

**AKİFERİN HİDROLİK PARAMETRELERİ İLE
JEOELEKTRİKSEL PARAMETRELER ARASINDAKİ
İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ**

GÖKÇEN ERYILMAZ TÜRKKAN



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AKİFERİN HİDROLİK PARAMETRELERİ İLE JEOTELEKTRİKSEL
PARAMETRELER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ**

GÖKÇEN ERYILMAZ TÜRKKAN

Doç. Dr. Serdar KORKMAZ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2018

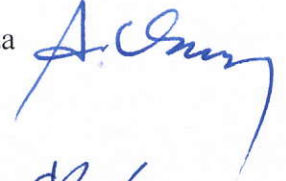
TEZ ONAYI

Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN tarafından hazırlanan “Akiferin Hidrolik Parametreleri ile Jeoelektriksel Parametreler Arasındaki İlişkinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr.Serdar KORKMAZ

Başkan : Prof.Dr. Ali Osman Demir

İmza



Üye : Doç.Dr. Serdar Korkmaz

İmza



Üye : Yrd.Doç.Dr. Yeşim S. Ünsever

İmza



Üye : Prof.Dr. Mustafa Tamer Ayvaz

İmza



Üye : Yrd.Doç.Dr. Emrah Pekkan

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

6.../2/2018

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

16/03/2018
Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN

ÖZET

Doktora Tezi

AKİFERİN HİDROLİK PARAMETRELERİ İLE JEOTELEKTRİKSEL PARAMETRELER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN BELİRLENMESİ

Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serdar KORKMAZ

Bu çalışmanın amacı, akiferin hidrolik parametreleri ile jeoelektriksel parametreler arasındaki ilişkiyi incelemektir. Bu amaç doğrultusunda Bursa ilinin farklı bölgelerinde arazi çalışması yürütülmüştür. Çalışmada Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2009 yılında oluşturduğu Bursa ili jeoloji haritasından faydalanılmıştır. Bursa'nın Bilecik kireçtaşı, Alüvyon, Piribey Şistleri, Mudanya formasyonu, Güragaç üyesi, Nilüfer formasyonu, Köprühisar formasyonu, Yörüktepe formasyonu, Yarhisar formasyonu, Paşayayla formasyonu, Akarsu yelpaze çökellerinde yer alan 11 farklı formasyonunda toplamda 34 adet arazi çalışması yürütülmüştür. Bu bölgelerin her birinde açılan kuyularda slug testler gerçekleştirilmiştir ve zamana bağlı düşü değerleri kaydedilmiştir. Bu değerlere Bouwer-Rice ve Dagan analitik metotları uygulanarak kuyu civarı hidrolik iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Buna ek olarak, kuyuların bulunduğu bölgelerde Schlumberger dizilimi kullanılarak düşey elektrik sondaj yöntemi uygulanmıştır. Arazi çalışmasında elde edilen jeoelektrik ölçüm değerleri IPI2win yazılımı kullanılarak işlenmiş ve çalışılan bölgelerdeki katmanların gerçek özdirençleri bulunmuştur. Açılan her bir kuyudan su numunesi alınarak elektrik iletkenlik değerleri ve pH değerleri laboratuvarında ölçülmüştür. Elektrik iletkenlik değerleri kullanılarak yeraltı suyunun özdirenç hesaplanmıştır. Her bir lokasyon için su numunesi alınan katmanın gerçek özdirenç değeri, yeraltı suyunun özdirenç değerine oranlanarak formasyon faktörü elde edilmiştir. Bu çalışmada, farklı formasyonlardan elde edilen formasyon faktörü ile hidrolik iletkenlik arasında ilişki ve formasyon faktörü ile transmisivite arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca çalışmanın yoğunlaştığı iki formasyon için hidrolik parametreler ile jeoelektriksel parametreler arasındaki ilişki detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu parametrelerin CBS ortamında dağılım haritaları oluşturulmuştur. Çalışmalar sonucunda, hidrolik ve jeoelektriksel parametreler arasında doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Bu çalışmanın yeraltı suyu araştırmaları için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeoelektriksel yöntemler, Özdirenç, IPI2win, Yeraltı suyu, Kuyu, Slug test

ABSTRACT

PhD Thesis

DETERMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN AQUIFER HYDRAULIC PARAMETERS AND GEOELECTRIC PARAMETERS

Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Serdar KORKMAZ

The aim of this study is to research the relationship between aquifer hydraulic parameters and geoelectrical parameters. For this purpose, field studies were carried out on different areas in Bursa. In the study, the geology map of Bursa established by the General Directorate of Mineral Research and Exploration in 2009 were utilized. A total of 34 field studies were carried out in 11 different formations in Bursa. These include: Bilecik limestone, alluvium, Piribey schist, Mudanya formation, Gurağaç member, Nilüfer formation, Köprühisar formation, Yörüktepe formation, Yarhisar formation, Paşayayla formation and River fan deposits. Slug tests were carried out in the wells in each of the study areas, the time and drawdown values were recorded. Hydraulic conductivities of wells were obtained by applying Bouwer-Rice and Dagan analytical methods to these values. In addition, the vertical electric sounding method was applied using the Schlumberger array in areas where wells are located. The values obtained from the field study were processed using IPI2win software and the real resistivity values of layers in study regions were found. After collecting water samples from each well, electric conductivity values and pH values were measured in the laboratory. Using electric conductivity values, the groundwater's resistivity is calculated. For each location, formation factor was calculated as a ratio of real resistivity to groundwater resistivity. In this study, the relationship between formation factor and hydraulic conductivity obtained and the relationship between formation factor and transmissivity were investigated from different formations. In addition, the relationship between the hydraulic parameters and the geoelectrical parameters were also studied for the two formations. Distribution maps of these parameters were plotted in GIS. As a result of the studies, a linear relationship was found between hydraulic and geoelectrical parameters. It is believed that this study will be beneficial to groundwater research studies.

Keywords: Geoelectrical methods, Resistivity, IPI2win, Groundwater, Well, Slug test

TEŞEKKÜR

Bilgi ve tecrübeleri ile her zaman her konuda yanımda olan bana destek veren, çalışmamda deneyimlerini benden esirgemeyen, değerli hocam Doç. Dr. Serdar KORKMAZ'a şükranlarımı sunarım.

Laboratuvar ölçümlerinde verdiği destekten dolayı Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. Gökhan Ekrem ÜSTÜN'e teşekkür ederim.

Jüri üyelerine değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu tezde, arazi çalışmalarında her türlü desteği sağlayan Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne ve Neojen Mühendislik'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan bana desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen başta eşim olmak üzere aileme sonsuz teşekkürler.

Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Kaynak Araştırması.....	4
2.2. Jeoelektriksel Yöntemler.....	5
2.2.1. Elektrot dizilimleri ve verilerin yorumlanması.....	11
2.2.2. Hidrojeolojik parametreler.....	17
2.3. Slug Test.....	21
2.3.1. Bouwer ve Rice metodu.....	23
2.3.2. Dagan metodu.....	26
2.4. Akiferler ve Akifer Parametreleri.....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
3.1. Arazi Çalışması.....	34
3.1.1. Bölgenin jeolojisi.....	34
3.1.2. Özdirenç ekipmanları.....	40
3.1.3. Slug test ekipmanları.....	41
3.1.4. Uygulama.....	42
3.2. Büro Çalışması.....	56
3.2.1. DES verilerinin değerlendirilmesi.....	56
3.2.2. Slug test verilerinin değerlendirilmesi.....	58
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	60
5. SONUÇ.....	78
KAYNAKLAR.....	82
EKLER.....	90
EK 1. IPI2win yazılımı ile gerçek öz direncin belirlenmesi.....	91
EK 2. Slug test verilerinin analitik çözümü [$H(t)/H_0-t$ grafikleri].....	108
ÖZGEÇMİŞ.....	125

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
A	Karşılaştırılan birinci parametre
a	Elektrotlar arası mesafe
B	Karşılaştırılan ikinci parametre
c	Boyutsuz bir katsayı
D	Akiferin doymun kalınlığı
D_{su}	Su alınan derinlik
d	Ortalama boşluk çapı
d_{katman}	Formasyon kalınlığı
d_{i0}	Ölçüm lokasyonu ile tahmin lokasyonu arasındaki mesafe
EC	Elektrik iletkenliği
F	Formasyon faktörü
F^*	Değiştirilmiş formasyon faktörü
H_0	Su bırakıldıktan hemen sonraki düşü
$H(t)$	Zamana bağlı düşü
I	Akım
K	Hidrolik iletkenlik
K_r	Radyal hidrolik iletkenlik
K_{r-ort}	Ortalama radyal hidrolik iletkenlik
\bar{K}_{r-ort}	Formasyonun ortalama hidrolik iletkenliği
K_z	z yönündeki hidrolik iletkenlik
k	Özgün permeabilite
k_f	Geometrik faktör (dizilim katsayısı)
L	İki nokta arasındaki mesafe
L_e	Kuyuda suyun girdiği filtrenin uzunluğu (filtreli kısmın uzunluğu)
L_w	Su tablasından kuyu tabanına olan mesafe
m	Ampirik katsayı
n	Ölçüm değerlerinin adedi
na	Elektrotlar arası mesafe
P	Boyutsuz parametre
q	Spesifik akım
R_e	Yük değişiminin dağıldığı etkili mesafe
R^2	Determinasyon katsayısı
r	Korelasyon katsayısı
r_c	Kapalı (filtresiz) borunun yarıçapı
r_w	Sondaj yarıçapı (çakıl zarfının yarıçapı)
S	Depolama katsayısı
S_S	Özgül depolama katsayısı
S_Y	Özgül verim
s	Su doymunluğu
T	Transmisivite
t	Zaman
t_{new}	Düzeltilmiş zaman
V	Bırakılan veya çekilen suyun hacmi

V_g	Gerçek hız
X	Bouwer-Rice metodunda kullanılan boyutsuz parametre
x	Ampirik katsayı
x_i	Ölçüm lokasyonu
x_0	Tahmin lokasyonu
Y	Bouwer-Rice metodunda kullanılan boyutsuz parametre
\bar{Y}	Ölçümlerin y değerlerinin aritmetik ortalaması
Y_i	Ölçümlerin y değerleri
Y_x	Lineer regresyon doğrusu üzerinde x koordinatına denk gelen y değerleri
Z	Bouwer-Rice metodunda kullanılan boyutsuz parametre
$z(x_0)$	Tahmin yapılan parametre
ΔA	Birim yatay alan
Δh	İki nokta arasındaki piyezometrik yük farkı
ΔV	Ölçülen gerilim farkı
ΔV_w	Depolanmadan çıkan veya depolanmaya giren suyun hacmi
γ	Akışkanın özgül ağırlığı
η	Ampirik katsayı
μ	Dinamik viskozite
ρ	Gerçek özdirenç
ρ_a	Görünür özdirenç
ρ_o	Suyun özdirenci
$\bar{\rho}_0$	Suyun ortalama özdirenci
ρ'	Akiferin değiştirilmiş özdirenci
ρ_o^*	Yeraltı suyunun değiştirilmiş özdirenci
ϕ	Porozite
ϕ_e	Efektif porozite
ψ	Dagan metodunda kullanılan boyutsuz parametre

Kısaltmalar Açıklamalar

BUSKİ	Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DES	Düşey elektrik sondaj
IDW	Mesafenin tersi ağırlıklı metot (Inverse Distance Weighting)
IP	İndüklem Polarizasyon Yöntemi
JKb	Bilecik kireçtaşı
Kp	Piribey Şistleri
Kpa	Paşayayla formasyonu
Kya	Yarhisar formasyonu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Py	Yörüktepe formasyonu
pH	Hidrojen kuvveti (Power of Hydrogen)
Qal	Alüvyon
Qay	Akarsu yelpaze çökelleri
SP	Doğal Potansiyel Yöntemi
TDS	Toplam çözünmüş katı miktarı
Tmk	Köprühisar formasyonu
Tmm	Mudanya formasyonu
Trkn	Nilüfer formasyonu
Ttg	Gürağaç üyesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Elektrik ve elektromanyetik yöntemlerde kullanılan modeller a) Bir boyutlu b) İki boyutlu c) Üç boyutlu.....	9
Şekil 2.2. Akım çizgilerinin ve potansiyel çizgilerin dağılımı.....	11
Şekil 2.3. Wenner dizilimi.....	12
Şekil 2.4. Schlumberger dizilimi.....	13
Şekil 2.5. Dipol – dipol dizilimi.....	13
Şekil 2.6. Pol – pol dizilimi.....	14
Şekil 2.7. Pol – dipol dizilimi.....	14
Şekil 2.8. DES ölçümü sonucu elde edilen görünür özdirenç değerlerinin elektrot aralıklarının fonksiyonu olarak gösterilmesi (DES eğrisi).....	16
Şekil 2.9. Basıncsız akiferde kuyuya aniden su bırakılmasıyla oluşan durum	21
Şekil 2.10. X , Y , Z boyutsuz parametrelerinin L_e/r_w 'nun bir fonksiyonu olarak gösterilmesi (Bouwer ve Rice 1976).....	26
Şekil 2.11. Hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemler	31
Şekil 3.1. Çalışma bölgeleri, çalışma numaraları, kuyu koordinatları, DES koordinatları, formasyonlar	34
Şekil 3.2. Özdirenç çalışmasında kullanılan ekipmanlar	41
Şekil 3.3. Seviyemetre.....	41
Şekil 3.4. Karacabey Şahinköy Schlumberger diziliminin bulunduğu hat ve su sondaj kuyusu	44
Şekil 3.5. Akçalar Mah. alınan suyun iletkenliğinin ve pH'ının ölçüldüğü cihaz	45
Şekil 3.6. Nilüfer ilçesi, Akçalar Mahallesi su sondaj kuyusu.....	45
Şekil 3.7. Uludağ Üniversitesinden alınan suyun iletkenliğinin ve pH'ının ölçüldüğü cihaz	46
Şekil 3.8. Nilüfer İlçesi, Görükle yerleşkesi Uludağ Üniversitesindeki su sondaj kuyusu	47
Şekil 3.9. Yenişehir İlçesi, Çardak Köyü su sondaj kuyusu	48
Şekil 3.10. Keles İlçesi, Akçapınar Köyü su sondaj kuyusu.....	50
Şekil 3.11. Mustafakemalpaşa İlçesi, Yalıntaş Köyü su sondaj kuyusu	52
Şekil 3.12. Bursa İli, Nilüfer İlçesi Uludağ Üniversitesi için IPI2win yazılımı ile gerçek özdirenç belirlenmesi.....	57
Şekil 3.13. $H(t)/H_0 - t$ grafiği (Nilüfer Uludağ Üniversitesi).....	59
Şekil 4.1. Formasyon tipi – hidrolik iletkenlik ilişkisi.....	63
Şekil 4.2. Çalışma alanı kapsamında K_{r-ort} haritası	66
Şekil 4.3. Çalışma alanı kapsamında F haritası	66
Şekil 4.4. Çalışma alanı kapsamında TDS haritası.....	67
Şekil 4.5. Çalışma alanı kapsamında pH haritası.....	67
Şekil 4.6. Çalışma alanı kapsamında ρ' haritası.....	68
Şekil 4.7. $K_{r-ort} - \rho$ ilişkisi.....	69
Şekil 4.8. $K_{r-ort} - \rho_0$ ilişkisi	69
Şekil 4.9. $K_{r-ort} - F$ ilişkisi.....	70
Şekil 4.10. $T - F$ ilişkisi	70
Şekil 4.11. $K_{r-ort} - \rho'$ ilişkisi	71
Şekil 4.12. $T - \rho'$ ilişkisi	71

Şekil 4.13. Çalışma alanı kapsamında F^* haritası	73
Şekil 4.14. $K_{r-ort} - F^*$ ilişkisi	74
Şekil 4.15. $T - F^*$ ilişkisi	74

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Basıncısız akiferlerde slug testte karşılaşılabilecek durumlar	22
Çizelge 2.2. Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi (P) değerleri (Kuyu gözenekleri su tablasının altında ve $L_e/D \leq 0,05$ ise) Butler (1998)	27
Çizelge 2.3. Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi (P) değerleri (Kuyu gözenekleri su tablasının altında ve $(L_w+L_e)=D$ ise) Butler (1998)	27
Çizelge 2.4. Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi (P) değerleri (Basınçlı formasyonlar için) ($L_e/D \leq 0,05$ ise) Butler (1998)	28
Çizelge 2.5. Değişik zemin türlerine göre hidrolik iletkenlik değerleri (Bear 1972)	30
Çizelge 3.1. Çalışılan bölgeler ve formasyon tipleri	38
Çizelge 4.1. Yeraltı suyu numunelerinden ve özdirenç ölçümlerinden elde edilen değerler	61
Çizelge 4.2. Slug test sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri	62
Çizelge 4.3. Gerçek özdirenç değerleri ve katman kalınlıkları	64
Çizelge 4.4. Hesaplanan F^* değerleri	72
Çizelge 4.5. Hesaplanan lineer regresyon denklemleri, R^2 ve r değerleri	76

1. GİRİŞ

Önemli bir ihtiyaç olan su ekonomik ve sosyal kalkınmada hayati bir öneme sahiptir. Dünya nüfusu ve gıda tüketiminin artmasına paralel olarak su ihtiyacı da artış göstermektedir. Günümüzde su insan hayatında oldukça önem arz etmektedir. Yerküredeki tatlı suyun büyük bir kısmı yer altında bulunur. Yer altından, kuyular açılarak çıkartılan su insanlar tarafından geniş ölçüde kullanılmaktadır. Yer altından çıkartılan suyun özelliği; doğal filtrelenmiş olması, bakterilerden, koku ve tatlardan arınmış olması, kimyasal bileşimi ve sıcaklık derecesi fazla değişmeyen, iyi kalitede bir su olmasıdır.

Hem yüzeysel suları hem de yeraltı sularını bilinçli kullanmak, akılcı değerlendirmek gereklidir. Davranışı bilinen kaynağın kullanımı da kolay olacaktır. Bu anlamda akifer parametrelerinin bilinmesi ve incelenmesi önem arz etmektedir. Akifere ait önemli parametrelerden biri olan hidrolik iletkenliğe arazi ölçümleri ile ulaşmak için birçok metot mevcuttur. Thiem (1906), basınçlı akiferlerde, dairesel, kararlı akım halinde hidrolik iletkenliğe ulaşabilmeyi amaçlamıştır. Theis (1935), basınçlı akiferlerde, dairesel, kararsız akım halini çalışmıştır ve basınçlı, basınçsız akiferlerde hidrolik iletkenliğe ulaşabilmek için geri dönüş testini (recovery test) geliştirmiştir. Cooper ve Jacob (1946), basınçlı, dairesel, kararsız akım hali için Theis formülünü temel alarak hidrolik iletkenliğe ulaşabilmek için Jacob metodunu geliştirmiştir. Neuman (1972) basınçsız akiferlerde, dairesel, kararsız akım halinde hidrolik iletkenliğe ulaşmıştır. Basınçsız akiferde, kararlı, dairesel akım halinde hidrolik iletkenliğe ulaşabilmek için Thiem-Dupuit metodu mevcuttur (Dupuit 1863). Nahm (1980) pompaj kuyusunda her testte geri dönüş periyodunun tamamlanmasını bekleyerek farklı debilerle pompalama testleri yapmıştır. Her bir testte aynı t anına kadar bekleyip düşüleri ölçmüş ve çeşitli analitik hesaplamalar ile hidrolik iletkenliğe ulaşmıştır. Bunların dışında hidrolik iletkenliğe ulaşmak için slug testler uygulanmaktadır. Basınçlı akiferlerde Cooper, Bredehoeft ve Papadopoulos (Papadopoulos vd. 1973) metodu ve Hvorslev metodu (1951), basınçsız akiferlerde ise Bouwer-Rice metodu (1976) ve Dagan metodu (1978) bulunmaktadır.

Yeraltı suyu gözlemlene çalışmalarda günümüzde jeoelektriksel yöntemlere oldukça fazla başvurulmaktadır. Jeoelektriksel yöntemler, tatlı su-tuzlu su girişiminin derinliği ve kirlenmiş yeraltı suyu zonunun alansal büyüklüğü ile ilgili bilgi sağlamakta iken, sismik, gravite, manyetik ve termal yöntemler böyle bir bilgiyi sağlayamamaktadır. Jeoelektriksel yöntemler içinde en yaygın kullanılanı düşey elektrik sondaj (DES) yöntemidir. Jeoelektriksel yöntemde amaç; yer içindeki yapıların yatay ve düşey yönde elektrik iletim biçimlerini araştırmak ve zeminin gerçek özdirencini bulmaktır. Bu yöntem birçok çalışmaya konu olmuştur. Bu çalışmalar şu şekilde sıralanabilir. Sundararajan vd. (2012), çalışmasında DES ve Wenner yöntemlerini kullanarak çevresel etki değerlendirmesi yapmıştır. Balakrishna vd. (2014), Elektriksel tomografi ve DES yöntemini kullanarak çatlaklı akiferlerin yeraltı suyu potansiyelini incelemiştir. Asfahani (2016), çalışmasında Suriyedeki Khanasser vadi bölgesini DES yöntemi ile inceleyerek hidrolik parametre tahmini gerçekleştirmiştir. Muhammad ve Khalid (2017), çalışmalarında Pakistandaki Peshawar havzasının yeraltı suyu potansiyelini hidrojeofizik araştırmalarla değerlendirmiştir. Mahmoud ve Kotb (2017), jeofizik teknikleri kullanarak Mısır'daki jeolojik yapıların yeraltı suyuna etkisini incelemiştir. Alhassan vd. (2017), Nijeryadaki yeraltı suyu potansiyelini jeoelektriksel yöntemler kullanarak incelemiştir. Gyulai vd. (2017), DES ölçümleri ile termal suların jeoelektriksel özelliğini araştırmıştır.

Bir bölgedeki yeraltı suyu varlığı ile ilgili bilgi edinebilmek için kuyu açılması oldukça masraflı bir iştir. Bu sebepten, yüzeyden yapılan jeofizik etütlere başvurulmaktadır. Bununla birlikte akifer için en önemli parametrelerden biri olan hidrolik iletkenliğin de kuyu açmadan belirlenebilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle mevcut tez çalışmasındaki amaç; farklı formasyonlarda, hidrolik parametreler (ör. hidrolik iletkenlik) ile jeoelektriksel parametreler (ör. formasyon faktörü) arasındaki ilişkiyi belirlemektir. Bu amaç doğrultusunda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) 2009 yılında oluşturduğu Bursa ili jeoloji haritasından faydalanarak, Bursa'nın farklı formasyondan oluşan bölümleri çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bursa'nın, Bilecik kireçtaşı (JKb), Alüvyon (Qal), Piribeyler Şistleri (Kp), Mudanya formasyonu (Tmm), Güragaç üyesi (Ttg), Nilüfer formasyonu (Trkn), Köprühisar formasyonu (Tmk), Yörüktepe formasyonu (Py), Yarhisar formasyonu (Kya), Paşayayla formasyonu

(Kpa), Akarsu yelpaze çökellerinde (Qay) yer alan 11 farklı formasyonunda toplamda 34 adet arazi çalışması yürütülmüştür. Herbir arazide akiferlerin hidrolik iletkenliğini belirlemek amacıyla açılan kuyularda slug testler uygulanmıştır. Bouwer-Rice ve Dagan analitik metotları kullanılarak hidrolik iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Hidrolik iletkenlik değerleri akiferin doygun kalınlığı ile çarpılarak transmisivite hesaplanmıştır. Ayrıca, kuyuların bulunduğu bölgelerde Schlumberger dizilimi kullanılarak DES yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen Schlumberger dizilim değerleri IPI2win yazılımı (Bobachow 2002) kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucu zeminin gerçek özdirenci bulunmuştur. Alınan su numunesi örneklerinin laboratuvarında incelenmesi sonucu suyun elektrik iletkenliği ve pH'ı ölçülmüştür. Yeraltı suyunun elektrik iletkenliğinden yeraltı suyunun özdirenci hesaplanmıştır. Her bir lokasyon için gerçek özdirenç değeri, yeraltı suyunun özdirencine oranlanarak formasyon faktörü hesaplanmıştır. Çalışmada, farklı formasyonlardan elde edilen formasyon faktörü ile hidrolik iletkenlik arasında ilişki ve formasyon faktörü ile transmisivite arasındaki ilişki incelenmiştir. Bunlara ek olarak çalışmanın yoğunlaştığı Qal ve Tmm formasyonu için hidrolik parametreler ile jeoelektriksel parametreler arasındaki ilişki de detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Tezin ikinci bölümünde jeoelektriksel yöntemlerin ve slug testlerin teorisi kaynak araştırması ile beraber sunulmuştur. Üçüncü bölümde düşey elektrik sondaj yöntemi ile alınan ölçümlerin ve slug testlerin yapıldığı arazi çalışmaları detaylı olarak sunulmuştur. Dördüncü bölümde verilerin analizi sonucu elde edilen bulgulara ve ilgili tartışmalara yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise çalışmanın özeti ile beraber sonuçlar sunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kaynak Araştırması

Literatürde, jeoelektriksel yöntemlerden biri olan DES yöntemi ile ilgili ve slug testlerle ilgili yapılan çalışmalar yer almaktadır. Bu bölümde konuyla ilgili son dönemde gerçekleştirilen çalışmalara yer verilmiştir.

DES yöntemi ile ilgili çalışmalar şu şekilde sıralanabilir: Yeken T. (1992), tezinde model tankında yer alan iletken kütleler üzerinde jeoelektriksel metotları (Schlumberger, Wenner ve Dipol dipol) uygulayarak özdirenç-derinlik profillerini karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırmalarda, Wenner ölçümlerinde daha çok bozucu etkiler görmüştür. Mbonu vd. (1991), çalışmalarında Nijerya'nın Umuahia bölgesinin bazı bölümlerinde akifer özelliklerinin belirlenmesi için jeoelektrik sondaj yöntemini kullanmışlardır. Yadav G.S. (1995), makalesinde jeoelektriksel parametreler ile hidrolik parametreler arasında ilişki kurmuştur. Soupios vd. (2007), makalelerinde akifer parametrelerinden olan transmisiviteyi jeoelektriksel yöntemlerle belirlemiştir. Chandra vd. (2008), makalelerinde sert kayalık granit akiferde hidrolik parametrelerle jeoelektriksel parametreler arasında ilişkiyi belirlemiştir. Kopaçlı A. (2009), tezinde Hatay ili Yayladağ ilçesinde bölgenin jeolojisini ve hidrojeolojisini belirlemek amacıyla düşey elektrik sondaj yöntemini kullanmıştır. Uyanık vd. (2012), makalelerinde Haydarlı baraj alanında jeolojik birimleri DES yöntemini kullanarak incelemiştir. Sikandar ve Christen (2012), makalelerinde alüvyonlu akiferler için formasyon faktörü ile akiferin hidrolik iletkenliği arasında deneysel bir ilişki geliştirmiştir. Niwas ve Celik (2012), Almanya'da yüzey jeofiziğini kullanarak akiferin hidrolik iletkenliği ve porozitesinin belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Sipahi A. (2013), tezinde düşey elektrik sondaj yöntemini Kuzuluk mevkiinin jeotermal potansiyelini arştırmak için kullanmıştır. Onimisi vd. (2014), makalelerinde Niyeryada Anambra havzasını ve Anyigba'nın bir kısmını DES yöntemi ile incelemiştir. Ibanga vd. (2016), çalışmalarında hidrojeolojik parametrelerin tahmini üzerine çalışmışlardır. Okiongbo vd. (2016), çalışmalarında güney Nijerya'daki sığ konsolide olmayan alüvyonlu akiferin hidrojeofiziksel karakterizasyonu çalışmışlardır. Mohamaden ve Ehab (2017),

çalışmalarında yeraltı suyu potansiyelini belirleyebilmek için DES yöntemini kullanmıştır. Obiora vd. (2017), çalışmalarında Nijerya'daki akifer özelliklerini jeoelektriksel özdirenç yöntemini kullanarak incelemişlerdir.

Literatürde slug testler kullanılarak yapılan çalışmalar oldukça fazladır. Bunlardan bir kısmı şu şekilde sıralanabilir; Black J.H. (1978), çalışmasında yeraltı suyu araştırmalarında slug testi analiz etmiştir. Nguyen ve Pinder (1984) ile Pandit ve Miner (1986), çalışmalarında akifer parametrelerini slug testi kullanarak bulmuşlardır. Kembrowski ve Klein (1988), çalışmalarında slug test verilerini numerik olarak değerlendirmiştir. Bumb ve Ramesh (1990), slug test verilerinin analizini gerçekleştirmiştir. McElwee ve Zenner (1998), slug test veri analizinde lineer olmayan bir model üzerine çalışmıştır. Zurbuchen vd. (2002), yüksek geçirgenli akiferlerde slug testi incelemişlerdir. McElwee (2002), slug test analizinin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Ola vd. (2016), kirlenmiş kuyu civarının hidrolik iletkenliğini belirlemek amacıyla slug testi kullanmıştır.

2.2. Jeoelektriksel Yöntemler

Jeofizik, yerkürenin ve diğer gezegenlerin fiziksel yapısını, yerin davranışını, depremleri inceleyen ve yeraltı kaynaklarını, arkeolojik ve kültürel kalıntıları arayan, fizik yasaları uyarınca matematiği ve jeolojiyi kullanarak yer altının anlaşılmasını sağlayan, araştıran ve yerkürenin dinamik davranışlarını belirleyen bilim dalıdır. Çeşitli jeofizik yöntemler mevcuttur. Bunların başlıcaları şu şekilde sıralanabilir;

Gravite: Yer altı yapılarının yerçekimi özelliğini inceler. Bu yöntemde amaç yoğunluk dağılımlarının, dolayısıyla da kayaç türleri ile ilişkilerinin bulunmasıdır. Bazen, sarkaç gibi bir ayarda tüm gravite alanı, bazen torsiyon terazisi ile gravite alanının türevleri ve genellikle de bir gravimetre ile gravite alanının iki nokta arasındaki farkı ölçülür.

