

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENGESİZ AKIM DURUMUNDA AKİFER
PARAMETRELERİNİN BULUNMASI**

İnşaat Müh. Mehmet Can CÖMERTPAY

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet Emin BİRPINAR

İSTANBUL, 2005

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENGESİZ AKIM DURUMUNDA AKİFER
PARAMETRELERİNİN BULUNMASI**

İnşaat Müh. Mehmet Can CÖMERTPAY

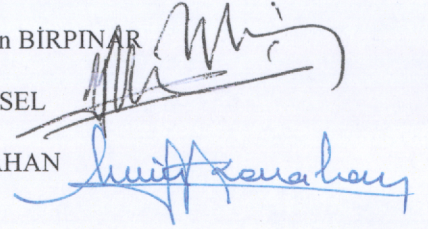
**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet Emin BİRPINAR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Prof. Dr. Emin KARAHAN

Handwritten signatures in blue ink. The first signature is for Doç. Dr. Mehmet Emin BİRPINAR, and the second is for Prof. Dr. Emin KARAHAN.

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	v
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Konunun Önemi.....	2
1.3 Çalışmanın Amacı.....	2
1.4 Çalışmanın Yöntemi ve İçeriği.....	2
2 AKİFERLER.....	4
2.1 Genel.....	4
2.2 Akifer Özellikleri.....	4
2.2.1 Porozite.....	5
2.2.2 Özgül Verim ve Özgül Su Tutma.....	6
2.2.3 Depolama ve Özgül Depolama Katsayısı.....	7
2.2.4 Permeabilite (Geçirgenlik) ve Hidrolik İletkenlik.....	9
2.2.5 İletkenlik.....	10
2.2.6 Homojenlik ve İzotropluk.....	11
2.2.7 Düşüm Konisi.....	11
2.2.8 Gecikmiş Verim.....	12
2.3 Yeraltı Suyu Akımının Temel Denklemleri.....	12
2.3.1 Darcy Kanunu.....	12
2.3.2 Süreklilik Denklemi.....	13
2.4 Akifer Tipleri.....	15
2.4.1 Basınçlı Akiferler.....	16
2.4.2 Basıncsız Akiferler.....	18
2.4.3 Sızdırmalı Akiferler.....	19
2.4.4 Mercek Akiferler.....	21
2.5 Geçirimli Tabaka Ortamı.....	21
2.5.1 Gözenekli Ortam.....	21
2.5.2 Çatlaklı Ortam.....	22
2.5.3 Erime Boşluklu Ortamlar.....	23
3 ARAZİ ÖLÇÜMLERİ.....	24
3.1 Genel.....	24

3.2	Ana Kuyu Yerleri.....	24
3.3	Gözlem Kuyuları ve Piyezometreler.....	25
3.4	Düşüm Ölçümleri.....	27
3.4.1	Islak Şerit.....	27
3.4.2	Geniş Tabanlı Ağırlık.....	28
3.4.3	Elektrik Şerit.....	28
3.4.4	Hava Yolu.....	29
3.4.5	Cıva Metre.....	30
3.5	Debi Ölçümleri.....	31
3.5.1	Kova Yöntemi.....	31
3.5.2	Su Metresi.....	31
3.5.3	Orifiz Metre.....	32
3.5.4	Jet Akımı Yöntemi.....	33
3.5.4.1	Yatay Boru.....	33
3.5.4.2	Düşey Boru.....	34
3.5.5	Parshall Savağı.....	35
4	AKİFERLERDE DENGELİ AKIM DURUMU.....	37
4.1	Genel.....	37
4.2	Yapılan Kabuller.....	37
4.2.1	Akifer Kabulleri	37
4.2.2	Yeraltı Suyu Akım Kabulleri.....	38
4.2.2.1	Dupuit-Forchheimer Kabulleri.....	38
4.2.3	Kuyu Kabulleri.....	38
4.2.4	Başlangıç ve Sınır Şartları	39
4.2.4.1	Geçirimsiz Sınırlar.....	40
4.2.4.2	Kuyu Akifer Sürekliliği.....	40
4.2.4.3	Sınırsız Yaygınlık Şartı	41
4.3	Yeraltı Suyu Dengeli Akım Çözümleri.....	41
4.3.1	Basıncılı Akifer.....	41
5	DENGESİZ AKIM DURUMUNDA AKİFER TESTLERİ.....	45
5.1	Genel.....	45
5.2	Parametreler ve Değişkenler.....	46
5.3	Dengesiz Akım Testlerinde Yapılan Kabuller.....	48
5.4	Dengesiz Akım Durumuna Ait Denklemler.....	49
5.5	Kuyuya Doğru Dengesiz Akım.....	51
5.6	Basıncılı Akifer Modelleri.....	52
5.6.1	Theis Metodu.....	52
5.6.2	Doğrusal Yöntemler.....	54
5.6.2.1	Zaman-Düşüm Modeli.....	55
5.6.2.2	Mesafe-Düşüm Modeli.....	56
5.6.2.3	Birleşik Değişkenler Modeli.....	57
5.6.3	Singh Metodu.....	58
5.7	Basıncısız Akifer Modelleri.....	61
5.7.1	Boulton Modeli.....	61
5.7.2	Neuman Metodu.....	66
5.7.3	Düz Çizgi Metodu.....	67
5.7.4	Şen Grafik Metodu.....	69

5.7.5	Basıncısız Akiferlerde T ve S Parametrelerinin Hesaplanması.....	71
6	DENGESİZ AKIM DURUMUNDA METODLARIN UYGULANMASI.....	73
6.1	Giriş.....	73
6.2	Theis Metodu ile Çözüm.....	74
6.2.1	GK1'e Theis Metodunun Uygulanması.....	74
6.2.2	GK2'e Theis Metodunun Uygulanması.....	76
6.2.3	GK3'e Theis Metodunun Uygulanması.....	77
6.3	Doğrusal Metot Çözümleri.....	78
6.3.1	Zaman-Düşüm Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması.....	78
6.3.2	Mesafe-Düşüm Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması.....	81
6.3.3	Birleşik Değişkenler Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması	83
6.4	Singh Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması.....	84
6.4.1	GK1 İçin Singh Metodu.....	84
6.4.2	GK2 İçin Singh Metodu.....	86
6.4.3	GK3 İçin Singh Metodu.....	87
6.5	Arazi Çalışması II.....	88
6.5.1	Düşüm Değerleri ile Akifer Değerlendirmesi.....	88
6.6	Ana Kuyuda Theis Metoduyla Akifer Parametrelerinin Bulunması.....	91
6.6.1	GK1 İçin Çözüm.....	91
6.6.2	GK2 İçin Çözüm.....	92
6.6.3	GK3 İçin Çözüm.....	93
6.6.4	GK4 İçin Çözüm.....	94
6.6.5	GK5 İçin Çözüm.....	95
6.6.6	GK6 İçin Çözüm.....	96
6.7	Doğrusal Metotla Arazi Çalışması II'nin Parametrelerinin Elde Edilmesi.....	97
6.7.1	Zaman-Düşüm Metodu.....	97
6.7.2	Mesafe-Düşüm Metodu.....	99
6.7.3	Birleşik Değişkenler Metodu.....	100
6.8	Singh Metoduyla Çözüm.....	103
6.8.1	Singh Metoduyla GK1'in Parametrelerinin Bulunması.....	103
6.8.2	Singh Metoduyla GK2 ve GK3'ün Parametrelerinin Bulunması.....	104
6.8.3	Singh Metoduyla GK4, GK5 ve GK6'nın Parametrelerinin Bulunması.....	105
6.9	Şen Grafik Metoduyla Akifer Parametrelerinin Bulunması.....	106
6.10	Boulton Metoduyla Akifer Parametrelerinin Elde Edilmesi.....	109
6.10.1	Boulton Metoduyla GK1'in Parametrelerinin Bulunması.....	109
6.10.2	Boulton Metoduyla GK2'nin Parametrelerinin Bulunması.....	111
6.10.3	Boulton Metoduyla GK3'ün Parametrelerinin Bulunması.....	113
6.10.4	Boulton Metoduyla GK4'ün Parametrelerinin Bulunması.....	115
6.10.5	Boulton Metoduyla GK5'in Parametrelerinin Bulunması.....	117
6.10.6	Boulton Metoduyla GK6'nın Parametrelerinin Bulunması.....	119
7.	SONUÇLAR.....	121
	KAYNAKLAR.....	124
	EK.....	127
	ÖZGEÇMİŞ.....	129

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı [L^2]
b	Basınçlı akiferlerde geçirimsiz iki tabaka arasındaki mesafe [L]
c	Kozeny-Karman'ın malzeme katsayısı
d	Ortalama dane çapı [L]
d	Sızdırmalı tabaka kalınlığı [L]
d _c	Orifizden çıkan su jetinin minimum çapı [L]
g	Yerçekimi ivmesi [L^2 / T]
G	Birim alandaki toplam ağırlık [M]
h	Doymuş tabaka kalınlığı [L]
h	Düşüm konisinde su yüksekliği [L]
h _i	Su seviyesi ölçüm değeri [L]
h _s	Statik su seviyesi [L]
H	Düşümün olmadığı su yüksekliği [L]
H _a	Parshall savağı su yüksekliği [L]
i	Hidrolik eğim
k	Hidrolik iletkenlik [L / T]
k'	Sızdırmalı akiferlerde hidrolik iletkenlik [L / T]
n	Porozite
p	Hidrostatik basınç [M / L^2]
q	Birim alandan geçen debi [L^2 / T]
q	Yer altı suyu hızı [L / T]
Q	Debi [L^3 / T]
r	Radyal mesafe [L]
r _k	Kuyu cidarında ölçülen radyal mesafe [L]
r _w	Kuyunun çapı [L]
R	Düşümün olmadığı radyal mesafe [L]
s	Düşüm [L]
s _k	Kuyu cidarında ölçülen düşüm [L]
s _w	Kuyudaki düşüm [L]
s _*	Singh Metodu tepe noktası düşüm değeri [L]
S	Depolama katsayısı
S _y	Özgül verim
S _r	Özgül su tutma
S _E	Boulton yöntemi depolama katsayısı
S _L	Boulton yöntemi özgül verim
t	Zaman [T]
T	İletkenlik katsayısı [L^2 / T]
T _E	Erken zamanlı iletkenlik katsayısı [L^2 / T]
T _L	Geç zamanlı iletkenlik katsayısı [L^2 / T]
u	Boyutsuz zaman faktörü
u _*	Singh Metodu tepe noktası boyutsuz zaman faktörü
u _E	Erken zamanlı boyutsuz zaman faktörü
u _L	Geç zamanlı boyutsuz zaman faktörü
V _t	Toplam malzeme hacmi [L^3]
V _s	Malzeme katı dane hacmi [L^3]
V _v	Malzeme boşluk hacmi [L^3]
V _d	Çekilen su hacmi [L^3]
V _r	Kalan su hacmi [L^3]

V_a	Akiferin suyu alınmış kısmının hacmi [L^3]
V_w	Akiferden çekilen su hacmi [L^3]
V_D	Düşüm konisi hacmi [L^3]
w	Birim dikdörtgen kesitin genişliği [L]
w_m	Civa özgül ağırlığı [M / L^3]
w	Parshall savağı genişliği [L]
$W(u)$	Kuyu fonksiyonu
α	Bağıl hata
β	Drenaj faktörü
$1/\beta$	Boulton gecikme indeksi
γ_b	Bulk yoğunluğu [M / L^3]
κ	Permeabilite [L^2]
μ	Viskozite [$M T / L^2$]
λ	Sızdırma faktörü [L]
ρ_s	Katı özkütlesi [M / L^3]
ρ, ρ_w, γ_w	Su özkütlesi [M / L^3]
η	Düşey akım bileşeni
Δs_t	Zaman-düşüm doğrusal metotta doğru eğimi
Δs_r	Mesafe-düşüm doğrusal metotta doğru eğimi
$\Delta s_{(t/r)}$	Birleşik değişkenler doğrusal metotta doğru eğimi
∇	Laplace operatörü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Toplam ağırlık elemanları..... 7
Şekil 2.2	Birim alandaki toplam ağırlık..... 7
Şekil 2.3	Darcy deney düzeneği..... 12
Şekil 2.4	Birim hacimdeki hidrostatik basınç..... 14
Şekil 2.5	Basınçlı akifer..... 17
Şekil 2.6	Basıncsız akifer..... 18
Şekil 2.7	Sızdırmalı akifer..... 19
Şekil 2.8	Mercek akifer 21
Şekil 2.9	Gözenekli ortam..... 22
Şekil 2.10	Çatlaklı ortam..... 22
Şekil 2.11	Erime boşluklu ortam..... 23
Şekil 3.1	Gözlem kuyularının boy kesit ve planı..... 25
Şekil 3.2	Düşey akım piyezometreleri..... 26
Şekil 3.3	Küçük ve büyük çaplı kuyularda piyezometrik seviye..... 26
Şekil 3.4	Elektrik şerit ve hava yolu..... 29
Şekil 3.5	Cıva metre düzeneği..... 30
Şekil 3.6	Su metresi düzeneği..... 32
Şekil 3.7	Orifiz metre..... 33
Şekil 3.8	Yatay boru ve debi sonuç grafiği..... 34
Şekil 3.9	Düşey boru..... 34
Şekil 3.10	Parshall savağı ve diyagramı..... 36
Şekil 4.1	Dengeli akıma sahip basınçlı akifer..... 42
Şekil 5.1	İletkenlik sayılarının farklılığı durumunda düşüm konileri..... 46
Şekil 5.2	Depolama katsayılarının farklılığı durumunda düşüm konileri..... 47
Şekil 5.3	Sızma katsayılarının farklılığı durumunda düşüm konileri..... 47
Şekil 5.4	Marcyly karakteristik eğrileri..... 48
Şekil 5.5	Basınçlı akiferde dengesiz akım..... 49
Şekil 5.6	Theis Tip .Eğrisi..... 52
Şekil 5.7	Jacob'un yarı logaritmik kağıttaki doğrusal modeli..... 54
Şekil 5.8	Zaman-düşüm doğrusu..... 56
Şekil 5.9	Mesafe-düşüm doğrusu..... 57
Şekil 5.10	Yerçekimi drenajı ilk kademe..... 61
Şekil 5.11	Yerçekimi drenajı ikinci kademe..... 62
Şekil 5.12	Yerçekimi drenajı üçüncü kademe..... 62
Şekil 5.13	Boulton tip eğrileri..... 64
Şekil 5.14	Neuman düz çizgileri..... 67
Şekil 5.15	Radyal mesafelere karşılık gelen düşümler..... 69
Şekil 5.16	Şen grafik metodu..... 70
Şekil 6.1	GK1-GK2-GK3 için aritmetik kağıtta düşüm-zaman grafiği..... 74
Şekil 6.2	GK1 için Thies metodu uygulaması..... 75
Şekil 6.3	GK2 için Thies metodu uygulaması..... 76
Şekil 6.4	GK3 için Thies metodu uygulaması..... 77
Şekil 6.5	GK1 için zaman-düşüm doğrusal metodun uygulaması..... 78
Şekil 6.6	GK2 için zaman-düşüm doğrusal metodun uygulaması..... 79
Şekil 6.7	GK3 için zaman-düşüm doğrusal metodun uygulaması..... 80
Şekil 6.8	Gözlem kuyularında t_1 , t_2 , t_3 ve t_4 için mesafe-düşüm doğrusu..... 81
Şekil 6.9	Birleşik değişkenler metodu ile çözüm..... 83
Şekil 6.10	GK1 için Singh metodu uygulaması..... 84

Şekil 6.11	GK1 için zaman-düşüm doğrusu.....	85
Şekil 6.12	GK2 için Singh metodu uygulaması.....	86
Şekil 6.13	GK3 için Singh metodu uygulaması.....	87
Şekil 6.14	Arazi çalışması II’de ana kuyu ve gözlem kuyularının yerleşim planı.....	88
Şekil 6.15	Gözlem kuyularının aritmetik kağıtta tam zamanlı zaman-düşüm grafiği.....	89
Şekil 6.16	Gözlem kuyularının aritmetik kağıtta erken zamanlı zaman-düşüm grafiği....	89
Şekil 6.17	Gözlem kuyularının tam logaritmik kağıtta tam zamanlı zaman-düşüm grafiği	90
Şekil 6.18	GK1 için Theis metodu uygulaması.....	91
Şekil 6.19	GK2 için Theis metodu uygulaması.....	92
Şekil 6.20	GK3 için Theis metodu uygulaması.....	93
Şekil 6.21	GK4 için Theis metodu uygulaması.....	94
Şekil 6.22	GK5 için Theis metodu uygulaması.....	95
Şekil 6.23	GK6 için Theis metodu uygulaması.....	96
Şekil 6.24	GK1,GK2 ve GK3 için zaman-düşüm metodu uygulaması.....	97
Şekil 6.25	GK4,GK5 ve GK6 için zaman-düşüm metodu uygulaması.....	97
Şekil 6.26	Mesafe-düşüm metodu uygulaması($t_0 = 50$ dak).....	99
Şekil 6.27	GK1 ve GK2 için birleşik değişkenler metodu uygulaması.....	100
Şekil 6.28	GK3 ve GK4 için birleşik değişkenler metodu uygulaması.....	101
Şekil 6.29	GK5 ve GK6 için birleşik metotlar metodu uygulaması.....	102
Şekil 6.30	GK1 için Singh metodu uygulaması.....	103
Şekil 6.31	GK2 ve GK3 için Singh metodu uygulaması.....	104
Şekil 6.32	GK4,GK5 ve GK6 için Singh metodu uygulaması.....	105
Şekil 6.33	GK1-GK2 ve GK1-GK3 arasında Şen grafik metodu uygulaması.....	106
Şekil 6.34	GK1-GK4 ve GK1-GK5 arasında Şen grafik metodu uygulaması.....	107
Şekil 6.35	GK1-GK6 ve GK2-GK3 arasında Şen grafik metodu uygulaması.....	108
Şekil 6.36	GK1 için erken zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	109
Şekil 6.37	GK1 için geç zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	110
Şekil 6.38	GK2 için erken zamanlı $r/\beta=0.3$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	111
Şekil 6.39	GK2 için geç zamanlı $r/\beta=0.3$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	112
Şekil 6.40	GK3 için erken zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	113
Şekil 6.41	GK3 için geç zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	114
Şekil 6.42	GK4 için erken zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	115
Şekil 6.43	GK4 için geç zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	116
Şekil 6.44	GK5 için erken zamanlı $r/\beta=1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	117
Şekil 6.45	GK5 için geç zamanlı $r/\beta=1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	118
Şekil 6.46	GK6 için erken zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	119
Şekil 6.47	GK6 için geç zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması.....	120

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Çeşitli malzemelerin porozite değerleri.....	5
Çizelge 2.2	Özgül verim değerleri.....	6
Çizelge 2.3	Farklı zeminlerde permeabilite ve hidrolik iletkenlik değerleri.....	10
Çizelge 2.4	Hidrolik iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri.....	10
Çizelge 3.1	Düşey boru debi ölçümü.....	34
Çizelge 5.1	Theis tip eğrisi değerleri.....	53
Çizelge 5.2	Boyutsuz zaman faktörünün hata seviyeleri.....	55
Çizelge 5.3	Boulton tiğ eğrilerinin çiziminde kullanılan değerler.....	64
Çizelge 6.1	Gözlem Kuyuları zaman-düşüm verileri.....	73
Çizelge 6.2	Mesafe-düşüm metodu sonuç çizelgesi.....	83
Çizelge 7.1	Arazi çalışması I' nin iletim katsayısı sonuç tablosu.....	121
Çizelge 7.2	Arazi çalışması I' nin depolama katsayısı sonuç tablosu.....	121
Çizelge 7.3	Arazi çalışması II' nin iletim katsayısı sonuç tablosu.....	122
Çizelge 7.4	Arazi çalışması II' nin depolama katsayısı sonuç tablosu.....	123

ÖNSÖZ

Günlük hayatta suyun vazgeçilmez bir ihtiyaç olması, dünya nüfusunun sürekli artması, su kaynaklarında alternatiflere yönelime neden olmuştur. Yeraltı su kaynakları yerüstü su kaynaklarına göre daha fazla ve daha sağlıklıdır. Bu yüzden, en önemli su kaynaklarından olan yeraltı suyunun değerinin artması, yeraltı suyu ile ilgili yapılacak araştırmaların da önem kazanmasına neden olmaktadır.

Bu tezde yeraltı suyu kapasitesinin önemli kriterlerinden olan iletkenlik ve depolama katsayılarının tespit edilmesine yönelik yöntemler araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar kendi içinde karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın tamamlanması süresince, her türlü yardım ve desteğinden dolayı, tez yöneticisi Doç. Dr. Mehmet Emin BİRPINAR'a teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda fikir ve yardımlarını esirgemeyen Dr. Ş. Ayhan GAZİOĞLU'na teşekkür ederim.

Ağustos 2005

İnş. Müh. Mehmet Can CÖMERTPAY

ÖZET

Akifer parametrelerinin belirlenmesi ile o akiferin ne kadarlık bir ihtiyacı, ne kadar süre boyunca karşılayabileceğini tespit edebiliriz. Bu nedenle akiferin depolama ve iletim katsayısının tespiti için yöntemlerin geliştirilmesi önemli bir yeraltı suyu çalışmasıdır.

Bu çalışmada dengesiz akım durumunda akifer parametrelerinin bulunması ile ilgili yöntemler uygulanmıştır.

Bu çalışmanın birinci bölümünde konunun önemi, amacı, yöntemi ve içeriği hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde akiferin karakteristik özellikleri, yeraltı suyu akımının temel denklemleri, akifer tipleri ve bunlara ait hareket denklemleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde arazide gözlem kuyularının yerleştirilmesi ve arazi de yapılan gerekli olabilecek ölçümler hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde akiferin dengeli akım ve bu akım durumunda yapılan kabuller açıklanmıştır.

Akiferin dengesiz akım durumunda yapılan kabulleri, daha sonra bu akım şartlarında literatürde uygulanan yöntemler hakkındaki bilgiler beşinci bölümde verilmiştir.

Beşinci bölümde bahsedilen metotlar iki ayrı arazi çalışmasına uygulanmıştır, akiferlere ait depolama ve iletkenlik katsayıları altıncı bölümde elde edilmiştir.

Yedinci bölümde elde edilen sonuçlar tablolar halinde verilerek, akiferler hakkında çıkartılabilecek sonuçlar yazılmıştır.

Anahtar kelimeler: Dengesiz akım, depolama katsayısı, iletkenlik katsayısı, akifer.

ABSTRACT

If parameters of aquifer are estimated, it will be possible to determine how much requirement will be able to serve during how long. Therefore, improvement of the methods for determination of aquifer's parameters is very important working of groundwater.

This study have been explored the application of the methods of unsteady state flow condition.

In the first chapter, the goals, importance, methods and contents of this study have been explained.

In the second chapter, properties of aquifer's characteristics, underground water flow's basic equation, aquifer types and the motions of these have been given.

In the third chapter, location of the observation well of the site and the necessary measurements which have done in the ground have been given.

In the fourth chapter, aquifer's steady state flow condition and acceptance in this condition have been explained.

In the fifth chapter, acceptances of the aquifer under unsteady state flow and the knowledge about the applied methods of unsteady state flow have been given.

Mentioned methods in the fifth chapter have been applied on two different data of site in the sixth chapter.

In the final chapter, the results taken from applications of the methods have been presented in tabulated forms and also the estimated results about aquifer have been compared with each other.

Key words: Unsteady flow, storage coefficient (S), transmissivity coefficient (T), aquifer.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Bir toplumun ekonomik, sosyal ve endüstriyel gelişmelerini etkileyen temel maddelerden en önemlisi olan suyun, dünyada sınırlı miktarda bulunması, mevcut olan su kaynaklarından yararlanılabilmesi için bilimsel yöntemlerin uygulanmasını gerektirir.

Dünyada bulunan suyun %97 si tuzlu olduğundan içme ve tarım amaçları için kullanılamaz durumdadır. Geriye kalan %3'lük kısmı 35 milyon km³ tatlı sudur. Bu tatlı suyun birçoğu kutup bölgelerindeki buzullarda veya çok derin jeolojik tabakalarda, ulaşılması teknolojik olarak pahalı olan derinliklerde yeraltı suyu olarak bulunmaktadır. Su kaynakları arasında ayrıcalığı olan ve dünya çapında en zengin olanı yeraltı suyudur. Yeraltı suyu, mevcut tatlı su kaynaklarının yaklaşık 2/3'ünü oluşturmaktadır. Her yerde akarsu veya göl gibi yerüstü suları bulunmadığı için, yeraltı sularından yararlanma yoluna gidilmektedir. Yeraltı sularının gerekli derinliğe inildiği takdirde her yerde bulunması, yüzeysel kirlenmelere karşı korumalı olmaları, sıcaklıklarının yaz ve kış aylarında fazla değişmemesi gibi önemli özelliklere sahiptir. Bunun yanında değişik jeolojik kayaçlardan geçerken erittikleri mineraller sayesinde içimlerinin doğal olarak uygun olmasıdır. Yeraltı sularının buharlaşmadan korunmaları nedeniyle diğer su kaynaklarındaki kayıp miktarı kadar kayıp yoktur.

Gelişmekte olan ülkelerin sosyo-ekonomik büyümesini etkileyen önemli bir faktör olan su, diğer yandan da su kaynaklarını yani yeraltı suyunun önemini arttırmaktadır. Su kaynakları hakkında edilecek olan bilgilerin, bu kaynakları kullanma potansiyelini arttıracakı kesindir. Yeraltında bulunan suların yeryüzüne çıkartılması ile ilgili tüm çalışmalara yeraltı suyu mühendisliği denir. Ve yeraltı suyu özelliklerinin bilinmesi için yapılan testlere akifer testleri denir.

Yeraltı suyu özelliklerini kavramsal olarak ifade edersek eğer, depolama katsayısı, akifere ait iletkenlik katsayısı, hidrolik iletkenlik, düşüm ve özgül verim olarak yazabiliriz. Bu çalışmada da akiferin dengesiz akım durumunda sahip olduğu bu özelliklerin belirlenmesi ile ilgili metotlar incelenecektir.

1.2 Konunun Önemi

Akifer parametrelerinin belirlenmesi için yapılan akifer testleri pahalı, zaman alan ve kendi içinde spesifik güçlüklerle sahip olması, akifere ait özelliklerin bilinmesi ile kısmen de olsa bu bahsedilen dezavantajlar önemini yitirecektir. Böylelikle akifer parametrelerinin yeraltı suyu mühendisliğinin araştırmaları ile tespit edilmesi, o akiferin davranışı ve özellikleri hakkında bilgi sahibi olmak demektir. Davranışları ve özellikleri bilinen her şey gibi yeraltı suyunun da kullanımı kolaylık kazanacaktır. Akifer parametrelerinin elde edilmesi ve yöntemlerin geliştirilmesi yeraltı suyu mühendisliğine hız kazandıracaktır. Bununla beraber inşaat mühendisliğinde işi kolaylaştıracaktır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı dengesiz akım durumunda akifere ait depolama katsayısı (S) ve iletkenlik katsayısı (T)'nin farklı yöntemlerle elde edilmesidir. Bu parametrelerin tespiti için birçok yöntem bulunmaktadır, bu çalışmada mevcut olan yöntemlerin yanında, diğer yöntemlere göre zaman ve ekonomik açıdan daha uygun olan dengesiz akımlarda basınçlı akifer yöntemi olan Singh metodunu da içermektedir. Aynı zamanda Boulton metodu ile sınırlandırılmış Theis eğrileri arasındaki farklı β faktörleri ile arazi çalışmaları incelenecektir. Yapılan bu farklı araştırmalarla T ve S faktörlerinin doğrulukları araştırılacaktır.

1.4 Çalışmanın Yöntemi ve İçeriği

Öncelikle akifer parametrelerinin belirlenebilmesi için arazi de açılan gözlem kuyularındaki düşümler zamana bağlı olarak tespit edilir. Elde edilen bu verilerle, anlatılan yöntemlerin doğrultusunda T ve S katsayıları belirlenir. Çalışmanın içeriğinden bölüm başlıkları altında bahsedersek eğer;

Bölüm 2’de akiferin karakteristik özellikleri, yeraltı suyu akımının temel denklemleri, akifer tipleri ve bunlara ait hareket denklemleri anlatılmıştır.

Bölüm 3’te gözlem kuyuları ve ana kuyunun bir bölgede hangi kriterler göre seçildiği, arazi de yapılan düşüm ve debi ölçüm yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4'te dengeli akım durumunda yapılan kabuller ve dengesiz akım denklemleri açıklanmıştır.

Bölüm 5'te dengesiz akım durumunda yapılan kabuller, bu akım durumunda parametreler ve değişkenler anlatıldıktan sonra, yöntemlere teorik zemin olarak dengesiz akım durumuna ait denklemler belirtilmiştir. Bununla beraber basınçlı ve basınçsız akım durumunda dengesiz akım parametrelerinin elde edilmesinde kullanılacak olan yöntemlerden bahsedilmiştir.

Bölüm 6'da bahsedilen metotlar iki ayrı arazi çalışmasına uygulanmıştır. Öncelikle arazi çalışmalarından elde edilen zaman-düşüm verileri aritmetik kâğıtta ve tam logaritmik kâğıda işlenerek akiferlerle ilgili ön bilgi edinilmiştir. Grafikte oluşan eğrilerin geç zamanlı düşümlerde davranışına göre akiferin basınçlı veya basınçsız olduğu hakkında bilgi edindikten sonra bir önceki bölümde bahsedilen yöntemlerden uygun olanları uygulanarak T ve S katsayıları elde edilmiştir.

Bölüm 7'de bulunan T ve S değerlerine göre akiferin özellikleri hakkında sonuçlar anlatılmıştır. Aynı zamanda yöntemlerin geçerlilikleri, diğer yöntemlerle karşılaştırılarak araştırılmıştır.

2. AKİFERLER

2.1 Genel

Yeraltı suyu, yer kabuğunun yapısını teşkil eden ve geçirgen özellikteki jeolojik formasyonlar içerisinde bulunur. Yeraltı suyu taşıyan bu tabakalara akifer denir.

Akifer su anlamına gelen "Aqua" ve taşıyan anlamına gelen "Ferre" kelimelerinin birleşmesinden meydana gelir. Akiferler, alt ve üst kısımlar geçirgen veya geçirimsiz tabakalardan oluşan ve yar altı sularını taşıyan tabakalardır. Akiferler bu tabakaların durumuna göre isim alırlar. En çok bilinen ve üzerinde çalışma yapılan üç çeşit akifer tipi vardır. Bunlardan, alt ve üst kısımları tamamen geçirimsiz tabakalardan meydana gelen akiferlere basınçlı akifer denir. Yeraltı suyunun üst yüzeyi hava ile temas halinde ise buna basınçsız akifer denir. Üçüncü bir halde ise, alt ve üst tabakalardan en az birinde sızma vardır ve buna sızdırmalı akifer denir.

Akifer parametrelerinin elde dileceği yeraltı suyu problemleri, bu parametreler ile ilgili sayısal bilgi veren kuyu hidroliği ile yeraltı suyunun dengeli ve dengesiz akım durumunda bulunduğu haller olarak ayrı ayrı incelenmektedir.

Bir kuyudan sabit debi ile su çekildiğinde kuyudaki düşüm hemen sabit hale gelmez, zaman dilimi içindeki miktarı azalarak gittikçe artar. Su taşıyan tabakada alınan debiyi karşılayacak kaynak mevcut ise bir süre sonra kuyudaki düşüm sabit hale gelir. Düşümdeki sabit olunan ana kadar ki süre içinde kuyuya gelen akıma "Dengesiz Akım" , düşümün sabit hale gelmesinden sonra ki kuyuya gelen akıma "Dengeli Akım" denir.

2.2 Akifer Özellikleri

Bu araştırmada akifer ile ilgili bazı temel fiziksel parametrelerin açıklanması önemlidir. Elde edeceğimiz sonuçların sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi bu boyut ve zamana bağlı olan fonksiyonların anlaşılması ile mümkündür.

2.2.1 Porozite

Porozite matematiksel olarak malzemenin boşluk hacminin, tüm hacme oranıdır. Hidrojeolojide akışkanın geçeceği ortamın boşluk yüzdesi olarak tanımlanır.

$$n = \frac{V_t - V_s}{V_t} 100 \quad (2.1)$$

$$n = \frac{V_v}{V_t} 100 \quad (2.2)$$

Burada, V_t toplam malzeme hacmi, V_s malzeme katı dane hacmi, V_v boşluk hacmidir. Porozite değeri malzemeye göre %0 ile %100 arasında değişir. Porozite tanımlanmasındaki boşluk hacmi, daneler ve çatlaklar arasındaki boşluk olmak üzere iki tip olabilir. Bu yüzden aynı ortam içerisindeki daneler ve çatlaklar arasındaki boşluk olarak da tanımlayabiliriz. Çeşitli malzemelerin porozite değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Çeşitli malzemelerin porozite değerleri

Malzeme	Porozite(%)
Karışık kum ve çakıl	20-35
Buzul Döküntüleri	10-20
Silt	35-50
Kil	33-60
Limous	35-50
Argiles	45-50
Marn	47-50
Kireçtaşı	0.5-17
Calcaireoolitik	3-20
Mermer	0.1-0.2
Şist	1-10
Gre	4-26
Dolomit	3-5
Granit	0.02-15
Alçıtaşı	3-4
Bazalt	0.1-12

2.2.2 Özgöl Verim ve Özgöl Su Tutma

Bir malzemenin porozitesi onun su tutma kapasitesinin ölçüsüdür. Fakat kaynaklar vasıtasıyla suyun tümü alınamaz. Nedeni ise suyun bir miktarının moleküler çekim kuvvetleri etkisi ile boşlukların yüzeylerinde tutunmasıdır. İşte zeminden alınabilen su hacminin, toplam doymuş zemin hacmine oranı değerine özgöl verim denir ve S_y olarak tanımlanabilir. Zeminin boşluklu yüzeyinde tutulan su hacminin, toplam hacme oranına da özgöl su tutma, S_r , denir. Porozite aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$n = S_y + S_r \quad (2.3)$$

Malzeme tiplerine göre özgöl verim değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2.2 Özgöl verim değerleri

Malzeme	Özgöl Verim (%)
Kil	5
İnce kum	10-20
Orta kum	20-25
Kalın kum	15-30
Çakıllı kum	16-28
İnce çakıl	15-25
Orta çakıl	14-24

Özgöl verim, kullanılabilir su miktarını, özgöl su tutma da zeminde kalan su miktarını tespit etmemize yardımcı olur. Özgöl verim,

$$S_y = \frac{V_d}{V_t} \quad (2.4)$$

özgül su tutma,

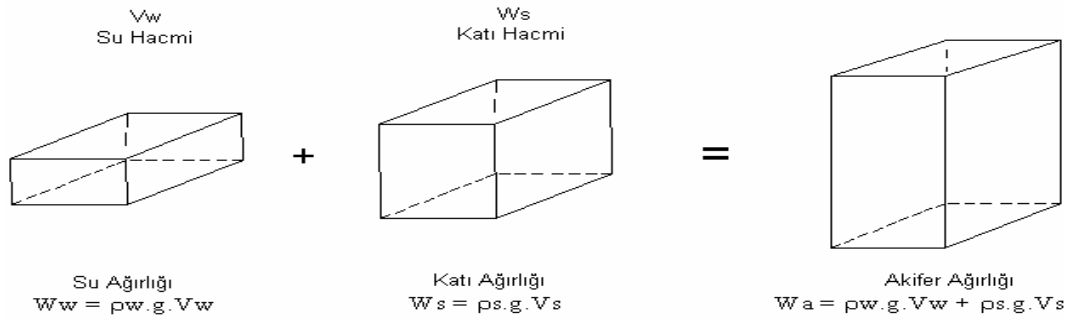
$$S_r = \frac{V_r}{V_t} \quad (2.5)$$

dır. V_d çekilen su hacmini, V_r kalan su hacmidir.

2.2.3 Depolama ve Özgül Depolama Katsayısı

Durgun haldeki yeraltı suyuna etki eden iki kuvvet vardır; yerçekimi ve hidrostatik basınç. Yerçekimi kuvveti, akiferdeki katı kısmın ve belirli bir yatay alandaki su miktarının ağırlıkları toplamıdır. Toplam ağırlığı, katı ve su ağırlığının toplamıdır.

Bu ağırlık $\gamma_b \cdot V_t$ olarak ifade edilir. Burada

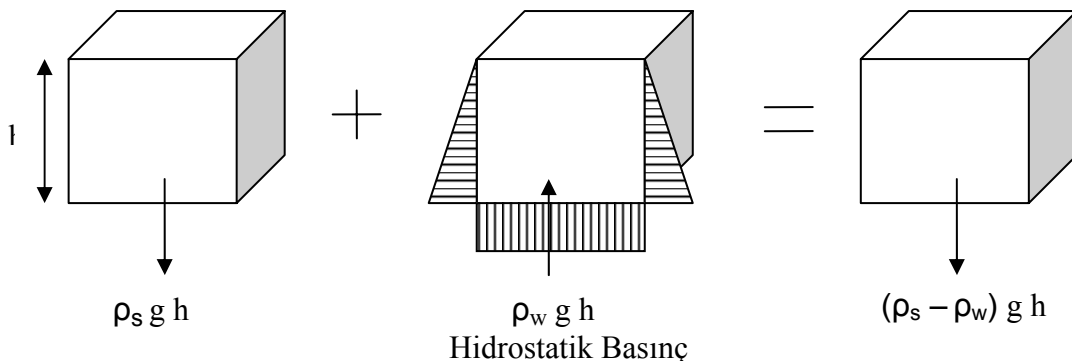


Şekil 2.1 Toplam ağırlık elemanları

bulk yoğunluğu, V_t ise hacim olarak ifade edilir. Birim alandaki toplam ağırlığı,

$$G = \gamma_b g h \quad (2.6)$$

olarak ifade edilir. Burada h , birim alandaki doymuş tabaka kalınlığıdır. Denklem (2.6) için h tek değişkendir, bu yüzden h değerinin artması yerçekimi kuvvetinin de artması anlamına gelecektir. Derinlerde bulunan zemin grupları bu nedenle sıkışmış durumdadırlar. Maksimum sıkışma miktarı malzeme boşluğunun su ile dolmaması durumunda oluşur.



Şekil 2.2 Birim alandaki toplam ağırlık

Suyun hidrostatik basıncı p ,

$$p = \gamma_w gh \quad (2.7)$$

şeklindedir. Burada γ_w , suyun özgül ağırlığıdır. Tabana etkiyen net basınç;

$$p' = (\gamma_b - \gamma_w) gh \quad (2.8)$$

olur. γ_b ve γ_w değerleri sabit olduğundan basıncın artışı, h değeri ile değişir.

$$dp' = (\gamma_b - \gamma_w) dh \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir.

Sonuç olarak katı kısım ve su belli bir yere kadar sıkıştırılabilir. Yukarıdaki denklemde basınçtaki değişimin hidrolik yükseklikteki basınçla doğru orantılı olduğu görülür. Bu ifadeyi yorumlarsak eğer $\gamma_b > \gamma_w$ olduğundan yerçekimi kuvveti, hidrostatik basınç kuvvetinden büyük olacaktır. Basınç yukarıya doğru çalışır ve yerçekimi kuvvetine karşı kuvvetle birlikte malzemenin sıkışmasına neden olur. Sonuçta depolama kapasitesi efektif basınca bağlıdır.

Basıncsız durumda porozite herhangi bir rezervuarın su hacminin belirlenmesine yardımcı olur. Özgül verim ise çekilebilecek su hacminin belirlenmesi açısından önemlidir. Özgül verim ifadesi basınçlı akiferler için geçerli değildir. Akifer serbest yüzlü olduğunda suyun hareketine etki eden kuvvet yerçekimi kuvvetidir. Basınçlı akiferlerde, suyun hareketi basınç altındaki akifer malzemesinden ve suyun genleşmesine bağlı olarak meydana gelmektedir. Depolama katsayısının belirlenmesi akiferin basınçlı olup olmadığı hakkında fikir verir. Eğer depolama katsayısı $0.1 < S < 0.3$ ise akiferin serbest yüzlü akifer, eğer $10^{-6} < S < 10^{-2}$ ise akiferin basınçlı akifer olduğu yapılan çalışmalardan tespit edilmiştir. Depolama katsayısı basınçsız akiferlerde özgül verime eşit kabul edilir.

$$S = \frac{V_a}{V_w} \quad (2.10)$$

V_a , akiferin suyu alınmış kısmının hacmi, V_w , akiferden çekilen su hacmidir.

Depolamanın tanımındaki esas nokta, depolamanın akiferin tüm doymuş kalınlığı boyunca olmasıdır. Depolamanın (S), doymuş tabaka kalınlığı oranına (b) oranı birim depolama oranını (S_s) alır.

$$S_s = \frac{S}{b} \quad (2.11)$$

Fiziksel olarak birim depolama, birim hacimli bir doymuş tabakada danelerin ve suyun sıkışmasından dolayı ortaya çıkan su miktarına denir.

2.2.4 Permeabilite (Geçirgenlik) ve Hidrolik İletkenlik

Kütlelerin suları geçirme niteliğine o kütlenin "geçirimsiliği" anlamında hidrolik iletkenlik denir. Kütlelerin suları tutması akifer türlerine, geçirimsiliği de permeabilite özelliklerine bağlıdır. Permeabilitenin hidrolik iletkenlikle bağıntısı aşağıda verilmiştir.

$$k = \kappa \frac{\rho g}{\mu} \quad (2.12)$$

κ permabilite değeri, malzemenin gözeneklerinde bulunan boşlukların özelliklerine bağlı olarak değişir. Burada k hidrolik iletkenlik değeri ρ (suyun özkütlesi) ve μ (viskozite) değerlerine bağlıdır.

Kış ve yaz aylarındaki sıcaklık farkının çok olduğu yerlerde, viskozite sebebiyle sıcaklıkta bu değeri etkilediğinden dolayı yeraltı suyu pompaj debilerinde mevsimlere göre farklılıklar oluşacaktır. Bu ifade ile ilgili en tanınmış denklem Kozeny-Karman eşitliğidir.

$$\kappa = cd^2 \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (2.13)$$

n zeminin porozitesi, d ortalama dane çapı, c ise malzeme ile ilgili bir katsayıdır.

Çizelge 2.3 Farklı zeminlerde permeabilite ve hidrolik iletkenlik değerleri

Zemin Cinsi	κ (m ²)	k (m/sn)
Kil	10^{-17} - 10^{-15}	10^{-10} - 10^{-8}
Silt	10^{-15} - 10^{-13}	10^{-8} - 10^{-6}
Kum	10^{-12} - 10^{-10}	10^{-5} - 10^{-3}
Çakıl	10^{-9} - 10^{-8}	10^{-2} - 10^{-1}

Danelerin belirli bir hidrolik eğim altında suyu iletebilme kabiliyetine hidrolik iletkenlik denir. Bu özellik ise yeraltı suyu hızına bağlıdır. Aynı zamanda danelerin boşlukları ve kayaların çatlak boyutlarına da bağlıdır. Boşluk ve çatlaklar büyüdükçe suyun hareketi kolaylaşır, dolayısıyla artar. Bazı malzemelerin ve akiferlerin, hidrolik iletkenlik ve depolama katsayıları değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.4 Hidrolik iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri

Rezervuar	Malzeme	Hidrolik iletkenlik k (m/gün)	Depolama Katsayısı S
Serbest yüzlü akifer	İnce çakıl	60	0.10
	Kaba çakıl	20	0.10-0.30
	İnce kum	10	0.30-0.35
Basınçlı akifer	Gözenekli	-	10^{-3} - 10^{-6}
Akitard	Kum ve Silt	2	>1
Akiklud	Kil	$<10^{-3}$	-

2.2.5 İletkenlik

İletkenlik değeri, akiferin suyu iletme özelliği olarak bilinir. Tüm doymuş akifer kalınlığı boyunca birim genişlikteki kesit alanından, birim hidrolik eğimde geçen akıma iletkenlik denir. Aynı zamanda akifer kalınlığı ile hidrolik iletkenliğin çarpımı olarak da tanımlanmıştır. Bu tanımlardan da anlaşılacağı üzere akifer malzemesinin değişkenlerinin hidrolik iletkenlik ve doymuş tabaka kalınlığı olduğu görülür. Herhangi bir A kesitinden geçen debi;

$$Q = A \cdot q \quad (2.14)$$

ile ifade edilir.

