karşılaştırma işlemi sırasında doğru karşılaştırma yapılmazsa parametre değerleri yanlış hesaplanır. Bu bir dezavantajdır fakat hata oranı Papadopulos ve Cooper (1967) 'a göre daha düşüktür. Bundan dolayı avantajlıdır.

Çimen (2001) 'in tip eğrileri ile Papadopulos ve Cooper (1982) tip eğrileri birbirine benzese bile, pompajın orta (geçiş) zamanlarında küçük bir fark bulunmaktadır. Çimen (2001) 'in tip eğri formülü her ne kadar hesaplaması çok basit ifadeler içerse de, depolama katsayısının belirlenmesinde bir hata verebileceğinden akifer parametre hesaplamalarında göz önüne alınmamıştır. Bu sebepten dezavantaj oluşturur.

Rai (1985) yönteminin iki veya üç düşün-zaman verisiyle de kullanılabiliyor olması bir avantaj oluşturmaktadır. Parametre değerlerinin kolay hesaplanabiliyor olması ve hata değerinin düşük olması güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Theis denklemi eğim değerleri kullanılarak hesaplanan Şen (1986) yöntemi hesaplanması kolay bir yöntemdir. Elde edilen bütün zaman-düşüm verileri kullanılarak hesaplama işlemi yapılır. Hata değerinin düşük olması bir avantajdır.

Singh (2000) erken zamanlı düşün hesabında birkaç tane düşün değerinin kullanılması ekonomik açıdan avantaj sağlamaktadır. Hata değerlerinin düşük olması bu metodun avantajlı olduğunda kanıtıdır.

Singh (2001) nümerik metot olup hesaplanması kolaydır. Fakat hata değerlerinin yüksek çıkması bu yöntem için dezavantajdır.

Çimen (2008) nümerik bir metottur. Elde edilen bütün düşün verileri kullanılır. Excell yardımıyla tabloya gerek kalmadan kolaylıkla hesaplanabilen bir yöntemdir.

Çimen (2009) yöntemi, uygulaması çok kolay bir yöntemdir, fakat basınçlı akiferi homojen sayar ve geç zaman düşümleri göz önüne alır. Bu yöntemde, pompaj analizi süresinin geç zaman düşümleri verecek kadar uzun olması gerekmektedir. Çimen (2009) en az 5 düşün verisi kullanılarak hesaplanan hata

değeri çok düşük çıkan en güvenilir yöntemlerden biridir. Excell yardımıyla belirlenen regrasyon denkleminden faydalanarak çok kolay bir şekilde parametre değerlerinin bulunması en avantajlı yöntem olduğunun kanıtıdır.

Bütün yöntemlerden bahsettikten sonra özetleyecek olursak; Rai (1985), Çimen (2008) ve Şen (1986) yöntemleri, düşümlerin eğimlerini göz önüne aldığından, zaman-düşüm verisi alınırken zaman adımlarının küçük olması yöntemlerin güvenilirliği açısından önemlidir. Büyük zaman adımları, eğim hesabında hataya yol açmaktadır. Bu metotlar, akifer heterojenliğinden dolayı akifer parametre değerlerinin pompaj devam ettikçe zamanla farklı değerler aldığı verebilmesi açısından önemlidir. Rai (1985) ve Şen (1986) yöntemleri parametre hesaplamalarında hazırladıkları tablo değerlerine ihtiyaç duyarken, Çimen (2008) yöntemi ise sadece Theis formülüne ihtiyaç duyar. Singh (2000) yöntemi ise, pompajın erken zamanlarındaki düşüm değerlerini göz önüne aldığı için, bazı gözlem kuyularında yöntemdeki parametreler elde edilememekte olması bir dezavantajdır, ancak pompa maliyeti açısından en ekonomik parametre hesaplama yöntemidir.

Bu üç çizelgeye birden bakıldığında, akifer parametre hesaplarında güvenilir yöntemler olarak sırasıyla Çimen (2009), Rai (1985), Çimen (2008), Şen (1986), Theis (1935) ve Singh (2000) yöntemleri ifade edilebilir.

