

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKİFER PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE
KULLANILAN ANALİTİK METOTLAR**

168461

İnşaat Mühendisi U. Öner ÖZDEMİR

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet Emin BİRPINAR

İSTANBUL, 2005

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKİFER PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE
KULLANILAN ANALİTİK METOTLAR

İnşaat Mühendisi U. Öner ÖZDEMİR

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet Emin BİRPINAR

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Prof.Dr. Yalçın YÜKSEL

İSTANBUL, 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	v
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Genel.....	1
1.2 Konunun Önemi	2
1.3 Çalışmanın Amacı	2
1.4 Çalışmanın Düzeni	2
2 AKİFERLER ve TİPLERİ.....	4
2.1 Genel.....	4
2.2 Serbest Yüzeyli Akifer	6
2.3 Basınçlı Akifer.....	8
2.4 Sızdırmalı Akifer	10
2.5 Özel Yapı ve Litoloji Değişim Şekillerine Göre Akifer Sınıfları.....	11
2.5.1 Senklinal Yapı	11
2.5.2 Eğimli Tabaka Artezyeni (Artesian Slope)	11
2.5.3 Litoloji Değişimi Artezyeni.....	11
2.5.4 Fay Artezyeni	11
2.5.5 Çatlaklı Külte Artezyeni	12
2.5.6 Birikinti Konisi ve Alüvyon Artezyenleri	12
2.5.7 Alüvyoner Akifer.....	12
2.5.8 Kıyı Alüvyoner Akifer.....	13
2.5.9 Kumul Akifer.....	13
2.5.10 Buzul Akifer	14
3 AKİFER ÖZELLİKLERİ	15
3.1 Porozite	15
3.2 Özgül Verim ve Özgül Su Tutma	15
3.3 Depolama ve Özgül Depolama Katsayısı	16
3.4 Permeabilite (Geçirgenlik) ve Hidrolik İletkenlik	19
3.5 İletkenlik	21
3.6 Homojenlik ve İzotropluk.....	21
3.7 Düşüm Konisi	22
3.8 Gecikmiş Verim.....	22
3.9 Yeraltı Suyu Akımının Temel Denklemleri	22
3.9.1 Darcy Kanunu.....	22
3.9.2 Süreklilik Denklemi.....	24

4	DENGELİ VEYA YARI DENGELİ YERALTI SUYU AKIM DURUMU İÇİN YAPILAN KABULLER VE GELİŞTİRİLMİŞ MODELLER.....	27
4.1	Giriş	27
4.2	Kabuller	27
4.2.1	Akifer Kabulleri.....	27
4.2.2	Yeraltı Suyu Akım Kabulleri.....	28
4.2.2.1	Dupuit-Forchheimer Kabulleri	28
4.2.3	Kuyu Kabulleri	30
4.2.4	Limit Şartları.....	30
4.2.4.1	Başlangıç Şartları.....	30
4.2.4.2	Sınır Şartları.....	31
4.2.4.3	Geçirimsiz Sınırlar.....	31
4.2.4.4	Kuyu Akifer Sürekliliği	31
4.2.4.5	Sınırsız Yaygınlık Şartı	32
4.3	Dengeli Akım Durumunda Basıncılı ve Serbest Akiferler İçin Geliştirilmiş Modellemeler.....	32
4.3.1	Basıncılı Akifer Modelleri.....	32
4.3.1.1	Theim Modeli	32
4.3.1.2	Şen Metotları	36
4.3.1.2.1	Şen Analitik Metodu.....	36
4.3.1.2.2	Şen Grafik Metodu	41
4.3.2	Serbest Yüzeyli (Basıncısız) Akifer Modelleri.....	43
4.3.2.1	Dupuit-Forchheimer Modeli.....	43
5	DENGESİZ YERALTI SUYU AKIM DURUMU İÇİN YAPILAN AKİFER SINAMALARI VE GELİŞTİRİLMİŞ MODELLER	46
5.1	Giriş	46
5.2	Parametre ve Değişkenler	46
5.3	Akifer Sınama Usulleri	50
5.4	Akifer Modelleri	50
5.4.1	Basıncılı Akifer Modelleri	51
5.5	Dengesiz Akım Durumuna İlişkin Denklemler	52
5.5.1	Süreklilik Denklemi.....	52
5.5.2	Kuyuya Doğru Dengesiz (Radyal) Akım	54
5.6	Basıncılı Akifer Modelleri	55
5.6.1	Theis Metodu.....	55
5.6.2	Jacob Metodu.....	58
5.6.2.1	Jacob Zaman – Düşüm Modeli	59
5.6.2.2	Jacob Mesafe – Düşüm Modeli	60
5.6.2.3	Jacob Birleşik Değişken (Mesafe-Zaman-Düşüm) Metodu	61
5.6.3	Singh Metodu	62
6	ARAZİ ÇALIŞMASI	65
6.1	Türkiye Elektrik Kurumu İçel - Gilindire - Akkuyu Nükleer Enerji Santrali İncelemesi	65
6.1.1	İncelemenin Amacı	66
6.1.2	İnceleme Alanının Yeri	66
6.1.3	İklim Bitki Örtüsü ve Yerleşme.....	66
6.1.4	Test Bölgesi	67

7	METOTLARIN UYGULANMASI	68
7.1	Arazi Çalışmalarından Alınan Sonuçlar Kullanılarak Dengeli Yada Yarı Dengeli Yeraltı Suyu Akımı Durumuna Göre Akifer Karakteristiklerinin Hesaplanması .	68
7.1.1	D.S.İ. Tarafından Açılan 22148/B Numaralı Pompaj Kuyusu ve Çevresindeki Kuyularından Elde Edilen Verilerle Akifer Karakteristiklerinin Bulunması	68
7.1.1.1	Theim Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması	68
7.1.1.2	Şen Grafik Metoduyla Depolama Katsayısının Bulunması.....	69
7.2	Arazi Çalışmalarından Elde Edilen Sonuçlar Kullanılarak Dengesiz Akım Durumuna Göre Akifer Karakteristiklerinin Hesaplanması	73
7.2.1	D.S.İ. Tarafından Açılan 22148/B Numaralı Kuyudan Akifer Karakteristiklerinin Bulunması	73
7.2.1.1	Theis Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması	74
7.2.1.2	Jacob Düz Çizgi (düşüm-zaman) Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması	78
7.2.1.3	Jacob Düz Çizgi (düşüm-mesafe) Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması	80
7.2.1.4	Jacob Düz Çizgi (düşüm-zaman-mesafe) Metodu Uygulaması	81
7.2.1.5	Singh Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması	86
8	SONUÇLAR.....	94
8.1	Arazi Verilerinden Elde Edilen Sonuçlar	94
	KAYNAKLAR.....	98
	EKLER	100
Ek 1	Tablo 1 Pompaj ve Gözlem Kuyularından Alınan Düşüm Değerleri.....	100
	ÖZGEÇMİŞ.....	103

SİMGE LİSTESİ

A	Kesit alanı $[L^2]$
b	Basınçlı akifer tabakası kalınlığı $[L]$
c	Karman – Kozeny malzeme katsayısı
d	Ortalama dane çapı $[L]$
D	Akifer kalınlığı $[L]$
g	Yerçekimi ivmesi $[L/T^2]$
G	Bulk ağırlığı $[M]$
h	Doymuş tabaka kalınlığı $[L]$
h	Pompaj başladıktan sonra kuyudaki su yüksekliği $[L]$
h_w	Kuyuda meydana gelen su yüksekliği $[L]$
H	Pompaja başlamadan önce kuyudaki su yüksekliği $[L]$
H_w	Sızma yüzeyi ile kuyu içerisindeki su yüksekliklerinin toplamı $[L]$
i	Hidrolik eğim
k	Hidrolik İletkenlik $[L/T]$
m	Doymuş tabaka kalınlığı $[L]$
n	Zeminin porozitesi
q_x, q_y, q_z	Birim debi değerleri $[L^3/T]$
Q	Kuyudan çekilen debi $[L^3/T]$
p	Suyun hidrostatik basıncı $[M/L^2]$
r	Gözlem kuyusu ile pompaj 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 yüzümlü akiferde düşüm $[L]$
s_M	Maksimum düşüm $[L]$
s_w	Kuyudaki düşüm $[L]$
S	Depolama katsayısı $[L]$
s_y, s_L	Özgül verim $[L]$

s_r	Özgöl su tutma $[L]$
s_s	Birim depolama $[1/L]$
s_E	Erken zaman depolama katsayısı
t	Kuyu işletme süresi $[T]$
T	Akifer 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 çekilmiş kısmın hacmi $[L^3]$
V_d	Akiferden çekilebilen su hacmi $[L^3]$
V_r	Akiferde 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
$W_{(u_1)}$	İmaj kuyusunun fonksiyonu
α	Ortamın sıkışabilirliği
β	Drenaj faktörü
$1/\beta$	Boulton gecikme indisi
γ_b	Bulk yoğunluğu $[M/L^3]$
κ	Boşluklu ortamın permeabilitesi $[L/T]$
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

KISALTMA LİSTESİ

DSİ	Devlet Su İşleri
TEK	Türkiye Elektrik Kurumu



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Akifer kesiti	4
Şekil 2.2 Zemin cinsine göre geçirimsizlik değerleri	5
Şekil 2.3 Akifer tabaka kalınlığı	5
Şekil 2.4 Kuyu civarındaki yeraltı su seviyesi ve doymuş tabaka kalınlığı kesidi.....	6
Şekil 2.5 Amerika'daki Missouri ve Big Last River nehirlerinin yeraltı suyu tablası haritaları	7
Şekil 2.6 Tünek akifer kesiti	8
Şekil 2.7 Basınçlı akifer kesidi	9
Şekil 2.8 Sızdırmalı akifer kesiti.....	10
Şekil 3.1 Bulk ağırlık elemanları	17
Şekil 3.2 Birim alan için bulk ağırlığı.....	18
Şekil 3.3 Darcy deney cihazı	23
Şekil 3.4 Kontrol hacmi	25
Şekil 4.1 Kuyu etrafındaki akım şebekesi	29
Şekil 4.2 Basınçlı akifer kesiti	33
Şekil 4.3 Mesafeye karşı düşümün işaretlenmesi	35
Şekil 4.4 Şematik düşüm-mesafe grafiği	42
Şekil 4.5 Basıncsız akifer sızma yüzeyi.....	44
Şekil 5.1 Farklı iletkenlik katsayıları	47
Şekil 5.2 Farklı depolama katsayıları	47
Şekil 5.3 Farklı sızma katsayıları.....	48
Şekil 5.4 Farklı zaman-düşüm ilişkileri.....	48
Şekil 5.5 Farklı mesafe-düşüm ilişkileri	49
Şekil 5.6 Karakteristik eğriler.....	49
Şekil 5.7 Modelleme aşamaları.....	51
Şekil 5.8 Değişik akifer modelleri	51
Şekil 5.9 Basınçlı akifer modelleri	52
Şekil 5.10 Theis tip eğrisi	57
Şekil 5.11 Yarı logaritmik kağıtta doğrusal model.....	58
Şekil 5.12 Jacob zaman düşüm grafiği	60
Şekil 6.1 Test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü.....	67
Şekil 7.1 Theim grafik metodu uygulaması.....	69
Şekil 7.2 A ve B gözlem kuyuları için Şen grafik metodu	70
Şekil 7.3 A ve E gözlem kuyuları için Şen grafik metodu	71
Şekil 7.4 A ve H gözlem kuyuları için Şen grafik metodu	72
Şekil 7.5 A ve L gözlem kuyuları için Şen grafik metodu	72
Şekil 7.6 B ve H gözlem kuyuları için Şen grafik metodu	73
Şekil 7.7 Ana kuyudan 22.75 m uzaktaki A gözlem kuyusunda Theis metodu uygulaması	74
Şekil 7.8 Pompaj kuyusundan 42m uzaktaki B gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	75
Şekil 7.9 Pompaj kuyusundan 100m uzaktaki E gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması.....	76
Şekil 7.10 Ana kuyudan 152.5m uzaktaki H gözlem kuyusunda Theis metodu uygulaması.	77
Şekil 7.11 Pompaj kuyusundan 226m uzaktaki L kuyusunda Theis metodu uygulaması.....	78
Şekil 7.12 Gözlem kuyularına Jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metodu uygulanması	79
Şekil 7.13 Açılan 22148/B numaralı pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 30. dakika için Jacob düz çizgi (düşüm-mesafe) metodu uygulanması	81
Şekil 7.14 22148/B pompaj kuyusuna ait A gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi	

	(düşüm-zaman-mesafe) metodu	82
Şekil 7.15	22148/B pompaj kuyusuna ait B gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu	83
Şekil 7.16	22148/B pompaj kuyusuna ait E gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu	84
Şekil 7.17	22148/B pompaj kuyusuna ait H gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu	85
Şekil 7.18	22148/B pompaj kuyusuna ait L gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu	86
Şekil 7.19	Pompaj kuyusuna ait A gözlem kuyusunda uygulanan Singh metodu.....	87
Şekil 7.20	A gözlem kuyusu için Singh metodu.....	88
Şekil 7.21	A gözlem kuyusu için Singh metodu.....	89
Şekil 7.22	B gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu	90
Şekil 7.23	E gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu.....	91
Şekil 7.24	H gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu	92
Şekil 7.25	L gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu.....	93
Şekil 8.1	Depolama katsayısı değerlerinin grafik üzerinde gösterilmesi.....	97



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Çeşitli malzemelerin porozite değerleri.....	15
Çizelge 3.2 Özgül verim değerleri	16
Çizelge 3.3 Tabii zeminlerde permeabilite ve hidrolik iletkenlik değerleri	20
Çizelge 3.4 Hidrolik iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri	20
Çizelge 5.1 Theis tip eğrisi değerleri	56
Çizelge 5.2 Çeşitli u değerlerine göre denklemin hata seviyeleri.....	59
Çizelge 8.1 22148/B olarak belirtilen kuyu takımından çeşitli metotlarla elde edilen iletkenlik değerlerinin (m^2 / sn) cinsinden karşılaştırılması	99
Çizelge 8.2 22148/B olarak belirtilen kuyu takımından çeşitli metotlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması	99

ÖNSÖZ

Canlıların en önemli ihtiyacı olan suyun önemi, gün geçtikçe artan kirlenme ve dünya nüfusunun artışına bağlı olarak artmaktadır. Bu önem neticesinde su kaynaklarının ve kaynakların kapasitelerinin doğru tespiti önem kazanmaktadır. Yeraltı su kaynaklarının nispeten yüzeysel sulara oranla daha fazla olması, yeraltı suyu araştırmaları ve araştırmacılarının artmasına sebep olmuştur. Bu araştırmalarla günümüzde önemli saptamalara ulaşılmıştır.

Bu tezde yeraltı suyu potansiyelinin belirlenmesine yönelik olarak literatürdeki metotlar kullanılarak akiferin iletkenlik ve depolama katsayısı hesaplanmıştır. Metotlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmamı yöneten, beni daima destekleyen ve yönlendiren Doç. Dr. Mehmet Emin BİRPINAR 'a şükranlarımı sunarım. Ayrıca tezin hazırlanmasında görüş ve tavsiyelerinden istifade ettiğim Dr. Şükrü Ayhan GAZİOĞLU 'na teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2005

İnş. Müh. U. Öner ÖZDEMİR



ÖZET

Yeraltı suyu akım parametrelerini belirlemek, yeraltı suyu potansiyelinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Parametreleri belirlemede uygulanan geleneksel ve yenilikçi metotlarla elde edilen iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) değerleri tezde verilmektedir.

Tez çalışmasının birinci bölümünde konunun önemi, amacı, yöntemi ve düzeni hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, akifer ve akifer tipleri konusu kapsamlı olarak incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, akifer parametrelerinin temel özellikleri, literatürden incelenerek açıklamaları yapılarak verilmiştir.

Dördüncü bölümde, akifer parametrelerinin belirlenmesinde dengeli veya yarı dengeli yeraltı suyu akımı kabulüne göre geliştirilmiş metotlar incelenmiştir.

Beşinci bölümde, akifer parametrelerinin belirlenmesinde dengesiz yeraltı suyu akımı kabulüne göre geliştirilmiş metotlar incelenmiştir.

Altıncı bölümde, İçel'de T.E.K. tarafından yaptırılması düşünülen nükleer enerji santrali için yapılan inceleme ve santralin ihtiyaç duyduğu 50lt/sn lik temiz su ihtiyacını karşılayabilmek için Devlet Su İşleri tarafından açılan 22148-B numaralı pompaj kuyusu ve onun etrafında açılan gözlem kuyularının incelemeleri verilmiştir.

Yedinci bölümde, arazi verilerine dördüncü ve beşinci bölümlerde verilen metotlar uygulanmıştır.

Sekizinci bölümde, uygulanan metotlardan elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların ışığı altında yapılan yorumlar verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akifer parametreleri, iletkenlik, depolama katsayısı, pompaj ve gözlem kuyuları

ABSTRACT

It is very important to determine groundwater flow parameters for identifying of groundwater potential. Transmissivity (T) and storage coefficient (S) has been given in this thesis by using classical and new methods which is used in identifying of parameters.

In the first section of the thesis, some information about importance, aim, methodology and formation of this study has been given.

In the second section, a comprehensive examination on aquifer and aquifer types has been made.

In the third section, principal properties of aquifer parameters have been examined based on literature and their explanations have been given.

In the fourth section, the methods which were developed as based on steady groundwater flow have been examined in determining aquifer parameters.

In the fifth section, the methods which were developed as based on un-steady groundwater flow have been analyzed in determining aquifer parameters.

In the six section, an examination, made for nuclear energy station which is planned to construct in İçel by T.E.K. and investigations of pumping well (No: 22148-B), drilled by D.S.İ. to ensure 50 lt/sec clean water for the nuclear station, and observation wells have been given.

In the seventh section, the methods given in the forth and fifth sections have been applied on field data.

In the eighth section, the results of performed method and comment have been given.

Keywords: Aquifer parameters, transmissivity, storage coefficient, pumping and observation wells.

1. GİRİŞ

1.1 Genel

Canlılar yaşayabilmek için suya ihtiyaç duymaktadırlar. Akarsu, göl, deniz gibi kaynaklar ve kütlelerin boşluk yada çatlaklarından canlılar su ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artması, sanayileşmeyle birlikte endüstri kullanım suyu ihtiyacının fazlalaşması sonucu bu kaynaklara duyulan ihtiyaç da gün geçtikçe artmıştır. Kuraklığın yoğun yaşandığı bölgelerde, yeraltı suyu kaynağının tespiti için yapılan araştırmalar ve bu araştırmalarından elde edilen sonuçlar çok daha önem kazanmaktadır. Suyun yeraltındaki hareketi, yeryüzüne tekrar çıkartılması, hidroloji ve yeraltı suyu hidrolojisinin belli başlı konuları arasında olmuştur (Freeze ve Cherry, 1979). Bu durum bilim adamlarını yeraltı suyu konusunda daha kapsamlı araştırmalar yapmaya sevk etmiştir.

Yeryüzündeki suların yüzdesel olarak tahminini Nace (1971) ve Lvovitch (1970) 1970'li yıllarda yapmışlardır. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre dünya yüzeyindeki suyun %94'lük kısmı okyanus ve denizlerde bulunmaktadır. Bu sular aşırı tuzlu olduklarından içme, kullanma, endüstriyel alanda, tarımsal sulama ihtiyacında vb. kullanılamamaktadırlar. Yeraltı suyu potansiyelinin tahmini olarak, dünya tatlı su kaynaklarının 2/3'ünü teşkil ettiği bilinmektedir. Yeraltı suyu kaynakları toplam tatlı su kaynaklarının %95'ini teşkil etmektedir (Freeze ve Cherry, 1979).

İçme, kullanma, endüstri vb. gibi temiz su ihtiyacının yeraltı suyundan karşılanmasına örnek olarak, İngiltere'nin başkenti Londra'nın ihtiyacının %20'si, Almanya'nın %70'i, İstanbul'un da ihtiyacının yaklaşık %5'i verilebilir.

Yeraltı suyu mühendisliği, yeraltında mevcut olarak bulunan suların kapasitesi kullanılabilmesi gibi problemlerin çözümüyle ilgilidir. Akifer testlerinde, yeraltı suyunun tabakalaşması, derinliği ve formasyonu incelenir. Akifer testleri yardımıyla akifere ait iletkenlik (T), depolama katsayısı (S), hidrolik iletkenlik (k), özgül verim (Sy) ve kuyulardaki düşüm miktarı (s_w) belirlenir.

1.2 Konunun Önemi

Akiferlere ait iletkenlik, depolama katsayısı, hidrolik iletkenlik, özgül verim gibi katsayıların doğru tespiti, yöredeki su kaynaklarının kapasitelerinin anlaşılması açısından oldukça önemlidir. Akiferler için yapılan bu çalışmalara akifer testleri adı verilir. Bu testler yardımıyla (T,k,S) gibi akifer karakteristik değerleri belirlenir. Kuyu testleri yardımıyla, kuyunun özgül verimi ve debi-düşüm değerlerine ulaşılır.

1.3 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, herhangi bir akifere ait parametreler olan, iletkenlik (T) ve depolama katsayılarının (S) analitik metot uygulamalarıyla bulunmasıdır. Geleneksel metotlarla akifer parametrelerin tespiti, hem pahalı hem de uygulamada eğri çakıştırma gibi karmaşık yöntemler içermektedir. Günümüzde daha basit analitik yöntemlerin uygulanması gerekmektedir. Oldukça önemli olan akifer parametrelerinin tespiti için geliştirilen basit yöntemlerle, yeraltı suyu konusuyla ilgili araştırma ve uygulamalar yapan mühendislerin çalışmaları kolaylaşacaktır. Singh metodu bu bakımdan diğer metotlara göre, uygulaması kolay ve uygun sonuçlar elde edilen bir metottur. Bu çalışmada akifer parametrelerinin tespitini kolaylaştıran Singh metodunun açıklaması ve uygulaması verilmiştir.

1.4 Çalışmanın Düzeni

Bölüm 2’de ilk olarak akiferin tanımı yapılmaktadır. Daha sonra akiferlerin oluşum şekilleri ve belirgin özelliklerine göre sınıflandırılmaları ve açıklamaları yapılmıştır.

Bölüm 3’de akiferlerin temel özelliklerine değinilmiş ve parametrelerinin hesaplarında kullanılan temel denklemler açıklanmıştır.

Bölüm 4’de dengeli veya yarı dengeli yeraltı suyu akımına göre akifer parametreleri bulunurken yapılan kabuller ve bu kabullere göre geliştirilmiş metotlar verilmiştir.

Bölüm 5’de dengesiz yeraltı suyu akımı kabulüne göre geliştirilmiş metotlar verilmiştir.

Tez çalışmasında, D.S.İ. tarafından İçel-Gilindire-Akkuyu yöresinde açılmış pompaj ve gözlem kuyularından alınan düşüm-zaman değerleri kullanılmıştır. Bölüm 6'da bu bölgede yapılmış inceleme, incelemenin amacı ve kuyu yerleşim planı verilmiştir.

Bölüm 7'de, Tablo 1'de verilen arazi dataları, dengeli ve dengesiz akım kabullerine göre geliştirilmiş literatürdeki analitik metotlara uygulanmış ve akifere ait iletkenlik (T) ve depolama katsayısı (S) değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ve hesaplamalar grafikler halinde verilmiştir.

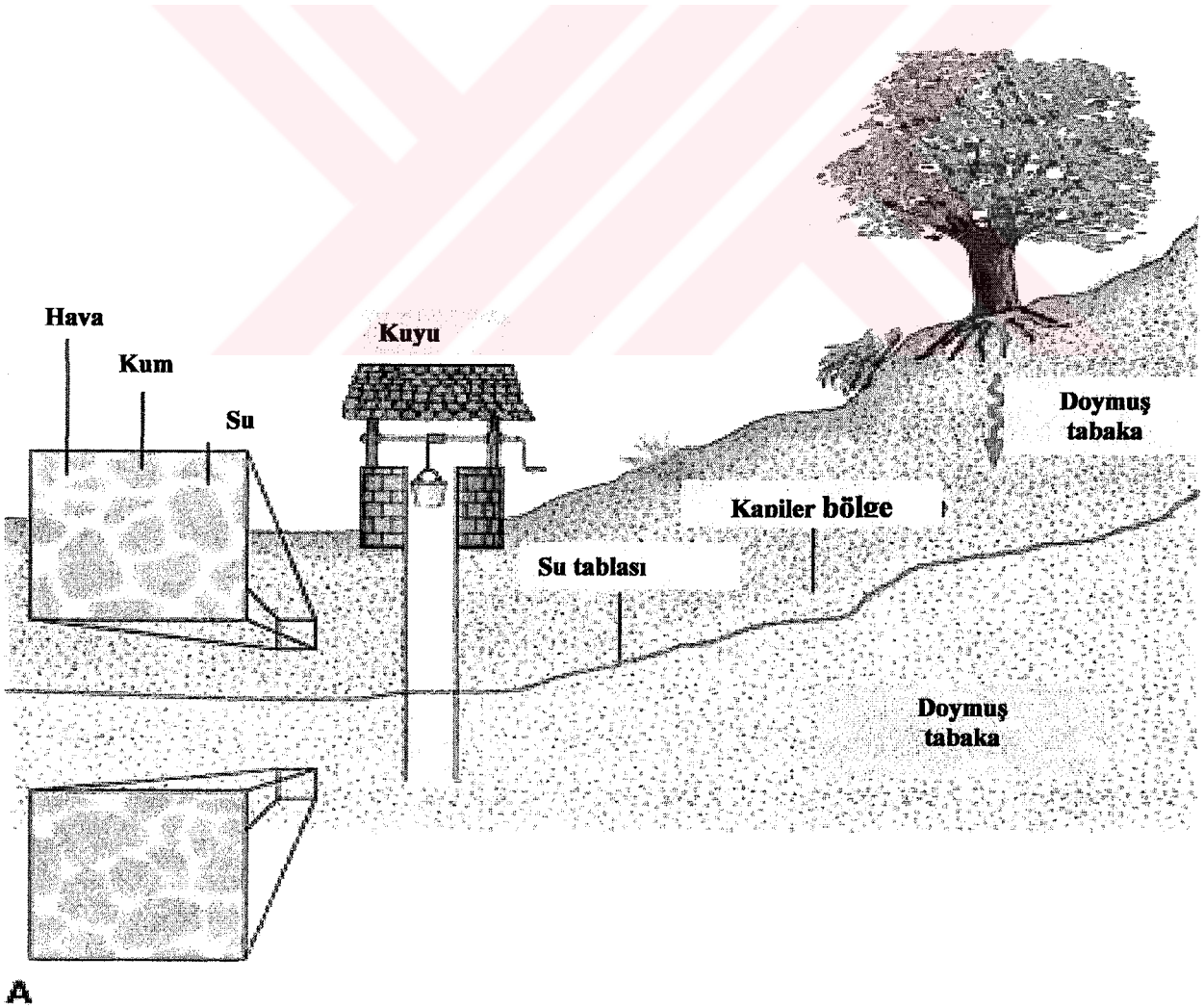
Uygulamalardan elde edilen sonuçlar ve sonuçlara ilişkin değerlendirmeler Bölüm 8'de verilmiştir.



2. AKİFERLER VE TİPLERİ

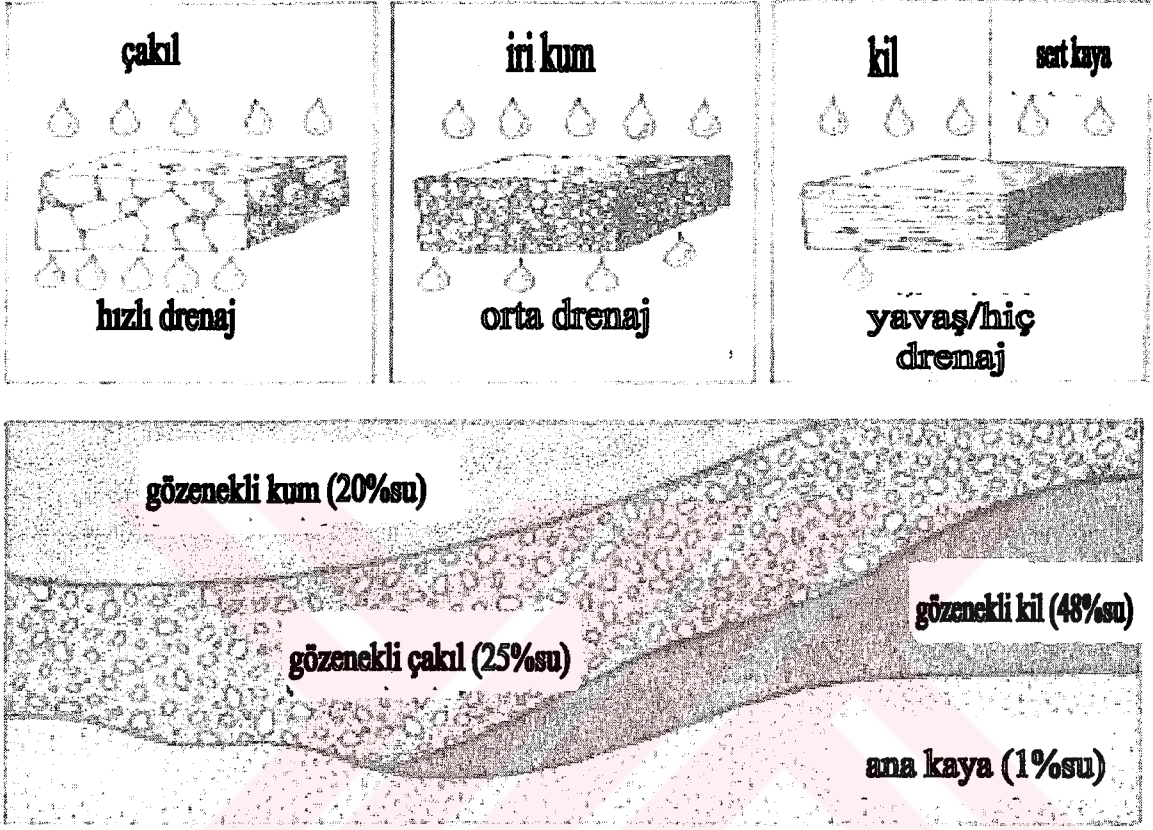
2.1 Genel

Şekil 2.1 de bir akifer kesiti gösterilmiştir. Yeraltında çeşitli litolojik külteler bulunmaktadır. Bu kültelerin su tutma dereceleri litolojik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Yeraltında yalnız homojen, izotrop ve geçirimli külteler bulunsaydı yeraltı suyu ile ilgili problemler bilinen hidrolik prensiplerle kolayca çözülebilirdi. Halbuki durum böyle değildir. Yeraltında bulunan külteler genellikle heterojen, anizotrop, birbirinin içine girmiş, düşey ve yanal doğrultuda değişimli dolayısı ile değişik hidrolojik karakterdedir. Hidrolojik çalışmalarda öncelikle yeraltının litolojisi ve jeolojik yapısı araştırılır.



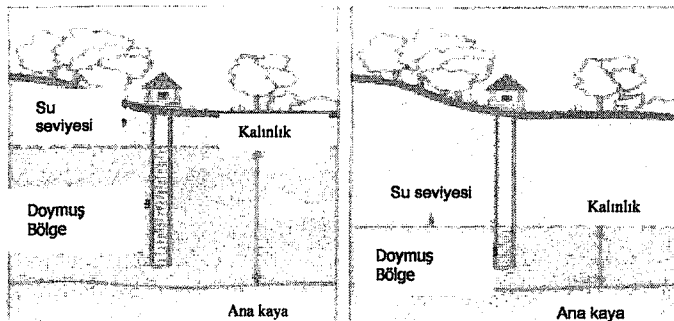
Şekil 2.1 Akifer kesiti

Şekil 2.2 de görüldüğü gibi zemin cinsine göre suyun drenaj hızı ve su tutma yüzdesi farklıdır. Jeolojik formasyonların bazı türlerinde, yeraltı suları toplanabilir ve kaynaklarla yada pompajla bu su alınabilir. Bu tür tabaka yada formasyonlara “Akifer” yada “Nap” denir. (Aqui=Aqua=su ; Fer =Ferra =taşıyan anlamındadır).



Şekil 2.2 Zemin cinsine göre drenaj hızı ve su tutma yüzdesi

Bir bölgede 0,05 lt/sn su veren bir formasyon (akifer) bulunduğu gibi başka bir yerde 50 lt/sn su veren formasyonlar bulunabilir. Bu tabakanın su ile doymun olan kısmın üst yüzüne “Akifer Seviyesi” denir. Serbest yüzeyli akiferde yeraltı su seviyesiyle altındaki geçirimsiz tabaka arasındaki uzaklık önemlidir. Bu uzaklığa akifer tabakası kalınlığı denir (Şekil 2.3).

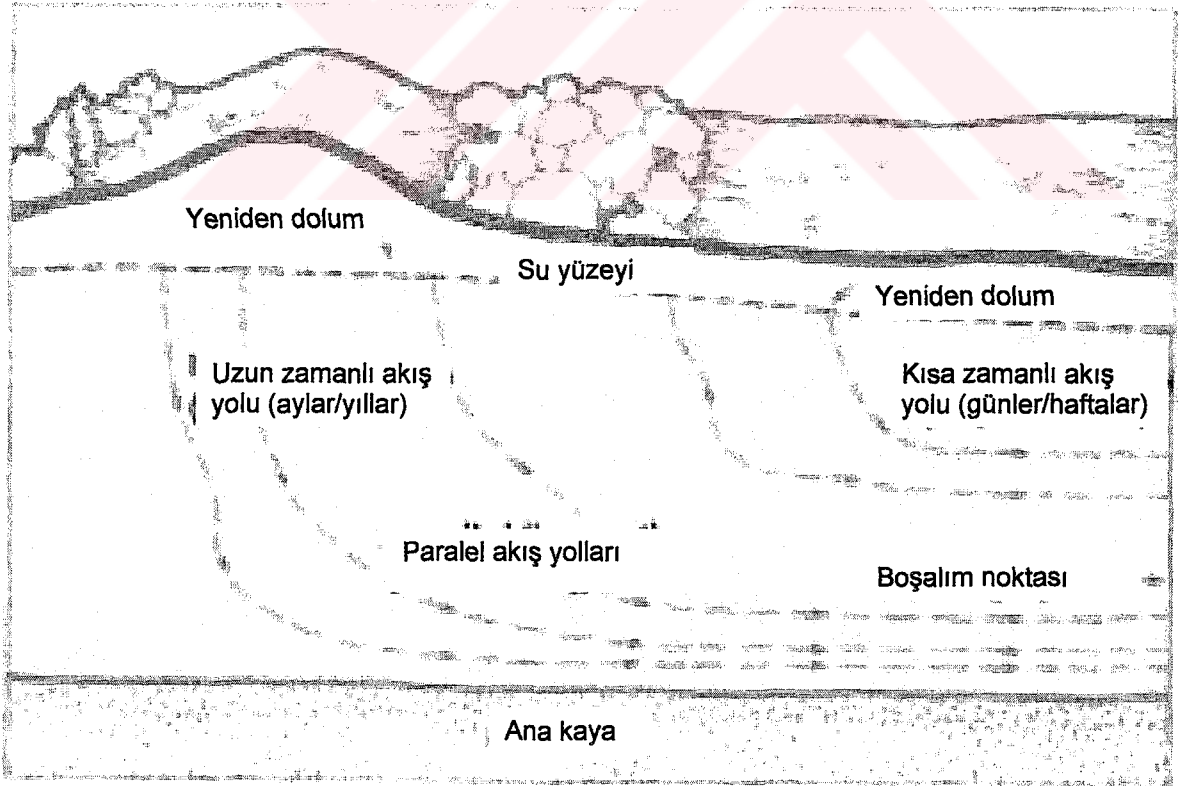


Şekil 2.3 Akifer tabaka kalınlığı

Akiferler genel olarak “Serbest Akifer”, “Basınçlı Akifer”, “Sızdıran Akifer” olarak üç esas gruba ayrılabilir. Serbest ve basınçlı akiferlerin üst üste bir arada bulunan türüne “Karışık Akifer” denir.

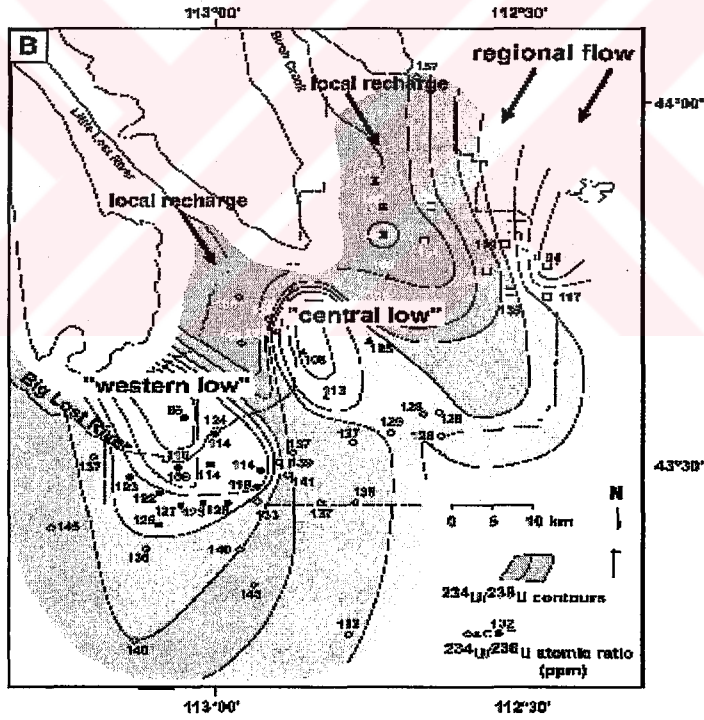
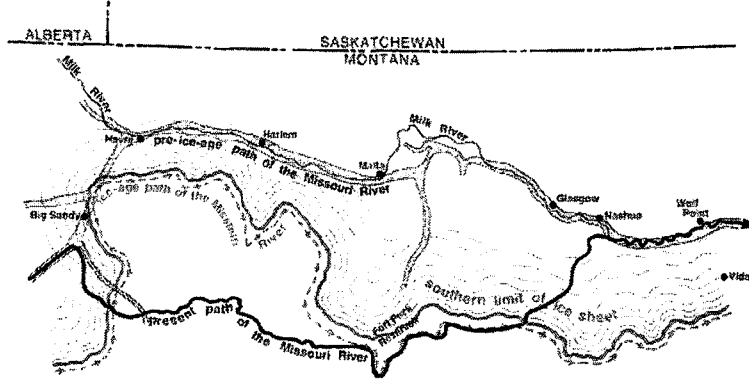
2.2 Serbest Yüzeyli Akifer

Her taraftan su alabilen bir arazi içinde bulunan yeraltı sularına “serbest yüzeyli akifer”, “serbest nap”, “freatik nap” denir. Bu tip akiferlerin üstlerinde yağış sularının sızmasını engelleyen geçirimsiz bir tabaka yoktur, altlarında ise yarı geçirgen veya geçirgen olmayan bir tabaka bulunur. Bu tür akiferlerin içindeki yeraltı suyunun üst yüzlerine “statik su seviyesi” ismi verilir. Bu gibi yerlerde yeraltı suyu hesaplamalarında, bir taraftan doygun tabaka kalınlığının sabit kalmamasından, diğer taraftan ise kuyu civarında doygun tabaka kalınlığının kuyudan uzak noktalara göre daha da azalmasından, analitik çalışmaların yapılmasında zorluklarla karşılaşılır. Bunların sonucu olarak, Şekil 2.4’te görüldüğü gibi akım çizgileri birbirine özellikle düşüm konisi içinde paralel değildir, ayrıca kuyu yüzeyinde meydana gelen sızma yüzeyi de ilave zorluk getirir.