Burada q birim alandan geçen debiyi, A da kesit alanını ifade etmektedir. Yeraltı suyu akımı lineer rejimde laminar akımda Darcy kanununa göre $q = k.i$ olur. Debi ise;

$$Q = A k i \quad (2.15)$$

olur. Burada i , hidrolik eğimi k ise hidrolik iletkenliği göstermektedir. Yukarıda görünen denklemi " w " ve " b " boyutlarındaki bir dikdörtgen için yazacak olursak denklem,

$$Q = w b k i \quad (2.16)$$

halini alır. İletkenlik (T) değerinin akifer kalınlığı ile hidrolik iletkenlik olarak ifade edildiğini belirtmiştik. $T = b k$ olacağına göre denklemin son ifadesi;

$$T = \frac{Q}{wi} \quad (2.17)$$

olur. Bu ifade üniform şekilli ve tam doymuş lineer akım şartlarındaki akiferlerde geçerlidir. İletkenlik değeri akifer cinsine göre değişiklik gösterir. Akiferlerin iletkenliği genel olarak $10^{-1} \sim 10^2$ m²/sn arasında değişmektedir. İletkenlik değerinin $T < 10^{-1}$ m²/sn olması durumunda, o akiferin yetersiz olduğu anlaşılır. $T > 10^2$ m²/sn olması durumunda akiferden endüstri veya şehir suyu ihtiyacında yararlanmakta mümkündür.

2.2.6 Homojenlik ve İzotropluk

Akiferlerin iletim özellikleri, bulundukları jeolojik malzemenin hidrolik iletkenliğine bağlıdır. Bu değer akiferin düşey eksen boyunca değişmiyorsa bu durumda akifer homojendir. Diğer durumlarda akifer heterojendir. Ölçülen hidrolik iletkenlik değeri yatay olarak, farklı yönlerde değişim göstermiyorsa bu durumda akifer izotropdur denir. Eğer bu durumun tersi görünüyorsa ise anizotropdur denir.

2.2.7 Düşüm Konisi

Herhangi bir akiferde pompaj başlamasından sonra kuyuya yakın bölgedeki basınçta bir düşüm ve basınç düşmesi sonunda kuyuya doğru radyal olarak hidrolik eğimde bir artış oluşur. Bu artış ile birlikte akiferdeki su kuyuya doğru hareket eder ve su seviyesi düşmeye başlar. Tabanı statik su seviyesi veya piyezometrik yüzey olan ve tepe noktası kuyudaki su

seviyesini gösteren ters koni şeklinde bir hacim oluşur. Bu hacme "düşüm konisi" denir. Bu koninin etkilediği alana "etki alanı" koninin tabanının yarıçapına "etki yarıçapı" denir. Aynı zamanda düşüm konisi alanı içinde, herhangi bir zamanda (t) ve kuyu merkezinden radyal uzaklıktaki noktadan (r) bir noktadaki statik su seviyesinden düşey olarak ölçülen mesafeye "düşüm" (s) denir.

Bu ifadenin önemi; düşün konisinin belirlenmesi durumunda akiferin, serbest yüzlü, basınçlı veya sızdırmalı olup olmadığının anlaşılması ile, iletkenlik (T), depolama katsayısı (S) ve sızdırma faktörünün bulunmasına yardımcı olmasıdır.

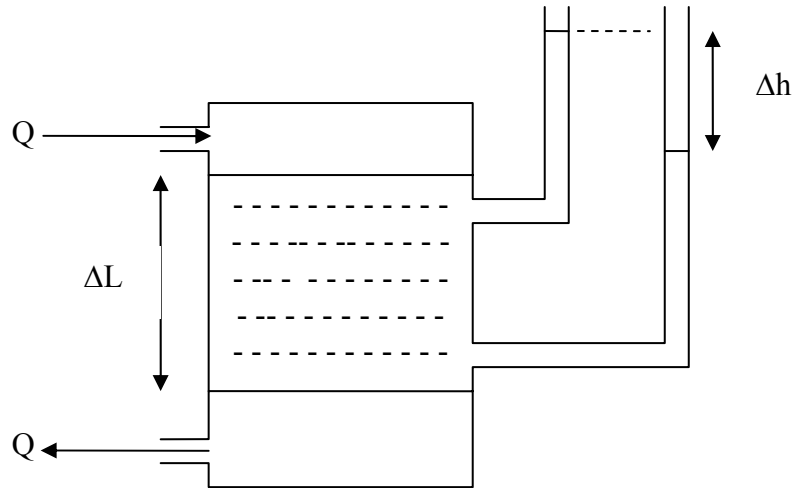
2.2.8 Gecikmiş Verim

Bu ifadenin diğer tanımının akiferin tepkisi olmasının nedeni, pompaj işlemi başladıktan sonra bir süre boyunca kuyuda depolanmış olarak bulunan suyun çekilmesi ile, akiferin kuyuya doğru tepki vermesidir. Bunun sonucu olarak, akiferdeki düşüm zamana bağlı olarak artmaya başlar. Yerçekiminin de etkisi ile düşümdeki azalmanın yükselmesi artmaz. İşte düşüm konisi içerisinde gerçekleşen bu olaya "gecikmiş verim" denir.

2.3 Yeraltı Suyu Akımının Temel Denklemleri

2.3.1 Darcy Kanunu

Şekil 2.3'te gösterilen deney düzeneği 1856 yılında Darcy tarafından, doygun ortamlardaki yeraltı suyu hızını ve akışını incelemek amacı ile kuruldu.



Şekil 2.3 Darcy deney düzeneği

Akifer ortam materyalinin homojen ve izotrop olduğunu kabullenerek akış doğrultusuna dik olarak geçen toplam yeraltı suyu debisinin, iki kesit arasındaki hidrolik eğimle doğru orantılı olduğu deneysel olarak tespit edilmiştir. Tarif olarak akımın hızı, debinin en kesit alanına bölümü olarak bulunur. Darcy deneysel olarak, aşağıdaki ifadeyi elde etmiştir.

$$Q = k A \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (2.18)$$

k burada hidrolik iletkenlik, diğer bir ifade ile numunenin geçirgenliliği gösteren bir sabittir. Bu ifadenin her iki tarafının A kesit alanına bölünmesi ve $i = \Delta h / \Delta L$ ve $q = Q / A$ bilgisi ile

$$q = k i \quad (2.19)$$

elde edilebilir. Ve deney düzeneğindeki h yükseklik farkını da ifade edecek olursak

$$q = k \frac{h_2 - h_1}{\Delta L} \quad (2.20)$$

halini alır. $h_2 - h_1$ değerleri belirli bir referans noktasından itibaren ölçülen yük değerini verir. ΔL de bu noktalar arasındaki yatay mesafedir. Darcy kanunu durağan ve durağan olmayan yeraltı suyu akımları için sırayla,

$$q = k \frac{dh}{dL} \quad (2.21)$$

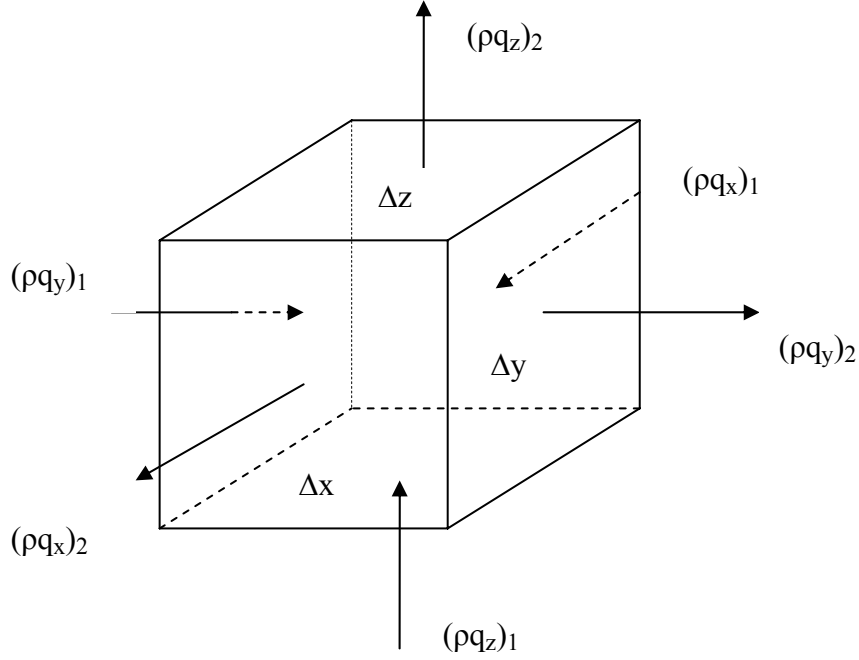
$$q = k \frac{\partial h}{\partial L} \quad (2.22)$$

şeklinde yazılabilir. dh/dL ifadesi hidrolik yükün sadece mesafe ile değiştiğini gösterir. Dengesiz akımlarda hidrolik yükün bir diğer değişkeni de zamandır.

2.3.2 Süreklilik Denklemi

Yeraltı suyu hareketinin incelenmesinde, yeraltı su seviyesini 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.



Şekil 2.4 Birim hacimdeki hidrostatik basınç

Yukarıda görünen kontrol hacmin sol yüzeyinden birim zamanda giren su kütlesi; $[(\rho q_y)_1 \Delta x \Delta z]$ şeklindedir. Diğer yüzeyler de dikkate alınacak olursa net değişim şu şekilde yazılabilir.

$$[(\rho q_x)_2 - (\rho q_x)_1] \Delta z \Delta y + [(\rho q_y)_2 - (\rho q_y)_1] \Delta z \Delta x + [(\rho q_z)_2 - (\rho q_z)_1] \Delta x \Delta y$$

Kütle korunumu prensibine göre bu değişim miktarının sıfıra eşit olması gerekir. Bu ifadeyi $\Delta x \Delta y \Delta z$ çarpımına bölersek eğer

$$\rho \frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \rho \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \rho \frac{\partial(q_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.23)$$

ifadesini elde ederiz. Bu denklem dengeli akım halinde kütlenin korunumu eşitliğidir. Birçok durumda ρ özkütle değerindeki değişim dikkate alınmamaktadır. Son denklemi ρ değeri sabit alınarak tekrar yazacak olursak dengeli akım durumunda süreklilik denklemi olarak adlandırılan denklemi elde etmiş oluruz.

$$\frac{\partial(q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(q_z)}{\partial z} = 0 \quad (2.24)$$

Darcy kanunu ile elde edilen 2.21 Denklem'inin Denklem (2.24)'te yerine yazılması ile;

$$\frac{\partial \left(k \frac{\partial h}{\partial L} \right)_x}{\partial x} + \frac{\partial \left(k \frac{\partial h}{\partial L} \right)_y}{\partial y} + \frac{\partial \left(k \frac{\partial h}{\partial L} \right)_z}{\partial z} = 0 \quad (2.25)$$

elde edilir. Eğer h değeri sabit olduğu düşünülürse, bu durumda homojen boşluklu bir ortam göz önüne alınmış olur. Ve ifade Laplace eşitliği olarak bilinen

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (2.26)$$

Bu ifadeyi de son olarak Laplace operatörü (∇) ile

$$\nabla^2 h = 0 \quad (2.27)$$

şeklinde yazabiliriz.

2.4 Akifer Tipleri

Suyun yeraltında doğal olarak depolanabilmesi için yer yüzeyine kadar uzanan gözenekli, çatlaklı ve erime boşluklu (karstik) jeolojik kayaçların bulunması gereklidir. Dünyanın her yerinde bu tür jeolojik yapılaşmaya rastlanır. Bu tür gözenekli jeolojik yapıların alt

taraflarında sızan suların çok derinlere gitmesini engelleyecek geçirimsiz jeolojik yapılarında bulunması mümkündür. Jeolojik tabakaların sayısı, tipi ve alansal genişliği önemli jeolojik faktörler olarak değerlendirilmelidir. Hidrolojik faktörler olarak ise, dolaylı ve dolaysız besleme faktörü önemlidir. Yeraltı suyu basıncı atmosfer basıncına eşit veya büyük olabilir. Akifer sınıflandırmalarında bu üç faktör göz önünde bulundurulabilir. Akifer tiplerini serbest yüzlü (basınçsız), basınçlı, sızdırmalı ve asılı olarak dört grupta toplayabiliriz. Doğada en çok rastlanan akifer tipleri bu saydıklarımızdan ilk üçüdür.

2.4.1 Basınçlı Akiferler

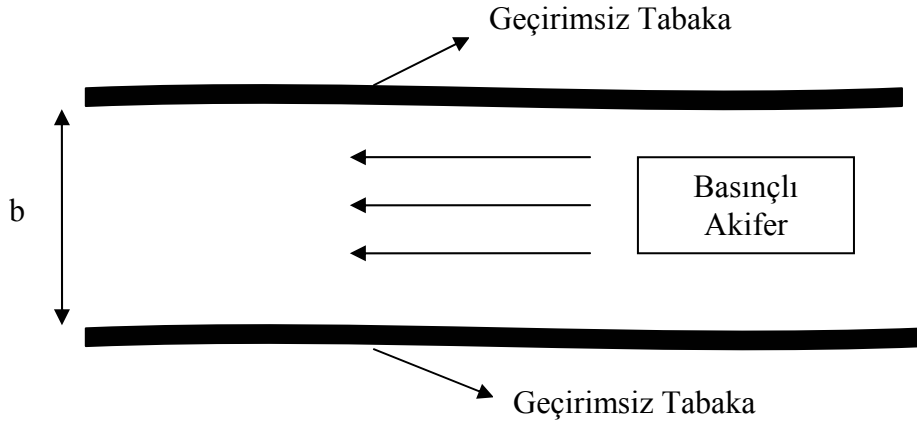
Jeolojik açıdan bir akiferin basınçlı olabilmesi için iki geçirimsiz tabakanın arasında geçirimli bir tabakanın (akifer) bulunması gerekir. Üstteki geçirimsiz tabakanın üzerinde yeryüzüne kadar uzanan geçirimsiz tabaka bulunabilir. Hidrolojik açıdan bir akiferin basınçlı olabilmesi için iki geçirimsiz tabakanın arasındaki geçirimli tabakanın tüm boşluklarının sadece su ile dolu olması yeterli değildir. Bu boşluklarda bulunan suyun aynı zamanda bir basınç altında bulunması gereklidir. Basınçlı akiferlerde alt veya üst kısımdan herhangi bir akış söz konusu olmadığından, dik düzlemde akım yoktur denilebilir. Yani h su yükünün z parametresinden bağımsız olduğu söylenebilir ve

$$h = h (x , y)$$

şeklinde tanımlanabilir. Darcy kanunundan elde edilen birim debi ifadesi yazılacak olursa

$$q_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2.28)$$

$$q_y = -k \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2.29)$$



Şekil 2.5 Basınçlı akifer

olur. Eğer akifer sıkışamaz ise, Δx , Δy ve b boyutlarındaki kontrol kesitine giren ve çıkan değerlerin eşit olduğu düşünülerek süreklilik denklemi

$$\frac{\partial(bq_x)}{\partial x} + \frac{\partial(bq_y)}{\partial y} = 0 \quad (2.30)$$

şeklinde yazılabilir. Daha önce ifade ettiğimiz q_x ve q_y ifadeleri yerine konursa

$$\frac{\partial\left(bk \frac{dh}{dx}\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(bk \frac{dh}{dy}\right)}{\partial y} = 0 \quad (2.31)$$

eşitliği elde edilir. Burada $(k.b)$ değerini b kalınlığındaki akiferin iletkenliği olarak tanımlayıp T ile gösterirsek;

$$\frac{\partial\left(T \frac{dh}{dx}\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(T \frac{dh}{dy}\right)}{\partial y} = 0 \quad (2.32)$$

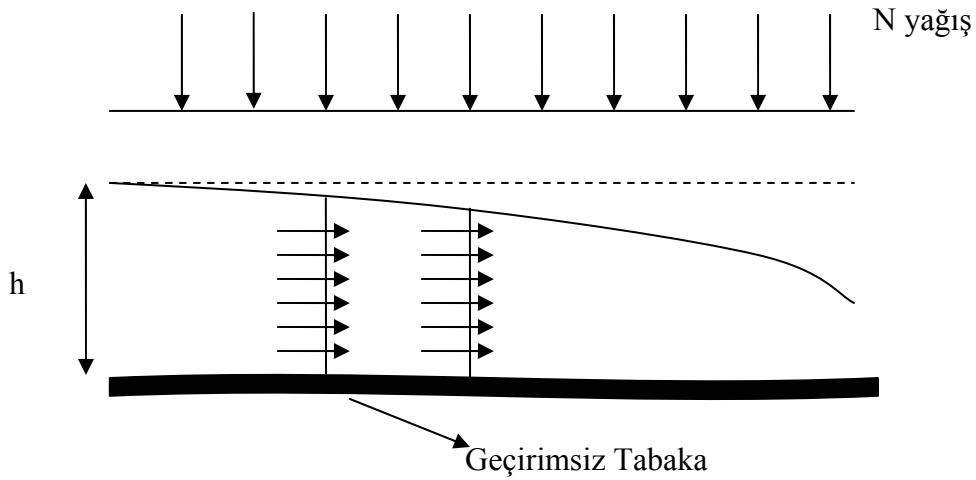
olur. Buradaki T iletkenliğinin bir sabit olduğu düşünülürse

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (2.33)$$

Laplace denkleminde dönüşür.

2.4.2 Basınçsız Akiferler

Bir akiferin basınçsız olarak nitelendirilmesinin sebebi yeraltı suyu tablası üzerindeki basıncın atmosfer basıncına eşit olmasıdır. Serbest yüzeyli akifer denilmesinin bir başka nedeni ise yüzey sularının sızması sonunda doğrudan doğruya yeraltı suyu tablasına intikal etmesidir. Bahsedilen düşey akımlardan dolayı düşey elemanların ihmal edilememesi sorunu oluşmaktadır. Yeraltı suyu akımının kuyuya doğru yaklaşırken doygun akifer kalınlığının düşmesi ve buna bağlı olarak iletkenliğin azalması sonucu serbest yüzlü akiferin analitik izahı güçtür. Aynı zamanda akım çizgileri birbirine paralel değildir. Bu yüzden basınçsız akiferlerdeki problemler teorik olarak kesinlik göstermezler.



Şekil 2.6 Basınçsız akifer

Dupuit – Forchheimer yaklaşımları sayesinde küçük hata limitleri ile problemin çözümleri için iyi yaklaşım elde edilir. Darcy kanunundan x ve y yönündeki birim debi elemanları daha önce verilmiştir. Serbest yüzlü akifer durumunda N akım değeri de hesaba katılırsa süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial(hq_x)}{\partial x} + \frac{\partial(hq_y)}{\partial y} - N = 0 \quad (2.34)$$

halini alır. $q_x = k \partial h / \partial x$ ve buna benzer olarak q_y ifadeleri yerlerine konulursa ;

$$\frac{\partial \left(hk \frac{dh}{dx} \right)}{\partial x} + \frac{\partial \left(hk \frac{dh}{dy} \right)}{\partial y} - N = 0 \quad (2.35)$$

Diferansiyel denklemlerden $h \frac{dh}{dx} = \frac{1}{2} \frac{dh^2}{dx}$ eşitliğinden yararlanacak olursak denklem;

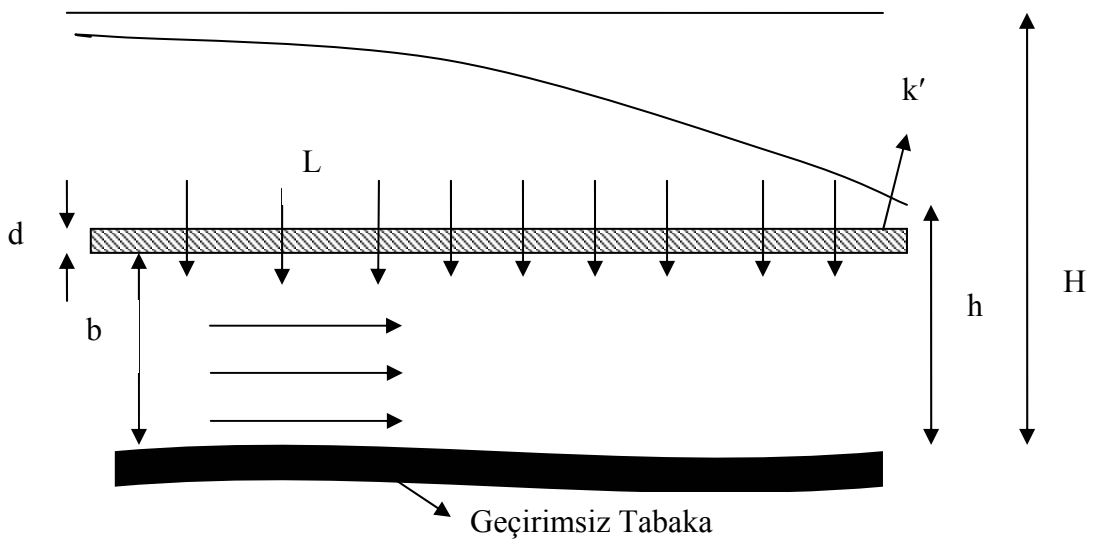
$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} + \frac{2N}{k} = 0 \quad (2.36)$$

halini alır. $N = 0$ durumu için

$$\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} = 0 \quad (2.37)$$

Eşitliğini elde ederiz ve bu ifade h^2 değişkenine göre lineerdir.

2.4.3 Sızdırmalı Akiferler



Şekil 2.7 Sızdırmalı akifer

Şekil 2.7’de görüldüğü gibi, akiferin üst kısmı boyunca az miktarda su sızdırarak akiferdeki debi miktarının artmasını sağlayan bir veya birden fazla düşük permeabiliteli tabakalarla sınırlı su taşıyan tabakalardır. Düşey akımın az olmasından dolayı akımın yatay olduğu kabul edilir.

Darcy kanunundan elde edilen bağıntı yardımı ile,

$$q_x b = -T \frac{\partial h}{\partial x} \quad (2.38)$$

$$q_y b = -T \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2.39)$$

eşitliklerini yazabiliriz. Sızdırma miktarını da hesaba katarsak eğer denklem,

$$\frac{\partial(bq_x)}{\partial x} + \frac{\partial(bq_y)}{\partial y} = L \quad (2.40)$$

Şeklini alır. Burada L ifadesi debi cinsinden ifade edilen sızmadır. Sızma d kalınlığı ve k’ hidrolik iletkenliğine sahipse, akifere gelecek düşey akım;

$$L = k' \frac{H - h}{d} \quad (2.41)$$

olur. H değeri burada ilk statik su yüksekliğidir. (d / k’) ifadesini c ile tanımlarsak Denklem (2.38) ve (2.39), Denklem (2.40)’ta yerlerine konulursa,

$$\frac{\partial\left(T \frac{dh}{dx}\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(T \frac{dh}{dy}\right)}{\partial y} - \frac{h - H}{c} = 0 \quad (2.42)$$

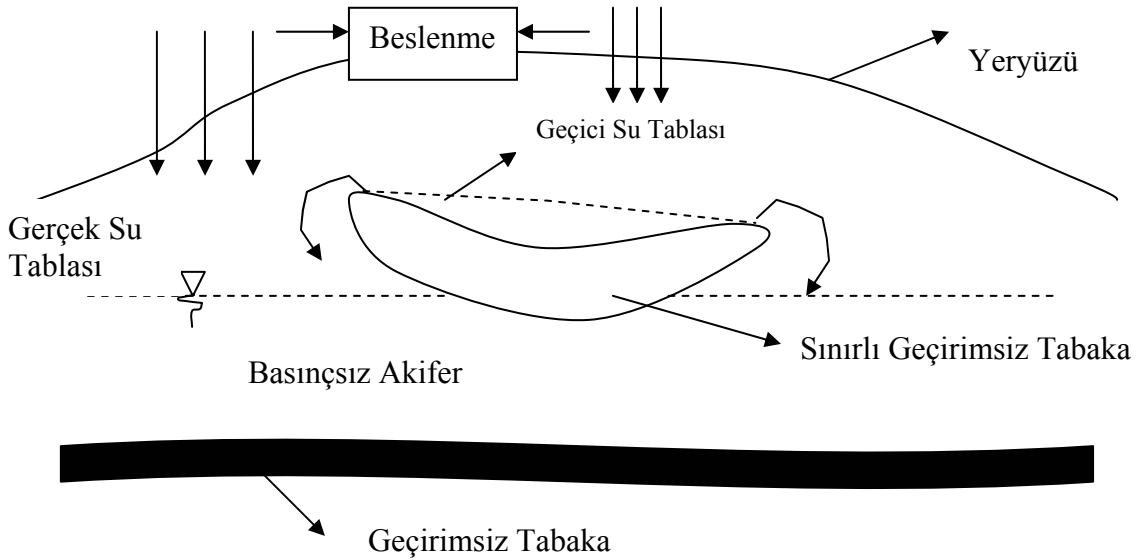
elde edilir. T iletkenliğinin sabit olduğu düşünüldüğünde denklemin son hali

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} - \frac{h - H}{\lambda^2} = 0 \quad (2.43)$$

Burada λ sızdırma faktörü olarak tanımlanıp $\lambda^2 = Tc$ şeklinde ifade edilir.

2.4.4 Merccek Akiferler

Şekil 2.8’de gösterildiği gibi basınçsız akiferlere benzer olarak, altta tamamen geçirimsiz ve onun üzerinde de geçirimli tabakanın durumunda, eğer geçirimli tabakanın içinde sınırlı bir alanda geçirimsiz bir tabaka bulunursa, buna hidrojeolojide merccek denildiğinden, yeraltı suyu terminolojisinde de bu sınırlı geçirimsiz tabaka üzerinde birikecek olan yeraltı suyu haznesine de merccek akifer denir. Merccek akiferler alt taraflarındaki basınçsız akiferlerdeki besleyerek ve yeraltı suyu kaynağı açısından sınırlı bir depo teşkil eder.



Şekil 2.8 Merccek akifer

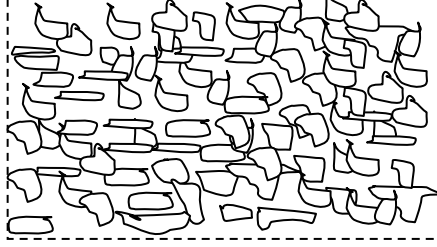
2.5 Geçirimli Tabaka Ortamı

Yeraltı suyunun depolanması için geçirimli tabakada boşluklar bulunmalıdır. Jeolojik tabakalarda bu boşluklar üç değişik şekilde bulunur.

2.5.1 Gözenekli Ortam

Şekil 2.9’da gösterildiği gibi tamamen daneli malzemenin birikmesi ile meydana gelen jeolojik kayalarda bulunmaktadır. Milyonlarca yıl önce rüzgâr ve su gibi etkenlerin tesiri ile meydana gelen bu ortamlara tortul (sedimanter) kayalar adı verilir. En basit örneği

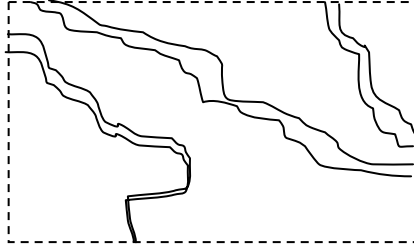
kumtaşıdır. Boşluklar, daneler arasındaki çok ince kılcal kanallar vasıtası ile birbirleriyle bağlantı halindedirler. Yeraltı suyu irtibatı bu boşluk ağı sistemi içinde hareket eder. Gözenekli ortamlardan yeraltı sularının kuyular vasıtası ile çekilmesi mümkündür.



Şekil 2.9 Gözenekli ortam

2.5.2 Çatlaklı Ortam

Tektonik hareketler ve sıcak kayaçların soğuması sırasında, çekme kuvvetleri sonucunda gelişigüzel çatlaklar oluşur. Her bir çatlak jeolojik kayaç içinde su hareketini sağladığından bu tür ortamlara çatlaklı ortam denir.

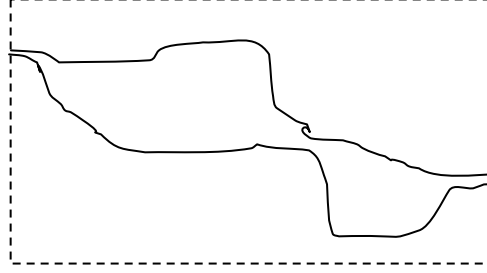


Şekil 2.10 Çatlaklı ortam

Çatlakların geometrik şekilleri çok karmaşık olduğundan, yeraltı suyu akımı hesaplamaları gözenekli ortamdaki daha zordur. Çatlaklı ortamlar daha çok püskürük jeolojik kayaçlarda bulunur. Bunlardan elde edilebilecek yeraltı suyu miktarları gözenekli ortama göre daha çok sınırlıdır. Doğada, hem gözenekli hem de çatlaklı ortamların aynı kayada bulunması da söz konusudur.

2.5.3 Erime Boşluklu Ortamlar

Jeolojik kayaçların özellikle kireç kökenli olanları ve kireç karışımları içerenleri, su ile temasa geçince zamanla eriyerek kayaç içinde boşluklar meydana gelir. Bunlara erime boşlukları adı verilir. Kireç dolayısı ile bu tür ortamlardaki yeraltı suları oldukça sert ve içimi zordur.



Şekil 2.11 Erime boşluklu ortam

3. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

3.1 Genel

Bu bölümde arazide yeraltı suyu seviyesi için gerekli olan tekniklerden söz edilecektir. İleriki bölümlerde bahsedilecek olan kavramların, arazide yapılan çalışma yöntemleri ve bu yöntemlerin verdiği sonuçların karşılaştırılması ile anlatılması açıklayıcı olacaktır.

Doğada dengeli akım bulmak mümkün değildir. Ancak yarı dengeli veya dengesiz akımların tespiti mümkündür. Yeraltı suyu akımını, yarı dengeli akım olduğunu varsaymak için ardışık olarak yapılan yeraltı suyu seviye ölçümlerinin arasındaki farkın %5 olması gerekir. Yeraltı suyu seviye ölçümlerinin h_i ve h_{i+1} ($h_i > h_{i+1}$) ise, bu taktirde bağıl hata

$$\alpha = \frac{h_i - h_{i+1}}{h_i} 100 \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. $\alpha < \%5$ olması haline yarı dengeli akım kabul edilir.

3.2 Ana Kuyu Yerleri

Ana ve gözlem kuyularının yerlerinin akım durumu, jeolojik kompozisyon ve analitik çözümler için yapılan kabulleri karşılayacak biçimde uygun geometrilerin göz önünde tutulması gereklidir. Gözlem kuyularının konumları ana kuyuya göre tespit edildiğinden en önemli yer tespiti ana kuyu içindir. Ana kuyu tespiti için önemli sayılabilecek faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

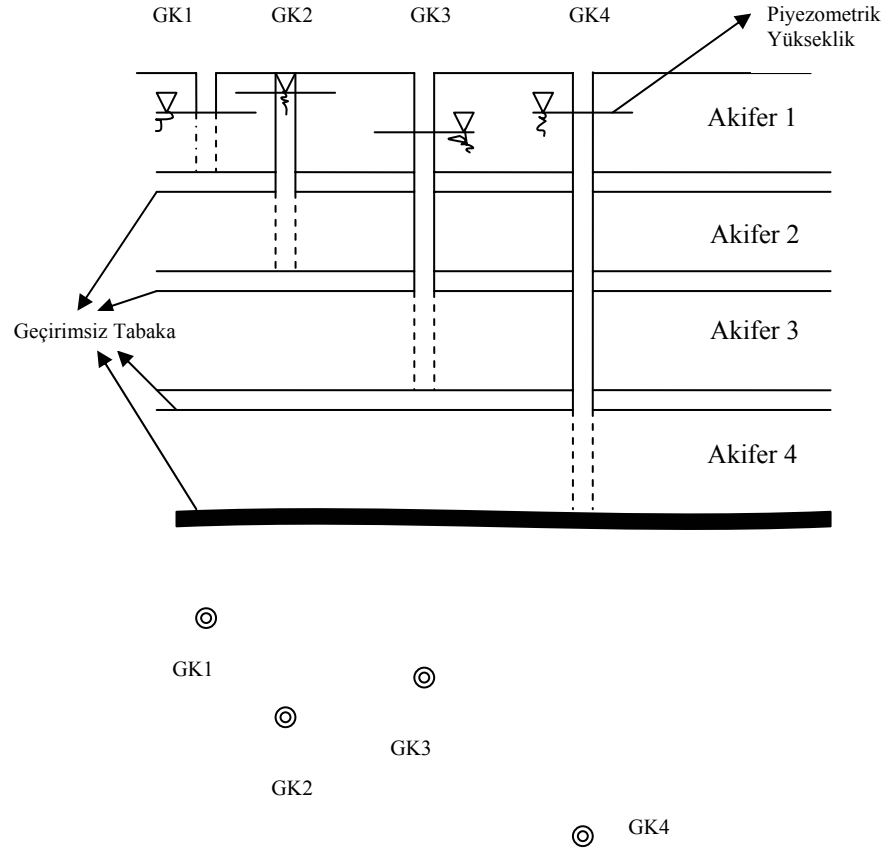
1. Kuyu etrafındaki akifer alanı her yönde oldukça uzun olmalıdır.
2. Bu uzun alan her türlü jeolojik ve hidrolojik sınırlamalardan uzak olmalıdır.
3. Ana kuyu yerinde akifer kalınlığının fazlaca büyük olması istenir ki böylelikle kuyuya giren yeraltı suyu akımı fazla olsun.
4. Kuyu etrafındaki akiferde bir türlü kayaç olması, homojenlik ve izotropluk kabulü için geçerlilik arz eder.
5. Tespit edilecek alanda önceden bir ana kuyu var ise, yeni ana kuyunun tesir alanı ile kesişmemelidir.

Eğer sondaj sırasında, özellikle karstik (erime boşluklu) bölgelerde, kuyudan alınabilecek su miktarının artması için yeterli derecede çatlak veya erime boşluklarına ulaşılamadı ise kuyuya HCl ilave edilerek, çatlak boşluklarının açılmasına yardımcı olunabilir.

3.3 Gözlem Kuyuları ve Piyezometreler

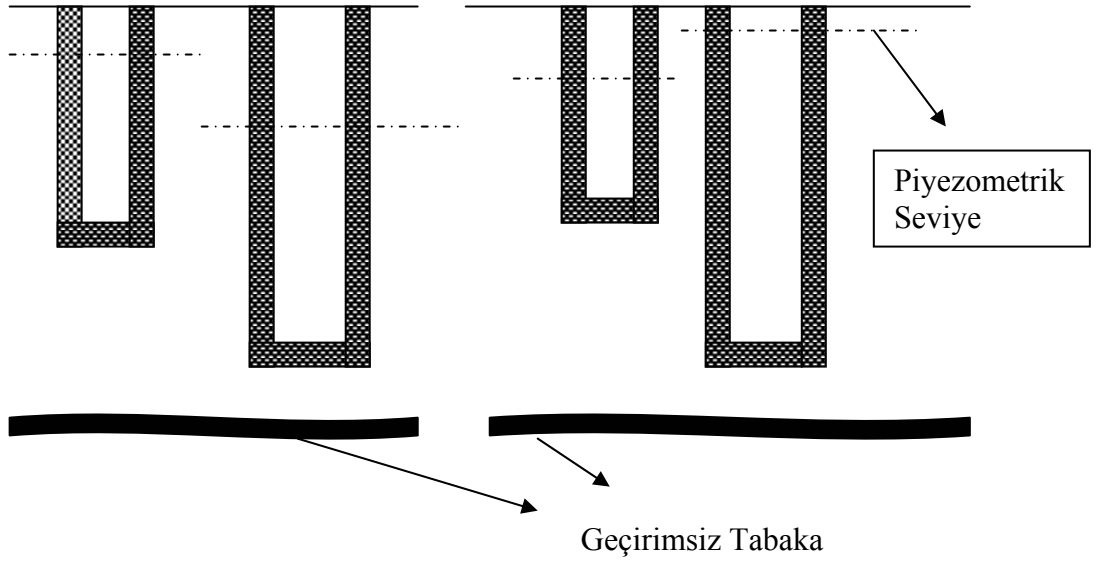
Gözlem kuyuları ve piyezometreler herhangi bir noktada yeraltı su seviyesinin ölçülmesine yardımcı olur. Pratikte düşey olarak açılan bir sondaj yeraltı su seviyesinin tespiti için açılır. Hidrolik yük ölçümü açısından yer tespitleri için şu noktalar göz önüne alınmalıdır.

1. Akiferin büyük bir kısmını gözlem kuyuları temsil etmektedir. Akiferin yüzey litolojisi %80 ince daneli kaya içeriyor ise, gözlem kuyusu yerlerinin geriye kalan %20'lik alanda seçilmesi uygundur.
2. Bir gözlem kuyusu sadece bir akifere hizmet etmelidir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi her akifer için bir gözlem kuyusu veya piyezometre bulunmalıdır.



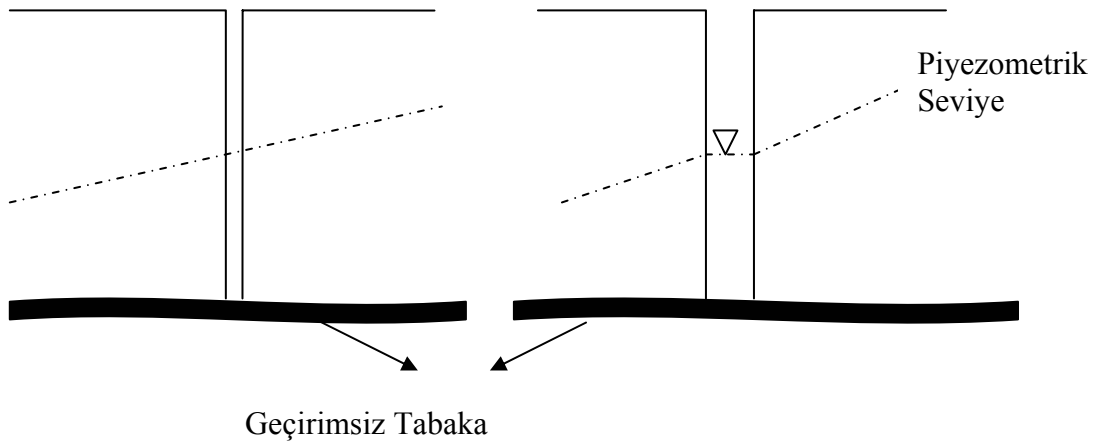
Şekil 3.1 Gözlem kuyularının boy kesit ve planı

3. Sızma, kısmi nüfuz eden veya hiç nüfuz etmeyen kuyuların bulunması, çatlaklı ortam, yerçekimi drenajı sebebi ile ortaya düşey yeraltı suyu akımı çıkarsa, aynı düşeyde en azından iki tane gözlem kuyusu açılmalıdır ki, farklı olan piyezometre yükseklikleri tespit edilebilsin.
4. Gözlem kuyusu yeraltı su seviyesini ölçmekten başka bir amaçla kullanılmamalıdır. Aksi takdirde ölçmelerin hata payı artar.



Şekil 3.2 Düşey akım piyezometreleri

5. Çok büyük veya çok küçük çaplı olan gözlem kuyularında yapılan ölçümler çok sağlıklı olmamaktadır. Çok küçük çaplı kuyularda kapiler saçak etkisinden dolayı seviye ölçümleri olduğundan daha yüksek çıkmaktadır. Çok büyük çaplı kuyularda ise akiferdeki piyezometrik seviyenin dengelenmesi için gerekli zaman kısalmaktadır.



Şekil 3.3 Küçük ve büyük çaplı kuyularda piyezometrik seviye

6. Bir akifer sınaması esnasında şartlar uygun ise en ez üç tane gözlem kuyusu açılmalıdır. Akiferden su çekilmediği durumlarda, bu üç gözlem kuyusu su seviyeleri hakkında fikir verir. Daha sonra bahsedilecek olan mesafe düşüm yöntemi ile akifer depolama ve iletkenlik sayılarının elde edilmesine ve izleyici yardımı ile arazide hidrolik geçirgenliğin tespitine yarar.
7. Değişik doğrultulara yerleştirilen gözlem kuyuları akiferin izotropluğu, değişik mesafeler ise homojenliği hakkında arazi bilgileri elde etmemizi sağlar.
8. Pratik olarak, basınçlı bir akiferden su çekilmesi durumunda akifer içinde ana kuyudan itibaren düşümün yayılması basınçsız akiferlere göre daha süratlidir. Arazi çalışmaları bu mesafenin ilk anlarda basınçlı akiferler için 250m civarında olduğu, bu değer basınçsız akiferlerde 100m civarına düştüğünü göstermiştir. Kısmi kuyu etkisini azaltmak için ana ve gözlem kuyuları merkezleri arasındaki mesafenin doygun tabaka kalınlığının iki katından aşağı olmamasına dikkat edilmelidir.

3.4 Düşüm Ölçümleri

Düşüm, daha öncede tanımlandığı üzere statik ve dinamik su seviyeleri arasındaki farktır. Serbest yüzeyli akiferlerde, düşüm ölçümleri yüzeysel akım sızması veya derin sızma olmasından önce yapılmalıdır. Basınçlı akiferlerde, atmosfer basıncındaki değişmeler piyezometre seviyesini etkileyebilir. Arazide kullanılabilecek düşüm yöntemlerinden bahsedecek olursak ıslak şerit, geniş tabanlı ağırlık, elektrikli şerit, hava yolu ve civa metre olarak sıralayabiliriz.

3.4.1 Islak Şerit

Yüzeyi pürüzlü olan ölçüm şeritleri birçok defasında tercih sebebi olmuştur. Yüzeyin pürüzlü olmasının özeliği, tebeşir ile çizildiğinde üzerinde izin kuru halde sürekli olarak kalmasını temin içindir. Bu şeridin ucuna onu gergin tutması için bir ağırlık bağlıdır. Bu ağırlıkla kuyuya indirilen şerit, ağırlığın kuyu içindeki su yüzüne ulaşması durumunda kuyu kenarındaki bir noktadan tebeşir işaretlenir. Daha sonra yukarıya çekilen şerit üzerinde ıslaklık nedeni ile tebeşirin silindiği sınır da tespit edilir. Tespit edilen bu iki nokta arasındaki mesafeye yeraltı suyu seviyesine olan mesafeyi verir. Be etkin bir seviye yöntemi olmasına

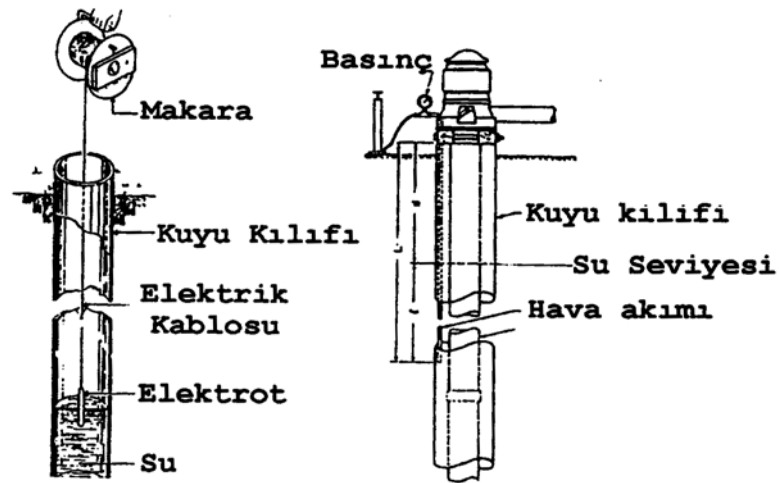
karşılık sürekli yapılacak seviye ölçümleri için pratik olmaz. Bu yöntemle 30m'ye kadar olan yeraltı suyu mesafesi ölçümleri hatasız denecek kadar bir hassasiyetle elde edilir.

3.4.2 Geniş Tabanlı Ağırlık

Islak şeridin kullanılması için kuyu içindeki su seviyesinin gözle görülmesi gerekebilir. Ancak yeraltı su seviyesinin gözle görünmeyecek kadar uzak olması durumunda, bir ölçüm şeridi ucuna ağırlık bağlanabilir. Bu şekilde geniş tabanlı ağırlığın su yüzeyine değdiğinde çıkan sestten dolayı su seviyesinin tespiti mümkündür. Bu yöntem yaklaşık ölçümler için geçerlidir. Daha sağlıklı ölçümler için suya değdiğinde düdük sesi çıkaracak bir ağırlığın şerit ucuna monte edilmesidir. Düdüklü ağırlık suya batınca çıkardığı sestten ölçüm şeridini aşağıya daha fazla salmayı durdurarak ölçüm alınır. Bu yolla ölçümde 1-2 cm'e kadar hata görülmüştür.

