

85001

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENGESİZ AKIM DURUMUNDA SERBEST YÜZLÜ
AKİFERLERE AİT KARAKTERİSTİKLERİN
BELİRLENMESİ İÇİN YENİ BİR MODEL
VE UYGULAMASI**

İnşaat Yük. Müh. Şükrü Ayhan GAZİOĞLU

**F.B.E.İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Savunma Tarihi : 11 Şubat 1999

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mehmet YÜCEL (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cevat ERKEK (İTÜ)

: Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU (İTÜ)

[Handwritten signatures and initials]

85001

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ÖNSÖZ.....	xv
ÖZET.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Konunun Önemi.....	3
1.3 Çalışmanın Amacı.....	3
1.4 Çalışmanın Yöntemi.....	3
1.5 Çalışmanın Düzeni.....	4
2. AKİFERLER ve KUYU HİDROLİĞİ.....	6
2.1 Genel.....	6
2.2 Akifer Özellikleri.....	8
2.2.1 Porozite.....	9
2.2.2 Özgül verim ve özgül su tutma.....	9
2.2.3 Depolama ve özgül depolama katsayısı.....	12
2.2.4 Permeabilite (geçirgenlik) ve hidrolik iletkenlik.....	17
2.2.5 İletkenlik.....	20
2.2.6 Homojenlik ve izotropluk.....	21
2.2.7 Düşüm konisi.....	22
2.2.8 Gecikmiş verim.....	23
2.3 Yeraltı Suyu Akımının Temel Denklemleri.....	23
2.3.1 Darcy kanunu.....	23
2.3.2 Süreklilik denklemi.....	27
2.4 Akifer Tipleri.....	29
2.4.1 Basınçlı akiferler.....	30
2.4.2 Serbest yüzlü akiferler.....	31
2.4.3 Sızdırmalı akiferler.....	33
2.5 Dengesiz Akım Durumuna Ait Denklemler.....	34
2.5.1 Dengesiz akım durumunda süreklilik denklemi.....	34
2.5.2 Bir kuyuya doğru dengesiz (radyal) akım.....	36
2.5.3 Sınırlı akifer durumunda kuyu hidroliği.....	38
2.5.3.1 Beslemeli akiferde sınır yakınına açılan tek kuyu.....	38
2.5.3.2 Geçirimsiz sınırlı akiferde sınır yakınına açılan tek kuyu.....	40
2.6 Kuyularda Girişim.....	43
2.6.1 Yaklaşık girişim denklemlerinin elde edilmesi.....	43
2.6.2 Tam girişim denklemlerinin elde edilmesi.....	45

3.	AKİFER TESTLERİ.....	48
3.1	Genel.....	48
3.2	Akifer Testlerinin Amaçları.....	48
3.3	Akifer Testlerinin Planlanması.....	50
3.4	Akifer Testlerinin Uygulanması.....	51
3.5	Parametreler - Değişkenler.....	53
3.6	Arazi Testlerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	57
3.7	Akifer Modeli.....	58
3.8	Akifer Testlerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dengesiz Akım Denklemleri.....	59
3.9	Basıncılı Akifer Modelleri.....	60
3.9.1	Theis metodu.....	60
3.9.2	Jacob metodu	62
3.10	Serbest Yüzlü Akifer Modelleri	66
3.10.1	Sınırlayıcı modeller.....	66
3.10.2	Boulton modeli.....	68
3.10.3	Neuman metodu.....	73
3.10.4	Neuman düz çizgi metodu.....	76
3.11	Akiferler Karakteristikleri İçin Geliştirilen Şen Metodları.....	78
3.11.1	Şen analitik metodu.....	78
3.11.2	Grafik metod.....	84
4.	T ve S KATSAYILARININ ANALİTİK OLARAK BULUNMASI.....	89
4.1	Giriş.....	89
4.2	Akifer Karakteristiklerinin Bulunması ile İlgili Geliştirilen ve Bu Tezde Önerilen Analitik Metod.....	90
4.2.1	İletkenlik katsayısı (T) formülünün elde edilmesi.....	90
4.2.2	Depolama katsayısı (S) formülünün elde edilmesi.....	92
5.	MODEL VERİLERİ ve ANALİZLERİ.....	93
5.1	Giriş.....	93
5.2	Sayısal Model Çalışması.....	93
5.2.1	Serbest yüzlü sonsuz akiferde açılmış kuyu halinde düşümler.....	93
5.2.2	Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde düşümler.....	95
5.2.3	İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde düşümler.....	98
5.2.4	Dört yönden geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde düşümler.....	101
5.3	Fiziksel Model Çalışması.....	104
5.3.1	Laboratuvar modeli inşaatı.....	104
5.3.2	Deneylerin yapılması.....	105
5.3.3	Laboratuvar modeli üzerindeki kuyuların düşüm-zaman eğrilerinin çıkartılması.....	110
5.3.3.1	1 nolu (Merkez) kuyuda deney sonuçları.....	110
5.3.3.2	2 nolu kuyuda deney sonuçları.....	112
5.3.3.3	3 nolu kuyuda deney sonuçları.....	113
5.3.3.4	4 nolu kuyuda deney sonuçları.....	115
5.3.3.5	5 nolu kuyuda deney sonuçları.....	117

5.4	Arazi Çalışması.....	118
5.4.1	P21 test bölgesi.....	119
5.4.1.1	P21 bölgesinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi.....	120
5.4.2	P29 test bölgesi.....	125
5.4.2.1	P29 bölgesinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi.....	125
5.4.3	P44 test bölgesi.....	130
5.4.3.1	P44 bölgesinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi.....	131
6.	METODLARIN UYGULANMASI.....	135
6.1	Giriş.....	135
6.2	Sayısal Modellerde Akifer Karakteristiklerinin Bulunması.....	135
6.2.1	Serbest yüzlü sonsuz akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristliklerinin bulunması.....	135
6.2.1.1	Theis metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	135
6.2.1.2	Boulton metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	137
6.2.1.3	Neuman düz çizgi metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması....	140
6.2.1.4	Şen analitik metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	141
6.2.1.5	Şen grafik metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	142
6.2.1.6	Geliştirilen analitik metodla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	143
6.2.2	Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristliklerinin bulunması.....	146
6.2.3	İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristliklerinin bulunması.....	147
6.2.4	Dört yönden geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristliklerinin bulunması.....	148
6.3	Fiziksel Modelden Elde Edilen Verilerle Akifer Karakteristiklerinin Bulunması.....	150
6.3.1	1 nolu (merkez) kuyuda akifer karakteristliklerinin bulunması.....	150
6.3.1.1	Theis metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	150
6.3.1.2	Boulton metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	151
6.3.1.3	Neuman düz çizgi metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması....	154
6.3.1.4	Şen analitik metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	155
6.3.1.5	Şen grafik metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	155
6.3.1.6	Geliştirilen analitik metodla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	157
6.3.2	2 nolu kuyuda akifer karakteristliklerinin bulunması.....	159
6.3.3	3 nolu kuyuda akifer karakteristliklerinin bulunması.....	161
6.3.4	4 nolu kuyuda akifer karakteristliklerinin bulunması.....	162
6.3.5	5 nolu kuyuda akifer karakteristliklerinin bulunması.....	163
6.4	Arazi Çalışmalarından Elde Edilen Verilerle Akifer Karakteristliklerinin Bulunması.....	164
6.4.1	P21 kuyusunda akifer karakteristliklerinin bulunması.....	164
6.4.1.1	P21 kuyusunda Theis metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	164
6.4.1.2	P21 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	168
6.4.1.3	P21 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-uzaklık) metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	169
6.4.1.4	P21 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metoduyla akifer karakteristliklerinin bulunması.....	170

6.4.1.5	P21 kuyusunda Şen grafik metoduyla depolama katsayısının bulunması.....	174
6.4.1.6	P21 kuyusunda Şen analitik metoduyla depolama katsayısının bulunması.....	177
6.4.1.7	P21 kuyusunda geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	179
6.4.2	P29 kuyusunda akifer karakteristiklerinin bulunması.....	180
6.4.2.1	P29 kuyusunda Theis metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	180
6.4.2.2	P29 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	184
6.4.2.3	P29 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-uzaklık) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	185
6.4.2.4	P29 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	185
6.4.2.5	P29 kuyusunda Şen grafik metoduyla depolama katsayısının bulunması.....	189
6.4.2.6	P29 kuyusunda Şen analitik metoduyla depolama katsayısının bulunması.....	192
6.4.2.7	P29 kuyusunda geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	193
6.4.3	P44 kuyusunda akifer karakteristiklerinin bulunması.....	194
6.4.3.1	P44 kuyusunda Theis metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	194
6.4.3.2	P44 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	197
6.4.3.3	P44 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-uzaklık) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	198
6.4.3.4	P44 kuyusunda Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	198
6.4.3.5	P44 kuyusunda Şen grafik metoduyla depolama katsayısının bulunması.....	202
6.4.3.6	P44 kuyusunda Şen analitik metoduyla depolama katsayısının bulunması.....	205
6.4.3.7	P44 kuyusunda geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması.....	205
6.4.4	Arazide yapılan pompa testleri ile ilgili genel değerlendirme.....	206
7.	SONUÇLAR.....	207
7.1	Teorik Olarak Bulunan Sonuçlar.....	207
7.2	Sayısal Modellerden Elde Edilen Sonuçlar.....	209
7.3	Fiziksel Modellerden Elde Edilen Sonuçlar.....	212
7.4	Arazi Verilerinden Elde Edilen Sonuçlar.....	215
	KAYNAKLAR.....	220
	EK.....	224
	ÖZGEÇMİŞ.....	229

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı [L^2]
b	Basınçlı akifer tabakası kalınlığı [L]
$\bar{b}$	Dinamik haldeki serbest akiferde su tablası kalınlığı [L]
c	Karman-Kozeny malzeme katsayısı
d	Ortalama dane çapı [L]
D	Akifer kalınlığı [L]
D_{Ti}	(i) kuyusundaki toplam düşüm [L]
g	Yerçekimi ivmesi [L^2 / T]
G	Bulk ağırlığı [M]
h	Doymuş tabaka kalınlığı [L]
h	Pompaja başladıktan sonra kuyudaki su yüksekliği [L]
h_{ij}	(j) kuyusunun etkisi ile (i) kuyusundaki su yüksekliği [L]
h_{Ti}	(i) kuyusundaki toplam su yüksekliği [L]
h_w	Kuyuda meydana gelen su yüksekliği [L]
H	Pompaja başlamadan önce kuyudaki su yüksekliği [L]
H_w	Sızma yüzeyi yüksekliği ile kuyu içindeki su yüksekliği toplamı [L]
i	Hidrolik eğim
k	Hidrolik iletkenlik [L / T]
m	Doymuş tabaka kalınlığı [L]
n	Zeminin porozitesi
q_x, q_y, q_z	Birim debi değerleri [L^2 / T]
Q	Kuyudan çekilen debi [L^3 / T]
Q_j	(j) kuyusundan çekilen debi [L^3 / T]
p	Suyun hidrostatik basıncı [M / L^2]
r	Gözlem kuyusu ile pompaj kuyusu arasındaki mesafe [L]
r_{ij}	(i) kuyusu ile (j) kuyusu arasındaki mesafe [L]
r_w	Kuyu yarıçapı [L]
R	Kuyu tesir yarıçapı [L]
s	Düşüm [L]
s_E	Erken zaman düşümü [L]
s_L	Geç zaman düşümü [L]
s_c	Basınçlı akiferde düşüm [L]
s_u	Serbest yüzlü akiferde düşüm [L]
s_M	Maksimum düşüm [L]
s_w	Kuyudaki düşüm [L]
S	Depolama katsayısı
S_y, S_L	Özgül verim
S_r	Özgül su tutma
S_s	Birim depolama [$1 / L$]
S_E	Erken zaman depolama katsayısı
t	Kuyu işletme süresi [T]
t_j	(j) kuyusundaki pompanın çalışma süresi [T]
T	Akiferin iletkenliği [L^2 / T]
T_E	Erken zaman iletkenlik değeri [L^2 / T]
T_L	Geç zaman iletkenlik değeri [L^2 / T]
$V_D, V(t)$	Düşüm konisi hacmi [L^3]
V_t	Toplam malzeme hacmi [L^3]
V_s	Malzeme katı hacmi [L^3]
V_v	Malzeme boşluk hacmi [L^3]

V_a	Akiferin suyu alınmış kısmının hacmi [L^3]
V_d	Çekilebilen su hacmi [L^3]
V_r	Kalan su hacmi [L^3]
V_w	Akiferdeki su hacmi [L^3]
w	Genişlik [L]
W_a	Akifer ağırlığı [M]
W_w	Su ağırlığı [M]
W_s	Katı ağırlığı [M]
$W(u)$	Kuyu fonksiyonu
$W(u_i)$	İmaj kuyusunun fonksiyonu
$W(u_{ij})$	(j) kuyusundaki tesirlerden dolayı (i) kuyusunun fonksiyonu
α	Ortamin sıkışabilirliği
β	Drenaj faktörü
$1/\beta$	Boulton gecikme indisi
γ_b	Bulk yoğunluğu [M / L^3]
κ	Boşluklu ortamın permeabilitesi [L^2]
μ	Akışkanın viskozitesi [$M T / L^2$]
ρ, ρ_w, γ_w	Sıvı (su) yoğunluğu [M / L^3]
ρ_s	Katı yoğunluğu [M / L^3]
∇^2	Laplace operatörü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Porozite, özgül verim ve özgül su tutma arasındaki ilişki..... 10
Şekil 2.2	Bulk ağırlık elemanları..... 12
Şekil 2.3	Birim alan için bulk ağırlığı..... 13
Şekil 2.4	Hidrostatik basınç..... 14
Şekil 2.5	Basınçlı akiferden su çekilmesi..... 15
Şekil 2.6	Depolamanın şematik ifadesi..... 15
Şekil 2.7	Hız cinsinden hidrolik iletkenlik..... 18
Şekil 2.8	Hacim cinsinden hidrolik iletkenlik..... 19
Şekil 2.9	İletkenlik şeması..... 21
Şekil 2.10	Homojenlik ve izotropluk 22
Şekil 2.11	Darcy deney düzeneği..... 26
Şekil 2.12	Kütlenin korunumu..... 27
Şekil 2.13	Akifer sınıflandırması..... 29
Şekil 2.14	Basınçlı akiferler..... 31
Şekil 2.15	Serbest yüzlü akifer..... 31
Şekil 2.16	Sızdırmalı akifer..... 33
Şekil 2.17	Beslemeli sınır yakınına açılmış bir kuyuda düşüm eğrileri..... 39
Şekil 2.18	Geçirimsiz bir sınıra yakın açılmış bir kuyuda düşüm eğrileri..... 42
Şekil 3.1	Farklı iletkenliğe sahip iki akifer..... 55
Şekil 3.2	Farklı depolama katsayısına sahip iki akifer..... 55
Şekil 3.3	Farklı sızıntı faktörüne sahip iki akifer..... 56
Şekil 3.4	Düşüm-zaman ilişkisi..... 56
Şekil 3.5	Düşüm-mesafe ilişkisi..... 57
Şekil 3.6	Karakteristik eğriler..... 57
Şekil 3.7	Modelleme akış şeması..... 59
Şekil 3.8	Değişik akifer model şekilleri..... 59
Şekil 3.9	Theis tip eğrisi..... 62
Şekil 3.10	Jacob düz çizgi grafiği..... 63
Şekil 3.11	Düşüm-zaman grafiği..... 64
Şekil 3.12	Yerçekimi drenaj kademeleri..... 69
Şekil 3.13	Boulton tip eğrileri..... 72
Şekil 3.14	Neuman tip eğrileri..... 74
Şekil 3.15	Neuman düz çizgileri..... 77
Şekil 3.16	Basınçlı akifer durumunda esas kuyu ve gözlem kuyuları..... 85
Şekil 3.17	Şematik düşüm-mesafe grafiği..... 87
Şekil 5.1	Sonsuz akiferdeki kuyuda düşüm-zaman grafiği..... 95
Şekil 5.2	Bir yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılmış kuyunun görüntü metoduna göre (a) planı ve (b) kesiti..... 95
Şekil 5.3	Bir yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyuda düşüm-zaman grafiği 97
Şekil 5.4	İki yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılmış kuyunun planı..... 98
Şekil 5.5	İki yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılmış kuyunun görüntü metoduna göre (a) planı ve (b) kesiti..... 99
Şekil 5.6	İki yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyuda düşüm-zaman grafiği..... 99

Şekil 5.7	Dört yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılmış kuyunun görüntü (imaj) metoduna göre planı.....	101
Şekil 5.8	Dört yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyuda düşüm-zaman grafiği.....	104
Şekil 5.9	Fiziksel model planı.....	107
Şekil 5.10	Fiziksel modelin A-A kesiti.....	108
Şekil 5.11	Fiziksel modelin boyutlu planı.....	109
Şekil 5.12	1 nolu (merkez) kuyuda düşüm-zaman grafiği.....	110
Şekil 5.13	2 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği.....	113
Şekil 5.14	3 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği.....	113
Şekil 5.15	4 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği.....	115
Şekil 5.16	5 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği.....	118
Şekil 5.17	Arazi çalışmalarının yapıldığı bölge.....	119
Şekil 5.18	P21 test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü.....	119
Şekil 5.19	P21 bölgesinde pompaj kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafikleri (a) ilk 200 dakika verileri (b) tüm pompaj süresi verileri.	121
Şekil 5.20	P21 bölgesinde gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri (a) ilk 250 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri	122
Şekil 5.21	P21 bölgesinde tüm pompaj süresi için yarı logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları.....	123
Şekil 5.22	P21 bölgesinde tüm pompaj süresi için tam logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları.....	124
Şekil 5.23	P29 test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü.....	125
Şekil 5.24	P29 bölgesinde pompaj kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafikleri (a) ilk 200 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri	126
Şekil 5.25	P29 bölgesinde gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri (a) ilk 200 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri	127
Şekil 5.26	P29 bölgesinde tüm pompaj süresi için yarı logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları.....	129
Şekil 5.27	P29 bölgesinde tüm pompaj süresi için tam logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları.....	130
Şekil 5.28	P44 test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü.....	131
Şekil 5.29	P44 bölgesinde pompaj ve gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri (a) ilk 200 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri.....	132
Şekil 5.30	P44 bölgesinde pompaj ve gözlem kuyularından elde edilen yarı logaritmik düşüm-zaman grafiği.....	133
Şekil 5.31	P44 bölgesinde pompaj ve gözlem kuyularından elde edilen tam logaritmik düşüm-zaman grafiği.....	133
Şekil 6.1	Sonsuz akiferde pompaj kuyusunda Theis eğrisi uygulaması.....	136
Şekil 6.2	Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda Theis eğrisi uygulaması.....	136
Şekil 6.3	Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda Theis eğrisi uygulaması.....	137
Şekil 6.4	Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/\beta=0.1$).....	138
Şekil 6.5	Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/\beta = 0.1$).....	138

Şekil 6.6	Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B=0.1$).....	139
Şekil 6.7	Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 0.1$).....	139
Şekil 6.8	Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusu için Neuman düz çizgi metodu.....	140
Şekil 6.9	Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusu için Neuman düz çizgi metodu.....	141
Şekil 6.10	Pompaj kuyusu ile 5 m uzaklıktaki 1. gözlem kuyusu arasında Şen grafik metodu uygulaması.....	142
Şekil 6.11	Pompaj kuyusu ile 10 m uzaklıktaki 2. gözlem kuyusu arasında Şen grafik metodu uygulaması.....	143
Şekil 6.12	2 nolu gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafiğinin Theis Metoduna uygulanması.....	150
Şekil 6.13	4 nolu gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafiğinin Theis Metoduna uygulanması.....	151
Şekil 6.14	2 nolu gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$).....	152
Şekil 6.15	2 nolu gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$).....	152
Şekil 6.16	4 nolu gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$).....	153
Şekil 6.17	4 nolu gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$).....	154
Şekil 6.18	2 nolu gözlem kuyusunda erken ve geç zamanlar için Neuman düz çizgi metodu uygulaması.....	154
Şekil 6.19	4 nolu gözlem kuyusunda erken ve geç zamanlar için Neuman düz çizgi metodu uygulaması.....	155
Şekil 6.20	1 nolu pompaj kuyusu ile 2 nolu gözlem kuyusu arasında 45. dakika için Şen grafik metodu uygulaması.....	156
Şekil 6.21	1 nolu pompaj kuyusu ile 4 nolu gözlem kuyusu arasında 45. dakika için Şen grafik metodu uygulaması.....	156
Şekil 6.22	P21 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	165
Şekil 6.23	P21 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	165
Şekil 6.24	P21 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	166
Şekil 6.25	P21 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	166
Şekil 6.26	P21 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	167
Şekil 6.27	P21 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	167
Şekil 6.28	P21 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyuları için Jacob düz çizgi metodu uygulaması.....	169
Şekil 6.29	P21 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 30. dakika için Jacob düz çizgi metodu uygulaması.....	170
Şekil 6.30	P21 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	171
Şekil 6.31	P21 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	171

Şekil 6.32	P21 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	172
Şekil 6.33	P21 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	172
Şekil 6.34	P21 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	173
Şekil 6.35	P21 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	173
Şekil 6.36	P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G2 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	174
Şekil 6.37	P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G3 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	175
Şekil 6.38	P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G4 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	175
Şekil 6.39	P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G5 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	176
Şekil 6.40	P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G7 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	176
Şekil 6.41	P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G2 ve G3 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	177
Şekil 6.42	P29 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	181
Şekil 6.43	P29 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	181
Şekil 6.44	P29 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	182
Şekil 6.45	P29 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	182
Şekil 6.46	P29 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	183
Şekil 6.47	P29 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	183
Şekil 6.48	P29 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyuları için Jacob düz çizgi metodu uygulaması.....	184
Şekil 6.49	P29 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 210. dakika için Jacob düz çizgi metodu uygulaması.....	185
Şekil 6.50	P29 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	186
Şekil 6.51	P29 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	186
Şekil 6.52	P29 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	187
Şekil 6.53	P29 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	187
Şekil 6.54	P29 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	188
Şekil 6.55	P29 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	188
Şekil 6.56	P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G2 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	189
Şekil 6.57	P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G4 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	190

Şekil 6.58	P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G5 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	190
Şekil 6.59	P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G6 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	191
Şekil 6.60	P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G7 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	191
Şekil 6.61	P44 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	194
Şekil 6.62	P44 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	195
Şekil 6.63	P44 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	195
Şekil 6.64	P44 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	196
Şekil 6.65	P44 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	196
Şekil 6.66	P44 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	197
Şekil 6.67	P44 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyuları için Jacob düz çizgi metodu uygulaması.....	197
Şekil 6.68	P44 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 840. dakika için Jacob düz çizgi metodu uygulaması.....	198
Şekil 6.69	P44 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	199
Şekil 6.70	P44 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	199
Şekil 6.71	P44 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	200
Şekil 6.72	P44 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	200
Şekil 6.73	P44 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	201
Şekil 6.74	P44 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu.....	201
Şekil 6.75	P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G2 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	202
Şekil 6.76	P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G3 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	203
Şekil 6.77	P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G4 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	203
Şekil 6.78	P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G5 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	204
Şekil 6.79	P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G6 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu.....	204

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Çeşitli malzemelerin porozite değerleri..... 9
Çizelge 2.2	Özgül verim değerleri..... 11
Çizelge 2.3	Tabii zeminlerde permeabilite ve hidrolik iletkenlik değerleri..... 18
Çizelge 2.4	Hidrolik iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri..... 19
Çizelge 3.1	Theis tip eğrisi değerleri..... 61
Çizelge 3.2	Boulton tip eğrilerinin çiziminde kullanılan değerler..... 71
Çizelge 5.1	Serbest yüzölçümü sonsuz akiferdeki A kuyusu ile 5 ve 10 metre uzaklıkta bulunan gözlem kuyularında hesap edilen düşüm değerleri..... 94
Çizelge 5.2	Bir yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzölçümü akiferde açılan kuyudaki düşüm değerleri..... 97
Çizelge 5.3	İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlı serbest yüzölçümü akiferde açılan kuyudaki düşüm değerleri..... 100
Çizelge 5.4	Dört yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzölçümü akiferde açılan kuyudaki düşüm değerleri..... 103
Çizelge 5.5	1 nolu (merkez) kuyudan debi çekildiğinde 1, 2 ve 4 nolu kuyularda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri..... 111
Çizelge 5.6	2 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri 112
Çizelge 5.7	3 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri 114
Çizelge 5.8	4 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri 116
Çizelge 5.9	5 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri 117
Çizelge 6.1	Serbest yüzölçümü sonsuz akiferdeki pompaj kuyusunda elde edilen düşümler için, geliştirilen analitik metodla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu..... 144
Çizelge 6.2	Serbest yüzölçümü sonsuz akiferdeki gözlem kuyularında elde edilen düşümler için, geliştirilen analitik metodla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu..... 145
Çizelge 6.3	Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzölçümü akiferde, analitik metodlarla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu.. 146
Çizelge 6.4	İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzölçümü akiferde, analitik metodlarla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu..... 148
Çizelge 6.5	Dört yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzölçümü akiferde, analitik metodlarla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu..... 149
Çizelge 6.6	1 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri..... 157
Çizelge 6.7	2 ve 4 nolu gözlem kuyularında analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri..... 159
Çizelge 6.8	2 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri..... 160
Çizelge 6.9	3 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri..... 161
Çizelge 6.10	4 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri..... 162
Çizelge 6.11	5 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri..... 163

Çizelge 6.12	P21 kuyusu ile birlikte çalışan gözlem kuyularının bulunduğu akiferde farklı iletkenlik değerleri ile Şen analitik metoduna göre depolama katsayısı sonuçları.....	178
Çizelge 6.13	P21 pompaj ve gözlem kuyuları akifer karakteristiklerinin geliştirilen analitik metoda göre elde edilen sonuçları.....	179
Çizelge 6.14	P29 kuyusu ile birlikte çalışan gözlem kuyularının bulunduğu akiferde farklı iletkenlik değerleri ile Şen analitik metoduna göre depolama katsayıları.....	192
Çizelge 6.15	P29 pompaj ve gözlem kuyuları akifer karakteristiklerinin geliştirilen analitik metoda göre elde edilen sonuçları.....	193
Çizelge 6.16	P44 kuyusu ile birlikte çalışan gözlem kuyularının bulunduğu akiferde farklı iletkenlik değerleri ile Şen analitik metoduna göre depolama katsayısı sonuçları.....	205
Çizelge 6.17	P44 pompaj ve gözlem kuyularında akifer karakteristiklerinin geliştirilen analitik metoda göre elde edilen sonuçları.....	206
Çizelge 7.1	Sonsuz akifer durumunda pompaj ve gözlem kuyularında çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik ($m^2/gün$) değerlerinin karşılaştırılması.....	210
Çizelge 7.2	Sonsuz akifer durumunda pompaj ve gözlem kuyularında çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması ($*10^{-2}$).....	210
Çizelge 7.3	Fiziksel modeldeki akiferde 1 nolu kuyunun pompaj, 2 ve 4 nolu kuyuların gözlem kuyusu olması durumunda çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (cm^2/sn) değerlerinin karşılaştırılması.....	213
Çizelge 7.4	Fiziksel modeldeki akiferde 1 nolu kuyunun pompaj, 2 ve 4 nolu kuyuların gözlem kuyusu olması durumunda çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması ($*10^{-2}$).....	213
Çizelge 7.5	Fiziksel modeldeki akiferde kuyuların tek başlarına çalışması durumunda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri.....	214
Çizelge 7.6	P21 kuyu takımında, çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (m^2/sn) değerlerinin cinsinden karşılaştırılması.....	215
Çizelge 7.7	P21 pompaj ve gözlem kuyuları için çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	216
Çizelge 7.8	P29 kuyu takımında, çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (m^2/sn) değerlerinin karşılaştırılması.....	217
Çizelge 7.9	P29 pompaj ve gözlem kuyuları için çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	218
Çizelge 7.10	P44 kuyu takımında, çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (m^2/sn) değerlerinin karşılaştırılması.....	219
Çizelge 7.11	P44 pompaj ve gözlem kuyuları için çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması.....	219

ÖNSÖZ

Yerküredeki bütün canlıların suya olan ihtiyacı tarihin eski dönemlerinden beri sürekli olarak artmaktadır. Özellikle dünya nüfusunun her geçen gün artması sonucunda, kişi başına düşen su ihtiyacı artmış ancak mevcut su kaynakları değişmemiştir. Mevcut tatlı su kaynaklarının çoğunluğu kirlenme tehlikesi ile karşı karşıyadır. Yeraltı su kaynaklarının yüzeysel sulara nazaran oran ve miktar olarak daha fazla olması, araştırmacıları yeraltı suyu üzerinde daha fazla çalışma yapmaya yönlendirmiştir. 18. yüzyıldan itibaren başlayan ciddi yeraltı suyu araştırmaları, günümüzde oldukça önemli noktalara ulaşmıştır.

Yeraltı suyu ile ilgili çalışmalar; yeraltı suyu potansiyelinin belirlenmesi, yeraltı suyu akımı ve yeraltı suyu kirlenmesi olmak üzere üç ana kola ayrılabilir. Bu tez çalışmasında yeraltı suyu potansiyelinin belirlenmesi ile ilgili olarak akiferlerin iletkenlik ve depolama kapasitelerinin belirlenmesi için faydalı ve kolay kullanılabilir teorik bir metod verilmiştir. Bu metod literatürdeki diğer geliştirilmiş metodlarla karşılaştırılarak incelenmiştir.

Bu çalışmayı yöneten ve beni sürekli teşvik eden tez yöneticisi Prof. Dr. Mehmet YÜCEL' e şükranlarımı sunarım. Çalışmalar süresince bilimsel görüş ve tavsiyelerinden istifade ettiğim Dr. A. Hikmet ÖZYOL ve Prof. Dr. Zekai ŞEN' e teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tezin hazırlanmasında bana destek olan Prof.Dr. Sabahattin ÜÇ ve Prof.Dr. Necdet ARAL' a sonsuz teşekkür borçluyum. Kıymetli arkadaşım Y.Doç.Dr. Mehmet Emin BİRPINAR' a bu çalışma boyunca bana destek ve yardımları için teşekkür ederim.

Çalışmanın sonuçlarının bilime katkıda bulunması ve su kaynakları araştırmacılarına ışık tutması dileği ile.

Aralık 1998

İnş. Yük. Müh. Ş.Ayhan GAZİOĞLU

ÖZET

Yeraltı suyu ile ilgili çalışmalarda, akifer karakteristiklerinin belirlenmesi önemli bir yer tutar. Bu konuyla ilgili bir asırdan beri çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Herhangi bir akiferin iletkenliğinin ve depolama kapasitesini gösteren katsayının belirlenmesi, orada bulunan suyun potansiyeli ve ömrü hakkında bize bilgiler vermektedir.

Bu çalışmada, dengesiz akım durumunda serbest yüzlü akiferlerde, iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) değerlerinin belirlenmesi için yeni bir metod önerilmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasının birinci bölümünde konunun önemi, amacı, yöntemi ve düzeni hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, akiferler ve kuyu hidroliği konuları geniş bir şekilde açıklanarak, akifer tipleri, özellikleri, yeraltı suyu akımının temel denklemleri literatürden incelenerek izah edilmiştir.

Akifer karakteristiklerinin bulunması için yapılan akifer testleri hakkında bilgiler ve metodlar üçüncü bölümde verilmiştir.

Dördüncü bölümde, dengesiz akım durumunda serbest yüzlü akiferlerde iletkenlik ve depolama katsayısının tesbiti için önerilen analitik metod izah edilmiştir.

Beşinci bölümde ise, sayısal örneklerden bulunan, fiziksel modelden elde edilen ve Pakistan' ın Chaj Doab bölgesindeki üç ayrı pompaj kuyusuna ait datalar verilmiştir. Fiziksel modelle ilgili bilgiler ve deneylerin yapılışı da bu bölümde açıklanmıştır.

Altıncı bölümde de, beşinci bölümde verilen datalar, literatürde bulunan bazı metodlara uygulanmış, akiferlere ait iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri bulunmuştur. Bu dataların, dördüncü bölümde önerilen analitik metoda uygulanmasıyla bulunan akifer karakteristikleri de burada verilmiştir.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar yedinci bölümde maddeler halinde sıralanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pompa testleri , akifer karakteristikleri, iletkenlik, depolama katsayısı, kuyularda girişim.

ABSTRACT

Determination of aquifer parameters is very important aspect of applied groundwater hydrology and hydrogeology. In the past many studies have been carried out to determine the aquifer characteristics of an aquifer. Assessment of groundwater potential and yield of any aquifer require determination of its transmissivity (T) and storage coefficient (S). In this study an analytical method has been proposed for determining the aquifer parameters (T ve S) in unconfined aquifer under unsteady state flow conditions. The application of the method does not require any complicated mathematical procedure of the classical type curve matching procedures.

The goals, importance and system of the study have been explained in the first chapter. In the second chapter, aquifers and well hydraulics have been mentioned and types and properties of aquifers and basic groundwater equations have been given.

In the third chapter, aquifer tests in unsteady state flow and goals of pumping tests have been investigated. The methods of determining the aquifer parameters by using the different methods of pumping test have also been analysed theoretically.

In the fourth chapter, proposed analytical method for determining of transmissivity and storage coefficient of aquifer has been explained in details.

In the fifth chapter, the discharge, drawdown-time data of pumping and observation wells of the physical laboratory, numerical and field models have been given. Field data of Chaj Doab area in Pakistan and construction of laboratory model have been explained and their data analyses have been done.

In the sixth chapter, the data of the models have been applied to the former methods which were proposed by different researchers in the literature and consequently transmissivity and storage coefficient values were determined. On the other hand, the data of the models have also applied to the proposed method for the T and S determination.

In the final chapter, the results taken from the applications of models have been compared with each other and presented in tabulated forms.

Key words: Pumping tests, aquifer parameters, transmissivity, storage coefficient, interference.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Canlılar yaşayabilmeleri için gerekli suyu, yeryüzündeki akarsu, göl, deniz gibi kaynaklardan veya kütlelerin boşluk ya da çatlaklarında toplanan sulardan sağlarlar. İnsanlar, yerüstü sularını çeşitli şekillerde biriktirerek topluluklara iletirler. Her yerde akarsu ya da göl gibi hazır kaynak bulunmaması dolayısı ile yeraltı sularından yararlanma yoluna gidilmektedir. Bu nedenle, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde yeraltı sularının aranıp bulunması, çok eski yıllardan beri insanları ilgilendirmektedir. Su, yalnız insanlar için değil, bütün canlılar için gerekli ve yararlı maddelerin başında gelir.

Yeraltı suları ile uğraşan hidrolog Harold E. Thomas "Su yeraltına sızmasaydı, hidroloji biliminin işi çok kolay olurdu" demiştir. Yeraltında bulunan bütün suların kaynağı muhakkak ki yağışlar ve yeryüzü sularıdır. İşte yerin altına nüfuz eden suyun yeraltındaki jeolojik yapılarla ilişkileri, onun yeraltındaki hareketi ve yeryüzüne tekrar çıkartılması, hidroloji ve yeraltı suyu hidrolojisinin belli başlı konuları arasında olmuştur (Freeze ve Cherry, 1979).

Yeraltı su kaynaklarının değerlendirilmesine geçmeden önce dünyadaki tahmini su dengesine bir göz atmak oldukça faydalı olacaktır. 1970' li yıllarda Nace (1971) ve Lvovitch (1970), dünya yüzeyindeki su yüzdesinin tahminini yapmış ve yerküredeki su dengesini belirlemeye çalışmışlardır. Bu çalışmalardan ortaya çıkan sonuçlara bakıldığında, dünya yüzeyindeki suyun % 94' lük kısmının okyanus ve denizlerde bulunduğunu görebiliriz. Bu sular yüksek derecede tuzlu olduklarından hazır bir şekilde tarımsal, endüstriyel, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla kullanılamazlar. Yeraltı su kaynakları, dünya tatlı su kaynaklarının 2/3' ünü teşkil etmektedir. Yeraltı suları, buz kütleleri ve buzullar hariç, kullanılabilir tatlı su kaynaklarının hemen hemen tüm hacmini oluşturmaktadır. Lvovitch (1970)' e göre, en kısa süreli ve en aktif rejime sahip yeraltı suları dikkate alınmış olsa bile; yeraltı suyu, toplam tatlı su kaynaklarının (Nehirler, göller ve rezervuarlar %3.5 ve zemin nemi %1.5) %95' ini teşkil etmektedir (Freeze ve Cherry, 1979).

Buradan da anlaşılacağı gibi, dünyadaki yeraltı su kaynaklarının ne kadar önemli olduğu, bunların kullanılması, bulunması ve işletilmesinin artan bir hızla devam etmesi gerektiği gerçeği ortaya çıkmaktadır. Örneğin, ABD için yapılan bir

araştırmada 1950-1970 yılları arasında su kullanımı 758 milyon m³/gün' den 1.4 milyar m³/gün' e çıkmış ve ikibinli yıllar için bu değerin 3.5 milyar m³/gün olarak gerçekleşmesi beklenmektedir. 1970 yılındaki 1.4 milyar m³/gün değerin %19' u yeraltı sularından karşılanmış, geri kalan %81' lik kısım ise yüzeysel sulardan sağlanmıştır. İkibinli yıllar için yapılmış bir tahmine göre ise toplam su kullanımının yaklaşık %33' ü (1.12 milyar m³/gün) yeraltı sularından temin edilecektir (Freeze ve Cherry, 1979).

Ayrıca, içme ve endüstrinin ihtiyacı olan suların, İngiltere' nin başkenti Londra' da %20' si, Almanya' da %70' i, İstanbul' da ise yaklaşık olarak %5 gibi bir oranı yeraltı sularından sağlanmaktadır.

Bu sayılar bize yeraltı sularının önemini ve araştırmaların amacını çok iyi gösterir. Son yıllarda endüstrinin gelişerek, fabrikaların artması ve geniş alanlara yayılması, yüzeysel sulardan faydalanmanın kısıtlanması, şehirler için gerekli temiz suyun daha ucuz bir şekilde yeraltından elde edilmesi, yeraltı sularının daha çok kullanılmasını gerektirmiş; dolayısıyla yeraltı suyu araştırmalarını artırmıştır.

İçme, kullanma, tarımsal ve endüstriyel su ihtiyacını karşılamak için gerekli su miktarı dünyanın her yerinde artmaya devam etmektedir. Gelişmekte olan ölkelerde su, o milletin sosyo-ekonomik büyümesini kontrol eden bir anahtar vazifesi yapmaktadır. İklim ve morfolojik sebeplerden dolayı, yüzeysel suların fazla miktarda bulunmadığı veya kaynak olarak tam manasıyla hazır bir şekilde (baraj yapılarak) kullanılamadığı bu bölgelerde yeraltı su kaynakları büyük önem kazanmaktadır.

Yeraltında mevcut olarak bulunan bu suların yeryüzeyine çıkartılması ile ilgili tüm çalışmalara yeraltı suyu mühendisliği adı verilir. Yeraltı suyunun yerin altında hangi tabakalarda, hangi derinliklerde ve hangi formasyonlarda bulunduğunun belirlenmesi için yapılan testlere de akifer testleri denir. Burada, yerin altındaki su taşıyan tabakalar olarak adlandırılan akiferin, jeolojik, hidrojeolojik ve hidrolik karakterlerinin bulunması çalışması yapılır. Uygulanan bu testler yardımıyla çoğunlukla akifere ait iletkenlik (T), depolama katsayısı (S), hidrolik iletkenlik (k) ve özgül verim (S_y) yanında kuyularda meydana gelecek düşümler (s_w) belirlenir.

1.2 Konunun Önemi

Akifer karakteristiklerinin belirlenmesi yeraltı suyu ile ilgili her türlü çalışmanın en önemli halkasını teşkil eder. Bir akifere ait depolama, iletkenlik, hidrolik iletkenlik ve özgül verim gibi katsayıların sağlıklı olarak bulunması, bölgedeki su kaynaklarının potansiyelinin ve ömrünün belirlenmesi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır. Akiferde bulunan suyun potansiyeli ve ömrünün bulunması ile ilgili tüm çalışmalara mühendislik dilinde akifer testleri adı verilir. Akifer testleri genellikle akifer karakteristiklerinden olan (T , k , S) gibi değerlerin belirlenmesi, kuyunun su kapasitesinin ve düşümünün bulunması amacıyla yapılır. Kuyunun özgül verimi ve debi-düşüm değerlerinin bulunması için yapılan çalışmalara ise kuyu testleri adı verilir. Akifer testleri pahalı, zaman alan ve zor bir test şekli olmakla birlikte akiferin yapısı, tipi ve karakteri ile ilgili oldukça sağlıklı bilgiler verir. Kuyu testleri ise daha basit bir test şeklidir.

1.3 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, dengesiz akım durumunda, serbest yüzölçümlü akiferlerde açılmış kuyular vasıtasıyla herhangi bir akifere ait iletkenlik (T) ve depolama (S) katsayılarının analitik olarak bulunmasıdır. Literatürde bulunan birçok çalışma genellikle, eğri çakıştırma gibi, prosedürü zor olan işlemler gerektirdiğinden, akifer parametrelerinin belirlenmesiyle ilgili daha kullanışlı ve basit analitik yöntemlerin bulunması gerekmektedir. Bu tezde elde edilen analitik model ile akifere ait T ve S değerleri oldukça kolay ve sade bir şekilde hesaplanabilecektir.

Akiferin potansiyelinin belirlenmesi açısından oldukça önemli olan bu parametrelerin basit yöntemlerle bulunabilir hale getirilmesi, hem jeofizik mühendislerinin hem de inşaat mühendisliğinin işini oldukça kolaylaştıracaktır. Literatürde bu konu ile ilgili birçok metod olmasına rağmen bu metodların uygulamasındaki zorluklar nedeniyle basit bir metodun geliştirilmesi gelecekte bu konu ile ilgili çalışma yapacak araştırmacılara da ışık tutacaktır.

1.4 Çalışmanın Yöntemi

Geliştirilen model sonsuz ve sınırlı akifer şartlarında, dengesiz (kararsız) akım durumunda herhangi bir akifere açılmış pompaj veya gözlem kuyusu değerleri kullanılarak basit bir yöntemle akifere ait iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S)

değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Gerekli işlem aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır.

1. Pompaj kuyusundan çekilen sabit debi ile pompaj veya gözlem kuyusunda meydana gelecek düşüm-zaman değerleri belirlenir.
2. Teorik olarak geliştirilen formüller yardımıyla T ve S değerleri, testin başlangıcındaki herhangi bir düşüm-zaman değeri sabit tutularak diğer zamanlardaki veriler için tek tek T ve S formülleri uygulanarak bulunur.

Burada başlangıç zamanının seçimi oldukça önemlidir. Bu değer için genellikle ilk değer yerine onu takip eden değerlerden biri alınabilir. Çünkü, aniden pompajın başlaması ile oluşacak ilk düşüm değeri hatalı ölçülebilmektedir. Konuyla ilgili açıklamalar 4. Bölümde yapılmıştır.

İki adımdan oluşan bu metodun uygulanması sonucu akifere ait T ve S değerleri kolaylıkla bulunabilmektedir.

1.5 Çalışmanın Düzeni

Akiferler hakkında genel tanımlamalarla başlayan Bölüm 2' de akifer tipleri, özellikleri , yeraltı suyu akımının temel denklemleri literatürden alınarak açıklanmıştır. Burada her bir ana başlık altında yapılan temel çalışmalar verilmiştir.

Bölüm 3' de akifer karakteristiklerinin bulunması için yapılan pompa testleri, akifer modelleri, basınçlı ve serbest yüzlü akifer metodları geniş bir şekilde anlatılmıştır. Ayrıca, bu bölümde sınır şartlarının etkisi ve girişim denklemleri üzerinde de durulmuştur.

Bölüm 4' de, dengesiz akım durumunda, serbest yüzlü akiferler için geliştirilen ve akifer karakteristiklerinin basit bir şekilde bulunmasına yarayan yeni analitik metod izah edilmiştir.

5. Bölümde akifer karakteristiklerinin belirlenmesinde uygulanacak nümerik, deneysel ve Pakistan' da üç ayrı bölgeye ait arazi dataları verilmiştir. Ayrıca fiziksel modelin laboratuvar şartlarında nasıl inşaa edildiği, deneylerin yapılışı, seçilen nümerik modellere ait debi-düşüm-zaman değerleri ve arazi verilerinin özellikleri detaylı

olarak açıklanmıştır. Arazi verilerinin düşün-zaman değişimleri, aritmetik, yarı logaritmik ve tam logaritmik ölçekli grafikler üzerinde kısa ve uzun zaman aralıklarında verilmiştir. Daha sonra arazideki her üç test bölgesi için elde edilen bu grafikler yardımıyla akifere ait jeolojik, hidrojeolojik ve fiziksel özellikler belirlenmeye çalışılmıştır.

Bölüm 6' da ise, Bölüm 5' deki nümerik ve fiziksel model ile arazi datalarının, öncelikle literatürde mevcut bulunan teorik modellere uygulaması yapılmış ve akiferlere ait iletkenlik (T) ve depolama (S) katsayıları bulunmuştur. Daha sonra aynı veriler geliştirilen analitik metoda uygulanmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar ve hesaplamalar grafikler halinde verilmiştir.

Çalışmalardan elde edilen sonuçlar Bölüm 7' de, teorik olarak bulunan, nümerik modellerden hesaplanan, fiziksel model çalışmasından elde edilen ve arazi verilerinin kullanılması ile ortaya çıkan sonuçlar olmak üzere dört ana grupta toplanarak verilmiştir.

2. AKİFERLER ve KUYU HİDROLİĞİ

2.1 Genel

Yeraltı suları, yüzey suları ve atmosferde bulunan sular gibi genel hidrolojik çevrimin bir parçasını teşkil ederler. Bu yüzden yeraltı sularının kaynağı, tabiatta çeşitli şekillerde devir yapan sulardır.

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

Akifer, latineden gelen bir terimdir. Su anlamına gelen "Aqua" ve taşıyan manasına gelen "Ferre" kelimeleri birleşerek "Aquifer" (su taşıyan) kelimesini meydana getirir. Yeraltı suyu rezervuarı, su taşıyan formasyon, yeraltı suyu yatağı, yeraltı suyu tabakası veya yeraltı suyu deposu da eş anlamda kullanılan terimlerdir (Todd, 1959).

Meinzer (1923) akiferi, kuyulara ve kaynaklara yeterli miktarda su sağlayan; oldukça geçirgen bir malzemeye sahip jeolojik formasyonun bir parçası veya jeolojik formasyon grubu olarak tanımlamıştır. Buna göre, akiferlerin suyu depolayabilme ve iletebilme gibi iki temel özelliği olmalıdır. Bunlardan biri veya ikisi olmadığı takdirde akiklud, akifüj veya akitard isimli değişik tipte hidrojeolojik oluşumlar ortaya çıkar.

Akiklud, su tutma özelliği yavaş ve tuttuğu suyu kuyuya yeterli miktarda bir hızla iletemeyen doymuş bir jeolojik formasyondur. Başka bir deyişle, bu jeolojik yapı suyu depolayabilir. Ancak iletmesi kolay olmaz. Buna örnek olarak killi zeminler verilebilir. Bazı akikludlar suyu hiçbir şekilde iletemezler.

Akifüj, birbirleriyle ilişkileri olmayan ve ne suyu tutabilen, ne de iletebilen jeolojik yapılardır. Bazalt ve granit bunlara örnek verilebilir.

Akiferlere nazaran suyu daha yavaş ileten bir geçirimsiz yapıya sahip jeolojik formasyonlara akitard denir. Akitardlar, akiklud ve akifüj arasında bir geçişi temsil eder. Tabiattaki akitardlar killi ve kristal yapıya kayalardır. Bunlar çoğunlukla yarı geçirgen tabakalar olarak da adlandırılırlar.

Yukarıda bahsedilen jeolojik formasyonlar hidrojeolojik bakış açısından tek başlarına birşey ifade etmeyebilirler. Tabiatta bunların değişik kombinezasyonları değişik seviyelerde kompleks yeraltı suyu tabakaları oluştururlar (Şen, 1995).

Akiferler, alt ve üst kısımları geçirgen, az geçirgen veya geçirimsiz tabakalardan ibaret olan ve yeraltı sularını taşıyan tabakalardır. Akiferler bu tabakaların durumuna göre isim alırlar. En çok üzerinde çalışma yapılan üç tip akifer vardır. Bunlardan, alt ve üst kısımları tamamen geçirimsiz tabakalardan meydana gelen akiferlere basınçlı akiferler denir. Basınçlı akiferlere açılan kuyulara ise artezyen denmektedir. Yeraltı suyunun üst yüzeyi açık hava ile temas eden akiferlere de serbest yüzlü veya basınçsız akifer adı verilmektedir. Üçüncü bir halde ise, alt ve üst tabakalardan en az birinde sızma meydana gelmektedir. Bu tip sızdırmalı akiferlerde akımın yatay olmadığı varsayılmaktadır.

Kuyu hidroliği, yeraltı sularından yararlanmayı düşünenlere, ortamın ve yeraltı suyu akımının fiziksel parametreleri hakkında sayısal bilgiler veren hidroliğin bir koludur. Yeraltı sularından çeşitli kuyularla yararlanmanın yaygınlaşmasına paralel olarak, kuyulara yeraltı suyunun akışı hakkında pratik bağıntılar arama çabası da artmıştır. 1850' den sonra başlayan bu tür çalışmalar günümüze kadar gelmiştir.

Kuyu hidroliği kapsamı içine giren yeraltı suyu problemleri, yeraltı suyu akımının denge halinde bulunduğu ve bulunmadığı haller için ayrı ayrı ele alınmaktadır (Guzetti, 1991).

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 bir besleme mevcut ise bir süre sonra kuyudaki düşüm sabit hale gelir. Pompajın başladığı andan kuyudaki düşümün sabit hale geldiği (dengelendiği) ana kadar geçen müddet içinde kuyuya gelen akıma "**Dengesiz Akım**", kuyudaki düşümün sabit hale gelmesinden itibaren kuyuya gelen akıma "**Dengeli Akım**" denir (Van Dam, 1975).

Dengeli akım durumu pratik olarak denklemlerin basitliği, gerekli arazi ölçümlerinin, pompa, boru sistemleri ve projelendirme, kuyular arasındaki mesafe ve debiyle ilişkili bazı temel karar verme denklemlerinin değerlendirilmesi bakımından önemlidir. Dengeli akım haline ait temel formülasyonlar Thiem (1906) ve Muskat (1937) tarafından geliştirilmiş ve daha sonra diğer araştırmacılarca desteklenmiştir.

Ancak bütün formülasyonlar, akifer ve kuyu davranışlarının ideal olduğu kabulüne dayanmaktadır. Hesaplanmış değerler bu yüzden, doğal sistemin yaklaşıklığı olarak ifade edilir (Şen, 1995).

Dengesiz akım durumu yeraltı sularının pratik olarak incelenmesinde fazla bir önem taşımamakla birlikte hidrojeolojik sabitlerin belirlenmesi için yapılan akifer testlerinde kullanılmaktadır (Huisman, 1975a).

2.2 Akifer Özellikleri

Yeraltı suyu potansiyelinin araştırılması, akiferlerle ilgili bazı temel fiziksel parametrelerin belirlenmesinden sonra mümkün olabilir. Bu temel parametrelerin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi neticesinde bütün akifer boyunca güvenilir sonuçların elde edilmesi mümkün olur. Yeraltı suyunun oluşumunun, dağılımının ve hareketinin kısmi değişimi jeolojik yapının değişmesine bağlıdır. Bu temel parametreler, boyut ve zamana bağlı fonksiyonlardır. Akifer ortamına bağlı olan parametreler zamandan bağımsızdırlar. Ancak yeraltı suyu çekimi açısından uygun olmayan jeolojik zaman yönünden oldukça değişiklik gösterir. Başka bir deyişle, bu parametreler dakika veya saatlik zaman dilimlerinde büyük değişiklik göstermezler. Bu parametreler, kazı, baraj yapımı, sulama ve pompajla su çekimi gibi insan aktivitelerinin veya hidrolojik çevrimin sürekli etkisi altındadırlar. Bu parametreleri iyi bir şekilde tesbit etmek için gerekli temel değişkenlerin sürekli olarak takip edilmesi gerekir. Bu yüzden, herhangi bir yeraltı suyu çalışmasının temel verilerini oluşturan güvenilebilir temel parametrelerin belirlenmesi; yeraltı suyu kaynaklarının irdelenmesini ve güvenilir olarak miktarlarının belirlenmesini kolaylaştıracaktır. İlave olarak bir yeraltı suyu uzmanının elde ettiği sonuçlar ve yaklaşımların sadece bu temel parametrelerin belirlenmesiyle değil; aynı zamanda bu temel parametrelerin fiziksel, hidrolojik ve jeolojik bakış açısından da değerlendirilmesi gerekir.

Bu bölümde akiferlere ait temel parametrelerin tanımlamaları, fiziksel temelleri ve geçerlilik sınırları, jeolojik, hidrolojik ve pratik arazi uygulamaları ışığı altında incelenecektir.

2.2.1 Porozite

Hidrojeoloji biliminin temel kavramlarından biri porozitedir. Porozite değeri, akışkanın geçeceği ortamın boşluk yüzdesi olarak tanımlanır. Bu değer matematiksel olarak boşluk hacminin, aynı malzemenin tüm hacmine oranıdır.

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

Burada, V_t toplam malzeme hacmi, V_s malzeme katı dane hacmi, V_v boşluk hacmidir. Teorik olarak eşitlik (2.1)' den de görüleceği üzere porozite, danelerin geometrik oluşumuna bağlı olarak %0~100 arasında değişmektedir. Porozite tanımlamasındaki boşluk hacmi, daneler ve çatlaklar arasındaki boşluk olmak üzere iki tip olabilir. Bu yüzden poroziteyi, aynı ortam içerisindeki daneler ve çatlaklar arasındaki boşluk olarak da tanımlayabiliriz.

Porozite ortamın ne kadar su depolayabileceğini belirlemeye yarar. Böylece toplam yeraltı su miktarı V_t , boşluklu ortamda depolanabilen su miktarı yaklaşık olarak $V_t = n \cdot V_a$ eşitliği ile kurulabilir. Burada V_a rezervuar içerisindeki doymuş tabaka hacmidir (Guzetti, 1991). Çizelge 2.1' de değişik tipteki malzemeler için porozite değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.1 Çeşitli malzemelerin porozite değerleri (Şen, 1995)

Malzeme	Porozite (%)
Karışık kum ve çakıl	20-35
Silt	35-50
Kıl	33-60
Killi toprak	45-50
Kalker	0.5-17
Şist	1-10
Granit	0.02-15
Bazalt	0.1-12

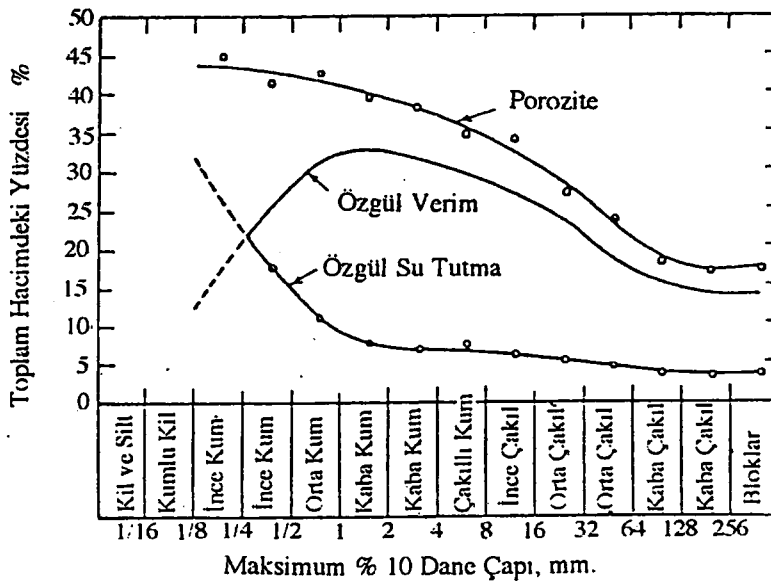
2.2.2 Özgül verim ve özgül su tutma

Hidrojeolojik açıdan bakıldığında, herhangi bir oluşumun porozitesi onun su tutma kapasitesinin ölçüsü anlamına gelir. Ancak, kuyu ve kaynaklar vasıtasıyla bu suyun tümü alınamaz veya drene edilemez. Zemindeki suyun belli bir oranı yüzey ve

moleküler çekim kuvvetlerinin etkisiyle boşlukların yüzeylerinde tutulurlar. Zeminden alınabilen veya drene edilebilen su hacminin, toplam doymuş zemin hacmine oranı özgül verim, S_y , olarak tanımlanabilir. Aynı şekilde zeminin boşluklu yüzeyinde tutulan su hacminin, toplam hacime oranına da özgül su tutma, S_r , denir. Mühendislik terminolojisinde özgül verime efektif (etkili) porozite adı verilir. Genellikle yeraltı suları ile uğraşan bilim adamları, zeminde depolanan suyu, yerçekimi etkisiyle çekilen su ve zemin danelerinin üzerinde bulunan küçük boşluklarda bir film şeridi gibi tutulan su olmak üzere iki kısma ayırmaktadırlar. Sonuç olarak toplam porozite iki kısımdan oluşmaktadır;

$$n = S_y + S_r \quad (2.2)$$

S_y ve S_r değerlerinin dağılımı, malzeme cinsine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu dağılımdaki oranlamada esas rolü, malzemenin yüzey alanı oynar. Ortalama dane çapı küçüldükçe, ortamın yüzey alanı büyür. Büyük yüzey alanları daha çok su çeker. Dolayısıyla malzemenin özgül su tutma kapasitesi büyük olur. Genellikle danelerin inceliği arttıkça özgül su tutma kapasitesi de artacaktır. Zeminin dane çapı ile özgül su tutma kapasitesi arasında ters orantı vardır. Porozite ile ortalama dane çapı arasında da aynı tür bir ters orantı mevcuttur. Bahsedilen orantılar ve denklem (2.2)'nin ışığı altında bakıldığında, ince daneli malzemelerde özgül verimin oldukça küçük değerlerde olduğu görülebilir. Ampirik çalışmalar neticesinde özgül verim, özgül su tutma ve porozite değerleri arasında ilişki grafik olarak Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Porozite, özgül verim ve özgül su tutma arasındaki ilişki

Bu grafikten de görüleceği gibi herhangi bir akiferin özgül verim değeri porozite değerinden her zaman küçük olacaktır. Bazı zemin malzemeleri için özgül verimin yüzde olarak değişimi Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Özgül verim değerleri (Şen, 1995)

Malzeme	Ozgül 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

Yeraltı suyu çalışmalarında, zeminin özgül verimi, porozitesinden çok daha önemlidir. Zira porozite zeminden ne kadar su çekilebileceği hakkında yeterli ipucu veremez. Örneğin, volkanik kayalıkların porozitesi %2' yi geçmezken, bünyesindeki suyun hemen hemen %100' lük kısmını boşluklarında muhafaza eder. Bunun tersi olarak kil malzemesi, maksimum poroziteye sahiptir. Ancak bünyesinde depolanan suyun %5' ini verebilir.

Herhangi bir su tablasının altında ortalama %30 poroziteye sahip daneli malzemenin, bütün boşlukları doymuş ve birim hacminde %30 su bulunmaktadır. Şayet su tablası düşürülürse, zemin bünyesindeki suyun üçte ikisini yani %20' sini bırakacaktır. Su hacminin %10' luk kısmı ise yüzey gerilmesi ile tutulmaktadır. Hidroloji terminolojisinde bu olay için, özgül verim 0.2 ve özgül su tutma ise 0.1 olarak ifade edilir. Özgül verim, kullanılabilir su miktarını, özgül su tutma ise, zeminde ne kadar suyun kaldığının bilinmesine yardımcı olur. Böylece özgül verim,

$$S_y = \frac{V_d}{V_t} \quad (2.3)$$

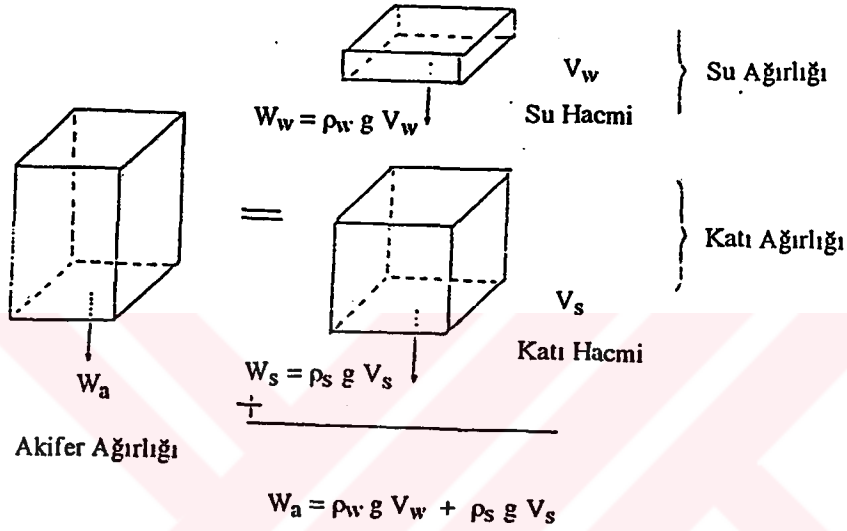
ve özgül su tutma,

$$S_r = \frac{V_r}{V_t} \quad (2.4)$$

olur. Burada, V_d çekilebilen su hacmi, V_r ise, kalan su hacmi olarak tanımlanabilir.

2.2.3 Depolama ve özgül depolama katsayısı

Herhangi bir akiferin, su depolama kapasitesi en önemli hidrolik özelliklerden biridir. Durgun haldeki yeraltı suyu, yerçekimi ve hidrostatik basınç etkisi altındadır. Yerçekimi kuvveti, herhangi bir derinlikteki akiferde katı kısmın ve belirli bir yatay alandaki su miktarının ağırlıkları toplamıdır. Şekil 2.2' de görüldüğü gibi bulk ağırlığı, katı ve su ağırlığının toplamıdır.



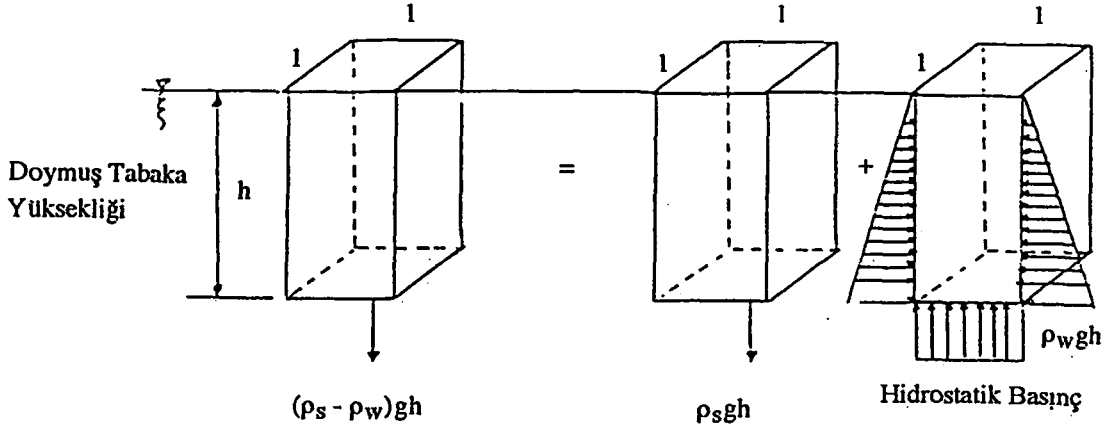
Şekil 2.2 Bulk ağırlık elemanları

Bu ağırlık $\gamma_b \cdot V_t$ olarak ifade edilebilir. Burada γ_b , bulk yoğunluğu, V_t ise hacim olarak verilir. Birim alandaki bulk ağırlığı;

$$G = \gamma_b gh \quad (2.5)$$

olarak ifade edilebilir. Burada h , Şekil 2.3' de görüldüğü gibi birim alandaki doymuş tabaka kalınlığıdır.

Yerçekimi kuvvetinin yönü her zaman aşağıya doğrudur. Denklem (2.5)' e bakıldığında tek değişkenin h olduğu görülür. Dolayısıyla h değerinin artması yerçekimi kuvvetinin de artması anlamına gelecektir. Bu yüzden, derinlerde bulunan zemin grupları yerçekiminin etkisi altında sıkışmışlardır. Bu sıkışmanın maksimum miktarı malzemenin boşluklarının su ile dolmaması halinde oluşur.



Şekil 2.3 Birim alan için bulk ağırlığı

Diğer taraftan aynı derinlikte suyun hidrostatik basıncı p ;

$$p = \gamma_w gh \quad (2.6)$$

şeklindedir. Burada γ_w , suyun yoğunluğudur. Bu basıncın yönü ise seçilen kontrol hacminin tabanının yatay olması halinde, yukarıya doğrudur. Dolayısıyla tabana etkiyen net basınç;

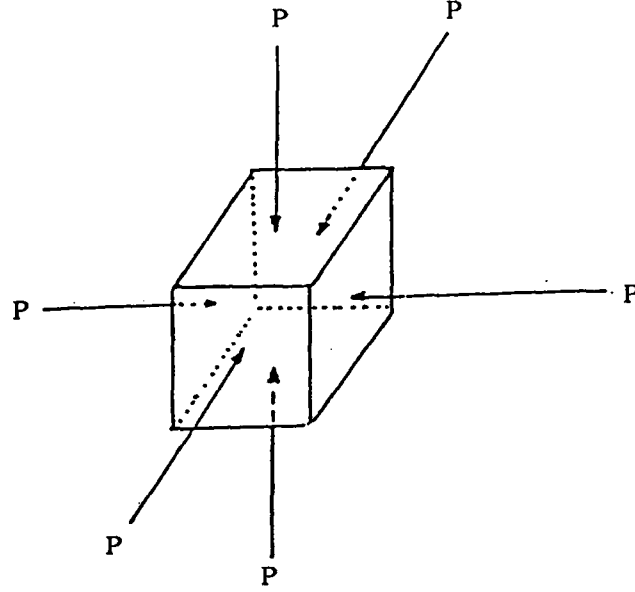
$$p' = (\gamma_b - \gamma_w)gh \quad (2.7)$$

olur. Bu denklemden γ_b ve γ_w değerleri sabit olduğundan basıncın biraz artması, h yüksekliğindeki küçük bir artışla alakalıdır. Böylece (2.7) denklemi;

$$dp' = (\gamma_b - \gamma_w)dh \quad (2.8)$$

şeklinde yazılabilir.

Ayrıca $\gamma_b > \gamma_w$ olduğundan dolayı, yerçekimi kuvveti her zaman hidrostatik basınç kuvvetinden büyük olacaktır. Ancak, bir noktadaki hidrostatik basınç her yönde ve aynı büyüklükte etkiyecektir (Şekil 2.4). Yukarıya doğru olan basınç, kaldırma kuvveti olarak çalışmakta ve bu kuvvet, aşağıya doğru olan yerçekimi kuvvetine karşı olan kuvvetle birlikte malzemenin sıkışmasını sağlamaktadır. Buradan efektif basıncın, katılara olduğu kadar boşluklardaki suya da sıkıştırma gerilmesi olarak etkidiği söylenebilir.



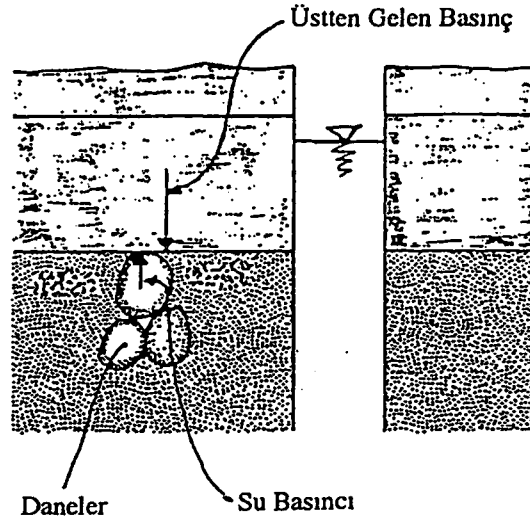
Şekil 2.4 Hidrostatik basınç

Sonuç olarak katı kısım ve su belli bir yere kadar sıkıştırılabilir. Büyük alanlarda suyun sıkışması, katıların sıkışmasına nazaran daha az olmasına rağmen, bu miktar önemli bir noktaya ulaşabilir. Yukarıdaki (2.7) denkleminde, basınçtaki değişimin hidrolik yükseklikteki değişimle doğru orantılı olduğu görülür.

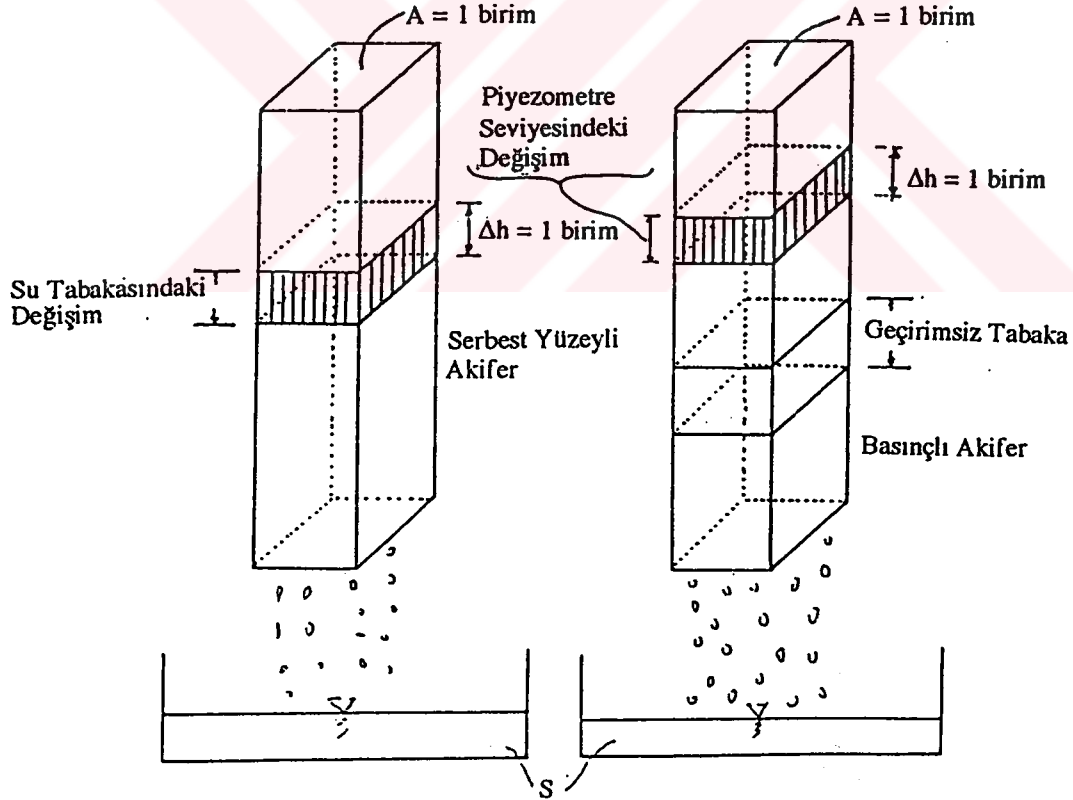
Yukarıda bahsedilen tartışmanın ışığı altında bakıldığında, herhangi bir rezervuarın depolama kapasitesinin efektif basınca bağlı olduğu görülebilir. Basınç olmaması durumunda, porozite, herhangi bir rezervuardaki su hacminin irdelenmesine yardımcı olur. Özgül verim ise çekilebilecek su hacminin belirlenmesi açısından önemlidir. Böyle bir durum, sığ derinlikteki serbest yüzeyli akifer için geçerlidir. Ancak özgül verim ifadesi basınçlı yeraltı sularında geçersizdir. Bu ise, akifer malzemesi ve suyun sıkışma özelliğine bağlıdır.

Basınçlı akiferin en ayırıcı özelliği, su çekimi halinde bile akiferin her zaman doymuş halde kalmasıdır. Üstten gelen basınç, kısmi olarak katı danelerin ve kısmen su basıncının etkisi altındadır (Şekil 2.5). Akiferden su çekimi esnasında, basınçta düşüm meydana gelir ve bu durumda üstten gelen basıncın büyük bir kısmı daneler tarafından karşılanmak zorunda kalır. Bu arada suda bir genleşme meydana gelecektir. Bütün bu sayılan etkileri su çekimi cinsinden ifade etmek gerekirse, depolama katsayısı, akiferin birim alanından, birim yük düşmesi için bırakılan veya depolanan su hacmi olarak tarif edilebilir. Şekil 2.6' da birim alanlı, basınçlı ve

serbest yüzlü akiferin imajiner doymuş kolonu görülmektedir. Bu kolondan ayrılan suya, depolama denir.



Şekil 2.5 Basıncılı akiferden su çekilmesi



Şekil 2.6 Depolamanın şematik ifadesi

Depolama katsayısının değeri, akiferin basınçlı veya serbest yüzlü olmasına göre değişiklik gösterir. Şayet akifer serbest yüzlü ise, suyun gelmesine etki eden kuvvet yerçekimi kuvvetidir. Serbest yüzlü akiferde, suyun genişlemesinden dolayı oluşan su hacmi ile akifer sıkışması ihmal edilebilir boyuttadır. Ancak, basınçlı akiferlerde, akiferden gelen su, suyun genişlemesine bağlı olarak ve basınç altındaki akifer malzemesinin sıkışmasından meydana gelmektedir. Suyun genişmesi, akiferin sıkışmasına göre daha küçüktür. Bu yüzden depolama katsayısı serbest yüzlü akiferlere nazaran daha küçük olacaktır. Arazi çalışmaları neticesinde serbest yüzlü akiferlerde depolama katsayısı (S) değerinin 0.3 ile 0.1 arasında değiştiği ancak basınçlı akiferler için bu değer 10^{-6} ile 10^{-2} arasında seyrettiği gözlenmiştir. Serbest yüzlü akifer durumunda, sıkışma neticesinde rezervuara çıkan veya giren su hacmi akiferdeki boşlukları dolduran su hacmi ile karşılaştırıldığında ihmal edilecek niteliktedir. Bu nedenle serbest yüzlü akiferlerin depolama katsayıları özgül verim değerlerine eşit alınabilir ($S \equiv S_y$).

Diğer taraftan depolama katsayısı akiferin suyu alınmış kısmının hacminin (V_a), akiferden çekilen su hacmine (V_w) oranı olarak tanımlanabilir.

$$S = \frac{V_a}{V_w} \quad (2.9)$$

Fiziksel olarak yüksek depolama kapasitesi olan akiferlerde düşüm az olur. Depolamanın tanımındaki esas nokta, depolamanın akiferin tüm doymuş kalınlığı boyunca olmasıdır. Depolamanın (S), doymuş tabaka kalınlığına (b) oranı birim (spesifik) depolama adını alır,

$$S_s = \frac{S}{b} \quad (2.10)$$

S_s , birim depolama [$1/L$] boyutundadır. Fiziksel olarak birim depolama, birim hacimli bir doymuş tabakada danelerin ve suyun sıkışmasından dolayı ortaya çıkan su miktarına denir. Birim depolama kavramı özellikle derin akiferlerin bulunduğu yeraltı suyu çalışmalarında oldukça faydalıdır.

Depolama katsayısı genellikle sabit kabul edilmekle birlikte bazen de değişiklikler arz edebilir (Şen, 1995).

2.2.4 Permeabilite (geçirgenlik) ve hidrolik iletkenlik

Çeşitli kütlelerin, yeraltı sularını tutması, bir yandan bir yana geçirmesi ve bu suyu vermesi farklı farklıdır. Kütlelerin suları tutması akifer türlerine, geçirimsizliği de permeabilite özelliklerine bağlıdır. Kütlelerin suları geçirme niteliğine o kütlenin "geçirimsizliği" anlamında hidrolik iletkenlik denir.

Permeabilitenin hidrolik iletkenlikle ilişkisi aşağıdaki denklemle gösterilmiştir;

$$k = \kappa \frac{\rho g}{\mu} \quad (2.11)$$

Burada κ permeabilite değeri, malzemenin gözeneklerinde bulunan boşlukların özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. k hidrolik iletkenlik değeri ise, ρ (suyun yoğunluğu) ve μ (viskozite) gibi faktörlere bağlıdır. Viskozite sebebiyle sıcaklık da bu değeri etkiler. Kış ve yaz aylarındaki sıcaklık farkının çok olduğu yerlerde yeraltı suyu pompaj debilerinde mevsimlere göre değişiklikler ortaya çıkacaktır. Permeabilite değerini tayin etmek oldukça zordur. Bir çok araştırmacı gözeneklilik ile zeminin yapısı arasındaki ilişkileri inceleyerek; bu değer için formüller vermiştir. Permeabilite değerinin tahmini için yapılan teorik ve deneysel çalışmaların neticesinde elde edilen en tanınmış denklem, aşağıdaki Kozeny-Karman eşitliğidir;

$$\kappa = c d^2 \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (2.12)$$

Burada n zeminin porozitesini, d ortalama dane çapını, c ise malzeme ile ilgili bir katsayıyı göstermektedir.

Yukarıdaki permeabilite denklemi en iyi şartlarda bile yaklaşık bir sonuç verebilir. Danelerin açılma durumları gibi bazı faktörler ihmal edildiğinden, tahmin edilen değer gerçek değerle farklılık gösterebilir (Verruijt, 1982).

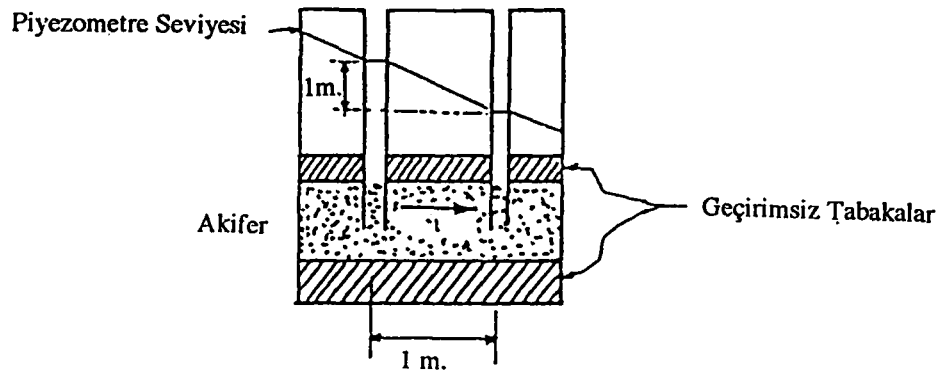
Yeraltı suyu akımı ile ilgili uygulamalarda sıvı olarak genellikle tatlı su göz önüne alınmaktadır. Bu tez çalışmasında da tatlı sulardaki permeabilite değeri dikkate alınarak (2.21) Darcy denklemi kullanılmıştır.

κ permeabilite ve k hidrolik iletkenlik değerleri (tatlı yeraltı suları için) nümerik olarak Çizelge 2.3' de bazı mühendislik uygulamalarında sıkça karşılaşılan zeminler için verilmiştir.

Çizelge 2.3 Tabii zeminlerde permeabilite ve hidrolik iletkenlik değerleri

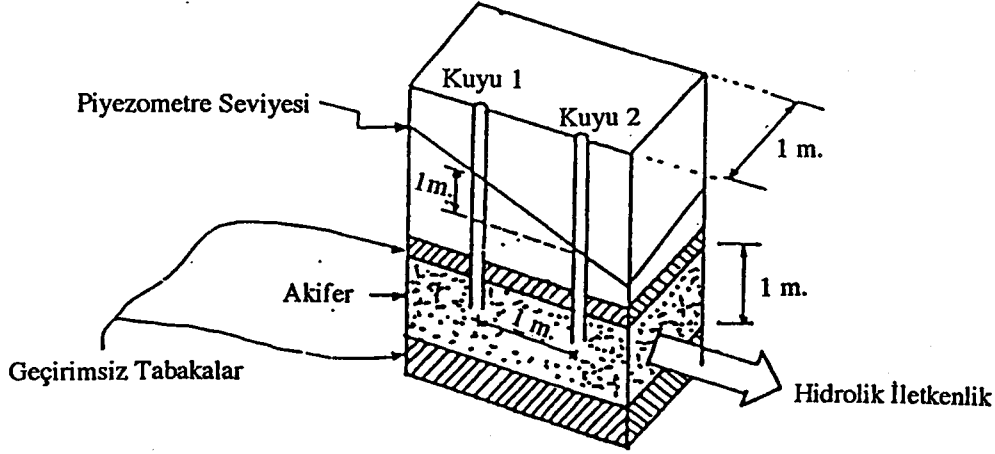
Zemin cinsi	κ (m ²)	k (m / sn)
Kil	10 ⁻¹⁷ - 10 ⁻¹⁵	10 ⁻¹⁰ - 10 ⁻⁸
Silt	10 ⁻¹⁵ - 10 ⁻¹³	10 ⁻⁸ - 10 ⁻⁶
Kum	10 ⁻¹² - 10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁵ - 10 ⁻³
Çakıl	10 ⁻⁹ - 10 ⁻⁸	10 ⁻² - 10 ⁻¹

Bundan evvelki bölümlerde akiferlerin su depolama kapasiteleri ile ilgili olan porozite, özgül verim ve depolama katsayısı gibi kavramlardan bahsedilmişti. Fakat bütün bu kavramlar akifer malzemesinin su geçirme özelliği ile ilgili hiçbir bilgi vermemektedir. Normal şartlar altında akifer malzemesi incelidikçe, danelerin yeraltı suyu akımına karşı direnci o derece artacaktır. Genel olarak, hidrolik iletkenlik, danelerin belirli bir hidrolik eğim altında suyu iletebilme kabiliyetine denir. Danelerin suyu iletme kabiliyeti yeraltı suyu hızı (birim debi) ile alakalıdır. Hidrolik iletkenlik, birim hidrolik eğim altında , Şekil 2.7' de de görüldüğü gibi, birim debiye eşittir. Bu tanımlamanın ışığı altında bakıldığında hidrolik iletkenliğin biriminin, hız biriminde [L/T] olduğu görülür. Hidrolik iletkenlik danelerin boşlukları ve kayaların çatlak boyutlarına bağlıdır. Boşluklar veya çatlaklar büyüdükçe, suyun hareket kabiliyeti artar. Dolayısıyla hidrolik iletkenlik, bu boşluklar birbirleriyle bağlantılı olduğu sürece artar.



Şekil 2.7 Hız cinsinden hidrolik iletkenlik

Diğer taraftan, homojen, izotropik ve doymuş bir ortamda hidrolik iletkenlik, Şekil 2.8' de görüldüğü gibi, akım yönüne dik birim kesit alanından, birim hidrolik eğim altında ve birim zamanda hareket eden yeraltı suyu hacmine denir.



Şekil 2.8 Hacim cinsinden hidrolik iletkenlik

Bu tanımlamaya dayanarak, hidrolik iletkenlik; birim alandan, birim zamanda geçen hacimdir. Yeraltı suyu hidrolojisiyle uğraşan bilim adamları genellikle hidrolik iletkenliği $[L^3/T/L^2]$ birimiyle kullanırken, sızma ile ilgilenen mühendisler cm/sn birimi ile ifade etmeyi tercih ederler. Hidrolik iletkenlik ve depolama katsayısının bazı malzeme ve akiferler için olan değerleri Çizelge 2.4' de verilmiştir.

Çizelge 2.4 Hidrolik iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri

Rezervuar	Malzeme	Hidrolik İletkenlik (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
Basıncılı akifer	Gözenekli	-	10^{-3} - 10^{-6}
Akitard	Kum ve Silt	2	>1
Akiklud	Kil	$<10^{-3}$	-

2.2.5 İletkenlik

İletkenlik parametresi, akiferin suyu iletme özelliği olarak bilinir. İletkenlik, tüm doymuş akifer kalınlığı boyunca birim genişlikteki kesit alanından, birim hidrolik eğimde geçen akıma denir (Bear, 1979). Ayrıca iletkenlik, akifer kalınlığı ile hidrolik iletkenliğin çarpımı olarak da tanımlanmıştır (Hantush, 1964; Davis ve De Wiest, 1966; Bouwer, 1978; Freeze ve Cherry, 1979).