Manyetik: Manyetik etüt, manyetik alanın veya bileşenlerinin ilgi duyulan yerdeki bir seri noktada ölçülmesidir. Genellikle amaç manyetik maddelerin toplandığı yerlerin bulunması veya tabanın derinliğinin saptanmasıdır.

Sismik: Sismik dalgaların incelenmesi ile jeolojik yapıların haritalandırılması için gerçekleştirilen, özellikle yapay kaynaklardan sismik dalgaların oluşturulması ve dalgaların akustik empedans kontrastından yansımaları veya yüksek hız üyelerinden kırılmasıyla elde edilen varış zamanlarının incelendiği bir çalışmadır.

Sismoloji: Sismik dalgaların araştırıldığı, özellikle deprem çalışmalarında ve çeşitli mühendislik bilgilerinin elde edilmesinde kullanılan, sismik araştırmalar ile ilişkili olan jeofiziğin bir dalıdır.

Elektrik: Yer altı yapılarının elektrik iletkenlik özelliklerini inceler. Yeryüzeyinde veya yeryüzeyine yakın yerlerde doğal veya indüklenmiş elektrik alanların ölçülmesi ile gerçekleştirilir. Genellikle jeolojik haritalama veya mineral konsantrasyonlarının haritalanmasında kullanılır.

Elektromanyetik: Yapay olarak oluşturulan yer altı akımlarıyla ilişkili olan manyetik ve elektrik alanların ölçüldüğü bir yöntemdir.

Paleomanyetizma: Geçmiş dönemlerdeki yer manyetik alanının değişimlerini inceler.

Radyometrik ve jeotermik: Yeraltının radyoaktif ve sıcaklık özelliklerini inceler.

Jeoelektriksel (elektrik) yöntemler, arama jeofiziğinde en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Temel olarak yerin elektrik iletkenlik özelliğinden yararlanan bu yöntem yeraltında gömülü, gözle görülmeyen ekonomik öneme sahip varlıkların (su, jeotermal enerji, maden, doğal gaz, petrol) aranmasında sıklıkla kullanıldığı gibi mühendislik uygulamalarında, tatlı su-tuzlu su girişim yüzeylerinin haritalanmasında, kirlenmiş yeraltı suyunun belirlenmesi ve haritalanmasında, zemin problemlerinin çözümünde de kullanılmaktadır. Jeoelektriksel yöntemler ile mühendislik yapısının yapılacağı zemindeki yatay ya da yataya yakın tabakaların kalınlıklarını, derinliklerini ve eğimlerini, zeminin su içeriğini, yeraltı su seviyesini, temel (ana) kaya derinliğini saptamak mümkündür. Jeoelektriksel yöntemler temelde 3 farklı şekilde uygulanır.

- Doğal Potansiyel Yöntemi (SP: Self potential):

Jeoelektrik yöntemler içerisinde yere elektrik akımı gönderilmeden uygulanabilen tek yöntemdir. Bu yöntem, yapay akımlar kullanılmadan yerin doğal potansiyelinden yararlanarak, herhangi iki nokta arasındaki gerilim farkının ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Yer yüzeyinde iki elektrot yardımı ile ölçülen gerilim farkı yer altı akım yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Gerilim farkının genliği bir kaç milivolt düzeyindedir ve sülfürlü cevherlerin varlığında onlarca milivolta erişebilir. Sülfürlü kütle yer altında bir akımın oluşmasına neden olur ve cevher kütesinin üst bölümündeki oksidasyon nedeni ile cevherin üstü ve altı arasında bir gerilim farkı oluşur. Cevher kütlelerinin yerleri, yüksek SP değerlerinin, cevher ile ilişkili olduğu varsayılarak bulunabilir. Doğal gerilim haritaları da cevherlerin yerinin saptanmasında iyi bir yol göstericidir. SP verisi, bir hat boyunca ölçülen gerilim farklarının uzaklığa bağlı olarak görüntülenmesi ile sunulabilir. Çok yağışlı veya çok kurak iklimlerde yeraltı su seviyesinin değişimi, kayaçların farklı petrofiziksel özellikte bulunmaları SP değişimine neden olan başlıca faktörlerdir.

Doğal elektrokimyasal olayların oluşturduğu yer içi akımının doğal alanını ölçen bu yöntem önceki yıllarda yalnızca maden aramalarında kullanılırken günümüzde birçok jeolojik problemlerin çözümünde başvurulan bir yöntem olmuştur. Doğal potansiyel yöntem yer altı boşlukların belirlenmesinde, tatlı-tuzlu su kontaklarının belirlenmesinde, depremleri önceden belirleme çalışmalarında, jeotermal enerji kaynaklarının araştırılması gibi konularda başarıyla uygulanmaktadır.

- İndüklem Polarizasyon Yöntemi (IP: Induced polarisation):

İndüklem polarizasyon yöntemi, kayaçların iyon içeren bölgelerinin saptanmasında kullanılan bir jeoelektriksel yöntemdir. Yer içerisinde iki elektrot yardımı ile bir süre doğru akım gönderilir ve akımın kesilmesinin hemen ardından yerden alınan gerilimin sıfır olmadığı görülür ancak belli bir değerden itibaren sıfıra ulaşması izlenir. Yere akım verilmediği halde yerden alınan bu gerilim, kayaç içerisinde etkisel olarak oluşan iyonların, kutuplaşma düzenlerinin bozulması sonucunda oluşur. Genelde İndüklem polarizasyon yöntemi çalışmaları dipol-dipol elektrot dizilimi kullanılmaktadır. Dipol-dipol bir hat boyunca uygulanır. Akım ve gerilim dipollerinin boyu, istenen

araştırma derinliğine bağlı olarak seçilir. İndüklem polarizasyon yöntemi genellikle maden aramaları, yeraltı suyu aramaları, petrol aramaları ve heyelan bölgesinde kayma düzlemlerinin belirlenmesinde kullanılır (Anonim 2015).

- Düşey Elektrik Sondaj Yöntemi (DES, Elektrik Özdirenç Yöntemi, Rezistivite Yöntemi):

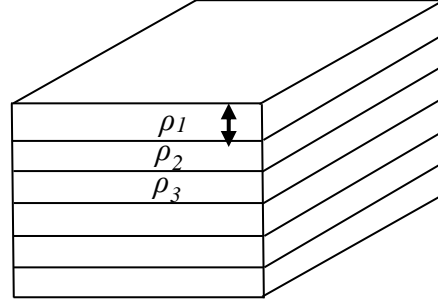
Elektrik özdirenç diğer bir adıyla DES yöntemi, 2 adet akım elektrodu ile yeraltına gönderilen elektrik akımının oluşturduğu potansiyel farkın, 2 adet potansiyel elektrodu ile ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemin amacı ise, yüzeyden yapılan potansiyel ölçümleri ile yeraltı tabakalarının derinlik ve özdirenç değerlerinin belirlenmesidir. DES yönteminin arazi uygulamasında çözülmek istenilen probleme bağlı olarak farklı geometrik dizilimler mevcuttur. En yaygın kullanılanları Schlumberger, Wenner, Dipol-Dipol dizilimleridir. Dizilimlerin birbirinden temel farklılıkları araştırma derinliği, yatay yanal çözüm duyarlılığıdır. Elektrot dizilimleri ya aralıkları bozulmadan yana doğru kaydırılarak yer altında yanal bir süreksizlik olup olmadığı incelenir ya da elektrot dizilimlerinin orta noktası değişmeden dizilim mesafesi artırılarak derinlerdeki yatay katmanlaşmalar incelenebilir. Elektrot aralıkları arttırıldıkça daha derinden bilgi edinilir.

Yer altı fiziksel birimlere bölünerek, gerçek jeolojik durum basitleştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen şekillere model adı verilir. Modelleme ise varsayılan bir jeolojik modelin jeofizik tepkisinin matematiksel bir bağıntı ile tanımlanması ve bu bağıntı yardımıyla ölçülmesi beklenen değerleri sayısal olarak hesaplamak şeklinde tanımlanabilir (Candansayar 1997).

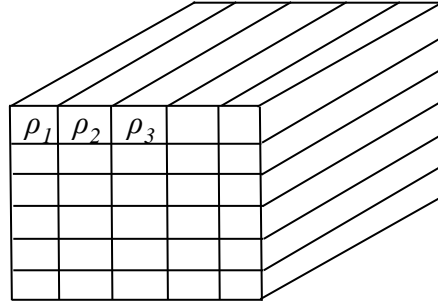
Elektrik ve elektromanyetik yöntemlerde genellikle üç tür model kullanılmaktadır. En basiti, farklı özdirençli, farklı kalınlıklardaki tek düze ve izotrop katmanlardan oluşan bir boyutlu modeldir (Şekil 2.1a). İki boyutlu model ise özdirençlerin ölçü hattı doğrultusunda ve düşey yönde değiştiği, fakat kesite dik yönde değişmediği varsayımı ile elde edilir. Yeraltı, özdirenç değerleri ve boyutları ile ayrı fiziksel birimler oluşturan bloklara bölünür (Şekil 2.1b). Üç boyutlu model ise yer altının gerçeğe yakın bir modelinin kurulmasında daha başarılı olmaktadır. Yer altı, boyutları sabit dikdörtgen

prizmalarına bölünür. Her prizmanın kendine özgü bir öz direnç değeri vardır (Şekil 2.1c) (Başokur 2004).

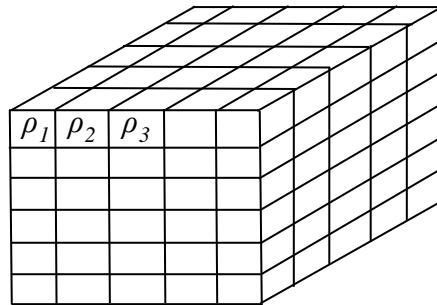
(a)



(b)



(c)



Şekil 2.1. Elektrik ve elektromanyetik yöntemlerde kullanılan modeller a) Bir boyutlu b) İki boyutlu c) Üç boyutlu

Jeofizik verilerin yorumlanması düz çözüm ve ters çözüm olmak üzere iki kısımda incelenmektedir (Başokur 2004). Seçilen bir model için veri ve parametreleri birbirine bağlayan matematik bağıntı düz çözüm olarak adlandırılır. Düz çözüm, modelin bir fiziksel durumu için ölçülmesi gereken verinin önceden kestirilmesini sağlar. Ters çözüm ise jeofizik verilerin matematiksel işlemde geçirildikten sonraki yorumudur. Jeofizik veriden jeolojik parametrelerin elde edilmesidir (Çoşkun 2005).

Görünür öz direnç verisinin 2 boyutlu (2B) ters çözümü için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci yaklaşımda basit geometrik şekilli yapılar kullanılarak veri modellenir (Mundry ve Homilus 1972; Lee 1972). Bu yaklaşım yeraltı öz direnç değerinin ilk tahminini yapmada faydalıdır. Fakat bunların başarı ile uygulanabileceği jeolojik yapıların sayısı sınırlıdır. İkinci yaklaşımda ise, bir başlangıç modeli geliştirmek için yeraltı çok sayıda dörtgen bloğa bölünür ve doğrusal olmayan bir ters çözüm yöntemi kullanılır (Smith ve Vozoff 1984; Tripp vd. 1984, Sasaki 1992, Loke ve Barker 1995, Tsourlos vd. 1998, Olayinka ve Yaramancı 2000).

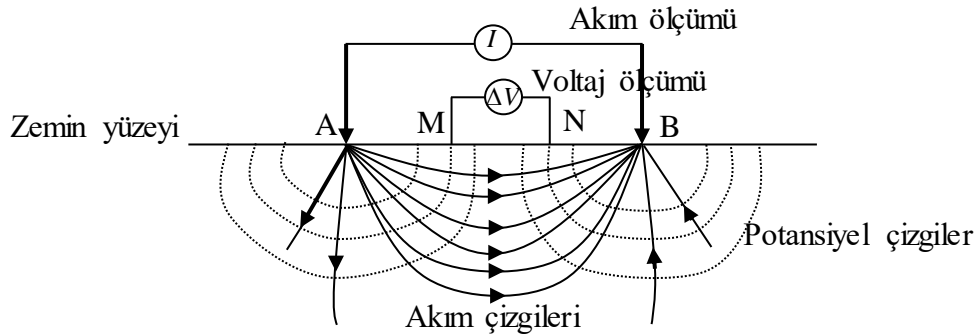
Yer altının gerçekçi temsili için seçilen modelin türü oldukça önemlidir. Eğer, bir boyutlu model kullanılır ise hesaplamalar daha kolay yapılabilir. Ancak, bir boyutlu ters çözüm sadece yer altı katmanlarının yatay olması durumunda iyi sonuç üretebilir. Aksi takdirde, iki boyutlu ters çözüm yönteminin kullanılması gerekir. Birçok ölçü noktasının düz bir hat üzerinde bulunması durumunda, iki boyutlu ters çözüm işlemi gerçekleştirilebilir. Bu nedenle, iki boyutlu ters çözümde bilgisayar bellek gereksinimi yüksek olmasına rağmen, günümüz bilgisayarları için önemli sorunlar yaratmaz. Arama bölgesinde çok sayıda ölçü hattı bulunması durumunda, üç boyutlu ters çözüm işleminin en iyi sonuçları vereceği açıktır. Ancak, yöntem çok güçlü bilgisayarlara gerek duyar. Bu nedenle, iki boyutlu ters çözüm yöntemi, bir boyutlu ve üç boyutlu yöntemlere göre daha çok kullanılan bir yöntemdir (Başokur 2004).

Ters çözümün birinci adımı modelin kurulmasıdır. Model parametreleri için bir öngörü kullanıcı tarafından sağlanır ve öngörüye karşılık gelen kuramsal veri hesaplanarak, ölçülen veri ile karşılaştırılır. Daha sonra, ölçülen ve kuramsal verinin çakışma derecesini arttırmak amacı ile parametreler yenilenir. Bu işlem, iki veri kümesi arasında

yeterli bir çakışma elde edilinceye kadar yinelenir. Ters çözüm yönteminin en önemli problemi, model seçimi veya öngörü değerlerinin gerçeğe yakın olmaması nedeni ile istenmeyen sonuçların elde edilebilmesidir. Ayrıca, yöntemin doğru çözüme doğru yakınsayacağına garantisizdir. Bu nedenle, jeolojik koşullar çerçevesinde kabul edilebilir bir çözümün bulunabilmesi için kullanıcının yol göstericiliği kesinlikle gerekmektedir (Başokur 2004).

2.2.1. Elektrot dizimleri ve verilerin yorumlanması

Pratikte yer içine *A* ve *B* gibi iki noktadan paslanmaz iletken elektrotlar aracılığı ile zemine elektrik akımı gönderilir. *M* ve *N* gibi iki noktadan elektrotlar yardımı ile zeminde oluşan gerilim farkı ölçülür. Şekil 2.2’de akım elektrotlarından gönderilen akım sonucu akım çizgileri dağılımı ve bunun sonucu oluşan elektriksel gerilim çizgilerinin yani potansiyel çizgilerin dağılımı görülmektedir.



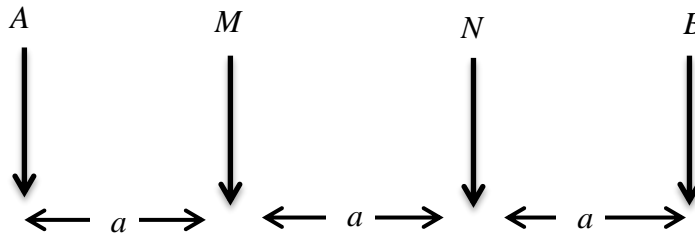
Şekil 2.2. Akım çizgilerinin ve potansiyel çizgilerin dağılımı

A, *B* akım ve *M*, *N* gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizimleri önerilmiştir. Geleneksel elektrot dizimleri, elektrotların bir simetri merkezine (ana kazık) göre, çizgi boyunca diziliminden elde edilir. Bu dizimler amaca yönelik seçilmektedir. Wenner ve Schlumberger dizimlerinin karşılaştırılmasında, her iki elektrot diziminin de yatayda akım iletiminin aynı olduğu, ancak araştırma derinliğinin Schlumberger diziliminde fazla olduğu görülmüştür. Dipol diziliminde, akım gerilim elektrotları birer çift oluşturduklarından yalnız dipol boyları kadar kablo gerekir.

Diğer dizilimlerde, kablolar uzun mesafe geçilmesinden dolayı yüksek gerilimden doğan akım sızıntısı olabilir ancak, nokta akım kaynağının alanı, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azaldığı halde, dipol alanı uzaklığın kübüyle ters orantılı olarak azalır. Bu ise, dipol diziliminin kullanılması durumunda çok duyarlı gerilim ölçümünü gerektirir ve ölçü düzeneğinin bedeli artar. En zayıf yanı ise, yanal öz direnç değişimlerine ve eğimli katmanlara karşı çok duyarlı olmasıdır. Genel olarak sığ araştırmalar için Wenner, derin araştırmalar için dipol diziliminin kullanılabileceği söylenebilir. Schlumberger hem sığ, hem de derin araştırmalarda kullanılabilir (Başokur 2004).

Aşağıda temel dizilim tiplerine yer verilmiştir:

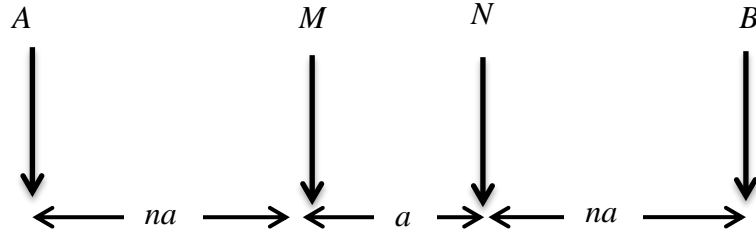
Şekil 2.3’de gösterilen Wenner diziliminde bütün elektrotlar eşit aralıklarla dizilmiştir. Wenner dizilimi için geometrik faktör (dizilim katsayısı) (k_f) aşağıdaki gibi hesaplanır. Hesaplanan geometrik faktör değerleri görünür öz direnç hesabında kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Wenner dizilimi

$$k_f = 2\pi a \quad (2.1)$$

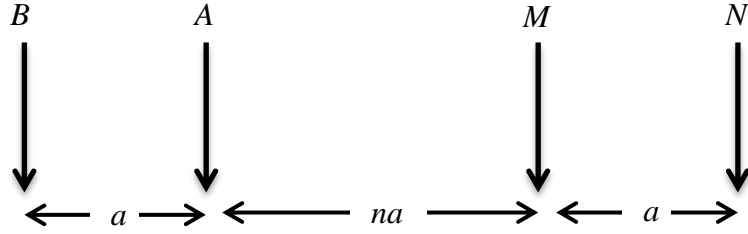
Şekil 2.4’de Schlumberger dizilimine, denklem (2.2)’de Schlumberger dizilimi için geometrik faktör hesabına yer verilmiştir.



Şekil 2.4. Schlumberger dizilimi

$$k_f = \pi n(n + 1)a \quad (2.2)$$

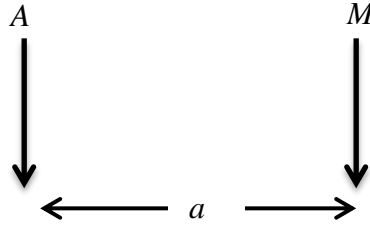
Şekil 2.5’de dipol – dipol dizilimine, denklem (2.3)’de dipol – dipol dizilimi için geometrik faktör hesabına yer verilmiştir. Bu dizilim türü daha çok maden aramalarında başarılı şekilde uygulanmaktadır.



Şekil 2.5. Dipol – dipol dizilimi

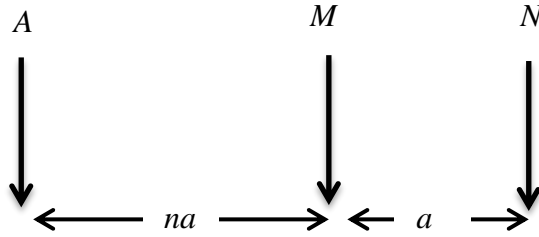
$$k_f = \pi n(n + 1)(n + 2)a \quad (2.3)$$

Şekil 2.6’da pol – pol, denklem (2.4) ile pol – pol için geometrik faktörün hesabına, Şekil 2.7’de pol – dipol dizilimine, denklem (2.5) ile de bu dizilim için geometrik faktör hesabına yer verilmiştir.



Şekil 2.6. Pol – pol dizilimi

$$k_f = 2\pi a \quad (2.4)$$



Şekil 2.7. Pol – dipol dizilimi

$$k_f = 2\pi n(n+1)a \quad (2.5)$$

Her bir dizilim için geometrik faktör hesaplandıktan sonra aşağıdaki denklem yardımı ile görünür öz direnç hesaplanır.

$$\rho_a = \left(\frac{\Delta V}{I}\right) k_f \quad (2.6)$$

ρ_a = Görünür öz direnç (ohm-m)

ΔV = Ölçülen gerilim farkı (mV)

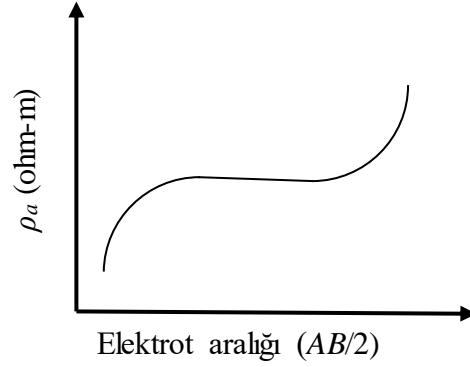
I = Akım (mA)

k_f = Geometrik faktör (dizilim katsayısı)

Gerçekte yeraltı izotrop, yarısız ortam yerine karmaşık yapılardan oluşmaktadır. Bu nedenle özdirenç bağıntıları zeminin gerçek özdirenç değerlerini vermemektedir. Görünür özdirenç, sadece izotrop, yarısız ortam durumunda gerçek özdirence eşit olur (Başokur 2004). Görünür özdirenç değerinden gerçek özdirence geçiş yapmak gerekmektedir.

DES tekniği ile yeraltındaki katmanların kalınlıklarını ve gerçek özdirenç değerlerini elde edilebilmesi için logaritmik kağıdın düşey eksenine görünür özdirenç değerleri (ρ_a), yatay eksenine elektrot aralığı ($AB/2$) işlenir (Şekil 2.8). Böylece yüzeyden derine doğru görünür özdirenç değişimi elde edilmiş olur.

Açılım mesafesi arttıkça araştırma derinliğine bağlı olarak diğer katmanların etkilerini de kendinde toplamaya başlar ve büyük açılım mesafeleri için görünür özdirenç eğrileri son katmanın özdirence yaklaşır. İki katmanlı ortamda ikinci katmanın özdirençinin birinciden büyük veya küçük olmasına göre artan veya azalan olmak üzere iki tür DES eğrisi elde edilir. Ortamın üç katmanlı olması durumunda üçüncü katmanın özdirençinin, ikinci katmanın özdirençinden büyük veya küçük olmasına göre dört farklı tür DES eğrisi oluşur. Özetle katman sayısının artmasıyla, görünür özdirenç eğrilerinin türleri de artar. Örneğin dört katmanlı ortamda, dördüncü katman özdirençinin üçüncü katmandan büyük veya küçük olmasına göre iki durum daha eklenir ve dört katman eğri türlerinin sayısı sekize çıkar. Katman sayısı arttıkça, oluşan eğri türü sayısı ikişer kat artmaktadır (Başokur 2004).



Şekil 2.8. DES ölçümü sonucu elde edilen görünür özdirenç değerlerinin elektrot aralıklarının fonksiyonu olarak gösterilmesi (DES eğrisi)

Yukarıda bahsedilen DES eğrisi kullanılarak tabakaların gerçek özdirençlerinin ve kalınlıklarının elde edilmesi için çeşitli teknikler mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- Ardışık yaklaşım yorum yöntemleri
- Asimptotik değerlendirme
- Yaklaşık değerlendirme teknikleri
 - Model eğrilerle değerlendirme
 - İki katman model eğrileri ile değerlendirme
 - Üç katman model eğrileri ile değerlendirme
 - Yardımcı nokta kartları ile değerlendirme
- Doğrudan yorum yöntemleri

Bu yöntemlerden ardışık yaklaşım yorum yöntemleri en az kullanılanı iken, bilgisayar gelişinceye kadar en çok kullanılanı asimptotik değerlendirme yöntemi olmuştur (Coşkun 2005). Elde edilen eğriler Orellana-Mooney model eğrileri (Orellana ve Mooney 1966) ile karşılaştırılmakta ve tabakaların gerçek özdirençleri, kalınlıkları belirlenmektedir. Bunun yanısıra bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile klasik yöntemler yerine IPI2win (Bobachow 2002), RES2DINV (Loke 1997, Loke 2000) gibi programlar da zeminin gerçek özdirenç değerlerini ve tabaka kalınlıklarını belirlemek

için kullanılmaktadır. IPI2win elektriksel prospeksiyon tekniklerinde bir boyutta ters ve düz çözüm yapabilecek kapasitede bir programdır. Düz çözüm problemlerinde Moskova Devlet Üniversitesi Jeofizik Laboratuvarında geliştirilen lineer filtreler kullanılmaktadır. Ters çözüm problemlerinde ise en küçük tabakalı ortamlarda Newton algoritmasının değişkenleri ya da Tikhonov yaklaşımı kullanılmaktadır. Ters çözüm problemleri her bir eğri için ayrı ayrı çözülür (Gürbüz vd. 2005). Program, Schlumberger elektrot dizilimine karşılık görünür özdirenç değerlerini kullanarak düşey elektrik sondaj eğrilerini oluşturur. Tabaka kalınlıklarını ve zeminin gerçek özdirenç değerlerini belirler.

2.2.2. Hidrojeolojik parametreler

Kayalara ait özdirençleri belirlemek için “Archie Kanunu” (Archie 1942) geliştirilmiştir ve aşağıdaki ampirik denklemlerle ifade edilmektedir.

$$\rho = x\rho_0\phi^{-m}s^{-\eta} \quad (2.7)$$

ρ = Gerçek özdirenç (ohm-m)

ρ_0 = Suyun özdirenci (ohm-m)

ϕ = Porozite

s = Su doygunluğu

x, η, m = Ampirik katsayılar

Yukarıdaki denklemde geçen x, η ve m ampirik katsayıları pekiştirme (konsolidasyon) derecesine bağlıdır, m ve η değerleri ıslanabilirliğe ve betonlaşmaya bağlıdır. Bu denklemde eğer mineral tanecikleri yalıtkan ise $x=1$ olarak alınır. ρ değeri zeminin gerçek özdirenci, ρ_0 değeri ise alınan yeraltı suyu numunelerinin elektrik iletkenliğinden elde edilir ve suyun özdirencidir. Arazide alınan su numuneleri laboratuvarında

incelenerek suyun elektrik iletkenliği ölçülür. Suyun elektrik iletkenliği kullanılarak suyun özdirenç değeri aşağda belirtildiği şekilde elde edilir.

$$\rho_0 = \frac{1}{EC} * 10000 \quad (2.8)$$

ρ_0 = Suyun özdirenci(ohm- m)

EC = Elektrik iletkenliği(μ S/cm)

Suyun elektrik iletkenliğine bakılarak suda çözünmüş toplam katı miktarı (TDS -total dissolved solids) hakkında yorum yapılabilir. TDS sudaki inorganik tuzları ve çözeltilerde bulunan küçük miktarlardaki organik maddeleri ifade eder. Ana bileşenleri kalsiyum, magnezyum, sodyum ve potasyum katyonları ve karbonat, hidrojenkarbonat, klorür, sülfat ve nitrat anyonlarıdır (WHO 1996). Ayrıca suda çözünmüş maddelerin varlığı suyun tadını etkileyebilmektedir.

TDS 'yi elde edebilmek için öncelikle elektrik iletkenliği ölçülür ve sonrasında korelasyon katsayısı (0,64) ile çarpılarak denklem (2.9)'da belirtildiği üzere TDS hesaplanır (Atekwana vd. 2004). EC değerleri TDS ile doğru orantılı olduğundan TDS değerine bakılarak da bölgenin tuzluluğu hakkında fikir sahibi olunmaktadır. TDS değerinin yüksek olduğu bölgeler tuzluluğun fazla olduğu, TDS değerinin düşük olduğu kısımlar ise tuzluluğun az olduğu anlamına gelmektedir.

$$TDS = 0,64 * EC \quad (2.9)$$

TDS = Toplam çözünmüş katı miktarı (ppm)

Eğer su içindeki *TDS* değeri (WHO 1996);

- 300 mg/lt'den daha az ise su mükemmel,
- 300-600 mg/lt arasında ise su iyi,
- 600-900 mg/lt arasında ise su zayıf,
- 900-1200 mg/lt arasında ve 1200 mg/lt'den büyükse su kabul edilemez sınırlar içerisindedir.
- Ayrıca *TDS* aşırı küçükse su düz, tatsız, kabul edilemez sınırlar içerisindedir (WHO 1996), (Bruvold ve Ongerth 1969).