Şekil 2.4 Kuyu civarındaki yeraltı su seviyesi ve doygun tabaka kalınlığı kesidi

Şekil 2.5'te gösterildiği gibi bir bölgede statik su seviyeleri ölçülerek o bölgenin “yeraltı su tablası haritası (Water Table Nap)” meydana getirilir. Bu haritalar yardımıyla yeraltı suyunun dağılışı, akışı ve nerelerden su alınabileceği saptanabilir.



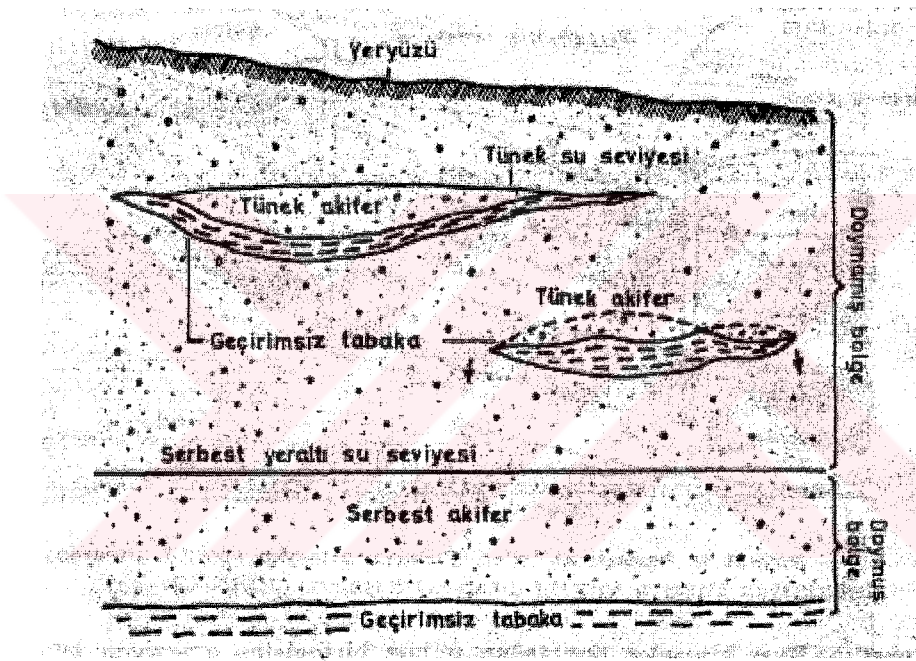
Şekil 2.5 Amerika'daki Missouri ve Big Last River nehirlerinin yeraltı suyu tablası haritaları

Serbest akifer yüzeyi ile yeryüzü arasındaki uzaklık;

- Napın beslenme koşullarına
- Boşalma yerine doğru olan akımın hızına bağlı olarak değişir.

Serbest napların üst yüzleri bir düzlem şeklinde değildir. Bu su taşıyan kütlelerin cinsine, tektonik yapısına ve topografyaya göre değişik olur. Örneğin kalkerli arazide, çatlaklı metamorfik kayalarda, granitlerde, kumlu, killi tabakalarda başka başkadır.

Serbest akiferlerde bazen su zeminin üst yüzüne kadar çıkarak bataklıkları oluşturabilir. Bu olay serbest akiferlerin en önemli özelliğidir, “tünek akiferlerde” serbest akiferler arasında sayılabilir. Bunlar yeraltında doymamış bölgede, merccek şeklindeki geçirimsiz seviyeler üzerinde ve bulunan suların oluşturduğu akiferlerdir. Bu tür akiferlerin üst seviyesine “tünek akifer seviyesi” ismi verilir (Şekil 2.6).



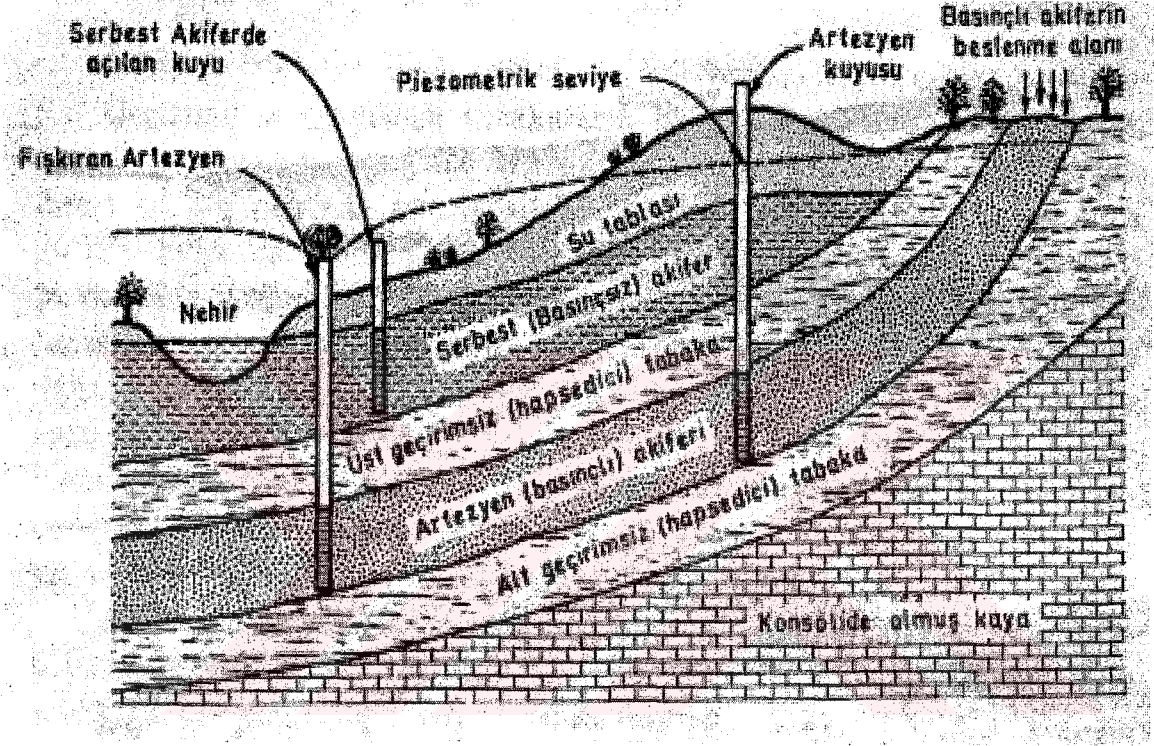
Şekil 2.6 Tünek akifer kesiti

2.3 Basıncılı Akifer

Atmosfer basıncından daha fazla bir basınç altında bulunan yeraltı sularına “basıncılı su”, “basıncılı akifer”, “artezyen” veya “kaptif nap” denir. Bunlar iki veya daha fazla geçirimsiz tabakanın arasında bulunan akiferlerdir. Bu gibi yerlerde su taşıyan tabakaya kadar inen bir sondaj yapılırsa, yeraltı suyunun sondaj borusu içinde, akifer tabakasının su ile doymuş olan üst kotunun hemen altına kadar yükseldiği görülür (Şekil 2.7).

Basıncılı akiferlerde su bazen yeryüzüne fışkırır ve akar. Bu tür basıncılı naplara “fışkıran artezyen”, “akan artezyen”, “pozitif artezyen”, “flowing well” denir. Bunlarda sondajın sıfır

başlangıç kotu basınçlı akiferin beslenme kotundan aşağıdadır. Bazen de su, sondaj borularında yükselir fakat yüzeyden akamaz. Buna “yükselen artezyen”, “negatif artezyen” denir. Basınçlı akiferlerde yeraltı suyunun yükseldiği en üst noktaya “piezometrik seviye” denir. Doğada bazen basınçlı akiferler üst üste bulunur. Bunlara da “üst üste bulunan (superpose) basınçlı akifer” denir. Bazen de yer yer serbest, yer yer basınçlı akifer karakterinde su taşıyan tabakalar görülür. Bunlara da “karışık akifer” denir.



Şekil 2.7 Basınçlı akifer kesidi

Bu tür akiferlere alüvyonlarda, birikinti konilerinde ve çatlaklı kütlelerde rastlanabilir.

Basınçlı akifer türleri;

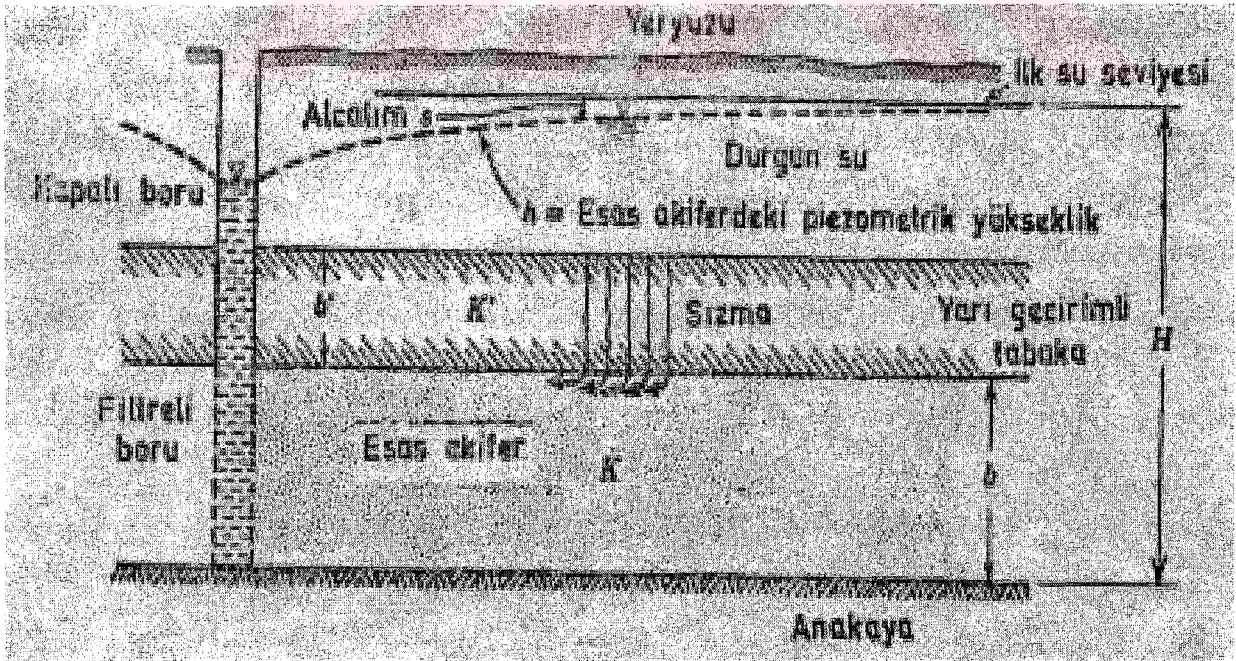
- 1) Birikinti konisi artezyeni,
- 2) Çatlaklı kütle artezyeni,
- 3) Faylı tabaka artezyenidir.

Çeşitli kültelerin içinde basınçlı akiferlerin oluşması için bazı ön koşulların bulunması gerekir. Bunların en önemlileri;

- 1) Yeterli yağış ve beslenme alanı olması
- 2) Boşluklu kültelerin, dolaysız yada dolaylı beslenmesi
- 3) Akiferlerin alt yada üstünde geçirimsiz tabakaların bulunması
- 4) Tabaka yapısının yeraltı sularının basınç kazanmasına uygun özellikte (eğik, kıvrık, kırık) olmasıdır.

2.4 Sızdırmalı Akiferler

Akiferlere giren ve akiferlerden alınan su miktarları son yıllarda bir çok yerde doğruya yakın şekilde ölçülmüş ve bu ölçümlerde akiferden alınan su miktarlarının akifere girenden daha çok olduğu durumlar görülmüştür. Bunun üzerine akiferlerin alt yada üstlerinde bulunan geçirimsiz yada yarı geçirimli tabakaların suları sızdırdıkları saptanmış ve bu tür akiferlere, “sızdıran akifer” denmiştir (Şekil 2.8). (K) akiferinin üstünde bulunan, yarı geçirgen, killi siltli tabakalardan her iki yönde su hareketi meydana gelmektedir. (K) akiferinden pompajla fazla su alındığında yarı geçirimli, sızdıran (K') akiferi, üstteki serbest akiferden suyu (K) akiferine iletmektedir. Bundan dolayı yeraltı suları hidroliği ile uğraşanlar “sızdırma faktörü” ve “sızdırma katsayısı” gibi iki katsayı tanımlayarak bunları akifer parametrelerinin hesaplarında göz önüne almışlardır.



Şekil 2.8 Sızdırmalı akifer kesiti

2.5 Özel Yapı ve Litoloji Değişim Şekillerine Göre Akifer Sınıfları

2.5.1 Senklinal Yapı

Geçirimli ve geçirimsiz tabakaların hafifçe kıvrılarak bir çukurluk, senklinal yapı meydana getirmesidir. Bu türde, geçirimli tabakada bulunan su her noktada basınç altındadır. Artezyen kuyularında akış sırasında sürtünme ile enerjinin kaybolması nedeniyle suların sondaj borularında yükselmesi teorik yükseklikten (piezometrik seviyeden) daima aşağıdadır.

Bir havzada çok sayıda basınçlı akifer bulunuyorsa, en alttaki akiferin suyu en yüksek seviyeye çıkar, çünkü seviye farkı dolayısıyla hidrostatik basınç burada en fazladır. Bunu deneylerle de göstermek mümkündür. Güney Afrika'da (Kynuma) yapılan sondajlarda değişik kalınlıkta 22 adet basınçlı akifer geçilmiş ve bütün akiferlerde suyun yükselmesinin derinlikle değiştiği görülmüştür. 600m derindeki en derin kuyuda, su yeryüzündeki borudan 22 m yüksekliğe kadar fişkırmıştır.

2.5.2 Eğimli Tabaka Artezyeni (Artesian Slope)

Geçirimsiz ve geçirimli tabakaların bir yöne hafifçe eğimli olması yada monoklinal bir yapı göstermesi durumudur. Bu şekildeki eğimli tabaka artezyenlerine Trakya Lüleburgaz ve Bakırköy havzaları tipik birer örnektir.

2.5.3 Litoloji Değişimi Artezyeni

Eğimli tabakanın litolojisinin yanal olarak değişmesi, yani çakıllı kumlu akiferin kumlu siltli, geçirimsiz ve su vermez hale gelmesi basınçlı yeraltı sularının oluşması için yeterlidir.

2.5.4 Fay Artezyeni

Eğimli tabakaların bir fayla kesilmesi ve geçirimsiz bir perdenin oluşmasıyla eğimli tabaka yüzeyinden gelen sular basınç kazanırlar ve artezyen tipinde akiferin oluşmasına sebep olur.

2.5.5 Çatlaklı Külte Artezyeni

Çeşitli yönlerde, çatlaklı ve kırıklı derinlik külteleri, metamorfik şistler ve şeyller ender de olsa artezyen karakterinde su verebilirler. Fakat genelde çatlaklarda az su toplandığından sondaj verimli olmaz.

2.5.6 Birikinti Konisi ve Alüvyon Artezyenleri

Akarsuların getirdiği değişik litolojideki ve yapıdaki birikinti konisi malzemesi ve taşkınlarla oluşan alüvyoner akiferlerde, basınçlı veya basınçsız karakterde su veren bölgeler bulunur. Bunların bir kısmı adi kuyu türünde bir kısmı da akan artezyen türünde su verir. Türkiye’de her iki türe ait birçok örnek vardır. Dağların aralarındaki ovalarda ve arkalarında yüksek dağlar bulunan birikinti konilerinde karışık türdeki akiferlere çok rastlanır. Hemen hemen her memlekette klasik olmuş artezyen havzaları vardır. Türkiye’de Bakırköy - İstanbul, Trakya, Konya, İngiltere’de Londra, Fransa’da Paris, Amerika’da South Dakota vb. Bu artezyen havzalarından çok eskiden beri faydalanılmaktadır, hatta ihtiyaçtan fazla su alınmaktadır. Bundan dolayı akan artezyenler, negatif artezyen haline gelmekte, piezometrik seviyeleri alçalmaktadır. Seviye alçalmaları bazı havzalarda dikkatle kaydedilmekte ve yeraltı su seviyesi haritaları yapılmaktadır. South Dakota’da her yıl 180cm bir alçalmanın olduğu saptanmıştır. İstanbul – Bakırköy havzalarında da yeraltı su seviyesindeki düşmeler yılda 0,10 – 2m arasında değişmektedir.

2.5.7 Alüvyoner Akifer

Yeraltı sularını en çok toplayan ve veren akifer türüdür. Akiferlerin suyu toplaması ve vermesi, bunları oluşturan malzemenin boyutlarına, dizilişlerine, biçimine, homojen yada heterojen oluşuna, kil ve silt boyutlu tanelerin azlığına ve çimentolanma derecesine bağlı olarak değişmektedir. Bu sayılan özellikler akiferin özgül verimini, porozitesini, permeabilitesini ve transmisibilitesini etkilemektedir. Bu türe örnek olarak;

- a) Akarsuların getirileriyle oluşan vadi alüvyonları
- b) Deniz kıyılarında oluşan kıyı alüvyonları
- c) Akarsuların kıyılarda biriktirdiği delta oluşumları
- d) Rögarların oluşturduğu lös ve dünler

e) Buzulların getirdiği morenler ve tiler

Vadi ve birikinti konisi akiferlerinde ayrık malzemenin, iri çakıl, kum, silt ve kilin, dağılışı son derece karışıktır. Çoğu zaman bir düzen ve homojenlik göstermez, değişkenlik esastır. Bazen kil, silt bazen de kum-çakıl baskın olur. Bundan dolayı su vermeye, granülometri, kompaksiyon ve çimentolanma dereceleri etki yapar.

Alüvyonel akiferlerde çoğunlukla 1-5 lt/sn su alınabilmektedir. Alüvyon akiferlerden sondaj yapmadan ne kadar su alınacağını kestirmek mümkün değildir. Akifer kalınlığı, genişliği, temeli ve permeabilite katsayısı bilindiğinde alınacak su yaklaşık olarak tahmin edilebilir.

Yağışı bol olan ve civarında akarsu bulunan alüvyoner akiferlerin sularından yurdumuzun birçok yerinde adi, keson ve sondaj kuyusu yardımıyla yararlanılır (İzmit, Bursa, Yenişehir, İnegöl, Balıkesir ovası). Civarında jipsli seriler bulunan havzalarla kurak ve yarı kurak bölgelerdeki alüvyoner akiferlerden elde edilecek suların kalitesi ise çoğu zaman kötüdür. Na, Mg, SO₄, Cl, CO₃ konsantrasyonunun fazla olması sebebiyle suların sertlikleri yüksektir. İçme ve sulama amaçlı kullanılamazlar (Eskişehir, Ankara, Kırşehir, Sivas).

2.5.8 Kıyı Alüvyoner Akifer

Akarsuların sürükleyip getirdiği malzemenin kıyılarda birikmesiyle değişik şekil ve büyüklükte deltalar ve kıyı alüvyonları oluşmaktadır. Malzeme çoğunlukla kum silt ve kildir. Elektrik logları, sismik yöntemler ve araştırma sondajlarıyla yeraltındaki geçirimli ve geçirimsiz kısımları ortaya çıkarmak mümkündür.

2.5.9 Kumul Akifer

Rüzgarın taşıyıp düz ve geniş alanlarda biriktirdiği malzeme genellikle kum çapında (0,05 - 0,5mm) olan kumullar yada ince malzemeli (0,06 - 0,009mm) siltli ve kısmen killi “lös”lerdir. Bu tür malzeme birçok ülkede büyük alanlar kaplar (Suudi Arabistan, Orta Asya, Ukrayna, Nebraska vb.).

2.5.10 Buzul Akifer

Dördüncü zaman (son 10.000 yıl) içinde, bu yılların getirdiği killi, siltli, kumlu, çakıllı ve çok iri bloklu buzul malzemesi (drift, boulder). Kanada, Kuzey Amerika, Kuzey Avrupa ve İngiltere’de dördüncü zaman buzulları çok büyük alanlar kaplamaktadır. Örneğin Amerika’da, Washington şehri yakınlarında Spokone ve Tacoma şehirleri için buzul akiferlerden kuyularla 12-120 lt/sn su alınmaktadır. Yurdumuzda bu tür akifer tipi önemsenecek boyutlarda yoktur.



3. AKİFER ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde akiferlerin temel parametreleri incelenecektir.

3.1 Porozite

Hidroloji biliminin temel kavramlarından biri olan porozite, akışkanın bulunduğu ortamın boşluk yüzdesi olarak tanımlanır. Porozite matematiksel olarak boşluk hacminin, aynı malzemenin tüm hacmine oranıdır.

$$n = \frac{V_t - V_s}{V_t} 100 = \frac{V_v}{V_t} 100 \quad (3.1)$$

Burada, V_t toplam malzeme hacmi, V_s malzeme katı dane hacmi, V_v boşluk hacmidir. Teorik olarak porozite danelerin dağılımına bağlı olarak %0 ~ 100 arasında değişir. Ortamın ne kadar su depolayabileceği belirlenir. Değişik tipteki malzemeler için porozite değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çeşitli malzemelerin porozite değerleri (Şen, 1995)

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

3.2 Özgül Verim ve Özgül Su Tutma

Zeminden alınabilen yada drene edilebilen su hacminin toplam doymuş zemin hacmine oranı özgül verim, S_y olarak tanımlanabilir. Özgül verime efektif (etkili) porozite adı verilir. Zeminin boşluklu yüzeyinde tutulan su hacminin, toplam hacme oranına da özgül su tutma, S_r , denir. Porozite iki kısımdan oluşmaktadır.

$$n = S_y + S_r \quad (3.2)$$

Değişik tipteki malzemeler için özgül verim değerleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.2 Özgül verim değerleri (Şen, 1995)

Malzeme	Özgül Verim(%), S_y
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. Herhangi bir %45 poroziteye sahip daneli bir malzemenin, bütün boşlukları doymuş ve birim hacminde %45 su bulunmaktadır. Zemin bünyesindeki suyun üçte ikisini yani %30'unu bırakacaktır. Su hacminin %15'i ise yüzey gerilmesi ile tutulmaktadır. Bu olay hidroloji terminolojisinde, özgül verim 0.3 ve özgül su tutma 0.15 olarak ifade edilebilir. Özgül verim, kullanılabilir su miktarını, özgül su tutma da zeminde ne kadar suyun kaldığını anlamamıza yardımcı olur. Özgül verim,

$$S_y = \frac{V_d}{V_t} \quad (3.3)$$

özgül su tutma,

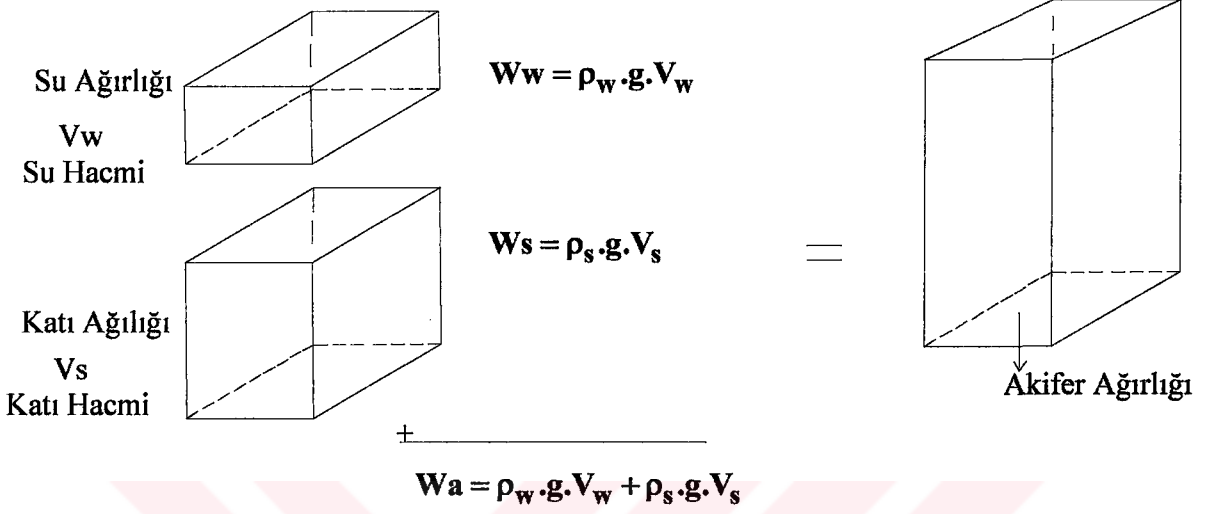
$$S_r = \frac{V_r}{V_t} \quad (3.4)$$

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

3.3 Depolama ve Özgül Depolama Katsayısı

Bir akiferin, önemli hidrolik özelliklerinden biride su depolama kapasitesidir. Durgun haldeki yeraltı suyu, yerçekimi ve hidrostatik basınç etkisine maruz kalmaktadır. Yerçekimi kuvveti,

akiferdeki katı kısmın ve belirli bir yatay alandaki su miktarının ağırlıkları toplamıdır. Şekil 3.1 de görüldüğü gibi bulk ağırlığı, katı ve su ağırlığının toplamıdır.

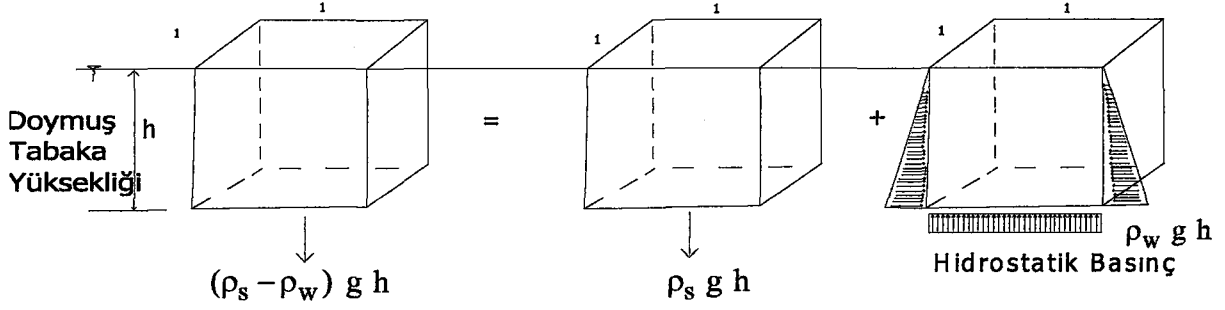


Şekil 3.1 Bulk ağırlık elemanları

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

$$G = \gamma_b \times h \times 1 \times 1 \quad (3.5)$$

olarak ifade edilir. Burada h , birim alandaki doymuş tabaka kalınlığıdır. Yerçekimi kuvvetinin yönü her zaman aşağıya doğrudur. Denklem (3.5)'e bakıldığında tek değişkenin h olduğu görülür, burdan h değerinin artması yerçekimi kuvvetinin de artması demektir. Derinlerde bulunan zemin grupları yerçekiminin etkisi altında sıkışmış durumda bulunurlar.



Şekil 3.2 Birim alan için bulk ağırlığı

Diğer taraftan aynı derinlikte suyun hidrostatik basıncı denklem (3.6) daki gibidir.

$$p = \rho_w g h \quad (3.6)$$

(Şekil 3.2) Burada ρ_w , suyun yoğunluğudur. Hidrostatik basıncın yönü seçilen kontrol hacminin tabanının yatay olması sebebiyle yukarı doğrudur. Tabana etkiyen net basınç;

$$p' = (\rho_b - \rho_w) g h \quad (3.7)$$

olur. ρ_b ve ρ_w değerleri sabit olduğundan basıncın artışı, h daki değişime bağlıdır. Denklem,

$$dp' = (\rho_b - \rho_w) dh \quad (3.8)$$

şeklinde yazılabilir.

$\rho_b > \rho_w$ olduğundan yerçekimi kuvveti her zaman hidrostatik basınç kuvvetinden büyük olacaktır. Yukarıya doğru olan basınç, kaldırma kuvveti olarak çalışır ve yerçekimi kuvvetine karşı kuvvetle birlikte malzemenin sıkışmasını sağlamaktadır. Efektif basıncın suya, sıkıştırma gerilmesi etkisi yaptığı söylenebilir. Bu açıklamaların ışığında rezervuarın depolama kapasitesinin efektif basınca bağlı olduğu görülebilir. Depolama katsayısının değeri, akiferin basınçlı veya serbest yüzülü olmasına göre farklılık gösterir. Akifer serbest yüzülü olduğunda suyun hareketine etki eden kuvvet yerçekimi kuvvetidir. Basınçlı akiferlerde, suyun hareketi basınç altındaki akifer malzemesinden ve suyun genişlemesine bağlı olarak meydana gelmektedir. Suyun genişmesi, akiferin sıkışmasına göre daha

küçüktür. Depolama katsayısı serbest yüzlü akiferlere nazaran daha küçüktür. Serbest yüzlü akiferlerde depolama katsayısı (S) değerinin, yapılan arazi çalışmaları sonucunda 0.3 ~ 0.1 arasında olduğu, basınçlı akiferlerde ise bu değer $10^{-6} \sim 10^{-2}$ olduğu gözlenmiştir. Serbest yüzlü akiferlerde depolama katsayısı değeri, sıkışma durumunda rezervuardan çıkan veya giren su hacmi akiferdeki boşlukları dolduran su hacmi ile karşılaştırıldığında ihmal edilebilecek nitelikte olduğundan, özgül verim değerine eşit kabul edilebilir ($S \cong S_y$).

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

$$S = \frac{V_a}{V_w} \quad (3.9)$$

Yüksek depolama kapasitesi olan akiferlerde düşüm az olur. Birim depolama;

$$Ss = \frac{S}{b} \quad (3.10)$$

olur. Burada b, doymuş tabaka kalınlığıdır. Ss, birim depolama [1/L] boyutundadır ve birim hacimli bir doymuş tabakada, danelerin ve suyun sıkışmasından dolayı oluşan su miktarına denir. Özellikle derin akiferlerin bulunduğu yeraltı suyu çalışmalarında bu kavram faydalıdır.

3.4 Permeabilite (Geçirgenlik) ve Hidrolik İletkenlik

Kütlelerin su tutması akifer türlerine göre, geçirimliliği permeabilite özelliklerine bağlıdır. Kütlelerin yeraltı sularını tutması, suların yer değiştirmesine izin vermesi ve suyu vermesi farklı farklıdır. Geçirimliliğe, kütlelerin suları geçirme özelliğine bağlı olarak hidrolik iletkenlik de denilebilir.

$$k = \kappa \frac{\rho g}{\mu} \quad (3.11)$$

Burada k hidrolik iletkenlik değeri ρ (suyun yoğunluğu) ve μ (viskozite) değerlerine bağlıdır. κ permabilite değeri, malzemenin gözeneklerinde bulunan boşlukların özelliklerine bağlı olarak değişir. Permeabilite değerinin tahmini için birçok bilim adamı gözeneklilik ile zemin yapısı arasındaki ilişkileri inceleyerek formüller üretmişlerdir. Bunlar arasında Kozeny-

Karman'ın teorik ve deneysel çalışmaları neticesinde elde ettikleri denklem en tanınmıştır. Bu denklem;

$$\kappa = c d^2 \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (3.12)$$

n zemin porozitesini, d ortalama dane çapını, c de malzeme ile ilgili bir katsayıdır. Bu denklem, danelerin açılal durumları gibi bazı faktörler ihmal edildiğinden en iyi şartlarda dahi yaklaşık bir sonuç verir. κ permeabilite ve k hidrolik iletkenlik değeri mühendislik uygulamalarında sıkça karşılaşılan tatlı yeraltı suları için nümerik olarak Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Tabii zeminlerde permeabilite ve hidrolik iletkenlik değeri

Zemin cinsi	Permeabilite κ (m ²)	Hidrolik iletkenlik 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}

Normal koşullarda akifer incelidikçe danelerin yeraltı suyu akımına karşı direnci o derece artar. Hidrolik iletkenlik, danelerin belirli bir hidrolik eğim altında suyu iletme yeteneğidir. Malzemelerin çeşitli ortamlardaki hidrolik iletkenlik katsayıları ile depolama kapasitesi Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Hidrolik iletkenlik ve depolama katsayısı değeri

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

3.5 İletkenlik

İletkenlik, tüm doymuş akifer kalınlığı boyunca birim genişlikteki kesit alanından, birim hidrolik eğimde geçen akıma denir (Bear, 1979). İletkenlik, akifer kalınlığı ile hidrolik iletkenliğin çarpımı olarak da tanımlanmıştır (Hantus, 1964; Davis ve De Wiest 1966). Akiferin su iletim kapasitesi, akifer malzemesinin hidrolik iletkenliğine ve doymuş tabaka kalınlığına bağlıdır. Doymuş tabakadan geçen debi aşağıdaki gibi yazılırsa;

$$Q = A q \quad (3.13)$$

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

$$Q = A k i \quad (3.14)$$

olur. Burada i , hidrolik eğimi k ise hidrolik iletkenliği göstermektedir. (3.14) denklemini w , genişlik ve b kalınlığında dikdörtgen kesit için;

$$Q = w b k i \quad (3.15)$$

olur. Bu ifadede $T = b.k$ yerine konduğunda;

$$T = \frac{Q}{w i} \quad (3.16)$$

şeklinde akifer iletkenlik katsayısı ifadesi bulunur. Bu ifade üniform şekilli ve tam doymuş lineer akım şartlarındaki akiferlerde geçerlidir. Yeraltı suyu akımı lineer değilse (3.16) denklemini geçersizdir (Şen, 1995). İletkenlik değerinin $T < 10^{-1}$ in altında olması durumunda akifer yetersizdir denir. $T > 10^2 \text{ m}^2/\text{sn}$ olması durumunda akiferden endüstri veya şehir ihtiyacında

3.6 Homojenlik ve İzotropluk

Homojen ve izotropluğun fiziksel anlamı, eşpotansiyel çizgilerin akım çizgilerine dik olmasıdır. Denklem sistemlerinin çözümünde basitleştirici kabuller yapıldığından akifer homojen ve izotrop olarak kabul edilir.

3.7 Düşüm Konisi

Akiferdeki su seviyesinin yatay olduğu kabul edilmektedir. Pompajla kuyudan su çekilmeye başlandığında kuyuya yakın olan bölgenin basıncında bir düşme meydana gelir, bunun sonucunda kuyuya doğru olan hidrolik eğimde azalma meydana gelir. Kuyudaki su seviyesi statik su seviyesinin veya piyezometrik seviyenin altına düşer böylece akiferden kuyuya doğru su hareketi başlar. Tepe noktası kuyudaki su seviyesi, tabanı piyezometrik yüzey olan düşüm konisi adı verilen ters koni biçiminde bir şekil oluşur. Düşüm konisinin etki alanı içerisinde herhangi bir zamanda (t), kuyu merkezinden (r) radyal uzaklıktaki bir noktada statik su seviyesinden düşey olarak ölçülen mesafeye “düşüm” denir ve (s) olarak gösterilir. Pompadan alınan debiye göre düşüm konisi zamanla değişiklik gösterebilir.

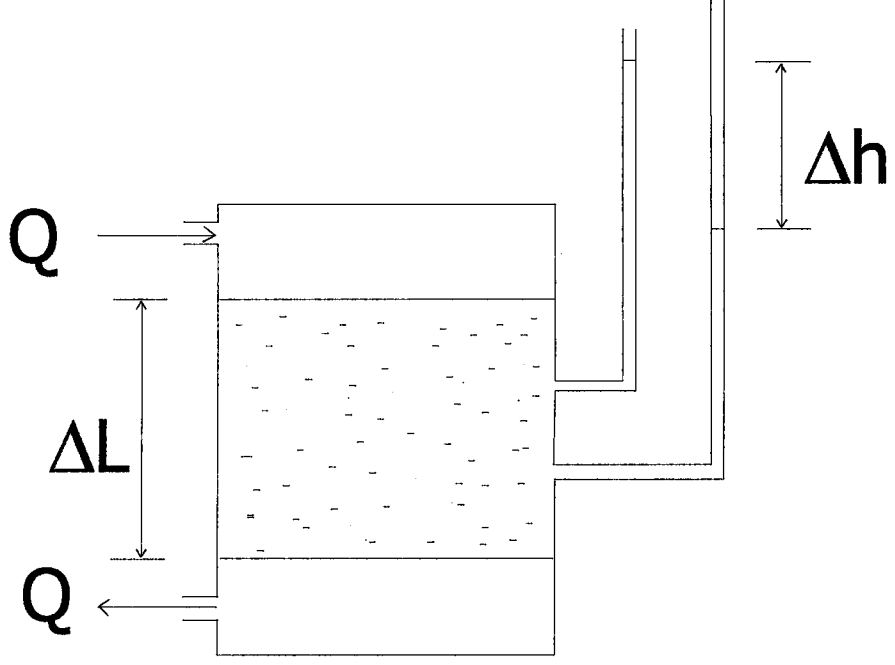
3.8 Gecikmiş Verim

Öncelikle pompaja başlandığında kuyudaki su çekilir. Akiferden kuyuya akım oluşur ve düşümün değeri artmaya başlar. Belli bir zamandan sonra düşümün değeri sabitlenir. Bu duruma gecikmiş verim adı verilir. Akifer parametrelerinin belirlenmesinde gözlem kuyularından elde edilen düşüm değerleri kullanılır.