Bütün bu tanımlamalardan anlaşılacağı gibi, akiferin su iletim kapasitesinin, akifer malzemesinin hidrolik iletkenliğine ve doymuş tabaka kalınlığına bağlı olduğu görülür. Şekil 2.9' da görüldüğü gibi seçilen doymuş kesit alanından geçen debi aşağıdaki gibi yazıldığı taktirde;

$$Q = A q \quad (2.13)$$

olur. Burada q birim alandan geçen debiyi, A ise kesit alanını ifade etmektedir. Şayet yeraltı suyu akımı lineer rejimde yani laminar akım durumu söz konusu ise Darcy kanununa göre $q = k i$ olur. Bu durumda debi;

$$Q = A k i \quad (2.14)$$

şeklini alır. Buradaki i , hidrolik eğimi k ise hidrolik iletkenliği göstermektedir. (2.14) denklemi w genişliğinde ve b kalınlığında dikdörtgen bir kesit alanı için;

$$Q = w b k i \quad (2.15)$$

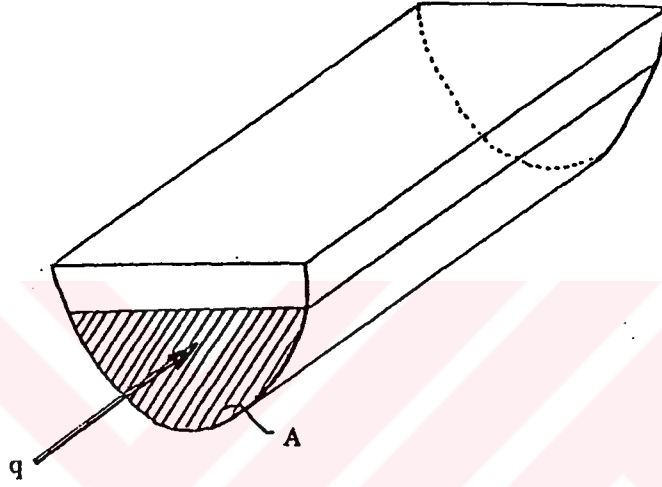
olur. İletkenliğin klasik tanımı bu son ifadeye bağlıdır. $T = b k$ olduğu taktirde

$$T = \frac{Q}{w i} \quad (2.16)$$

olur.

Elde edilen son ifade üniform şekilli ve tam doymuş lineer akım şartlarının geçerli olduğu akiferler için geçerli olacaktır. Eğer yeraltı suyu akımı lineer değilse (2.15) denklemi geçersiz olacaktır (Şen, 1995).

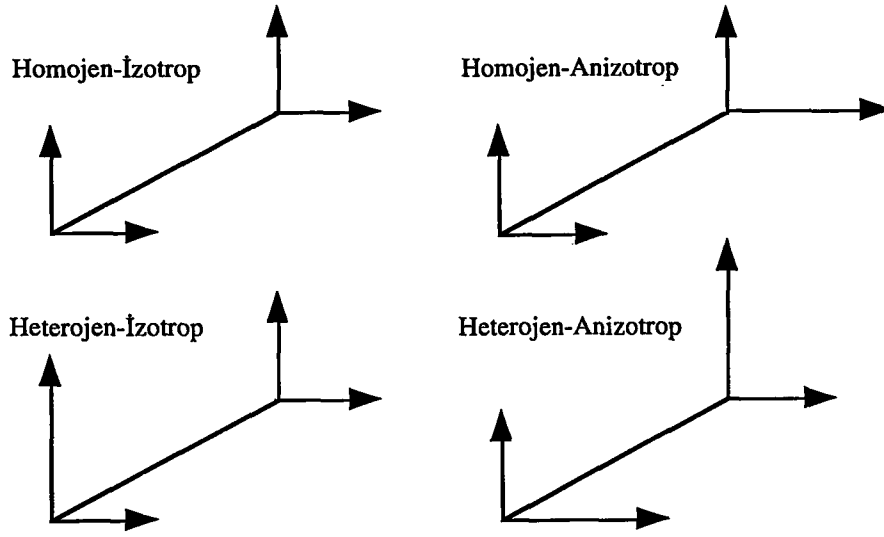
İletkenlik değeri akifer cinsine göre değişiklik gösterir. Bununla birlikte genel olarak akiferlerin iletkenliği $10^{-1} \sim 10^2 \text{ m}^2/\text{sn}$ değerleri arasında değişmektedir. Bu değerin $T = 10^{-1} \text{ m}^2/\text{sn}$ olması durumunda, o akiferin yetersiz olduğu anlaşılır. Akifer ancak küçük bir bölgeye yetebilir. İletkenlik değerinin $T = 10 \text{ m}^2/\text{sn}$ olması durumunda ise, akiferden sulama, endüstri veya şehir suyu ihtiyacında yararlanmak mümkündür (Erguvanlı ve Yüzer, 1972).



Şekil 2.9 İletkenlik şeması

2.2.6 Homojenlik ve izotropluk

Akiferlerin iletim özellikleri, bulundukları jeolojik malzemenin hidrolik iletkenliğine (k) bağlıdır. Hidrolik iletkenlik değeri, akiferin düşey eksenini boyunca değişim göstermiyorsa bu durumda akifer homojendir denilebilir. Aksi halde akifer heterojen bir yapıdadır. Ayrıca ölçülen hidrolik iletkenlik değeri yatay olarak, farklı yönlerde değişim göstermiyorsa bu durumda akifer izotropdur denilir. Şayet yatay yönlerde ölçülen hidrolik iletkenlik farklılık gösteriyorsa bu durumda akifere anizotrop denir. Yeraltı suları ile ilgili akım denklemlerinin çözümü genellikle bazı basitleştirici kabullerin yapıldığı matematiksel modellerden (denklemlerden) elde edildiğinden, sistemin homojen ve izotrop olduğu kabulü yapılır. Homojenlik ve izotropluk durumları aşağıdaki Şekil 2.10' da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 Homojenlik ve izotropluk

2.2.7 Düşüm konisi

Herhangi bir akifer bünyesinde su çekilmeye başlamadan önce, akiferin içerisinde bulunan su seviyesinin yatay olduğu kabul edilir. Pompaj başlar başlamaz, kuyuya yakın bölgedeki basınçta bir düşme ve basınç düşmesi sonucu kuyuya doğru radyal olarak hidrolik eğimde bir azalma meydana gelir. Bu azalma ile birlikte akiferdeki su kuyuya doğru hareket etmeye başlar. Kuyudaki su yüzeyi de statik su seviyesinin veya piyezometrik yüzeyin altına düşer. İşte tabanı statik su seviyesi veya piyezometrik yüzey olan ve tepe noktası kuyudaki su seviyesini gösteren ters koni şeklindeki bu hacime "düşüm konisi" denir. Bu koninin etkilediği alana "etki alanı", koninin tabanının yarıçapına "etki yarıçapı" adı verilir. Ayrıca düşüm konisinin etki alanı içerisinde, herhangi bir zamanda (t) ve kuyu merkezinden radyal uzaklıktaki (r) bir noktada statik su seviyesinden veya piyezometrik yüzeyden düşey olarak ölçülen mesafeye "düşüm" denir. Düşüm, genellikle (s) ile ifade edilir.

Basıncılı akiferlerde düşüm konisi imajinerdir. Ancak serbest yüzeyli akiferlerde düşüm konisi gerçekten görülebilir. Akifer malzemesi homojen, üniform ve izotropik ise düşüm konisinin taban alanı dairesel ve düzgün şekillidir. Düşüm konisi, akiferden su çekilme işlemi devam ettiği sürece büyüyerek genişler.

Düşüm konisinin şekli, akifer tipine (basıncılı, serbest yüzü, sızdırmalı), jeolojik malzemenin durumuna (homojen-heterojen, izotropik-anizotropik) ve malzemelerin geometrik ilişkileri (farklı hidrolik iletkenlikli tabakaların olması, alüvyonlu

katmanlarda killerin varlığı, geçirimsiz veya beslemeli sınırların olması) gibi bir çok faktöre bağlıdır.

Düşüm konisi zaman içerisinde pompajın durumuna göre de değişim gösterir. Düşüm konisinin doğru bir şekilde belirlenmesi sonucu akiferin, serbest yüzlü, basınçlı veya sızdırmalı olup olmadığının belirlenmesi yanında, iletkenlik (T), depolama katsayısı (S) ve sızdırma faktörünün bulunmasına da yardımcı olur.

2.2.8 Gecikmiş verim

Gecikmiş verim serbest yüzlü akiferlerde önemli bir parametredir. Bu olay düşüm konisi içerisinde meydana gelir. Kuyudan pompaja başlandığında, belirli bir süre boyunca öncelikle kuyuda depolanmış olarak bulunan su çekilir. Daha sonra akifer kuyuya doğru tepki vermeye başlar. Bunun sonucu olarak, akiferdeki düşüm zamana bağlı olarak artmaya başlar. Kısa bir süre sonra, yerçekimi drenajının ilavesine bağlı olarak, düşümdeki azalmanın yükselmesi artmaz. İşte bu olaya akiferin tepkisi yani "gecikmiş verim" denir. Bu olay akifer parametrelerinin belirlenmesinde zorluklar çıkarabilir. Bunun için gözlem kuyularındaki düşüm değerlerinin kullanılması, akifer parametrelerinin daha sağlıklı belirlenmesini sağlayacaktır (Şen 1995).

2.3 Yeraltı Suyu Akımının Temel Denklemleri

Geçirimli birer ortam olan tabiattaki bütün akiferler içerisindeki suyun akışı Darcy kanunu ile izah edilebilir. Darcy kanunu ve süreklilik denkleminde, yeraltı suyu akışının genel esasları tesbit edilebilir.

2.3.1 Darcy kanunu

Yeraltı suları akımı bilimi, Henry Darcy adlı (1863) bir Fransız mühendisin, Fransa'nın Dijon kasabasında yapmış olduğu bir araştırmayı yayınlamasıyla başlamıştır. Darcy, Dijon kasabasına su getirmek amacıyla etraftaki yağmur sularıyla beslenen ve geçirimli zemin tabakalarının bulunduğu vadideki yeraltı suyunun kasabaya temini hususunda bir çalışma yapmıştır. Bu zamandan beri, temel yeraltı suları hareketi kanunu onun ismiyle tanınmakla birlikte, bu kanun geliştirilmiş ve bir çok yönde genelleştirilmiştir.

Darcy kanununu tanıtmadan önce, ρ yoğunluğundaki bir sıvı ile tamamen doldurulmuş boşluklu bir ortamın hidrostatikliğini dikkate almak faydalı olacaktır. Sıvı içerisindeki basınç p ile gösterilecek olursa, hidrostatik prensiplerine göre, akım olmaması halinde basınç derinlikle artacaktır ve yersel basınç değişimi ρg olacaktır. Buradaki g , yerçekimi ivmesidir. Böylece, kartezyen koordinat sisteminde z eksenini artı yönde yukarıyı göstermesi ve akımın olmaması halinde, bağıntılar;

$$\frac{\partial p}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g = 0 \quad (2.17)$$

şeklinde yazılır. Bu eşitlikler gözenekli bir ortamda bulunan sıvının denge durumunu ifade etmektedir. Bunlar, bütün gözeneklerin birbirleriyle iç içe geçmiş olması halinde, gerçek boşluk geometrisinden bağımsızdır.

Gözenekli ortamda bulunan sıvının, içinde bulunduğu katı maddeye bağlı olarak hareket etmesi halinde, sıvının viskozitesine ve gözeneklerin çaplarına bağlı olarak bir sürtünme kuvveti oluşacaktır. Darcy'nin deneysel sonuçları ve ondan sonra gelen diğer araştırmacıların yaptıkları çalışmaların özü, oldukça yavaş hareketler için sürtünme kuvvetinin debi ile orantılı olmasıdır. Şayet içsel sürtünme etkileri ihmal edilir ve gözenekli ortam da izotropik (gözenek boşluklarının akım yönünden bağımsız olması) ise denge eşitlikleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\kappa} q_x = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{\kappa} q_y = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g + \frac{\mu}{\kappa} q_z = 0 \quad (2.18)$$

Bu denklemdaki μ , akışkanın viskozitesi ve κ , boşluklu ortamın permeabilitesidir. q_x , q_y ve q_z ifadeleri ise birim debi vektörleridirler. Birim debi, zeminin herhangi bir

bölgesinden geçen debi değerinin o kesit alanına bölünmesiyle elde edilir. Yukarıdaki (2.18) denklemi, hidrodinamikteki ince bir tüp içerisinde geçen viskoz bir sıvının hareketine veya aralarında küçük bir mesafe olan iki paralel tabaka arasındaki akım hallerine ait formüllerle uygunluk (benzerlik) gösterir. (2.18) denkleminde q_x , q_y ve q_z değerleri çekilecek olursa;

$$q_x = -\frac{\mu}{\kappa} \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$q_y = -\frac{\mu}{\kappa} \frac{\partial p}{\partial y}$$

$$q_z = -\frac{\kappa}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial z} + \rho g \right) \quad (2.19)$$

bulunur. ρ sıvı yoğunluğu sabit ise yeni bir değişken tanımlamak faydalı olacaktır. Bu değişken yeraltı suyu yüksekliği olarak tanımlanırsa;

$$h = z + \frac{p}{\rho g} \quad (2.20)$$

olur. ρ 'nun sabit, zeminin homojen ve izotrop olması durumunda ise denklem;

$$q_x = -k \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$q_y = -k \frac{\partial h}{\partial y}$$

$$q_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2.21)$$

şeklinde yazılabilir. Burada k , hidrolik iletkenlik adını alır (Verruijt, 1982).

(2.21) denklemi Darcy' nin deneysel çalışmasının neticesi olarak ortaya çıkan Darcy Kanununun genel ifadesidir. Yaptığı deneyler neticesinde, kum numunesi içerisinde geçen debinin, numunenin her iki uçundaki su seviyeleri farkıyla doğru orantılı olduğunu bulmuştur. Ayrıca debinin, numunenin bulunduğu kesit alanı ile

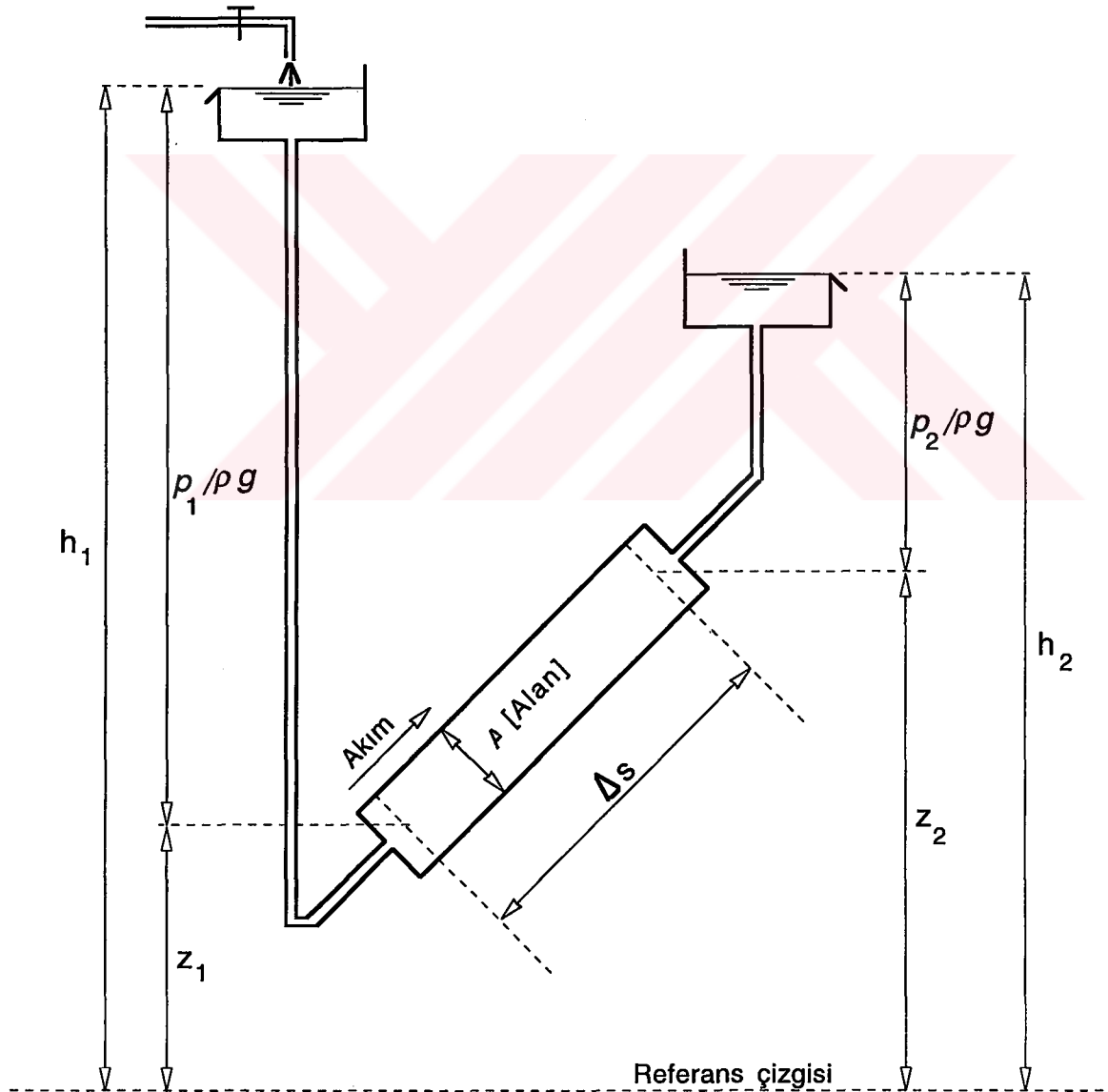
de doğru orantılı ve nümune uzunluğu ile ters orantılı olduğunu göstermiştir (Şekil 2.11). Bu ise matematiksel olarak;

$$Q = k A \frac{h_1 - h_2}{\Delta s} = - k A \frac{\Delta h}{\Delta s} \quad (2.22)$$

şeklinde gösterilebilir. Şayet birim debi q , Q/A olarak tanımlanırsa ve $\Delta s \rightarrow 0$ olursa,

$$q = - k \frac{dh}{ds} \quad (2.23)$$

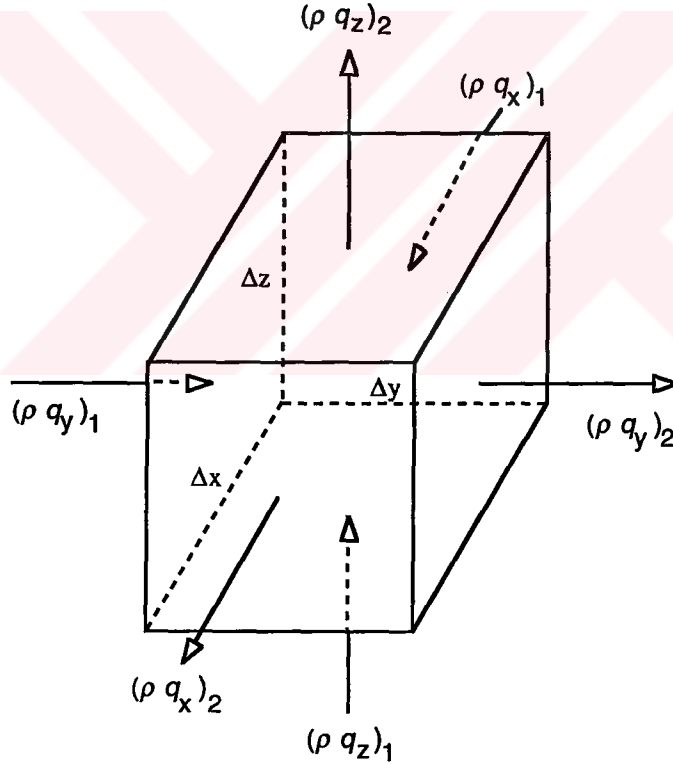
elde edilir. (2.23) denklemi, (2.21) ifadesinin özel bir halidir.



Şekil 2.11 Darcy deney düzeneği

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. Özellikle mühendislikte, gelecekle ilgili durumların tahmin edilmesi hallerinde h değerinin önceden bilinmesi oldukça zordur. Bu durumda Darcy Kanunu, dört bilinmeyenli üç denklem halinde ortaya çıkar. Bunlar, birim debi vektörünün x , y , z eksenlerindeki değerlerdir. Dördüncü denklem, kütlenin korunumu prensibi olarak bilinen temel fizik kanunu yardımıyla elde edilebilir. Bu kanuna göre, akımın şekli ne olursa olsun, hiçbir kütle kazanılmayacak veya kaybedilmeyecektir. Burada, tamamen doymuş ve sıkışamaz olan gözenekli bir ortamın var olduğu kabulü yapılarak, kütlenin korunumu prensibine göre, zemindeki kontrol hacmine giren ve çıkan miktarlar eşit olacaktır (Birpınar, 1996).



Şekil 2.12 Kütlenin korunumu

Şekil 2.12' de görülen kontrol hacminin sol yüzeyinden birim zamanda giren su kütlesi;

$$(\rho q_y)_1 \Delta x \Delta z$$

şeklindedir. Kontrol hacminin altı yüzeyindeki akış göz önüne alınarak oluşacak net değişim aşağıdaki gibi yazılabilir:

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

Bu değişim miktarının kütle korunumu prensibine göre (Hidrolojide su dengesi olarak bilinir) sıfıra eşit olması gerekir. Çünkü zeminin sıkışamaz ve tamamen doymuş olması varsayımlarına göre kontrol hacminde depolamanın olması ihtimali yoktur. Yukarıdaki ifade sıfıra eşitlenip her iki tarafı $\Delta x \Delta y \Delta z$ ' e bölünecek olursa;

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

bulunur. Elde edilen bu ifade, depolamanın olmadığı durumda (dengeli akım halinde) kütle korunumu eşitliğidir. Birçok durumda ρ yoğunluk değerindeki değişim gözardı edilmektedir. Dolayısıyla (2.24) denklemi, ρ sabit alınarak tekrar yazılacak olursa;

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0 \quad (2.25)$$

elde edilir. Bu denklem, genellikle dengeli akım durumundaki süreklilik denklemi olarak adlandırılır ve yeraltı suyu akımıyla ilgili Darcy Kanunu ile birlikte gerekli olan dördüncü eşitlik olarak kullanılır (Verruijt, 1982).

Denklem (2.21)' de verilen Darcy kanunundaki q değerleri (2.25) denkleminde yerine yazılacak olursa;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (2.26)$$

elde edilir. Bu eşitlik, tek bilinmeyenli (h) bir denklemdir. Şayet hidrolik iletkenliğin sabit olduğu düşünülürse, bu durumda homojen boşluklu bir ortam göz önüne alınmış olur. Dolayısıyla (2.26) ifadesi, Laplace eşitliği olarak bilinen aşağıdaki denklem haline gelir:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (2.27)$$

Bu ifade, genellikle Laplace operatörü (∇^2) kullanılarak;

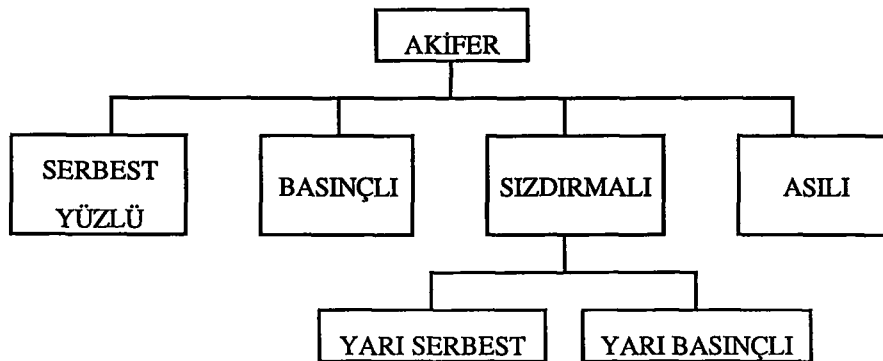
$$\nabla^2 h = 0 \quad (2.28)$$

şeklinde yazılır.

Dengeli yeraltı suyu akımının temel problemi, uygun sınır şartları hesaba katılarak, Laplace denkleminin veya daha genel olarak (2.26) denkleminin çözümünden ibarettir. Bu, tabii ki uygulamalı matematiğin bir problemidir ve ancak birçok durumda bazı problemlerin çözümünde mühendislik açısından uygun kabullerin ve basitleştirmelerin yapılması gerekir.

2.4 Akifer Tipleri

Akiferler kendi aralarında yeraltı suyu basıncı, hidrolojik şartlar ve yeraltındaki jeolojik oluşumlara göre değişik sınıflara ayrılabilirler. Yeraltı suyu çalışmalarında jeolojik tabakaların sayısı, tipi ve alansal genişliği önemli jeolojik faktörler olarak değerlendirilmelidir. Hidrolojik faktör olarak ise, dolaylı veya dolaysız besleme faktörü önemlidir. Yeraltı suyu basıncı atmosfer basıncına eşit veya büyük olabilir. Herhangi bir akifer sınıflandırmasında bu üç faktör göz önüne alınmalıdır. Akiferler kendi aralarında beş sınıfa ayrılabilir. Bu durum şematik olarak aşağıda Şekil 2.13' de verilmiştir. Bunlar arasında önemli olan ve doğa şartlarında en çok karşılaşılan akifer tipleri, serbest yüzlü, basınçlı ve sızdırmalı akiferlerdir. Bu bölümde özellikle bu üç akifer üzerinde durulacak ve bunlara ait temel denklemler verilecektir.



Şekil 2.13 Akifer sınıflandırması

2.4.1 Basıncılı akiferler

Yatay ve tamamen basıncılı bir akiferde (Şekil 2.14) , alt ve üst kısımdan akifere herhangi bir akış söz konusu değildir. Bu yüzden, akifer düzlemine dik olarak gelen akım yoktur. Bunun manası, h su yükünün z ekseninden bağımsız yani düzlemsel akım olmasıdır;

$$h = h(x, y) \quad (2.29)$$

Bütün akifer durumlarında bu varsayım esas alınmıştır. Bu durumda sadece iki esas birim debi denklemi söz konusu olacaktır. Bunlar,

$$\begin{aligned} q_x &= -k \frac{\partial h}{\partial x} \\ q_y &= -k \frac{\partial h}{\partial y} \end{aligned} \quad (2.30)$$

dır. Şayet akifer tamamen doymun ve sıkışamaz ise, yeraltı suyu depolaması olmayacak, dolayısıyla, Δx , Δy ve b boyutlarındaki kontrol kesitine giren ve çıkan değerlerin eşit olduğu düşünülerek süreklilik denklemi;

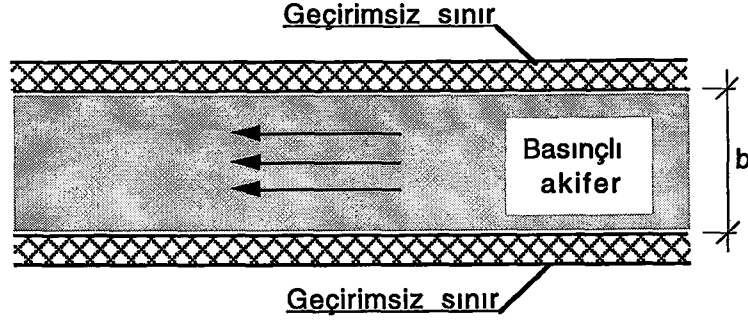
$$\frac{\partial}{\partial x} (q_x b) + \frac{\partial}{\partial y} (q_y b) = 0 \quad (2.31)$$

şeklinde yazılacaktır. (2.31) denkleminde (2.30) eşitlikleri yerine konulduğu takdirde ise,

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

elde edilir. Bu denklem, dengeli akım durumunda, basıncılı akiferlerdeki yeraltı suyu temel denklemidir. Buradaki $T = (k.b)$ olup b kalınlığındaki akiferin iletkenliği olarak tanımlanır. Eğer T iletkenliği sabit ise, yukarıdaki (2.32) diferansiyel denklemi iki boyutlu Laplace denklemine dönüşür:

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



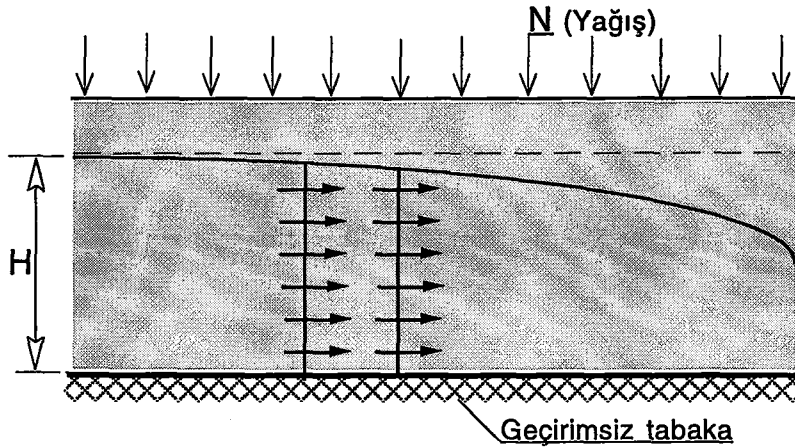
Şekil 2.14 Basınçlı akiferler

2.4.2 Serbest yüzlü akiferler

Serbest yüzlü akiferler Şekil 2.15' de gösterildiği gibi, yeraltı suyu taşıyan ve üst sınırı açık hava ile temasta olan tabakalardır. Serbest yüzlü akiferlerinde, akımın düşey elemanlarının ihmal edilememesinden doğan zorluklar bulunmaktadır. Çünkü su tablası yatay olmayabilir. Böylece su, yüksek noktadan aşağıya doğru hareket etme imkanına sahip olabilir.

Serbest yüzlü akiferlerdeki akımın analitik olarak izahı, yeraltı suyu akımının kuyuya doğru yaklaşırken doygun akifer kalınlığının düşmesi ve buna bağlı olarak iletkenliğin azalmasından dolayı oldukça zordur. Buna ilave olarak, akım çizgileri birbirlerine paralel değildir. Sızma yüzeyinin bulunması kompleks sınır şartlarının oluşmasına sebep olur (Şen, 1995).

Bu şartlar altında, serbest yüzlü akiferlerdeki yeraltı suyu problemleri teorik olarak kesinlik göstermezler. Ancak, Dupuit - Forchheimer varsayımları sayesinde küçük hata limitleri ile problemin çözümü için iyi bir yaklaşım sağlanabilir.



Şekil 2.15 Serbest yüzlü akifer

Darcy kanunundan x ve y yönlerindeki birim debi elemanları (2.30) denklemi ile daha önce verilmiştir. Dengeli akım şartları için süreklilik denklemi, seçilen kontrol hacmi içerisinde Şekil 2.15' da gösterildiği gibi su depolamasına izin vermez. Bu, matematiksel olarak ifade edilecek olursa,

$$\frac{\partial}{\partial x} (q_x h) + \frac{\partial}{\partial y} (q_y h) - N = 0 \quad (2.34)$$

olur. Denklem (2.30)' daki birim debi değerleri (2.34) denkleminde yerine yazılacak olursa elde edilen yeni denklem,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = -N$$

olur. Bu ifade h cinsinden lineer değildir. Ancak Dupuit, h^2 değişkenini tanımlayarak,

$$h \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{\partial (h^2)}{\partial x}$$

ifadesini kullanmıştır. Homojen akiferlerde (2.34) denklemi, birim debi ifadeleri yardımıyla önce,

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

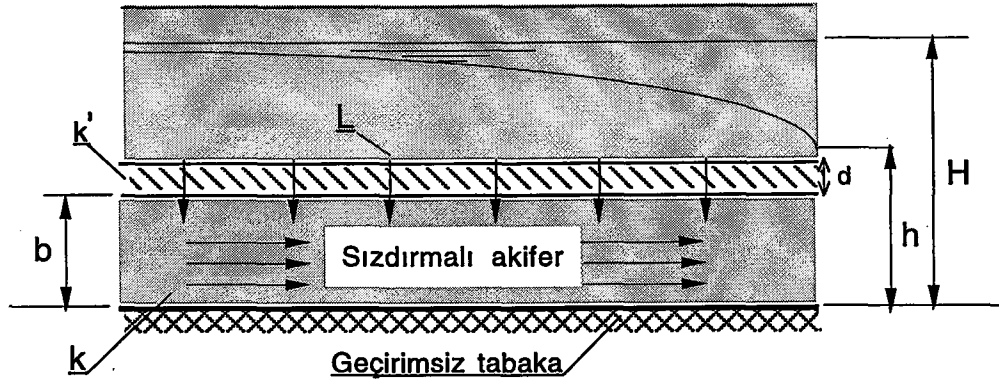
olarak veya N (yağış) = 0 için,

$$\frac{\partial^2 (h^2)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (h^2)}{\partial y^2} = 0 \quad (2.35)$$

şeklinde bulunur. Buradaki N , yağıştan dolayı üstten gelen sızmadır. Yukarıdaki denklem, h^2 değişkenine göre lineer bir ifadedir. Bu ifade sadece diferansiyel denklemin çözümünün kolaylığı yönünden değil, aynı zamanda süperpozisyon prensibinin uygulanabilmesi bakımından da önemlidir.

2.4.3 Sızdırmalı akiferler

Sızdırmalı akiferler, Şekil 2.16' de görüldüğü gibi, üst kısmı boyunca küçük miktarda su sızdırarak akiferdeki debi miktarının artmasını sağlayan bir veya birden fazla düşük permeabiliteli tabakalarla sınırlı su taşıyan akiferlerdir. Bu durumda düşey akımın az olmasından dolayı, akiferdeki akımın yatay olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 2.16 Sızdırmalı akifer

Darcy kanununun birim debi için esas denklemi,

$$q_x b = -T \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$q_y b = -T \frac{\partial h}{\partial y} \quad (2.36)$$

şeklinde olacaktır. Süreklilik denkleminde, kontrol hacmine sızdırmadan dolayı sağlanan su miktarının da hesaba katılması gerekir. Böylece,

$$\frac{\partial}{\partial x} (q_x b) + \frac{\partial}{\partial y} (q_y b) = L \quad (2.37)$$

olur. Burada L , birim debi cinsinden ifade edilen sızmadır. Şayet sızdırma, d kalınlığı ve k' hidrolik iletkenliğine sahipse, tek bir kil tabakası boyunca akifere gelecek düşey akım, Darcy kanununa göre,

$$L = k' \frac{H - h}{d} \quad (2.38)$$

olur. Burada H , akiferdeki ilk statik su yüksekliğidir. Bu denklem,

$$L = \frac{H - h}{c} \quad (2.39)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki c , kil tabakasının direncidir; $c = d/k'$ şeklinde ifade edilir. (2.36) ve (2.39) denklemleri (2.37) denkleminde yerine yazılacak olursa,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T \frac{\partial h}{\partial y} \right) - \frac{h - H}{c} = 0 \quad (2.40)$$

elde edilir. Denklemlerdeki T iletkenliği sabit olarak kabul edilirse,

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} - \frac{h - H}{\lambda^2} = 0 \quad (2.41)$$

olur. Burada λ , yeni bir parametre olarak tanımlanan sızdırma faktörü olup uzunluk boyutundadır ve $\lambda^2 = Tc$ şeklindedir.

2.5 Dengesiz Akım Durumuna Ait Denklemler

2.5.1 Dengesiz akım durumunda süreklilik denklemi

Geçiş akımı da denen dengesiz akım, akım alanının herhangi bir noktasında akış hızının büyüklüğü veya yönü zamanla değiştiğinde oluşur. Tamamıyla doymuş gözenekli bir ortamdaki bir dengesiz akım durumunda kütlenin korunumu prensibi bir hacim elemanına giren net debi miktarının aynı sürede bu elemandaki sıvı depolaması miktarındaki değişime eşit olmasını gerektirir. Bu durumda süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} = \frac{\partial(\rho n)}{\partial t} \quad (2.42)$$

olarak yazılabilir. Sağ taraftaki terimi açarsak;

$$-\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} = n \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial n}{\partial t} \quad (2.43)$$

olur.

$n \frac{\partial \rho}{\partial t}$ terimi, yoğunluktaki değişim altında suyun genleşmesinden meydana gelen su kütlesi miktarını göstermektedir. Bu değer β akışkan sıkışabilirliği tarafından kontrol edilir.

$\rho \frac{\partial n}{\partial t}$ porozite değişimi altındaki gözenekli ortam sıkışmasının meydana getirdiği su kütlesi miktarıdır. Bu değer ortamın α sıkışabilirliği tarafından kontrol edilir.

ρ yoğunluğunda ve n porozitesindeki değişimin h hidrolik yükündeki değişim tarafından meydana geldiği gösterilebilir. Özgül depolamadaki bu mekanizma tarafından meydana gelen su hacmi, $S_s = \rho g(\alpha + n\beta)$ ' dir.

Bu durumda süreklilik denklemi;

$$-\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} = \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.44)$$

halini alır.

Burada Darcy kanununu kullanarak ve eşitliğin her iki tarafından yoğunluğu yok ederek;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.45)$$

elde edilir.

Bu doygun izotrop olmayan bir gözenekli ortamdaki dengesiz akım denklemidir. Daha önce işaret ettiğimiz gibi akışkan homojen ve izotrop ise $k_x = k_y = k_z = \text{sabit}$ olup yeni denklem;

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{k} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.46)$$

şeklinde elde edilebilir. Burada $S_s = \rho g(\alpha + n\beta)$ eşitliği yerine yazılırsa;

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{\rho g(\alpha + n\beta)}{k} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.47)$$

elde edilir. Bu denklem difüzyon eşitliği olarak bilinmektedir. Bunun bilinmeyişi $h(x,y,z,t)$ fonksiyonudur. Bu fonksiyon herhangi bir zamanda akım alanındaki hidrolik yükü belirtir.

Kalınlığı b , özgül depolaması $S = S_s \cdot b$, iletkenliği $T = k \cdot b$ olan, yatay ve basınçlı bir akifere ait çok özel bir durumda iki boyutlu difüzyon denklemi;

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.48)$$

halini alır. Bu denklemin çözümü ile herhangi bir zamanda akiferi kesen yatay bir düzlem üzerindeki hidrolik yükü gösteren $h(x,y,t)$ fonksiyonu bulunur (Guzetti,1991).

2.5.2 Bir kuyuya doğru dengesiz (radyal) akım

Geniş ve yaygın bir akifer içinde açılan kuyuda, sabit bir debi ile pompaj yapıldığında pompaj etkisiyle oluşan düşüm, zamanla kuyudan uzaklara doğru yayılır. Kuyu tesir alanında su seviyesi veya basınçtaki düşüm miktarının depolama katsayısı ile çarpımı kuyudan çekilen su miktarına eşittir.

Akiferden çekilen su, rezervde bir azalma meydana getireceğinden akifer basıncı veya akifer sonsuz olduğu takdirde pompajla birlikte su seviyesi de sürekli olarak düşecektir. Bu duruma göre, akiferde dengeli bir hal söz konusu olamaz. Böyle bir halde, su seviyesindeki düşüm miktarı kuyudan uzaklaştıkça azalır.

Bu durumdaki bir akifere uygulanabilen diferansiyel denklem (2.46) denklemdir. Bu denklem normal koordinat sisteminde aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2.49)$$

Theis (1941), bu denklem için yeraltı suyu akımı ile ısı şartları arasında kıyaslama yaparak bir çözüm elde etmiştir. Kuyu yerine sabit durumda matematiksel bir birim alındığı düşünülür; pompaja başlamadan önce $h = H$ ve pompaja başladıktan sonra ($T \geq 0$) $r \rightarrow \infty$ olduğuna göre $h \rightarrow H$ olarak kabul edilirse, aşağıdaki çözüm elde edilir.

$$H - h = \frac{Q}{4\pi T} \int_{r^2 S/4Tt}^{\infty} \frac{e^{-u} du}{u} \quad (2.50)$$

Burada, t zaman, r gözlem kuyusunun pompaj kuyusuna uzaklığı, u ise boyutsuz değişken olup, Theis tarafından

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad (2.51)$$

şeklinde verilmiştir. Q ise kuyudan çekilen sabit debidir. Yukarıdaki (2.50) denklemi dengesiz hal denklemi veya Theis denklemi olarak tanınır. Denklemin seriye açılmak suretiyle aşağıdaki şekli aldığı görülür.

$$H - h = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 (2!)} + \frac{u^3}{3 (3!)} - \frac{u^4}{4 (4!)} + \dots \right] \quad (2.52)$$

Bu denklemin sağ tarafındaki parantezin içerisi $W(u)$ ile gösterilerek yazılırsa;

$$H - h = \frac{Q}{4\pi T} W(u) = s_w \quad (2.53)$$

olur. Burada, $W(u)$ kuyu fonksiyonudur. Bu denklem basınçlı akiferlerde açılmış bir kuyuya ait düşüm denklemidir. Dengesiz akım durumunda serbest yüzlü akiferler için ise bu eşitlik gerekli düzenlemeler yapılarak aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 (2!)} + \frac{u^3}{3 (3!)} - \frac{u^4}{4 (4!)} + \dots \right] \quad (2.54)$$

Bu denklem düzenlenmiş Theis denklemi adını alır (Todd, 1959). Eşitliğin sağ tarafındaki parantezin içindeki ifadeye yine $W(u)$, diyerek, yerine yazılırsa;

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (2.55)$$

olur. Elde edilen bu denklem pompaj kuyusu için yazılacak olursa;

$$H^2 - h_w^2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (2.56)$$

olur. Burada H akiferdeki su yüksekliğini ve h_w pompaj sırasında kuyuda oluşan su yüksekliğini ifade eder. Bu denklemden debi değeri çekilecek olursa, bağıntı;

$$Q = \frac{(H^2 - h_w^2) 4 \pi T}{W(u)} \quad (2.57)$$

halini alır.

2.5.3 Sınırlı akifer durumunda kuyu hidroliği

Arazi üzerine açılacak olan kuyularda her zaman sonsuz akifer şartları geçerli olmayabilir. Pompaj yapılacak kuyu sınırlara yakın bölgelerde bulunabilir. Bu sınır bazen nehir veya kanal gibi besleme sınırı veya geçirimsiz bir tabakanın bulunduğu bir vadi olabilir. Pompaj yapılacak kuyu şayet bu tip herhangi bir sınır yakınında açılmış ise veya başka bir deyişle kuyu bu sınırlardan etkilenmeye başladığı takdirde, akiferlerin sınırsız şartları için geçerli olan kabüller artık geçersiz olacaktır.

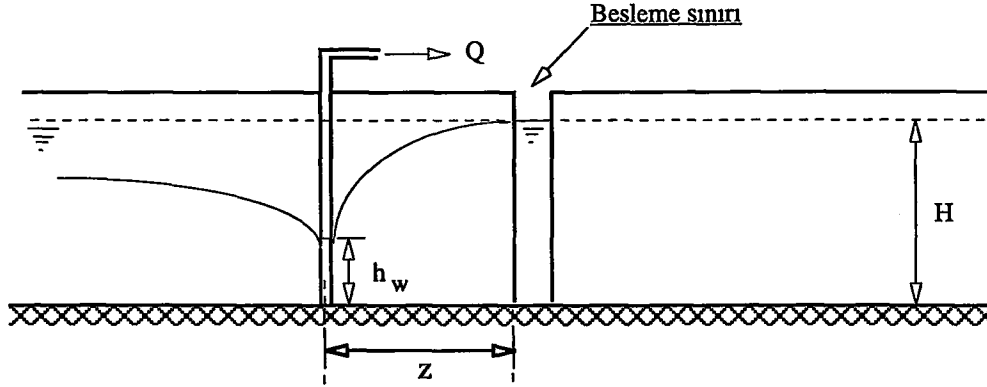
Sınırlı akiferlere ait akımı analiz etmek için, genellikle süperpozisyon metodu kullanılmaktadır. Bu prensibe göre, iki veya daha fazla kuyunun oluşturduğu düşüm, herbir kuyunun ayrı ayrı oluşturdukları düşümlerin toplamına eşittir. Böylece, imaj veya imajiner kuyular kullanılarak, sistem sonsuz akifer haline getirilip, sonsuz akifer şartlarında geçerli olan formüllerin kullanımı sağlanmış olmaktadır (Birpınar, 1996).

2.5.3.1 Beslemeli akiferde sınır yakınına açılan tek kuyu

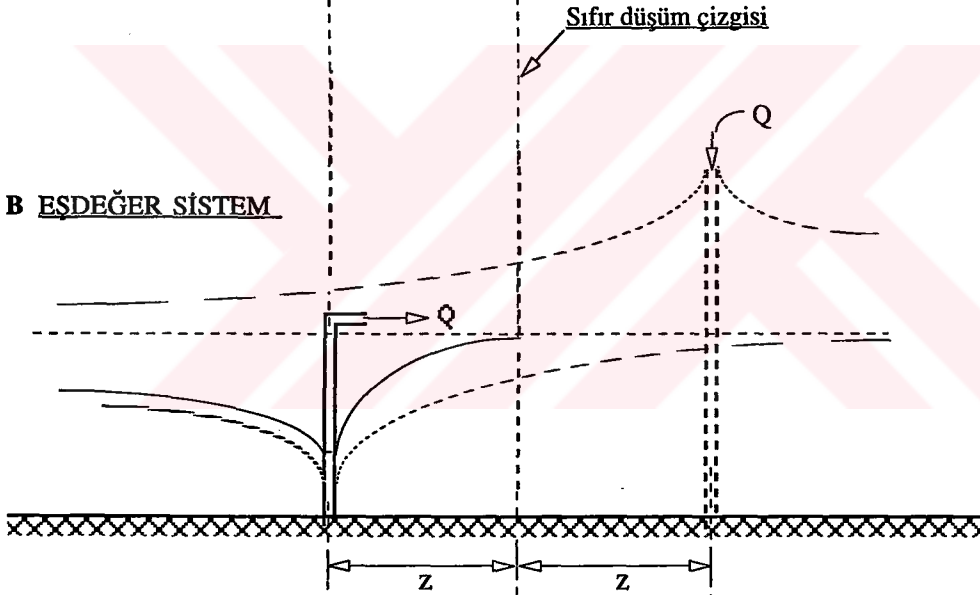
Şekil 2.17 A' da görülen kuyu, arazi üzerinde bulunan bir kanala veya nehre yakın bir yerde açılmıştır. Akifer sınırında bulunan kanal bir besleme sınırı olarak çalışmakta ve kanaldaki su seviyesi sabit olarak kabul edilmektedir. Şekil 2.17 B' de Şekil 2.17 A' nın eşdeğeri gösterilmiş ve besleme sınırı yerine imajiner bir besleme kuyusu yerleştirilmiştir. Bu sistemde, sol tarafta gerçek pompaj kuyusu ve sağ tarafta bir imajiner besleme kuyusu olmak üzere iki adet kuyu bulunmaktadır. Bu imajiner kuyu, mevcut akiferi gerçek pompaj debisine eşdeğer bir Q debisi ile beslemektedir. Pompaj kuyusu ve besleme kuyusu bir doğru üzerinde ve sınıra eşit uzaklıkta

bulunmaktadır (Şekil 2.17 C). Gerçek kuyunun düşüm eğrisi ile imajiner kuyunun düşüm eğrisini birbirine eklediğimiz takdirde, akiferin kanal ile kesiştiği noktada düşüm sıfır olacaktır (Kruseman and de Ridder, 1990).

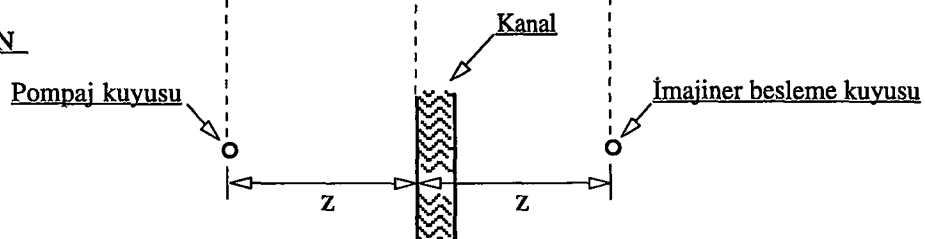
A GERÇEK SINIRLI SİSTEM



B EŞDEĞER SİSTEM



C PLAN



Şekil 2.17 Beslemeli sınır yakınına açılmış bir kuyuda düşüm eğrileri

Şekil 2.17' deki gibi basınçlı bir akifer üzerinde besleyici bir sınır kenarına yakın açılmış bir kuyu ele alınsın. Sonsuz akifer şartlarında, basınçlı akiferde açılan pompaj kuyusundaki düşümü veren (2.53) denklemi düzenlenirse;

$$s_w = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (2.58)$$

halini alır.

Pompaj kuyusu ile imajiner kuyunun beraberce çalıştığı düşünülerek, pompaj kuyusunda meydana gelecek yeni düşüm;

$$s_w = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) - W(u_i)] \quad (2.59)$$

olacaktır. Burada $W(u)$ pompaj kuyusunun kuyu fonksiyonu, s_w pompaj kuyusundaki düşüm, $W(u_i)$ ise imaj kuyusunun kuyu fonksiyonunu ifade etmektedir. İmaj kuyusunun, kuyu fonksiyonu içerisindeki u_i değeri ise;

$$u_i = \frac{r_i^2 S}{4 t T} \quad (2.60)$$

dir. Burada, r_i pompaj kuyusu ile imajiner kuyu arasındaki mesafedir. Serbest yüzeyli akiferler için verilen (2.56) düşüm denklemi, beslemeli sınırlı durum için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$H^2 - h_w^2 = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) - W(u_i)] \quad (2.61)$$

2.5.3.2 Geçirimsiz sınırlı akiferde sınır yakınına açılan tek kuyu

Şekil 2.18 A' da görülen kuyu, arazi üzerinde bulunan bir vadi kenarına yakın açılmıştır. Şekil 2.18 B' de ise bu sınırlı akifer sistemi yerine sonsuz akifer haline dönüştürülmüş eşdeğer sistem görülmektedir. Bu imajiner sistem, sol tarafta hakiki pompaj kuyusu ve sağ tarafta imajiner bir kuyu bulunması halinde çalışmaktadır. Buradaki her iki kuyudan da aynı miktarda debinin beraberce çekildiği varsayılmaktadır. Burada gerçek pompaj kuyusunda oluşacak düşüm, herbir kuyudan çekilen Q debilerinin oluşturacağı düşümlerin toplamı kadar olacaktır.

Geçirimsiz sınır bölgesine herhangi bir akış olmadığından bu bölgedeki su seviyesi düşecektir. Burada dikkat edilmesi gereken diğer husus ise, gerçek pompaj kuyusu ile sınır arasındaki gerçek düşüm konisinin, sınır olmaması durumunda oluşabilecek düşüm konisi eğrisinden daha düz bir hal almasıdır. Sistemin sol tarafında ise bu koni daha dik olarak gözükmemektedir.

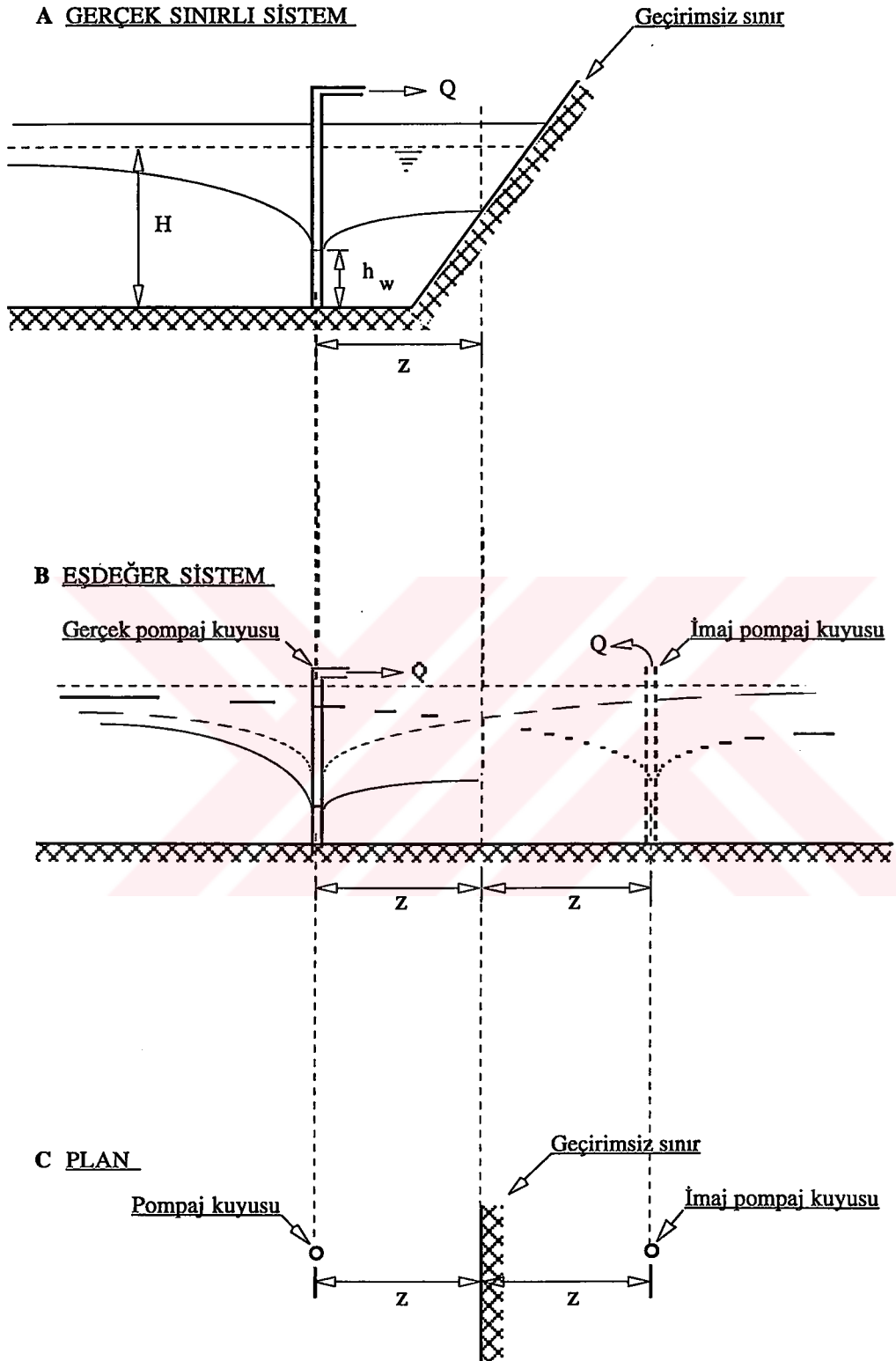
Sonsuz akifer şartlarında, basınçlı akiferde açılan kuyudaki düşümü veren (2.58) denklemi için, pompaj kuyusu ile imajiner kuyunun beraber çalıştığı düşünüldüğünde pompaj kuyusunda meydana gelecek yeni düşüm;

$$s_w = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) + W(u_i)] \quad (2.62)$$

halini alır.

Serbest yüzeyli akiferler için verilen (2.56) düşüm denklemi, geçirimsiz sınırlı akifer yanına açılan pompaj kuyusundaki düşüm için aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$H^2 - h_w^2 = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) + W(u_i)] \quad (2.63)$$



Şekil 2.18 Geçirimsiz bir sınıra yakın açılmış bir kuyuda düşüm eğrileri

2.6 Kuyularda Girişim

Burada, serbest yüzlü akiferlerde dengesiz akım durumunda girişim olayı incelenecektir. Bilindiği gibi kuyular, akiferlerden yeraltısuyu alma vasıtalarıdır. Gereğine göre birçok hallerde su temini işi tek kuyu yerine birden fazla kuyu ile yapılır. Bu durumda kuyuların birbirlerine tesiri yani girişim olayı meydana gelir. Kuyuların akiferde ekonomik bir şekilde yerleştirilebilmesi için girişim olayının iyi bilinmesi gerekir. Girişim olayının iyi bilinmesi ayrıca yeraltısuyu hukuku bakımından da önemlidir. Geçmişte, serbest yüzlü akiferlerdeki kuyuların girişimini inceleyen araştırmacılar, bu hal ile ilgili genel denklemleri yaklaşık süperpozisyon kaidesine göre elde etmişlerdir. Halbuki bu kabule göre bulunan denklemler sadece çok küçük düşümler olması halinde kullanılabilirler.

Kuyular arasındaki girişim konusunda Muskat (1937) dengeli akım halinde bazı özel kuyu konumları için formüller vermiştir. Babbitt ve Caldwell (1948) yaptıkları laboratuvar deneyleri ile Muskat' ın formüllerinin doğruluğunu göstermişlerdir. Aynı şekilde Hantush (1964) dengesiz akım halinde bazı özel kuyu konumları için formüller vermişlerdir. Özyol (1981) serbest yüzlü ve artezyen akiferlerde, dengeli ve dengesiz akım halleri için, arazide gelişigüzel konumlarda açılmış bulunan kuyulara uygulanabilecek genel formüller vermiştir.

2.6.1 Yaklaşık girişim denklemlerinin elde edilmesi

Geçmişte araştırmacılar, kuyular arasındaki girişim olayını incelerken, artezyen kuyular için;

$$D_{Ti} = \sum_{j=1}^n D_{ij} \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2.64)$$

tam süperpozisyon kaidesini ve hesap kolaylığı bakımından serbest yüzlü akiferlerdeki kuyular için de;

$$H^2 - h_{Ti}^2 = \sum_{j=1}^n (H^2 - h_{ij}^2) \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2.65)$$

yaklaşık süperpozisyon kaidesini kullanmışlardır. Burada, D_{Ti} ; (i) kuyusundaki toplam düşümü, D_{ij} ; (j) kuyusundan (Q_j) debisi çekilmesi halinde (i) kuyusunda

meydana gelen düşüm tesirini, H ; serbest akiferdeki statik su tabakası yüksekliğini göstermektedir. Ayrıca h_{Ti} ve h_{ij} değerlerinin düşüm cinsinden ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$h_{Ti} = H - D_{Ti}$$

$$h_{ij} = H - D_{ij}$$

Tadil edilmiş Theis denklemine göre;

$$H^2 - h_{ij}^2 = \frac{W(u_{ij})}{2 \pi k} Q_j \quad (2.66)$$

olarak yazılır. Burada, Q_j ; tesir eden (j) kuyusunun debisini, $W(u_{ij})$; kuyu fonksiyonunu ve k ; hidrolik iletkenliği gösterir. (2.66) denklemindeki u_{ij} ve T ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$u_{ij} = \frac{S r_{ij}^2}{4 T t_j}, \quad T = k \cdot \bar{b} \quad (2.67)$$

Bu ifadelerde, r_{ij} ; (i) ve (j) kuyuları arasındaki uzaklık, t_j ; (j) kuyusundaki pompanın çalışma süresi, $\bar{b}$; dinamik halde serbest yüzölçümlü akiferdeki su tabakası kalınlığıdır.

Ayrıca u_{ij} değerinin hesabında;

$$r_{ij} \geq 1.5 H \quad \text{için} \quad \bar{b} = H,$$

$$r_{ij} < 1.5 H \quad \text{için} \quad \bar{b} = H_w,$$

$$r_{ij} = r_w \quad \text{için} \quad \bar{b} = H_w, \text{ alınır.}$$

Yukarıdaki ifadelerde, r_w ; kuyu yarıçapını, H_w ise kuyu içindeki su yüksekliği ile sızma yüzeyi yüksekliğinin toplamına eşittir. Başka bir ifade ile, kuyu filtresinin dışındaki doyma derinliğidir. Hantush' a göre H_w değeri;

$$H_w = H - \frac{3.75}{2 \pi k H} Q \quad (2.68)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formül $r_w / H < 0.1$ olması halinde geçerlidir.

Diğer taraftan;

(2.73), (2.77), (2.78) ve (2.79) denklem takımları serbest yüzlü akiferlerde, dengesiz akım halinde kuyulardaki girişim olayını ifade eden tam genel denklemlerdir. Bu denklemler kullanılırken küçük düşümlerde geçerli olması şartı yoktur (Özyol ve Gazioğlu, 1996a).



3. AKİFER TESTLERİ

3.1 Genel

Hidrojeolojinin uygulanması konusunda oldukça önemli yer tutan kuyular, çok değişik şekillerde ve farklı alanlarda kullanılmaktadırlar. Kuyular genellikle, içme, kullanma, sulama ve endüstriyel su ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla açılmakla birlikte, akiferin beslenmesi, kirli ve tuzlu suların depolanması, yeraltı su seviyesi ve basıncının düşürülmesi amacıyla da açılırlar. Burada belirtilen yeraltı su seviyesi ve basıncının düşürülmesi, geoteknik problemlerin (barajlar, temeller, şev stabilizasyonu) çözümünde önemli yer tutar.

Bu bölümde, akifer testlerinin analizleri üzerinde durulacaktır. Öncelikle akifer testlerinin amaçları açıklanacak, daha sonra planlama ve analizlerin nasıl gerçekleştirildiği hakkında geniş bilgiler verilecektir. Ayrıca akifer testlerinin avantaj ve dezavantajları da belirtilecektir.

3.2 Akifer Testlerinin Amaçları

Pompa testleri, genellikle akifer karakteristikleri olan (T, K, S) gibi değerlerin belirlenmesi, kuyunun su kapasitesinin ve düşümün bulunması için yapılmaktadır. Bunlardan, akifer karakteristiklerinin bulunması için yapılan çalışmalara akifer testleri denir. Bu testlerde incelemesi yapılan kısım kuyu değil, akiferin kendisidir. Akifer testleri şayet iyi organize edilir ve planlandığı gibi gerçekleştirilirse, yeraltı suyu akım şartları ile ilgili yerel ve bölgesel önemli bilgiler sağlayabilir.

Herhangi bir akifer testinde, genellikle sabit debinin çekildiği bir pompaj kuyusu ve bu kuyunun etrafında, değişik uzaklık ve yönlerde açılan bir veya birden fazla gözlem kuyusu bulunur. Gözlem kuyularında düşüm konisinin değişimini belirlemek amacıyla düşüm ölçümleri yapılır. Akifer testlerinin gerçekleştirilmesi, özellikle hakkında hiçbir ön bilgi bulunmayan akiferler için oldukça pahalı bir sistemdir. Pompaj kuyusu ve gözlem kuyularının açılması maliyeti artıracaktır.

İkinci durumda ise sadece kuyu test edilmektedir. Bunun için bu testlere kuyu testi adı verilir. Kuyu testleri sonucu genellikle kuyunun özgül verimi ve debi-düşüm değerlerinin bulunması sağlanır. Ayrıca pompajda kullanılacak pompa tipinin ve maliyetinin hesaplanması açısından da önemlidir. Kuyu testleri, akifer testlerine

nazaran oldukça ucuz ve basittir. Kuyu testlerinde sadece pompaj kuyusundaki debi-düşüm ölçümleri yapılır. Gözlem kuyularına ve buradaki ölçümlere gerek duyulmaz.

Dengesiz akım testlerinin amacı da, arazide esas kuyu ve gözlem kuyularında yapılan düşüm-zaman ölçüm sonuçlarını fiziksel esaslara dayanan ve basitleştirilmiş matematiksel modeller yardımıyla işleme tâbi tutarak akifer karakteristiklerini belirlemektir. Bu modeller akifer, kuyu veya pompa özellikleri hakkında bilgi sağlayarak sonuçta yeraltı suyu kaynaklarının planlanması, projelendirilmesi, işletilmesi ve idaresi maksadıyla gelecekteki debi, düşüm veya kuyular arası mesafe tahmini gibi hususlarda yardımcı olurlar.

Bu bölümde matematiksel kısma fazla girmeden fiziksel modeller üzerinde durulacaktır. Jeolojik ve fiziksel işlemler karmaşık karakterli tabii akiferlerin analizi için gerekli araçlar olarak verilmiştir.

Bir akiferin hidrolik özellikleri, bir kuyudan sabit debide su çekip pompaj ve gözlem kuyularındaki seviye değişimlerinin zamana göre belirlenmesinden ibaret olan akifer testleri ile tayin edilebilir. Akifer testlerinin şu faydaları vardır:

1. İletkenlik, depolama katsayısı, sızıntı faktörü, drenaj faktörü ve hidrolik direnç gibi genel akifer karakteristiklerinin belirlenmesine yardımcı olur. Ayrıca, akifer kalınlığının bilinmesi halinde hidrolik iletkenliğin bulunması da mümkündür.
2. Geçirimsiz sınırların ve beslemeli sınırların mesafe, yön ve şekli de dahil olmak üzere akifer geometrisi belirlenebilir.
3. Kuyu çevresindeki tali değişiklikler anlaşılabilir.

Önce porozite, hidrolik iletkenlik, iletkenlik, özgül verim, depolama katsayısı, sızıntı faktörü ve geciken verim indeksi gibi akifer karakteristiklerini tayin edip sonra yeraltı suyu kaynaklarının geleceği ile ilgili çeşitli muhtemel alternatiflerin gerçekleştirilmesi için yeraltına ait jeolojik çevreyi göz önünde tutarak bu parametreleri uygun bir model içinde kullanmak suretiyle tam bir tahmin yapılması mümkündür. Böyle bir yaklaşımda ilk adım, incelenen alanda yeraltının jeolojik bileşimi yönünden yapılacak arazi çalışmasıdır. Özellikle kararsız akım esnasındaki

düşümlere ait zaman serileri, çeşitli jeolojik yapıların varlığını ortaya çıkaracaktır. Örneğin, geçirimsiz bir tabaka, düşüm-zaman grafiklerinde bir sıçrama olarak görülecektir. Bu bölümde anlatılacak olan metodların başarılı bir tarzda uygulanabilmesi, büyük ölçüde önceden bu arazide yapılan jeolojik etüd çalışmalarının sonuçlarına bağlıdır. Önceden yapılmış böyle etüd çalışmaları yoksa, test sonuçlarının güvenilir bir şekilde kullanılabilmesi için hiç değilse bu testlerden önce bir ön etüd çalışması yapılmalıdır. Küçük çaptaki hidrojeolojik arazi araştırmaları, yeraltı su havzalarındaki jeolojik yüzey değişimleri ve yeraltı su seviyeleri hakkında yeterli bir bilgi verebilir. Ancak bu ön etüdlardan sonra, bu bölümde verilecek yöntemlerin, yeraltı suyu ile ilgili araştırmanın yapılacağı bölgedeki uygulama çalışmalarında yararlı, doğru ve geleceğe yönelik güvenilir tahminler vermesi beklenebilir (Fetter, 1980).

3.3 Akifer Testlerinin Planlanması

Pompa testleri yapılmak istendiğinde dikkatli planlama gereklidir. Pompa testlerine başlamadan önce testin hangi amaçla yapılacağı belirlenmelidir. Örneğin, herhangi bir kuyunun kapasitesi belirlenecekse, sadece bir pompaj kuyusu açılmalı ve çalıştırılmalıdır. Ancak akiferle ilgili geniş bilgi alınmak isteniyorsa, o zaman çok detaylı bir planlama yapılmalıdır.

Kuyu testleri genellikle akiferlerle ilgili çok fazla bilgi vermezler. Ancak çok iyi bir çalışma yapılabilirse akiferin iletkenliği ve akifer tipinin belirlenmesine yardımcı olabilirler.

Akifer testlerinde ise, pompaj kuyusunun etrafına açılan gözlem kuyularındaki ölçümler sonucunda oldukça fazla bilgi edinilebilir. Akifere ait iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri yanında, hidrolik iletkenlik de belirlenebilir.

Testin amacı açık bir şekilde belirlendikten sonra, ikinci adım; kuyu veya kuyuların yerlerinin belirlenmesidir. Bu işlem yapılırken bölgeye ait tüm eski veriler, ölçümler ve arazi ile ilgili jeolojik, hidrojeolojik ve jeofiziksel özellikler belirlenmeye çalışılmalıdır. Mevcut topoğrafik haritalar yardımıyla bölgede bulunan kuyuların, su kaynaklarının ve yüzeysel drenajların yerlerinin belirlenmesi yapılır. Testin yapılacağı bölgede şayet eski bir kuyu varsa, bu kuyunun pompaj yapılacak kuyuya mesafesi ve kuyudaki yeraltı su seviyesi ölçülerek belirlenmelidir. Ayrıca pompaj esnasında bölgede bulunan herhangi başka bir kuyunun çalışıp çalışmadığı

da dikkatle izlenmelidir. Buradaki amaç düşün konilerinin çakışmasının, dolayısıyla birbirlerini etkilemelerinin önlenmesidir. Yeni bir kuyu açılacaksa, bölgenin jeolojik formasyonu hakkında bilgi almak amacıyla kuyu kesiti çıkartılmalıdır. Bölgede önceden açılmış bir kuyu varsa, kuyunun kesiti, akiferin kalınlığı ve derinliği hakkında bilgi almak için dikkatlice incelenmelidir (Guzetti, 1991).

Kuyuların araziye yerleştirilmesi sırasında en önemli noktalardan bazıları, ekonomik, lojistik ve diğer teknik faktörlerdir. Akifer testlerinin gerçekleştirilmesi için yer seçiminde dikkat edilmesi gereken bazı önemli hususlar aşağıda belirtilmiştir.

1. Kuyu, mümkün olduğu kadar homojen bir bölgeye açılmalıdır. T, S, k gibi hidrojeolojik karakterler kuyu etrafında çok fazla bir değişim göstermemelidir.
2. Bu bölgeye yakın herhangi bir noktada başka bir pompajın yapılmadığından emin olmak gerekir. Ayrıca kuyudan çekilen su tekrar akifere verilmemelidir. Bu durum sığ, serbest yüzü akiferlerde ve uzun süreli testlerin yapılacağı durumlarda oldukça önemlidir.
3. Testin yapılacağı bölge tren yollarına ve karayollarına yakın seçilmemelidir. Zira basınçlı akiferlerdeki piyezometrik su seviyesi ağır trafik sebebiyle dalgalanmalara sebep olabilir.
4. Pompa, motor ve borulama sistemleri test bölgesinde hazır ve çok güvenilir olmalıdır. Burada en önemli nokta pompanın sabit debiyi çekmesidir. Pompanın çalışmaması durumunda test yarım kalacak ve sonuçta elde edilen veriler sağlıklı olacaktır. Bu durum da zaman ve para kaybına neden olacaktır (Fetter, 1980).

3.4 Akifer Testlerinin Uygulanması

Yukarıda bahsedilen adımlar gerçekleştirildikten sonra, akifer testlerine başlanabilir. Pompaj esnasında ve öncesinde kuyulardaki su seviyelerinin ölçülmesi için en gelişmiş ölçüm aletleri kullanılmalıdır.

Pompaja başlamadan önce kuyudaki su seviyesi öncelikle ölçülmelidir. Eğer test önceden çalışır durumda bulunan bir kuyuda yapılacaksa, ilk önce pompaj belirli bir süre durdurulmalı ve sonra testlere başlanmalıdır. Buradaki amaç, piyezometrik seviyenin doğal durumdaki seviyeye eşit olmasının sağlanması, dolayısıyla kuyu etrafındaki dik hidrolik eğimin oluşmasının önlenmesidir. Diğer çalışır durumdaki pompaj kuyuları da durdurulmalıdır. Ancak bu durum çoğunlukla mümkün olmaz. Zira kuyu sahiplerinin birçok nedenle kuyularda pompajı uzun süreli olarak durdurmaları istenemez.

Test sabit pompaj debisi ile yapılmalıdır. Burada kuyudan çekilen debinin miktarı bir vana ile kontrol edilmeli, dolayısıyla pompanın zamanla değişen performansı gözönüne alınmalıdır. Test esnasında periyodik olarak debi ölçümleri kontrol edilmelidir. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlar sürekli olarak kaydedilmelidir.

Önceden hazırlanmış kağıtlara, zaman ve kuyudaki su seviyesi işlenmelidir. Düşümlerin hesaplanması genellikle sonraya bırakılır. Kuyudaki su seviyesinin ölçülmesine, pompajın birinci dakikasında başlanmalıdır. İlk okumadan sonra, her 30 saniyede bir ölçüm yapılmalı ve bu işleme 5 dakika kadar devam edilmelidir. Daha sonra ise birer dakika aralıklarla 20 dakikaya kadar sürdürülmelidir. 20 dakikadan bir saate kadar ise her 5 dakikada bir ölçüm yapılmalıdır. Bir saat ile iki saat arasında her 10 dakikada bir ölçüm yapılmalıdır. Daha sonra ise 5. saata kadar 30 dakikada bir, 12. saata kadar saatta bir ve sonra her altı saatta bir ölçümler tekrarlanmalıdır.

Akifer karakteristiklerinin hangi hassaslıkta istendiğine, akifer tipine, akifer cinsine ve ekonomik şartlara göre ölçümler birkaç saattan birkaç güne kadar değişebilir. Tabii ki en iyi sonuç akiferde dengeli durumun oluşması yani düşüm konisindeki değişimin sabitlendiği ana kadar devam eden akifer testlerinden alınabilir. Akifer testi başladığında düşüm konisi hızlı bir şekilde oluşacaktır. Pompaj testi sürdürükçe, düşüm konisi zamanla azalan bir şekilde genişleyecektir. Bu durumun oluşması, akiferde depolanmış suyun kuyuya doğru gelmeye başlaması sebebiyledir.

Birçok kuyuda dengeli akım durumunun oluşması, pompajın başlamasından birkaç saat sonra görülür. Bazen, bu durumun oluşması günlerce veya haftalarca sürebilir. Bazı kuyularda ise dengeli akım durumu hiç oluşamayabilir. Genellikle normal şartlarda, basınçlı akiferlerde veya sızdırmalı akiferlerde dengeli akımın oluşması için gerekli pompaj süresi, pompajın başlamasından 15 veya 20 saat sonradır. Serbest yüzölü akiferler için bu süre günler, hatta haftalarca sürebilir.

Pompaj kuyusunun etrafında açılan gözlem kuyularındaki düşümler de ölçülmelidir. Bu her zaman mümkün değildir. Pahalı bir iş olduğundan genellikle gözlem kuyusu sayısı bir veya iki ile sınırlandırılır. Ancak bazen mevcut bir kuyu veya yapımı süren bir kuyu gözlem kuyusu olarak kullanılabilir.

Gözlem kuyuları, pompaj kuyusunun etrafına çok dikkatlice ve düşüm-zaman verilerini en uygun verecek şekilde yerleştirilmelidir. Teoride en az dört gözlem kuyusu yerleştirilmesi gereği vardır.

Burada önemle üzerinde durulması gereken nokta, tek bir pompaj kuyusu verileri ile akiferin iletkenlik (T) değerinin belirlenebilmesidir. Depolama kapasitesi (S) ve özgül verim (S_y)'nin belirlenebilmesi için, pompaj kuyusu yanında en az bir gözlem kuyusunun bulunması gerekir. Burada tercih araştırmacıya düşmektedir. Çok verimli verilerin elde edilmesi isteniyorsa ve ekonomik olarak da bir problem yoksa, uzun süreli ve birden fazla gözlem kuyulu testlerin yapılması oldukça faydalı bilgiler verecektir.

Planlanan pompa testi bittikten sonra, pompa durdurulmalıdır. Pompaj durdurulduğunda akiferdeki su seviyesi pompajın başlangıcındaki seviyeye tekrar dönecektir. Bu duruma akiferin geri çekilmesi adı verilir. Geri çekilme dataları da dikkatlice izlenmelidir. Bazen bu datalar, düşüm verilerine nazaran daha sağlıklı olabilir. Bu durum pompaj debisinin sabitlenemediği veya pompanın arızalandığı durumlarda oldukça önemli olmaktadır.

Pompa testleri başarıyla tamamlandıktan sonra, elde edilen düşüm-zaman verileri akiferin hidrolik karakteristiklerinin bulunmasında kullanılmak üzere hazırlanırlar. Akifer karakteristiklerinin belirlenmesi için literatürde birçok metod vardır. Bu metodlardaki çözümler, genellikle akifer tipine ve sınır şartlarına bağlı olarak değişim gösterirler (Guzetti, 1991).

3.5 Parametreler - Değişkenler

Yeraltısuyu çalışmaları ile ilgili herhangi bir sistematik işlem yapılmadan önce, arazi çalışmalarından elde edilen verileri yorumlamak, akifer ve kuyu karakteristikleri ile ilgili önemli neticelerin alınmasına yardımcı olur.

Herhangi bir pompa test çalışmasında kuyudan yapılan pompaj esnasında gözlem kuyularındaki düşüm-zaman değerleri belirlenir. Yeraltı suyu etüdlerinde yaygın olarak kullanılan iki tip pompa testi vardır. Birincisine akifer testi denir. Bu testte elde edilen veriler iletkenlik, depolama katsayısı, sızıntı v.s. gibi akifer parametreleridir. Akifer testi, jeolojik etüdlerin bir parçası olup su seviyeleri ve laboratuvar analizleri dahil olmak üzere yeterli sondaj bilgilerine sahip olununcaya kadar sürmelidir. Dikkatle yapılan akifer testleri, yersel ve bölgesel yeraltı suyu akım problemlerine ait temel çözümler sağlayabilir. Bu bölümde arazi verilerinden elde edilen akifer parametrelerinden yararlanmayı sağlayacak farklı model ve işlem şekilleri üzerinde durulacaktır. İkinci tip test ise kuyu testi olarak bilinmekte olup; sadece kuyu karakteristiklerinin tayini için gerekli verileri sağlamaktadır.

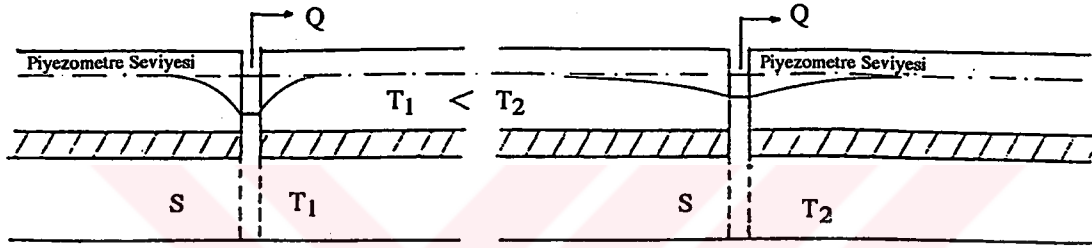
Bütün testlerin ortak özelliği, düşüm-zaman, düşüm-mesafe, düşüm-zaman-debi veya düşüm-zaman-mesafe verilerini sağlamaktır. Bunların herhangi bir grafik kağıdında gösterilmesinde, düşüm ile diğer bir değişken basit bir şekilde ifade edilebilir. Bu grafiklere arazi veri föyleri denir. Bu veri föyleri, gerekli parametrelerin belirlenmesi için farklı teorik modeller gerektirir. Bu modeller akifer, kuyu, akım, malzeme, penetrasyon ve sınır tiplerine ait farklı kombinasyonlara dayanır. Teorik olarak bütün bu çözümleri kapsamak için gerekli model sayısı bu kombinasyonların sayısına eşittir. Ancak pratikte bu çözümlerin hepsi uygulanabilir değildir. Fakat en çok karşılaşılan kombinasyonlar bu kısımda ele alınacaktır.

Akifer karakteristikleri ile temel test değişkenleri arasındaki karşılıklı ilişkiler hakkında gerekli ve yeterli bilgiler mevcut ise, arazideki zaman-düşüm ölçümlerinin veya bunlara göre hesaplanan akifer parametrelerinin belirlenmesi büyük bir güvenle gerçekleştirilebilir. Akifer karakteristikleri, akifere ait depolama, iletkenlik ve sızıntı parametrelerinin belirlenmesinden ibarettir. Genel olarak akifer karakteristiklerinin belirlenmesi çalışmasında, debi, düşüm, zaman ve mesafe dört esas temel test değişkeni olarak bilinir. Kararlı akım durumunda ise zaman parametresi dışında kalan üç temel parametre sözkonusudur. Ancak tahmin ve işletme etüdlerinde zamanın, hem direkt olarak hem de dolaylı olarak genişleyen bir tesir yarıçapı şeklinde düşüm ve mesafeye etkisi vardır.

Yeraltı suyu çalışmalarındaki herhangi bir test sırasında, yukarıda bahsedilen dört temel değişkenin aynı anda değişimlerini incelemek hemen hemen imkansızdır. Genellikle testin amacına bağlı olarak bu değişkenlerden birisi sabit tutulur. Örneğin

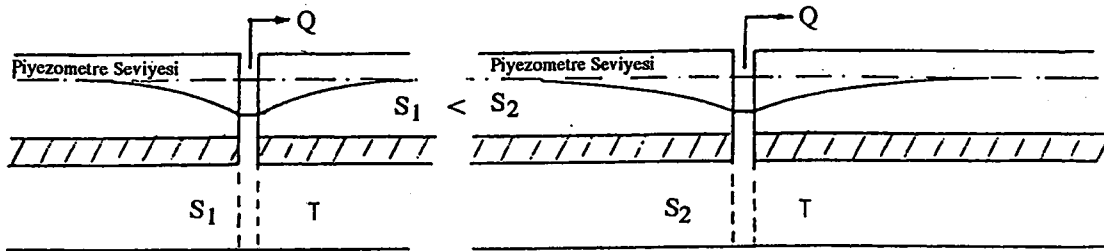
birçok durumda problemin matematiksel olarak incelenmesi kolaylaşacağından debi sabit tutulabilir.

Bütün akifer parametreleri ve akiferden çekilen debinin sabit tutulduğu akifer parametreleri ile test değişkenleri arasındaki ilişkiyi göz önüne alan ve farklı iletkenliğe sahip iki basınçlı akifer Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Düşük iletkenliğe sahip akiferde alçalma konisi derin olup, hidrolik eğim daha fazla ve yüksek düşüm değerleri mevcut iken; yüksek iletkenlikli akiferlerde geniş bir koni, yatık bir hidrolik eğim, küçük düşümler ve oldukça geniş tesir yarıçapları oluştuğu görülmektedir.

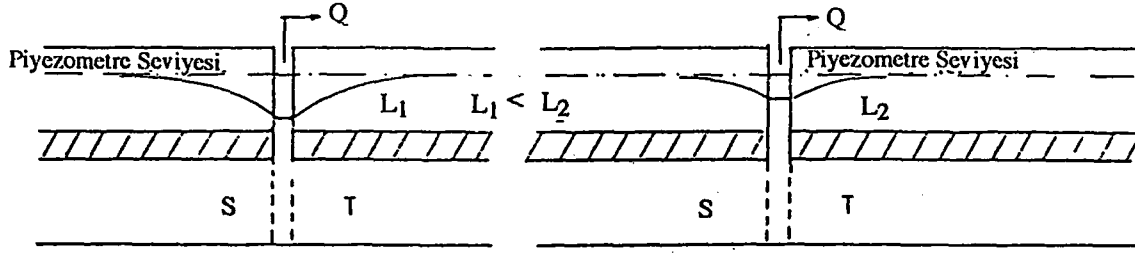


Şekil 3.1 Farklı iletkenliğe sahip iki akifer

Birim debinin, Darcy kanununun geçerli olması durumunda kuyu çevresinde büyük, kuyudan kısa bir mesafe sonra daha küçük değerler almaya başladığı görülür. Burada, tesir yarıçapı ile iletkenlik arasında direk bir ilişki söz konusudur. Diğer taraftan Şekil 3.2'de görülen iki akiferin depolama katsayıları farklı olup diğer parametreleri sabittir. Bu durumda depolama katsayısının değeri küçüldükçe, düşümler büyüyecek ve alçalma konisi de genişleyecektir. Bu durum tesir yarıçapı ile depolama katsayısı arasındaki ters bir ilişkinin olduğunu gösterir. Şekil 3.3 alçalma konisinin gelişmesinde sızıntı faktörünün etkisini göstermektedir. Küçük sızıntı faktörleri geniş kapsamlı alçalma konilerini doğurmaktadır.