Suyun özdirenci, *TDS* cinsinden de ifade edilebilir.

$$\rho_0 = \frac{6400}{TDS} \quad (2.10)$$

Denklem (2.7)'de yer verilen gerçek özdirencin tanımında suyun özdirenci de yer almaktadır. Suyun özdirencinden bağımsız olarak sadece formasyonu temsil eden formasyon faktörü aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$F = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (2.11)$$

ρ = Gerçek özdirenç (ohm-m)

ρ_0 = Suyun özdirenci (ohm-m)

F = Formasyon faktörü

Niwas and Singhal (1981)'deki çalışmalarını geliştirerek, Niwas and Singhal (1985) akiferin değiştirilmiş öz direnci ifadesini bulmuşlardır. Bu ifade aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanır.

$$\rho' = \rho \frac{\bar{\rho}_0}{\rho_0} \quad (2.12)$$

ρ' = Akiferin değiştirilmiş öz direnci

ρ = Gerçek öz direnç (ohm-m)

ρ_0 = Suyun öz direnci (ohm-m)

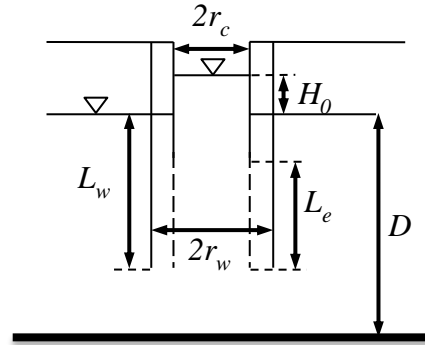
$\bar{\rho}_0$ = Suyun ortalama öz direnci (ohm-m)

pH; maddelerin asidik ya da bazik özellikte olduğunu belirtmek amacıyla kullanılmakta olan ölçü birimine verilen simgedir. Açılımı ise, hidrojen kuvveti (Power of Hydrogen)'dir. pH ifadesinde yer alan “p” harfi, eski logaritmayı ifade etmektedir. “H” harfi ise, hidrojen atomunu simgeler. Bazlar ve asitler, özellik olarak hidroksil ve hidrojen iyonlarına sahiptir. Belirli koşullar sağlandığında ise, asit ve bazlar sabit bir iyon ilişkisinde bulunurlar. Çözeltilerin içerisinde hidrojen veya hidroksil iyonları bulunmaktadır. Çözeltilerin içerisinde bulunan hidroksil iyonu hidrojen iyonundan daha fazla aktivite özelliğine sahipse, o çözelti bazıktır. Eğer durum tam tersiyse, çözelti asidiktir. Diğer bir ifade ile hidrojen iyonu verebilen maddeler “asit”, hidroksil iyonu alabilen maddeler “baz” olarak adlandırılır. pH değeri 0-14 arasında olabilir. Bir sıvının pH değerinin 0-7 arasında olması, sıvının asit özelliği gösterdiğini belirtir. pH değeri 7'den 0'a gittikçe sıvının asitlik derecesi artar. Sıvının pH değeri 7-14 arasında olursa, sıvı baz özelliğine sahip olur. pH değeri 7'den 14'e ilerledikçe sıvının bazlık derecesi artar. pH'm 7 olması sıvının nötr olduğunu ifade eder.

2.3. Slug Test

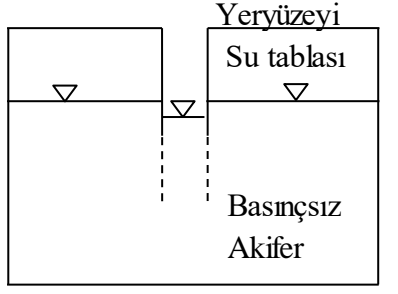
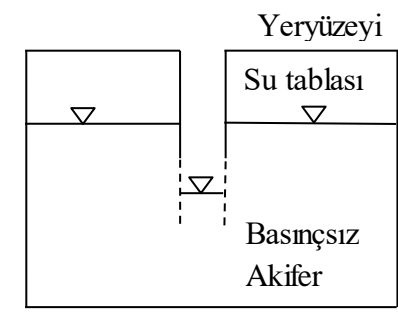
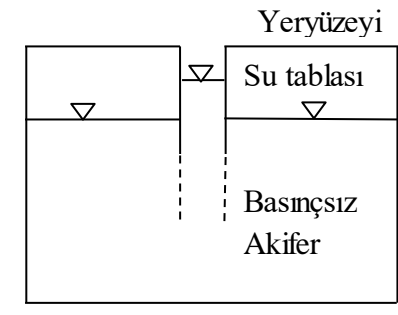
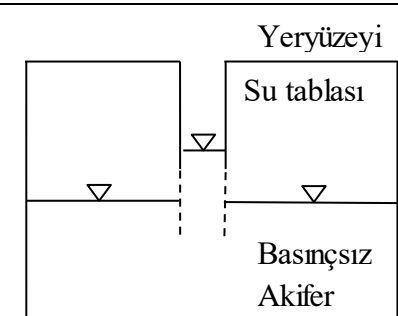
Slug test birçok kuyu testine nazaran hızlı yapılabilir ve ucuzdur, test için sadece bir kuyuya ihtiyaç duyulur ve pompalamaya gerek yoktur, test çok uzun sürmez ancak bu metot ile bulunan hidrolik iletkenlik değeri kuyu civarındaki küçük bir bölgeyi temsil eder. Bu testte kuyunun filtreli kısmı oldukça önemlidir. Kuyu filtresinin tıkanması durumunda rehabilitasyon çalışmaları yürütülmektedir. Yapılan bu çalışmalar kuyu ömrünün uzamasını ve kuyu veriminin artmasını sağlayacaktır.

Slug test temelde, belli bir hacimdeki külçeyi kuyuya aniden bırakarak veya önceden bırakılan bir külçeyi aniden çekerek kuyudaki su seviyesinin değişiminin ölçülmesi ile yapılır (Şekil 2.9). Külçe yerine belirli bir su hacmi de kullanılabilir. Su seviyesi ilk andan itibaren zamana bağlı olarak ölçülür. Ölçüme su seviyesi durağan hale gelene kadar devam edilir. Beklenen süre zeminin cinsine göre birkaç dakika alabileceği gibi günler boyunca da sürebilir. Basıncsız akiferlerde slug testte karşılaşılabilecek tüm durumlara Çizelge 2.1’de yer verilmiştir (Mays 2011).



Şekil 2.9. Basıncsız akiferde kuyuya aniden su bırakılmasıyla oluşan durum

Çizelge 2.1. Basıncısız akiferlerde slug testte karşılaşılabilecek durumlar

No	Durum	Analitik Çözüm Metodu	Akifer Kesiti
1	Basıncısız akifer, tamamen veya kısmen delen kuyu, su seviyesi kuyu gözenekleri üzerinde ise (yükselen seviye testi)	*Bouwer ve Rice Metot(1976) *Dagan Metot(1978) (Butler 1998) *KGS(Kansas Geological Survey)(Butler 1998)	 <p>Yeryüzeyi Su tablası Basıncısız Akifer</p> <p>Durum 1</p>
2	Basıncısız akifer, tamamen veya kısmen delen kuyu, su seviyesi kuyu gözeneklerinin tepe noktasının altına düşmüş ise (yükselen seviye testi)	*Bouwer ve Rice Metot *Dagan Metot	 <p>Yeryüzeyi Su tablası Basıncısız Akifer</p> <p>Durum 2</p>
3	Basıncısız akifer, tamamen veya kısmen delen kuyu, su seviyesi kuyu gözeneklerinin çok üzerinde ise (düşen seviye testi)	*Bouwer ve Rice Metot *Dagan Metot *KGS(Kansas Geological Survey)	 <p>Yeryüzeyi Su tablası Basıncısız Akifer</p> <p>Durum 3</p>
4	Basıncısız akifer, tamamen veya kısmen delen kuyu, kuyu gözenekleri su tablasıyla çakışır, bu durumun pratikte uygulanması anlam ifade etmez (düşen seviye testi)	-	 <p>Yeryüzeyi Su tablası Basıncısız Akifer</p> <p>Durum 4</p>

2.3.1. Bouwer ve Rice metodu

Bouwer ve Rice Metodu (Bouwer ve Rice 1976, Bouwer 1989, Zlotnik 1994) orijinal modeli izotropik ortamlar için tanımlanmıştır. Zlotnik (1994) anizotropik durumlar için metodu geliştirmiştir. Bouwer ve Rice Metodu, başlangıçta basınçsız akiferler için geliştirilmiş olmasına rağmen, kuyu filtresi basınçlı katmanın tabanının üstünde belirli mesafede bulunuyorsa basınçlı akiferlerde de kullanılabilir. Slug testte bazı kabuller altında analitik çözümler geliştirilmiştir. Bu kabulleri şu şekilde sıralayabiliriz (Kruseman ve de Ridder 1990).

- Akifer, yatay düzlemde sonsuz genişliğe sahiptir.
- Akifer, homojen, izotropik ve sabit kalınlıktadır.
- Yeraltı suyunun yoğunluğu ve viskozitesi sabittir.
- Test öncesinde, akiferdeki su tablası ya da piyezometrik yüzey yatay durumdadır.
- Kuyudaki hidrolik yük, $t=0$ 'da aniden değişir ve bu anda kuyu etrafındaki su tablasındaki değişiklik ihmal edilir.
- Kuyudaki su seviyesindeki salınım ile lineer ve non-lineer kuyu kayıpları göz ardı edilebilir seviyededir.
- Kuyu, akiferin doymun kalınlığını kısmen veya tamamen delmektedir.
- Kuyu çapı sonludur ve dolayısıyla kuyudaki depolanma ihmal edilemez.
- Kuyuya giren veya çıkan su yatay yönde iletilir.

Metodun analitik çözümü için aşağıdaki formüller tanımlanmıştır.

$$H_0 = \frac{V}{\pi r_c^2} \quad (2.13)$$

H_0 = Su bırakıldıktan hemen sonraki düşü (m)

V = Bırakılan veya çekilen suyun hacmi (m³)

r_c = Kapalı (filtresiz) borunun yarıçapı (m)

$$K_r = \frac{r_c^2 \ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H(t)}\right) \quad (2.14)$$

K_r = Radyal hidrolik iletkenlik (m/sn)

r_w = Sondaj yarıçapı (çakıl zarfının yarıçapı) (m)

R_e = Yük değişiminin dağıldığı etkili mesafe (m)

L_e = Kuyuda suyun girdiği filtrenin uzunluğu (filtreli kısmın uzunluğu) (m)

t = Zaman (sn)

$H(t)$ = Zamana bağlı düşü (m)

R_e aynı zamanda kuyudan itibaren ortalama K_r değerinin ölçüldüğü karakteristik mesafedir. Ancak, belirli bir kuyu için R_e 'nin değeri bilinemez. K_r değerini hesaplamak için gereken $\ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)$ değeri hesaplaması aşağıda verilmiştir (Bouwer ve Rice 1976, Bouwer 1989):

a) Su tablasından kuyu tabanına olan mesafe (L_w), akiferin doymun kalınlığından (D) küçükse (kuyu akiferi kısmen deliyorsa);

$$\ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right) = \left[\frac{1,1}{\ln\left(\frac{L_w}{r_w}\right)} + \frac{X + Y \ln\left(\frac{D - L_w}{r_w}\right)}{\frac{L_e}{r_w}} \right]^{-1} \quad (2.15)$$

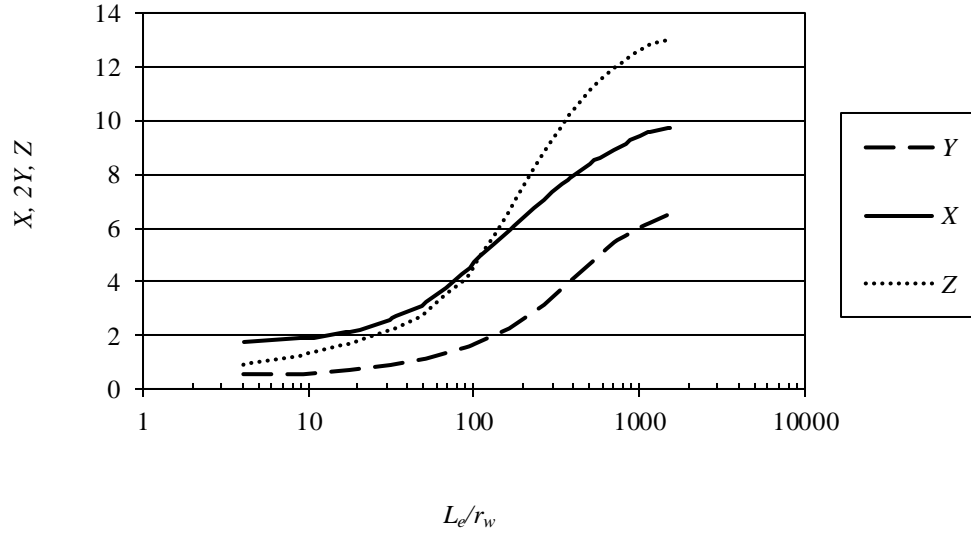
b) $L_w = D$ ise;

$$\ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right) = \left[\frac{1,1}{\ln\left(\frac{L_w}{r_w}\right)} + \frac{Z}{\frac{L_e}{r_w}} \right]^{-1} \quad (2.16)$$

X , Y , Z boyutsuz parametreleri L_e/r_w değerine bağlı olup Şekil 2.10'daki abaktan bulunur. Bulunan hidrolik iletkenlik değeri, r_w ve L_e ne kadar büyükse akiferin o kadar büyük bir kısmını temsil eder (Mays 2011). İşlem adımları;

1. Öncelikle logaritmik düşey eksene $H(t)/H_0$ değerleri, aritmetik yatay eksene ise zaman (t) değerleri işaretlenir. İşaretlenen noktalara bir düz çizgi uydurulur. Burada iki farklı durum söz konusudur. Birinci durumda, su çekildiğinde seviye, filtreli kısma kadar düşmüşse erken zamanlarda su seviyesi hızlıca eski haline dönme eğilimi gösterir. Bunun sebebi çakıl zarfındaki suyun hızlı bir şekilde kuyuya süzülmesidir. Bu sebepten $H(t)/H_0$ değerleri erken ve ileri zamanlar olmak üzere iki düz çizgi üzerine yayılırlar. İkinci durumda ise, eğer su çekildiğinde seviye filtreli kısma kadar düşmüyorsa, $H(t)/H_0$ değerleri direkt olarak düz bir çizgi oluşturur. Çok ileri zamanlarda bu düz çizgi her iki durumda da bozulabilir. Eğer ikinci durumda da erken zamanda ayrı bir çizgi oluşmuşsa kapalı (filtresiz) borularda sızma olduğu anlamına gelir. Ana düz çizgi bölümü, çakıl zarfındaki su seviyesi kuyudaki su seviyesine eşit olduğunda oluşur. Bu durumda akım, çakıl zarfı dışındaki akifer tarafından kontrol edilir.
2. L_e/r_w değerine karşılık gelen X , Y , Z değerleri Şekil 2.10'daki abaktan okunur.
3. Yukarıdaki (a) ve (b) durumlarından uygun olan formül seçilir, hesaplanır.
4. $H(t)=0,368H_0$ seçilerek denklem (2.14)'de $\ln\left(\frac{H_0}{H(t)}\right)$ değeri 1'e eşitlenir. Aynı formüldeki t değerini okumak için erken zaman etkisinden dolayı bir düzeltme uygulanır. Ölçüm eğrisindeki düz çizgi geriye doğru uzatılarak y eksenini ($H(t)/H_0$ eksenini) kestiği değer okunur. Bu değer $(H_0)_{new}/H_0$ oranını verir. Bu oran, $H(t)/H_0=0,368$ ile çarpılarak yeni düzeltilmiş $[H(t)/H_0]_{new}$ değeri elde edilir. Bu değere karşılık gelen t_{new} değeri okunur.
5. Son olarak, elde edilen değerler aşağıdaki denklemde yerine konularak hidrolik iletkenliğe ulaşılır.

$$K_r = \frac{r_c^2 \ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)}{2L_e} \frac{1}{t_{new}} \quad (2.17)$$



Şekil 2.10. X, Y, Z boyutsuz parametrelerinin L_e/r_w 'nun bir fonksiyonu olarak gösterilmesi (Bouwer ve Rice 1976)

2.3.2. Dagan metodu

Dagan (1978), Bouwer ve Rice Metodunu temel almıştır ancak Bouwer ve Rice metodundan küçük bir farkı vardır. Dagan metodunda sınır koşulu yoktur, Bouwer-Rice metodunda ise kuyudan belirli bir mesafede sabit yük sınır koşulu olduğu kabul edilir. İşlem adımları;

1. Logaritmik düşey eksene $H(t)/H_0$ değerleri, yatay eksene ise zaman (t) değerleri işaretlenir. İşaretlenen noktalara bir düz çizgi uydurulur.
2. Düz çizgi geriye doğru uzatılarak y eksenini ($H(t)/H_0$ eksenini) kestiği değer okunur. Bu değer $H(t)/H_0=0,368$ ile çarpılarak yeni düzeltilmiş $[H(t)/H_0]_{new}$ değeri elde edilir. Bu değere karşılık gelen t_{new} değeri okunur.
3. Anizotropik oran K_z/K_r değerine göre ψ denklem (2.18) ile bulunur (Genelde $K_z/K_r=1$ alınır).

$$\psi = \frac{\sqrt{\frac{K_z}{K_r}}}{L_e/r_w} \quad (2.18)$$

4. Bulunan ψ değerini kullanarak Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4'den duruma uygun olan biri kullanılarak boyutsuz akım parametresi P değerine ulaşılır.

Çizelge 2.2. Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi (P) değerleri (Kuyu gözenekleri su tablasının altında ve $L_e/D \leq 0,05$ ise) Butler (1998)

ψ	$(L_w+L_e)/L_e$				
	8	4	2	1,5	1,05
0,2	0,646	0,663	0,705	0,756	1,045
0,1	0,477	0,487	0,505	0,531	0,687
0,067	0,409	0,416	0,429	0,446	0,562
0,050	0,367	0,373	0,385	0,397	0,491
0,033	0,322	0,325	0,335	0,352	0,414
0,025	0,294	0,297	0,305	0,322	0,370
0,020	0,276	0,278	0,287	0,301	0,342
0,013	0,247	0,249	0,255	0,269	0,300
0,010	0,230	0,231	0,238	0,250	0,276
0,0067	0,211	0,210	0,213	0,227	0,248
0,0050	0,198	0,199	0,201	0,213	0,230

Çizelge 2.3. Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi (P) değerleri (Kuyu gözenekleri su tablasının altında ve $(L_w+L_e)=D$ ise) Butler (1998)

ψ	L_e/D					
	1	0,83	0,67	0,50	0,20	0,10
0,20	1,289	0,723	0,631	0,576	0,510	0,492
0,10	0,800	0,510	0,460	0,428	0,390	0,380
0,050	0,536	0,384	0,354	0,335	0,312	0,306
0,025	0,388	0,305	0,286	0,273	0,258	0,254
0,010	0,279	0,238	0,227	0,219	0,209	0,206

Çizelge 2.4. Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi (P) değerleri (Basınçlı formasyonlar için) ($L_e/D \leq 0,05$ ise) Butler (1998)

ψ	$(L_w+L_e)/L_e$				
	8	4	2	1,5	1,05
0,20	0,741	0,727	0,681	0,640	0,561
0,10	0,539	0,533	0,505	0,483	0,432
0,067	0,458	0,455	0,432	0,416	0,377
0,050	0,412	0,408	0,390	0,378	0,345
0,033	0,359	0,357	0,343	0,331	0,307
0,025	0,328	0,325	0,314	0,305	0,285
0,020	0,307	0,305	0,295	0,288	0,270
0,013	0,275	0,273	0,263	0,259	0,245
0,010	0,254	0,254	0,246	0,240	0,230
0,0067	0,232	0,230	0,224	0,218	0,211
0,0050	0,218	0,216	0,210	0,205	0,199

5. Son olarak denklem (2.19)'dan yararlanarak hidrolik iletkenlik elde edilir.

$$K_r = \frac{r_c^2 \left(\frac{1}{P}\right)}{2L_e t_{new}} \quad (2.19)$$

2.4. Akiferler ve Akifer Parametreleri

Yeraltı suyu, yağış olarak yeryüzüne düşen ya da yeryüzünde bulunan suların, yerçekimi etkisiyle yerin altına sızıp, orada birikmesiyle oluşan sulardır. Yeraltı suyu akımı genelde laminerdir. Ancak nadiren de olsa çatlaklı akiferlerde (kireçtaşı gibi) ve geniş boşluklarda türbülanslı akım oluşabilir. Yeraltı suları tamamen saf değildir ve içlerinde karbonat, klorür, oksit, sülfat gibi erimiş ya da çözülmüş maddeler olabilir. Yeraltı suyunun taşınmasını ve depolanmasını sağlayan tabakalara akifer denir. Akifer su anlamına gelen "Aqua" ve taşıyan anlamına gelen "Ferre" kelimelerinin birleşmesinden meydana gelir. Akiferler, alt ve üst kısımlarının geçirgen, geçirimsiz veya sızıntılı olmasına göre gruplandırılır. En çok bilinen üç çeşit akifer tipi vardır:

1. Basıncılı akifer;

Alt ve üst kısımları tamamen geçirimsiz tabakalardan meydana gelen akiferlere basınçlı akifer denir.

2. Basıncısız akifer;

Akifer üst taraftan geçirimsiz bir katmanla sınırlandırılmışsa ve su tablasının üst yüzeyinde açık hava basıncı görülüyorsa buna basınçsız akifer denir.

3. Sızıntılı akifer;

Alt veya üst tabakalardan en az birinde sızma varsa, sızıntılı akifer denir.

Akifer parametrelerinin elde edileceği yeraltı suyu problemleri, yeraltı suyunun kararlı ve kararsız akım durumları için ayrı ayrı incelenmektedir. Bir akışkanın akımı içinde dikkate alınan herhangi bir noktadaki akıma ve akışkana ait tüm özelliklerin zamanla değişmeden sabit kalması halindeki akıma kararlı akım denir. Hareket halindeki bir akışkan içinde dikkate alınan, konumu sabit herhangi bir noktadaki akıma ve akışkana ait tüm özellikler zaman içinde değişiklik gösteriyorsa bu tip akımlara da kararsız akım denir.

Yeraltı suyu problemlerinin çözümünde kullanılan en önemli akifer parametrelerinden biri olan hidrolik iletkenlik, ortamın akıma direncinin bir ölçütüdür. Hidrolik iletkenliğin değeri, hem gözenekli ortamın hem de akışkanın özellikleriyle ilişkilidir (2.20).

$$K = k \frac{\gamma}{\mu} \quad (2.20)$$

K = Hidrolik iletkenlik (m/sn)

γ = Akışkanın özgül ağırlığı (kg/m²sn²)

μ = Dinamik viskozite (kg/m sn)

$k = \text{Özgün permeabilite (m}^2\text{)}$

Özgün permeabilite, zeminin porozitesine, tane biçimine ve granülometresine bağlıdır (2.21).

$$k = cd^2 \quad (2.21)$$

$k = \text{Özgün permeabilite (m}^2\text{)}$

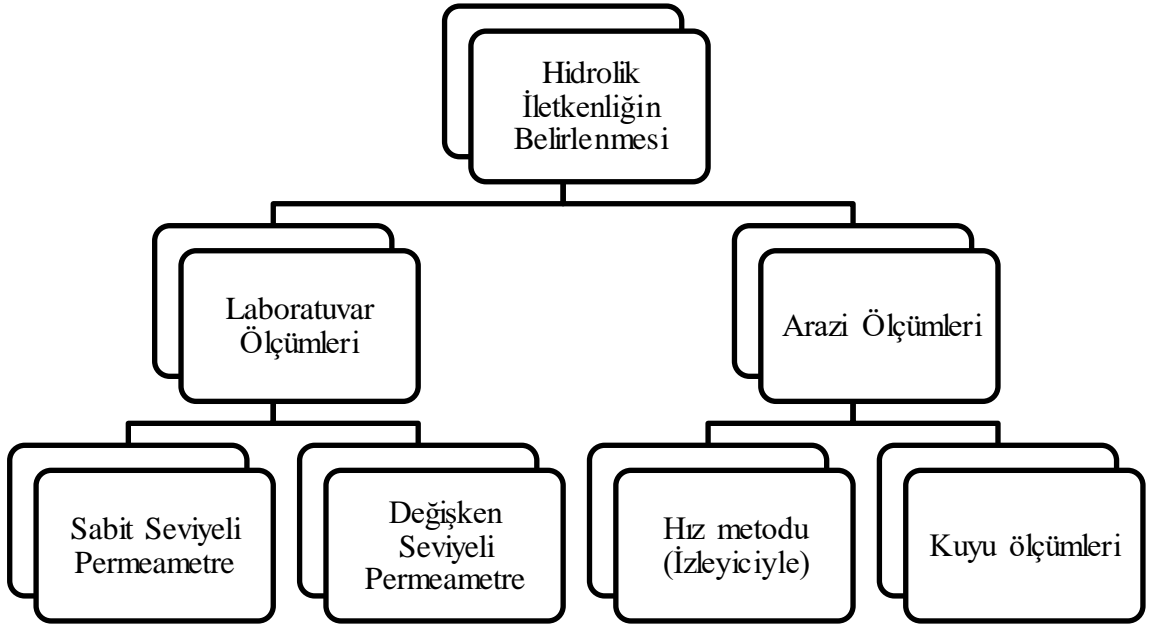
$c = \text{Boyutsuz bir katsayı}$

$d = \text{Ortalama boşluk çapı (m)}$

Çizelge 2.5’de farklı zemin türleri için hidrolik iletkenlik değerlerine yer verilmiştir (Bear 1972).

Çizelge 2.5. Değişik zemin türlerine göre hidrolik iletkenlik değerleri (Bear 1972)

K (cm/sn)	10²	10¹	10⁰	10⁻¹	10⁻²	10⁻³	10⁻⁴	10⁻⁵	10⁻⁶	10⁻⁷	10⁻⁸	10⁻⁹	10⁻¹⁰
Görelî geçirgenlik	Geçirgen				Yarı geçirgen				Geçirimsiz				
Akifer	İyi				Zayıf				-				
Sıkışmamış kum -çakıl	İyi dağılımlı çakıl	İyi dağılımlı kum veya kum ve çakıl			Çok İnce Kum, Silt, Lös, Tın				-				
Sıkışmamış kil -organik					Turba		Kil		Şişkin aşınmamış kil				
Konsolide kaya	Çok çatlaklı kaya				Petrol rezervuar kaya			Kumtaşı		Taze Kalker, dolomit		Taze Granit	



Şekil 2.11. Hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde kullanılan yöntemler

Şekil 2.11’de görüldüğü üzere hidrolik iletkenlik hem laboratuvar ölçümleri hem de arazi ölçümleri ile belirlenebilmektedir. Laboratuvarda ölçümü için permeametre denilen aletler mevcuttur. Bunlar sabit seviyeli permeametre, değişken seviyeli permeametre olmak üzere iki şekildedir. Geçirimsizliği az olan zeminlerde debi değerleri çok küçük olacağı için değişken seviyeli permeametre kullanmak daha uygundur. Sabit seviyeli permeametre ise geçirimsizliği yüksek olan zeminler için uygundur.

Arazi ölçümleri de iki şekilde yapılmaktadır. Bunlar hız metodu ve kuyu ölçümleri şeklindedir. Hidrolik iletkenliğin belirlenmesinde tek bir kuyuda ya da birden fazla kuyuda seviye ölçümleri alınır. Bu veriler kullanılarak çeşitli analitik hesaplamalar ile hidrolik iletkenlik bulunmaktadır. Slug test de arazi ölçümleri kullanılarak hidrolik iletkenliğe ulaşılan metotlardan biridir.