3.4.3 Elektrik Şerit

Bu cihaza aynı zamanda elektrikli sounder adı da verilir. Aslında bir ölçüm şeridinin her iki tarafına yerleştirilmiş elektrik tellerinin bir taraftan suya değmesi diğer taraftan pil ile verilen devrenin kapanması ile yanan bir lamba vasıtası ile şerit ucunun suya değdiği anlaşılır. Hatta şeridin aşağıya ve yukarıya doğru mm mertebesinde bile hareket ettirilmesi ile şerit ucunun tam su yüzeyine değmesi temin edilir. Böylece çok hassas seviye ölçümleri yapılabilir. Sadece şeridin kıvrılması veya eğilmesi nedeni ile hat çıkabilir.



Şekil 3.4 Elektrik şerit ve hava yolu

Bu yöntem diğerlerine göre daha çok etkin ve yararlıdır. Her ölçüm için şeridin kuyu dışına çekilmesi şart değildir. Şerit kuyu içinde kalabilir ve seviye düştükçe tekrar tekrar doğru ölçümler alınabilir. Ancak kuyu cidarından veya yukarisından sızma olması durumunda bu cihaz ile ölçüm yapılması zorlaşır.

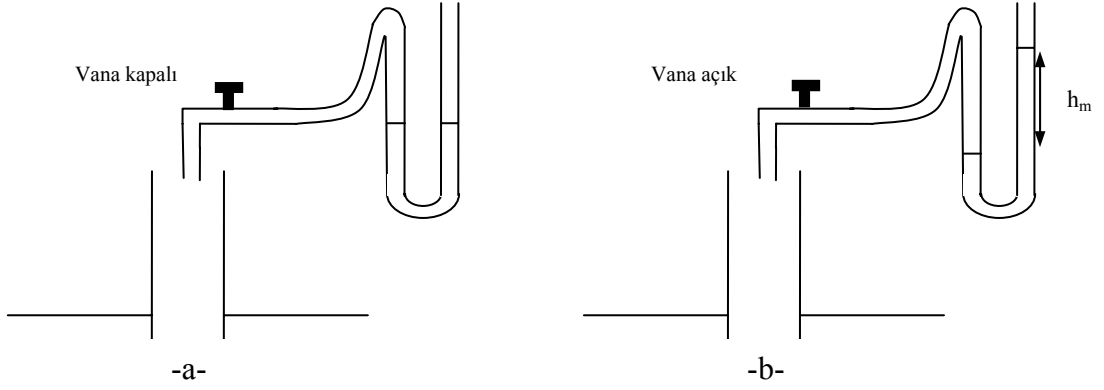
3.4.4 Hava Yolu

Bu cihaz kuyu başından en düşük yeraltı suyu seviyesinden bir metre kadar aşağıda olacak biçimde sarkıtılan çok küçük çaplı bir borudan ibarettir. Boru ve bununla ilgili bağlantıların hiç hava sızıntısı olmaması gereklidir. Başlangıçta kuyu başındaki bir noktaya yerleştirilen borunun kuyudaki suyun içinde son bulan ucu arasındaki mesafenin sağlıklı ölçülmesi gereklidir. Bu tüpün üst ucu bir musluk vasıtası ile hava pompasına bağlıdır. Musluğa yakın bir yerde de basınç ölçmeye yarayan metre vardır. Bu tüp ile ölçümün yapılmasında ilke olarak suyun itilmesi için üzerindeki hava basıncına bağlı olması yer alır. Basınçölçer tarafından gösterilen basınç, belirli bir en büyük değere varıncaya kadar artar ve daha sonra sabit kalır. Bunun anlamı, tüp içindeki bütün suyun dışarı çıkarılmış olmasıdır. Bu durumda, basınç değeri kuyu içindeki su seviyesinden borunun kuyu içindeki ucuna kadar olan su, kolonun dışarıya çıkartılması için gerekli basınç miktarını göstermektedir.

İşte bu basınç okumasının borunun tüm uzunluğundan çıkartılması ile yeraltı suyu seviyesi hesaplanır. Elbette, akifer sınaması öncesinde alınan ölçüm statik su seviyesini verir. Bu yöntem akifer sınaması esnasında gözlem kuyularında yapılacak ölçümleri sağlıklı olarak vermez ama ana kuyu ölçümleri bakımından yararlıdır. Seviye ölçümleri yaklaşık 10cm'lik hata payı içermektedir.

3.4.5 Civa Metre

Bahsedilen cihazların hiçbiri yeryüzüne artezyen yapan yeraltı suyu akışları için uygun değildir. Manometreler tahta olan bir arka plakaya yerleştirilmiş U şeklinde tüpler olup bunun iki kolu arasına yerleştirilmiş bir eşel vardır. Manometrenin bir ucu bir musluk vasıtası ile kuyudaki boruya bağlı diğer ucu ise havaya açıktır. Manometre Şekil 3.5'de gösterildiği gibi uygun biçimde sıfır seviyesine ayarlı olarak civa maddesi ile doldurulur. Şekil 3.5'te gösterildiği gibi musluk açık olunca U tüpünün bir koluna su girer.



Şekil 3.5 Civa metre düzeneği

Belirli bir zaman sonra civa dengeli konuma gelir ve her iki koldaki su seviyeleri arasındaki mesafe, h_m^0 , eşelden okunur. Brater ve King tarafından sağ ve sol taraftaki kollardaki basınçların eşitliği şöyle elde edilmiştir.

$$P_L = w_w h_w + p = 62.4 h_m^0 + p \quad (3.2)$$

$$P_R = w_m h_m^0 = 13.6 * 62.4 h_m^0 \quad (3.3)$$

Burada, w_w ve w_m su ve civanın özgül ağırlıklarını, p ise cihazda ölçülen atmosfer basıncını gösterir. Sağ ve sol kollardaki basınçların eşitliğinden, yani $P_L^0 = P_R^0$, piyezometre yükü h^0 ilk okumadan sonra aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h^0 = 13.6 h_m^n \quad (3.4)$$

benzer olarak, t_n anındaki n 'inci piyezometre okumasından sonra

$$h^n = 13.6 h_m^n \quad (3.5)$$

bulunur. Böylece n 'inci okuma sonrasındaki düşüm, s^n , okuması

$$s^n = h^n - h^0 = 13.6 (h_m^0 - h_m^n) \quad (3.6)$$

şeklinde olur.

3.5 Debi Ölçümleri

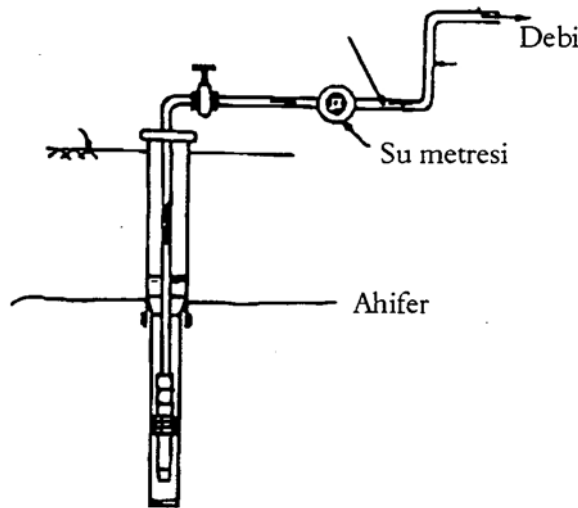
Debi ölçümleri akifer veya kuyu testleri esnasında yapılmalıdır. Genellikle debi ölçümleri için kullanılan yöntemlerde, ya belirli bir zaman içerisinde biriken su hacminden ya da bir boru vasıtası ile akan suyun botu boyunca gözlenebilecek piyezometre düşümlerinden veya savaklardan boşalan suyun matematik kanunlarına göre belirlenir. Debi ölçümleri testler esnasında sıkça, mümkünse saatte bir yapılmalıdır.

3.5.1 Kova Yöntemi

Debinin temel tanımı belirli bir sürede biriken su hacmidir. Bu nedenle en ilkel ölçme yöntemi olarak bir kronometre veya bir saat yardımı ile hacmi belirli bir kapta biriken su hacmin belirlenmesi ve $Q = V/t$ formülü ile debinin elde edilmesidir. Burada V hacim, t ise zamandır. Bu yöntemin kullanılması 0.5 m³/dak'lık debilere kadar sağlıklı olmaktadır.

3.5.2 Su Metresi

Şekil 3.6'da gösterildiği gibi içinden su akan bir borunun üzerine yerleştirilmiş bir tür su ölçme cihazıdır. Sağlıklı ölçüm için borunun dolu bir şekilde akması gerekmektedir. Bunun içinde ölçme cihazından hemen sonra boruya dikey olabilecek bir eğim verilmiştir. Bu su metresi ile otomatik olarak borudan geçen toplam suyun miktarı okunur ve kayıt edilir.



Şekil 3.6 Su metresi düzeneği

Debinin hesap edilebilmesi için, iki farklı zamanda iki okuma yapılmalıdır. Bu okumalar arasındaki fark geçen zaman süresince su ölçerin bulunduğu boru kesitinden geçen su hacmini verir. Bu hacmin geçen zamana oranı da istenilen debi değerini verir.

3.5.3 Orifiz Metre

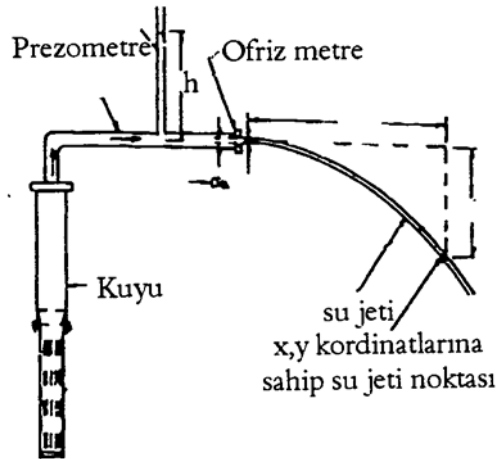
Şekil 3.7’de gösterildiği gibi su taşıyan bir borunun ucuna ortasında yuvarlak açıklığı bulunan bir levha yerleştirilmiştir. İşte bu açıklığa orifiz denir. Orifizin boru kesitinin yarısı ile üç çeyreği arasında bir büyüklüğe sahip olması gerekir. Boru cidarına suyun yaptığı basınç, boru ucundan geriye doğru 60 cm mesafede ölçülür. Bu ölçüm oraya yerleştirilen bir piyezometre tarafından yapılır. İşte buradaki su yüksekliği ile orifizin ortasındaki nokta arasındaki fark su basıncı olup h ile gösterilsin. Debi, Q , orifiz kesit alanı A ve bu su basıncı arasında aşağıdaki denklem geçerlidir.

$$Q = kA \sqrt{2gh} \quad (3.7)$$

Burada g yerçekimi ivmesi ve k de aşağıdaki gibi hesap edilen debi sabitidir.

$$k = \left(\frac{d_c}{d_0} \right)^2 \frac{x}{2\pi y h} \quad (3.8)$$

bu ifade de d_c orifizden çıkan su jetinin en dar kısımdaki çapını; x ve y ise buna karşı gelen yatay ve düşey mesafeyi göstermektedir.



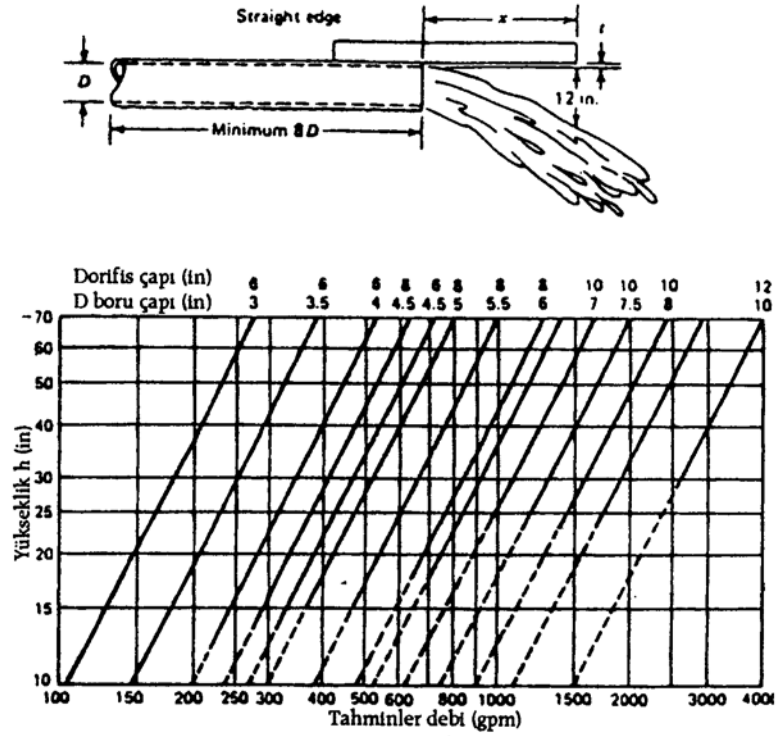
Şekil 3.7 Orifiz metre

3.5.4 Jet Akımı Yöntemi

Bu yöntem yatay ve düşey boru kullanılarak uygulanabildiğinden iki kategoride incelenebilir.

3.5.4.1 Yatay Boru

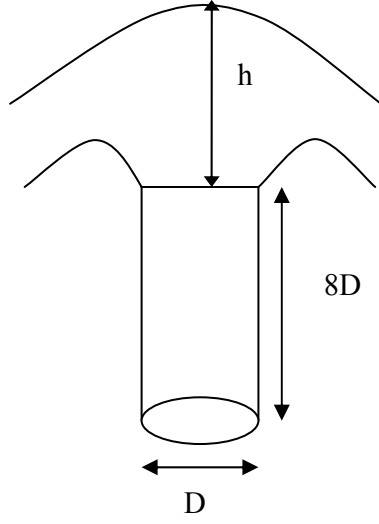
Yatay bir su borusundan çıkan suyun hesabı için borudan çıkış hızı ve yerçekimi ivmesinin bilinmesinin yeterli olacağı fikrinden hareket edilir. Bu yöntemde yapılan kabullerden bir tanesi, jet yüzeyindeki herhangi bir noktadaki hızın, o jetin kesitindeki ortalama hızı temsil ettiğidir. Şekil 3.8’de gösterildiği gibi pratik arazi uygulamalarında bu ilkeden yararlanmak için en son dirsek veya kıvrımdan başlayarak uzunluğu en az boru çapının 8 katı kadar olan yatay bir boru düşünülür. Boru ucundan 12 inç (≈ 32 cm) mesafeye karşı gelen düşey mesafe ölçülerek Şekil 3.8’den ölçülerek debi ölçümü okunabilir. 12 inç mesafesindeki düşey mesafe borunun iç cidarı esas alınarak ölçülür. Ancak borunun dışından yapılan ölçümlerde boru et kalınlığı t ’nin de göz önünde tutulması gerekir. Düşey ölçümleri yapılması için L şeklinde bir cetvelin kullanılması uygundur.



Şekil 3.8 Yatay boru ve debi sonuç grafiği

3.5.4.2 Düşey Boru

Yaklaşık debi miktarı çıkan su jetinin yüksekliğinin ölçülmesi ile boru iç çapının bir fonksiyonudur. Çizelge 3.1’de debi değerleri saniyede litre olarak verilmiştir. Bu yöntem özellikle fışkıran kuyuların debilerinin ölçülmesinde veya en azından su jeti yükselmesinin boru ucundan olan yüksekliğinin boru çapının 8 katı kadar olması durumunda sağlıklı sonuçlar verir.



Şekil 3.9 Düşey boru

Çizelge 3.1 Düşey boru debi ölçümü

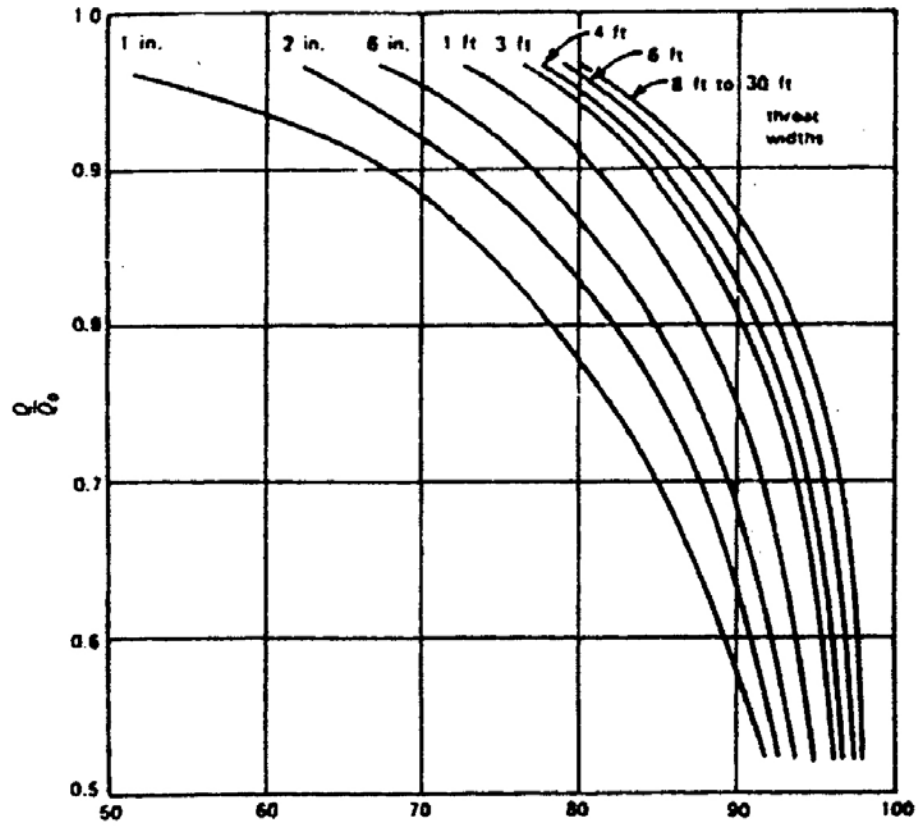
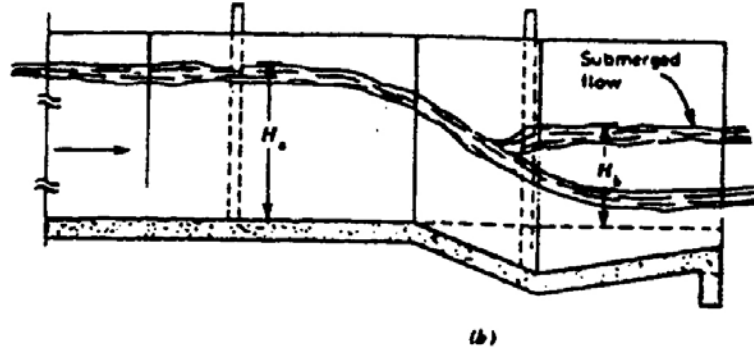
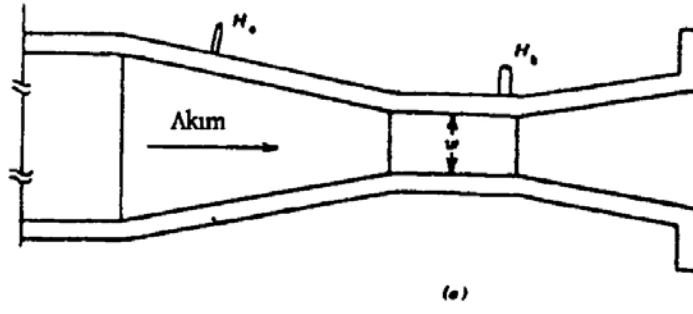
Yükseklik (mm)	Nominal Boru Çapı (inç)		
	2	3	4
50	2.0	4.3	7.4
75	2.4	5.3	9.1
100	2.8	6.1	10.5
150	3.4	7.4	12.8
200	3.9	8.8	14.8
250	4.4	9.6	16.6
300	4.8	10.5	18.1
350	5.2	11.4	19.6
400	5.5	12.2	21.0
450	5.9	12.9	22.2
500	6.2	13.6	23.4
550	6.5	14.3	24.6
600	6.8	14.9	25.7

3.5.5 Parshall savağı

Şekil 3.10’da gösterildiği gibi sık debi ölçümlerin yapılabilmesi için, basit ve başarılı hidrolik yapılardan biri Parshall savağıdır. Bu savak boyunca bir daralma, bir de çıkışta akımı kritikləştirmek için açılma kısımları vardır. Giriş kısmında akım debisi üst taraftaki su derinliği ve kesit geometrisinden yararlanarak hesaplanabilir. Daralan kısımdan önce su derinliği H_a ise, debi yaklaşık olarak

$$Q = 4 w H_a^{1.522} w^{0.026} \quad (3.9)$$

şeklinde hesaplanır. Burada w giriş kısmının genişliğini ifade etmektedir. Şekil 3.10’da gösterilen diyagram Parshall savağı hesaplamalarını kolaylaştırır.



Şekil 3.10 Parshall savağı ve diyagramı

4. AKİFERLERDE DENGELİ AKIM DURUMU

4.1 Genel

Dengeli akım hareketinin incelenmesi mühendislikte, akifer iletim katsayısının belirlenmesi, komşu kuyular arasındaki girişimleri önlemek için tesir yarıçaplarının ne olacağını, temel çalışmalarında kazıların kuru zeminde yapılması için yeraltı suyunun ne kadar düşürülmesi sorularına yanıt vermeye yarar. Dengesiz akıma göre daha yüzeysel bahsedeceğimiz dengeli akım durumu dengesiz akım durumunu kavramaya ve tanımlamaya bir giriş niteliği taşımaktadır. Bu akımla ilgili ilk temel yaklaşımlar Thiem ve Muskat gibi araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

Akım alanının herhangi bir noktasında akış hızının büyüklüğü veya yönü zamanla değişmediğinde oluşan akımı dengeli akım olarak ifade edebiliriz.

4.2 Yapılan Kabuller

Yapılan kabulleri akifer, kuyu ve yeraltı suyu akımı için yapılanlar olarak sıralayabiliriz.

4.2.1 Akifer Kabulleri

Akifer kabullerini şu şekilde sıralayabiliriz.

1. Akifer malzemesi homojen ve izotrop kabul edilir.
2. Akifer parametrelerinin zaman ve konumdan bağımsız olduğu kabulü yapılır.
3. Akifer malzemesi gözenekli ortamda kabul edilir.
4. Akifer alansal olarak çok yaygın, kalınlık olarak üniform ve yatay tabakalı kabul edilir. Yataylık basınçlı ve basınçsız akiferler için birbirinden farklıdır. Düşüm konisi içindeki akifer kalınlığının üniform olması, dört doğrultuda yapılan ölçümlerle tespit edilebilir. Değişim eğimi %5'den daha küçük olması durumunda akiferin yatay olduğuna karar verilir.

4.2.2 Yeraltı Suyu Akım Kabulleri

1. Yeraltı suyu akımının laminer ve Darcy kanununun geçerli olduğu kabul edilir.
2. Yeraltı suyu akımı dengeli veya yarı dengelidir. Düşüm sadece mesafe ile değiştiğinden dolayı dengeli akım çözümlerinde kısmi diferansiyel denklem bulunmaz yani tümü adi diferansiyel denklemlerden ibarettir.
3. Kuyudan çekilen suyun debisi sabittir.

4.2.2.1 Dupuit-Forchheimer Kabulleri

Akım alanı içinde hidrolik eğim noktadan noktaya değişiklik gösterir. Bu eğim değişiklikleri yeraltı suyu akım problemlerinin çözülmesinde zorluklar oluşturmaktadır. Bu güçlüklerin ortadan kalkması için Dupuit (1863) ve daha sonra da Forchheimer (1930) tarafından geliştirilmiş kabuller şöyledir;

1. Su homojendir ve her doğrultudaki fiziksel özellikleri aynıdır.
2. Akım çizgileri yataydır ve buna göre de eş potansiyel çizgileride düşeydir. Bunun anlamı akımın her noktasında yatay yeraltı suyu hızı ve düşeyinde üniform hız dağılımının olduğudur.
3. Kapiler bölge ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
4. Bir düşeyin her noktasındaki hidrolik eğim onun yüzeyindeki eğime eşittir.
5. Akifer malzemesi ve su sıkışamaz.
6. Doygun kalınlık değişimleri, doymuş kalınlık yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olmalıdır.

Bu kabuller akifer içinde düşey yeraltı suyu hızı bileşeninin bulunmadığını gösterir. Yani başka bir şekilde söylenecek olursa basınçsız akiferlerde üç boyutlu olan yeraltı suyu akımını iki boyuta indirgemıştır.

4.2.3 Kuyu Kabulleri

Kuyulara doğru olan yeraltı suyu akımını incelemek için yapılan kabuller şu şekilde sıralanabilir.

1. Kuyu kesitinin dairesel olduğu varsayılır. Böylelikle kuyuya giren su, sanki bir silindirin yanal yüzey alanından giriyormuş gibi hesaplanır. Ayrıca yeraltı suyu akımı radyal olarak meydana gelir.
2. Kuyu çapı çok küçüktür. Yani yazılacak olan süreklilik denkleminde kuyu içinde bulunan su hacminin katkısının ihmal edilecek kadar az olmasını sağlamaktır.
3. Kuyu akifer doygun bölgesine en üst noktadan, en alt noktaya kadar tam olarak nüfuz eder. Bu ifade yeraltı suyu akımının yatay olmasına yardımcı olur.
4. Kuyu kayıpları ihmal edilmiştir. Buna göre akifer içindeki en büyük düşüm aynı zamanda kuyu içindeki en büyük düşüme eşittir.

4.2.4 Başlangıç ve Sınır Şartları

Su yüzeyi ve piyezometrik seviyenin sabit veya değişken durumları için başlangıç şartları şunlardır.

$$q(x,y,z,0) = C_1 \quad (4.1)$$

$$s(x,y,z,0) = C_2 \quad (4.2)$$

$$i(x,y,z,0) = C_3 \quad (4.3)$$

Burada q , özgül debi, s , düşüm, i ise hidrolik eğimdir. (x,y,z) , bu değerlerin uzaydaki $t = 0$ zamanındaki konumlarını ifade etmektedir. C_1 , C_2 ve C_3 sabitleri dengeli akım çözümünde değerleri sıfır olacaktır.

Sınır şartları, verilmiş belirli bir zamanda yer altı suyu akımının jeoloji ve hidroloji ile ilgili uzay özelliklerini gösterir.

4.2.4.1 Geçirimsiz Sınırlar

Geçirimsiz olan bir sınırdaki herhangi bir eş potansiyele sabit potansiyel denir. Bu sınıra dik akım yoktur ve böylece bu doğrultuda özgül debi sıfırdır. Buna göre Darcy kanununa göre hidrolik eğimde sıfır olacaktır.

$$i(x, y, z, t) = \frac{\partial h(x, y, z, t)}{\partial n} = 0 \quad (4.4)$$

Burada, n , (x,y,z) noktasındaki geçirimsiz sınıra dik normal doğrultuyu göstermektedir. Buna örnek olarak basınçsız akiferlerin alt ve üst geçirimsiz tabaka sınırları, geçirimsiz sınırlar, merccekler ve üzerinde sızma olmayan serbest yüzeyli akifer piyezometre yüzeyi verilebilir.

4.2.4.2 Kuyu Akifer Sürekliliği

Bir kuyu için yazılan süreklilik denkleminde, kuyudan çekilen debinin, Q ile akiferden kuyuya gelen debi Q_a , arasındaki farkın, kuyu haznesinden çekilebilecek debiye eşit olması gerekmektedir. Çok küçük çaplı kuyularda, kuyu haznesinden çekilebilecek suyun miktarı ihmal edilebilir. Bunun anlamı çekilen su debisinin kuyuya gelen akifer debisine eşit olmasıdır.

$$r \longrightarrow 0 \quad Q = \lim [2\pi b r q(r,t)] \quad (4.5)$$

Burada, $q(r,t)$ özgül debiyi, b akifer kalınlığını, r ise radyal mesafeyi gösterir. Kuyu çapının küçük olmaması durumunda, yani kuyu haznesinden gelecek suyum hesaba katılması ile

$$r \longrightarrow r_w \quad Q = \lim [2\pi b r q(r,t)] - \frac{ds_w(t)}{dt} \quad (4.6)$$

olur. t anında kuyudaki düşüm $s_w(t)$ 'tir. Diğer bir süreklilik şartı ise, akiferde kuyu cidarında meydana gelen en büyük düşümün $s(r_w,t)$, kuyu içindeki düşüme eşit olmasıdır.

$$s_w(t) = s(r_w, t) \quad (4.8)$$

Bahsedilen bu sürekliliklerin her zaman geçerli olduğu kabul edilir.

4.2.4.3 Sınırsız Yaygınlık Şartı

Bu şartın anlamı kuyuların yaygınlığının gerçekte sınırlı, başka bir deyişle birkaç kilometre olmasına rağmen akiferlerin yaygınlığının sonsuzda olduğu düşünülür. Yani etki yarıçapının sonsuz olması durumunda düşümün sıfır olacağını ifade eder. Matematiksel olarak ifade edilirse;

$$r \longrightarrow 0 \quad \lim [s(r, t)] = 0 \quad (4.9)$$

olarak yazılabilir. Yani t anındaki r radyal mesafesindeki düşüm sıfırdır.

4.3 Yeraltı Suyu Dengeli Akım Çözümleri

Daha öncede dengeli akım incelemelerinin mühendislikte, akifer iletim katsayısının belirlenmesi, komşu kuyular arasındaki girişimleri önlemek için tesir yarıçaplarının belirlenmesi ve temel çalışmalarında kuru zeminde yapılması için yeraltı suyunun ne kadar düşürülmesinin belirlenmesi işlemlerine açıklık getirdiği belirtilmişti.

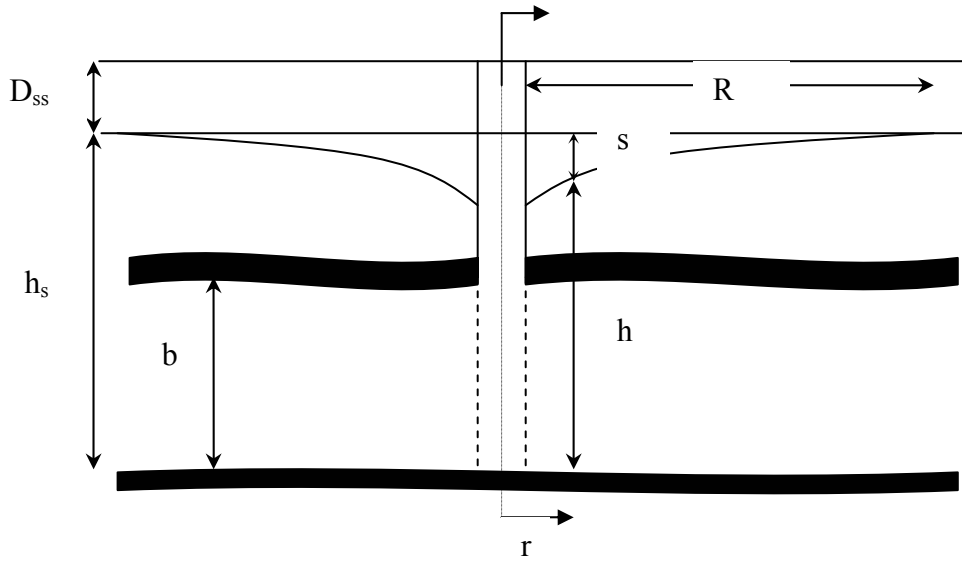
Burada örnek olarak basınçlı durumu ele alıp süreklilik denklemleri ile iletim katsayısını elde edeceğiz. Ve elde edilen bağıntının nasıl kullanılabileceğinden söz edeceğiz.

4.3.1 Basınçlı Akifer

Şekil 4.1’de gösterildiği gibi akifere tam nüfuz eden bir kuyudan Q debisinin çekildiğini düşünelim. Akifer kalınlığı b, statik su seviyesinin derinliği, h_s ve akifer iletim katsayısı T olsun.

Kuyudan çekilen Q debisinin akifer içinde kuyu ile konsantrik olan r, radyal mesafesinde bulunan herhangi bir silindirik yüzeyden kuyuya doğru akan yeraltı suyunun debisine eşittir. Bu süreklilik denklemi,

$$Q = 2\pi r b q \quad (4.10)$$



Şekil 4.1 Dengeli akıma sahip basınçlı akifer

burada, b akifer kalınlığı, q yer altı suyu hız değeridir. Darcy kanununa göre hız ifadesi de yerine konursa,

$$Q = 2 \pi r b k \frac{dh}{dr} \quad (4.11)$$

yazılır. Burada h , r mesafesindeki piyezometrik seviyeyi gösterir. T iletkenlik katsayısı (bk) olduğuna göre eşitlik;

$$\frac{dr}{r} = 2 \pi T \frac{dh}{Q} \quad (4.12)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan gerekli entegral alındığı zaman;

$$\ln\left(\frac{r_i}{r}\right) = 2 \pi T \frac{h - h_i}{Q} \quad (4.13)$$

halini alır. Burada $r_i < r$ olduğu durumdadır. Ve h_i , r_i mesafesindeki piyezometrik seviyeyi belirtmektedir. Denklemin son halinden i iletkenlik katsayısını yalnız bırakırsak;

$$T = Q \frac{\ln\left(\frac{r_i}{r}\right)}{2\pi(h - h_i)} \quad (4.14)$$

eşitliği elde edilir. T değerinin hesaplanabilmesi için diğer değerlerin bilinmesi gerekir. Bunun için iki farklı noktada piyezometrik seviye ölçümü gerekir, bunun anlamı da gözlem kuyularına ihtiyaç olduğudur. Bunun yerine düşüm değerleri farklı iki noktadan ölçülür ve $h - h_i = s_i - s$ olduğu düşünülür. Burada s düşüm değeridir. İki farklı değere ihtiyaç olduğundan bu değerlerden birinin kuyu cidarında olması kolaylık sağlamaktadır ve kuyu cidarında ölçülen değerler s_k veya r_k olarak belirtilmiştir. Bu açıklamalar doğrultusunda ifadenin son hali;

$$T = Q \frac{\ln\left(\frac{r_k}{r}\right)}{2\pi(s_k - s)} \quad (4.15)$$

olur. Bu ifadenin pratikte kullanılış şekillerinden biride düşümün sıfır olduğu, radyal mesafenin R olduğu durumdur. Bu durumda denklem şöyle yazılabilir.

$$\ln\left(\frac{R}{r_k}\right) = 2\pi s_k \frac{T}{Q} \quad (4.16)$$

denklemin bu son hali ile de tesir yarıçapı, yani düşümünün sıfır olduğu noktadaki yarıçapı hesaplanabilir.

Eğer gözlem kuyuları fazla ise elimizde farklı iletim katsayıları olur. n tane gözlem kuyusundan $n(n-1)/2$ tane iletim katsayısı hesaplanabilir. Bu değerlerin birbirlerine eşitliği durumunda akiferin homojen ve izotrop olduğuna karar verilir.

Bahsedilen dengeli akım incelemelerinden iletim katsayısını elde edebileceğimizi görüyoruz. Esasında akiferde su olup olmadığına karar verebilmek için depolama katsayısına gerek vardır. Bunun için dengesiz akım incelemelerine ihtiyaç vardır. Geliştirilecek yöntemlerle depolama ve iletim katsayısı beraberce hesaplanabilir. Bu yöntemlere akifer testleri denir. Burada test kelimesi bir kuyudan zamanla yapılan düşüm ölçümlerinin geliştirilecek yöntemlere uyup uymadığının tespitinin yapılması anlamındadır. Akım dengesiz akım olunca, düşümlerin zamanla değişmesi gerekir. İşte bu değişen düşüm değerleri ile zaman – düşüm

verilerinden akifer parametrelerinin elde edileceđi yöntemlerden bir sonraki bölümde bahsedeceđiz.

5. DENGESİZ AKIM DURUMUNDA AKİFER TESTLERİ

5.1 Genel

Akifer hakkında kuyular aracılığı ile elde edilen zaman-düşüm veya mesafe-düşüm verilerinden akifer parametrelerinin fiziksel olarak basit modeller kullanarak elde edilmesi dengesiz akım testleri ile mümkündür. Bu bölümde karmaşık olan akiferlerin anlaşılmasında jeolojik ve fizik süreçlerin basitleştirilerek göz önünde tutulması ile modelleme yapılacaktır.

Bir akiferin hidrolik özellikleri, bir kuyudan sabit debide su çekip pompaj ve gözlem kuyularındaki düşüm-zaman verilerini elde edildiği akifer testleri ile belirlenebilir. Akifer testleri ile;

1. Depolama katsayısı, iletkenlik, drenaj faktörü, sızıntı faktörü ve hidrolik direnç gibi akifer karakteristikleri belirlenebilir.
2. Akifer kalınlığının bilinmesi ile hidrolik iletkenliği de belirlenebilir.
3. Geçirimsiz sınırların mesafe, yön ve şekli gibi geometrik bilgileri elde edebiliriz.

Bu testleri mümkün kılan kuyuların yerleştirilmesinde dikkat edilecek hususlar şunlardır.

1. Hidrojeolojik karakterlerin fazla değişim göstermemesi için kuyu mümkün olduğunca homojen bölgelere açılmalıdır.
2. Açılacak bölgeye yakın bir yerde başka bir pompajın yapılmadığından emin olmak gerekir. Ayrıca kuyudan çekilen su tekrar akifere verilmemelidir.
3. Test bölgesi, titreşim yaratacağından tren yollarına ve karayollarına yakın olmamalıdır.
4. Pompanın debiyi sabit çekmesi en önemli noktadır.

Tek bir pompaj kuyusu verileri ile akiferin iletkenlik değeri belirlenebilir. Depolama katsayısı ve özgül verim değerleri için pompaj kuyusu yanında en az bir gözlem kuyusu bulunmalıdır.

Pompaj başlamadan önce kuyudaki su seviyesi ölçülmelidir. Ayrıca su seviyelerinin ölçülmesinde en hassas ölçüm aletleri kullanılmalıdır. Test sabit pompaj debisi ile yapılmalı ve debi değişimleri sürekli bir vana ile kontrol edilmelidir. Daha sonra hazırlanmış kâğıtlara

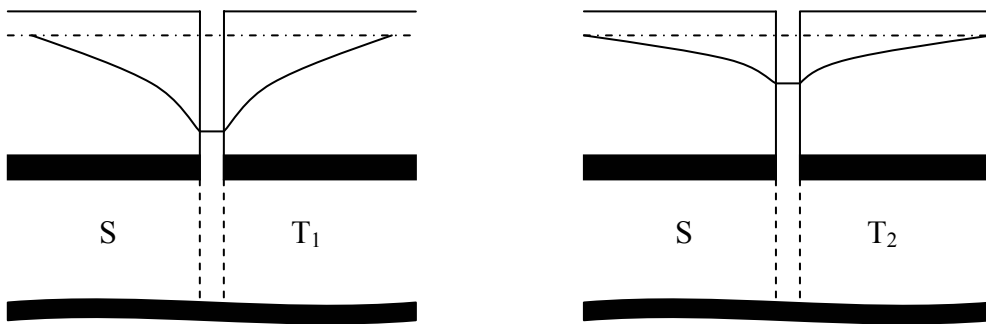
zaman ve kuyudaki seviye ölçümleri işlenmelidir. Dengesiz akım çözümlerinde kullanılacak birçok metot vardır, bu metotlardaki çözümler, daha önce bahsedilen akifer tipine ve sınır şartlarına bağlı olarak değişim gösterirler.

5.2 Parametreler ve Değişkenler

Yeraltı suyu incelemelerinde yaygın olarak kullanılan iki tip pompa testi vardır. Birincisi akifer testi, ikincisi ise kuyu testidir. Akifer testinde iletkenlik, sızıntı, depolama katsayısı gibi akifer parametreleri elde edilir. Kuyu testinde ise sadece kuyu karakteristikleri elde edilir.

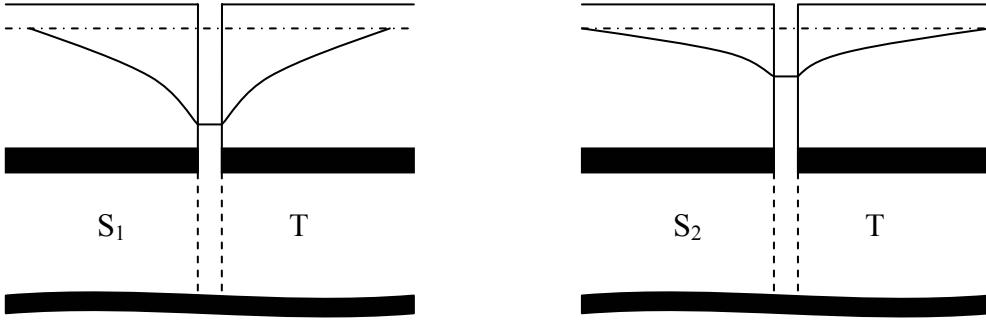
Bu testlerin ortak özelliği düşüm-zaman, düşüm-mesafe, düşüm-zaman-debi veya düşüm-zaman-mesafe verilerini kullanmaktır. Akifer testlerinde debi, mesafe, düşüm ve zaman olarak dört ana değişken vardır. Bir test esnasında bu dört değişkenin aynı zamanlı olarak değişiminin modellenmesi zordur. Bu yüzden uygun olan bir veri sabit tutulur ve bu sabit tutulduğu varsayılan değer genelde debidir.

Şekil 5.1’de gösterilen düşük iletkenliğe sahip ve diğer parametreleri sabit tutulan basınçlı akiferde alçalma konisi diğer akifere göre daha aşağıda kapanmıştır, hidrolik eğimi daha fazla ve yüksek düşüm değerleri vardır. Yüksek iletkenliğe sahip olan akifer geniş tesir yarıçapına sahip, diğer akifere göre düşük düşümleri vardır aynı zamanda düşüm konisi daha geniştir.



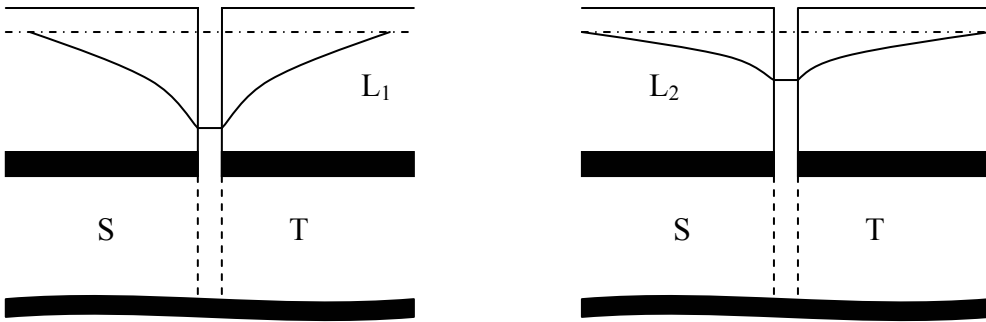
Şekil 5.1 İletkenlik sayılarının farklılığı durumunda düşüm konileri

Darcy kanunun geçerli olması durumunda, kuyu civarında özgül verim büyük, kuyu civarından uzaklaşınca küçük değerler alır. Şekil 5.2’de depolama katsayıları farklı iki ayrı basınçlı akifer verilmiştir. Bu durumda S değeri küçük olan akiferin diğer akifere göre düşümleri büyük ve tesir yarıçapı artacaktır.



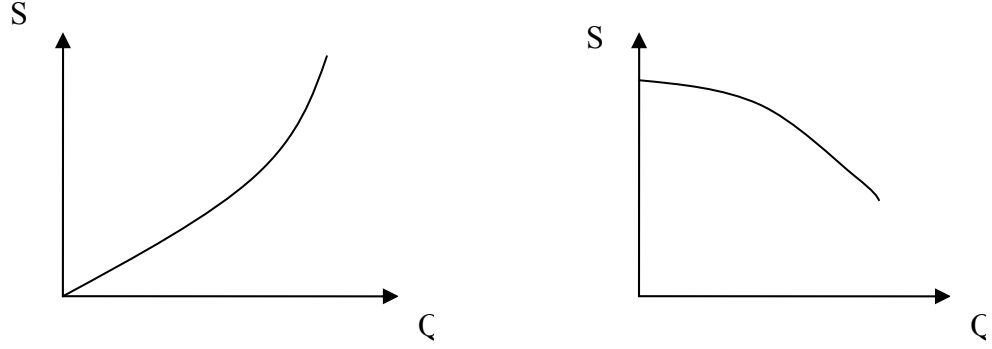
Şekil 5.2 Depolama katsayılarının farklılığı durumunda düşüm konileri

Şekil 5.3'te farklı sızınıtı faktörlerine sahip iki basınçlı akifer gösterilmiştir. Bu durumda düşük sızınıtı faktörüne sahip akiferde büyük düşüm ve tesir yarıçapında azalma görölmektedir.