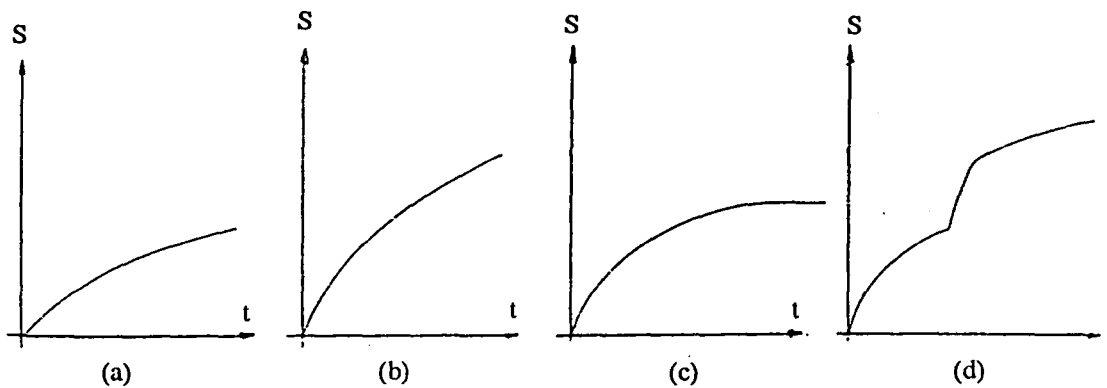
Şekil 3.2 Farklı depolama katsayısına sahip iki akifer



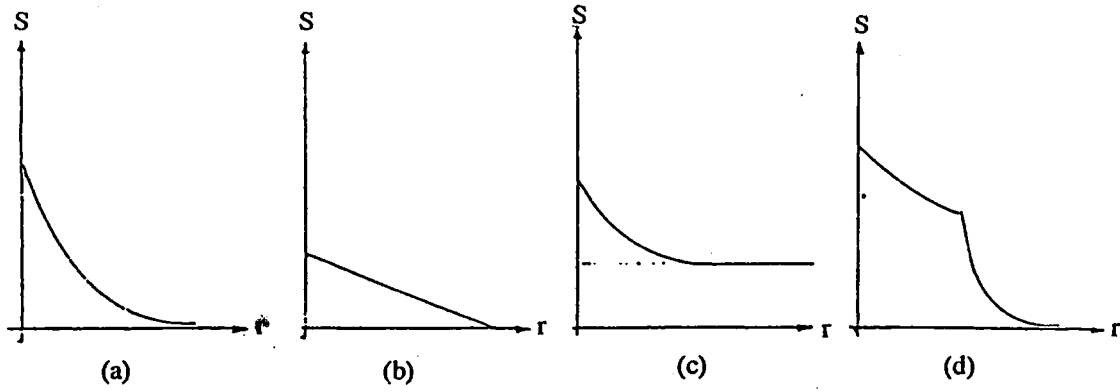
Şekil 3.3 Farklı sızıntı faktörüne sahip iki akifer

Yukarıdaki incelemelerden anlaşılacağı üzere, akifer parametrelerinin rölatif değerleri ne olursa olsun su çekilmesi esnasında kuyu çevresinde daima bir alçalma konisi oluşacaktır. Aynı akifer için debi değeri büyüdükçe alçalma konisi de genişleyecektir. Herhangi bir yeraltı suyu çalışmasında aşağıdaki önemli ilişkilere rastlamak mümkündür:

1. Düşümler zamanla doğru orantılıdır. Bu orantı, akifer parametreleri ile debinin fonksiyonudur. Şekil 3.4' de görülen ve aritmetik grafik kağıdında düşüm ile zaman arasında farklı ilişkileri gösteren grafiklerin tümü benzer konkav bir şekle sahip olup zamanla azalan bir eğriliğe sahiptir.
2. Düşümler mesafeyle ters orantılıdır. Bu azalmanın şekli negatif eksponansiyel tip olup, düşümün maksimum değeri, akifer üzerinde açılan kuyuda meydana gelecektir. Şekil 3.5' de bu ilişkinin muhtemel şekilleri görülmektedir.
3. Düşüm ile debi arasında daima doğru bir orantı mevcuttur. Marsily (1986), kuyunun "karakteristik eğrisi" adını verdiği böyle bir ilişkiyi konveks ve parabolik tipte Şekil 3.6 a' da görüldüğü gibi vermiştir.

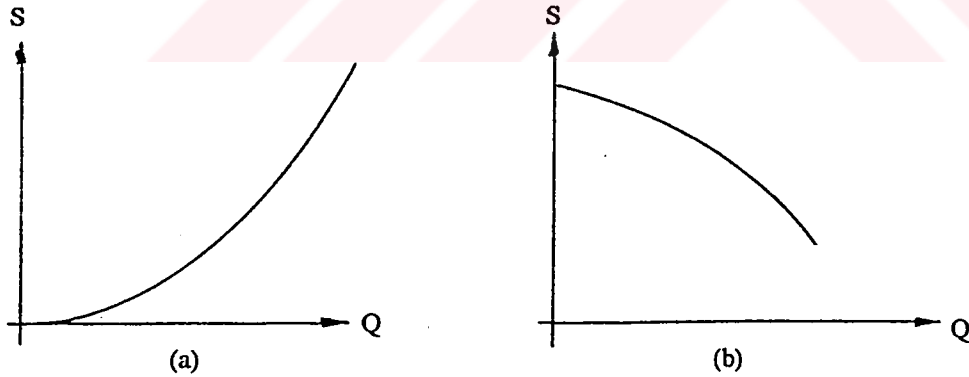


Şekil 3.4 Düşüm-zaman ilişkisi



Şekil 3.5 Düşüm-mesafe ilişkisi

Ancak pompa cihazı yönünden bakıldığında debi-düşüm arasında Şekil 3.6 b' de ki gibi ters bir ilişki vardır. Bu ilişkiye pompa karakteristik eğrisi denir. Bu eğri düşüm arttığında çekilen debinin azalacağını göstermektedir. Yukarıda bahsedilen bütün ilişkiler, akifer parametrelerine bağlı olup akım bölgesinin başlangıç ve sınır şartlarında geçerli olacaktır. En küçük kareler metodu ile istatistiksel olarak herhangi bir arazi verilerine en iyi uyan eğriyi bulmak mümkünse de, elde edilecek sonuçların yorumlanması zor ve tam olarak akiferin fiziksel özelliklerini yansıtmaması bakımından güç istatistiksel parametreler halindedir. Bundan dolayı idealize edilmiş akiferlerin fiziksel temelli modellerini geliştirmek ve bunların eğrilerini, parametreleri belirlemek üzere arazi verilerine karşılaştırmak şeklindeki yöntemler gereklidir (Şen, 1995).



Şekil 3.6 Karakteristik eğriler

3.6 Arazi Testlerinin Avantaj ve Dezavantajları

Herhangi bir testin gayesi akifer karakteristiklerini veya kuyu parametrelerini tayin etmektir. Bu testlerin performansı zaman, kapital ve personel cinsinden mevcut imkanlara bağlıdır. Akifer karakteristiklerinin bulunması için yapılan pompa testleri laboratuvar veya nümerik modellerden çok daha sağlıklı sonuçlar verirler. Arazide

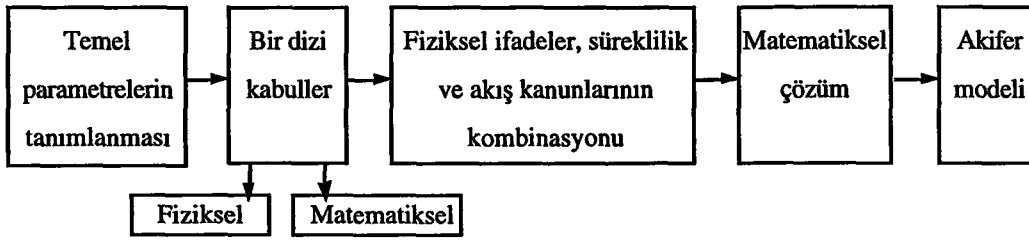
yapılan pompa testi çalışmaları, aşağıdaki hususlardan bir veya birkaçını belirleyerek avantaj sağlarlar.

1. Sadece ilgili akifer karakteristiklerinin tayini. Temel parametreler, depolama katsayısı, iletkenlik, sızıntı faktörü, gecikmiş verim v.s.dir.
2. Kuyu kayıpları, emniyetli verim, özgül düşü ve kuyunun özgül kapasitesi gibi kuyu karakteristiklerinin tayini.
3. Jeolojik ve/veya hidrolojik sınırların (geçirimsiz sınırlar, faylar, birleşim yüzeyleri v.s. gibi) tayini. Bunlara ilaveten sızma ve sızıntı yüzeylerinin belirlenmesi.
4. Düşüm konisinin şekli ve tesir yarıçapının tayini. Bu ise kuyuların uygun şekilde yer tayini, projelendirme, idare ve inşaatını sağlar.
5. Yeraltında beslenme, çekilme ve tuzlu su girişi ile ilgili gelişmelere ait hususların tayini.
6. Özellikle inşaat mühendisliğinde temel çukurlarındaki kurutma alanı boyutlarının tayini.

Arazideki pompa testlerinin en büyük dezavantajı pompaj ve gözlem kuyularının açılmasının çok masraflı olmasıdır. Ayrıca bu testler titizlik ve dikkat istemektedir (Şen, 1995).

3.7 Akifer Modeli

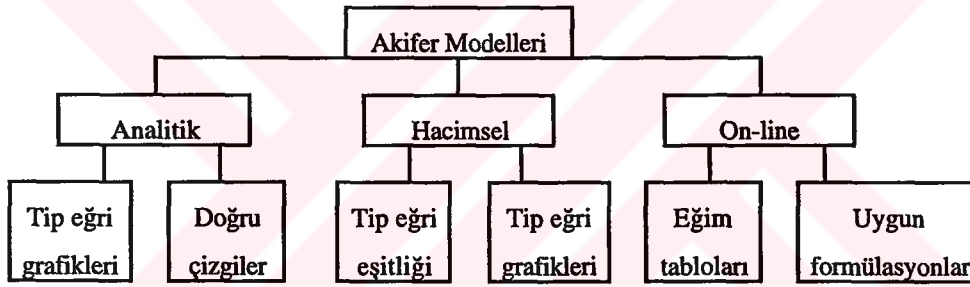
Akiferle ilgili parametreler, arazi üzerinde yapılan test çalışması sonucunda elde edilen verilere uygun bir fiziksel model geliştirildikten sonra belirlenebilir. Buradaki model, değişkenlerle parametreler arasındaki teorik bir bağıntıyı göstermektedir. Herhangi bir akifer modelinin geliştirilmesi Şekil 3.7' de gösterilen beş kademeyi gerektirir.



Şekil 3.7 Modelleme akış şeması

Şekil 3.7' deki son kademe olan akifer modeli, Şekil 3.8' de de gösterildiği gibi tip eğriler, eşitlikler, eğimler ve adapte edilmiş işlemler şeklinde üç farklı metodu içermektedir.

Her akifer için bu şekildeki bütün matematiksel modellerin uygulanabilir olması şart değildir. Uygun modelin seçilmesi, akifer akımı ve kuyu tipleri yanında kuyular arasındaki etkileşimlere de bağlıdır (Şen, 1995).



Şekil 3.8 Değişik akifer model şekilleri

3.8 Akifer Testlerinin Değerlendirilmesinde Kullanılan Dengesiz Akım Denklemi

Kuyularda akifer testleri yaparak ve dengesiz akım denkleminde yararlanarak, su taşıyan formasyonların iletkenlik ve depolama katsayısı bulunabilir. Bu katsayılar bilindiği takdirde, belirli bir kuyuda ve belirli bir verim için meydana gelecek, düşüm de aynı denklem yardımıyla bulunabilir.

Önceki bölümde verilen (2.49) dengesiz akım denkleminin, akifer testlerine uygulanması için aşağıdaki kabullerin yapılmış olması gerekir:

1. Akifer homojen ve izotropdur,
2. Akifer alanının yayılımı sonsuzdur,
3. Kuyu akiferin tamamını katetmiştir (tam penetrasyon),

4. Kuyu çapı sonuca etki yapmayacak kadar küçüktür,
5. Basıncın düşmesini takiben su rezervden boşalır.

Bu denklemin akifer testlerine tatbiki ve bu sayede T ve S katsayılarının belirlenmesi için, arazide bir pompaj kuyusundan sabit ve belirli bir debide su çekilir. Bunun etkisiyle kuyu çevresinde, akiferde meydana gelecek su seviyesi veya basınç yüzeyindeki düşümler, akifer içerisinde açılacak gözlem kuyularından ölçülür (Şen 1995).

(2.50) denklemi veya bunun genişletilmiş hali olan (2.52) no'lu denklemlerin tatbikatındaki güçlüklerden dolayı, araştırmacılar bu denklemin arazi şartlarında uygulanmasına ve yaklaşık sonuçlar elde edilmesine yarayan bazı çözümler elde etmişlerdir. Aşağıda bunlardan, Theis (1935) ve Jacob (1946) tarafından geliştirilmiş metodlar hakkında bilgi verilecektir.

3.9 Basıncılı Akifer Modelleri

3.9.1 Theis metodu

Theis 1935 yılında ısı transferi ile yeraltı suyu akımı arasında kurduğu bir benzetim ile basıncılı akiferlerde açılan kuyular için aşağıdaki yöntemi önermiştir. Yeraltı suları için geçerli olan diferansiyel denklemin genel çözümü (2.53) denklemi ile verilmiştir. Bu denklem tekrar düzenlenerek yazılacak olursa

$$s = H - h = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (3.1)$$

şeklini alır. Burada s, kuyudaki düşüm değeridir. Ayrıca u değeri (2.51) denkleminde görüldüğü gibi $u = (r^2 s / 4 T t)$ şeklinde verilmiştir.

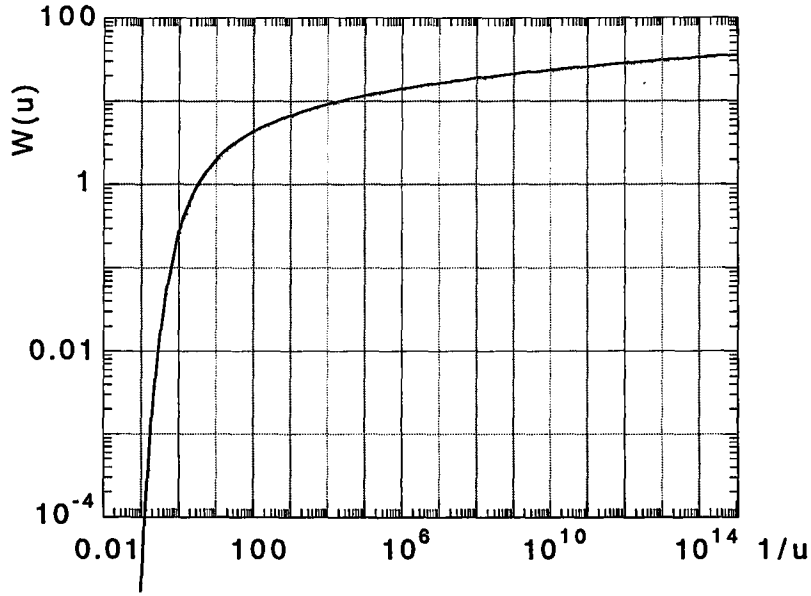
Akifer testleri sonuçlarından akiferin iletkenlik ve depolama katsayısı değerlerini elde etmek için Theis, grafik süperpozisyon esasına dayanan yaklaşık bir çözüm şekli vermiştir. Bu geliştirilen çözüm logaritmik kağıt üzerindeki eksenin bir tarafına elde edilen **u değerleri**, diğer tarafına ise **W(u)** değerleri işaretlenerek tip eğri hazırlanmıştır. Tip eğrinin çizilebilmesi için gerekli, u değerlerine karşılık gelen W(u) değerleri Çizelge 3.1' de ve Theis tip eğrisi Şekil 3.9' da verilmiştir.

Çizelge 3.1 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

Başka bir logaritmik kağıda ise ($H - h$) düşüm değerlerine karşılık, r^2/t değerleri; tip eğrideki ile aynı ölçekte olacak şekilde işlenir. Logaritmik kağıt üzerinde iki grafiğin koordinat eksenleri birbirine paralel gelecek şekilde çizilen eğri ile tip eğrisi karşılaştırılır. Çizilen eğri ile tip eğrinin tam olarak karşılaştığı noktalardan uygun bir tanesinin koordinatları alınır. Bu suretle $W(u)$, u , ($H - h$), ve r^2/t değerleri elde edilir. Bu değerler (2.51) ve (2.53) denklemlerinde yerine yazılarak, basınçlı akifere ait T ve S katsayıları bulunur.

Walton(1953) bu metotda yapmış olduğu iki yeni değişik yöntemle zaman tasarrufu sağlamıştır. Birinci yöntemde, r^2/t hesabından kaçınmak için $H - h$ değerlerinin karşısına t değerleri işlenir. Bu durumda tip eğri, çizilen eğri ile kesişir ve çakışma noktasından yukarıya doğru döner. Sonuçlar birbirlerine yakındır. İkinci yöntemde, çakışma noktası eğri üzerinde seçilmez. Tip eğride $W(u)$ ve u değerlerinin kesiştiği yerde seçilir. Bu değerler belli olduğundan T ve S için uzun hesaplamalara gerek kalmaz.



Şekil 3.9 Theis tip eğrisi

3.9.2 Jacob metodu

Cooper ve Jacob (1946) yapmış oldukları araştırmada, r değerinin küçük ve t süresinin de uzun olduğu hallerde u değerinin çok küçük olduğunu tesbit etmiştir. Bu durumda (2.52) denklemindeki ilk iki terim hariç, diğerleri dikkate alınmayabilir. Böylece yeni denklem;

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) \quad (3.2)$$

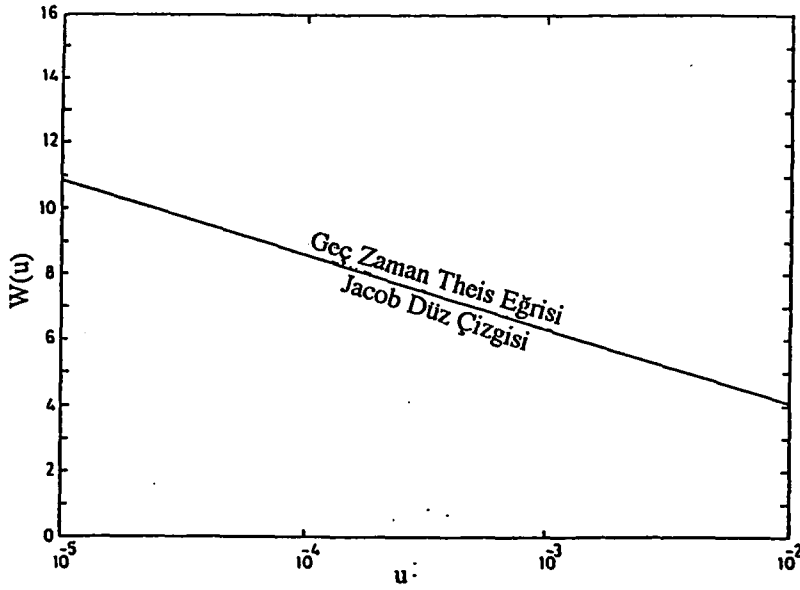
Bunun sonucu olarak düşüm aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$H - h = s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} \left(-0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4 t T} \right) \quad (3.3)$$

Bu denklem düzenlendiğinde;

$$s(r,t) = \frac{2.3 Q}{4\pi T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 S} \quad (3.4)$$

elde edilir. Jacob metodunun, (3.4) denkleminde hareketle düşüm-zaman, düşüm-mesafe ve düşüm-zaman-mesafe (t/r^2) şeklinde üç tip çözüm şekli vardır. Her üç metoddaki grafikler, Theis eğrisinin son kısmı için Şekil 3.10' da gösterildiği gibi yarı logaritmik ölçekli kağıt üzerinde düz çizgi oluştururlar.

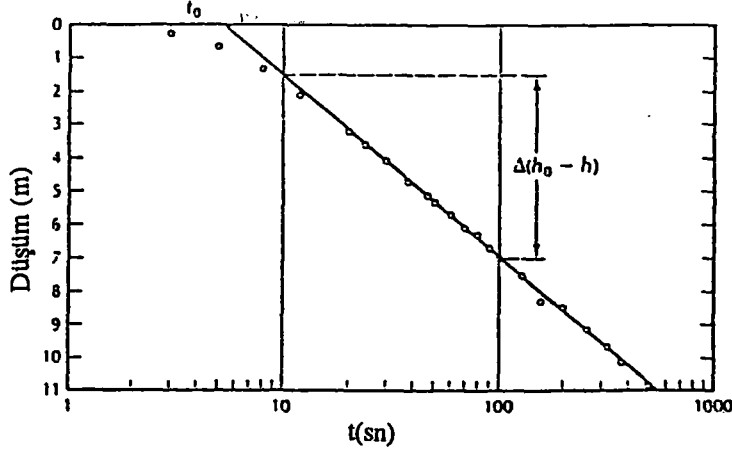


Şekil 3.10 Jacob düz çizgi grafiği

Düşüm-zaman modeli, pompaj kuyusundan belirli bir süreyle sabit debi çekilmesi durumunda, r uzaklığındaki gözlem kuyusunda meydana gelen düşüm değerlerinin belirlenmesiyle uygulanır. Bu duruma göre, bir yarı logaritmik kağıtta t zamanının logaritmasına karşılık $H - h$ düşümü işlendiği takdirde, grafik düz bir çizgi halinde görülür. Pompa testinde belirli zaman aralıkları ile bir gözlem kuyusunda düşümler ölçülmek suretiyle elde edilen $H - h$ ve t değerleri yarı logaritmik kağıt üzerine işlenmek suretiyle düz çizgi elde edilir. Elde edilen bu çizginin zaman eksenini kestiği t_0 noktası belirlenir. Düşüm farklarından düz çizginin eğimi Δs_t ' de belirlenerek akiferin iletkenlik ve depolama katsayıları hesap edilebilir. Bu metotda T ve S katsayılarının bulunması aşağıdaki denklemler vasıtası ile olur (Şekil 3.11).

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_t} \quad \text{ve} \quad S = \frac{2.25 T t_0}{r^2} \quad (3.5)$$

Düz çizginin eğiminin dik olması, iletkenlik değerinin düşük çıkması anlamına gelecektir. Δs_t eğimi logaritmik ölçekli kağıtta direk grafikten okunabilir. Bu metotdan doğru sonuç almak için u değerinin 0.01'den küçük olması gerekir. u değeri 0.01'den büyük olduğu hallerde önemli hatalara düşülebilir.



Şekil 3.11 Düşüm-zaman grafiği

Düşüm konisinin değişiminin belirlenmesi için değişik uzaklık ve yönlerde gözlem kuyularının bulunması gerekir. Belirli bir zamanda, yarı logaritmik ölçekli bir kağıt üzerine işlenecek düşüm-mesafe değerlerinde, şartlar sağlandığı takdirde, düz çizginin oluşması gerekir. Burada, dengeli akım ve yarı dengeli akım durumuna ulaşıldığının belirlenmesi yani düşüm konisinin tam oluştuğu son zamanlara ait düşüm değerlerinin kullanılması önemlidir. (3.4) denkleminde anlaşılabileceği gibi pompaj kuyusundan r uzaklığındaki gözlem kuyusunun mesafesinin düşümle ters orantılı olduğu görülmektedir. Bu yüzden, oluşan düz çizginin eğimi negatif ve mesafe aksını kestiği nokta düşümün sıfır olduğu yani etki yarıçapının belirlenebileceği nokta olacaktır. Bu metodun kullanılabilmesi için en az üç değişik piyezometredeki ölçümlerin bilinmesi gereklidir. (3.4) denkleminin düzenlenmesi yapılacak olursa;

$$T = \frac{2.3 Q}{2 \pi \Delta s_r} \quad \text{ve} \quad S = \frac{2.25 T t_0}{r_0^2} \quad (3.6)$$

elde edilir. Burada r_0 etki yarıçapını, t_0 ise düşümlerin ölçüldüğü zamandır. (3.6) denklemindeki birinci ifade de (-) işareti bulunmaktadır. Ancak Δs_r 'nin değerinin (-) olması sonucu T pozitif çıkacaktır. (3.5) ve (3.6) denklemlerindeki T değerleri karşılaştırıldığında yarı logaritmik olarak işaretlenen düşüm-mesafe eğiminin, düşüm-zaman eğimine nazaran iki misli daha fazla çıkacağı görülmektedir.

Jacob Metodunun üçüncü hali ise, düşüm-zaman-mesafe verilerinin üçünün birden kullanılması ile gerçekleşir. Burada, değişik gözlem kuyularında aynı anda ölçülen düşüm değerlerinin t/r^2 oranına bağlı olarak belirlenmesi gerekir. t/r^2 değerleriyle,

düşümlerin yarı logaritmik ölçekli kağıt üzerinde işaretlenmesi düz bir çizgi meydana getirir. (3.4) denkleminde düz çizginin eğimi aşağıdaki gibi olur;

$$\Delta s_{(t/r)} = \frac{2.3 Q}{4 \pi T} \quad (3.7)$$

Buradan T değeri çekilirse;

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_{(t/r)}} \quad (3.8)$$

elde edilir. Depolama katsayısı (S) ise (3.4) denkleminin düzenlenmesiyle;

$$S = 2.25 T \left(\frac{t}{r^2} \right)_o \quad (3.9)$$

şeklinde bulunur. Burada $(t/r^2)_o$, elde edilen düz çizginin t/r^2 aksını kestiği noktadır. Bu noktanın, depolama katsayısının belirlenmesine yardımcı olması dışında herhangi bir fiziksel manası yoktur.

Jacob düz çizgi metodlarından elde edilen eğim değerleri birbirleriyle karşılaştırıldığında;

$$\Delta s_t = \frac{\Delta s_r}{2} = \Delta s_{(t/r)} \quad (3.9)$$

olur. Burada, düşüm-zaman ve düşüm-zaman-mesafe çizgileri ile elde edilen eğimlerin, düşüm-mesafe modelindeki eğimin yarısına eşit olduğu görülür.

Bu metodlardan düşüm-zaman modeli ile, akifer karakteristiklerinin belirlenmesi için en az bir tane gözlem kuyusuna ihtiyaç vardır. Diğerlerine göre az sayıda gözlem kuyusu gerektirdiğinden en sık kullanılan metod düşüm-zaman modelidir. Diğer taraftan düşüm-mesafe modeli, uygulaması için en az üç gözlem kuyusuna ihtiyaç duyulması sebebiyle oldukça pahalı bir yöntem olmaktadır. Ancak bu metod etki yarıçapının en doğru şekilde tahmini için oldukça uygundur. Düşüm-zaman-mesafe modeli için yine birden fazla gözlem kuyusuna ve bu kuyulardaki düşümlere ihtiyaç vardır.

3.10 Serbest yüzlü akifer modelleri

Serbest yüzlü akiferlerdeki yeraltı suyu hareketi, basınçlı akifer durumundan jeolojik, hidrolojik, geometrik ve fiziksel olarak farklı bir görünüm arz eder. Serbest yüzlü akiferler bu farklılıkların sonucu olarak çok daha karmaşık matematiksel işlemler gerektirir. Bundan dolayı serbest yüzlü akiferlerdeki kararsız akımla ilgili literatür çalışmaları basınçlı akiferlere göre daha yeni olup, bu konuda oldukça az inceleme yapılmıştır.

Serbest yüzlü akiferlerin üst kısmında sınırlayıcı bir tabakanın bulunmaması, yeraltı suyu akımını üç boyutlu kılar. Aynı sebepten dolayı akiferdeki doymuş su yüksekliği özellikle pompaj kuyusu civarında sabit kalmaz. Akiferdeki doymuş tabaka kalınlığında değişim, iletkenlik ve depolama katsayısının belirlenmesi işlemine yansır. Bundan dolayı serbest yüzlü akiferlerde, hidrolik iletkenlik ve özgül verim değerleri daha çok önem kazanır. Ayrıca efektif gerilme artışından ve piyezometrik basınç azalmasından dolayı meydana gelen ve suyu boşalmış bölgede (alçalma konisi) yerçekimi etkisindeki drenajdan ibaret olan üçüncü bir su hareketi vardır. Bu hareket, alçalma konisi teşekkülüne bağlı olup, pompajın başlangıcında değil, alçalma konisinin genişlemesine bağlı olarak pompaj süresinin uzaması neticesinde oluşur. Bu olay bir bakıma pompanın çalışmaya başlamasından bir süre sonra yerçekimi drenajı yeraltı suyu beslenmesi rolünü oynar.

Serbest yüzlü akiferlerin analizlerinde dikkati çekecek önemli bir fiziksel özellik ise, yerçekimi drenajı etkisi ile depolama katsayısının zamanla azalıp, sonunda özgül verime eşit olmasıdır.

Nwankwor ve arkadaşları (1985), bir akifer testi sırasında özgül verimin arttığını ileri sürerken; Neuman (1987), pompaj süresi ilerledikçe özgül verimin zamanla büyümesi yüzünden su dengesinin tatbik edilemeyeceğini bildirmektedir.

3.10.1 Sınırlayıcı modeller

Bu modeller basınçlı akifer modellerinin serbest yüzlü akiferlere nasıl uygulanabileceği düşüncesinden ortaya çıkmıştır. Sınırlayıcı modellerin uygulanması için, serbest yüzlü bir akiferin en az basınçlı akifere benzer fiziksel özelliklere sahip olması gerekir. Sınırlayıcı modellerin uygulanabilmesi için aşağıdaki noktalar dikkate alınmalıdır:

1. Akiferin tam doymuş tabaka kalınlığı (b) oldukça büyük, maksimum düşüm (s_M) oldukça küçüktür. Pratikte $(s_M/b) \times 100 < 10$ şeklinde olması basınçlı akifer modellerinin serbest yüzlü akiferlere tatbiki için iyi bir kriterdir. Bu şartlar altında üç boyutlu akım, radyal akım olarak ele alınabilir ve yerçekimi drenajının etkisi ihmal edilebilir.
2. Boulton' un (1963) teorik incelemelerine göre zaman-düşüm ölçümleri, doymuş tabaka kalınlığının 0.2~0.6 katı mesafelerdeki gözlem kuyularında yapılmalıdır.
3. Boulton (1963) basınçlı akifer modelleri için pompajın başlamasından sonraki minimum zaman aralığı hesabı için aşağıdaki formülü vermiştir.

$$t \geq \frac{5S_y b}{k} \quad (3.11)$$

Burada S_y ve k sırasıyla özgül verim ve hidrolik iletkenliktir. Jacob metodu, bu denklemdeki t şartına uyulması halinde, uzun süreli pompajlar için serbest yüzlü akiferlere uygulanabilir.

4. Doymuş tabaka kalınlığı az olan akiferler için Jacob, basınçlı akifer modellerinin tatbikinden önce bir düzeltmenin yapılması gerektiğini ortaya koymuştur. Eşdeğer basınçlı akifer düşümü, s_c ;

$$s_c = s_u - \frac{s_u^2}{2b} \quad (3.12)$$

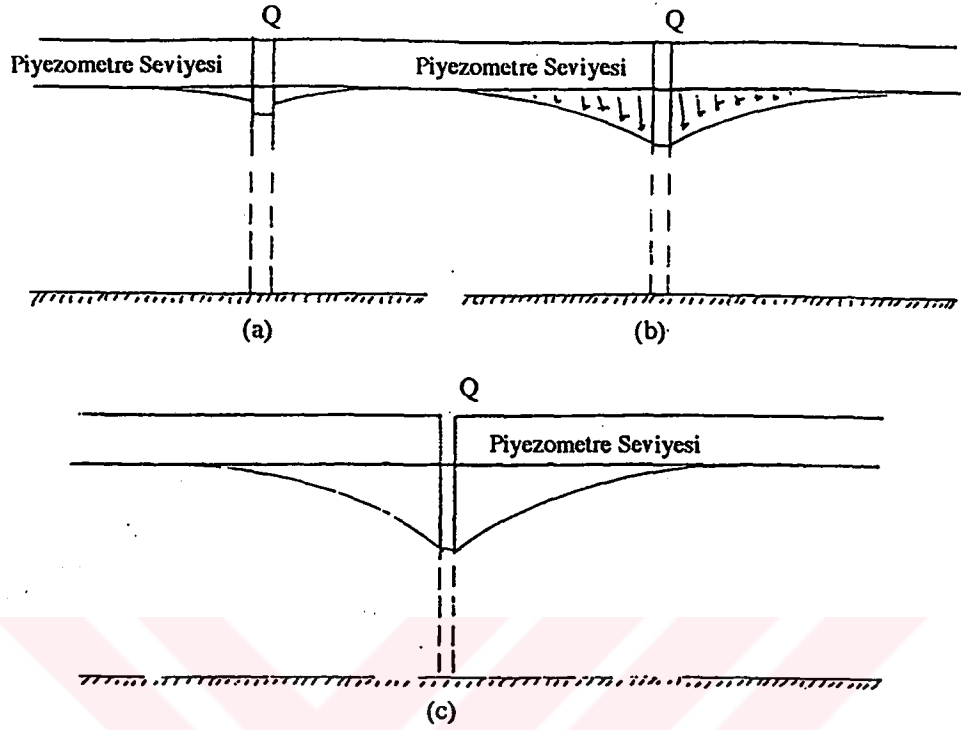
dir. Burada s_u , serbest yüzlü akiferde gözlenen düşümdür. b ise serbest yüzlü akiferin başlangıçtaki doymuş tabaka kalınlığıdır. Jacob, $s_u^2/2b < 3 \times 10^{-3}m$ durumu söz konusu ise (3.12) eşitliğindeki düzeltmenin gereksiz olduğunu ve birinci maddedeki şartın ancak bu halde sağlandığını belirtmektedir.

Yukarıda anlatılan şartların hiçbiri, serbest yüzlü akifer modellerinin tam uygulanabileceğini göstermemektedir.

3.10.2 Boulton modeli

Boulton (1963) belirli başlangıç ve sınır şartlarına sahip serbest yüzlü akiferlerde kuyulara doğru yeraltı suyu akışı problemi ile ilgili özel bir inceleme yapmıştır. Boulton modeli için yapılan kabuller Theis modeli için sıralanan kabullerle aynı olup bunlara ilaveten akiferin serbest yüzeyli olması ve suyu boşaltılmış bir bölgeden gelen yerçekimi drenajının doğurduğu gecikmiş verim olayı gibi kabuller söz konusudur. Serbest yüzlü akiferlerin zaman-düşüm değerlerinin noktalanmasında üç farklı kısım vardır:

1. Başlangıçtaki kısım; pompajın başlamasından itibaren kısa bir periyodu kapsar. Akiferin davranışı basınçlı akiferle aynıdır. Bu kısımda önemli bir gecikmiş verim yoktur. Çünkü alçalma konisindeki büyüme henüz yerçekimi drenajının yeraltı su tablasına doğru hareketini mümkün kılacak seviyeye ulaşmamıştır (Şekil 3.12 a).
2. Bu ilk kısımdan sonra alçalma konisi oldukça hızlı gelişir ve buna göre doygun bölgeye doğru etkin yerçekimi drenajının oluştuğu görülür. Basınçlı akifere göre düşümün artış miktarında bir azalma vardır. Şekil 3.12 b' de suyu boşalmış bölgeden doygun bölgeye doğru düşey gecikmiş verim katkısı gösterilmektedir. Yerçekimi drenaj miktarı kuyudan uzaklaştıkça azalır. Şüphesiz etki yarıçapı dışında su seviyesindeki alçalma teorik olarak sıfıra eşittir.
3. Daha sonraki aşamalarda alçalma konisi hacmi miktarındaki artış kararlı veya yarı kararlı hale yaklaşma dolayısıyla azalır. Bu artış önemsiz olduğundan yerçekimi drenajı ve alanı ihmal edilebilir. Bunun sonucu olarak su, akiferde mevcut depolamadan gelir (Şekil 3.12 c).



Şekil 3.12 Yerçekimi drenaj kademeleri

Birinci ve son kısımlar Theis tipi eğriler cinsinden ifade edilebilir. Ancak ikinci kısım diğer iki kısımdan farklı özelliğe sahiptir. Boulton (1963) yarı amprik matematiksel bir çözüm vererek serbest yüzöl akiferdeki üç kısmı da açıklamıştır. Bu çözümde önemli bir nokta gecikmiş verimin açıkça hiç bir fiziksel olaya bağlanmamış olmasıdır. Boulton kuyu fonksiyonu ilk kısım için;

$$W(u_E, r/\beta) = \frac{4 \pi T_E}{Q} s_E \quad (3.13)$$

şeklinde vermiştir. Burada β' ya drenaj faktörü denir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\beta^2 = \frac{T_E}{S_L} \quad (3.14)$$

Burada $1/\beta'$ ya Boulton gecikme indeksi denir ve ampirik bir sabitten ibarettir. Başlangıçtaki kısım için boyutsuz zaman faktörü;

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E} \quad (3.15)$$

dir. S_E , serbest yüzlü akiferin basınçlı akifer olarak davranırken oluşan erken zaman depolama katsayısıdır. Düşüm-zaman eğrisinin son kısmı;

$$W(u_L, r/\beta) = \frac{4 \pi T_L}{Q} s_L \quad (3.16)$$

şeklinde modellenmiştir. Burada da,

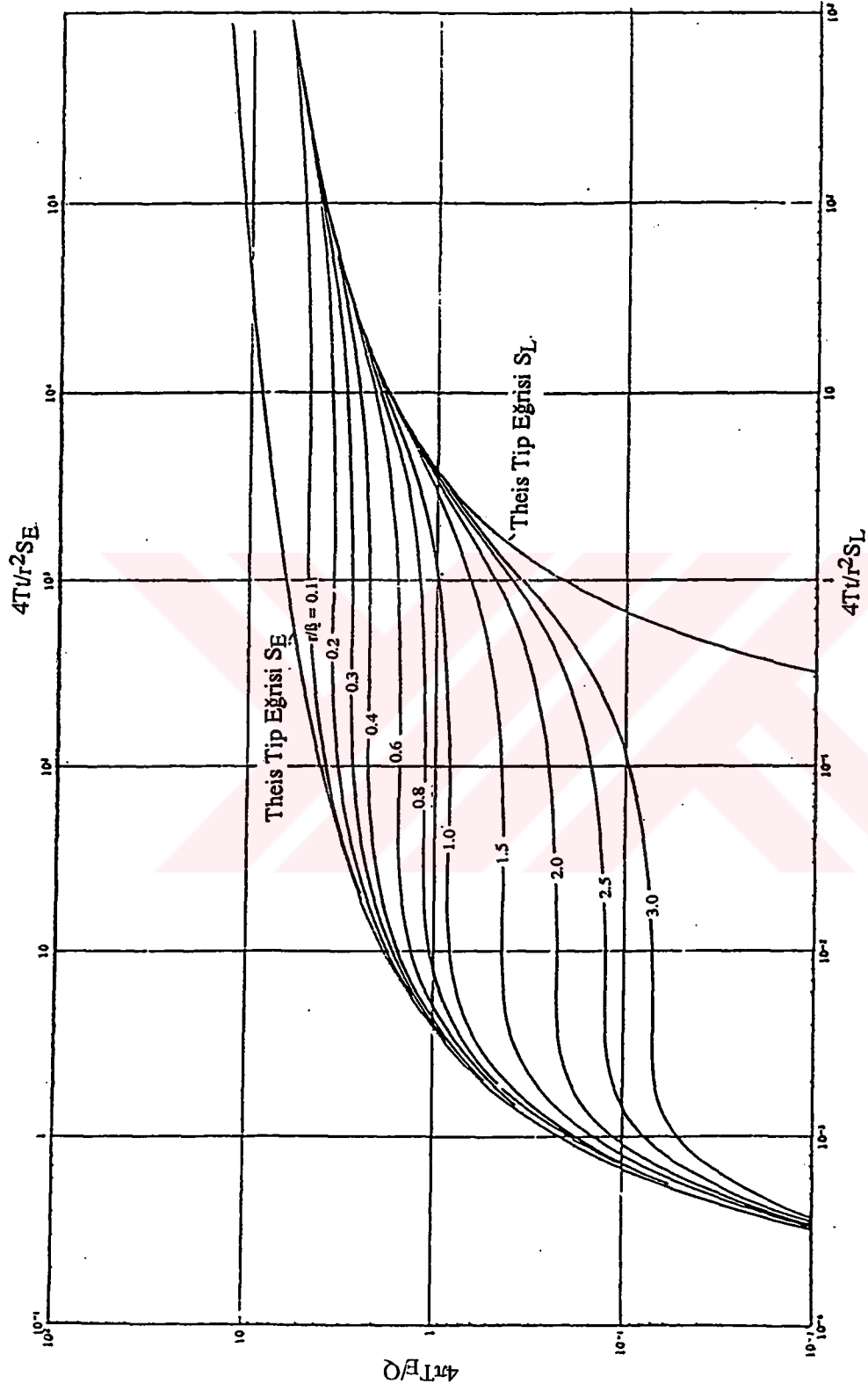
$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L} \quad (3.17)$$

şeklindeki boyutsuz zaman faktörü kullanılır. S_L , serbest yüzlü akiferin özgül verimidir. Düşey akım bileşeninin önemi $\eta = S_L/S_E$ şiddetine direk bağlıdır. S_E değeri sıfıra giderken η sonsuza gider. İlk kısmın süresi çok küçük olur. Bu durumda orta bölge yataydır. Tersine S_E büyük değerler aldığında η sıfıra gider. Birinci kısmın süresi o kadar artar ki akifer basınçlı akifer olarak S_L depolamasına sahip olarak davranış gösterir. Yukarıda anlatılan formüller teorik olarak η sıfıra giderken geçerlidir. Ancak pratikte rastlanan birçok durum, $\eta > 100$ içindir. Yoksa ara bölge yatay değildir ve zaman-düşüm eğrisi bu kısım için kararlı sızıntılı akifer formülasyonuna benzer bir ifadeyle verilir. Çizelge 3.2' de Boulton tipi eğrileri çizmek için gerekli veriler gösterilmiştir. Buna karşılık bir dizi parametre için tip eğriler Şekil 3.13' de gösterilmiştir. Tip eğriler, ilk ve son Theis tipi eğrilerle sınırlanmıştır ve bunların uygulanması iki çakıştırma işlemini gerektirmektedir (Aynı zamanda orta kısımdaki bağlantı değerlerini dikkate alarak). Başlangıçta arazi verileri çakıştırma noktaları $(s_E)_M$, $(t_E)_M$, $(1/u_E)_M$ ve $W_M(u_E, r/\beta)$ tip eğrisinden ve arazi veri föyünden okunur. İlave olarak en iyi çakışan $(r/\beta)_M$ değerleri de kaydedilir. Bu değerlerin eşitlik (3.13) ve (3.15)' de yerine yazılmasıyla ve Q verimi, T_E ve S_E belirlenmesinden sonra arazi veri föyü sağa doğru kaydırılıp geç zaman tip eğrisine tercihen $(r/\beta)_M$ etiketli eğriye çakıştırılır. İkinci çakışma noktasına tekabül eden koordinatlar okunur. Eşitlik (3.16) ve (3.17)' da yeniden düzenlemeler yapılır. Çakışma noktasının koordinatları da yerine konarak T_L ve S_L tayin edilir. Başarılı bir uygulama için erken ve geç zaman hesapları iletkenlik için hemen hemen aynı değerleri vermelidir ($T_E \cong T_L$). Ancak Bölüm 2' de incelendiği gibi özgül verim ve depolama katsayısı $S_L > S_E$ olacak şekilde daima farklıdır.

Çizelge 3.2 Boulton tip eğrilerinin çiziminde kullanılan değerler

$r/B = 0.01$			$r/B = 0.1$			$r/B = 0.2$			$r/B = 0.316$		
$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$
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	7.82	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
$r/B = 0.4$			$r/B = 0.6$			$r/B = 0.8$			$r/B = 1.0$		
$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$
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	0.466	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
$r/B = 0.4$			$r/B = 0.6$			$r/B = 0.8$			$r/B = 1.0$		
$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$
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			
$r/B = 1.5$			$r/B = 2.0$			$r/B = 2.5$			$r/B = 3.0$		
$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$
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	1.57	4	0	1.11	2.56	0	0.798	1.78	0	0.577
$r/B = 1.5$			$r/B = 2.0$			$r/B = 2.5$			$r/B = 3.0$		
$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$	$1/u_E$		$W(u_E, r/B)$
N	n		N	n		N	n		N	n	
5	-1	0.0394	3.33	-1	0.01	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						
$r/B = 0.01$			$r/B = 0.1$			$r/B = 0.2$			$r/B = 0.316$		
$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$	$1/u_L$		$W(u_L, r/B)$
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	5.64	2	1	3.69	4	1	3.38
4	5	12.3	4	3	7.72	4	1	3.85	4	2	5.42
4	6	14.6	4	4	10.00	1.5	2	4.55	4	3	7.72

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



Şekil 3.13 Boulton tip eğrileri

3.10.3 Neuman metodu

Neuman (1972, 1973) amprik sabitler tanımlaması yapmadan serbest yüzölçü akiferde zaman-düşüm eğrisinin üç kısmını da bir modelle vermiştir. Neuman metodu Boulton' a benzer. Boulton metodu arazi verilerine çok iyi uymasına rağmen gecikmiş verim olayının fiziksel tabiatına iyi ışık tutmamaktadır.

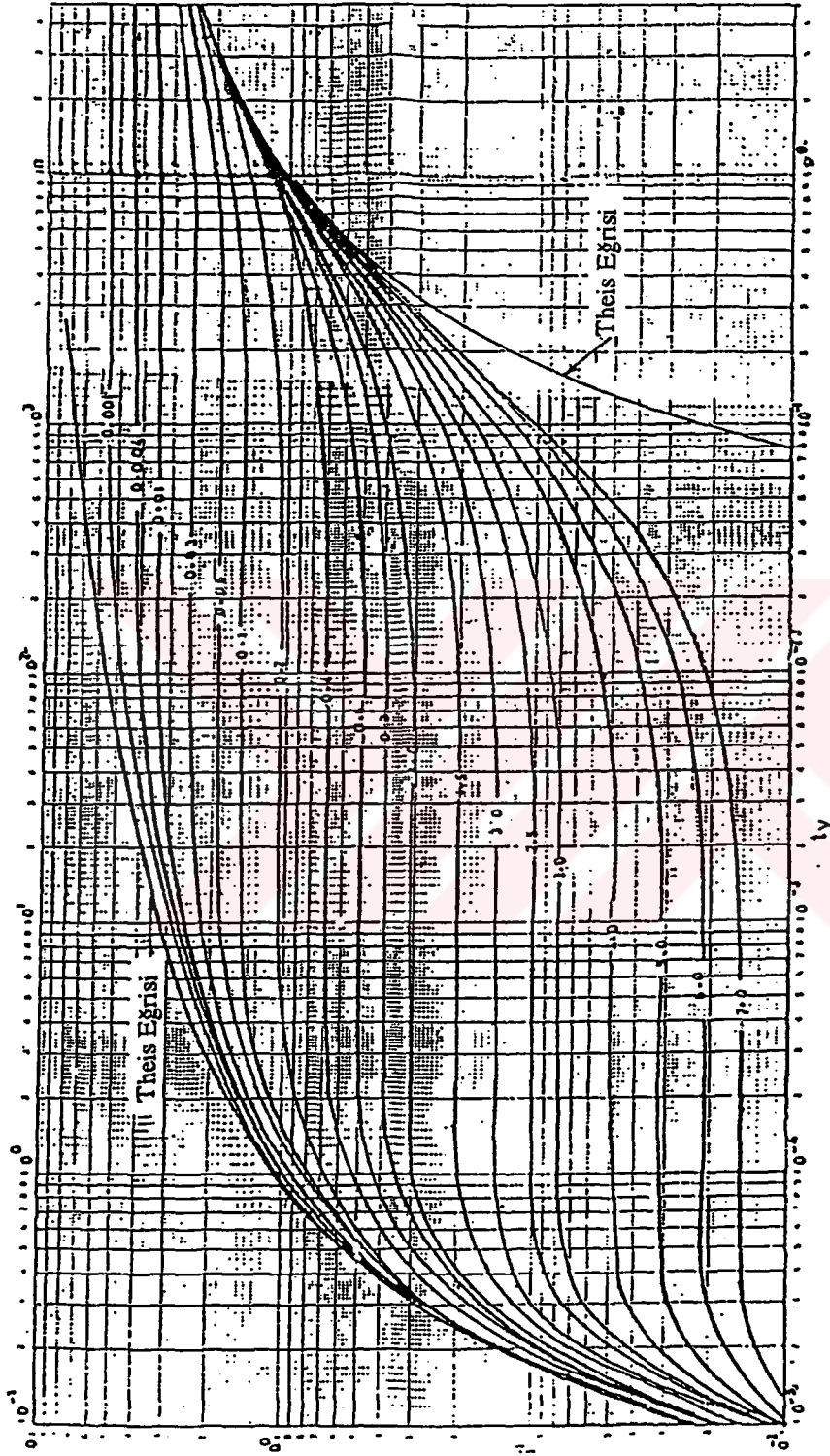
Neuman metodu çok iyi tanımlanmış fiziksel akım parametrelerini göz önüne almakta, Boulton' daki gecikme indeksi gibi yarı amprik değerlerle uğraşmamaktadır. Bu yönüyle Boulton' dan farklıdır. Bu metod tüm gecikmiş verim olayını aşağıdaki fiziksel noktaları göz önünde tutarak hesaba katmaktadır:

1. Su tablası materyal bir sınır veya serbest yüzey olarak hareket eder.
2. Su tablası üzerindeki doymamış akımın yerçekimi drenajı sırasında serbest yüzölçü akiferin zaman-düşüm hareketine etkisi oldukça azdır. Bunun neticesi olarak suyu boşalmış bölgeden su tablasına doğru akım ihmal edilmektedir. Yani doymamış bölge hiç göz önüne alınmamaktadır.
3. Akiferdeki elastik depolamanın, akiferin sıkışması ve suyun genişlemesinden oluşan kuyuya doğru olan yeraltı suyu akımından meydana geldiği kabul edilmektedir.
4. Kuyuya doğru yeraltı suyu akımı üç boyutlu akım modeliyle eksene göre simetrik.

Ayrıca, Neuman metodu, akiferin izotrop olmadığını ve kuyunun eksik halde olmasını da göz önünde tutar. Oldukça karışık olan çözümde, pratik maksatlarla kuyu fonksiyonu;

$$W(u_E, u_L, \beta) = \frac{4 \pi T_E s_E}{Q} \quad (3.18)$$

halinde yazılabilen bir bağıntı ile bulunur. Burada $W(u_E, u_L, \beta)$ serbest yüzölçü kuyu fonksiyonu ve $\beta = r^2/m^2$ dir. Tip eğrilerinin tümü Şekil 3.14' de verilmiştir. Ancak tip eğrilerinin başlangıç kısmı için kuyu fonksiyonu;



Şekil 3.14 Neuman tip eğrileri

$$W(u_E, \beta) = \frac{4 \pi T_E}{Q} S_E \quad (3.19)$$

ve boyutsuz zaman faktörü;

$$u_E = \frac{r^2 S_E}{4 t_E T_E} \quad (3.20)$$

şeklinde verilmektedir. Burada S_E elastik depolama olup kuyuya suyun kritik inişinden sorumludur. Benzer tarzda tip eğrilerinin geç zaman kısmı Theis eğrisine asimptot olur. Buna göre parametrelerin yeni tanımı;

$$W(u_L, \beta) = \frac{4 \pi T_L}{Q} S_L \quad (3.21)$$

ve

$$u_L = \frac{r^2 S_L}{4 t_L T_L} \quad (3.22)$$

şeklinde olur. Burada S_L , kuyuya suyun gecikmiş olarak gelişini gösteren özgül verimdir.

Neuman' dan bağımsız olarak Streltsova (1972, 1973)' da serbest yüzlü akiferlerdeki düşümler için tip eğrileri elde etmiş ve fiziksel düşünce olarak aşağıdaki gibi farklı bir yol izlemiştir.

1. Akiferdeki herhangi bir noktada iki tip yük düşünülmüştür. Biri su tablasının serbest yüzeyi ve diğeri ise derinlik boyunca ortalama yüküdür. Bu üç boyutlu akımı, iki boyutlu antisimetrik akım kılar. Bu akım kuyudan olan radyal mesafeye ve düşey koordinata bağlıdır.
2. Su tablası serbest bir yüzey olarak düşünülür ve doymamış bölgede hiçbir gecikmiş verim yoktur.
3. Düşey yerçekimi drenajı miktarı, serbest yüzeyle ortalama yükler arasındaki farkla doğru orantılıdır.

Neuman ve Streltsova probleme aynı fiziksel bakış açısından yaklaşmışlardır. Fakat Streltsova'nın matematiksel incelemesi farklıdır. Bunun sonucu olarak iki metodla tayin edilen akifer parametreleri biraz farklı olur.

Boulton, Neuman ve Streltsova tarafından verilen metodlar pratik olarak aynı iletkenlik, depolama katsayısı ve özgül depolama (bilinen akifer kalınlığı için) değerlerini verir. Fakat Boulton metodu düşey permeabilite için herhangi bir değer vermez. Bunun yerine gecikmiş verim indeksi (β) şeklinde bir parametre verir.

3.10.4 Neuman Düz Çizgi Metodu

Neuman (1975) yapmış olduğu çalışmada Şekil 3.15' deki yarı logaritmik olarak çizilen tip eğrilerin, Jacob' ın (1944) teklif ettiğine nazaran daha doğru bir çizgi üzerine düşme eğiliminde olduğunu göstererek düşüm denklemini aşağıdaki gibi vermiştir.

$$s_L = \frac{2.3 Q}{4 \pi T_L} \log \left(\frac{2.25 T_L t_L}{r^2 S_L} \right) \quad (3.23)$$

Ara veriler yatay bir çizgi üzerine düşerken başlangıçtaki verilerin bazıları doğru çizgiye yakın çıkmakta olduğunu belirtmektedir. Buradan başlangıç zamanı için düşüm değeri ise;

$$s_E = \frac{2.3 Q}{4 \pi T_E} \log \left(\frac{2.25 T_E t_E}{r^2 S_E} \right) \quad (3.24)$$

şeklinde olacaktır. Neuman düz çizgi metodu uygulanırken şu adımlar takip edilmelidir:

1. Arazi verilerinden elde edilen düşüm-zaman değerleri yarı logaritmik kağıtta, apsiste zaman, ordinatta düşüm değerleri olacak şekilde işaretlenir.
2. Düşüm-zaman verilerinin son kısmına ait işaretler düz bir çizgi ile birleştirilir. Bu çizginin zaman eksenini kestiği nokta düşümün sıfır olduğu noktadır. Buradaki zaman değeri ise t_L ile ifade edilir. Bu doğrunun eğimi ise Δs_L ile gösterilir. (3.23) eşitliğinden akiferin iletkenliği aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_L = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_L} \quad (2.23)$$

ve depolama katsayısı ise;

$$S_L = \frac{2.25 T_L t_L}{r^2} \quad (3.25)$$

olur.

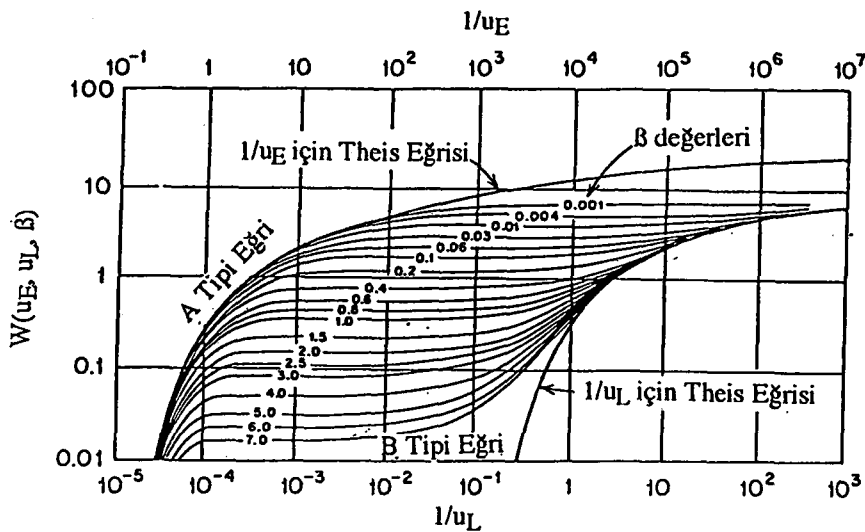
3. Elde edilen düşünüm-zaman değerlerinin başlangıç zamanlarına ait veriler için de bir düz çizgi geçirilir. Bu çizginin eğimi, son zaman verileri için çizilen doğrunun eğiminden çok farklı olursa bu adım iptal edilir. Bu durumda depolama katsayısı, tip eğrilerini karşılaştırma yoluyla bulunur. Eğer bu iki doğru birbirine yaklaşık olarak paralel ise başlangıç zamanı için elde edilen doğrunun zaman eksenini kestiği nokta t_E ile ifade edilir. Buna ilave olarak, bu doğrunun eğimi de Δs_E olur. Bu durumda iletkenlik değeri;

$$T_E = \frac{2.3 Q}{4 \pi \Delta s_E} \quad (3.26)$$

şeklinde hesaplanır. Buradan elde edilen iletkenlik değerinin yaklaşık olarak son zaman verilerinden elde edilen T_L iletkenlik değerine eşit olması gerekir. Burada depolama katsayısı ise;

$$S_E = \frac{2.25 T_E t_E}{r^2} \quad (3.27)$$

olur.



Şekil 3.15 Neuman düz çizgileri

3.11 Akiferler Karakteristikleri İçin Geliştirilen Şen Metodları

Burada Şen (1987) tarafından verilen analitik metod ve yine Şen (1996) tarafından geliştirilen grafik metod verilecektir.

3.11.1 Şen analitik metodu

Yukarıda bahsedilen T ve S değerlerinin bulunması ile ilgili hemen hemen bütün metodlarda pompaj kuyusu etrafına açılmış olan gözlem kuyularının düşüm-zaman değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Dolayısıyla akifer karakteristiklerinin belirlenmesinde pompaj kuyusu yanında ilave gözlem kuyularının açılması gerekmektedir. Bu ise hem pahalı hem de zahmetli bir iş olduğundan, son zamanlarda akiferin karakteristiklerinin belirlenmesi için sadece pompajın yapıldığı kuyunun düşüm-zaman değerleri kullanılmak suretiyle sonuca gidilebilen metodlar ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu bölümde son zamanlarda geliştirilen ve bilinen klasik metodlardan farklı olan yeni analitik metodlar üzerinde durulacak ve bu metodların arazi verilerine nasıl uygulandığı verilecektir.

Şen (1987) de yapmış olduğu çalışmada, serbest yüzlü ve basınçlı akiferlerde açılan kuyularda depolama katsayısının belirlenmesi ile ilgili birer analitik metod önermiştir. Bu metodların uygulanabilmesi için; iletkenlik değerinin, arazideki kuyu çapının, pompaj debisinin ve dengeli veya yarı dengeli akım şartlarında uzun süreli düşüm-zaman ölçümlerinin bilinmesinin gerektiği vurgulanmıştır. Metod uygulanırken klasik eğri çakıştırma yöntemlerinde olduğu gibi karışık matematiksel işlemler gerektirmediği araştırmacı tarafından ifade edilmiştir. Depolama katsayısının belirlenmesinde bilinen tekniklere ilave bir metod olarak verilmiştir. Aşağıda verilen metodun detaylı izahı yapılmıştır.

Herhangi bir akiferin, yeraltı suyu potansiyelinin bilinmesi için onun iletkenliğinin ve depolama katsayısının belirlenmesi gerekir. Pratikte genellikle pompaj veya geri dönüş deneyleri yapılarak akifer karakteristiklerinin belirlenmesi için arazi metodları kullanılmaktadır. Genellikle bu çalışmalarda akiferden su çekilmesi veya akiferin beslenmesi neticesinde su seviyesindeki düşüm veya yükselme değerlerinin belirli zamanlarda ölçümü gereklidir. Bu ölçümler kuyunun kendisinde ve gözlem kuyularında yapılmalıdır. Su seviyesi analiz metodları ve akifer karakteristiklerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmalar Theis (1935), Jacob (1940), Chow (1952), Hantush (1956), Ferris (1963), Boulton (1963), Şen (1986) ve diğer araştırmacılar tarafından

yapılmıştır. Ancak gözlem kuyularının inşası hem pahalıdır, hem de zaman kaybına neden olmaktadır. Bu sebeple kuyunun kendi içerisinde yapılan ölçümler kullanılarak akifer karakteristiklerinin belirlenmesinde alternatif metodlar geliştirmek gereklidir. Bu amaçla Papadopoulos ve Cooper (1967) ve Şen (1982) yeni metodlar sunmuşlardır. Bu metodlarda iletkenlik değeri, pompaj kuyusu dataları kullanılarak kolaylıkla ve doğru bir şekilde hesaplanabilmesine rağmen, pompaj kuyusu verileri kullanılarak depolama katsayısının hesaplanabilmesi mümkün değildir.

Theim (1906) dengeli akım durumunda yeraltı suyu akımının bulunduğu bir akiferde açılan kuyudaki dataları kullanarak iletkenliğin bulunmasıyla ilgili bir metod önermiştir. Bu metod iletkenliğin belirlenmesinde en güvenli arazi metodlarından bir tanesidir. Tam zamanlı bir pompaj kuyusu verisi gerektirmez. Bilindiği kadarıyla, henüz dengeli akım durumunda depolama katsayısının belirlenmesi ile ilgili bir metod yoktur. Burada sunulan metodda, depolama katsayısının belirlenmesi için dengeli akım durumunda, çekim kuyusundaki ölçümlerden faydalanılmaktadır. Bu metod herhangi bir gözlem kuyusuna gerek kalmaksızın, çabuk ve ekonomik bir şekilde depolama katsayısının belirlenmesini sağlar.

Teorik olarak yeraltı suyu akımının üniform kalınlıkta, homojen, izotrop ve geniş akifer şartlarında bulunduğu farz edilerek, Darcy kanununa uygun olarak dengesiz akım şartlarında oluşan hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\frac{\partial^2 s(r,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s(r,t)}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial s(r,t)}{\partial t} \quad (3.28)$$

Burada, $s(r,t)$, düşümü; r , kuyu merkezinden uzaklığı; t , pompaj süresini; S , depolama katsayısını ve T , iletkenliği ifade etmektedir.

Ancak dengeli akım durumunda (3.28) denklemi aşağıdaki hali alır.

$$\frac{\partial^2 s(r)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s(r)}{\partial r} = 0 \quad (3.29)$$

Bu eşitlik akifer karakteristiklerini içermemektedir. Diğer taraftan depolama katsayısı tanımına göre pompaj debisi, S değeri ile pompajın etkili olduğu tüm alan boyunca integre edilmiş yük değerinin azalma oranının çarpımına eşittir. Buradan;

$$dQ(t) = S r d\theta dr \frac{\partial s(r,\theta,t)}{\partial t}$$

veya genel olarak;

$$Q(t) = S \int_{r_w}^{\infty} \int_0^{2\pi} r \frac{\partial s(r,\theta,t)}{\partial t} d\theta dr \quad (3.30)$$

yazılır. Burada, $s(r,\theta,t)$, kuyu merkezinden r uzaklıkta, t anındaki düşümü; $Q(t)$, akiferden kuyuya giden debiyi göstermektedir.

Depolama kapasitesine sahip kuyularda bu debinin, akifer testleri sırasında her zaman pompaj debisine eşit olamayacağına dikkat edilmelidir. Ancak sabit kuyu debisi şu şekilde ifade edilebilir;

$$Q = Q(t) + \pi r_w^2 \frac{ds_w(t)}{dt} \quad (3.31)$$

Burada, r_w , kuyu yarıçapını; $s_w(t)$, pompaj kuyusundaki düşümü ifade eder. Bu denklemde sağdaki ikinci terim kuyu depolama etkisini göstermektedir. Akifer debisi ise;

$$Q(t) = Q - \pi r_w^2 \frac{ds_w(t)}{dt} \quad (3.32)$$

olur. Küçük çaplı kuyularda ve depolama etkisi yeterli olmayan kuyular için (3.32) denklemindeki ikinci terim ihmal edilebilir. Bu yüzden herhangi bir zaman için bunun sıfıra eşit olduğu varsayılabilir. Buna ilave olarak dengeli akım durumunda bu değer sıfıra eşittir. (3.32) denklemini (3.30) denkleminde yerine yazarsak ;

$$Q - \pi r_w^2 \frac{ds_w(t)}{dt} = S \int_{r_w}^{\infty} \int_0^{2\pi} r \frac{\partial s(r,\theta,t)}{\partial t} d\theta dr \quad (3.33)$$

elde edilir.

Yukarıdaki (3.33) denkleminin sağ tarafı θ ve r değerine göre integre edilir ve paydadaki ∂t sabit olduğu için bu denklem aşağıdaki gibi düzenlenirse;

$$Q dt - \pi r_w^2 ds(t) = S \int_{r_w}^{\infty} \int_0^{2\pi} r \partial s(r, \theta, t) d\theta dr$$

veya

$$Q dt - \pi r_w^2 ds_w(t) = S \int_{r_w}^{\infty} 2 \pi r \partial s(r, t) dr \quad (3.34)$$

halini alır. Burada denklemin sağ tarafı akifer içerisindeki düşüm konisi hacmindeki artışa eşittir ve

$$dV(t) = \int_{r_w}^{\infty} 2 \pi r \partial s(r, t) dr$$

şeklinde gösterilir. Bu ifadeyi (3.34) denkleminde yerine yazarsak;

$$Q dt - \pi r_w^2 ds_w(t) = S dV(t) \quad (3.35)$$

(3.35) denkleminin $s_w(0) = 0$ ve $V(0) = 0$ sınır şartlarına göre integrali alınır;

$$Q t - \pi r_w^2 s_w(t) = S V(t) \quad (3.36)$$

yazılır. Buradaki $V(t)$, t zamanındaki düşüm konisi hacmidir. Depolama katsayısı buradan çekilirse;

$$S = \frac{Q t - \pi r_w^2 s_w(t)}{V(t)} \quad (3.37)$$

olur. Düşüm konisinin hacminin bilinmesi durumunda pompaj kuyusundaki düşüm ölçümleri yapılarak depolama katsayısı bulunabilir. (3.37) denklemi dengeli ve yarı dengeli akım şartlarında, Jacob (1940)' un vermiş olduğu metoda benzer şekilde kullanışlı olduğu söylenebilir.

Şen bu çalışmasında, basınçlı ve serbest yüzlü akifer durumları için T ve S ile ilgili eşitlikler vermiştir. Burada her iki durum ayrı ayrı incelenmiştir.

Basınçlı akiferden çekilen debinin sürekli olduğu ve kuyunun akifere tam penetrasyonlu olduğu; yani doymuş tabaka boyunca nüfuz ettiği ve yatay akımın söz konusu olduğu bir durum mevcuttur. Kuyuya gelen akım dengeli durumda ise kuyudan çekilebilecek debi aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Theim 1906).

$$Q = \frac{2 \pi T [s_w(t) - s(r,t)]}{\ln(r / r_w)} \quad (3.38)$$

Burada bizi ilgilendiren düşüm konisinin hacmi olduğundan yukarıdaki son denklemden bu koninin ifadesi çekilirse (3.39) denklemi elde edilir.

$$r = r_w \exp \left\{ - \frac{2 \pi T [s_w(t) - s(r,t)]}{Q} \right\} \quad (3.39)$$

Düşüm konisinin hacmi aşağıdaki integrasyon sonunda bulunabilir.

$$V(t) = \int_0^{s_w(t)} \pi r^2 ds(r,t) - \pi r_w^2 s_w(t) \quad (3.40)$$

(3.39) denklemindeki r, (3.40) da yerine yazılırsa;

$$V(t) = r_w^2 Q \left\{ \exp \left[\frac{4 \pi T s_w(t)}{Q} \right] - 1 \right\} / 4 T - \pi r_w^2 s_w(t) \quad (3.41)$$

elde edilir. (3.41) denklemini (3.37) denkleminde yerine yazarsak;

$$S = \frac{Q t - \pi r_w^2 s_w(t)}{r_w^2 Q \left\{ \exp \left[\frac{4 \pi T s_w(t)}{Q} \right] - 1 \right\} / 4 T - \pi r_w^2 s_w(t)} \quad (3.42)$$

halini alır (Şen, 1987).

Serbest yüzlü akiferlerdeki yeraltı suyu akım analizi oldukça eskidir ve Dupuit (1863) varsayımlarına dayanır. Akımın hızı hidrolik eğimin tanjantıyla orantılı ve akımın yatay olduğu kabul edilir. Ayrıca kuyu eksenini boyunca düşey kesitin her yerinde akımın üniform olduğu kabul edilir. Bu varsayımlar doğrultusunda dengeli akım durumunda kuyuya gelen akım aşağıdaki eşitlikle ifade edilir.

$$Q = \pi k \frac{[D - s(r,t)]^2 - [D - s_w(t)]^2}{\ln(r / r_w)} \quad (3.43)$$

Burada, D, akifer kalınlığını; k, hidrolik iletkenliği göstermektedir.

Düşüm konisi eşitliği ise;

$$r = r_w \exp \left\{ -\frac{\pi k [D - s_w(t)]^2}{Q} \right\} \exp \left\{ -\frac{\pi k [D - s(r,t)]^2}{Q} \right\} \quad (3.44)$$

olur.

(3.40) denklemini kullanılarak ve bazı hesaplamalar yaparak serbest yüzlü akiferlerde düşüm konisi hacmi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$V(t) = \frac{1}{2} r_w^2 \sqrt{\frac{2 \pi D Q}{T}} \exp \left\{ -\frac{2 \pi D T [1 - s_w(t)/D]^2}{Q} \right\} \int_a^b e^{x^2} dx \quad (3.45)$$

Burada

$$x = \sqrt{\frac{2 \pi k}{Q}} [s(r,t) - D] \quad (3.46)$$

$$a = \sqrt{\frac{2 \pi D Q}{T}} \quad (3.47)$$

$$b = \sqrt{\frac{2 \pi D Q}{T}} \left[1 - \frac{s_w(t)}{D} \right] \quad (3.48)$$

dir. (3.45) denkleminin sağ tarafının doğrudan integrali mümkün değildir. Ancak Simpson metodu gibi sayısal integral teknikleri ile kolayca çözülebilir. (3.45)

denklemini (3.37) denkleminde yerine yazarsak serbest yüzöl akiferler için depolama katsayısı ifadesi aşağıdaki gibi olur.

$$S = \frac{Q t - \pi r_w^2 s_w(t)}{\frac{1}{2} r_w^2 \sqrt{\frac{2 \pi D Q}{T}} \exp \left\{ -\frac{2 \pi D T [1 - s_w(t)/D]^2}{Q} \right\} \int_a^b e^{x^2} dx - \pi r_w^2 s_w(t)} \quad (3.49)$$

Aynı değerler için (3.42) ve (3.49) denklemleri karşılaştırıldığı takdirde serbest yüzeyli akiferde depolama katsayısı değerlerinin her zaman daha büyük çıktığı görülebilir.

Bu metodun uygulanması, genellikle Jacob düz çizgi metodunun geçerli olduğu, dengeli veya yarı dengeli akım şartlarında tercih edilmesi emniyet açısından önemlidir. Bu metod, özellikle uzun süre zarfında okunan düşüm değerlerinin mevcut olması durumunda çok kullanışlıdır. Jacob' un düz çizgi metodu da uzun süreli şartlar için geçerli olsa da bir çok zaman-düşüm ölçümlerini gerektirir. Burada sunulan metodun uygulanması Theim formülüyle birleştirildiğinde çok etkili olmuştur. Theim formülüyle bulunan iletkenlik değeri depolama katsayısının belirlenmesinde kullanılmalıdır (Şen, 1987).

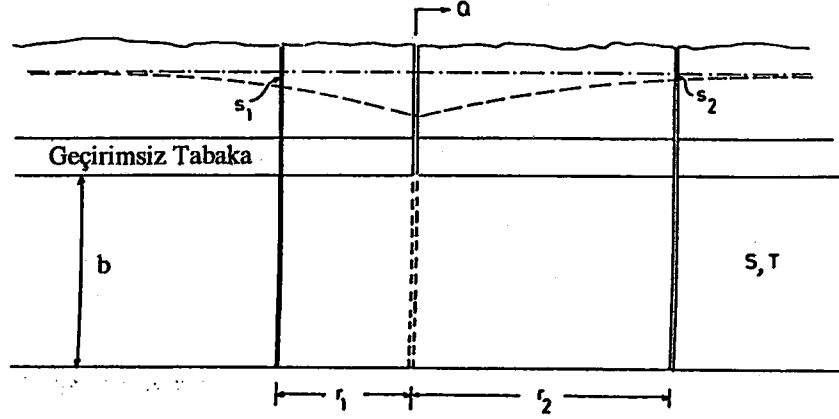
3.11.2 Grafik metod

Bu çalışmada, akifer testi deneylerinden elde edilen yarı dengeli akım durumuna ait veriler kullanılarak, iletkenlik değerinden bağımsız depolama katsayısı belirlenmesi amacıyla yaklaşık ve kolay bir pratik metod önerilmektedir. Geçmişte sadece iletkenliğin belirlenmesinde yarı dengeli akım durumunda mesafe düşüm dataları kullanılmıştır. Bu metod basınçlı ve sızdırmalı akiferlere uygulanabilir. Bu metodun uygulaması yeraltı suları ile ilgili literatürde mevcut bulunan birçok akifer datasında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar dengesiz akım şartlarındaki çözümlerle karşılaştırıldığında yaklaşık pratik sınırlar içerisinde kalmaktadır (Şen, 1996).

Theim (1906) basınçlı akiferlerde açılmış küçük çaplı kuyularda yeraltı suyu hareketini, yarı dengeli akım durumunda olması halinde aşağıdaki gibi ifade etmiştir;

$$Q = 2 \pi T \frac{s_1 - s_2}{\ln(r_2 / r_1)} \quad (3.50)$$

Burada Q , sabit pompaj debisi; T , akifer iletkenliği; s_1 ve s_2 , ana kuyudan r_1 ve r_2 radyal mesafelerdeki gözlem kuyularında ölçölmüş düşüm değeri­leridir (Şekil 3.16). (3.50) denkleminin geçerliliği ancak akiferin basınçlı, homojen, izotropik ve üniform kalınlıkta olmasına bağlıdır. Ayrıca kuyu tam penetrasyonlu olmalıdır.



Şekil 3.16 Basınçlı akifer durumunda esas kuyu ve gözlem kuyuları

Diğer taraftan dengeli akımda sızdırmalı akifer için De Glee (1930) aşığıdaki formölü vermiştir;

$$Q = 2 \pi T \frac{s_r}{K_o (r / L)} \quad (3.51)$$

Burada s_r , ana kuyudan r mesafesindeki dengeli akım durumunda piyezometrik düşümdür. $K_o (r / L)$, sıfır derecesinde ikinci sınıf modifiye edilmiş Besel fonksiyonunu ifade eder. L ise sızdırma faktörüdür. (3.50) ve (3.51) denklemlerinden açıkça görölmektedir ki; düşüm mesafeyle değışmektedir.

Pratikte (3.50) ve (3.51) denklemleri sadece T ' nin belirlenmesinde kullanılırlar. Kruseman ve de Ridder (1990) sızdırmalı ve basınçlı akiferlerde T ' nin belirlenmesi prosedürlerini vermişlerdir. Bu prosedürler, tam bir pompaj testi verileri gerektirmez. Ancak uzun süreli ölçümlerden sonra oluşmuş dengeli akım şartlarına bağlıdır. Sızdırmalı ve basınçlı akiferlerde depolama katsayısının en iyi şekilde belirlenmesi için pompaj testleri sırasında düşümün zamanla değışimi iyi analiz edilmelidir. Sadece bir tek gözlem kuyusundan elde edilen zamana bağlı düşüm değeri­leri akifer sınırları içerisinde pozitif veya negatif değeri­ler alabilir. Bu yüzden eğri çakıştırmada problemler çıkabilir. Şayet esas kuyunun etrafında bir çok kuyuya ait zamana bağlı düşüm değeri­leri varsa akifer parametrelerinin analizi daha kolaylaşacaktır.

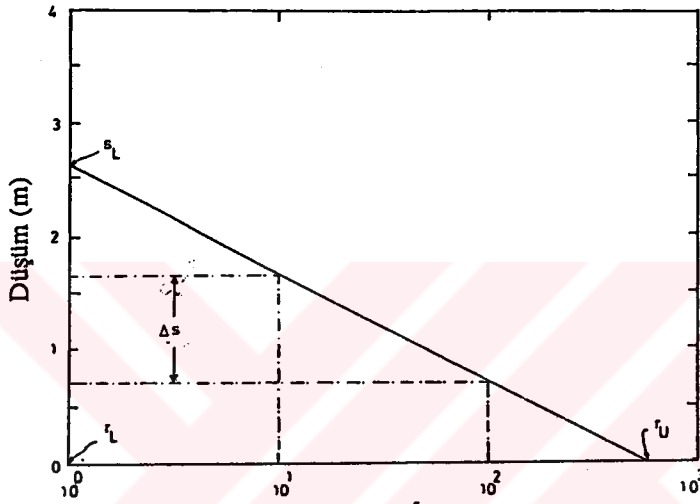
Ancak zaman serileri mevcut olmaması halinde depolama katsayısının yaklaşık olarak yarı dengeli akım durumundaki düşüm dataları kullanılarak belirlenmesi mümkündür. Burada, yarı dengeli akım durumunda mesafe- düşüm verileriyle iletkenliğin belirlenmesine ilave olarak akifer depolama katsayısının bulunmasıyla ilgili basit bir grafik metod gösterilmiştir.

Depolama katsayısı, yeraltı suyu akımının transit davranışı ve akiferden hacim olarak ne kadar su çekilebileceğinin belirlenmesi konusunda hayati bir önem taşır. Herhangi bir bölgedeki yeraltı suyu kaynaklarının kullanılması ve yönetilmesi konusunda depolama katsayısının doğru olarak belirlenmesi öncelik arzeder. Ancak birçok akifer test datalarının analizi ile yapılan analitik prosedürlerden olan tip eğri çıkartma ve düz çizgi metodları iletkenlik için oldukça güvenilir sonuçlar vermekle birlikte, depolama katsayısının belirlenmesinde soru işaretleri bırakmaktadır. Örneğin Cooper ve Jacob (1946) vermiş oldukları düz çizgi metodu sadece iletkenliğin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca Papadopoulos ve Cooper (1967) ve Şen ve Al-Baradi (1991) vermiş oldukları metodların depolama katsayısının belirlenmesindeki geçerliliği oldukça şüphelidir. Wenzel (1937) düşüm konisi hacminden yararlanarak depolama katsayısının belirlenmesi fikrini ortaya atmış ve düşüm konisi hacmini hesaplayabilmek için bir çok gözlem kuyusundaki düşüm datalarını kullanmıştır. Nebraska' daki Grand adasına yakın bir serbest yüzeyli akiferde özgül verimi hesaplamıştır. Bennett ve diğerleri (1967) bu metodu Pakistan 'ın Pencap eyaletindeki akiferlere uygulamıştır. Depolama katsayısının, yarı dengeli akım şartlarındaki ölçümleri kullanarak ve eğri çıkartması yapmadan bulunması Şen (1987) tarafından verilmiştir. Burada depolama katsayısı, iki hacmin oranı olarak verilmiştir;

$$S = \frac{Q t}{V_D} \quad (3.52)$$

Burada $Q t$, sabit Q debisi ile t süresi sırasında kuyudan çekilen su hacmi ve V_D ise düşüm konisi hacmidir. Daha sonra Şen teorik olarak depolama katsayısı ifadesini daha karmaşık hale getiren gelişmiş bir hacim ifadesi elde etmiştir. Ancak burada önerilen grafik metodda, yarı dengeli akım durumunda düşüm konisi hacminin belirlenmesi ve (3.52) denklemine bağlı olarak depolama katsayısının bulunması önerilmiştir.

Teorik olarak (3.50) ve (3.51) denklemleri düşüm ile esas kuyu merkezinden her bir gözlem kuyusuna olan uzaklık yarı logaritmik kağıt üzerinde bir düz çizgiyi ifade etmektedir. Düz çizginin elde edilmesi için pratik uygulamalarda iki veya daha fazla gözlem kuyusu kullanılır. Düz çizginin eğiminin iletkenlik ile alakalı olduğu bilinmektedir. Burada düşüm eksenindeki aynı düz çizginin devir hacminin V_D , düşüm konisi hacmiyle ilişkili olduğu belirtilmektedir. Şayet bu hacim biliniyorsa depolama katsayısı (3.52) nolu eşitlik yardımıyla bulunabilir. Bu önerilen metodla ilgili gerekli adımlar aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.17 Şematik düşüm-mesafe grafiği

1. Yarı logaritmik bir kağıt üzerinde değişik mesafelere yerleştirilmiş gözlem kuyularındaki düşüm değerleri düşey eksene (aritmetik) ve mesafeler ise (logaritmik) yatay eksene işaretlenerek Şekil 3.17 elde edilir.
2. İşaretlenen noktalar üzerinden en uygun doğru geçirilir.
3. Bu çizgi her iki doğrultuda düşey ve yatay eksenleri kesecek şekilde uzatılır.
4. Çizginin eğimi Δs , eksen üzerinde kesişen s_L ve r_U , mesafe değerleri kullanılarak hesaplanır. Daha açık olarak r_U , fiziksel olarak etki yarıçapını ifade etmektedir. Bu mesafeden sonra akiferdeki düşümün sıfır olduğu kabul edilir. Bunun yanında kuyu merkezinden r_L mesafesinde maksimum düşüm olur.

5. Teorik olarak (3.50) ve (3.51) kullanılarak grafikten elde edilen doğrunun eğimi bulunur. Bu da şu ana kadar literatürde bilinen iletkenliğin belirlenmesinde kullanılır.

$$\Delta s = \frac{2.3 Q}{2 \pi T} \quad (3.53)$$

6. Şekil 3.17' deki doğrunun eksenleri kesiştirmesiyle oluşan üçgenin alanı A hesaplanır.

$$A = \frac{1}{2} (r_U - r_L) s_L \quad (3.54)$$

Bu denklem mantıksal olarak düşüm konisi hacmiyle bağlantılıdır.

7. Doğrunun altında kalan alanın, düşüm eksenini etrafında döndürülmesi ile düşüm konisi hacmi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$D = \pi \frac{(r_U - r_L)^2}{\ln(r_U/r_L)} s_L \quad (3.55)$$

8. Bu hacmin (3.52) denkleminde yerine konmasıyla depolama katsayısı;

$$S = \frac{Q t}{\pi (r_U - r_L)^2 s_L} \ln(r_U/r_L) \quad (3.56)$$

olarak bulunur.

Bu çalışmada, dengeli akım durumunda sızdırmalı akifer datalarını kullanarak ve yarı dengeli basınçlı akiferlerde depolama katsayısının belirlenmesi için yaklaşık bir metod geliştirilmiştir. Buradaki esas, yarı logaritmik kağıt üzerine işaretlenen düşüm-mesafe noktalarından düşüm konisi hacminin elde edilmesidir. Akiferden çekilen su hacminin, düşüm konisi hacmine oranı olarak tanımlanan depolamanın hesabı için basit bir formül verilmiştir. Depolama katsayısı prosedürü olarak, önerilen metodun sonuçları merteye olarak geleneksel metodlardan elde edilen sonuçlarla uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Önerilen metodun kullanılması, tam zamanlı bir akifer testi sırasında zamana bağlı düşüm değerlerini gösteren zaman serilerinin bulunmaması durumunda tavsiye edilebilir (Şen 1987).

4. T ve S KATSAYILARININ ANALİTİK OLARAK BULUNMASI

4.1 Giriş

Akiferlerin iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) değerlerinin bulunması ile ilgili literatürdeki çalışmalar arasında, Theim' in (1906) tek bir kuyudan elde edilen verilerden yararlanarak akiferin iletkenlik katsayısının hesap edilmesi için verdiği formül görülebilir. Daha sonra Şen (1987), ilk olarak depolama katsayısının tayini için çalışmalar yaparak analitik bir formül vermiştir.