Hız metodunda, belli bir noktadan akifere bırakılan bir maddenin (Rhodamine gibi) gözlem kuyusuna erişmesi için geçen zaman ölçülür. Buradan yeraltı suyu akımının gerçek hızı hesaplanır (2.23). Porozite ve yeraltı suyunun eğimi de kullanılarak hidrolik

iletkenlik (K) hesaplanır (Darcy 1856). İki nokta arasındaki akımı tanımlamada spesifik akım kavramı da oldukça yaygın olarak kullanılır (2.22).

$$q = K \frac{\Delta h}{L} \quad (2.22)$$

q = Spesifik akım (m/sn)

Δh = İki nokta arasındaki piyezometrik yük farkı (m)

L = İki nokta arasındaki mesafe (m)

K = Hidrolik iletkenlik(m/sn)

$$V_g = \frac{q}{\phi} \quad (2.23)$$

ϕ_e = Efektif porozite

V_g = Gerçek hız (m/sn)

Yeraltı suyu hidrolojisinde kullanılan birçok parametre söz konusudur. Bunlar aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

Yeraltı suyu hidrolojisinde kullanılan önemli parametrelerden biri özgül verimdir (S_y). Bu ifade basınçsız akiferler için kullanılır. Özgül verime efektif (etkin) porozite adı da verilir. Bu parametre su tablasındaki (Δh) birim alçalma veya yükselme sonucu birim yatay alandan (ΔA) depolanmadan çıkan veya depolanmaya giren suyun hacmidir (ΔV_w), kabaca akiferin suyu depolama potansiyelini temsil eder ve yaklaşık olarak efektif poroziteye eşittir. Aşağıdaki denklemlerle tanımlanır:

$$S_y = \frac{\Delta V_w}{\Delta A \Delta h} \quad (2.24)$$

Basınçlı akiferlerde depolama katsayısı (S) ifadesi kullanılır. Depolama katsayısı (S), akiferin birim yüzey alanına ve yüzeyde bulunan hidrolik yük bileşenlerindeki birim alçalmaya denk gelen, akiferden salınan suyun hacmidir. Bu ifadenin birim akifer kalınlığı için tarif edilen şekline ise özgül depolama katsayısı (S_s) denir. S_s , birim hidrolik yük değişimi durumunda birim akifer hacmine giren veya çıkan suyun hacmi olarak tanımlanır.

$$S_s = \frac{S}{D} \quad (2.25)$$

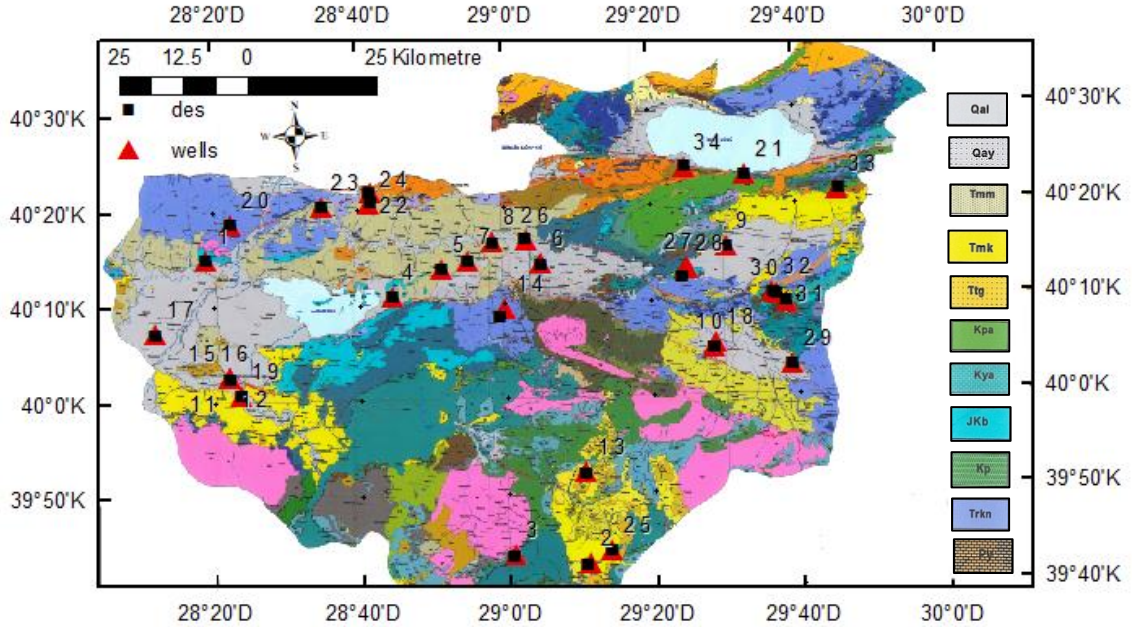
Basınçlı akiferlerin en önemli özelliği, su çekilmesi durumunda bile doymun bölge kalınlığının sabit kalmasıdır. Basınçlı akiferlerde, depodaki su iki yolla bırakılır. Biri yeraltı suyunun üzerindeki basıncın azalması ile daha önceden sıkışarak hacmi küçülmüş olan suyun genişlemesi, diğeri ise tıpkı basınçsız akiferlerden suyun atmosfer basıncı altında çekilmesi şeklindedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Arazi Çalışması

3.1.1. Bölgenin jeolojisi

Bu çalışmada Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2009 yılında oluşturduğu Bursa ili jeoloji haritasından faydalanılarak Bursa'nın farklı formasyondan oluşan bölümleri çalışma alanı olarak tercih edilmiştir. Bilecik kireçtaşı (JKb), Alüvyon (Qal), Piribeyler Şistleri (Kp), Mudanya formasyonu (Tmm), Gurağaç üyesi (Ttg), Nilüfer formasyonu (Trkn), Köprühisar formasyonu (Tmk), Yörüktepe formasyonu (Py), Yarhisar formasyonu (Kya), Paşayayla formasyonu (Kpa), Akarsu yelpaze çökelleri (Qay)'de yer alan 11 farklı formasyonda toplamda 34 adet arazi çalışması yürütülmüştür (Şekil 3.1). Şekil 3.1'de Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2009 yılında oluşturduğu Bursa ili jeoloji haritasına, formasyonlara, çalışma bölgelerine, çalışma numaralarına, kuyu koordinatlarına, DES'in ana kazık koordinatlarına yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma bölgeleri, çalışma numaraları, kuyu koordinatları, DES koordinatları, formasyonlar

Formasyonların tanımı aşağıda sunulmuştur:

Qal; Akarsu yataklarında, vadi tabanlarında ve ovalarda gelişmiş çakıl, kum, silt ve çamurdan oluşan çökellerdir.

Qay; Tutturulmamış, bazen gevşek tutturulmuş, kötü boylanmalı, siltli, killi, az yuvarlak blok, çakıl ve kumdan oluşur.

Tmm; Birim genel olarak akarsu, gölsel ortamlarda depolanmış konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası-marn ve kireçtaşından oluşmaktadır. Formasyonu oluşturan bu kaya türleri yanal ve düşey yönde birbirleriyle geçişlidir. Yersel çökel farklılığı sunan birim, konglomera-kumtaşı ardalanması, kumtaşı-çamurtaşı-silttaşı ara tabakalı konglomera, çakıltaşı-kiltası-kireçtaşı, kumtaşı-kiltası-marn ardalanması ve silttaşı-kiltası ara tabakalı kireçtaşından oluşan bir istiflenme göstermektedir. Konglomera seviyeleri, genellikle sarımsı gri, açık kahve renkli, gevşek tutturulmuş, kötü boylanmalı köşeli, yarı köşeli, yuvarlak bazalt, kireçtaşı, metamorfit çakıllı ve zayıf dayanımlıdır. Kumtaşları, sarımsı gri, yeşilimsi gri, kahve renkli, köşeli-yarı yuvarlak, kaba-orta taneli, kötü boylanmalı, bazen karbonat çimentolu, yer yer düzlemsel çapraz tabakalı, gevşek tutturulmuş, dağınık ve zayıf dayanımlıdır. Kil taşları, yeşilimsi, açık kahve renkli, laminalı, ince tabakalı, gevşek tutturulmuş, dağınık, çok zayıf ya da zayıf dayanımlıdır. Silttaşları gri, sarımsı gri renkli, ince-orta tabakalı, yer yer mikalı, zayıf dayanımlıdır. Formasyon, Bursa-Karacabey yolu ve Nilüfer çayı vadisi boyunca, genellikle kiltası, marn ve kireçtaşı ardalanmalıdır. Kireçtaşları, açık gri, beyazımsı gri renkli, ince-orta tabakalı, yer yer silisifiye, bazen karbonat çamuru yığılı halinde, gözenekli, orta tutturulmuş, yer yer sıkı tutturulmuştur. Formasyon, Görmüş ve diğerlerine (1997) göre Geç Miyosen, Emre ve diğerlerine (1998) göre ise Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşındadır.

Tmk; Yenişehir havzasında gözlenen birim genellikle konglomera-kumtaşı ile killi-kumlu kireçtaşı, çamurtaşı ve marndan oluşmaktadır. Bu kaya türleri yanal ve düşey yönde birbirleriyle geçişlidir. Formasyonun hakim kaya türü konglomera ve kumtaşıdır. Konglomera-kumtaşı seviyeleri genel olarak boz-kahve-kirli sarı, sarı-kırmızımsı renkli,

kalın tabakalı, gevşek, yer yer orta tutturulmuş, bazen dağlgan, kaba taneli, kötü boylanmalıdır. Konglomeralar, genellikle kuvars, volkanik, daha az metamorfit, mermer çakılı, orta kötü boylanmalı, az yuvarlak-küt köşeli, genellikle iri çakılı, bazen çakılık-ufak çakılı, kum matriksli, karbonat çimentoludur. Birim içinde yer yer tabanı aşındırmalı akarsu kanal çökelleri izlenir. Kanal dolguları kaba elemanlı, orta-bazen sıkı tutturulmuştur. Birim içinde ara düzey şeklinde açık yeşilimsi beyaz, sarımsı beyaz renkli, çok gevşek tutturulmuş, çok zayıf dayanımlı silttaşı-kiltaşı düzeyleri de gözlenir. Çamurtaşı, kızıl, kırmızı renkli, kalın tabakalı, gevşek tutturulmuş, dağlgandır. Marn, kirli beyaz renkli, tabakalanma belirsiz, kavkılı ve zayıf dayanımlıdır. Kireçtaşları, beyaz, krem renkli, gastropod fosilli, orta-kalın, düzgün tabakalıdır. Alt dokanağı Miyosen öncesi birimlerle uyumsuzdur. Orta-Üst Miyosen yaşındadır (Genç 1986).

Ttg; Kumtaşı, konglomera ve ara seviyeler halinde kiltaşı ve silttaşından oluşur. Konglomeralar, genellikle koyu kırmızımtrak renkli, çapraz tabakalıdır. Ara seviye halinde bulunan killer koyu yeşil, siyahımsı renkli, orta kalın tabakalıdır. Bazı yerlerde bu birim üzerine doğrudan tüfler gelmektedir.

Kpa; Boz, kahve, krem, yeşil renkli ince-orta-kalın tabakalı çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, marn, kiltaşı, tuf, silttaşı, çamurtaşından oluşur.

Kya; Kırmızı, pembe, sarı, boz renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, konglomeratik kireçtaşı, kireçtaşı, kiltaşı, marndan oluşur.

JKb; Sakarya zonu içerisinde yaygın olarak yüzeyleyen birim geç jura-kretase yaştaki kireçtaşlarından oluşur. İlk kez Bilecik civarında Altınlı (1973) tarafından Bilecik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Birçok araştırmacı tarafından da aynı adla incelenen birim (Saner 1977 ve 1980, Demirkol 1977, Şentürk ve Karaköse 1979, Yılmaz vd. 1981, Göncüoğlu vd. 1996), Biga yarımadasında Alancık Formasyonu (Bingöl vd. 1973), Ankara civarında Mollaresul formasyonu (Ünal vd. 1976) ve Kuzeybatı Anadolu'da Bilecik grubu (Altın vd. 1991) adlarıyla incelenmiştir. Birim beyaz, gri, pembemsi renklerde, kalın-orta tabakalı ve yer yer masif görünümlü kireçtaşlarından oluşur. En alt düzeylerde beyaz-gri renkli kumlu kireçtaşlarıyla başlayan birim üste

doğru alg ve mercanların bol görüldüğü masif-kalın tabakalı resifal özellikteki kireçtaşlarına geçer. Bunların da üzerine daha ince taneli, orta tabakalı mikritik kireçtaşları gelir. Düşeyde yaşanan bu değişim yanarda da görüldür. Kireçtaşlarında bol kırık ve çatlak sistemleri, erime sebebiyle karstik boşluklar sıkça görüldür. Masif kesimler mermer ocakları olarak yaygın bir şekilde işletilir. Birimin genelini oluşturan resifal, sparitik sığ denizel kireçtaşlarının daha üst seviyelerde daha da yoğunlaşması (yamaç karakterine ulaşması) ile soğukçam formasyonuna geçmiş olunur (Kantar vd. 2013).

Kp; Genellikle silisli şeyl kökenli mikalı şist, çört kökenli mikalı kuvars şist, pelajik killi kireçtaşı kökenli kalkşist ve bazik volkanik kökenli mavi şistlerden oluşur. Metabazitler birim içinde oldukça yaygın olarak izlenir. Metabazit seviyeleri, genellikle siyahımsı ve mavimsi koyu gri renklidir. İyi derecede yapraklanmalı, yatık izoklinal kıvrımlı, mermer, kalkşist, kuvars bant ve mercikleri içerir. Başlıca mineral parajenezleri, amfibolit, glokofan-lavsonit-şist, hornblend-klorit-glokofan-şist, muskovit-klorit-epidot-glokofan-şist, albit-klorit-lavsonit-şist ve muskovit-albit-kuvars şisttir. Tekeli ve diğerlerine (1989) göre formasyon, konkordan bir dokanakla tekerler mermerleri üzerinde yer almaktadır.

Trkn; Geniş alanlarda yayılım gösteren birim, çoğunlukla metabazit ve metapelitik kayalardan, az oranda da kalkşistten oluşur. Yer yer fillat ve mermer ara seviyeli, yeşil renkli metatüflerden oluşan bir istiflenme sunar. Tüm kayalarda belirgin bir foliyon ve yersel gelişmiş mineral yönelimi izlenir. Metamorfiteyi oluşturan metabazitlerde gözlenen yaygın mineral parajenezi; kalsik amfibol, albit/oligoklas, epidot, klorit, sfen, kalsit, kuvars ve opak minerallerdir. Birim yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçirmiştir. Bu birimin üzerine Çataltepe mermeleri gelir. Nilüfer birimi, yorumsal olarak Permo-Triyas yaşındadır (Akyüz ve Okay 1996).

Py; Formasyon, genellikle rekristalize kireçtaşından oluşur. Bazı yerlerde killi kumlu kireçtaşı ve kumtaşları içermektedir. Kireçtaşları koyu gri, siyah, beyaz, sarımsı renkli, sert, orta-kalın, yer yer düzgün, çoğunlukla belirsiz tabakalı, erime boşluklu ve erime yüzeylidir. Genellikle çok sık çatlaklı, eklemlidir. Eklem ve çatlakları kalsit dolguludur.

Bol makro fosilli olan birim, yer yer kumlu, oolitik ve resifal kireçtaşı özellikleri gösterir. Topoğrafyada tepeler ve kornişler oluşturmaktadır. Triyas yaşlı karakaya grubuna ait formasyonlar içinde bloklar halinde izlenir. Metamorfik temelle uyumsuz olup, üst dokanağı yer yer faylı, çoğunlukla liyas detritikleri, orta jura-alt kretase kireçtaşları, üst kretase ve neojen yaşlı birimlerle uyumsuz olarak örtülür. Üst permien yaşındadır (Genç 1986).

Yapılan arazi çalışmaları için çalışma numaraları, formasyon tipleri özetlenerek Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Çalışılan bölgeler ve formasyon tipleri

Çalışma no.	Çalışma bölgesi	Formasyon tipi	Formasyon açıklaması
1	Karacabey Şahinköy	JKb	Bilecik kireçtaşı: Ak, krem, pembe, koyu sarı renkli, orta-kalın tabakalı oolitik kireçtaşı
2	Harmancık Kılavuzlar	Qal	Alüvyon: Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil
3	Büyükorhan Gedikler	Kp	Piribeyler şistleri: Mikalı şist, mikalı kuvars şist, kalkşist ve mavi şistler
4	Nilüfer Akçalar	Qal	Alüvyon: Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil
5	Nilüfer Uludağ Üniversitesi	Tmm	Mudanya formasyonu: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve görsel kireçtaşı
6	Osmangazi Doğu Atık Su	Qal	Alüvyon: Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil
7	Nilüfer Özlüce Arıtma	Qal	Alüvyon: Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil
8	Osmangazi Hamitler Arıtma	Tmm	Mudanya formasyonu: Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve görsel kireçtaşı
9	Yenişehir Çardak Köyü	Qal	Alüvyon: Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil
10	İnegöl Çeltikçi Köyü-1	Qal	Alüvyon: Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil

Çizelge 3.1. Çalışılan bölgeler ve formasyon tipleri (devam)

Çalışma no.	Çalışma bölgesi	Formasyon tipi	Formasyon açıklaması
11	Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 1. kuyu	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
12	Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 2. kuyu	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
13	Keles Akçapınar Köyü	Ttg	Gürağaç üyesi:İyi yuvarlaklaşmış polilenik konglomera, kumtaşı, tuf, kil marn, killi kireçtaşı
14	Osmangazi Gökçeören Köyü	Trkn	Nilüfer formasyonu:Metabazit metapelitik metamorfitle ve bunları üzerleyen mermerler
15	Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 3. kuyu	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
16	Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 4. kuyu	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
17	Karacabey Hamidiye Köyü	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
18	İnegöl Çeltikçi Köyü-2	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
19	Mustafakemalpaşa Yalıntaş	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
20	Karacabey Yarış	Trkn	Nilüfer formasyonu:Metabazit metapelitik metamorfitle ve bunları üzerleyen mermerler
21	İznik Müşküle	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
22	Mudanya Esence-1	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
23	Mudanya Mesudiye	Tmm	Mudanya formasyonu: Konglomera,kumtaşı, silttaşı, kiltası ve görsel kireçtaşı
24	Mudanya Esence-2	Tmm	Mudanya formasyonu: Konglomera,kumtaşı, silttaşı, kiltası ve görsel kireçtaşı
25	Harmancık, H.Danişment	Tmk	Köprühisar formasyonu: Kireçtaşı, killi- kumlu kireçtaşı, marn, çakıltaşı, kumtaşı
26	Osmangazi, Alaşar	Tmm	Mudanya formasyonu: Konglomera,kumtaşı, silttaşı, kiltası ve görsel kireçtaşı

Çizelge 3.1. Çalışılan bölgeler ve formasyon tipleri (devam)

Çalışma no.	Çalışma bölgesi	Formasyon tipi	Formasyon açıklaması
27	Kestel, Seymen-1	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
28	Kestel, Seymen-2	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
29	İnegöl, Küçükyenice	Qal	Alüvyon:Tutturulmamış çakıl, kum,silt ve kil
30	Yenişehir, Osmaniye-1	Tmk	Köprühisar formasyonu: Kireçtaşı, killi- kumlu kireçtaşı, marn, çakıltası, kumtaşı
31	Yenişehir, Osmaniye-2	Py	Yörüktepe formasyonu: Koyu gri, ak sarımsı renkli, orta kalın tabakalı kireçtaşı
32	Yenişehir, Osmaniye-3	Kya	Yarhisar formasyonu: Kırmızı, pembe, sarı, boz renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, konglomeratik kireçtaşı, kireçtaşı, kıltaşı, marn
33	Yenişehir, Kızılköy	Kpa	Paşayayla formasyonu: Boz, kahve, krem, yeşil renkli ince-orta-kalın tabakalı çakıltası, kumtaşı, kireçtaşı, marn, kıltaşı, tuf, silttaşı, çamurtaşı
34	Orhangazi, Sölöz	Qay	Akarsu yelpaze çökelleri: Tutturulmamış, bazen gevşek tutturulmuş, kötü boylanmış, siltli, killi, az yuvarlak blok, çakıl ve kum

3.1.2. Özdirenç ekipmanları

Özdirenç ölçümleri için özdirenç cihazı (akım ölçer ve volt ölçer), akım kaynağı, akım elektrotları, potansiyel elektrotlar, makaralar ve kablolar kullanılmıştır (Şekil 3.2). Kullanılan elektrotlar paslanmaz çeliktendir.



Şekil 3.2. Özdirenç çalışmasında kullanılan ekipmanlar

3.1.3. Slug test ekipmanları

Slug testler için 10 litre hacminde su ve seviye değişimi ölçmek için seviyemetre kullanılmıştır (Şekil 3.3)



Şekil 3.3. Seviyemetre

3.1.4. Uygulama

Bu çalışma Bursa'nın JKb, Qal, Kp, Tmm, Ttg, Trkn, Tmk, Py, Kya, Kpa, Qay'de yer alan 11 farklı formasyonunda toplamda 34 bölgede yürütülmüştür. Toplamda 34 farklı bölgede Schlumberger dizilimi kullanılarak DES yöntemi uygulanmıştır. Arazi koşulları düşünülerek DES yöntemi uygulanan bölgelere yakın 34 adet sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 3.1).

Zemin özelliklerinin göz önünde bulundurulması sonucunda, açılan kuyuların Osmangazi Gökçeören Köyü hariç tümünde rotary-çamurlu sondaj yöntemi tercih edilmiştir. Rotary-çamurlu sondaj yönteminin uygulanmasında, öncelikle sondaj kuyusunun açılacağı yere yakın bir yere sondaj suyu çukuru açılmış. Sondaj suyu çukurundan sondaj kuyusunun açılacağı yere su yolu yapılmıştır. Delme işlemi elmas uçlu matkapla gerçekleştirilmiştir. Matkabın formasyonu delmesi esnasında sürtünmeden dolayı oluşacak olan ısınmayı dolayısıyla matkabın aşınmasını ve motorun yanmasını önlemek amacıyla sondaj makinesine su verilmiştir. Sondaj çukurundaki pompa ile çekilen su delme takımının içerisine gönderilmiştir. Sondaj suyu çukurunda su azaldığında ise dışarıdan su ilave edilmiştir. Delme işleminde derinlere inmek için tijler uç uca eklenmiş, delme işlemi istenilen derinliğe kadar tamamlandıktan sonra zeminin içindeki tijler teker teker çıkartılmıştır. Alınan numuneler incelenerek içinde su bulduran katmanlar işaretlenmiş ve borulama işlemine geçilmiştir. Borulama işlemi tamamlandıktan sonra çakılama işlemine geçilmiştir. PVC sondaj borusu ile zemin arası çakılla doldurulmuştur. Bu işlemin yapılmasındaki amaç; kuyudan su çekilmesi veya kuyuya su basılması esnasında filtreli kısımların tıkanmasını önlemektir. Çakıl dökülürken bol su verilerek kuyu sondaj çamurundan arındırılmaya çalışılmıştır. Borulama ve çakılama işlemlerinin ardından inkişaf işlemine geçilmiştir. İnkişaf, kuyunun temizlenmesi işlemidir (Eryılmaz 2013). Bu adımdan sonra kuyu kullanıma hazırdır.

Osmangazi Gökçeören Köyündeki kuyu ise, zemin çok sıkı ve sert olduğundan havahı rotary sondaj yöntemiyle açılmıştır. Açılan her bir kuyuda uygulanan slug testlerin tümü

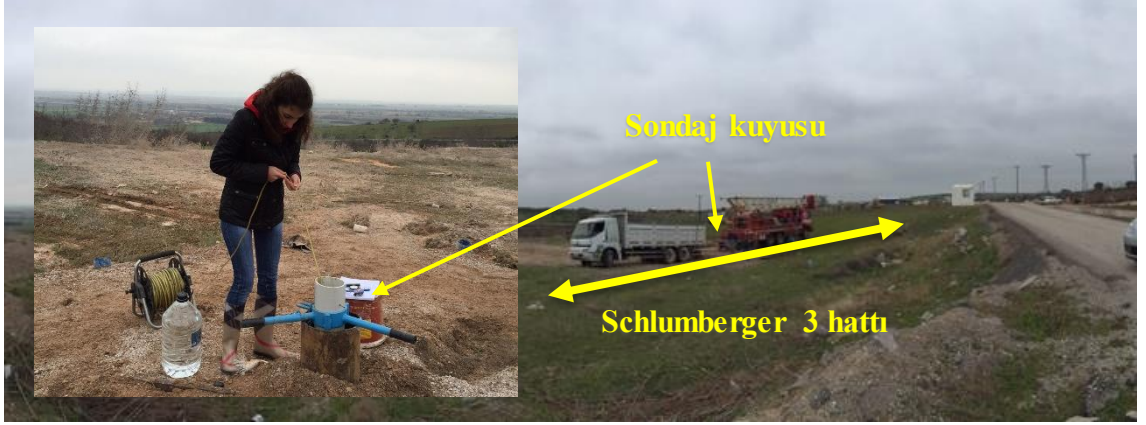
kuyuya 10 lt hacminde suyun bırakılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Arazide gerçekleştirilen çalışmalar çalışma numaralarına göre aşağıda özetlenmiştir:

Karacabey İlçesi, Şahinköy'de beş ayrı lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. ve 4. Schlumberger dizilimi $AB/2= 160$ m, 2. ve 3. dizilim $AB/2= 200$ m, 5. dizilim $AB/2= 140$ m olarak ölçüm yapılmıştır. 3. Schlumberger diziliminin koordinatı 61963,6 D, 4456357,418 K noktasıdır. Yapılan çalışmalar sonucu su sondaj kuyusunun koordinatları 3. Schlumberger dizilimine yakın tercih edilmiştir ve enlemi 40.250188, boylamı 28.316466'dır (Şekil 3.4). Bu noktaya 120 m derinliğinde 140 mm çapında rotary-çamurlu sondaj yöntemi ile sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyu hazır hale geldikten sonra kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 648 $\mu\text{S/cm}$ ve pH 7,22 olarak bulunmuştur. 08.03.2015 tarihinde bu kuyuda bir adet slug test yapılmıştır (Şekil 3.4).

Harmancık İlçesi, Kılavuzlar Mahallesiinde iki ayrı lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. Schlumberger diziliminde 686907 D; 4397643 K noktasında $AB/2= 200$ m, 2. dizilimde 686500 D; 4397510 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik özdirenç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle; köyün ihtiyaç duyduğu suyun temini için su sondaj kuyusu 2. Schlumberger dizilimine yakın 686950 D, 4397790 K noktasında açılmıştır. Kuyu 132 m derinliğinde, 200 mm çapındadır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 617 $\mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,70 olarak bulunmuştur. 03.03.2016 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Büyükorhan ilçesi, Gedikler Köyünde iki ayrı lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. Schlumberger diziliminde 672279 D; 4399532 K noktasında $AB/2= 200$ m, 2. dizilimde 672267 D; 4399095 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik özdirenç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle; köyün ihtiyaç duyduğu suyun temini için su sondaj kuyusu 2. Schlumberger dizilimine yakın 672310 D, 4399570 K noktasındadır. Kuyu 70 m derinliğinde, 200 mm çapındadır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk

Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,33 olarak bulunmuştur. 03.03.2016 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.



Şekil 3.4. Karacabey Şahinköy Schlumberger diziliminin bulunduğu hat ve su sondaj kuyusu

Nilüfer ilçesi, Akçalar Mahallesi sınırları içerisinde yer alan bir inşaat alanında yeraltı suyunun mevcut olup olmadığının tespiti için bir noktada DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde $AB/2= 200$ m 648210 D, 4449520 K noktasında ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 648210 D, 4449520 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 120 m derinliğinde 140 mm çapında bir adet sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyudan alınan numune Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünün Atık Su Temel İşlemler Laboratuvarında HQ40d cihazıyla ölçülmesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 1482 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,41 olarak bulunmuştur (Şekil 3.5). 06.03.2016 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.5. Akçalar Mah. alınan suyun iletkenliğinin ve pH'ının ölçüldüğü cihaz



Şekil 3.6. Nilüfer ilçesi, Akçalar Mahallesi su sondaj kuyusu

Nilüfer İlçesi, Görükle yerleşkesi Uludağ Üniversitesinin sınırları içerisinde DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 657920 D; 4454960 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle; su sondaj kuyusu 657910 D, 4454960 K noktasında, 284 m derinliğinde, 200 mm çapında açılmıştır. Kuyudan alınan numune Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünün Atık Su Temel İşlemler Laboratuvarında HQ40d cihazıyla ölçülmesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 551 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,54 olarak bulunmuştur (Şekil 3.7). 07.03.2016 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Uludağ Üniversitesinden alınan suyun iletkenliğinin ve pH'ının ölçüldüğü cihaz



Şekil 3.8. Nilüfer İlçesi, Görükle yerleşkesi Uludağ Üniversitesindeki su sondaj kuyusu

Osmangazi İlçesi, K.Balıklı Mahallesinde, Doğu Atık Su Arıtma Tesisinde ihtiyaç duyulan suyun temini gidermek amacıyla 677273 D; 4455862 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Scumberger diziliminde $AB/2= 200$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 677330 D, 4456020 K noktası seçilmiştir. Bu noktadaki 212 m derinliğinde 250 mm çapında sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $509 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,42 olarak bulunmuştur. 14.03.2016 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Nilüfer İlçesi, Özlüce Mahallesinde, Özlüce Batı Atık Su Arıtma Tesisinde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla 663005 D; 4456336 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Scumberger diziliminde $AB/2= 200$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 663050 D, 4456520 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 180 m derinliğinde, 250 mm çapında sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $1030 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,52 olarak bulunmuştur. 21.03.2016 tarihinde bu kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Osmangazi İlçesi, Hamitler Mahallesinde, Hamitler Katı Atık Süzöntü Suyu Arıtma Tesisinde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla 667700 D; 4459988 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Scumberger diziliminde $AB/2= 160$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 667700 D, 4460130 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 164 m derinliğinde, 250 mm çapında sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 654 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 8,69 olarak bulunmuştur. 25.04.2016 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Yenişehir İlçesi, Çardak Köyünde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla 713352 D; 4459509 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Scumberger diziliminde $AB/2= 200$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 713250 D, 4459650 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 148 m derinliğinde, 225 mm çapında sondaj kuyusu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 855 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,48 olarak bulunmuştur. 05.05.2016 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Yenişehir İlçesi, Çardak Köyü su sondaj kuyusu

İnegöl İlçesi, Çeltikçi-1 Köyünde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla 711119 D; 4439962 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde $AB/2= 200$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 711160 D, 4440070 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 152 m derinliğinde, 250 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 535 $\mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,74 olarak bulunmuştur. 08.08.2016 tarihinde ise kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Mustafakemalpaşa İlçesi, Tatkavaklı Mahallesi'nin ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla 616604 D; 4433365 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde $AB/2= 200$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu 1. sondaj lokasyonu olarak 616710 D, 4433520 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 136 m derinliğinde, 225 mm çapında bir kuyu, 616620 D, 4433480 K koordinatlarında 112 m derinliğinde, 250 mm çapında 2. kuyu, 616700 D, 4433600 K koordinatlarında 124 m derinliğinde, 250 mm çapında 3. kuyu, 616610 D, 4433580 K koordinatlarında 132 m derinliğinde, 250 mm çapında 4. kuyu olmak üzere bu bölgede toplamda dört kuyu açılmıştır. Kuyulardan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, 1. kuyudan alınan numunenin elektrik iletkenliği 1103 $\mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,56; 2. kuyudan alınan su numunesinin elektrik iletkenliği 1071 $\mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,63; 3. kuyudan alınan su numunesinin elektrik iletkenliği 1035 $\mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,32; 4. kuyudan alınan su numunesinin elektrik iletkenliği 1012 $\mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,40 olarak bulunmuştur. 09.09.2016 tarihinde 1. ve 2. kuyuda birer adet slug test gerçekleştirilmiştir. 17.10.2016 tarihinde 3. ve 4. kuyularda birer adet slug test gerçekleştirilmiştir.