Şekil 5.3 Sızınıtı katsayılarının farklılığı durumunda düşüm konileri

Yapılan bu incelemeler sonucu kuyu etrafında bir düşüm konisinin oluşacağı kesindir. Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda düşümün zamanla orantılı olması ve orantılılık katsayısının akifer parametreleri ile debinin bir fonksiyonu olduğu sonucu çıkartılabilir. Aynı zamanda düşümün mesafe ile ters orantılı olduğu görölebilir. Bununla beraber debinin arttığı durumda düşümünde artacağı yani aralarında doğru orantı olduğu açıktır. Marcily bu ilişkiye kuyunun "karakteristik eğrisi" adını vermiştir. Ve S-Q düzlemi içindeki ifadesi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Marcily karakteristik eğrileri

İlk eğride düşüm arttığında çekilen debinin artacağını, Şekil 5.4'ten pompa sistemi açısından düşüm arttığında çekilebilecek debinin azalacağını gösterir.

5.3 Dengesiz Akım Testlerinde Yapılan Kabuller

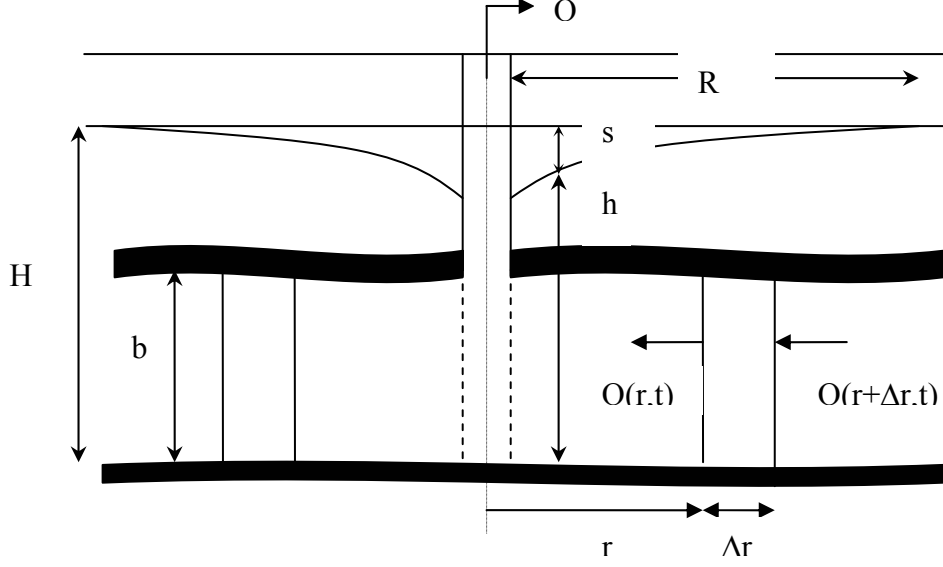
Yapılacak testlerde aşağıdaki kabullerin yapılması gerekmektedir.

1. Akifer alansal olarak çok uzanımlı, yatay ve her yerde eşit kalınlığa sahip.
2. Akifer malzemesi homojen ve izotrop tur.
3. Kuyu çapının sonuçları etkilemeyecek kadar küçük ve enkesitinin dairesel olduğu kabul edilir.
4. Kuyu akiferin tamamına nüfuz eder.
5. Kuyu kayıpları ihmal edilir.
6. Kuyudan debi çekilmesi ile kuyuya doğru akım aniden olur.
7. Yeraltı suyu sıkışabilir ve akifer malzemesi elastik davranışa sahiptir.

Bu kabuller doğrultusunda sabit bir debi çekilir ve akiferdeki düşümler gözlem kuyularından tespit edilir ve düşüm değerleri işlenir.

5.4 Dengesiz Akım Durumuna Ait Denklemler

Testleri sonuca götürececek olan diferansiyel denklemi elde etmek için tip basınçlı akifer modelini ele alalım.



Şekil 5.5 Basınçlı akiferde dengesiz akım

Şekil 5.6'ta ifade edilen s ve h zaman ve kuyuya olan mesafenin bir fonksiyonudur ve $s(r, t)$ ve $h(r, t)$ olarak belirtilir. Bu şekilde r ve $r+\Delta r$ yarıçaplarında iki silindir kesitinden geçen debiler ele alınır. Akım dengesiz akım olduğundan olduğu varsayılan Δr çap farklı her silindirik alanda debiler birbirine eşit değildir. Δr farkındaki silindirik yüzey için süreklilik denklemi yazılacak olursa,

$$[Q(r, t) - Q(r + \Delta r, t)] \Delta t = S 2 \pi r \Delta r [h(r, t) - h(r, t + \Delta t)] \quad (5.1)$$

şeklinde yazılır. $Q(r, t)$ ve $h(r, t)$ sırası ile r radyal mesafesinde t anındaki debi ve piyezometre yüksekliğini gösterir. r kuyu merkezinden belirtilen noktaya olan mesafeyi gösterir. Limit olarak $\Delta t \rightarrow 0$ ve $\Delta r \rightarrow 0$ uygulaması ile yukarıdaki denklem kısmi türevli diferansiyel denklem haline dönüşür.

$$\frac{\partial Q(r, t)}{\partial r} = S2\pi \frac{\partial h(r, t)}{\partial t} \quad (5.2)$$

Genel olarak silindirik yüzey için debi ifadesi

$$Q(r, t) = 2\pi r b V(r, t) \quad (5.3)$$

şeklinde yazılır. $V(r, t)$; r radyal mesafesinde t anındaki yeraltı suyu hızını göstermektedir. Burada Darcy kanununa göre $V(r, t) = k \partial h(r, t) / \partial r$ olduğu belirtilmişti. Hız ifadesinin denklemde yerine konulması ile denklemin son hali;

$$Q(r, t) = 2\pi r b k \frac{\partial h(r, t)}{\partial r} \quad (5.4)$$

Akifer kalınlığı ile hidrolik iletkenliğin çarpımı iletkenlik değerini vermesinden ($T = b k$), denklemi,

$$Q(r, t) = 2\pi r T \frac{\partial h(r, t)}{\partial r} \quad (5.5)$$

şeklinde yazabiliriz. Denklem (5.5), Denklem (5.2)'de yerine konulmasıyla denklemin son hali,

$$\frac{\partial^2 h(r, t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h(r, t)}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h(r, t)}{\partial t} \quad (5.6)$$

şeklinde olur. Bu denklem basınçlı akiferdeki dengesiz akım hareketini ifade eder.

5.5 Kuyuya Doğru Dengesiz Akım

Theis, (5.6) denklemi için yeraltı suyu akımı ile ısı şartları arasında karşılaştırma yaparak bir sonuç elde etmiştir. Theis (5.6) denkleminin ısı transferi denklemine benzediğini fark etmiş ve başlangıç piyezometre yüksekliğini H , t zaman sonraki düşümde $s(r, t) = H - h(r, t)$ olarak ifade edip,

$$H - h(r, t) = W(u) \frac{Q}{4\pi T} \quad (5.7)$$

ve

$$H - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (5.8)$$

yazmıştır. Burada $W(u)$ u boyutsuz zaman faktörüne karşılık gelen kuyu denklemi olarak tanımlanır. $W(u)$ entegrali üssel olduğu için sonsuz serilere açılması ile yaklaşık olarak şu seri elde edilir.

$$W(u) = \left[-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2(2!)} + \frac{u^3}{3(3!)} - \frac{u^4}{4(4!)} \dots \right] \quad (5.9)$$

u ve kuyu fonksiyonu, $W(u)$ akifer parametrelerine bağıntılı açık ifadeleri,

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (5.10)$$

$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T} \quad (5.11)$$

şeklindedir. Bu düşün denkliği basınçlı akiferlerde açılmış bir kuyunun düşün denklemidir, basınçsız akiferler için denklemde yapılan gerekli düzenlemelerle elde edilen eşitlik şöyledir;

$$H^2 - h^2 = W(u) \frac{Q}{4\pi T} \quad (5.12)$$

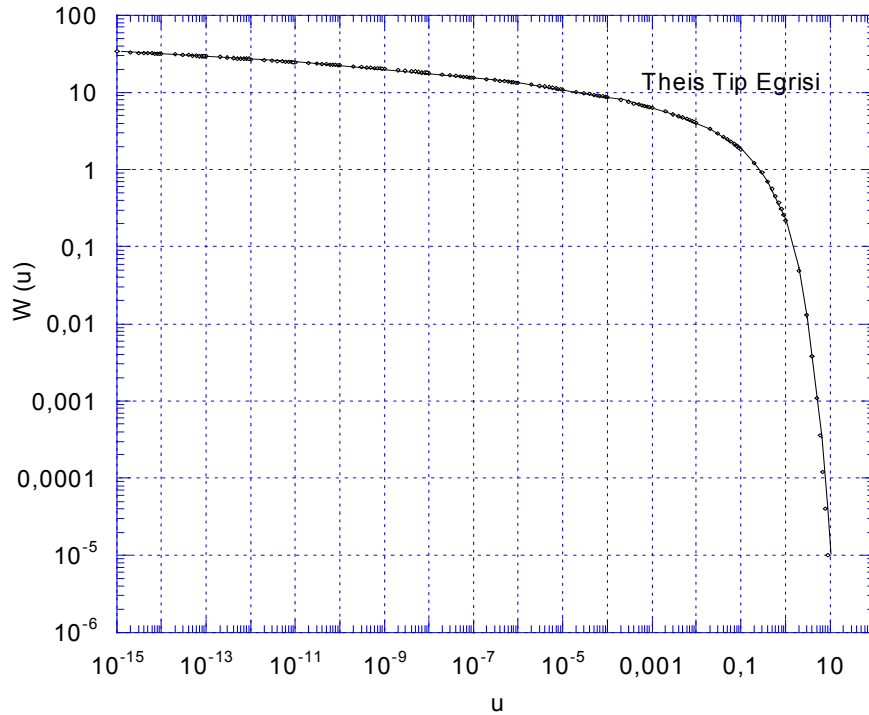
5.6 Basınçlı Akifer Modelleri

5.6.1 Theis Metodu

Theis metoduna ait (5.9) ve (5.10) denklemleri kuyuya doğru dengesiz akım bölümünde elde edilmişti.

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (5.13)$$

$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T} \quad (5.14)$$



Şekil 5.6 Theis Tip Eğrisi

Theis metodu iletkenlik ve depolama katsayılarını elde etmek için, logaritmik kağıdın bir eksenine u veya $1/u$, diğer eksenine $W(u)$ değerleri işaretlenerek çözüme gidilen yaklaşık bir yöntemdir. Oluşan eğriye Theis tip eğrisi adı verilir.

İkinci aşama olarak bir başka logaritmik kağıda t , düşüm değerlerine karşılık r^2/t değerleri ilk aşamada oluşturulan tip eğri ile aynı ölçekte olacak şekilde çakıştırılır. Üçüncü aşamada bu oluşturulan iki eğrinin koordinat eksenleri paralel olacak şekilde, eğriler çakıştırılır. Bu iki eğrinin çakıştığı uygun bir nokta alınarak $W(u)$, u , s ve r^2/t değerleri okunur. Okunduktan sonra elde edilen değerler Denklem (5.13) ve (5.14)'te yerine yazılmasıyla akifere ait S ve T değerleri elde edilir.

Çizelge 5.1 Theis tip eğrisi değerleri

u	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
1	0.219	0.049	0.013	0.0038	0.0011	0.00036	0.00012	0.00004	0.00001
10^{-1}	1.82	1.22	0.91	0.70	0.56	0.45	0.37	0.31	0.26
10^{-2}	4.04	3.35	2.96	2.68	2.47	2.30	2.15	2.03	1.92
10^{-3}	6.33	5.64	5.23	4.95	4.73	4.54	4.39	4.26	4.14
10^{-4}	8.63	7.94	7.53	7.25	7.02	6.84	6.69	6.55	6.44
10^{-5}	10.94	10.24	9.84	9.55	9.33	9.14	8.99	8.86	8.74
10^{-6}	13.24	12.55	12.14	11.85	11.63	11.45	11.29	11.16	11.04
10^{-7}	15.54	14.85	14.44	14.15	13.93	13.75	13.60	13.46	13.34
10^{-8}	17.84	17.15	16.74	16.46	16.23	16.05	15.90	15.76	15.65
10^{-9}	20.15	19.45	19.05	18.76	18.54	18.35	18.20	18.07	17.95
10^{-10}	22.45	21.76	21.35	21.06	20.84	20.66	20.50	20.37	20.25
10^{-11}	24.75	24.06	23.65	23.36	23.14	22.96	22.81	22.67	22.55
10^{-12}	27.05	26.36	25.96	25.67	25.44	25.26	25.11	24.97	24.86
10^{-13}	29.36	28.66	28.26	27.75	27.56	27.56	27.41	27.28	27.16
10^{-14}	31.66	30.97	30.56	30.27	29.87	29.87	29.71	29.58	29.46
10^{-15}	33.96	33.97	32.86	32.35	32.17	32.17	32.02	31.88	31.76

Walton bu yöntem üzerinde yaptığı değişikliklerle sonuca gitmeyi kolaylaştırmıştır. İkinci hazırlanan logaritmik kağıda s , düşüm değerlerine karşılık olarak r^2/t değerleri yerine t

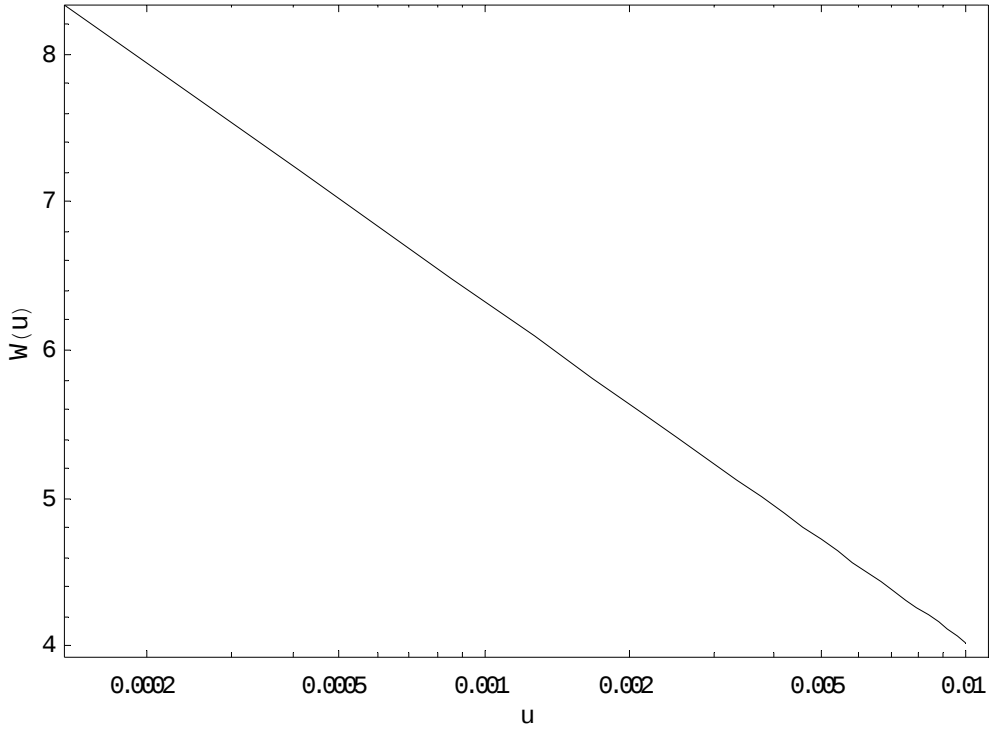
değerlerinin işlemiştir ve yakın çözümlere ulaşmıştır. Ancak çakıştırma işleminden sonra seçilen nokta ikinci oluşturulan eğride değil, tip eğride u değerine karşılık gelen $W(u)$ değeri okunarak T ve S değerlerine ulaşılır.

5.6.2 Doğrusal Yöntemler

Cooper ve Jacob elde edilen $W(u)$, kuyu fonksiyonunun, u 'nun 0.01'den küçük değerleri için yarı logaritmik eksenli bir kağıtta doğru oluşturduğunu gözlemlemiştir. Kuyu fonksiyonunun $\ln u$ ' dan sonraki terimleri ihmal edilirse denklem,

$$W(u) = -0,5772 - \ln u \quad (5.15)$$

olarak yazılabilir. bu yaklaşımla hata payı %1'den daha küçüktür.



Şekil 5.7 Jacob'un yarı logaritmik kağıttaki doğrusal modeli

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (5.16)$$

$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4 \pi T} \quad (5.17)$$

Denklem (5.15) ve (5.16), Denklem (5.17)'de yerlerine yazılarak s değeri,

$$s(r, t) = \frac{2.3 Q}{4 \pi T_E} \log \left(\frac{2.25 T t}{r^2 S} \right) \quad (5.18)$$

şeklinde yazılır. Bu denklem debinin sabit olması koşulu ile s, düşüm değerinin zaman-mesafe ile değişimini ifade etmektedir. Çizelge 5.2 u değerlerine göre hata seviyelerini göstermektedir.

Çizelge 5.2 Boyutsuz zaman faktörünün hata seviyeleri

Hata (%)	Geçerlilik
0.25	$u < 0.01$
2.00	$u < 0.05$
5.00	$u < 0.10$
10.00	$u < 0.15$

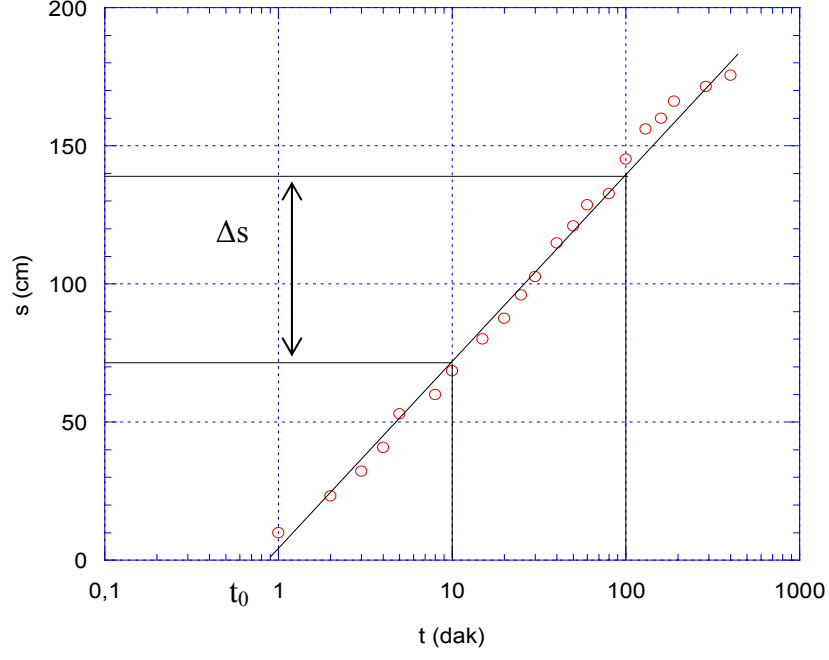
Denklem (5.18)'den düşümün, zaman, t, mesafe, r ve zaman mesafe birleşimi olarak, t/r^2 , ile değişimleri tek tek ele alınırsa zaman-düşüm, mesafe-düşüm ve birleşik değişken-düşüm olmak üzere üç ayrı yöntemle çözüme gidilebilir.

5.6.2.1 Zaman-Düşüm Modeli

Bu yöntem ana kuyudan sabit mesafelerde açılmış bir gözlem kuyusunda yapılan zaman-düşüm ölçümlerinden, akifer parametrelerinin bulunması için kullanılır. Arazi verilerinin ancak geç zaman ölçümleri yarı logaritmik kağıtta bir doğru oluşturduğundan bu yönteme geç zaman yöntemi de denir. Zaman yatay ekseninde logaritmik olarak, düşüm düşey ekseninde işaretlenerek doğru oluşur. Şekil 5.9 metotların uygulanması bölümünde ele alınacak olan bir gözlem kuyularının verileri ile oluşturulmuştur. En uygun doğru bu noktalar aracılığıyla seçildikten sonra doğrunun eğimi Δs_t , zaman ekseni üzerinde t_0 , verilerini elde edebiliriz. Aşağıda verilen formüller ile T ve S elde edilir.

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t} \quad (5.19)$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2} \quad (5.20)$$



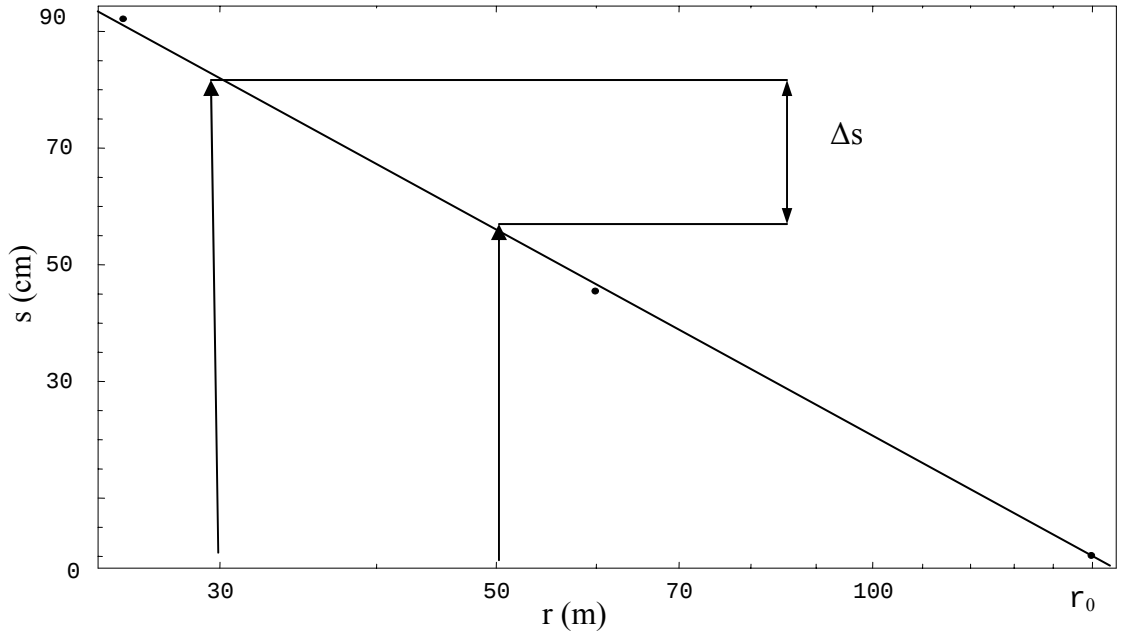
Şekil 5.8 Zaman-düşüm doğrusu

5.6.2.2 Mesafe-Düşüm Modeli

Düşüm konisi zaman ve mesafe ile değişir. Mesafe ile olan değişimi hesaplayabilmek için ana kuyudan değişik mesafelere yerleştirilmiş gözlem kuyularında düşümler ölçülmelidir. Şekil 5.9’da, mesafe-düşüm verilerini elde ettikten sonra yatay logaritmik eksenle mesafe, düşey eksenle de düşüm olmak üzere işaretlendikten sonra verilerin tekrar bir doğru üzerinde saçıldığı görülür. Bu doğrunun eğimi Δs_r , yatay eksenle kestiği nokta r_0 , olmak üzere belirlendikten sonra aşağıda verilen denklemlerle T ve S değerleri elde edilebilir.

$$T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_r} \quad (5.21)$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r_0^2} \quad (5.22)$$



Şekil 5.9 Mesafe-düşüm doğrusu

Bu yöntemle elde edilen en önemli veri r_0 'ın düşüm konisi yarıçapına eşit olmasıdır.

5.6.2.3 Birleşik Değişkenler Modeli

Düşüm konisinin zaman ve mesafe ile değişimi, t/r^2 birleşik değişkeni ile de temsil edilebilir. Bu yöntem için birden fazla gözlem kuyusuna ihtiyaç vardır ve bu kuyularda düşüm değerlerinin tespiti gerekmektedir.

$$s(r, t) = \frac{2.3 Q}{4 \pi T} \log \left(\frac{2.25 T_t}{r^2 S} \right) \quad (5.23)$$

Denklemindeki t/r^2 birleşik değişkeni ile düşüm yarı logaritmik eksen takımlı kağıtta bir doğru oluşturacaktır. Bu doğrunun eğimi $\Delta s_{(t/r)}$, doğrunun yatay eksenini kestiği nokta $(t/r^2)_0$ elde edilir. Böylelikle T ve S katsayıları aşağıdaki eşitliklerden bulunur.

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_{(t/r)}} \quad (5.24)$$

$$S = 2.25 T \left(\frac{t}{r^2} \right)_0 \quad (5.25)$$

5.6.3 Singh Metodu

Jacob-Cooper akifer parametrelerinin tespiti çalışmalarında uyguladıkları yöntemlerde u değerinin 0.01 den büyük olduğu durumlarda sonuç elde edememişlerdir. Akiferin erken zamanlı düşümü hesabında u değerinin 0.01'den büyük değerleri hesaplamalarda önemsiz görünmüştür. Ancak bu yöntemde $u=0.43$ değeri ile Sushil K. Singh tarafından daha kesin çözüme gidildiği fark edilmiştir. Sunulan bu basit yöntemde eğri uydurma işlemlerine gerek yoktur. Aynı zamanda $u < 0.01$ değerlerindeki çözümleri de kapsamaktadır. Singh, Theis tarafından homojen ve izotrop, sonsuz genişlikte, basınçlı akiferler için yazılan düşüm denkleminden yararlanır.

$$s = \frac{Q}{4 \pi T} \int_u^x \frac{e^{-x}}{x} dx \quad (5.26)$$

$$s = W(u) \frac{Q}{4 \pi T} \quad (5.27)$$

$$u = \frac{S}{4 \pi \alpha} \quad (5.28)$$

$\alpha = t/r^2$ olarak ifade edilir ve t , pompajın başladığı andan itibaren geçen zaman ve r , gözlem kuyusunun pompajın yapıldığı kuyuya olan uzaklığıdır. s değerinin α değerine bölünmesi ile s' tanımlanır.

$$s' = \frac{s}{\alpha} \quad (5.29)$$

$$s' = \frac{Q}{4 \pi T \alpha} W(u) \quad (5.30)$$

olarak yazılabilir. Yarı logaritmik kağıtta α değerlerine göre s' değerleri işaretlendiğinde oluşacak çan biçimindeki eğrinin tepe noktası $s'_* \left(s'_* = \frac{s_*}{\alpha_*} \right)$ olarak tanımlanır α_* tepe noktasındaki α değeridir. Denklem (5.30)'daki α değerinin yardımı ile diğer tepe noktası karakteristikleri bulunur ve $(*)$ alt indisi ile gösterilir.

$$u_* = 0.4348182 \quad (5.31)$$

$$W(u_*) = 0.6473 \quad (5.32)$$

(5.31) ve (5.32) eşitlikleri, sıra ile (5.28) ve (5.27)'de yerine konulursa akifer parametreleri elde edilir.

$$T = \frac{Q}{4 \pi s_*} W(u_*) = 51.52 \times 10^{-3} \frac{Q}{s_*} \quad (5.33)$$

$$S = \frac{4 T t u_*}{r^2} = 1.7393 T \alpha_* \quad (5.34)$$

α eğrisine kaşı gelen bir s' değerinin eşleşebilmesi için gerekli şart; en azından bir noktada $u > 0.4348$ olmasıdır. Erken düşüm değerleri kısa zaman aralıklarıyla kaydedilir, ve s'_* ve α_* değerlerinin, tepe noktası civarındaki noktaların uygun şekilde birleştirilmesi ile yeri öğrenilebilir. Daha sonra bilinen s'_* ve α_* değerleri ile,

$$s_* = \alpha_* s'_* \quad (5.35)$$

eşitliğinden s_* , daha sonra yazılan (5.33) ve (5.34) denklemlerinden T ve S elde edilir. Bu metotla akifer parametrelerinin hesaplanabilmesi için birkaç düşünme değeri yeterli olmaktadır. Akifer parametrelerinin çözümünün başarısı ($s' - \alpha$) grafiğinde tepe noktasının saptanmasına bağlıdır. Tepe noktası değerleri (t_* , s_*/t_*); işaretlenmiş noktalardan oluşan birleştirilmiş bir eğri yardımıyla elde edilir. Tepe noktasındaki koordinatlar oluşturulduktan sonra s_* değeri, daha sonra $\alpha_* = t_* / r^2$ bağıntısından α_* tespit edilir. (5.26) eşitliği s_* ve α_* değişkenler olarak ele alınıp şöyle yazılabilir.

$$\frac{S}{S_*} = 1.5446 W\left(\frac{0.4348 \alpha_*}{\alpha}\right) \quad (5.36)$$

Eğer yapılan bir çok ölçümden α değerine karşı gelen s/α değeri veya yapılacak tek bir ölçümden bile t değerine karşı gelen s' değeri yerleştirilemiyorsa; s_* ve α_* parametreleri $u < 0.01$ için geç düşümlerden hesaplanabilir. Bu durumda aşağıdaki denklem yazılır.

$$\frac{S}{S_*} = 3.5566 \log\left(\frac{1.2913 \alpha}{\alpha_*}\right) \quad (5.37)$$

Bu denkleme göre α veya t değerlerine karşılık gelen s değerleri işaretlendiğinde, logaritmik ekseninde α veya t bulunan grafikte düz bir çizgi oluşur. s değeri t 'ye yada α 'ya göre (t ve α logaritmik ekseninde) işaretlendiğinde, düz çizgi elde edilir (doğru çizilirken $u > 0.01$ olan veri dikkate alınmamalıdır). Bu nedenle bu metot Cooper – Jacob metoduyla $u \leq 0.01$ için ortaklaşır. Ve aşağıdaki bağıntılar yazılır.

$$s_* = 0.2812 \Delta s \quad (5.38)$$

$$\alpha_* = 1.2913 \alpha_0 \quad (5.39)$$

$$t_* = 1.2913 t_0 \quad (5.40)$$

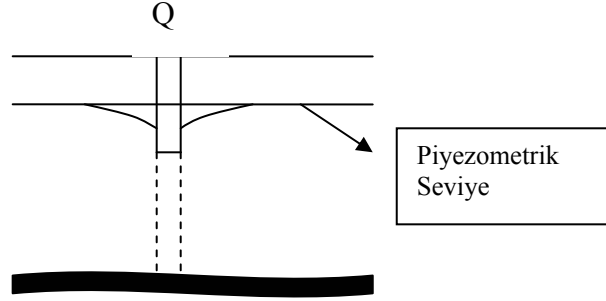
Burada $\alpha_0, s=0$ için x eksenini kestiği noktadır. Bu durumda oluşan düz çizgi $u > 0.01$ değeri için kullanılamaz.

5.7 Basıncsız Akifer Modelleri

5.7.1 Boulton Modeli

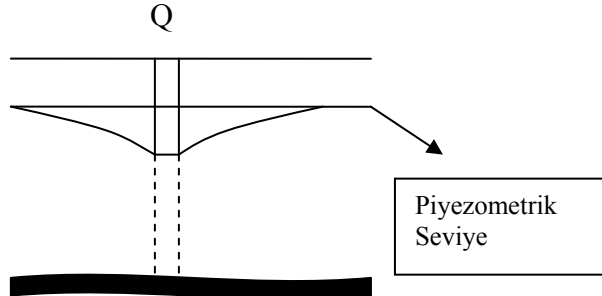
Serbest yüzlü akiferlerin zaman-düşüm değerlerinin noktalanmasında üç farklı bölüm vardır:

1. Pompajın başlaması ile akiferin davranışı basınçlı akiferde olduğu gibidir. Bu süreçte önemli bir gecikmiş verim yoktur. Çünkü düşüm konisindeki büyüme, yerçekimi drenajının yer altı su seviyesine doğru hareketini oluşturacak kadar seviyeye ulaşmamıştır.



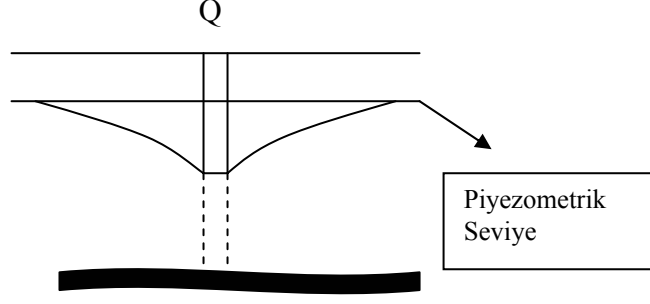
Şekil 5.10 Yerçekimi drenajı ilk kademe

2. Daha sonra düşüm konisinin geliştiği gözlemlenir. Doygun bölgeye doğru yerçekimi drenajının olduğu görülür. Yerçekimi drenaj miktarı kuyudan uzaklaştıkça azalır.



Şekil 5.11 Yerçekimi drenajı ikinci kademe

3. Son olarak düşüm konisi hacmindeki artış bir önceki aşamaya göre azalır. Bu yüzden yerçekimi drenajı ve alanı ihmal edilir.



Şekil 5.12 Yerçekimi drenajı üçüncü kademe

İkinci kısım diğer kısımlardan farklıdır. Boulton yarı ampirik matematiksel olarak üç bölümü de açıklayabilmiştir. İlk bölüm için matematiksel olarak;

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4\pi T_E S_E}{Q} \quad (5.41)$$

Burada β , drenaj faktörü denir ve şöyle tanımlanır.

$$\beta^2 = \frac{T_E}{S_L} \quad (5.42)$$

$1/\beta$ kavramsal olarak Boulton gecikme indeksi adını alır ve ampirik bir sabittir. u_E boyutsuz zaman faktörü ise;

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E} \quad (5.43)$$

şeklinde ifade edilir. S_E , basınçsız akiferin basınçlı akifer gibi davrandığında oluşan depolama katsayısıdır. Düşüm-zaman eğrisinin son kısmı;

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4\pi T_L S_L}{Q} \quad (5.44)$$

şeklinde yazılabilir.

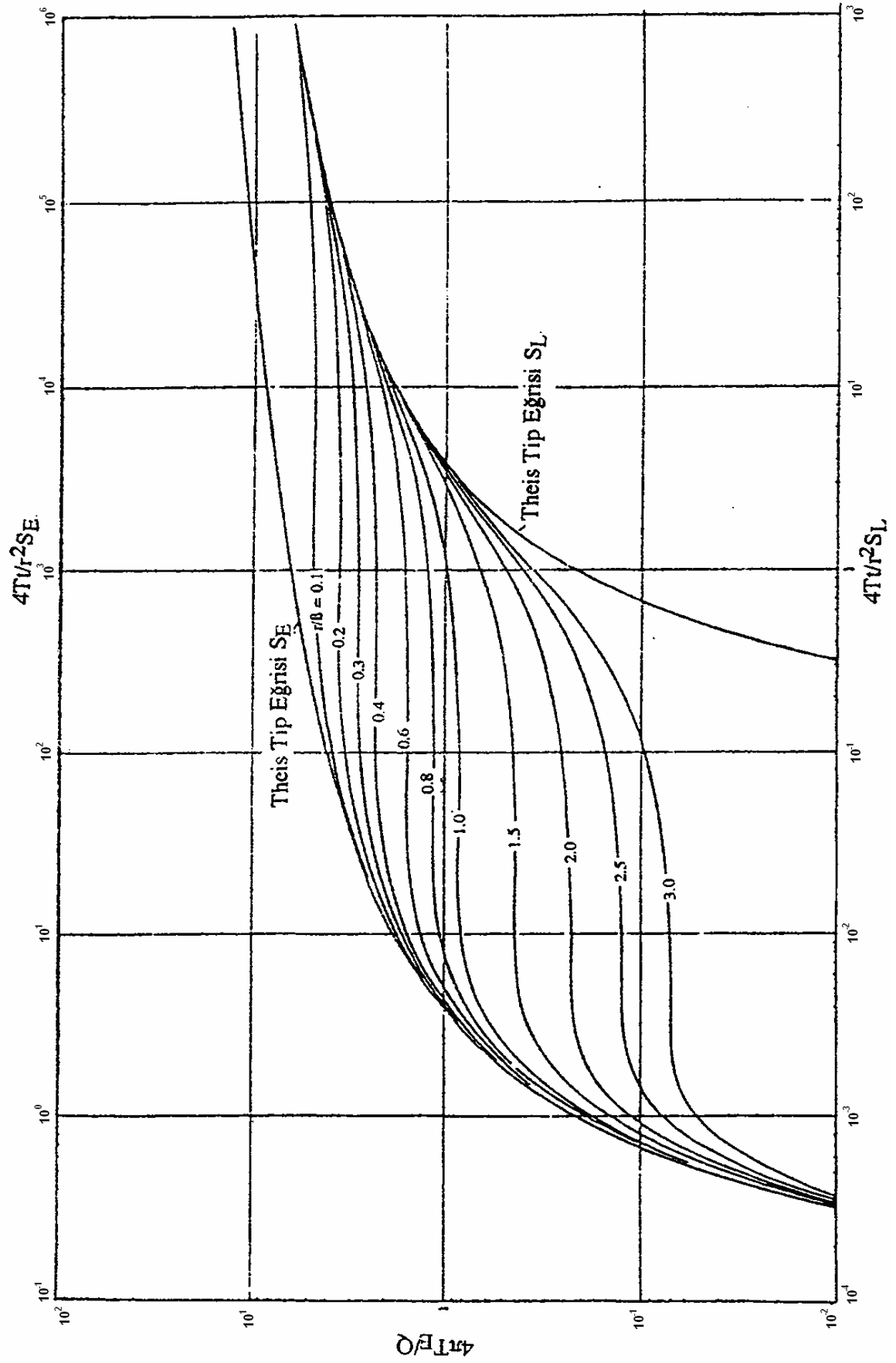
$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L} \quad (5.45)$$

olarak tanımlanıp, S_L , basınçsız akiferin özgül verimidir. Düşey akım bileşeni $\eta = S_L / S_E$ oranına bağlıdır. Yukarıda yazılan formüller η sıfıra giderken geçerlidir. Bu da S_E değeri büyük değerler aldığı anda mümkündür. Ancak pratikte rastlanan durum genelde $\eta > 100$ içindir. Boulton tipi eğrilerini çizmek için gerekli veriler Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bu tip eğriler ilk ve son Theis tipi eğrilerle sınırlandırılmıştır. İlk aşama olarak arazi verileri çakıştırma noktaları $(s_E)_{\max}$, $(t_E)_{\max}$, $(1/u_E)_{\max}$, ve $W(u_E, r/\beta)_{\max}$ tip eğrisinden ve arazi verilerinden okunur. En iyi çakışan $(r/\beta)_{\max}$ değerleri de işlenir. Bu değerlerin Denklem(5.42) ve (5.43)'te yerine yazılmasıyla Q , T_E , ve S_E belirlenir. Sonraki aşamada arazi veri föyü sağa kaydırılarak, geç zaman tip eğrisine tercihen $(r/\beta)_{\max}$ yazılı eğriye çakıştırılır. İkinci çakışma noktasının koordinatları, Denklem (5.44) ve (5.45) aracılığıyla T_L ve S_L belirlenir.

Çizelge 5.3 Boulton tiğ eğrilerinin çiziminde kullanılan değerler

$r/\beta = 0.01$			$r/\beta = 0.1$			$r/\beta = 0.2$			$r/\beta = 0.316$		
$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$
N	n		N	n		N	n		N	n	
1	1	1,82	1	1	1,80	5	0	1,19	1	0	0,216
1	2	4,04	5	1	3,24	1	1	1,75	2	0	0,544
1	3	6,31	1	2	3,81	5	1	2,96	5	0	1,15
5	3	7,80	2	2	4,30	1	2	3,29	1	1	1,56
1	4	8,40	5	2	4,71	5	2	3,50	5	1	2,50
1	5	9,42	1	3	4,83	1	3	3,51	1	2	2,62
1	6	9,44	1	4	4,85				1	3	2,65
$r/\beta = 0.4$			$r/\beta = 0.6$			$r/\beta = 0.8$			$r/\beta = 1.0$		
$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$
N	n		N	n		N	n		N	n	
1	0	0,213	1	0	0,216	5	-1	0,046	5	-1	0,0444
2	0	0,534	2	0	0,504	1	0	0,197	1	0	0,185
5	0	1,11	5	0	0,996	2	0	0,446	2	0	0,421
1	1	1,56	1	1	1,31	5	0	0,857	5	0	0,715
5	1	2,18	2	1	1,49	1	1	1,05	1	1	0,819
1	2	2,22	5	1	1,55	2	1	1,12	2	1	0,841
$r/\beta = 0.4$			$r/\beta = 0.6$			$r/\beta = 0.8$			$r/\beta = 1.0$		
$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$
N	n		N	n		N	n		N	n	
1	-1	2,23	4,44	-1	1,59	2,5	-2	1,13	4	-2	0,844
1	0	2,26	2,22	0	1,71	2,5	-1	1,16	4	-1	0,901
5	0	2,40	4,44	0	1,85	1,25	0	1,20	4	0	1,36
1	1	2,55	1,67	1	2,45	2,5	0	1,39	4	1	3,14
3,75	1	3,20	4,44	1	3,26	9,37	0	1,94			
1	2	4,05				2,5	1	2,70			
$r/\beta = 1.5$			$r/\beta = 2.0$			$r/\beta = 2.5$			$r/\beta = 3.0$		
$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$
N	n		N	n		N	n		N	n	
7,11	-2	0,444	4	-2	0,239	2,56	-2	0,132	1,78	-2	0,0743
3,55	-1	0,509	2	-1	0,283	1,28	-1	0,162	8,89	-2	0,0939
7,11	-1	0,587	4	-1	0,337	2,56	-1	0,199	1,78	-1	0,119
2,67	0	0,963	1,5	0	0,614	9,6	-1	0,399	6,67	-1	0,262
7,11	0	1,570	4	0	1,110	2,56	0	0,798	1,78	0	0,577
$r/\beta = 1.5$			$r/\beta = 2.0$			$r/\beta = 2.5$			$r/\beta = 3.0$		
$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/\beta)$
N	n		N	n		N	n		N	n	
5	-1	0,0394	3,33	-1	0,010	5	-1	0,0271	5	-1	0,0210
1	0	0,151	5	-1	0,0335	1	0	0,0803	1	0	0,0534
1,25	0	0,199	1	0	0,114	1,25	0	0,0961	1,25	0	0,0607
2	0	0,301	1,25	0	0,144	2	0	0,117	2	0	0,0681
5	0	0,413	2	0	0,194	5	0	0,125	5	0	0,0695
1	1	0,427	5	0	0,227	1	1	0,125	1	1	0,0695
2	1	0,428	1	1	0,228						
$r/\beta = 0.01$			$r/\beta = 0.1$			$r/\beta = 0.2$			$r/\beta = 0.316$		
$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/\beta)$
N	n		N	n		N	n		N	n	
2	2	9,45	4	0	4,86	4	-1	3,52	4	-1	2,66
4	3	9,54	4	1	4,95	4	0	3,54	4	0	2,74
4	4	10,2	4	2	5,6	2	1	3,7	4	1	3,38
4	5	12,3	4	3	7,7	4	1	3,9	4	2	5,42
4	6	14,6	4	4	10,0	1,5	2	4,6	4	3	7,72

Not: $1/u_E, 1/u_L : N \times 10^n$



Şekil 5.13 Boulton tip eğrileri

5.7.2 Neuman Metodu

Bu metod basınçsız akiferde zaman-düşüm eğrisinin üç kısmını da bir modelle vermiştir. Bu metotta basınçsız kuyu fonksiyonu;

$$W(u_E, u_L, r/\beta) = \frac{4\pi T_E s_E}{Q} \quad (5.46)$$

olarak tanımlanır. $\beta = r^2 / m^2$ 'dir. Tip eğrilerin ilk zaman kısmı kuyu fonksiyonu ve boyutsuz zaman faktörü;

$$W(u_E, \beta) = \frac{4\pi T_E s_E}{Q} \quad (5.47)$$

$$u_E = \frac{r^2 s_E}{4 t_E T_E} \quad (5.48)$$

olarak verilir. s_E burada elastik depolama olup suyun kuyuya kritik inişini ifade eder. Boulton metoduna benzer şekilde tip eğrilerin geç zaman kısmı için kuyu fonksiyonu ve boyutsuz zaman faktörü;

$$W(u_L, \beta) = \frac{4\pi T_L s_L}{Q} \quad (5.49)$$

$$u_L = \frac{r^2 s_L}{4 t_L T_L} \quad (5.50)$$

olur. s_L suyun kuyuya gecikmiş olarak gelişini ifade eden özgül verimdir.