Akifer karakteristiklerinden iletkenlik katsayısı bazı metodlarla doğrudan analitik olarak hesaplanabildiği halde, depolama katsayısının tayini için genellikle grafik işlemleri kullanmak zorunlu olmaktadır. Theim (1906) ' den sonra Şen (1987)' ye kadar geçen süre içinde, az veri ile pratik hesaplama yöntemleri hakkında çalışmalara rastlanamamaktadır.

Bu bölümde serbest yüzülü akiferlerde, dengesiz akım halinde, iletkenlik (T) ve depolama katsayılarının (S) tayini için geliştirilen analitik formüller verilmiştir. Bu metod ile, Şen (1987) metodunda olduğu gibi geçirimsizlik, iletkenlik, depolama katsayısı gibi büyüklükler, az veri ile ve alışlagelmiş tip eğri çakıştırmasına ihtiyaç duyulmadan, kolaylıkla tayin edilebilir. Bu metodlarda, ayrıca gözlem kuyusu açmaya da gerek kalmamaktadır.

Akiferdeki sınırlar, açılan kuyular üzerinde girişim tesirleri (ilave düşümler) meydana getirirler. Bu tesirler görüntü (imaj) teorisi ve tam girişim denklemleri vasıtası ile hesaplanabilir. Bunun için girişim olayı detaylı olarak Bölüm 2' de verilmiştir.

4.2 Akifer Karakteristiklerinin Bulunması ile İlgili Geliştirilen ve Bu Tezde Önerilen Analitik Metod

4.2.1 İletkenlik katsayısı (T) formülünün elde edilmesi

Serbest yüzeyli akiferlerde dengesiz akım halinde tek bir kuyudaki düşüm ile debi arasındaki ilişkiyi gösteren denklem;

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{2 \pi k} W(u) \quad (4.1)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu ifade düzeltilmiş Theis denklemdir. Burada, H , serbest akiferdeki su tabakası kalınlığını; h , kuyudaki su yüksekliğini; Q , kuyudan çekilen sabit debiyi; k , hidrolik iletkenliği; $W(u)$ ise kuyu fonksiyonunu göstermektedir.

Diğer taraftan $u < 0.05$ için;

$$W(u) = -0.5772 - \ln u = \ln (0.562 / u) \quad (4.2)$$

olarak ifade edilebilir. (4.2) ifadesi (4.1) denkleminde yerine konulduğunda;

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{2 \pi k} (-0.5772 - \ln u) \quad (4.3)$$

denklemini bulunur. Bilindiği gibi boyutsuz zaman ifadesi;

$$u = \frac{S r_w^2}{4 T t} \quad (4.4)$$

dir. Burada, S , depolama katsayısını; T , iletkenliği; r_w , pompaj kuyusu yarıçapını; t ise pompaj süresini göstermektedir.

Diğer taraftan $t = t_1$ değerini alınca, $u = u_1$, $h = h_1$ olur. Benzer şekilde $t = t_2$ değerini alınca $u = u_2$, $h = h_2$ olur. Buna göre;

$$H^2 - h_1^2 = \frac{Q}{2 \pi k} (-0.5772 - \ln u_1) \quad (4.5)$$

$$H^2 - h_2^2 = \frac{Q}{2 \pi k} (-0.5772 - \ln u_2) \quad (4.6)$$

denklemleri yazılabilir.

(4.5) denklemini (4.6) denkleminde taraf tarafa çıkarılırsa;

$$h_1^2 - h_2^2 = \frac{Q}{2 \pi k} \ln \frac{u_1}{u_2} \quad (4.7)$$

denklemini elde edilir. Diğer taraftan; $u_1 = \frac{S r_w^2}{4 T t_1}$ ve $u_2 = \frac{S r_w^2}{4 T t_2}$ olduğundan,

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{t_2}{t_1} \quad (4.8)$$

bulunur. (4.8) eşitliği (4.7) denkleminde yerine konursa;

$$h_1^2 - h_2^2 = \frac{Q}{2 \pi k} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (4.9)$$

denklemini elde edilir. Buradan;

$$k = \frac{Q}{2 \pi (h_1^2 - h_2^2)} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (4.10)$$

hidrolik iletkenlik bağıntısı elde edilir. (4.10) denkleminin her iki yanı H ile çarpılırsa;

$$T = k H = \frac{Q H}{2 \pi (h_1^2 - h_2^2)} \ln \frac{t_2}{t_1} \quad (4.11)$$

iletkenlik formülü elde edilmiş olur.

4.2.2 Depolama katsayısı (S) formülünün elde edilmesi

Depolama katsayısı (S) formülünü elde edebilmek için (4.2) denkleminin sağ tarafı (4.1) denkleminde yerine konursa;

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{2 \pi k} \ln \frac{0.562}{u} \quad (4.12)$$

denklemini bulunur. (4.4) ifadesi (4.12) denkleminde yerine yazılırsa

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{2 \pi k} \ln \left(\frac{2.248 T t}{S r_w^2} \right) \quad (4.13)$$

elde edilir. Diğer taraftan $k = T / H$ olduğundan (4.13) denklemini;

$$H^2 - h^2 = \frac{Q H}{2 \pi T} \ln \left(\frac{2.248 T t}{S r_w^2} \right) \quad (4.14)$$

bulunabilir. Buradan da, gerekli düzenlemelerin yapılması ile;

$$\frac{2 \pi T (H^2 - h^2)}{Q H} = \ln \left(\frac{2.248 T t}{S r_w^2} \right) \quad (4.15)$$

veya

$$\frac{2.248 T t}{S r_w^2} = e^{[2\pi T (H^2 - h^2) / Q H]} \quad (4.16)$$

bulunur. Böylece depolama katsayısı (S);

$$S = \frac{2.248 T t}{r_w^2 \exp[2\pi T (H^2 - h^2) / Q H]} \quad (4.17)$$

olarak elde edilir.

(4.17) denklemi, sadece pompaj kuyusundan elde edilen verilerle depolama katsayısını vermektedir. Bu denklem aşağıdaki gibi düzenlenirse, gözlem kuyularına ait düşünüm-zaman verilerinin kullanılmasıyla da akiferin depolama katsayısı hesaplanabilir.

$$S = \frac{2.248 T t}{r^2 \exp[2\pi T (H^2 - h^2) / Q H]} \quad (4.18)$$

Burada, r , pompaj kuyusu ile gözlem kuyusu arasındaki mesafeyi; h ise gözlem kuyusunda t anındaki su yüksekliğini göstermektedir.

5. MODEL VERİLERİ ve ANALİZLERİ

5.1 Giriş

Bu bölümde, sayısal çözümlerden, fiziksel model deneylerinden ve Pakistan' ın Chaj Doab bölgesinde yapılan arazi çalışmalarından elde edilen pompaj dataları verilmiştir.

5.2 Sayısal Model Çalışması

Serbest yüzlü akiferler için geliştirilen analitik metod, çeşitli akifer modellerine uygulanarak açıklanmıştır. Metod dört ayrı sayısal modele uygulanmıştır. Bu modeller şunlardır:

1. Serbest yüzlü sonsuz akiferde açılmış kuyu hali,
2. Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu hali,
3. İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu hali,
4. Dört yönden geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu hali.

5.2.1 Serbest yüzlü sonsuz akiferde açılmış kuyu halinde düşümler

Birinci model, serbest yüzlü sonsuz akiferde açılmış kuyu halidir. Aslında pratikte sonsuz akifer yoktur. Ancak, tesir yarıçapı (etki yarıçapı) sınırlara ulaşmadığı müddetçe akifer sonsuz kabul edilir. Çünkü bu durumda kuyu üzerinde girişim tesiri olmaz. Sonsuz akifer halinde bir A kuyusu, girişimsiz olarak çalıştığı taktirde kuyudaki düşüm;

$$D_{TA} = D_{AA} \quad (5.1)$$

olur. Burada, D_{TA} , A kuyusundaki toplam düşümü; D_{AA} , A kuyusunun yine A kuyusunda meydana getirdiği düşümü ifade etmektedir.

(5.1) denklemi ile verilen kuyudaki düşüm değeri, (2.76) denklemi kullanılarak düzenlenecek olursa;

$$D_{AA} = H - \sqrt{H^2 - \frac{W(u_{AA})}{2\pi K} Q}$$

şeklini alır.

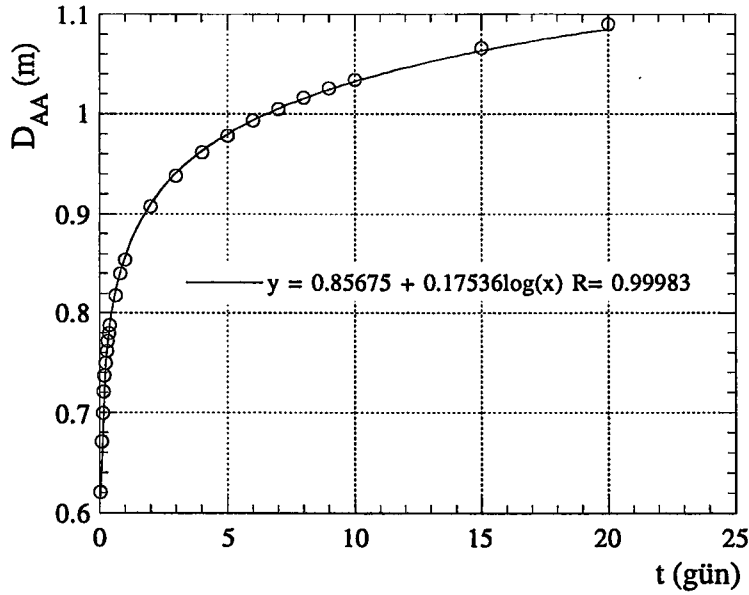
Uygulaması yapılan bu modelde ve diğer üç modelde, akiferlerdeki statik su seviyesi yüksekliği $H = 4$ m, hidrolik iletkenlik (geçirgenlik) $K = 10$ m/gün, iletkenlik değeri $T = K \cdot H = 40$ m²/gün, depolama katsayısı $S = 0.01$ olarak kabul edilmiştir. Kuyu iç yarıçapı $r_w = 0.15$ m ve A kuyusundan çekilen debi $Q = 30$ m²/gün seçilmiştir. Ayrıca kuyudan 5 ve 10 m uzaklıkta iki gözlem kuyusu olduğu varsayılacaktır.

Yukarıda verilen T ve S değerlerine göre, A kuyusu ile gözlem kuyularında hesaplanan düşümler zamana bağlı olarak aşağıdaki Çizelge 5.1' de ve düşüm-zaman grafiği Şekil 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Serbest yüzölü sonsuz akiferdeki A kuyusu ile 5 ve 10 metre uzaklıkta bulunan gözlem kuyularında hesap edilen düşüm değerleri

uzaklık(m)	0	5	10
t (gün)	D_{AA} (m)	D_{G1} (m)	D_{G2} (m)
1/24	0.621	0.167	0.088
2/24	0.671	0.209	0.127
3/24	0.700	0.235	0.150
4/24	0.721	0.253	0.167
5/24	0.737	0.267	0.181
6/24	0.750	0.279	0.192
7/24	0.762	0.288	0.201
8/24	0.772	0.297	0.209
9/24	0.780	0.304	0.217
10/24	0.788	0.311	0.223
15/24	0.818	0.338	0.249
20/24	0.840	0.356	0.267

uzaklık(m)	0	5	10
t (gün)	D_{AA} (m)	D_{G1} (m)	D_{G2} (m)
1	0.854	0.368	0.279
2	0.907	0.414	0.323
3	0.938	0.441	0.349
4	0.961	0.460	0.368
5	0.978	0.476	0.383
6	0.993	0.488	0.395
7	1.005	0.498	0.405
8	1.016	0.508	0.414
9	1.025	0.516	0.422
10	1.034	0.523	0.429
15	1.066	0.551	0.456
20	1.090	0.571	0.476

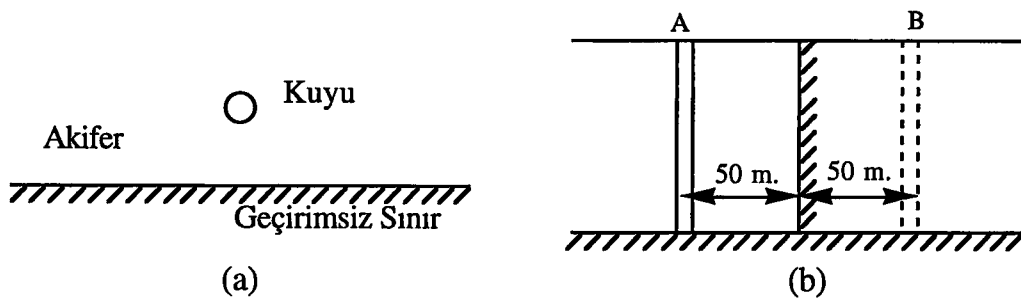


Şekil 5.1 Sonsuz akiferdeki kuyuda düşüm-zaman grafiği

Çizelge 5.1' de verilen düşüm değerleri kullanılarak (4.11) ve (4.17) formüllerinden, sonsuz akiferin T ve S değerleri tekrar hesap edilebilir. Buradan elde edilen sonuçlar, sonraki bölümde diğer metodlarla bulunan sonuçlarla birlikte verilmiştir.

5.2.2 Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde düşümler

İkinci model, bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest su yüzlü akiferde açılmış bir kuyu halidir. Bu durum bir mum ve bir ayna misali ile açıklanabilir. Mum, kuyuyu; ayna da geçirimsiz sınırı temsil etmektedir. Aynada meydana gelen mum görüntüsü de imajiner (görüntü) kuyuyu temsil etmektedir.



Şekil 5.2 Bir yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılmış kuyunun görüntü (imaj) metoduna göre (a) planı ve (b) kesiti

Bir yönden geçirimsiz sınırlı akifere açılan "A" kuyusu ekseninin geçirimsiz sınıra uzaklığı 50 metre olarak alınmıştır. İmaj (görüntü) kuyusu ise "B" ile gösterilmiştir (Şekil 5.2).

Sonsuz akifer modeli bir yönden geçirimsiz sınırla sınırlandırıldığı takdirde düşümler;

$$D_{TA} = D_{AA} + D_{AB} \quad (5.2)$$

olacaktır. Burada kuyudaki gerçek düşüm;

$$D_{AA} = H - \sqrt{H^2 - \frac{W(u_{AA})}{2 \pi K} Q}$$

ve "B" imaj kuyusunun, "A" pompaj kuyusunda meydana getirdiği düşüm;

$$D_{AB} = H - \sqrt{H^2 - \frac{W(u_{AB})}{2 \pi K} Q}$$

ile ifade edilebilir.

Bunlara bağlı olarak kuyudaki toplam düşüm;

$$D_{TA} = H - \sqrt{H^2 - \frac{W(u_{AA})}{2 \pi K} Q} + H - \sqrt{H^2 - \frac{W(u_{AB})}{2 \pi K} Q}$$

olur.

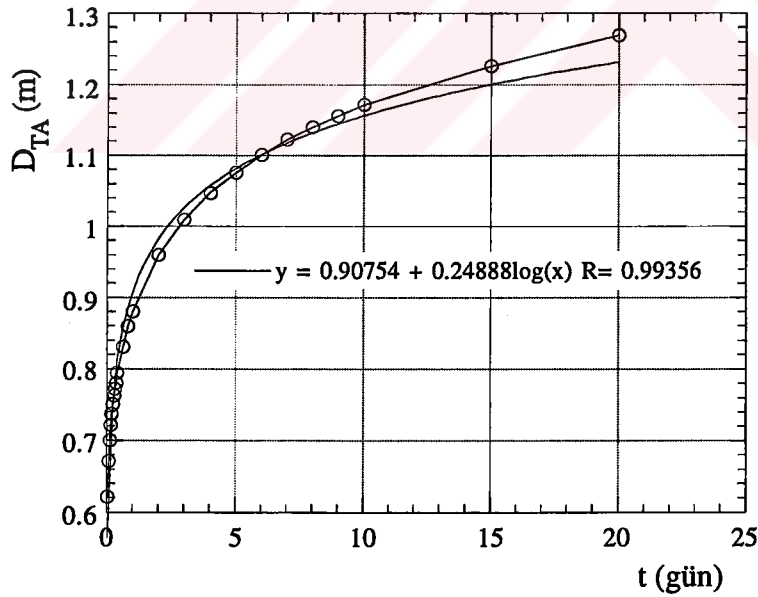
Önceki veriler bu akifere tatbik edilerek, zamanın fonksiyonu olarak D_{TA} değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda Çizelge 5.2' de düşüm değerleri ve buna bağlı olarak Şekil 5.3' de düşüm-zaman grafiği verilmiştir.

Tablodaki değerlere bakıldığında, önceki verilerle hesaplanan pompaj kuyusundaki düşümlerin, belirli bir vakitten sonra imaj kuyusunun girişimi nedeniyle, sonsuz akiferdeki değerlere nazaran artmaya başladığı görülmektedir.

Çizelge 5.2 Bir yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyudaki düşüm değerleri

uzaklık (m)	0	100	
t	D _{AA}	D _{AB}	D _{TA}
(gün)	(m)	(m)	(m)
1/24	0.621		0.621
2/24	0.671		0.671
3/24	0.700		0.700
4/24	0.721		0.721
5/24	0.737		0.737
6/24	0.750		0.750
7/24	0.762		0.762
8/24	0.772		0.772
9/24	0.780		0.780
10/24	0.788	0.006	0.794
15/24	0.818	0.013	0.831
20/24	0.840	0.020	0.860

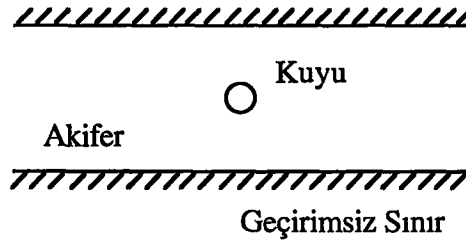
uzaklık (m)	0	100	
t	D _{AA}	D _{AB}	D _{TA}
(gün)	(m)	(m)	(m)
1	0.854	0.026	0.880
2	0.907	0.053	0.960
3	0.938	0.071	1.009
4	0.961	0.086	1.047
5	0.978	0.098	1.076
6	0.993	0.108	1.101
7	1.005	0.117	1.122
8	1.016	0.124	1.140
9	1.025	0.131	1.156
10	1.034	0.138	1.172
15	1.066	0.160	1.226
20	1.090	0.179	1.269



Şekil 5.3 Bir yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyuda düşüm-zaman grafiği

5.2.3 İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde düşümler

Üçüncü model iki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış bir kuyu halidir. Vadilerde açılmış kuyular bu hale örnektir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 İki yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılmış kuyunun planı

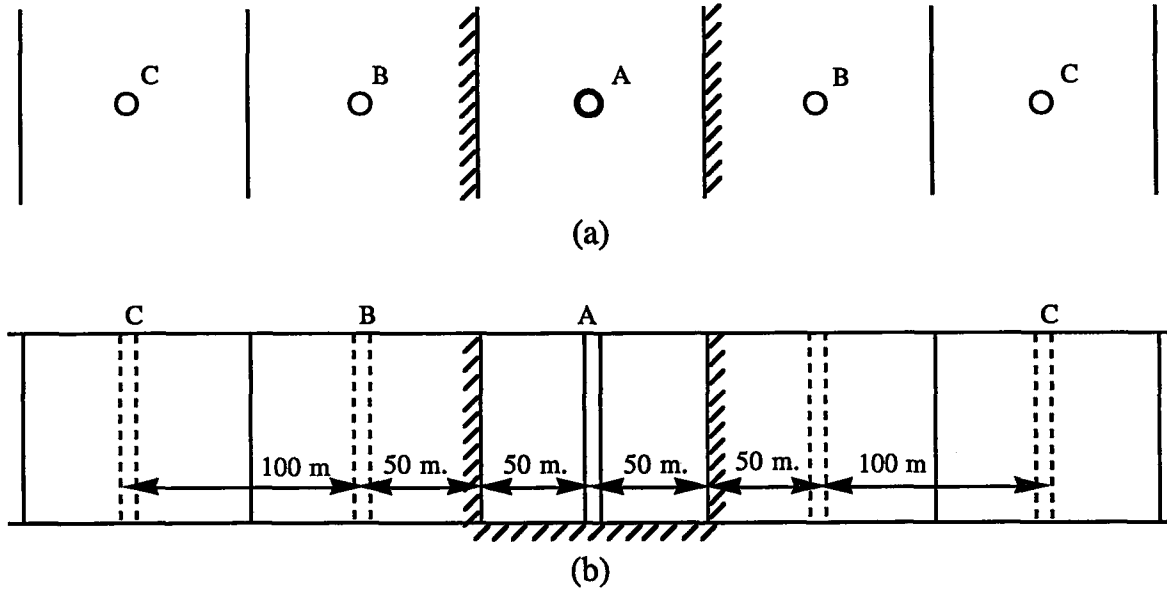
Bu durum birbirine paralel iki ayna arasında bir mum ile açıklanabilir. Bu halde sonsuz sayıda görüntü kuyusu meydana gelir.

Teorik olarak sonsuz sayıda görüntü kuyusu hasıl olmasına rağmen pompaj süresi ve bununla ilgili olarak tesir yarıçapı uzunluğu sınırlı olduğundan girişim olayına iştirak eden (katılan) görüntü kuyularının sayısı da sınırlıdır, sonsuz olamaz.

İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlı akiferde açılan Şekil 5.5'deki gibi bir A kuyusunda düşümler şu eşitlikle belirlenebilir;

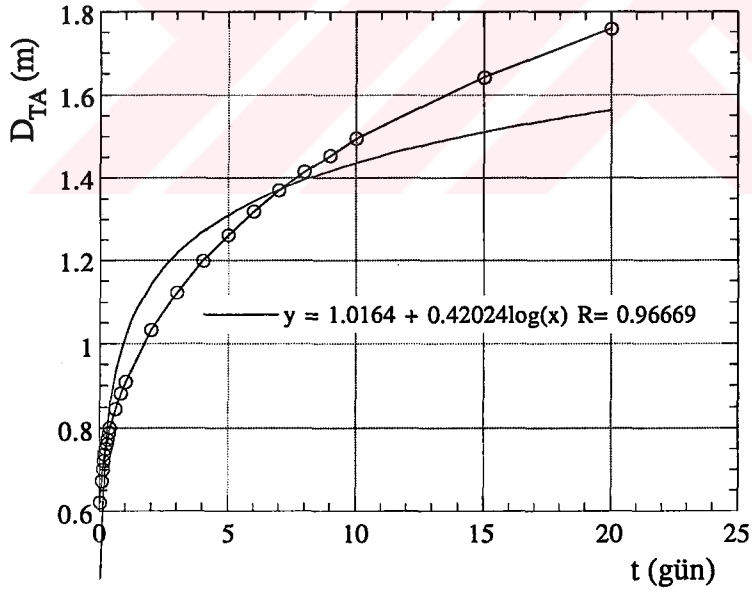
$$D_{TA} = D_{AA} + 2D_{AB} + 2D_{AC} + 2D_{AD} + \dots \quad (5.3)$$

Burada B, C, D, ... ile gösterilen kuyular imaj (görüntü) kuyularıdır. D_{AB} , D_{AC} ve D_{AD} ise imajiner kuyuların, gerçek A kuyusunda meydana getirdikleri düşüm tesirleridir.



Şekil 5.5 İki yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılmış kuyunun görüntü (imaj) metoduna göre (a) planı ve (b) kesiti

Zamana bağlı olarak hesaplanan D_{TA} düşüm değerleri aşağıdaki Çizelge 5.3' de ve bu hale ait düşüm-zaman grafiği Şekil 5.6' de verilmiştir.



Şekil 5.6 İki yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyuda düşüm-zaman grafiği

Çizelge 5.3 İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyudaki düşüm değerleri

uzaklık (m)	0	100	200	300	
t	D _{AA}	2D _{AB}	2D _{AC}	2D _{AD}	D _{TA}
(gün)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1/24	0.621				0.621
2/24	0.671				0.671
3/24	0.700				0.700
4/24	0.721				0.721
5/24	0.737				0.737
6/24	0.750				0.750
7/24	0.762				0.762
8/24	0.772				0.772
9/24	0.780	0.009			0.789
10/24	0.788	0.012			0.800
15/24	0.818	0.026			0.844
20/24	0.840	0.040	0.002		0.882
1	0.854	0.052	0.003		0.909
2	0.907	0.106	0.018	0.002	1.033
3	0.938	0.142	0.035	0.007	1.122
4	0.961	0.172	0.052	0.014	1.199
5	0.978	0.196	0.067	0.021	1.262
6	0.993	0.216	0.081	0.029	1.319
7	1.005	0.234	0.094	0.037	1.370
8	1.016	0.248	0.106	0.045	1.415
9	1.025	0.262	0.115	0.052	1.454
10	1.034	0.276	0.126	0.059	1.495
15	1.066	0.320	0.166	0.090	1.642
20	1.090	0.358	0.196	0.115	1.759

Bu durum planda kare şeklinde yerleşmiş dört ayna ve bir mum ile açıklanabilir. Bu halde de sonsuz görüntü kuyu (. =) hasıl olur. Ancak, yukarıda da belirtildiği gibi, pompaj süresi ve bununla ilgili olarak tesir yarıçapı uzunluğu sınırlı olduğundan girişim olayına iştirak eden (katılan) görüntü kuyularının sayısı sınırlıdır, sonsuz olamaz. Bilindiği gibi tesir yarıçapı uzunluğu zamanın fonksiyonu olarak artmaktadır. Bu halde dikkate alınacak toplam düşüm değeri şu şekilde hesaplanabilir;

$$D_{TA} = D_{AA} + 4 D_{AB1} + 4 D_{AB2} + 4 D_{AC1} + 8 D_{AC2} + 4 D_{AC3} + \dots \quad (5.4)$$

Burada B3, B5, B7 görüntü kuyuları, B1 görüntü kuyusu ile B4, B6, B8 görüntü kuyuları da B2 görüntü kuyusu ile aynı değerde olduklarından bu kuyular B1 ve B2 cinsinden ifade edilmiştir. Aynı şekilde C1, C2 ve C3 kuyuları da eşdeğer kuyuları temsil etmektedir. Görüntü (imajiner) kuyuları kısaca (j) harfi ile gösterilirse, serbest yüzölçümü akiferlerde;

$$D_{AA} = H - \sqrt{H^2 - \beta_{AA} Q}$$

$$D_{Aj} = H - \sqrt{H^2 - \beta_{Aj} Q}$$

$$\beta_{AA} = \frac{W(u_{AA})}{2 \pi K} \quad ; \quad u_{AA} = \frac{S r_{AA}^2}{4 T t}$$

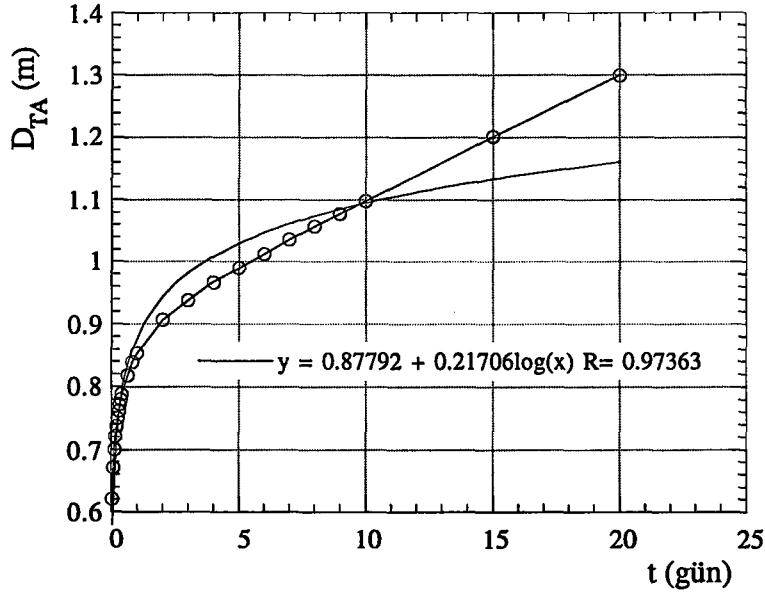
$$\beta_{Aj} = \frac{W(u_{Aj})}{2 \pi K} \quad ; \quad u_{Aj} = \frac{S r_{Aj}^2}{4 T t}$$

yazılabilir. Burada, $W(u_{AA})$, $W(u_{Aj})$, kuyu fonksiyonlarını; $r_{AA} = r_w$, kuyu iç yarıçapını; r_{Aj} , gerçek kuyu ile imajiner kuyular arasındaki uzaklığı ve t ise pompaj süresini ifade etmektedir.

Yukarıdaki denkleme göre yapılan hesaplar aşağıdaki Çizelge 5.4 ve Şekil 5.8' deki grafikte verilmiştir.

Çizelge 5.4 Dört yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyudaki düşüm değerleri

uzaklık (m)	0	400	566	800	894	1131	
t (gün)	D _{AA} (m)	4D _{B1} (m)	4D _{B2} (m)	4D _{C1} (m)	8D _{C2} (m)	4D _{C3} (m)	D _{TAhes} (m)
1/24	0.621						0.621
2/24	0.671						0.671
3/24	0.700						0.700
4/24	0.731						0.721
5/24	0.737						0.737
6/24	0.750						0.750
7/24	0.762						0.762
8/24	0.772						0.772
9/24	0.780						0.780
10/24	0.788						0.788
15/24	0.818						0.818
20/24	0.840						0.840
1	0.854						0.854
2	0.907						0.907
3	0.938						0.938
4	0.961	0.006					0.967
5	0.978	0.012					0.990
6	0.993	0.019					1.012
7	1.005	0.027	0.004				1.036
8	1.016	0.035	0.006				1.057
9	1.025	0.044	0.009				1.078
10	1.034	0.052	0.012				1.098
15	1.066	0.095	0.031	0.005	0.004		1.201
20	1.090	0.134	0.052	0.012	0.012		1.300



Şekil 5.8 Dört yönden geçirimsiz sınırlı serbest yüzlü akiferde açılan kuyuda düşüm-zaman grafiği

5.3 Fiziksel Model Çalışması

Sınırlı serbest yüzlü akiferlerde, düşümleri ve akifer karakteristiklerini tayin edebilmek için, Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik Anabilim Dalı Kıyı ve Liman Laboratuvarında fiziksel bir model tesis edilmiştir. Bu kısımda modelin kurulması, ölçme teknikleri ve deneylerin yapılması üzerinde durulacaktır.

5.3.1 Laboratuvar modeli inşası

İnşa edilen fiziksel model, 2400x2400 mm boyutlarında kare tabanlı ve 1200 mm yüksekliğinde bir kum sandığı şeklindedir (Şekil 5.9). Bu kum sandığı, dört yönden geçirimsiz sınırlarla çevrelenmiş bir serbest akiferi temsil etmektedir ve bu akiferin kesit olarak görünüşü Şekil 5.10' da verilmiştir.

Kum sandığının içine 35 mm çaplı, 1000 mm yüksekliğinde delikli sacdan imal edilen 5 adet kuyu monte edilmiştir (Şekil 5.11). Kuyular, tabandan hortumlarla piyezometre panosuna bağlanmıştır. Ayrıca akiferdeki su seviyesi de bu panodan okunabilmektedir. Aynı şekilde, tabandan uzatılan borular ve boruların uçlarına takılan vanalar vasıtasıyla, kuyulardan çeşitli debilerde su alınması mümkün olmaktadır. Çıkış vanalarının altına konan bir kanalla, debi ölçüm zamanlarının dışında akan suyun tahliyesi sağlanmıştır.

Kum sandığına su girişi, yüksekçe bir yere konan depo ve deponun olduğu kenara takılan vana vasıtasıyla olmaktadır. Su çıkışı için karşı kenara tabandan 450 mm yükseklikte dolu savak yapılmıştır. Kuyuların etrafı suyu filtre edecek şekilde özel bir malzeme ile sarılmıştır. Bu sayede kuyulara kum girişi önlenmiş ve suyun düzenli olarak akışı sağlanmıştır.

Modele, yüksekliği 500 mm olan, tabanı kaplayacak şekilde kum malzeme iyice sıkıştırılarak konulmuştur. Bu sıkıştırma işlemi sırasında öncelikle kum sandığı içerisine 100 mm kalınlığında kum yerleştirilmiştir. Bu kum tabakası çeşitli sıkıştırma aletleri kullanılarak kum sandığının dibine yerleştirilmiştir. Daha sonra kum sandığı kum seviyesine kadar su ile doldurulmuş ve verilen su tekrar drene edilmiştir. Danelerin kum sandığı içerisine tam olarak yerleştirilmesinden sonra tekrar sıkıştırma işlemine başlanmıştır. 100 mm' lik kum tabakasının tam manasıyla oturması için üç saat beklendikten sonra ikinci 100 mm' lik kum tabakası kum sandığına yerleştirilmiştir. Bu işlem de yine ilk 100 mm' lik kısım da olduğu gibi yapılmış ve 500 mm yüksekliğe kadar kum sandığın içerisine yerleştirilmiştir. Daha sonra kum sandığının içi su ile doldurularak test edilmiştir (Birpınar ve Gazioğlu, 1998).

5.3.2 Deneylerin yapılması

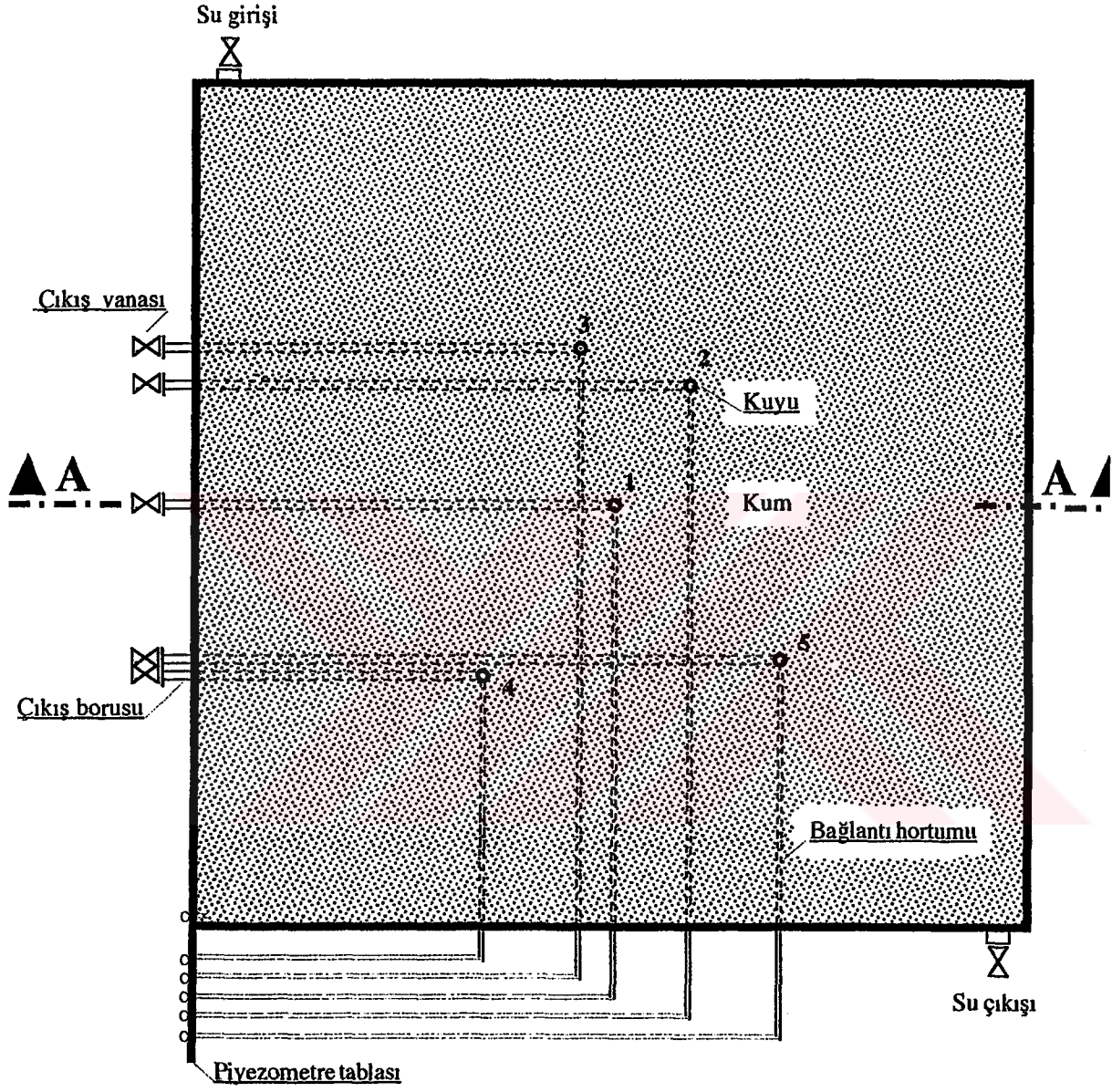
Kum sandığı modeli üzerinde, dengesiz akım halinde dört taraftan geçirimsiz sınırlarla çevrili olarak oluşturulan serbest yüzlü akifer modeli üzerinde açılmış çeşitli kuyularda tek kuyu deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde öncelikle kum sandığının tam merkezine açılmış olarak bulunan kuyu üzerinde belirlenen sabit debide düşüm-zaman deneyi yapılmıştır.

Yapılan bütün deneylerde dengesiz akım halini sağlamak için her deneyden önce, kum tabakası dolu savak seviyesinin altında kalacak şekilde suyla doldurulmuştur. Suyun kum tabakasına iyice nüfuz etmesi için yani akifer içerisindeki kum malzemesinin bütün boşluklarının tamamen doymuş hale gelmesi için, giriş vanasından kumun içerisine, ucuna ince delikler açılmış bir hortum sarkıtılmıştır. Bu hortum vasıtasıyla giriş suyunun kum sandığının tabanından kumun üst kısmına doğru akış sağlanmıştır. Kum sandığı su ile doldurulmaya başlanmış ve su, dolu savak seviyesine geldiğinde, sisteme su girişi kesilmiştir. Akiferdeki su yüksekliği (H) her deney için ayrı ayrı sabitlenmiştir. Bu işlem yapılırken akifere giren fazla suyun dışarı atılması ve su seviyesinin sabit hale gelmesi için bir müddet beklenmiştir. Su seviyesinin sabitlenip sabitlenmediği piyezometre panosundan gözlenmiş ve bu

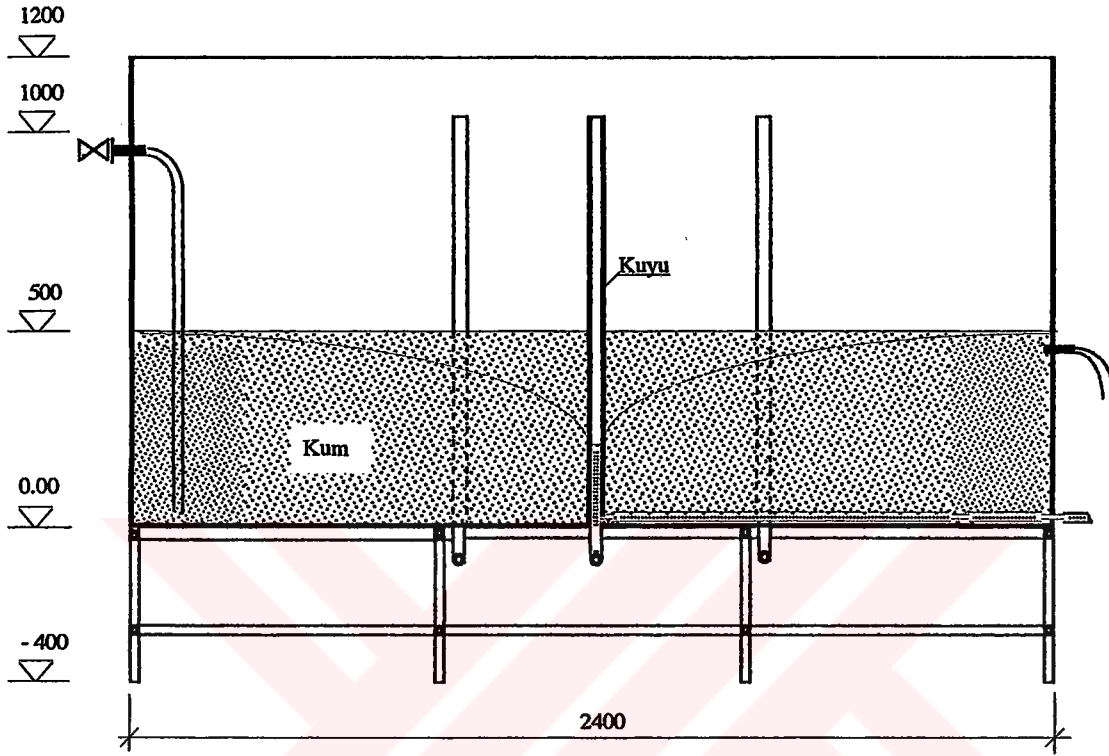
seviyenin sabitlendiği belirlendikten sonra vanalardan su çekimi işlemine başlanmıştır.

Deneylerin başlangıcında seçilen herhangi bir kuyuda yapılan testde ilk bir dakika içerisinde 15 saniye aralıklarla bu zamanlara karşılık gelen kuyudaki düşüm değeri piyezometre vasıtasıyla belirlenmiştir. Birinci dakikadan sonra, kuyudaki düşüm değeri azalmaya başladığından dolayı ölçüm sıklığı birer dakikaya çıkartılmış ve birer dakika aralıklarla düşümlerin ölçülmesine devam edilmiştir. Onuncu dakikadan sonra ise beşer dakika arayla iki ölçüm, on dakika arayla bir ölçüm ve onbeş dakika arayla iki ölçüm yapılarak bir saatlik ölçüm süresine ulaşılmıştır. Daha sonra otuzar dakika aralıklarla altı ölçüm yapılmış ve dört saatlik toplam ölçüm zamanına erişilmiştir.

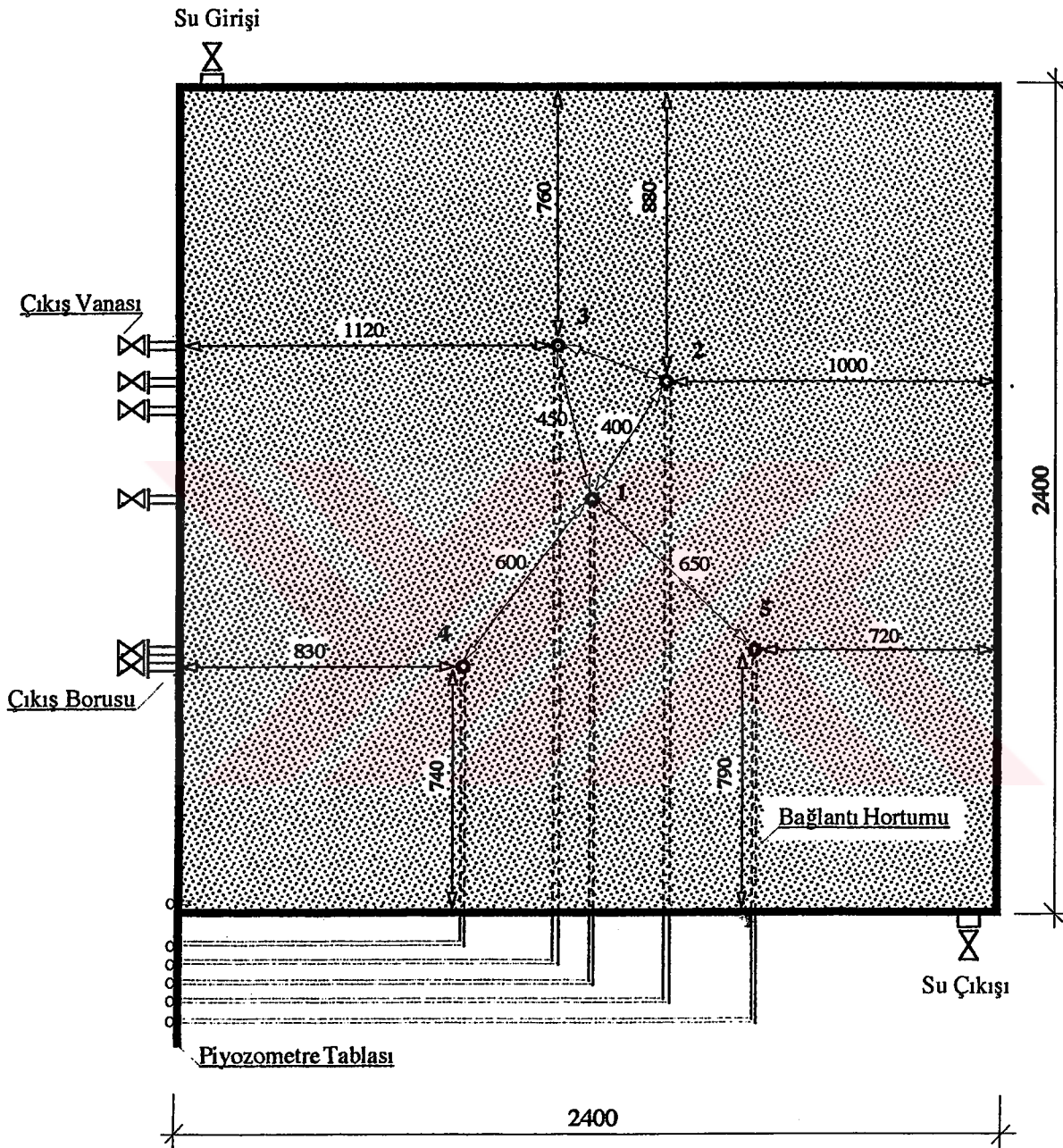
Merkezdeki 1 nolu kuyunun deneyi yapılırken, bu kuyudan 400 mm ve 600 mm uzaklıklarda bulunan 2 ve 4 nolu kuyularda meydana gelen düşümler de aynı anlarda gözlenerek kaydedilmiştir. Diğerlerinde ise sadece debi çekilen kuyunun su seviyeleri ölçülmüştür.



Şekil 5.9 Fiziksel model planı



Şekil 5.10 Fiziksel modelin A-A kesiti



Şekil 5.11 Fiziksel modelin boyutlu planı

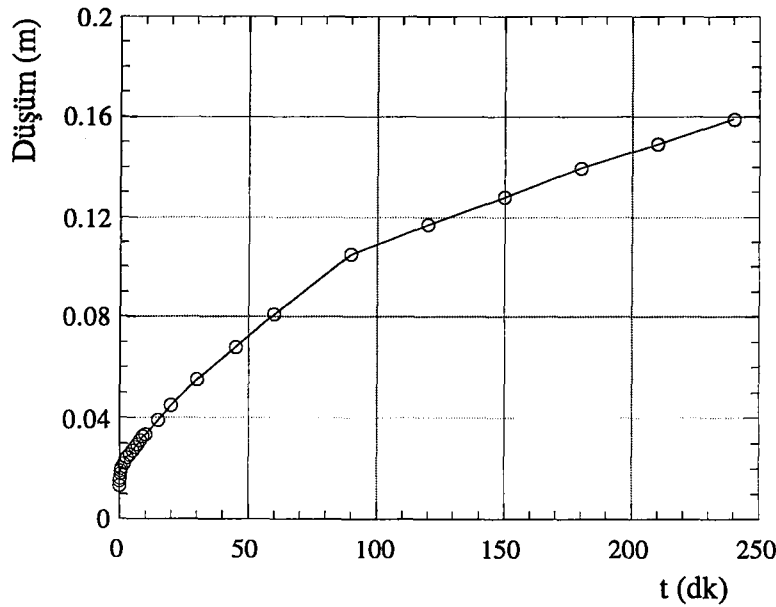
5.3.3 Laboratuvar modeli üzerindeki kuyuların düşüm-zaman eğrilerinin çıkartılması

Yukarıda açıklaması yapılan laboratuvar modeli üzerindeki kuyularda yapılan deneylerden elde edilen neticeler plandaki kuyu numarasına göre aşağıda tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

5.3.3.1 1 nolu (merkez) kuyuda deney sonuçları

İki ve dört yönden sınırlı model çalışmalarında hesap kolaylığı bakımından kuyular merkezde seçilmiştir. Buradan hareketle laboratuvar modeli çalışmalarında da, merkezde bulunan kuyuya "1" numara verilmiş ve deneylere buradan başlanmıştır. Bu deneyde, aynı hat üzerinde bulunan ve merkezden 400 mm uzaklıkta bulunan 2 nolu kuyu ile 600 mm uzaklıkta bulunan 4 nolu kuyu, gözlem kuyusu kabul edilmiştir. 1 nolu kuyudan debi çekildiğinde, meydana gelen seviye değişimleri ile birlikte 2 ve 4 nolu kuyulardaki su seviyeleri de aynı anlarda okunarak kaydedilmiştir. Deney sırasında pompaj kuyusunda debinin $Q=1.111 \text{ cm}^3/\text{sn}$ olduğu tesbit edilmiştir.

Merkez kuyuda, dört saat süreyle yapılan deney neticesinde elde edilen düşüm değerleri aşağıda Çizelge 5.5' de ve buna bağlı olarak çıkarılan düşüm-zaman grafiği Şekil 5.12' de verilmiştir.



Şekil 5.12 1 nolu (merkez) kuyuda düşüm-zaman grafiği

Çizelge 5.5 1 nolu (merkez) kuyudan debi çekildiğinde 1, 2 ve 4 nolu kuyularda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri

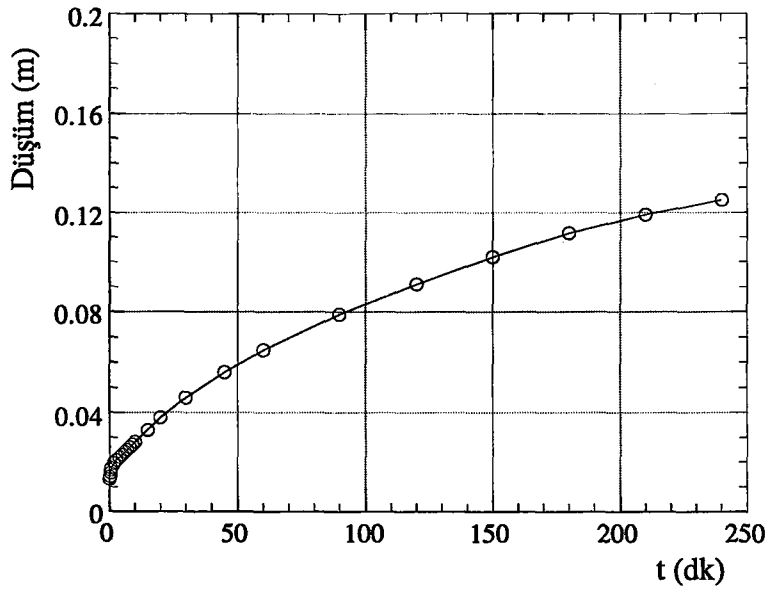
ZAMAN	STATİK SU SEVİYESİ	1 NOLU POMPAJ KUYUSUNDA SU SEVİYESİ	1 NOLU POMPAJ KUYUSUNDA DÜŞÜM	2 NOLU GÖZLEM KUYUSUNDA DÜŞÜM	4 NOLU GÖZLEM KUYUSUNDA DÜŞÜM
t (sn)	H (cm)	h_w (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D4 (cm)
5	41.0	39.70	1.30	-	-
10	41.0	39.50	1.50	-	-
15	41.0	39.40	1.60	-	-
30	41.0	39.20	1.80	0.10	0.10
45	41.0	39.10	1.90	0.20	0.20
60	41.0	39.00	2.00	0.40	0.30
120	41.0	38.80	2.20	0.60	0.50
180	41.0	38.55	2.45	0.65	0.60
240	41.0	38.45	2.55	0.70	0.65
300	41.0	38.30	2.70	0.80	0.80
360	41.0	38.15	2.85	0.90	0.90
420	41.0	38.05	2.95	1.00	0.95
480	41.0	37.90	3.10	1.05	1.00
540	41.0	37.75	3.25	1.10	1.10
600	41.0	37.65	3.35	1.20	1.15
900	41.0	37.10	3.90	1.35	1.30
1200	41.0	36.50	4.50	1.50	1.50
1800	41.0	35.50	5.50	1.80	1.70
2700	41.0	34.20	6.80	2.10	1.90
3600	41.0	32.90	8.10	2.35	2.10
5400	41.0	30.50	10.50	2.60	2.35
7200	41.0	29.30	11.70	2.90	2.60
9000	41.0	28.20	12.80	3.10	2.90
10800	41.0	27.05	13.95	3.30	3.10
12600	41.0	26.10	14.90	3.50	3.30
14400	41.0	25.10	15.90	3.60	3.45

5.3.3.2 2 nolu kuyuda deney sonuçları

2 numaralı kuyu, su girişi tarafından 880 mm ve kuyuların çıkış vanalarının bulunduğu kenardan 1400 mm uzaklıktadır. Deney sırasında, kuyudan çekilen debinin $Q=0.901 \text{ cm}^3/\text{sn}$ olduğu ölçülmüştür. Dört saatlik pompaj sonundaki düşüm değerleri Çizelge 5.6' da ve düşüm-zaman grafiği Şekil 5.13' de verilmiştir.

Çizelge 5.6 2 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri

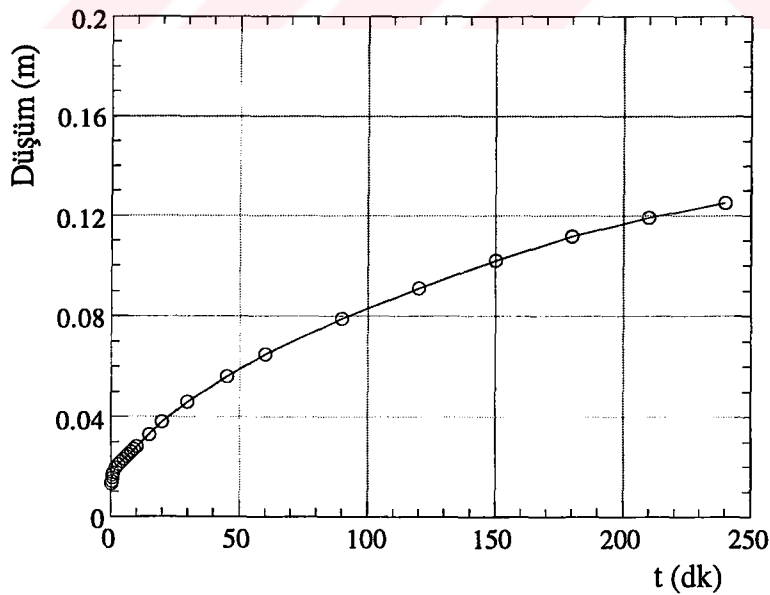
ZAMAN	STATİK SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ DÜŞÜM
t (sn)	H (cm)	h_w (cm)	D (cm)
10	40.00	38.70	1.30
15	40.00	38.60	1.40
30	40.00	38.45	1.55
45	40.00	38.35	1.65
60	40.00	38.25	1.75
120	40.00	38.05	1.95
180	40.00	37.90	2.10
240	40.00	37.80	2.20
300	40.00	37.70	2.30
360	40.00	37.60	2.40
420	40.00	37.50	2.50
480	40.00	37.40	2.60
540	40.00	37.30	2.70
600	40.00	37.20	2.80
900	40.00	36.80	3.20
1200	40.00	36.40	3.60
1800	40.00	35.70	4.30
2700	40.00	34.70	5.30
3600	40.00	33.80	6.20
5400	40.00	32.50	7.50
7200	40.00	31.40	8.60
9000	40.00	30.30	9.70
10800	40.00	29.30	10.70
12600	40.00	28.35	11.65
14400	40.00	27.45	12.55



Şekil 5.13 2 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği

5.3.3.3 3 nolu kuyuda deney sonuçları

Planda en yukarıda görülen 3 numaralı kuyu, giriş vanası tarafından 760 mm, kuyu çıkış vanalarının bulunduğu kenardan 1120 mm içeride bulunmaktadır. Kuyudan dört saat süreyle $0.909 \text{ cm}^3/\text{sn}$ lik debi çekilerek yapılan deney neticeleri aşağıdaki Çizelge 5.7' de ve düşüm-zaman grafiği de Şekil 5.14' de verilmektedir.



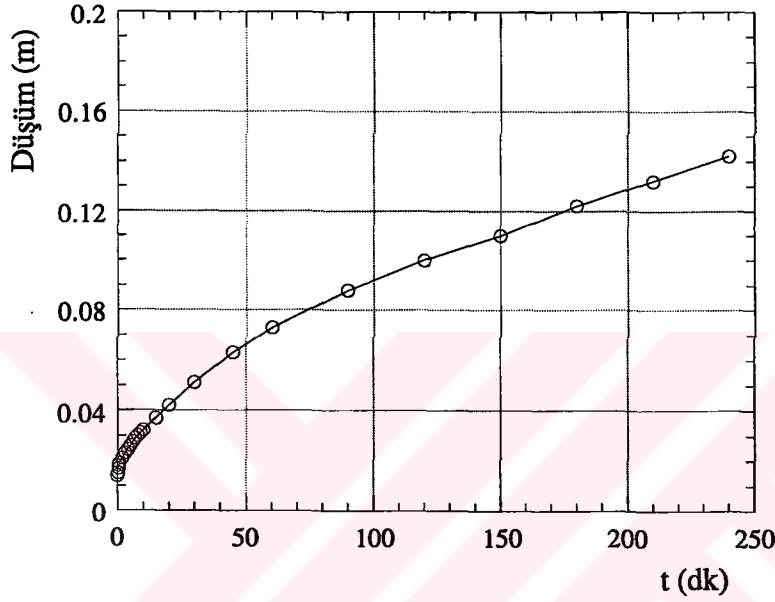
Şekil 5.14 3 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği

Çizelge 5.7 3 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri

ZAMAN	STATİK SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ DÜŞÜM
t (sn)	H (cm)	h _w (cm)	D (cm)
10	37.90	36.60	1.30
15	37.90	36.50	1.40
30	37.90	36.35	1.55
45	37.90	36.25	1.65
60	37.90	36.15	1.75
120	37.90	35.95	1.95
180	37.90	35.80	2.10
240	37.90	35.70	2.20
300	37.90	35.60	2.30
360	37.90	35.50	2.40
420	37.90	35.40	2.50
480	37.90	35.30	2.60
540	37.90	35.20	2.70
600	37.90	35.10	2.80
900	37.90	34.60	3.30
1200	37.90	34.10	3.80
1800	37.90	33.30	4.60
2700	37.90	32.30	5.60
3600	37.90	31.40	6.50
5400	37.90	30.00	7.90
7200	37.90	28.80	9.10
9000	37.90	27.70	10.20
10800	37.90	26.75	11.15
12600	37.90	26.00	11.90
14400	37.90	25.40	12.50

5.3.3.4 4 nolu kuyuda deney sonuçları

Merkezi kuyuya 600 mm uzaklıkta bulunan 4 numaralı kuyu, suyun çıkış vanası tarafından 740 mm, kuyuların çıkış vanalarının bulunduğu kenardan 830 mm uzaklıkta tesis edilmiştir. Diğer kuyularda olduğu gibi burada da dört saat süreyle, $Q=1.069 \text{ cm}^3/\text{sn}$ 'lik pompaj neticesinde elde edilen düşüm değerleri Çizelge 5.8' de ve düşüm-zaman grafiği Şekil 5.15' de verilmiştir.



Şekil 5.15 4 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği

Çizelge 5.8 4 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri

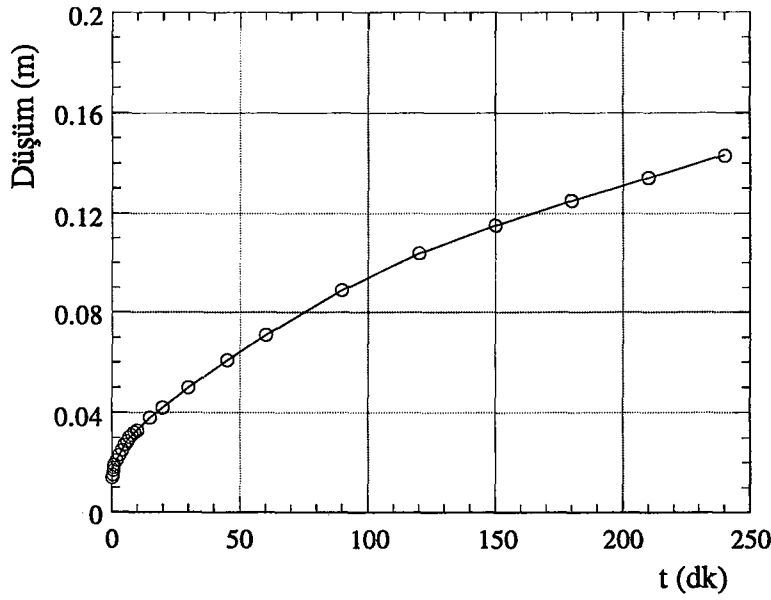
ZAMAN	STATİK SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ DÜŞÜM
t (sn)	H (cm)	h _w (cm)	D (cm)
10	39.30	37.90	1.40
15	39.30	37.80	1.50
30	39.30	37.60	1.70
45	39.30	37.50	1.80
60	39.30	37.40	1.90
120	39.30	37.20	2.10
180	39.30	37.00	2.30
240	39.30	36.85	2.45
300	39.30	36.70	2.60
360	39.30	36.55	2.75
420	39.30	36.40	2.90
480	39.30	36.30	3.00
540	39.30	36.20	3.10
600	39.30	36.10	3.20
900	39.30	35.60	3.70
1200	39.30	35.10	4.20
1800	39.30	34.20	5.10
2700	39.30	33.00	6.30
3600	39.30	32.00	7.30
5400	39.30	30.50	8.80
7200	39.30	29.30	10.00
9000	39.30	28.20	11.00
10800	39.30	27.10	12.20
12600	39.30	26.10	13.20
14400	39.30	25.10	14.20

5.3.3.5 5 nolu kuyuda deney sonuçları

5 numaralı kuyu, suyun çıkış vanası tarafından 790 mm, kuyu vanalarının bulunduğu kenardan 1680 mm uzaklıktadır. Kuyudan çekilen debi $Q=1.020 \text{ cm}^3/\text{sn}'$ dir. Belirli zaman aralıklarıyla yapılan dört saatlik pompaj süresi sonunda elde edilen düşüm değerleri Çizelge 5.9' da ve buna ait grafik Şekil 5.16' da verilmiştir.

Çizelge 5.9 5 nolu kuyuda zamana bağlı olarak elde edilen düşüm değerleri

ZAMAN	STATİK SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ SU SEVİYESİ	KUYUDAKİ DÜŞÜM
t (sn)	H (cm)	h_w (cm)	D (cm)
10	44.10	42.70	1.40
15	44.10	42.60	1.50
30	44.10	42.40	1.70
45	44.10	42.30	1.80
60	44.10	42.20	1.90
120	44.10	42.00	2.10
180	44.10	41.80	2.30
240	44.10	41.60	2.50
300	44.10	41.40	2.70
360	44.10	41.25	2.85
420	44.10	41.10	3.00
480	44.10	41.00	3.10
540	44.10	40.90	3.20
600	44.10	40.80	3.30
900	44.10	40.30	3.80
1200	44.10	39.90	4.20
1800	44.10	39.10	5.00
2700	44.10	38.00	6.10
3600	44.10	37.00	7.10
5400	44.10	35.20	8.90
7200	44.10	33.70	10.40
9000	44.10	32.60	11.50
10800	44.10	31.60	12.50
12600	44.10	30.50	13.40
14400	44.10	29.40	14.30

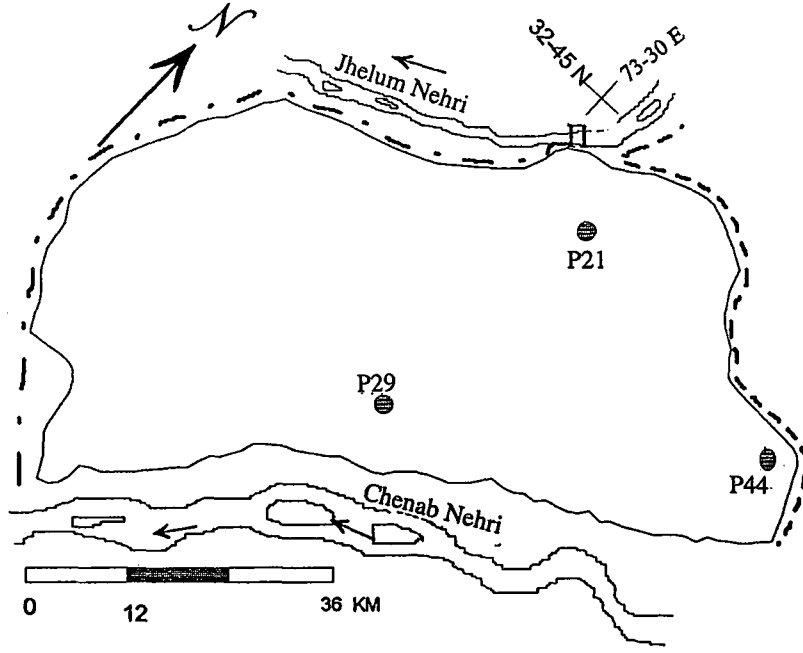


Şekil 5.16 5 nolu kuyuda düşüm-zaman grafiği

5.4 Arazi Çalışması

Çalışmanın yapıldığı bölge, Pakistan' ın kuzeydoğusunda bulunan Jhelum ve Chanab isimli iki nehir arasında kalan kısmı ihtiva etmektedir. Bu bölge Pencap vadisinin içinde bulunmakta ve yerel olarak Chaj Doab adını almaktadır. Pakistan' ın, Indus su toplama alanı içinde kalan bu iki nehirden sınırlı olarak su çekmeye hakkı vardır. Bölgedeki sulama suyu ihtiyacı için yağışlar da yeterli değildir. Yerüstü su kaynaklarının yetersiz olması sebebiyle 1947 yılından itibaren, bu bölgede yeraltı suyu kaynaklarından yararlanma yoluna gidilmiştir (Niaz, 1998).

Pakistan' ın Chaj Doab Bölgesinde akifer parametrelerinin belirlenmesi ile ilgili çalışmada, sonuçların doğru olarak elde edilmesi için, değişik noktalarda bölgenin tüm özelliklerini yansıtacak şekilde pompa deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmada, pompa testleri seçilen üç ayrı bölgede yapılmıştır. Bu üç pompaj kuyusuna ait veriler elde edilmiş ve işlenmiştir. Akifer testlerinin uygulandığı bölge Şekil 5.17' de gösterilmiştir. Bu bölgedeki pompaj kuyuları, P21, P29 ve P44 diye adlandırılmıştır. Bu kuyulara ait düşüm değerleri tablolar halinde Ek' de verilmiştir. Bu pompa testleri Pakistan Su ve Zemin Araştırma Enstitüsü (WASID) ile Su ve Enerji Geliştirme Organizasyonu (WAPDA) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu veriler "Basic Data Release No. 9, Volume II, Directorate General of Hydrogeology, WAPDA, Lahore, 1983" tarafından yayınlanmıştır.

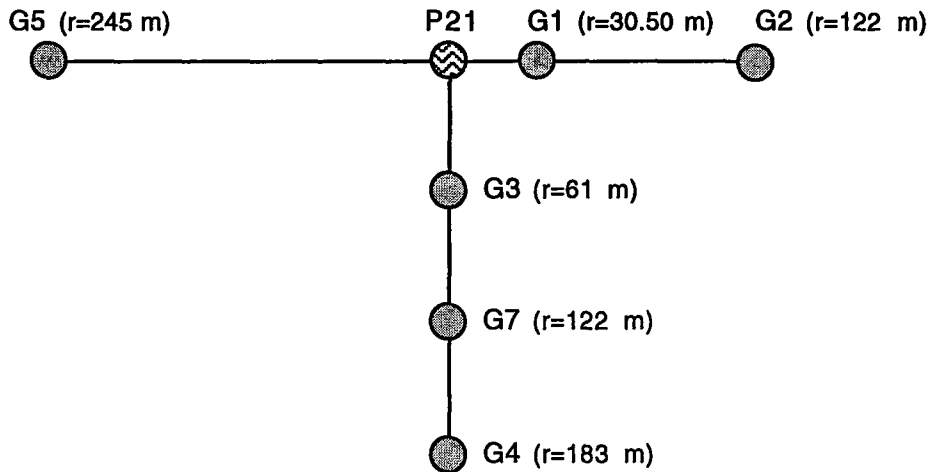


Şekil 5.17 Arazi çalışmalarının yapıldığı bölge

5.4.1 P21 test bölgesi

Pakistan'ın Chaj Doab bölgesinde Gujrat su dağıtım istasyonuna yakın bir yerde P21 testleri yapılmıştır. Düşüm konisi değişiminin ölçülebilmesi için pompaj kuyusunun etrafına değişik uzaklık ve yönlerde altı adet gözlem kuyusu açılmıştır. Bu gözlem kuyularının konumları Şekil 5.18'de gösterilmiştir.

Pompa testleri, 17 Eylül 1959 tarihinde sabah saat 10' da başlatılmış ve 25 Eylül 1959' da yine sabah saat 10' da bitirilmiştir. 8 gün süren test sırasında çekilen sabit pompaj debisi $Q = 0.06286 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak ölçülmüştür.

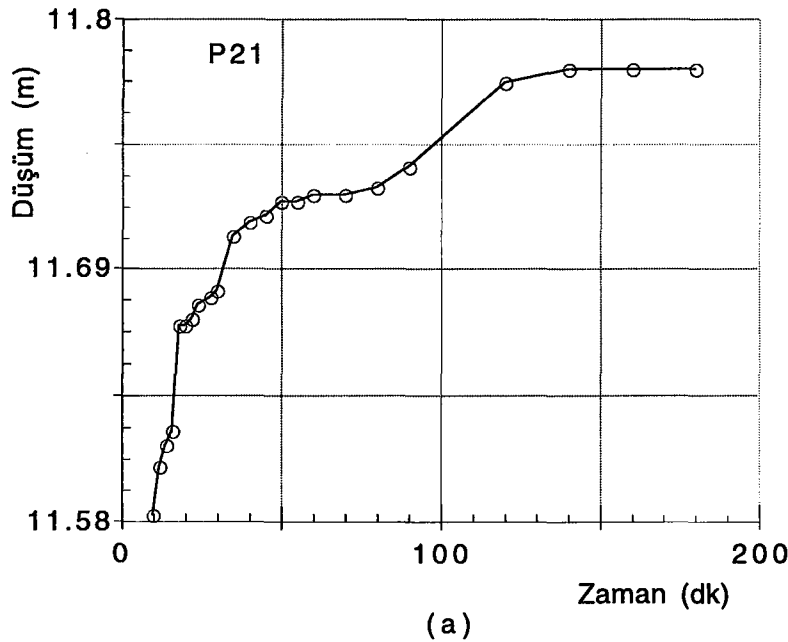


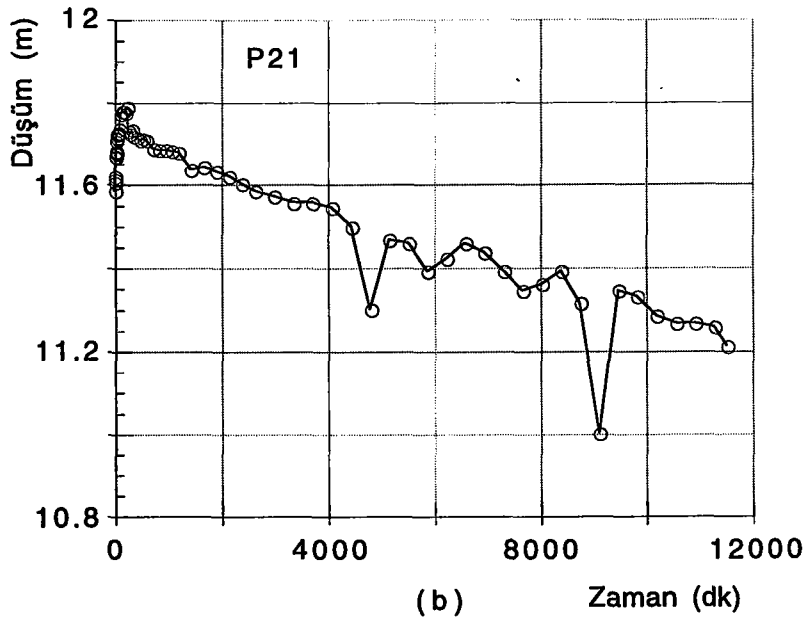
Şekil 5.18 P21 test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü

5.4.1.1 P21 bölgesinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi

Pompaj kuyusuna ait Ek' de verilen düşüm-zaman verilerine bakıldığında ilk 9 dakika için değerlerin bulunmadığı görülür. Düşüm-zaman değerleri Şekil 5.19' da aritmetik koordinat sisteminde gösterilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi, 160 dakikalık kısma kadarki düşüm-zaman değişimi düzensiz bir artış göstermiş, daha sonra ise hemen hemen hiç değişmemiştir. Düşüm 40 ve 80. dakikalar arası sabit kalmış, böylece akiferin sızdırmalı veya serbest yüzlü bir karaktere sahip olduğu işaretini vermiştir. 80 ve 120. dakikalar arasında düşümde bir artış gözlenmiş ve bu akiferin basınçlı da olabileceğini göstermiştir. Şekil 5.19 b' de görüldüğü gibi, düşüm 400 dakikaya kadar artmış, daha sonra düşen bir seyir izleyerek testin son zamanına kadar böyle devam etmiştir.

Bu grafiklerden, akiferin ilk 400 dakikada serbest yüzlü akifer gibi davrandığı görülmektedir. Ancak bu zamandan sonra düşümdeki azalma normal olmayan bir durumdur. Bunun manası ise, kuyudan su çekildiği sürece akiferin pompaj kuyusuna tepkisinin maksimum seviyeye çıkmış olmasıdır. Bu anormal davranış, düşüm konisinin ya çok geçirimli bir bölgeye girdiği ya da sürekli bir besleme sınırına ulaştığını göstermektedir. Ayrıca pompaj kuyusunun ilk dakikalarına ait düşüm değerlerinin mevcut olmaması, akiferin davranışı ile ilgili bazı önemli özelliklerin bulunmasını engellemektedir. Bu yüzden, pompa testlerinde ilk verilerin elde edilmesine çok dikkat edilmelidir.

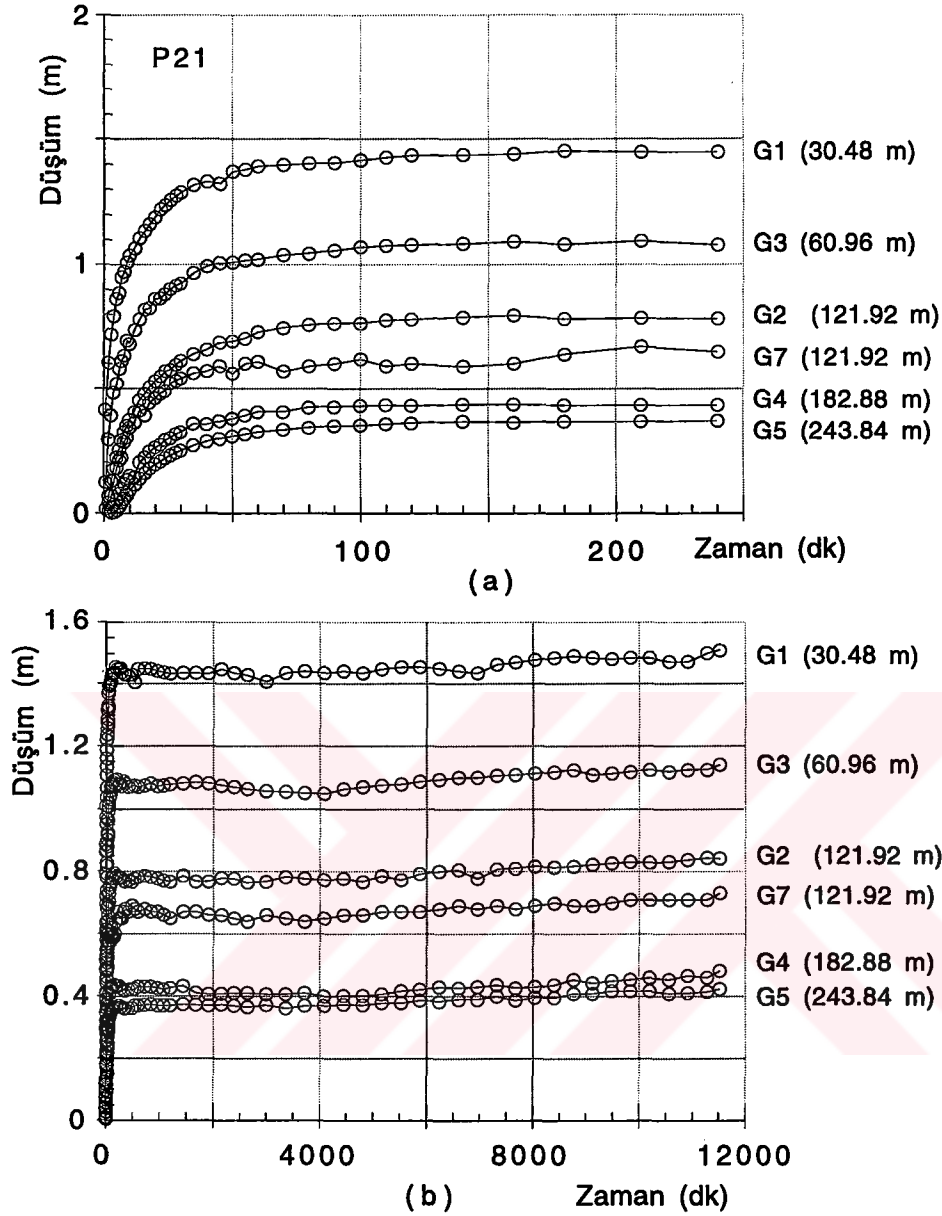




Şekil 5.19 P21 bölgesinde pompaj kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafikleri
(a) ilk 200 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri

Diğer taraftan, gözlem kuyularındaki düşüm değerleri zamana bağlı olarak grafikler halinde yine aritmetik koordinat sisteminde Şekil 5.20 a, b' de sırasıyla verilmiştir. Bu grafiklerden ilki 250 dakikalık kısmı göstermekte, ikinci grafik ise 8 günlük gözlemlere ait düşüm-zaman değerlerini topluca göstermektedir.

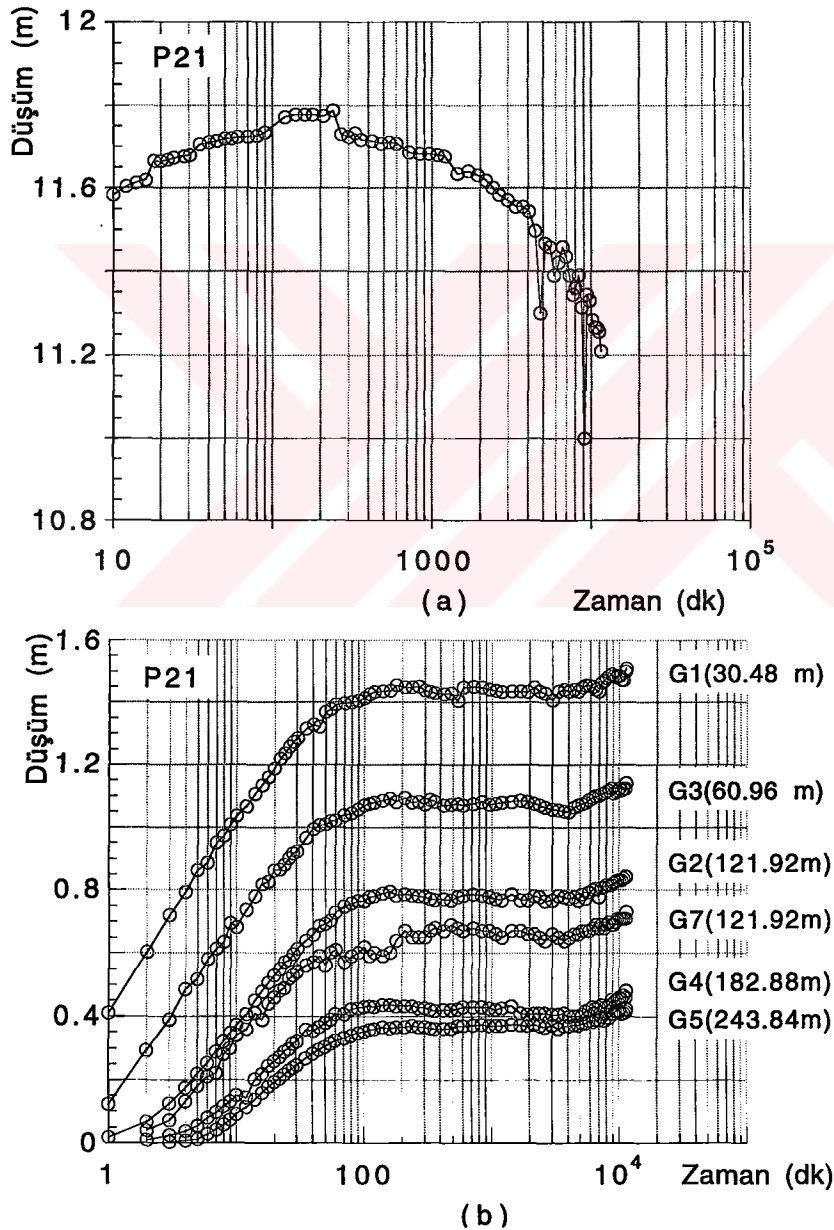
Bu iki grafikte de görüldüğü gibi, başlangıçta ölçülen düşümler eksponansiyel bir artış kaydetmiştir. Bu artış, pompaj kuyusu ile gözlem kuyuları arasında yüksek direncin varlığını ifade etmektedir. G2 ve G7 gözlem kuyuları pompaj kuyusundan aynı uzaklıkta olmakla birlikte, grafikteki eğrileri çakışmamıştır. Burada homojen ve izotrop davranıştan söz edilemez. Dolayısı ile düşüm konisinin asimetric olacağı, akiferde homojen ve izotrop olmayan bir malzemenin bulunduğu söylenebilir. İlk 20 dakikada G2 ve G7 gözlem kuyularının eğrileri yaklaşık olarak çakışmakta, ancak G7 kuyusunun bu dakikadan sonra G2' den daha düşük düşüm değerleri alarak, birbirinden uzaklaşmaya başladığı görülmektedir. Bu zamandan sonra düşüm konisinin simetriden uzaklaşmaya başladığı ortaya çıkmaktadır. Bu durum ayrıca, G7 gözlem kuyusunun bulunduğu ortamın direncinin, diğer kuyunun direncinden daha az olduğunu göstermektedir. Şekil 5.20 b' deki, tüm zamanlara ait düşüm değerlerinin bulunduğu grafik, son zamanlar hariç hiç kullanışlı değildir. Buradan da anlaşılacağı üzere, pompa testleri esnasında akiferin davranışı hakkında önemli bilgilerin alınabilmesi için, ilk dört saatlik bilgilerin bulunduğu aritmetik grafikte gösterilen düşüm değerleri akiferle ilgili oldukça önemli sonuçlar verecektir.