Keles İlçesi, Akçapınar Köyünde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla iki ayrı lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. Schlumberger diziliminde 686101 D; 4415206 K noktasında $AB/2= 200$ m, 2. dizilimde 685874 D; 4415135 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik özdirenç ölçümü alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu 1. Schlumberger dizilimine yakın 686190 D, 4415430 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 164 m derinliğinde, 200 mm çapında bir adet kuyu

açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 504 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,67 olarak bulunmuştur. 29.09.2016 tarihinde ise kuyuda bir adet slug test yapılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Keles İlçesi, Akçapınar Köyü su sondaj kuyusu

Osmangazi İlçesi, Gökçeören Köyünde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla tek lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 669323 D; 4445741 K noktasında $AB/2= 140$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 670310 D, 4447270 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 80 m derinliğinde, 200 mm çapında bir adet kuyu havalı rotary sondaj yöntemiyle açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 532 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,20 olarak bulunmuştur. 17.10.2016 tarihinde ise kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Karacabey İlçesi, Hamidiye Köyünde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla tek bir noktada DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 602221 D; 4441867 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 602240 D, 4442060 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 168 m derinliğinde, 250 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $1010 \mu\text{S/cm}$, pH'ı 7,47 olarak bulunmuştur. 21.10.2016 tarihinde ise kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

İnegöl İlçesi, Çeltikçi-2 Köyünde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla 711119 D; 4439962 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde $AB/2= 200$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu sondaj lokasyonu olarak 711240 D, 4440790 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 124 m derinliğinde, 250 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan alınan numune Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünün Atık Su Temel İşlemler Laboratuvarında HQ40d cihazıyla ölçülmesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $781 \mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,90 olarak bulunmuştur. 02.11.2016 tarihinde ise kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Mustafakemalpaşa İlçesi, Yalıntaş Köyünde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 618859 D; 4430173 K noktasında $AB/2= 180$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 618860 D, 4430030 K noktasında 112 m derinliğinde, 225 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan alınan numune Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünün Atık Su Temel İşlemler Laboratuvarında HQ40d cihazıyla ölçülmesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $946 \mu\text{S/cm}$ ve pH'ı 7,81 olarak bulunmuştur. 07.06.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Mustafakemalpaşa İlçesi, Yalıntaş Köyü su sondaj kuyusu

Karacabey İlçesi, Yarış Mahallesinde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 616720 D; 4463520 K noktasında $AB/2= 140$ m olacak şekilde jeofizik özdirenç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 616725 D, 4463522 K noktasında 56 m derinliğinde, 200 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $520 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,52 olarak bulunmuştur. 07.06.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

İznik İlçesi, Müşküle Köyünde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 716847 D; 4473516 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik özdirenç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 716840 D, 4473540 K noktasında 92 m derinliğinde, 225 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan alınan numune Uludağ Üniversitesi Çevre

Mühendisliği Bölümünün Atık Su Temel İşlemler Laboratuvarında HQ40d cihazıyla ölçülmesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 333 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,85 olarak bulunmuştur. 12.06.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Mudanya İlçesi, Esence Köyünde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 643700 D; 4469800 K noktasında $AB/2= 280$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 1. kuyu lokasyonu olarak 643862 D; 4469834 K seçilmiştir. Belirlenen lokasyonda 148 m derinliğinde, 225 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 1242 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,31 olarak bulunmuştur. Aynı köyde açılacak 2. kuyu için üç lokasyonda jeofizik öz direnç çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. Schlumberger diziliminde 643809 D; 4467847 K noktasında $AB/2= 300$ m, 2. Schlumberger diziliminde 642504 D; 4468183 K noktasında $AB/2= 300$ m, 3. Schlumberger diziliminde 643582 D; 4469531 K noktasında $AB/2= 300$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümleri alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 1. Schlumberger dizilimine yakın 643760 D; 4467650 K noktasında 152 m derinliğinde, 200 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmıştır. Numunenin Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünün Atık Su Temel İşlemler Laboratuvarında HQ40d cihazıyla ölçülmesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 738 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,77 olarak bulunmuştur. 13.06.2017 tarihinde her bir kuyuda birer adet slug test yapılmıştır.

Mudanya İlçesi, Mesudiye Köyünde üç lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. Schlumberger diziliminde 636010 D; 4467946 K noktasında $AB/2= 200$ m, 2. dizilimde 634793 D; 4467465 K noktasında $AB/2= 200$ m, 3. dizilimde 634376 D; 4466995 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümleri alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 3. Schlumberger dizilimine yakın 634350 D; 4467020 K noktasında 160 m derinliğinde, 225 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 671 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,55 olarak bulunmuştur. 13.06.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Harmancık İlçesi, Hopandanişment Köyünde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 691142 D; 4400297 K noktasında $AB/2=200$ m olacak şekilde jeofizik özdirenç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 691142 D; 4400297 K noktasında 120 m derinliğinde, 225 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $775 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,21 olarak bulunmuştur. 30.06.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Osmangazi İlçesi, Alaşar Mahallesinde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 674100 D; 4460900 K noktasında $AB/2=200$ m olacak şekilde jeofizik özdirenç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 674293 D; 4460445 K noktasında 200 m derinliğinde, 250 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $5900 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,09 olarak bulunmuştur. 30.06.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Kestel İlçesi, Seymen Mahallesinde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla 704789 D, 4453423 K lokasyonunda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde $AB/2=200$ m olarak ölçüm yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu 1. sondaj lokasyonu olarak 705739 D, 4455481 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 128 m derinliğinde, 280 mm çapında bir kuyu açılmıştır. 2. sondaj lokasyonu olarak 705314 D, 4455184 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 76 m derinliğinde, 250 mm çapında bir kuyu açılmıştır. Kuyulardan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, 1. kuyudan alınan numunenin elektrik iletkenliği $1489 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,02; 2. kuyudan alınan su numunesinin elektrik iletkenliği $744 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 8,32 olarak bulunmuştur. 01.07.2017 tarihinde 1. ve 2. kuyuda birer adet slug test gerçekleştirilmiştir.

İnegöl İlçesi, Küçükyenice Köyünde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 726343 D; 4436891 K noktasında $AB/2=200$ m olacak

şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 726290 D; 4436700 K noktasında 124 m derinliğinde, 225 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 1084 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,25 olarak bulunmuştur. 08.08.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Yenişehir İlçesi, Osmaniye Köyünde ihtiyaç duyulan suyun temini amacıyla dört lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. Schlumberger dizilimi 724907 D, 4449179 K noktasında $AB/2= 225$ m olarak, 2. dizilimde 722516 D, 4449091 K noktasında $AB/2= 275$ m, 3. dizilimde 722317 D, 4450764 K noktasında $AB/2= 275$ m, 4. dizilimde 723153 D, 4450466 K noktasında $AB/2= 275$ m olacak şekilde ölçüm alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu 1. sondaj lokasyonu olarak 723110 D, 4450270 K noktası seçilmiştir. Bu noktada 92 m derinliğinde, 200 mm çapında bir kuyu, 724880 D, 4448940 K koordinatlarında 100 m derinliğinde, 200 mm çapında 2. kuyu, 722220 D, 4450610 K koordinatlarında 122 m derinliğinde, 200 mm çapında 3. kuyu olmak üzere bu bölgede toplamda üç kuyu açılmıştır. Kuyulardan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, 1. kuyudan alınan numunenin elektrik iletkenliği 788 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,54; 2. kuyudan alınan su numunesinin elektrik iletkenliği 755 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 6,89; 3. kuyudan alınan su numunesinin elektrik iletkenliği 569 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,09 olarak bulunmuştur. 08.08.2017 tarihinde her bir kuyuda birer adet slug test gerçekleştirilmiştir.

Yenişehir İlçesi, Kızılköyde bir lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. Schlumberger diziliminde 735133 D; 4471121 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 734870 D; 4470680 K noktasında 116 m derinliğinde, 200 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği 525 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,11 olarak bulunmuştur. 08.08.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Orhangazi İlçesi, Sölöz Köyünde iki lokasyonda DES çalışması gerçekleştirilmiştir. 1. Schlumberger diziliminde 704974 D; 4475005 K noktasında $AB/2= 200$ m, 2. dizilimde 705054 D; 4475318 K noktasında $AB/2= 200$ m olacak şekilde jeofizik öz direnç ölçümü alınmıştır. Bölgede alınan ölçümlerin değerlendirilmesiyle 1. Schlumberger dizilimine yakın 704920 D; 4474790 K noktasında 136 m derinliğinde, 225 mm çapında bir adet kuyu açılmıştır. Kuyudan su numunesi alınmış ve Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarının incelemesi sonucu, numunenin elektrik iletkenliği $907 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH'ı 7,20 olarak bulunmuştur. 09.08.2017 tarihinde kuyuda bir adet slug test yapılmıştır.

Özetle, arazi çalışmaları sonucu elde edilen Schlumberger ölçüm değerleri IPI2win programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucu formasyonların gerçek öz direnç değerleri bulunmuştur. Ayrıca Orellana-Mooney model eğrileri (Orellana ve Mooney 1966) kullanılarak yapılan çözümler ile IPI2win yazılım sonuçları karşılaştırılarak teyit edilmiştir. Her iki çözümde de sonuçlar birbirine oldukça yakındır. Kuyulardan alınan su numunelerinin bir kısmının elektrik iletkenliği Bursa Valiliği Halk Sağlığı Laboratuvarında ölçülmüştür. Bir kısmının elektrik iletkenliği ise HQ40d cihazıyla (Şekil 3.5, Şekil 3.7) Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünün Atık Su Temel İşlemler Laboratuvarında ölçülmüştür. Suyun elektrik iletkenliği kullanılarak denklem (2.8) ile suyun öz direnci elde edilmiştir. Ayrıca denklem (2.9) kullanılarak *TDS* değerleri hesaplanmıştır. Her bir çalışma bölgesi için su numunesi alınan derinlikteki formasyonun gerçek öz direnci, yeraltı suyunun öz direncine oranlanarak formasyon faktörü (denklem (2.11)) elde edilmiştir. Arazide gerçekleştirilen slug test ölçüm verileri ile Bouwer-Rice ve Dagan metotları kullanılarak kuyu civarı hidrolik iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Yapılan analitik çözümlere ve IPI2win sonuçlarına bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

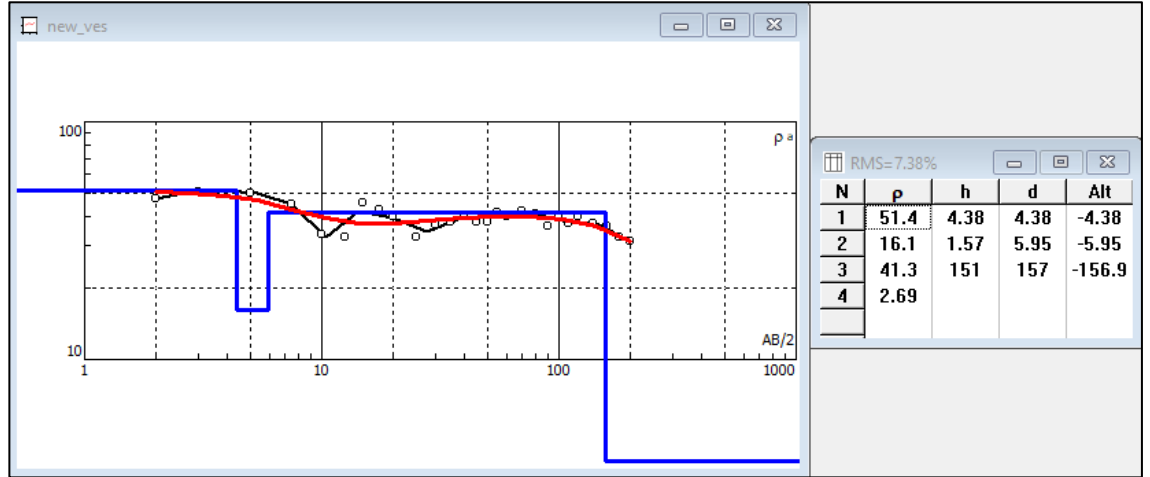
3.2. Büro Çalışması

3.2.1. DES verilerinin değerlendirilmesi

Arazide Schlumberger dizilimi kullanılarak DES yöntemi uygulanmıştır. Her bir dizilim için denklem (2.2) kullanılarak geometrik faktör (k_f) ve denklem (2.6) kullanılarak

görünür özdirenç (ρ_a) hesaplanmıştır. Çalışmada, tabakaların gerçek özdirençlerini (ρ) ve tabakaların kalınlıklarını (d_{katman}) belirlemek için iki yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerin ilkinde, logaritmik kağıdın dikey eksenine ρ_a değerleri, yatay eksenine elektrot aralığı ($AB/2$) işlenmiştir. Elde edilen eğriler, Orellana-Mooney model eğrileri (Orellana ve Mooney 1966) ile karşılaştırılması sonucu ρ ve d_{katman} belirlenmiştir. İkinci yöntemde ise IPI2win yazılımı kullanılmıştır. IPI2win yazılımı ρ_a , $AB/2$ değerlerini girdi verisi olarak kullanılır ve çözümler ile tabakaların ρ ve d_{katman} değerleri elde eder. Orellana-Mooney model eğrileriyle karşılaştırma sonucunda bulunan sonuçlar ile IPI2win yazılım sonuçları karşılaştırılarak teyit edilmiştir. Her iki çözümde de sonuçlar yakındır. Ayrıca her bir kuyunun kuyu logu ayrı ayrı incelenmiştir. Kuyu loglarındaki formasyon örnekleri ile IPI2win yazılım sonuçlarından bulunan formasyonların ρ değerleri birbiriyle uyumlu çıkmıştır.

Örnek olarak Bursa İli, Nilüfer İlçesi Uludağ Üniversitesi'nin IPI2win yazılım çözümüne yer verilmiştir (Şekil 3.12). Diğer tüm bölgeler için IPI2win yazılım sonuçları Ek 1'de sunulmuştur. Bulgular ve tartışma bölümünde yeraltı suyu numunelerinden ve özdirenç ölçümlerinden elde edilen değerlere yer verilmiştir.



Şekil 3.12. Bursa İli, Nilüfer İlçesi Uludağ Üniversitesi için IPI2win yazılımı ile gerçek özdirenç belirlenmesi

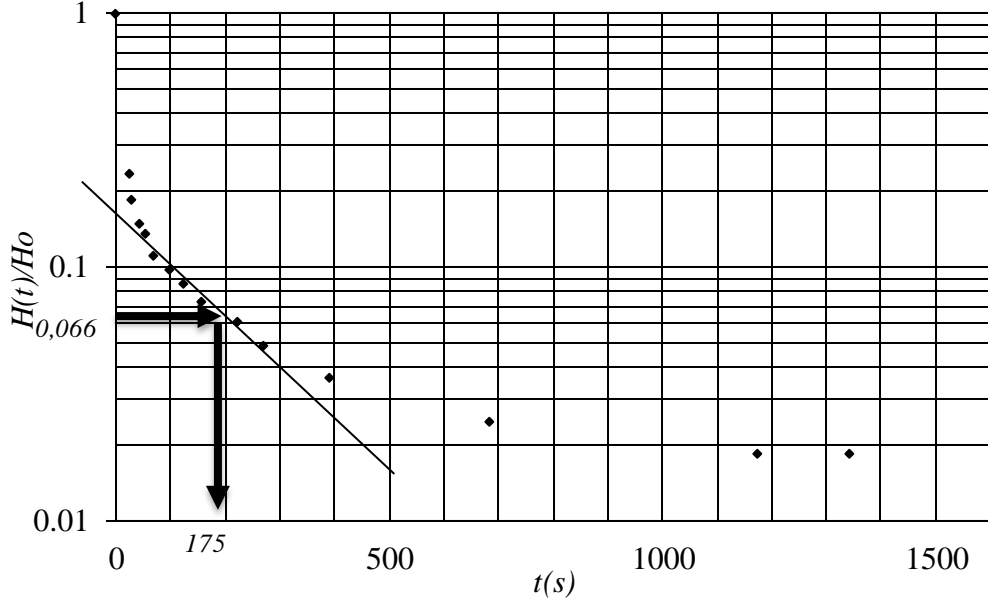
3.2.2. Slug test verilerinin değerlendirilmesi

Kuyuların tümünde slug test, 10 lt'lik su hacmi kullanılarak yapılmıştır. Testlerde 10 lt'lik hacmin tercih edilmesinin sebebi, çalışılan kuyuların çapları düşünülerek, bu hacmin su seviyesinde ölçüm alınabilecek kadar değişim oluşturmasıdır. Ayrıca Türkkân Eryılmaz ve Korkmaz (2015) çalışmasında 7, 10, 19 lt'lik hacimler kullanılarak slug testler gerçekleştirilmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan hacmin slug test sonuçlarını etkilemediği gösterilmiştir. Slug testler hacmin kuyuya aniden bırakılıp kuyudaki su seviyesinin değişiminin ölçülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Su seviyesi ilk andan itibaren zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Ölçüme su seviyesi durağan hale gelene kadar devam edilmiştir. Arazi çalışması sonucu elde edilen slug test ölçüm verileri kullanılarak 2.3.1 nolu bölümde bahsedilen Bouwer-Rice metodunun işlem adımları ve 2.3.2 nolu bölümdeki Dagan metodunun işlem adımları izlenerek analitik hesaplamalar yapılmıştır. Kuyu civarı hidrolik iletkenlik değerleri hesaplanmıştır.

Örnek olarak Bursa İli, Nilüfer İlçesi Uludağ Üniversitesi'nde her iki metot ile yapılan analitik çözümlere yer verilmiştir. Arazide yapılan ölçümler sonucu $L_e = 9200$ cm, $L_w = 28201,5$ cm, $r_w = 19,685$ cm, $r_c = 8,85$ cm'dir. Bouwer-Rice metodu için öncelikle logaritmik düşey eksene $H(t)/H_0$ değerleri, aritmetik yatay eksene ise zaman (t) değerleri işaretlenmiştir. Şekil 3.13'de Uludağ Üniversitesi için $H(t)/H_0 - t$ grafiğine yer verilmiştir. Ek 2'de tüm bölgeler için $H(t)/H_0 - t$ grafiklerine yer verilmiştir. Şekil 3.13'de işaretlenen noktalardan bir düz çizgi geçirilmiştir. L_e/r_w değerine karşılık gelen Z değeri Şekil 2.10'dan 11 olarak okunmuştur. Bu kuyuda $L_w = D$ olduğundan slug test analitik çözümlerinde denklem (2.16) kullanılarak $\ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right) = 5,7175$ bulunmuştur. Şekil 3.13'de geçirilen düz çizginin y eksenini kestiği noktadaki değer okunup 0,368 ile çarpılmış ve 0,066 değeri bulunmuştur. Şekil 3.13'de y eksenindeki 0,066 değerine, x ekseninde karşılık gelen değer $t_{new} = 175$ sn olarak okunmuştur. Denklem (2.17) kullanılarak $K_r = 0,12$ m/gün olarak bulunmuştur.

Dagan metodunda da Bouwer-Rice metodunda olduğu gibi Şekil 3.13 elde edilmiş ve $t_{new} = 175$ sn olarak belirlenmiştir. Anizotropik oran $K_z/K_r = 1$ kabul edilerek denklem (2.18)'den $\psi = 0,00214$ elde edilmiştir. Çizelge 2.2'nin çalışmaya uygun olduğu kabulü

ile $P=0,175$ olarak alınmıştır. Son olarak denklem (2.19) kullanılarak $K_r=0,12$ m/gün olarak bulunmuştur. Bulgular ve tartışma bölümünde tüm bölgeler için Bouwer-Rice ve Dagan metotları ile bulunan hidrolik iletkenlik değerlerine ayrıca bu metotların aritmetik ortalamasına (K_{r-ort}) yer verilmiştir.



Şekil 3.13. $H(t)/H_0 - t$ grafiği (Nilüfer Uludağ Üniversitesi)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çizelge 4.1’de her bölge için çalışma numarasına, su numunesi alınan derinliğe (D_{su}), elektrik iletkenliğe (EC), toplam çözülmüş katı miktarı (TDS) değerlerine, pH değerlerine, su numunesi alınan derinlikteki formasyonun gerçek özdirencine (ρ), suyun özdirencine (ρ_o), formasyon faktörüne (F) ve akiferin değiştirilmiş özdirencine (ρ') yer verilmiştir.

Bu çalışmada, Qal ve Tmm formasyonlarında ikiden fazla lokasyonda çalışma yapıldığından bu iki formasyon için değerlendirme yapılmıştır. Qal formasyonu için en düşük ρ' değerinin 14,67 ohm-m, en yüksek ρ' değerinin 356,54 ohm-m, Tmm formasyonu için ise en düşük ρ' değerinin 26,85 ohm-m, en yüksek ρ' değerinin 454,79 ohm-m olduğu bulunmuştur. Qal formasyonu için en düşük F değerinin 1,19 ve en yüksek F değerinin 28,99 olduğu, Tmm formasyonu için ise en düşük F değerinin 2,11 ve en yüksek F değerinin 35,75 olduğu bulunmuştur. Qal formasyonunda TDS değerleri 213,12 ile 952,96 ppm arasında değişirken, Tmm formasyonunda ise bu değerler 352,64 ile 3776 ppm arasında değişmektedir (Çizelge 4.1). Çalışılan bölgelerin içinde en içilebilir su 213,12 ppm TDS değeri ile İznik Müşküle’de (çalışma no. 21), en kabul edilemez sınırlar içinde yer alan su ise 3776 ppm TDS değeri ile Osmangazi Alaşar’da (çalışma no. 26) yer almaktadır.

Çizelge 4.2’de ise tüm bölgeler için Bouwer-Rice ve Dagan metotları ile hesaplanan hidrolik iletkenlik (K_r) değerlerine, bunların aritmetik ortalmasına (K_{r-ort}) ve transmisiviteye (T) yer verilmiştir. Qal formasyonunda K_{r-ort} 0,18 ile 3,88 m/gün arasında değiştiği, Tmm formasyonu için bu değerlerin 0,12 ile 1,21 m/gün arasında değiştiği görülmüştür.

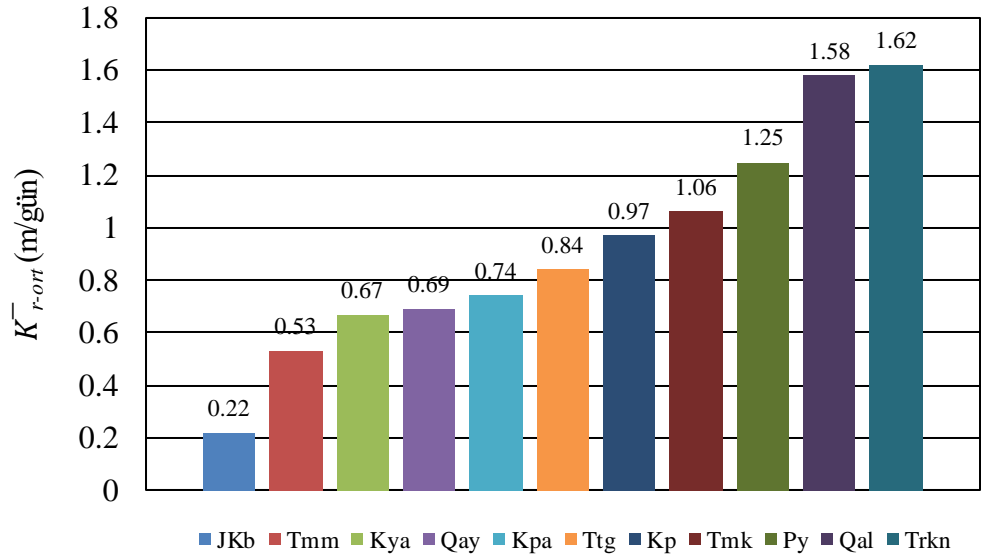
Çizelge 4.1. Yeraltı suyu numunelerinden ve öz direnç ölçümlerinden elde edilen değerler

Çalışma no	D_{su} (m)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	TDS (ppm)	pH	ρ (ohm-m)	ρ^0 (ohm-m)	F	ρ' (ohm-m)
1	1	648	414,72	7,22	46,80	15,43	3,03	46,80
2	68-80	617	394,88	7,70	106,00	16,21	6,54	80,44
3	48-56	525	336,00	7,33	418,00	19,05	21,95	418,00
4	10,41	1482	948,48	7,41	8,05	6,75	1,19	14,67
5	1,985	551	352,64	7,54	51,40	18,15	2,83	36,02
6	88-104	509	325,76	7,42	87,10	19,65	4,43	54,53
7	72-92	1030	659,20	7,52	58,70	9,71	6,05	74,37
8	68-80	654	418,56	8,69	34,40	15,29	2,25	28,62
9	80-92	855	547,20	7,48	54,50	11,70	4,66	57,31
10	42-43	535	342,40	7,74	228,00	18,69	12,20	150,04
11	40	1103	705,92	7,56	27,80	9,07	3,07	37,72
12	40	1071	685,44	7,63	27,80	9,34	2,98	36,62
13	76	504	322,56	7,67	225,00	19,84	11,34	225,00
14	17-20	532	340,48	7,20	178,00	18,80	9,47	180,02
15	40	1035	662,40	7,32	27,80	9,66	2,88	35,39
16	40	1012	647,68	7,40	27,80	9,88	2,81	34,60
17	60	1010	646,40	7,47	287,00	9,90	28,99	356,54
18	44	781	499,84	7,90	228,00	12,80	17,81	219,02
19	80	946	605,44	7,81	122,00	10,57	11,54	141,96
20	25	520	332,80	7,52	282,00	19,23	14,66	278,76
21	60-70	333	213,12	7,85	235,00	30,03	7,83	96,25
22	70	1242	794,88	7,31	112,00	8,05	13,91	171,10
23	47	671	429,44	7,55	150,00	14,90	10,07	128,03
24	8,46	738	472,32	7,77	28,60	13,55	2,11	26,85
25	80	775	496,00	7,21	84,80	12,90	6,57	84,12
26	110	5900	3776,00	7,09	60,60	1,69	35,75	454,79
27	60	1489	952,96	7,02	29,10	6,72	4,33	53,30
28	40	744	476,16	8,32	29,10	13,44	2,17	26,63
29	13	1084	693,76	7,25	145,00	9,23	15,72	193,33
30	45	788	504,32	7,54	31,30	12,69	2,47	31,57
31	76	755	483,20	6,89	52,50	13,25	3,96	52,50
32	34	569	364,16	7,09	8,81	17,57	0,50	8,81
33	40	525	336,00	7,11	70,20	19,05	3,69	70,20
34	60-70	907	580,48	7,20	34,80	11,03	3,16	34,80

Çizelge 4.2. Slug test sonucu elde edilen hidrolik iletkenlik değerleri

Çalışma no	Bouwer-Rice K_r (m/gün)	Dagan K_r (m/gün)	K_{r-ort} (m/gün)	T (m ² /gün)	Formasyon tipi
1	0,22	0,23	0,22	10,94	JKb
2	1,35	1,39	1,37	179,48	Qal
3	0,92	1,01	0,97	57,00	Kp
4	0,19	0,18	0,18	20,26	Qal
5	0,12	0,12	0,12	33,87	Tmm
6	0,82	0,80	0,81	160,69	Qal
7	1,47	1,48	1,47	261,99	Qal
8	0,43	0,44	0,44	66,59	Tmm
9	1,24	1,25	1,24	176,42	Qal
10	2,18	2,19	2,18	320,90	Qal
11	0,19	0,19	0,19	23,68	Qal
12	0,90	0,95	0,92	94,19	Qal
13	0,85	0,84	0,84	112,68	Ttg
14	1,47	1,30	1,38	102,85	Trkn
15	1,21	1,28	1,24	140,60	Qal
16	1,56	1,63	1,60	194,70	Qal
17	3,88	3,88	3,88	606,03	Qal
18	2,91	3,08	2,99	343,80	Qal
19	1,81	2,07	1,94	184,10	Qal
20	1,73	1,99	1,86	98,45	Trkn
21	1,69	1,69	1,69	138,86	Qal
22	2,33	2,33	2,33	326,59	Qal
23	0,48	0,48	0,48	74,81	Tmm
24	0,43	0,41	0,42	60,77	Tmm
25	1,04	1,12	1,08	105,84	Tmk
26	1,21	1,21	1,21	226,20	Tmm
27	0,76	0,80	0,78	96,41	Qal
28	0,69	0,74	0,72	51,63	Qal
29	2,76	2,94	2,85	325,04	Qal
30	0,95	1,12	1,04	74,65	Tmk
31	1,30	1,21	1,25	100,22	Py
32	0,65	0,68	0,67	67,86	Kya
33	0,73	0,76	0,74	80,99	Kpa
34	0,67	0,71	0,69	83,80	Qay

Her bir formasyon tipi için hesaplanan hidrolik iletkenliklerin tümünün aritmetik ortalaması (\bar{K}_{r-ort}) hesaplanmış ve formasyon tipi ile \bar{K}_{r-ort} ilişkisi Şekil 4.1’de sunulmuştur. En yüksek \bar{K}_{r-ort} ’nın Trkn formasyonunda ve en düşük \bar{K}_{r-ort} ’nın ise JKb formasyonunda olduğu görülmektedir. Bu formasyonu içeren bölgenin jeolojik yapısı değerlendirildiğinde JKb formasyonunun kireçtaştan, Trkn formasyonunun ise metamorfitten, mermerlerden oluştuğu bilinmektedir ve Trkn formasyonundaki bölgede çatlaklı bir yapı olduğu düşünülmektedir. Bu sebepten, en yüksek \bar{K}_{r-ort} değerinin Trkn formasyonunda daha sonra ise Qal formasyonunun çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.1. Formasyon tipi – hidrolik iletkenlik ilişkisi

Çalışılan 34 farklı bölge için, IPI2win programı ile bulunan ρ değerleri ve formasyon kalınlıkları (d_{katman}) Çizelge 4.3’de sunulmuştur. Çalışma alanının katman sayısı 3 ile 6 arasında değişmektedir. Katman sayısının en çok olduğu bölge Büyükorhan Gedikler’dir (Kp).