3.9 Yeraltı Suyu Akımının Temel Denklemleri

3.9.1 Darcy Kanunu

Darcy (1856), tarafından laboratuvar şartlarında, kumlardan yapılmış ortamda, yeraltı suyu akımı incelenmiştir. Laboratuvar düzeneği olarak, kum dolu basit bir silindir haznenin içine, suyun hareketindeki hidrolik yük kayıplarını ölçmek amacıyla, belli aralıkta iki adet piyezometre tüpü konmuştur. Yapılan bu deneyde bulunmak istenen geçirgenlik katsayısı olan k 'dır.



Şekil 3.3 Darcy deney cihazı

Şekil 3.3'te gösterildiği gibi silindir içindeki kum ortamdan Q debisinin geçmesiyle meydana gelecek yük kaybı Δh olsun. Deney düzeneğinde, tek değişken olan debinin değişik değerleri için yük kaybı (Δh) ölçülür. Darcy, debinin yük kayıpları ile doğru, numune uzunluğu (ΔL) ile ters orantılı olduğunu tespit etmiştir. Akımın hızı, debinin en kesit alanına bölümü ile bulunur. Darcy deneysel olarak,

$$Q = k A \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (3.17)$$

elde etmiştir. k numunenin geçirgenliğini gösteren bir sabittir. Bu denklemin her iki tarafı

A 'ya bölünür ve hidrolik eğim de $i = \frac{\Delta h}{\Delta L}$ olarak tarif edilir. Özgül debi,

$$q = k i \quad (3.20)$$

bulunur. K 'ya hidrolik geçirgenlik katsayısı adı verilir. Buradan q ile i arasında doğrusal bir bağıntı vardır.

Denkleimde hidrolik eğim yerine konulursa,

$$q = k \frac{h_2 - h_1}{\Delta L} \quad (3.21)$$

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

$$q = k \frac{dh}{dL} \quad (3.22)$$

ve

$$q = k \frac{\partial h}{\partial L} \quad (3.23)$$

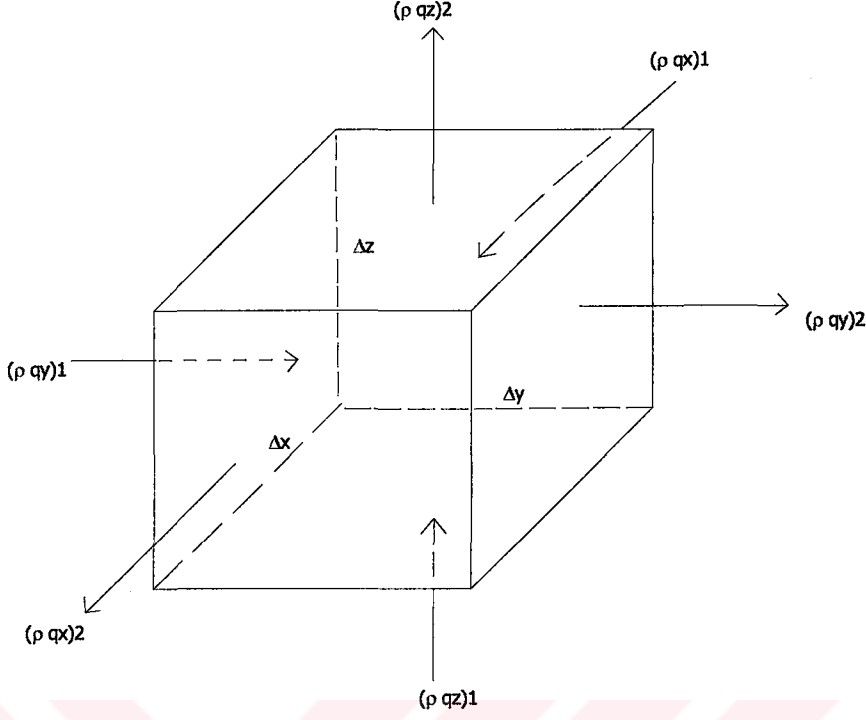
vermiştir. Durağan akımda dh/dL , terimi yükün sadece mesafe ile değiştiğini gösterir. Durağan olmayan akımda hidrolik yük, mesafe ve zamanla değişir,

$$Q = k A \frac{h_2 - h_1}{\Delta L} \quad (3.24)$$

buradan debi bulunur.

3.9.2 Süreklilik Denklemi

Darcy kanunu, yeraltı su seviyesini gösteren h değerinin bütün zemin kalınlığı boyunca dağılımı ölçülmeden tek başına yeterli olmamaktadır. Gelecekteki h değerinin önceden bilinmesi çok zordur. Bundan dolayı Darcy kanunu 4 bilinmeyenli 3 denklem halinde ortaya çıkar. Bunlardan üçü birim debi vektörünün x , y , z eksenlerindeki değerleridir, 4. denklem ise kütlelenin korunumu kanunu yardımıyla elde edilir. Tamamen doymuş sıkışmaz olan gözenekli bir ortamın var olduğu kabulü ile kütlelenin korunumu prensibine göre zemindeki kontrol hacmine giren ve çıkan miktarlar eşit olacaktır (Birpınar, 1996).



Şekil 3.4 Kontrol hacmi

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

Kontrol hacminin alt yüzeyindeki akış göz önüne alınarak oluşacak net değişim aşağıdaki gibidir.

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

Bu değişim miktarı kütlelenin korunumu prensibine göre sıfır olmalıdır. Çünkü zeminin sıkışamaz ve tamamen doygun olması varsayımına göre kontrol hacminde depolanmanın olması ihtimali yoktur. Yukarıdaki ifade sıfıra eşitlenip her iki tarafı $\Delta x \Delta y \Delta z$ 'e bölünerek;

$$\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} = 0 \quad (3.25)$$

bulunur. Dengeli akım halinde kütlelenin korunumu eşitliğidir. Bu denklem ρ sabit olarak düşünüldüğünde aşağıdaki şekli alır;

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = 0 \quad (3.26)$$

Böylece denklem, genel olarak dengeli akım durumunda süreklilik denklemi olarak adlandırılır. Gerekli olan dördüncü eşitlik olarak kullanılır (Verruijt, 1982). Denklem (3.23) de verilen Darcy kanunundaki q değerleri (3.26) denkleminde yerine konulursa,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial h}{\partial z} \right) = 0 \quad (3.27)$$

elde edilir. Tek bilinmeyen h olduğu bir denklem halini alır. Hidrolik iletkenliğin sabit olduğu düşünülerek denklem (3.27)'den Laplace eşitliği olarak bilinen;

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad (3.28)$$

ifade elde edilir. Laplace operatörü (∇^2) kullanılarak;

$$\nabla^2 h = 0 \quad (3.30)$$

şeklini alır. Mühendislik açısından uygun kabuller ve gerekli basitleştirmelerle, dengeli yeraltı suyu akımının temel probleminin çözümü denklem (3.30) sayesinde mümkündür.

4. DENGELİ VEYA YARI DENGELİ YERALTI SUYU AKIM DURUMU İÇİN YAPILAN KABULLER VE GELİŞTİRİLMİŞ MODELLER

4.1 Giriş

Dengeli yeraltı suyu akımı dengesiz yeraltı suyu akımından önce veya sonra gerçekleşir. Pompanın faaliyete geçirilmesiyle yeraltı suyu akımı önce dengesiz daha sonra yarı dengeli hale dönüşür. Dengeli veya yarı dengeli yeraltı suyu akımı düşünülerek yeraltı suyu problemlerinin çözümü nispeten daha kolaylaşır. Theim (1906) ve Muskat (1937) ve birçok araştırmacı bu akımla ilgili temel yaklaşımlar yapmışlardır. Bu yaklaşımlardaki temel değişkenler, kuyudan çekilecek debi miktarı, en büyük düşüm, tesir yarıçapı gibi büyüklüklerdir.

4.2 Kabuller

Dengeli ve dengesiz akımlar için uygulanan modellerin ve çözümlerin hepsi, akifer malzemelerine, akiferin geometrik şekline, akım durumlarına ilişkin yapılan kabullerle belli bir fiziksel geçerlilik kazanmıştır. Yapılan kabulleri akifer, kuyu ve yeraltı suyu akımı için yapılanlar olarak üç grupta inceleyebiliriz.

4.2.1 Akifer Kabulleri

Akifer kabullerinde akiferin jeolojik ve geometrik yapısı basitleştirilir.

a) Akiferler homojen ve izotrop kabul edilir, bununla kastedilen akiferin bir tabakadan, geniş bir alana yayılmış, çatlak ve fay gibi süreksizlikleri olmadığıdır. Homojen ve izotropluk fiziksel olarak eşpotansiyel çizgilerin akım çizgilerine dik olduğu durumdur.

b) Akifer alansal olarak çok yaygın, kalınlık olarak üniform ve yatay tabakalı kabul edilir. Akiferin yatay tabakalı olabilmesi için akiferi oluşturan tabakanın eğiminin % 5'den az olması gerekir, tabaka eğiminin tahmin edilebilmesi için değişik doğrultuda en az iki en kesit alınmalıdır. Basıncılı akiferlerde alt ve üstteki geçirimsiz tabakaların ikisinde yatay olması gerekmektedir. Piezometre seviye eğiminin yatay olup olmaması basıncılı akiferlerde önem teşkil etmemektedir.

- c) Akifer malzemesinin ince daneli ve gözenekli bir yapı teşkil ettiği düşünülür.
- d) Akifer parametrelerinin zaman ve konumdan bağımsız olduğu kabülü yapılır.

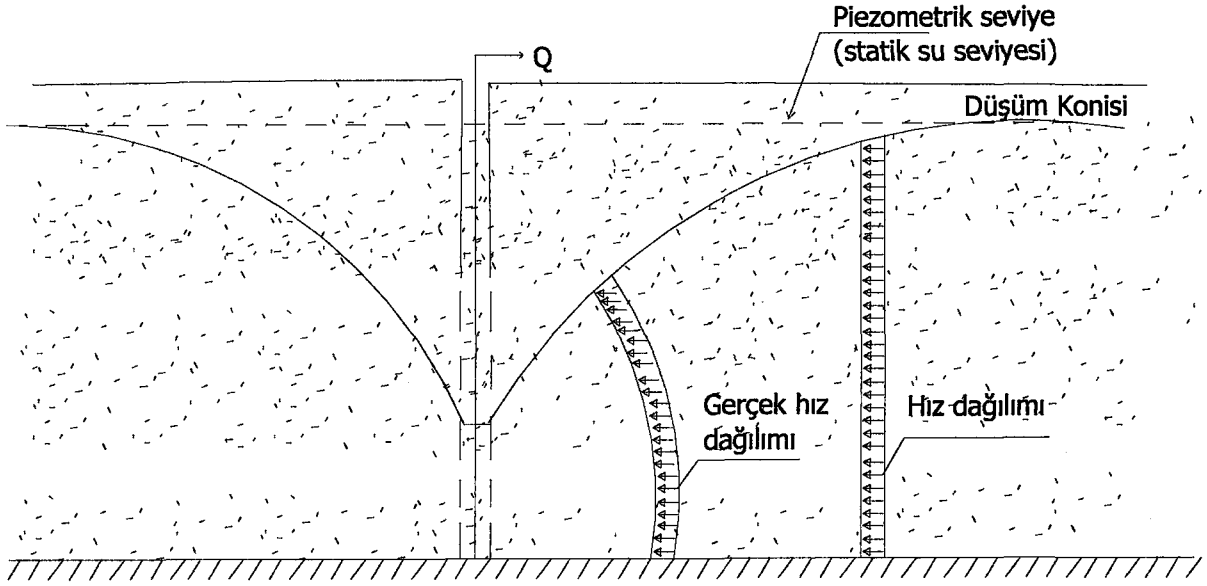
4.2.2 Yeraltı Suyu Akım Kabulleri

Yeraltı suyu hızı, debisi, hidrolik geçirgenliği ve akım kanunlarıyla ilgili kabullerdir.

- a) Yeraltı suyu akımı dengeli veya yarı dengelidir. Dengeli olabilmesi, akifere çekilen debi kadar akifere debi girmesi ile mümkündür. Düşüm sadece mesafe ile değişir.
- b) Yeraltı suyu akımı laminer ve Darcy kanununun geçerli olduğu kabul edilir. Fiziksel olarak akımda kinetik enerjinin önemi yoktur. Özgül debi küçüktür ve akıma etki eden kuvvetler sürtünme ve viskoz orjindir.
- c) Kuyudan çekilen suyun debisi sabittir.

4.2.2.1 Dupuit-Forchheimer Kabulleri

Basınçlı akiferlere nazaran serbest akiferlerde, zaman ve konumla değişken olan piezometrik yüzey değişimleri ve bu yüzden doymuş tabaka kalınlığının değişimi, kuyu etrafındaki düşümün fazlalığından dolayı akımın eşpotansiyel çizgilerinin kuyu civarında düşey olmaması, modelleme yapmayı güçleştirir.



Şekil 4.1 Kuyu etrafındaki akım şebekesi

Dupuit (1863) ve daha sonra da Forchheimer (1930) tarafından geliştirilmiş, akım alanı içindeki hidrolik eğimin noktalar arası değişiklik göstermesinden dolayı, matematiksel modellemelerde oluşan güçlükleri aşmaya yönelik, belirtilen kabuller aşağıda belirtilmiştir.

- Su homojendir ve her doğrultudaki fiziksel özellikleri aynıdır.
- Akım çizgileri yatay, eş potansiyel çizgileri de düşeydir. Akımın her noktasında yatay yeraltı suyu hızı ve düşeyinde üniform hız dağılımı vardır.
- Bir düşeyin her noktasındaki hidrolik eğim onun yüzeyindeki eğime eşittir.
- Kapiler bölge ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
- Doygun kalınlık değişimleri, doymuş kalınlık yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olmalıdır.
- Akifer malzemesi ve su sıkışmaz kabul edilir.

Dupuit-Forchheimer, üç boyutlu olan yeraltısuyu akımını iki boyuta indirgeyerek çözüme daha kolay ulaşılmasını sağlamıştır.

4.2.3 Kuyu Kabulleri

Şema örneği şekil 4.1’de gösterilen kuyular için aşağıdaki kabuller yapılır.

- a) Kuyu kesitinin dairesel olduğu varsayılır. Akifere giren su, silindirin yanıl yüzeyinden giriyormuş gibi hesaplanır.
- b) Süreklilik denkleminde, kuyu içindeki su hacminin ihmal edilebilmesi için kuyu çapı küçük alınır. Ayrıca akiferden ani su çekimine karşın akiferin tepkisi anlaşılır.
- c) Yeraltı suyu hareketinin yataylığı açısından, kuyu, doygun bölgenin geçirimsiz tabakayla birleştiği noktaya kadar açılmalıdır.
- d) Kuyu kayıplarının olmadığı kabulü yapılır.

4.2.4 Limit Şartları

Bu bölümde belirtilen kabullere ek olarak, başlangıç ve sınır şartlarının da belirtilmesi problemlerin çözümü için daha uygundur ve böylelikle çözüm tamamiyle genel kalmaktan uzaklaşır. Değişik sınır ve başlangıç şartları değişik çözümleri de beraberinde getirdiğinden, incelenen problemde bu özelliklerin iyi belirlenmesi gereklidir.

4.2.4.1 Başlangıç Şartları

Piyezometrik seviyenin sabit olduğu durum için başlangıç şartları şunlardır.

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

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

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

Burada $q(x,y,z,t) = C_1$, özgül debi, $s(x,y,z,t) = C_2$, düşüm, $i(x,y,z,t) = C_3$, hidrolik eğimdir. Uzay (x,y,z), zaman (t) ile simgelenmiştir. Zaman faktörünün değeri sifıra (t=0) eşittir. C_1, C_2, C_3 sabitleri dengeli akım durumundaki çözümde sifır olarak alınacaktır.

4.2.4.2 Sınır Şartları

Sınır şartları, jeolojik değişimler, jeolojik yapılar, akiferin beslenme durumunu gösterir. Üç şekilde incelebilir.

4.2.4.3 Geçirimsiz Sınırlar

Geçirimsiz sınırdaki, bu sınıra dik akım olmadığından Darcy kanununa göre hidrolik eğim sifır olacaktır.

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

Burada, n, (x,y,z) noktasındaki geçirimsiz sınıra dik normal doğrultudur.

4.2.4.4 Kuyu Akifer Sürekliliği

Çok küçük çaplı açılmış kuyularda, süreklilik denkleminde göre kuyudan çekilen debi, ile akiferden kuyuya giren debi eşit ($Q = Q_a$) olur.

$$r \rightarrow 0 \quad Q = \lim [2\pi hrq(r,t)] \quad (4.5)$$

Burada, $q(r,t)$ özgül debiyi, h akifer kalınlığını, ve r ise radyal mesafeyi gösterir. Kuyu çapının büyük olması durumunda,

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

olur. $s_w(t)$, t anında kuyudaki düşümdür. Pratikte r_w değeri uzun zaman sonunda durağan akım oluşmasıyla sifıra yaklaşır ve denklem (4.6) geniş çaplı kuyular için de kullanılabilir.

Süreklilik şartlarından biri de, kuyu civarında meydana gelen en büyük düşümün $s(r_w, t)$, kuyudaki düşüme eşit olmasıdır.

$$s_w(t) = s(r_w, t) \quad (4.7)$$

Kuyu ile akifer arasındaki bu sürekliliklerin her zaman geçerli olduğu kabul edilir.

4.2.4.5 Sınırsız Yaygınlık Şartı

Doğada sınırsız akifer bulunmamasına karşın, birkaç kilometre genişliğinde olan akiferlerle, düşüm konisinin çekim alanı, akifer genişliğinin içinde kalan akiferlerde sınırsızlık kabulü yapılır. Sınırsız akiferlerde, kuyudan çok uzak mesafelerde düşüm miktarı sıfıra eşittir,

$$r \rightarrow \infty \quad \lim[s(r, t)] = 0 \quad (4.8)$$

denklemlerle ifade edilebilir. Burada, $s(r, t)$ düşüm konisi içinde r radyal mesafedeki bir noktada t zamanında oluşan düşüm miktarıdır.

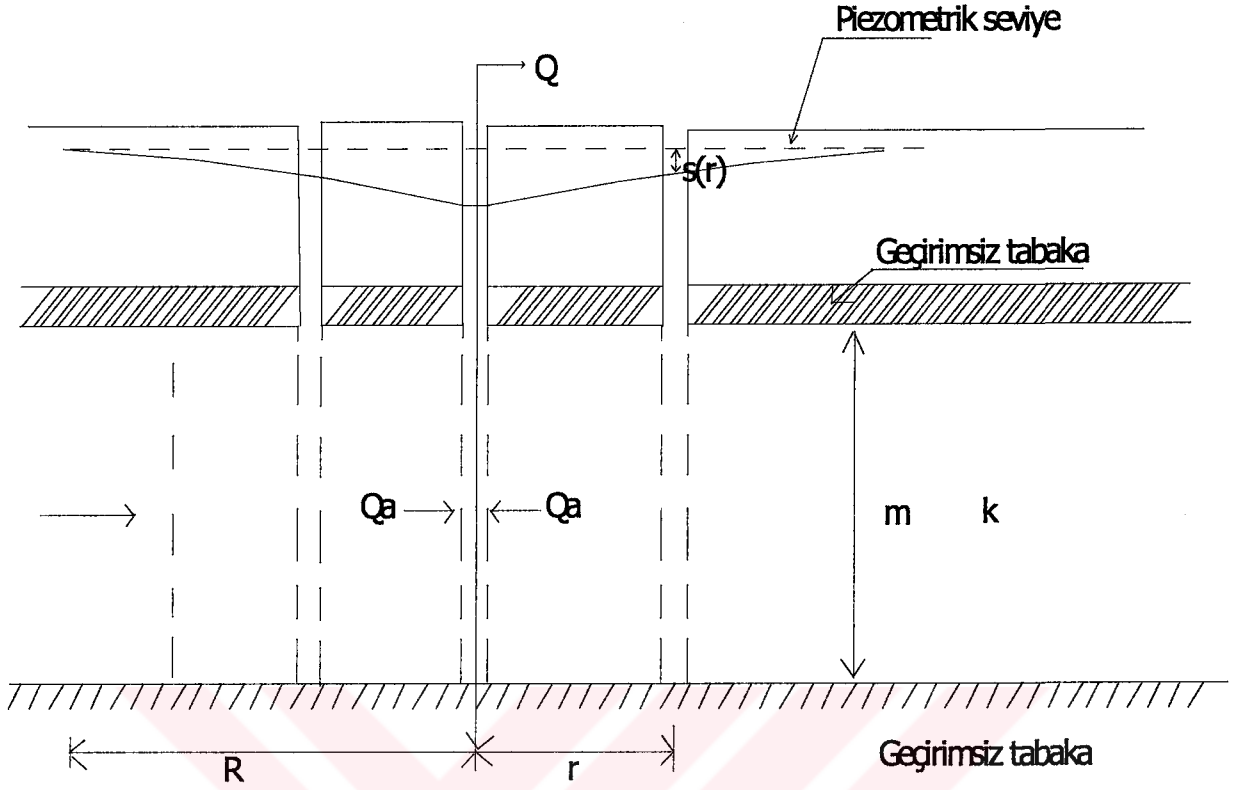
4.3 Dengeli Akım Durumunda Basıncı ve Serbest Akiferler İçin Geliştirilmiş Modellemeler

4.3.1 Basıncı Akifer Modelleri

Bu bölümde basıncı akiferler için uygulanan modeller incelenecektir.

4.3.1.1 Theim Modeli

Theim (1906) tam nüfuz eden kuyularda dengeli yeraltı suyu akımı denklemini ilk elde eden bilim adamıdır. Akifer geçirirliliği K , kalınlığı m , yarıçapı r_w olarak gösterilen bir akifere tam nüfuz eden bir kuyu, Şekil 4.2 de verilmiştir. Kuyudan sabit Q debisi çekilmektedir.



Şekil 4.2 Basıncı akifer kesiti

Akım dengeli veya yarı dengeli olduğundan, akifer içinde kuyu ile aynı merkezli bir hayali silindirden geçen Q_a debisi düşünülürse bu debi pompa yardımıyla akiferden çekilen debiye eşittir.

$$Q = Q_a \quad (4.9)$$

Dengeli ve radyal akım için Darcy kanunu,

$$q(r) = -k \frac{ds(r)}{dr} \quad (4.10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $q(r)$ ve $s(r)$ zamandan bağımsız özgül debi ve r radyal mesafedeki düşüm miktarını, k ise akiferin hidrolik geçirimsizliğini gösterir. Özgül debi tanımı ve silindirin yanal yüzeyinin $2\pi r m$ ve $m.k = T$ olduğu düşünülerek (4.10) denklemi,

$$Q = -2\pi T r \frac{ds(r)}{dr} \quad (4.11)$$

olur. Burada T akifer iletkenlik katsayısıdır. Matematikte değişkenlerin ayrılması yöntemi uygulanarak daha sonrada integral alınmasıyla birinci dereceden diferansiyel denklemin genel çözümü,

$$s(r) = \frac{Q}{2\pi T} \ln(r) + C \quad (4.12)$$

olarak bulunur. Buradaki C integral sabitinin tespit edilebilmesi için kuyudan R kadar uzaklıktaki $s(R)$ düşümünün de ölçülmesi gerekir. Bundan sonra denklem,

$$s(r) - s(R) = \frac{Q}{2\pi T} \ln(R/r) \quad (4.13)$$

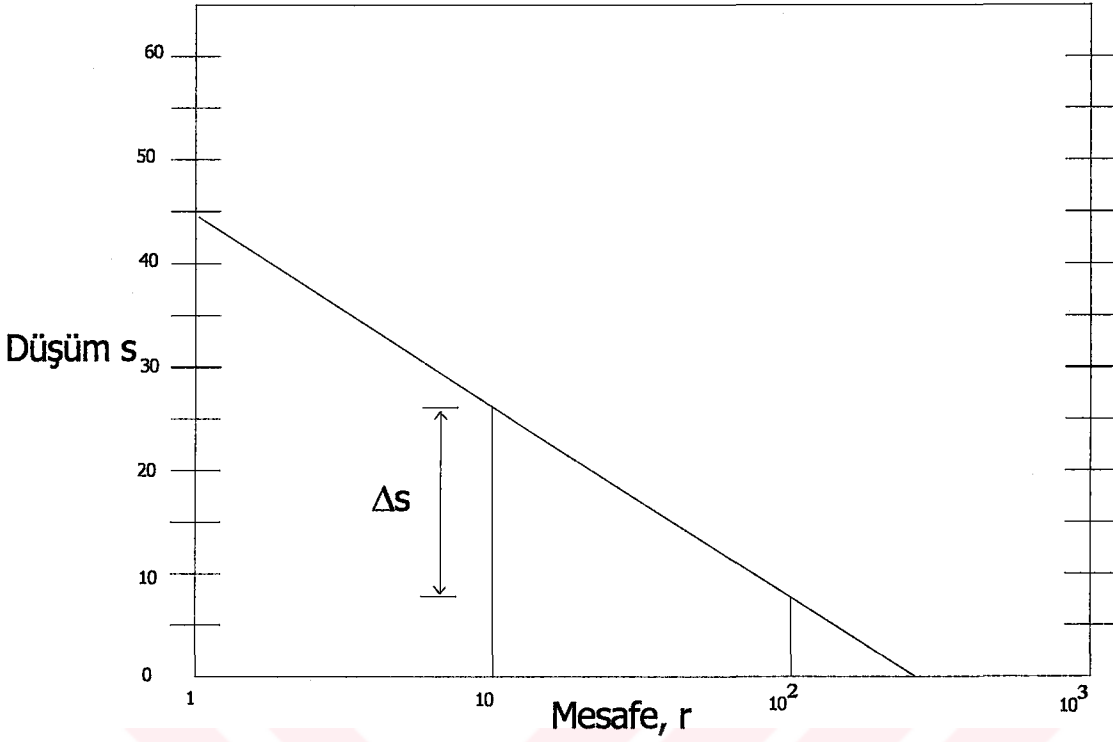
haline gelir. Bu denklemden düşüm ile radyal mesafe arasında ters bir ilişkinin varlığı ortaya çıkar. $R > r$ olmasına karşın $s(R) < s(r)$ dir. Bu eşitsizliklerle, akiferin içinde belirli bir mesafeden sonra düşümün sifıra eşit olacağı sonucu ortaya çıkar. Kuyu merkezinden böyle bir noktaya kadar olan radyal mesafeye “tesir yarıçapı” R_0 denir. Denklem (4.13)’a dengeli akımın Theim denklemi adı verilir. Denklem pratikte değişik gayeler için kullanılır.

a) Kuyudan devamlı su çekilmesi sırasında düşüm konisi sürekli olarak genişler ve her noktasında derinleşir. Basıncılı akiferde $s(r)$ ve $s(R)$ ’nin değerleri zamanla artmaya devam eder. Artış asla sifıra eşitlenmez, az da olsa bir artış söz konusudur ve pratikte ihmal edilebilecek kadar küçülür, $s(r) - s(R)$ farkı bir süre sonra sabitlenir.

b) Tesir yarıçapı tanımından $R = R_0$ için $s(R) = 0$ olduğu düşünülürse düşüm,

$$s(r) = \frac{2.3Q}{2\pi T} \ln(R/r) \quad (4.14)$$

olarak hesaplanır. Bu ifade yarı logaritmik bir kağıt üzerinde düşey eksen düşüm, yatay eksen de mesafelerin logaritması olmak üzere Şekil 4.3’teki gibi bir doğru gösterir. Bu doğrunun en uygun şekilde çizilebilmesi için ana kuyu merkezinden değişik yön ve mesafelerde en azından üç tane gözlem kuyusu açılmalıdır.



Şekil 4.3 Mesafeye karşı düşümün işaretlenmesi

c) Geçirilen bu doğrunun Δs_r eğimi mesafelerin bir logaritma devrine karşı gelen düşüm farkı olarak grafikten elde edilebilir. Analitik olarak denklem (4.14)'den eğim,

$$\Delta S_r = \frac{2.3Q}{2\pi T} \quad (4.15)$$

olarak hesaplanabilir. Burada Q verilmiş ise T hesaplanabilir. Bu denklemden akifer iletkenlik katsayısı,

$$T = \frac{2.3Q}{2\pi \Delta S_r} \quad (4.16)$$

olarak bulunur. Bu denklemden akifer iletkenlik katsayısının doğru hesaplanabilmesi için gözlem kuyularındaki düşüm ölçümlerinin oldukça uzun bir zaman yapılması gerekmektedir ki, yeraltı suyu hareketi dengeli yada yarı dengeli akım haline ulaşmış olsun. Ayrıca gözlem kuyusu sayısının üçten fazla olması güvenilir sonuçlar alınmasında etkilidir, fakat pratikte maliyet açısından böyle uygulamalar görmek pek mümkün değildir.

d) Grafikte, doğrunun yatay eksenini kestiği yer düşümün sıfır olduğu noktayı gösterdiğinden bu noktanın mesafe değeri akiferin tesir yarıçapıdır. Tesir yarıçapı, ana kuyunun yakınında açılan komşu kuyulardan su çekimi esnasında düşüm konilerinin girişim yapmaması ve yeraltı suyu işletmeciliğinde kuyu mevkilerinin tespitinde kullanılan çok faydalı bir büyüklüktür. Tesir yarıçapı, ana kuyu etrafında dairesel olduğu düşünülen düşüm konisi taban dairesinin sınırını belirlemeye yarar.

e) Theim metodu, akifer iletkenlik katsayısı tahmini vermesine rağmen depolama katsayısı hakkında bilgi vermez. Şen (1987), depolama katsayısını belirlemek için, durağan yeraltı suyu akımı durumundaki gözlem kuyularında yapılan düşüm ölçümlerinden yararlanarak, esas akiferden çekilen su miktarının akiferde susuz hale gelen doymuş bölge hacmine oranına dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Basıncı akifer için gerekli hesaplamaların yapılmasının ardından depolama katsayısının tahmini için,

$$S = \frac{Qt - \pi r_w^2 s_w(t)}{\frac{r_w^2 Q}{4T} \left[e^{\frac{4\pi T}{Q} s_w(t)} - 1 \right] - \pi r_w^2 s_w(t)} \quad (4.17)$$

ifadesine ulaşılır. Bu denklem Theim kabulleri doğrultusunda geçerlidir. Denklemin uygulanabilmesi için öncelikle akifer iletkenlik katsayısı olan T hesaplanmalıdır.

4.3.1.2 Şen Metotları

Bu bölümde Şen metotları incelenecektir.

4.3.1.2.1 Şen Analitik Metodu

Şen (1987), tarafından analitik metot geliştirilmiştir. Bu metot, serbest yüzölü ve basınçlı akiferlerde açılan kuyularda depolama katsayısının belirlenmesi ile ilgilidir. Bu yöntemde maliyet açısından külfetli gözlem kuyularına ihtiyaç duyulmamaktadır. Çabuk ve ekonomik bir şekilde depolama katsayısı hesaplanır. Bu metodun uygulanabilmesi için, iletkenlik değerinin, arazideki kuyu çapının, pompaj debisinin ve dengeli veya yarı dengeli yeraltı suyu akımı durumunda uzun süreli düşüm-zaman değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu metot da diğer metotlarda olduğu gibi karışık eğri çakıştırma yöntemlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. Depolama katsayısının tespitinde bilinen metotlara ek olarak verilmiştir.

Dengeli akım durumunda iletkenliğin bulunmasına ilişkin, tam zamanlı bir pompaj kuyusu verisi gerektirmeyen en güvenilir yöntemlerden biri olan Theim (1906), metodunun uygulanmasından sonra elde edilen iletkenlik katsayısı değeri, Şen'in depolama katsayısına ilişkin geliştirdiği denklemde kullanılır. Böylece Şen denklemi çok etkili olur.

Üniform kalınlıkta, homojen, izotrop ve geniş farz edilen akiferin dengesiz akım durumundaki hareket denklemi Darcy kanununa uygun olarak yazılırsa,

$$\frac{\partial^2 \mathbf{s}(\mathbf{r}, \mathbf{t})}{\partial \mathbf{r}^2} + \frac{1}{\mathbf{r}} \frac{\partial \mathbf{s}(\mathbf{r}, \mathbf{t})}{\partial \mathbf{r}} = \frac{\mathbf{S}}{\mathbf{T}} \frac{\partial \mathbf{s}(\mathbf{r}, \mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}} \quad (4.18)$$

elde edilir. Burada, $\mathbf{s}(\mathbf{r}, \mathbf{t})$, düşümü, $\mathbf{r}$, kuyu merkezine uzaklığı, $\mathbf{t}$, pompaj süresini, $\mathbf{S}$, depolama katsayısını, $\mathbf{T}$, iletkenlik katsayısını ifade etmektedir. Denklem (4.18) dengeli akım durumu için,

$$\frac{\partial^2 \mathbf{s}(\mathbf{r})}{\partial \mathbf{r}^2} + \frac{1}{\mathbf{r}} \frac{\partial \mathbf{s}(\mathbf{r})}{\partial \mathbf{r}} = 0 \quad (4.19)$$

şeklinde ifade edilir. Bu eşitlik akifer karakteristiklerini içermemektedir. Depolama katsayısının tanımından pompaj debisi, $\mathbf{S}$ değeri ile pompajın etkili olduğu tüm alan boyunca integre edilmiş yük değerinin azalma oranının çarpımına eşittir.

$$\mathbf{dQ}(\mathbf{t}) = \mathbf{S} \mathbf{r} \mathbf{d\theta} \mathbf{dr} \frac{\partial \mathbf{s}(\mathbf{r}, \theta, \mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}} \quad (4.20)$$

Genel olarak,

$$\mathbf{Q}(\mathbf{t}) = \mathbf{S} \int_{\mathbf{r}_w}^{\infty} \int_0^{2\pi} \mathbf{r} \frac{\partial \mathbf{s}(\mathbf{r}, \theta, \mathbf{t})}{\partial \mathbf{t}} \mathbf{d\theta} \mathbf{dr} \quad (4.21)$$

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

$$\mathbf{Q} = \mathbf{Q}(\mathbf{t}) + \pi \mathbf{r}_w^2 \frac{\mathbf{ds}_w(\mathbf{t})}{\mathbf{dt}} \quad (4.22)$$

Burada, $\mathbf{r}_w$, kuyu yarıçapını, $\mathbf{s}_w(\mathbf{t})$, pompaj kuyusundaki düşümü ifade eder ve sağdaki ikinci terim kuyu depolama etkisini göstermektedir. Akifer debisi ise,

$$Q(t) = Q - \pi r_w^2 \frac{ds_w(t)}{dt} \quad (4.23)$$

olur. Küçük çaplı kuyular ve depolama etkisi yetersiz kuyularda denklemin ikinci terimi ihmal edilir. (4.23) denklemini (4.21)'de yerine yazarsak,

$$Q - \pi r_w^2 \frac{ds_w(t)}{dt} = S \int_{r_w}^{\infty} \int_0^{2\pi} r \frac{\partial s(r, \theta, t)}{\partial t} d\theta dr \quad (4.24)$$

elde edilir. (4.24) denkleminin sağ tarafı θ ve r değerine integre edilir ve paydadaki ∂t sabit olduğundan denklem aşağıdaki gibi düzenlenirse,

$$Q dt - \pi r_w^2 ds(t) = S \int_{r_w}^{\infty} \int_0^{2\pi} r \partial s(r, \theta, t) d\theta dr \quad (4.25)$$

veya

$$Q dt - \pi r_w^2 ds_w(t) = S \int_{r_w}^{\infty} 2\pi r \partial s(r, t) dr \quad (4.26)$$

olur. Burada denklemin sağ tarafı akifer içindeki düşüm konisi artışına eşittir.

$$dV(t) = \int_{r_w}^{\infty} 2\pi r \partial s(r, t) dr \quad (4.27)$$

Bu ifade denklem (4.26) da yerine konursa;

$$Q dt - \pi r_w^2 ds_w(t) = S dV(t) \quad (4.28)$$

olur. Bu denklemin $s_w(0) = 0$ ve $V(0) = 0$ sınır şartlarına göre integrali alınır;

$$Q t - \pi r_w^2 s_w(t) = S V(t) \quad (4.29)$$

halini alır. Buradaki $V(t)$, t zamanındaki düşüm konisi hacmidir. Depolama katsayısı burdan çekilirse;

$$S = \frac{Q t - \pi r_w^2 s_w(t)}{V(t)} \quad (4.30)$$

olur. Düşüm konisinin hacminin bilinmesi durumunda pompaj kuyusunda düşüm ölçümleri yapılarak depolama katsayısı bulunabilir.

Şen çalışmasında, basınçlı ve serbest akiferlerin T ve S parametreleri ile ilgili eşitlikler vermiştir. Her iki durum ayrı ayrı incelenmiştir. Theim (1906), kuyuya gelen dengeli akım durumunda kuyudan çekilecek debi;

$$Q = \frac{2\pi T[s_w(t) - s(r,t)]}{\ln(r/r_w)} \quad (4.31)$$

yukarıdaki denklemden koninin hacim ifadesi çekilirse;

$$r = r_w \exp \left\{ -\frac{2\pi T[s_w(t) - s(r,t)]}{Q} \right\} \quad (4.32)$$

Düşüm konisinin hacmi aşağıdaki integrasyon sonunda bulunabilir.

$$V(t) = \int_0^{r_w(t)} \pi r^2 ds(r,t) - \pi r_w^2 s_w(t) \quad (4.33)$$

(4.32) denklemindeki r, (4.33) de yerine konulursa;

$$V(t) = r_w^2 Q \left\{ \exp \left[\frac{4\pi T s_w(t)}{Q} \right] - 1 \right\} / 4T - \pi r_w^2 s_w(t) \quad (4.34)$$

olur. (4.34) denklemini (4.30) denkleminde yerine yazarsak;

$$S = \frac{Q t - \pi r_w^2 s_w(t)}{r_w^2 Q \left\{ \exp \left[\frac{4\pi T s_w(t)}{Q} \right] - 1 \right\} / 4T - \pi r_w^2 s_w(t)} \quad (4.35)$$

halini alır (Şen, 1987).