Boulton ve Neuman metotları iletkenlik, depolama katsayısı ve özgül depolama değerlerini verir. Farkı ise Boulton metodu düşey permeabilite hakkında fikir vermez, bunun yanı sıra verim indeksi (β) parametresini verir.

5.7.3 Düz Çizgi Metodu

Jacob tarafından verilen eğrilerden daha gerçekçi sonuçlar elde ettiğini gösteren Neuman'ın yarı logaritmik olarak çizdiği tip eğrileri ve verdiği düşünüm denklemi aşağıdaki gibidir.

$$s_L = \frac{2.3 Q}{4 \pi T_L} \log \left(\frac{2.25 T_L t_L}{r^2 S_L} \right) \quad (5.51)$$

aynı zamanda başlangıç zamanı için düşünüm değeri;

$$s_E = \frac{2.3 Q}{4 \pi T_E} \log \left(\frac{2.25 T_E t_E}{r^2 S_E} \right) \quad (5.52)$$

şeklinde verilmiştir.

Neuman'ın düz çizgi metodunu aşamalarını şu şekilde sıralayabiliriz.

1. Elde edilen düşünüm-zaman değerleri yarı logaritmik kağıda işlenir. x koordinatı zaman, y koordinatları düşünüm olarak işaretlenir.
2. İşaretlenen verilerin son zaman değerleri düz çizgi ile birleştirilip çizginin zaman eksenini kestiği nokta belirlenir. Bu nokta düşünümün sıfır olduğu zaman t_L zamanıdır. Bu doğrunun eğimi Δs_L ile gösterilir. Yukarıdaki ilk eşitlikten aşağıdaki denklemler yazılır.

$$T_L = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_L} \quad (5.53)$$

$$S_L = \frac{2.25 t_L T_L}{r^2} \quad (5.54)$$

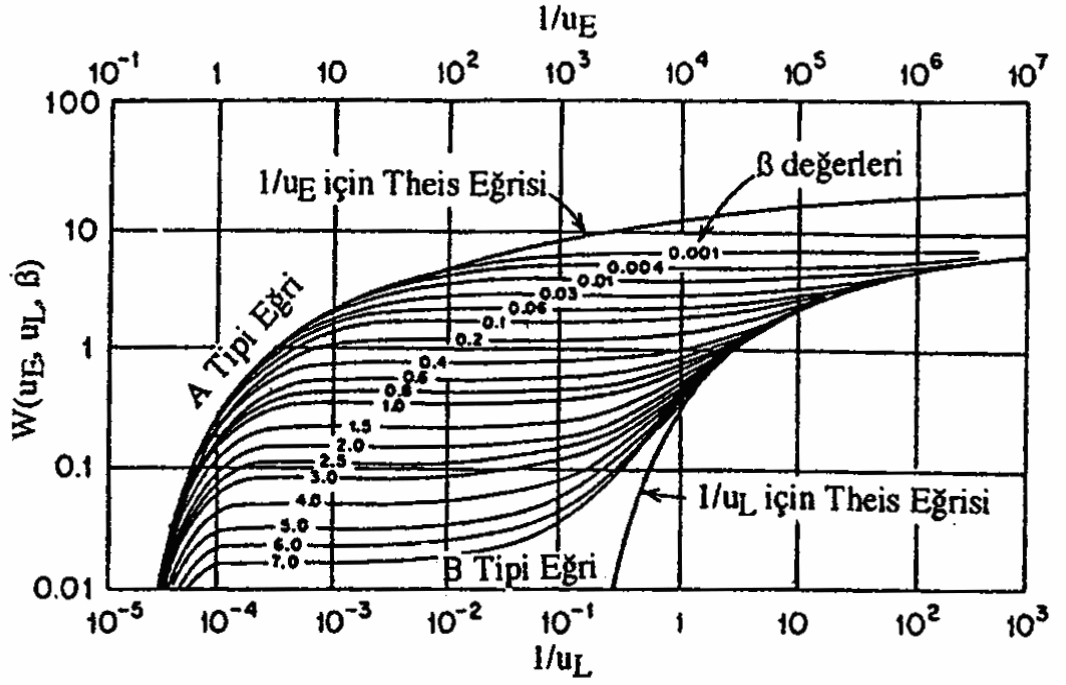
3. Daha sonra elde edilen verilerin başlangıç zamanlarına ait veriler de düz çizgi ile birleştirilir. Eğer bu çizginin eğimi ilk olarak birleştirilen çizginin eğminden farklı ise işlem iptal edilir ve depolama katsayısı, tip eğrilerin çakıştırma yoluyla bulunur. Eğer bu adımda birleştirilerek oluşturulan bu iki doğrunun eğimleri

bşrbşrlerşne yakın ise tekrar zaman ekseninin keştiğı nokta işaretlenir ve t_E ile ifade edilir. Eğimi de Δs_L olur. Sonra aşğıdaki řu bağıntılardan;

$$T_E = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_E} \quad (5.55)$$

$$S_E = \frac{2.25 t_E T_E}{r^2} \quad (5.56)$$

hesaplanır. Burada adımlarda bir yanlışlık yapılmadı ise yaklaşık olarak T_L ve T_E değerleri eşittir.

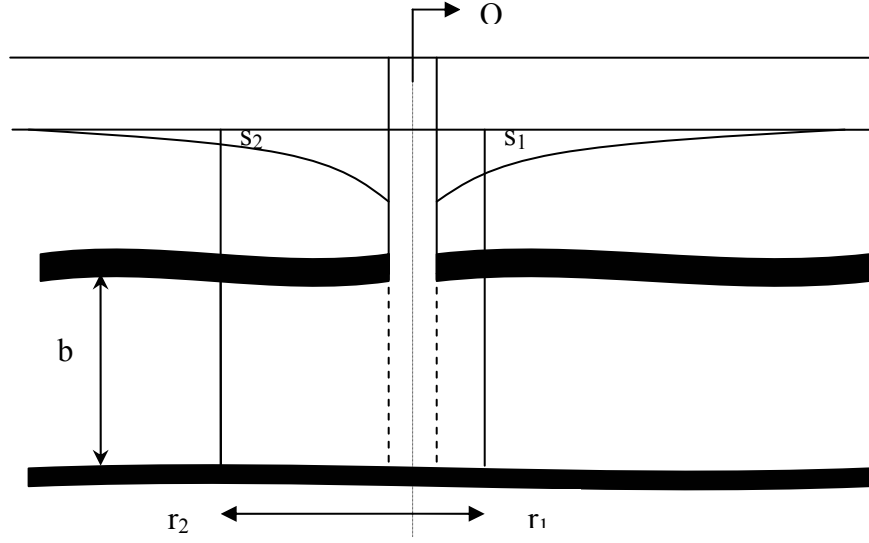


Şekil 5.14 Neuman düz çizgileri

5.7.4 Şen Grafik Metodu

Basıncılı ve sızdırmalı akiferlere uygulanabilen pratik bir metottur. Daha çok iletkenliğin belirlenmesinde gerçekçi sonuçlar vermektedir. Theim tarafından küçük çaplı kuyularda, yarı dengeli akım durumunda aşağıdaki bağıntı verilmiştir.

$$Q = 2 \pi T \frac{s_1 - s_2}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \quad (5.57)$$

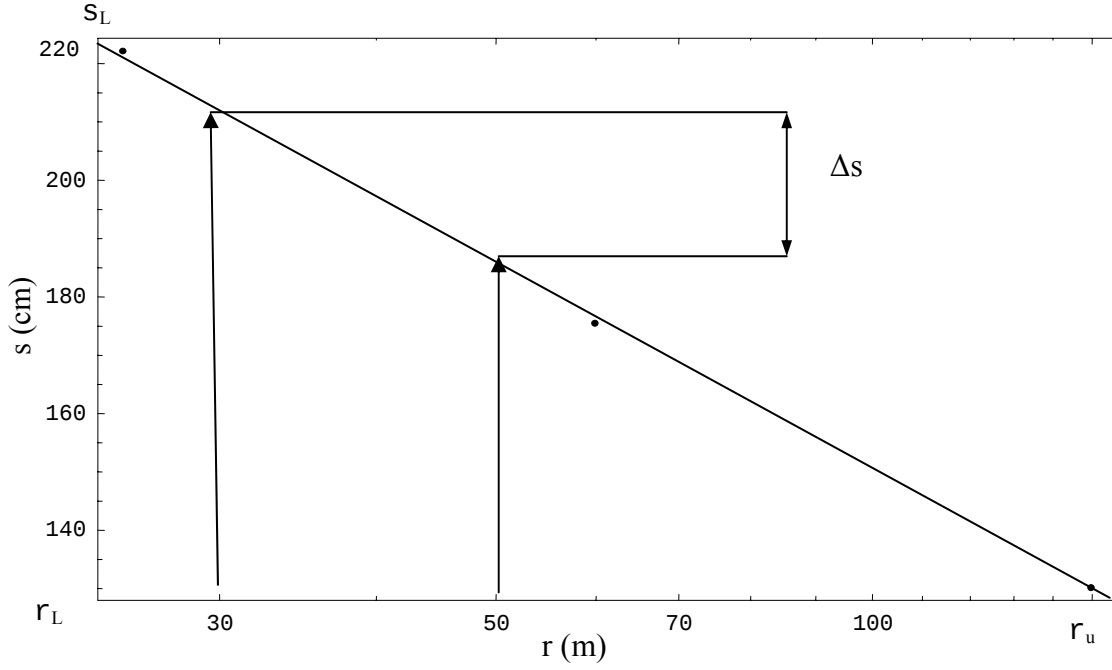


Şekil 5.15 Radyal mesafelere karşılık gelen düşümler

Bu terimleri aşağıdaki Şekil 5.16 üzerinden tanımlanabilir. Şekilde görüldüğü gibi s_1 ve s_2 , r_1 ve r_2 mesafelerindeki düşümlerdir. Q debi, T ise akifer iletkenliğidir. Şen(1987) depolama katsayısını t süresince kuyudan çekilen debinin düşüm konisi hacmine olan oranı olarak tanımlamıştır.

$$S = \frac{Q t}{V_D} \quad (5.58)$$

Bu metotta gözlem kuyuları mesafeleri yatayda logaritmik olarak, düşüm değerleri düşeyde işaretlenir.



Şekil 5.16 Şen grafik metodu

Birleştirilerek oluşan doğrusalın eğimi bilinen $\Delta s = 2.3Q/2\pi T$ eşitliğinden bulunur. Mantıksal olarak şekilde oluşan üçgenin alanı düşüm konisi hacmi ile bağlantılıdır. Üçgenin düşüm eksenini etrafında döndürülmesiyle oluşan hacim hesaplanır ve şöyle ifade edilebilir.

$$D = \pi \frac{(r_U - r_L)^2}{\ln\left(\frac{r_U}{r_L}\right)} s_L \quad (5.59)$$

Denklem (5.56), Denklem (5.55)'te yerine konulursa

$$S = \frac{Qt}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln\left(\frac{r_U}{r_L}\right) \quad (5.60)$$

elde edilir.

5.7.5 Basıncsız Akiferlerde T ve S Parametrelerinin Hesaplanması

Dengesiz akım halinde düşüm ile debi arasındaki bağıntı,

$$H^2 - h^2 = W(u) \frac{Q}{2 \pi k} \quad (5.61)$$

şeklinde verilir. k burada hidrolik iletkenliktir. Burada kuyu fonsiyonunun u değerinin 0.05'ten küçük olduğu durumlarda;

$$W(u) = -0.5772 - \ln u \quad (5.62)$$

şeklinde yazabiliriz. Denklem (5.61) ve (5.62)'den;

$$H^2 - h^2 = \ln \left(\frac{0.562}{u} \right) \frac{Q}{2 \pi k} \quad (5.63)$$

şeklinde yazabiliriz. Boyutsuz zaman faktörünüde,

$$u = \frac{Sr_w^2}{4 Tt} \quad (5.64)$$

olarak ifade edebiliriz. Zamana (t_1 ve t_2) bağlı olarak değişkenler ifade edilecek olursa;

$$H^2 - h_1^2 = \ln \left(\frac{0.562}{u_1} \right) \frac{Q}{2 \pi k} \quad (5.65)$$

$$H^2 - h_2^2 = \ln \left(\frac{0.562}{u_2} \right) \frac{Q}{2 \pi k} \quad (5.66)$$

Olur. Bu ifadeleri taraf tarafa düzenlersek eğer;

$$h_1^2 - h_2^2 = \ln \left(\frac{u_1}{u_2} \right) \frac{Q}{2 \pi k} \quad (5.67)$$

denklemini elde edilir. Denklem (5.64)'ten anlaşılacağı üzere u boyutsuz zaman faktörü t ile ters orantılıdır. 1 ve 2 anları için yazılacak olursa;

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{t_2}{t_1} \quad (5.68)$$

yazılır. Denklem (5.68), (5.67)'de yerine konulursa;

$$h_1^2 - h_2^2 = \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \frac{Q}{2\pi k} \quad (5.69)$$

şeklini alır. Bu denklemde hidrolik iletkenliği çekecek olursak,

$$k = \frac{Q}{2\pi (h_1^2 - h_2^2)} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (5.70)$$

eşitliği elde edilir. Hidrolik iletkenlik ile su tabakası kalınlığı çarpımı bize T değerini verecektir.

$$T = \frac{QH}{2\pi (h_1^2 - h_2^2)} \ln\left(\frac{t_2}{t_1}\right) \quad (5.71)$$

İkinci aşama olarak depolama katsayısını elde etmek için Denklem (5.64), Denklem (5.63)'te yerine yazılırsa,

$$H^2 - h^2 = \frac{QH}{2\pi T} \ln\left(\frac{2.246 Tt}{S r_w^2}\right) \quad (5.72)$$

eşitliği elde edilir. Gerekli düzenlemelerle akiferlerde depolama katsayısını hesaplayabileceğimiz formülü elde etmiş oluruz.

$$S = \frac{2.246 Tt}{r_w^2 \exp(2\pi T (H^2 - h^2)/QH)} \quad (5.73)$$

6. DENGESİZ AKIM DURUMUNDA METODLARIN UYGULANMASI

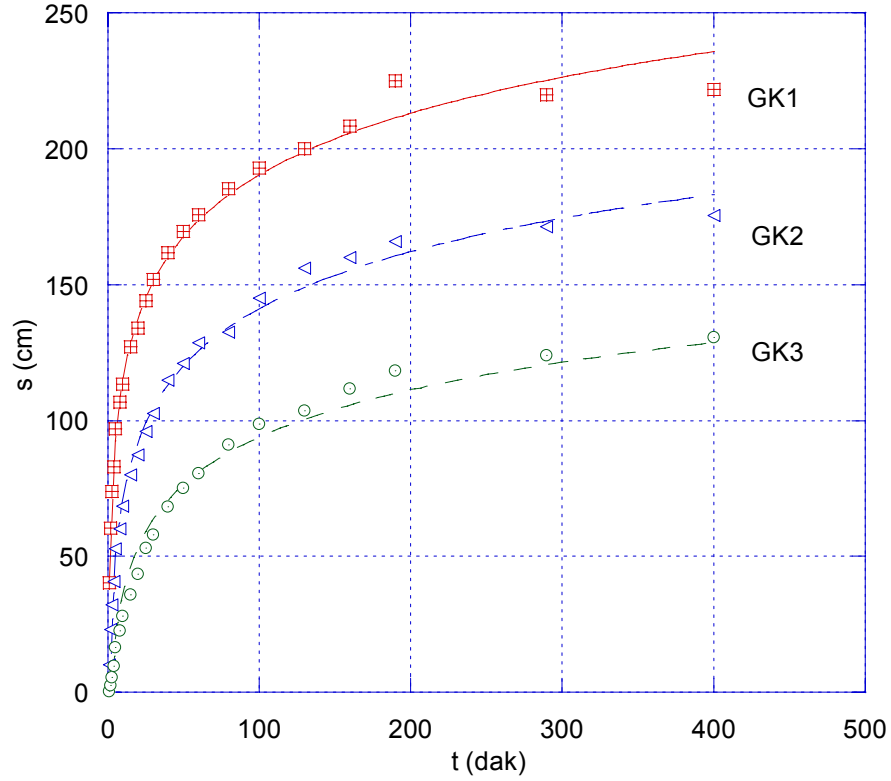
6.1 Giriş

Bu bölümde önceki bölümlerde bahsedilmiş olan metotlar, örneklerle incelemeye alınacaktır. Aşağıdaki tabloda verildiği gibi bir ana kuyudan belirli uzaklıktaki üç gözlem kuyusu üzerinde yapılmış olan birinci arazi çalışmasının zaman-düşüm verileri ile akifer parametrelerini thies çakıştırma yöntemi, Jacob zaman-düşüm, mesafe-düşüm ve birleşik değişkenler metotları, singh metodu ile bulup karşılaştırılacaktır.

Çizelge 6.1 Gözlem Kuyuları zaman-düşüm verileri

Zaman t (dak)	Düşüm; s (cm)			Zaman 1/t (1/dak)
	GK1 r = 25	GK2 r = 60	GK3 r = 150	
1	40,2	10	0,24	1,00
2	60,4	23,2	2,44	0,50
3	73,8	32,2	5,478	0,33
4	83	40,8	9,72	0,25
5	97	52,9	16,4	0,20
8	106,8	60	22,6	0,13
10	113,4	68,5	28	0,10
15	127	80	36	$6,67 \times 10^{-2}$
20	134	87,5	43,6	0,05
25	144	96	53	0,04
30	152	102,6	57,92	$3,33 \times 10^{-2}$
40	161,6	114,8	68,2	0,03
50	169,6	121	75	0,02
60	175,8	128,6	80,5	$1,67 \times 10^{-2}$
80	185,4	132,6	91	$1,25 \times 10^{-2}$
100	193	145,2	98,8	0,01
130	200	156	103,6	$7,69 \times 10^{-3}$
160	208,4	160	11,6	$6,25 \times 10^{-3}$
190	225	166	118,4	$5,26 \times 10^{-3}$
290	220	171,4	124	$3,45 \times 10^{-3}$
400	222	175,6	130,5	$2,5 \times 10^{-3}$
Q = 1,15				m³/s

İlk aşama olarak gözlem kuyularından her birini alıp bahsedilen yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Öncelikle gözlem kuyuları hakkında genel olarak fikir sahibi olmak için yatayda ve düşeyde aritmetik olarak düşüm-zaman grafiklerinin çizelim.



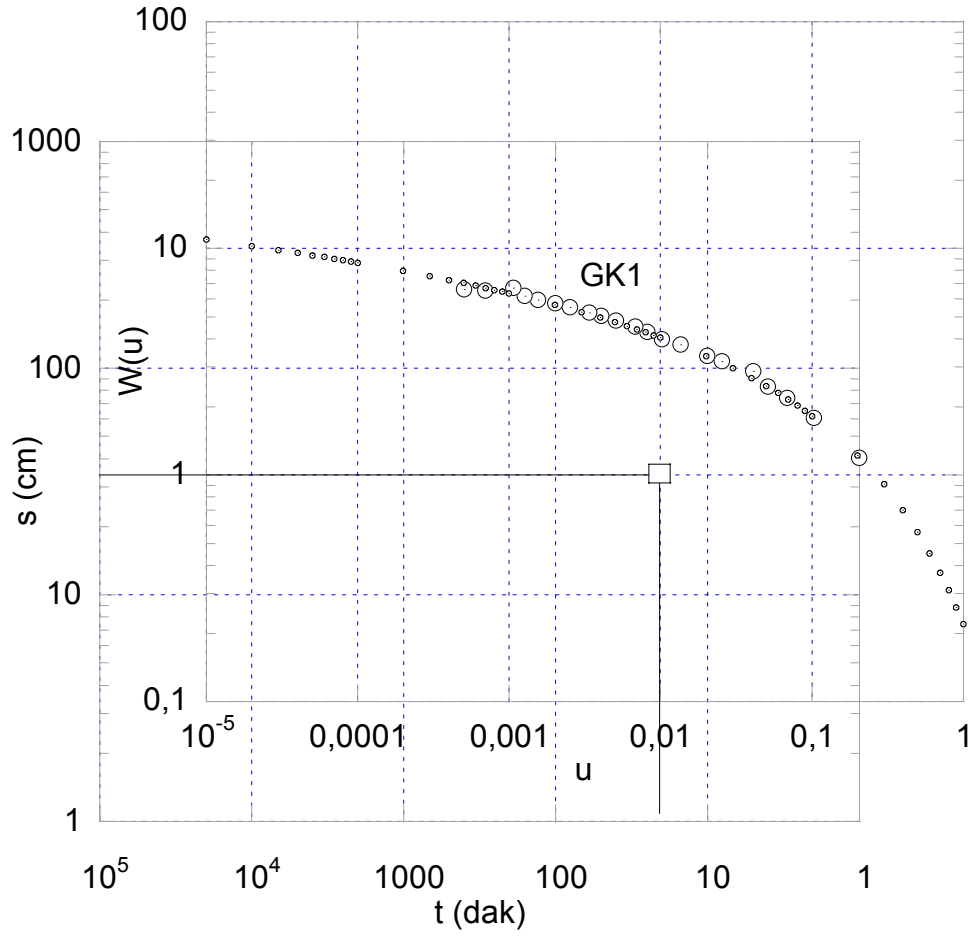
Şekil 6.1 GK1-GK2-GK3 için aritmetik kağıtta düşüm-zaman grafiği

Bu grafikten anlaşılacağı üzere çizilen eğri üzerinde noktaların sapmaları ihmal edilecek olursa akiferin her bir gözlem kuyusunda homojen ve izotrop davranış gösterdiği söylenebilir.

6.2 Theis Metodu ile Çözüm

6.2.1 GK1'e Theis Metodunun Uygulanması

Bu metodun çözümünde u değerlerine karşılık olarak $W(u)$ değerleri işaretlenip elde edilen Thies tip eğrisi, tam logaritmik kağıtta oluşturulan zaman-düşüm eğrisi ile karşılaştırıldıktan sonra grafik üzerinde bir nokta alınır ve bu değerler bizim u ve $W(u)$ değerlerimiz olacaktır. Bu noktanın zaman-düşüm grafiğinde karşılığı t ve s olacaktır. Daha sonra Denklem (5.9) ve (5.10) kullanılarak gözlem kuyularının T ve S değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.2 GK1 için Thies metodu uygulaması

$$r = 25\text{m}$$

$$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-2}$$

$$W(u) = 1$$

$$t = 20.69 \text{ dak}$$

$$s = 33.84 \text{ cm}$$

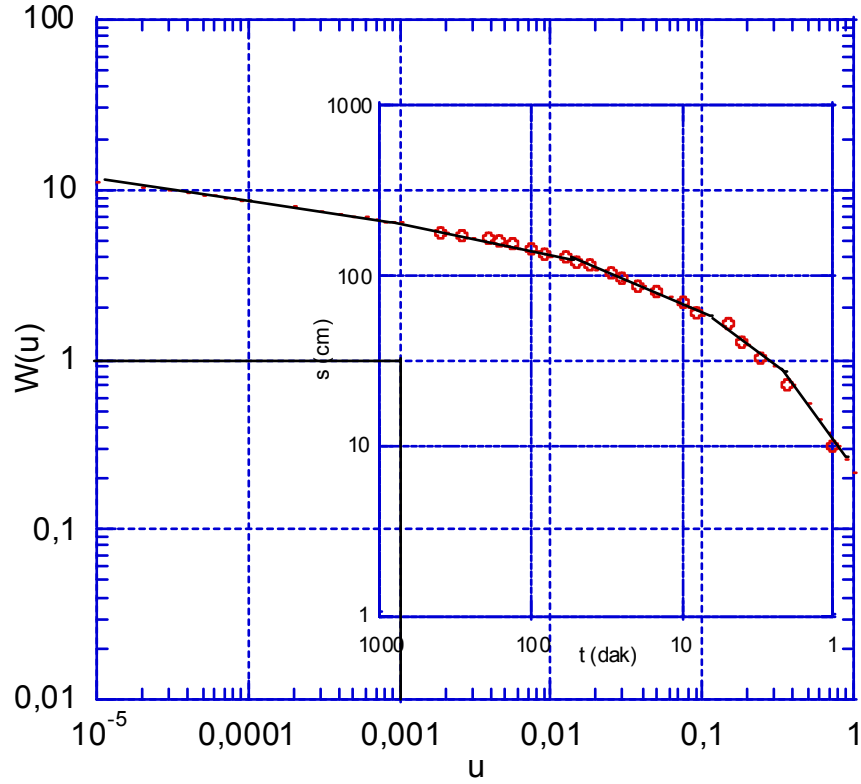
$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \frac{1.15}{4 \times 3.14 \times 0.3384} = 0.270 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 \times 0.27 \times 20.69 \times 10^{-2}}{25^2} = 3.57 \times 10^{-4}$$

6.2.2 GK2'e Theis Metodunun Uygulanması



Şekil 6.3 GK2 için Thies metodu uygulaması

$$r = 60\text{m}$$

$$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-2}$$

$$W(u) = 1$$

$$t = 83.85 \text{ dak}$$

$$s = 33.83 \text{ cm}$$

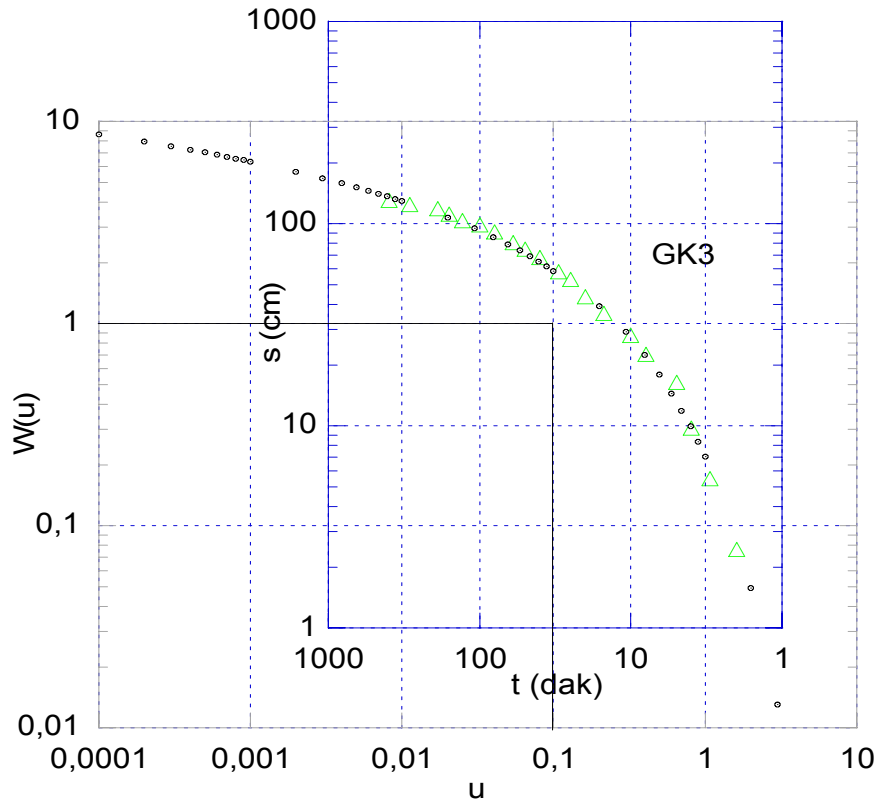
$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \frac{1.15}{4 \times 3.14 \times 0.3383} = 0.270 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 \times 0.270 \times 83.85 \times 10^{-2}}{60^2} = 2.5 \times 10^{-4}$$

6.2.3 GK3'e Theis Metodunun Uygulanması



Şekil 6.4 GK3 için Thies metodu uygulaması

$$r = 150\text{m}$$

$$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-1}$$

$$W(u) = 1$$

$$t = 32.93 \text{ dak}$$

$$s = 32.05 \text{ cm}$$

$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4 \pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4 \pi s} = 1 \frac{1.15}{4 \times 3.14 \times 0.3205} = 0.285 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

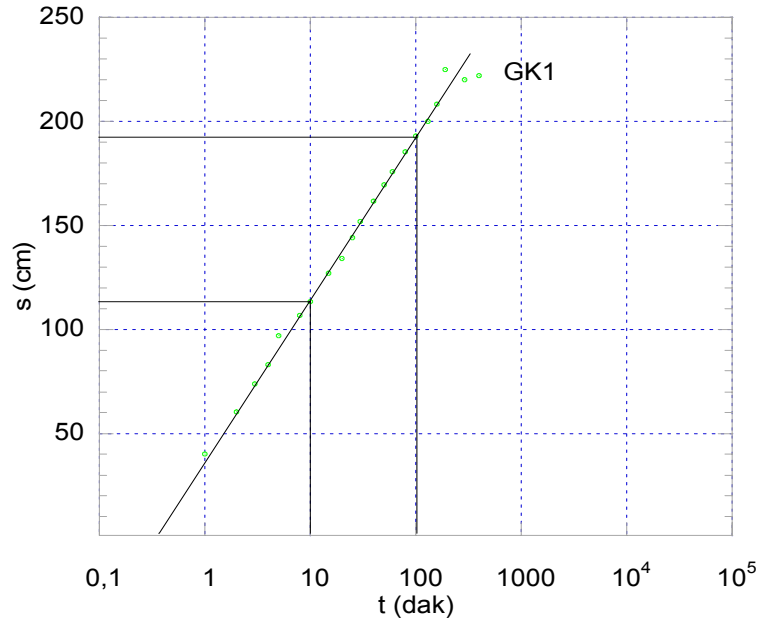
$$S = \frac{4 \times 0.285 \times 32.93 \times 10^{-1}}{150^2} = 1.7 \times 10^{-4}$$

Tam logaritmik kağıtta görülen düşüm-zaman grafiğinden ve elde edilen depolama katsayısı değerlerinin 10^{-6} ile 10^{-2} arasında olmasından anlaşıldığı üzere akiferin basınçlı olduğu sonucuna varabiliriz. Basınçlı akiferlerde zaman-düşüm grafikleri bu örnekte de olduğu gibi bir dönüm noktasına sahip değildir ve geç zaman düşüm değerleri bir yataylık arz etmemektedir. Bu yüzden çözüm yöntemi olarak önceki bölümde bahsedilen basınçlı akifer yöntemlerinin uygulanması doğru olacaktır.

6.3 Doğrusal Metot Çözümleri

6.3.1 Zaman-Düşüm Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması

Yarı logaritmik kağıtta elde edilen zaman-düşüm doğrusu Şekil 6.2’de gösterildiği gibi eğim değeri grafikten okunur. Aynı zamanda elde edilen bu doğrunun yatay eksenini kestiği nokta bize t_0 değerini verecektir. Elde edilen bu iki veri ile Denklem (5.16) ve (5.17) kullanılarak T ve parametreleri elde edilir. Çizelge 6.1’deki veriler ile GK1, GK2 ve GK3 için aşağıdaki çözümler elde edilmiştir.



Şekil 6.5 GK1 için zaman-düşüm doğrusal metodun uygulaması

$$r = 25\text{m}$$

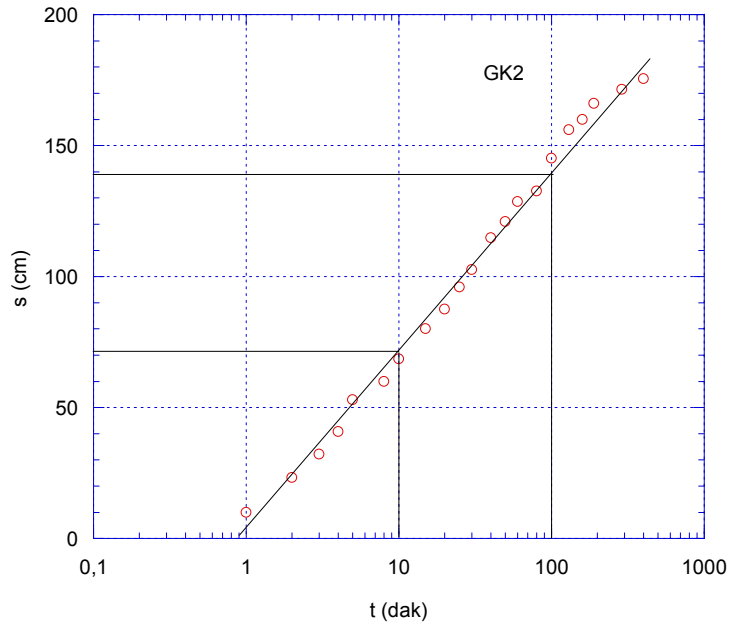
$$\Delta s = 192.38 - 113.29 = 79.1\text{cm}$$

$$t_0 = 0.3527\text{ dak}$$

$$Q = 1.15\text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t} = \frac{2.3 \times 1.15}{4 \times \pi \times 0.791} = 0.266\text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2} = \frac{2.25 \times 0.3527 \times 0.266}{25^2} = 3.82 \times 10^{-4}$$



Şekil 6.6 GK2 için zaman-düşüm doğrusal metodun uygulaması

GK2

$$r = 60\text{m}$$

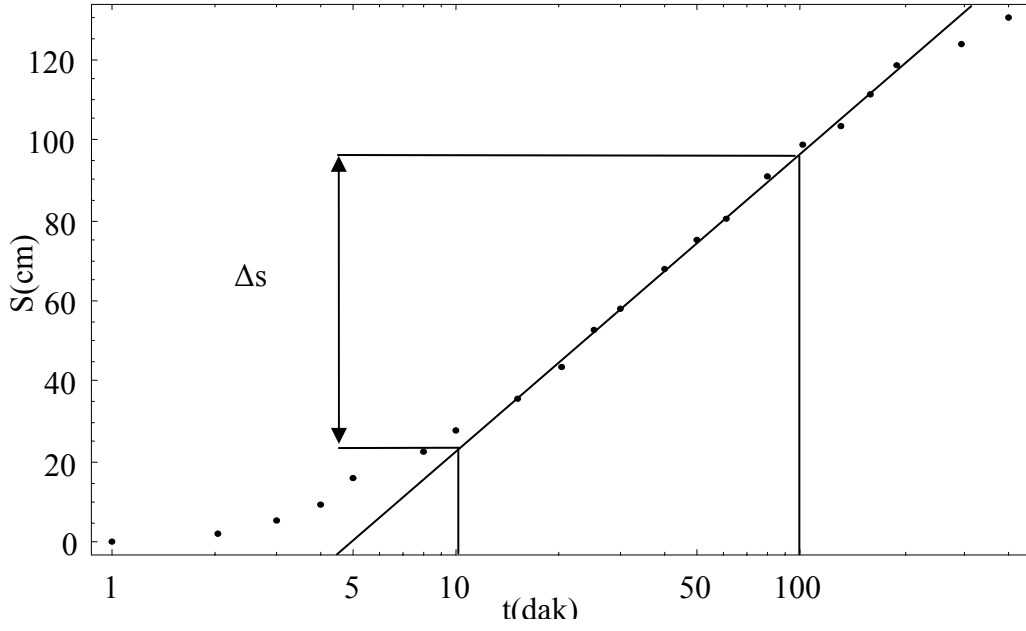
$$\Delta s = 138.96 - 71.43 = 67.53\text{ cm}$$

$$t_0 = 0.858\text{ dak}$$

$$Q = 1.15\text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t} = \frac{2.3 \times 1.15}{4 \times \pi \times 0.6753} = 0.311\text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2} = \frac{2.25 \times 0.858 \times 0.311}{60^2} = 1.67 \times 10^{-4}$$



Şekil 6.7 GK3 için zaman-düşüm doğrusal metodun uygulaması

GK3

$r = 150 \text{ m}$

$\Delta s = 92 - 23 = 69 \text{ cm}$

$t_0 = 4.6 \text{ dak}$

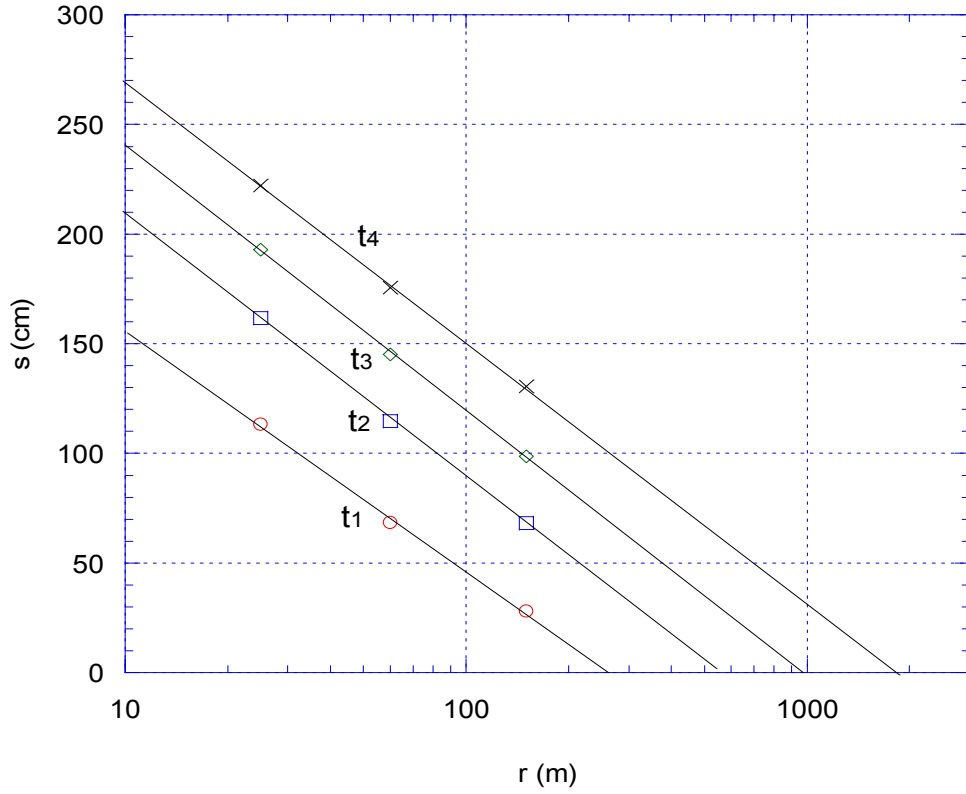
$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t} = \frac{2.3 \times 1.15}{4 \times \pi \times 0.69} = 0.305 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2} = \frac{2.25 \times 4.5 \times 0.305}{150^2} = 1.37 \times 10^{-4}$$

6.3.2 Mesafe-Düşüm Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması

Yarı logaritmik kağıtta yatayda mesafe, düşeyde düşümler olmak kaydı ile grafik oluşturulur. $t_1 = 10$, $t_2 = 40$, $t_3 = 100$, $t_4 = 400$ dak.'larında mesafe-düşüm doğruları çizilmiştir. Yatay ekseninde 10 ve 100 değerlerinden düşey doğrultuda noktali olarak çıkılan dikmelerin oluşan mesafe-düşüm doğrularını kestiği noktalar, düşey ekseninde okunarak, okunan bu değerlerin her doğru için elde edilen iki değerin farkları alınır ve bize eğim değerini (Δs) verir. Daha sonra bu doğruların yatay eksenini kestiği noktalar bize r_0 değerini verecektir. Son olarak Denklem (5.18) ve (5.19) kullanılarak T ve S değerleri elde edilir.



Şekil 6.8 Gözlem kuyularında t_1 , t_2 , t_3 ve t_4 için mesafe-düşüm doğrusu

<u>t₁ = 10 m</u> $\Delta s = 156 - 46 = 110 \text{ cm}$ $\Delta s_r = 1.1$ $r_0 = 261.5 \text{ m}$ $Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$ $T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_r} = 0.382 \text{ m}^2 / \text{dak}$ $S = \frac{2.25 t_0 T}{r_0^2} = 1.26 \times 10^{-4}$	<u>t₂ = 40 m</u> $\Delta s = 210.4 - 90 = 120.4 \text{ cm}$ $\Delta s_r = 1.2$ $r_0 = 559.43 \text{ m}$ $Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$ $T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_r} = 0.351 \text{ m}^2 / \text{dak}$ $S = \frac{2.25 t_0 T}{r_0^2} = 1 \times 10^{-4}$
--	--

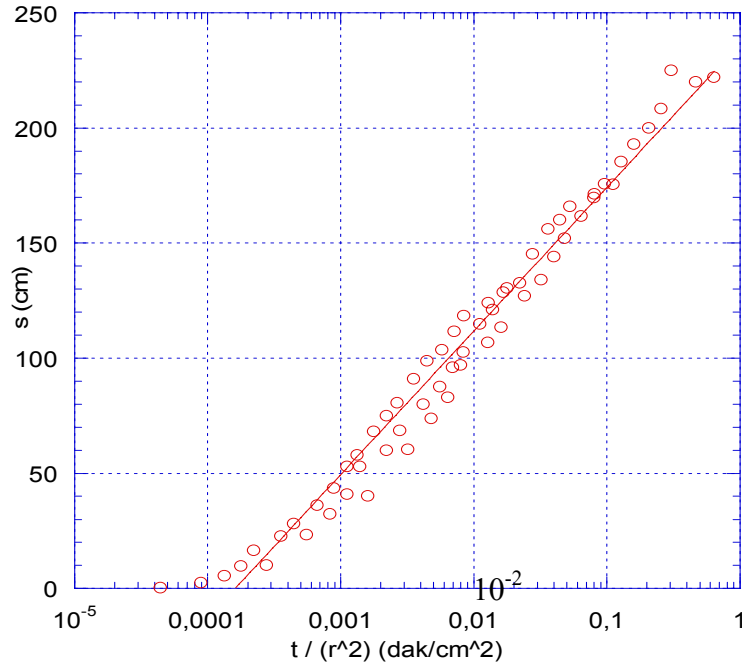
<u>t₃ = 100 m</u> $\Delta s_r = 240.6 - 119.8 = 120.8 \text{ cm}$ $\Delta s_r = 1.208$ $r_0 = 974.04 \text{ m}$ $Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$ $T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_r} = 0.348 \text{ m}^2 / \text{dak}$ $S = \frac{2.25 t_0 T}{r_0^2} = 8.2 \times 10^{-5}$	<u>t₄ = 400 m</u> $\Delta s_r = 269.8 - 150 = 119.8 \text{ cm}$ $\Delta s_r = 1.198$ $r_0 = 1806.9 \text{ m}$ $Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$ $T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_r} = 0.351 \text{ m}^2 / \text{dak}$ $S = \frac{2.25 t_0 T}{r_0^2} = 9.7 \times 10^{-5}$
--	--

Çizelge 6.2 Mesafe-düşüm metodu sonuç çizelgesi

Zaman	Doğru Okumaları		Sonuç	Sonuç
t (dak)	Eğim	r_0 (m)	T(m ² /dak)	S (10 ⁻⁴)
10	1.1	300	0,382	1.26
40	1.17	609	0,351	1
100	1.21	1040	0,348	0.82
400	1.18	2037	0,351	0.97
ORTALAMA			0,358	1,01

S değerine bakarak akiferin basınçlı olduğu söylenebilir. Bununla beraber iletkenlik katsayılarının birbirlerine yakın olması nedeniyle akiferin homojen ve izotrop olduğunu da söyleyebiliriz.