Çizelge 4.3. Gerçek özdirenç değerleri ve katman kalınlıkları

Çalışma no	ρ (ohm-m)						d_{katman} (m)					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	46,8	67,6	257	19647			1,9	10,3	87,5	∞		
2	205	50	106				1,8	51,6	∞			
3	462	3624	217	3303	418	32643	1	1,2	3,3	7,1	111	∞
4	8,1	6,3	350				15	110	∞			
5	51,4	16,1	41,3	2,7			4,4	1,6	151	∞		
6	205	1842	201	87,1			1	0,5	11,7	∞		
7	108	34,8	58,7	32,8			1	38,9	71,6	∞		
8	54,2	37,6	161	34,4			1,3	3,7	5,7	∞		
9	96,6	402	54,5				1,9	1,7	∞			
10	55,4	263	43,1	228	472		1	1,5	3,2	42,6	∞	
11	274	6540	27,8				1	5,2	∞			
12	274	6540	27,8				1	5,2	∞			
13	167	7392	225				1	1,1	∞			
14	145	178	278097				1,4	15,8	∞			
15	274	6540	27,8				1	5,2	∞			
16	274	6540	27,8				1	5,2	∞			
17	74,8	11,9	40,4	287	2,3		3,2	3,0	38,1	39,2	∞	
18	55,4	263	43,1	228	472		1	1,5	3,2	42,6	∞	
19	247	122	0,2				29,1	52,5	∞			
20	221	282	874				4,7	22,5	∞			
21	562	285	172	235			1,3	5,4	47,1	∞		
22	92,6	63,2	112				1	8,1	∞			
23	62,4	10,2	42,7	150			1	0,6	42,8	∞		
24	96,4	28,6	33127				0,8	49,9	∞			
25	140	48,8	138	84,8			1	10,8	35,3			
26	126	31,2	87,2	41,6	60,6		1	2,1	1,9	47,5	∞	
27	32	16,8	29,1	55,3			1	4	56,3	∞		
28	32	16,8	29,1	55,3			1	4	56,3	∞		
29	188	37,2	145	14,3	2817		1,7	1,9	10,6	35,8	∞	
30	76,9	31,3	25198				0,8	48,4	∞			
31	41,7	10,4	52,5				1,8	0,9	∞			
32	39	8,8	4252				3,7	31,4	∞			
33	92,5	70,2	565				1	42,3	∞			
34	122	34,8	7739				0,8	101	∞			

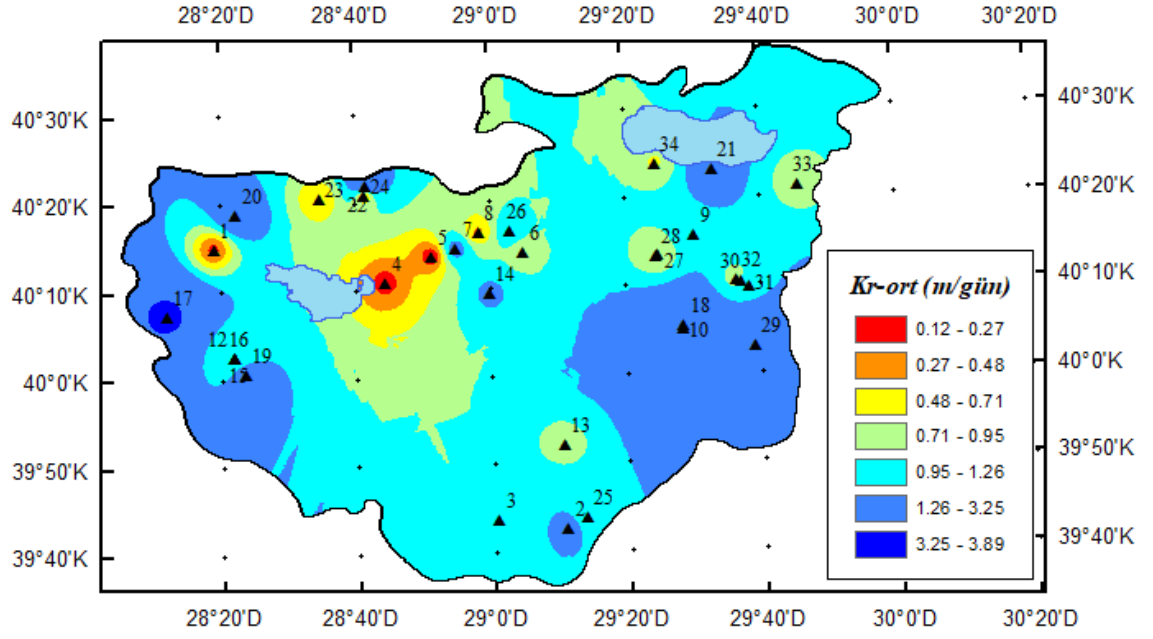
Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında mesafenin tersi ağırlıklı metot (Inverse Distance Weighting-IDW) ile iki boyutlu haritalar üretilmiştir. IDW, noktasal

ölçüm değerlerini kullanarak iki boyutlu dağılım haritası oluşturmaya yönelik bir enterpolasyon tekniğidir. Herhangi bir konumdaki bilinmeyen parametreyi (ör. hidrolik iletkenlik) tahmin etmek için çevresindeki ölçüm değerleri kullanılır. IDW tekniği, birbirine yakın olan noktaların değerlerinin birbirinden uzak olanlardan daha benzer olduğu varsayımına dayalıdır. Bu sebepten parametre değeri tahmin edilecek bölgeye en yakın ölçüm değerleri, uzak olanlardan daha fazla ağırlığa sahiptir. Bunu sağlamak için ağırlıklar mesafenin tersinin bir fonksiyonu olarak belirlenir. Yöntem ismini buradan almaktadır. Matematiksel olarak aşağıda yer verilen denklemle hesap yapılır.

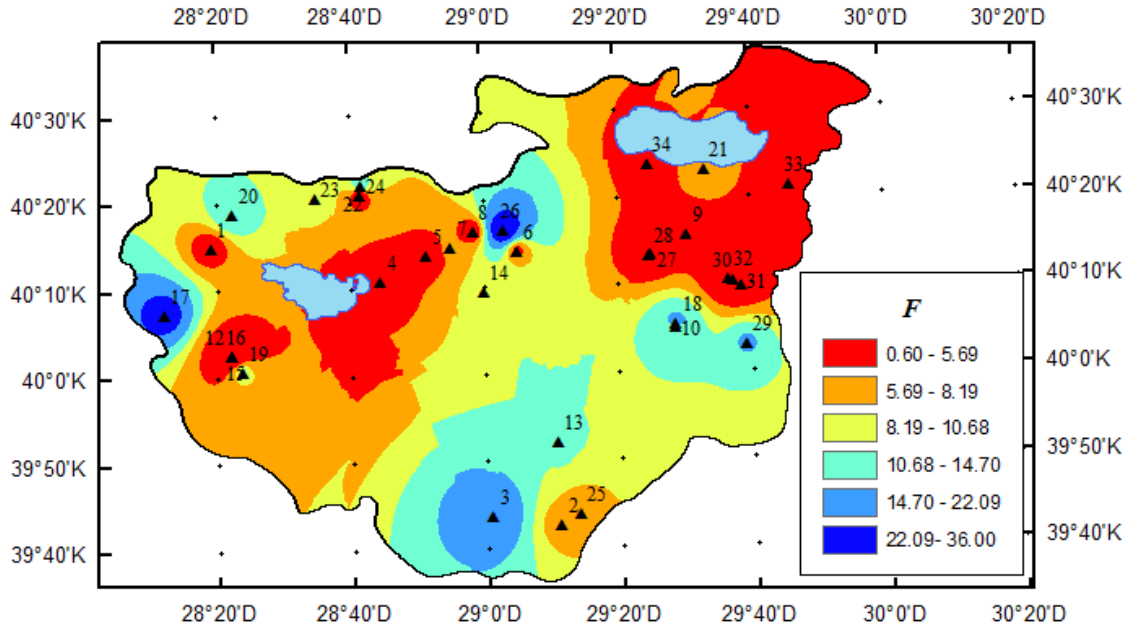
$$z(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z(x_i)}{d_{i0}^r}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{i0}^r}} \quad (4.1)$$

$z(x_0)$, tahmin yapılan x_0 lokasyonundaki aranan parametre değeri; n , civardaki en yakın ölçüm lokasyonlarının sayısı; d_{i0} , ölçüm lokasyonu x_i ile tahmin lokasyonu x_0 arasındaki mesafe; r , bu mesafenin tersinin üssüdür ve genelde 2 alınır. r büyüdükçe, tahmin lokasyonundan uzak mesafedeki ölçümlerin ağırlığı azalır.

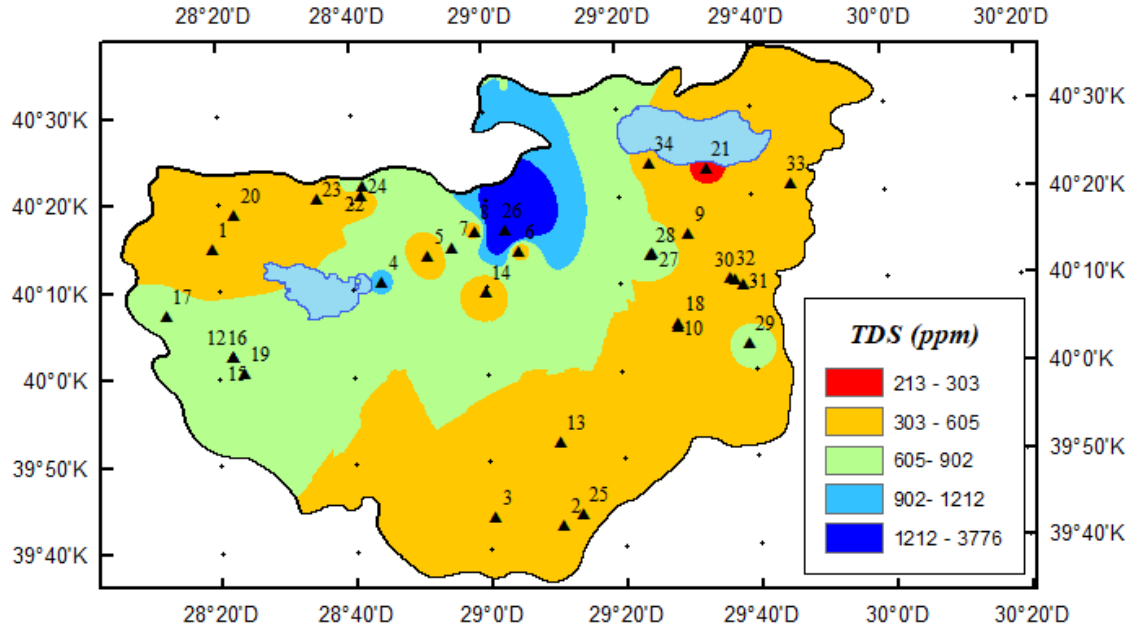
CBS yazılımı olan ARCGIS ortamında IDW kullanılarak üretilmiş olan K_{r-ort} haritası Şekil 4.2’de, F haritası Şekil 4.3’de, TDS haritası ise Şekil 4.4 ve pH dağılım haritası Şekil 4.5’de, ρ' haritası Şekil 4.6’da sunulmuştur. Şekil 4.2’de sunulan 1 (JKb), 4 (Qal), 5 (Tmm) numaralı çalışma bölgeleri K_{r-ort} değerinin düşük olduğu, 17 (Qal) numaralı bölge ise K_{r-ort} değerinin en yüksek olduğu kısımdır. Şekil 4.3’de sunulan 32 (Kya) numaralı çalışma bölgesi F değerinin en düşük olduğu kısım iken, 17 (Qal) ve 26 (Tmm) numaralı bölgeler bu değer yüksek olduğu kısımlardır. Şekil 4.4’de sunulan 21 (Qal) numaralı çalışma bölgesi TDS ’nin en düşük olduğu, 26 (Tmm) numaralı bölge ise en yüksek olduğu kısımdır. Şekil 4.5’de sunulan haritada pH değerinin 31 (Py) numaralı çalışma bölgesinde en düşük olduğu, 8 (Tmm) numaralı bölgede ise en yüksek olduğu kısımdır. Şekil 4.6’da sunulan haritada ρ' değerinin 4 (Qal), 32 (Kya) numaralı çalışma bölgelerinde düşük olduğu, 3 (Kp), 17 (Qal), 26 (Tmm) numaralı bölgelerde ise yüksek olduğu görülmektedir.



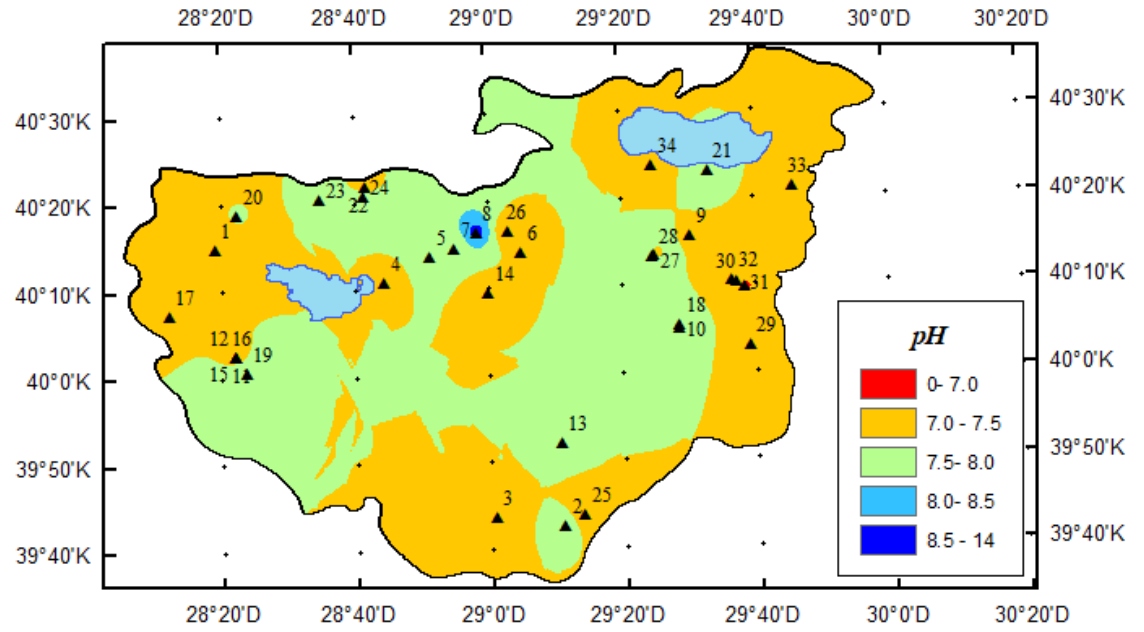
Şekil 4.2. Çalışma alanı kapsamında K_{r-ort} haritası



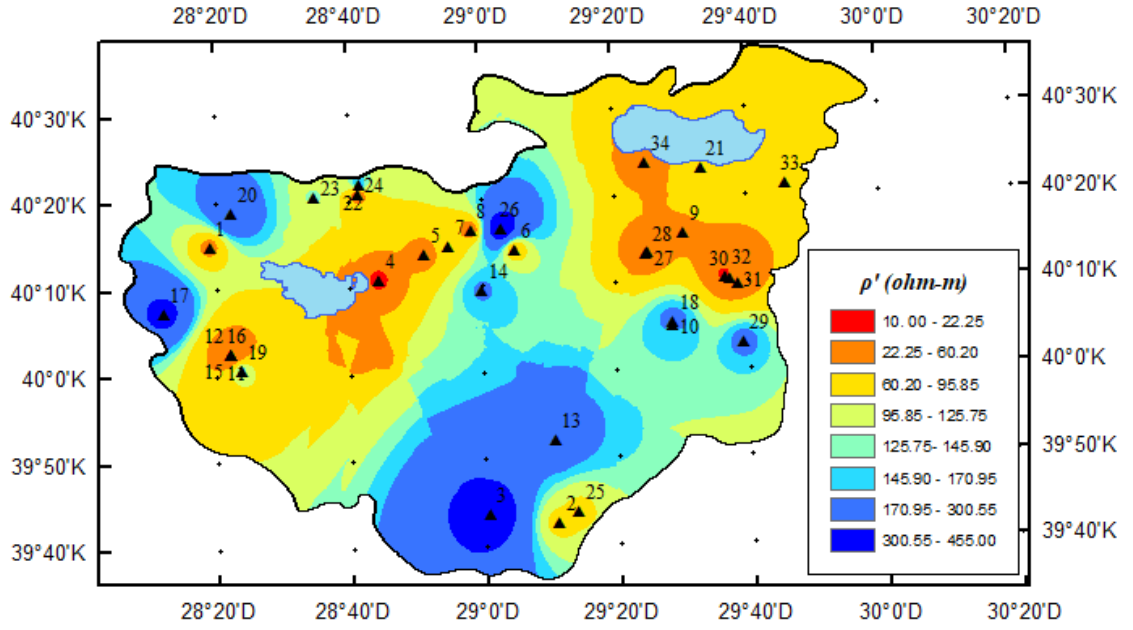
Şekil 4.3. Çalışma alanı kapsamında F haritası



Şekil 4.4. Çalışma alanı kapsamında TDS haritası



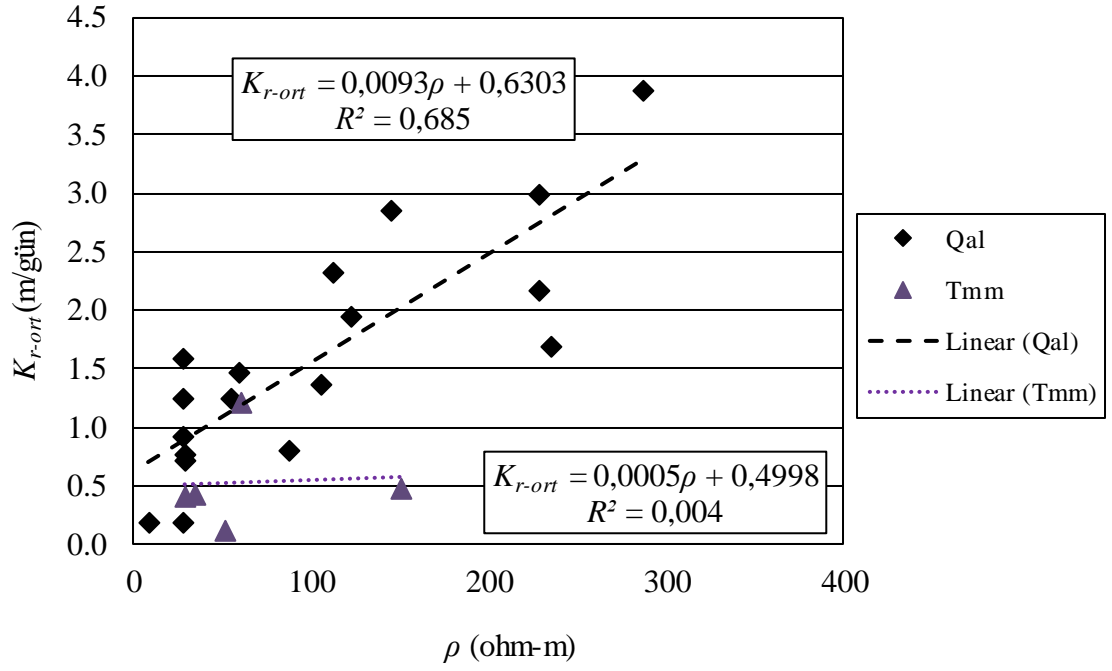
Şekil 4.5. Çalışma alanı kapsamında pH haritası



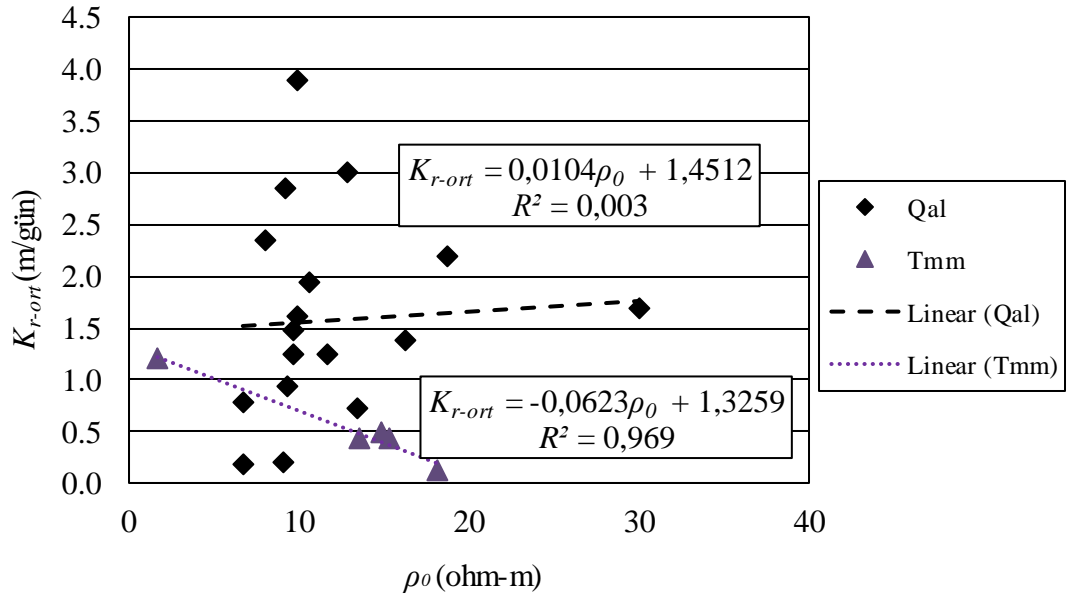
Şekil 4.6. Çalışma alanı kapsamında ρ' haritası

Bu çalışmada, sadece Qal ve Tmm formasyonlarında ikiden fazla lokasyonda çalışma yapıldığından yapılan analizlerde bu formasyonlar üzerine yoğunlaşmıştır. K_{r-ort} ile ρ arasındaki ilişki Şekil 4.7'de sunulmuştur. Şekil 4.8'de ise K_{r-ort} ile ρ_0 arasındaki ilişki sunulmuştur. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'e bakarak genel anlamda K_{r-ort} değerlerinin Qal formasyonunda Tmm formasyonuna nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak K_{r-ort} ile ρ arasında ve K_{r-ort} ile ρ_0 arasında kesin sonuca varılacak bir ilişki görülmemektedir.

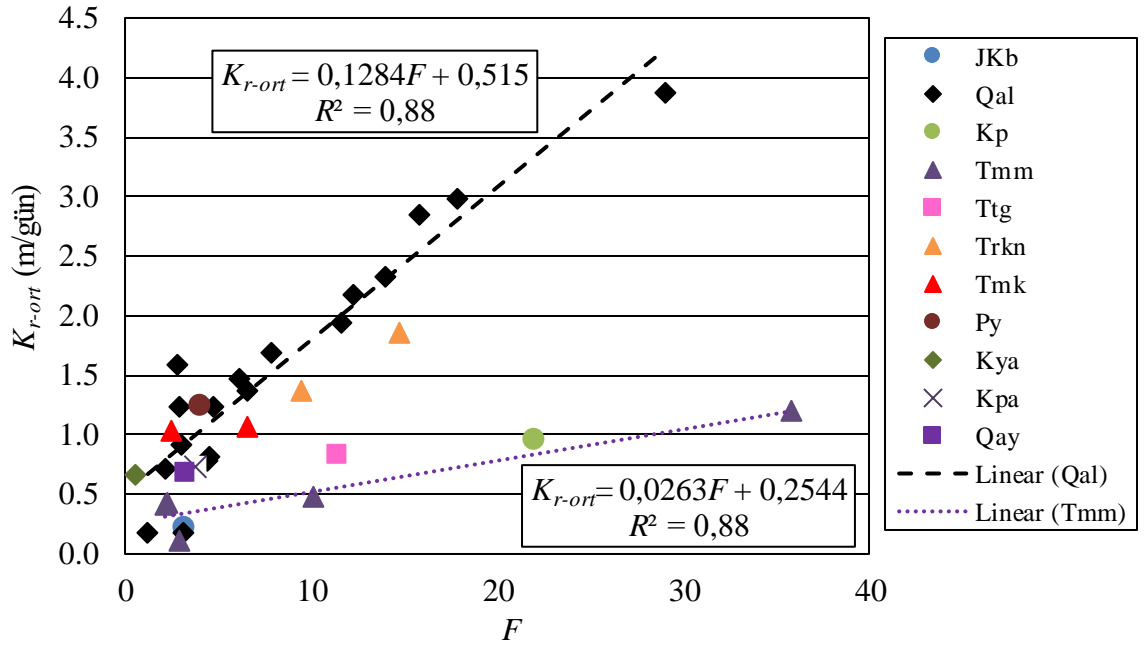
Tüm çalışma noktaları için Çizelge 4.1'deki F değerleri ve Çizelge 4.2'deki K_{r-ort} ile T değerleri kullanılarak $K_{r-ort} - F$ ilişkisi ve $T - F$ arasındaki ilişki sunulmuştur (Şekil 4.9, Şekil 4.10). Qal ve Tmm formasyonları incelendiğinde K_{r-ort} ile F arasında ve T ile F arasında lineer bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10). Şekil 4.11'de ise K_{r-ort} ile ρ' arasındaki ilişki, Şekil 4.12'de ise T ile ρ' arasındaki ilişki sunulmuştur. Bu iki ifade arasında da lineer bir ilişki söz konusudur.