Serbest yüzlü akiferlerdeki yeraltı suyu akım analizi Dupuit (1863), varsayımlarına dayanır. Akımın hızı hidrolik eğimin tanjantıyla orantılı ve akımın yatay olduğu kabul edilir. Burdan yola çıkarak kuyuya gelen akım;

$$Q = \pi k \frac{[D - s(r,t)]^2 - [D - s_w(t)]^2}{\ln(r/r_w)} \quad (4.36)$$

Burada, D akifer kalınlığını; k; hidrolik iletkenliği göstermektedir. Düşüm konisi eşitliğide;

$$r = r_w \exp \left\{ -\frac{\pi k [D - s_w(t)]^2}{Q} \right\} \exp \left\{ \frac{\pi k [D - s(r,t)]^2}{Q} \right\} \quad (4.37)$$

olur. (4.33) denklemi kullanılarak ve bazı hesaplamalar yapılarak serbest yüzülü akiferlerde düşüm konisi hacmi;

$$V(t) = \frac{1}{2} r_w^2 \sqrt{\frac{2\pi D Q}{T}} \exp \left\{ -\frac{2\pi D T [1 - s_w(t)/D]^2}{Q} \right\} \int_a^b e^{x^2} dx \quad (4.38)$$

olur. Burada,

$$x = \sqrt{\frac{2\pi k}{Q}} [s(r,t) - D] \quad (4.39)$$

$$a = \sqrt{\frac{2\pi D Q}{T}} \quad (4.40)$$

$$b = \sqrt{\frac{2\pi D Q}{T}} \left[1 - \frac{s_w(t)}{D} \right] \quad (4.41)$$

dir. (4.38) denklemindeki integral, Simpson metodunun sayısal integral teknikleriyle çözülebilir. (4.38) denklemini (4.30) de yerine yazarsak;

$$S = \frac{Q t - \pi r_w^2 s_w(t)}{\frac{1}{2} r_w^2 \sqrt{\frac{2\pi D Q}{T}} \exp \left\{ -\frac{2\pi D T [1 - s_w(t)/D]^2}{Q} \right\} \int_a^b e^{x^2} dx - \pi r_w^2 s_w(t)} \quad (4.42)$$

serbest akiferlerde depolama katsayısını veren denklem elde edilmiş olur. Bu metot Jacob düz çizgi metodunun geçerli olduğu dengeli ve yarı dengeli akım şartlarında ve uzun süreli okunan düşüm değerlerinde daha uygun sonuçlar verir. Basıncılı akiferle serbest yüzeyli akiferin depolama katsayıları karşılaştırılacak olursa serbest yüzeyli akiferlerde bu değerin her zaman daha büyük olduğu görülür.

4.3.1.2.2 Şen Grafik Metodu

Yarı dengeli akım durumu için, iletkenlik değerinden bağımsız olarak depolama katsayısının belirlenmesine yönelik pratik bir metottur. Bu metotla bulunan depolama katsayısı değerleri, literatürde yer alan diğer yöntemlerle hesaplananlarla yaklaşık sınırlar içinde kalmaktadır.

Theim (1906), basınçlı akiferlerde yarı dengeli akım hareketi için debiyi;

$$Q = 2\pi T \frac{s_1 - s_2}{\ln(r_2 / r_1)} \quad (4.43)$$

şeklinde ifade etmiştir. Burada, T , akifer iletkenliği, s_1 ve s_2 , ana kuyudan r_1 ve r_2 radyal mesafelerdeki gözlem kuyularında ölçülmüş düşüm değerleridir.

Dengeli akımda sızdıran akiferler için De Glee (1930), aşağıdaki formülü geliştirmiştir.

$$Q = 2\pi T \frac{s_r}{K_0(r/L)} \quad (4.44)$$

Burada, s_r , ana kuyudan r kadar uzakta piyezometrik düşümdür. $K_0(r/L)$, sıfır derecesinde ikinci sınıf modifiye edilmiş Besel fonksiyonunu gösterir. L sızma faktörüdür.

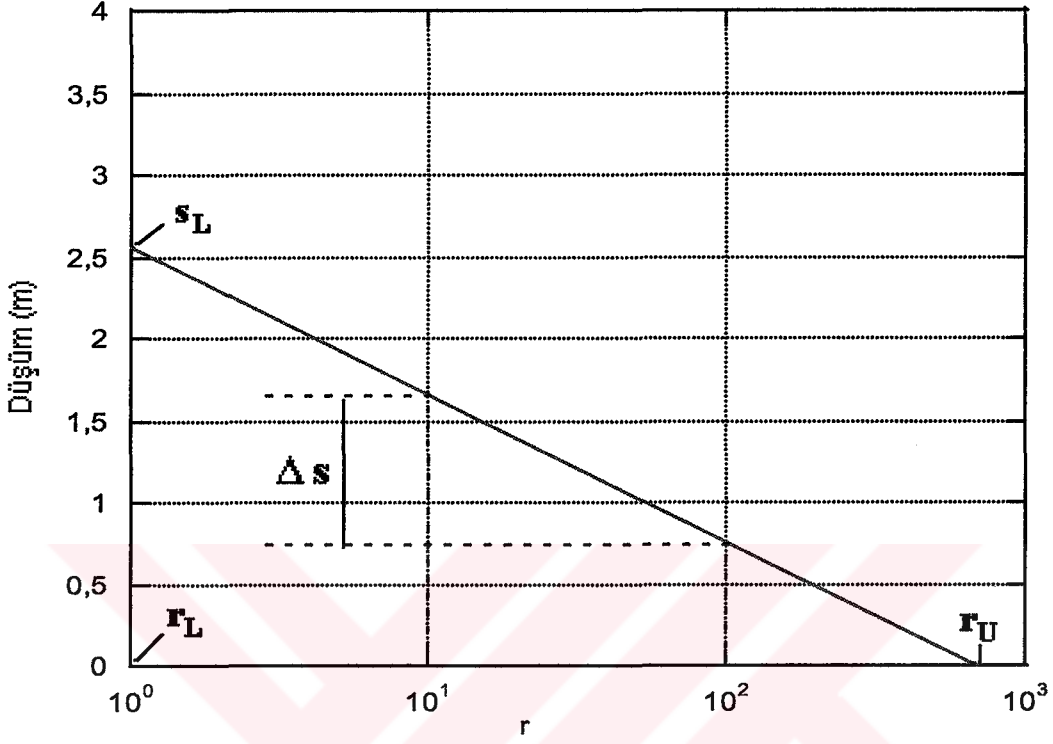
Depolama katsayısı Şen (1987) tarafından iki hacmin karşılaştırılması olarak verilmiştir.

$$S = \frac{Qt}{V_D} \quad (4.45)$$

Burada, Qt , t süre boyunca sabit Q debisiyle kuyudan çekilen su hacmi, V_D de düşüm konisi hacmidir.

Denklem (4.43) ve (4.44) denklemlerini kullanarak iletkenliğin bulunuşu vede ardından depolama katsayısının tespiti aşamalı olarak aşağıda verilmiştir.

- Değişik mesafelerde bulunan en az iki gözlem kuyusundan alınan düşüm-mesafe değerleri, yarı logaritmik kağıdın düşey eksenini düşüm, yatay eksenini mesafe olacak şekilde işaretlenirler (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Şematik düşüm-mesafe grafiği

- b) İşaretlenen noktalar üzerinden en uygun doğru geçirilir.
- c) Bu doğru düşey ve yatay eksenini kesecek şekilde her iki doğrultuda uzatılır.
- d) Çizginin eğimi Δs , doğrunun eksenlerde kestiği s_L ve r_U değerleri kullanılarak hesaplanır. Burada, r_U kuyu etki yarıçapını ifade etmektedir ve bu noktada düşümün sıfır olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca r_L noktasında maksimum düşüm oluşur.
- e) (4.43) ve (4.44) denklemlerini kullanarak doğrunun eğimi;

$$\Delta s = \frac{2.3 Q}{2 \pi T} \quad (4.46)$$

olarak bulunur ve iletkenlik değeri tespitinde kullanılır.

- f) Şekil 4.4 deki doğrunun eksenleri kesmesiyle oluşan üçgenin alanı;

$$A = \frac{1}{2}(r_U - r_L) s_L \quad (4.47)$$

Bu denklem mantıksal olarak düşüm konisi hacmiyle bağlantılıdır.

- g) Oluşturulan üçgen, düşüm eksenini etrafında döndürülürse koni biçimi meydana gelir ve koninin hacminin düşüm konisi hacmi olduğu düşünülürse;

$$D = \pi \frac{(r_U - r_L)^2}{\ln(r_U / r_L)} s_L \quad (4.48)$$

denklemini elde edilir.

- h) Denklem (4.48), (4.45) de yerine konulursa depolama katsayısı denklemi;

$$S = \frac{Q_t}{\pi(r_U - r_L)^2 s_L} \ln(r_U / r_L) \quad (4.49)$$

en son halini alır.

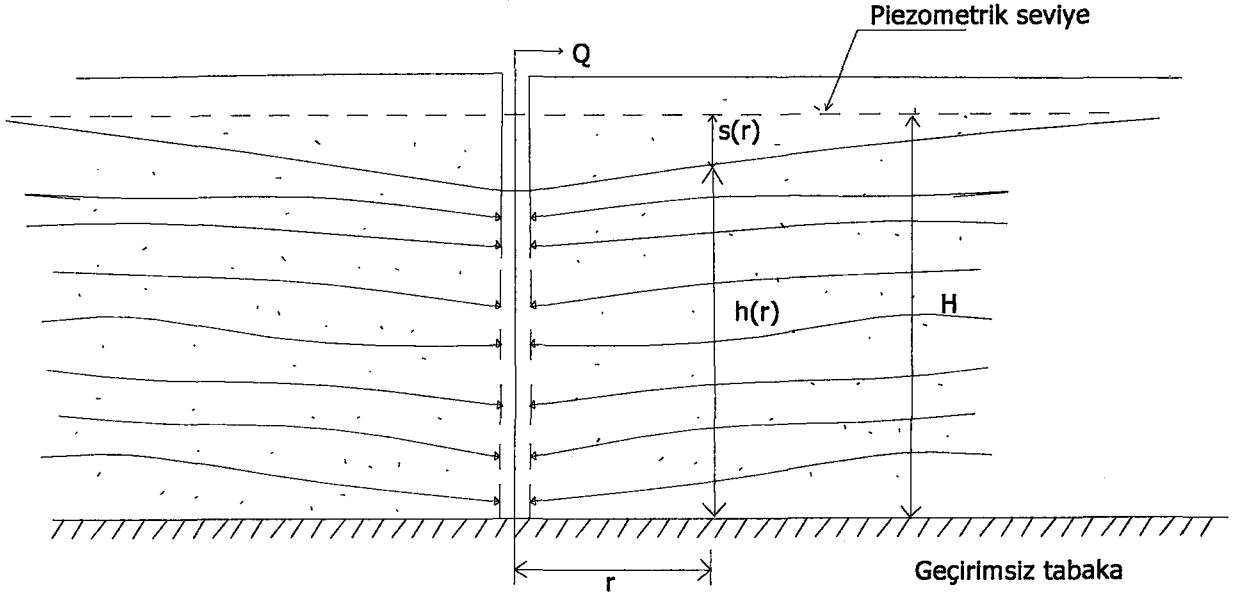
Bu metotla elde edilen parametre değerleri geleneksel metotlarla elde edilenlerle aynı mertebededir. Metodun kullanılması, tam zamanlı bir akifer testi sırasında zamana bağlı düşüm değerlerini gösteren zaman serilerinin bulunmaması durumunda tavsiye edilebilir (Şen, 1987).

4.3.2 Serbest Yüzeyli (Basıncsız) Akifer Modelleri

Bu bölümde Dupuit – Forchheimer modeli incelenecektir.

4.3.2.1 Dupuit – Forchheimer Modeli

Dupuit – Forchheimer kabullerinden, belirli hata limitleri göz önünde tutularak, analitik çıkarımlar yapılabilir.



Şekil 4.5 Basıncsız akifer sızma yüzeyi

Şekil 4.5'te gösterilen basıncsız akiferde açılan ana kuyudan r radyal mesafede bulunan hayali bir silindirik yüzeyden geçen debi teorik olarak,

$$Q(r) = 2\pi r h(r) q(r) \quad (4.50)$$

olarak ifade edilir. Buradaki $h(r)$, r radyal mesafedeki bir noktada doymuş tabaka derinliğini başka bir deyişle hidrolik yüksekliği gösterir. Bunun (4.50) denkleminde yerine konulup matematiksel işlemlerden sonra;

$$h^2(R) - h^2(r) = \frac{Q}{\pi k} \ln(R/r) \quad (R > r) \quad (4.51)$$

bulunur. Ayrıca düşüm, $s(r) = H - h(r)$ şeklinde yazılabilir, bura H kuyudan su çekilmeden önceki doymuş tabaka kalınlığını gösterir. Böylece denklem;

$$s^2(r) - s^2(R) = \frac{Q}{\pi k} \ln(R/r) \quad (4.52)$$

halini alır. Dupuit – Forchheimer denkleminde, basınçlı akiferlerde olduğu gibi, mesafe ile düşümün doğrusal olmadığı anlaşılır. Radyal mesafenin $r < 1.5 H$ olduğu durumlarda bu denklem iyi sonuçlar vermez.

a) Düşüm ölçümlerinde radyal mesafe $r > 1.5 H$ olmalıdır. Dengeli veya yarı dengeli yeraltı suyu akım durumuna ulaşabilmek için zaman faktörünün uzun alınması gerekir.

b) Dupuit – Forchheimer denklemi

$$s'(r) - s'(R) = \frac{Q}{2\pi T} \ln(R/r) \quad (4.53)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, $s'(r)$ ve $s'(R)$ 'ye r ve R radyal mesafelerinde “düzeltilmiş düşüm” adı verilir. Bu düşümler basınçsız akiferin basınçlı akifere eşdeğer düşünülmesi halinde geçerlidir ve düşümler arasındaki bağıl hata %10'dan daha küçük olmalıdır.

c) Eğer yarı logaritmik kağıdın yatay ekseninde mesafe, düşey ekseninde düşümlerin kareleri gösterilerek, yapılan ölçümlerle elde edilen değerler işaretlenirse basınçsız akifer için saçılma diyagramı elde edilmiş olur. Noktaların arasından en uygun doğru geçirilir. Bu doğru, $r > 1.5 H$ radyal mesafesinde elde edilen düşüm değerleriyle hazırlanmışsa doğru sonuçlar verir.

Mansur ve Kaufman mesafenin $1.5 H$ dan daha küçük olduğu durumlarda $s(r)$ düşümünün tahmini için bir bağıntı vermiştir. $0.3 < r < 1.5 H$ için;

$$s(r) = \frac{Q[0.13\ln(Ro/r)]\ln[10\ln(Ro/H)]}{kH} \quad (4.54)$$

ve $r < 0.3 H$ için

$$s(r) = \frac{Q[0.13\ln(Ro/r) - 0.0123\ln^2(Ro/10r)]\ln[10\ln(Ro/H)]}{kH} \quad (4.55)$$

d) Kalın basınçsız akiferlerde $sw(t) < 0.10H$ şeklindeki küçük düşümlerde Dupuit – Forchheimer denklemi;

$$S(r) = \frac{Q}{\pi k(H + h)} \ln(Ro/r) \quad (4.56)$$

şeklinde

yazılabilir.

5. DENGESİZ YERALTI SUYU AKIM DURUMU İÇİN YAPILAN AKİFER SINAMALARI VE GELİŞTİRİLMİŞ MODELLER

5.1 Giriş

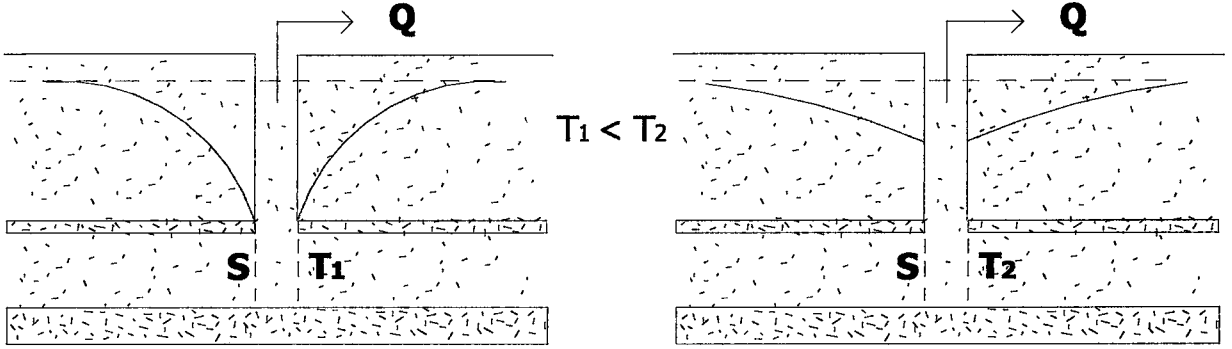
Amaç ana veya gözlem kuyularından elde edilen zaman – düşüm veya mesafe – düşüm verilerinden, dengesiz akım sınaması yapan fiziksel modeller kullanılarak akifer parametrelerinin hesaplanmasıdır. Bu modellerle kuyu ve pompa karakteristikleri belirlenir, debi, düşüm veya su çekilen kuyular arasındaki mesafeler tahmin edilerek, planlama, tasarım, işletme ve bakım yapılır. Ana kuyudan su çekimi esnasında ana kuyu yada gözlem kuyularındaki piezometrik seviye değişimleri kayıt altına alınmalıdır.

Akifer sınamaları yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar arasında, iletkenlik, depolama katsayısı, sızdırma katsayısı vardır. Akifer kalınlığının bilinmesi ile iletkenlik katsayısından geçirimsizlik katsayısı da hesaplanabilir. Akiferin geometrisi, mesafeler, geçirimsiz tabakaların yönleri, konumları ve özellikleri ile beslenme alanlarının ve kuyu civarının yanıl davranışının da bilinmesi yararlıdır. Başarılı çalışmalar için arazi ölçümleri sağlıklı olarak yapılmalıdır. Özellikle düşüm ölçümleri, zaman serilerindeki salınımlar, yüzeyaltı jeolojisinin değişimi hakkında fikir verir.

5.2 Parametre ve Değişkenler

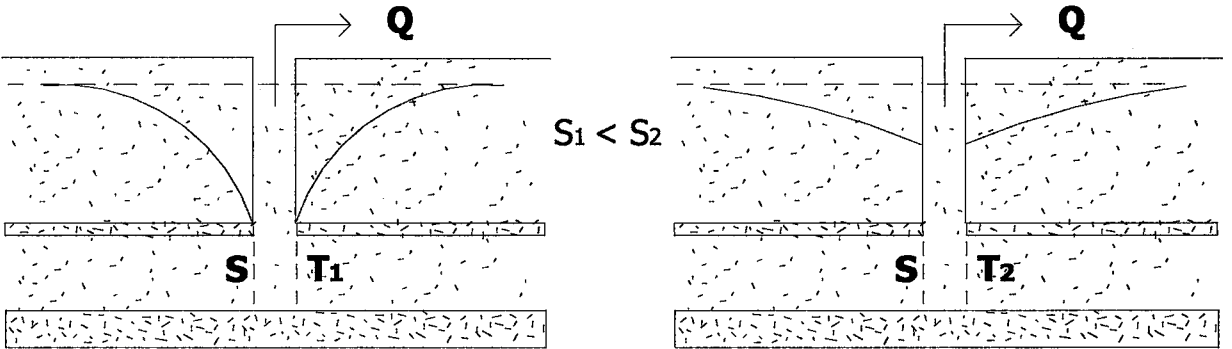
Akifer sınamasında debi, düşüm, zaman ve mesafe değişkenleri vardır. Dengeli akım halinde, zamanın dışında debinin de sabit tutulmasıyla sadece mesafe – düşüm değişiminden söz edilebilir. Yeraltı suyu çalışmalarında dört değişkenin aynı zamanlı olarak değişiminin modellenmesi oldukça zordur. Pratikte, matematik modellemede kolaylık sağlaması amacıyla genelde bunlardan bir tanesi olan debi sabit tutulur.

Akifer parametreleriyle sınaama değişkenleri arasındaki ilişkileri debinin sabit olması durumuna göre inceleyelim. Şekil 5.1 değişik iletkenlik katsayılarına sahip olan iki basınçlı akiferi göstermektedir. İletkenlik katsayısı düşük akiferde yüksek olana göre düşüm konisi derin ve fazla hidrolik eğimlidir.



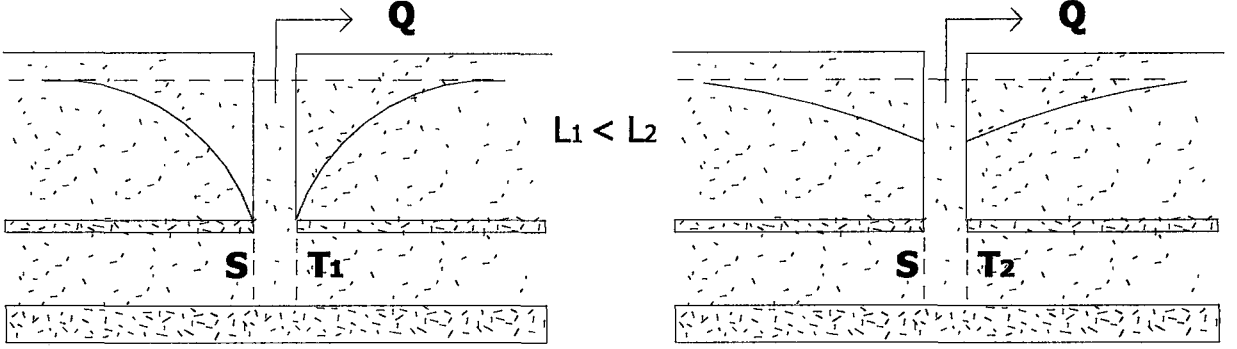
Şekil 5.1 Farklı iletkenlik katsayıları

Şekil 5.2’de sadece depolama katsayıları farklı iki basıncılı akifer verilmektedir. Depolama katsayısının küçük olması durumunda düşüm büyük ve düşüm konisi de çok yaygındır. Buradan depolama katsayısı ile tesir yarıçapı arasında ters bir orantı olduğunu anlaşılır.



Şekil 5.2 Farklı depolama katsayıları

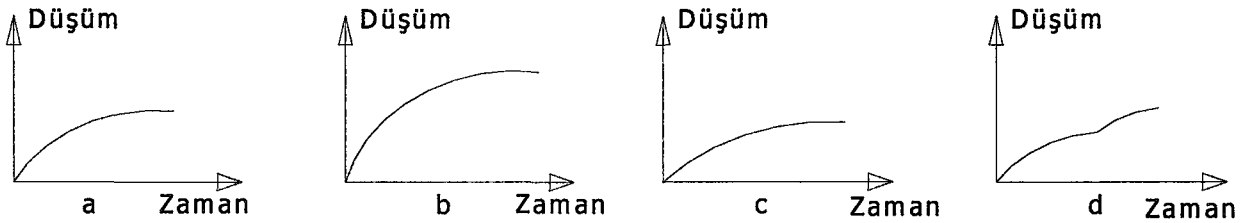
Şekil 5.3’te sızma faktörünün düşüm konisi üzerine etkisi gösterilmiştir. Küçük sızma faktörlerinde yaygın düşüm konisi ortaya çıkar.



Şekil 5.3 Farklı sızma katsayıları

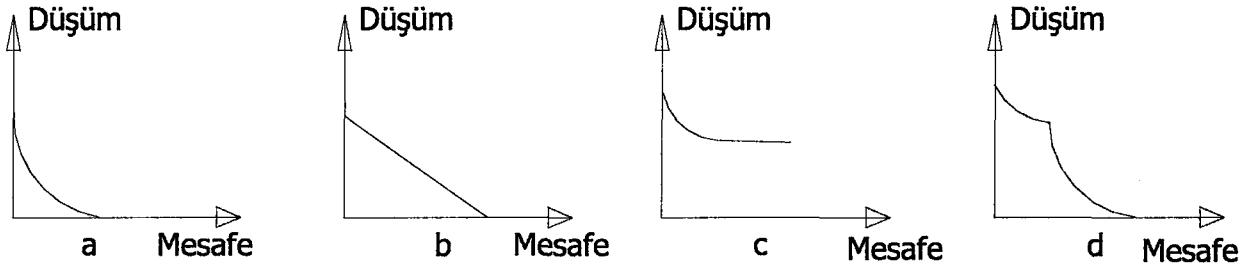
Herhangi bir akifer sınamasında aşağıdaki ilişkiler göz önünde tutulmalıdır.

a) Düşüm zamanla orantılıdır ve orantılılık katsayısı akifer parametreleriyle debinin fonksiyonudur. Şekil 5.4 aritmetik kağıt üzerinde değişik zaman-düşüm noktalamasını gösterir. Hepsi zamanın artmasıyla azalan eğriliği olan içbükey eğrilerdir.



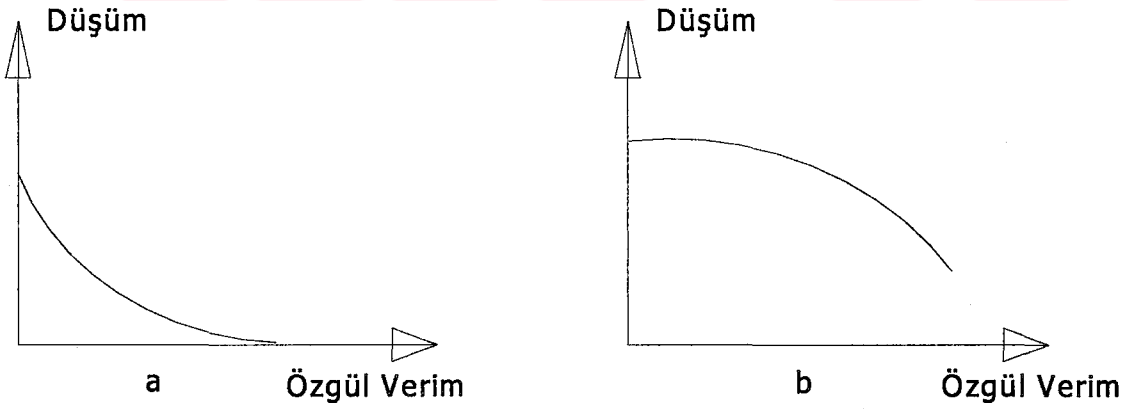
Şekil 5.4 Farklı zaman düşüm ilişkileri

b) Düşüm mesafe ile ters orantılıdır. Şekil 5.5 de bu ilişki mesafe ile azalan ve en büyük düşüm değeri kuyu civarında olan üssel biçimdedir.



Şekil 5.5 Farklı mesafe-düşüm ilişkileri

c) Debi ile düşüm arasında daima doğru orantılılık ilişkisi vardır. Marsily (1986), bu tür bir ilişkiye kuyunun “karakteristik eğrisi” adını vermiştir. Şekil 5.6 da eğri iç bükümlü bir parabol olarak görülmektedir.



Şekil 5.6 Karakteristik eğriler

Buradan düşümün artması durumunda, pompanın daha az debi basacağı durumu ortaya çıkmaktadır.

5.3 Akifer Sınama Usulleri

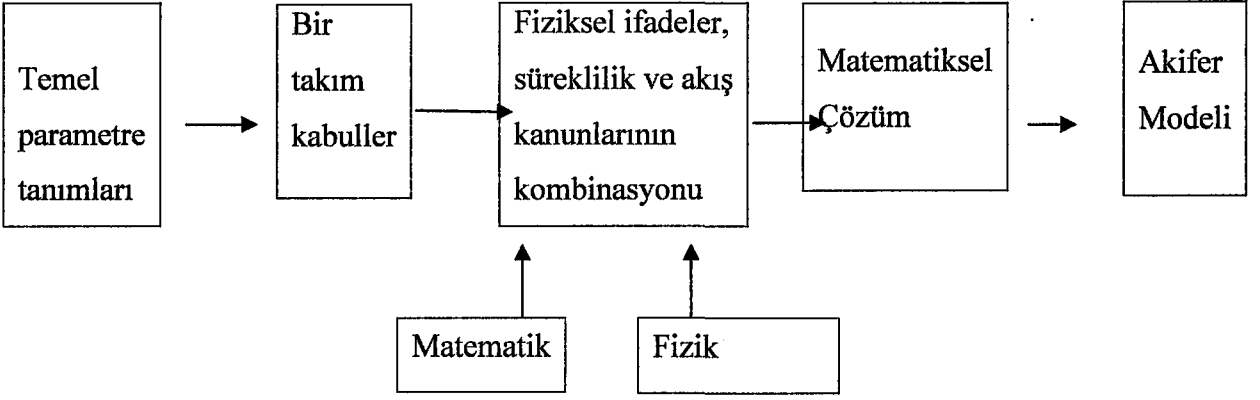
Sınamada amaç akifer parametreleri veya kuyu karakteristiklerinin hesaplanmasıdır. Arazi çalışmalarında aşağıdaki noktalar hesaplanabilmelidir.

- a) Temel parametrelerden, depolama ve iletkenlik katsayıları, sızma faktörü, gecikmiş sızma değerlerinin belirlenmesi.
- b) Kuyu kayıpları, güvenilir verim, özgül düşüm ve kapasite gibi kuyu karakteristiklerinin elde edilmesi.
- c) Yeraltında saklı olabilen hidrolojik veya jeolojik sınırların tespit edilmesine çalışılması,
- d) Düşüm konisi şekli ve tesir alanı gibi geometrik büyüklükler elde edilerek, kuyuların uygun yerleşimi, tasarımı ve işletimi,
- e) Tuzlu su girişi, beslenme ve yeraltı suyu çekmesi gibi konular düşünülerek arazide tasarımların yapılması,
- f) Yeraltı suyundan arındırılan bölgelerdeki yapıların temel çukurlarının kurutma alanının tespiti,

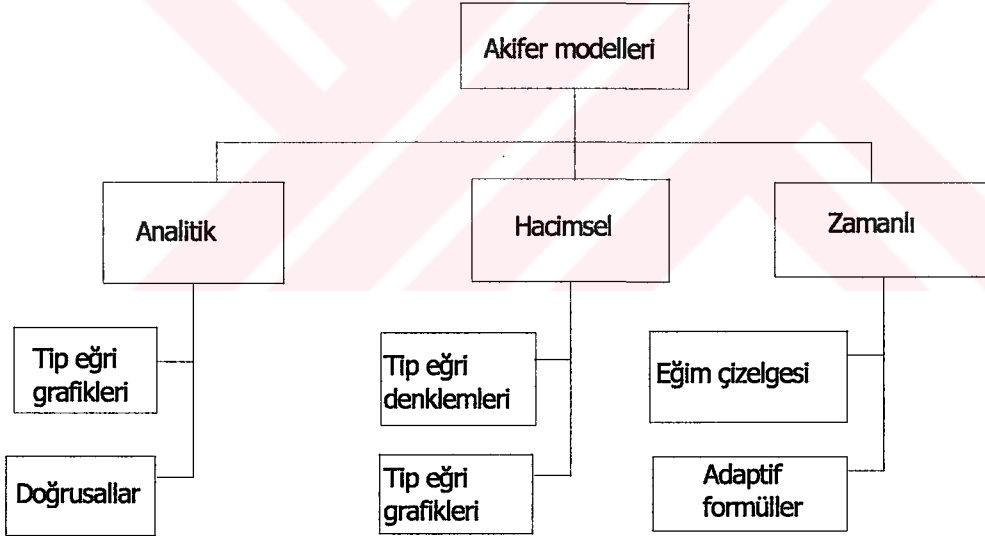
Arazi sınamasında belirli bir debi çekimi ile meydana gelen düşümler, ana kuyu veya daha önemli olarak gözlem kuyularında ölçülür. Pompa testlerinin en büyük zayıflığı ana (pompaj) ve gözlem kuyularının açılmasının çok masraflı olmasıdır (Şen 1995).

5.4 Akifer Modelleri

Akifer parametre değerlerinin arazi verilerinden hesaplanabilmesi için uygun analitik modellerin kullanılması gerekir. Şekil 5.7’de gösterilen analitik modellerin geliştirilmesi için beş aşama vardır. Değişik akifer modelleri Şekil 5.8’de verilmiştir.



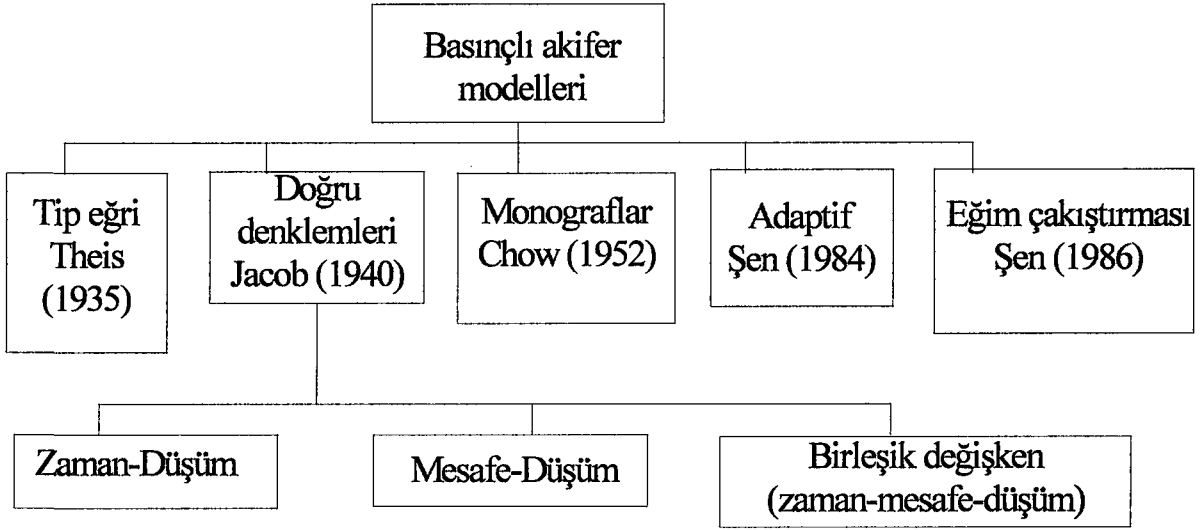
Şekil 5.7 Modelleme aşamaları



Şekil... Değişik akifer modelleri

5.4.1 Basınçlı Akifer Modelleri

Akifer türlerine göre farklı modeller uygulandığı daha önce vurgulanmıştı. Şekil 5.9 da basınçlı akiferlerden alınan verilerin kullanılabileceği modeller verilmiştir.



Şekil... Basıncılı akifer modelleri

Bu modeller uygulanırken 4. bölümde dengeli yeraltı suyu akımında belirtilen kabuller, birkaç ilave ve noksanlarla dengesiz yeraltı suyu akımı için de kullanılabilir. Dengesiz akımda aşağıdaki iki nokta da dikkate alınır.

a) Yeraltı suyu sıkışabilir ve akifer malzemesi elastiktir.

b) Su çekimine karşı akifer cevabı anidir.

5.5 Dengesiz Akım Durumuna İlişkin Denklemler

5.5.1 Süreklilik Denklemi

Kütlenin korunumu prensibine göre hacim elemanına giren net debi miktarının, aynı sürede bu elemandaki sıvı depolama miktarına eşit olmalıdır. Süreklilik denklemi,

$$-\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} = \frac{\partial(\rho n)}{\partial t} \quad (5.1)$$

şeklinde yazılabilir. Sağ taraftaki terim açılırsa,

$$-\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} = n \frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \frac{\partial n}{\partial t} \quad (5.2)$$

olur. Burada, $n \frac{\partial \rho}{\partial t}$ terimi, yoğunluk değişiminde suyun genişlemesinden meydana gelen su kütlesi miktarıdır. $\rho \frac{\partial n}{\partial t}$ porozite değişimi altındaki gözenekli ortam sıkışmasından kaynaklanan su kütlesi miktarıdır. Özgül depolamada, ρ yoğunluğunda ve n porozitesindeki değişimin, h hidrolik yükündeki değişimden dolayı, su hacmi meydana gelir ve $S_s = \rho g(\alpha + n\beta)$ ile gösterilir. Süreklilik denklemi,

$$-\frac{\partial(\rho q_x)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho q_y)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho q_z)}{\partial z} = \rho S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.3)$$

halini alır. Burada Darcy kanunu kullanıldığında ve eşitliğin her iki tarafındaki yoğunluklar sadeleştirildiğinde,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.4)$$

doygun, gözenekli, izotrop olmayan bir ortamdaki dengesiz akım denklemi elde edilir. Akışkan homojen ve izotrop ise $k_x = k_y = k_z$, sabittir böylece yeni denklem,

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{k} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.5)$$

olur. $S_s = \rho g(\alpha + n\beta)$ eşitliği yazılırsa,

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{\rho g(\alpha + n\beta)}{k} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (5.6)$$

difüzyon eşitliği olarak bilinen denkleme ulaşılır. Herhangi bir zamanda akım alanındaki hidrolik yükü veren $h(x,y,z,t)$ fonksiyonu bilinmemeyendir.

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

$$\frac{\partial^2 \mathbf{h}}{\partial \mathbf{x}^2} + \frac{\partial^2 \mathbf{h}}{\partial \mathbf{y}^2} = \frac{\mathbf{S}}{\mathbf{T}} \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{t}} \quad (5.7)$$

bulunur. Herhangi bir zamanda akiferi kesen yatay bir düzlem üzerindeki hidrolik yükü gösteren $\mathbf{h}(\mathbf{x},\mathbf{y},\mathbf{t})$ fonksiyonu bu denklemden bulunabilir (Guzetti, 1991).