6.3.3 Birleşik Değişkenler Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.9 Birleşik değişkenler metodu ile çözüm

Akifer için birleşik metot:

$$\Delta s_r = 181.89 - 107.37 = 74.52 \text{ cm}$$

$$(\Delta s)_{t/r^2} = 0.7452$$

$$(t/r^2)_0 = 1.592 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$$

$$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$$

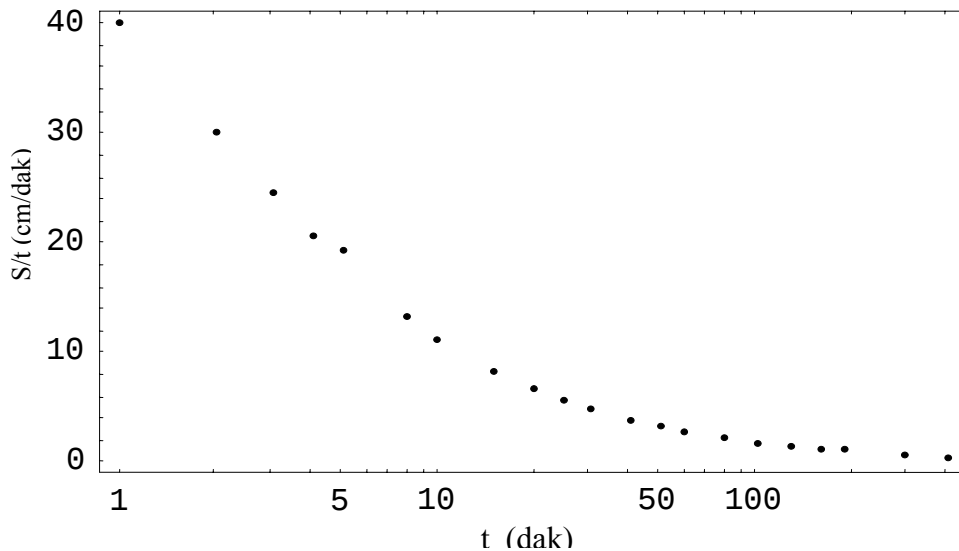
$$T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_{t/r^2}}$$

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

$$T = 0.564 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$S = 4.23 \times 10^{-4}$$

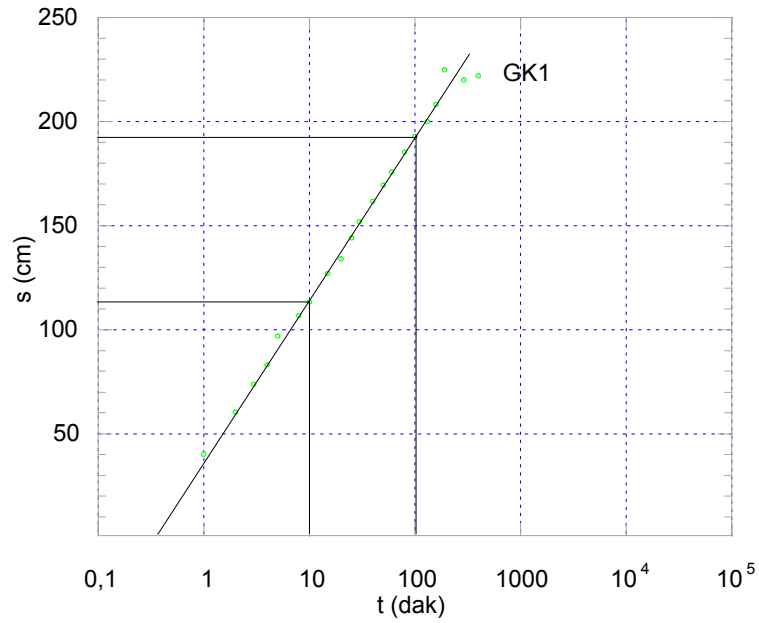
Bu metotta yatay eksenle logaritmik olarak t/r^2 değerleri, düşey eksenle ise düşüm değerleri işaretlenir. En uygun doğrular etrafında saçılan noktalar belirleyici olarak alınır ve birleştirilir. Birleştirilen doğrunun eğimi, $\Delta s_{t/r^2}$ bu doğrunun yatay eksenini kestiği nokta, t/r^2 değerini verir. Denklem (5.21) ve (5.22) kullanılarak T ve S değerleri elde edilir.

6.4 Singh Metodu ile Akifer Parametrelerinin Bulunması**6.4.1 GK1 İçin Singh Metodu**

Şekil 6.10 GK1 için Singh metodu uygulaması

İlk olarak yatayda logaritmik olarak zaman (t) değerleri, düşeyde ise düşümün zamana oranı (s/t) işaretlenir. Erken zamanlı düşümler işaretlenerek bir tepe noktası oluşması beklenir. Şekil 6.10'da GK1 örneğinde göreceğimiz üzere tepe noktası oluşmamaktadır.

Bu durumda gözlem kuyusunun düşüm-zaman grafiği çizilir, en uygun doğru geçirilir ve Denklem (5.35), (5.36) ve (5.37) kullanılarak S ve T elde edilir. Geçirilen doğruların yatay eksenini kestiği nokta, t_0 değerini verecektir. Ve doğrunun eğimi Δs değerini verecektir. Bu verilerle aşağıdaki işlemler sıralanarak sonuç elde edilir.



Şekil 6.11 GK1 için zaman-düşüm doğrusu

$$r = 25\text{m}$$

$$\Delta s = 192.38 - 113.29 = 79.1\text{cm}$$

$$t_0 = 0.3527 \text{ dak}$$

$$Q = 1.15 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$s_* = 0.2812 \quad \Delta s = 0.2224292$$

$$t_* = 1.2913 \quad t_0 = 0.45544 \text{ dak.}$$

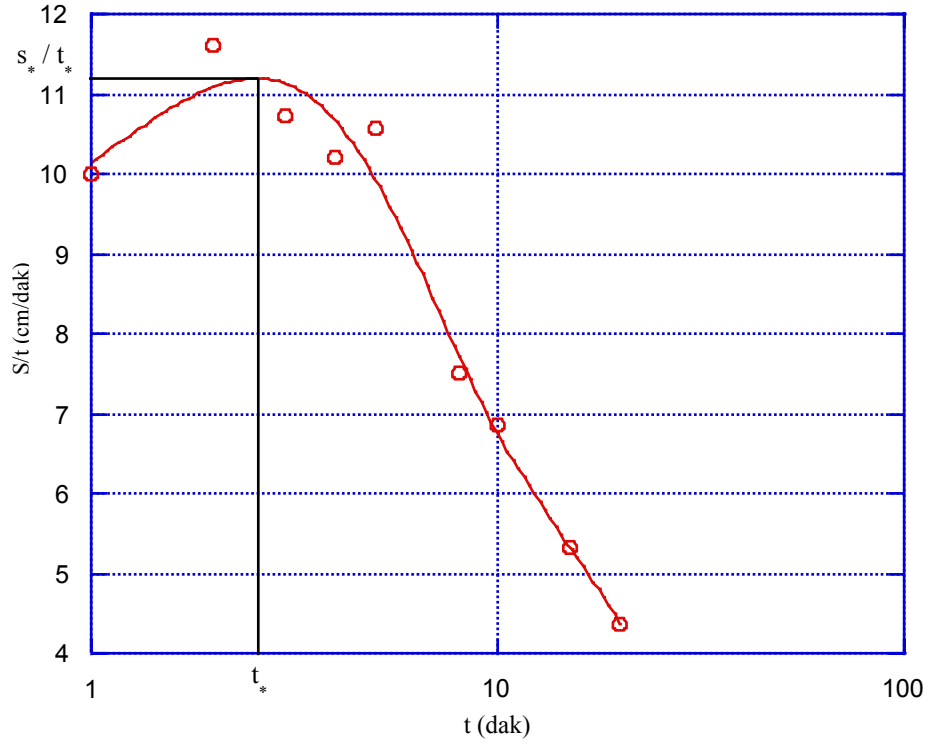
$$\alpha_* = t_* / r^2 = 7.29 \times 10^{-4} \text{ dak} / \text{m}^2$$

$$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_* = 0.266 \text{ m}^2 / \text{dak}$$

$$S = 1.7393 \quad T \alpha_* = 3.37 \times 10^{-4}$$

6.4.2 GK2 İçin Singh Metodu

Gözlem kuyusuna ait düşüm değerleri s/t oranına karşı, yarı logaritmik kağıda işaretlendiği zaman oluşan eğrinin tepe noktasının koordinatları $(t_*, s_* / t_*)$ olacağından; tepe noktası okunup elde edilen verileri (5.33) ve (5.34) eşitlikleri kullanılarak T ve S elde edilir.



Şekil 6.12 GK2 için Singh metodu uygulaması

$$r = 60$$

$$t_* = 2.57 \text{ dak}$$

$$s_* / t_* = 11.19 \text{ cm / dak}$$

$$s_* = 28.76 \text{ cm}$$

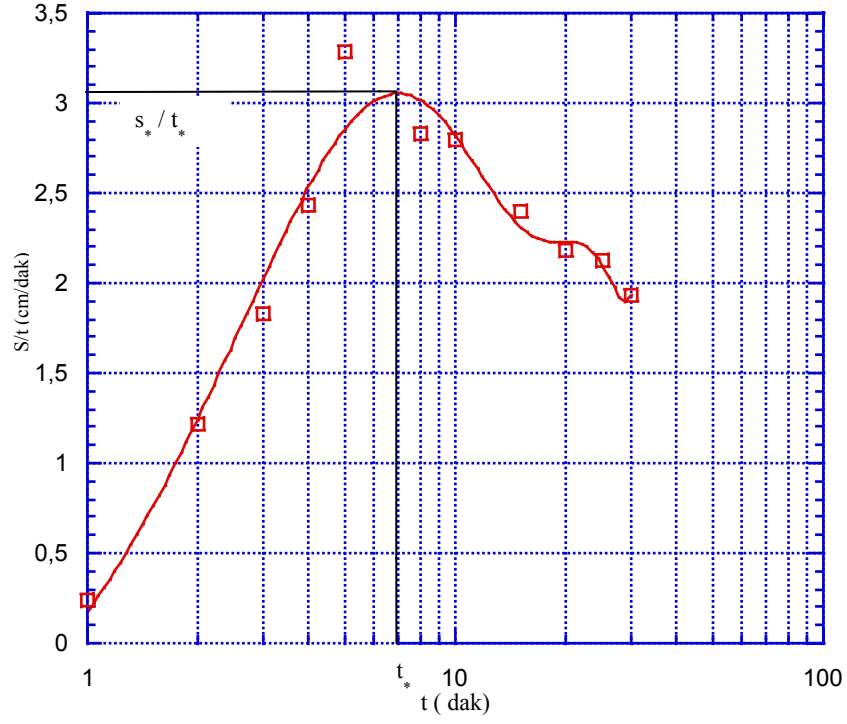
$$\alpha_* = t_* / r^2 = 7.14 \times 10^{-4} \text{ dak / m}^2$$

$$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_* = 0.206 \text{ m}^2 / \text{dak}$$

$$S = 1.7393 T \alpha_* = 2.56 \times 10^{-4}$$

6.4.3 GK3 İçin Singh Metodu

Bu metotta erken zaman verilerinin kullanılması oluşacak eğrinin bir tepe noktası oluşturup



Şekil 6.13 GK3 için Singh metodu uygulaması

oluşturmayacağına açıklık getirecektir. Uygun eğrinin geçirilmesi ile oluşan tepe noktasının koordinatları (t_* ; s_*/t_*) olacaktır. Daha sonra Denklem (5.33) ve (5.34) kullanılarak T ve S elde edilir.

$$r = 150$$

$$t_* = 7 \text{ dak}$$

$$s_*/t_* = 3.06 \text{ cm / dak}$$

$$s_* = 21.42 \text{ cm}$$

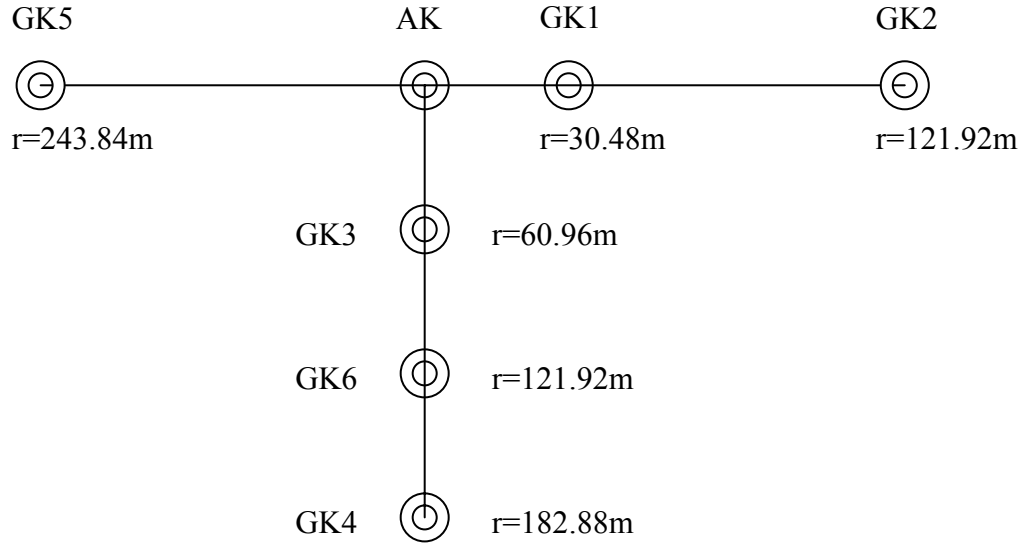
$$\alpha_* = t_* / r^2 = 3.11 \times 10^{-4} \text{ dak / m}^2$$

$$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_* = 0.276 \text{ m}^2 / \text{dak}$$

$$S = 1.7393 T \quad \alpha_* = 1.5 \times 10^{-4}$$

6.5 Arazi Çalışması II

Bu kez incelenecek olan arazi verileri Pakistan'ın Chaj Doap bölgesinde Gujrat su dağıtım istasyonu civarında yapılan pompaj testi ve akiferin özellikleri incelenecektir. Pompa testleri 17-25 Eylül 1959 tarihleri arasında tamamlanmıştır. Test süresince çekilen sabit debi $Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$ olarak ölçülmüştür. Ana kuyu etrafında GK1, GK2, GK3, GK4, GK5 ve GK6 olarak adlandırılacak olan altı adet gözlem kuyusu açılmıştır. Ayrıntılı bilgiler ek bölümünde belirtilmiştir. Gözlem kuyularının ana kuyuya olan yerleşimleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

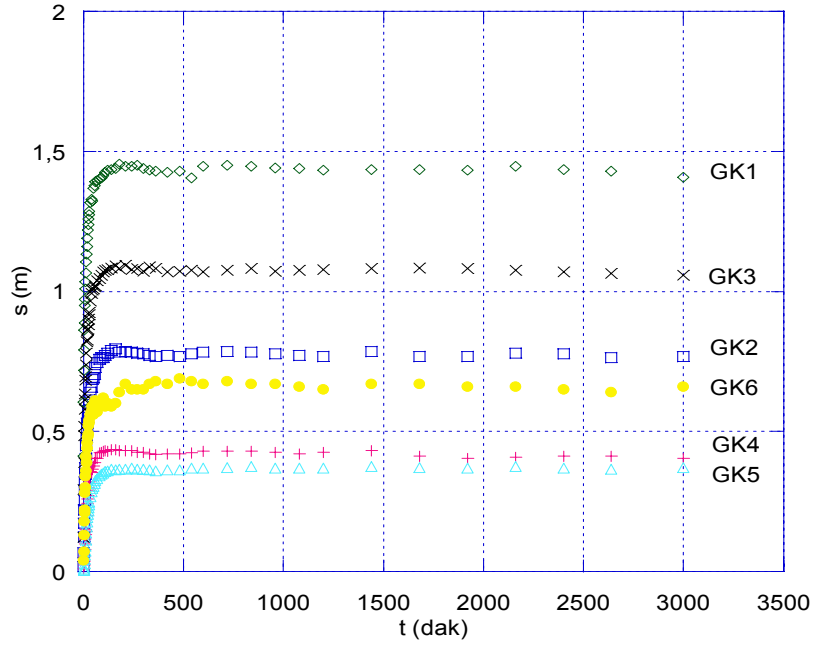


Şekil 6.14 Arazi çalışması II'de ana kuyu ve gözlem kuyularının yerleşim planı

6.5.1 Düşüm Değerleri ile Akifer Değerlendirmesi

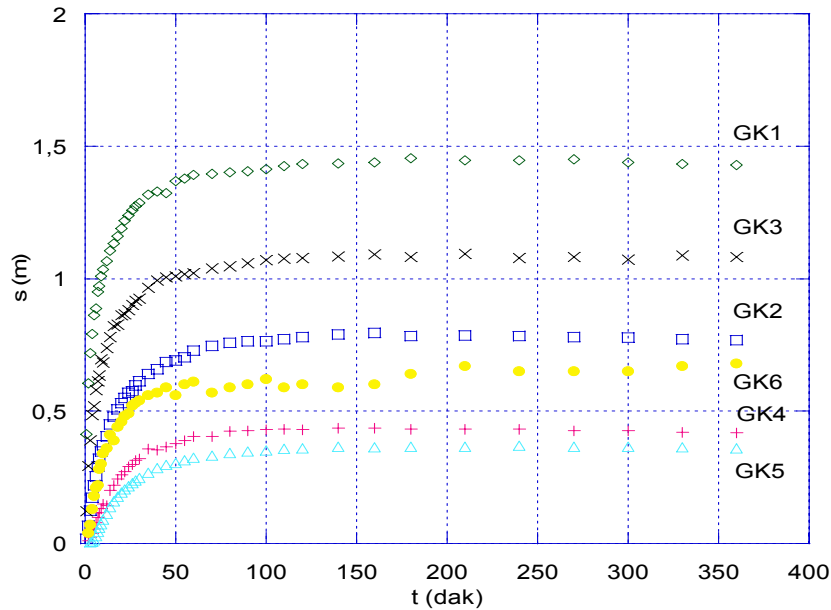
Yapılacak olan değerlendirmeler aritmetik kağıtta ve tam logaritmik kağıtta elde edilen düşüm-zaman grafikleri ile yapılacaktır. Bu yaklaşımlarla akiferin homojenliği ve izotropluğu ile basınçlı veya basınçsız olmasına bir ön değerlendirme yapmak mümkündür.

Aritmetik kağıda çizilen zaman-düşüm verilerine baktığımızda oluşan eğrinin dönüm noktalarını tespit zor görünmektedir. Buyüzden verileri iki aşamalı incelemek yararlı olacaktır. Erken düşüm ve geç düşüm dataları olarak. İlk 400 dak. bizim fikir edinmemizi sağlayacağından, grafiği ilk 400 dakikayı sınır kabul edip tekrar çizelim. Sınırlı olara çizilen grafikte GK3, GK4 ve GK6'da oluşan eğrilere göre noktaların eğri etrafında saçılması nedeni



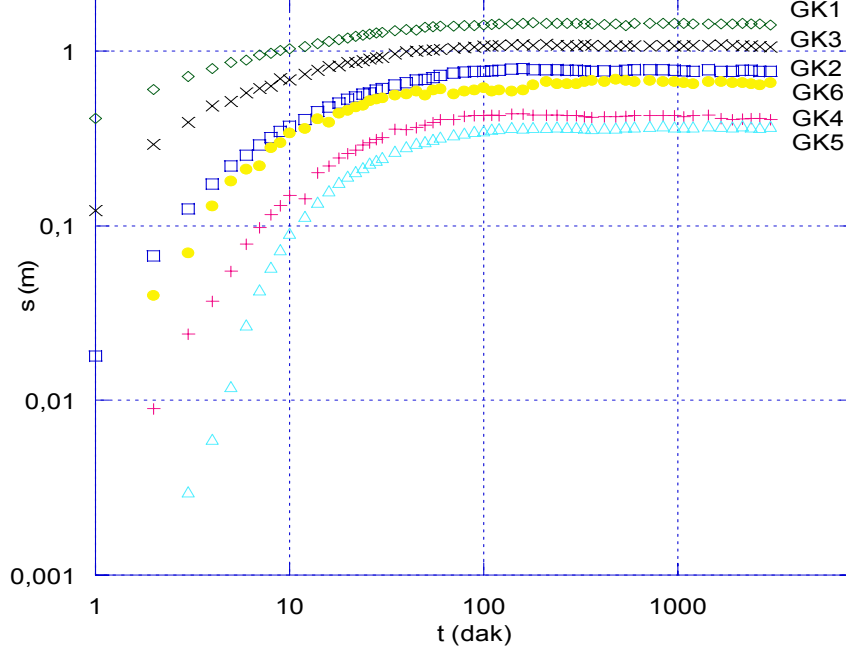
Şekil 6.15 Gözlem kuyularının aritmetik kağıtta tam zamanlı zaman-düşüm grafiği

ile akiferin homojen ve izotrop davranış gösterdiği söylenemez. Diğer gözlem kuyularında oluşan saçılmalar etkisiz görünüyor. Fakat gözlem kuyularının yerleşimine baktığımızda ana kuyudan 122m eşit uzaklıkta açılmış GK2 ve GK6 vardır. Bu gözlem kuyularının grafikleri kendi içinde değerlendirilirse; eşit uzaklıkta olmalarına rağmen eğriler örtüşmemiştir, bu yüzden akiferin homojen ve izotrop olmadığı söylenebilir. Tüm zamanlı çizilen grafiğe bakıldığında genel olarak yürütülecek fikirler, erken zamanlı düşüm-zaman grafiğine göre gerçeklik taşıması mümkün olmayacaktır.



Şekil 6.16 Gözlem kuyularının aritmetik kağıtta erken zamanlı zaman-düşüm grafiği

Akiferin basınçlı, basınçsız veya sızdırmalı olup olmadığı hakkında bir şeyler söyleyebilmek için tam logaritmik kağıtta düşüm-zaman grafiğine ihtiyaç vardır.



Şekil 6.17 Gözlem kuyularının tam logaritmik kağıtta tam zamanlı zaman-düşüm grafiği

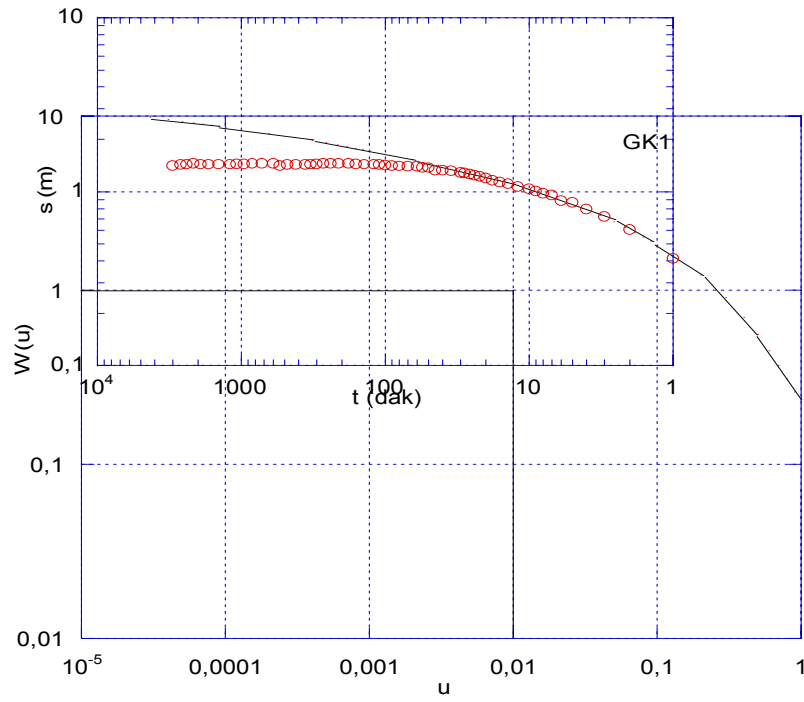
Bu grafik için ilk 50. dakikaya kadar akiferin basınçlı davrandığı fakat, 50-350 dakikalar arası basınçsız, bu davranış GK1 'in daha geç zamanlarda görülmekte, ve son zamanlar içinde sızdırmalı davranış gösterdiği söylenebilir.

Bunun sebebi ilk 50 dakika boyunca düşümde bir artış, artışta da azalma görülmesi, fakat 50–350 dakikaları arası özellikle GK4 ve GK6'da dönüm noktası oluşmuş ve eğri kararsız davranmıştır. Genel olarak fikir yürütmek gerekirse düşüm artışındaki azalma her bir gözlem kuyusunda az da olsa fark edilmekte ve son zamanlarda akiferin düşüm değerinde değişme olmamasından dolayı, akifer serbest yüzeyli veya sızdırmalıdır denir. Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda Metotların Uygulanması bölümünde bahsedilen çözüm yöntemlerini uygulayalım.

6.6 Ana Kuyuda Theis Metoduyla Akifer Parametrelerinin Bulunması

6.6.1 GK1 İçin Çözüm

Thies tip eğrisi, tam logaritmik kağıtta oluşturulan zaman-düşüm eğrisi ile karşılaştırıldıktan sonra grafik üzerinde bir nokta alınır ve bu değerler bizim u ve $W(u)$ değerlerimiz olacaktır. Bu noktanın zaman-düşüm grafiğinde karşılığı t ve s olacaktır. Daha sonra Denklem (5.9) ve (5.10) kullanılarak gözlem kuyularının T ve S değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.18 GK1 için Theis metodu uygulaması

GK1

$$r = 30.48 \text{ m}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-2}$$

$$W(u) = 1$$

$$t = 12.5 \text{ dak}$$

$$s = 0.2748 \text{ m}$$

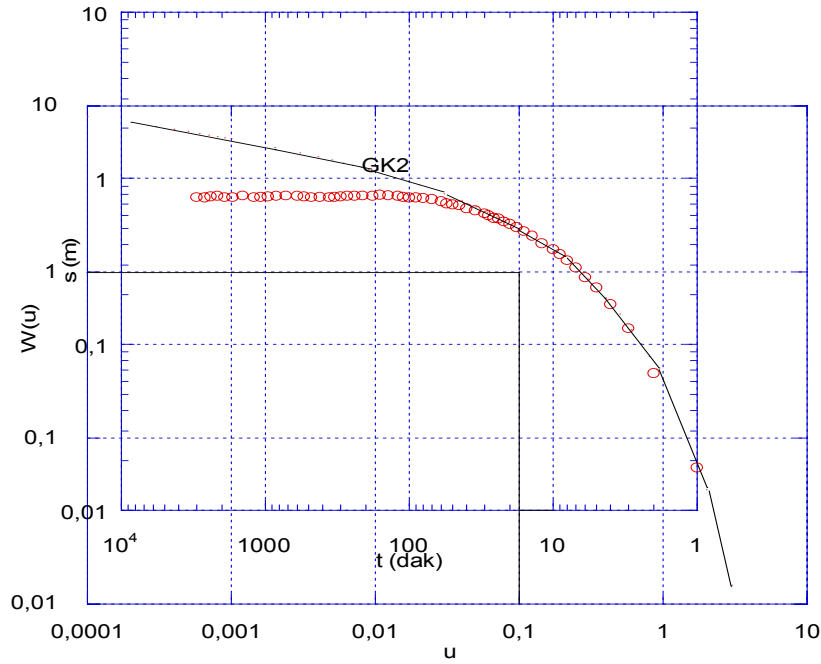
$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4 \pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \frac{3.7716}{4 \times 3.14 \times 0.2748} = 1.092 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 \times 1.092 \times 12.5 \times 10^{-2}}{30.48^2} = 5.88 \times 10^{-4}$$

6.6.2 GK2 İçin Çözüm



Şekil 6.19 GK2 için Theis metodu uygulaması

$$r = 121.92 \text{ m}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-1}$$

$$W(u) = 1$$

$$t = 16 \text{ dak}$$

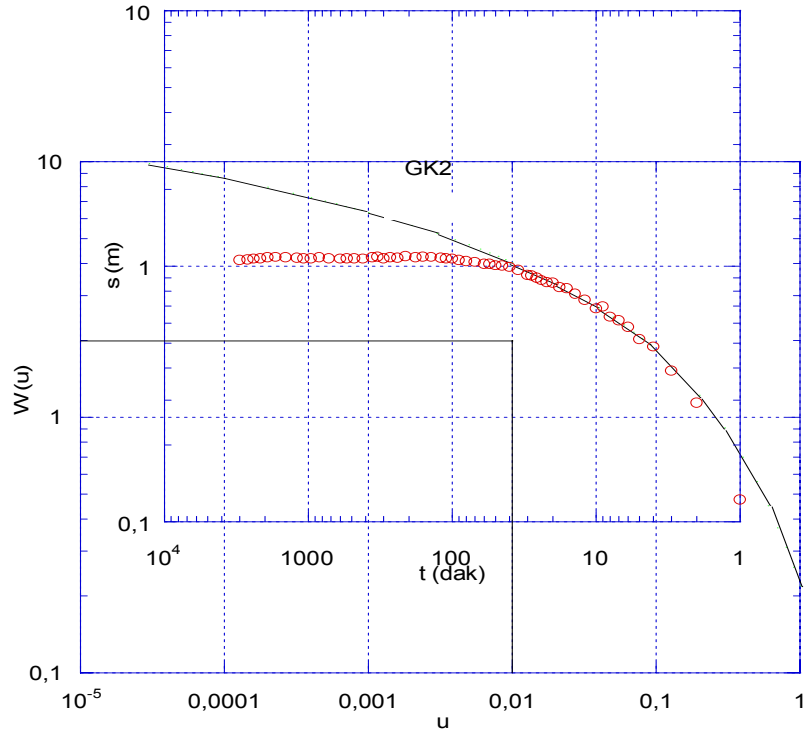
$$s = 0.27 \text{ m}$$

$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \frac{3.7716}{4 \times 3.14 \times 0.27} = 1.112 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = \frac{4 \times 1.112 \times 16 \times 10^{-1}}{121.92^2} = 4.79 \times 10^{-4}$$

6.6.3 GK3 İçin Çözüm



Şekil 6.20 GK3 için Theis metodu uygulaması

GK3

$$r = 60.96 \text{ m}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-2}$$

$$W(u) = 2$$

$$t = 38.31 \text{ dak}$$

$$s = 0.51 \text{ m}$$

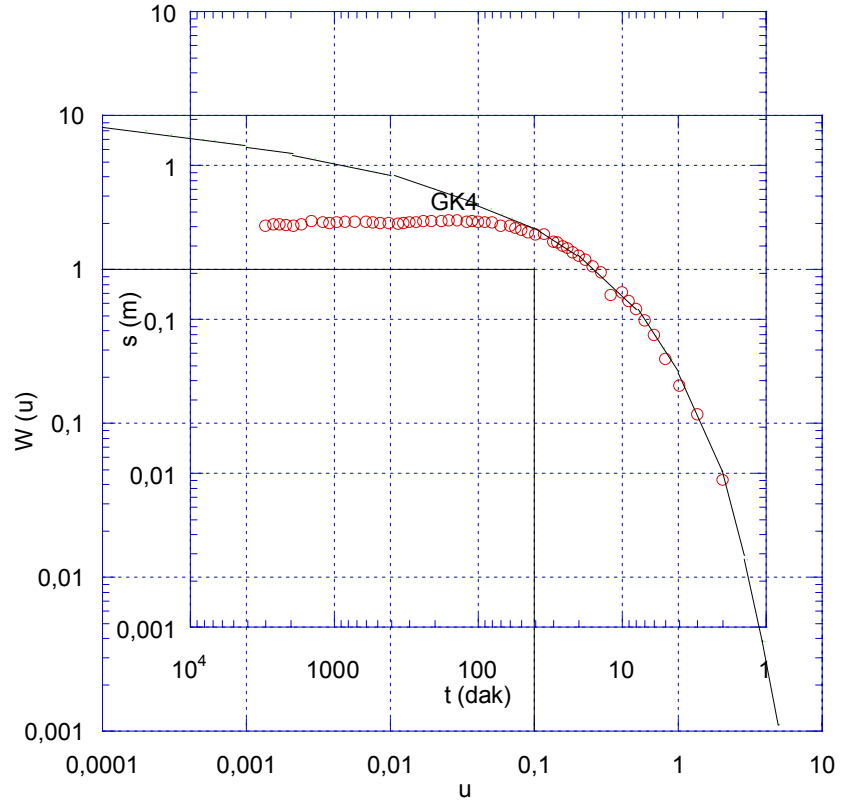
$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 2 \frac{3.7716}{4 \times 3.14 \times 0.51} = 1.177 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 \times 1.177 \times 38.31 \times 10^{-2}}{60.96^2} = 4.85 \times 10^{-4}$$

6.6.4 GK4 İçin Çözüm



Şekil 6.21 GK4 için Theis metodu uygulaması

GK4

$$r = 182.88 \text{ m}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-1}$$

$$W(u) = 1$$

$$t = 40.84 \text{ dak}$$

$$s = 0.2112 \text{ m}$$

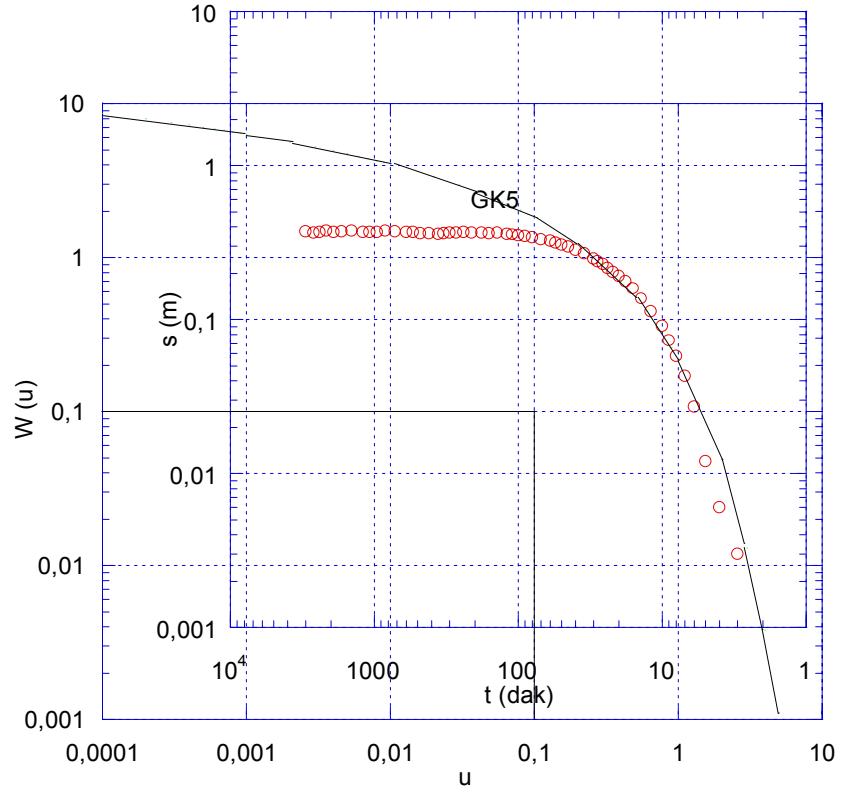
$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \frac{3.7716}{4 \times 3.14 \times 0.2112} = 1.421 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 \times 1.421 \times 40.84 \times 10^{-1}}{182.88^2} = 6.94 \times 10^{-4}$$

6.6.5 GK5 İçin Çözüm



Şekil 6.22 GK5 için Theis metodu uygulaması

$$r = 243.84 \text{ m}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-1}$$

$$W(u) = 0.1$$

$$t = 77.43 \text{ dak}$$

$$s = 0.0252 \text{ m}$$

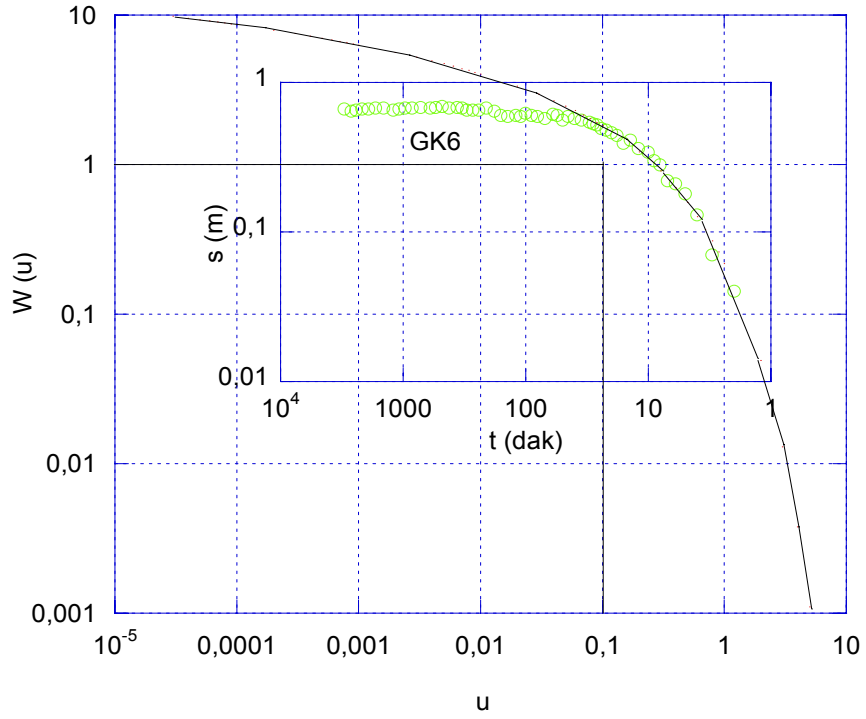
$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 0.1 \frac{3.7716}{4 \times 3.14 \times 0.0252} = 1.191 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 \times 1.191 \times 77.43 \times 10^{-1}}{243.84^2} = 6.2 \times 10^{-4}$$

6.6.6 GK6 İçin Çözüm



Şekil 6.23 GK6 için Theis metodu uygulaması

$$r = 121.92 \text{ m}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$u = 10^{-1}$$

$$W(u) = 1$$

$$t = 23.36 \text{ dak}$$

$$s = 0.2823 \text{ m}$$

$$s_w = H - h = W(u) \frac{Q}{4\pi T}$$

$$T = W(u) \frac{Q}{4\pi s} = 1 \frac{3.7716}{4 \times 3.14 \times 0.2823} = 1.063 \text{ m}^2/\text{dak}$$

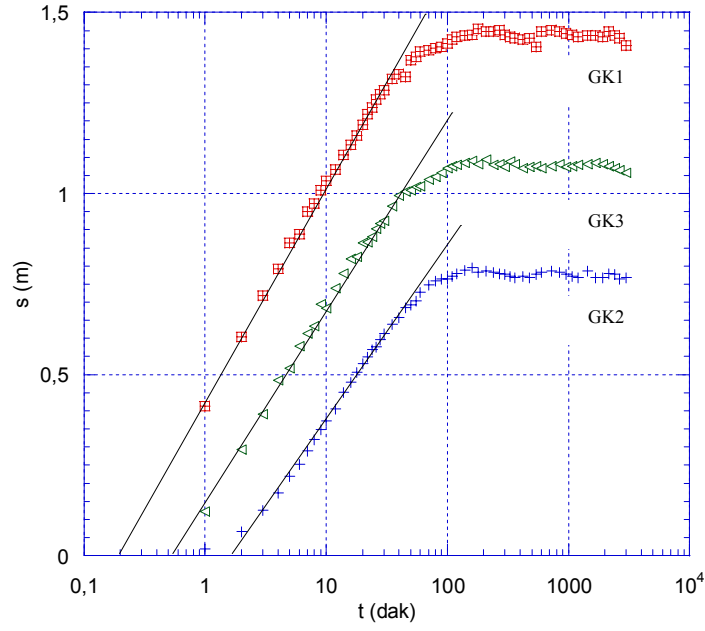
$$u = \frac{r^2 S}{4 T t}$$

$$S = \frac{4 \times 1.063 \times 23.36 \times 10^{-1}}{121.92^2} = 6.68 \times 10^{-4}$$

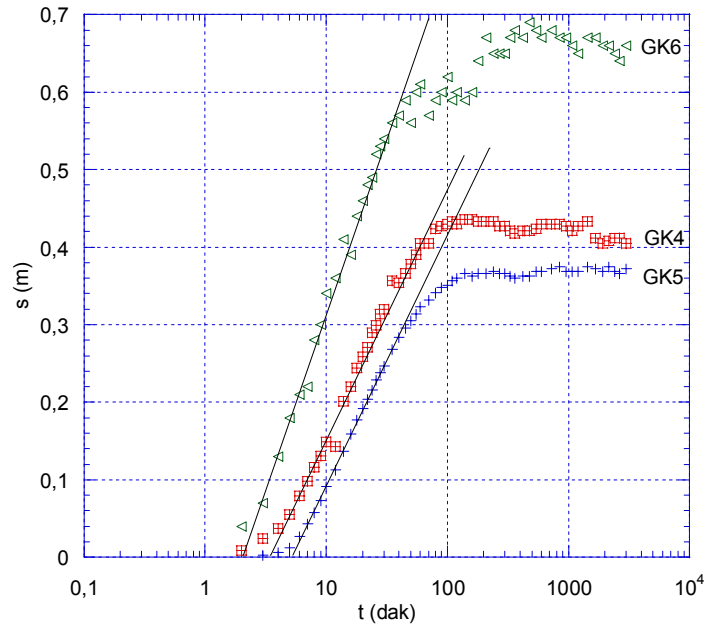
6.7 Doğrusal Metotla Arazi Çalışması II'nin Parametrelerinin Elde Edilmesi

6.7.1 Zaman-Düşüm Metodu

Yarı logaritmik kağıtta elde edilen zaman-düşüm noktaları uygun doğru ile birleştirildikten sonra, eğimi Δs grafikten okunur. Aynı zamanda elde edilen bu doğrunun yatay eksenini kestiği nokta bize t_0 değerini verecektir. Elde edilen bu iki veri ile Denklem (5.16) ve (5.17) kullanılarak GK1, GK2, GK3, GK4, GK5, ve GK6 için T ve S parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 6.24 GK1,GK2 ve GK3 için zaman-düşüm metodu uygulaması



Şekil 6.25 GK4,GK5 ve GK6 için zaman-düşüm metodu uygulaması

GK1

$$r = 30.48 \text{ m}$$

$$\Delta s = 1.013 - 0.424 = 0.589 \text{ m}$$

$$t_0 = 0.19 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2}$$

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.589}$$

$$S = \frac{2.25 \times 0.19 \times 1.172}{30.48^2}$$

$$T = 1.172 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 5.4 \times 10^{-4}$$

GK2

$$r = 121.92 \text{ m}$$

$$\Delta s = 0.857 - 0.38 = 0.477 \text{ m}$$

$$t_0 = 1.616 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2}$$

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.477}$$

$$S = \frac{2.25 \times 1.616 \times 1.447}{121.92^2}$$

$$T = 1.447 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 3.53 \times 10^{-4}$$

GK3

$$r = 60.96 \text{ m}$$

$$\Delta s = 1.203 - 0.672 = 0.531 \text{ m}$$

$$t_0 = 0.527 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2}$$

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.527}$$

$$S = \frac{2.25 \times 0.527 \times 1.31}{60.96^2}$$

$$T = 1.31 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 4.18 \times 10^{-4}$$

GK4

$$r = 182.88 \text{ m}$$

$$\Delta s = 0.475 - 0.152 = 0.323 \text{ m}$$

$$t_0 = 3.37 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2}$$

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.323}$$

$$S = \frac{2.25 \times 3.37 \times 2.137}{182.88^2}$$

$$T = 2.137 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 4.84 \times 10^{-4}$$

GK5

$$r = 243.84 \text{ m}$$

$$\Delta s = 0.416 - 0.091 = 0.325 \text{ m}$$

$$t_0 = 5.275 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2}$$

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.325}$$

$$S = \frac{2.25 \times 5.275 \times 2.124}{243.84^2}$$

$$T = 2.124 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 4.24 \times 10^{-4}$$

GK6

$$r = 121.92 \text{ m}$$

$$\Delta s = 0.77 - 0.313 = 0.457 \text{ m}$$

$$t_0 = 2.021 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2}$$

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.457}$$

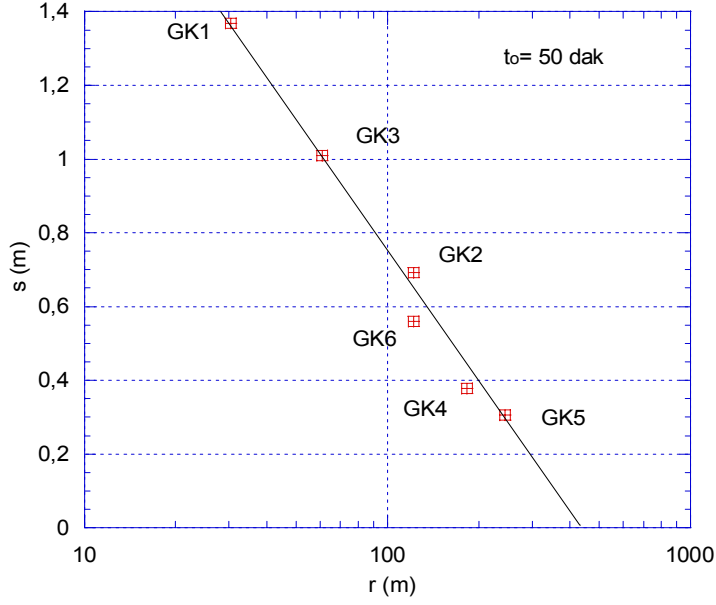
$$S = \frac{2.25 \times 2.021 \times 1.51}{121.92^2}$$

$$T = 1.51 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 4.62 \times 10^{-4}$$

6.7.2 Mesafe-Düşüm Metodu

Gözlem kuyularının ana kuyuya olan uzaklıkları yatay eksende logaritmik, düşey eksende düşüm değerleri aritmetik olarak işaretlenir. Şekil 6.26'da elde edilen doğrunun eğimi Δs_r , yatay eksen kestiği nokta r_0 değerini verecektir. bu elde edilen verilerle (5.21) ve (5.22) eşitlikleri kullanılarak T ve S değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.26 Mesafe-düşüm metodu uygulaması(t₀=50dak)

$$\Delta s = 1.183 \text{ m}$$

$$\Delta s_r = 1.183$$

$$r_0 = 424.4 \text{ m}$$

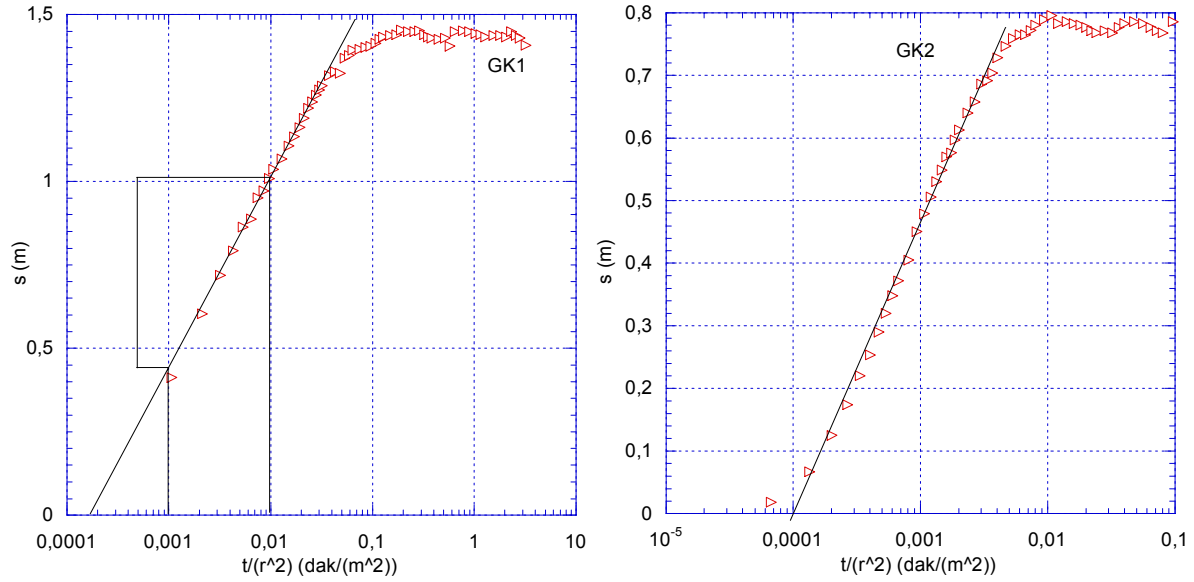
$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_r} = \frac{2.3 \times 3.7716}{2 \times \pi \times 1.183} = 1.167 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r_0^2} = \frac{2.25 \times 50 \times 1.167}{424.4^2} = 7.3 \times 10^{-4}$$

6.7.2 Birleşik Değişkenler Metodu

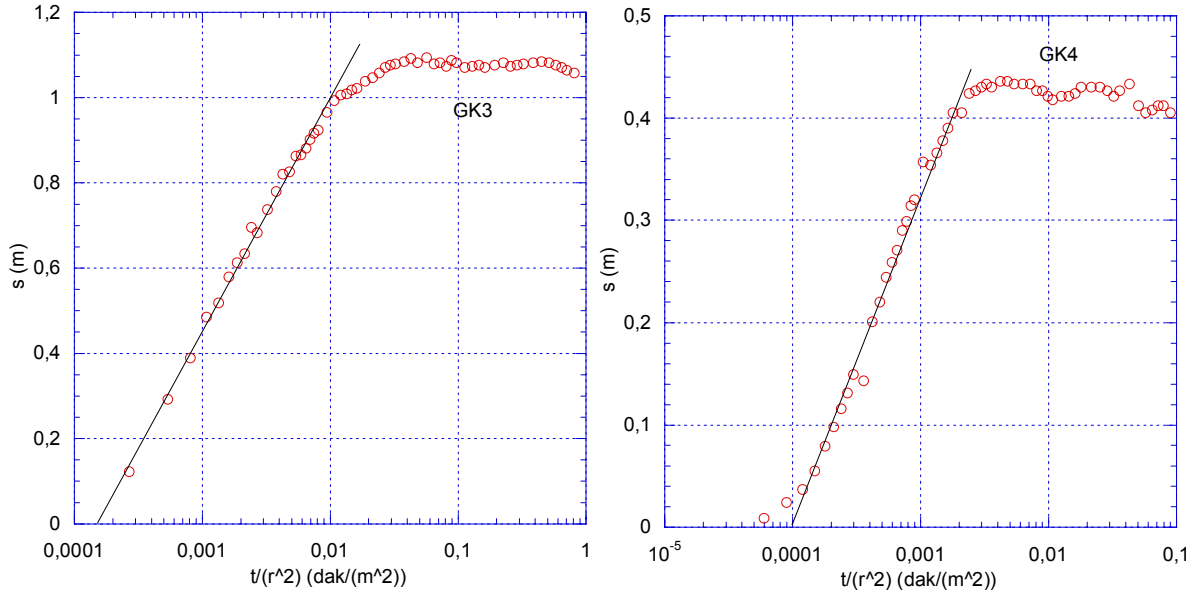
Bu metotta yatay eksenle logaritmik olarak t / r^2 değerleri, düşey eksenle ise düşüm değerleri işaretlenir. En uygun doğrular etrafında saçılan noktalar belirleyici olarak alınır ve birleştirilir.