Şekil 5.20 P21 bölgesinde gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri
(a) ilk 250 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri

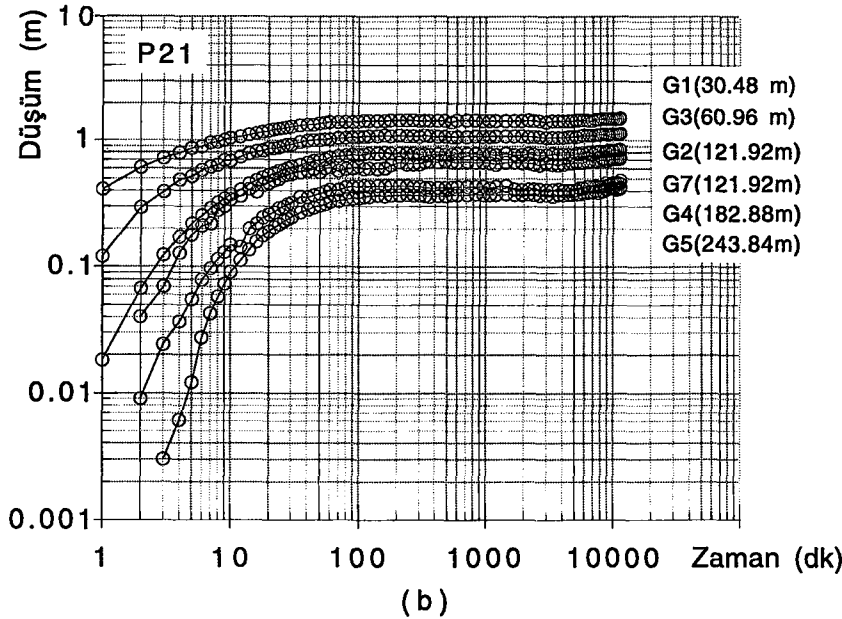
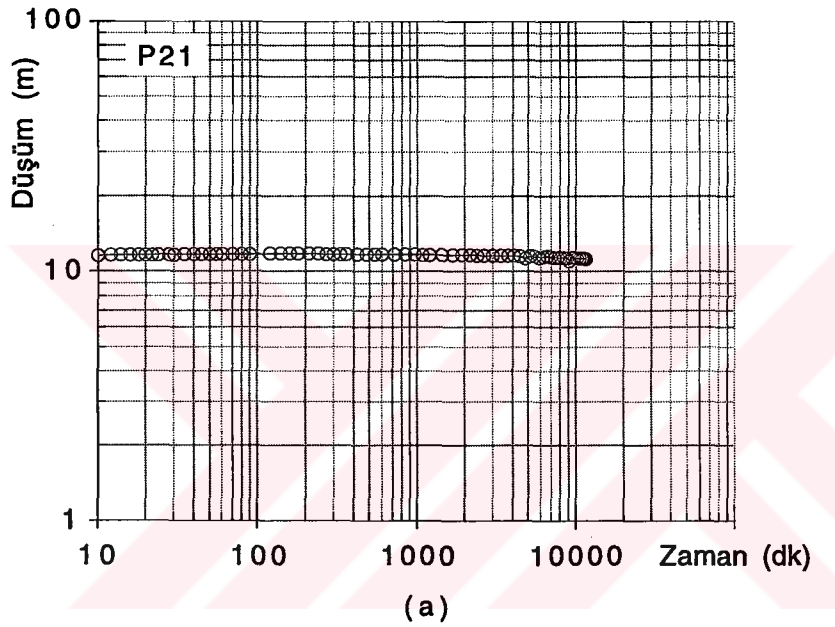
Pompaj kuyusu ve bütün gözlem kuyularına ait düşüm-zaman verileri aynı zamanda yarı logaritmik kağıt üzerine işlenmiş ve Şekil 5.21 a, b' de sırasıyla verilmiştir. Bu grafikler, aritmetik ölçekli çizilen önceki grafiklere göre çok daha fazla bilgi verici niteliktedirler. Gecikmiş depolama etkisi, 200 dakika civarında Şekil 5.21 a' da çok açık bir şekilde görülmektedir. Bu andan itibaren pompaj kuyusundaki düşüm değerinde genel bir düşüş gözlenmiştir. Genel düşüş eğilimi içerisinde 4000. dakikada bir sapma olduğu gözlenebilir. Şekil 5.21 b' de, düşüm-zaman verilerinin başlangıcında bir düz çizginin olduğu, bunun 40. dakikaya kadar devam ettiği, ancak bu noktadan 4000. dakikaya kadar değişken bir tavır aldığı görülmektedir.

G2, G4, G5 ve G7 gözlem kuyularının, pompaj kuyusundan ilk çekimlerin başlaması sırasında fazlaca etkilenmedikleri, ancak G1 ve G3 gözlem kuyularının bulunduğu bölgenin hemen tepki verdiği anlaşılabılır. Dengeli akım durumuna pompajın başlamasından 200 dakika sonra ulaşılmış ve bu durum 4000. dakikaya kadar devam etmiştir. Bu dakikadan sonra yine her bir gözlem kuyusunda ölçülen düşüm değerlerinde az da olsa bir düşme eğilimi gözlenmektedir. Burada dengeli akım durumu biraz da olsa bozulmuş ve ana akiferdeki depolama pompaj kuyusuna doğru besleme yapmıştır. Bu yüzden akifer ilk 200 dakika kadar basınçlı daha sonra 4000 dakikaya kadar sızdırmalı veya serbest yüzülü olarak çalışmaya başlamıştır.



Şekil 5.21 P21 bölgesinde tüm pompaj süresi için yarı logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları

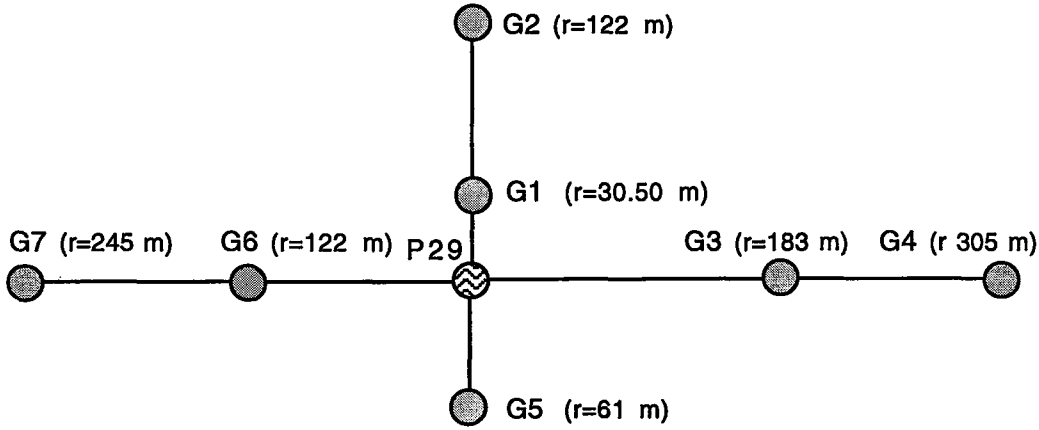
Şekil 5.22 a, b' de düşüm-zaman değerleri logaritmik eksen takımında gösterilmiştir. Şekil 5.22 a, pompaj kuyusuna ait düşüm-zaman verilerini gösterirken, 5.22 b ise gözlem kuyularına ait düşüm-zaman değerlerini göstermektedir. 5.22 a şekli, ilk 9 dakikalık değerlerin olmaması dolayısıyla çok sağlıklı bir grafik değildir. Düşüm-zaman değerleri, genellikle akifer tipinin belirlenmesi ve akifer parametrelerinin elde edilmesinde hangi metodların kullanılacağına karar vermek için tam logaritmik kağıda çizilir. Şekil 5.22 b' deki duruma bakıldığında, akiferin tipine karar vermek oldukça zordur. Ancak, sızdırmalı veya serbest yüzlü bir akifer davranışına benzemektedir. Sonuç olarak bu akifere serbest yüzlü değerlendirmesi yapılabilir.



Şekil 5.22 P21 bölgesinde tüm pompaj süresi için tam logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları

5.4.2 P29 test bölgesi

Chaj Doab bölgesinde ikinci bir pompa testi P29 kuyusunda gerçekleştirilmiştir. Bölgede açılan pompaj ve gözlem kuyularının konumları Şekil 5.23' de gösterilmiştir.

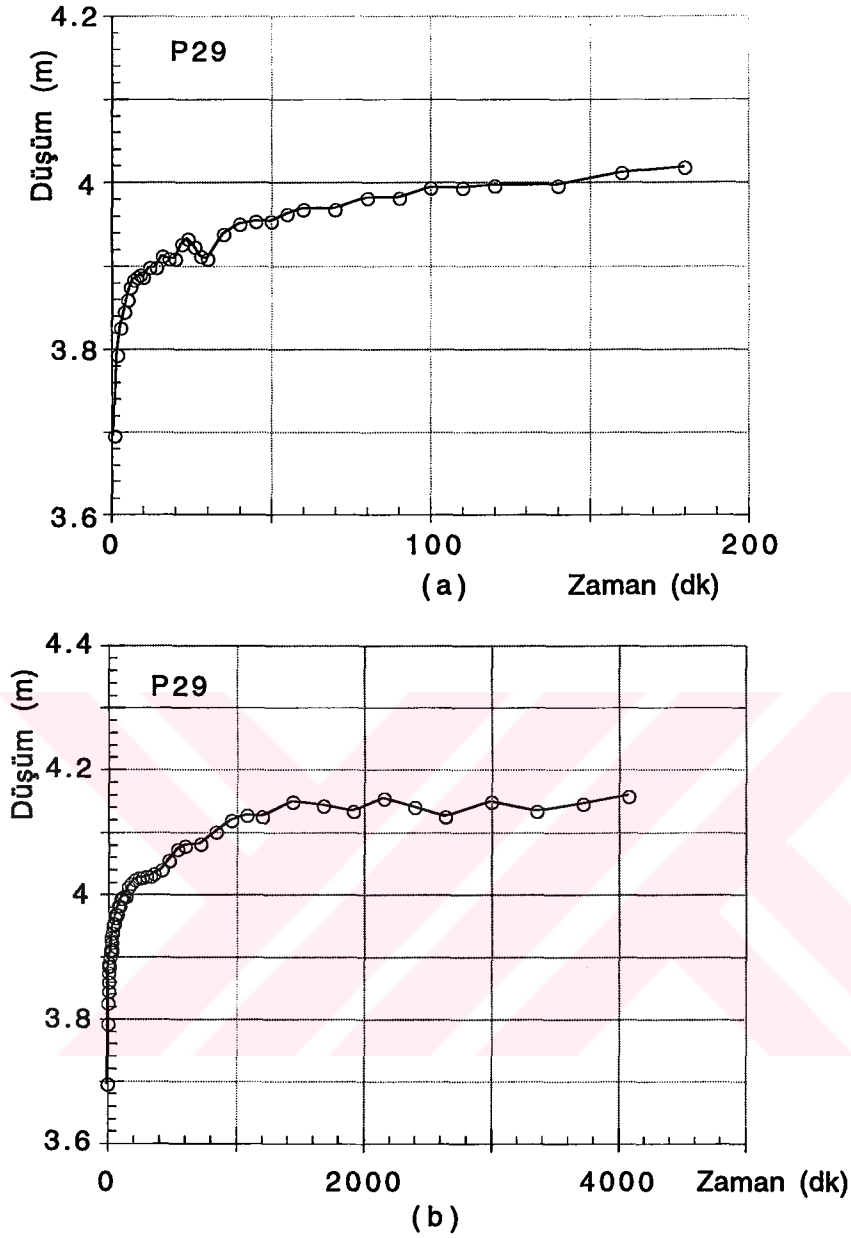


Şekil 5.23 P29 test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü

Test çalışmasına 26 Mayıs 1959' da sabah saat 8' de başlanmış ve 29 Mayıs' da sabaha karşı saat 4' de tamamlanmıştır. Pompaj kuyusundan değişik uzaklık ve yönlerde 7 adet gözlem kuyusu düşüm konisindeki değişimleri gözlemek amacıyla açılmıştır. Pompaj kuyusundaki debi sabit ve $Q = 0.1133 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer testler boyunca sabit tutulmuştur. Pompaj kuyusunun çapı da 25.4 cm olarak ölçülmüştür.

5.4.2.1 P29 bölgesinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi

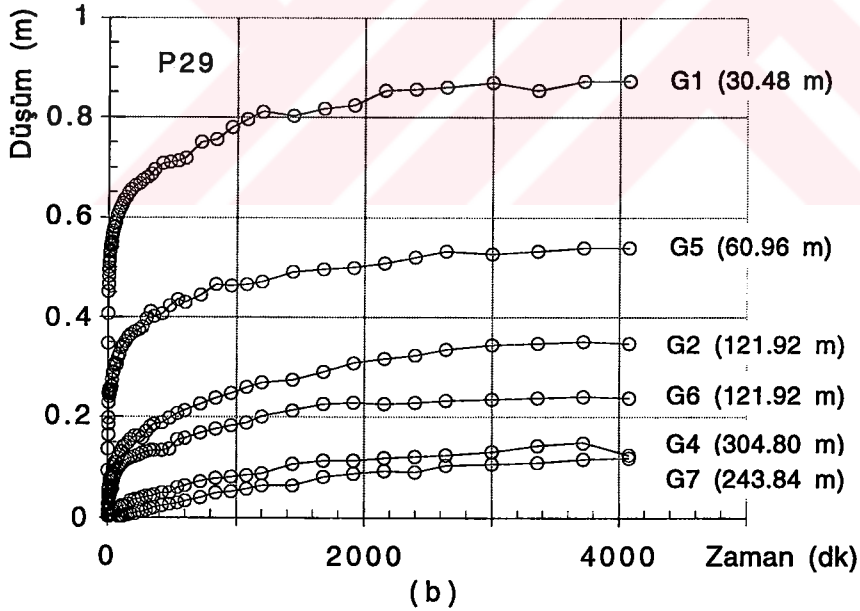
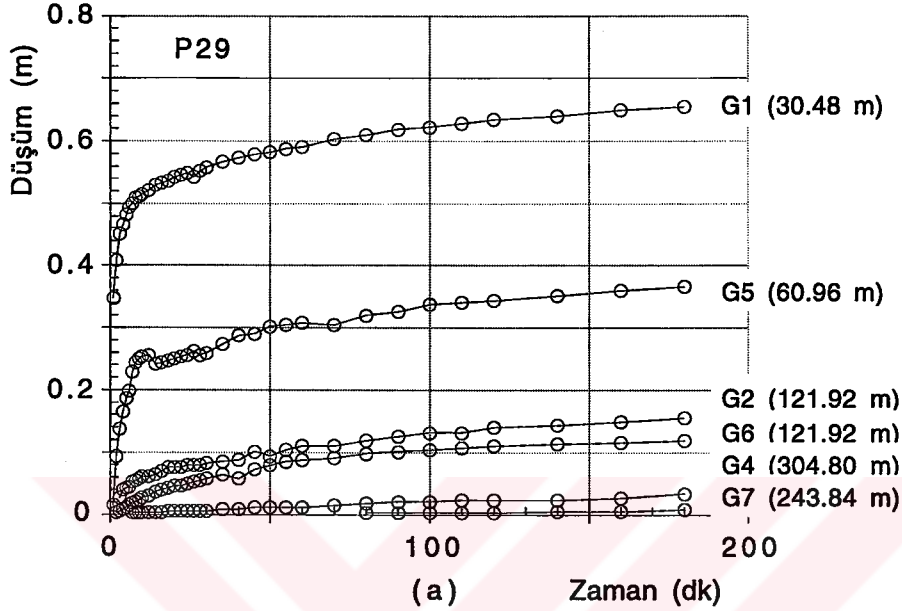
Şekil 5.24 a, b' de pompaj kuyusuna ait 200 ve 5000 dakika süreli düşüm-zaman sonuçları aritmetik ölçekli grafik üzerinde sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 5.24 a' ya bakıldığında pompaj kuyusunda yapılan çekime akiferin çok çabuk tepki verdiği görülmektedir. 10. ve 30. dakikalar arasında, eğimde sapmaların olması akiferin heterojen bir yapıya sahip olduğu kanaati uyandırmaktadır. Diğer taraftan Şekil 5.24 b düşüm-zaman değerlerinin tüm zamanlar için çizilmiş durumunu göstermekte ve bu da test esnasında akiferin davranışını vermektedir. Bu grafikten, 200-600. dakikalar ile 600-1400. dakikalar arasında gecikmiş depolama etkisini, dolayısıyla düşümdeki azalmanın yavaşladığını ve bu durumun 5000. dakikaya kadar normal bir seyirle devam ettiği söylenebilir.



Şekil 5.24 P29 bölgesinde pompaj kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafikleri
(a) ilk 200 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri

Şekil 5.25 a, b' de ise gözlem kuyularına ait 200 ve 5000 dakikalık düşüm-zaman değerleri aritmetik ölçekli grafiklerde gösterilmiştir. G2 ve G6 gözlem kuyuları, pompaj kuyusundan aynı uzaklıkta olmalarına rağmen, düşümleri birbirleriyle uyuşmamaktadır. G6 gözlem kuyusunda oluşan düşümler G2 gözlem kuyusundaki düşümlere nazaran daha düşük değerlerde gözlenmiştir. Bu durum akiferin heterojen ve izotropik olmayan bir yapıya sahip olduğu sonucuna varılmasına neden olmuştur. Her iki gözlem kuyusunda pompaj kuyusuna göre 90° dik açıda bulunmaktadır. Düşüm-zaman eğrilerinden, G6 gözlem kuyusunun etrafındaki akifer malzemesinin,

G2 gözlem kuyusu etrafındaki malzemeye nazaran daha geçirgen olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum her iki kuyunun düşüm-zaman eğrilerinin başlangıç zamanlarına bakıldığında çok açık bir şekilde göze çarpmaktadır. G6 gözlem kuyusu, yüksek permeabiliteye sahip olarak daha lineer bir davranış sergilemektedir.



Şekil 5.25 P29 bölgesinde gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri
(a) ilk 200 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri

Diğer normal olmayan bir durum da G4 ve G7 gözlem kuyuları arasında görülmektedir. Bu kuyular, pompaj kuyusunun 180 sağında ve solunda yer almaktadır. Pompaj kuyusundan, G4 gözlem kuyusu 304.80 m, G7 kuyusu ise

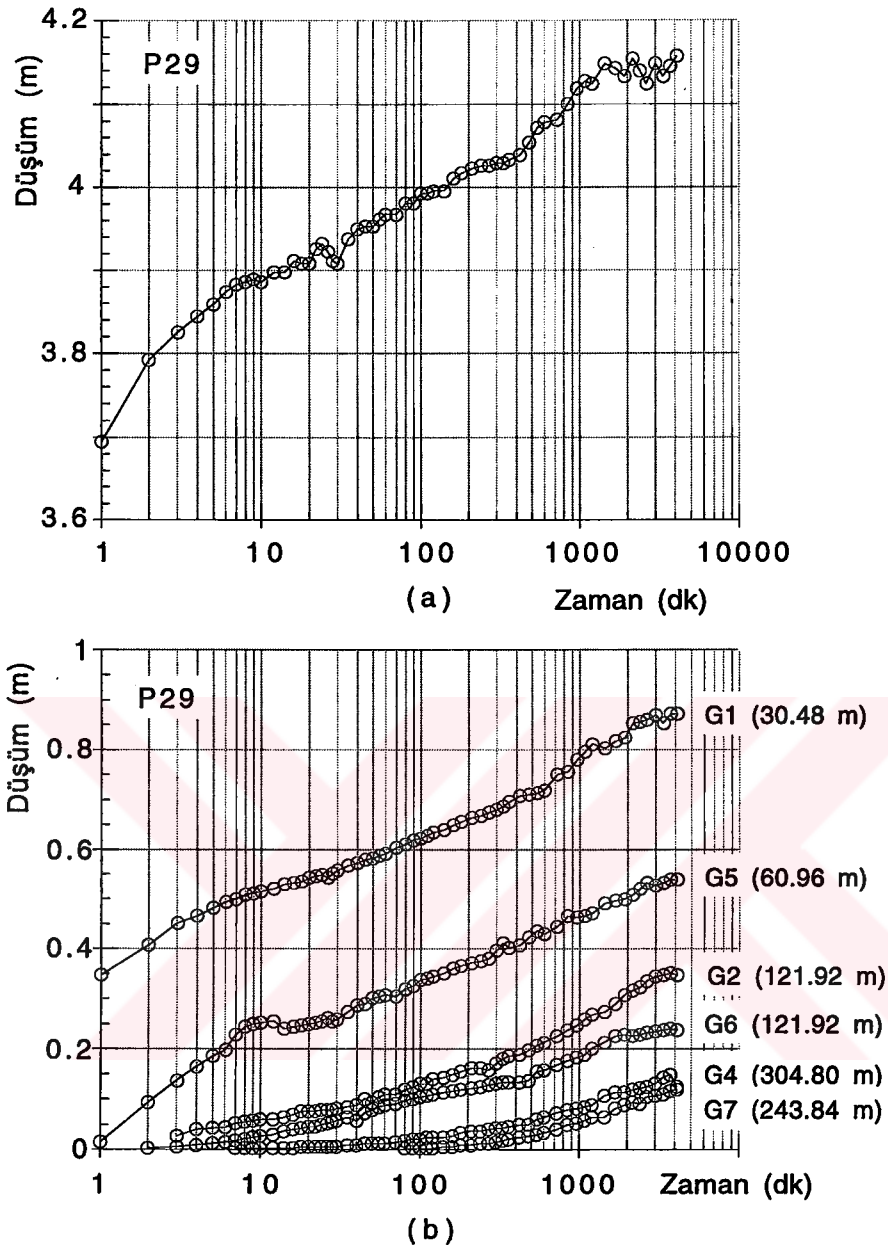
243.84 m uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 5.23). G7 gözlem kuyusunun pompaj kuyusuna yakınlığı nedeniyle bu kuyuda oluşacak düşümün, G4 gözlem kuyusuna nazaran daha fazla olması beklenirken, bunun tam tersi gerçekleşmiştir. Bu durum yine G7 gözlem kuyusu etrafında bulunan sediment tabakasının, G4 gözlem kuyusu etrafındakilere nazaran daha yüksek permeabiliteye sahip olduğunu açıklamaktadır. G7 gözlem kuyusu G6 gözlem kuyusu hattı üzerinde açılmış, dolayısıyla bu kuyunun tesiri ile daha fazla geçirgen bir formasyon meydana gelmiş olabilir.

Bütün kuyuların arasında, G5 gözlem kuyusu en çok sapmaların meydana geldiği kuyu olarak göze çarpmaktadır. Burada, pompajın başlamasından sonraki ilk 8 dakikada düşümde ani bir yükselme olmaktadır. Bu durum kuyudaki mevcut suyun çekilmesi olarak gösterilebilir.

Şekil 5.26 a ve b grafikleri, pompaj kuyusu ile gözlem kuyularının düşüm-zaman verilerinin yarı logaritmik halde gösterilmesidir. Klasik analitik tekniklere göre, düşüm-zaman eğrisinin yarı logaritmik grafik üzerinde gösterilmesinde verilerin son kısmına ait eğri düz çizgi halinde çıkmalıdır. Bu düz çizgide sapmaların olması akiferde gizli hidrojeofiziksel heterojenitenin olduğunu göstermektedir (Şen ve Al-Baradi, 1991). Pompaj kuyusunun logaritmik ölçekli grafik üzerinde gösterilmesi sonucu akiferin çok fazlaca heterojen bir yapıya sahip olduğu sonucu çıkmaktadır.

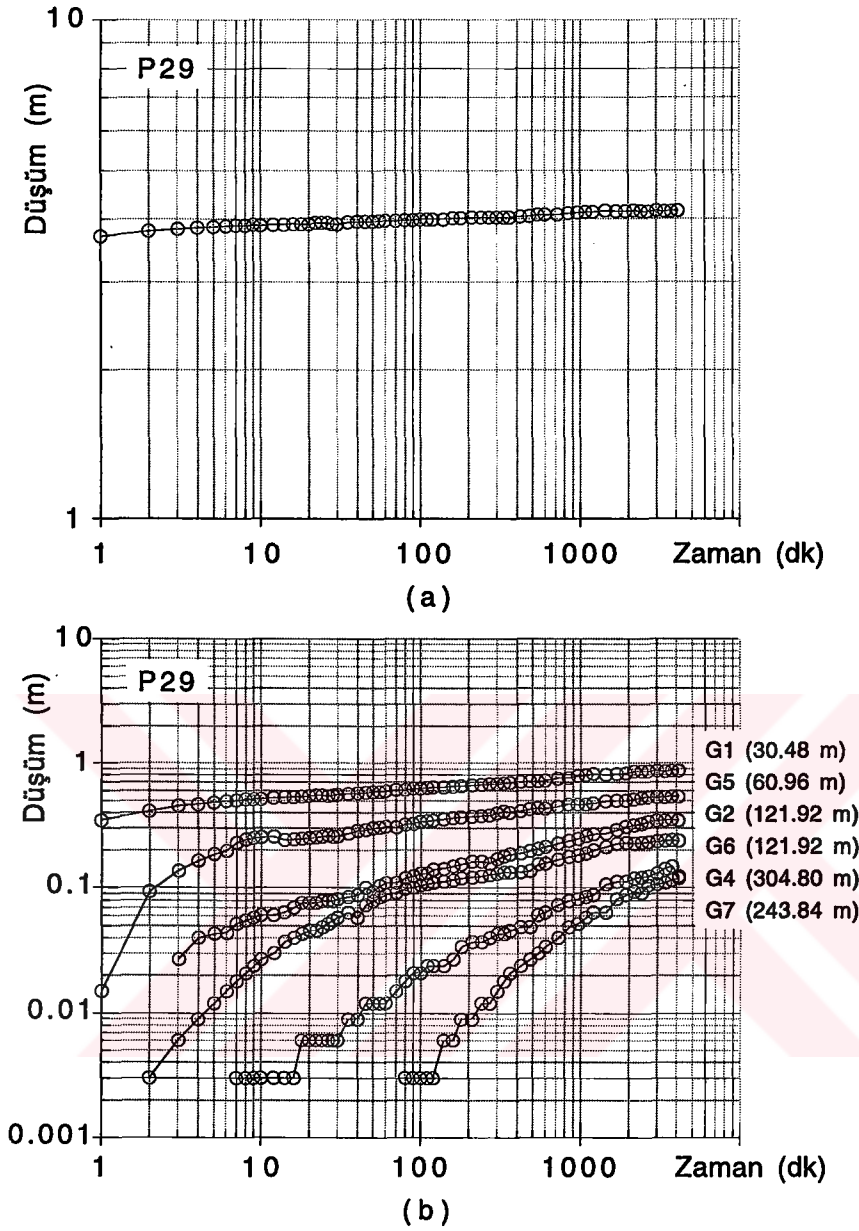
Şekil 5.26 b, her bir gözlem kuyusuna ait düşüm-zaman değerlerini yarı logaritmik ölçekli grafik üzerinde göstermektedir. Bu grafikte, her bir gözlem kuyusunun düşüm-zaman değerlerinin, düz çizgiler meydana getirerek oluştuğu görülebilir. G1 gözlem kuyusuna ait eğriye bakıldığında üç değişik eğimli çizgi oluşturduğu göze çarpmaktadır. Böylece burada iletim özelliklerindeki değişim farkedilmektedir. G5 gözlem kuyusunda da birbirinden ayrılan, farklı permeabiliteye sahip bölgelerin bulunduğu söylenebilir. G2 ve G6 gözlem kuyularının bulunduğu bölgede dört değişik jeolojik kesintinin varlığı söz konusudur. G4 ve G7 gözlem kuyularının eğrileri, bulundukları bölgede, düşük geçirimli jeolojik yapının olduğunu belirlemektedir.

Yukarıda anlatılanlardan, yarı logaritmik ölçekte işlenen datalar ile test edilen akiferin hidrolojik parametrelerinin analizi yapılarak ve jeolojik su kapasitelerinin varlığı durumunda gizli heterojenitelerin olabileceği sonucuna varılabilir.



Şekil 5.26 P29 bölgesinde tüm pompaj süresi için yarı logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları

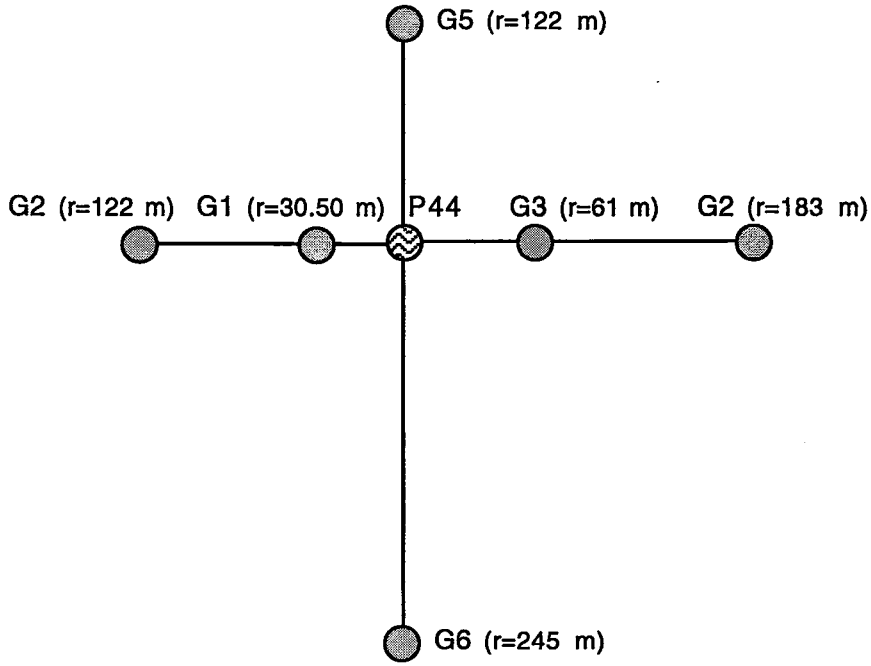
Şekil 5.27 a ve b' de pompaj ve gözlem kuyularının düşüm-zaman değerlerinin tam logaritmik ölçekli grafikler üzerinde gösterilmiştir. Tam logaritmik grafik üzerine düşüm-zaman değerlerinin işlenmesiyle, bulunması hedeflenen hidrojeolojik parametrelerden, iletkenlik, depolama katsayısı, hidrolik iletkenlik ve sızdırma faktörü gibi değerler en uygun modelin seçilmesiyle elde edilir. Buradaki grafiğe bakıldığında, mevcut akiferin birkaç katmanlı basınçlı bir akifer olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 5.27 P29 bölgesinde tüm pompaj süresi için tam logaritmik düşüm-zaman grafikleri (a) Pompaj kuyusu, (b) Gözlem kuyuları

5.4.3 P44 test bölgesi

Şekil 5.28' de görüldüğü gibi P44 bölgesinde pompaj kuyusu hariç değişik uzaklık ve yönlerde 6 adet gözlem kuyusu açılmıştır. Burada yapılan test çalışması 26 Nisan 1960 tarihinde sabah saat 7' de başlatılmış ve 2 Mayıs 1960' da yine sabah saat 7' de sona erdirilmiştir. 6 gün boyunca devam eden test sırasında sabit pompaj debisi $Q = 0.08495 \text{ m}^3/\text{sn}$ olarak ölçülmüştür.



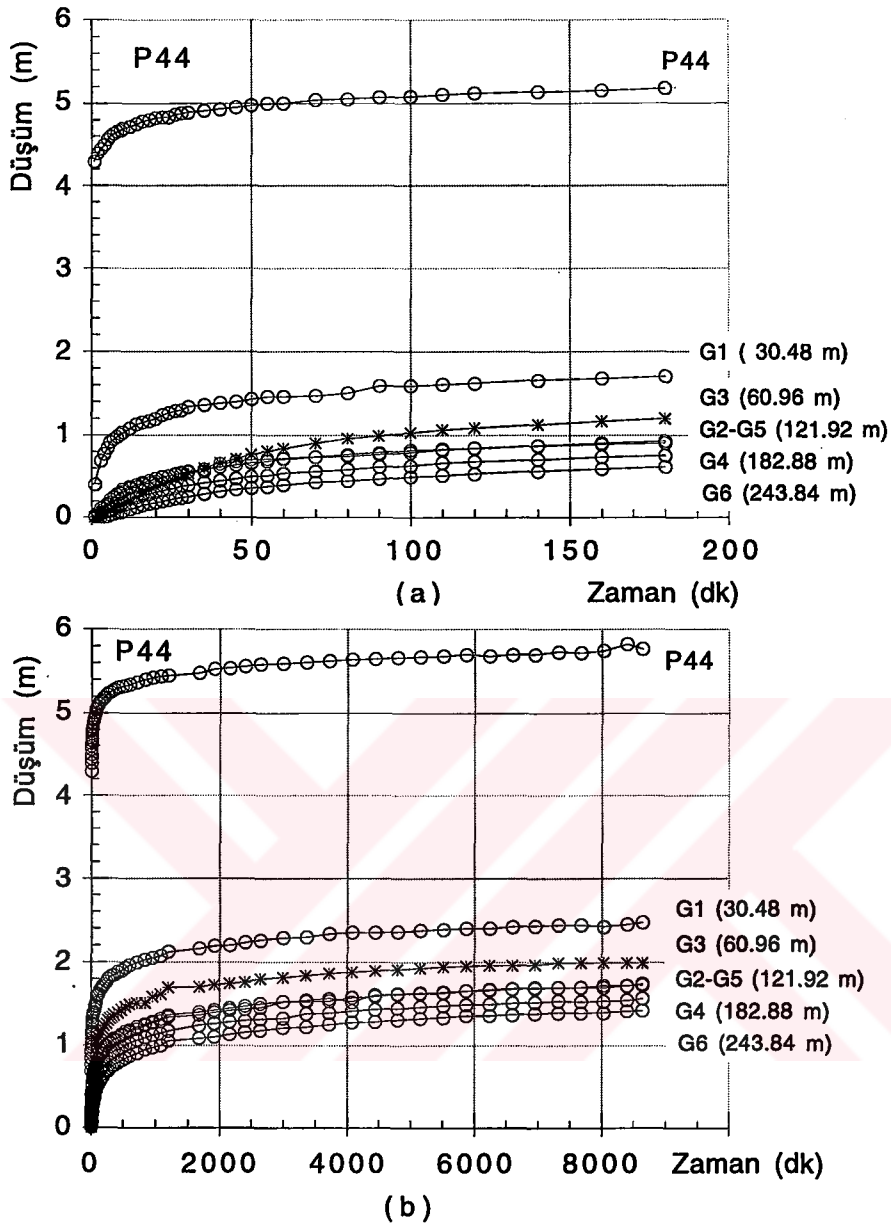
Şekil 5.28 P44 test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü

5.4.3.1 P44 bölgesinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi

Akifer testinde elde edilen düşüm-zaman değerleri aritmetik koordinat sisteminde gösterilerek Şekil 5.29 a, b' de verilmiştir. Bu grafikler akiferin davranışı hakkında yüzeysel bilgi vermektedir.

Elde edilen düşüm-zaman grafikleri, akifer bünyesinin oldukça homojen ve izotropik bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. G2 ve G5 gözlem kuyuları pompaj kuyusundan aynı uzaklıkta ve 90° dik açıda bulunmaktadır. Bu iki gözlem kuyusunun düşüm-zaman eğrileri birbirleriyle çakışmaktadır. Dolayısıyla akiferin izotropik olduğu söylenebilmektedir. G3 gözlem kuyusunun verdiği düşüm-zaman değerlerine bakıldığında, lineer bir artış olması bu kuyunun etrafında sediment tabakasının çok geçirgen olduğunu göstermektedir. Pompajın başlamasından 40 dakika sonra, düşüm konisi seviyesi, G3 gözlem kuyusu etrafındaki direncin artması ve dolayısı ile düşümün lineer artışının azalmasıyla belirli bir düzeye ulaşmıştır (Niaz, 1998).

Diğer gözlem kuyuları ve pompaj kuyusu pompajın başlangıç ve ilk zamanlarında eksponansiyel bir değişim göstermektedir. Bu durumda, kuyuların etrafında yüksek direnç olması sebebiyle, bölgenin basınçlı akifer olduğu söylenebilir.

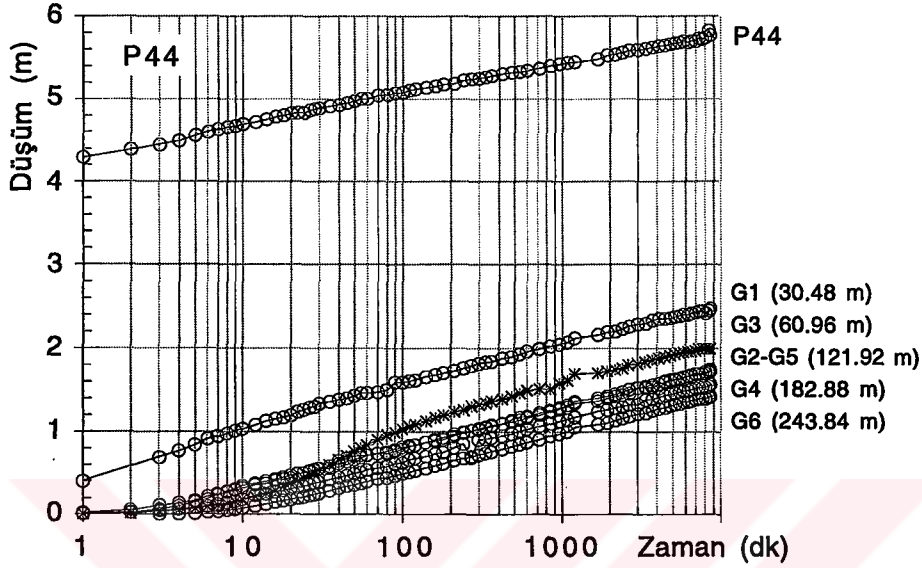


Şekil 5.29 P44 bölgesinde pompaj ve gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri (a) ilk 200 dakika verileri, (b) tüm pompaj süresi verileri

G1 gözlem kuyusunun düşüm-zaman değerleri 20. ve 80. dakikalar arasında gecikmiş bir depolama etkisinin az da olsa varlığını ifade etmektedir. Buradan akiferin basınçlı bir yapıya sahip olduğu söylenebilir.

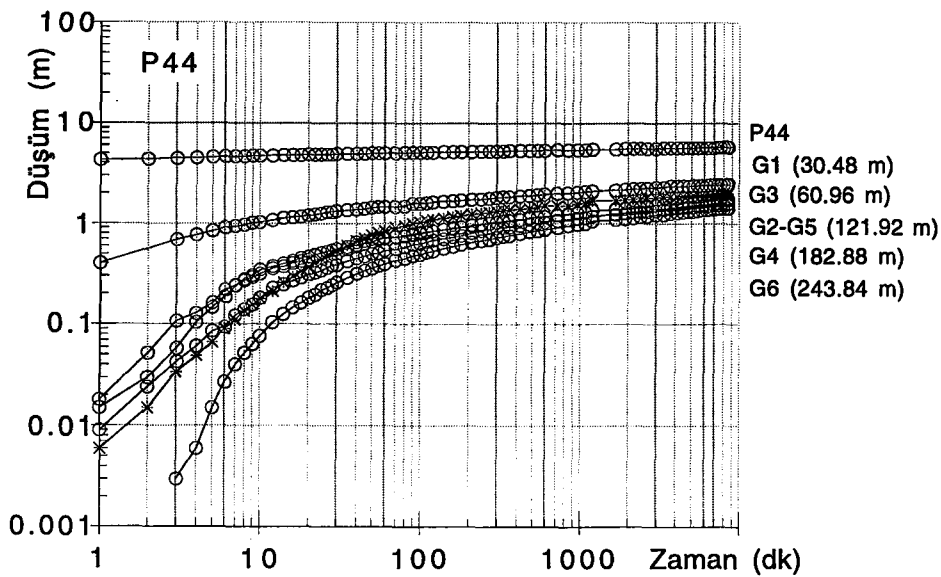
Şekil 5.30' de pompaj ve gözlem kuyularının düşüm-zaman değerleri yarı logaritmik kağıt üzerinde gösterilmiştir. Bu grafiklerde G3 gözlem kuyusununkiler hariç tüm kuyuların zaman içerisindeki düşüm değerleri lineer bir seyir izlemişlerdir. G3 gözlem kuyusu ancak 100. dakikadan sonra lineer hale gelmiştir. Buradan çıkarılacak en önemli sonuç, pompaj ve gözlem kuyularının eğrileri Theis ve Jacob modellerine

uygulanabilir niteliktedir. Grafikteki eğrilerin birbirlerine paralel ve doğruya yakın olması, akiferin homojen ve izotropik olduğu sonucunu doğurmaktadır. G3 gözlem kuyusunun başlangıç kısmındaki düşüm-zaman değerleri bu kuyu etrafındaki sediment tabakasının heterojen yapıya sahip olduğu manasına gelir.



Şekil 5.30 P44 bölgesinde pompaj ve gözlem kuyularından elde edilen yarı logaritmik düşüm-zaman grafiği

Pompaj gözlem kuyularına ait düşüm-zaman değerleri tam logaritmik ölçekli grafik üzerinde işaretlenerek Şekil 5.31' de verilmiştir. Bu grafikten akiferin basınçlı tipte olduğu ve bütün eğrilerin artan bir seyir içinde bulunduğu gözlenebilir. Buradan, akifere ait parametrelerin Theis ve Jacob metodlarıyla bulunabileceği anlaşılır.



Şekil 5.31 P44 bölgesinde pompaj ve gözlem kuyularından elde edilen tam logaritmik düşüm-zaman grafiği

Yukarıda, Pakistan' ın Chaj Doab bölgesinde yapılmış olan üç ayrı sahadaki pompaj tecrübeleri hakkında bilgiler verilmiştir. Tecrübelerin yapıldığı kuyuların malzemesi, ince ve orta dane çaplı kum ile bazı yerlerde siltten oluşan gevşek sedimentlerden meydana gelmiştir. Bütün pompaj tecrübelerinin yapıldığı yerler heterojen bir tabaka yapısına sahiptir. Silt ve kil tabakalarının bulunması akiferin heterojenliği yanında basınçlı, serbest yüzlü ve sızdırmalı akifer tiplerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.



6. METODLARIN UYGULAMASI

6.1 Giriş

Bu bölümde, Bölüm 5' de verilen sayısal ve fiziksel modeller ile Pakistan' ın Chaj Doab bölgesinde üç ayrı yerde yapılan arazi çalışmasından elde edilen veriler kullanılarak akifer karakteristikleri (T ve S) bulunmaya çalışılmıştır. Eldeki dataların uygunluğuna göre Theis, Jacob, Boulton, Neuman, Şen metodları ile iletkenlik ve depolama katsayılarının nasıl bulundukları izah edilmiş ve tezde önerilen analitik metoddan elde edilen sonuçlar verilmiştir.

6.2 Sayısal Modellerde Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

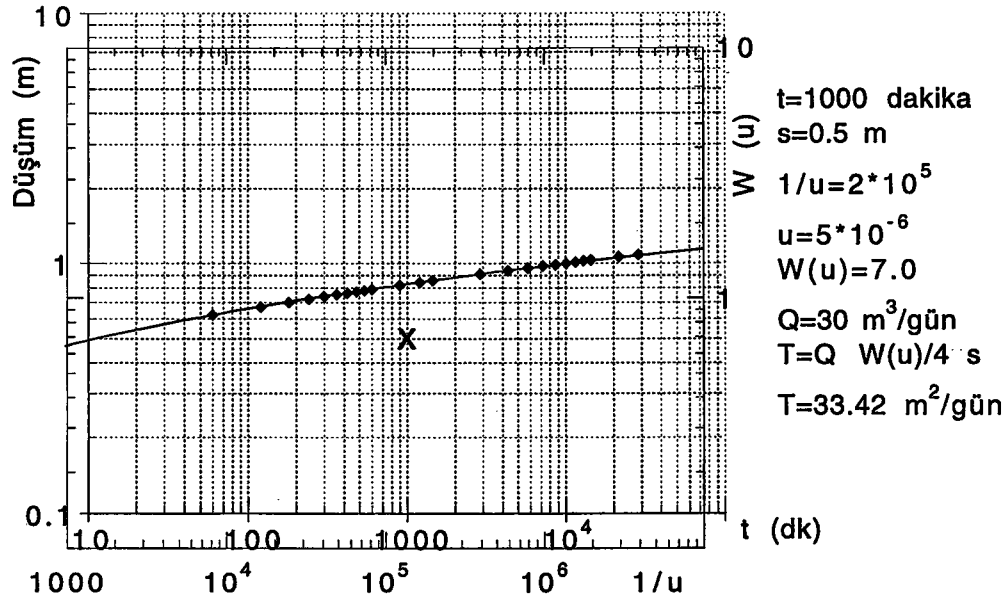
Bölüm 5.2' de verilen sayısal modellerden elde edilen değerlerin literatürdeki bazı grafik ve analitik akifer metodlarına uygulanmasıyla bulunan iletkenlik ve depolama katsayıları aşağıda verilmiştir.

6.2.1 Serbest yüzlü sonsuz akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristiklerinin bulunması

Serbest yüzlü, sonsuz akifer durumunda pompaj ve gözlem kuyularında hesaplanan düşümler kullanılarak, Theis, Boulton, Neuman, Şen analitik, Şen grafik ve tezde önerilen metodlarla akifer karakteristiklerinin bulunması aşağıda sunulmuştur.

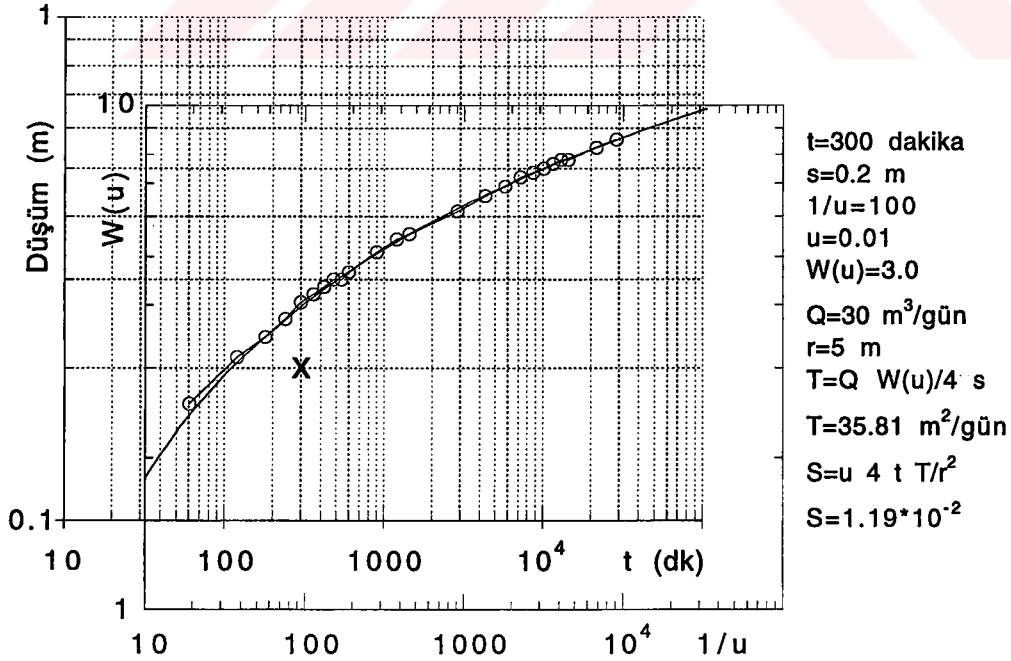
6.2.1.1 Theis metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

Theis Metoduyla akifer karakteristiklerini bulabilmek için, gözlem kuyularındaki düşümler gereklidir. Theis eğrisi pompaj datalarına uygulandığında, sadece iletkenlik değeri için yaklaşık bir sonuç vermektedir. Bu işlem pompaj kuyusundaki düşümlere uygulanmış ve $T = 33.42 \text{ m}^2/\text{gün}$ bulunmuştur (Şekil 6.1).

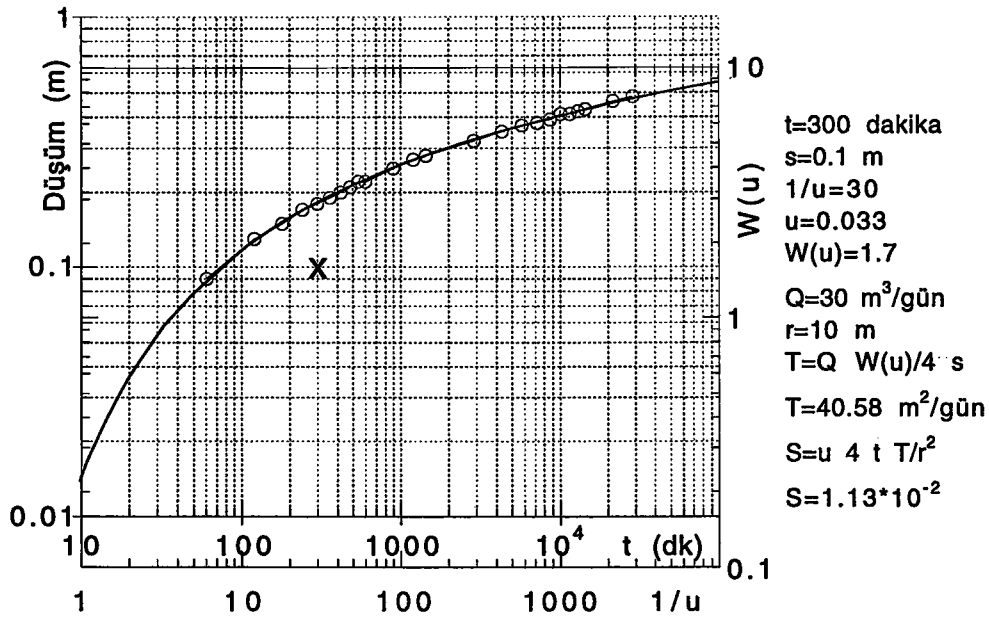


Şekil 6.1 Sonsuz akiferde pompaj kuyusunda Theis eğrisi uygulaması

Theis eğrisi gözlem kuyularına uygulanarak iletkenlik ve depolama katsayısı birlikte elde edilmiştir. Şekil 6.2' de 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusundaki düşüm-zaman grafiği Theis eğrisi ile karşılaştırılmış ve $T = 35.81$ m²/gün, $S = 1.19 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur. Şekil 6.3' de de 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusundaki düşüm-zaman grafiğine uygulanan Theis eğrisi $T = 40.58$ m²/gün ve $S = 1.13 \cdot 10^{-2}$ sonuçlarını vermiştir.



Şekil 6.2 Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda Theis eğrisi uygulaması



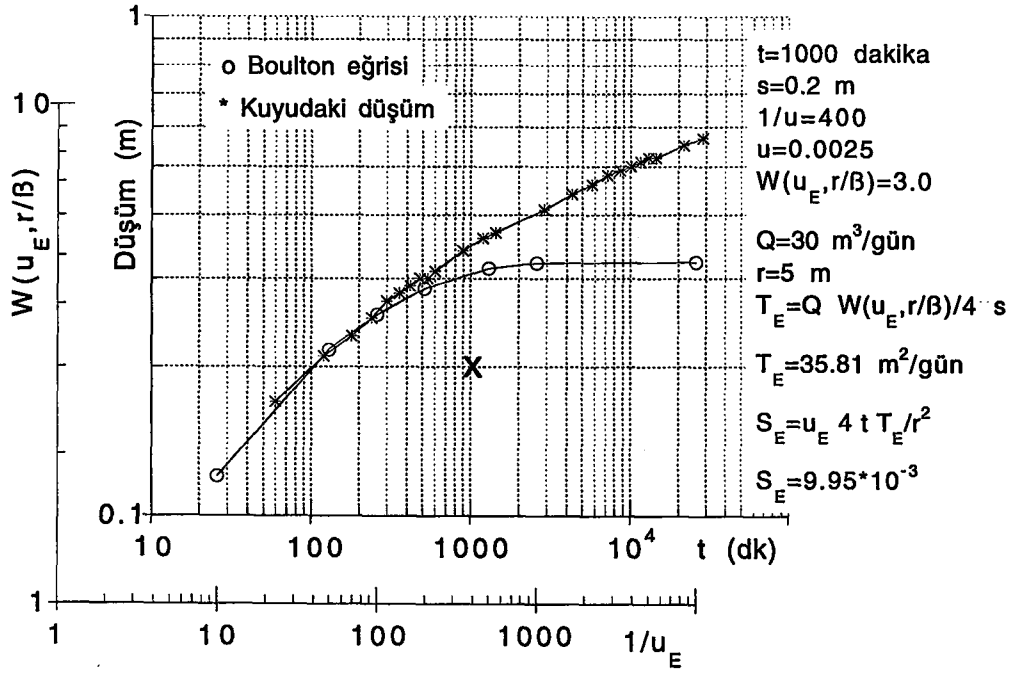
Şekil 6.3 Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda Theis eğrisi uygulaması

6.2.1.2 Boulton metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

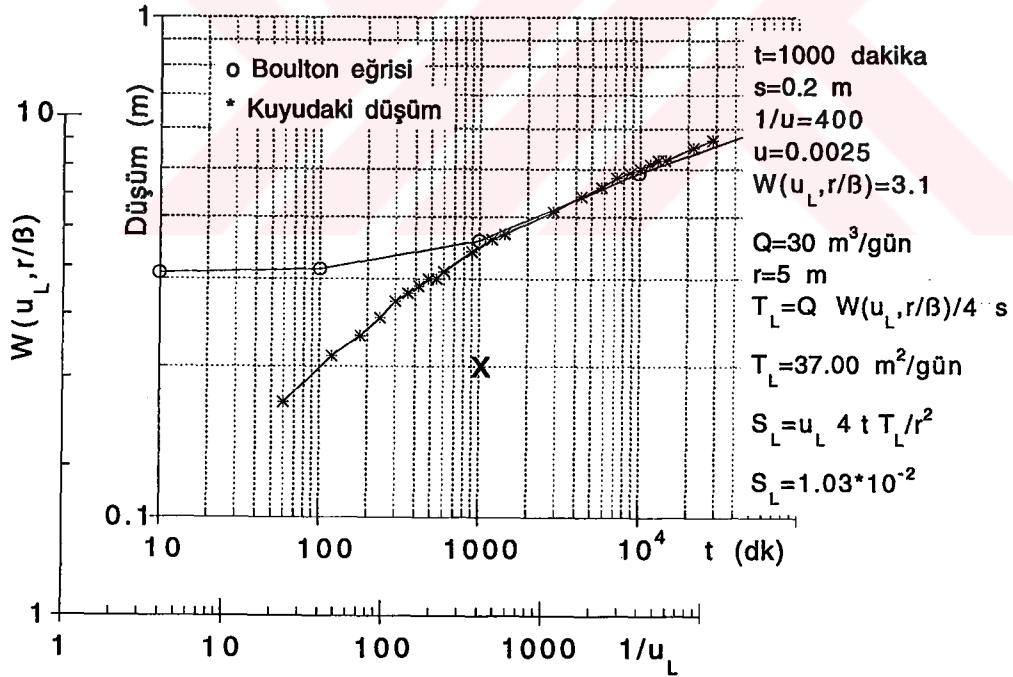
Boulton Metodunda da akifer karakteristikleri, gözlem kuyularına ait düşüm-zaman grafiklerinin, Boulton tip eğrileri ile karşılaştırılması sonucunda elde edilmiştir. Bu metodun özelliğinden dolayı ilk ve son zamanlarda farklı iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri bulunabilmektedir.

Serbest yüzölçümü sonsuz akiferdeki pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki 1. gözlem kuyusunda elde edilen düşüm-zaman grafiği ile $r/B = 0.1$ olan Boulton tip eğrileri ile karşılaştırıldığında ilk zamanlarda $T_E = 35.81 \text{ m}^2/\text{gün}$, $S_E = 9.95 \cdot 10^{-3}$ ve son zamanlarda $T_L = 37.00 \text{ m}^2/\text{gün}$, $S_L = 1.03 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur (Şekil 6.4 ve Şekil 6.5).

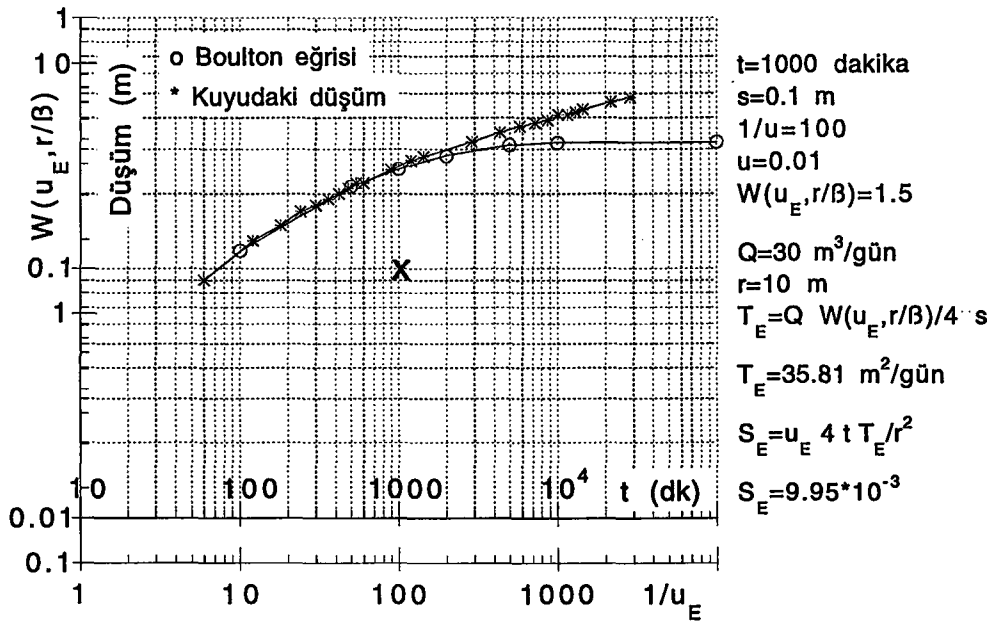
Aynı şekilde 10 m uzaklıktaki 2. gözlem kuyusunun düşüm-zaman grafiği ile Boulton' un $r/B = 0.1$ tip eğrisi karşılaştırıldığında ilk zamanlarda $T_E = 35.81 \text{ m}^2/\text{gün}$, $S_E = 9.95 \cdot 10^{-3}$ ve son zamanlarda $T_L = 38.20 \text{ m}^2/\text{gün}$, $S_L = 1.06 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur (Şekil 6.6 ve Şekil 6.7).



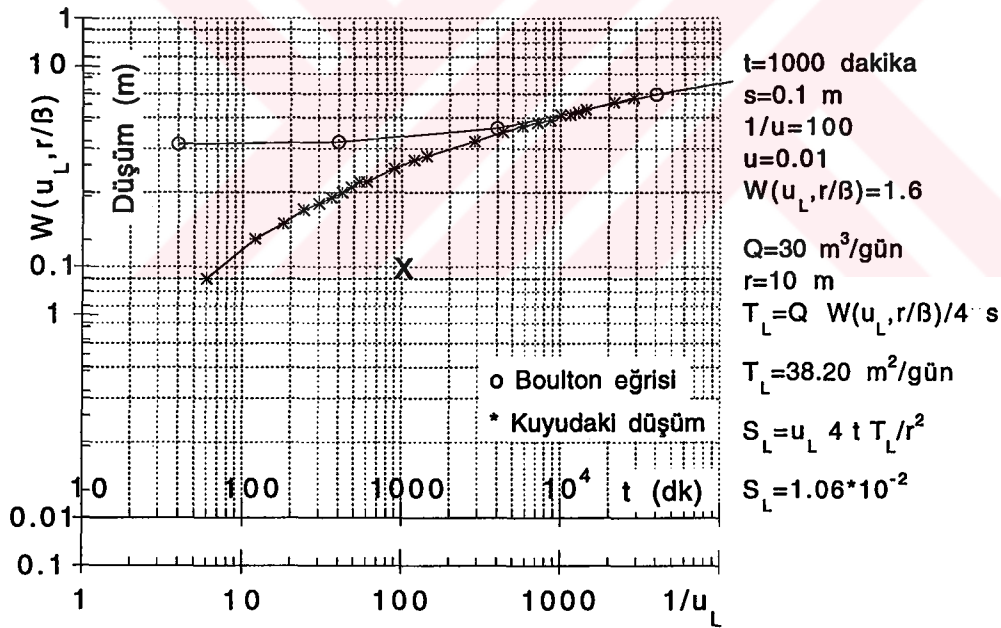
Şekil 6.4 Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 0.1$)



Şekil 6.5 Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 0.1$)



Şekil 6.6 Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 0.1$)

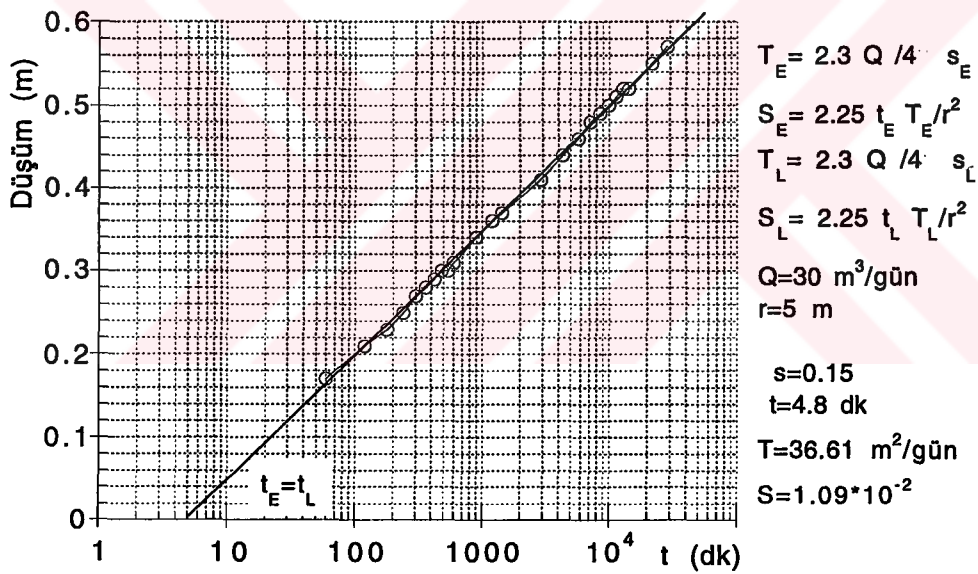


Şekil 6.7 Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 0.1$)

6.2.1.3 Neuman düz çizgi metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

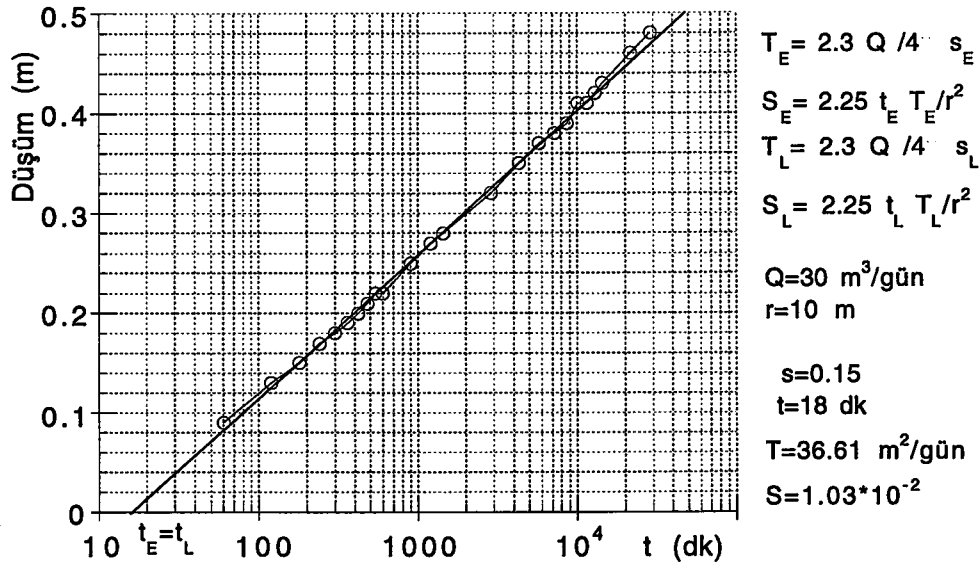
Neuman düz çizgi metodu, Boulton metoduna benzer şekilde erken ve geç zamanlarda olmak üzere iki farklı akifer karakteristiği vermektedir. Bu methoda yarı logaritmik kağıda çizilen düşüm-zaman grafiğinin erken ve geç zamanlarında çizilen doğruların eğimlerinden hareketle T_E , S_E ve T_L , S_L bulunabilmektedir. Serbest yüzülü sonsuz akiferde açılan kuyuda teorik olarak (herhangi bir girişim veya arazi tesirleri olmadan) hesaplanan düşümler, yarı logaritmik olarak çizilirse tek bir doğrusal hat üzerinde olmaktadır. Bu nedenle, sonsuz akiferde Neuman metoduna göre tek bir T ve S değeri elde edilmektedir.

Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki 1. gözlem kuyusundaki düşüm değerlerine Neuman düz çizgi metodu uygulandığında Şekil 6.8' deki grafikten $T = 36.61$ $m^2/gün$ ve $S = 1.09 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur.



Şekil 6.8 Pompaj kuyusundan 5 m uzaklıktaki gözlem kuyusu için Neuman düz çizgi metodu

Metodun, 10 metre uzaklıkta bulunan 2. gözlem kuyusundaki, yarı logaritmik kağıda çizilen düşüm-zaman grafiğine uygulanmasıyla da $T = 36.61$ $m^2/gün$ ve $S = 1.03 \cdot 10^{-2}$ değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 Pompaj kuyusundan 10 m uzaklıktaki gözlem kuyusu için Neuman düz çizgi metodu

6.2.1.4 Şen analitik metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

Şen analitik metodunun serbest yüzü akiferler için verdiği formül, iletkenlik değerinin belli olması halinde depolama katsayısını vermektedir. Bu methodla depolama katsayısı bulunmasında, serbest yüzü sonsuz akiferde açılan kuyudaki düşümlerin teorik olarak hesaplanabilmesi için verilen $T = 40 \text{ m}^2/\text{gün}$ değeri kullanılmıştır. Metodun sunulduğunda, sadece pompaj kuyularındaki düşümlerin kullanılarak sonuca ulaşılabileceği belirtilmesine rağmen, burada bu uygulamanın dışına çıkılarak gözlem kuyularında da depolama katsayısı formülü uygulanmıştır.

Serbest yüzü sonsuz akiferde açılan pompaj kuyusundaki teorik düşüm değerlerine uygulanan depolama katsayısı formülü ile $S = 1.9 \cdot 10^{-2}$ değeri bulunmaktadır.

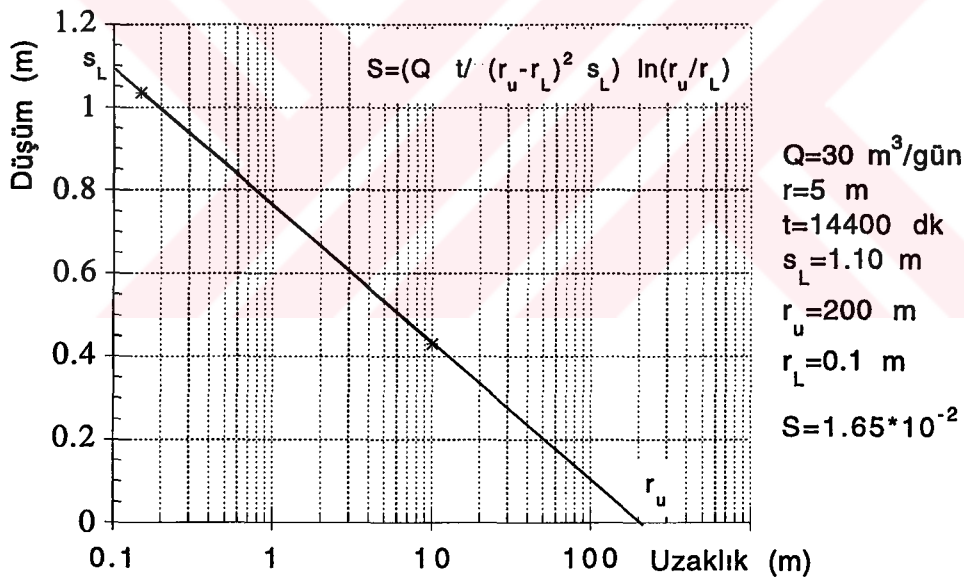
Gözlem kuyuları için, metodun değişik bir uygulaması olarak formüldeki " r_w " yerine, pompaj kuyusu ile herhangi bir gözlem kuyusu arasındaki uzaklığı gösteren " r " yazılabilir. Bu durumda çekim kuyusundan 5 m uzaklıktaki 1. gözlem kuyusu için bulunan düşüm değerleri kullanılarak depolama katsayısı $S = 1.5 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur. 2. gözlem kuyusu dataları kullanılarak hesap edilen depolama katsayısı ise $S = 1.2 \cdot 10^{-2}$ çıkmıştır.

6.2.1.5 Şen grafik metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

Şen grafik metodu, yukarıdaki analitik methodda olduğu gibi sadece depolama katsayısı değerini veren bir methoddur. Burada iletkenlik değerine ihtiyaç yoktur. Grafik method için aynı anda iki kuyudaki düşüm değerleri gerektiğinden, pompaj kuyusu yanında en az bir gözlem kuyusunun da olması gerekir. Kuyular ikişer ikişer ele alınarak grafik işlemlere tatbik edilir.

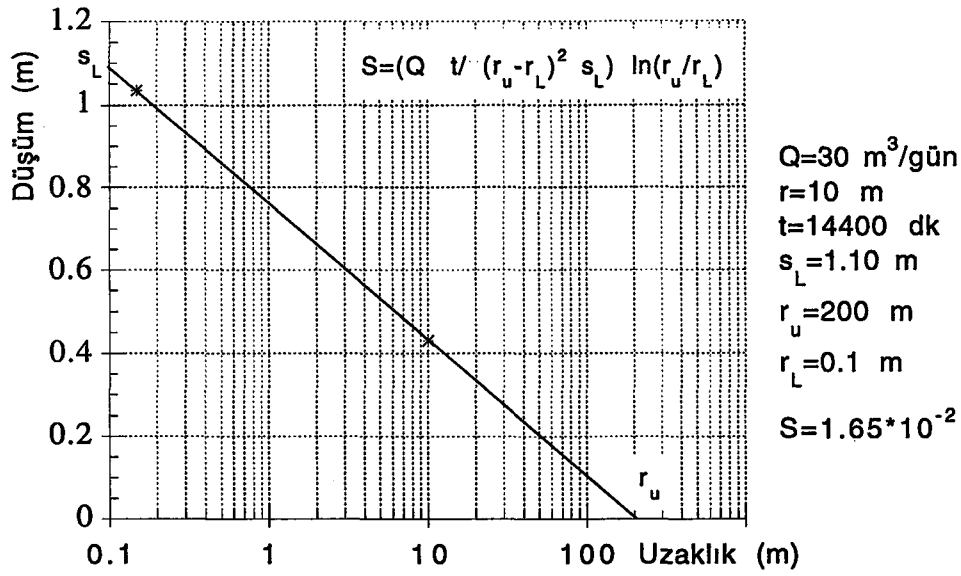
Methodun buradaki uygulamasında, pompaj kuyusu ile 1. gözlem kuyusu ve yine pompaj kuyusu ile 2. gözlem kuyusu eşleştirilip belirli bir andaki düşüm değerleri kullanılarak grafikler çizilmiştir.

Şekil 6.10' da grafiği verilen, 1. gözlem kuyusu ile pompaj kuyusu arasındaki uygulamada $S = 1.65 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur. Grafikte 10. gündeki düşüm değerleri kullanılmıştır.



Şekil 6.10 Pompaj kuyusu ile 5 m uzaklıktaki 1. gözlem kuyusu arasında Şen grafik metodu uygulaması

2. gözlem kuyusu ile pompaj kuyusu arasında 10. gündeki düşüm değerleri dikkate alınarak yapılan uygulamada ise yine aynı depolama katsayısı değeri elde edilmiştir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 Pompaj kuyusu ile 10 m uzaklıktaki 2. gözlem kuyusu arasında Şen grafik metodu uygulaması

6.2.1.6 Geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması

Önceki bölümde Çizelge 5.1' de verilen düşüm değerleri ile sonsuz akiferin iletkenlik ve depolama katsayısı, her kademe için (4.11) ve (4.17) denklemlerinden tekrar hesap edilerek; sonuçlar Çizelge 6.1' de verilmiştir. Aşağıdaki tablodan da görüldüğü gibi, iletkenlik ve depolama katsayısı denklemleri ile önceden verilen akifer karakteristiklerinin kullanılmasıyla bulunan düşümlerden hareketle yaklaşık olarak yine aynı neticelere ulaşılabilmektedir. Sonuçların ortalaması alındığında $T = 40.10$ m²/gün ve $S = 0.011$ çıkmaktadır.

Şen analitik metodunda olduğu gibi daha önce metodun gözlem kuyusu gerektirmediği belirtilmesine rağmen, denklemlerin eldeki gözlem kuyusu verilerine de uygulanabildiği görülmüştür. Metod sonsuz akiferdeki gözlem kuyularına da uygulanarak Çizelge 6.2' de verilen sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre pompaj kuyusundan 5 m uzaklıkta bulunan 1. gözlem kuyusunda iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri ortalama olarak $T = 40.45$ m²/gün ve $S = 0.0095$; 10 m uzaklıktaki 2. gözlem kuyusunda yine ortalama olarak $T = 41.90$ m²/gün ve $S = 0.0086$ çıkmaktadır.

Çizelge 6.1 Serbest yüzlü sonsuz akiferdeki pompaj kuyusunda elde edilen düşümler için geliştirilen analitik metodla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu

t_1 (gün)	h_1 (m)	t_2 (gün)	h_2 (m)	T_{Tez} (m ² /gün)	S_{Tez}
2/24	3.329	3/24	3.300	40.28	0.010
"	"	4/24	3.279	40.07	0.011
"	"	5/24	3.263	40.22	0.011
"	"	6/24	3.250	40.37	0.010
"	"	7/24	3.238	40.04	0.011
"	"	8/24	3.228	39.98	0.011
"	"	9/24	3.220	40.24	0.011
"	"	10/24	3.212	40.16	0.011
"	"	15/24	3.182	40.20	0.011
"	"	20/24	3.160	40.10	0.011
"	"	1	3.146	40.05	0.011
"	"	2	3.093	40.05	0.011
"	"	3	3.062	40.11	0.011
"	"	4	3.039	40.04	0.011
"	"	5	3.022	40.11	0.011
"	"	6	3.007	40.03	0.011
"	"	7	2.995	40.06	0.011
"	"	8	2.984	40.02	0.011
"	"	9	2.975	40.07	0.011
"	"	10	2.966	40.01	0.011
"	"	15	2.934	40.09	0.011
"	"	20	2.910	40.04	0.011
Ortalama				40.10	0.011

Çizelge 6.2 Serbest yüzlü sonsuz akiferdeki gözlem kuyularında elde edilen düşümler için geliştirilen analitik metodla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu

1. Gözlem Kuyusu (5 m)				2. Gözlem Kuyusu (10 m)			
t (gün)	h _{G1} (m)	T _{Tez} (m ² /gün)	S _{Tez}	t (gün)	h _{G2} (m)	T _{Tez} (m ² /gün)	S _{Tez}
1/24	3.833			1/24	3.912		
2/24	3.791	41.34	0.009	2/24	3.873	43.60	0.008
3/24	3.765	40.61	0.009	3/24	3.850	43.60	0.008
4/24	3.747	40.61	0.009	4/24	3.833	43.27	0.008
5/24	3.733	40.63	0.009	5/24	3.819	42.75	0.008
6/24	3.721	40.45	0.009	6/24	3.808	42.62	0.008
7/24	3.712	40.71	0.009	7/24	3.799	42.65	0.008
8/24	3.703	40.54	0.009	8/24	3.791	42.61	0.008
9/24	3.696	40.68	0.009	9/24	3.783	42.27	0.008
10/24	3.698	40.60	0.009	10/24	3.777	42.36	0.008
15/24	3.662	40.35	0.010	15/24	3.751	41.92	0.009
20/24	3.644	40.49	0.009	20/24	3.733	41.80	0.009
1	3.632	40.45	0.009	1	3.721	41.63	0.009
2	3.586	40.35	0.010	2	3.677	41.46	0.009
3	3.559	40.33	0.010	3	3.651	41.38	0.009
4	3.540	40.35	0.010	4	3.632	41.27	0.009
5	3.524	40.22	0.010	5	3.617	41.17	0.009
6	3.512	40.26	0.010	6	3.605	41.13	0.009
7	3.502	40.31	0.010	7	3.595	41.12	0.009
8	3.492	40.20	0.010	8	3.586	41.08	0.009
9	3.484	40.20	0.010	9	3.578	41.04	0.009
10	3.477	40.22	0.010	10	3.571	41.02	0.009
15	3.449	40.20	0.010	15	3.544	40.97	0.009
20	3.429	40.19	0.010	20	3.524	40.87	0.009
Ortalama		40.45	0.0095	Ortalama		41.90	0.0086

Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2' deki sonuçlara bakıldığında pompaj kuyusundan uzaklaştıkça iletkenlik değerinin büyümeye başladığı görülmektedir. Depolama katsayısı da bunun aksine çekim kuyusundan uzaklaştıkça küçülmeye başlamıştır.

6.2.2 Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristiklerinin bulunması

Bu durumda yalnızca pompaj kuyularında hesaplanan düşümler verilmiş ve akifer karakteristikleri analitik metodlarla bulunmuştur. Akifer karakteristiklerini gözlem kuyularındaki düşümler yardımıyla bulan metodlar kullanılamamıştır. Şen analitik metodu ve tezde sunulan metodla akifer karakteristikleri hesaplanarak aşağıda Çizelge 6.3' de birlikte sunulmuştur.

Çizelge 6.3 Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde, analitik metodlarla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu

t_1 (gün)	h_1 (m)	t_2 (gün)	h_2 (m)	T_{Tez} ($m^2/gün$)	S_{Tez}	$S_{Şen}$
2/24	3.329	3/24	3.300	40.28	0.010	0.019
"	"	4/24	3.279	40.07	0.011	0.019
"	"	5/24	3.263	40.22	0.011	0.019
"	"	6/24	3.250	40.37	0.010	0.019
"	"	7/24	3.238	40.04	0.011	0.019
"	"	8/24	3.228	39.98	0.011	0.019
"	"	9/24	3.220	40.24	0.011	0.019
"	"	10/24	3.206	38.24	0.017	0.029
"	"	15/24	3.169	37.01	0.022	0.039
"	"	20/24	3.140	35.97	0.028	0.049
"	"	1	3.120	35.21	0.034	0.059
"	"	2	3.040	32.98	0.056	0.097
"	"	3	2.991	32.04	0.070	0.120
"	"	4	2.953	31.30	0.082	0.142
"	"	5	2.924	30.88	0.090	0.156
"	"	6	2.899	30.50	0.099	0.170
"	"	7	2.878	30.23	0.105	0.181
"	"	8	2.860	30.03	0.110	0.189
"	"	9	2.844	29.87	0.114	0.196
"	"	10	2.828	29.64	0.120	0.206
"	"	15	2.774	29.28	0.130	0.224
"	"	20	2.731	28.88	0.140	0.244

Çizelge 6.3' de görüldüğü gibi her iki metoda göre de 9. saatten sonra iletkenlik değerleri azalmaya ve depolama katsayısı değerleri de artmaya başlamıştır. Önceki bölümde belirtildiği gibi, Çizelge 5.2' de de bu saatten sonraki düşümler, sınır sebebiyle meydana gelen imaj kuyusunun girişim tesirleri ile sonsuz akiferdeki düşümlere nazaran artmaya başlamıştır. Analitik metodların uygulanması sırasında meydana gelen bu durum, bize girişim tesirlerinin başladığı zamanın bulunmasında yardımcı olabilmektedir. Akifer karakteristiklerini belirleyen metodlar girişim tesirlerini dikkate almamaktadır. Bu yüzden hesaplar, girişimin başladığı ana kadar olan akifer testi sonuçlarıyla yapılmalıdır.

Yukarıdaki tabloda akiferin iletkenlik değeri, 10. saate kadar bulunan sonuçların ortalaması olarak alınabilir. Bu değer tezde sunulan analitik metoda göre $T = 40.17 \text{ m}^2/\text{gün}$ olarak bulunmuştur. Yine bu metoda göre, 10. saate kadar olan ortalama depolama katsayısı $S = 0.011$ olmaktadır. Şen analitik metoduna göre ise depolama katsayısı $S = 0.019$ çıkmıştır. Bu sonuçların, serbest yüzlü sonsuz akiferde bulunan sonuçlarla aynı olması gerekmektedir. Sonsuz akiferde, burada verilen metodların sonuçlarına bakıldığında yaklaşık olarak aynı neticelerin alındığı söylenebilir.

6.2.3 İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristiklerinin bulunması

Bu halde de akifer karakteristiklerini bulmak için yine yukarıdaki iki analitik metodla uygulama yapılmıştır.

Analitik metodlarla yapılan hesaplar neticesinde aşağıda Çizelge 6.4' de verilen akifer karakteristikleri bulunmuştur. Önceki maddede olduğu gibi burada da girişim tesirleriyle 8. saatten sonra bulunan iletkenlik ve depolama değerleri değişiklik göstermeye başlamıştır. Çizelge 5.3' e bakıldığında 8. saatten sonra girişim tesirlerinin başladığı görülmektedir. Bu özellikler dikkate alınarak tezde verilen analitik metoda göre, akiferin iletkenlik değeri ortalama $T = 40.16 \text{ m}^2/\text{gün}$ ve depolama katsayısı ise $S = 0.011$ olarak elde edilmiştir. Şen analitik metoduna göre ise girişim tesirleri başlayana kadar depolama katsayısı yine $S = 0.019$ çıkmıştır. Her iki metodda da girişim tesirleri başladıktan sonra depolama katsayıları büyümeye başlamıştır. Bir yerden sonra da $S > 1$ değerleri elde edilmiştir. Bu durum, girişim tesirlerinden sonra akifer karakteristiklerinin yanlış değerler aldığını göstermektedir.