5.5.2 Kuyuya Doğru Dengesiz (Radyal) Akım

Dengesiz akım durumunda uygulanabilecek diferansiyel denklem (5.5) dir. Bu denklem radyal (silindirik) koordinat sisteminde;

$$\frac{\partial^2 \mathbf{h}}{\partial \mathbf{r}^2} + \frac{1}{\mathbf{r}} \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{r}} = \frac{\mathbf{S}}{\mathbf{T}} \frac{\partial \mathbf{h}}{\partial \mathbf{t}} \quad (5.8)$$

şeklini alır. Theis (1941), yeraltı suyu akımı ile ısı yayılımı arasında kıyaslama yaparak, bu denklemden bir çözüm elde etmiştir. Pompaja başlamadan önce $\mathbf{h} = \mathbf{H}$ ve pompaja başladıktan sonra ($\mathbf{T} \geq 0$) $\mathbf{r} \rightarrow \infty$ olduğundan $\mathbf{h} \rightarrow \mathbf{H}$ kabul edilerek, aşağıdaki bağıntı yazılır,

$$\mathbf{H} - \mathbf{h} = \frac{\mathbf{Q}}{4\pi\mathbf{T}} \int_{\mathbf{r}^2\mathbf{S}/4\mathbf{T}\mathbf{t}}^{\infty} \frac{\mathbf{e}^{-\mathbf{u}} \mathbf{d}\mathbf{u}}{\mathbf{u}} \quad (5.9)$$

Burada, $\mathbf{Q}$ kuyudan çekilen sabit debi, $\mathbf{t}$ zaman, $\mathbf{r}$ ana kuyu ile gözlem kuyusu arasındaki uzaklık, $\mathbf{u}$ da boyutsuz değişkendir. $\mathbf{u}$ ise,

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

şeklinde tanımlanır. Theis denklemi olarak tanımlanan (5.9) denklemi seriye açıldığında;

$$\mathbf{H} - \mathbf{h} = \frac{\mathbf{Q}}{4\pi\mathbf{T}} \left[-0.5772 - \ln \mathbf{u} + \mathbf{u} - \frac{\mathbf{u}^2}{2(2!)} + \frac{\mathbf{u}^3}{3(3!)} - \frac{\mathbf{u}^4}{4(4!)} + \dots \right] \quad (5.11)$$

halini alır. Köşeli parantezin içi $\mathbf{W}(\mathbf{u})$ ile ifade edilirse denklem, basınçlı akiferlerde açılmış olan kuyuya ait düşüm denklemi haline gelir.

$$\mathbf{W}(\mathbf{u}) = \left[-0.5772 - \ln \mathbf{u} + \mathbf{u} - \frac{\mathbf{u}^2}{2(2!)} + \frac{\mathbf{u}^3}{3(3!)} - \frac{\mathbf{u}^4}{4(4!)} + \dots \right] \quad (5.12)$$

Bu denklemde yerine konursa, aşağıdaki bağıntı bulunur.

$$H - h = s_w = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (5.13)$$

Burada, $W(u)$ kuyu fonksiyonudur. Dengesiz akım durumunda, gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra serbest yüzlü akiferler için denklem;

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{4\pi T} \left[-0.5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2(2!)} + \frac{u^3}{3(3!)} - \frac{u^4}{4(4!)} + \dots \right] \quad (5.14)$$

halini alır. Bu denklem düzenlenmiş Theis denklemi adını alır (Todd, 1959). Yine köşeli parantezin içi $W(u)$ ile ifade edilirse denklem;

$$H^2 - h^2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (5.15)$$

haline gelir. Bu denklem pompaj kuyusu için;

$$H^2 - h_w^2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (5.16)$$

olur. Burada, H akifer su yüksekliğini ve h_w pompaj kuyusundaki su yüksekliğini ifade eder. Denklemden debi çekildiğinde;

$$Q = \frac{(H^2 - h_w^2)4\pi T}{W(u)} \quad (5.17)$$

şeklinde yazılır.

5.6 Basınçlı Akifer Modelleri

5.6.1 Theis Metodu

Yeraltı suyu akımı için, Theis (1935), ısı transferi ilkesine benzer yeni bir yöntem geliştirmiştir. Kuyuya doğru dengesiz radyal akım bölümünde Theis'in geliştirdiği yöntemin genel çözümü denklem (5.13) de verilmişti.

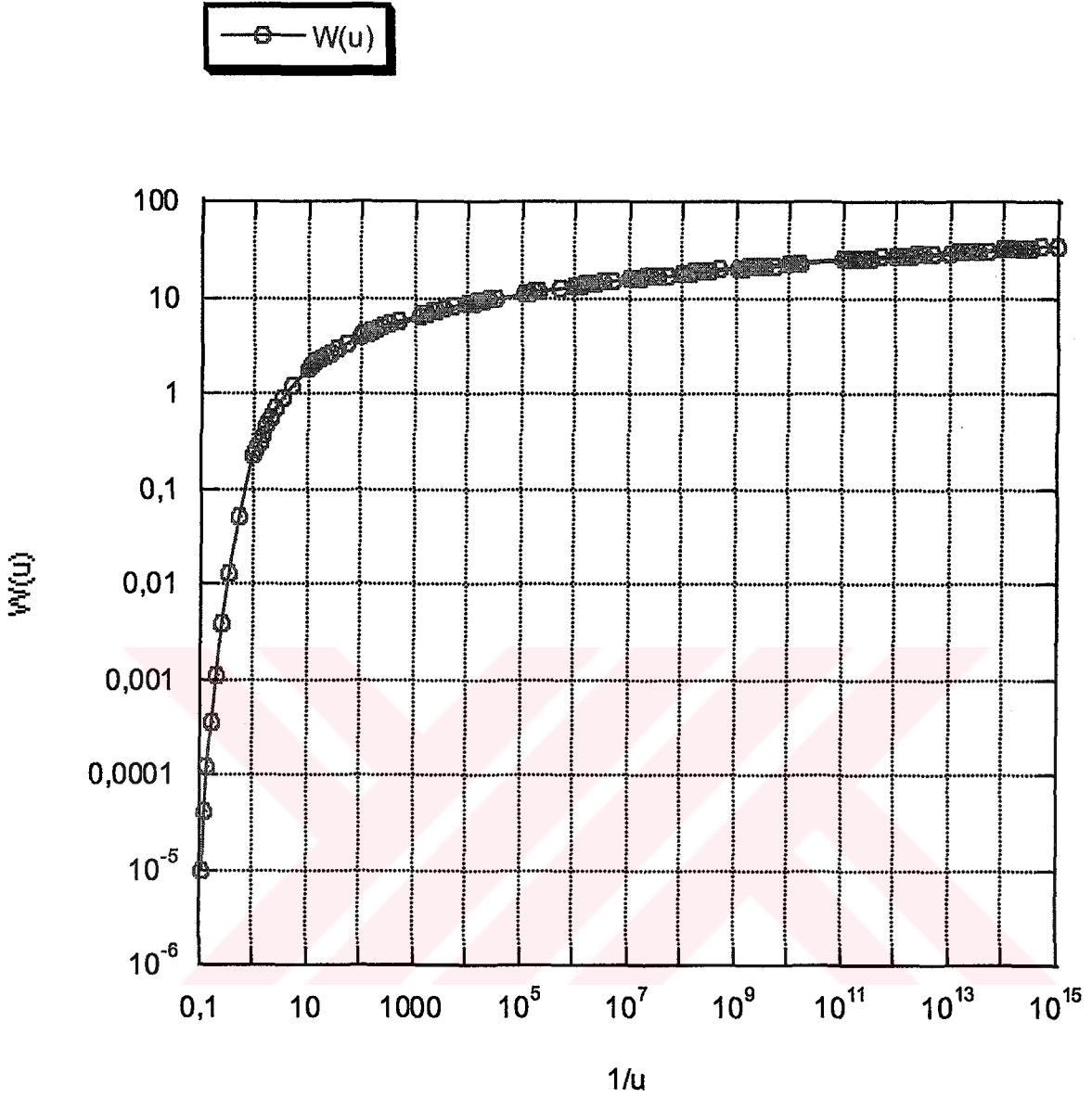
$$s = H - h = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (5.18)$$

Burda, s , kuyudaki düşüm değeridir, u değeride $u = (r^2 S / 4 T t)$ şeklinde ifade edilmiştir.

Theis akifer parametreleri olan iletkenlik (T) ve depolama (S) katsayısının tahmini için grafik süperpozisyonuna dayanan bir yöntem geliştirmiştir. Bu grafiklerden biri, Theis tip eğrisi olarak adlandırılır ve logaritmik kağıt üzerindeki yatay eksene u değerleri, düşey eksene de $W(u)$ değerleri yerleştirilerek hazırlanmıştır. Çizelge 5.1 de Theis tip eğrisi değerleri verilmiştir. Grafik olarak bu eğri Şekil 5.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Theis tip eğrisi değerleri

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



Şekil 5.10 Theis tip eğrisi

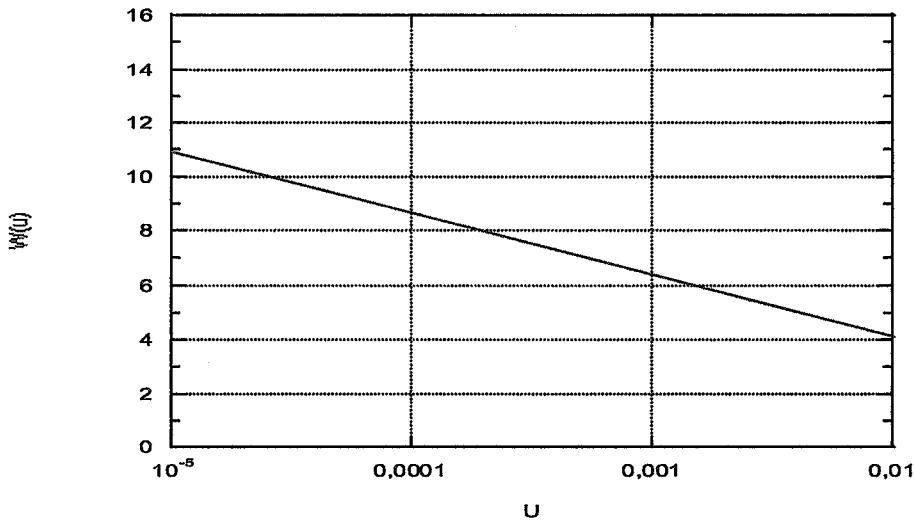
Diğer grafik de logaritmik olmakla beraber, **(H-h)** düşüm değerleri düşey eksen, yatay eksen r^2/t değerleri bulunmaktadır ve ölçeğin tip eğri ölçeğiyle aynı olması gerekir. Logaritmik kağıt üzerinde iki grafiğin koordinat eksenleri birbirine paralel gelecek şekilde çizilen eğri ile tip eğrisi karşılaştırılır. Çizilen eğri ile tip eğrinin tam olarak karşılaştığı uygun noktalardan bir tanesinin koordinatları alınır. Bu sayede **W(u)**, **u**, **(H-h)**, ve r^2/t değerleri elde edilir. Denklem (5.10) ve (5.13) de değerler yerine konduğunda T ve S katsayılarına ulaşılır.

Theis yöntemini geliştiren Walton (1953), r^2/t hesabından kaçınmak için, **(H-h)** değerlerinin karşısına **t** değerlerini getirmiştir. Bu işlemi adım adım incelersek;

- a) Tip eğrinin çizildiği çifte logaritmik kağıtla aynı ölçekte başka bir çifte logaritmik kağıt üzerine, düşey eksende düşüm, yatay eksen de zaman verileri işaretlenir.
- b) Tip eğri kağıdı, arazi veri dağılımı kağıdının üzerine konarak bu iki kağıt, eksenler birbirine paralel olacak şekilde hareket ettirilerek eğriler çakıştırılır.
- c) Her iki kağıtta da ortak olan alan üzerinde keyfi olarak bir nokta seçilir ve buna çakışma noktası adı verilir.
- d) Çakışma noktasının, tip eğri ve arazi veri dağılımı kağıtlarındaki koordinatları okunarak, **W(u)**, **u**, **s**, ve **t** değerlerine ulaşılır. Bu değerler (5.10) ve (5.13) de yerine konduğunda T ve S katsayılarına ulaşılır.

5.6.2 Jacob Metodu

Cooper ve Jacob (1946), denklem (5.12) de verilen kuyu fonksiyonunun, **u**'nun 0.01'den küçük değerleri Şekil 5.11'de gösterildiği gibi yarı logaritmik eksenli bir kağıtta doğru oluşturmaktadır.



Şekil 5.11 Yarı logaritmik kağıtta doğrusal model

Denklemden $\ln(u)$ ' dan sonraki terimler ihmal edilince;

$$W(u) = -0.5772 - \ln u \quad (5.19)$$

elde edilir. Buradan;

$$H - h = s(r, t) = \frac{Q}{4\pi T} (-0.5772 - \ln \frac{r^2 S}{4tT}) \quad (5.20)$$

düşümüne ilişkin denklem ifade edilir. Denklem düzenlenirse;

$$s(r, t) = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \frac{2.25Tt}{r^2 S} \quad (5.21)$$

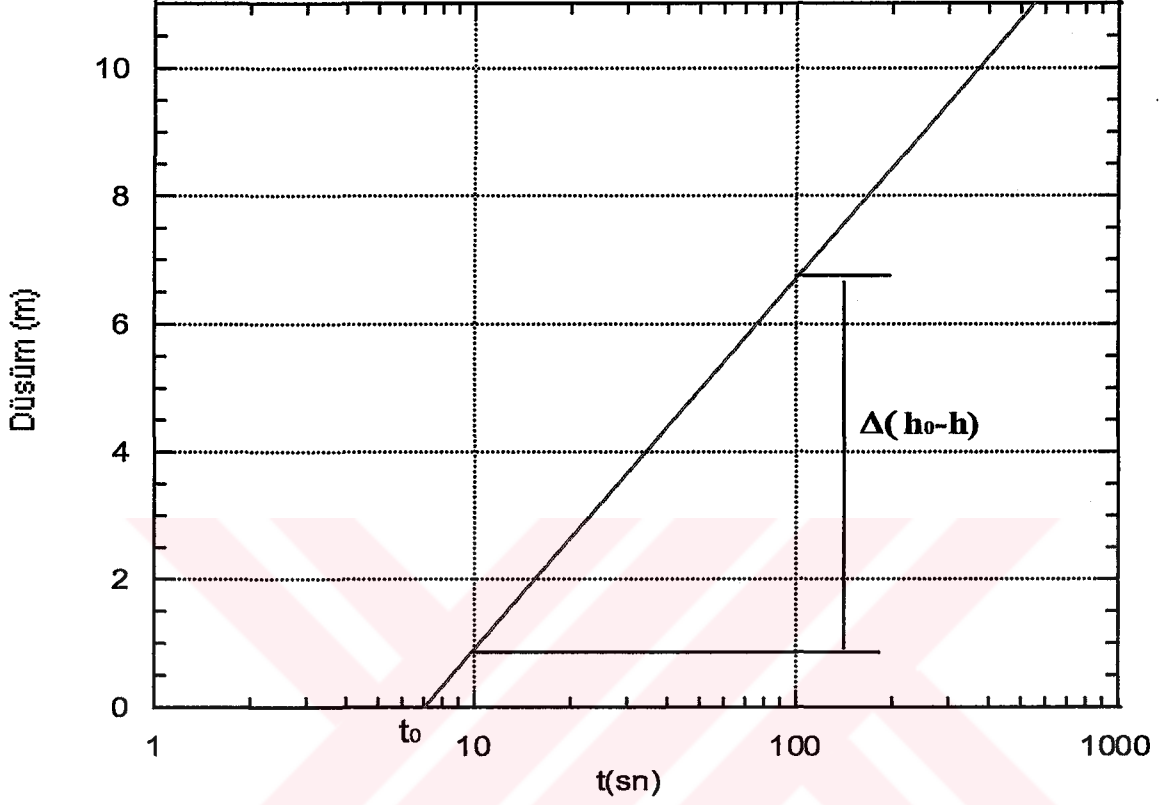
halini alır. Bu denklemden debinin sabit tutulması şartıyla düşümün, zaman ve mesafe ile değişimini gösterir. Bu denklemin hata seviyeleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Çeşitli u değerlerine göre 5.21 denkleminin hata seviyeleri

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

5.6.2.1 Jacob Zaman Düşüm Modeli

Bu yöntem pratikte gözlem kuyularının bulunmadığı durumlarda, ana kuyudan alınan zaman-düşüm değerlerinden akifer parametrelerini elde etmekte kullanılır. Bu yöntemde, ana kuyudan alınan düşüm değerleri geç zamanlı olmalıdır. Çünkü düşüm-zaman değerleri ancak bu durumda yarı logaritmik kağıtta bir doğru etrafında salınım yapabilirler. Yatay eksen düşüm ve logaritma eksenini zaman olmak üzere noktalar işaretlenir ve bu noktalar arasından en uygun doğru geçirilir. Şekil 5.12'de bu zaman-düşüm grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.12 Jacob zaman düşüm grafiği

Bu doğrudan, Δs_t , eğim ve zaman eksenini kesen nokta t_0 , elde edilir. Denklem (5.21) de düzenleme yapıldıktan sonra akifer parametre ifadelerini veren denklemler;

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s_t} \quad (5.22)$$

ve

$$S = \frac{2.25 t_0 T}{r^2} \quad (5.23)$$

şeklinde yazılır.

5.6.2.2 Jacob Mesafe - Düşüm Modeli

Düşüm konisi değişiminin belirlenebilmesi için değişik uzaklık ve yönlerde gözlem kuyuları açılır. Yarı logaritmik kağıtta yatay eksen düşüm, düşey eksen mesafe olacak şekilde değerler işaretlenir ve bu noktalar arasından düz çizgi geçirilir. Burada geç zamanlı düşüm değerlerinin kullanılması daha uygundur. Mesafe, düşümle ters orantılıdır. Bu yüzden oluşan düz çizginin eğimi negatif ve mesafe eksenini kestiği nokta düşümün sıfır olduğu yerdir. Aynı zamanda da bu nokta etki yarıçapının değerini gösterecektir. Denklemi (5.21) düzenlenirse;

$$T = \frac{2.3Q}{2\pi\Delta s_r} \quad \text{ve} \quad S = \frac{2.25 t_0 T}{r_0^2} \quad (5.24)$$

elde edilir. Burada r_0 , etki yarıçapını, t_0 da düşümlerin ölçüldüğü zamanı gösterir.

5.6.2.3 Jacob Birleşik Değişken (Mesafe-Zaman-Düşüm) Metodu

Düşüm, mesafe, zaman verilerinin üçünün birden kullanıldığı bir metottur. En az üç adet gözlem kuyusuna ihtiyaç vardır. Değişik gözlem kuyularında aynı anda ölçülen düşüm değerlerinin t/r^2 oranına bağlı olarak belirlenir. t/r^2 değerleri yatay eksen, düşüm değerleri düşey eksen olmak üzere yarı logaritmik kağıda işaretlenirler. (5.21) denkleminde düz çizgi eğimi;

$$\Delta S_{(t/r)} = \frac{2.3Q}{4\pi T} \quad (5.25)$$

olur. Buradan T çekilirse;

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s_{(t/r)}} \quad (5.26)$$

elde edilir. (5.21) denkleminde depolama katsayısı;

$$S = 2.25T\left(\frac{t}{r^2}\right)_0 \quad (5.27)$$

olur. Burada, $(t/r^2)_0$, elde edilen düz çizginin t/r^2 aksını kestiği noktadır. Jacob düz çizgi metoduyla elde edilen eğim değerleri karşılaştırıldığında;

$$\Delta s_t = \frac{\Delta s_r}{2} = \Delta s_{(t/r)} \quad (5.28)$$

olduğu görülür.

5.6.3 Singh Metodu

Sushil K. Singh (2000), basınçlı akifer parametrelerinin hesabında basit bir metot geliştirmiştir. Singh, Theis (1935) tarafından, homojen ve izotrop, sonsuz genişlikte, basınçlı akiferler için verilen denklemlerden yararlanmaktadır.

Gözlem kuyusundaki düşüm (s) için Theis denklemi;

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx \quad (5.29)$$

$$S = \frac{Q}{4\pi T} w(u) \quad (5.30)$$

dir. Ayrıca boyutsuz değişken u;

$$u = \frac{S}{4\pi\alpha} \quad (5.31)$$

olarak verilmiştir. (5.31) denklemindeki S depolama katsayısı değeridir. (5.30) denkleminde Q, akiferden çekilen debidir, w(u) yeraltı suyu literatüründe yaygın olarak bilinen kuyu fonksiyonudur (Bear, 1972), $\alpha = t/r^2$; t, pompalamanın başladığı andan itibaren geçen zaman ve r (m), gözlem kuyusu ile pompa vasıtası ile su çekiminin yapıldığı ana kuyu arasındaki mesafedir. Denklem (5.30) α ile bölünürse,

$$S' = \frac{S}{\alpha} = \frac{Q}{4\pi T\alpha} w(u) \quad (5.32)$$

olur. Burda, S' değeri α değişkenine göre yarı logaritmik kağıt üzerinde işaretlendiğinde, erken düşüm değerlerinden çan biçimli bir eğri elde edilir. Eğrinin tepe noktası $S'_*(S_*/\alpha_*)$

ve α_* dır. Burada α yerine t, zaman kullanıldığında, tepe noktası $S'_*(S_*/t_*)$ ve t_* olur.

Ayrıca α 'ya uyumlu olarak denklem (5.32) den elde edilen farklı değerler ve denklem sıfıra eşitlendiğinde, tepe noktasının diğer karakteristikleri hesaplanır.

$$u_* = 0.4348182 \quad (5.33)$$

$$W(u_*) = 0.6473 \quad (5.34)$$

Denklem (5.34) ve (5.33), sıra ile (5.30) ve (5.31) de yerine konulursa akifer parametre denklemleri elde edilir.

$$T = \frac{Q}{4\pi S_*} w(u_*) = 5.152 \times 10^{-2} \frac{Q}{S_*} \quad (5.35)$$

$$S = \frac{4T t u_*}{r^2} = 1.7393 T \alpha_* \quad (5.36)$$

Eğride en azından bir noktada $u > 0.4348$ olmalıdır. Düşümler kısa zaman aralıklarıyla kaydedilir, S' değerleri, α yada t 'ye göre hesaplanıp uygun eğri çizilirse, α_* ve S'_* değerlerine ulaşılır. Burada S_* , $S_* = S'_* \cdot \alpha_*$ oranından hesaplanabilir. Buradan da akifer parametre değerleri, T ve S sırasıyla (5.35) ve (5.36) numaralı denklemlerden hesaplanabilir. Yeni metotta akifer parametrelerini hesaplamak için sadece birkaç erken düşünüm değerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gözlem kuyularının pompaj kuyusuyla arasındaki mesafe (r) daha büyük olursa eğrinin biçimi daha düzgün olur. Tek bir gözlem kuyusundan alınan verileri analiz ederken s/t verileri, t değişkenine bağlı olarak işaretlenir. Tepe noktası $(t_*, S_*/t_*)$, işaretlenmiş noktalardan kabataslak geçirilen düzgün bir eğri yardımıyla elde edilir. S_* değeri, $S_* = S'_* \cdot t_*$ oranından, α_* değeri de $\alpha_* = t_*/r^2$ oranı kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemde her düşünüm değeri için α hesaplanmasına gerek yoktur. Denklem (5.35) ve (5.36) incelendiğinde akifer geçirgenliği ve depolama katsayısı ters orantılıdır. Bu da gösterir ki S_*/α_* depolama katsayısıyla ters orantılıdır.

Bundan sonra S_* ve α_* parametre olarak alınabilir ve (5.30) denklemi bu parametrelere göre yazılırsa, aşağıdaki bağıntı bulunur.

$$\frac{S}{S_*} = 1.5446 W\left(\frac{0.4348\alpha_*}{\alpha}\right) \quad (5.37)$$

Eğer tepe noktası her iki $[s/\alpha$ nın α ile (birçok gözlem kuyusundan alınan düşüm değerleri kullanılarak) yada S' nün t ile (tek gözlem kuyusu kullanılarak)] eğride yerleştirilemiyorsa, S_* ve α_* geç düşümlerden ($u < 0.01$) hesaplanabilir. (5.37) denklemi şu şekilde yazılabilir;

$$\frac{S}{S_*} = 3.5566 \log\left(\frac{1.2913 \alpha}{\alpha_*}\right) \quad (5.38)$$

Denklem (5.38) dan anlaşılıyor ki s değeri t 'ye yada α 'ya göre (t ve α logaritmik ekseninde) işaretlendiğinde, düz çizgi elde edilir (doğru çizilirken $u > 0.01$ olan veri dikkate alınmamalıdır). Bu yüzden yeni metot Cooper – Jacob (1946), metoduyla bir noktada birleşir ($u \leq 0.01$ için). S_* , t_* ve α_* parametreleri sırayla;

$$S_* = 0.2812 \Delta s \quad (5.39)$$

$$t_* = 1.2913 t_0 ; \alpha_* = 1.2913 \alpha_0 \quad (5.40)$$

olur. Burada t_0 veya α_0 , çizilen doğrunun x eksenini $S = 0$ 'da kestiği noktalardır. Bulunan S_* , t_* veya α_* değerleri (5.35) ve (5.36) denkleminde yerine konarak akifer parametre değerlerine ulaşılır. Akiferin hidrolik sınır durumuna etki (tekrar dolun ya da su geçirmez sınır), Cooper – Jacob metodunun geç düşüm verisiymiş gibi açıklanabilir. Bu yüzden bu önerilen metot ideal olmayan akifer durumlarını tanımlamaya uygundur.

6. ARAZİ ÇALIŞMASI

6.1 Türkiye Elektrik Kurumu İçel - Gilindire - Akkuyu Nükleer Enerji Santrali İncelemesi

Bu inceleme Türkiye Elektrik Kurumu İçel – Gilindire – Akkuyu Nükleer Enerji Santrali'nin ortalama 50 lt/sn (1.58×10^6 m³/yıl) tatlı su gereksinimini karşılamak ve mümkün olan çözüm yollarını bulmak amacı ile hazırlanmıştır.

İnceleme alanının jeolojisi ölçekli haritalara işlenmiştir. Yörede metamorfizasyona uğramamış çeşitli kırıntılı çökeller görülür. Birimler Kambriyen'den Kuvaterner'e kadar sıralanım gösterir. Jeoloji çalışmalarında MTA Enstitüsü elemanlarından Dr. Erdoğan DEMİRTAŞLI ve grubunu Akkuyu yöresinde yapmış olduğu çalışmalar esas alınmıştır.

İnceleme alanında Büyük Eceli ve Sipahili dereleri vardır. Yörede Koçaşlı, Soğuksu ve Boğsak kaynakları önemli yeraltı suyu boşalım noktalarıdır. Ovadaki tüm sığ kuyular belirlenmiş ve kotlandırılmıştır. Akarsular, kaynaklar ve kuyular sürekli gözlenmiştir. Kaynakların hidrojeolojik özellikleri saptanmıştır. Sığ kuyulardan yararlanılarak akiferdeki tuzlanma değişimi gözlenmiştir. Ovalarda 25 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyularda kurak ve yağışlı periyotlarda defalarca pompalama deneyleri yapılmıştır. 1980 yılında uzun süreli pompalama deneyi yapılarak yeraltı suyu seviyesinin değişimi gözlenmiştir. Pompalama deneyleri değişik yöntemlerle değerlendirilerek akiferin hidrolojik özellikleri hesaplanmıştır. Yeraltı suyu taşıyan formasyonların yayılım ve kalınlıkları haritalanmıştır. Ovalarda yeraltı suyu bilançosu yapılmıştır. Santral gereksinimi Sipahili ovasından sağlandığında, akiferde olabilecek teorik değişiklikler irdelenmiştir.

Sonuç olarak nükleer santralin tatlı su gereksinimin sürekli olarak Sipahili ovasından karşılanabileceği saptanmıştır. Ayrıca yağışlı periyotta Koçaşlı kaynağından, inşaatı bittiğinde de Korucuk Barajından su alınabileceği saptanmıştır. Emniyet açısından nükleer enerji santralının birden fazla kaynaktan alınan suyla ihtiyacı karşılanmalıdır. Bu amaçla Korucuk Barajının inşası öngörülmüştür. Su kimyası çalışmalarıyla kullanılacak suyun uygun nitelikte olduğu anlaşılmıştır. Nükleer Enerji Santralinin su gereksiniminin 22148/B numaralı kuyudan pompajla karşılanması öngörülmüştür.

6.1.1 İncelemenin Amacı

İçel – Gilindire – Akkuyu, yapılması öngörülen nükleer enerji santralının yaklaşık 50 lt/sn tatlı su gereksinimini karşılamak için çevrede varolan işletme sahalarını belirlemek, hangi su noktalarından ne miktarda, hangi kalite ve şartlarda faydalanılabileceğini saptamak amacıyla 1977 – 1980 yılları arasında yapılmış hidrojeoloji çalışmasıdır.

6.1.2 İnceleme Alanının Yeri

İnceleme alanı Akdeniz bölgesindedir. İçel (Mersin) ili Gülnar ilçesinin 20km güneydoğusundadır. Nükleer santral soğutma suyunu karşılamak amacıyla Akdeniz sahilinde ve güvenlik nedeniyle kapalı koy olan sağlam zeminli Akkuyu yöresinde yer seçimi yapılmıştır. Hidrojeoloji incelemesi yapılan bölge 33°15' - 34°00' doğu boylamları 39°07' - 39°30' kuzey enlemleri arasındadır.

İnceleme alanı içinden İçel-Antalya devlet karayolu geçmektedir. Bu yol Büyük Eceli ve Sipahili ovalarını enlemesine keser. Boğsak ve Soğuksu kaynakları da bu yol üzerindedir. Koçaşlı kaynağına ve yöredeki köylere her mevsimde stabilize yollarla ulaşım vardır.

İnceleme alanına ait MTA'nın 1/500.000 ölçekli (Adana paftası), 1/100.000 ölçekli 143-2 Nolu jeoloji haritaları, Harita Genel Müdürlüğünün 1/100.000 ölçekli Silifke P30, P31 ve 1/25.000 ölçekli Silifke P30 c2 – P31 d1 numaralı topoğrafik haritaları ile Türkiye Elektrik Kurumu tarafından yaptırılan 1/1000 ölçekli özel amaçlı topoğrafik haritalar vardır. İnceleme alanında kuzeyden güneye akan mevsimsel akarsular ile bu akarsuları birbirinden ayıran yükseltiler görülür.

6.1.3 İklim Bitki Örtüsü ve Yerleşme

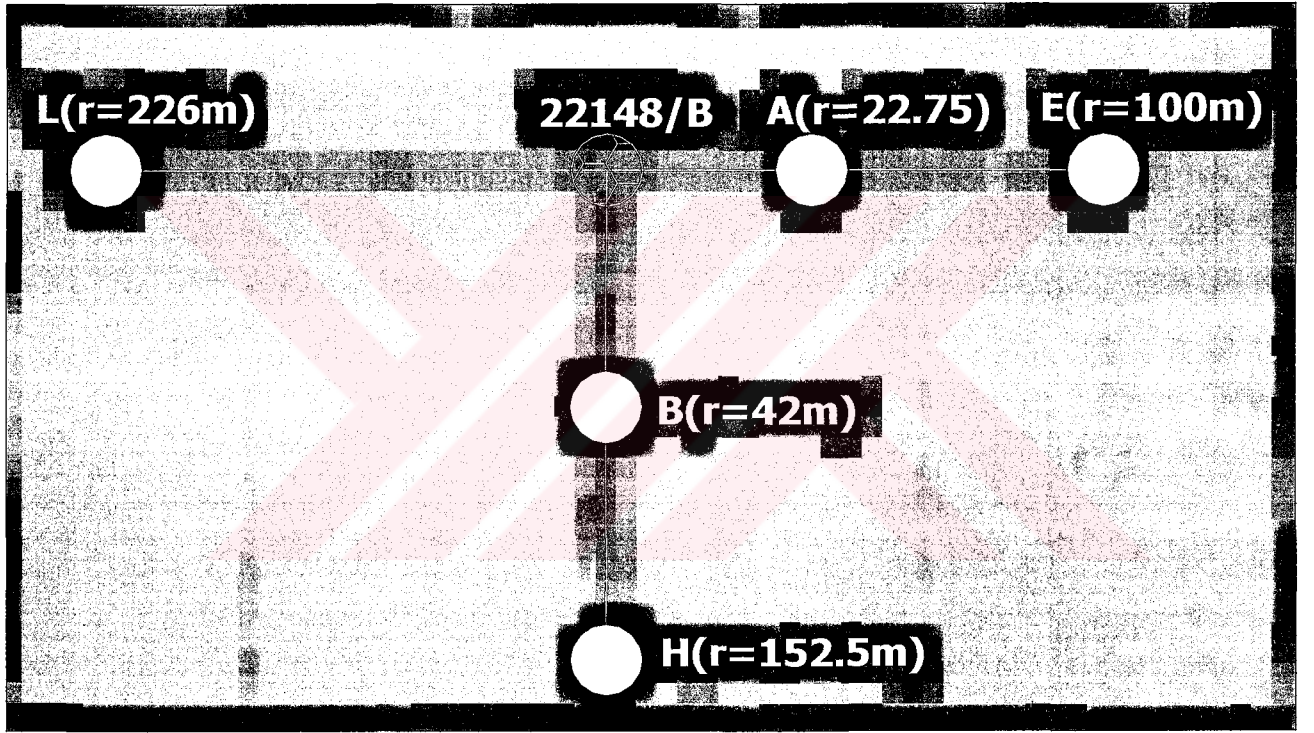
Bölgede tipik akdeniz iklimi görülür. Yazlar sıcak ve yağışsız, kışlar ılık ve yağışlı geçer.

İnceleme alanı genellikle iğne yapraklı ağaçlar ve makilerle örtülüdür. Az eğimli yamaçlarda ve sahile yakın düzlüklerde sera ziraatı yaygındır. Yörede turfanda sebzeçilik gelişmiştir.

İnceleme alanında İçel ili Gülnar ilçesinin Ovacık bucağı ve köyleri vardır. Köyler dağınık olup mahallelere bölünmüştür. 1975 nüfus sayımına göre yörede 3200 kişi yaşamaktadır. Ortalama nüfus artışı % 3 dolaylarındadır.

6.1.4 Test Bölgesi

İçel – Gilindire – Akkuyu bölgesinde D.S.İ. tarafından açılan bir adet pompaj kuyusu ve pompaj kuyusu etrafında açılan beş adet gözlem kuyusunun konumları aşağıda şekil 6.1 de verilmektedir.



şekil 6.1 Test bölgesindeki pompaj ve gözlem kuyularının genel görünümü

7. METOTLARIN UYGULANMASI

7.1 Arazi Çalışmalarından Alınan Sonuçlar Kullanılarak Dengeli Yada Yarı Dengeli Yeraltı Suyu Akımı Durumuna Göre Akifer Karakteristiklerinin Hesaplanması

Türkiye Elektrik Kurumu tarafından yaptırılması planlanan İçel-Gilindire-Akkuyu Nükleer Enerji santralının temiz su ihtiyacının, yeraltı suyundan karşılanıp karşılanamayacağının tespiti için santralin yapılması düşünülen bölgede birçok pompaj ve gözlem kuyusu açılmıştır. Açılan 22148/B numaralı ana kuyu ve gözlem kuyularından elde edilen zaman-düşüm değerlerine göre Theim ve Şen metotları uygulanmıştır.

7.1.1 D.S.İ. Tarafından Açılan 22148/B Numaralı Pompaj Kuyusu ve Çevresindeki Gözlem Kuyularından Elde Edilen Verilerle Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

22148/B numaralı pompaj kuyusu ve A,B,E,H ve L harfleriyle adlandırılan gözlem kuyularından alınan verilere dengeli veya yarı dengeli akım kabulüne göre uygulanan metotlarla ve bu uygulamalar neticesinde bulunan akifer iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

7.1.1.1 Theim Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

Theim metodu uygulaması için gerekli olan dengeli veya yarı dengeli yeraltı suyu akımı, pompaj kuyusundan 42m uzaktaki B gözlem kuyusu ile 152.5m uzaktaki H gözlem kuyularında 10140. dakikada gözlenmektedir. Bu dakikadaki düşüm değerleri kullanılarak uygulanan Theim metodu ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

B kuyusu ile pompaj kuyusu arası uzaklık $r = 42 \text{ m}$, düşüm değeri $s(r) = 3.24 \text{ m}$

H kuyusu ile pompaj kuyusu arası uzaklık $r = 152.5 \text{ m}$, düşüm değeri $s(r) = 2.07 \text{ m}$

$$s(r) - s(R) = \frac{Q}{2\pi T} \ln(R/r)$$

$$3.24 - 2.07 = \frac{0.054}{2 \times 3.14 \times T} \ln(152.5/42)$$

$$T = 9.48 * 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{sn}$$

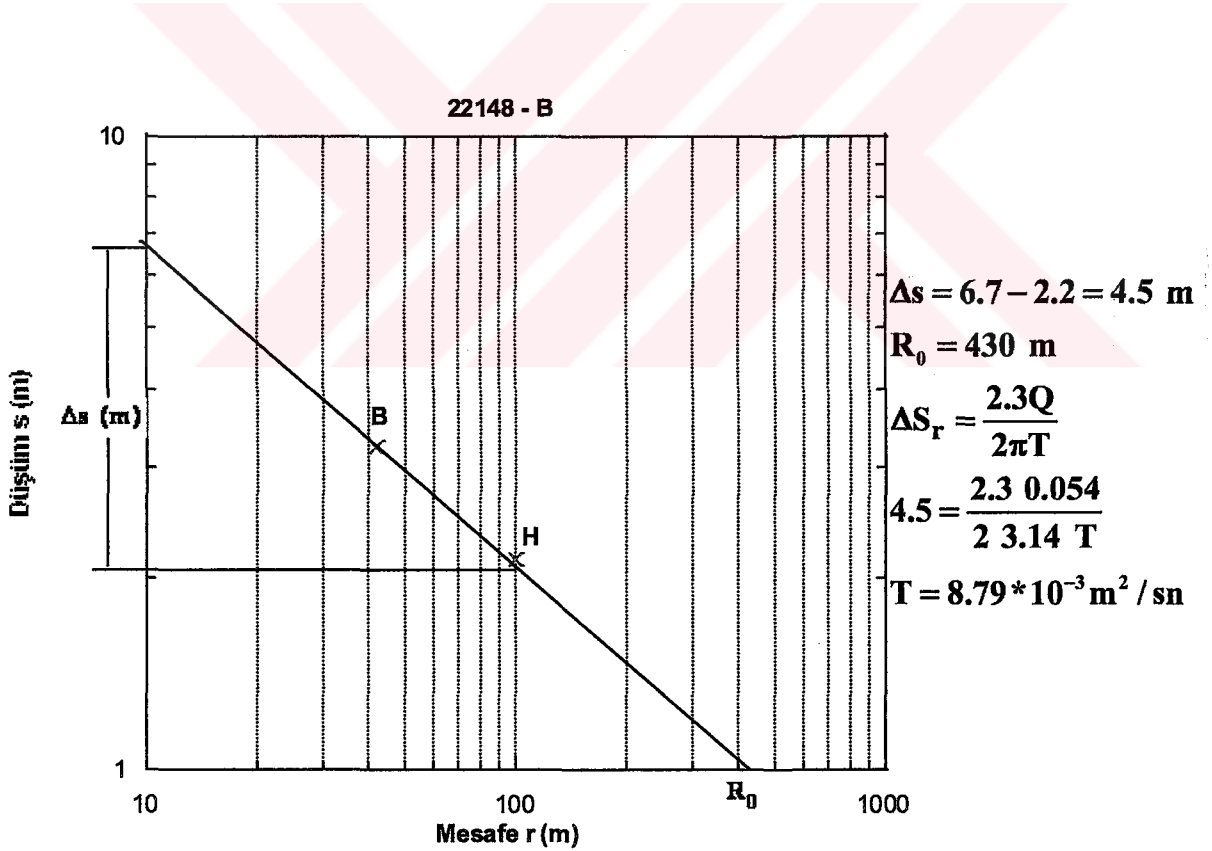
$$s(r) = \frac{2.3Q}{2\pi T} \text{Ln}(R/r)$$

$$2.07 = \frac{2.3 \times 0.054}{2 \times 3.14 \times 9.48 * 10^{-3}} \text{Ln}(R_0 / 152.5)$$

$$\text{Ln}(R_0 / 152.5) = 0.99224$$

$$R_0 = 411 \text{ m}$$

Theim tarafından verilen grafik metoduyla elde edilen parametre değerleri şekil 7.1 de verilmektedir.