Şekil 6.27 GK1 ve GK2 için birleşik değişkenler metodu uygulaması

<u>GK1 için birleşik metot</u>	<u>GK2 için birleşik metot</u>
$\Delta s_r = 1.0081 - 0.4383 = 0.5698 \text{ m}$	$\Delta s_r = 0.4667 - 0 = 0.4667 \text{ m}$
$(\Delta s)_{t/r^2} = 0.5698$	$(\Delta s)_{t/r^2} = 0.4667$
$(t / r^2)_0 = 1.7 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$	$(t / r^2)_0 = 1 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$
$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$	$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$
$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_{t/r^2}}$	$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_{t/r^2}}$
$S = 2.25 T \left(\frac{t}{r^2} \right)_0$	$S = 2.25 T \left(\frac{t}{r^2} \right)_0$
$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.5698} = 1.211 \text{ m}^2 / \text{dak}$	$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.4667} = 1.479 \text{ m}^2 / \text{dak}$
$S = 2.25 \times 1.211 \times 1.7 \times 10^{-4} = 4.63 \times 10^{-4}$	$S = 2.25 \times 1.479 \times 1 \times 10^{-4} = 3.32 \times 10^{-4}$

Birleştirilen doğrunun eğimi, $\Delta S_{t/r^2}$ bu doğrunun yatay eksenini kestiği nokta, $(t/r)_0^2$ değerini verir. Denklem (5.21) ve (5.22) kullanılarak gözlem kuyularının T ve S değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.28 GK3 ve GK4 için birleşik değişkenler metodu uygulaması

GK3 için birleşik metot

$$\Delta s_r = 0.9935 - 0.44805 = 0.54545 \text{ m}$$

$$(\Delta s)_{t/r^2} = 0.54545$$

$$(t/r^2)_0 = 15.44 \times 10^{-5} \text{ dak/m}^2$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

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

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

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.54545} = 1.266 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 2.25 \times 1.266 \times 15.4 \times 10^{-5} = 4.4 \times 10^{-4}$$

GK4 için birleşik metot

$$\Delta s_r = 0.3198 - 0 = 0.3198 \text{ m}$$

$$(\Delta s)_{t/r^2} = 0.3198$$

$$(t/r^2)_0 = 1 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$$

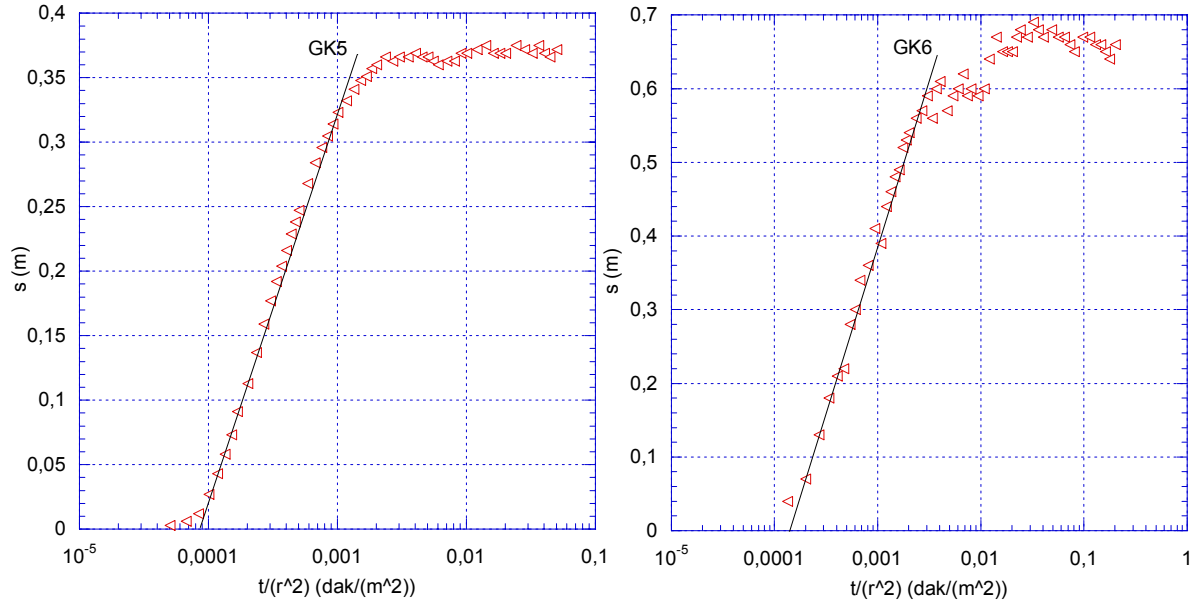
$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

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

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

$$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.3198} = 2.158 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S = 2.25 \times 2.158 \times 1 \times 10^{-4} = 4.86 \times 10^{-4}$$

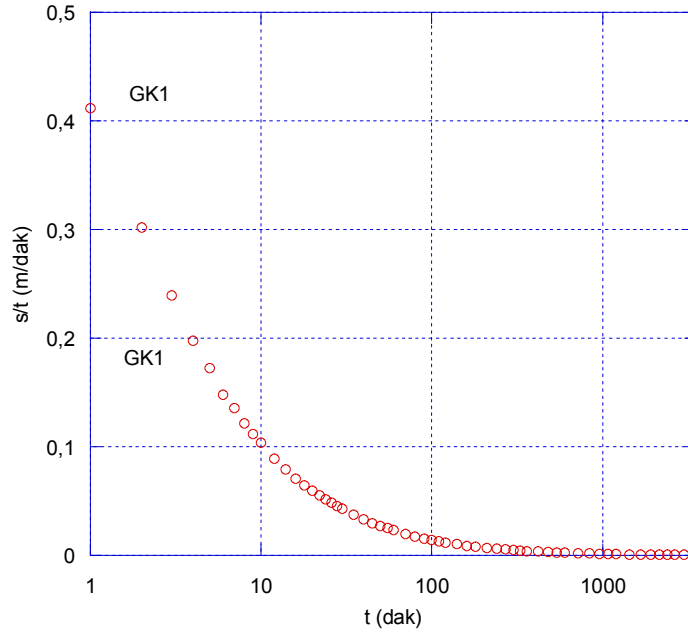


Şekil 6.29 GK5 ve GK6 için birleşik metotlar metodu uygulaması

<u>GK5 için birleşik metot</u>	<u>GK6 için birleşik metot</u>
$\Delta s_r = 0.3208 - 0.0325 = 0.2883 \text{ m}$	$\Delta s_r = 0.3818 + 0.0704 = 0.4522 \text{ m}$
$(\Delta s)_{t/r^2} = 0.31$	$(\Delta s)_{t/r^2} = 0.4522$
$(t/r^2)_0 = 8,63 \times 10^{-5} \text{ dak/m}^2$	$(t/r^2)_0 = 1.42 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$
$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$	$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$
$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_{t/r^2}}$	$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_{t/r^2}}$
$S = 2.25 T \left(\frac{t}{r^2} \right)_0$	$S = 2.25 T \left(\frac{t}{r^2} \right)_0$
$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.31} = 2.227 \text{ m}^2 / \text{dak}$	$T = \frac{2.3 \times 3.7716}{4 \times \pi \times 0.4522} = 1.526 \text{ m}^2 / \text{dak}$
$S = 2.25 \times 2.227 \times 8.63 \times 10^{-5} = 4.32 \times 10^{-4}$	$S = 2.25 \times 1.526 \times 1.42 \times 10^{-4} = 4.88 \times 10^{-4}$

6.8 Singh Metoduyla Çözüm

6.8.1 Singh Metoduyla GK1'in Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.30 GK1 için Singh metodu uygulaması

Erken düşüm değerleri ile çizilen grafikte beklenen tepe noktası oluşmadığı için gözlem kuyusunun düşüm-zaman grafiği çizilir, en uygun doğru geçirilir ve Denklem (5.35), (5.36) ve (5.37) kullanılarak S ve T elde edilir. Geçirilen doğruların yatay eksenini kestiği nokta, t_0 değerini verecektir. Ve doğrunun eğimi Δs değerini verecektir. Bu verileri doğrusal metotlar bölümünde (6.7.1) elde etmiştik. Buna göre;

GK1

$$r = 30.48 \text{ m}$$

$$\Delta s = 1.013 - 0.424 = 0.589 \text{ m}$$

$$t_0 = 0.19 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{dak}$$

$$s_* = 0.2812 \quad \Delta s = 0.1656268 \text{ m}$$

$$t_* = 1.2913 \quad t_0 = 0.245347 \text{ dak.}$$

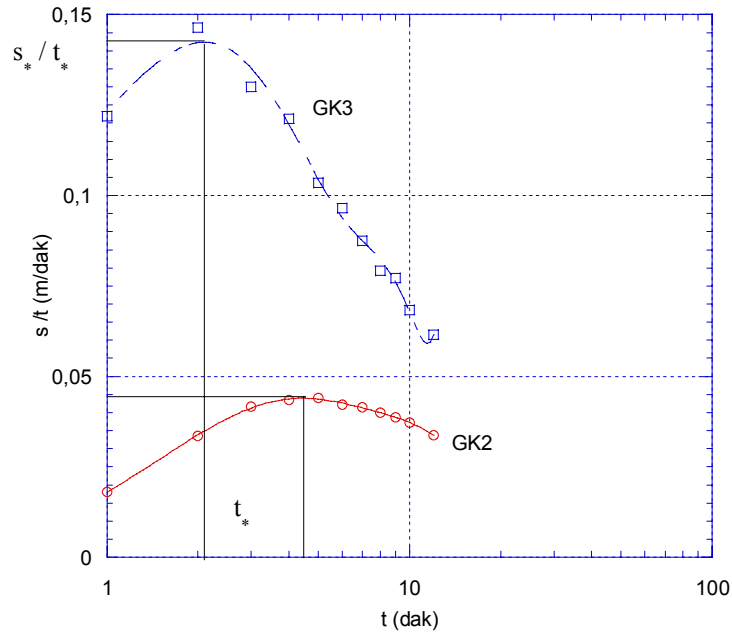
$$\alpha_* = t_* / r^2 = 2.64 \times 10^{-4} \text{ dak} / \text{m}^2$$

$$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_* = 1.173 \text{ m}^2 / \text{dak}$$

$$S = 1.7393 T \alpha_* = 5.38 \times 10^{-4}$$

6.8.2 Singh Metoduyla GK2 ve GK3'ün Parametrelerinin Bulunması

Gözlem kuyusuna ait düşüm değerleri s/t oranına karşı, yarı logaritmik kağıda işaretlendiği zaman oluşan eğrinin tepe noktasının koordinatları (t_* , s_* / t_*) olacağından; tepe noktası okunup elde edilen verileri (5.33) ve (5.34) eşitlikleri kullanılarak T ve S elde edilir.



Şekil 6.31 GK2 ve GK3 için Singh metodu uygulaması

GK2

$$r = 121.92 \text{ m}$$

$$t_* = 4.46 \text{ dak}$$

$$s_* / t_* = 0.0443 \text{ m / dak}$$

$$s_* = 0.197578 \text{ m}$$

$$\alpha_* = t_* / r^2 = 3 \times 10^{-4} \text{ dak / m}^2$$

$$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_* = 0.983 \text{ m}^2 / \text{dak}$$

$$S = 1.7393 T \quad \alpha_* = 5.13 \times 10^{-4}$$

GK3

$$r = 60.96 \text{ m}$$

$$t_* = 2.1 \text{ dak}$$

$$s_* / t_* = 0.1427 \text{ m / dak}$$

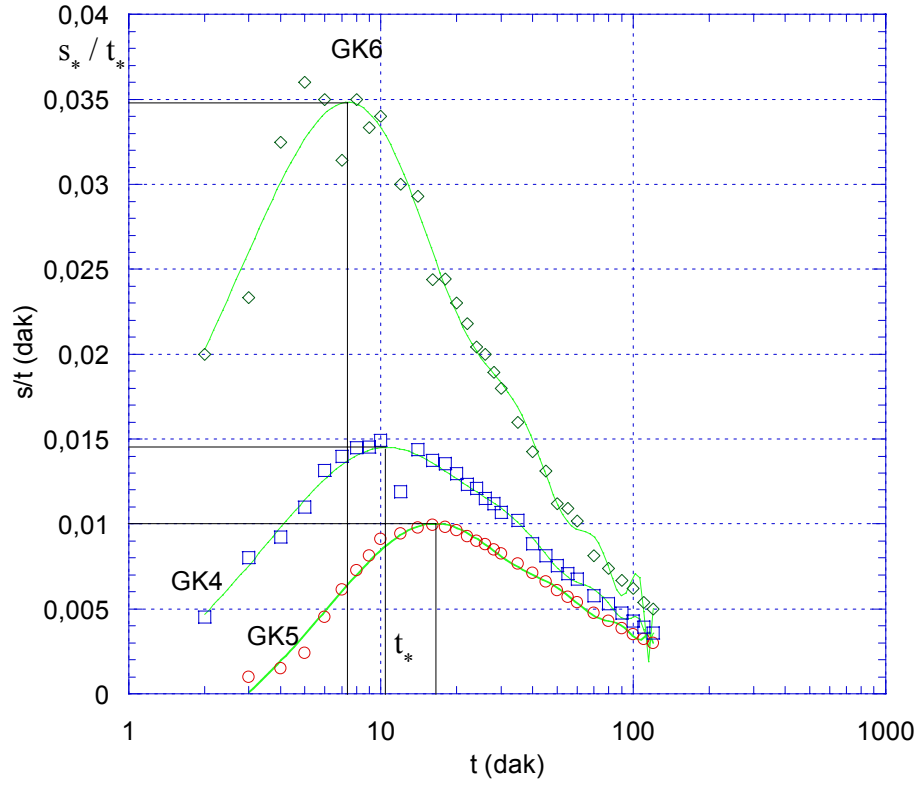
$$s_* = 0.29967 \text{ m}$$

$$\alpha_* = t_* / r^2 = 5.65 \times 10^{-4} \text{ dak / m}^2$$

$$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_* = 0.648 \text{ m}^2 / \text{dak}$$

$$S = 1.7393 T \quad \alpha_* = 6.37 \times 10^{-4}$$

6.8.3 Singh Metoduyla GK4, GK5 ve GK6'nın Parametrelerinin Bulunması

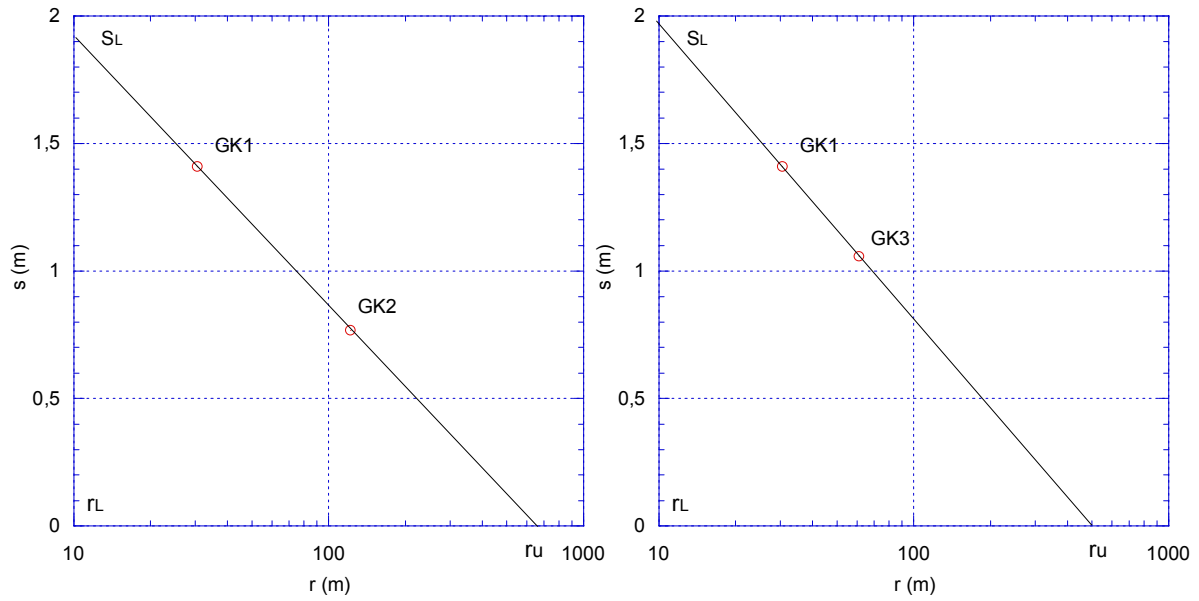


Şekil 6.32 GK4,GK5 ve GK6 için Singh metodu uygulaması

<u>GK4</u>	<u>GK5</u>	<u>GK6</u>
$r = 182.88 \text{ m}$	$r = 243.84 \text{ m}$	$r = 121.92 \text{ m}$
$t_* = 10.39 \text{ dak}$	$t_* = 16.467 \text{ dak}$	$t_* = 7.356 \text{ dak}$
$s_* / t_* = 0.01454 \text{ m / dak}$	$s_* / t_* = 0.01 \text{ m / dak}$	$s_* / t_* = 0.0348 \text{ m / dak}$
$s_* = 0.151 \text{ m}$	$s_* = 0.16467 \text{ m}$	$s_* = 0.256 \text{ m}$
$\alpha_* = t_* / r^2 = 3.1 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$	$\alpha_* = t_* / r^2 = 2.77 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$	$\alpha_* = t_* / r^2 = 5.65 \times 10^{-4} \text{ dak/m}^2$
$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_*$	$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_*$	$T = 5.152 \times 10^{-2} \times Q / s_*$
$T = 1.286 \text{ m}^2 / \text{dak}$	$T = 1.18 \text{ m}^2 / \text{dak}$	$T = 0.759 \text{ m}^2 / \text{dak}$
$S = 1.7393 \text{ T } \alpha_* = 6.95 \times 10^{-4}$	$S = 1.7393 \text{ T } \alpha_* = 5.68 \times 10^{-4}$	$S = 1.7393 \text{ T } \alpha_* = 7.46 \times 10^{-4}$

6.9 Şen Grafik Metoduyla Akifer Parametrelerinin Bulunması

Bu metotta gözlem kuyularının mesafeleri yatayda logaritmik, düşeyde aritmetik olarak düşüm işaretlenir. Önemli olan akiferin düşüm konisinin oluşmasının tamamlandığı andaki düşüm değerlerinin kullanılmasıdır. Parametrelerin bulunması için yapılan araştırmada $t=3000$ anındaki düşüm değerleri kullanılacaktır. Yapılan işlemler ve sonuçları şekilleri altında verilmiştir.



Şekil 6.33 GK1-GK2 ve GK1-GK3 arasında Şen grafik metodu uygulaması

GK1-GK2

$$t = 3000 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$r_U = 661.47 \text{ m}$$

$$r_L = 10 \text{ m}$$

$$s_L = 1.9295 \text{ m}$$

$$S = \frac{Q t}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln \left(\frac{r_U}{r_L} \right)$$

$$S = 1.8 \times 10^{-2}$$

GK1-GK3

$$t = 3000 \text{ dak}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

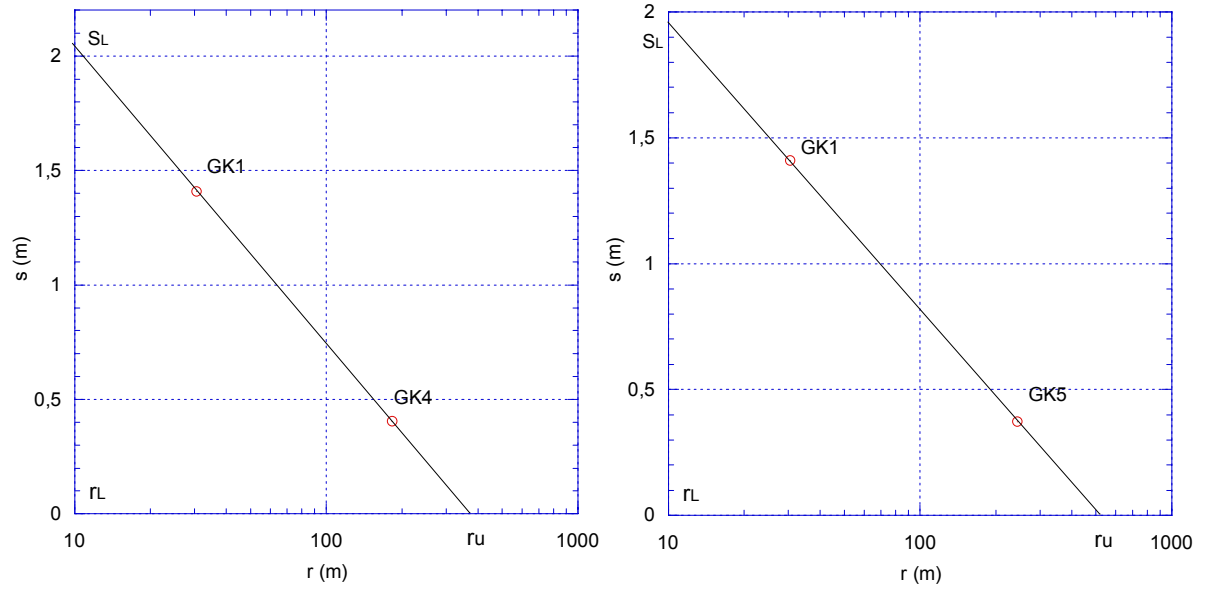
$$r_U = 507.14 \text{ m}$$

$$r_L = 10 \text{ m}$$

$$s_L = 1.9744 \text{ m}$$

$$S = \frac{Q t}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln \left(\frac{r_U}{r_L} \right)$$

$$S = 2.9 \times 10^{-2}$$



Şekil 6.34 GK1-GK4 ve GK1-GK5 arasında Şen grafik metodu uygulaması

GK1-GK4

$t = 3000$ dak

$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$

$r_U = 377.505 \text{ m}$

$r_L = 10 \text{ m}$

$s_L = 2.052 \text{ m}$

$$S = \frac{Qt}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln \left(\frac{r_U}{r_L} \right)$$

$$S = 4.7 \times 10^{-2}$$

GK1-GK5

$t = 3000$ dak

$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$

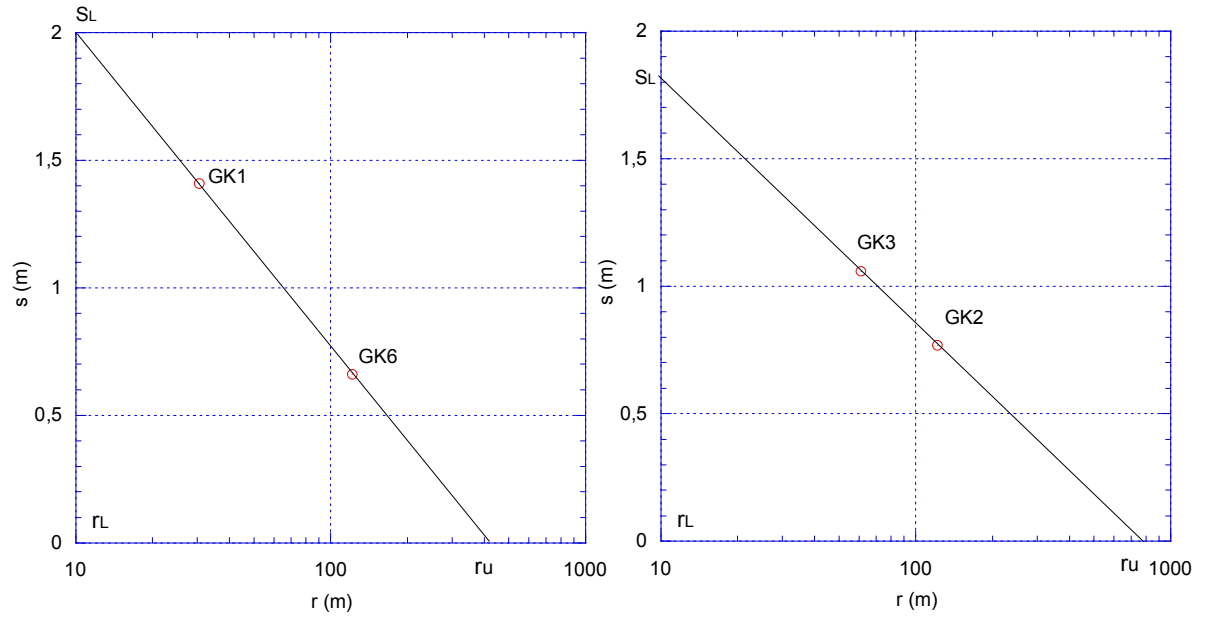
$r_U = 522.33 \text{ m}$

$r_L = 10 \text{ m}$

$s_L = 1.967 \text{ m}$

$$S = \frac{Qt}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln \left(\frac{r_U}{r_L} \right)$$

$$S = 2.7 \times 10^{-2}$$



Şekil 6.35 GK1-GK6 ve GK2-GK3 arasında Şen grafik metodu uygulaması

GK1-GK6

$t = 3000$ dak

$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$

$r_U = 424.82 \text{ m}$

$r_L = 10 \text{ m}$

$s_L = 2 \text{ m}$

$$S = \frac{Qt}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln\left(\frac{r_U}{r_L}\right)$$

$$S = 3.9 \times 10^{-2}$$

GK3-GK2

$t = 3000$ dak

$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$

$r_U = 789.65 \text{ m}$

$r_L = 10 \text{ m}$

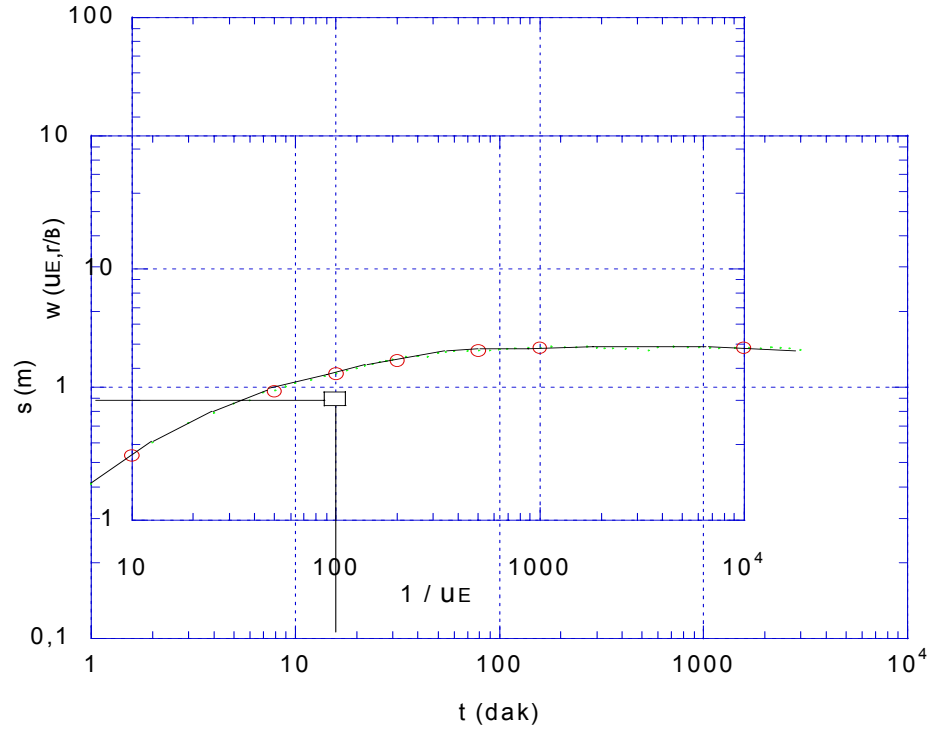
$s_L = 1.82 \text{ m}$

$$S = \frac{Qt}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln\left(\frac{r_U}{r_L}\right)$$

$$S = 1.4 \times 10^{-2}$$

6.10 Boulton Metoduyla Akifer Parametrelerinin Elde Edilmesi

6.10.1 Boulton Metoduyla GK1'in Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.36 GK1 için erken zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_E = 100$$

$$u_E = 0.01$$

$$W(u_E, r/\beta) = 3$$

$$s_E = 0.8892 \text{ m}$$

$$t_E = 15.85 \text{ dak}$$

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E}$$

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4 \pi T_E s_E}{Q}$$

$$T_E = 1.012 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_E = 6.91 \times 10^{-4}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_L = 100$$

$$u_L = 0.01$$

$$W(u_L, r/\beta) = 3$$

$$s_L = 0.803 \text{ m}$$

$$t_L = 74.23 \text{ dak}$$

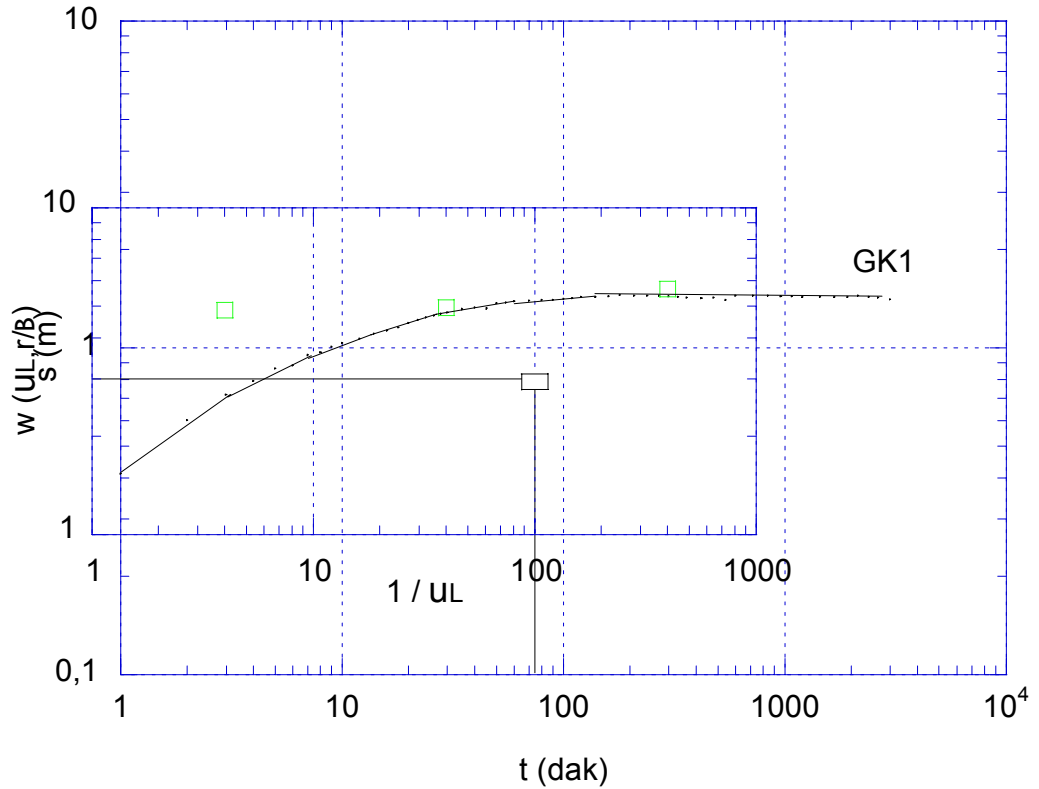
$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L}$$

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4 \pi T_L s_L}{Q}$$

$$T_L = 1.121 \text{ m}^2/\text{dak}$$

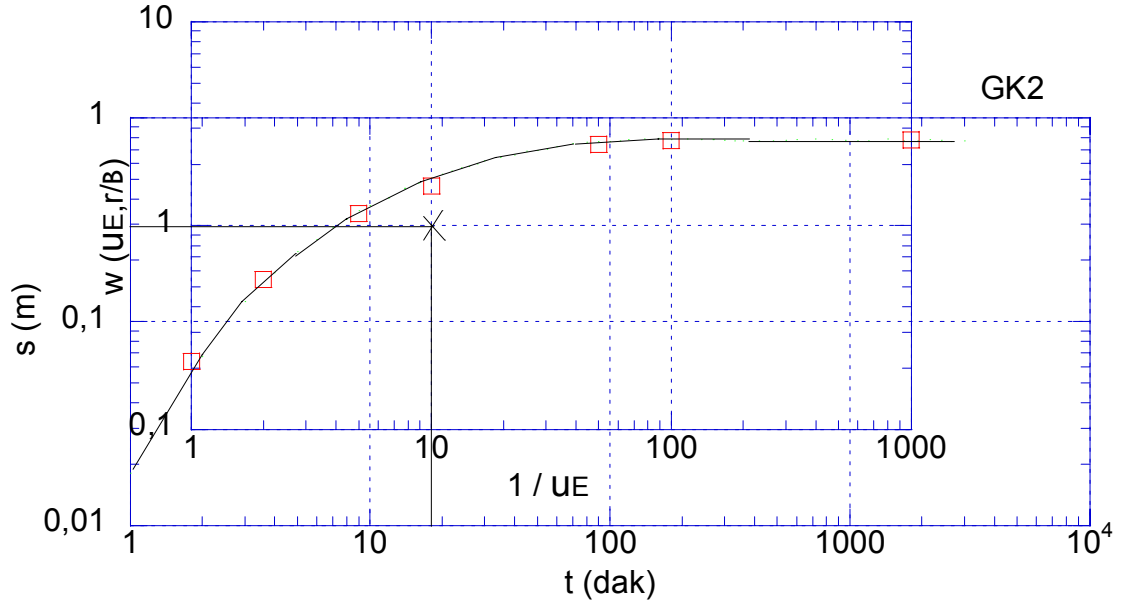
$$S_L = 3.6 \times 10^{-3}$$

Erken ve geç zamanlı değerlerine göre sınırlandırılmış Theis eğrileri arasında kalan Boulton β eğrilerinden, gözlem kuyularından elde edilen tam logaritmik zaman-düşüm eğrilerine göre uygun olanı seçilir. Seçilen Boulton eğrisi ile arazi verileri karşılaştırıldıktan sonra Theis metoduna benzer şekilde bir nokta seçilip, Boulton grafiğinden u_E ve $W(u_E, r/\beta)$ okunur. Arazi verilerinden de s_E ve t_E okunduktan sonra (5.47) ve (5.48) denklemlerinden T_E ve S_E elde edilir. Elde edilen bu değerlerden S_E depolama katsayısıdır. Bu aşamadan sonra ikinci karşılaştırma işlemine geilir. aynı işlemler geç zamanlı β eğrisine göre yapıldıktan sonra grafikten okunan u_L , $W(u_L, r/\beta)$, s_L ve t_L değerleri ile T_L ve S_L , geç zamanlı iletkenlik ve özgül verim değerleri elde edilmiştir. Eğer karşılaştırma işlemleri doğru yapılmış ise T_E ve T_L ifadeleri yaklaşık olarak eşit olacaktır.