Çizelge 6.4 İki yönden birbirine paralel geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde, analitik metodlarla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu

t_1 (gün)	h_1 (m)	t_2 (gün)	h_2 (m)	T_{Tez} ($m^2/gün$)	S_{Tez}	$S_{Şen}$
2/24	3.329	3/24	3.300	40.28	0.010	0.019
"	"	4/24	3.279	40.07	0.011	0.019
"	"	5/24	3.263	40.22	0.011	0.019
"	"	6/24	3.250	40.37	0.010	0.019
"	"	7/24	3.238	40.04	0.011	0.019
"	"	8/24	3.228	39.98	0.011	0.019
"	"	9/24	3.211	37.22	0.021	0.037
"	"	10/24	3.200	36.50	0.025	0.043
"	"	15/24	3.156	34.30	0.042	0.072
"	"	20/24	3.118	32.33	0.065	0.113
"	"	1	3.091	31.06	0.087	0.150
"	"	2	2.967	26.63	0.230	0.402
"	"	3	2.878	24.45	0.375	0.645
"	"	4	2.801	22.84	0.530	0.910
"	"	5	2.738	21.81	0.660	>1
"	"	6	2.681	20.97	0.790	>1
"	"	7	2.630	20.32	0.900	>1
"	"	8	2.585	19.81	>1	>1
"	"	9	2.546	19.44	>1	>1
"	"	10	2.505	19.02	>1	>1
"	"	15	2.358	17.96	>1	>1
"	"	20	2.241	17.27	>1	>1

6.2.4 Dört yönden geçirimsiz sınırlar ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde açılmış kuyu halinde akifer karakteristiklerinin bulunması

Yukarıdaki diğer sınırlı akiferlerde olduğu gibi, dört yönden sınırlı serbest yüzlü akiferde de iletkenlik ve depolama katsayıları analitik metodlarla bulunmuş ve Çizelge 6.5' de verilmiştir. Girişim olmayan bölgede geliştirilen analitik metoda göre iletkenlik değeri ortalama $T = 40.14 \text{ m}^2/\text{gün}$ ve depolama katsayısı $S = 0.011$

çıkmiştir. Şen analitik metoduna göre de depolama katsayısı yine $S = 0.019$ olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.5 Dört yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akiferde, analitik metodlarla hesap edilen akifer karakteristikleri tablosu

t_1 (gün)	h_1 (m)	t_2 (gün)	h_2 (m)	T_{Tez} ($m^2/gün$)	S_{Tez}	$S_{Şen}$
2/24	3.329	3/24	3.300	40.28	0.010	0.019
"	"	4/24	3.279	40.07	0.011	0.019
"	"	5/24	3.263	40.22	0.011	0.019
"	"	6/24	3.250	40.37	0.010	0.019
"	"	7/24	3.238	40.04	0.011	0.019
"	"	8/24	3.228	39.98	0.011	0.019
"	"	9/24	3.220	40.24	0.011	0.019
"	"	10/24	3.212	40.16	0.011	0.019
"	"	15/24	3.182	40.20	0.011	0.019
"	"	20/24	3.160	40.10	0.011	0.019
"	"	1	3.146	40.05	0.011	0.019
"	"	2	3.093	40.05	0.011	0.019
"	"	3	3.062	40.11	0.011	0.019
"	"	4	3.033	39.26	0.013	0.023
"	"	5	3.010	38.67	0.015	0.026
"	"	6	2.988	37.92	0.018	0.031
"	"	7	2.964	36.84	0.023	0.040
"	"	8	2.943	36.01	0.028	0.049
"	"	9	2.922	35.15	0.034	0.059
"	"	10	2.902	34.37	0.041	0.071
"	"	15	2.799	30.54	0.098	0.169
"	"	20	2.700	27.60	0.188	0.325

6.3 Fiziksel Modelden Elde Edilen Verilerle Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

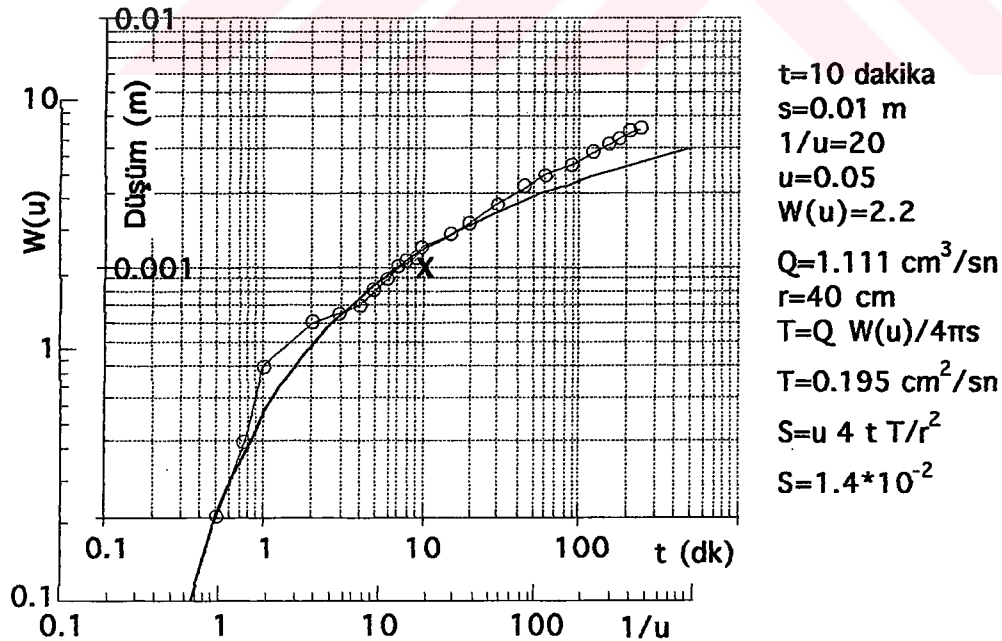
Bölüm 5.3' de verilen fiziksel modeldeki deney sonuçları, bazı akifer metodlarına uygulanarak, akifer karakteristiklerinin bulunması aşağıda maddeler halinde verilecektir. 1 nolu merkez kuyuda gözlem kuyusu verileri de bulunduğu için burada grafik metodlarla netice almak mümkün olmuştur. Diğer kuyularda ise sadece analitik metodlar kullanılarak akifer karakteristikleri elde edilmiştir.

6.3.1 1 nolu (merkez) kuyuda akifer karakteristiklerinin bulunması

Çizelge 5.5' de verilen, 1 nolu merkez kuyu ile 2 ve 4 nolu gözlem kuyularındaki düşüm değerleri, Theis, Boulton, Neuman, Şen analitik, Şen grafik ve tezde verilen metodlara uygulanarak akifer karakteristiklerinin bulunması aşağıda sunulmuştur.

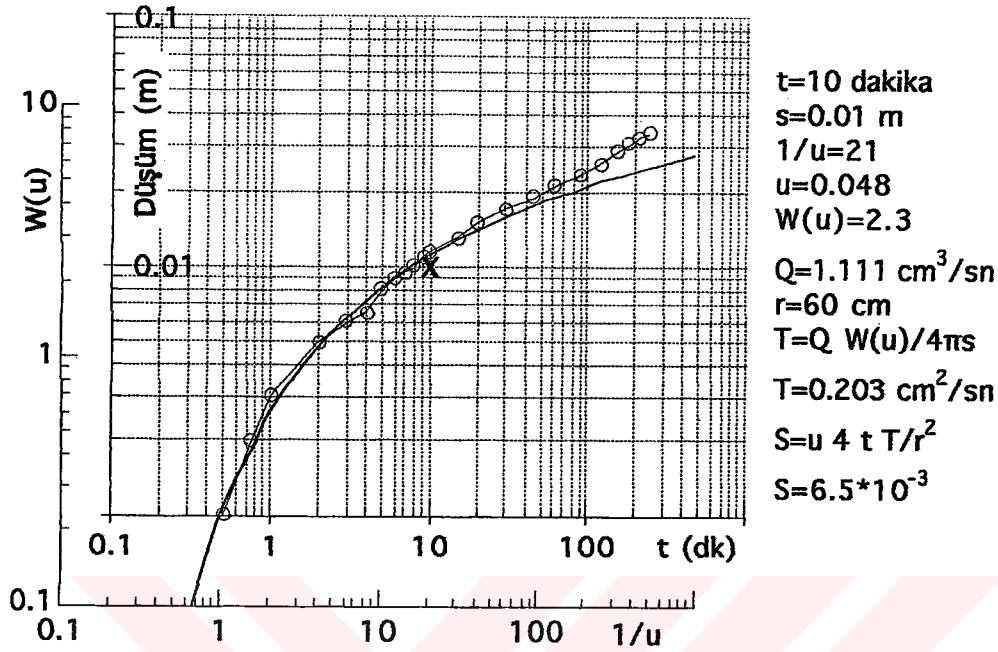
6.3.1.1 Theis metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

1 nolu merkez kuyudan çekim yapılırken, 400 mm uzaklıktaki 2 nolu gözlem kuyusunda meydana gelen düşümlerin zamana bağlı grafiği, Theis metoduna uygulanarak $T = 0.195 \text{ cm}^2/\text{sn}$ ve $S = 1.4 \cdot 10^{-2}$ olarak bulunmuştur (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 2 nolu gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafiğinin Theis Metoduna uygulanması

4 nolu gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafiği ile Theis tip eğrisi karşılaştırılarak $T = 0.203 \text{ cm}^2/\text{sn}$ ve $S = 6.5 \cdot 10^{-3}$ sonuçları elde edilmiştir (Şekil 6.13).



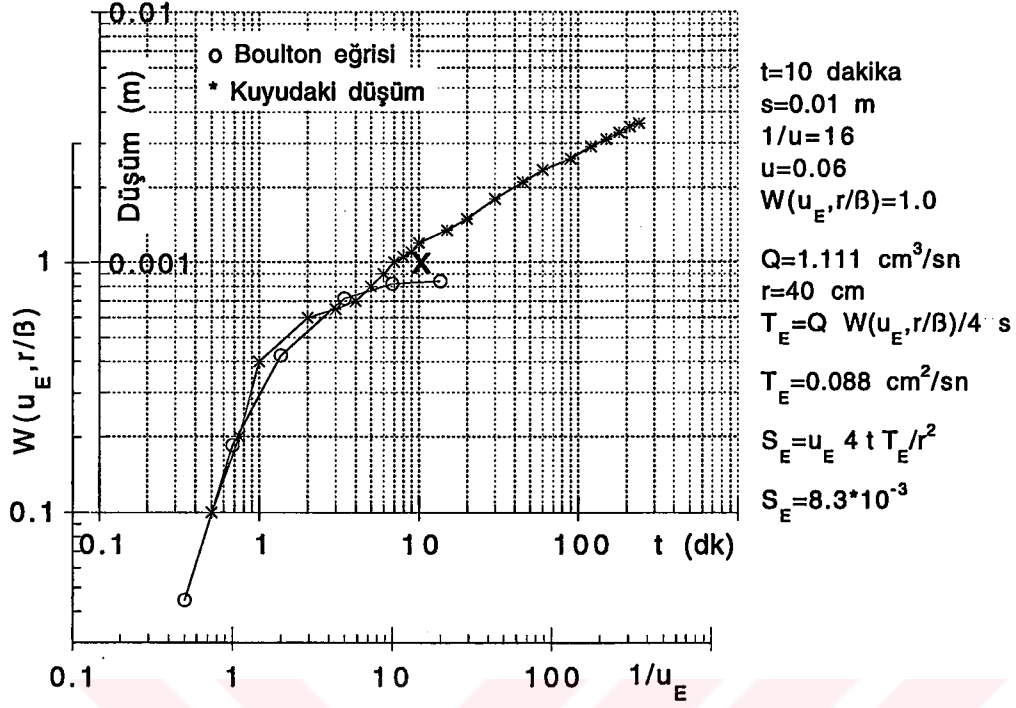
Şekil 6.13 4 nolu gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafiğinin Theis Metoduna uygulanması

6.3.1.2 Boulton metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

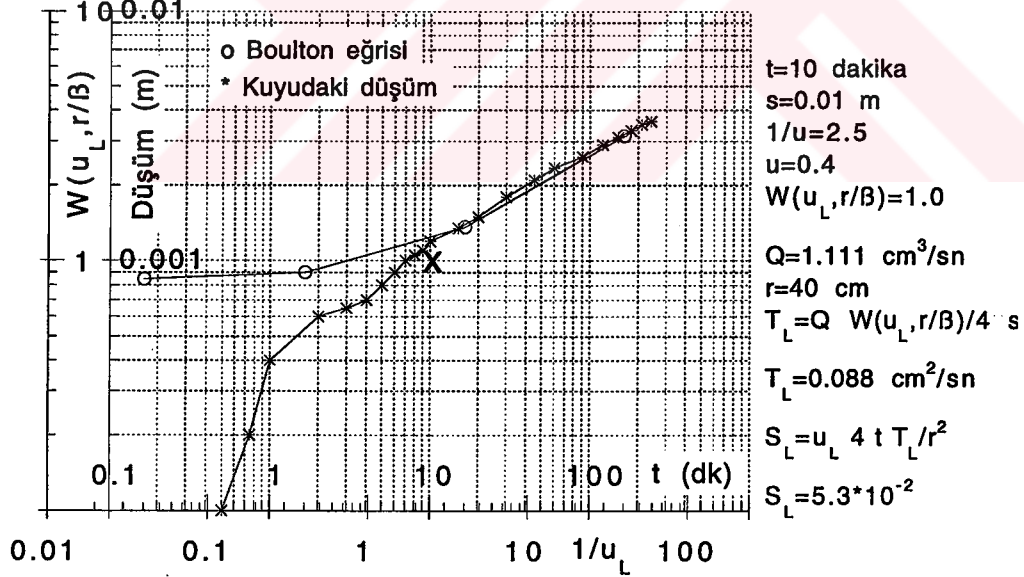
2 ve 4 nolu gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri, Boulton tip eğrileri ile karşılaştırılarak, ilk ve son zamanlara ait iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri bulunmuştur.

Şekil 6.14 ve Şekil 6.15' de 2 nolu kuyudaki düşüm-zaman grafiği ile Boulton' un $r/B = 1.0$ olan ilk ve son zamanlara ait eğrilerinin karşılaştırılması gösterilmiştir. Bu grafiklerde, bir çakışma noktası seçilerek okunan değerlerle yapılan hesaplar neticesinde $T_E = 0.088 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_E = 8.3 \cdot 10^{-3}$ ve $T_L = 0.088 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_L = 5.3 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur.

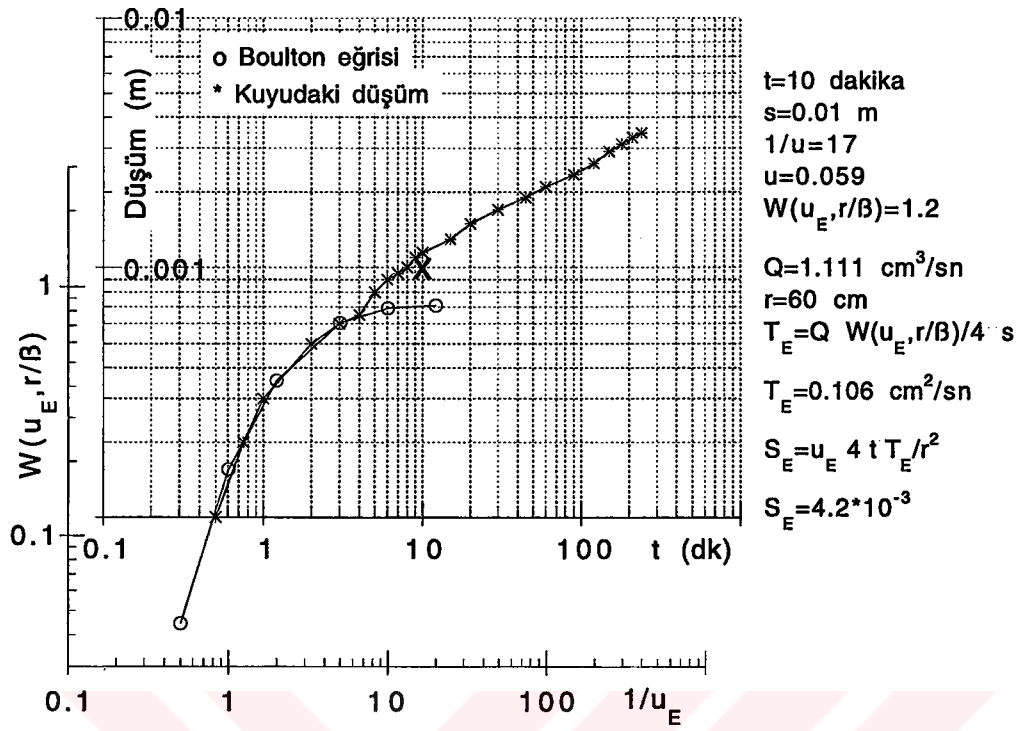
4 nolu kuyudaki düşüm-zaman grafiği ile de yine Boulton' un $r/B = 1.0$ olan eğrileri karşılaştırılmış ve $T_E = 0.106 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_E = 4.2 \cdot 10^{-3}$ ile $T_L = 0.106 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_L = 2.1 \cdot 10^{-2}$ neticeleri elde edilmiştir. 4. kuyudaki düşüm-zaman grafiğine, Boulton Tip Eğrilerinin uygulanması Şekil 6.16 ve Şekil 6.17' de gösterilmiştir.



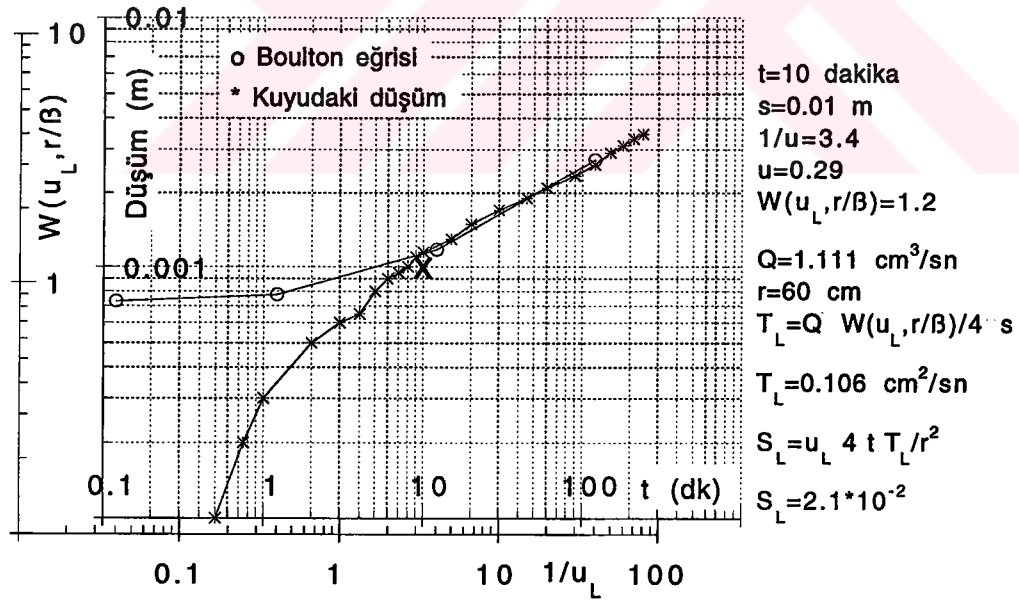
Şekil 6.14 2 nolu gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$)



Şekil 6.15 2 nolu gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$)



Şekil 6.16 4 nolu gözlem kuyusunda erken zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$)

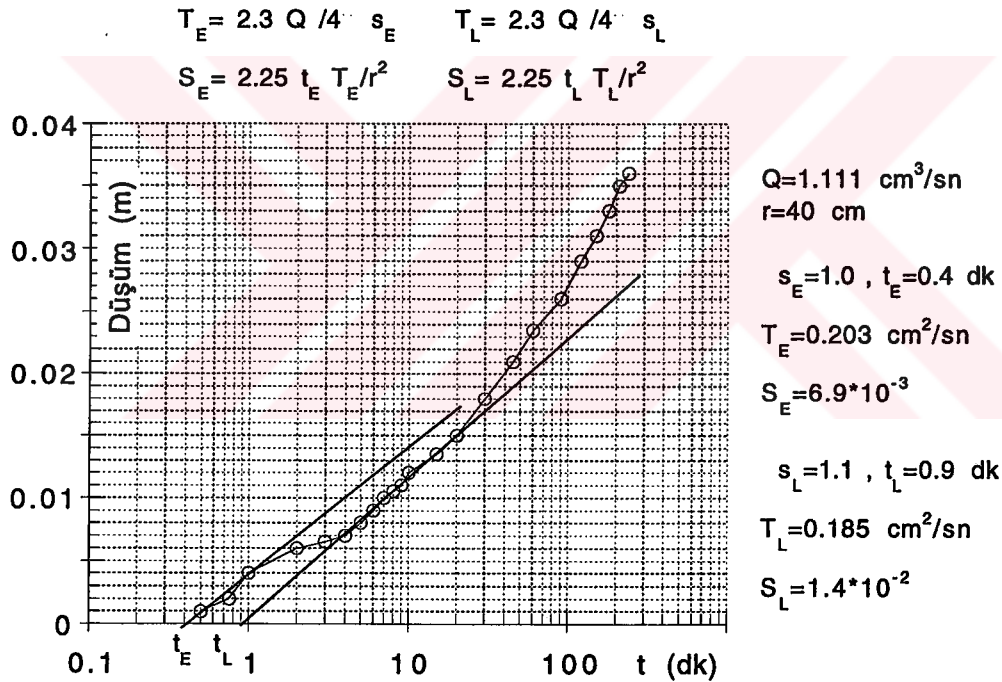


Şekil 6.17 4 nolu gözlem kuyusunda geç zamanlar için Boulton tip eğrisi uygulaması ($r/B = 1.0$)

6.3.1.3 Neuman düz çizgi metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

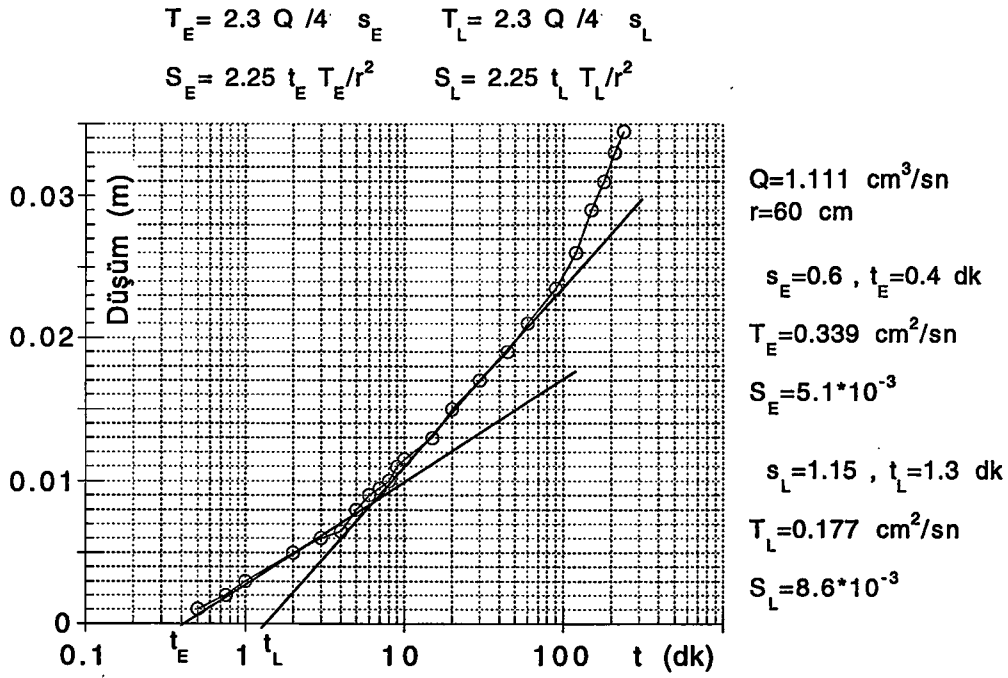
Yarı logaritmik kağıda çizilen düşüm-zaman grafiğinde, ilk ve son zamanlara ait birer doğrudan yola çıkılarak akifer karakteristiklerinin bulunmasını sağlayan metod, buradaki gözlem kuyularına da Şekil 6.18 ve Şekil 6.19' da gösterildiği gibi uygulanmıştır.

Bu uygulamada, 2 nolu gözlem kuyusu için verilen düşüm-zaman grafiğinde ilk ve son zamanlar için teğetler çizilmiş ve metod için gerekli değerler grafikten okunmuştur. Boulton metodunda olduğu gibi ilk ve son zamanlara ait ayrı ayrı akifer karakteristikleri elde edilmiştir. Hesaplar neticesinde 2 nolu kuyuda Neuman düz çizgi metodu uygulamasıyla $T_E = 0.203 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_E = 6.9 \cdot 10^{-3}$ ve $T_L = 0.185 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_L = 1.4 \cdot 10^{-2}$ değerleri bulunmuştur.



Şekil 6.18 2 nolu gözlem kuyusunda erken ve geç zamanlar için Neuman düz çizgi metodu uygulaması

4 nolu gözlem kuyusunun düşüm-zaman grafiğinden elde edilen verilerle yapılan hesaplamalar neticesinde ise $T_E = 0.339 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_E = 5.1 \cdot 10^{-3}$ ve $T_L = 0.177 \text{ cm}^2/\text{sn}$, $S_L = 8.6 \cdot 10^{-3}$ sonuçları çıkmıştır.



Şekil 6.19 4 nolu gözlem kuyusunda erken ve geç zamanlar için Neuman düz çizgi metodu uygulaması

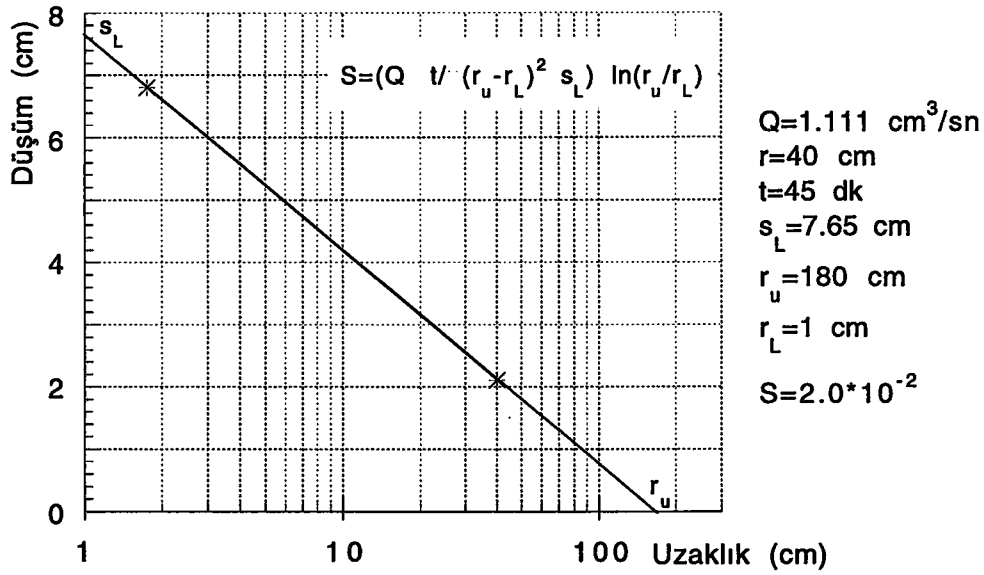
6.3.1.4 Şen analitik metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

Daha öncede belirtildiği gibi, Şen analitik metodu ile sadece depolama katsayısı bulunabilmektedir. Burada, depolama katsayısını belirleyebilmek için de iletkenlik değerinin bilinmesi gerekir. Bu uygulamada işlem yapabilmek için iletkenlik değeri olarak daha sonra verilecek olan, Geliştirilen analitik metodla bulunan değerler alınmıştır. Bu değerlere göre bulunan depolama katsayısı neticeleri, akifer karakteristiklerinin geliştirilen analitik metodla bulunması bahsinde verilecektir.

6.3.1.5 Şen grafik metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

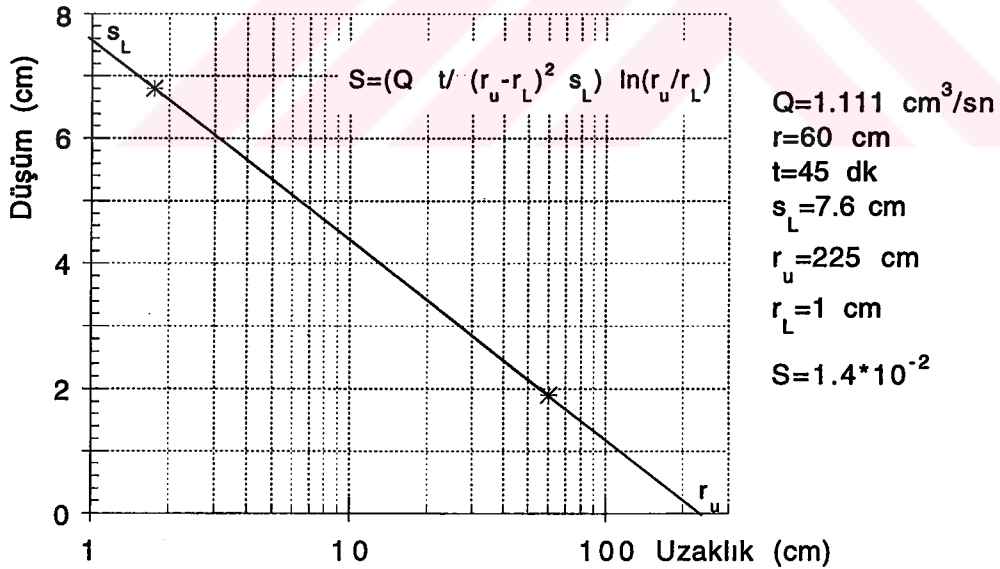
Şen grafik metodunda, çekim yapılan 1 nolu kuyu ile gözlem kuyusu olarak nitelendirilen 2 ve 4 nolu kuyuların aynı zamanlardaki düşümleri ile elde edilen grafiklerden hareketle depolama katsayısı hesap edilmiştir. Önceden de belirtildiği gibi burada iletkenlik ile ilgili bir değer gerekmemekte ve bulunmamaktadır.

1 nolu kuyu ile 2 nolu kuyudan elde edilen 45. dakikadaki düşüm değerlerine göre çizilen Şekil 6.20' deki grafikte $S = 2.0 \cdot 10^{-2}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6.20 1 nolu pompaj kuyusu ile 2 nolu gözlem kuyusu arasında 45. dakika için Şen grafik metodu uygulaması

Pompaj kuyusu ile 4 nolu gözlem kuyusu arasında Şen grafik metodunun uygulanması sonucunda $S = 1.4 \cdot 10^{-2}$ çıkmaktadır. Burada da yine, 45. dakikadaki veriler dikkate alınmıştır. Şekil 6.21' de bu hale ait grafik verilmiştir.



Şekil 6.21 1 nolu pompaj kuyusu ile 4 nolu gözlem kuyusu arasında 45. dakika için Şen grafik metodu uygulaması

6.3.1.6 Geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması

1 nolu pompaj kuyusu ile 2 ve 4 nolu gözlem kuyularında ölçülen düşüm değerleri kullanılarak, tezde sunulan analitik metod ile Şen analitik metodundan alınan sonuçlar burada tablolar halinde verilmiştir. Aşağıdaki Çizelge 6.6' da 1 nolu kuyudan her iki metoda göre alınan neticeler sunulmuştur.

Çizelge 6.6 1 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri

t_1 (sn)	h_1 (cm)	t_2 (sn)	h_2 (cm)	T_{Tez} (cm ² /sn)	S_{Tez}	$S_{Şen}$
5	39.70	-	-	-	-	0.024
5	39.70	10	39.50	0.32	0.012	0.006
"	"	15	39.40	0.33	0.010	0.009
"	"	30	39.20	0.33	0.010	0.009
"	"	45	39.10	0.34	0.009	0.010
"	"	60	39.00	0.33	0.011	0.013
"	"	120	38.80	0.33	0.011	0.014
"	"	180	38.55	0.29	0.016	0.024
"	"	240	38.45	0.29	0.017	0.025
"	"	300	38.30	0.27	0.020	0.033
"	"	360	38.15	0.26	0.023	0.035
"	"	420	38.05	0.25	0.025	0.041
"	"	480	37.90	0.24	0.028	0.043
"	"	540	37.75	0.22	0.032	0.061
"	"	600	37.65	0.22	0.034	0.055
"	"	900	37.10	0.19	0.045	0.072
"	"	1200	36.50	0.16	0.057	0.108
"	"	1800	35.50	0.14	0.070	0.093
"	"	2700	34.20	0.11	0.081	0.158
"	"	3600	32.90	0.10	0.088	0.117
"	"	5400	30.50	0.08	0.093	0.136
"	"	7200	29.30	0.07	0.093	0.223
"	"	9000	28.20	0.07	0.093	0.151
"	"	10800	27.05	0.07	0.093	0.099
"	"	12600	26.10	0.06	0.093	0.236
"	"	14400	25.10	0.06	0.093	0.179

Yukarıdaki çizelgede görüldüğü gibi, tezde sunulan metoda göre iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri 5 ile 120. saniyeler arasında hemen hemen aynı çıkmaktadır. 120. saniyeden sonra iletkenlik değerlerinde bir azalma ve depolama katsayısı değerlerinde ise bir artma söz konusudur. Şen analitik metodundan elde edilen depolama katsayısı değerleri için de yine aynı şekilde artış tesbit edilmektedir. Pompaj kuyusundaki bu durum bize, daha önce sayısal modellerdeki sınırlı akiferlerde olduğu gibi sınırlardan dolayı girişim tesirlerinin başladığını göstermektedir. Girişim tesirlerinin olmadığı başlangıç değerleri dikkate alınacak olursa iletkenlik değeri ortalama olarak $T = 0.33 \text{ cm}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı da $S = 0.011$ olmaktadır. Diğer metodda da değişimin başladığı ana kadar olan depolama katsayısı değerlerinin ortalaması $S = 0.012$ olarak bulunmaktadır.

2 ve 4 numaralı gözlem kuyuları için de iki analitik metodla neticeler alınarak Çizelge 6.7' de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde iletkenlik değerinin, girişim tesirlerinin görülmesi bakımından pompaj kuyusu sonuçları ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. İlk beş değerlerin ortalaması alındığında iletkenlik değeri, 2 nolu gözlem kuyusundaki veriler için $T = 0.336 \text{ cm}^2/\text{sn}$ ve 4 nolu gözlem kuyusundaki düşümler için ise $T = 0.333 \text{ cm}^2/\text{sn}$ çıkmaktadır.

Depolama katsayısı ise tezde sunulan metoda göre, çok fazla değişim göstermemekle birlikte zamanla bir miktar azalmıştır. Çizelgedeki her iki gözlem kuyusu neticelerin ilk zamanlardaki ortalamasına göre $S = 0.010$, tüm değerlerin ortalaması alındığında ise $S = 0.008$ bulunmuştur. Bu değerler, pompaj kuyusunda bulunan değere çok yakın çıkmaktadır.

Şen analitik metoduna göre bulunan depolama katsayıları, pompaj kuyusundaki neticelere göre bir mertebe büyük değerler vermiştir. Ancak her iki gözlem kuyusunda da ortalama olarak birbirine yakın sonuçlar bulunmuştur ($S = 0.130$ ve $S = 0.136$).

Çizelge 6.7 2 ve 4 nolu gözlem kuyularında analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri

2 Nolu Kuyu (40 cm)					4 Nolu Kuyu (60 cm)				
t (sn)	h (cm)	T _{Tez} (cm ² /sn)	S _{Tez}	S _{Şen}	t (sn)	h (cm)	T _{Tez} (cm ² /sn)	S _{Tez}	S _{Şen}
30	40.90			0.43	30	40.90			0.45
45	40.80	0.36	0.010	0.41	45	40.80	0.36	0.010	0.41
60	40.70	0.31	0.009	0.34	60	40.70	0.31	0.009	0.38
120	40.55	0.35	0.010	0.27	120	40.50	0.31	0.009	0.30
180	40.45	0.35	0.010	0.25	180	40.40	0.32	0.009	0.26
240	40.30	0.31	0.009	0.23	240	40.35	0.34	0.010	0.24
300	40.20	0.29	0.009	0.20	300	40.20	0.29	0.009	0.19
360	40.10	0.28	0.009	0.17	360	40.10	0.28	0.009	0.17
420	40.00	0.26	0.008	0.15	420	40.05	0.28	0.009	0.15
480	39.95	0.26	0.008	0.13	480	40.00	0.28	0.009	0.14
540	39.90	0.26	0.008	0.12	540	39.90	0.26	0.008	0.12
600	39.80	0.24	0.008	0.10	600	39.85	0.26	0.008	0.11
900	39.65	0.24	0.008	0.075	900	39.70	0.25	0.008	0.079
1200	39.50	0.24	0.008	0.054	1200	39.50	0.24	0.008	0.052
1800	39.20	0.22	0.007	0.028	1800	39.30	0.23	0.008	0.033
2700	38.90	0.20	0.007	0.014	2700	39.10	0.23	0.007	0.021
3600	38.65	0.19	0.007	0.0076	3600	38.90	0.22	0.007	0.013
5400	38.40	0.19	0.007	0.0036	5400	38.65	0.21	0.007	0.0067
7200	38.10	0.18	0.006	0.0015	7200	38.40	0.20	0.007	0.0035
9000	37.90	0.17	0.006	0.00078	9000	38.10	0.19	0.006	0.0017
10800	37.70	0.17	0.006	0.00039	10800	37.90	0.18	0.006	0.0001
12600	37.50	0.16	0.006	0.00018	12600	37.70	0.17	0.006	0.00058
14400	37.40	0.16	0.006	0.00008	14400	37.55	0.17	0.006	0.00038
Ortalama		0.25	0.008	0.130	Ortalama		0.26	0.008	0.136

6.3.2 2 nolu kuyuda akifer karakteristiklerinin bulunması

2 nolu kuyudan çekim yapılması durumunda, sadece kuyunun kendisinde meydana gelen düşümler kaydedilmiştir. Bu durumda akifer karakteristikleri iki analitik metotla bulunarak aşağıdaki Çizelge 6.8' de verilmiştir.

Çizelge 6.8 2 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri

t_1 (sn)	h_1 (cm)	t_2 (sn)	h_2 (cm)	T_{Tez} (cm ² /sn)	S_{Tez}	$S_{Şen}$
10	38.70	15	38.60	0.30	0.010	0.007
"	"	30	38.45	0.33	0.007	0.006
"	"	45	38.35	0.32	0.008	0.008
"	"	60	38.25	0.30	0.011	0.012
"	"	120	38.05	0.29	0.013	0.017
"	"	180	37.90	0.27	0.016	0.025
"	"	240	37.80	0.26	0.017	0.031
"	"	300	37.70	0.26	0.020	0.028
"	"	360	37.60	0.24	0.023	0.043
"	"	420	37.50	0.23	0.026	0.049
"	"	480	37.40	0.22	0.030	0.057
"	"	540	37.30	0.22	0.034	0.049
"	"	600	37.20	0.21	0.038	0.057
"	"	900	36.80	0.18	0.053	0.090
"	"	1200	36.40	0.16	0.068	0.111
"	"	1800	35.70	0.13	0.091	0.183
"	"	2700	34.70	0.11	0.114	0.188
"	"	3600	33.80	0.10	0.128	0.155
"	"	5400	32.50	0.08	0.140	0.275
"	"	7200	31.40	0.07	0.145	0.351
"	"	9000	30.30	0.07	0.149	0.192
"	"	10800	29.30	0.06	0.150	0.346
"	"	12600	28.35	0.06	0.151	0.228
"	"	14400	27.45	0.06	0.151	0.154

Yukarıdaki çizelgede 1 nolu kuyuda olduğu gibi, erken zamanlarda birbirine yakın değerler çıkarken, 120. saniyeden sonra iletkenlik değerleri azalmaya buna karşılık depolama katsayıları artmaya başlamıştır. Bu durumda akifer karakteristikleri yaklaşık olarak aynı seyreden ilk beş değerlerin ortalaması olarak belirlenmiştir. Geliştirilen analitik metoda göre iletkenlik değeri $T = 0.31 \text{ cm}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 0.010$ ortalama sonuçları elde edilmiştir. Şen analitik metoduna göre de ortalama depolama katsayısı diğer methodda olduğu gibi $S = 0.010$ çıkmaktadır.

6.3.3 3 nolu kuyuda akifer karakteristiklerinin bulunması

3 nolu kuyudan elde edilen deney neticeleri ile iki analitik metoda göre bulunan akifer karakteristikleri aşağıdaki Çizelge 6.9' da verilmiştir.

Çizelge 6.9 3 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri

t_1 (sn)	h_1 (cm)	t_2 (sn)	h_2 (cm)	T_{Tez} (cm ² /sn)	S_{Tez}	$S_{Şen}$
10	36.60	15	36.50	0.30	0.010	0.007
"	"	30	36.35	0.33	0.008	0.007
"	"	45	36.25	0.32	0.008	0.009
"	"	60	36.15	0.30	0.009	0.013
"	"	120	35.95	0.29	0.011	0.018
"	"	180	35.80	0.27	0.013	0.027
"	"	240	35.70	0.27	0.016	0.026
"	"	300	35.60	0.26	0.017	0.031
"	"	360	35.50	0.25	0.020	0.035
"	"	420	35.40	0.24	0.023	0.040
"	"	480	35.30	0.23	0.026	0.046
"	"	540	35.20	0.22	0.030	0.053
"	"	600	35.10	0.21	0.034	0.061
"	"	900	34.60	0.17	0.038	0.114
"	"	1200	34.10	0.15	0.060	0.125
"	"	1800	33.30	0.12	0.079	0.207
"	"	2700	32.30	0.10	0.102	0.259
"	"	3600	31.40	0.09	0.122	0.249
"	"	5400	30.00	0.08	0.134	0.215
"	"	7200	28.80	0.07	0.144	0.271
"	"	9000	27.70	0.07	0.149	0.154
"	"	10800	26.75	0.06	0.151	0.302
"	"	12600	26.00	0.06	0.153	0.229
"	"	14400	25.40	0.06	0.153	0.187

3 nolu kuyuda, geliştirilen analitik metodla yapılan uygulama sonunda girişim olmadığı kabul edilen bölgede iletkenlik değeri ortalama $T = 0.31 \text{ cm}^2/\text{sn}$ ve

depolama katsayısıda yine ortalama olarak $S = 0.009$ bulunmuştur. Şen analitik metoduna göre ise, depolama değeri ortalama olarak $S = 0.011$ elde edilmiştir.

6.3.4 4 nolu kuyuda akifer karakteristiklerinin bulunması

4 nolu kuyudaki düşüm değerleri ile uygulaması yapılan analitik metodlardan elde edilen akifer karakteristikleri aşağıdaki Çizelge 6.10' da sunulmuştur.

Çizelge 6.10 4 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri

t_1 (sn)	h_1 (cm)	t_2 (sn)	h_2 (cm)	T_{Tez} (cm ² /sn)	S_{Tez}	$S_{Şen}$
10	37.90	15	37.80	0.36	0.008	0.004
"	"	30	37.60	0.32	0.012	0.012
"	"	45	37.50	0.33	0.011	0.013
"	"	60	37.40	0.32	0.012	0.017
"	"	120	37.20	0.32	0.014	0.019
"	"	180	37.00	0.29	0.020	0.029
"	"	240	36.85	0.27	0.025	0.041
"	"	300	36.70	0.25	0.031	0.055
"	"	360	36.55	0.24	0.037	0.058
"	"	420	36.40	0.22	0.044	0.081
"	"	480	36.30	0.22	0.047	0.074
"	"	540	36.20	0.21	0.051	0.089
"	"	600	36.10	0.21	0.054	0.079
"	"	900	35.60	0.18	0.074	0.115
"	"	1200	35.10	0.16	0.091	0.135
"	"	1800	34.20	0.13	0.116	0.199
"	"	2700	33.00	0.11	0.138	0.206
"	"	3600	32.00	0.10	0.150	0.187
"	"	5400	30.50	0.08	0.160	0.346
"	"	7200	29.30	0.08	0.163	0.196
"	"	9000	28.20	0.07	0.165	0.326
"	"	10800	27.10	0.07	0.167	0.197
"	"	12600	26.10	0.06	0.167	0.405
"	"	14400	25.10	0.06	0.167	0.293

Burada da çizelgenin ilk beş değerinin ortalaması alınarak tezde sunulan metoda göre iletkenlik değeri $T = 0.33 \text{ cm}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 0.011$ bulunmaktadır. Diğer analitik metoda göre de depolama katsayısı $S = 0.013$ çıkmaktadır.

6.3.5 5 nolu kuyuda akifer karakteristiklerinin bulunması

Çizelge 6.11 5 nolu kuyuda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri

t_1 (sn)	h_1 (cm)	t_2 (sn)	h_2 (cm)	T_{Tez} (cm^2/sn)	S_{Tez}	$S_{\text{Şen}}$
10	42.70	15	42.60	0.34	0.008	0.004
"	"	30	42.40	0.31	0.012	0.010
"	"	45	42.30	0.32	0.011	0.011
"	"	60	42.20	0.30	0.013	0.017
"	"	120	42.00	0.30	0.014	0.020
"	"	180	41.80	0.27	0.019	0.032
"	"	240	41.60	0.25	0.028	0.039
"	"	300	41.40	0.22	0.037	0.065
"	"	360	41.25	0.21	0.043	0.072
"	"	420	41.10	0.20	0.050	0.080
"	"	480	41.00	0.19	0.052	0.100
"	"	540	40.90	0.19	0.056	0.091
"	"	600	40.80	0.18	0.059	0.115
"	"	900	40.30	0.16	0.076	0.137
"	"	1200	39.90	0.15	0.088	0.138
"	"	1800	39.10	0.13	0.109	0.153
"	"	2700	38.00	0.11	0.129	0.169
"	"	3600	37.00	0.09	0.141	0.291
"	"	5400	35.20	0.08	0.153	0.203
"	"	7200	33.70	0.07	0.157	0.231
"	"	9000	32.60	0.06	0.158	0.413
"	"	10800	31.60	0.06	0.159	0.290
"	"	12600	30.50	0.06	0.159	0.212
"	"	14400	29.40	0.05	0.159	0.555

Yukarıdaki Çizelge 6.11' e bakıldığında geliştirilen analitik metoda göre, erken zamanlarda iletkenlik değeri ortalama $T = 0.31 \text{ cm}^2/\text{sn}$, depolama katsayısı ise yine ortalama olarak $S = 0.012$ çıkmaktadır. Şen analitik metoduna göre de depolama katsayısı ortalama $S = 0.012$ değerini vermektedir.

6.4 Arazi Çalışmalarından Elde Edilen Verilerle Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

Burada, önceki bölümde belirtilen Pakistan' ın Chaj Doab bölgesinde üç ayrı pompaj ve gözlem kuyuları grubundan elde edilmiş verilere göre akifer karakteristiklerinin bulunması anlatılmıştır. Theis, Jacob, Şen ve tezde sunulan analitik metodlarla bulunan sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

6.4.1 P21 kuyusunda akifer karakteristiklerinin bulunması

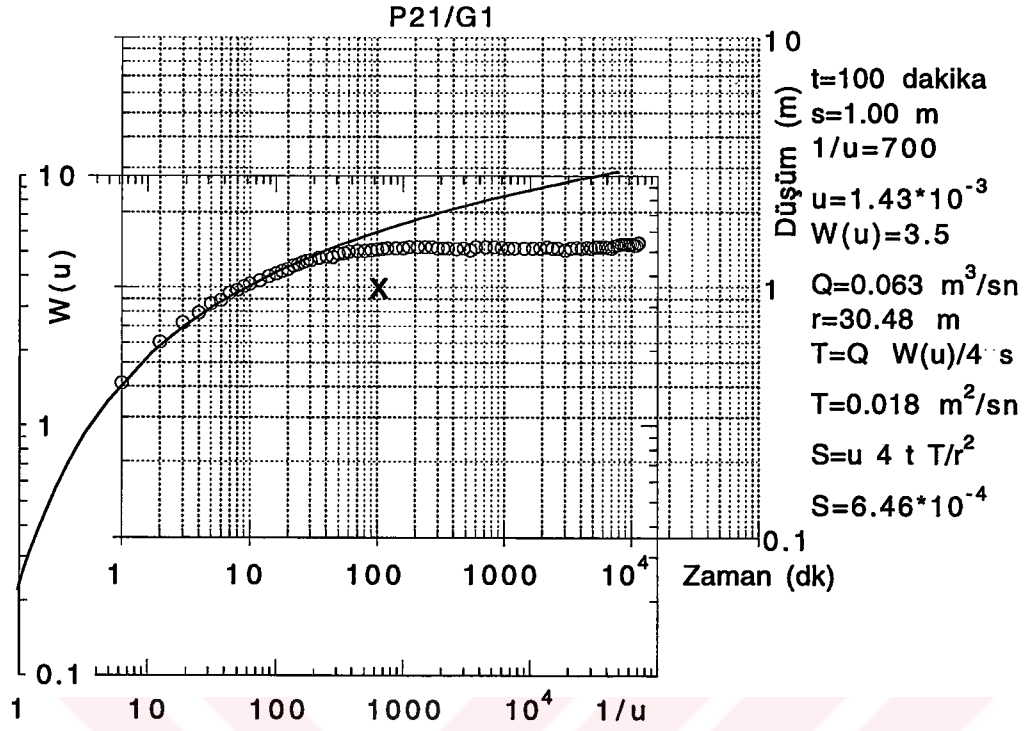
P21 pompaj kuyusu ve altı adet gözlem kuyusundaki veriler için grafik ve analitik metodlarla iletkenlik ve depolama katsayıları belirlenmiştir. Bu metodlar aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

6.4.1.1 P21 kuyusunda theis metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

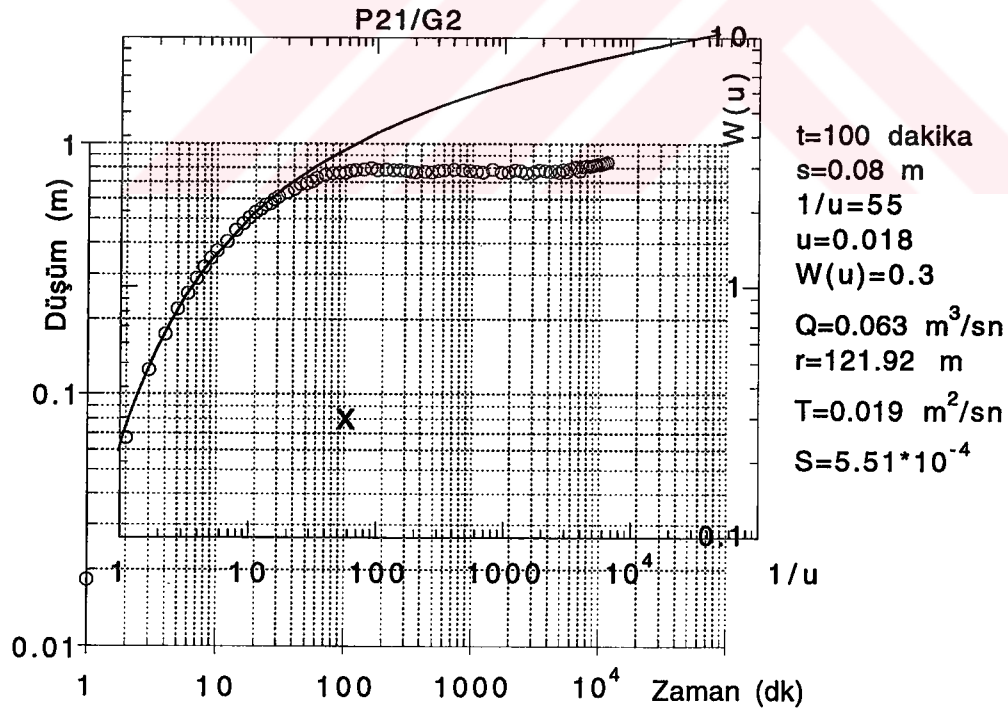
Her bir gözlem kuyusudaki düşüm değerleri için Theis eğrisi uygulanarak grafik yöntemle akifer karakteristikleri bulunmuştur. Bu uygulamalar neticesinde elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.

Pompaj kuyusundan yaklaşık 30.5 m uzaklıkta bulunan 1. gözlem kuyusundaki düşüm-zaman grafiği ile Theis eğrisi çakıştırılarak işaretlenen bir noktanın, her iki grafikteki koordinatlarına göre iletkenlik değeri $T = 0.018 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 6.46 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur. Grafiklerin çakıştırılması Şekil 6.22' de sonuçları ile birlikte verilmiştir.

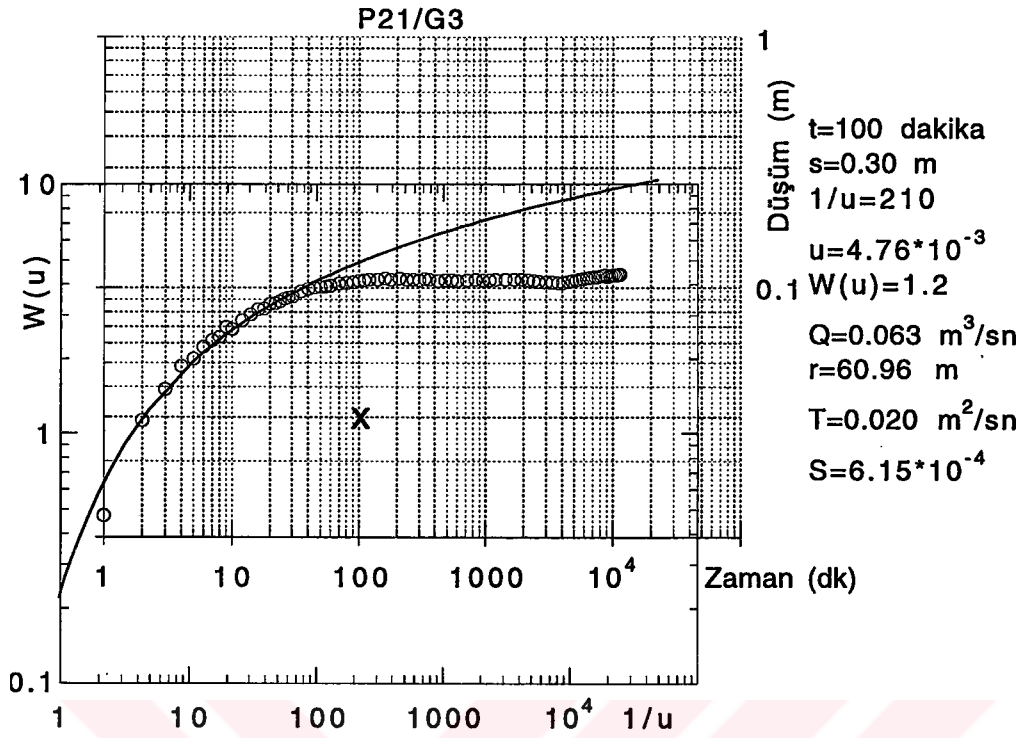
122 m uzaklıkta bulunan 2. gözlem kuyusundaki düşüm-zaman grafiği ile Theis eğrisi çakıştırılması neticesinde de iletkenlik değeri $T = 0.019 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 5.51 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur. Bu hale ait çakıştırma Şekil 6.23' de gösterilmiştir.



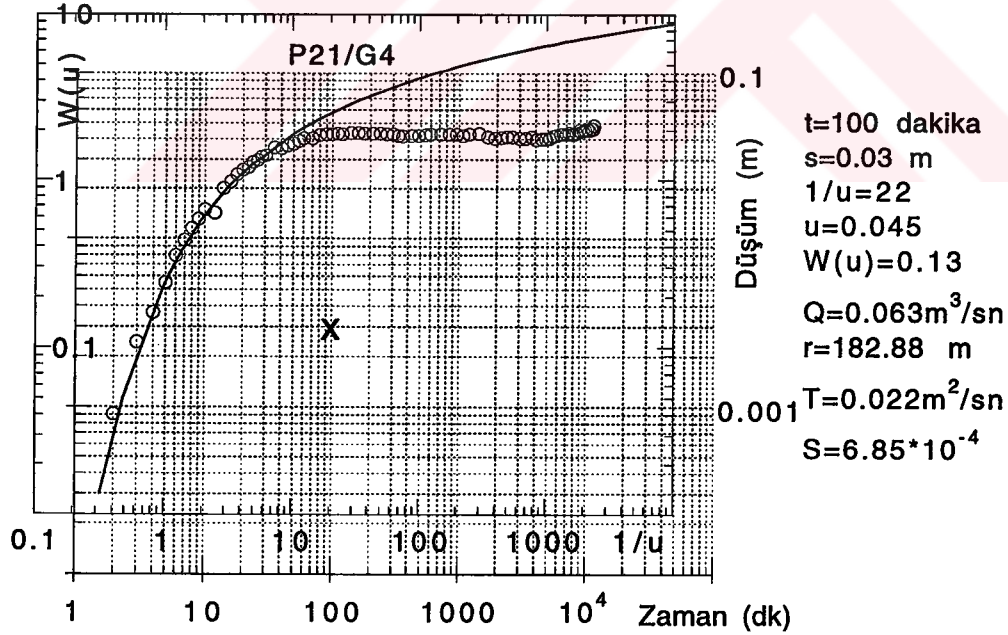
Şekil 6.22 P21 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



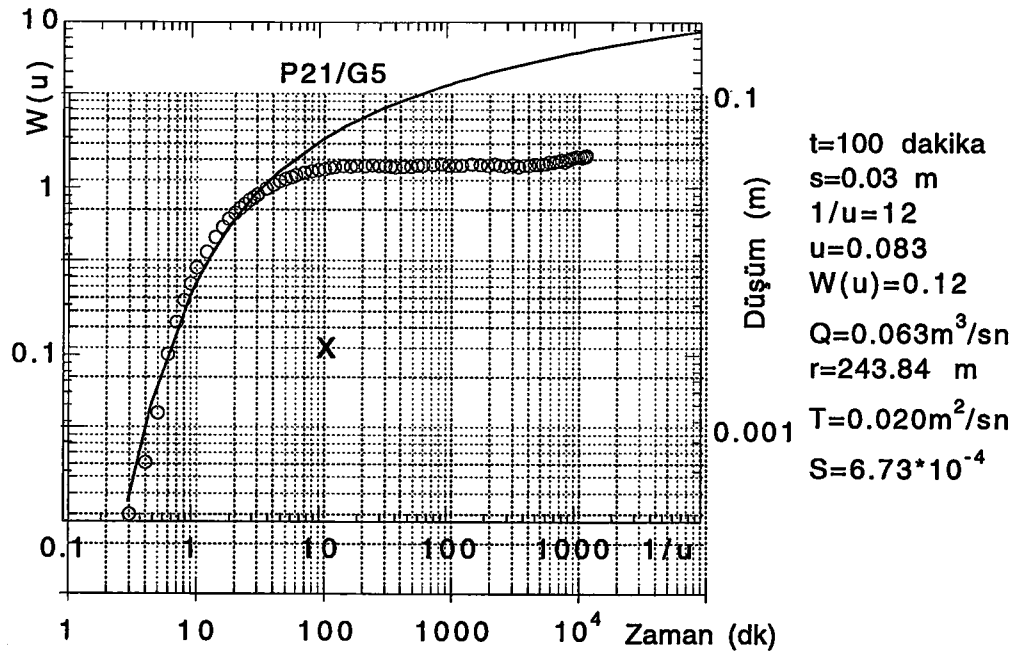
Şekil 6.23 P21 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



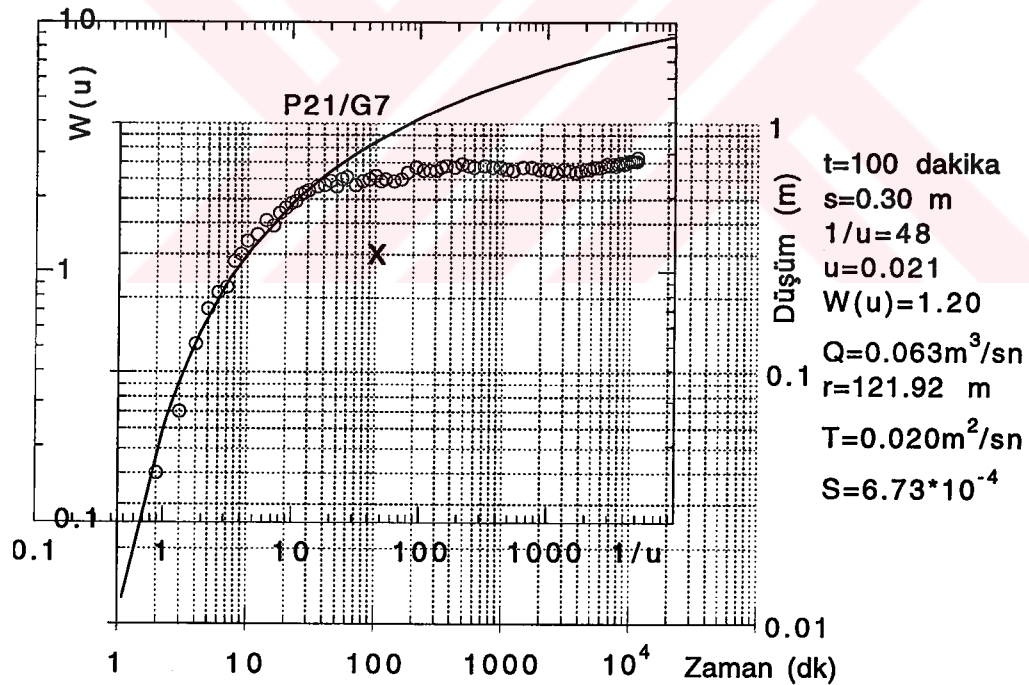
Şekil 6.24 P21 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



Şekil 6.25 P21 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



Şekil 6.26 P21 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



Şekil 6.27 P21 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

P21 pompaj kuyusu için açılan G3 gözlem kuyusundan elde edilmiş düşüm değerlerinin zamana karşı logaritmik grafiğine, Theis eğrisi uygulandığında iletkenlik değeri $T = 0.020 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 6.15 \cdot 10^{-4}$ bulunmaktadır. Bu uygulama Şekil 6.24' de verilmiştir.

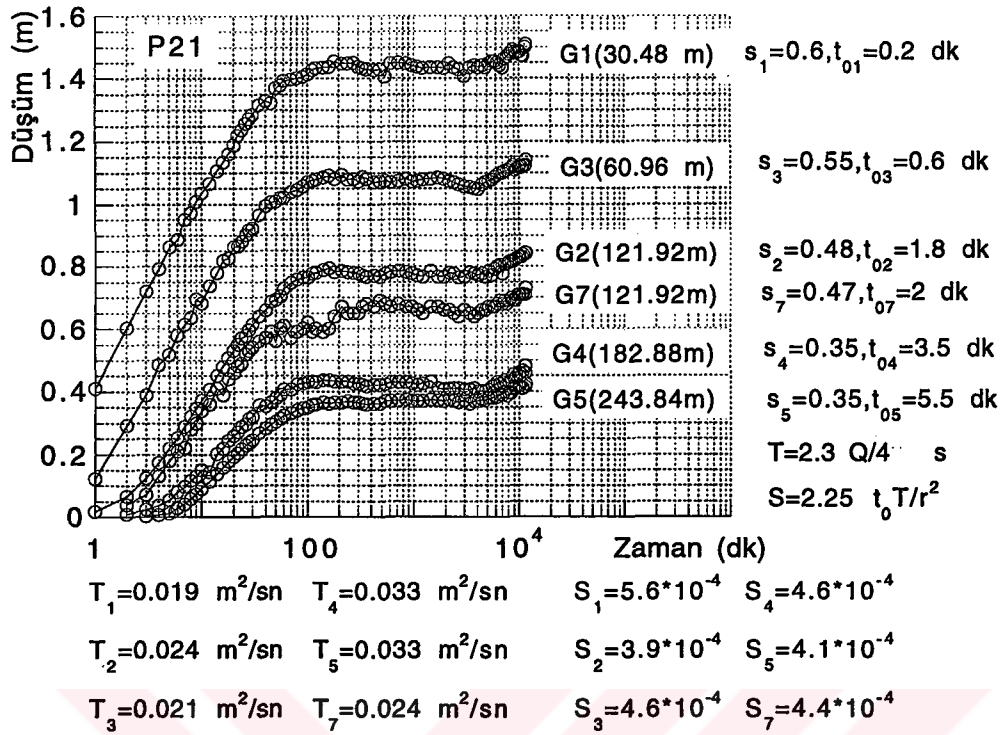
Theis metodunun, G4 gözlem kuyusundaki düşüm-zaman grafiğine uygulanmasıyla, iletkenlik değeri $T = 0.022 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 6.85 \cdot 10^{-4}$ değerleri elde edilmiştir. Theis eğrisi ile gözlem kuyusuna ait düşüm-zaman grafiğinin karşılaştırılması Şekil 6.25' de sunulmuştur.

Aynı şekilde G5 ve G7 gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafiklerinin Theis metoduna uygulanmaları Şekil 6.26 ve Şekil 6.27' de gösterilmiştir. Bu grafiklere göre G5 gözlem kuyusundan iletkenlik $T = 0.020 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve $S = 6.73 \cdot 10^{-4}$ G7 kuyusundan da yine $T = 0.020 \text{ m}^2/\text{sn}$ ile $S = 6.73 \cdot 10^{-4}$ değerleri bulunmuştur.

6.4.1.2 P21 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

P21 pompaj kuyusuna ait 6 gözlem kuyusundaki düşüm değerlerinin yarı logaritmik grafik kağıdında işaretlenmesiyle akifer karakteristiklerinin bulunmasını sağlayan Jacob düz çizgi metodunun uygulaması Şekil 6.28' de verilmiştir. Grafikte başlangıçta belli bir süre artan düşüm değerleri daha sonra yatay hale gelmektedir. Başlangıçtaki bu artan kısımda düşümleri birleştiren bir doğru çizilir ve bu çizginin zaman eksenini kestiği yerde t_0 okunur. Çizginin eğimi de belirlenerek, diğer verilerle birlikte metodun vermiş olduğu iletkenlik ve depolama katsayısı formüllerine uygulanarak bu değerler bulunur.

Metodun uygulanmasıyla iletkenlik değerleri $0.019 \text{ m}^2/\text{sn}$ ile $0.033 \text{ m}^2/\text{sn}$ arasında çıkmaktadır. Depolama katsayısı değerleri de $5.6 \cdot 10^{-4}$ ile $3.9 \cdot 10^{-4}$ değerleri arasında değişmektedir.

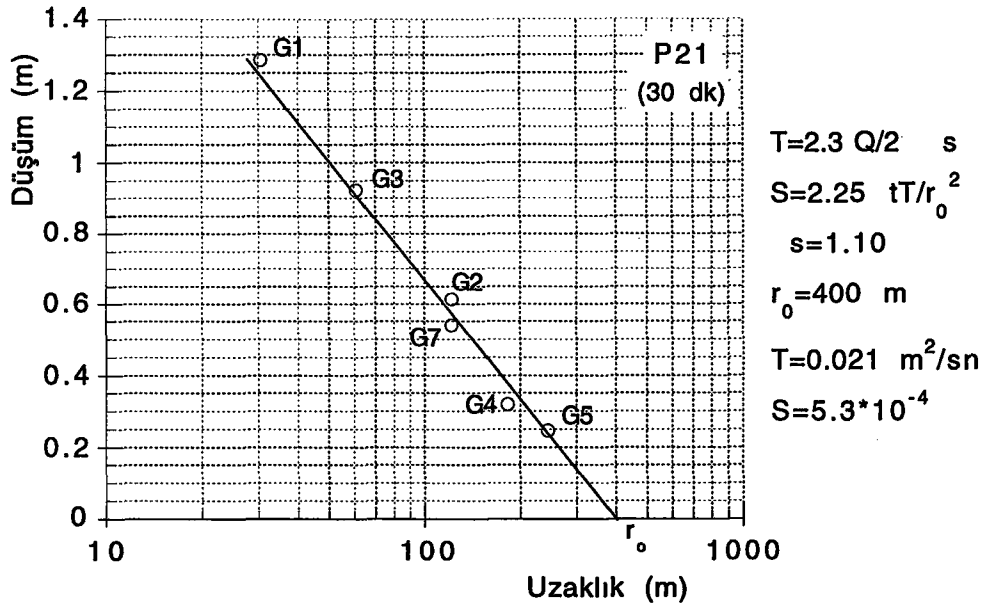


Şekil 6.28 P21 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyuları için Jacob düz çizgi metodu uygulaması

6.4.1.3 P21 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-uzaklık) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

Jacob düz çizgi metodunun, gözlem kuyularının uzaklığı ile belli bir andaki düşümler arasında yarı logaritmik grafik kağıdına çizilmesiyle uygulanan hali için, akifer karakteristiklerinin bulunması Şekil 6.29' da verilmiştir.

30. dakikada meydana gelen gözlem kuyularındaki düşümler ile gözlem kuyularının pompaj kuyularına olan uzaklıklar yarı logaritmik grafikte işaretlenerek, noktalardan uygun bir doğru geçirilir. Bu doğrunun eğimi ile yatay eksen kesiştiği yerde bulunan r_0 değeri belirlenerek, Jacob düz çizgi metodunun verdiği eşitliklerle akifer karakteristikleri bulunur. P21 pompaj kuyusu için uygulanan metoda göre iletkenlik değeri $T = 0.021 \text{ m}^2/\text{sn}$, depolama katsayısı ise $S = 5.3 \cdot 10^{-4}$ çıkmaktadır.



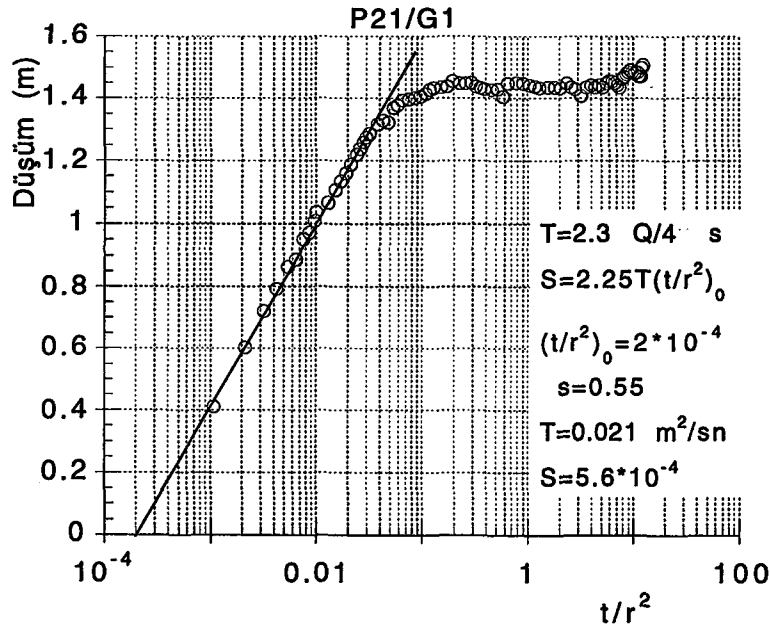
Şekil 6.29 P21 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 30. dakika için Jacob düz çizgi metodu uygulaması

6.4.1.4 P21 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

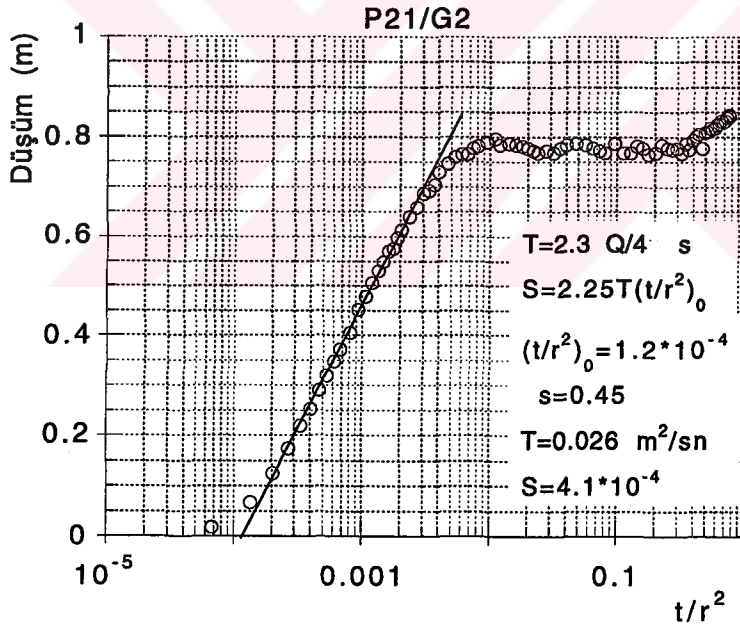
Bu metoda göre gözlem kuyularındaki düşümlerin ölçüldüğü zamanların, o gözlem kuyusunun pompaj kuyusuna uzaklığının karesine oranları logaritmik yatay eksende işaretlenir. Normal düşey ekseninde düşüm değerleri işaretlenen grafikte, daha önceki Jacob düz çizgi metodlarında olduğu gibi noktaların düz olduğu bölgede çizilen doğrunun eğimi ve yatay eksende kestiği $(t/r^2)_0$ değeri belirlendiğinde akifer karakteristikleri elde edilir.

Metodun G1 gözlem kuyusuna uygulanmasıyla Şekil 6.30' da verilen grafikte akiferin iletkenlik değeri $T = 0.021 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 5.6 \cdot 10^{-4}$ çıkmaktadır.

G2 gözlem kuyusu verileri için metoda göre yapılan işlemler neticesinde ise iletkenlik değeri $T = 0.026 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı değeri $S = 4.1 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur (Şekil 6.31).

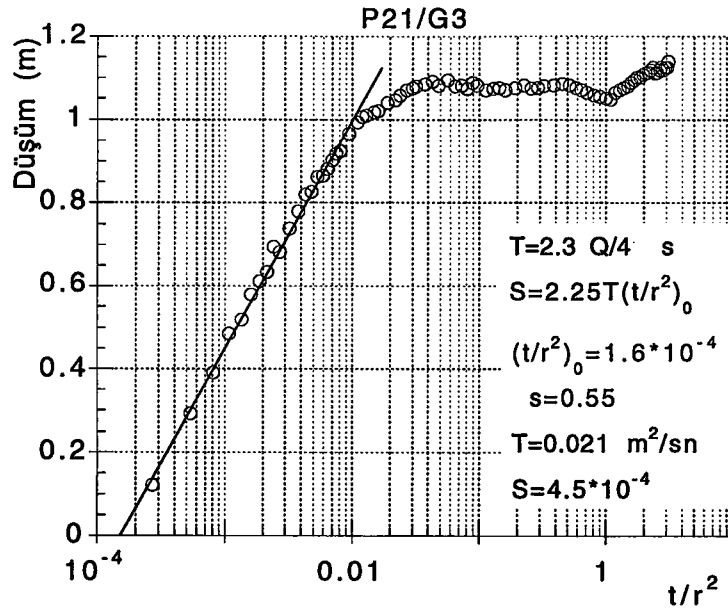


Şekil 6.30 P21 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu



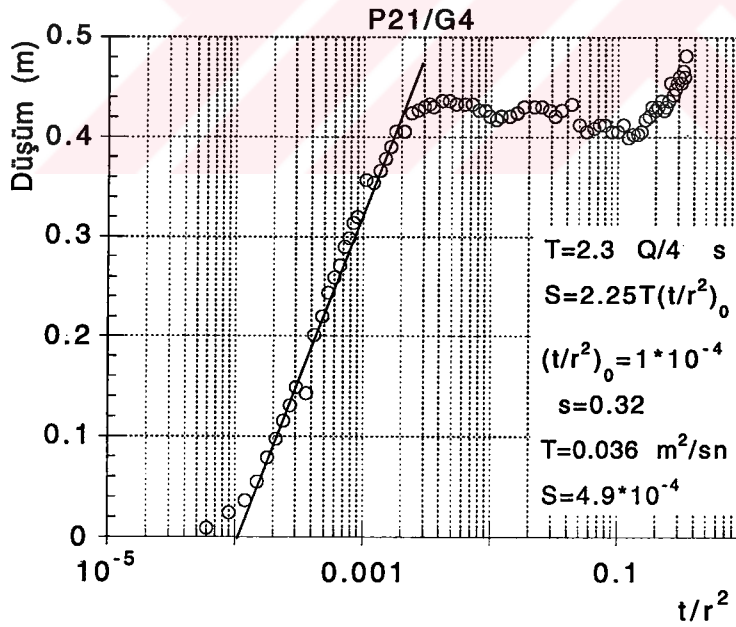
Şekil 6.31 P21 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

G3 gözlem kuyusunda yapılan Şekil 6.32' deki uygulamada bulunan iletkenlik değeri $T = 0.021 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 4.5 \cdot 10^{-4}$ çıkmaktadır.



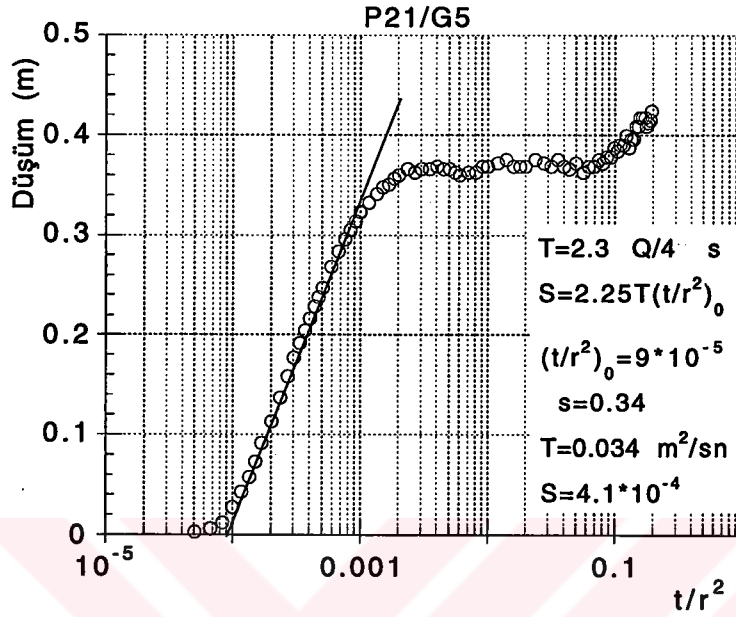
Şekil 6.32 P21 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

G4 gözlem kuyusunda uygulanan metoda göre iletkenlik değeri $T = 0.036 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 4.9 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur.

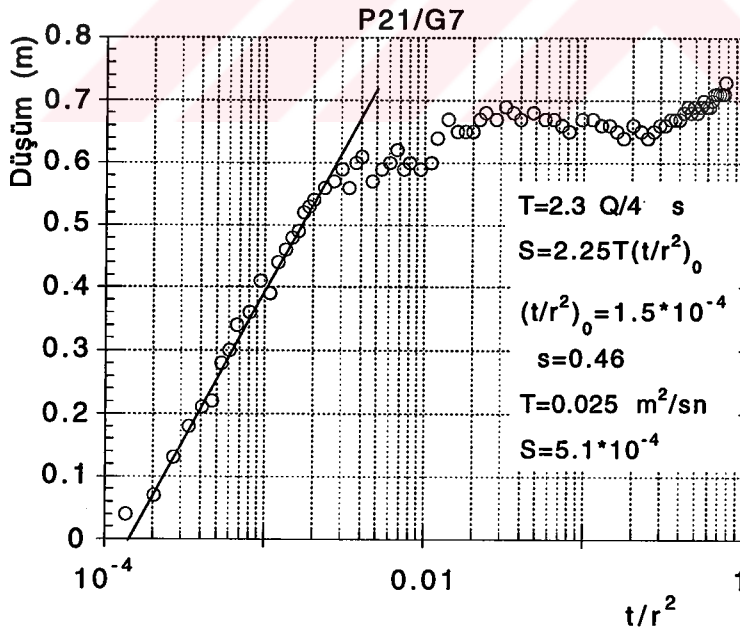


Şekil 6.33 P21 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

Aşağıdaki Şekil 6.34' de verilen G5 gözlem kuyusu için, t/r^2 ile düşümler arasında çizilen grafikten, iletkenlik $T = 0.034 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 4.1 \cdot 10^{-4}$ değerleri elde edilmiştir.



Şekil 6.34 P21 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu



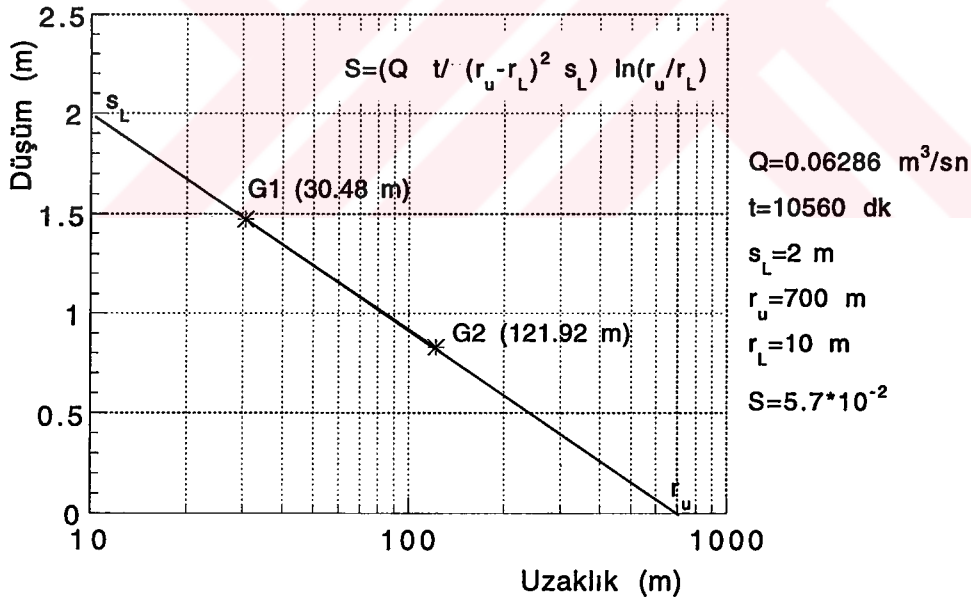
Şekil 6.35 P21 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

Yukarıdaki Şekil 6.35' de grafiği çizilen G7 gözlem kuyusunda ise metodun uygulanmasıyla iletkenlik $T = 0.025 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 5.1 \cdot 10^{-4}$ bulunmaktadır.

6.4.1.5 P21 kuyusunda Şen grafik metoduyla depolama katsayısının bulunması

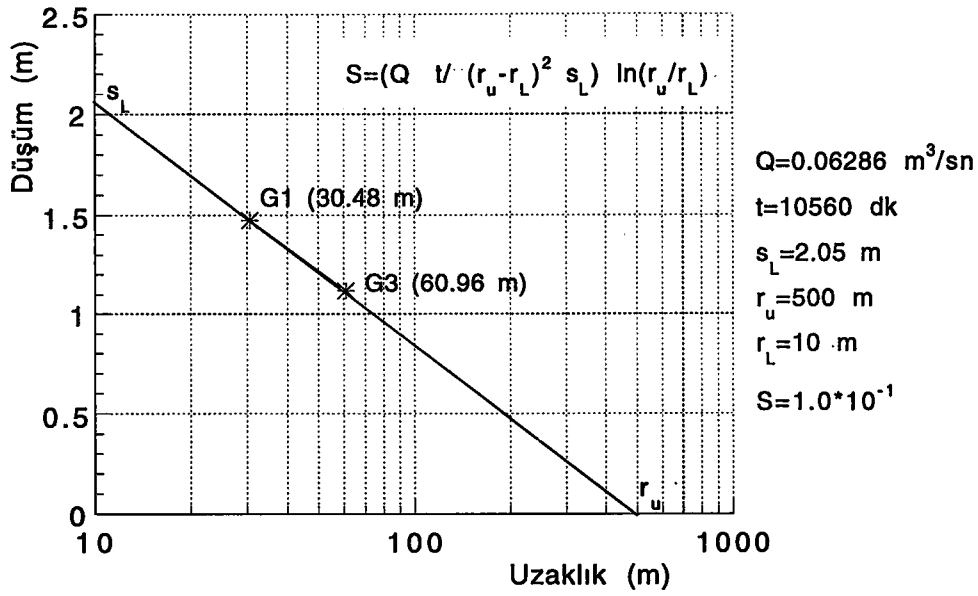
Şen grafik metoduyla gözlem kuyuları ikişer ikişer ele alınarak grafikleri çizilmiş ve akifere ait depolama katsayısı, iletkenlik değerinden bağımsız olarak bulunmuştur. Kuyuların eşleştirmeleri G1 gözlem kuyusu esas alınarak yapılmıştır.

İlk olarak G1 ve G2 kuyularının 10560. dakikadaki düşümleri dikkate alınarak, yarı logaritmik olarak düşüm-uzaklık grafiği çizilmiştir. İşaretlenen noktaların birleştirilmesiyle oluşan doğrunun, yatay ve düşey ekseninde kesiştiği r_u ve s_L değerleri okunarak, eşitlikte yerine konduğunda depolama katsayısı $S = 5.7 \cdot 10^{-2}$ çıkmaktadır. Şekil 6.36' da G1 ve G2 kuyusunda uygulanan metodun grafiği verilmiştir.