Bu çalışmada göz önüne alınan arazi verisi için, Çimen (2009) yöntemi uygulanması en kolay ve en güvenilir yöntem olarak bulunmuştur. Akifer heterojenliği araştırılmak istendiği zaman, Rai (1985), Çimen (2008) ve Şen (1986) yöntemleri, sırasıyla, en güvenilir yöntemler olarak elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bayazıt, M., 1999. Hidroloji. İTÜ Yayınları, 11s, İstanbul.
- Bourdet, D., Ayoub, J. A., and Pirard, Y. M., 1989. Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE Formation Evaluation, 4_2_, 293-302.
- 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. and Jacob, C.E., 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Transactions, American Geophysical Union, 27, 526-534.
- Cömertpay, M.C., 2005. Dengesiz akım durumunda akifer parametrelerinin bulunması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 129s, İstanbul.
- Çimen, M., 2001. A simple solution for drawdown calculation in a large-diameter well. Ground Water, 39(1), 144-147.
- Çimen, M., 2008. Confined aquifer parameters evaluation by slope-matching method. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 13(3), 141-145.
- Çimen, M., 2009. Effective procedure for determination of aquifer parameters from late time-drawdown data. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 14(5), 446-452.
- Darcy, H., 1856. Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, Dalmont, Paris.
- El-Khatib, N.A.F. 1987., A new approach to the interference test analysis. SPE Formation Evaluation, 2, 609-610.
- Keskin, S.B., 2005. Toprak dolgu baraj gövdesindeki ve altındaki sızma olayının incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, Denizli.
- Kruseman, G.P., Ridder, N.A., 1982. Hidrojeolojide Pompaj Deney Verilerinin Analizi ve Değerlendirilmesi. Çev. Dilek, R. Karadeniz Üniversitesi Yayınları, 37s, 171s, 4s, Trabzon.
- Lohman, S. W., (1979). Ground-Water Hydraulics. U.S. Geological Survey Professional Paper., 708, 19s, United States.
- Papadopoulos, I.S. and Cooper, H.H., 1967. Drawdown in a well of large-diameter. Water Resources Research, 3(1), 241-244.

- Rai, S.P., 1985. Numerical determination of aquifer constants. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 111(7), 1110-1114.
- Singh, S.K. 2000. Simple method for confined-aquifer parameter estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 126 (6) 404-407 .
- Singh, S.K., 2001. Confined aquifer parameters from temporal derivative of drawdowns. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, 127(6), 466-470.
- Srivastava, R. and Guzman-Guzman, A., 1994. Analysis of slope matching methods for aquifer parameter determination. *Ground Water*, 32(4), 470-475.
- Şen, Z., 1982. Type curves for large-diameter wells near barriers. *Ground Water*, 20(3), 274-277.
- Şen, Z., 1986. Determination of aquifer parameters by the slope matching method. *Ground Water*, 24(2), 217-223.
- Şen, Z., 1995. *Applied Hydrogeology for Scientists and Engineers*. Lewis Publishers Is An Imprint Of CRC Press., 232s, United States.
- Şen, Z., 2003. *Yeraltı Suyu. Su Vakfı Yayınları*, 27s, 138s, 139s, İstanbul.
- 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.
- Wikramaratna, R.S., 1985. A new type curve method for the analysis of pumping tests in large-diameter wells. *Water Resources Research*, 21(2), 261-264.
- Yeh, H.D., 1987. Discussion of numerical determination of aquifer parameters. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 113(7), 948-951.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşe BÖLÜKBAŞI

Doğum Yeri ve Yılı : Denizli, 1986

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ayse577@mynet.com



Eğitim Durumu

Lise : Denizli Anafartalar Lisesi, 2003

Lisans : SDÜ, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

Mesleki Deneyim

Yapı Den Yapı Denetim Tic. Ltd. Şti. 2009-2010

Maya Yapı Denetim Tic. Ltd. Şti. 2010-2015

Statik Proje Müellifi 2015-..... (halen)