Şekil 6.37 GK1 için geç zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

6.10.2 Boulton Metoduyla GK2'nin Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.38 GK2 için erken zamanlı $r/\beta=0.3$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_E = 10$$

$$u_E = 0.1$$

$$W(u_E, r/\beta) = 1$$

$$s_E = 0.2911 \text{ m}$$

$$t_E = 18.01 \text{ dak}$$

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E}$$

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4 \pi T_E s_E}{Q}$$

$$T_E = 1.031 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_E = 5 \times 10^{-4}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_L = 10$$

$$u_L = 0.1$$

$$W(u_L, r/\beta) = 1$$

$$s_L = 0.243 \text{ m}$$

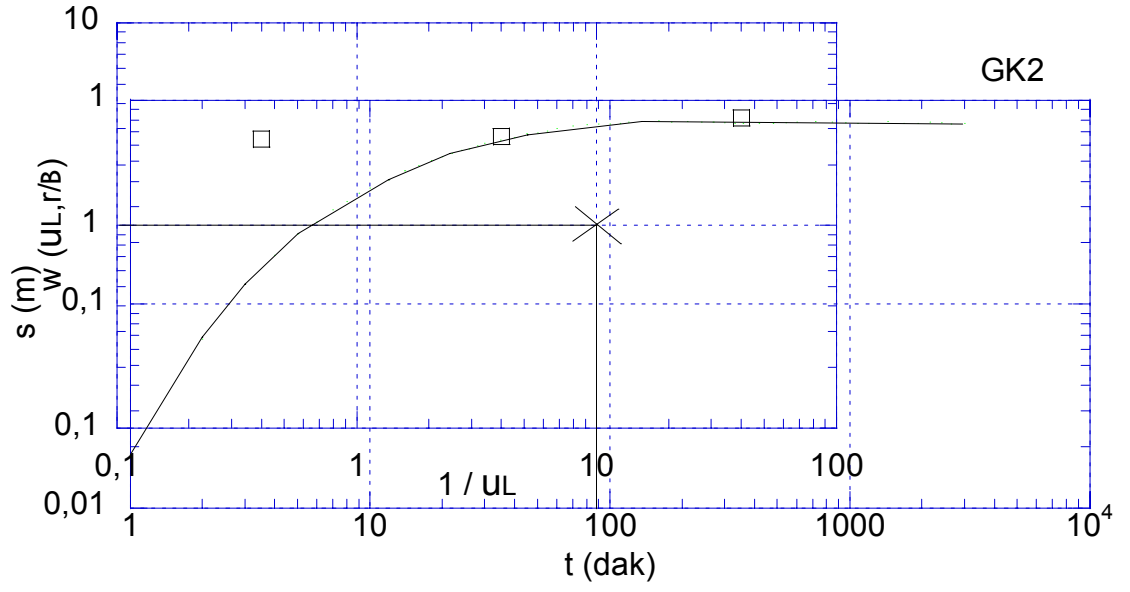
$$t_L = 87.99 \text{ dak}$$

$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L}$$

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4 \pi T_L s_L}{Q}$$

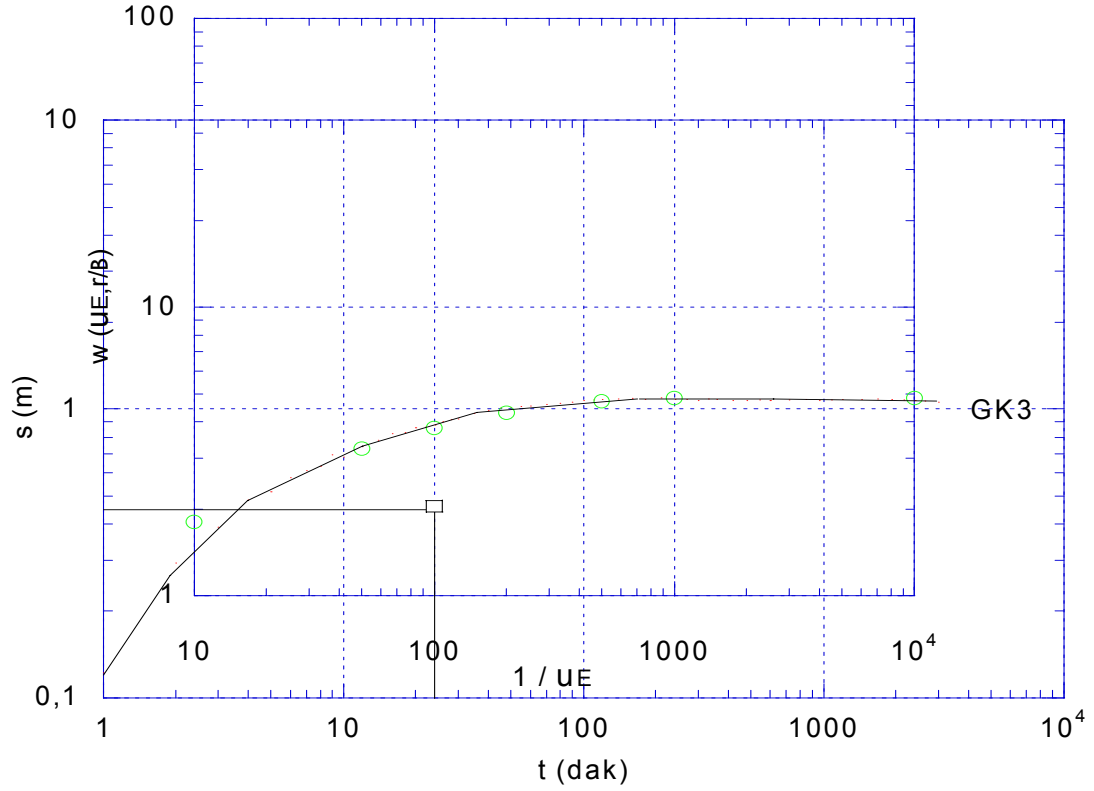
$$T_L = 1.235 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_L = 2.9 \times 10^{-3}$$



Şekil 6.39 GK2 için geç zamanlı $r/\beta=0.3$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

6.10.3 Boulton Metoduyla GK3'ün Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.40 GK3 için erken zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_E = 100$$

$$u_E = 0.01$$

$$W(u_E, r/\beta) = 2$$

$$s_E = 0.4477 \text{ m}$$

$$t_E = 23.87 \text{ dak}$$

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E}$$

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4 \pi T_E s_E}{Q}$$

$$T_E = 1.340 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_E = 3.4 \times 10^{-4}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_L = 100$$

$$u_L = 0.01$$

$$W(u_L, r/\beta) = 3$$

$$s_L = 0.6 \text{ m}$$

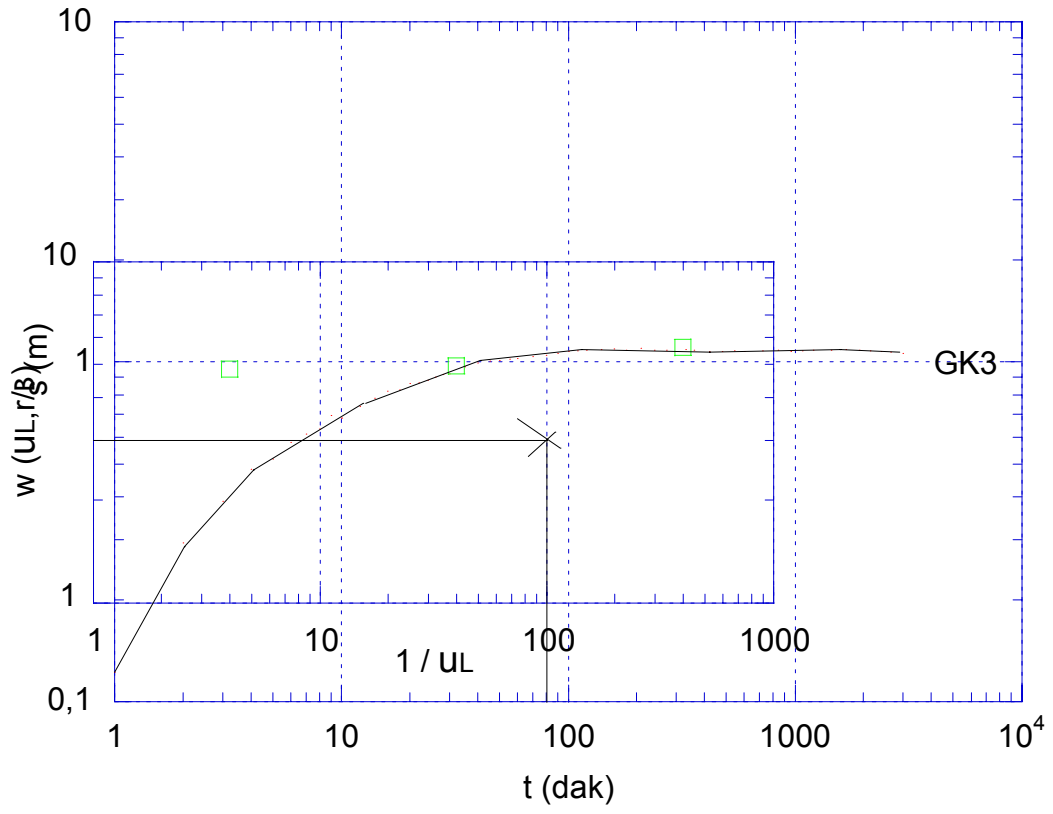
$$t_L = 80.516 \text{ dak}$$

$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L}$$

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4 \pi T_L s_L}{Q}$$

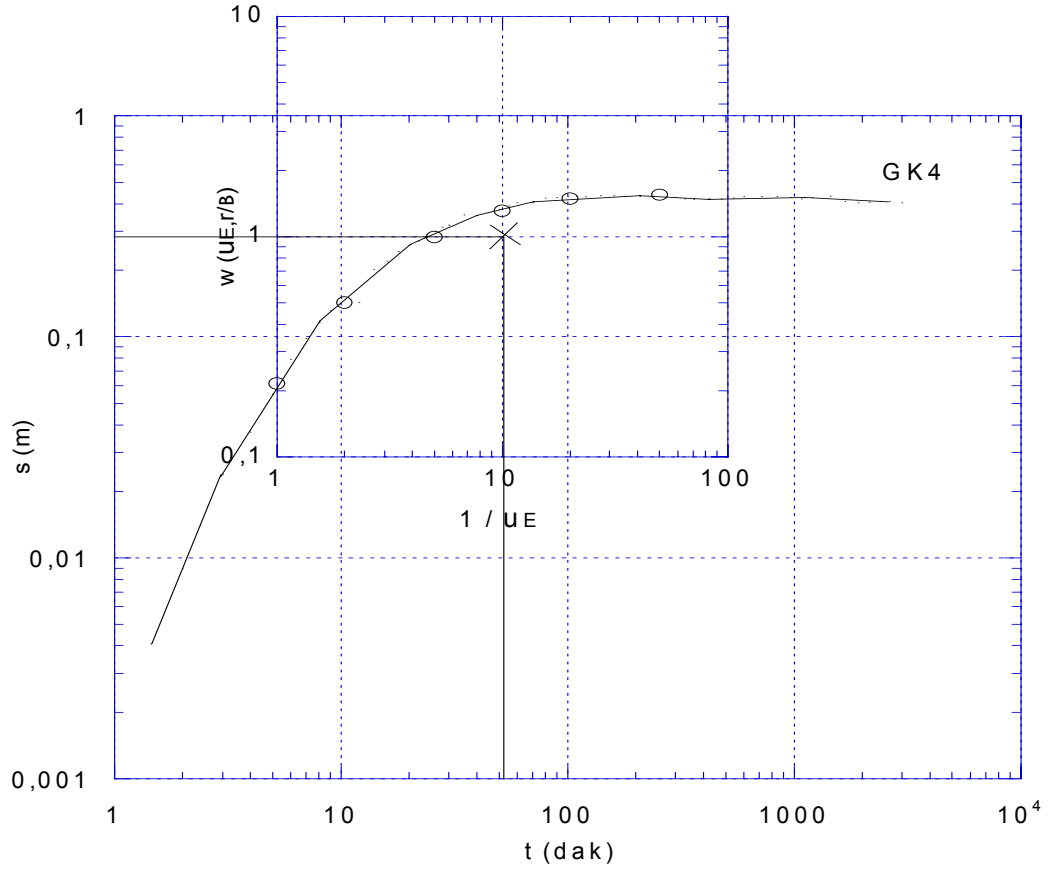
$$T_L = 1.5 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_L = 1.3 \times 10^{-3}$$



Şekil 6.41 GK3 için geç zamanlı $r/\beta=0.1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

6.10.4 Boulton Metoduyla GK4'ün Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.42 GK4 için erken zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_E = 10$$

$$u_E = 0.1$$

$$W(u_E, r/\beta) = 1$$

$$s_E = 0.2837 \text{ m}$$

$$t_E = 52.2 \text{ dak}$$

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E}$$

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4 \pi T_E s_E}{Q}$$

$$T_E = 1.058 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_E = 6.6 \times 10^{-4}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_L = 10$$

$$u_L = 0.1$$

$$W(u_L, r/\beta) = 2$$

$$s_L = 0.3621 \text{ m}$$

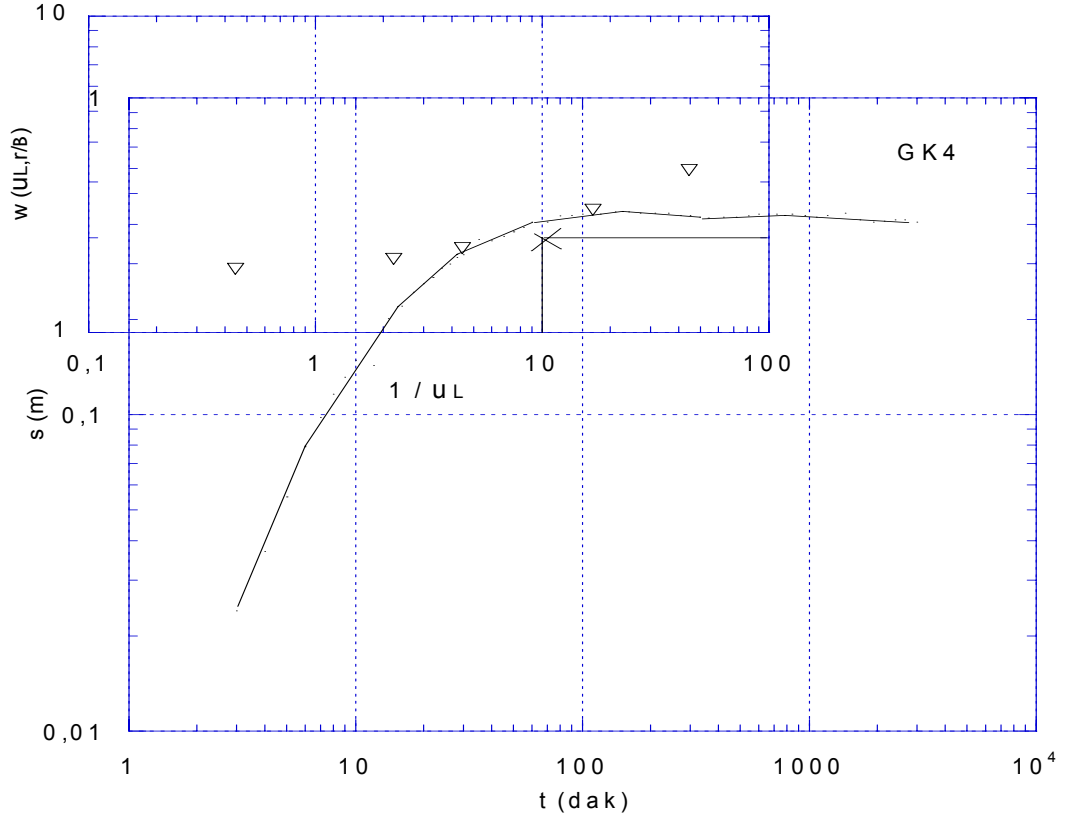
$$t_L = 66.61 \text{ dak}$$

$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L}$$

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4 \pi T_L s_L}{Q}$$

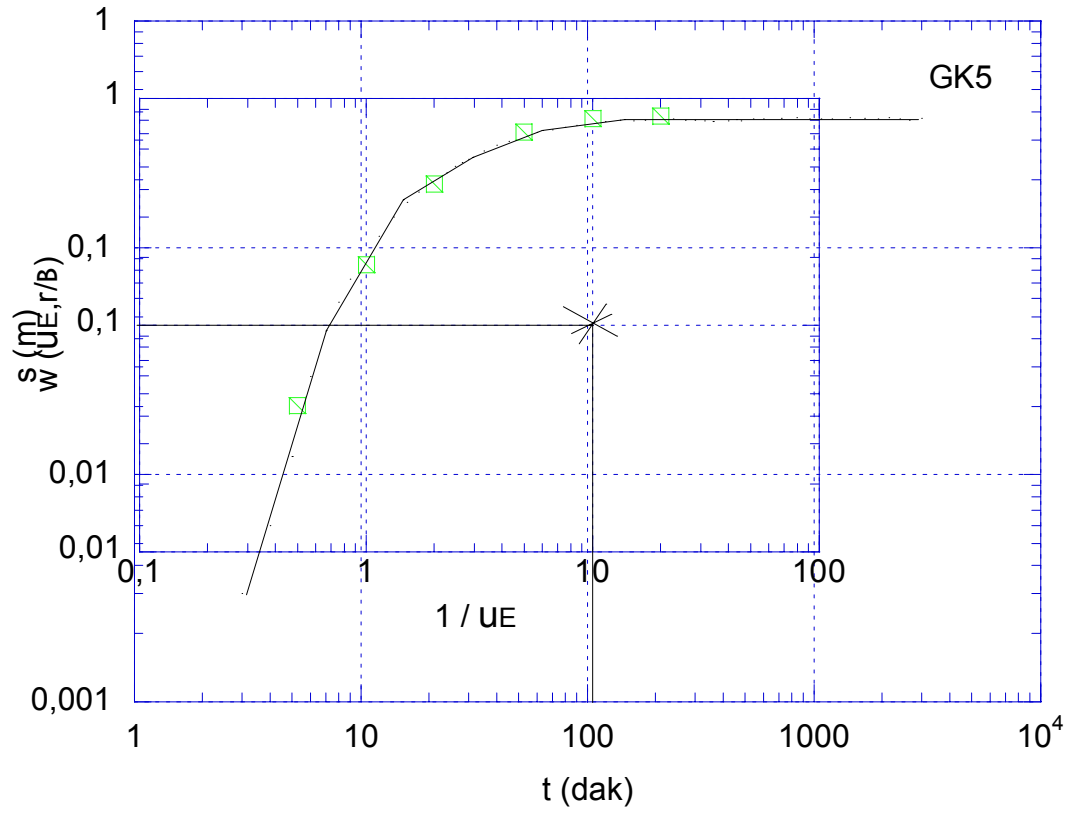
$$T_L = 1.65 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_L = 1.32 \times 10^{-3}$$



Şekil 6.43 GK4 için geç zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

6.10.5 Boulton Metoduyla GK5'in Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.44 GK5 için erken zamanlı $r/\beta=1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1 / u_E = 10$$

$$u_E = 0.1$$

$$W(u_E, r/\beta) = 0.1$$

$$s_E = 0.0456 \text{ m}$$

$$t_E = 105.57 \text{ dak}$$

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E}$$

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4 \pi T_E s_E}{Q}$$

$$T_E = 0.658 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_E = 4.67 \times 10^{-4}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1 / u_L = 0.1$$

$$u_L = 10$$

$$W(u_L, r/\beta) = 0.4$$

$$s_L = 0.1628 \text{ m}$$

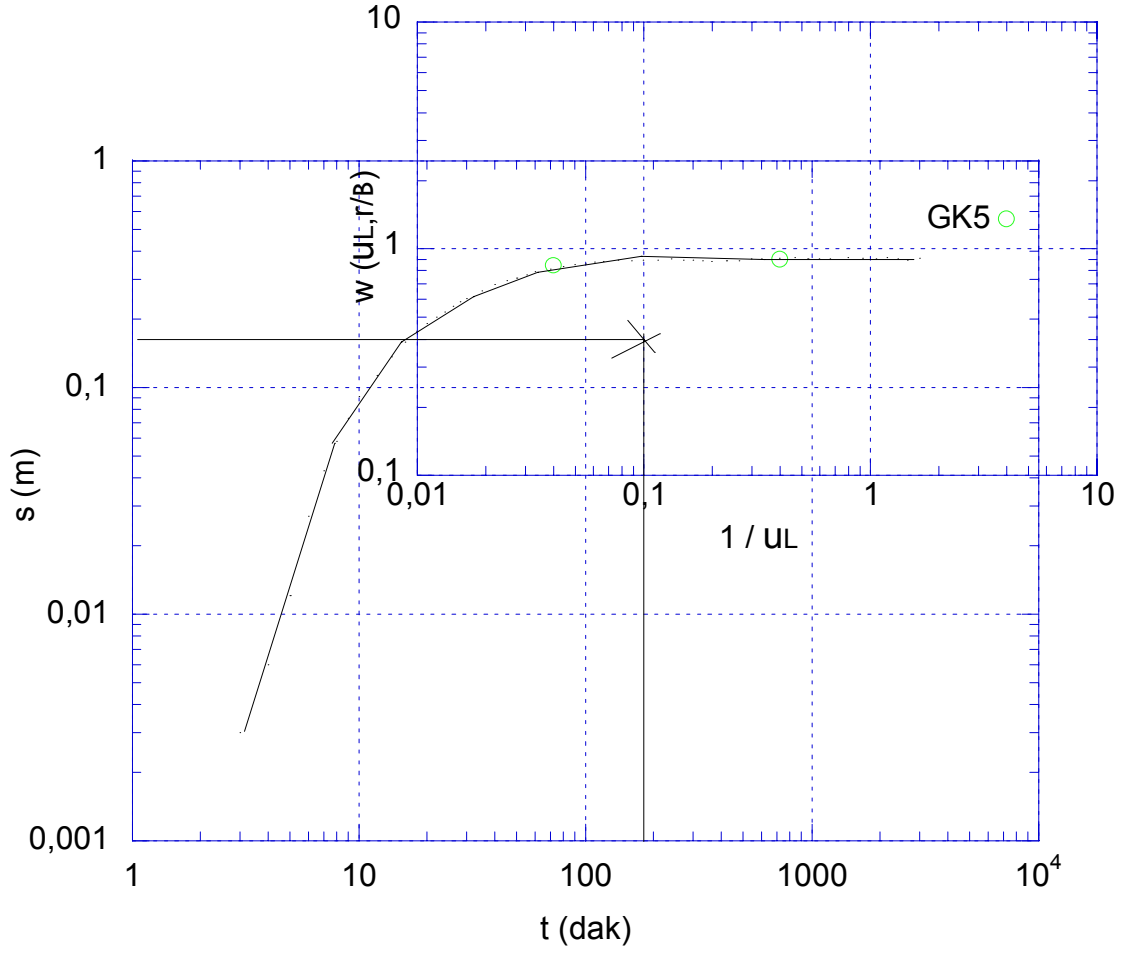
$$t_L = 181.48 \text{ dak}$$

$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L}$$

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4 \pi T_L s_L}{Q}$$

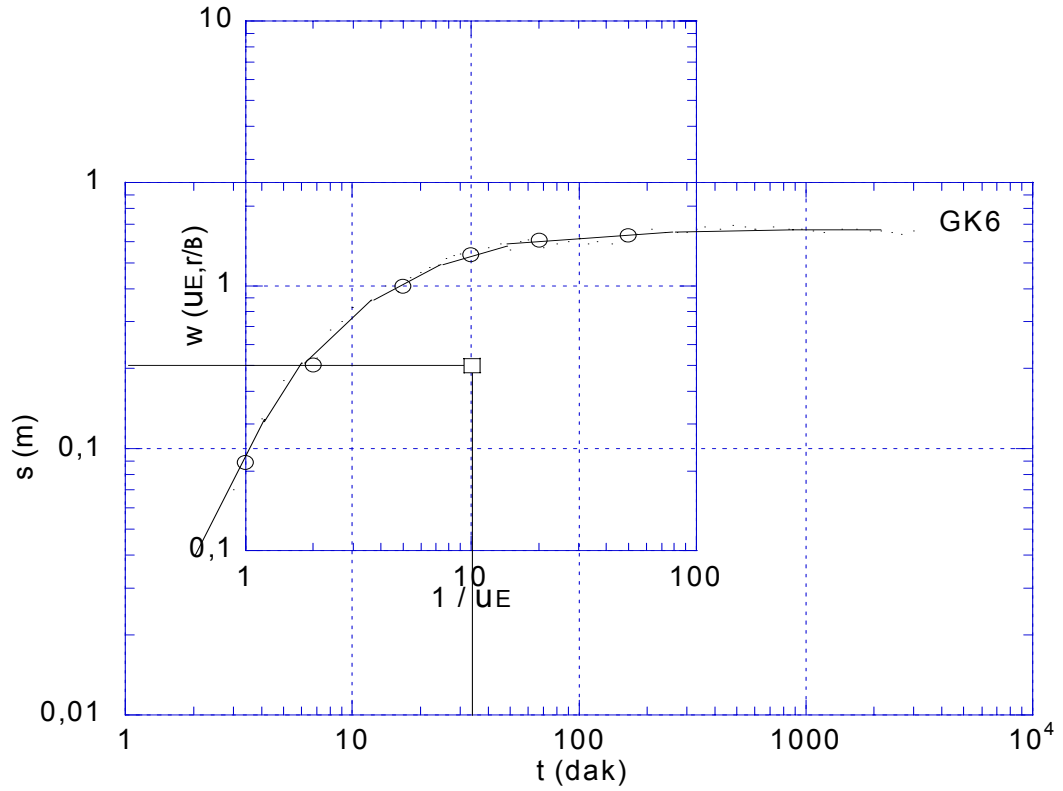
$$T_L = 0.737 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_L = 9 \times 10^{-2}$$



Şekil 6.45 GK5 için geç zamanlı $r/\beta=1$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

6.10.6 Boulton Metoduyla GK6'nın Parametrelerinin Bulunması



Şekil 6.46 GK6 için erken zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_E = 10$$

$$u_E = 0.1$$

$$W(u_E, r/\beta) = 0.5$$

$$s_E = 0.2055 \text{ m}$$

$$t_E = 33.84 \text{ dak}$$

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E}$$

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4 \pi T_E s_E}{Q}$$

$$T_E = 0.730 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_E = 6.65 \times 10^{-4}$$

$$Q = 3.7716 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1/u_L = 1$$

$$u_L = 1$$

$$W(u_L, r/\beta) = 1$$

$$s_L = 0.3277 \text{ m}$$

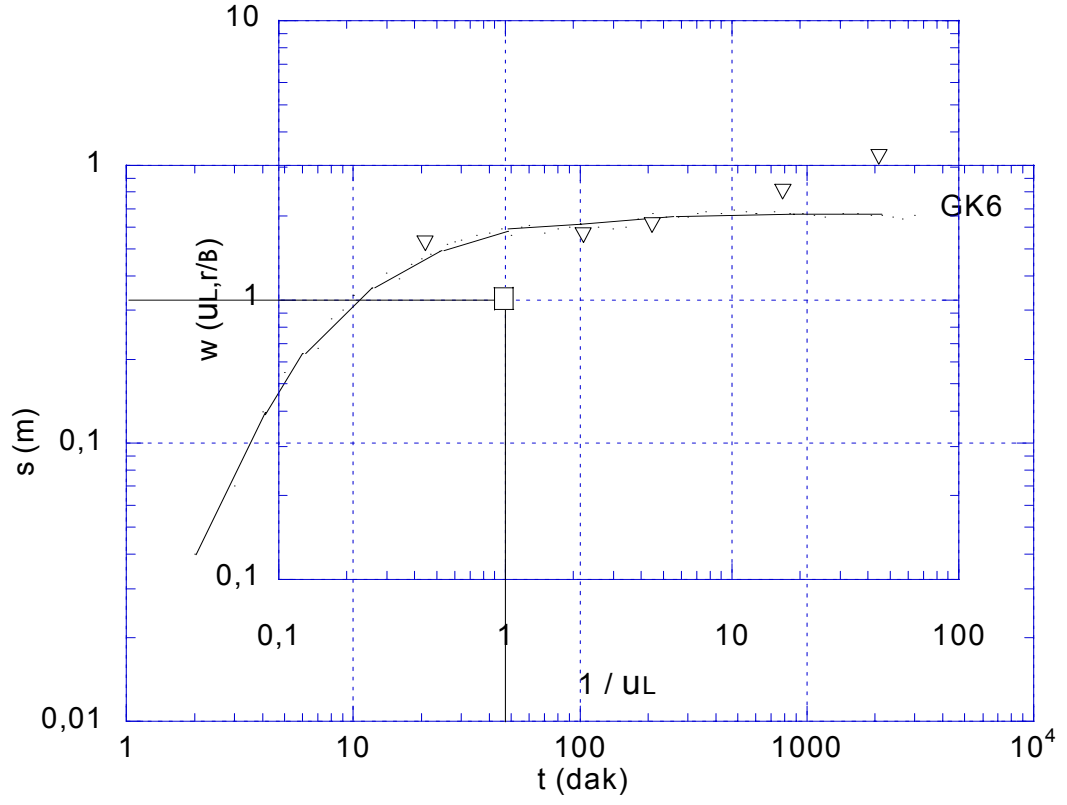
$$t_L = 46.8 \text{ dak}$$

$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L}$$

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4 \pi T_L s_L}{Q}$$

$$T_L = 0.915 \text{ m}^2/\text{dak}$$

$$S_L = 1.1 \times 10^{-2}$$



Şekil 6.47 GK6 için geç zamanlı $r/\beta=0.6$ eğrisi kullanılarak Boulton metodunun uygulanması

7. SONUÇLAR

İki ayrı arazi çalışmasına uygulanan dengesiz akım yöntemlerinin sonuçları bu bölümde incelenecektir. Konu üzerinde yapılan araştırmalar içinde Singh metodunun diğer yöntemlere göre farkı düşüm değerlerinin erken zamanlarıyla elde edilen sonuçlar en az diğer yöntemler kadar gerçekçi değerler vermiştir, bu zaman ve ekonomik açıdan çok faydalı bir durumdur. İlk arazi çalışmalarının sonuçları Çizelge 7.1 ve 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Arazi çalışması I için iletim katsayısı sonuç tablosu

Kuyu Adı	Ana Kuyuya Uzaklığı	Theis Metodu	Jacob Düşüm-zaman Metodu	Jacob Düşüm-Mesafe Metodu	Jacob Birleşik Değişkenler Metodu	Singh Metodu
	r (m)	T m ² /sn	T m ² /sn	T m ² /sn	T m ² /sn	T m ² /sn
GK1	25	0,0045	0,0044	0,0060	0,0094	0,0044
GK2	60	0,0045	0,0052			0,0034
GK3	150	0,0047	0,0051			0,0046

Çizelgede verilen iletkenlik katsayısı değerleri m²/sn birimine çevrilerek yazılmıştır. Uygulanan yöntemler arasında ciddi farklar oluşmamıştır. T iletkenli katsayısı 0.1 değerinden küçük olduğu için akiferin yetersiz olduğu söylenebilir. Kullanım açısından ancak küçük bir bölgeye yetebilir. Ancak T iletim katsayısı değerlerinin birbirine yakınlığı akiferin homojen ve izotrop olduğuna işaretler. Akiferin basınçlı olup olmadığını anlamamız için bulunan depolama katsayısı değerlerine ihtiyacımız vardır. Çizelge 7.2’de verilen depolama katsayısı değerlerine göre, sonuçlar yöntemlere göre yakın değerler vermiştir. Akiferin S parametresi 10⁻²-10⁻⁶ değerleri arasında olduğu için akifer basınçlıdır denir.

Çizelge 7.2 Arazi çalışması I için depolama katsayısı sonuç tablosu

Kuyu Adı	Ana Kuyuya Uzaklığı	Theis Metodu	Jacob Düşüm-Zaman Metodu	Jacob Düşüm-Mesafe Metodu	Jacob Birleşik Değişkenler Metodu	Singh Metodu
	r (m)	S	S	S	S	S
GK1	25	3,57*10 ⁻⁴	3,82*10 ⁻⁴	1,01*10 ⁻⁴	4,23*10 ⁻⁴	3,37*10 ⁻⁴
GK2	60	2,5*10 ⁻⁴	1,8*10 ⁻⁴			2.56*10 ⁻⁴
GK3	150	1,7*10 ⁻⁴	1,67*10 ⁻⁴			1.5*10 ⁻⁴

Çizelge 2.4'te verilen bilgiler doğrultusunda malzemenin gözenekli olduğu söylenebilir. Ayrıca gözlem kuyuları arasında depolama katsayısı değerleri birbirine yakın olması akiferin homojen olduğunu destekler. Singh metoduna dikkat edecek olursak şu ana kadar olan yöntemlere göre benzer sonuçlar vermiştir.

İkinci arazi çalışması Pakistan'da iki nehir arasında kalan Chaj Doap bölgesinde, yer üstü kaynaklarının yetersiz kalması nedeniyle yapılmıştır. Bölge de yağış miktarı sulama için yetersiz kalmasından dolayı alternatif kaynaklar arayışına gidilmiştir. Bu çalışmada arazi verileri doğrultusunda zaman-düşüm değerlerinin, aritmetik ve tam logaritmik kağıda çizilip yorumlanması doğrultusunda uygulanan yöntemlerin sonuçları aşağıdaki Çizelge 7.3 ve 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.3 Arazi çalışması II'nin iletim katsayısı sonuç tablosu

Kuyu Adı	Ana Kuyuya Uzaklığı	Theis Metodu	Jacob Düşüm-Zaman Metodu	Jacob Düşüm-Mesafe Metodu	Jacob Birleşik Değişkenler Metodu	Singh Metodu	Boulton Metodu
	r (m)	T m^2/sn	T m^2/sn	T m^2/sn	T m^2/sn	T m^2/sn	T m^2/sn
GK1	30,5	0.0182	0.0195	0.019	0.02	0.0195	0.017
GK2	122	0.0187	0.024		0.025	0.016	0.017
GK3	61	0.02	0.022		0.021	0.011	0.022
GK4	183	0.024	0.036		0.034	0.021	0.018
GK5	245	0.02	0.035		0.037	0.02	0.011
GK6	122	0.018	0.025		0.025	0.013	0.012
ORTALAMA		0.02	0.027	0.019	0.027	0.017	0.016

Bu çalışmada da T iletkenlik katsayısı 0.1 değerinden küçüktür. Bu da akiferin kullanım açısından yetersiz olduğunu göstermektedir. Birçok yöntem sonucuna göre ana kuyudan uzaklaştıkça iletkenlik katsayısının arttığını görüyoruz. Akiferin izotrop olduğunu söylemek Boulton ve Theis metodundan elde edilen veriler dışında söylemek zor olur. Ama homojen davranışı GK1, GK2 ve GK3 için geçerlidir. GK3 için yapılan Singh metodu diğer sonuçlara göre tutarsız bir değer vermiştir. Bunun nedeni oluşması beklenen tepe noktasının hemen

ikinci düşüm değerinde olmasıdır. Diğer gözlem kuyularında oluşan tepe noktaları alınan erken düşüm değerlerinin orta bölgesinde olduğu zaman geçirilen eğri daha uygun olduğundan sonuçlarda daha sağlıklı olmuştur.

Akiferin basınçlı olup olmadığına karar verebilmek için depolama katsayısı değerlerine ihtiyacımız vardır. Çizelge 7.4'te verilen değerlere göre; S depolama katsayısı 10^{-2} - 10^{-6} değerleri arasındadır ve basınçlı akiferdir. Çizelge 2.4'ten bakılacak olursa 10^{-3} - 10^{-6} arasına tekabül eden S değerleri malzemenin gözenekli olduğuna işaret etmektedir.

Çizelge 7.4 Arazi çalışması II'nin depolama katsayısı sonuç tablosu

Kuyu Adı	Ana Kuyuya Uzaklığı	Theis Metodu	Jacob Düşüm-Zaman Metodu	Jacob Düşüm-Mesafe Metodu	Jacob Birleşik Değişkenler Metodu	Singh Metodu	Şen Metodu	Boulton Metodu
	r (m)	S	S	S	S	S	S	S
GK1	30,5	$5,9*10^{-4}$	$5,4*10^{-4}$	$7,3*10^{-4}$	$4,6*10^{-4}$	$5,4*10^{-4}$	$1,8*10^{-2}$	$6,9*10^{-4}$
GK2	122	$4,8*10^{-4}$	$3,5*10^{-4}$		$3,3*10^{-4}$	$5,1*10^{-4}$	$1,4*10^{-2}$	$5,0*10^{-4}$
GK3	61	$4,8*10^{-4}$	$4,2*10^{-4}$		$4,4*10^{-4}$	$6,4*10^{-4}$	$1,8*10^{-2}$	$3,4*10^{-4}$
GK4	183	$6,9*10^{-4}$	$4,8*10^{-4}$		$4,9*10^{-4}$	$6,9*10^{-4}$	$4,7*10^{-2}$	$6,6*10^{-4}$
GK5	245	$6,2*10^{-4}$	$4,2*10^{-4}$		$4,3*10^{-4}$	$5,7*10^{-4}$	$2,7*10^{-2}$	$4,7*10^{-4}$
GK6	122	$6,7*10^{-4}$	$4,6*10^{-4}$		$4,9*10^{-4}$	$7,5*10^{-4}$	$3,9*10^{-2}$	$6,7*10^{-4}$
ORTALAMA		$5,9*10^{-4}$	$4,5*10^{-4}$	$7,3*10^{-4}$	$4,4*10^{-4}$	$6,2*10^{-4}$	$2,7*10^{-2}$	$5,6*10^{-4}$

Şen metodunda diğer sonuçlara göre fark edilir bir fark vardır. Bu yöntem gözlem kuyularının her birine değil ikişer ikişer uygulama yapılmıştır. Bunun dışında diğer sonuçlar yakınlık arz etmektedir. Bu da akiferin homojen davranışına bir destektir.

KAYNAKLAR

- Bear, J., (1972), "Dynamics of Fluid in Porous Media", Elsevier Science, NewYork.
- Bear, J., (1979), "Hydraulics of Groundwater" Water Reasources and Environmental Engineering. McGraw-Hill, Book Co., New York.
- Bennet, G. D., Rehman, Sheikh, I.A., Sabir, A., (1967), Analysis of Aquifer Tests in the Punjab Region of West Pakistan, Water Supply Paper 1608-G.
- Birpınar, M.E., (1996), Dengeli Akım Durumunda Serbest Yüzlü Akiferlerde Açılan Kuyularda Girişim Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Boulton, N.S., (1963), "Analysis of Data from Nonequilibrium Pumping Test Allowing for Delayed Yield from Storage", Proc. Inst. Civil Engineers, London, 26
- Bouwer, H., (1987), "Ground Water Hydrology", McGraw-Hill Book Co., New York, 480p.
- Cooper, H.H., and JACOB, C.E., (1946), "A Generalized Graphical Method for Evoluating Formation Constants and Summarizing Well Field History.", Trans. Am. Geophysy. Union, 27, 526-534.
- Darcy, H., (1856), "Les Fontains Publiques de La Ville de Dijon", Victor Dalmont, Paris, France.
- Driscoll, F.G., (1987), "Ground Water and Wells" Published by Johnson Division, St. Paul., Minnesota, 1098pp.
- Dupuit, J., (1863), "Etudes Theoretiques et Pratiques Sur le Mouvement des eaux dans les Canaux de Couverts et a Travers les Terrains Permeables", 2nd. Ed., Dunod, Paris, France.
- Forchheimer, P. V., (1930), Grundwasserbewegung und Hydraulik. Tubrier, Leipzig.
- Gazioğlu, Ş.A., (1999), Dengesiz Akım Durumunda Serbest Yüzlü Akiferlere Ait Karakteristiklerin Belirlenmesi İçin Yeni Bir Model Ve Uygulaması, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Haunts, M.S., (1956), "Analysis of Data from Pumping Test in Leaky Aquifers", Trans. Amer. Geophysical Union, 37 (6) : 702-714.
- Jacob, C.E., (1944), "Notes on Determining Permeability by Pumping Test under Water Table Condition", U.S. Geol. Survey, Open File Report.
- Jacob, C.E., (1946), "Radial Flow in a Leaky Artesian Aquifer", Am. Geophysy. Union, Vol. 27, No. 11, 198-208 p.
- Kruseman, G.P., and de RIDDER, N.A. (1991), "Analysis and Evalution of Pumping Test Data", ILRI Publ. 47, 2nd Ed., Wageningen. The Netherlands.

- Lohman, L.W., (1972), "Ground-Water Hydraulics", U.S. Geological Survey Prof. Paper 708.
- Marsily, G.D., (1986), "Quantitative Hydrogeology in Ground Water Hydrology for Engineers", Academic Press, New York.
- Neuman, S.P., (1972), "Theory of Flow in Unconfined Aquifers Considering Delayed Response of the Water Table", Water Resources Res., 8 (4) : 1031-1045.
- Neuman, S.P., (1973), "Saturated-Unsaturated Seepage by Finite Elements", J. Hydraulics Division, ASCE, HY12 : 2233-2250.
- Neuman, S. P., (1975), "Galerkin Methods for Analysing Flow in Saturated-Unsaturated Porous Media, in Finite Elements in Fluids", John Wiley & Sons, London.
- Neuman, S.P., (1987), "On Methods of Determining Specific Yield", Ground Water, 25(6) :679.
- Özyol, A.H., ve GAZİOĞLU, Ş.A., (1996), "Serbest Yüzlü Akiferlerde Dengesiz Akım Halinde Kuyulardaki Girişim Olayının İncelenmesi", İçmesuyu Sempozyumu, 7-10 Ekim 1996, İSKİ, İstanbul, 243-248.
- Streltova, T.D., (1972), "Unsteady Radial Flow in an Unconfined Aquifer", Water Resour. Res., 8 (4) : 1059-1066.
- Streltova, T.D., (1973), "Flow Near a Pumped Well in an Unconfined Aquifer Under Nonsteady Conditions", 9 (1) : 227-242.
- Singh, S.K., (2000), "Simple Method for Confined-Aquifer Parameter Estimation", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, November-December 2000, ASCE 126 (6), 404-406.
- Şen, Z., (1986a), "Discharge Calculation from Early Drawdown Data in Large-diameter Wells" J. Hydrol., 83, p.45-48.
- Şen, Z., (1986b), "Determination of Aquifer Parameters by the Slope Matching Method", Ground Water, 24 (2) : 217-223.
- Şen, Z., (1987), "Storage Coefficient Determination from Quasi-Steady State Flow", Nordic Hydrology, 18, 101-110.
- Şen, Z., (1995), "Applied Hydrogeology for Scientists and Engineers.", CRC Lewis Publishers. Boca Racon, 496 pp.
- Şen, Z., (1996), "Graphical Method for Storage Coefficient Determination from Quasi-Steady State Flow Data", Nordic Hydrology, 27, 4, 247-254.
- Theis, C.V., (1935), "The Relation between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using Groundwater Storage", Trans. Amer. Geophysical Union, 16, 519-524.

Theis, C.V., (1941), "The Effect of a Well on the Flow of a Nearby Stream", Trans. Amer. Geophysical Union, 22, 734-738.

Todd, D. K., (1980), Groundwater Hydrology, John Wiley & Sons, New York. 535pp.

UNESCO, (1972), "Ground Water Studies", Studies and Reports on Hydrology. No. 7, p. 4-8.

Van Tonder, G.J., Botha, J.F., Chiang, W.-H., Kuntsmann, H. and Xu, Y., (2001), Estimation of the Sustainable yields of Bareholes in Fractured Rock Formations. Journal of Hydrology. 241, 70-90.

EK

Tablo 1 Arazi Çalışması II'nin zaman-düşüm verileri

Zaman	AK	G1	G2	G3	G4	G5	G6
(dakika)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1		0,412	0,018	0,122			
2		0,604	0,067	0,293	0,009		0,04
3		0,719	0,125	0,39	0,024	0,003	0,07
4		0,792	0,174	0,485	0,037	0,006	0,13
5		0,863	0,22	0,518	0,055	0,012	0,18
6		0,887	0,253	0,579	0,079	0,027	0,21
7		0,951	0,29	0,613	0,098	0,043	0,22
8		0,972	0,32	0,634	0,116	0,058	0,28
9		1,009	0,348	0,695	0,131	0,073	0,3
10	11,582	1,036	0,372	0,683	0,149	0,091	0,34
12	11,604	1,067	0,405	0,738	0,143	0,113	0,36
14	11,613	1,106	0,451	0,78	0,201	0,137	0,41
16	11,619	1,134	0,479	0,82	0,22	0,159	0,39
18	11,665	1,161	0,506	0,826	0,244	0,177	0,44
20	11,665	1,189	0,53	0,863	0,259	0,192	0,46
22	11,668	1,219	0,549	0,866	0,271	0,204	0,48
24	11,674	1,238	0,57	0,881	0,29	0,216	0,49
26		1,259	0,576	0,902	0,299	0,229	0,52
28	11,677	1,274	0,597	0,917	0,314	0,238	0,53
30	11,68	1,286	0,613	0,924	0,32	0,247	0,54
35	11,704	1,317	0,64	0,966	0,357	0,268	0,56
40	11,71	1,329	0,658	0,994	0,354	0,284	0,57
45	11,713	1,323	0,686	1,006	0,366	0,296	0,59
50	11,72	1,369	0,692	1,009	0,378	0,305	0,56
55	11,72	1,378	0,704	1,018	0,39	0,314	0,6
60	11,723	1,393	0,728	1,021	0,405	0,323	0,61
70	11,723	1,396	0,747	1,039	0,405	0,332	0,57
80	11,726	1,402	0,759	1,046	0,424	0,341	0,59
90	11,735	1,405	0,765	1,058	0,427	0,348	0,6
100		1,414	0,765	1,07	0,43	0,351	0,62
110		1,426	0,772	1,076	0,433	0,357	0,59
120	11,771	1,433	0,78	1,079	0,43	0,36	0,6
140	11,778	1,436	0,789	1,085	0,436	0,366	0,59
160	11,778	1,439	0,796	1,091	0,436	0,363	0,6
180	11,778	1,454	0,783	1,082	0,433	0,366	0,64
210	11,774	1,448	0,786	1,094	0,433	0,366	0,67
240	11,787	1,448	0,783	1,079	0,433	0,369	0,65
270	11,729	1,451	0,78	1,082	0,427	0,366	0,65
300	11,723	1,439	0,777	1,073	0,427	0,366	0,65
330	11,732	1,433	0,771	1,088	0,421	0,363	0,67
360	11,717	1,43	0,768	1,082	0,418	0,36	0,68
420	11,714	1,426	0,771	1,07	0,421	0,363	0,67
480	11,707	1,43	0,768	1,073	0,421	0,363	0,69
540	11,71	1,405	0,777	1,076	0,424	0,369	0,68
600	11,707	1,448	0,783	1,07	0,43	0,369	0,67
720	11,686	1,451	0,786	1,076	0,43	0,372	0,68
840	11,683	1,448	0,783	1,082	0,43	0,375	0,67
960	11,683	1,442	0,777	1,073	0,427	0,369	0,67

Tablo 1 Arazi Çalışması II'nin zaman-düşüm verileri(devamı)

Zaman	AK	G1	G2	G3	G4	G5	G6
(dakika)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1080	11,68	1,439	0,771	1,076	0,421	0,369	0,66
1200	11,677	1,433	0,768	1,079	0,427	0,369	0,65
1440	11,634	1,436	0,786	1,082	0,433	0,375	0,67
1680	11,64	1,436	0,768	1,085	0,412	0,372	0,67
1920	11,631	1,433	0,768	1,082	0,405	0,369	0,66
2160	11,619	1,448	0,78	1,076	0,408	0,375	0,66
2400	11,601	1,436	0,777	1,07	0,412	0,369	0,65
2640	11,582	1,43	0,765	1,064	0,412	0,366	0,64
3000	11,57	1,408	0,768	1,058	0,405	0,372	0,66

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	22.11.1979	
Doğum Yeri	Adana	
Lise	1993-1996	Adana Borsa Lisesi
Lisans	1997-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2002-2005	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı
Çalıştığı Kurumlar	2003-2004	Yüksel İnşaat A.Ş.
	2004-2005	Zafer Saka İnşaat Mühendislik Ltd. Şti.