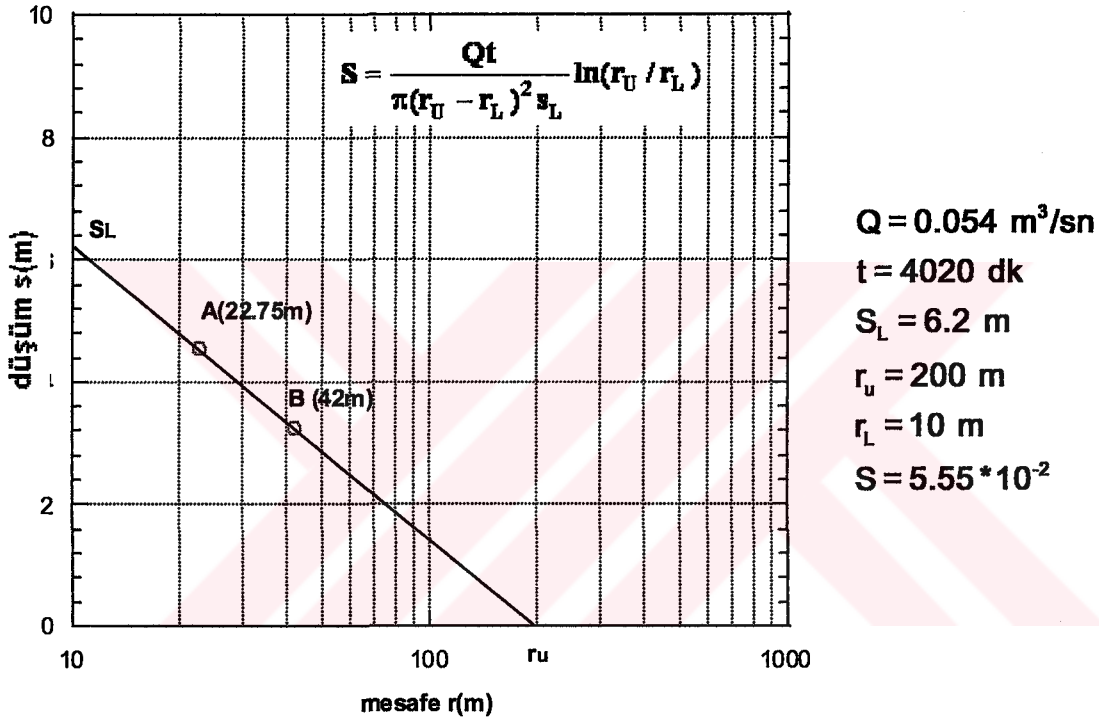
Şekil 7.1 Theim grafik metodu uygulaması

7.1.1.2 Şen Grafik Metoduyla Depolama Katsayısının Bulunması

D.S.İ tarafından 22148-B numaralı pompaj kuyusunun etrafında açılan gözlem kuyuları, belli

bir zaman ve pompaj kuyusundan uzaklık durumlarına göre ikiye ikiye ele alınmış ve çizilen grafik yardımıyla depolama katsayıları bulunmuştur.

A ve B gözlem kuyularında 4020. dakika için uygulanan Şen grafik metodu ve elde edilen depolama katsayısı değeri Şekil 7.2 de verilmektedir.



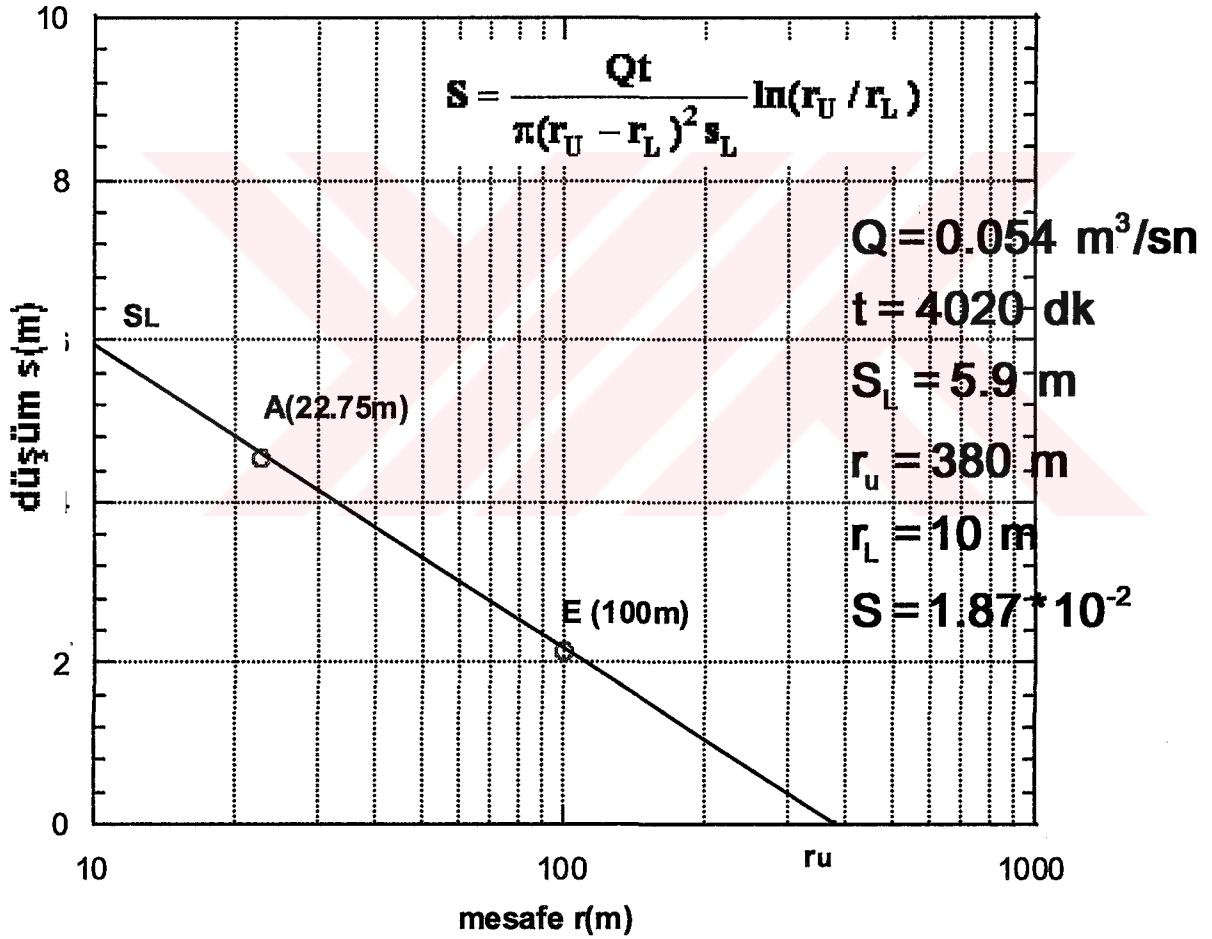
Şekil 7.2 A ve B gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

A ve E gözlem kuyuları için Şen grafik metoduyla elde edilen depolama katsayısı değeri $S = 1.87 \cdot 10^{-2}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.3 de grafik ve grafikten elde edilen değerler verilmektedir.

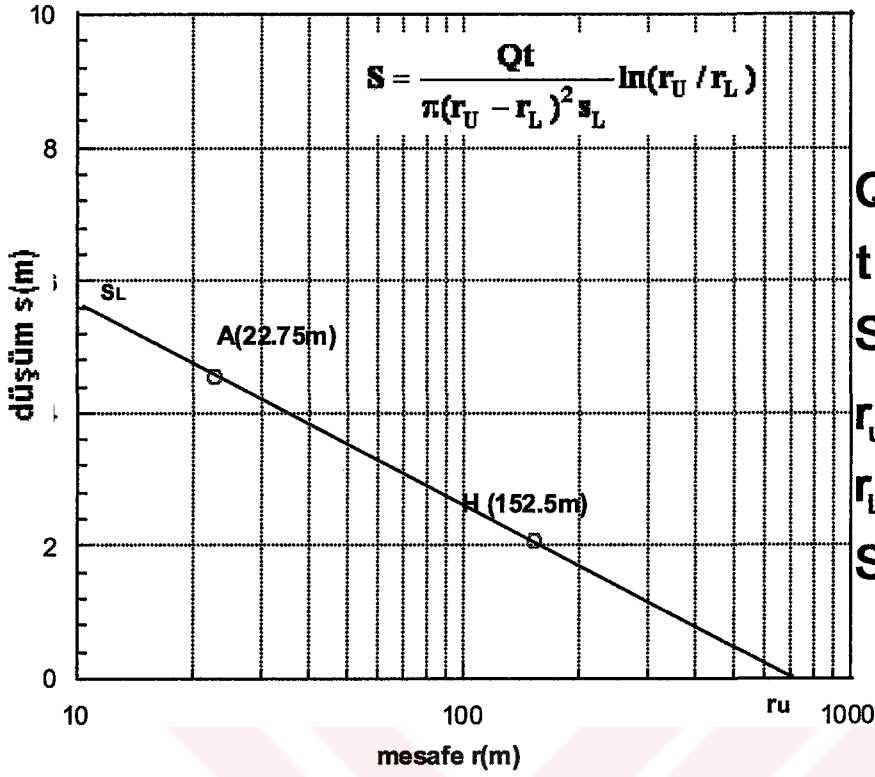
A ve H gözlem kuyularına Şen grafik metodu uygulanarak elde edilen depolama katsayısı değeri $S = 6.61 \cdot 10^{-3}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.4 de grafik ve grafikten elde edilen değerler verilmektedir.

A ve L gözlem kuyularında 4020. dakika için uygulanan Şen grafik metoduyla elde edilen depolama katsayısı değeri $S = 3.16 \cdot 10^{-2}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.5 de grafik olarak verilmektedir.

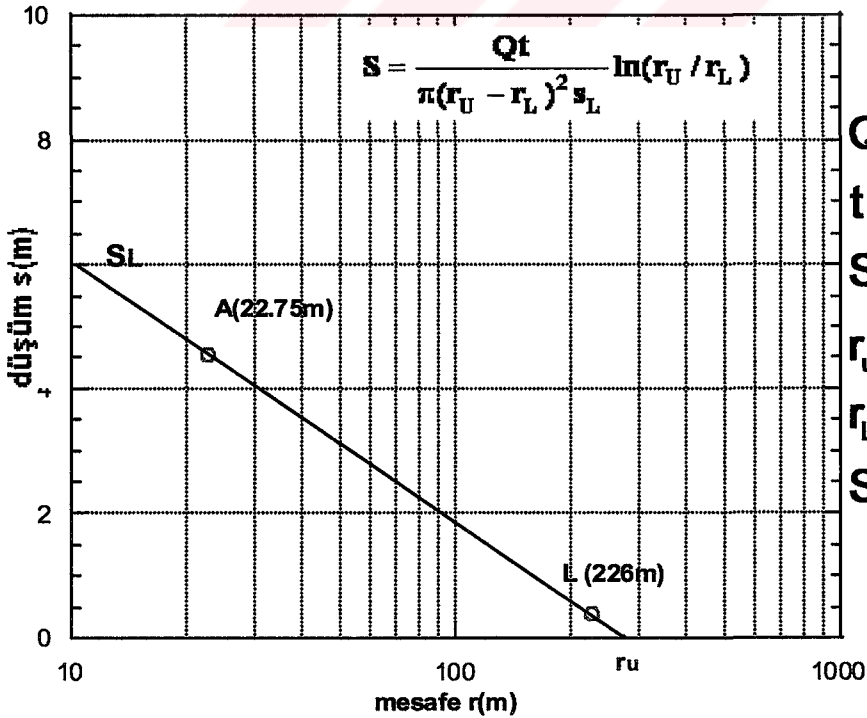
B ve H gözlem kuyularında 4020. dakikadaki Şen grafik metoduyla elde edilen depolama katsayısı değeri $S = 4.06 \cdot 10^{-3}$ dür. Şekil 7.6 de uygulanan Şen metodunun grafiği verilmiştir.



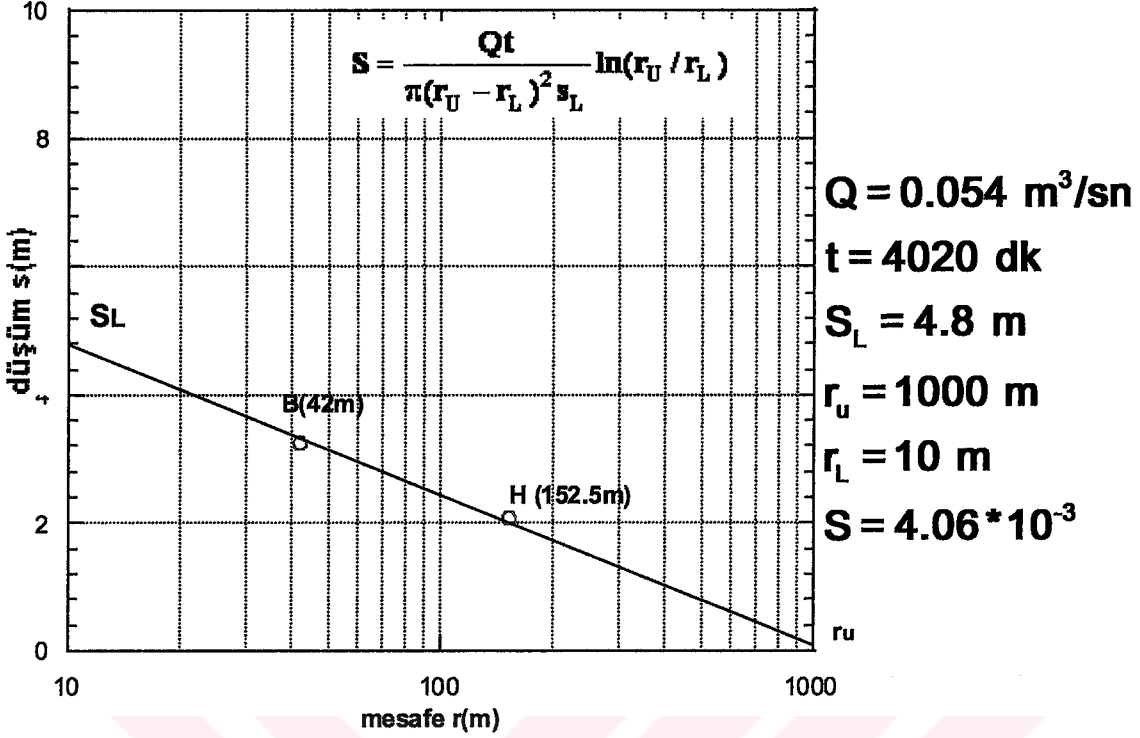
Şekil 7.3 A ve E gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



Şekil 7.4 A ve H gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



Şekil 7.5 A ve L gözlem kuyuları için Şen grafik metodu



Şekil 7.6 B ve H gözlem kuyuları için Şen grafik metodu

7.2 Arazi Çalışmalarından Elde Edilen Sonuçlar Kullanılarak Dengesiz Akım Durumuna Göre Akifer Karakteristiklerinin Hesaplanması

Türkiye Elektrik Kurumu tarafından yaptırılması planlanan İçel-Gilindire-Akkuyu Nükleer Enerji santralının temiz su ihtiyacının, yeraltı suyundan karşılanıp karşılanamayacağının tespiti için santralin yapılması düşünülen bölgede birçok pompaj ve gözlem kuyusu açılmıştır. Açılan 22148/B numaralı ana kuyu ve gözlem kuyularından elde edilen zaman-düşüm değerlerine Theis, Jacob (zaman-düşüm, mesafe-düşüm, düşüm-zaman-mesafe), Singh ve Şen metotları uygulanmıştır.

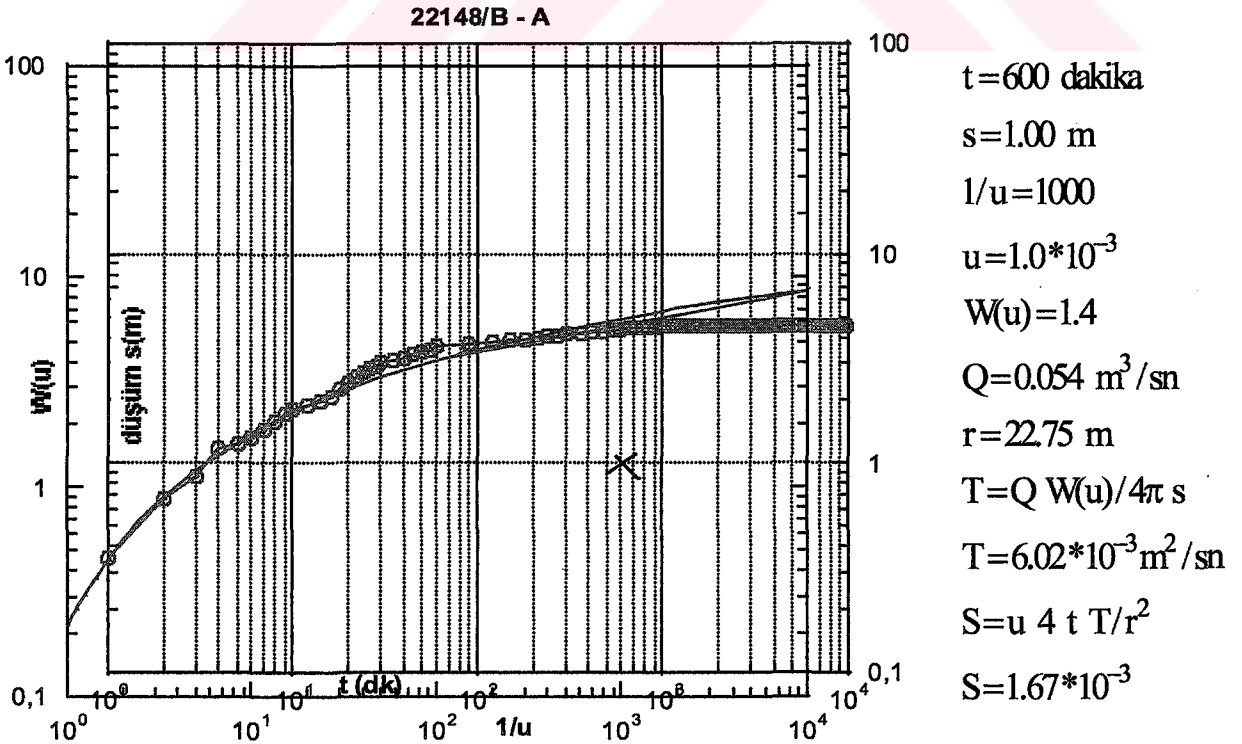
7.2.1 D.S.İ. Tarafından Açılan 22148/B Numaralı Kuyudan Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

22148/B numaralı pompaj kuyusu ve A,B,E,H ve L harfleriyle adlandırılan gözlem kuyularından alınan verilere uygulanan grafik ve analitik metotlarla ve bu uygulamalar neticesinde bulunan akifer iletkenlik ve depolama katsayısı değerleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

7.2.1.1 Theis Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

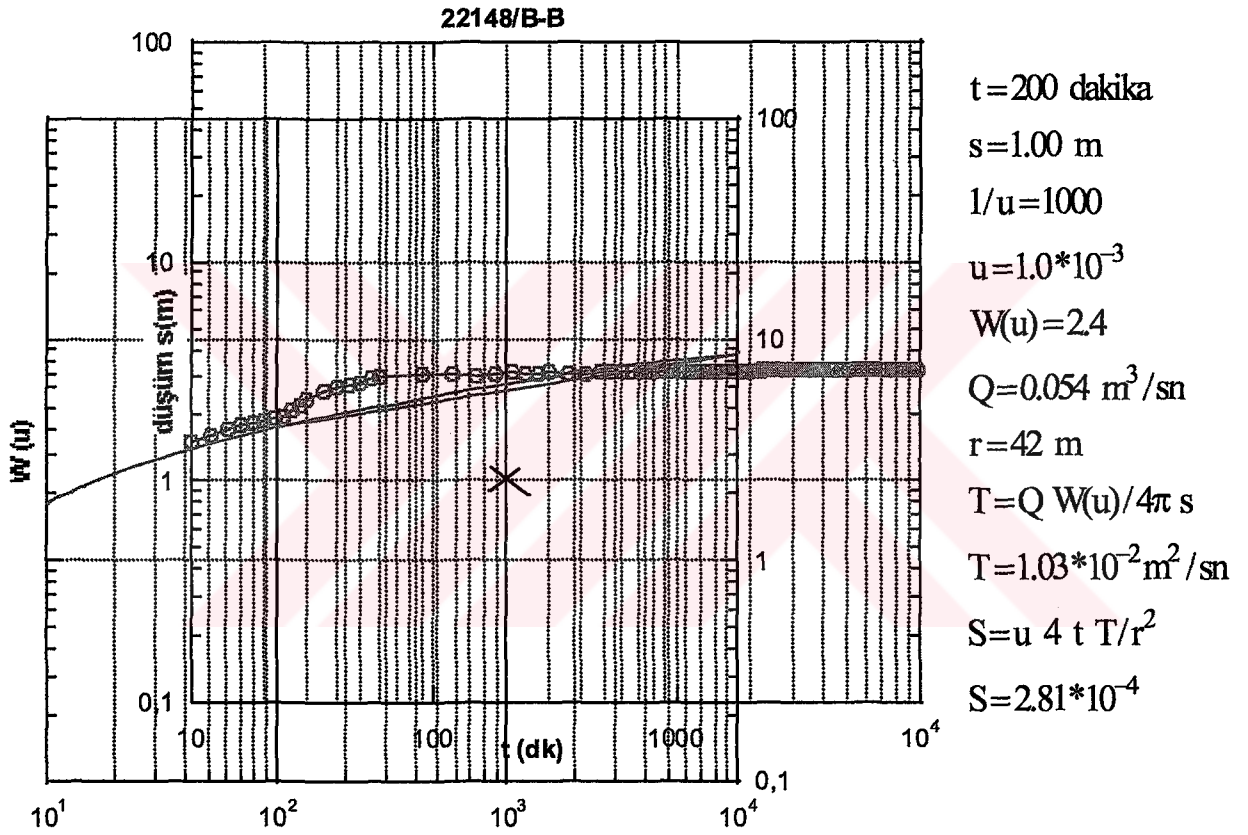
Gözlem kuyularının hepsinde Theis grafik metodu uygulanmıştır. Bu uygulamalar neticesinde elde edilen grafikler ve akifer parametre değerleri aşağıda verilmiştir.

A gözlem kuyusunun pompaj kuyusu ile arasındaki mesafe 22.75m dir. A gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman değerleri kullanılarak, düşey eksen düşüm, yatay eksen de zaman olacak şekilde logaritmik kağıda eğri çizildi. Bu eğri Theis tip eğrisiyle, logaritma eksenlerinin karşılıklı paralelliği ve eksen aralıklarının aynı olması koşuluyla en uygun şekilde çakıştırıldı. Bu çakıştırma sonucunda iki kağıdın kesişimi olan bölgeden herhangi bir nokta seçilerek, bu noktanın eksenlerdeki karşılığı olan, $s(m)$, $W(u)$, $t(dk)$ ve $1/u$ değerlerine ulaşıldı. Bundan sonra Theis'in akifer iletkenlik ve depolama katsayısına ilişkin vermiş olduğu formüller kullanılarak, $T = 6.02 * 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sn}$ iletkenlik değerine ve $S = 1.67 * 10^{-3}$ depolama katsayısı değerine ulaşıldı. Grafiklerin çakıştırılması ve elde edilen sonuçlar Şekil 7.7 de verilmiştir.



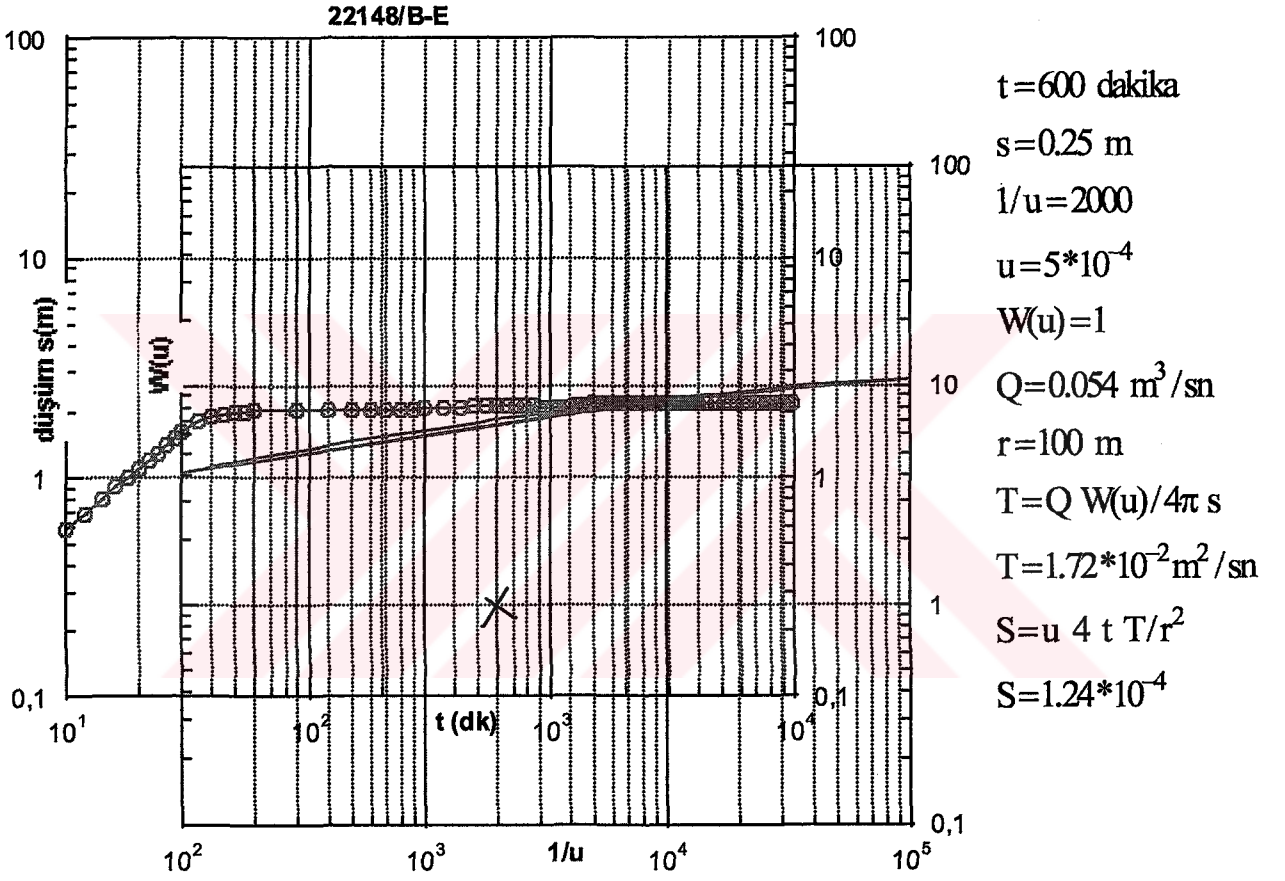
Şekil 7.7 Ana kuyudan 22.75 m uzaktaki A gözlem kuyusunda Theis metodu uygulaması

Pompaj kuyusundan 42 m uzaktaki B gözlem kuyusundan alınan düşüm-zaman verileri logaritmik kağıda işlendi ve elde edilen eğri Theis tip eğrisiyle karşılaştırıldı. Uygulanan Theis metodu sonucunda akifer iletkenliği $T = 1.03 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 2.81 * 10^{-4}$ olarak bulundu. Grafiklerin karşılaştırılması ve elde edilen sonuçlar Şekil 7.8 de verilmiştir.



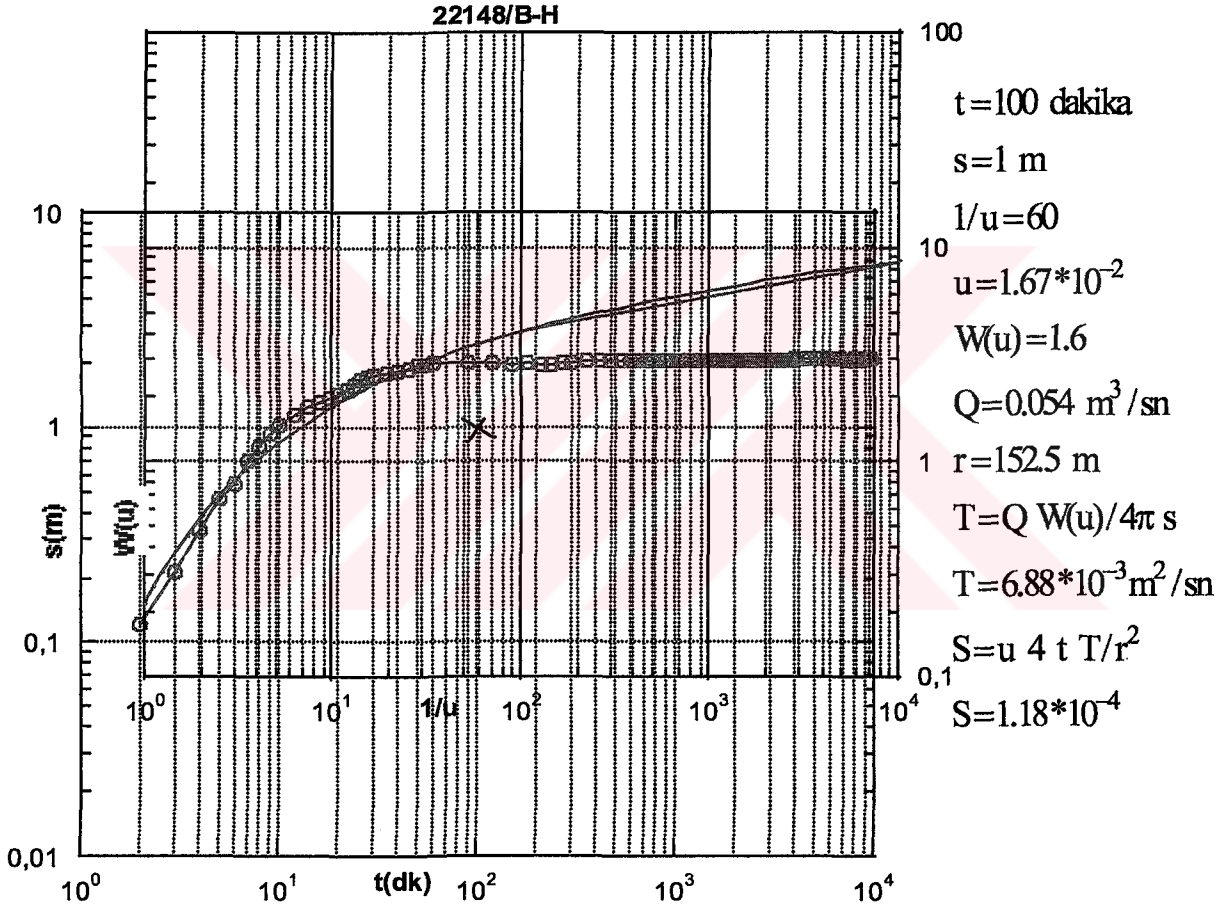
Şekil 7.8 Pompaj kuyusundan 42m uzaktaki B gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

Ana kuyudan 100m uzaktaki E gözlem kuyusundan alınan zaman-düşüm değerlerine Theis metodu uygulanması neticesinde elde edilen iletkenlik değeri $T = 1.72 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı değeri $S = 1.24 * 10^{-4}$ dür. Theis metodu uygulamasına ilişkin grafik Şekil 7.9 da verilmiştir.



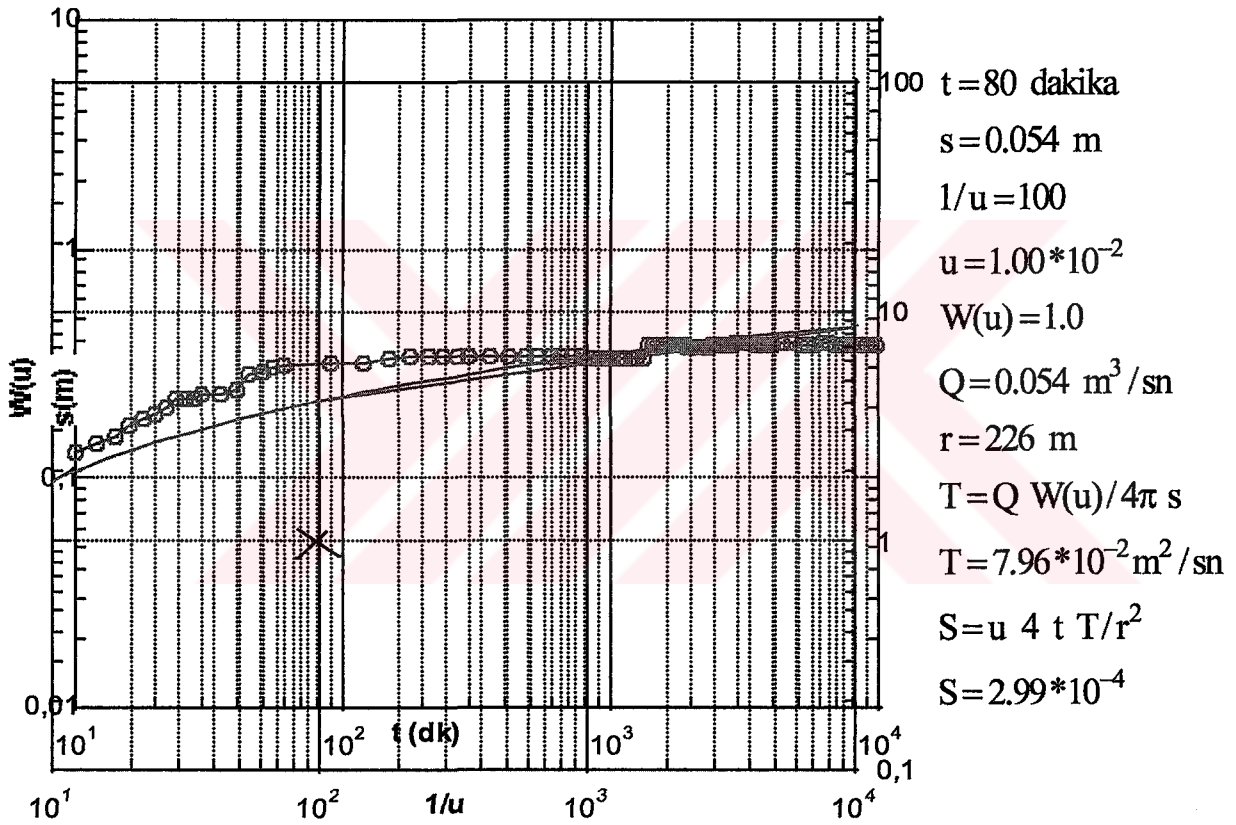
Şekil 7.9 Pompaj kuyusundan 100m uzaktaki E gözlem kuyusu için Theis metodu uygulaması

152,5m uzaktaki H gözlem kuyusundan alınan düşüm değerlerinin logaritmik kağıtta zamana karşı değerleri işaretlendi. Ortaya çıkan eğri, Theis tip eğrisiyle en uygun biçimde karşılaştırıldı. Theis metodu uygulanması neticesinde elde edilen iletkenlik değeri $T = 7.31 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı değeri $S = 1.24 \cdot 10^{-4}$ dır. Bu uygulamaya ilişkin grafik Şekil 7.10 da verilmiştir.



Şekil 7.10 Ana kuyudan 152.5m uzaktaki H gözlem kuyusunda Theis metodu uygulaması

Pompaj kuyusundan 226m uzaktaki L gözlem kuyusundan alınan zaman-düşüm değerlerinin logaritmik kağıtta oluşturduğu eğri, Theis tip eğrisiyle en uygun biçimde karşılaştırıldı. Theis metodu neticesinde ulaşılan iletkenlik değeri $T = 7.96 * 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sn}$ ve depolama katsayısı değeri $S = 2.99 * 10^{-4}$ dür. Theis metodu uygulamasına ilişkin grafik Şekil 7.11 de verilmiştir.