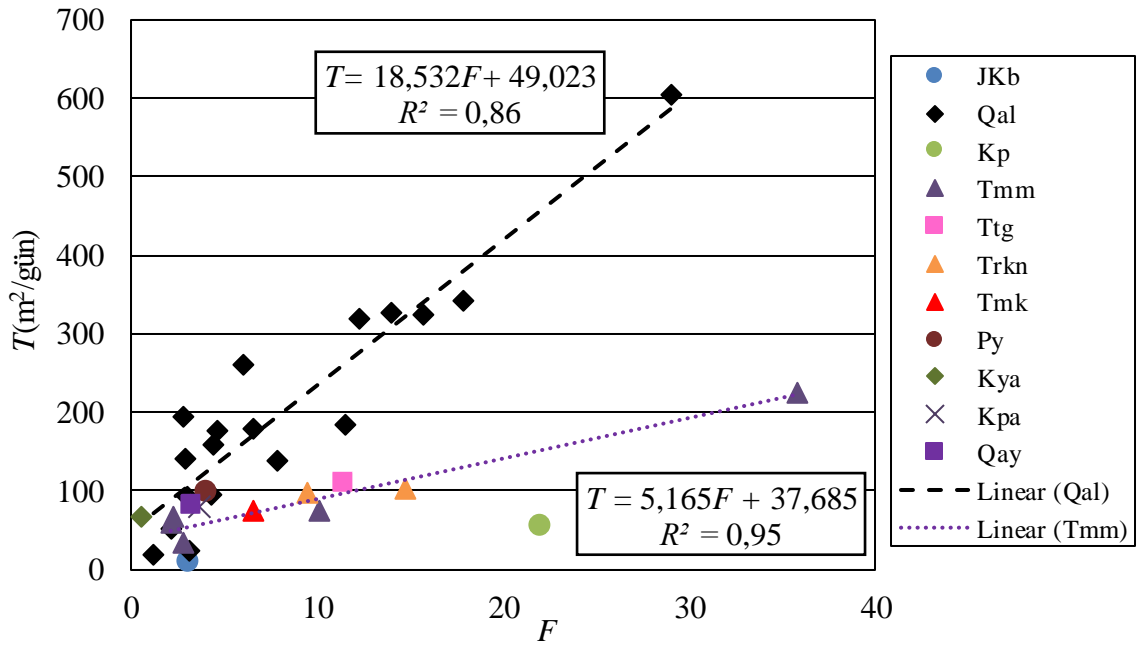
Şekil 4.7. $K_{r-ort} - \rho$ ilişkisi



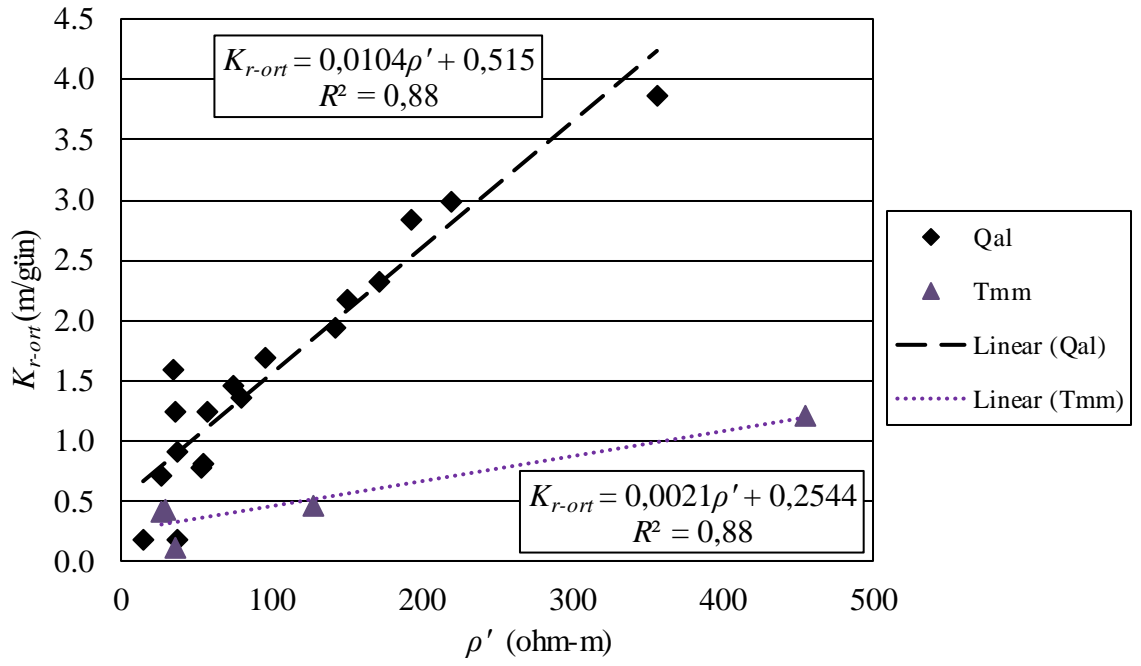
Şekil 4.8. $K_{r-ort} - \rho_0$ ilişkisi



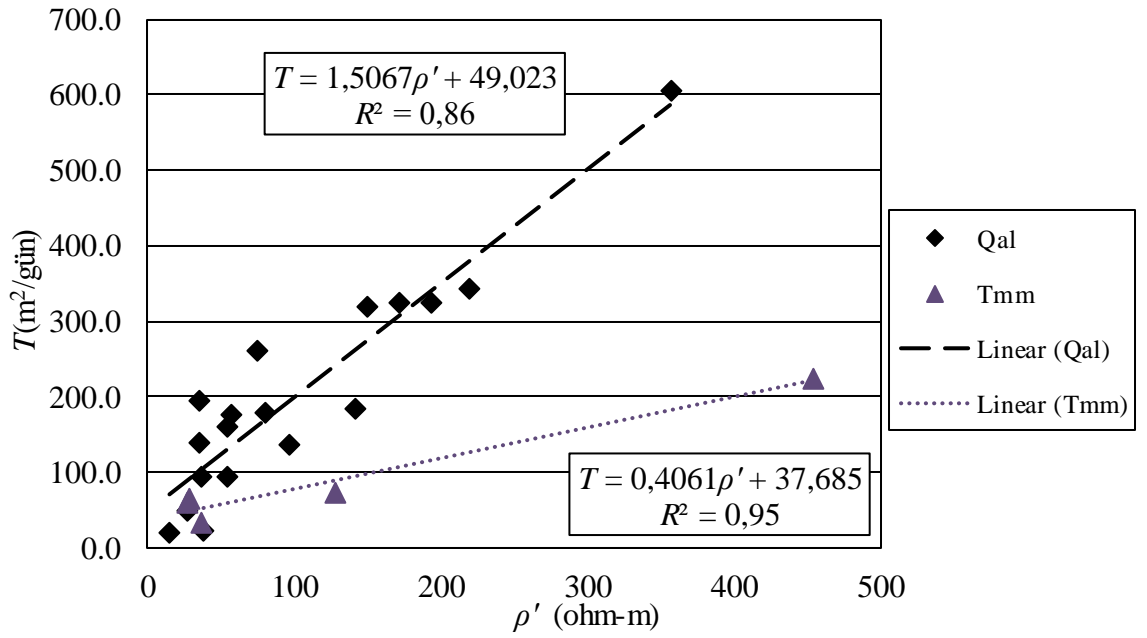
Şekil 4.9. $K_{r-ort} - F$ ilişkisi



Şekil 4.10. $T - F$ ilişkisi



Şekil 4.11. $K_{r-ort} - \rho'$ ilişkisi



Şekil 4.12. $T - \rho'$ ilişkisi

Çalışmada, kuyudan çekilen yeraltı suyu sadece alındığı derinliğe denk gelen katmandan değil, kuyudaki filtreli kısmın tamamından beslendiği için ρ_0 değerleri filtreli kısmın uzunluğuna bölünerek (L_e), yeraltı suyunun değiştirilmiş özdeirci (ρ_0^*) elde edilmiştir. ρ değerinin ρ_0^* oranlanmasıyla değiştirilmiş formasyon faktörü (F^*) elde edilmiştir. Bu değerlere Çizelge 4.4’de yer verilmiştir.

$$F^* = \frac{\rho}{\rho_0/L_e} = \frac{\rho}{\rho_0^*} \quad (4.2)$$

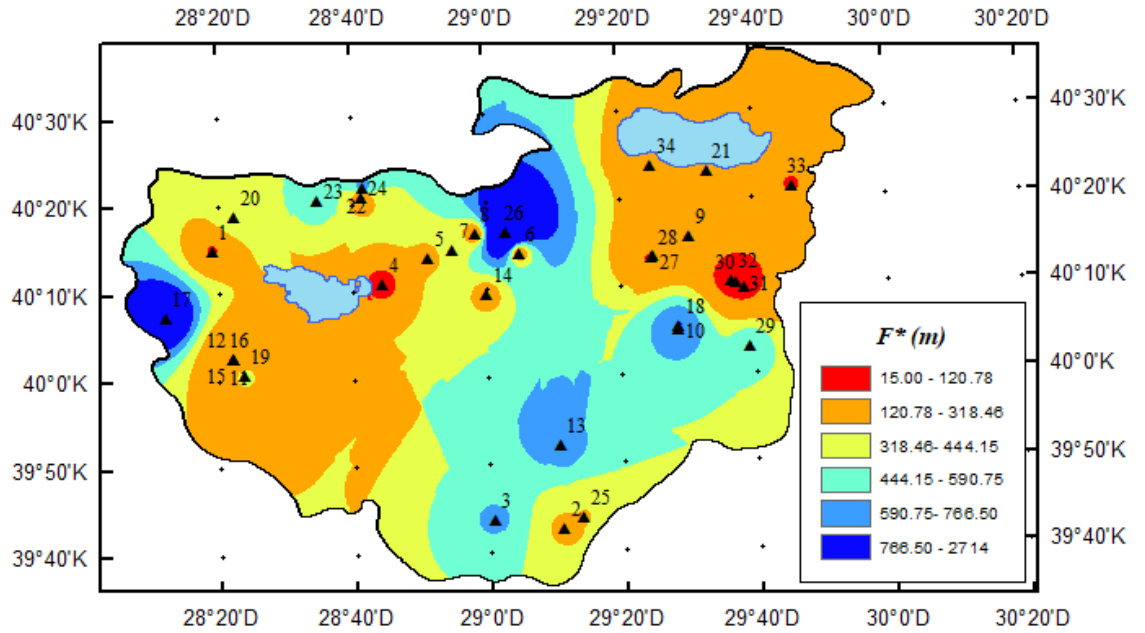
Çizelge 4.4. Hesaplanan F^* değerleri

Çalışma no	F	L_e (m)	F^* (m)
1	3,03	36	109,18
2	6,54	44	287,77
3	21,95	28	614,46
4	1,19	40	47,72
5	2,83	92	260,56
6	4,43	40	177,34
7	6,05	60	362,77
8	2,25	60	134,99
9	4,66	44	205,03
10	12,20	60	731,88
11	3,07	52	159,45
12	2,98	40	119,10
13	11,34	60	680,40
14	9,47	24	227,27
15	2,88	44	126,60
16	2,81	44	123,79
17	28,99	52	1507,32
18	17,81	44	783,50
19	11,54	36	415,48
20	14,66	28	410,59
21	7,83	20	156,51
22	13,91	52	723,34
23	10,07	56	563,64
24	2,11	44	92,87
25	6,57	48	315,46

Çizelge 4.4. Hesaplanan F^* değerleri (devam)

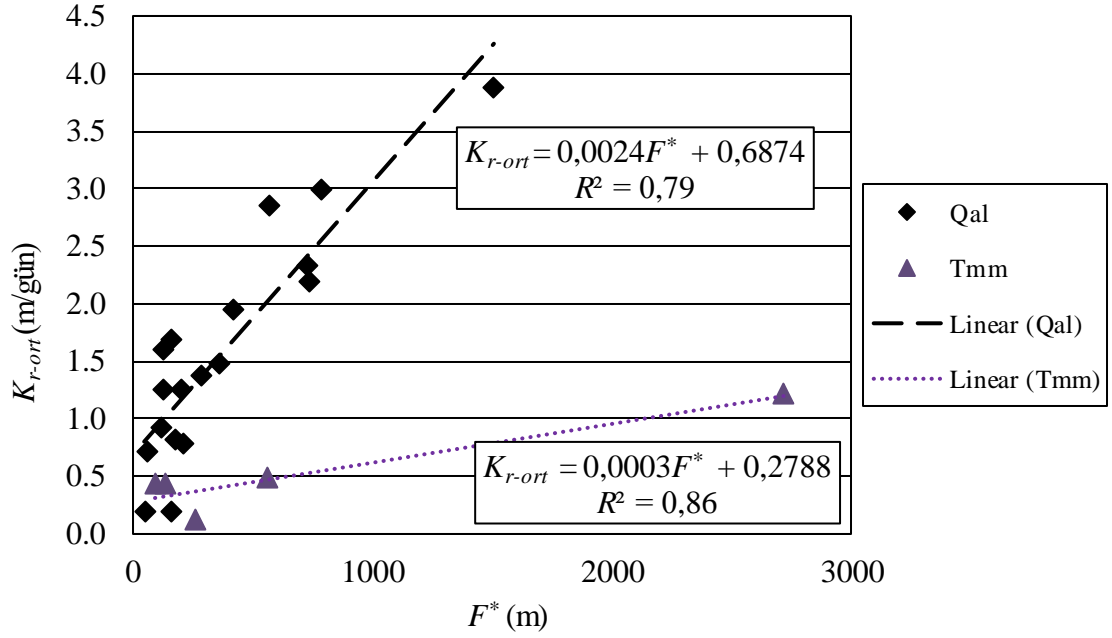
Çalışma no	F	L_e (m)	F^* (m)
26	35,75	76	2717,30
27	4,33	48	207,98
28	2,17	28	60,62
29	15,72	36	565,85
30	2,47	32	78,93
31	3,96	20	79,28
32	0,50	32	16,04
33	3,69	32	117,94
34	3,16	40	126,25

CBS yazılımı olan ARCGIS ortamında IDW kullanılarak üretilmiş olan F^* haritası Şekil 4.13'de sunulmuştur. 32 (Kya) numaralı çalışma F^* değerinin en düşük olduğu, 17 (Qal) ve 26 (Tmm) numaralı bölgeler ise F^* değerinin yüksek olduğu kısımlardır.

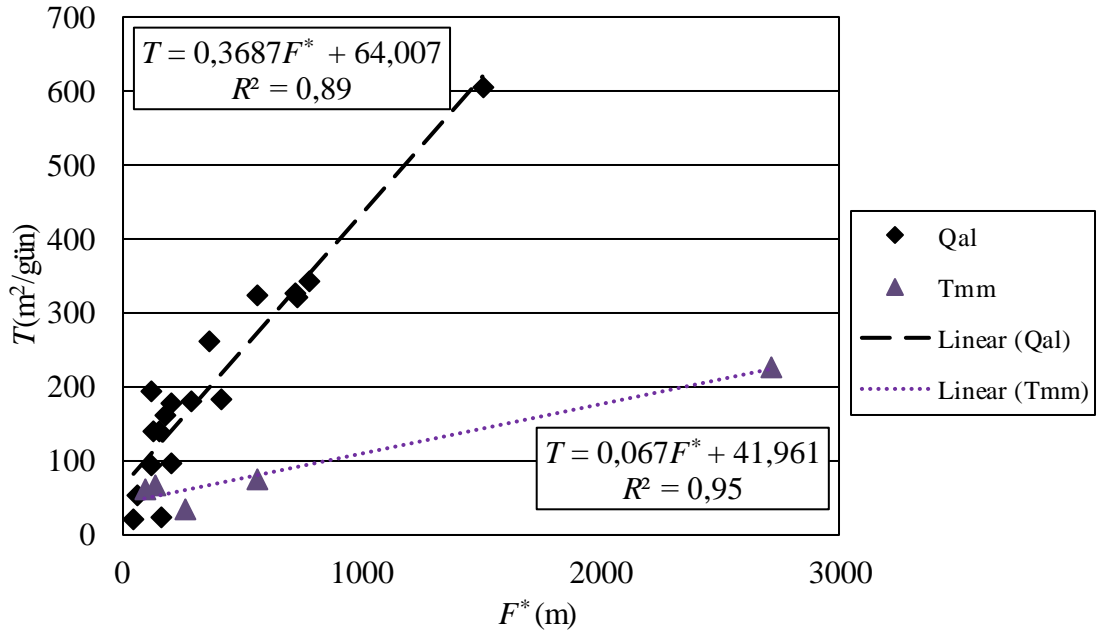


Şekil 4.13. Çalışma alanı kapsamında F^* haritası

Qal ve Tmm formasyonları için K_{r-ort} ile F^* arasındaki ilişkiye ve T ile F^* arasındaki ilişkiye yer verilmiştir (Şekil 4.14, Şekil 4.15). Burada hesaplanan determinasyon katsayısı (R^2) değerlerinin de yüksek çıktığı görülmüştür.



Şekil 4.14. $K_{r-ort} - F^*$ ilişkisi



Şekil 4.15. $T - F^*$ ilişkisi

İki parametre arasındaki doğrusal ilişkinin gücünü belirlemek için korelasyon katsayısı (r) aşağıda yer verildiği şekilde hesaplanmaktadır. r değeri -1 ile 1 arasında değişmektedir. $r= 1$ ise incelenen parametreler arasında mükemmel pozitif doğrusal ilişki söz konusudur. $r= -1$ ise incelenen parametreler arasında mükemmel negatif doğrusal ilişki söz konusudur. $r= 0$ ise parametreler arasında doğrusal ilişki söz konusu değildir. r değeri 1'e yaklaştıkça ilişkinin kuvveti(derecesi) artmakta, -1'e yaklaştıkça ilişkinin kuvveti(derecesi) azalmaktadır.

$$r = \frac{n \sum AB - (\sum A) (\sum B)}{\sqrt{n(\sum A^2) - (\sum A)^2} \sqrt{n(\sum B^2) - (\sum B)^2}} \quad (4.3)$$

r = Korelasyon katsayısı

n = Ölçüm değerlerinin adedi

A, B = Karşılaştırılan parametreler

Hesaplanan R^2 ifadesi ise 0 ile 1 arasında değişmektedir. R^2 ne kadar 1'e yakınsa ölçüm değerleri ile bu değerlerden geçirilen denklem okadar uyumlu demektir. R^2 aşağıda belirtildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_i - Y_x)^2}{\sum(Y_i - \bar{Y})^2} \quad (4.4)$$

R^2 = Determinasyon katsayısı

Y_i = Ölçümlerin y değerleri

Y_x = Lineer regresyon doğrusu üzerinde x koordinatına denk gelen y değerleri

\bar{Y} = Ölçümlerin y değerlerinin aritmetik ortalaması

Hidrolik ve jeoelektriksel parametreler arasındaki ilişki Çizelge 4.5’de sunulmuştur.

Çizelge 4.5. Hesaplanan lineer regresyon denklemleri, R^2 ve r değerleri

		Lineer regresyon denklemi	R^2	r
$K_{r-ort} - F$	Qal	$K_{r-ort} = 0,1284F + 0,515$	0,88	0,94
	Tmm	$K_{r-ort} = 0,0263F + 0,2544$	0,88	0,94
$T - F$	Qal	$T = 18,532F + 49,023$	0,86	0,92
	Tmm	$T = 5,165F + 37,685$	0,95	0,97
$K_{r-ort} - \rho'$	Qal	$K_{r-ort} = 0,0104\rho' + 0,515$	0,88	0,94
	Tmm	$K_{r-ort} = 0,0021\rho' + 0,2544$	0,88	0,94
$T - \rho'$	Qal	$T = 1,5067\rho' + 49,023$	0,86	0,92
	Tmm	$T = 0,4061\rho' + 37,685$	0,95	0,97
$K_{r-ort} - F^*$	Qal	$K_{r-ort} = 0,0024F + 0,6874$	0,79	0,89
	Tmm	$K_{r-ort} = 0,0003F + 0,2788$	0,86	0,93
$T - F^*$	Qal	$T = 0,3687F^* + 64,007$	0,89	0,94
	Tmm	$T = 0,067F^* + 41,961$	0,95	0,97

Çalışmada Qal ve Tmm formasyonları için $K - F$, ve $K - F^*$ arasındaki ilişki incelendiğinde, hesaplanan R^2 ve r değerlerine bakarak, her iki formasyon içinde $K - F$ arasındaki ilişkinin $K - F^*$ arasındaki lineer ilişkiye göre daha kuvvetli olduğu görülmüştür.

Qal ve Tmm formasyonları için , hesaplanan R^2 ve r değerlerine bakarak, $T - F$ ile $T - F^*$ arasındaki ilişki incelendiğinde ise $T - F^*$ arasındaki ilişkinin $T - F$ arasındaki lineer ilişkiye göre daha kuvvetli olduğu görülmüştür.

Gerek slug testin gerekse DES yönteminin arazi uygulaması oldukça zordur. Örneğin; slug testin arazide uygulanması esnasında hacmi bırakırken çok hızlı olmak gerekmektedir. Çünkü teoride hacmin kuyuya anlık olarak bırakıldığı varsayılır. Ancak uygulamada, hacmin anlık olarak bırakılması mümkün olmamaktadır. $H(t)/H_0 - t$ grafiğinin (Şekil 3.13) ilk kısmında gözlenen hızlı alçalma değerlendirmeye alınmadığı için bahsedilen bu durumun önemli bir hataya sebep olmadığı düşünülmektedir.

Ayrıca Dagan metodunun analitik çözümünde hidrolik iletkenliği bulmak hedeflenirken yöntemin uygulanmasında K_z/K_r anizotropi oranının bilinmesi veya varsayılması gerekmektedir. Ayrıca bu metotta boyutsuz akım parametresi (P) değerlerini bulmak için kullanılan çizelgelerin ön koşulları arazi durumunu her zaman yansıtmamaktadır. Bu koşullarda yöntem kullanışlı olmaktan çıkmaktadır.

IPI2win yazılımı ile tabakaların gerçek özdirençleri ve kalınlıkları bulunurken katman sayısının belirlenmesi kullanıcıya bırakılmıştır. Bu çözümler gerçekleştirilmeden önce kuyu loglarının alınıp, incelenerek katman sayısının bilinmesi ve programa atanması daha gerçekçi olacaktır. Kuyu logu alınmayan bölgeler için genel jeoloji göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmalıdır.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, Bursa'da 1 adet Bilecik kireçtaşı (JKb), 18 adet Alüvyon (Qal), 1 adet Piribeyler Şistleri (Kp), 5 adet Mudanya formasyonu (Tmm), 1 adet Güragaç üyesi (Ttg), 2 adet Nilüfer formasyonu (Trkn), 2 adet Köprühisar formasyonu (Tmk), 1 adet Yörüktepe formasyonu (Py), 1 adet Yarhisar formasyonu (Kya), 1 adet Paşayayla formasyonu (Kpa) ve 1 adet Akarsu yelpaze çökellerinde (Qay) bulunan 11 farklı formasyonda toplamda 34 adet arazi çalışması yürütülmüştür. Bahsedilen bölgelerde Schlumberger dizilimi kullanılarak düşey elektrik sondaj (DES) yöntemi uygulanmıştır. Araziden elde edilen ölçüm değerleri IPI2win yazılımı ile işlenerek katmanların gerçek özdirençleri (ρ) bulunmuştur. Yeraltı suyunun çekilebileceği katmanlar belirlendikten sonra çalışma kapsamında 34 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan kuyulardan alınan su numunelerinin elektrik iletkenliği (EC) ve pH'ı laboratuvarında ölçülmüştür. EC değeri kullanılarak suyun özdirenci (ρ_0) hesaplanmıştır. Her bir lokasyon için ρ değeri, ρ_0 'a oranlanarak formasyon faktörü (F) elde edilmiştir. Bunlara ek olarak, bahsedilen bölgelerde slug testler uygulanmış olup, hidrolik iletkenlik (K_r) değerleri Bouwer-Rice ve Dagan analitik metotları kullanılarak bulunmuştur. Bunların aritmetik ortalaması (K_{r-ort}) alınmıştır. Hidrolik iletkenlik ile akiferin doymun kalınlığı çarpılarak transmisivite (T) elde edilmiştir. Farklı tip formasyonlarda K_{r-ort} ile F arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca K_{r-ort} ile ρ , K_{r-ort} ile ρ_0 , K_{r-ort} ile akiferin değiştirilmiş özdirenci (ρ'), K_{r-ort} ile değiştirilmiş formasyon faktörü (F^*), T ile F , T ile ρ' ve T ile F^* arasındaki ilişki de incelenmiştir.

Çalışılan bölgelerde K_{r-ort} 0,12 ile 3,88 m/gün arasında, T 10,94 ile 606,03 m²/gün arasında, F 0,50 ile 35,75 arasında, ρ' 8,81 ile 454,79 ohm-m arasında, F^* ise 16,04 ile 2717,30 m arasında, toplam çözünmüş katı miktarı (TDS) değerlerinin 213,12 (mükemmel su) ile 3776 ppm (kabul edilemez sınırlar içinde yer alan su) arasında, pH değerlerinin 6,89 ile 8,69 arasında değiştiği görülmüştür. Yeraltı suyunun EC değerlerinin 333 ile 5900 $\mu S/cm$ arasında değiştiği görülmüştür. EC , genel olarak suda çözünmüş toplam katı madde miktarı veya suyun tuzluluğu hakkında bilgi verir. Buna göre tuzluluk oranı en düşük yeraltı suyuna İznik Müşküle'de, tuzluluk oranı en yüksek yeraltı suyuna Osmangazi Alaşar'da rastlanmıştır. Ayrıca, EC değerleri birbirine benzer

olan yeraltı suyuna sahip bölgelerde, formasyonun ρ değeri yüksek olanın K_{r-ort} değerinin de yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1, Çizelge 4.2).

Her bir formasyon tipi için hesaplanan hidrolik iletkenliklerin tümünün aritmetik ortalaması (\bar{K}_{r-ort}) hesaplanmış ve formasyon tipine karşılık Şekil 4.1'de sunulmuştur. Şekil 4.1'de \bar{K}_{r-ort} en yüksek Trkn formasyonunda, en düşük ise JKb formasyonunda olduğu görülmektedir. Trkn formasyonu çatlaklı bir yapıda olduğundan bırakılan suyun çatlaklardan kolayca dağılmış olması muhtemeldir. Bu sebepten dolayı Trkn formasyonunun \bar{K}_{r-ort} değerinin diğer formasyonlardan yüksek çıktığı düşünülmektedir.

Farklı formasyonlardan oluşan çalışma alanı değerlendirildiğinde bölgelerin katman sayısı 3 ile 6 arasında değişmektedir. Katman sayısının en çok olduğu bölge Büyükorhan Gedikler'dir (Çizelge 4.3).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında mesafenin tersi ağırlıklı metot (IDW) ile ölçüm alınan lokasyonlardaki K_{r-ort} , F , TDS , pH ve ρ' değerleri kullanılarak dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6). Bu şekilde ölçüm alınmayan bölgeler için yorum yapmak mümkün olmaktadır.

Çalışılan bölgeler kapsamında Bursa ilinin kuzeyinde ve kuzeybatısında K değerinin düşük olduğu (1, 4, 5) batıda ise yükseldiği (17) görülmüştür (Şekil 4.2). En verimli akiferlerin güneydoğu ve batıda olduğu görülmüştür. Bursa ilinin kuzeydoğusunda F değerinin düşük (32) olduğu, kuzeyde ve batıda yükseldiği (17, 26) görülmüştür (Şekil 4.3). Bursa ilinin genelinde TDS değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. 21 numaralı çalışma bölgesinde TDS 'nin en düşük olduğu kısım iken, 26 numaralı bölge ise bu değerlerin en yüksek olduğu kısımdır (Şekil 4.4). Kuyulardan alınan su numunelerinin ölçülen pH değerlerine bakıldığında yeraltı suyunun genelde bazik olduğu görülmüştür. 31 numaralı çalışma bölgesi pH'm en düşük olduğu, 8 numaralı bölge ise en yüksek olduğu kısımdır (Şekil 4.5). Bursa ilinin kuzeydoğusunda (32) ve orta batı kesiminde (4) ρ' değerinin düşük olduğu, kuzeyde (26), batıda (17) ve güneyde (3) ise yükseldiği görülmüştür (Şekil 4.6). IDW ile oluşturulan Şekil 4.13'de sunulmuş olan F^* dağılım

haritasından görüldüğü üzere Bursa ilinin kuzeydoğusunda F^* değeri düşük (32), kuzeyde ve batıda (17, 26) ise yüksektir.

Bu çalışmadaki bölgeler için K_{r-ort} ile ρ arasında ve K_{r-ort} ile suyun öz direnci (ρ_0) arasında bir ilişki söz konusu değildir. Ancak genel anlamda Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de K_{r-ort} değerlerinin Qal formasyonunda, Tmm formasyonuna nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada, sadece Qal ve Tmm formasyonlarında ikiden fazla lokasyonda çalışma yapıldığından bu iki formasyon için yorum yapmak daha anlamlı olacaktır. Qal formasyonu için en uygun doğrunun denklemi $K=0,1284F+0,515$ ($R^2=0,88$). Tmm formasyonu için ise en uygun doğrunun denklemi $K=0,0263F+0,2544$ ($R^2=0,88$) olarak bulunmuştur. Sikandar ve Christen (2012) yürüttükleri çalışmada $K=6,8493F+34,216$ şeklinde bir denklem bulmuştur. Yadav (1995) ise denklemi $K=21,18F-4,48$ şeklinde bulmuştur.

Yadav (1995) aynı zamanda T ile F ve T ile ρ' arasındaki ilişkiyi de incelemiştir. Denklemleri $T=595,8F-5,1$ ve $T=18,14\rho'$ şeklinde bulmuştur. Bu çalışmada ise Qal formasyonu için en uygun doğrunun denklemleri $T=18,532F+49,023$ ($R^2=0,86$) $T=1,5067\rho'+49,023$ ($R^2=0,86$). Tmm formasyonu için ise en uygun doğrunun denklemleri $T=5,165F+37,685$ ($R^2=0,95$) ve $T=0,4061\rho'+37,685$ ($R^2=0,95$) olarak bulunmuştur. Elde edilen doğruların eğimlerinin farklı olduğu görülmektedir. Bu denklemlerin çalışılan bölgedeki jeolojik formasyonu temsil ettiği düşünülmektedir. Aynı formasyonda gerçekleştirilen çalışmalara benzer olarak, mevcut çalışmada da K ile F arasında ve T ile F arasında lineer bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10).

Yeraltı suyu, sadece su numunesinin alındığı katmandan değil, kuyudaki filtreli kısmın tamamından beslendiği düşünülerek K ile F^* arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada $K - F^*$ arasında da lineer bir ilişki ortaya çıkmıştır. Qal ve Tmm formasyonları için hesaplanan determinasyon katsayıları (R^2) yüksektir. Ancak $K - F$ için hesaplanan R^2 değerlerinin, $K - F^*$ daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı zamanda $K - F$

arasındaki ilişki incelendiğinde Qal ve Tmm formasyonları için korelasyon katsayısı (r) 0,94 olarak hesaplanmıştır. $K - F^*$ arasındaki ilişki incelendiğinde ise Qal formasyonu için $r=0,89$ iken Tmm formasyonu için hesaplanan $r=0,93$ 'dür. Buradan, her iki formasyon içinde $K - F$ arasındaki lineer ilişkinin, $K - F^*$ arasındaki lineer ilişkinden daha kuvvetli olduğu anlaşılmaktadır. $T - F$ arasındaki ilişki incelendiğinde ise Qal formasyonu için $r=0,92$ Tmm formasyonu için $r=0,97$ olarak hesaplanmıştır. $T - F^*$ arasındaki ilişki incelendiğinde Qal formasyonu için $r=0,94$ Tmm formasyonu için $r=0,97$ olarak hesaplanmıştır. Buradan, her iki formasyon için de $T - F^*$ arasındaki lineer ilişkinin, $T - F$ arasındaki lineer ilişkinden daha kuvvetli olduğu anlaşılmaktadır. En kuvvetli lineer ilişkinin $T - F^*$ arasında olduğu bulunmuştur.

Yeraltı suyu kaynaklarının geliştirilmesi bölge hidrojeolojisinin hassas bir şekilde anlaşılmasına bağlıdır. Bu çalışmadan elde edilen hidrojeolojik bilgiler, çalışılan bölgede yeraltı suyunun etkin kullanımında ve muhtemel yönetim planlarının oluşturulmasında bir temel teşkil edecektir. Aynı zamanda yeraltı suyu kalite koruma çalışmalarına yardımcı olacaktır.

Arazi çalışmalarında verinin mümkün olan en hassas şekilde toplanması sonuçların güvenilirliği bakımından son derece önemlidir. Gelecek çalışmalarda, mevcut konuyla ilgili jeoelektriksel etütlerde Schlumberger dizilimi yerine iki boyutlu bilgi sağlayan Wenner dizilimi kullanılmasıyla ölçümlerin hassasiyet artırılabilir. Ayrıca hidrolik parametreleri belirlerken kuyu civarında daha geniş alanları temsil etmesi açısından slug testler yerine pompalama testleri uygulanabilir. Bu çalışmada Qal ve Tmm formasyonlarına ağırlık verilmiştir. Çalışmanın, daha farklı formasyonlara odaklanarak geliştirilebileceği ve her formasyon için kendine özgü eğriler türetilbileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akyüz, S., Okay, A.I. 1996. A Section Across a Tethyan Suture in Northwest Turkey. *International Geological Review*, 38: 405-418.

Alhassan, U.D., Obiora, D.N., Okeke F.N. 2017. Geoelectrical Investigation of Groundwater Potentials of Northern Paiko, Niger State, North Central Nigeria. *Journal of Earth Science*: 103-112.

Altner, D., Koçyiğit, A., Farinacci, A., Nicosia, U., Conti, M.A. 1991. Jurassic, Lower Cretaceous Stratigraphy and Paleogeographic Evolution of the Southern Part of North-Western Anatolia. *Geol. Romana*, 28: 13-80.

Altınlı, İ.E. 1973. Bilecik Jurasijı 50. Yıl Yerbilimleri Kongresi Tebliğler Dergisi, Maden Tetkik ve Arama Yayını, s. 112-113.