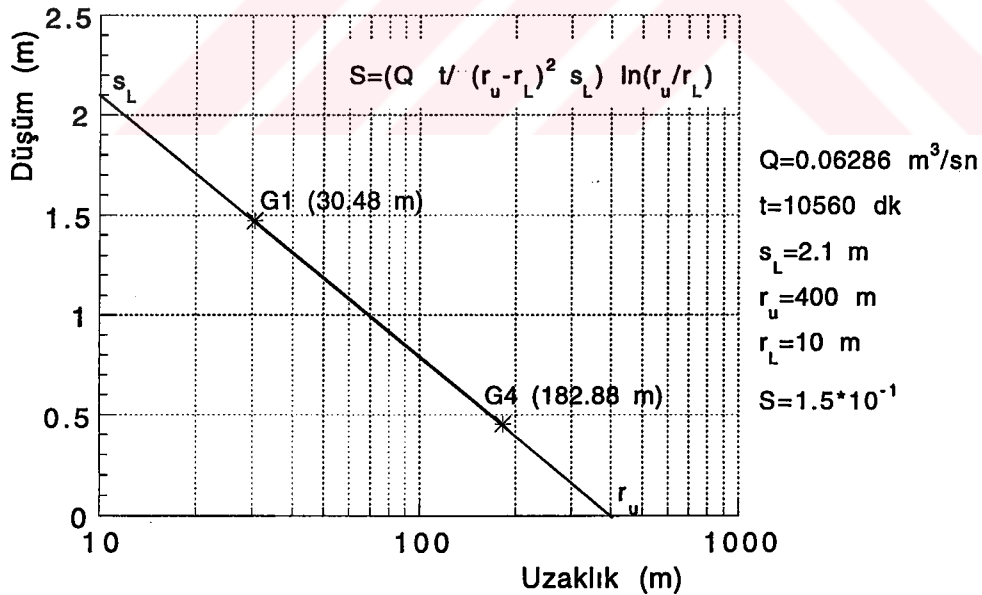
Şekil 6.36 P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G2 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

Metodun ikinci uygulamasında G1 gözlem kuyusu ile G3 gözlem kuyusu arasında Şekil 6.37' de verilen grafikte gösterildiği gibi depolama katsayısı $S = 1.0 \cdot 10^{-1}$ bulunmuştur.



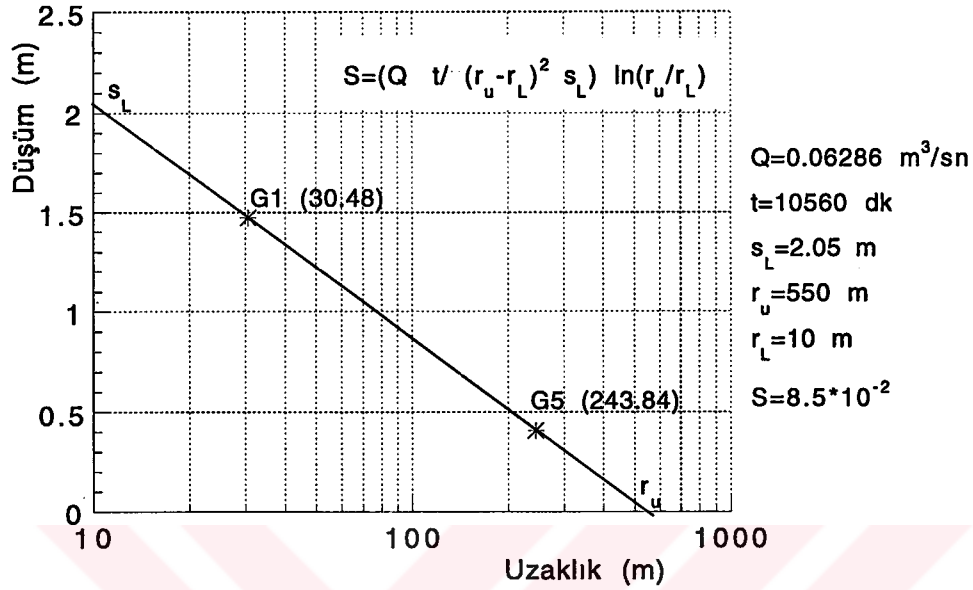
Şekil 6.37 P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G3 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

Şekil 6.38' de verilen grafikte ise G1 gözlem kuyusu ile G4 gözlem kuyusu arasında uygulanan metod neticesinde depolama katsayısı denkleminde $S = 1.5 \cdot 10^{-1}$ değeri elde edilmiştir.



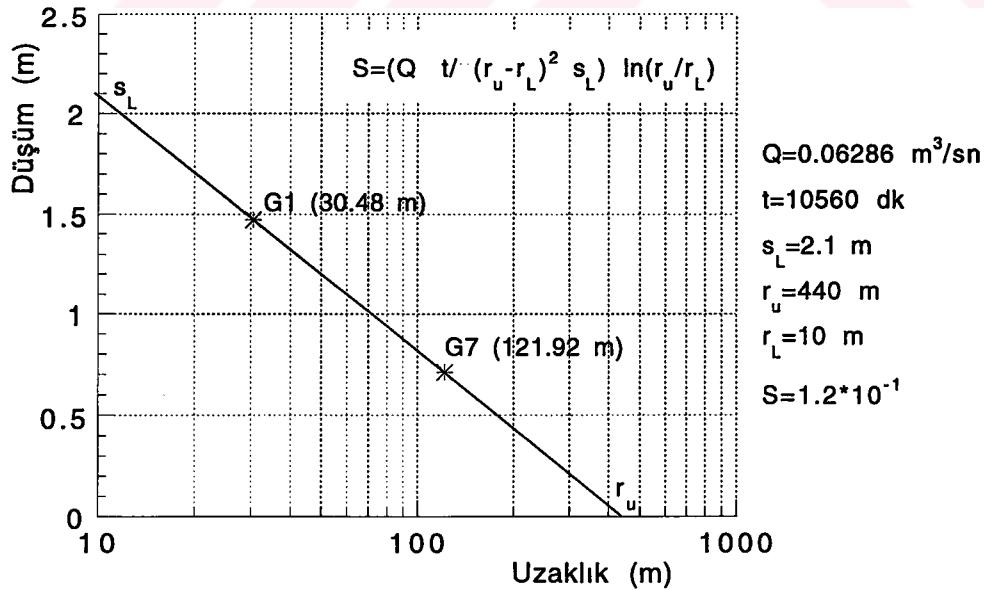
Şekil 6.38 P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G4 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

Metodun G1 ve G5 gözlem kuyuları arasında uygulanmasıyla da depolama katsayısı $S = 8.5 \cdot 10^{-2}$ çıkmaktadır. G1 ile G5 arasında çizilen grafik Şekil 6.39' da gösterilmiştir.



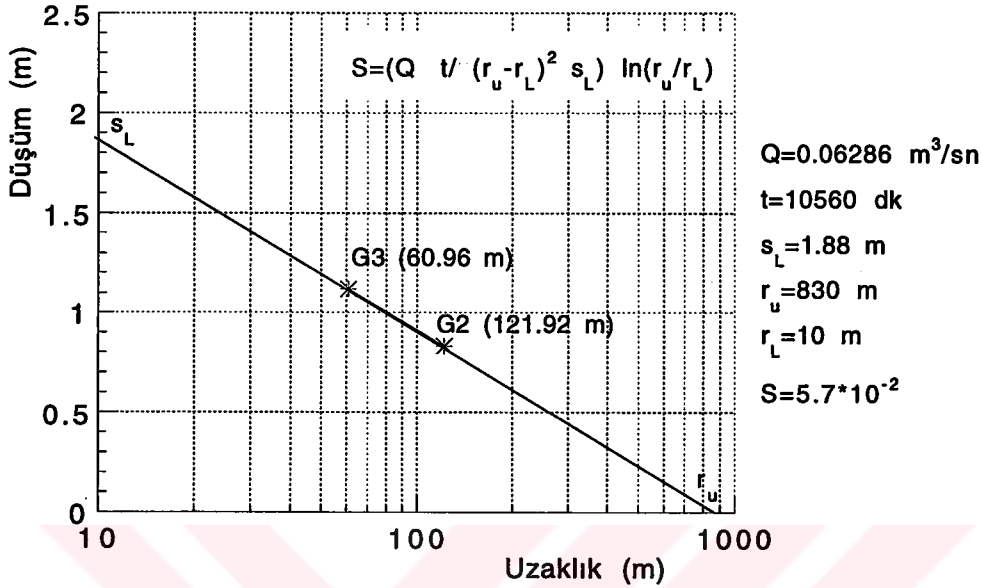
Şekil 6.39 P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G5 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

Şekil 6.40' da verilen grafikte ise G1 gözlem kuyusu ile G7 gözlem kuyusu arasında metodun uygulanması gösterilmektedir. Burada bulunan depolama katsayısı değeri $S = 1.2 \cdot 10^{-1}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6.40 P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G7 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

Yukarıdaki eşleştirmelerin haricinde, bir de G2 gözlem kuyusu ile G3 gözlem kuyusunun grafiği çizilerek Şekil 6.41' de verilmiştir. Burada da depolama katsayısı $S = 4.4 \cdot 10^{-2}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.41 P21 kuyusunun bulunduğu akiferde G2 ve G3 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

Bu metodun uygulanmasında daha fazla kombinasyonlar oluşturularak neticeler elde edilebilir. Diğer zamanlardaki düşümler de dikkate alındığında pek çok sonuç elde edilebilir. Ancak metodun özelliğinden dolayı pompa testi verilerinde düşümlerin dengelendiği veya dengelenmeye başladığı anlarda uygulamanın yapılması gerekmektedir.

6.4.1.6 P21 kuyusunda Şen analitik metoduyla depolama katsayısının bulunması

Şen analitik metodunda iletkenlik değerinin bilinmesi durumunda depolama katsayısının bulunabileceği daha önce belirtilmiştir. Buna göre başka bir metodla bulunan iletkenlik değeri bu metodda kullanılarak depolama katsayısı bulunabilir. Şen analitik metodunda işlem yapabilmek için iletkenlik değeri olarak, Theis metodu ve tezde sunulan geliştirilen analitik metod ile bulunan T değerleri kullanılacaktır.

Öncelikle, Theis metodunda P21 pompaj kuyusunda her bir gözlem kuyusu için yapılan işlemler neticesinde bulunan, iletkenlik değerleri kullanılarak hesaplar

yapılmıştır. Daha sonra aynı işlemler tezde sunulan metodun verdiği iletkenlik değerleri ile tekrar edilerek depolama katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçların bütün test süresince ve son zamanlardaki ortalamaları aşağıdaki Çizelge 6.12' de toplu halde verilmiştir.

Çizelge 6.12 P21 kuyusu ile birlikte çalışan gözlem kuyularının bulunduğu akiferde farklı iletkenlik değerleri ile Şen analitik metoduna göre depolama katsayısı sonuçları

Kuyu No	İletkenlik T_{Th}	Tüm Zamanlarda Depolama Katsayısı	Son Zamanlarda Depolama Katsayısı	İletkenlik T_{Tez}	Tüm Zamanlarda Depolama Katsayısı	Son Zamanlarda Depolama Katsayısı
	(m^2/sn)	S_{Sen}	S_{Sen}	(m^2/sn)	S_{Sen}	S_{Sen}
P21	0.020	$\sim 10^{-12}$	$\sim 10^{-12}$	0.047	$\sim 10^{-37}$	$\sim 10^{-37}$
G1	0.018	0.075	0.001	0.030	0.0056	0.0030
G2	0.019	0.180	0.013	0.041	0.075	0.0080
G3	0.020	0.110	0.005	0.031	0.060	0.0082
G4	0.022	0.250	0.032	0.071	0.094	0.011
G5	0.020	0.310	0.120	0.066	0.107	0.031
G7	0.020	0.180	0.004	0.042	0.086	0.013
Akifer ortalaması	0.020	0.184	0.029	0.047	0.071	0.012

Yukarıdaki Çizelge 6.12' de pompaj kuyuları için verilen neticelerinin gözlem kuyularındaki değerlerle çok farklı ve uygun olmadığı görülmektedir. Bunun sebebi, arazide pompa testi çalışmaları yapılırken kuyuda meydana gelen kayıpların ne kadar olduğunun bilinmemesidir. Ayrıca, çekime başlanırken öncelikle kuyunun içinde biriken suyun alınmaya başlanması ve akiferden kuyuya gelen suların bir miktar gecikmiş olması bu sonuçları etkileyen faktörlerdendir. Bu yüzden Şen analitik metodu ile pompaj kuyusundan elde edilen depolama katsayısı değeri dikkate alınmamalıdır.

Gözlem kuyularında çekim söz konusu olmadığından buralardaki verilerde kuyu kayıplarının etkisi yoktur. Bölüm 6.2' de nümerik olarak verilen sonsuz akifer örneğinde olduğu gibi, analitik metodlarla akifer karakteristiklerinin bulunması sadece pompaj kuyusundaki verilerle değil, gözlem kuyularından elde edilen düşüm değerleri kullanılarak da mümkün olmaktadır. Gözlem kuyularında Theis metoduna göre bulunan iletkenlik değerleri kullanılarak son zamanlar için akiferin ortalama

iletkenlik değeri $2.9 \cdot 10^{-2}$ olmaktadır. Tezde önerilen metodla bulunan iletkenlik değerlerinin kullanılması ile son zamanlar için akiferin ortalama depolama katsayısı $1.2 \cdot 10^{-2}$ olarak elde edilmiştir. Tüm zamanların depolama katsayısı ortalamaları daha büyük çıkmaktadır. Şen analitik metodunda, depolama katsayısının son zamanlara göre bulunması gerektiği belirtildiği için, tüm zamanlarda elde edilen değerler dikkate alınmamalıdır.

6.4.1.7 P21 kuyusunda geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması

Geliştirilen analitik metodla verilen eşitliklerden, pompaj ve gözlem kuyularındaki veriler yardımıyla bulunan iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri Çizelge 6.13' de verilmiştir. Yukarıda verilen diğer analitik metod da olduğu gibi pompaj kuyusundan elde edilen neticeler, akiferlerde bulunan değerlere uygun düşmemektedir.

Çizelge 6.13 P21 pompaj ve gözlem kuyularında akifer karakteristiklerinin geliştirilen analitik metoda göre elde edilen sonuçları

Kuyu No	T (m^2/sn)	S
P21	0.120	$\sim 10^{-50}$
G1	0.030	$3.91 \cdot 10^{-4}$
G2	0.041	$3.37 \cdot 10^{-4}$
G3	0.031	$5.01 \cdot 10^{-4}$
G4	0.071	$6.51 \cdot 10^{-4}$
G5	0.066	$6.00 \cdot 10^{-4}$
G7	0.042	$6.00 \cdot 10^{-4}$
Akifer ortalaması	0.047	$5.13 \cdot 10^{-4}$

6.4.2 P29 kuyusunda akifer karakteristiklerinin bulunması

P29 kuyusu ile birlikte düşümleri ölçülen altı adet gözlem kuyusunun bulunduğu akiferde, çeşitli metodlar uygulanarak akifer karakteristikleri bulunmuştur. Uygulanan metodlar ve neticeleri aşağıda verilecektir.

6.4.2.1 P29 kuyusunda theis metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

P29 kuyusunun gözlem kuyularında Theis metodu uygulanarak akifer karakteristikleri bulunmuş, bunlara ait grafik ve sonuçlar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

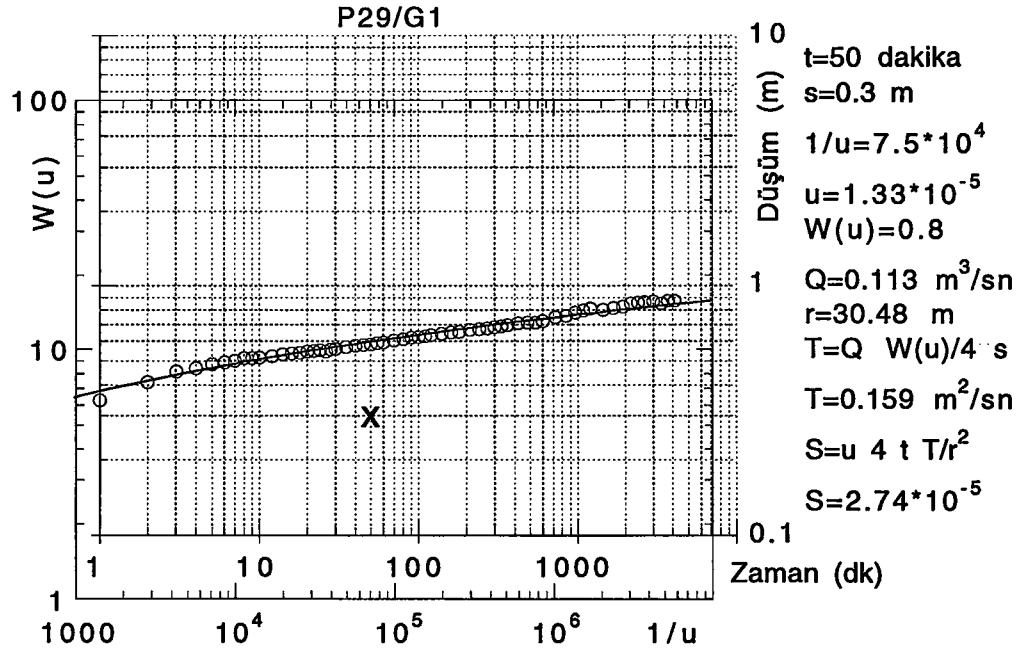
Şekil 6.42' de uygulaması verilen, G1 gözlem kuyusunda, elde edilen düşüm-zaman grafiği ile Theis tip eğrisinin karşılaştırılması ve işaretlenen bir noktanın koordinatlarının tesbit edilmesiyle, iletkenlik değeri $T = 0.159 \text{ m}^2/\text{sn}$, depolama katsayısı $S = 2.74 \cdot 10^{-5}$ bulunmuştur.

G2 gözlem kuyusunda uygulanan metod ile iletkenlik değeri $T = 0.181 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 3.48 \cdot 10^{-3}$ çıkmaktadır (Şekil 6.43).

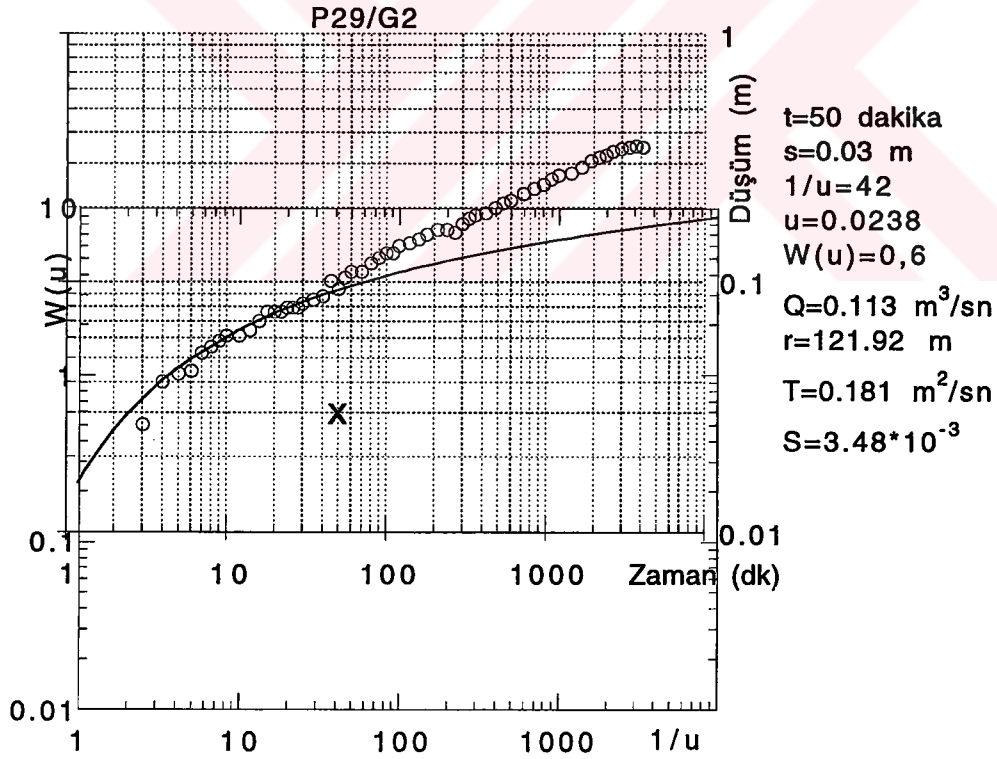
Şekil 6.44' de ise Theis tip eğrisi, G4 gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman grafiği ile karşılaştırılmıştır. Burada bulunan iletkenlik değeri $T = 0.421 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 2.86 \cdot 10^{-2}$ olmaktadır.

Metoda göre G5 gözlem kuyusunda, iletkenlik değerinin $T = 0.216 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısının $S = 3.10 \cdot 10^{-4}$ olarak bulunması Şekil 6.45' deki grafik uygulamada gösterilmiştir.

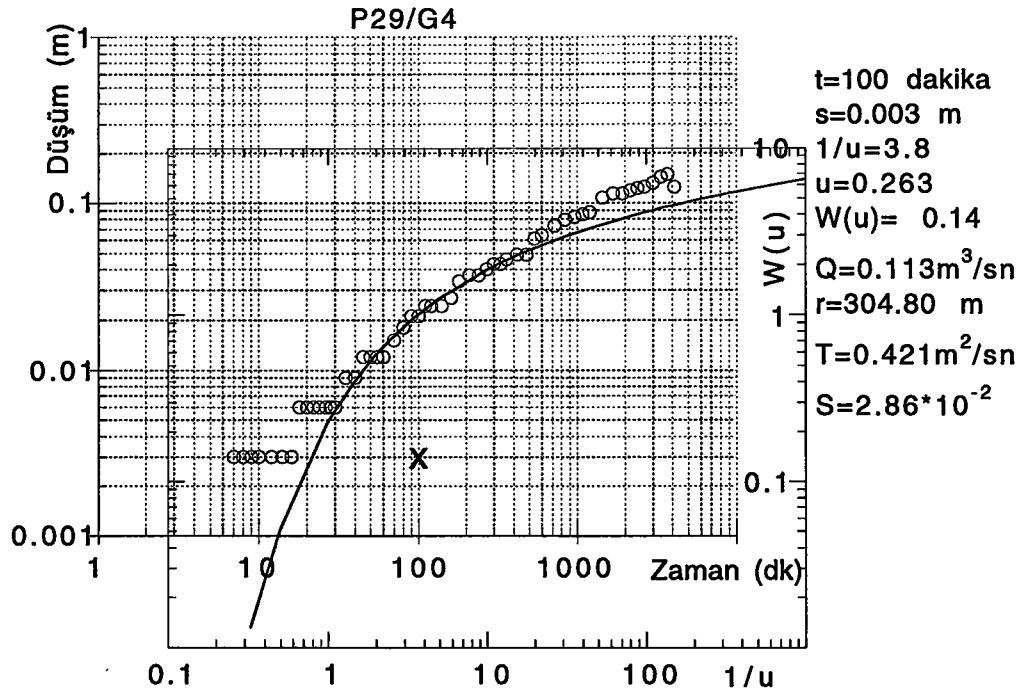
G6 ve G7 gözlem kuyularından elde edilen düşüm-zaman grafikleri Theis tip eğrisi ile sırasıyla Şekil 6.46 ve Şekil 6.47' de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. Bu grafiklerden bulunan parametreler Theis formüllerinde yerine konarak G6 gözlem kuyusunda iletkenlik değeri $T = 0.270 \text{ m}^2/\text{sn}$, depolama değeri ise $S = 1.46 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur. Yine aynı şekilde G7 gözlem kuyusunda da iletkenlik değeri $T = 0.203 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 1.64 \cdot 10^{-1}$ olarak bulunmuştur.



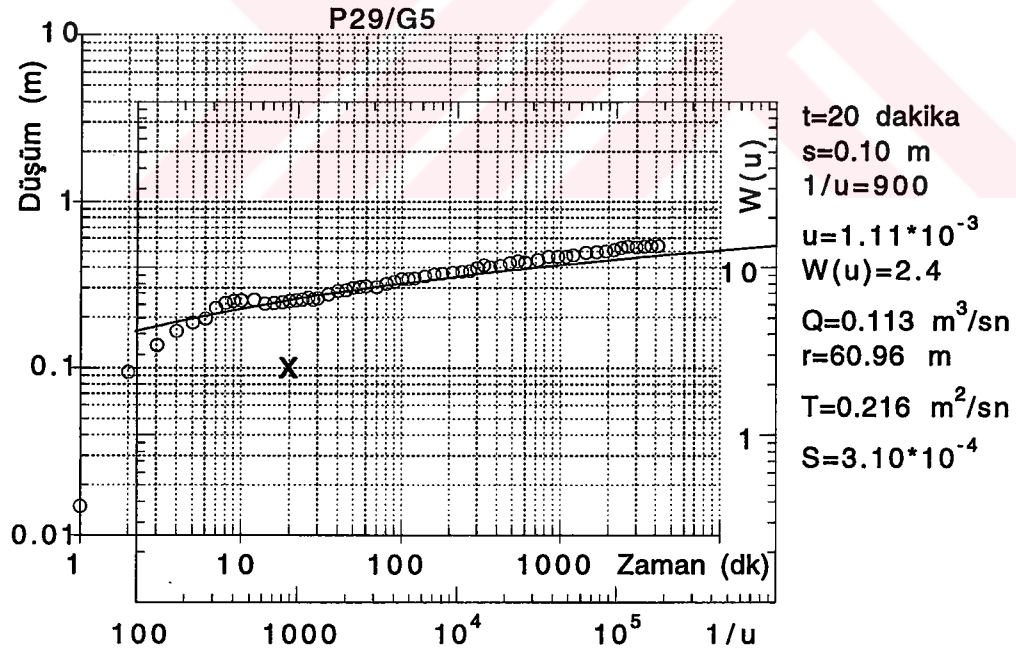
Şekil 6.42 P29 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



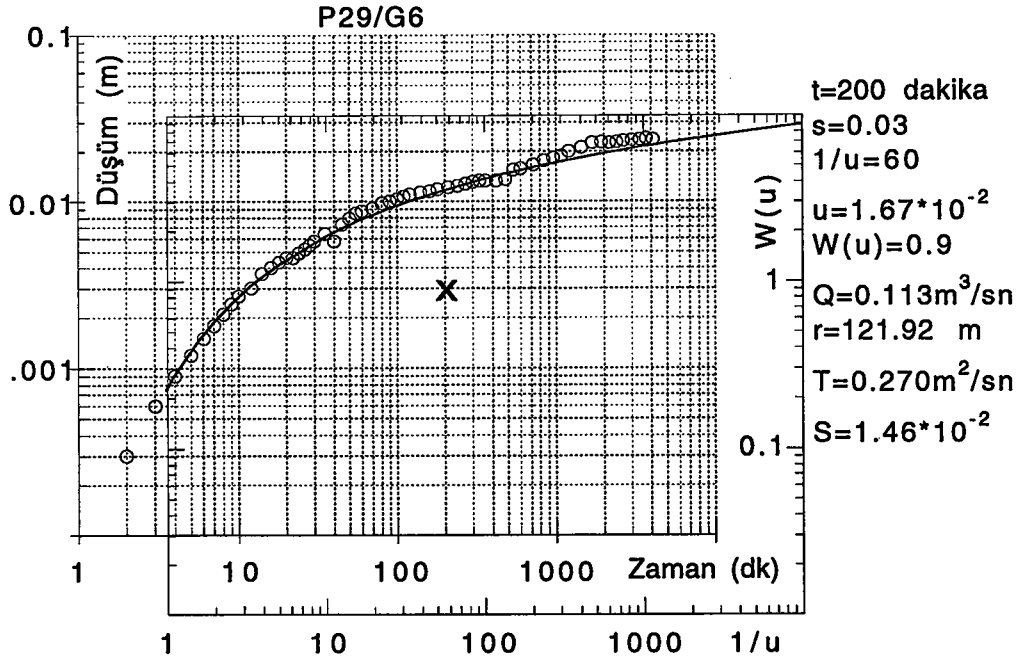
Şekil 6.43 P29 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



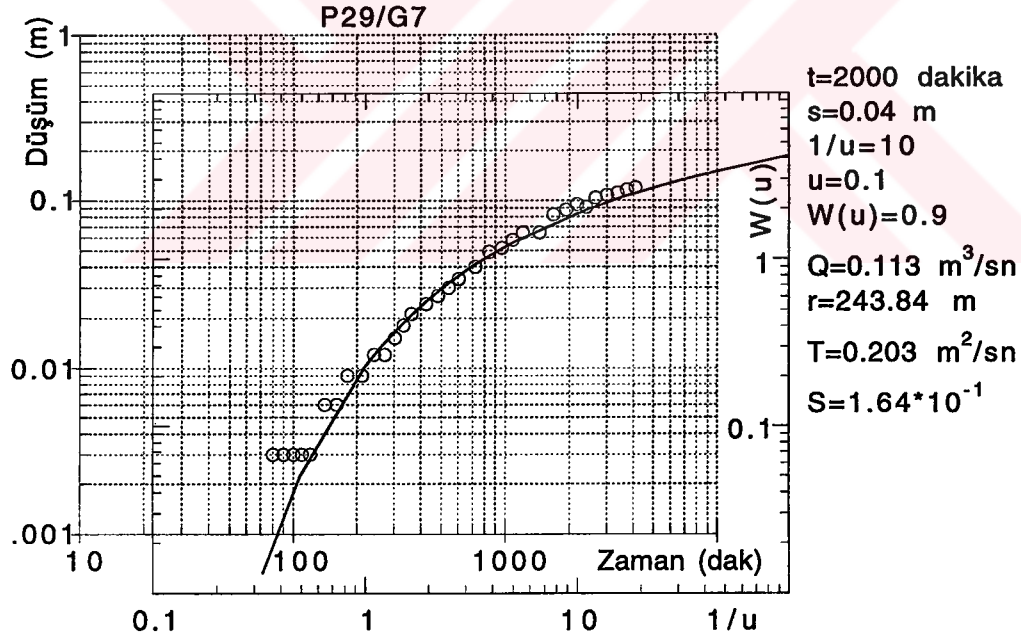
Şekil 6.44 P29 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



Şekil 6.45 P29 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



Şekil 6.46 P29 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



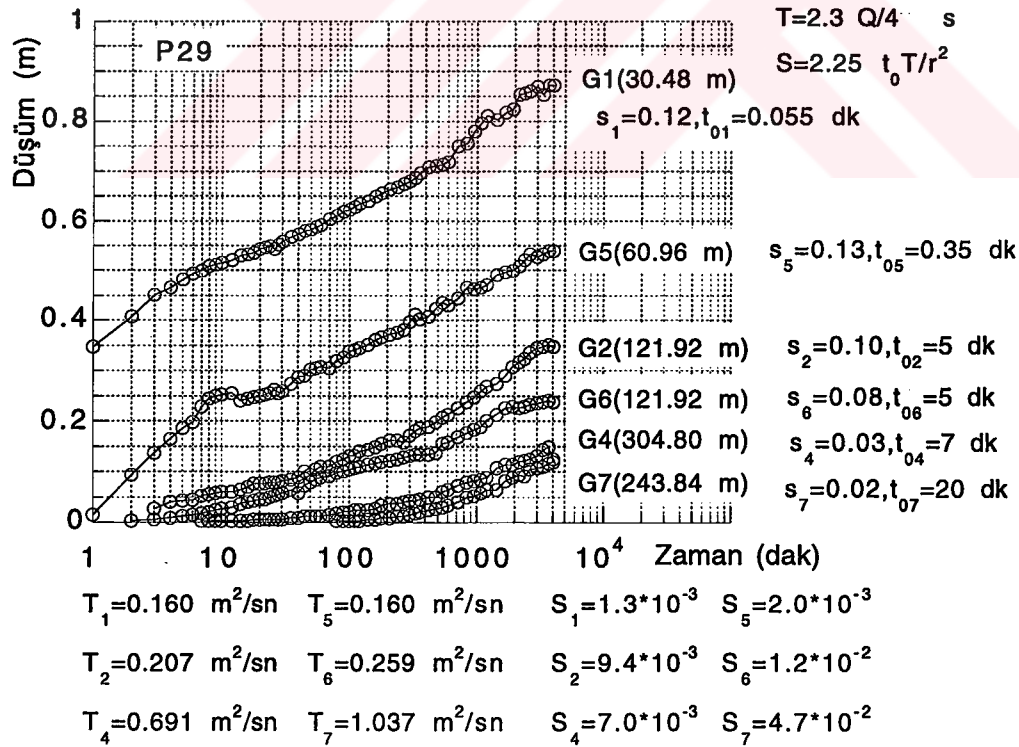
Şekil 6.47 P29 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

6.4.2.2 P29 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

P29 kuyusunun gözlem kuyularındaki düşümlerden hareketle akifer karakteristiklerini bulabilmek için, Jacob düz çizgi metodunun düşüm-zaman haline ait grafik Şekil 6.48' de verilmiştir.

Grafikte 6 gözlem kuyusuna ait düşüm-zaman eğrileri yarı logaritmik olarak çizilmiştir. Eğrilerin başlangıçta doğrusal hareket eden kısımlarının yatay eksen kestiği t_0 zamanı ile bu doğru kısımların eğimleri (s) belirlenerek metodun vermiş olduğu denklemlerle akifer karakteristikleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar neticesinde akifere ait iletkenlik değerlerinin, $0.160 \text{ m}^2/\text{sn}$ ile $1.037 \text{ m}^2/\text{sn}$ arasında değerler aldığı görülmüştür. Grafikte G4 ve G7 gözlem kuyularının düşüm değerleri yataya yakın bir seyir izlediğinden buralarda s değerinin belirlenmesi zorlaşmaktadır. Dolayısı ile bu kuyulardan elde edilen değerler, diğerleriyle farklılık göstermektedir.

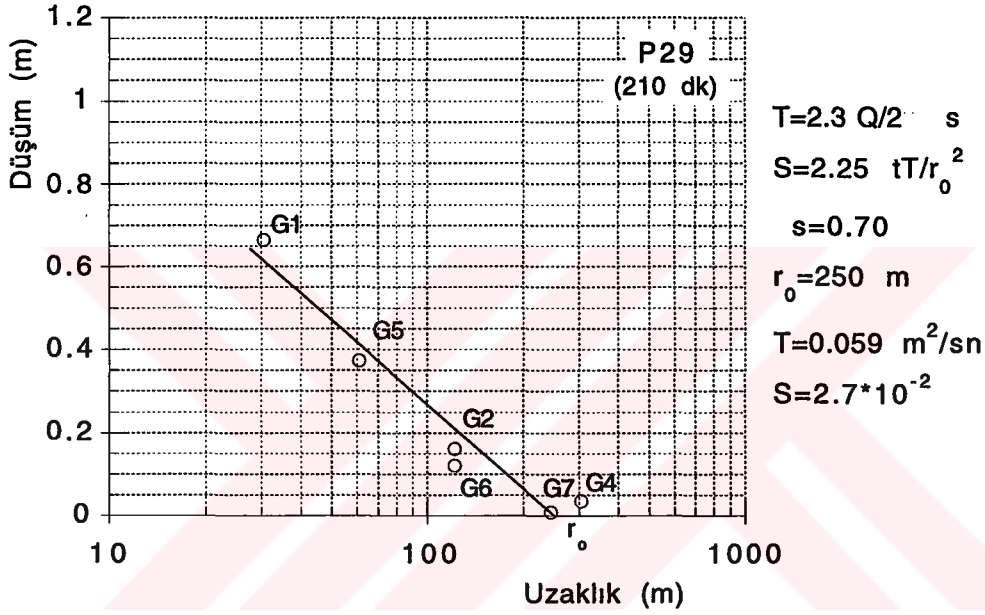
Depolama katsayısı için yapılan hesaplar neticesinde değerlerin $1.3 \cdot 10^{-3}$ ile $4.7 \cdot 10^{-2}$ arasında değiştiği, ancak sonuçların birbirinden çok farklı çıkmadığı tesbit edilmiştir.



Şekil 6.48 P29 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyuları için Jacob düz çizgi metodu uygulaması

6.4.2.3 P29 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-uzaklık) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

Belli bir andaki düşümler ile merkeze uzaklıklar arasında uygulanan Jacob düz çizgi metodu ile P29 kuyusunun bulunduğu akifer için karakteristiklerin bulunması Şekil 6.49' da verilmiştir. Buradaki uygulama pompaj süresinin 210. dakikasında gözlem kuyularında meydana gelen düşüm değerleri için yapılmıştır. Grafikten bulunan r_0 ve s değerleri verilen formüllerde yerine konduğunda iletkenlik değeri $T = 0.059 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 2.7 \cdot 10^{-2}$ olarak elde edilmiştir.



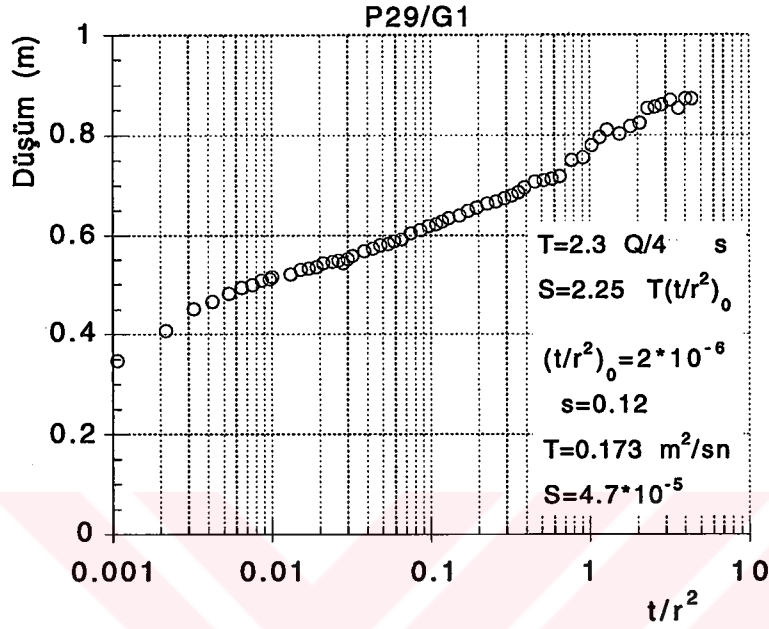
Şekil 6.49 P29 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 210. dakika için Jacob düz çizgi metodu uygulaması

6.4.2.4 P29 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

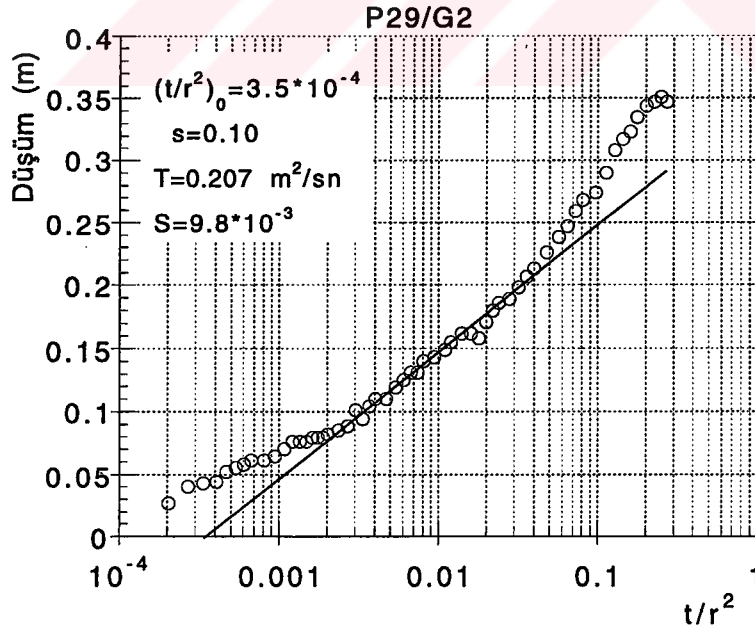
Gözlem kuyularındaki düşümler için (t/r^2) değerleri oluşturularak bu iki değer arasında çizilen yarı logaritmik grafikte Jacob düz çizgi metodu uygulanarak akifer karakteristikleri bulunmuştur.

Metodun G1 gözlem kuyusunda uygulanmasıyla iletkenlik değeri $T = 0.173 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve $S = 4.7 \cdot 10^{-5}$ olarak bulunmuştur (Şekil 6.50). Şekil 6.51' de verilen G2 gözlem kuyusundaki Jacob düz çizgi metodu uygulamasıyla da akifer karakteristikleri için $T = 0.207 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve $S = 9.8 \cdot 10^{-3}$ değerleri elde edilmiştir.

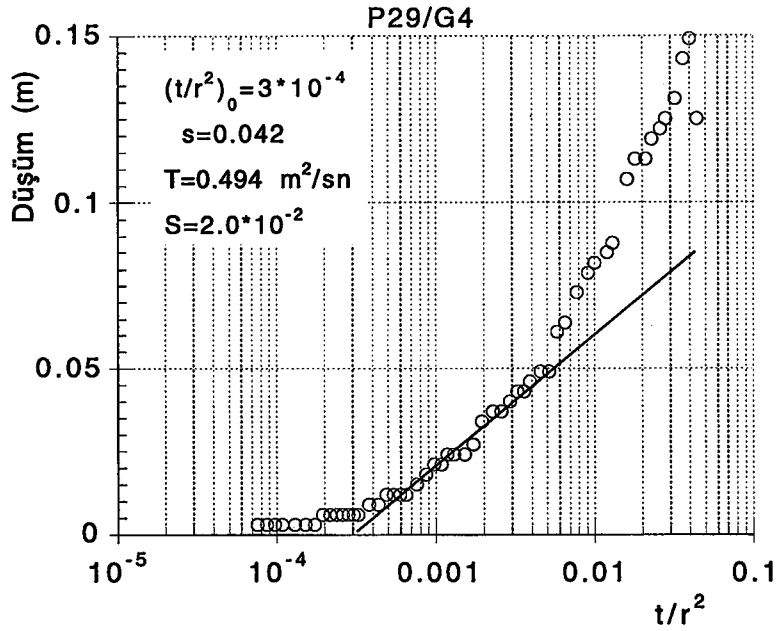
G4 ve G5 gözlem kuyuları için Şekil 6.52 ve Şekil 6.53' de verilen grafik işlemler neticesinde, iletkenlik değeri sırasıyla $T = 0.494 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve $T = 0.160 \text{ m}^2/\text{sn}$ çıkmıştır. Depolama katsayısı ise 4. kuyuda $S = 2.0 \cdot 10^{-2}$ ve 5. kuyuda $S = 1.7 \cdot 10^{-3}$ olarak bulunmuştur.



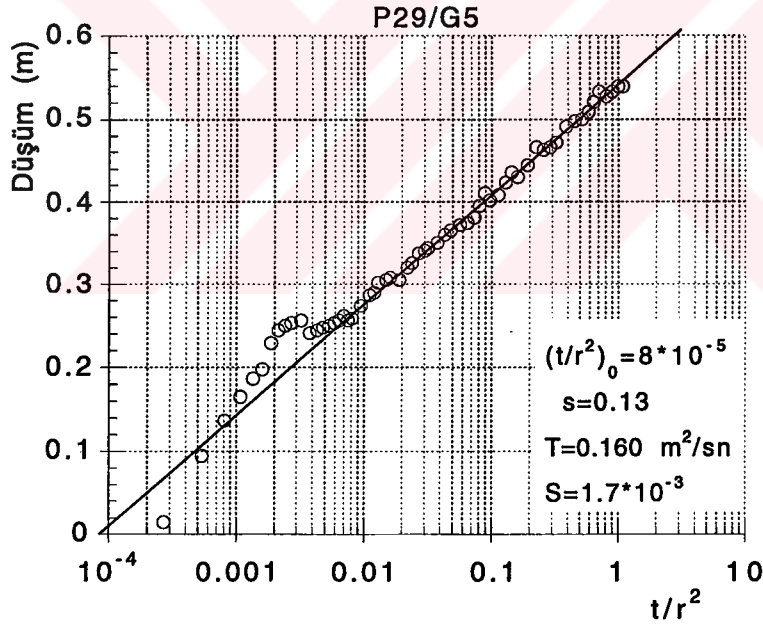
Şekil 6.50 P29 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu



Şekil 6.51 P29 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

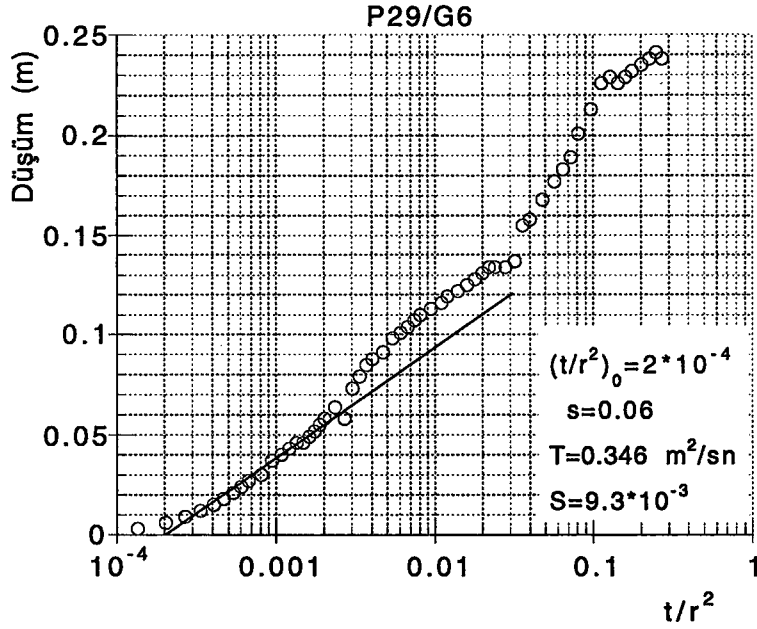


Şekil 6.52 P29 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu



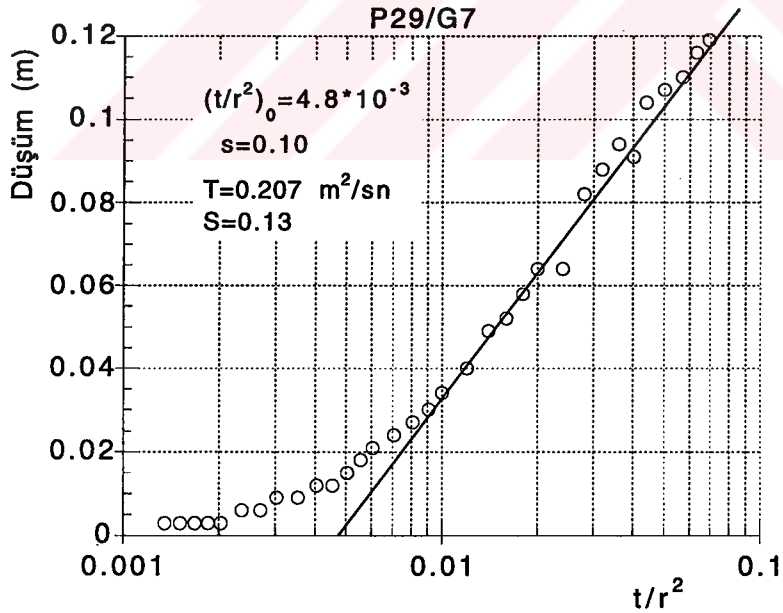
Şekil 6.53 P29 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

G6 gözlem kuyusu için verilen düşümlerle yapılan işlemler sonucunda Şekil 6.54' de görüldüğü gibi iletkenlik değeri $T = 0.346 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama değeri $S = 9.3 \cdot 10^{-3}$ çıkmaktadır.



Şekil 6.54 P29 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

Aşağıdaki Şekil 6.55' de verilen grafik uygulama ile de akifer karakteristikleri $T = 0.207 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve $S = 0.13$ olarak bulunmuştur.

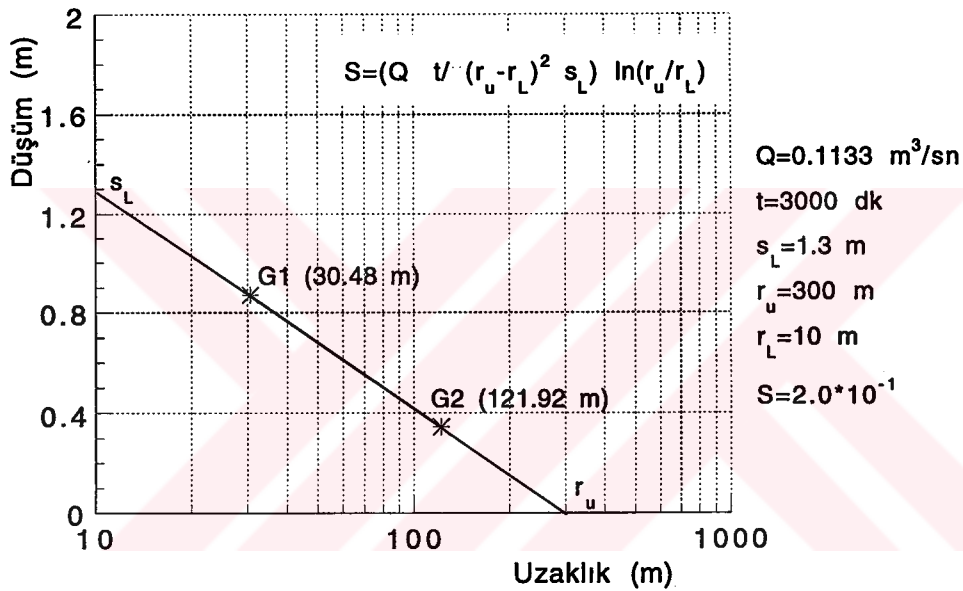


Şekil 6.55 P29 pompaj kuyusuna ait G7 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

6.4.2.5 P29 kuyusunda Şen grafik metoduyla depolama katsayısının bulunması

P29 pompaj kuyusu ile birlikte düşümleri ölçülen altı gözlem kuyusunda, Şen grafik metodu ile kuyular ikişer ikişer ele alınmış ve çizilen grafikler yardımıyla depolama katsayıları bulunmuştur.

Şekil 6.56' da grafiği verilen G1 ve G2 gözlem kuyuları arasında 3000. dakikadaki düşüm değerlerine uygulanan metod ile depolama katsayısı $S = 2.0 \cdot 10^{-1}$ çıkmaktadır.

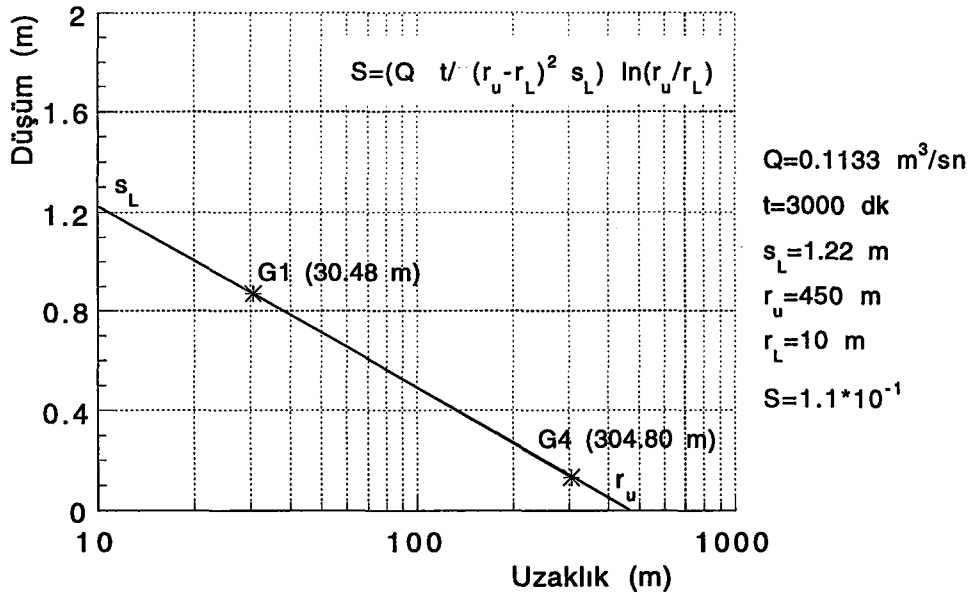


Şekil 6.56 P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G2 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

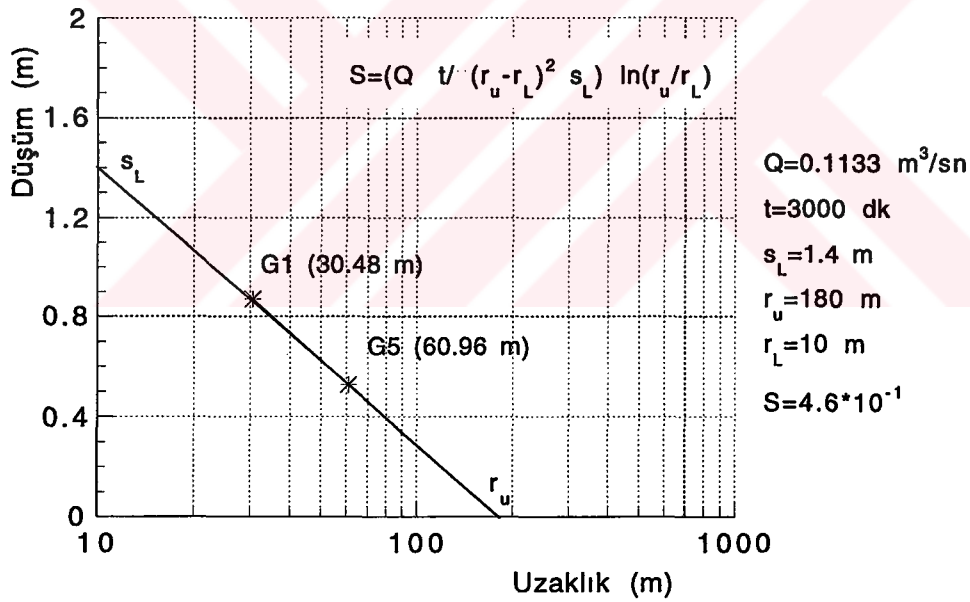
G1 ve G4 gözlem kuyuları arasında Şen grafik metoduna göre Şekil 6.57' de verilen uygulamada depolama katsayısı $S = 1.1 \cdot 10^{-1}$ bulunmaktadır.

Şekil 6.58' deki G1 ve G5 gözlem kuyularında metodun uygulamasına göre de depolama katsayısı $S = 4.6 \cdot 10^{-1}$ çıkmaktadır.

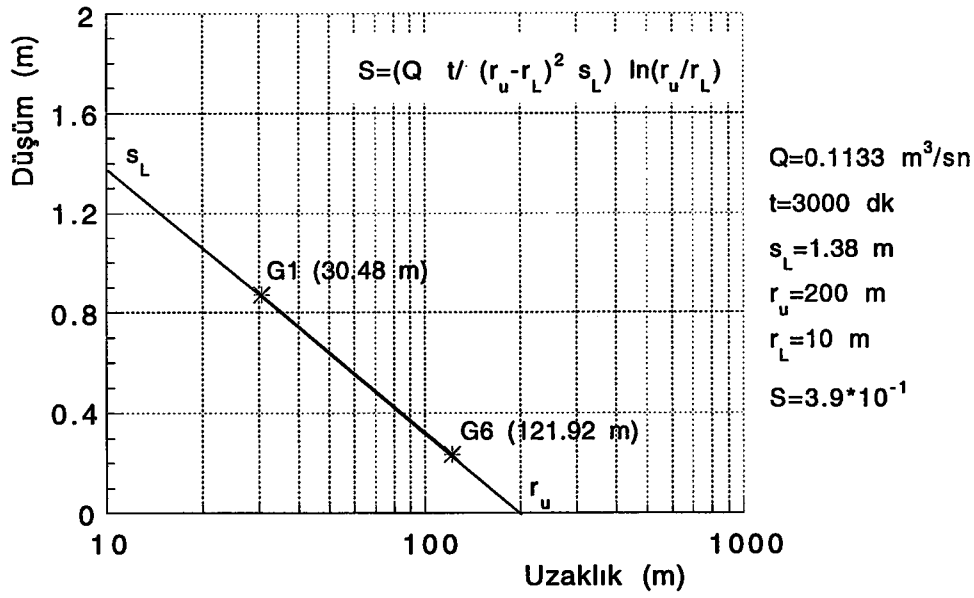
G1 ve G6 gözlem kuyuları arasında Şekil 6.59' daki uygulamayla, depolama katsayısı için $S = 3.9 \cdot 10^{-1}$ değeri elde edilmektedir. Aynı yöntemle G1 ve G7 gözlem kuyuları arasında yapılan uygulama neticesinde ise depolama katsayısı $S = 1.8 \cdot 10^{-1}$ çıkmaktadır (Şekil 6.60).



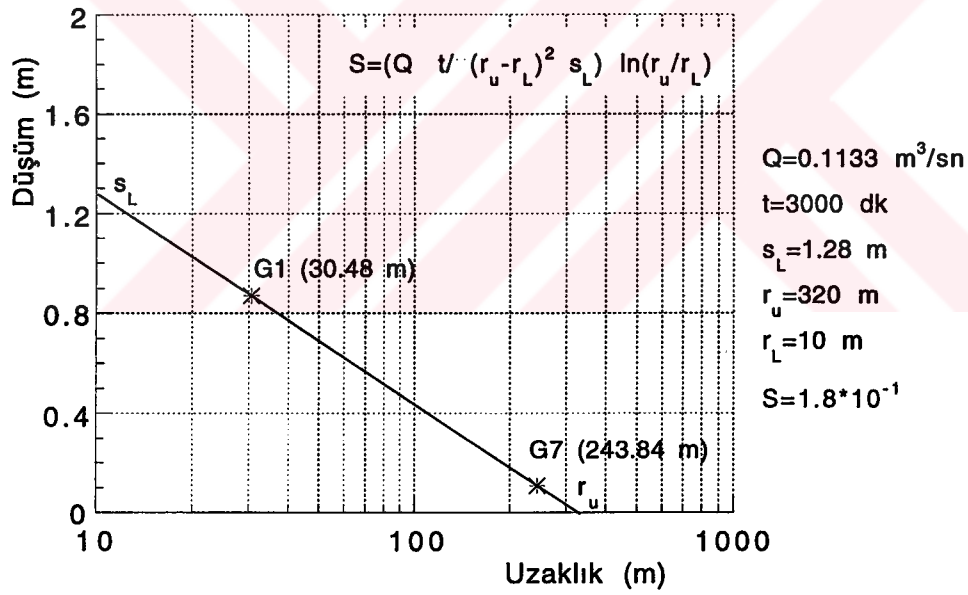
Şekil 6.57 P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G4 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



Şekil 6.58 P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G5 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



Şekil 6.59 P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G6 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



Şekil 6.60 P29 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G7 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

6.4.2.6 P29 kuyusunda Şen analitik metoduyla depolama katsayısının bulunması

P29 pompaj kuyusu ile birlikte çalışan altı gözlem kuyusundaki verilerden yararlanarak Şen analitik metoduna göre bulunan depolama katsayısı değerleri aşağıdaki Çizelge 6.14' de verilmiştir.

Çizelge 6.14 P29 kuyusu ile birlikte çalışan gözlem kuyularının bulunduğu akiferde farklı iletkenlik değerleri ile Şen analitik metoduna göre depolama katsayıları

Kuyu No	İletkenlik T_{Th} (m^2/sn)	Tüm Zamanlarda Depolama Katsayısı S_s	Son Zamanlarda Depolama Katsayısı S_s	İletkenlik T_{Tez} (m^2/sn)	Tüm Zamanlarda Depolama Katsayısı S_s	Son Zamanlarda Depolama Katsayısı S_s
P29	0.242	$\sim 10^{-40}$	$\sim 10^{-40}$	0.268	$\sim 10^{-45}$	$\sim 10^{-45}$
G1	0.159	0.0013	0.00003	0.153	0.0020	0.00004
G2	0.181	0.139	0.0019	0.274	0.090	0.0005
G4	0.421	0.204	0.0051	0.390	0.211	0.0073
G5	0.216	0.041	0.0001	0.136	0.047	0.0056
G6	0.270	0.158	0.0039	0.380	0.064	0.0005
G7	0.203	0.075	0.0045	0.273	0.068	0.0049
Akifer ortalaması	0.242	0.103	0.0026	0.268	0.080	0.0031

Gözlem kuyularında, iki farklı iletkenlik değeri kullanılarak hesaplanan depolama katsayıları çok farklı çıkmamıştır. Theis metodu ile bulunan iletkenlik değerleri kullanıldığında depolamanın son zamanlar için ortalama olarak $2.6 \cdot 10^{-3}$ olduğu belirlenmiştir. Tezde önerilen metod ile bulunan iletkenlik değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde ise ortalama depolama katsayısı son zamanlar için $3.1 \cdot 10^{-3}$ olarak bulunmuştur. Bütün zamanların ortalama depolama katsayılarına bakıldığında bu değerlerin yüksek çıktığı görülmektedir. Burada metodun özelliğinden dolayı son zamanlarda bulunan depolama değerleri dikkate alınmalıdır.

İki metoda göre gözlem kuyuları için elde edilen iletkenlik değerlerinin ortalaması alınarak pompaj kuyusunda da Şen analitik metodu ile depolama katsayısı hesaplanmaya çalışılmıştır. Ancak pompaj kuyusu için bulunan depolama katsayısı

uygun bir değer çıkmamıştır. Bu durumda pompaj kuyusunda bulunan değerlerin dikkate alınmaması gerekir.

6.4.2.7 P29 kuyusunda geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması

P29 pompaj ve gözlem kuyularındaki verilerin kullanılmasıyla, geliştirilen analitik metodla bulunan iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri izelge 6.15' de verilmiştir.

Çizelge 6.15' de bulunan iletkenlik değerleri $0.153 \text{ m}^2/\text{sn}$ ile $0.390 \text{ m}^2/\text{sn}$ arasında değişmektedir. Ortalama olarak bu değer $T = 0.268 \text{ m}^2/\text{sn}$ çıkmaktadır. Depolama katsayıları da $1.1 \cdot 10^{-1}$ ile $6.0 \cdot 10^{-5}$ değerleri arasında değişiklik göstermiştir. Akifer ortalaması olarak depolama katsayısı $S = 2.4 \cdot 10^{-2}$ olmaktadır. Pompaj kuyusunda iletkenliğin gözlem kuyularına nazaran farklı çıkmadığı, buna karşılık depolamanın ařırđ derecede küçük olduğu görülmektedir. Bu yüzden pompaj kuyusunda bulunan akifer karakteristikleri ortalamaya katılmamıştır.

Çizelge 6.15 P29 pompaj ve gözlem kuyularında akifer karakteristiklerinin geliştirilen analitik metoda göre elde edilen sonuçları

Kuyu No	T (m^2/sn)	S
P29	0.215	$\sim 10^{-32}$
G1	0.153	$6.0 \cdot 10^{-5}$
G2	0.274	$3.2 \cdot 10^{-3}$
G4	0.390	$2.0 \cdot 10^{-2}$
G5	0.136	$2.4 \cdot 10^{-3}$
G6	0.380	$7.7 \cdot 10^{-3}$
G7	0.273	$1.1 \cdot 10^{-1}$
Akifer ortalaması	0.268	$2.4 \cdot 10^{-2}$

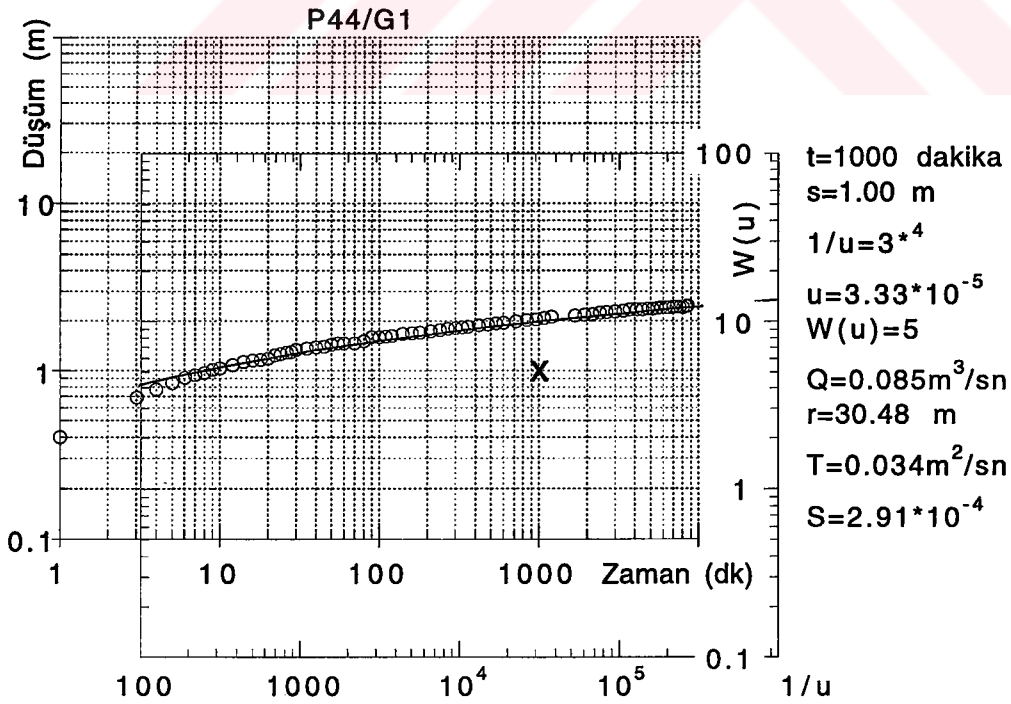
6.4.3 P44 kuyusunda akifer karakteristiklerinin bulunması

P21 ve P29 pompaj kuyularının bulundukları akiferlerde kullanılan metodlarla, P44 pompaj kuyusu ile buna bağlı çalışan gözlem kuyularının bulunduğu akiferde, iletkenlik ve depolama katsayısı değerlerinin belirlenmesi aşağıda sırayla verilmiştir.

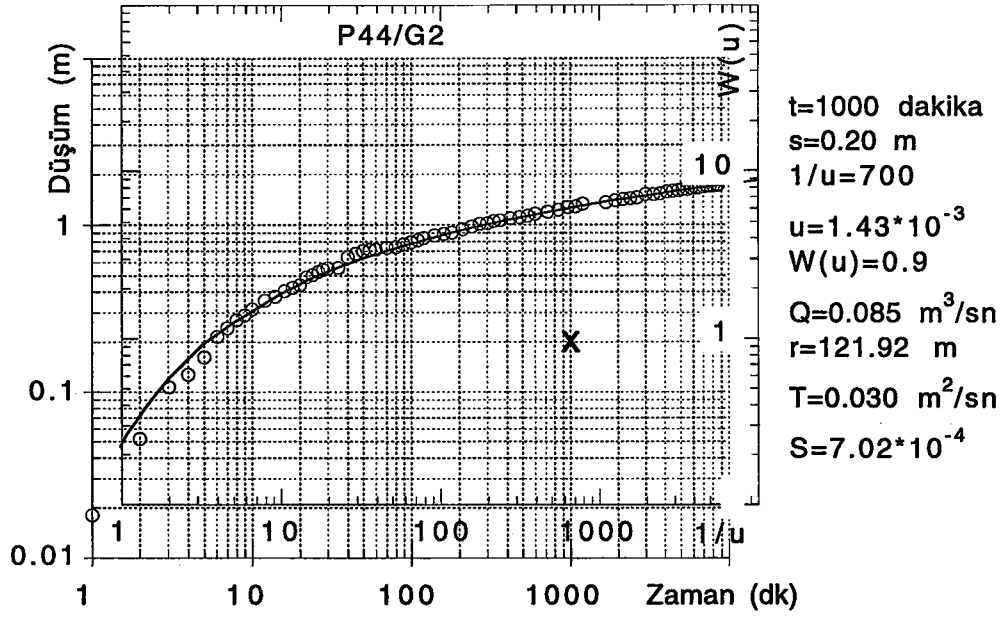
6.4.3.1 P44 kuyusunda Theis metoduyla akifer karakteristikleri bulunması

Theis metodu, P44 pompaj kuyusu ile bağlantılı çalışan altı tane gözlem kuyusunda uygulanarak akifer karakteristikleri elde edilmiştir. Bu uygulamalardan G1 gözlem kuyusu için grafik çalışması neticesinde, iletkenlik değeri $T = 0.034 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 2.91 \cdot 10^{-4}$ çıkmıştır (Şekil 6.61).

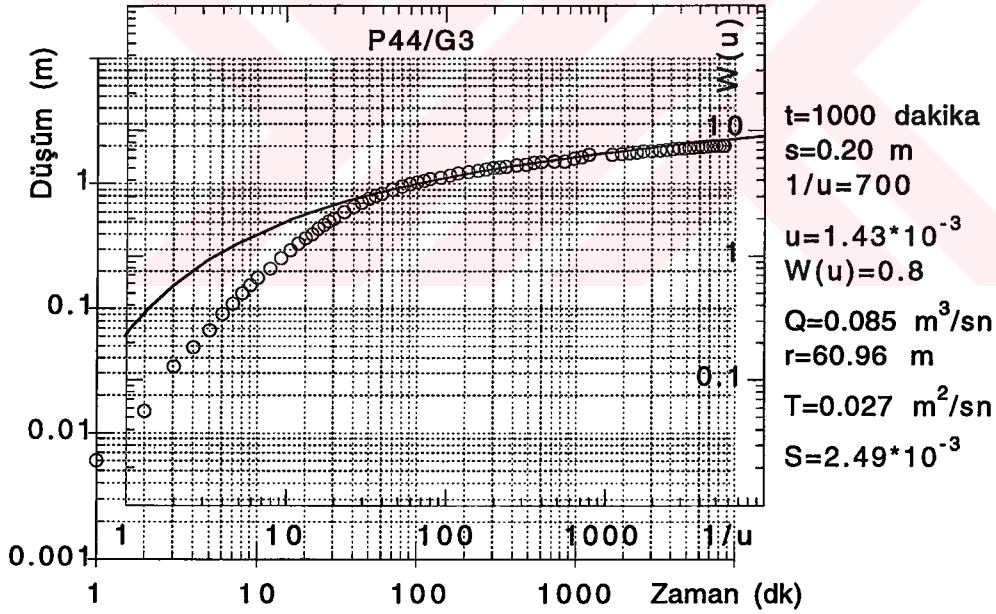
Şekil 6.62' de verilen ve G2 gözlem kuyusunda elde edilen düşüm-zaman grafiği ile Theis eğrisinin çakıştırılması işlemi sonunda bulunan iletkenlik değeri $T = 0.030 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 7.02 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur. Şekil 6.63 ve Şekil 6.64' de verilen grafiklerle G3 ve G4 gözlem kuyularında akifer karakteristiklerinin elde edilmesi gösterilmiştir. G3 gözlem kuyusunda yapılan uygulama ile iletkenlik değeri $T = 0.030 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 2.49 \cdot 10^{-3}$ çıkmaktadır. G4 kuyusunda ise bu değerler $T = 0.034 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve $S = 4.04 \cdot 10^{-4}$ olarak bulunmuştur.



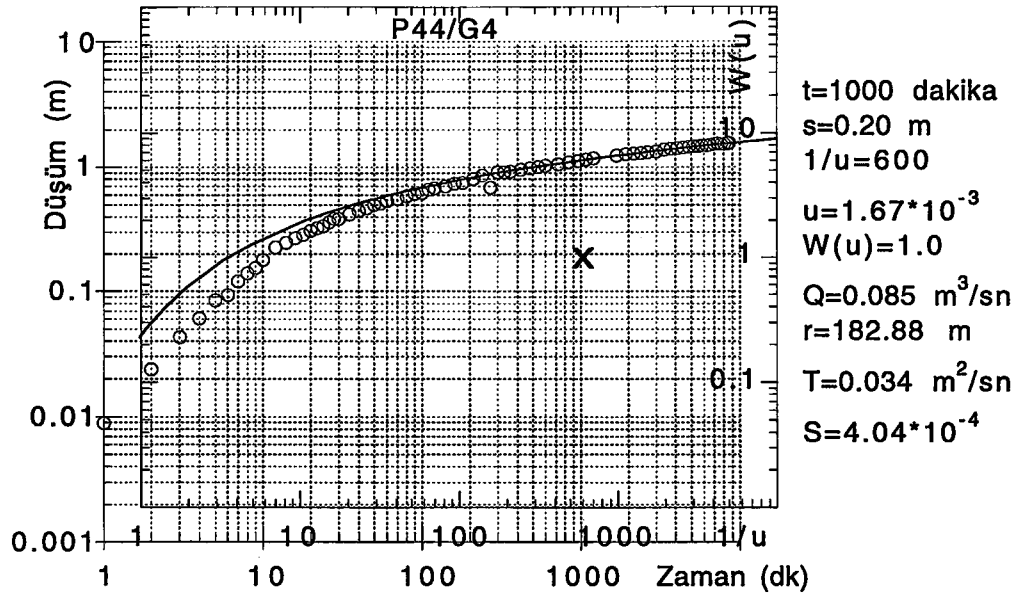
Şekil 6.61 P44 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



Şekil 6.62 P44 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

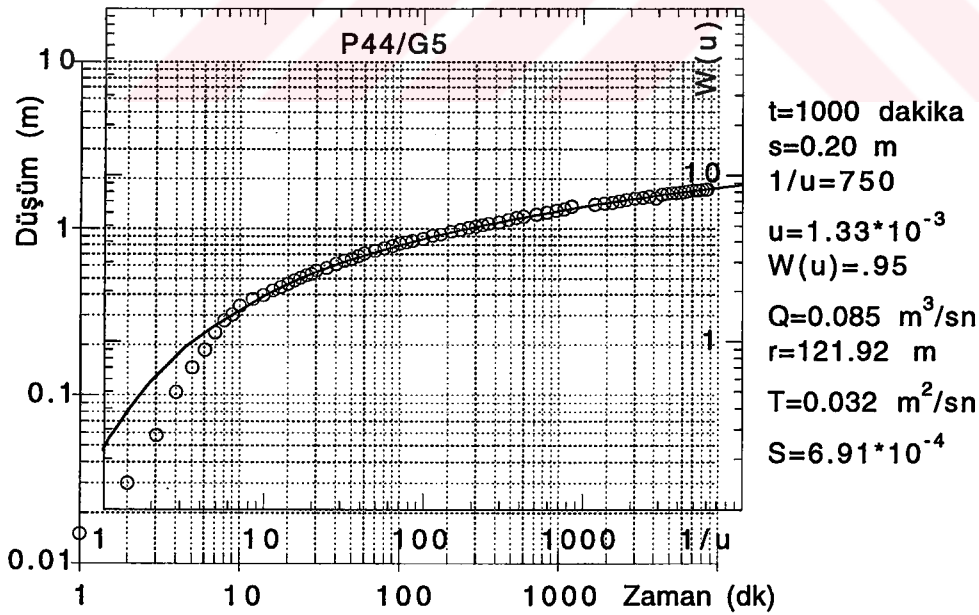


Şekil 6.63 P44 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

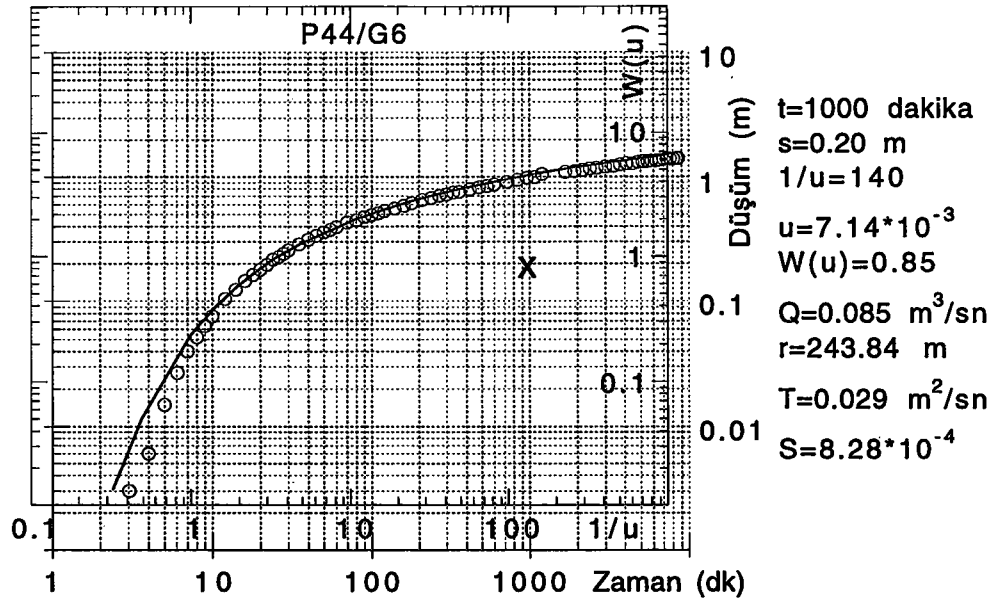


Şekil 6.64 P44 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

5. ve 6. gözlem kuyularında yapılan grafik karşıştırmalar Şekil 6.65 ve Şekil 6.66' da gösterilmiştir. G5 gözlem kuyularındaki işlemler neticesinde iletkenlik değeri $T = 0.032$ m²/sn ve depolama katsayısı $S = 6.91 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur. G6 kuyusunda ise $T = 0.029$ m²/sn ve $S = 8.28 \cdot 10^{-4}$ değerleri elde edilmiştir.



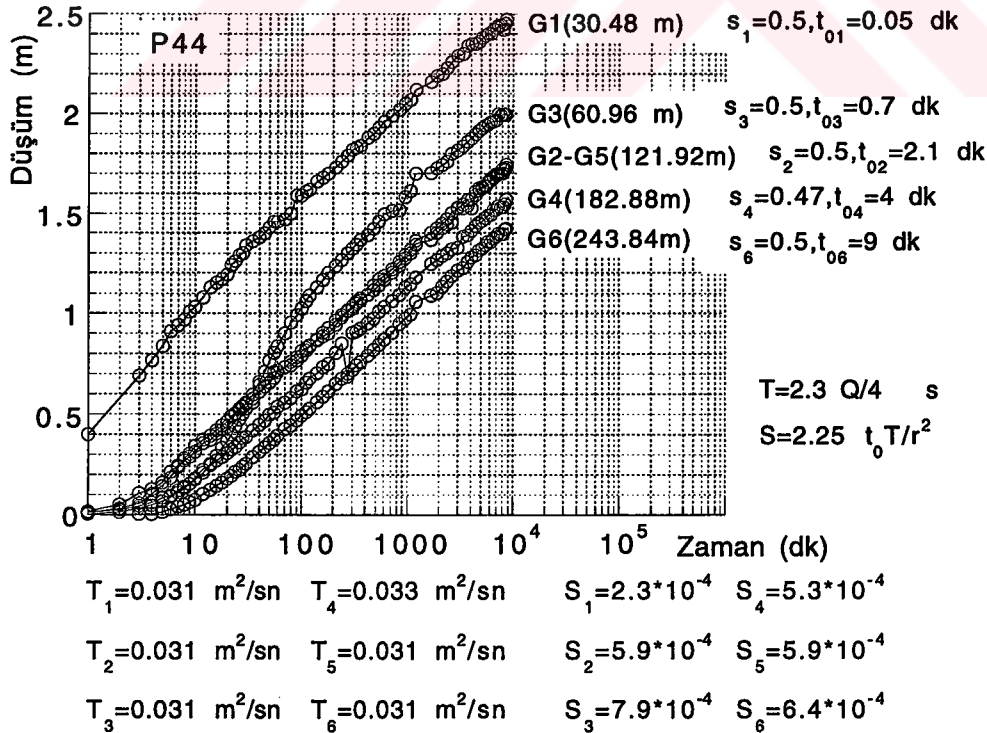
Şekil 6.65 P44 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması



Şekil 6.66 P44 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

6.4.3.2 P44 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

P44 kuyu takımının bulunduğu akiferde, veriler kullanılarak Jacob metodunun düşüm-zaman haline göre belirlenen akifer karakteristikleri Şekil 6.67'de verilmiştir.

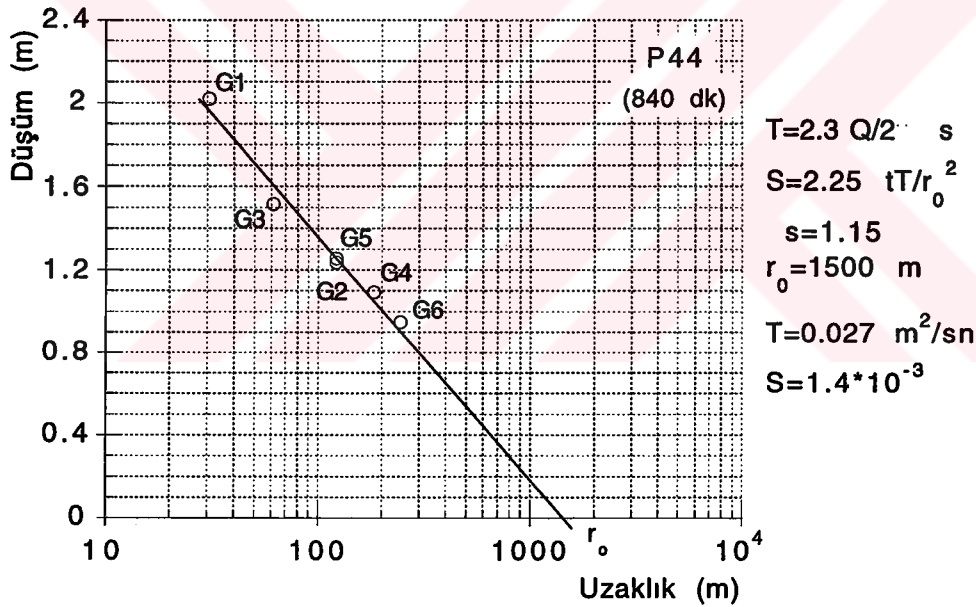


Şekil 6.67 P44 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyuları için Jacob düz çizgi metodu uygulaması

Metod, bu arazi çalışması verilerine göre birbirine çok yakın neticeler vermiştir. İletkenlik için 0.031 ile 0.033 arasında hemen hemen aynı değerler elde edilmiştir. Bu durum, gözlem kuyularındaki düşümlerin aynı derecede artmasından kaynaklanmaktadır. Depolama katsayısı ise $2.3 \cdot 10^{-4}$ ile $7.9 \cdot 10^{-4}$ arasında yine birbirine çok yakın değerler çıkmıştır.

6.4.3.3 P44 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-uzaklık) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

P44 pompaj ve gözlem kuyularının bulunduğu akiferde, Jacob metodunun düşüm ile uzaklık arasındaki uygulamasıyla akifer karakteristiklerinin elde edilmesi Şekil 6.68' deki grafikte verilmiştir. Grafik uygulaması, gözlem kuyularının 840. dakikadaki düşüm değerleri dikkate alınarak yapılmıştır. Buna göre, iletkenlik için $T = 0.027 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı için de $S = 1.4 \cdot 10^{-3}$ değerleri elde edilmiştir.