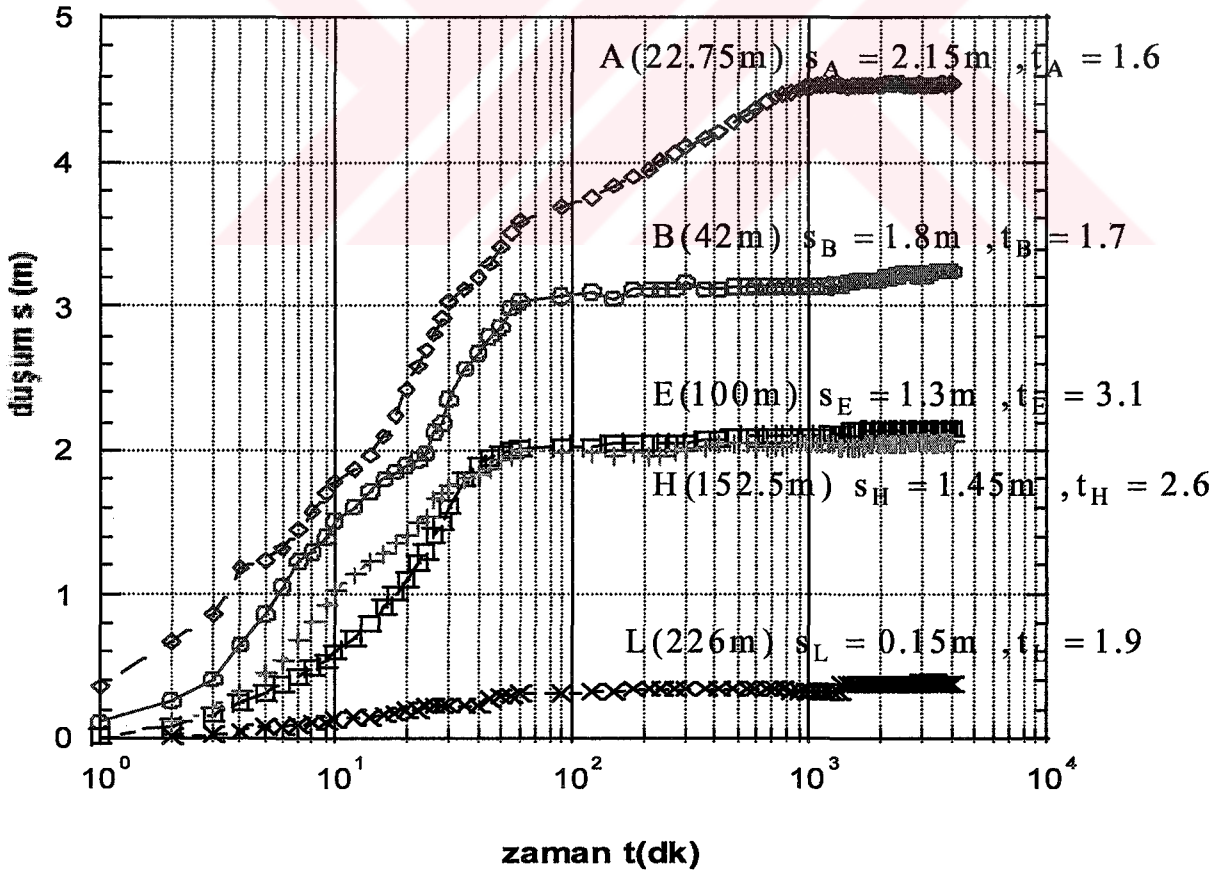
Şekil 7.11 Pompaj kuyusundan 226m uzaktaki L kuyusunda Theis metodu uygulaması

7.2.1.2 Jacob Düz Çizgi (Düşüm-Zaman) Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

D.S.İ nin açmış olduğu 22148/B numaralı pompaj kuyusuna ait A,B,E,H ve L ile adlandırılan gözlem kuyularından alınan düşüm-zaman değerlerinin yarı logaritmik kağıt üzerine, logaritma eksenini zaman olacak şekilde işaretlenerek grafik oluşturulur. Grafik incelendiğinde,

başlangıçta düşüm değerlerinin artması sebebiyle eğride oluşan yükselim, bir süre sonra düşüm değer artışının yavaşlaması ve belli bir noktaya yakın oldukça küçük salınımlar yapması sebebiyle yataya yakın bir hal alır. Başlangıçta artan kısımdaki düşüm değerlerini birleştiren bir doğru çizilir ve bu doğrunun zaman eksenini kestiği noktada t_0 değeri okunur, doğrunun eğimi de belirlenir, bu değerler metotta verilen formüllerde kullanılarak akifer parametre değerlerine ulaşılır.

Jacob tarafından verilen zaman-düşüm metodu uygulandığında akifer iletkenlik değerleri $4.60 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2/\text{sn}$ ile $6.59 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{sn}$ arasında çıkmaktadır. Depolama katsayısı değerleri de $1.03 \cdot 10^{-4}$ ile $1.92 \cdot 10^{-3}$ arasındadır (Şekil 7.12).



Şekil 7.12 Gözlem kuyularına Jacob düz çizgi (düşüm-zaman) metodu uygulanması

$$T = 2.3Q / 4\pi\Delta s_t ; \quad S = 2.25 \quad T \quad t_0 / r^2$$

$$T_A = 4.60 * 10^{-3} \quad m^2 / sn \quad S_A = 1.92 * 10^{-3}$$

$$T_B = 5.49 * 10^{-3} \quad m^2 / sn \quad S_B = 7.15 * 10^{-4}$$

$$T_E = 7.61 * 10^{-3} \quad m^2 / sn \quad ; \quad S_E = 3.18 * 10^{-4}$$

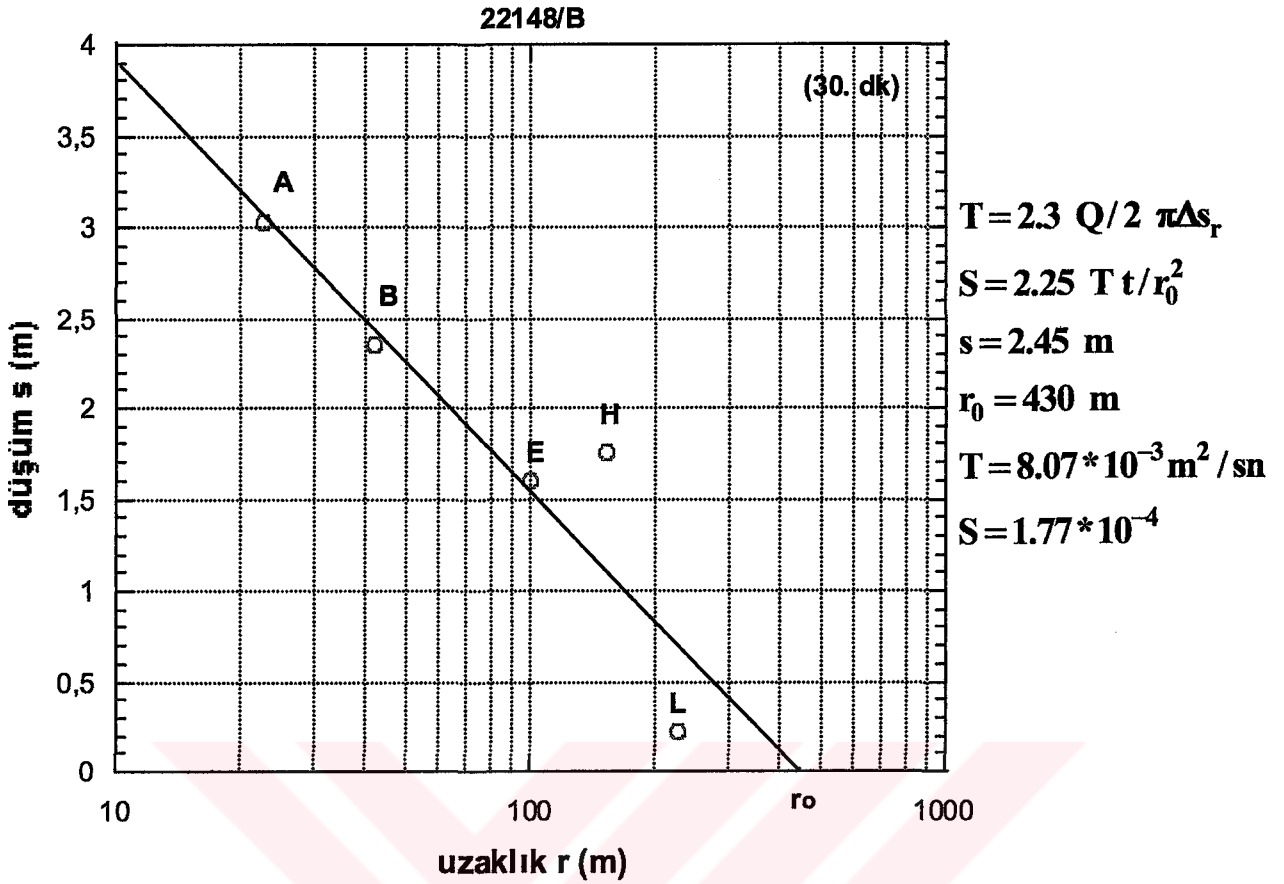
$$T_H = 6.82 * 10^{-3} \quad m^2 / sn \quad S_H = 1.03 * 10^{-4}$$

$$T_L = 6.59 * 10^{-2} \quad m^2 / sn \quad S_L = 3.31 * 10^{-4}$$

7.2.1.3 Jacob Düz Çizgi (düşüm-mesafe) Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

Jacob düz çizgi (düşüm-mesafe) metodu, her bir gözlem kuyusunun belli bir zamandaki düşüm değerinin, gözlem kuyusu ile ana kuyu arasındaki mesafeye bağlı olarak yarı logaritmik kağıtta işaretlenmesiyle uygulanır. Yarı logaritmik kağıdın logaritma eksenini zaman olarak alır. İşaretlenen bu noktalardan en uygun doğru geçirilir ve doğrunun eğimi ile yatay ekseninde kestiği nokta r_0 belirlenerek metotta verilen denklemler yardımıyla akifer parametre değerlerine ulaşılır.

D.S. İşlerinin açtığı 22148/B numaralı pompaj kuyusuna gözlem kuyularının uzaklıkları ve gözlem kuyularının 30. dakikadaki düşüm değerleri kullanılarak uygulanan metotla elde edilen iletkenlik değeri $T = 8.07 * 10^{-3} \quad m^2 / sn$ ve depolama katsayısı değerleri $S = 1.77 * 10^{-4}$ dür (Şekil 7.13).

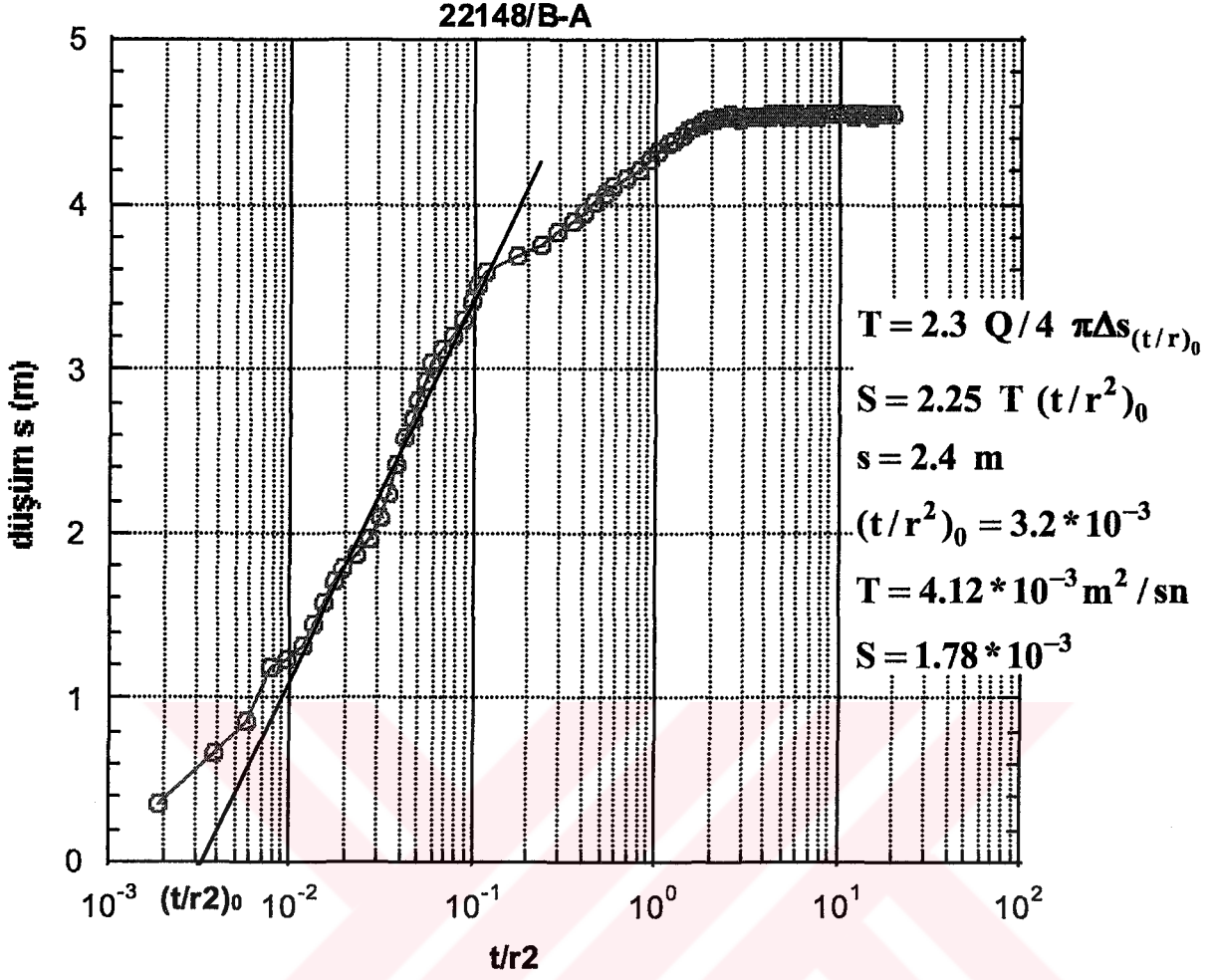


Şekil 7.13 Açılan 22148/B numaralı pompaj kuyusuna ait gözlem kuyularında 30. dakika için Jacob düz çizgi (düşüm-mesafe) metodu uygulanması

7.2.1.4 Jacob Düz Çizgi (düşüm-zaman-mesafe) Metodu Uygulaması

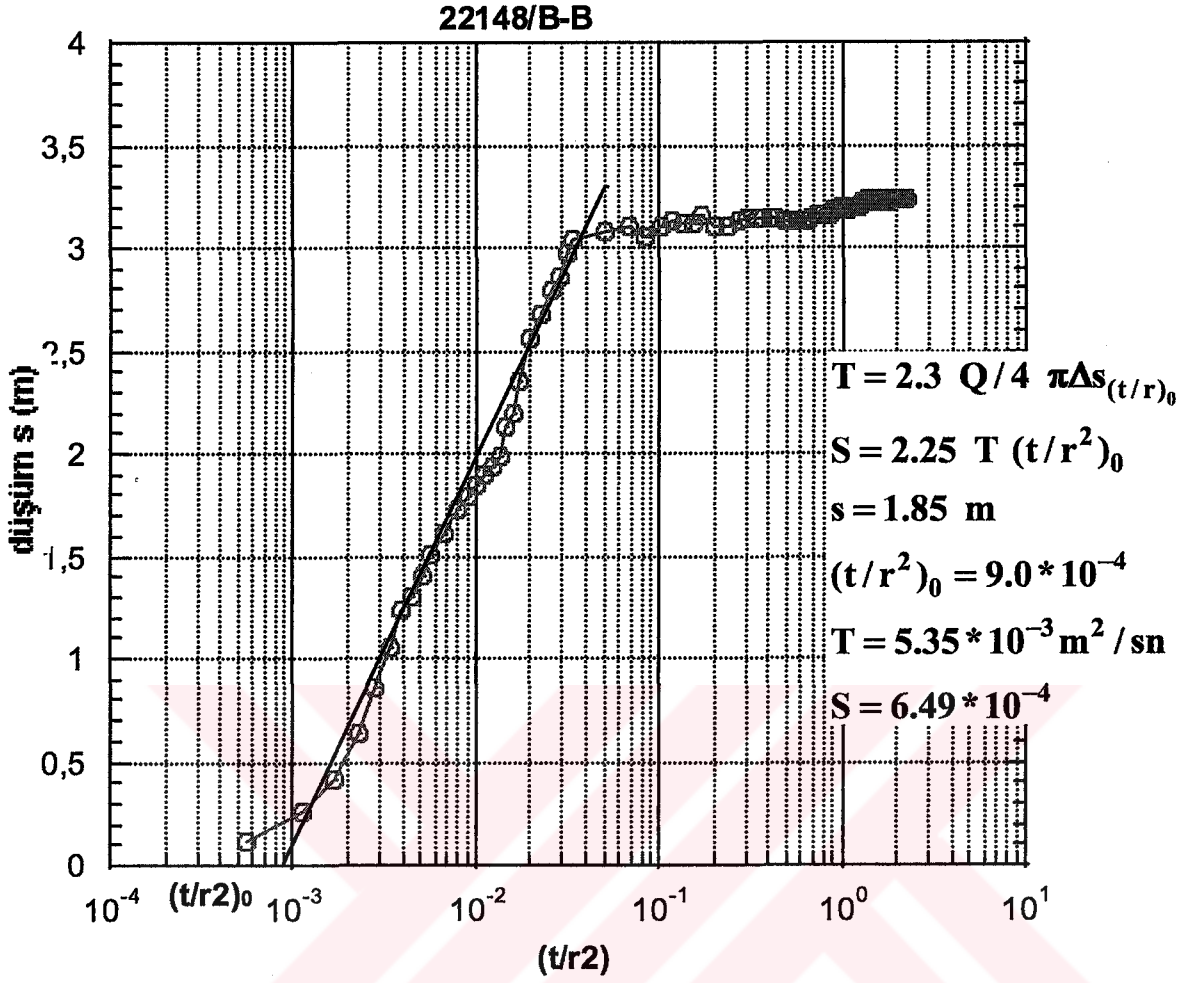
Bu metotta, gözlem kuyularındaki düşümler yarı logaritmik kağıdın düşey eksen, düşümlerin ölçüldüğü zamanların o gözlem kuyusunun pompaj kuyusuna uzaklığının karesine oranları kağıdın yatay eksen olacak şekilde noktalar işaretlenir. Jacob düz çizgi metotlarında olduğu gibi noktaların düz olduğu bölgeyi birleştiren doğru çizilerek, bu doğrunun eğimi ve yatay eksende kestiği $(t/r^2)_0$ noktanın değeri bulunur. Buradan da Jacob tarafından verilen formüller kullanılarak akifer parametre değerlerine ulaşılır.

A gözlem kuyusuna uygulanan metot sonucunda akifer iletkenliği $T = 4.12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 1.78 \cdot 10^{-3}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.14 de uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodunun grafiği verilmektedir.



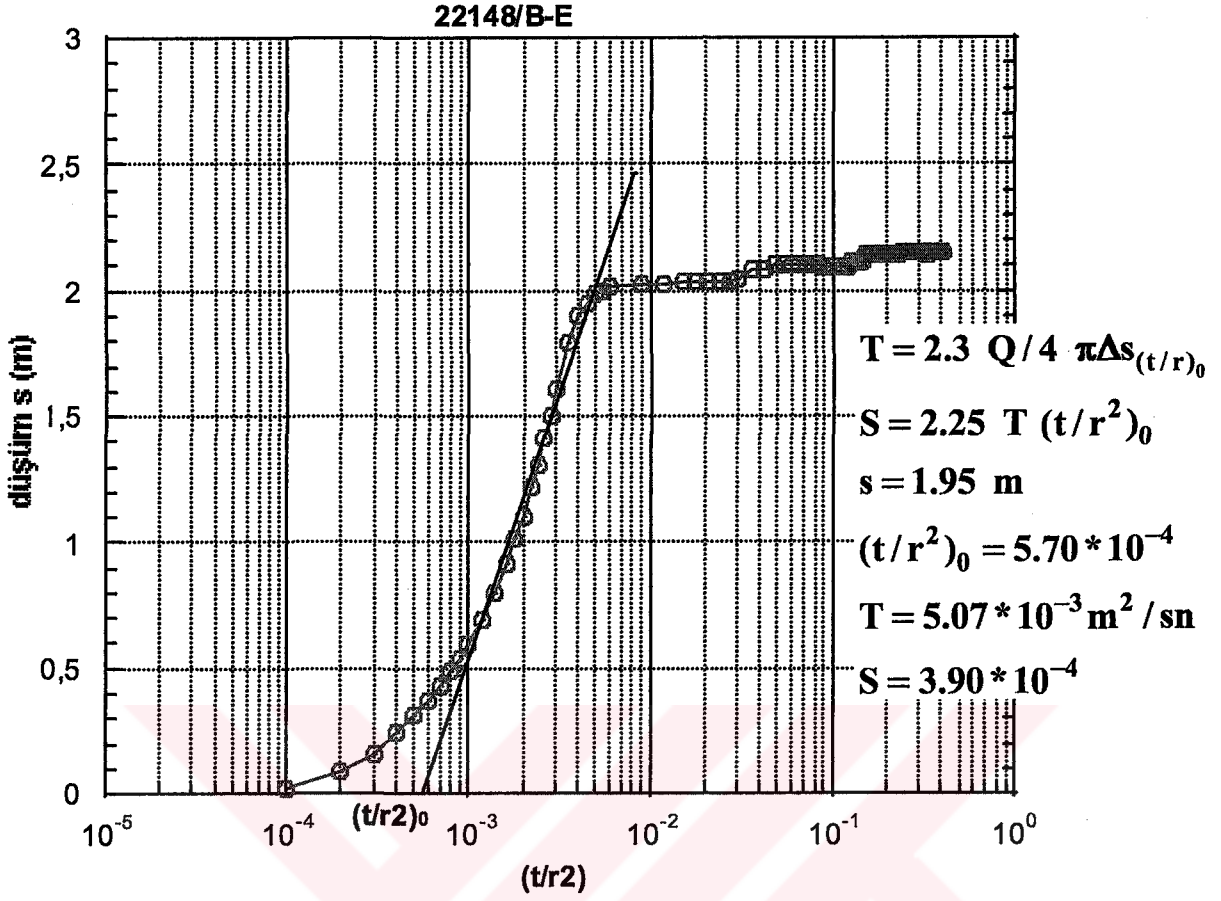
Şekil 7.14 22148/B pompaj kuyusuna ait A gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu

B gözlem kuyusuna uygulanan metot sonucunda akifer iletkenliği $T = 5.35 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 6.49 * 10^{-4}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.15 de uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodunun grafiği verilmiştir.



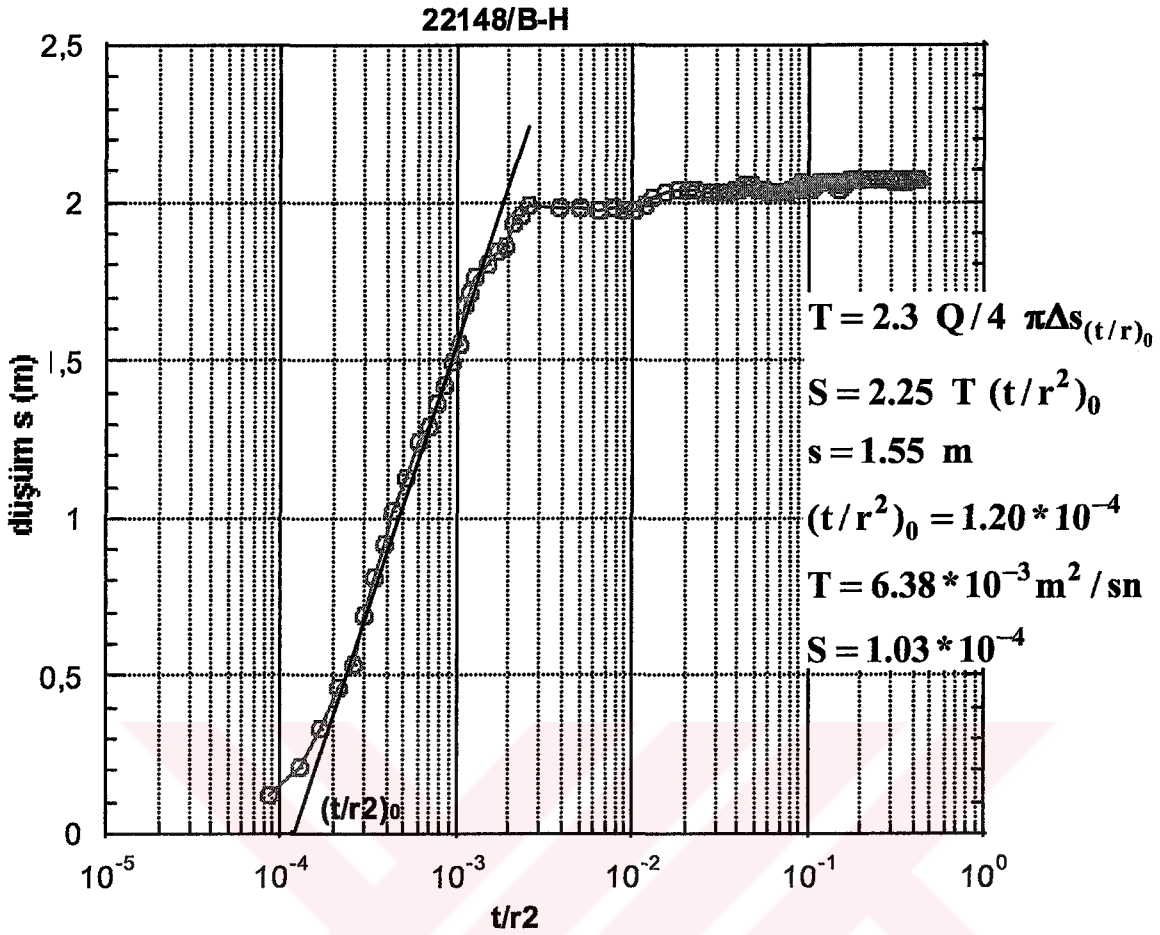
Şekil 7.15 22148/B pompaj kuyusuna ait B gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu

E gözlem kuyusuna uygulanan metot sonucunda akifer iletkenliği $T = 5.07 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 3.90 * 10^{-4}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.16 da uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodunun grafiği verilmektedir.



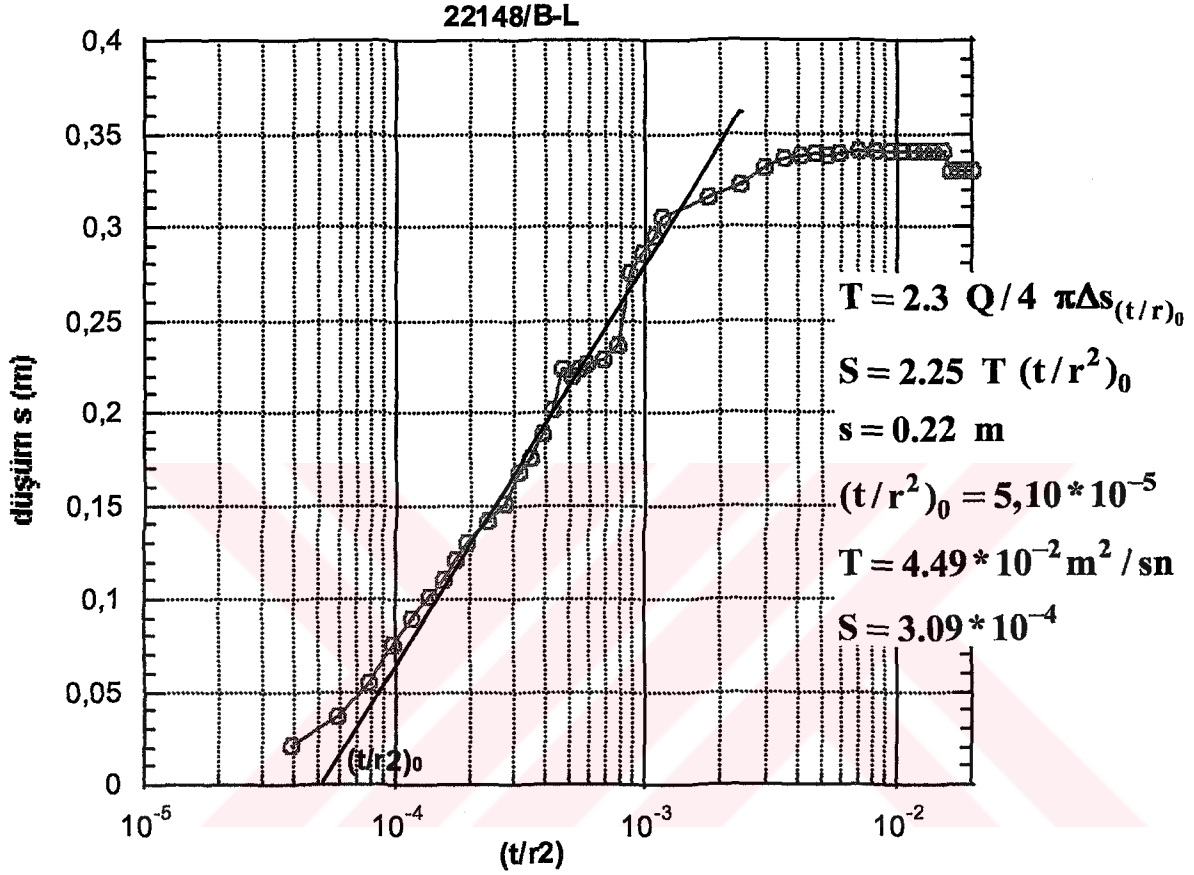
Şekil 7.16 22148/B pompaj kuyusuna ait E gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu

H gözlem kuyusuna uygulanan metot sonucunda akifer iletkenliği $T = 6.38 * 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 1.03 * 10^{-4}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.17 de uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodunun grafiği verilmektedir.



Şekil 7.17 22148/B pompaj kuyusuna ait H gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu

L gözlem kuyusuna uygulanan metot sonucunda akifer iletkenliği $T = 4.49 * 10^{-2} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 3.09 * 10^{-4}$ olarak bulunmuştur. Şekil 7.18 da uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodunun grafiği verilmektedir.



Şekil 7.18 22148/B pompaj kuyusuna ait L gözlem kuyusunda uygulanan Jacob düz çizgi (düşüm-zaman-mesafe) metodu

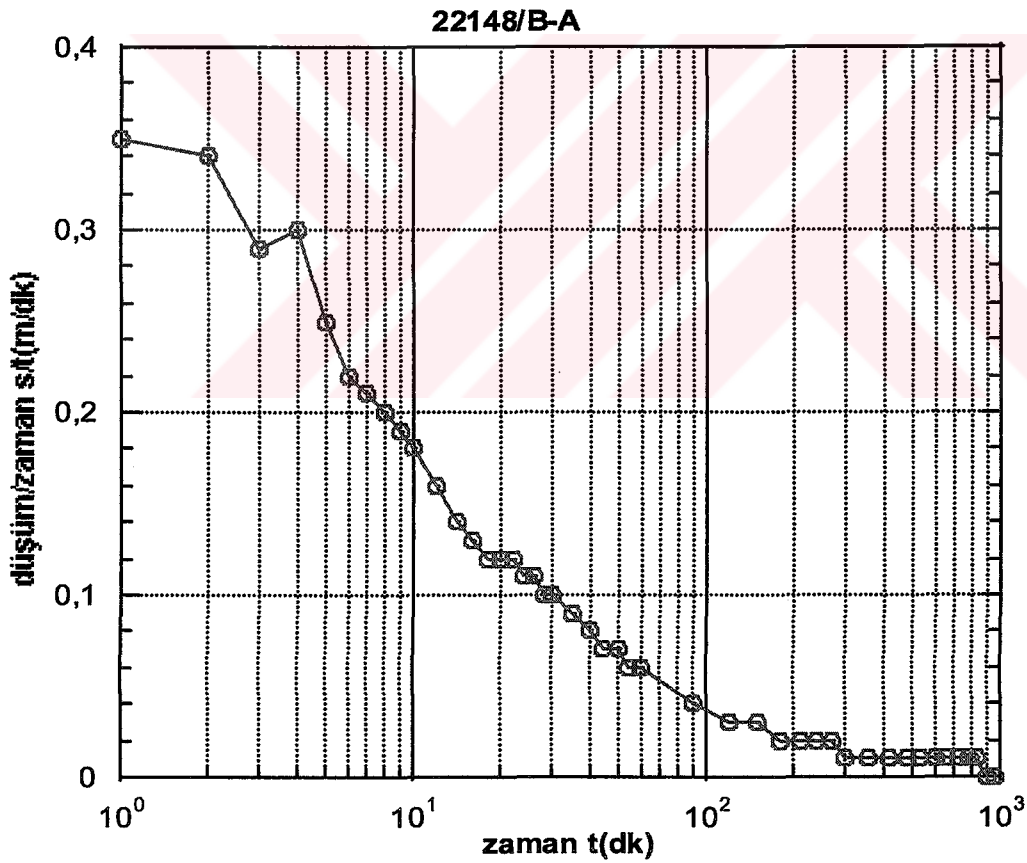
7.2.1.5 Singh Metoduyla Akifer Karakteristiklerinin Bulunması

Gözlem kuyularının tümünde Singh metodu uygulanmıştır. Bu uygulamalar neticesinde elde edilen grafikler ve akifer parametre değerleri aşağıda verilmiştir.

Singh metodunda, A gözlem kuyusundaki düşümler, düşümlerin ölçüldüğü zamanlara bölünür. Bölünerek elde edilen oranlar aynı zamanlı değişimlerine göre yarı logaritmik kağıda işaretlenir. Yarı logaritmik kağıda işaretlenen noktalardan düzgün ve uygun bir eğri çizilir. Çizilecek egride bir tepe noktası oluşması gereklidir. Singh metodu diğer klasik metotlardan farklı olarak kısa zamanlı düşüm değerlerine ihtiyaç duyar ve sadece bir adet gözlem

kuyusuyla akifer parametrelerinin hesabı yapılabilir. Bu durum pratikte, akifer parametre hesap metotlarının, eğri çakıştırmak gibi karmaşık, fazla sayıda gözlem kuyusu ve geç zaman düşümleri kullanmak gibi pahalıya mal olan faktörlerinin azaltılması açısından uygulayıcıya avantaj sağlar.

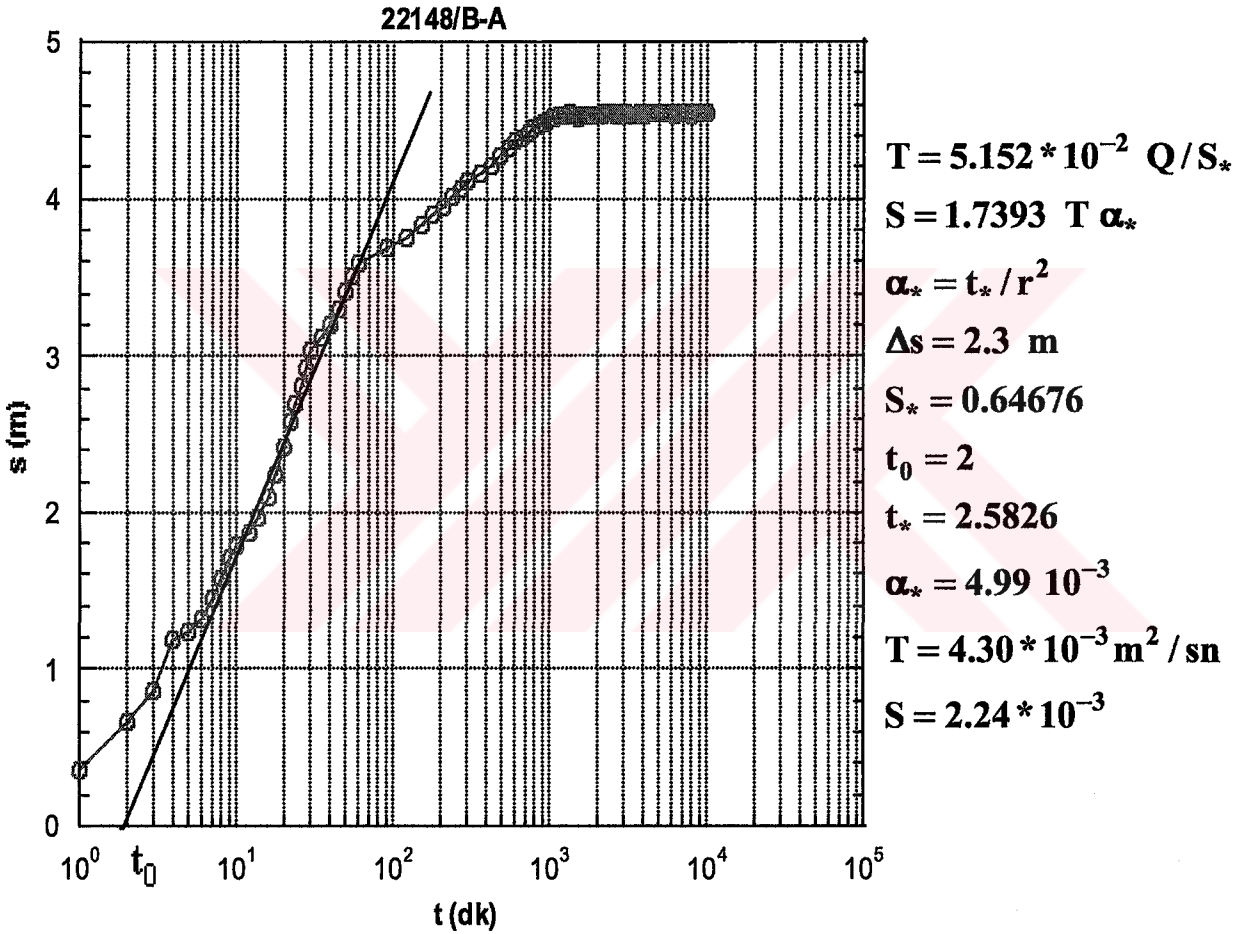
A gözlem kuyusuna Singh metodu uygulanmıştır. Burada düşümün zamana bölünmesiyle elde edilen oranın, zamanla değişimi yarı logaritmik kağıt üzerine işaretlenmiş fakat işaretlenen noktalar arasından geçirilen eğride tepe noktası oluşturulamamıştır. Şekil 7.19 da A gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu verilmiştir.