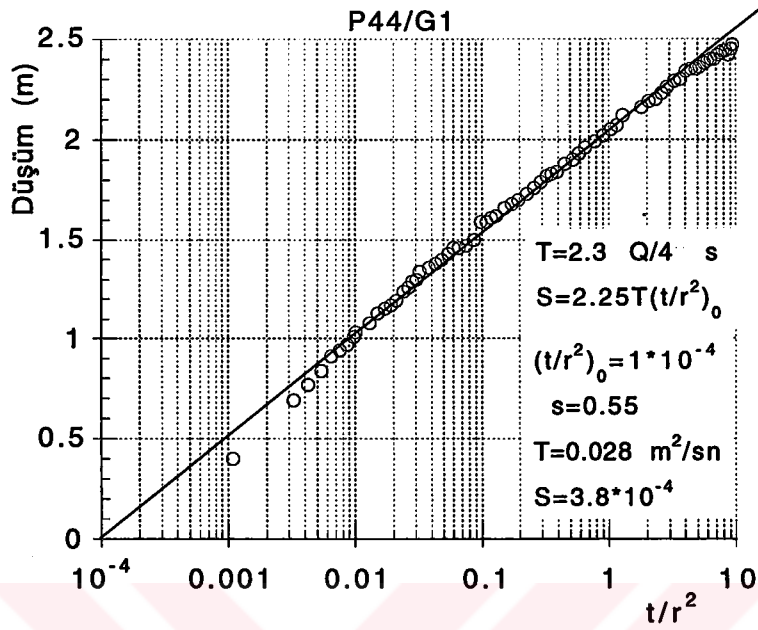


Şekil 6.68 P44 pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 840. dakika için Jacob düz çizgi metodu uygulaması

6.4.3.4 P44 kuyusunda jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metoduyla akifer karakteristiklerinin bulunması

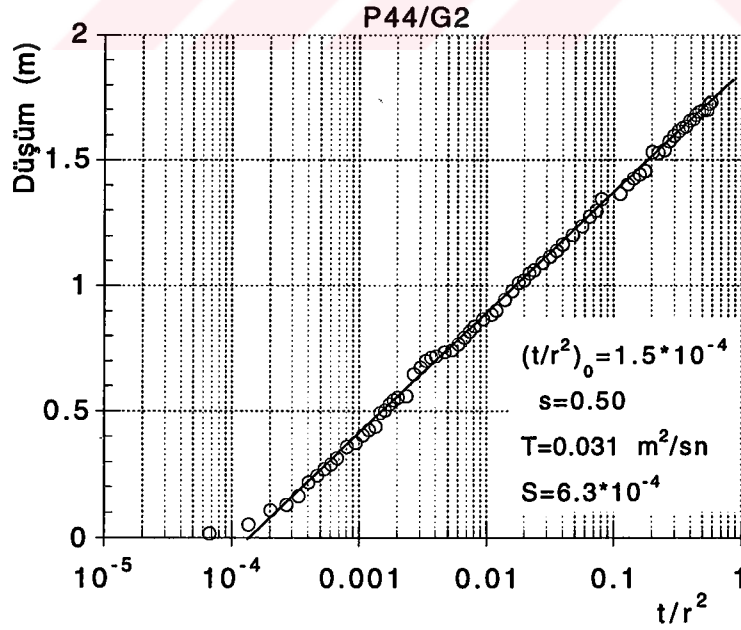
Gözlem kuyularındaki düşümlere karşılık gelen (t/r^2) değerleri hesap edilerek Jacob düz çizgi metodu ile akifere ait karakteristiklerin bulunması aşağıda grafikler halinde verilmiştir.

G1 gözlem kuyusunda grafik metodun uygulanması ile iletkenlik değeri $T = 0.028 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 3.8 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur (Şekil 6.69).

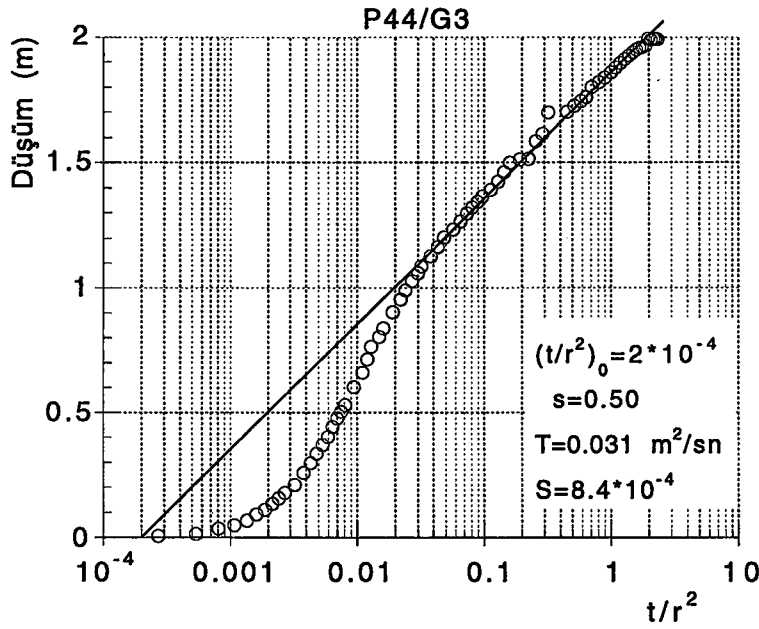


Şekil 6.69 P44 pompaj kuyusuna ait G1 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

Şekil 6.70' deki G2 gözlem kuyusuna ait grafik uygulamada ise iletkenlik değeri $T = 0.031 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 6.3 \cdot 10^{-4}$ elde edilmiştir.

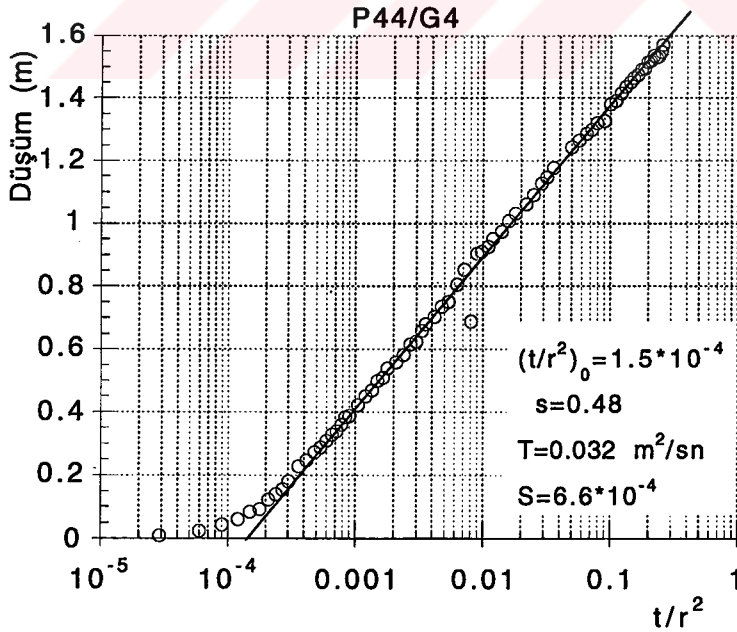


Şekil 6.70 P44 pompaj kuyusuna ait G2 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu



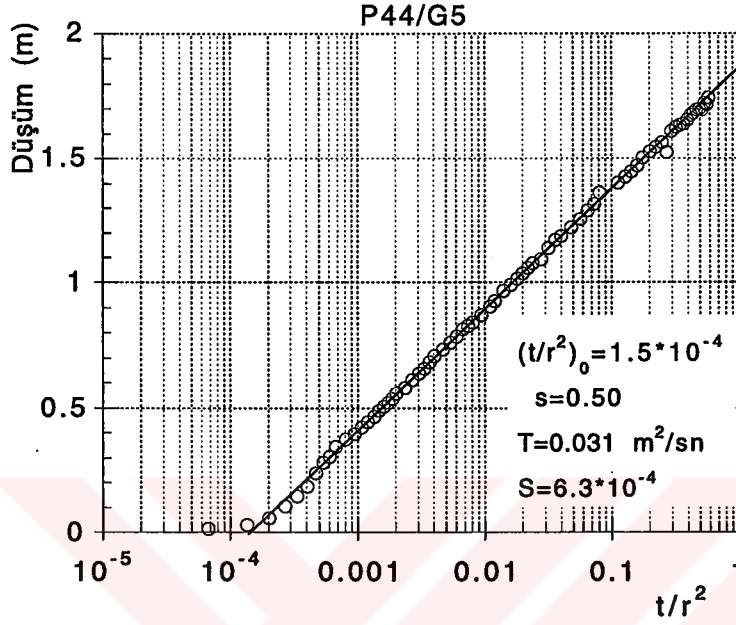
Şekil 6.71 P44 pompaj kuyusuna ait G3 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

Şekil 6.71 ve 6.72' deki grafiklerle de G3 ve G4 gözlem kuyularında akifer karakteristiklerinin bulunması verilmiştir. G3 gözlem kuyusunda iletkenlik $T = 0.031 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 8.4 \cdot 10^{-4}$ çıkmıştır. G4 kuyusunda ise $T = 0.032 \text{ m}^2/\text{sn}$, $S = 6.6 \cdot 10^{-4}$ değerleri elde edilmiştir.

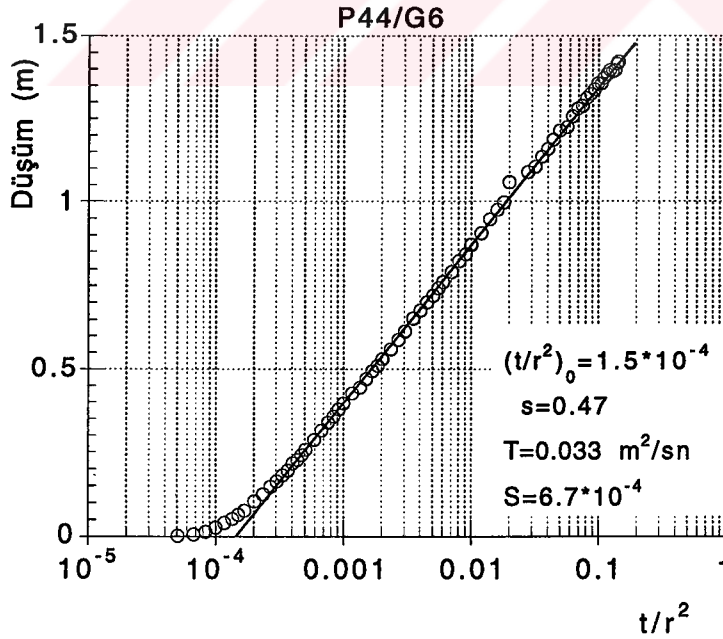


Şekil 6.72 P44 pompaj kuyusuna ait G4 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

Aşağıda Şekil 6.73' de verilen grafikte G5 gözlem kuyusu verileriyle, iletkenlik değerinin $T = 0.031 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısının $S = 6.3 \cdot 10^{-4}$ çıktığı görülmektedir. Şekil 6.74' de ise G6 kuyusu için iletkenliğin $T = 0.033 \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısının da $S = 6.7 \cdot 10^{-4}$ olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.73 P44 pompaj kuyusuna ait G5 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

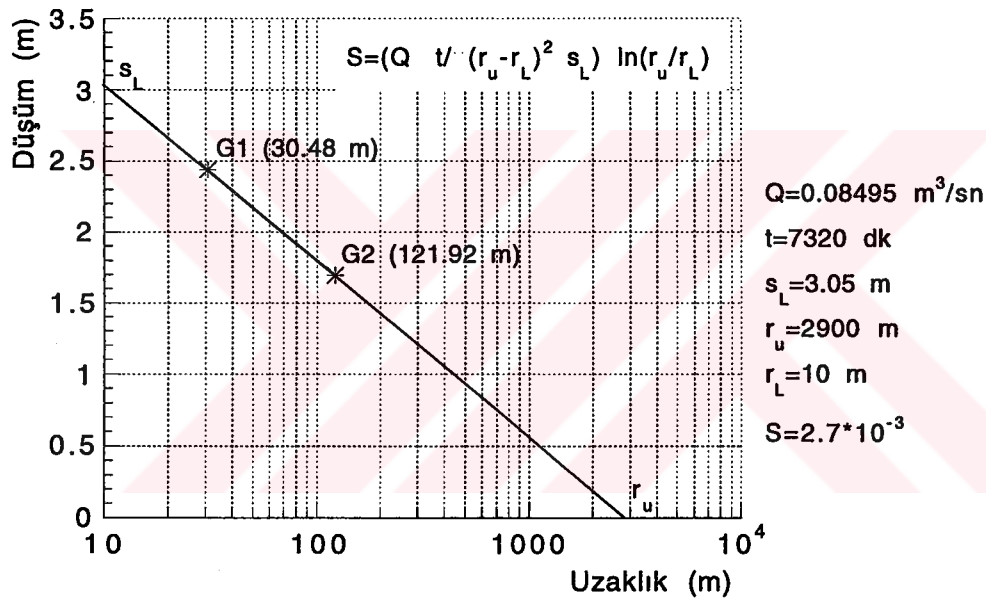


Şekil 6.74 P44 pompaj kuyusuna ait G6 gözlem kuyusu için Jacob düz çizgi metodu

6.4.3.5 P44 kuyusunda Şen grafik metoduyla depolama katsayısının bulunması

P44 pompaj kuyusunun verileriyle Şen grafik metoduna göre depolama katsayısının bulunması, gözlem kuyularının ikili grupları kullanılarak aşağıda verilmiştir. Grafiklerin çiziminde, pompaj süresinin 7320. dakikasında verilen düşüm değerleri dikkate alınmıştır.

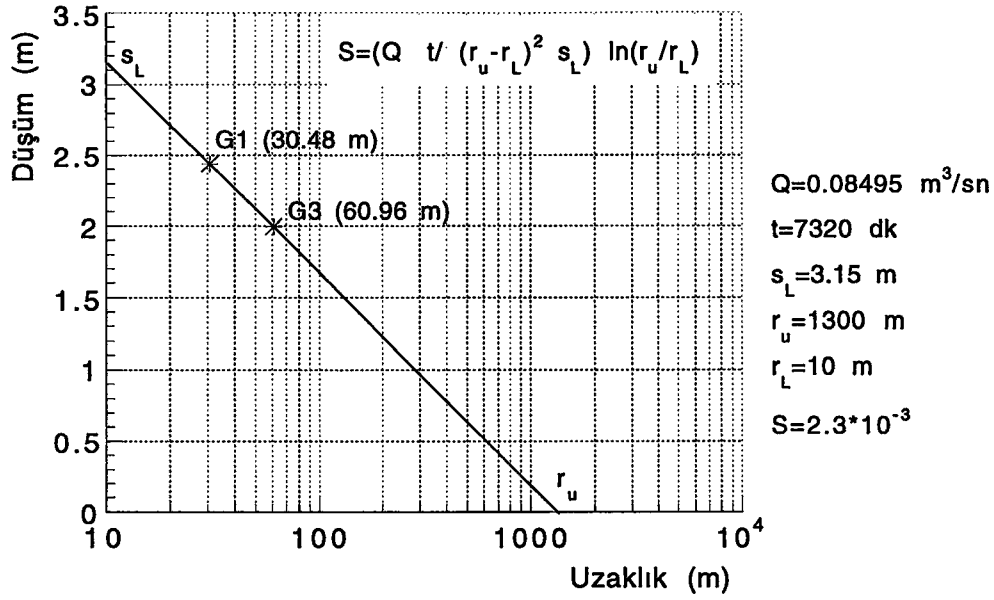
Şekil 6.75' de metodun G1 ile G2 gözlem kuyuları arasında yukarıda belirtilen zamandaki düşüm değerleri ile yapılan grafik uygulaması verilmiştir. Buna göre, depolama katsayısı $S = 2.7 \cdot 10^{-3}$ bulunmuştur.



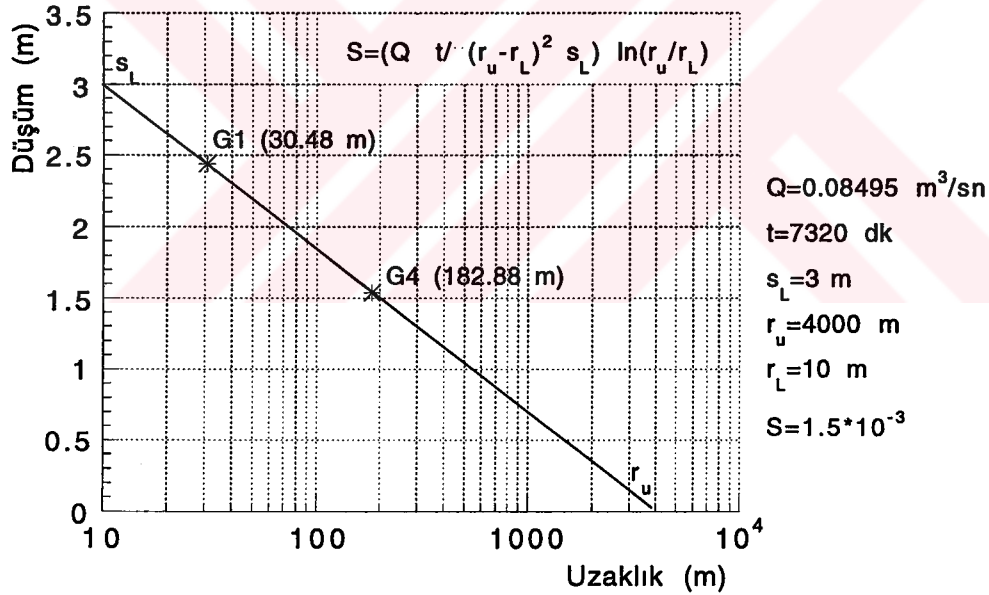
Şekil 6.75 P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G2 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

G1 ile G3 gözlem kuyuları arasında yine aynı zaman için uygulanan metodun eşitliğine göre depolama katsayısı $S = 2.3 \cdot 10^{-4}$ çıkmıştır. Şekil 6.76' da bu grafik verilmiştir.

Şekil 6.77' de ise G1 ile G4 ikili gözlem kuyusunun düşüm değerleri dikkate alınarak depolama katsayısı $S = 1.5 \cdot 10^{-4}$ olarak elde edilmiştir.



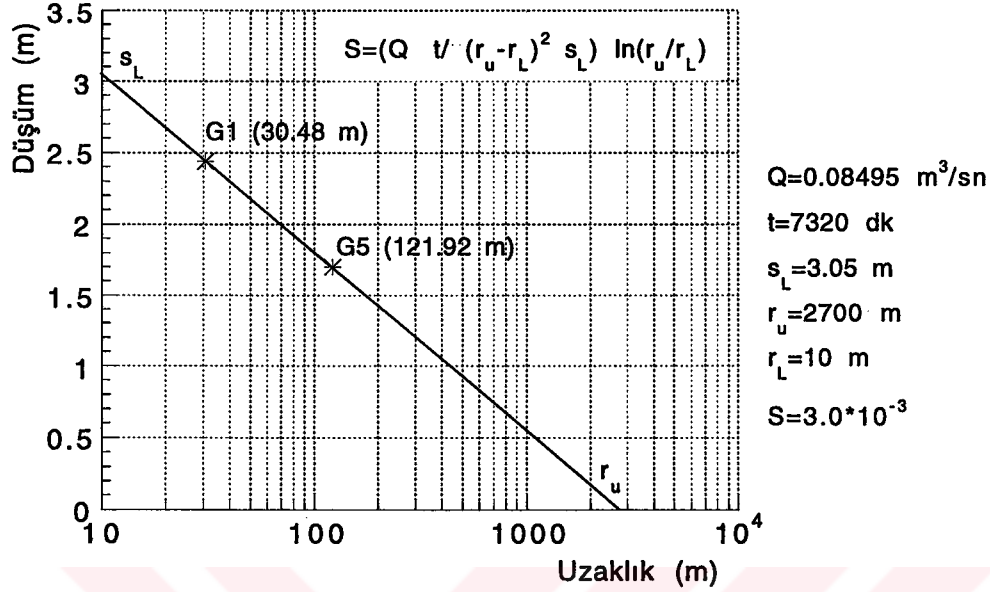
Şekil 6.76 P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G3 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



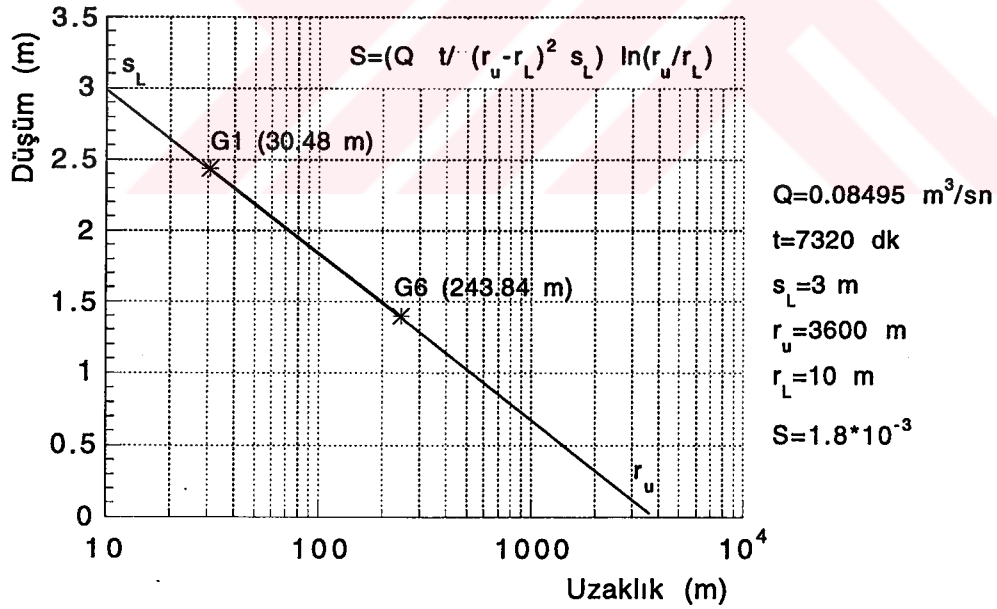
Şekil 6.77 P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G4 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

G5 ve G6 gözlem kuyularının G1 kuyusu ile olan grafikleri aşağıdaki Şekil 6.78 ve Şekil 6.79' da verilmiştir. Bunlardan G1 ile G5 gözlem kuyuları arasındaki grafik uygulamasında depolama katsayısı $S = 3.0 \cdot 10^{-3}$ olarak elde edilmiştir.

G1 ile G6 gözlem kuyuları arasında uygulanan grafik metod neticesinde depolama katsayısı $S = 1.8 \cdot 10^{-3}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6.78 P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G5 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



Şekil 6.79 P44 kuyusunun bulunduğu akiferde G1 ve G6 gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

6.4.3.6 P44 kuyusunda Şen analitik metoduyla depolama katsayısının bulunması

P44 pompaj kuyusu ve altı gözlem kuyusu düşüm değerleri kullanılarak Şen analitik metoduna göre bulunan depolama katsayıları aşağıdaki Çizelge 6.16' da sunulmuştur.

Çizelge 6.16 P44 kuyusu ile birlikte çalışan gözlem kuyularının bulunduğu akiferde farklı iletkenlik değerleri ile Şen analitik metoduna göre depolama katsayısı sonuçları

Kuyu No	İletkenlik (T_{Th})	Tüm Zamanlarda Depolama Katsayısı	Son Zamanlarda Depolama Katsayısı	İletkenlik (T_{Tez})	Tüm Zamanlarda Depolama Katsayısı	Son Zamanlarda Depolama Katsayısı
	(m^2/sn)	S_s	S_s	(m^2/sn)	S_s	S_s
P44	0.031	$1.4 \cdot 10^{-5}$	$2.4 \cdot 10^{-5}$	0.034	$1.5 \cdot 10^{-7}$	$2.2 \cdot 10^{-6}$
G1	0.034	0.039	0.0014	0.027	0.055	0.0016
G2	0.030	0.127	0.0035	0.038	0.104	0.0037
G3	0.027	0.151	0.0040	0.028	0.140	0.0045
G4	0.034	0.143	0.0042	0.040	0.130	0.0029
G5	0.032	0.118	0.0035	0.033	0.095	0.0036
G6	0.029	0.173	0.0120	0.037	0.150	0.0052
Akifer ortalaması	0.031	0.125	0.0048	0.034	0.112	0.0036

Metodun, pompajın son zamanlarında, akımın dengelenmeye başladığı durumlarda uygun sonuçlar verdiği ve farklı iletkenlik değerleri dikkate alındığında depolama katsayısının ortalama olarak $4.8 \cdot 10^{-3}$ ile $3.6 \cdot 10^{-3}$ arasında değiştiği görülmektedir.

6.4.3.7 P44 kuyusunda geliştirilen analitik metodla akifer karakteristiklerinin bulunması

Geliştirilen analitik metodla P44 pompaj kuyusunun bulunduğu akiferde elde edilen iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri Çizelge 6.17' de verilmiştir. Çizelgedeki sonuçlara göre iletkenlik $0.034 m^2/sn$ ve depolama katsayısı $1.1 \cdot 10^{-3}$ ortalama değerlerini almaktadır.

Çizelge 6.17 P44 pompaj ve gözlem kuyularında akifer karakteristiklerinin geliştirilen analitik metoda göre elde edilen sonuçları

Kuyu No	T_{Tez} (m^2/sn)	S_{Tez}
P44	0.043	$1.6 \cdot 10^{-9}$
G1	0.027	$7.3 \cdot 10^{-4}$
G2	0.038	$5.1 \cdot 10^{-4}$
G3	0.028	$3.7 \cdot 10^{-3}$
G4	0.040	$4.4 \cdot 10^{-4}$
G5	0.033	$6.7 \cdot 10^{-4}$
G6	0.037	$5.5 \cdot 10^{-4}$
Akifer ortalaması	0.034	$1.1 \cdot 10^{-3}$

Çizelgede, pompaj kuyusunda bulunan değerler ortalama hesabına katılmamıştır.

6.4.4 Arazide yapılan pompa testleri ile ilgili genel değerlendirme

Çalışma bölgesinin üç değişik yerinde, akifer parametrelerinin bulunması ile ilgili olarak seri pompa testleri yapılmıştır. Bu testler sonucunda bu bölgenin heterojen bir yapıda olduğu kanaatine varılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde bölgenin iletkenlik değerlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bakımdan bölgenin verimli olduğu söylenebilir.

Bölgede bulunan değerlere bakıldığında, iletkenlik ve depolama katsayılarının Chenab nehrine doğru daha fazla çıktığı görülmektedir. Buradan, Jhelum nehrine doğru olan kısımdaki zemin malzemesinin, Chenab nehrine doğru olan kısma nazaran daha ince yapılı olduğu söylenebilir.

7. SONUÇLAR

Dengesiz akım durumunda serbest yüzölçü akiferlerde açılan pompaj kuyularında akifer karakteristiklerinin analitik olarak belirlenmesi amacıyla hazırlanan bu tezden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. Sonuçlar, teorik olarak elde edilenler ve uygulama sonucu ortaya çıkanlar olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. Uygulama sonuçları ise kendi arasında nümerik modellerden, fiziksel model çalışmasından ve arazi çalışmasından alınan dataların değişik metodlara uygulanması ile ortaya çıkan neticeler olarak üçe ayrılmıştır.

Akifer testleri yardımıyla akifer karakteristiklerinin belirlenmesinin yeraltı suyu hidroliği ve su kaynakları açısından önemini vurgulayan Bölüm 2 ve 3' de akifer karakteristiklerinin teorik olarak nasıl bulundukları hakkında geniş bilgiler verilmiştir. Ancak, bu zamana kadar geliştirilen bir çok metodun uygulamasında zorluklar (örneğin, eğri çakıştırma gibi) bulunmasına karşılık, bu tez çalışmasında açıklaması yapılan yeni ve kolay kullanılabilir analitik metodlar ile akiferde gerekli karakteristiklerin bulunması sağlanmıştır.

Ayrıca, yapılan çalışmada, akifer karakteristiklerinin bulunması ile ilgili literatürde verilen Theis, Jacob, Boulton, Neuman ve Şen gibi araştırmacıların metodları incelenmiştir. Bu metodlar öncelikle bu çalışmada geliştirilen dört tip sayısal akifer modeliyle hesaplanan düşünüm değerlerine uygulanmıştır. Daha sonra Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı Liman Laboratuvarında kurulan fiziksel model çalışmasından elde edilen sonuçlara ve Pakistan' ın Chaj Doab bölgesindeki üç ayrı gözlem kuyulu pompa verilerine yine aynı metodlar uygulanmıştır. Sayısal, deneysel ve arazi çalışmasından elde edilen düşünüm-zaman verileri kullanılarak, akiferlere ait hesaplanan T ve S değerleri, geliştirilen iki analitik metoda ve yukarıda bahsedilen araştırmacıların metodlarına uygulanmış ve bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

7.1 Teorik Olarak Bulunan Sonuçlar

1) Dengesiz akım durumunda serbest yüzölçü akiferlerde açılan kuyuda düşünüm-zaman değerleri kullanılarak iletkenlik ve depolama katsayılarının bulunması ile ilgili iki analitik metod önerilmiştir. Bunlardan Şen (1987) geliştirdiği metodda sadece pompaj kuyusu verileri kullanılarak depolama katsayısının bulunabileceğini göstermiştir. Ancak arazi verilerinin bu metoda uygulanması sırasında, kuyularda meydana gelen depolamadan dolayı akiferin tepkisinin pompaj kuyusuna tam

olarak yansımadığı görülmüştür. Dolayısı ile pompaj kuyusunun düşüm-zaman değerleri yerine açılan herhangi bir gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman değerleri kullanıldığında bulunan depolama katsayısı (S) değerleri oldukça uygun sonuçlar vermiştir. Buradan hareketle, Şen (1987)' in (3.49) denkleminde verdiği depolama katsayısına ait eşitliğin aşağıdaki gibi kullanılmasının daha uygun neticeler verdiği tesbit edilmiştir. Yeni haliyle bu denklemin aşağıdaki şekliyle kullanılmasının uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

$$S = \frac{Q_t - \pi r^2 s(t)}{\frac{1}{2} r^2 \sqrt{\frac{2 \pi D Q}{T}} \exp\left\{-\frac{2 \pi D T [1 - s(t)/D]^2}{Q}\right\} \int_a^b e^{x^2} dx - \pi r^2 s(t)}$$

Burada (3.49) eşitliğinden farklı olarak kuyu yarıçapı olan r_w yerine, düşüm-zaman değerlerinin kullanıldığı gözlem kuyusu ile pompaj kuyusu arasındaki mesafeyi simgeleyen r kullanılmıştır. Buna bağlı olarak $s_w(t)$ ile gösterilen kuyudaki düşüm değeri yerine de gözlem kuyusunda herhangi bir andaki düşümü gösteren $s(t)$ değerleri alınmıştır.

2) Özyol ve Gazioğlu (1996b) tarafından önerilen metotta iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) denklemlerinin arazi uygulamalarında uygun neticeler vermediği belirlenmiştir. Bu metotta veri olarak kullanılan pompaj kuyusuna ait düşüm-zaman değerlerinin yerine akifer tepkisini tam olarak belirleyebildiğimiz gözlem kuyusuna ait düşüm-zaman değerlerinin kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüş ve elde edilen depolama katsayısı denklemi aşağıda verilmiştir.

$$S = \frac{2.248 T t}{r^2 \exp[2\pi T(H^2 - h^2)/Q H]}$$

Burada daha önceki (4.17) denkleminde kuyu yarıçapı için kullanılan r_w yerine, pompaj kuyusu ile gözlem kuyusu arasındaki mesafeyi gösteren r değeri konulmuştur. Ayrıca h harfi ile gösterilen pompaj kuyusundaki su seviyesi yerine de gözlem kuyusundaki su seviyesi değeri alınmıştır. İletkenlik (T) değerini veren (4.11) eşitliği de gözlem kuyularındaki düşüm-zaman verilerine uygulanmıştır.

Gözlem kuyusu düşüm-zaman verilerinin bu denklemlere uygulanması sonucu elde edilen serbest yüzölçümlü akiferlere ait iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S)

değerlerinin, literatürde verilen sınırlar içinde kaldığı belirlenmiştir. Dolayısı ile eşitliklerin bu hali ile kullanılmasının gerçeğe uygun olduğu tespit edilmiştir.

3) Dengesiz akım durumunda serbest yüzlü akiferler için analitik çözüm sağlayan Şen (1987) metodu ile tezde sunulan metod, sınırlı akiferlere de uygulanmıştır. Akiferlerde, sınırların meydana getirdiği tesirlerden dolayı kuyulardaki düşümlerin etkilendiği bilinmektedir. Etkilenen düşüm değerleri de grafik karşılaştırmaya dayalı metodlar ile bulunan iletkenlik ve depolama katsayısı değerlerinin hatalı çıkmasına yol açmaktadır.

Analitik metodlar ile akifer testlerinin başlangıcından itibaren bütün düşüm değerleri için ayrı ayrı bulunabilen iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) değerleri, sınır etkilerinin başladığı zamanlardan sonra farklılık gösterdiği anlaşılmıştır. Dolayısı ile akifer karakteristiklerinin farklılık gösterdiği ana kadar bulunan değerlerin o akifere ait gerçek iletkenlik ve depolama katsayılarını verdiği görülmüştür. Bu andan sonra sapma gösteren değerlerin akiferin T ve S değerleri olarak kabul edilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

Akifer karakteristiklerinin farklı çıkmaya başladığı andan itibaren sınır etkilerinin pompaj kuyusundaki düşümleri etkilediği sayısal olarak verilen sınırlı ve sınırsız akifer örneklerinde görülmüştür. Aynı şekilde, bu durum laboratuvar şartlarında elde edilen düşüm değerleri için analitik metodların uygulanması sırasında da dikkate alınarak, iletkenlik ve depolama katsayıları belirlenmiştir.

7.2 Sayısal Modellerden Elde Edilen Sonuçlar

Yukarıda verilen formüller, öncelikle arazi şartlarının etkili olmadığı, dengesiz akım durumunda, dört sayısal serbest yüzlü akifer modeline tatbik edilmiştir. Sayısal akifer modellerinde belirli bir iletkenlik ve depolama katsayısı ile elde edilen düşüm değerleri kullanılarak, tekrar bulunan akifer karakteristikleri, verilen değerlerle benzerlik göstermiştir. Dört tip serbest yüzlü akifer modelinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1) Serbest yüzlü sonsuz akifer durumunda tezde sunulan metodla diğer metodlarla elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 7.1' de topluca verilmiştir.

Çizelge 7.1 Sonsuz akifer durumunda pompaj ve gözlem kuyularında çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik ($m^2/gün$) değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Uzaklık	Theis Metodu	Boulton Metodu		Neuman Düz Çizgi Metodu		Önerilen Analitik Metod
	r (m)	T_{Th}	T_E	T_L	T_E	T_L	T
P	0.15	33.42	-	-	-	-	40.10
1	5	35.81	35.81	37.00	36.61	36.61	40.45
2	10	40.58	35.81	38.20	36.61	36.61	41.90

Yukarıdaki çizelgede, başlangıçta iletkenlik değerinin $40 m^2/gün$ olarak alınmasıyla hesaplanan düşümler kullanılarak, çeşitli metodlar ile bulunan iletkenlik değerlerinin $35\sim40 m^2/gün$ civarında çıktığı görülmüştür. Sonuçlar içerisinde verilen değere en yakın çıkan netice, tezde sunulan metodun, pompaj kuyusundaki düşümlere uygulanmasıyla elde edilmiştir. Bu metoda göre gözlem kuyuları esas kuyudan uzaklaştıkça, iletkenliğin de arttığı farkedilmiştir. Diğer metodlarda da pompaj kuyusundan uzaklaştıkça T değerlerinin arttığı veya aynı kaldığı görülmüştür.

2) Sayısal olarak verilen sonsuz akifer durumunda depolama katsayıları, grafik ve analitik metodlara göre hesaplanmış ve çıkan sonuçlar aşağıdaki Çizelge 7.2' de verilmiştir.

Çizelge 7.2 Sonsuz akifer durumunda pompaj ve gözlem kuyularında çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması ($*10^{-2}$)

Kuyu No	Uzaklık	Theis Metodu	Boulton Metodu		Neuman Düz Çizgi Metodu		Şen(87) Analitik Metodu	Şen(96) Grafik Metodu	Önerilen Analitik Metod
	r (m)	S_{Th}	S_E	S_L	S_E	S_L	S_S	S_S	S
P	0.15						1.9		1.10
1	5	1.19	0.995	1.03	1.09	1.09	1.5	1.65	0.95
2	10	1.13	0.995	1.06	1.03	1.03	1.2	1.65	0.86

Çizelge 7.2' deki sonuçlara göre dört metoddaki depolama katsayısı değerleri başlangıçta verilen değere ($S = 1.0*10^{-2}$) çok yakın çıkmıştır. Yalnız Şen (1987, 1996) metodlarındaki değerlerin biraz büyük olduğu görülmüştür. Ayrıca, burada, iletkenlik değerlerinin aksine gözlem kuyularının konumları esas kuyudan uzaklaştıkça depolama katsayısının azaldığı sonucuna da varılmıştır.

3) Bir yönden geçirimsiz sınır ile sınırlanmış serbest yüzlü akifer modelinde, sadece pompaj kuyusu verileri olduğundan, grafik karşılaştırma metodları uygulanamamıştır. İletkenlik değeri, yalnızca tezde sunulan metod ile bulunabilmiştir. Metodun uygulanması sırasında sınır dolayısı ile girişim tesirlerinin başladığı 10. saatten itibaren akifer karakteristikleri genel olarak değişiklik göstermeye başlamıştır. Girişimin olmadığı bölgede iletkenlik değeri ortalama olarak $T = 40.17 \text{ m}^2/\text{gün}$ çıkmıştır. Bu değerin, önceden düşümlerin hesaplanması için alınan $T = 40 \text{ m}^2/\text{gün}$ değeri ile hemen hemen aynı olduğu görülmüştür.

4) Bir yönden sınırlı akifer modelinde depolama katsayısı da sadece iki analitik modele göre bulunabilmiştir. Bunlardan Şen (1987) analitik metoduna göre depolama katsayısı, yine sınır dolayısı ile girişimin başladığı 10. saate kadarki değerlerin ortalaması olarak $S = 1.9 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur. Bu değerin, metodun sonsuz akifer modelinde pompaj kuyusundaki verilerle elde edilen sonuçla aynı çıktığı görülmüştür. Tezde sunulan metoda göre ise girişimin başladığı ana kadar bulunan ortalama depolama katsayısı $S = 1.1 \cdot 10^{-2}$ olmuştur. Bu değer de sonsuz akiferde bu metoda göre pompaj kuyusunda hesaplanan değerle aynı çıkmıştır. Her iki metodla bulunan sonuçların başlangıçta seçilen $S = 1.0 \cdot 10^{-2}$ değerine çok fazla aykırı düşmediği sonucuna ulaşılmıştır.

5) İki yönden paralel sınırlarla çevrili serbest yüzlü akifer modeli ile yapılan hesaplamalar neticesinde tezde sunulan metod ile iletkenlik değeri $T = 40.16 \text{ m}^2/\text{gün}$ bulunmuştur. Bu değerin belirlenmesi için, Çizelge 5.3' de girişimin başladığı 9. saate kadar olan düşüm değerleri kullanılarak, Çizelge 6.3' de bulunan iletkenlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Burada da girişimin olmadığı bölgedeki ortalama iletkenlik değeri, düşümlerin hesabı için verilen değerle ($T = 40 \text{ m}^2/\text{gün}$) benzerlik göstermiştir.

6) İki yönden paralel sınırlı serbest yüzlü akiferde, önceki sınırlı modelde olduğu gibi girişimsiz bölgede depolama katsayısı, Şen (1987) analitik metodu ile $S = 1.9 \cdot 10^{-2}$ bulunmuştur. Tezde sunulan metod ile de ortalama olarak depolama katsayısı için $S = 1.1 \cdot 10^{-2}$ elde edilmiştir. Sınır tesirlerinin etkisiyle girişimin arttığı bölgelerde depolama katsayılarının her iki metoda göre aldığı değerler $S > 1$ olmuştur. Bu da bize, girişim tesirlerinin olduğu akiferlerde hesaplanan akifer karakteristiklerine güvenilemeyeceğini ispatlamıştır.

Bu sonuçlar, sonsuz, bir ve iki yönden sınırlı akifer örneklerinin aynı verilerle hesaplanmasından dolayı, hemen hemen aynı olmakla birlikte, seçilen akifer karakteristikleri değerlerine de uygun düşmüştür.

7) Dört yönden geçirimsiz sınırlar ile çevrili serbest yüzlü sayısal akifer modeli için tezde sunulan analitik metod ile hesaplanan iletkenlik değeri de öncekilerle benzer şekilde $T = 40.14 \text{ m}^2/\text{gün}$ bulunmuştur. Burada da, girişim başlayana kadar (4. gün) bulunan ortalama değer, seçilen $T = 40 \text{ m}^2/\text{gün}$ değerine yakın çıkmıştır.

8) Dört yönden sınırlı serbest yüzlü akiferde pompaj kuyusu için elde edilen düşüm değerlerinin iki analitik metoda uygulanması neticesinde, Şen (1987) metoduna göre depolama katsayısı $S = 1.9 \cdot 10^{-2}$ ve tezde sunulan metoda göre de $S = 1.1 \cdot 10^{-2}$ çıkmıştır. Diğer sayısal akifer örneklerinde olduğu gibi girişimsiz bölgede aynı metodlara göre aynı sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçlar, yine modellerde düşümlerin hesabı için seçilen değere ($S = 1.0 \cdot 10^{-2}$) benzerlik göstermiştir.

7.3 Fiziksel Modellerden Elde Edilen Sonuçlar

Laboratuarda tesis edilen fiziksel model üzerinde yapılan deneyler neticesinde elde edilen düşüm-zaman değerleri, grafik ve analitik metodlara tatbik edilerek akifer karakteristiklerine ait değerlere ulaşılmış ve çıkan sonuçların değerlendirmesi aşağıda yapılmıştır.

1) Fiziksel modelin ortasında bulunan 1 nolu kuyudan yapılan pompaj neticesinde elde edilen düşüm değerleri kullanılarak analitik metodlarla akifer karakteristikleri bulunmuştur. Grafik metodlarla sonuçların bulunup karşılaştırılması için, merkez kuyu çalışırken 400 ve 600 mm uzağında bulunan kuyulardaki düşümler, gözlem kuyusu verileri olarak kaydedilmiştir.

Pompaj ve gözlem kuyularındaki düşümlerin değerlendirilmesi sonucu bazı metodlara göre elde edilen iletkenlik değerleri aşağıdaki Çizelge 7.3' de verilmiştir.

Çizelge 7.3 Fiziksel modeldeki akiferde 1 nolu kuyunun pompaj, 2 ve 4 nolu kuyuların gözlem kuyusu olması durumunda çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (cm^2/sn) değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Uzaklık	Theis Metodu	Boulton Metodu		Neuman Düz Çizgi Metodu		Önerilen Analitik Metod
	r (cm)	T_{Th}	T_E	T_L	T_E	T_L	T
1	1.75	-	-	-	-	-	0.330
2	40	0.195	0.088	0.088	0.203	0.185	0.336
4	60	0.203	0.106	0.106	0.339	0.177	0.333

Çizelgedeki değerlere bakıldığında, iletkenlik değerlerinin grafik metodlarda genellikle daha düşük çıktığı görülmüştür. Fiziksel modelin dört taraftan sınırlı akiferi temsil etmesi ve girişim tesirlerinin düşüm değerlerini etkilemesi, grafik modellerle bulunan değerlere tesir etmektedir. İletkenlik değeri için, tezde sunulan metotta, girişim tesirlerinin etkili olduğu tüm zamanlara göre bulunan Çizelge 6.6' daki değerlerin ortalaması alınmamış; girişimin olmadığı (sonuçların hemen hemen aynı çıktığı) bölgedeki değerlerin ortalaması esas kabul edilmiştir. Bu değer ($T = 0.33 \text{ cm}^2/\text{sn}$) tezdeki metotta gözlem kuyularında da birbirine çok yakın çıkmıştır.

2) Fiziksel modelde yukarıdaki maddede belirtilen pompaj ve gözlem kuyusu verileri kullanılarak çeşitli metodlar ile elde edilen depolama katsayısı değerleri Çizelge 7.4' de sunulmuştur.

Çizelge 7.4 Fiziksel modeldeki akiferde 1 nolu kuyunun pompaj, 2 ve 4 nolu kuyuların gözlem kuyusu olması durumunda çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması ($\cdot 10^{-2}$)

Kuyu No	Uzaklık	Theis Metodu	Boulton Metodu		Neuman Düz Çizgi Metodu		Şen (87) Grafik Metodu	Şen (96) Analitik Metodu	Önerilen Analitik Metod
	r (m)	S_{Th}	S_E	S_L	S_E	S_L	S_S	S_S	S
1	1.75							1.20	1.00
2	40	1.40	0.83	5.30	0.69	1.40	2.00	1.30	0.96
4	60	0.65	0.42	2.10	0.51	0.86	1.40	1.40	0.94

Depolama katsayısı çizelgesines göre, değerlerin genellikle $1.0 \cdot 10^{-2}$ civarında çıktığı görülmüştür. Yalnız Boulton metodu ile bulunan geç zamanlara ait depolama

katsayıları ($5.3 \cdot 10^{-2}$, $2.1 \cdot 10^{-2}$) biraz büyük çıkmıştır. Ayrıca Şen (1987) metodu dışında bütün metodlarda gözlem kuyularının uzaklaşması ile depolama katsayılarının küçüldüğü belirlenmiştir. Sadece pompaj kuyularında uygulanabilen analitik metodlarla bulunan neticelerin, yine bu metodlarla gözlem kuyularında bulunan değerlere çok yakın çıktığı saptanmıştır. Aynı zamanda analitik metodlara göre bulunan değerlerin, diğer metodlarla elde edilen neticelerden çok farklı çıkmadığı sonucuna varılmıştır.

3) Fiziksel akifer modelinde 2, 3, 4 ve 5 nolu kuyularda ayrı ayrı debi çekimleri yapılarak elde edilen düşüm değerleri kullanılarak iki analitik metod ile akifer karakteristikleri bulunmuştur. Modeldeki bütün kuyuların, gözlem kuyusu verileri olmadan tezde önerilen metoda göre bulunan iletkenlik ve depolama katsayıları değerleri Çizelge 7.5' de verilmiştir.

Çizelge 7.5 Fiziksel modeldeki akiferde kuyuların tek başlarına çalışması durumunda analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristikleri

Kuyu No	Merkeze Uzaklık	İletkenlik Değeri	Depolama Katsayısı Şen Metodu (1996)	Depolama Katsayısı Önerilen Metod
	cm	cm ² /sn	S _s	S
1	-	0.33	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$
2	40	0.31	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$
3	45	0.31	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$0.9 \cdot 10^{-2}$
4	60	0.33	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$
5	65	0.31	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$
Fiziksel Model Ortalaması		0.32	$1.2 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-2}$

Çizelgedeki değerler, kuyuların düşüm-zaman verileri kullanılarak bulunan akifer karakteristiklerinin hemen hemen aynı olduğu bölgedeki sonuçların ortalamasıdır. Akifer karakteristikleri sınırlar dolayısı ile meydana gelen girişim etkileri ile bir noktadan itibaren değişmeye başlamıştır. Bu değişimin başladığı andan itibaren bulunan iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri dikkate alınmamıştır.

Fiziksel akifer modelinde iletkenlik değeri bütün kuyularda birbirine çok yakın çıkmıştır. Akifer ortalaması da $T = 0.32 \text{ cm}^2/\text{sn}$ olarak bulunmuştur. Depolama

katsayısı için merkez dışındaki kuyularda, iki analitik metod ile bulunan sonuçlar, daha önce gözlem kuyusu verileriyle birlikte değerlendirilen 1 nolu kuyuda grafik ve analitik metodlar vasıtası ile elde edilen değerler ile pek farklılık göstermemiştir.

7.4 Arazi Verilerinden Elde Edilen Sonuçlar

Pakistan' ın Chaj Doab bölgesinde yapılan çalışmalardan elde edilen, altışar gözlem kuyulu üç adet pompaj kuyusunun düşüm-zaman verileri ile bazı akifer bilgileri kullanılarak çeşitli metodlar ile akifer karakteristikleri bulunmuştur. Grafik ve analitik metodlarla elde edilen akifer karakteristiklerinin karşılaştırılmasından aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Arazide, P21 adıyla belirlenen kuyu takımındaki verilerin grafik ve analitik metodlara uygulanması ile elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 7.6' da verilmiştir.

Çizelge 7.6 P21 kuyu takımında, çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (m^2/sn) değerlerinin cinsinden karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyudan uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Önerilen Analitik Metod
	r (m)	T_{Th}	$T_{J(d-z)}$	$T_{J(d-r)}$	$T_{J(d-ur^2)}$	T
P21	-	-	-	-	-	0.120
G1	30.48	0.018	0.019	0.021	0.021	0.030
G2	121.92	0.019	0.024		0.026	0.041
G3	60.96	0.020	0.021		0.021	0.031
G4	182.88	0.022	0.033		0.036	0.071
G5	243.84	0.020	0.033		0.034	0.066
G7	121.92	0.020	0.024		0.025	0.042
Akifer Ortalaması		0.020	0.026	0.021	0.027	0.047

Tezde önerilen metod ile bulunan neticeler, daha önce sayısal ve fiziksel akifer modellerinde bulunan iletkenlik değerlerinde olduğu gibi diğer metodların sonuçlarına nazaran büyük çıkmıştır. Çizelgedeki sonuçlara bakıldığında, pompaj kuyusundan uzaklaştıkça genellikle iletkenliğin arttığı burada da görülmüştür. Pompaj kuyusundaki düşüm-zaman verilerinden, tezde önerilen metodla bulunan iletkenlik değeri akifer ortalamalarından çok daha büyük sonuç vermiştir. Bu

durumu, kuyularda arazi şartlarında bazı kayıpların meydana gelmesiyle açıklayabiliriz.

P21 pompaj kuyusu ve bununla birlikte düşümleri ölçülen altı gözlem kuyusundan elde edilen veriler kullanılarak grafik ve analitik metodlar yardımıyla akifere ait depolama katsayısı tesbit edilmiştir. Çeşitli metodlardan bulunan sonuçlar aşağıdaki Çizelge 7.7' de toplu bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 7.7 P21 pompaj ve gözlem kuyuları için çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyuya uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Şen (96) Grafik Metodu	Şen (87) Analitik Metodu	Önerilen Analitik Metod
	r (m)	S_{Th}	$S_{J(d-z)}$	$S_{J(d-r)}$	$S_{J(d-t/r^2)}$	S_{Sg}	S_{Sa}	S
P21	-	-	-	-	-	-	$\sim 10^{-12}$	$> 10^{-50}$
G1	30.48	$6.5 \cdot 10^{-4}$	$5.6 \cdot 10^{-4}$	$5.3 \cdot 10^{-4}$	$5.6 \cdot 10^{-4}$	$5.7 \cdot 10^{-2}$	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$3.9 \cdot 10^{-4}$
G2	121.92	$5.5 \cdot 10^{-4}$	$3.9 \cdot 10^{-4}$		$4.1 \cdot 10^{-4}$	$1.0 \cdot 10^{-1}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$3.4 \cdot 10^{-4}$
G3	60.96	$6.2 \cdot 10^{-4}$	$4.6 \cdot 10^{-4}$		$4.5 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-1}$	$5.0 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$
G4	182.88	$6.8 \cdot 10^{-4}$	$4.6 \cdot 10^{-4}$		$4.9 \cdot 10^{-4}$	$8.5 \cdot 10^{-2}$	$3.2 \cdot 10^{-2}$	$6.5 \cdot 10^{-4}$
G5	243.84	$6.7 \cdot 10^{-4}$	$4.1 \cdot 10^{-4}$		$4.1 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-1}$	$1.2 \cdot 10^{-1}$	$6.0 \cdot 10^{-4}$
G7	121.92	$6.7 \cdot 10^{-4}$	$4.4 \cdot 10^{-4}$		$5.1 \cdot 10^{-4}$	$5.7 \cdot 10^{-2}$	$4.0 \cdot 10^{-3}$	$6.0 \cdot 10^{-4}$
Akifer Ortalaması		$6.4 \cdot 10^{-4}$	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$5.3 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$9.5 \cdot 10^{-2}$	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$5.1 \cdot 10^{-4}$

Daha önce analitik metodlarla pompaj kuyularında iyi neticeler alınmasına rağmen yukarıdaki çizelgede bazı faktörlerin etkisiyle, P21 pompaj kuyusunu verileri için sonuçlar tutarsız çıkmıştır. Bu faktörler, pompaj kuyusunda ilk anda bulunan suyun öncelikle çekilmesi, sızma yüzeyi, akifer tipinin tam olarak bilinmemesi, ortamın heterojen bir yapıya sahip olması veya metodlara uygun olmaması gibi arazi ile ilgili şartlardan kaynaklanmaktadır. Gözlem kuyularında bu faktörler etkili olmadığından buralardaki verilerden bulunan akifer karakteristikleri daha uygun sonuçlar vermiştir. Tezde önerilen analitik metod ile bulunan değerlerin çok kullanılan grafik metodların neticelerine benzer çıktığı görülmüştür. Şen metodlarıyla bu akifer için bulunan sonuçlarda 10^{-2} kadar bir farklılık meydana gelmiştir. Burada Şen (1996) grafik metodu ile bulunan sonuçlar her bir gözlem kuyusu için ayrı ayrı değil, gözlem kuyuları verilerinin ikişer ikişer kullanılmasıyla çizilen grafiklerden elde edilmiştir.

2) Arazide verileri elde edilen, P29 adı verilen ikinci kuyu takımında yapılan uygulamalarla bulunan akifer karakteristiklerinden iletkenlik değerleri aşağıda Çizelge 7. 8' de verilmiştir.

Çizelge 7.8 P29 kuyu takımında, çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (m^2/sn) değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyudan uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Önerilen Analitik Metod
	r (m)	T_{Th}	$T_{J(d-z)}$	$T_{J(d-r)}$	$T_{J(d-4r^2)}$	T
P29	-	-	-	-	-	0.215
G1	30.48	0.159	0.160	0.059	0.173	0.153
G2	121.92	0.181	0.207		0.207	0.274
G4	304.80	0.421	0.691		0.494	0.390
G5	60.96	0.216	0.160		0.160	0.136
G6	121.92	0.270	0.259		0.346	0.380
G7	243.84	0.203	1.037		0.207	0.273
Akifer Ortalaması		0.242	0.419 (0.295)	0.059	0.265	0.268

Çizelgedeki değerlerden görüldüğü gibi, Jacob' ın düşünüm ile gözlem kuyularının uzaklığı arasında işlem yapılan metodu dışındaki iletkenlik değerlerinin ortalamaları birbirine yakın çıkmıştır. P21 kuyu takımındaki sonuçlardan farklı olarak pompaj kuyusundan elde edilen değer de diğer sonuçlarla benzerlik göstermiştir.

Arazi verilerinden elde edilen iletkenlik değerlerinin de pompaj kuyusundan uzaklaştıkça artma eğilimi gösterdiği görülmüştür.

Depolama katsayıları için P29 kuyu takımındaki veriler kullanılarak, grafik ve analitik metodlardan bulunan sonuçlar Çizelge 7.9' da verilmiştir.

Çizelge 7.9 P29 pompaj ve gözlem kuyuları için çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyuya uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Şen (96) Grafik Metodu	Şen (87) Analitik Metodu	Önerilen Analitik Metod
	r (m)	S_{Th}	$S_{J(d-z)}$	$S_{J(d-r)}$	$S_{J(d-t/r^2)}$	S_{Sg}	S_{Sa}	S
P29	-	-	-	-	-	-	$\sim 10^{-40}$	$\sim 10^{-32}$
G1	30.48	$2.7 \cdot 10^{-5}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-2}$	$4.7 \cdot 10^{-5}$	$2.0 \cdot 10^{-1}$	$3.0 \cdot 10^{-5}$	$6.0 \cdot 10^{-5}$
G2	121.92	$3.5 \cdot 10^{-3}$	$9.4 \cdot 10^{-3}$		$9.8 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$	$1.9 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$
G4	304.80	$2.9 \cdot 10^{-2}$	$7.0 \cdot 10^{-3}$		$2.0 \cdot 10^{-2}$	$4.6 \cdot 10^{-1}$	$5.1 \cdot 10^{-3}$	$2.0 \cdot 10^{-2}$
G5	60.96	$3.1 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$		$1.7 \cdot 10^{-3}$	$3.9 \cdot 10^{-1}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	$2.4 \cdot 10^{-3}$
G6	121.92	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$1.2 \cdot 10^{-2}$		$9.3 \cdot 10^{-3}$	$1.8 \cdot 10^{-1}$	$3.9 \cdot 10^{-3}$	$7.7 \cdot 10^{-3}$
G7	243.84	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$4.7 \cdot 10^{-2}$		$1.3 \cdot 10^{-1}$		$4.5 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-1}$
Akifer Ortalaması		$3.5 \cdot 10^{-2}$	$1.3 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-2}$	$2.8 \cdot 10^{-2}$	$2.7 \cdot 10^{-1}$	$2.6 \cdot 10^{-3}$	$2.4 \cdot 10^{-2}$

Depolama katsayısı için Theis (1935), Jacob (1946) ve tezde önerilen metodlarla bulunan neticeler aynı mertebeli çıkmıştır. Şen grafik metodunda bir merteye büyük, Şen analitik metodunda ise bir merteye küçük sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara genel olarak bakıldığında merteye farkı olsa da, kabul edilebilir değerlerin bulunduğu söylenebilir.

P21 kuyu takımında olduğu gibi burada da pompaj kuyusu verileri kullanılarak analitik metodlarla bulunan sonuçlar uygun çıkmamıştır.

3) Arazi verileri ile yapılan son uygulama olan, P44 kuyu takımının düşüm değerleri kullanılarak bulunan iletkenlik değerleri Çizelge 7.10' da sunulmuştur.

Çizelgedeki değerlere bakıldığında bu kuyu takımında elde edilen değerlerin akifer ortalamalarının üç metoda göre aynı çıktığı, diğer iki metoda göre de bu sonuca çok yakın değerlerin bulunduğu görülmüştür. Tezde önerilen metod ile pompaj kuyusu için bulunan değer de akifer ortalamalarına ters düşmemiştir. Bu kuyu takımında sonuçların birbirine benzer çıkması düşüm değerlerinin diğer kuyulardakine nazaran daha dengeli azalmasından kaynaklanmaktadır.

Farklı metodlara göre bulunan depolama katsayıları ise Çizelge 7.11' de verilerek, sonuçlar aşağıda değerlendirilmiştir.

Çizelge 7.10 P44 kuyu takımında, çeşitli metodlarla elde edilen iletkenlik (m^2/sn) değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyudan uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Önerilen Analitik Metod
	r (m)	T_{Th}	$T_{J(d-z)}$	$T_{J(d-r)}$	$T_{J(d-t/r^2)}$	T
P44	-	-	-	-	-	0.043
G1	30.48	0.034	0.031	0.027	0.028	0.027
G2	121.92	0.030	0.031		0.031	0.038
G3	60.96	0.027	0.031		0.031	0.028
G4	182.88	0.034	0.033		0.032	0.040
G5	121.92	0.032	0.031		0.031	0.033
G6	243.84	0.029	0.031		0.033	0.037
Akifer Ortalaması		0.031	0.031	0.027	0.031	0.034

Çizelge 7.11 P44 pompaj ve gözlem kuyuları için çeşitli metodlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyuya uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Şen (96) Grafik Metodu	Şen (87) Analitik Metodu	Önerilen Analitik Metod
	r (m)	S_{Th}	$S_{J(d-z)}$	$S_{J(d-r)}$	$S_{J(d-t/r^2)}$	S_{Sg}	S_{Sa}	S
P44	-	-	-	-	-	-	$2.4 \cdot 10^{-5}$	$\sim 10^{-9}$
G1	30.48	$2.9 \cdot 10^{-4}$	$2.3 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$3.8 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$7.3 \cdot 10^{-4}$
G2	121.92	$7.0 \cdot 10^{-4}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$		$6.3 \cdot 10^{-4}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$3.5 \cdot 10^{-3}$	$5.1 \cdot 10^{-4}$
G3	60.96	$2.5 \cdot 10^{-3}$	$7.9 \cdot 10^{-4}$		$8.4 \cdot 10^{-4}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$4.0 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$
G4	182.88	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$5.3 \cdot 10^{-4}$		$6.6 \cdot 10^{-4}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$	$4.4 \cdot 10^{-4}$
G5	121.92	$6.9 \cdot 10^{-4}$	$5.9 \cdot 10^{-4}$		$6.3 \cdot 10^{-4}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$3.5 \cdot 10^{-3}$	$6.7 \cdot 10^{-4}$
G6	243.84	$8.3 \cdot 10^{-4}$	$6.4 \cdot 10^{-4}$		$6.7 \cdot 10^{-4}$		$1.2 \cdot 10^{-2}$	$5.5 \cdot 10^{-4}$
Akifer Ortalaması		$9.0 \cdot 10^{-4}$	$5.6 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$6.4 \cdot 10^{-4}$	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$4.8 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$

İletkenlik değerlerinde olduğu gibi, depolama katsayılarında da bütün metodlarda birbirine yakın sonuçlar çıkmıştır. Bu kuyu takımında, Şen (1996) analitik metodu ile pompaj kuyusunda bulunan depolama katsayısı değeri gözlem kuyuları ile bulunan değerlerden çok farklı çıkmamıştır.

KAYNAKLAR

Babbitt, H.E. ve Caldwell, D.H.,(1948), "The Free Surface Around and Interference between Gravity Wells", University of Illinois, Bulletin Vol. 45, No:48 Engineering Experiment Station-Bulletion Series, No.371, U.S.A.

Bear, J., (1979), Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill, New York.

Bennet, G. D., Rehman, Sheikh, I. A. ve Sabir, A., (1967), Analysis of Aquifer Tests in the Punjab Region of West Pakistan, U. S. Geological Survey, 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.

Birpınar, M. E. ve Gazioğlu Ş. A., (1998), "Eccentricity Effect on Discharge in Circulr Island", International Water Resources Engineering Conference with Groundwater Management Symposium, ASCE, 3-7 August 1998, Memphis, U.S.A.

Boulton, N.S., (1963), "Analysis of Data from Nonequilibrium Pumping Test Allowing for Delayed Yield from Storage", Proc. Inst. Civil Engineers (London), 26 : 469-482.

Bouwer, H., (1978), Groundwater Hydrology, McGraw-Hill, New York.

Chow, V. T., (1952), "On the Determination of Transmissivity and Storage Coefficients from Pumping Test Data", Trans. Amer. Geophysical Union, 33 : 397-404.

Cooper, H. H. ve Jacob, C.E., (1946), "A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History, Trans. Amer. Geophysical Union, 27(4) : 526-534.

Darcy, H., (1856), Les Fontaines Publiques de La Ville de Dijon. Victor Dalmont, Paris, France.

Davis, S. N. ve De Wiest, R. J. M., (1966), Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York.

De Glee, G. J., (1930), Over Groundwaterstromingen bij Teronttrekking Door Middel van Putten, Thesis, J. Waltman, Delft, The Netherlands, 175 pp.

Dupuit, J., (1863), Etudes Theoretiques et Pratiques Sur le Mouvement des eaux dans les Canaux de Couverts et a Travers les Terrains Permeables. 2 nd. ed., Dunod, Paris, France.

Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., (1973), Yeraltı Suları Jeolojisi, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul.

Ferris, J. G., (1963), Correction of Drawdowns Caused by a Pumped Well Tapping less than the Full Thickness of an Aquifer, In "Methods of Determining Permeability Transmissivity and Drawdown" Compiled by R. Pentall, USGS Water Supply Paper, 1536, I.

Fetter, C.W., (1980), Applied Hydrogeology, Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, Ohio.

Freeze, R.A. ve Cherry, J.A., (1979), Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, U.S.A.

Guzetti, F., (1991), Groundwater Resources Evaluation Using Pumping Tests, Lecture Notes, WARREDOC, La Colombella, Perugia, Italy.

Hantush, M.S., (1956), "Analysis of Data from Pumping Test in Leaky Aquifers", Trans. Amer. Geophysical Union, 37(6) : 702-714.

Hantush, M.S., (1964), Hydraulics of Wells, Advances in Hydrosience, Vol.1, Academic Press, New York, U.S.A., pp. 281-432.

Huisman, L., (1975a), Groundwater Recovery, Technische Hogeschool , Delft, The Netherlands.

Jacob, C. E., (1940), "On the Flow of Water in an Elastic Artesian Aquifer" Trans. Amer. Geophysical Union, 21 : 574-589.

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" Trans. Amer. Geophysical Union, 27 : 198-208.

Kruseman, G.P. ve de Ridder, N.A., (1990), Analysis and Evaluation of Pumping Test Data, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Publication No. 47, Wageningen, The Netherlands, pp. 109-123.

Lohman, S.W., (1972), Groundwater Hydraulics, Geological Survey Professional Paper 708, Washington.

Lvovitch, M. I., (1970), World Water Balance, General Report, Proc. Symp. World Water Balance, Intern. Assoc. Sci. Hydrol., 2 : 401-415.

Marsily, G. D., (1986), Quantitative Hydrogeology in Groundwater Hydrology for Engineers, Academic Press, New York.

Meinzer, O. E., (1923), The Occurrence of Groundwater in the United States, with a Discussion of Principles, U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper 489, Washington.

Muskat, M., (1937), The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media, McGraw-Hill, New York.

Nace, R. L., (1971), Scientific Framework of World Water Balance, UNESCO Tech. Papers Hydrol., 7, 27 pp.

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 Method for Analyzing Flow in Saturated-Unsaturated Porous Media, in Finite Elements in Fluids, Jhon Wiley & Sons, London.

Neuman, S. P., (1987), " On Methods of Determining Specific Yield", Ground Water, 25(6) : 679.

Niaz, A., (1998), Evaluation of Groundwater Resources in the Upper Middle Part of Chaj Doab Area, Pakistan, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.

Nwankwor, G. I., Cherry, J. A. ve Gilham, R. W., (1985), "A Comparative Study of Specific Yield Determination for a Shallow Sand Aquifer", Ground Water, 22(6):764.

Özyol, A.H., (1981), "Discharge Calculation in Interfering Wells by Modified Total Drowdown-Discharge Equations", Bulletin of the School of Engineering and Architecture of Sakarya, SEA-10, August, pp. 127-139, Sakarya.

Özyol, A.H. ve Gazioğlu, Ş. A., (1996a), "Serbest Yüzlü Akiferlerde Dengesiz Akım Halinde Kuyulardaki Girişim Olayının İncelenmesi", İçmesuyu Sempozyumu, 7-10 Ekim 1996, İSKİ, İstanbul, 243-248.

Özyol, A.H. ve Gazioğlu, Ş. A., (1996b), "Serbest Yüzlü Akiferlerde Akifer Karakteristiklerinin Analitik Olarak Tayini", İçmesuyu Sempozyumu, 7-10 Ekim 1996, İSKİ, İstanbul, 265-269.

Papadopoulos, I. S. ve Cooper, H. H., (1967), "Drawdown in a Well of Large Diameter", Water Resources Research, 3 : 241-244.

Streltsova, T.D., (1972), "Unsteady Radial Flow in an Unconfined Aquifer", Water Resour. Res., 8(4) : 1059-1066.

Streltsova, T.D., (1973), "Flow Near a Pumped Well in an Unconfined Aquifer Under Nonsteady Conditions", 9(1) : 227-242.

Şen, Z., (1982), "Type Curves for Large Diameter Wells Near Barriers", Ground Water, 20(3) : 274-277.

Şen, Z., (1986), "Determination of Aquifer Parameters by the Slope Matching Method", Ground Water, 24(2) : 217-223

Şen, Z., (1987), "Storage Coefficient Determination from Quasi-Steady State Flow", *Nordic Hydrology*, 18:101-110.

Şen, Z. ve Al-Baradi, A., (1991), "Sample Functions as Indicators of Aquifer Heterogeneities", *Nordic Hydrology*, 22 : 37-48.

Şen, Z., (1996), "A Graphical Method for Storage Coefficient Determination from Quasi-Steady State Flow Data", *Nordic Hydrology*, 27(4) : 247-254.

Şen, Z., (1995), *Applied Hydrogeology for Engineers and Scientists*, Lewis Publishers, Boca Raton, 444p.

Todd, D. K., (1959), *Groundwater Hydrology*, John Wiley & Sons, New York. .

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.

Thiem, G., (1906), *Hydrologische Methoden*. J.M. Gebhart, Leipzig, 56 pp.

Van Dam, J.C., (1975), *Groundwater Recovery*, University of Delft, The Netherlands.

Verruijt, A., (1982), *Theory of Groundwater Flow*, University of Delft, The Netherlands, p. 143.

Walton, W. C., (1953), *The Hydraulic Properties of a Dolomite Aquifer Underlying the Village of Ada*, Tech. Rep. 1, Ohio Div. Water, Columbus, Ohio.

Wenzel, L. K., (1937), *The Theim Method for Determining the Permeability of Water-Bearing Materials and its Application for Determination of Specific Yield*, U. S. Geological Survey, Water Supply Paper 679, Washington.

Tablo 1 P21 bölgesinden elde edilen veriler

Zaman (dakika)	P21 (m)	G1 (m)	G2 (m)	G3 (m)	G4 (m)	G5 (m)	G7 (m)
1		0.412	0.018	0.122			
2		0.604	0.067	0.293	0.009		0.040
3		0.719	0.125	0.390	0.024	0.003	0.070
4		0.792	0.174	0.485	0.037	0.006	0.130
5		0.863	0.220	0.518	0.055	0.012	0.180
6		0.887	0.253	0.579	0.079	0.027	0.210
7		0.951	0.290	0.613	0.098	0.043	0.220
8		0.972	0.320	0.634	0.116	0.058	0.280
9		1.009	0.348	0.695	0.131	0.073	0.300
10	11.582	1.036	0.372	0.683	0.149	0.091	0.340
12	11.604	1.067	0.405	0.738	0.143	0.113	0.360
14	11.613	1.106	0.451	0.780	0.201	0.137	0.410
16	11.619	1.134	0.479	0.820	0.220	0.159	0.390
18	11.665	1.161	0.506	0.826	0.244	0.177	0.440
20	11.665	1.189	0.530	0.863	0.259	0.192	0.460
22	11.668	1.219	0.549	0.866	0.271	0.204	0.480
24	11.674	1.238	0.570	0.881	0.290	0.216	0.490
26		1.259	0.576	0.902	0.299	0.229	0.520
28	11.677	1.274	0.597	0.917	0.314	0.238	0.530
30	11.680	1.286	0.613	0.924	0.320	0.247	0.540
35	11.704	1.317	0.640	0.966	0.357	0.268	0.560
40	11.710	1.329	0.658	0.994	0.354	0.284	0.570
45	11.713	1.323	0.686	1.006	0.366	0.296	0.590
50	11.720	1.369	0.692	1.009	0.378	0.305	0.560
55	11.720	1.378	0.704	1.018	0.390	0.314	0.600
60	11.723	1.393	0.728	1.021	0.405	0.323	0.610
70	11.723	1.396	0.747	1.039	0.405	0.332	0.570
80	11.726	1.402	0.759	1.046	0.424	0.341	0.590
90	11.735	1.405	0.765	1.058	0.427	0.348	0.600
100		1.414	0.765	1.070	0.430	0.351	0.620
110		1.426	0.772	1.076	0.433	0.357	0.590
120	11.771	1.433	0.780	1.079	0.430	0.360	0.600
140	11.778	1.436	0.789	1.085	0.436	0.366	0.590
160	11.778	1.439	0.796	1.091	0.436	0.363	0.600
180	11.778	1.454	0.783	1.082	0.433	0.366	0.640
210	11.774	1.448	0.786	1.094	0.433	0.366	0.670
240	11.787	1.448	0.783	1.079	0.433	0.369	0.650
270	11.729	1.451	0.780	1.082	0.427	0.366	0.650
300	11.723	1.439	0.777	1.073	0.427	0.366	0.650
330	11.732	1.433	0.771	1.088	0.421	0.363	0.670
360	11.717	1.430	0.768	1.082	0.418	0.360	0.680
420	11.714	1.426	0.771	1.070	0.421	0.363	0.670
480	11.707	1.430	0.768	1.073	0.421	0.363	0.690
540	11.710	1.405	0.777	1.076	0.424	0.369	0.680
600	11.707	1.448	0.783	1.070	0.430	0.369	0.670
720	11.686	1.451	0.786	1.076	0.430	0.372	0.680
840	11.683	1.448	0.783	1.082	0.430	0.375	0.670
960	11.683	1.442	0.777	1.073	0.427	0.369	0.670

Tablo 1 (devam)

Zaman (dakika)	P21 (m)	G1 (m)	G2 (m)	G3 (m)	G4 (m)	G5 (m)	G7 (m)
1080	11.680	1.439	0.771	1.076	0.421	0.369	0.660
1200	11.677	1.433	0.768	1.079	0.427	0.369	0.650
1440	11.634	1.436	0.786	1.082	0.433	0.375	0.670
1680	11.640	1.436	0.768	1.085	0.412	0.372	0.670
1920	11.631	1.433	0.768	1.082	0.405	0.369	0.660
2160	11.619	1.448	0.780	1.076	0.408	0.375	0.660
2400	11.601	1.436	0.777	1.070	0.412	0.369	0.650
2640	11.582	1.430	0.765	1.064	0.412	0.366	0.640
3000	11.570	1.408	0.768	1.058	0.405	0.372	0.660
3360	11.555	1.436	0.783	1.055	0.405	0.363	0.650
3720	11.555	1.442	0.777	1.052	0.412	0.369	0.640
4080	11.543	1.436	0.774	1.048	0.399	0.369	0.650
4440	11.497	1.442	0.777	1.064	0.402	0.375	0.660
4800	11.299	1.436	0.768	1.070	0.402	0.372	0.660
5160	11.467	1.448	0.786	1.076	0.405	0.378	0.670
5520	11.457	1.454	0.774	1.079	0.418	0.378	0.670
5880	11.390	1.454	0.792	1.088	0.421	0.387	0.670
6240	11.421	1.451	0.802	1.094	0.430	0.384	0.680
6600	11.457	1.442	0.805	1.100	0.427	0.390	0.690
6960	11.436	1.436	0.777	1.100	0.430	0.390	0.680
7320	11.390	1.463	0.808	1.106	0.436	0.399	0.690
7680	11.345	1.469	0.811	1.110	0.427	0.387	0.680
8040	11.360	1.478	0.817	1.112	0.430	0.396	0.690
8400	11.390	1.484	0.814	1.119	0.436	0.396	0.700
8760	11.314	1.491	0.817	1.125	0.454	0.408	0.690
9120	11.363	1.484	0.823	1.110	0.442	0.408	0.690
9480	11.345	1.481	0.826	1.112	0.448	0.418	0.700
9840	11.329	1.484	0.832	1.119	0.454	0.418	0.710
10200	11.284	1.484	0.829	1.125	0.460	0.418	0.710
10560	11.265	1.472	0.832	1.119	0.454	0.408	0.710
10920	11.265	1.472	0.838	1.125	0.466	0.412	0.710
11280	11.256	1.500	0.844	1.125	0.460	0.414	0.710
11520	11.211	1.509	0.841	1.140	0.482	0.424	0.730

Tablo 2 P29 bölgesinden elde edilen veriler

Zaman (dakika)	P29 (m)	G1 (m)	G2 (m)	G4 (m)	G5 (m)	G6 (m)	G7 (m)
1	3.694	0.347			0.015		
2	3.792	0.408			0.094	0.003	
3	3.825	0.451	0.027		0.137	0.006	
4	3.844	0.466	0.040		0.165	0.009	
5	3.859	0.482	0.043		0.186	0.012	
6	3.874	0.494	0.049		0.198	0.015	
7	3.883	0.500	0.052	0.003	0.229	0.018	
8	3.886	0.509	0.055	0.003	0.244	0.021	
9	3.889	0.512	0.058	0.003	0.250	0.024	
10	3.886	0.515	0.061	0.003	0.253	0.027	
12	3.898	0.521	0.061	0.003	0.256	0.030	
14	3.898	0.530	0.064	0.003	0.241	0.037	
16	3.911	0.533	0.070	0.003	0.244	0.040	
18	3.908	0.536	0.076	0.006	0.247	0.043	
20	3.908	0.543	0.076	0.006	0.250	0.046	
22	3.926	0.546	0.076	0.006	0.253	0.046	
24	3.932	0.549	0.079	0.006	0.256	0.049	
26	3.923	0.543	0.079	0.006	0.262	0.052	
28	3.911	0.552	0.079	0.006	0.256	0.055	
30	3.908	0.558	0.082	0.006	0.259	0.058	
35	3.938	0.567	0.085	0.009	0.274	0.064	
40	3.950	0.573	0.088	0.009	0.287	0.058	
45	3.953	0.579	0.101	0.012	0.290	0.073	
50	3.953	0.582	0.094	0.012	0.302	0.079	
55	3.962	0.588	0.104	0.012	0.305	0.085	
60	3.968	0.591	0.110	0.012	0.308	0.088	
70	3.968	0.604	0.110	0.015	0.305	0.091	
80	3.981	0.610	0.119	0.018	0.320	0.098	0.003
90	3.981	0.619	0.125	0.021	0.326	0.101	0.003
100	3.993	0.622	0.131	0.021	0.338	0.104	0.003
110	3.993	0.628	0.131	0.024	0.341	0.107	0.003
120	3.996	0.634	0.140	0.024	0.344	0.110	0.003
140	3.996	0.640	0.143	0.024	0.351	0.113	0.006
160	4.011	0.649	0.149	0.027	0.360	0.116	0.006
180	4.017	0.655	0.155	0.034	0.366	0.119	0.009
210	4.023	0.664	0.162	0.037	0.372	0.122	0.009
240	4.026	0.668	0.162	0.037	0.375	0.125	0.012
270	4.026	0.674	0.158	0.040	0.381	0.128	0.012
300	4.029	0.680	0.171	0.043	0.396	0.131	0.015
330	4.029	0.686	0.180	0.043	0.411	0.134	0.018
360	4.033	0.695	0.186	0.046	0.402	0.134	0.021
420	4.039	0.707	0.189	0.049	0.408	0.134	0.024
480	4.054	0.710	0.198	0.049	0.424	0.137	0.027
540	4.072	0.713	0.207	0.061	0.436	0.155	0.030
600	4.078	0.719	0.213	0.064	0.430	0.158	0.034
720	4.081	0.750	0.226	0.073	0.445	0.168	0.040
840	4.100	0.756	0.238	0.079	0.466	0.177	0.049
960	4.118	0.780	0.247	0.082	0.463	0.183	0.052
1080	4.127	0.796	0.259	0.085	0.466	0.189	0.058

Tablo 2 (devam)

Zaman (dakika)	P29 (m)	G1 (m)	G2 (m)	G4 (m)	G5 (m)	G6 (m)	G7 (m)
1200	4.124	0.811	0.268	0.088	0.472	0.201	0.064
1440	4.148	0.802	0.274	0.107	0.491	0.213	0.064
1680	4.142	0.817	0.290	0.113	0.497	0.226	0.082
1920	4.133	0.823	0.308	0.113	0.500	0.229	0.088
2160	4.154	0.853	0.317	0.119	0.509	0.226	0.094
2400	4.139	0.856	0.323	0.122	0.521	0.229	0.091
2640	4.124	0.860	0.335	0.125	0.533	0.232	0.104
3000	4.148	0.869	0.344	0.131	0.527	0.235	0.107
3360	4.133	0.853	0.347	0.143	0.533	0.238	0.110
3720	4.145	0.872	0.351	0.149	0.539	0.241	0.116
4080	4.157	0.872	0.347	0.125	0.539	0.238	0.119

Tablo 3 P44 bölgesinden elde edilen veriler

Zaman (dakika)	P44 (m)	G1 (m)	G2 (m)	G3 (m)	G4 (m)	G5 (m)	G6 (m)
1	4.29	0.40	0.018	0.006	0.009	0.015	
2	4.39		0.052	0.015	0.024	0.030	
3	4.45	0.69	0.107	0.034	0.043	0.058	0.003
4	4.49	0.77	0.128	0.049	0.061	0.104	0.006
5	4.56	0.84	0.162	0.067	0.085	0.146	0.015
6	4.60	0.91	0.216	0.091	0.094	0.186	0.027
7	4.63	0.94	0.244	0.110	0.122	0.238	0.040
8	4.65	0.97	0.271	0.134	0.140	0.280	0.052
9	4.67	1.01	0.290	0.155	0.155	0.305	0.064
10	4.69	1.03	0.314	0.177	0.180	0.344	0.076
12	4.72	1.08	0.357	0.210	0.226	0.375	0.104
14	4.75	1.13	0.375	0.256	0.247	0.396	0.125
16	4.78	1.15	0.405	0.296	0.271	0.421	0.146
18	4.80	1.17	0.424	0.335	0.287	0.445	0.162
20	4.82	1.19	0.439	0.369	0.308	0.466	0.180
22	4.83	1.24	0.491	0.402	0.326	0.488	0.195
24	4.83	1.26	0.503	0.442	0.338	0.506	0.216
26	4.86	1.29	0.527	0.475	0.360	0.521	0.226
28	4.88	1.30	0.543	0.503	0.384	0.536	0.241
30	4.89	1.34	0.552	0.530	0.387	0.558	0.256
35	4.91	1.36	0.558	0.600	0.421	0.579	0.287
40	4.93	1.38	0.646	0.661	0.448	0.613	0.314
45	4.95	1.40	0.674	0.713	0.469	0.640	0.338
50	4.97	1.43	0.701	0.765	0.497	0.658	0.357
55	5.00	1.46	0.713	0.805	0.509	0.683	0.378
60	5.00	1.46	0.719	0.838	0.539	0.707	0.396
70	5.04	1.47	0.735	0.902	0.558	0.735	0.427
80	5.05	1.50	0.744	0.954	0.582	0.762	0.445
90	5.07	1.59	0.768	0.991	0.616	0.786	0.472

Tablo 3 (devam)

Zaman (dakika)	P44 (m)	G1 (m)	G2 (m)	G3 (m)	G4 (m)	G5 (m)	G6 (m)
100	5.08	1.59	0.792	1.027	0.625	0.814	0.494
110	5.10	1.61	0.817	1.061	0.658	0.829	0.512
120	5.12	1.62	0.838	1.088	0.680	0.841	0.530
140	5.13	1.66	0.869	1.128	0.704	0.872	0.561
160	5.15	1.68	0.887	1.164	0.735	0.905	0.588
180	5.17	1.70	0.902	1.201	0.750	0.927	0.616
210	5.18	1.73	0.945	1.234	0.805	0.966	0.652
240	5.22	1.76	0.981	1.265	0.853	0.991	0.677
270	5.24	1.79	1.012	1.298	0.689	1.015	0.701
300	5.25	1.82	1.024	1.323	0.905	1.036	0.722
330	5.26	1.83	1.049	1.344	0.911	1.058	0.744
360	5.28	1.84	1.064	1.366	0.924	1.076	0.762
420	5.30	1.88	1.091	1.390	0.951	1.091	0.792
480	5.32	1.90	1.116	1.423	0.975	1.137	0.823
540	5.33	1.93	1.140	1.460	1.009	1.170	0.844
600	5.34	1.96	1.164	1.497	1.033	1.186	0.872
720	5.37	1.99	1.201	1.512	1.061	1.219	0.905
840	5.40	2.02	1.237	1.515	1.091	1.256	0.948
960	5.42	2.05	1.274	1.582	1.128	1.289	0.975
1080	5.44	2.07	1.298	1.612	1.146	1.317	0.997
1200	5.45	2.12	1.344	1.698	1.177	1.362	1.058
1680	5.48	2.16	1.366	1.701	1.244	1.402	1.088
1920	5.53	2.19	1.402	1.725	1.265	1.426	1.103
2160	5.54	2.20	1.426	1.743	1.286	1.448	1.134
2400	5.56	2.23	1.442	1.759	1.298	1.472	1.158
2640	5.58	2.26	1.454	1.801	1.320	1.503	1.186
3000	5.59	2.29	1.530	1.817	1.326	1.527	1.213
3360	5.61	2.30	1.527	1.838	1.381	1.545	1.225
3720	5.62	2.34	1.539	1.859	1.390	1.564	1.256
4080	5.64	2.35	1.573	1.878	1.414	1.524	1.280
4440	5.65	2.35	1.594	1.896	1.436	1.609	1.289
4800	5.66	2.36	1.612	1.911	1.451	1.625	1.311
5160	5.67	2.38	1.625	1.926	1.463	1.634	1.323
5520	5.68	2.39	1.631	1.939	1.475	1.640	1.338
5880	5.70	2.40	1.655	1.948	1.490	1.655	1.356
6240	5.68	2.40	1.661	1.957	1.494	1.673	1.356
6600	5.70	2.42	1.676	1.960	1.515	1.682	1.372
6960	5.70	2.43	1.689	1.966	1.518	1.695	1.384
7320	5.73	2.44	1.695	1.996	1.536	1.698	1.396
7680	5.72	2.44	1.698	1.990	1.530	1.695	1.393
8040	5.74	2.42	1.698	1.996	1.533	1.722	1.396
8400	5.82	2.45	1.722	1.996	1.548	1.716	1.417
8640	5.77	2.47	1.731	1.993	1.570	1.743	1.423

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi

9. 9. 1965

Doğum Yeri

Tokat

Lise

1980-1983

Lisans

1983-1988

Yüksek Lisans

1988-1990

Doktora

1990-1999

Çalıştığı Kurum 1989-Devam ediyor

YTÜ İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tokat Gazi Osman Paşa Lisesi