Şekil 7.19 Pompaj kuyusuna ait A gözlem kuyusunda uygulanan Singh metodu

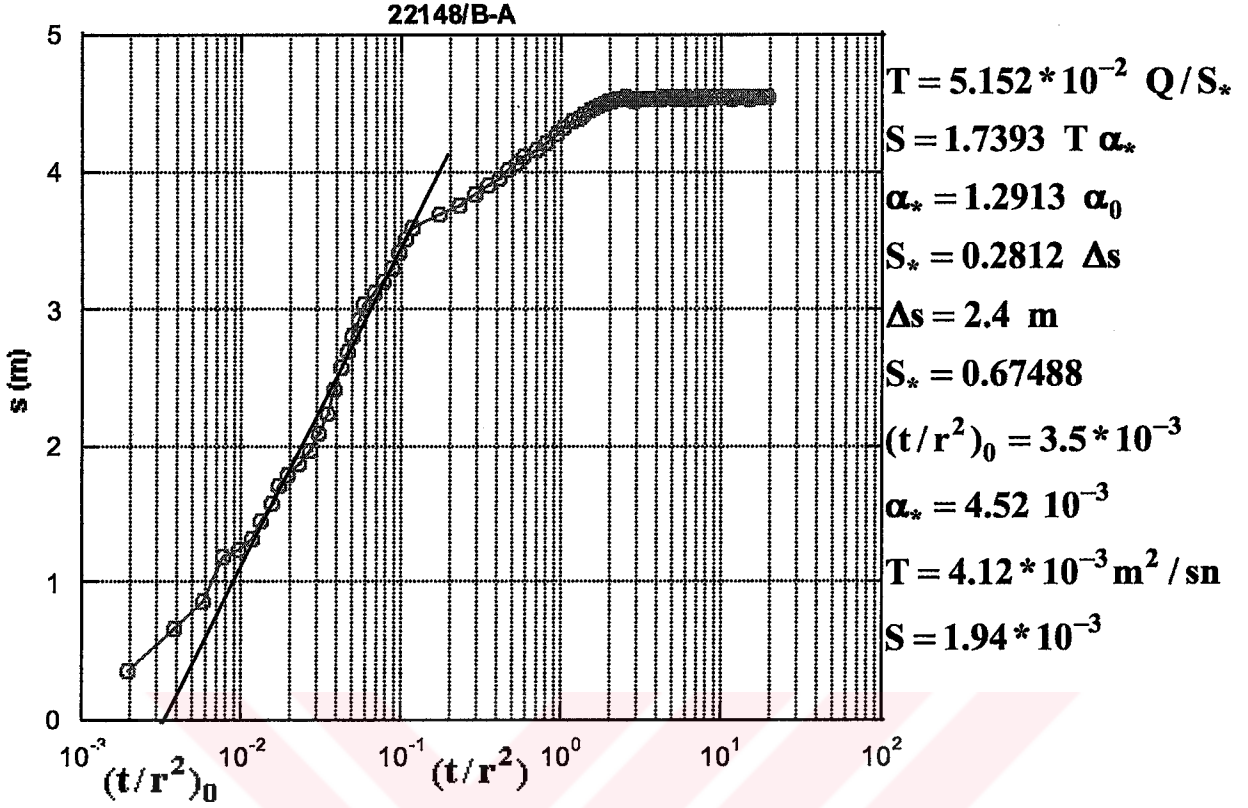
Eğride tepe noktası oluşmaması durumu için yine Singh tarafından verilen Jacob'un düz çizgi metoduna benzerlik gösteren metot uygulanmıştır. Bu metotta, düşüm değerleri, zaman (t) veya zamanın mesafenin karesiyle (t/r^2) oranının değişimine göre yarı logaritmik kağıda

işaretlenir, işaretlenen noktalardan doğru geçirilir ve doğrunun eğimiyle, yatayda kestiği nokta olan t_0 yada $(t/r^2)_0$ bulunur, Singh tarafından verilen denklemler kullanılarak akifer iletkenlik ve depolama katsayısı değerlerine ulaşılır. Şekil 7.20 ve 7.21 de grafik ve değerler verilmiştir.



Şekil 7.20 A gözlem kuyusu için Singh metodu

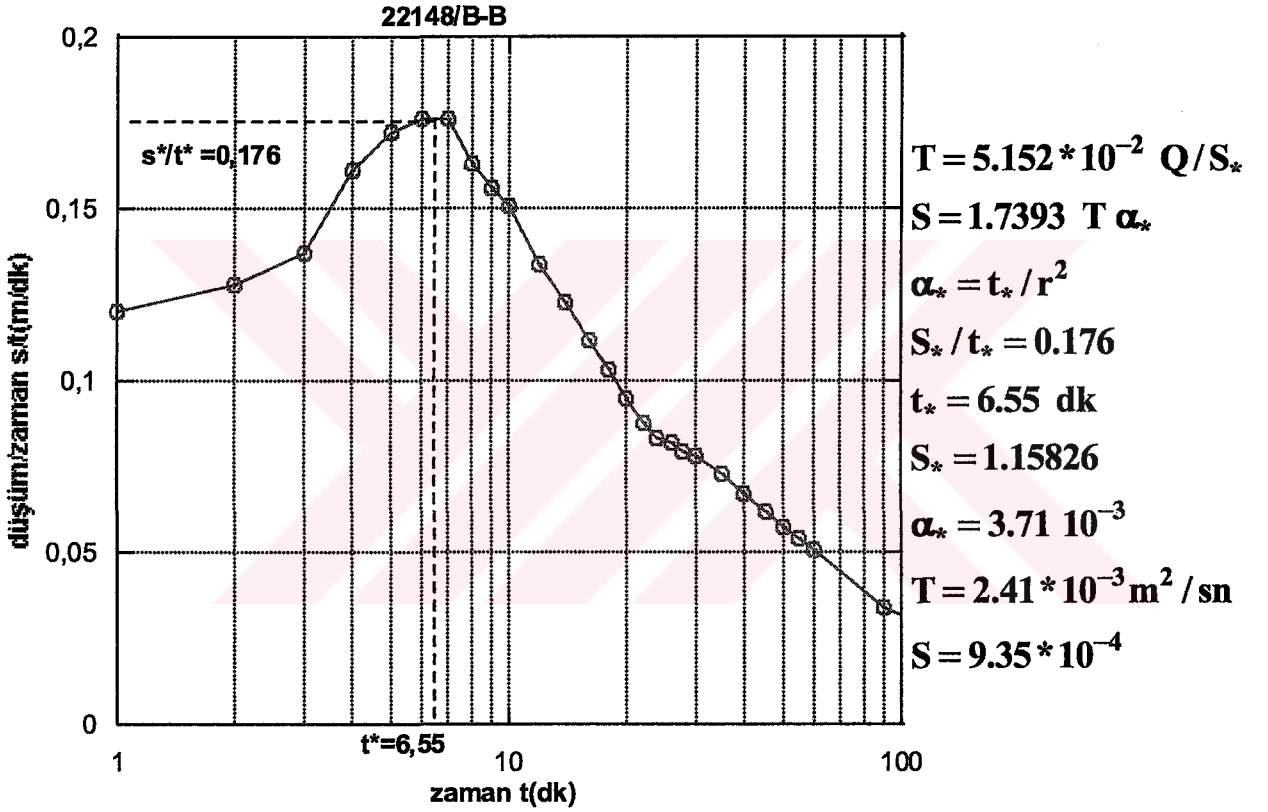
Şekil 7.20 den elde edilen s_t ve t_0 değerleri, Singh tarafından verilen $S_* = 0.2812 \Delta s$ ve $t_* = 1.2913 t_0$ denklemlerinde yerine konarak $S_* = 0.64676$ ve $t_* = 2.5826$ değerlerine ulaşılır. Daha sonra S_* ve t_* değerleri Singh'ın akifer parametrelerinin hesabı için verdiği denklemlerde yerine konarak sonuca ulaşılır.



Şekil 7.21 A gözlem kuyusu için Singh metodu

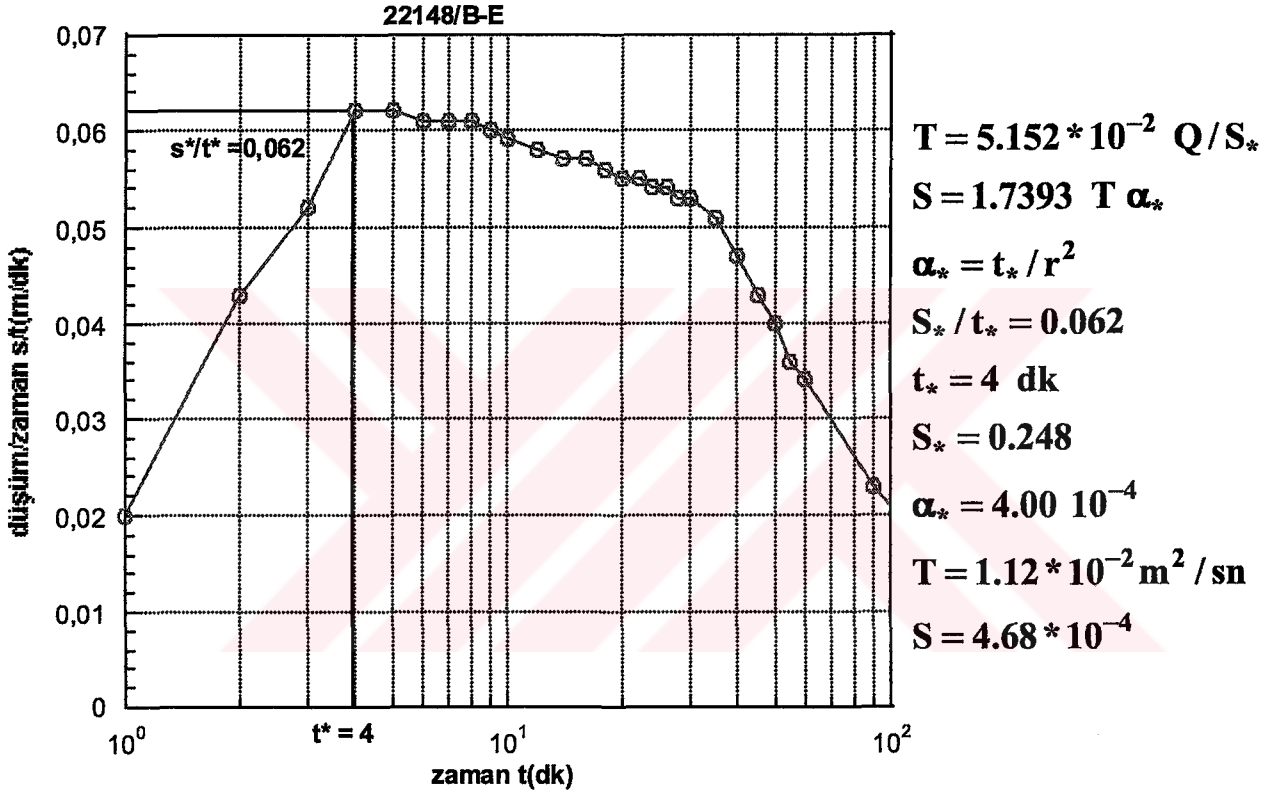
Şekil 7.21 den elde edilen Δs ve $(t/r^2)_0$ değerleri, Singh tarafından verilen $S_* = 0.2812 \Delta s$ ve $\alpha_* = 1.2913 \alpha_0$ denklemlerinde yerine konarak $S_* = 0.67488$ ve $\alpha_* = 4.52 * 10^{-3}$ değerlerine ulaşılır. Daha sonra S_* ve α_* değerleri Singh'ın akifer parametrelerinin hesabı için verdiği denklemlerde kullanılarak sonuca ulaşılır.

B gözlem kuyusuna Singh metodu uygulaması yapılırken düşümün, olduğu andaki zamana bölünmesiyle elde edilen oranın, zamanla değişimi yarı logaritmik kağıt üzerine işaretlenmiş noktalar arasından geçirilen uygun eğride tepe noktası oluşmaktadır. Metot uygulandıktan sonra iletkenlik $T = 2.41 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 9.35 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur. Şekil 7.22 de B gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu verilmiştir.



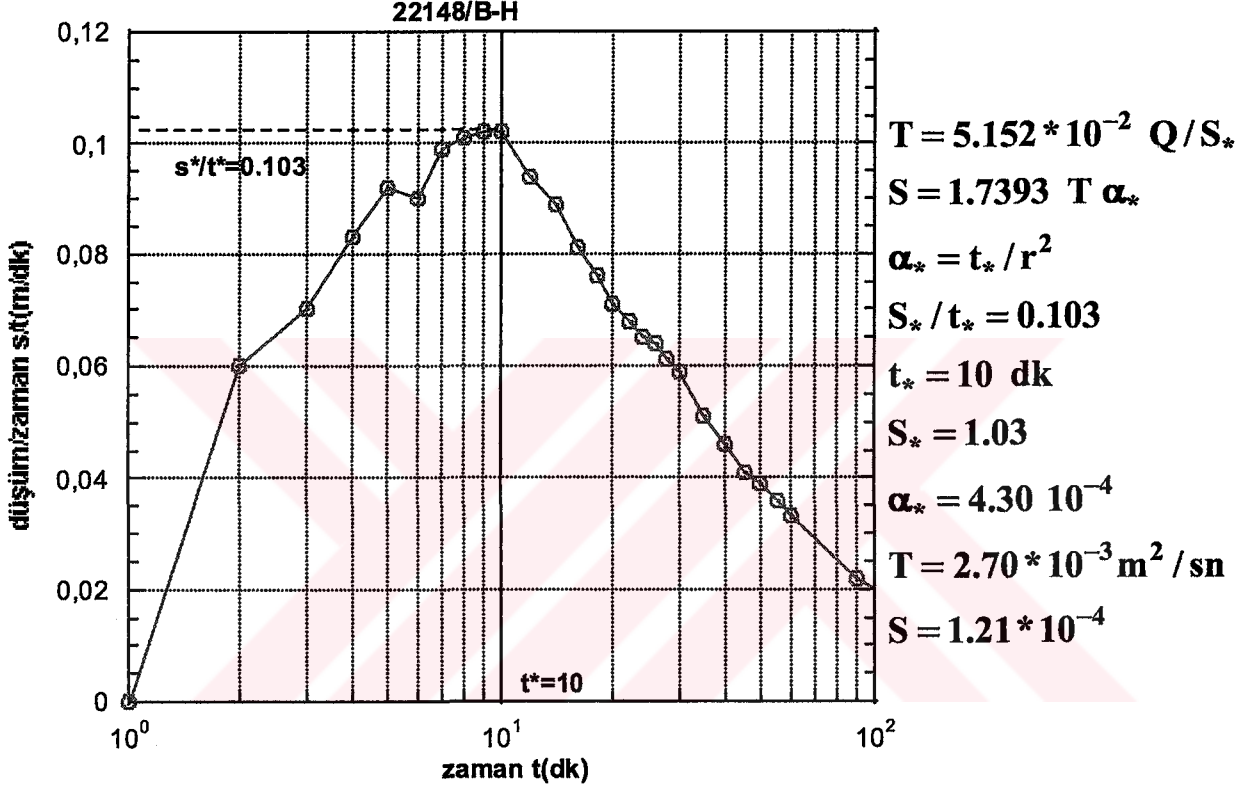
Şekil 7.22 B gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu

E gözlem kuyusuna Singh metodu uygulandıktan sonra iletkenlik değeri $T = 1.12 * 10^{-2} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 4.68 * 10^{-4}$ bulunmuştur. Şekil 7.23 de E gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu verilmiştir.



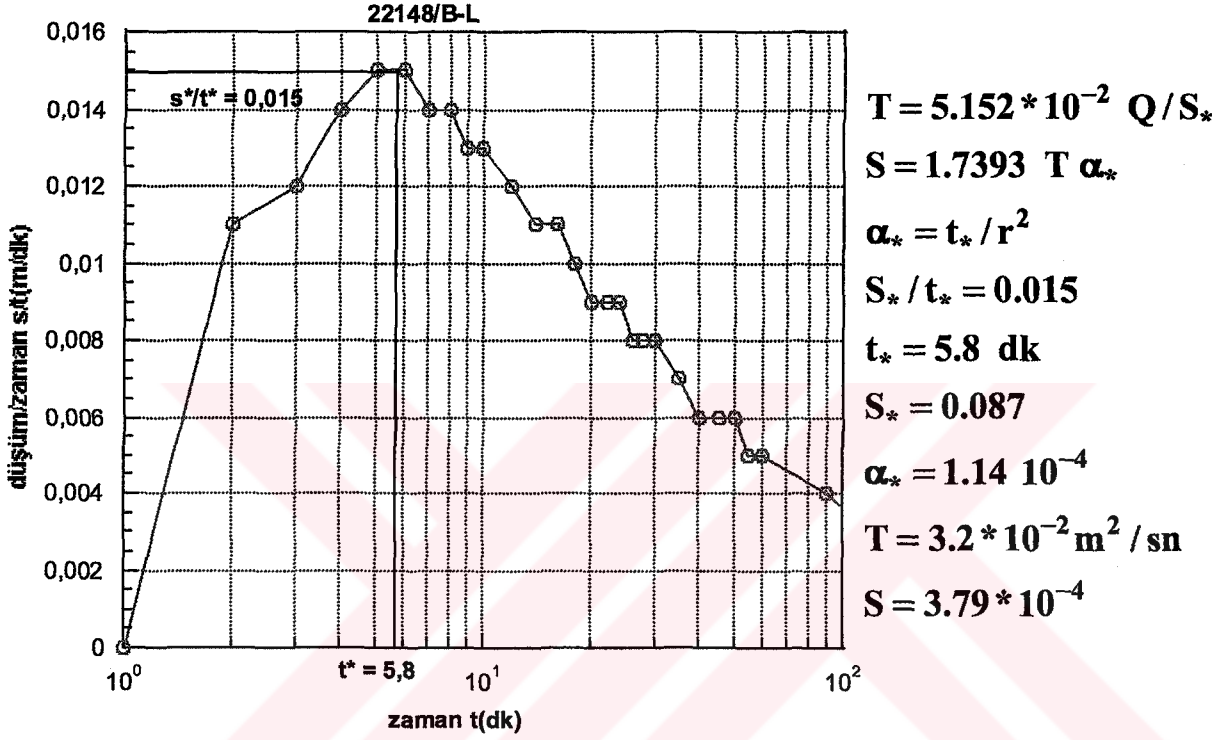
Şekil 7.23 E gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu

H gözlem kuyusuna Singh metodu uygulandıktan sonra iletkenlik değeri $T = 2.70 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 1.21 \cdot 10^{-4}$ bulunmuştur. Şekil 7.24 de H gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu verilmiştir.



Şekil 7.24 H gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu

L gözlem kuyusuna Singh metodu uygulandıktan sonra iletkenlik değeri $T = 3.20 * 10^{-2} \text{ m}^2 / \text{sn}$ ve depolama katsayısı $S = 3.79 * 10^{-4}$ bulunmuştur. Şekil 7.25 de L gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu verilmiştir.



Şekil 7.25 L gözlem kuyusuna uygulanan Singh metodu

8. SONUÇLAR

Akifer parametrelerinin belirlenmesinde uygulanan analitik metotlar ve uygulamaları bu tezde ele alınmıştır. Uygulama sonuçları, arazi çalışmasından alınan dataların değişik metotlara uygulanması ile ortaya çıkmaktadır. Akifer testleri, arazideki dataların zamana yada mesafeye göre düşümdeki değişiminin kaydedilmesi yardımıyla ve uygun analitik metotların uygulanmasıyla hidrolojik parametrelerin tanınmasına ilişkin faydalar sağlar (Birpınar, 2003).

Yeraltı suyu hidroliği ve su kaynakları açısından, akifer testleri yardımıyla akifer karakteristiklerinin belirlenmesinin önemi önceki bölümlerde vurgulanmıştı. Bu bölümlerde akifer karakteristiklerinin teorik olarak nasıl bulundukları hakkında geniş bilgiler verilmişti. Geliştirilen birçok metodun uygulamasında zorluklar (eğri çakıştırma vb.) bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan Singh metodu, gerekli akifer karakteristiklerinin bulunması için kolay kullanılabilir metotlar ileri sürmektedir. Singh (2001a) ve Singh (2001b) de ileri sürdüğü iyimser metotta, akifer parametrelerinin hesabında, erken düşümler kullanılarak basınçlı akifer parametreleri hesap edilmektedir.

Yapılan tez çalışmasında, akifer karakteristiklerinin bulunmasıyla ilgili verilen Theim, Theis, Jacob, Singh ve Şen gibi araştırmacıların metotları incelenmiştir. Daha sonra bu metotlar D.S.İ. tarafından açılan 22148/B numaralı pompaj kuyusu ve etrafında açılan beş adet gözlem kuyusundan alınan verilere uygulanmıştır. Daha sonra akiferlere ait hesaplanan T ve S değerleri karşılaştırılmıştır.

8.1 Arazi Verilerinden Elde Edilen Sonuçlar

D.S.İ. tarafından, İçel – Gilindire – Akkuyu bölgesinde açılan 22148/B 'nolu pompaj kuyusu ve çevresindeki beş adet gözlem kuyusundan elde edilen düşüm-zaman verileri ile bazı akifer verileri kullanılarak dengeli ve dengesiz akım durumu için uygulanan çeşitli metotlar ile akifer karakteristikleri bulunmuştur. Grafik ve analitik metotların karşılaştırılmasından aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

22148/B adıyla belirtilen kuyu takımındaki verilerin grafik ve analitik metotlara uygulanması ile elde edilen iletkenlik değerleri Çizelge 8.1 de verilmiştir.

Çizelge 8.1 22148/B olarak belirtilen kuyu takımından çeşitli metotlarla elde edilen iletkenlik değerlerinin (m^2 / sn) cinsinden karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyudan uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Singh Metodu	Theim Metodu
	R(m)	T_{Th}	$T_{J(d-z)}$	$T_{J(d-r)}$	$T_{J(d-t/r^2)}$	T_S	T_T
22148/B	-	-	-	-	-	-	-
A	22.75	0.0060	0.0046	0.0081	0.0041	0.0043	0.0088
B	42	0.0103	0.0055		0.0054	0.0024	
E	100	0.0172	0.0076		0.0051	0.0112	
H	152.5	0.0069	0.0068		0.0064	0.0027	
L	226	0.0796	0.0659		0.0449	0.0320	
Akifer Ortalaması		0.024	0.018	0.008	0.013	0.011	0.009

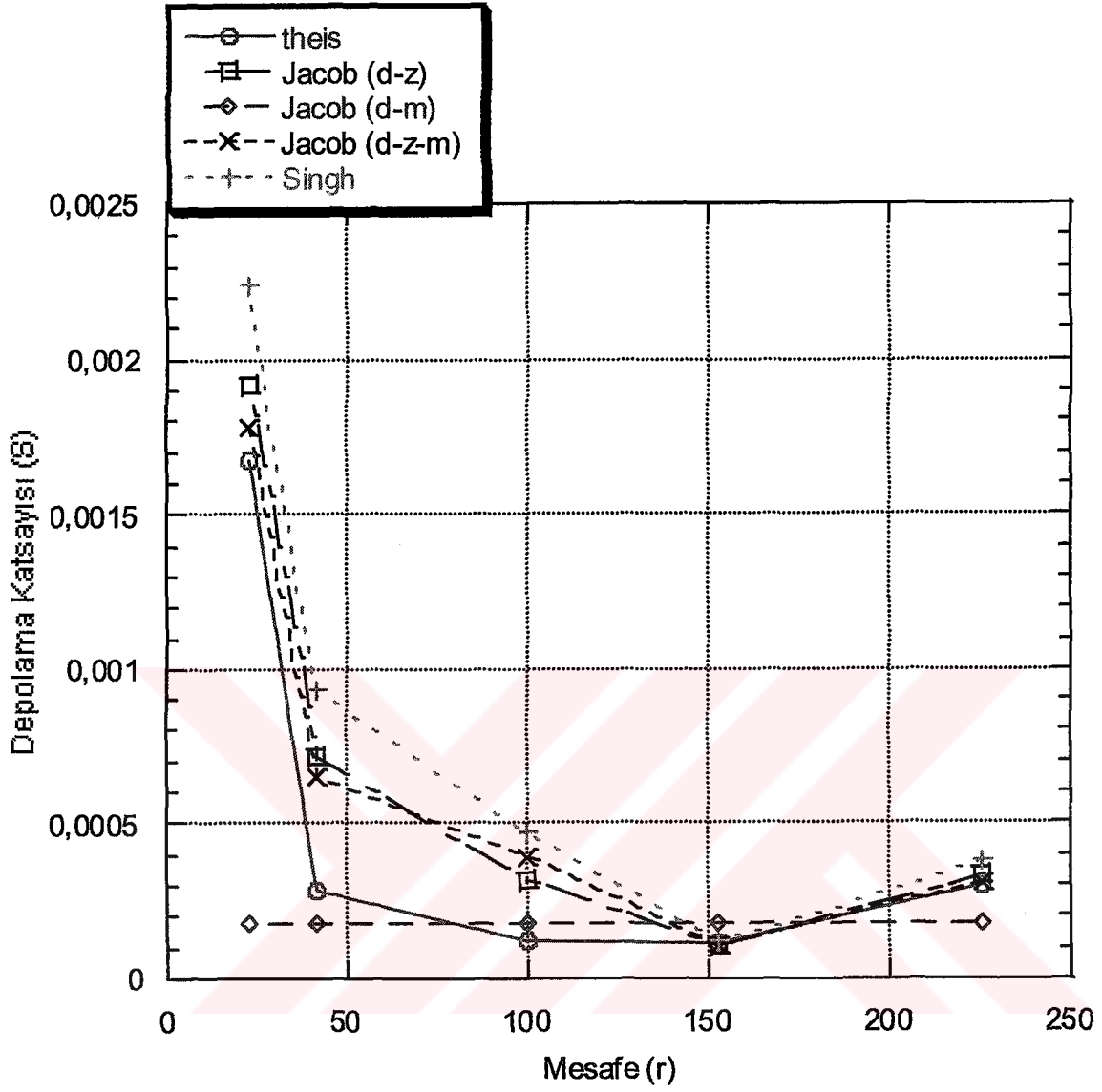
Çizelgedeki sonuçlara bakıldığında pompaj kuyusundan uzaklaştıkça iletkenlik değerinin arttığı görülmektedir. Uygulanan metotlardan elde edilen iletkenlik değerleri birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

22148/B pompaj kuyusu ve bununla birlikte beş adet gözlem kuyusundan elde edilen veriler kullanılarak, grafik ve analitik metot uygulamalarıyla akifere ait depolama katsayısı tespit edilmiştir. Çeşitli metotlarla bulunan sonuçlar aşağıdaki Çizelge 8.2 de verilmiştir.

Çizelge 8.2 22148/B olarak belirtilen kuyu takımından çeşitli metotlarla elde edilen depolama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması

Kuyu No	Merkez kuyudan uzaklık	Theis Metodu	Jacob Metodu			Singh Metodu	Şen Grafik
	R(m)	S_{Th}	$S_{J(d-z)}$	$S_{J(d-r)}$	$S_{J(d-t/r^2)}$	S_S	$S_Ş$
22148/B	-	-	-	-	-	-	-
A	22.75	0.001670	0.001920	0.000177	0.001780	0.002240	0.05550
B	42	0.000281	0.000715		0.000649	0.000935	0.00406
E	100	0.000124	0.000318		0.000390	0.000468	0.01870
H	152.5	0.000118	0.000103		0.000103	0.000121	0.00661
L	226	0.000299	0.000331		0.000309	0.000379	0.03160
Akifer Ortalaması		0.000498	0.000677	0.000177	0.000646	0.000829	0.02330

Burada Şen (1996) grafik metoduyla bulunan sonuçlarda diğer metotlarla bulunan sonuçlardan 10^{-2} kadar farklılık meydana gelmiştir. Şen grafik metoduyla bulunan sonuçlar her bir gözlem kuyusu için ayrı ayrı olarak değil, gözlem kuyusu verilerinin ikişer ikişer kullanılmasıyla çizilen grafiklerden elde edilmiştir. Diğer metotlardan alınan sonuçlar birbirine yakınlık göstermektedir ve buradan anlaşıldığı üzere metotlardan iyi neticeler alınmıştır. Şekil 8.1'de, metotların uygulanması sonucunda elde edilen depolama katsayısı değerleri, grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 8.1 Depolama katsayısı değerlerinin grafik üzerinde gösterilmesi

KAYNAKLAR

- Bear, J., (1972), Dynamics of Fluid in Porous Media, Elsevier Science, New York.
- Bear, J., (1979), Hydraulics of Groundwater, McGraw-Hill, New York.
- Birpınar, M. E., (1996), Dengeli Akım Durumunda Serbest Yüzlü Akiferlerde Açılan Kuyularda Girişim Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Birpınar, M. E., (2003), Water SA Vol. 29 No., 3 July 2003, 251-256 p.
- Cooper, H. H., and Jacob, C. E., (1946), "A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History", Trans. Am. Geophys. Union, 27, 526-534.
- 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 and Sons, New York.
- De Glee, G. J., (1930), Over Groundwaterstromingen bij Teronttrekking Door Middel van Putten, Thesis, J. Waltman, Delft, The Netherlands, 175pp.
- Dupuit, J., (1863), Etudes Theoretiques et Pratiques Sur le Mouvement des eaux dans les Canaux de Couverts et a Travers les Terrains Permeables. 2nd. ed., Dunod, Paris, France.
- Forchheimer, P. V., (1930), Grundwasserbewegung und Hydraulik, Tubrier, Leipzig.
- Freeze, R. A., 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, İtalya.
- Hantush, M. S., (1964), Hydraulics of Wells, Advances in Hydroscience, Vol.1, Academic Press, New York, U.S.A., pp.281-432.
- 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), Quanttative Hydrogeology in Groundwater Hydrology for Engineers, Academic Pres, New York.
- 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.

Singh, S. K., (2000), Simple Method for Confined-Aquifer Parameter Estimation, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, November-December 2000, ASCE 126 (6), 404-407.

Singh, S. K., (2001a), Identifying Impervious Boundary and Aquifer Parameters from Pump Test Data, Journal of Hydraulic Engineering, August 2001, ASCE 127 (4), 280-285.

Singh, S. K., (2001b), Confined Aquifer Parameters from Temporal Derivative of Drawdowns, Journal of Hydraulic Engineering, June 2001, ASCE 127 (6), 466-470.

Singh, S. K., (2002), Aquifer Boundaries and Parameter Identification Simplified, Journal of Hydraulic Engineering, August 2002, ASCE 128 (8), 774-780.

Sen, Z., (1987), "Storage Coefficient Determination from Quasi-Steady State Flow", Nordic Hydrology, 18 : 101-110.

Sen, Z., (1995), Applied Hydrogeology for Engineers and Scientists, Lewis Publishers, Boca Raton, 444p.

Theim, G., (1906), Hydrologische Methoden J. M. Gebhart, Leipzig, 56 pp.

Theis, C. V., (1935), "Relation Between the Lowering of Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using Ground Water Storage", Trans. am. Geophys. Union, 16, 519-524.

Theis, C. V., (1935), The Relation Between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using Grounwater 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.

Tood, D. K., (1959), Groundwater Hydrology, John Wiley and Sons, New York.

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.

EK 1

Tablo 1 Pompaj ve Gözlem Kuyularından Alınan Düşüm Değerleri

Zaman	Ana kuyu		Gözlem Kuyuları (Düşüm)				
	(Pompaj Kuyusu)		A	B	E	H	L
	St. Sv.	Düşüm	22.75 m	42 m	100 m	152.5 m	226m
(dakika)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	7,480	-	0,35	0,12	0,02	-	-
2	7,480	-	0,67	0,26	0,09	0,12	0,02
3	7,480	-	0,86	0,41	0,16	0,21	0,04
4	12,150	4,670	1,18	0,64	0,25	0,33	0,05
5	12,150	4,670	1,24	0,86	0,31	0,46	0,08
6	12,150	4,670	1,32	1,06	0,37	0,54	0,09
7	12,150	4,670	1,44	1,23	0,43	0,69	0,10
8	12,150	4,670	1,58	1,30	0,49	0,81	0,11
9	12,150	4,670	1,71	1,40	0,54	0,92	0,12
10	12,150	4,670	1,79	1,51	0,59	1,02	0,13
12	12,150	4,670	1,87	1,61	0,69	1,13	0,14
14	12,150	4,670	1,96	1,72	0,80	1,24	0,15
16	12,150	4,670	2,09	1,80	0,92	1,29	0,17
18	12,150	4,670	2,24	1,85	1,01	1,36	0,18
20	12,150	4,670	2,42	1,90	1,10	1,42	0,19
22	12,150	4,670	2,58	1,94	1,22	1,49	0,20
24	12,150	4,670	2,69	1,99	1,30	1,55	0,22
26	12,150	4,670	2,81	2,13	1,41	1,67	0,22
28	12,150	4,670	2,92	2,20	1,50	1,71	0,22
30	12,150	4,670	3,03	2,35	1,60	1,76	0,23
35	12,150	4,670	3,11	2,56	1,80	1,80	0,23
40	12,150	4,670	3,20	2,68	1,90	1,84	0,24
45	12,150	4,670	3,29	2,79	1,95	1,86	0,28
50	12,150	4,670	3,41	2,86	1,99	1,93	0,29
55	12,150	4,670	3,50	2,98	2,00	1,96	0,30
60	12,150	4,670	3,59	3,04	2,02	1,99	0,31
90	12,150	4,670	3,68	3,08	2,03	1,98	0,32
120	12,150	4,670	3,75	3,10	2,03	1,98	0,32
150	12,150	4,670	3,83	3,06	2,04	1,97	0,33
180	12,150	4,670	3,89	3,11	2,04	1,98	0,34
210	12,210	4,730	3,95	3,13	2,04	1,97	0,34
240	12,230	4,750	4,01	3,12	2,04	1,97	0,34
270	12,200	4,720	4,06	3,12	2,04	1,99	0,34
300	12,250	4,770	4,11	3,16	2,05	2,01	0,34
360	12,100	4,620	4,16	3,11	2,08	2,03	0,34
420	12,140	4,660	4,21	3,11	2,08	2,04	0,34
480	12,130	4,650	4,27	3,13	2,10	2,04	0,34
540	12,100	4,620	4,32	3,14	2,10	2,04	0,34
600	12,100	4,620	4,36	3,14	2,10	2,03	0,34
660	12,130	4,650	4,39	3,14	2,10	2,03	0,34

720	12,130	4,650	4,42	3,14	2,10	2,03	0,34
780	12,150	4,670	4,45	3,14	2,10	2,03	0,34
840	12,140	4,660	4,47	3,13	2,10	2,03	0,33
900	12,140	4,660	4,48	3,13	2,09	2,04	0,33
960	12,150	4,670	4,50	3,13	2,09	2,04	0,33
1020	12,140	4,660	4,51	3,13	2,09	2,05	0,33
1080	12,140	4,660	4,52	3,13	2,09	2,05	0,33
1140	12,160	4,680	4,53	3,13	2,09	2,05	0,33
1200	12,160	4,680	4,53	3,14	2,09	2,04	0,33
1260	12,180	4,700	4,53	3,15	2,11	2,04	0,33
1320	12,190	4,710	4,54	3,15	2,11	2,04	0,33
1380	12,200	4,720	4,53	3,15	2,11	2,03	0,38
1440	12,230	4,750	4,53	3,16	2,11	2,03	0,38
1500	12,230	4,750	4,52	3,16	2,14	2,03	0,38
1560	12,230	4,750	4,53	3,18	2,14	2,03	0,38
1620	12,250	4,770	4,53	3,18	2,14	2,03	0,38
1680	12,270	4,790	4,53	3,18	2,14	2,03	0,38
1740	12,250	4,770	4,53	3,19	2,14	2,03	0,38
1800	12,270	4,790	4,53	3,19	2,14	2,03	0,38
1860	12,290	4,810	4,53	3,18	2,14	2,04	0,38
1920	12,260	4,780	4,53	3,18	2,14	2,04	0,37
1980	12,260	4,780	4,53	3,19	2,14	2,04	0,37
2040	12,250	4,770	4,53	3,20	2,14	2,04	0,37
2100	12,250	4,770	4,53	3,20	2,14	2,05	0,37
2160	12,190	4,710	4,53	3,20	2,14	2,06	0,37
2220	12,260	4,780	4,54	3,20	2,14	2,05	0,37
2280	12,250	4,770	4,54	3,22	2,14	2,05	0,37
2340	12,250	4,770	4,54	3,22	2,14	2,04	0,37
2400	12,250	4,770	4,54	3,22	2,15	2,04	0,38
2460	12,250	4,770	4,55	3,23	2,15	2,04	0,38
2520	12,250	4,770	4,54	3,23	2,15	2,05	0,38
2580	12,250	4,770	4,54	3,23	2,15	2,05	0,38
2640	12,250	4,770	4,53	3,23	2,15	2,05	0,38
2700	12,260	4,780	4,53	3,23	2,15	2,06	0,38
2760	12,250	4,770	4,53	3,23	2,15	2,06	0,38
2820	12,250	4,770	4,53	3,22	2,15	2,06	0,38
2880	12,270	4,790	4,53	3,22	2,15	2,06	0,38
2940	12,300	4,820	4,53	3,22	2,15	2,06	0,39
3000	12,270	4,790	4,54	3,22	2,15	2,06	0,39
3060	12,280	4,800	4,54	3,22	2,15	2,06	0,39
3120	12,270	4,790	4,53	3,22	2,15	2,06	0,39
3180	12,220	4,740	4,53	3,23	2,15	2,06	0,39
3240	12,220	4,740	4,53	3,23	2,15	2,06	0,39
3300	12,220	4,740	4,53	3,23	2,14	2,05	0,39
3360	12,220	4,740	4,53	3,23	2,14	2,06	0,39
3420	12,250	4,770	4,53	3,24	2,14	2,05	0,39
3480	12,250	4,770	4,53	3,24	2,15	2,04	0,38

3540	12,240	4,760	4,53	3,24	2,15	2,05	0,38
3600	12,230	4,750	4,53	3,24	2,15	2,06	0,38
3660	12,230	4,750	4,53	3,24	2,15	2,05	0,38
3720	12,240	4,760	4,54	3,24	2,15	2,06	0,38
3780	12,250	4,770	4,54	3,24	2,15	2,05	0,38
3840	12,220	4,740	4,54	3,24	2,15	2,06	0,38
3900	12,230	4,750	4,53	3,24	2,15	2,06	0,38
3960	12,230	4,750	4,53	3,24	2,15	2,06	0,38
4020	12,250	4,770	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38
4380	12,270	4,790	4,55	3,23	2,14	2,07	0,39
4740	12,370	4,890	4,54	3,23	2,15	2,07	0,39
5100	12,370	4,890	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38
5460	12,330	4,850	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38
5820	12,330	4,850	4,54	3,25	2,15	2,07	0,38
6180	12,340	4,860	4,53	3,24	2,15	2,07	0,39
6540	12,250	4,770	4,54	3,24	2,15	2,07	0,39
6900	12,290	4,810	4,54	3,24	2,14	2,07	0,38
7260	12,380	4,900	4,54	3,24	2,15	2,06	0,38
7620	12,320	4,840	4,54	3,25	2,15	2,06	0,38
7980	12,330	4,850	4,53	3,25	2,15	2,07	0,38
8340	12,320	4,840	4,54	3,24	2,15	2,06	0,38
8700	12,320	4,840	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38
9060	12,320	4,840	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38
9420	12,330	4,850	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38
9780	12,330	4,850	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38
10140	12,330	4,850	4,54	3,24	2,15	2,07	0,38

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 12.04.1979

Doğum yeri Ardahan

Lise 1992-1995 Şehit Mehmet Gonenç Lisesi

Lisans 1997-2002 Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2002-2005 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Çalıştığı kurum(lar)

2003-2004
2004-2005

Hereke Belediyesi Teknik Hizmetler Müdür Vekili
BTC Ham Petrol Boru Hattı Projesi