Anonim, 2015. Geoser Yer Bilimler Mühendislik Danışmanlık. Jeoelektriksel Yöntemler. <http://geo-ser.com/index.html#>-(Erişim tarihi:16.02.2015).

Archie, G.E. 1942. The Electrical Resistivity Log As an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics. *Pet Trans AIME* 146:54-62.

Asfahani, J. 2016. Hydraulic Parameters Estimation by Using an Approach Based on Vertical Electrical Soundings (VES) in the Semi-Arid Khanasser Valley Region, Syria. *Journal of African Earth Sciences*, 196-206.

Atekwana, Eliot. A., Atekwana, Estella A., Rowe, Rebecca S., Werkema, Jr Dale D., Legall, Franklyn, D. 2004. The Relationship of Total Dissolved Solids Measurements to Bulk Electrical Conductivity in an Aquifer Contaminated with Hydrocarbon. *Journal of Applied Geophysics*. 56(4):281-294. Elsevier.

Balakrishna, S., Maury, B.S., Narshimulu, G. 2014. GroundWater Potential in Fractured Aquifers of Ophiolite Formations, Port Blair, South Andaman Islands Using Electrical Resistivity Tomography (ERT) and Vertical Electrical Sounding (VES), *Journal Geological Society of India*, 393-402.

Başokur, A.T. 2004. Düşey Elektrik Sondajı Verilerinin Yorumu. Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 225 s.

Bear, J. 1972. Dynamics of Fluids in Porous Media. Dover Publications, New York, USA, 764 pp.

Bingöl, E., Akyürek, B., Korkmazer, B. 1973. Biga Yarımadasının Jeolojisi ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi Tebliğleri, Maden Tetkik ve Arama yayını, s. 70-77, Ankara.

Black, J.H. 1978. The Use of the Slug Test in Groundwater Investigations. *Water Resources*, 174-178.

Bobachow, A. 2002. "IPI2win User's Guide." Moscow State University.

Bouwer, H., Rice, R.C. 1976. A Slug Test Method for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely or Partially Penetrating Wells. *Water Resources Research*, 12, (3): 423-428.

Bouwer, H. 1989. Estimating And Enhancing Groundwater Recharge. In:Sharma ML (ed) Groundwater Recharge. Balkema, Rotterdam, pp 1–10.

Bruvold, W.H., Ongerth, H.J. 1969. Taste quality of mineralized water. Journal of the American Water Works Association, 61:170.

Bumb, A.C., Ramesh, M.S. 1990. Automated Analysis of Slug Test Data. Proceedings of the Outdoor Action Conference 1990, NWWA, 151-159.

Butler, J.J.Jr. 1998. The Design, Performance, and Analysis of Slug Tests. Lewis Publishers, New York, 252p.

Candansayar, M.E. 1997. Doğru Akım Özdirenç Yönteminde Modelleme ve İki Boyutlu Sığ Yapıların Aranmasında Elektrod Dizilimlerinin Ayrımlılıklarının Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.

Chandra, S., Ahmed, S., Ram, A., Dewandel, B. 2008. Estimation of Hard Rock Aquifers Hydraulic Conductivity from Geoelectrical Measurements: A Theoretical Development with Field Application. *Journal of Hydrology*, 357: 218-227.

Cooper, H.H., Jacob C.E. 1946. A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History, *Am. Geophys. Union Trans.*, 27: 526-534.

Coşkun, A. 2005. Yeraltı Su Kaynaklarının Terrameter Sas 300C Cihazı ile Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Elazığ.

Dagan, G. 1978. A Note on Packer, Slug, and Recovery Tests in Unconfined Aquifers, *Water Resources Research*, 14, (5): 929-934.

Darcy, H. 1856. Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon, V. Dalmont, Paris.

Demirkol, C. 1977. Üzümlü-Tuzaklı (Bilecik) Dolayının Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 20, 1: 9-16.

Dupuit, J. 1863. Etude Théorique Et Pratique Sur Le Mouvement Des Eaux Dans Les Canaux Découverts Et à Travers Les Terrains Perméables. 2nd ed. Paris, France: Dunod.

Emre, Ö., Erkal, T., Tchepalyga, A., Kazancı, N., Keçer, M., Ünay, E. 1998. Marmara Bölgesinin Neojen–Kuvaterner’deki Evrimi, *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, 120: 233- 258.

Eryılmaz, G. 2013. Kuyu Testlerine Dayalı Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Akifer Hidrolik İletkenliğinin Belirlenmesi . *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Hidrolik Anabilim Dalı, Bursa.

Genç, Ş. 1986. Geology of the Region Between Uludağ and the İznik Lake: Guide Book for the Field Excursion along Western Anatolia, Turkey: MTA Publ., 19-25.

Göncüoğlu, C., Turhan, N., Şentürk, K., Uysal, Ş., Özcan, A. ve Işık, A. 1996. Orta Sakarya’da Nallıhan Sarıcakaya Arasındaki Yapısal Birliklerin Jeolojik Özellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 10094.

Görmüş, M., Hançer, M. 1997. Dereboğazı (Isparta Güneyi) Dolaylarındaki Karabayır Formasyonu’na ait Fasiyes Bulguları. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, (1): 39-50.

Gürbüz, M., Koç, N., Hamzaçebi, G. 2005. Jeofiziksel Yaklaşımlarla Heyelan Yapısının Araştırılması. Deprem sempozyumu, Kocaeli.

Gyulai A', Szucs P., Turai E., Baracza M.K., Fejes Z. 2017. Geoelectric Characterization of Thermal Water Aquifers Using 2.5D Inversion of VES Measurements. *Surv Geophys.*, 503-526.

Hvorslev, M.J. 1951. Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations, Bull. No. 36, Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi, pp. 1-50.

Ibanga, J.I., George, N.J. 2016. Estimating Geohydraulic Parameters, Protective Strength and Corrosivity of Hydrogeological Units: A Case Study of ALSCON, Ikot Abasi, Southern Nigeria. *Arabian Journal of Geosciences.* 9 (5).

Kanar, F., Pehlivan, Ş., Kandemir, Ö. , Tok, T. , Çakır, K. 2013. 1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:192 Bursa H-22 Paftası. MTA.

Kemblowski, M.W., Klein, C.L. 1988. An Automated Numerical Evaluation of Slug Test Data. *Groundwater*, 26, (4): 435-438.

Kopaçlı, A. 2009. Hatay ili Yayladağ İlçesinde Özdirenç Yöntemiyle Yeraltısuyu Aramaları. *Yüksek Lisans tezi*, ÇÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

Kruseman, G.P., de Ridder, N.A. 1990. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. (2nd ed.), Publication 47, Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 370 p.

Lee, T. 1972. A General Technique for the Direct Interpretation of Resistivity Data Over Two-Dimensional Structures, *Geophysical Prospecting*, 20, 847-859.

Loke, M.H., Barker, R.D. 1995. Least-Squares Deconvolution of Apparent Resistivity Pseudosections, *Geophysics*, 60, 6: 1682-1690.

Loke, M.H. 1997. "Res2DINV Software User's Manual." University Sains Malaysia, Penang.

Loke, M.H. 2000. Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies, a Practical Guide to 2- D and 3-D Surveys: Manual of RES2DINV and RES3DINV softwares.

Mahmoud, H.H., Kotb, A.D.M. 2017. Impact of the Geological Structures on the Groundwater Potential Using Geophysical Techniques in West Bani Mazar Area, El Minia-Western Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 161-173.

Mays, L.W. 2011. Ground and Surface Water Hydrology. Wiley, 617p.

Mbonu, P.D.C., Ebeniro, J.O., Ofoegbu, C.O., Ekine, A.S. 1991. Geoelectric Sounding for the Determination of Aquifer Characteristics in Parts of the Umuahia Area of Nigeria. *Geophysics*, 56(2): 284-291.

McElwee, C.D., Zenner, M. 1998. A Nonlinear Model for Analysis of Slug Test Data. *Water Resources Research*, 34 (1): 55-66.

McElwee, C.D. 2002. Improving the Analysis of Slug Tests. *Journal of Hydrology*, 122–133.

Mohamaden, M.I.I., Ehab, D. 2017. Application of Electrical Resistivity for Groundwater Exploration in Wadi Rahaba, Shalateen, Egypt. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 201–209.

Muhammad, S., Khalid, P. 2017. Hydrogeophysical Investigations for Assessing the Groundwater Potential in Part of the Peshawar Basin, Pakistan. *Environ Earth Sci.*, DOI 10.1007/s12665-017-6833-0.

Mundry, E., Homilus, J. 1972. Resistivity Measurements in Valleys with Elliptic Cross-Section, *Geophysical Prospecting*, 20, 341-362.

Nahm, G.Y. 1980. Estimating Transmissivity and Well Loss Constant Using Multirate Test Data from a Pumped Well. *Ground Water*, Vol.18, No.3: 281-285.

Neuman, S.P. 1972. Theory of Flow in Unconfined Aquifers Considering Delayed Gravity Response of the Water Table. *Water Resources Research*, 8,(4): 1031-1045.

Nguyen, S.P., Pinder, G.F. 1984. Direct Calculation of Aquifer Parameters in Slug Test Analysis. *Water Resources Monograph Series 9*: 222-239.

Niwas, S., Singhal, D.C. 1981. Estimation of Aquifer Transmissivity from Dar Zarrouk Parameters in Porous Media. *J. Hydrol.*, 50: 393-399.

Niwas, S., Singhal, D.C. 1985. Aquifer Transmissivity of Porous Media from Resistivity Data. *J. Hydrol.*, 82: 143-153.

Niwas, S., Celik, M. 2012. Equation Estimation of Porosity and Hydraulic Conductivity of Ruhrtal Aquifer in Germany Using Near Surface Geophysics. *Journal of Applied Geophysics*, 84: 77-85.

Obiora, D.N., Ibuot, J. C., Alhassan, U. D., Okeke, F. N. 2017. Study of Aquifer characteristics in northern Paiko, Niger State, Nigeria, using geoelectric resistivity method. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 1-10.

Okiongbo, K.S., Akpofure, E. 2016. Hydrogeophysical Characterization of Shallow Unconsolidated Alluvial Aquifer in Yenagoa and Environs, Southern Nigeria. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 41(6): 2261-2270.

Ola, S.A., Fadugba, O.G., Uduebor, M.A. 2016. Slug Tests for Determination of Hydraulic Conductivity of Contaminated Wells. *Environment and Natural Resources Research*; 6, (2): 156-165.

Olayinka, A.I., Yaramanci, U. 2000. Use of Block Inversion in the 2-D Interpretation of Apparent Resistivity Data and Its Comparison with Smooth Inversion, *Journal of Applied Geophysics*, 45: 63-81.

Onimisi, M., Kolawole, M.S., Daniel, A., Ebeh, A. 2014. Vertical Electrical Sounding Survey for Groundwater Exploration in Parts of Anyigba and Its Environs, in the Anambra Basin of Nigeria. *British Journal of Applied Science & Technology*, 4(13): 1978-1988.

Orellana, E., Mooney, H.M. 1966. Master Tables and Curves for Vertical Electrical Sounding over Layered Structures: Madrid, Interciencia, 150 p., 66 tables.

Pandit, N.S., Miner, R.F. 1986. Interpretation of Slug Test Data. *Groundwater*, Vol. 24 (6): 743-749.

Papadopoulos, S.S., Bredehoeft, J.D., Cooper Jr., H.H. 1973. On the Analysis of Slug Test Data. *Water Resour. Res.*, 9(4), 1087–1089.

Saner, S. 1977. Gevye-Osmaneli-Gölpazarı-Taraklı Alanının Jeolojisi: Eski Çökeltme Ortamları ve Çökeltmenin Evrimi. Doktora Tezi, İstanbul Üniv., 312 s.

Saner, S. 1980. Mudurnu-Göynük Havzasının Jura ve Sonrası Çökeltim Nitelikleriyle Paleocoğrafya Yorumlanması. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni,s. 39-52.

Sasaki, Y. 1992. Resolution of Resistivity Tomography Inferred from Numerical Simulation, *Geophysical Prospecting*, 40, 453-464.

Sikandar, P., Christen, E.W. 2012. Geoelectrical Sounding for the Estimation of Hydraulic Conductivity of Alluvial Aquifers. *Water Resources Management*, 26:1201-1215.

Sipahi, A. 2013. Sakarya İli Akyazı İlçesi Kuzuluk Mevkiinin Düşey Elektrik Sondajı Verileri İle Jeotermal Potansiyelinin Araştırılması. *Yüksek Lisans tezi*, CÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.

Smith, N.C., Vozoff, K. 1984. Two-Dimensional DC Resistivity Inversion for Dipole-Dipole Data, *IEEE Trans. Geosc. Rem.Sens.*, 22, (1): 21-28.

Soupios, P.M., Kouli, M., Vallianatos, F., Vafidis, A., Stavroulakis, G. 2007. Estimation of Aquifer Hydraulic Parameters from Surficial Geophysical Methods: A Case Study of Keritis Basin in Chania(Crete- Greece). *Journal of Hydrology*, 338:122-131.

Sundararajan, N., Sankaran, S., Al-Hosni, T.K. 2012. Electrical Sounding (VES) and Multi-Electrode Resistivity in environmental Impact Assessment studies Over Some Selected Lakes: A Case Study. *Environ Earth Sci.*, 881–895.

Şentürk, K., Karaköse, C. 1979. Orta Sakarya Dolayının Temel Jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Rapor No: 6642, (yayımlanmamış).

Tekeli, O., Boray, A., Akyürek, B., Akay, E. 1989. Gökçedağ (Dursunbey, Balıkesir) Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No: 8608, Ankara.

Theis, C.V. 1935. The Relation Between the Lowering of the Piezometric Surface and the Rate and Duration of Discharge of a Well Using Groundwater Storage. *Am. Geophys. Union Trans.*, 16: 519-524.

Thiem, G. 1906. Hydrologische Methoden. Leipzig, Germany: Gebhardt.

Tripp, A.C., Hohmann, G.W., Swift, C.M.Jr. 1984. Two-Dimensional Resistivity Inversion, *Geophysics*, 49(10):1708-1717.

Tsourlos, P., Szymanski, J.E., Tsokas, G. 1998. A Smoothness Constrained Algorithm for the Fast 2-D Inversion of DC Resistivity and Induced Polarization Data, *Journal of The Balkan Geophysical Society*, 1,1,3-13.

Türkkan Eryılmaz, G., Korkmaz, S. 2015. Kuyu ve Akifer Testlerine Uygulanan Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Hidrolik İletkenliğin Belirlenmesi . *Teknik dergi*, Cilt 26(1):6969-6991.

Uyamk, O., Çakmak, O., Algül, E., Gürbüz, M., Okumuş A. 2012. Haydarlı Baraj Alanının Elektrik Özdirenc ve Jeolojik Özellikleri. *Jeofizik*, 16:43-53.

Ünalın, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönenç, O., Seyirt, Z ve Selahi, H. 1976. Haymana-Polatlı Yöresinin (Güneybatı Ankara) Üst Kretase-Alt Tersiyer Stratigrafisi ve Paleocoğrafik Evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19: 159-176.

WHO, 1996. Guidelines for drinking-water quality, Health Criteria and Other Supporting Information. Geneva, 2nd ed.(2). World Health Organization.

Yadav, G.S. 1995. Relating Hydraulic and Geoelectric Parameters of the Jayant Aquifer India. *Journal of Hydrology*, 167:23-38.

Yeken, T. 1992. Üç Boyutlu Medeller Üzerinde Deneysel ve Teorik D.C. Özdirenc Ölçümlerinin Yorumu. *Yüksek Lisans tezi*, İÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Gözübol, A.M. ve Yiğitbaş, E. 1981. Abant (Bolu)-Dokurcun (Sakarya) Arasındaki Kuzey Anadolu Fay Zonunun Kuzey ve Güneyinde Kalan Tektonik Birliklerin Jeolojik Evrimi. *İstanbul Yerbilimleri*, 2/3-4,239-261.

Zlotnik, V. 1994. Interpretation of Slug and Packer Tests in Anisotropic Aquifers. *Ground Water*, vol. 32, (5): 761-766.

Zurbuchen, B.R., Zlotnik, V.A., Butler, J.J.Jr. 2002. Dynamic Interpretation of Slug Tests in Highly Permeable Aquifers, *Water Resour. Res.*, 38(3), doi:10.1029/2001WR000354.

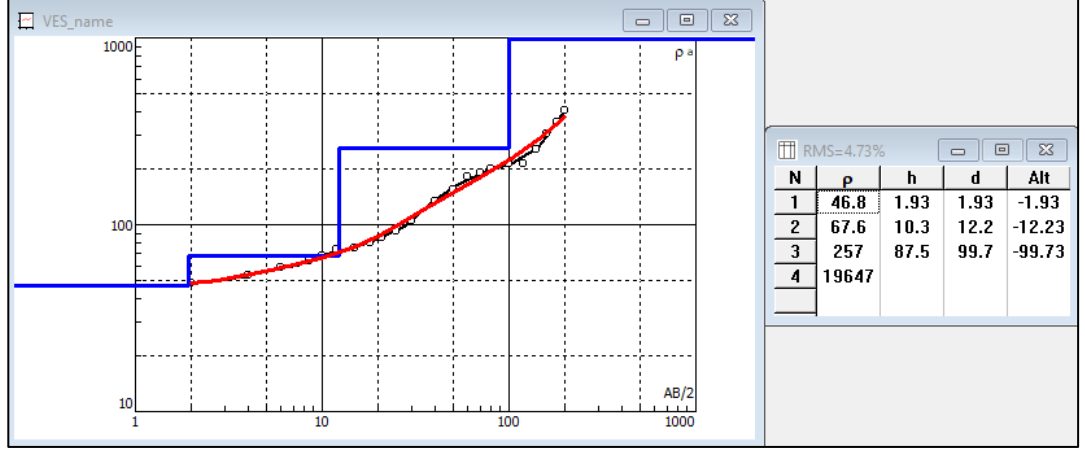
EKLER

EK 1. IPI2win yazılımı ile gerçek özdirencin belirlenmesi

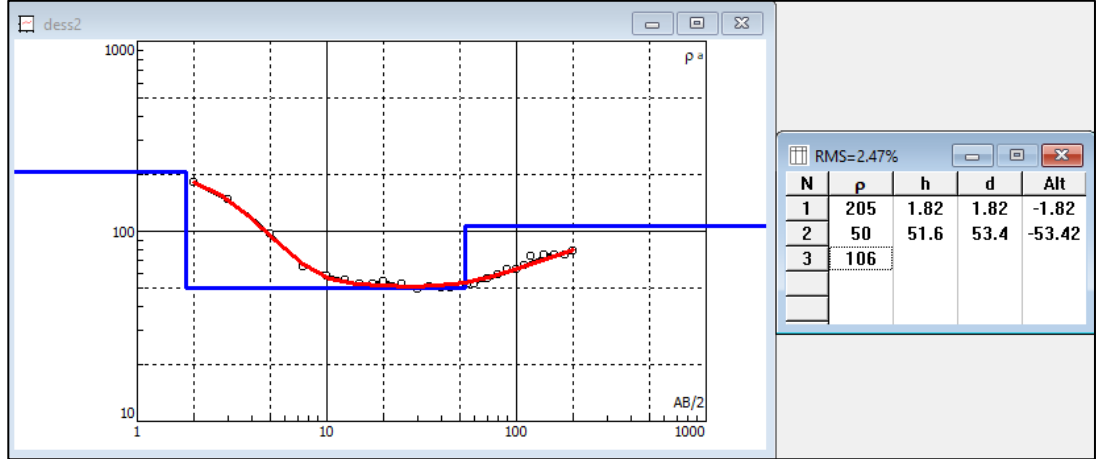
EK 2. Slug test verilerinin analitik zm [$H(t)/H_0-t$ grafikleri]

EK 1. IPI2win yazılımı ile gerçek özdirencin belirlenmesi

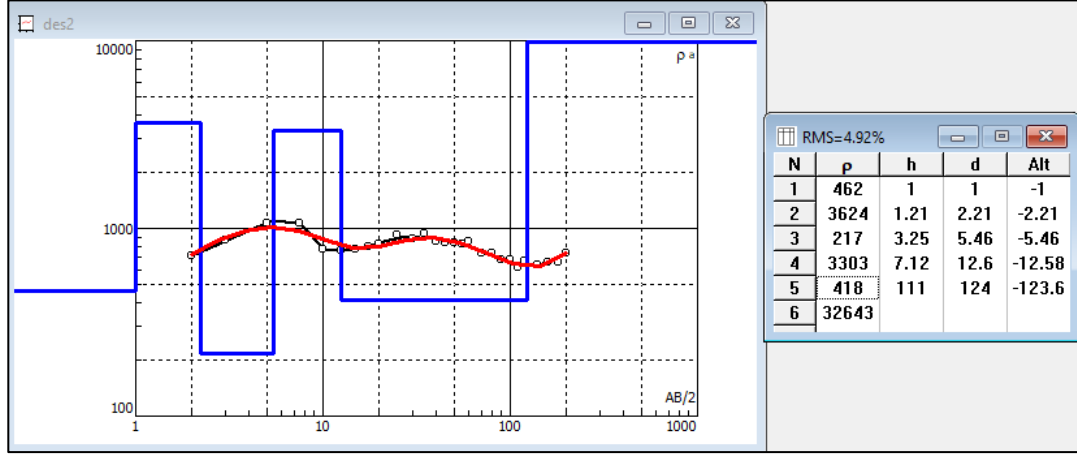
EK 1.1. Karacabey Şahinköy



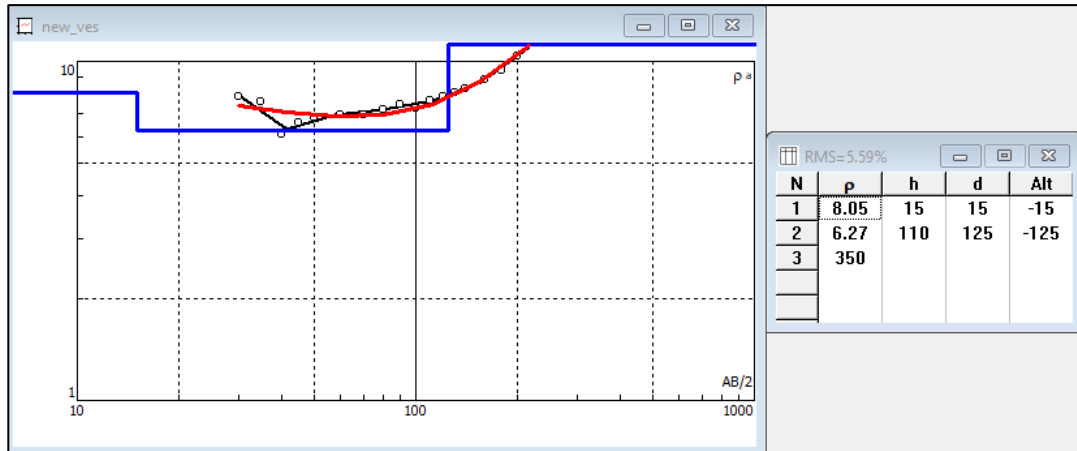
EK 1.2. Harmancık Kılavuzlar



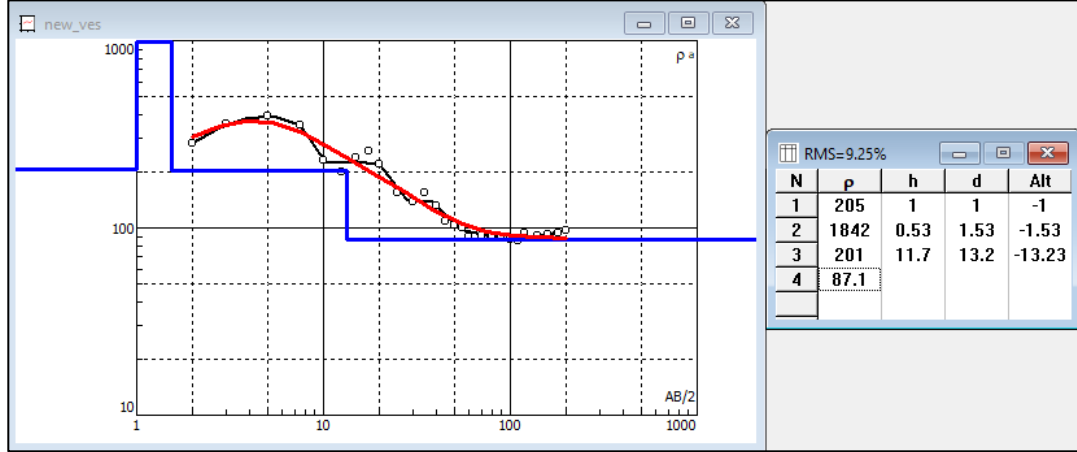
EK 1.3. Büyükorhan Gedikler



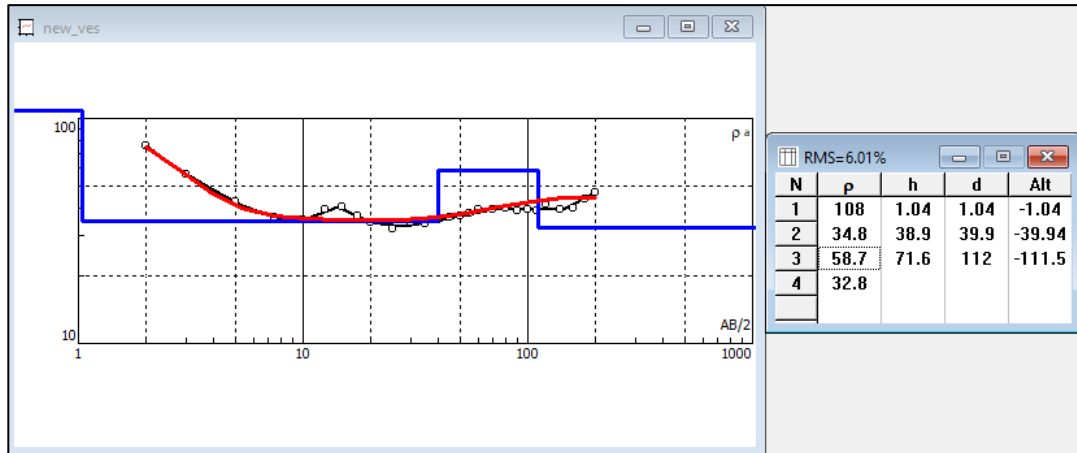
EK 1.4. Nilüfer Akçalar



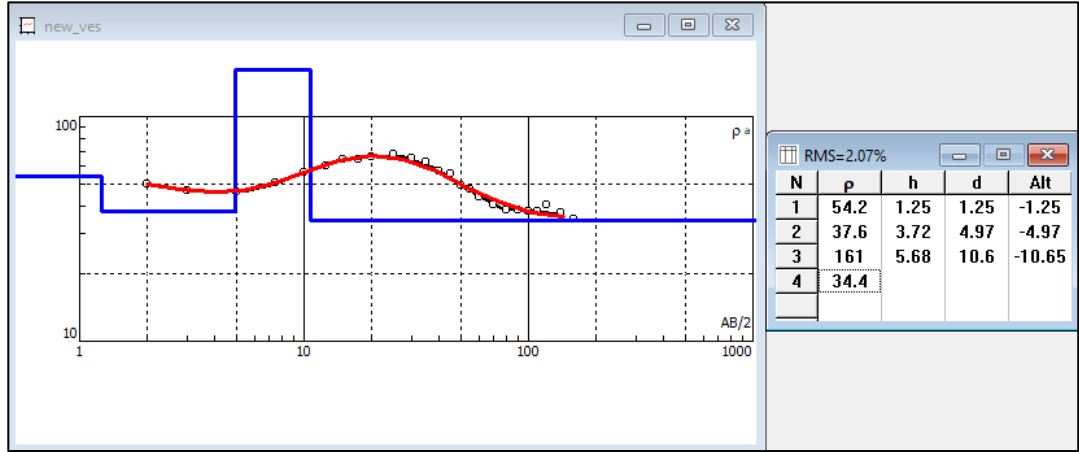
EK 1.5. Osmangazi Doğu Atık Su



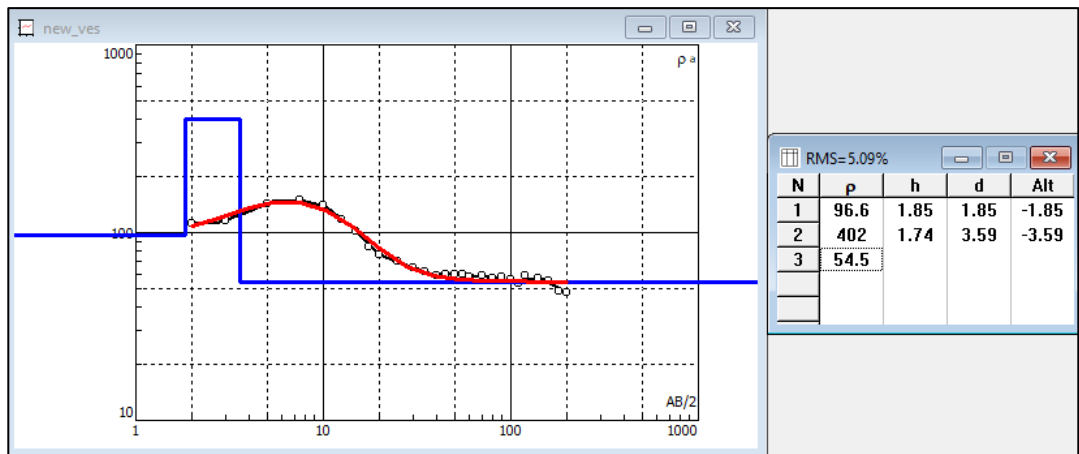
EK 1.6. Nilüfer Özlüce Arıtma



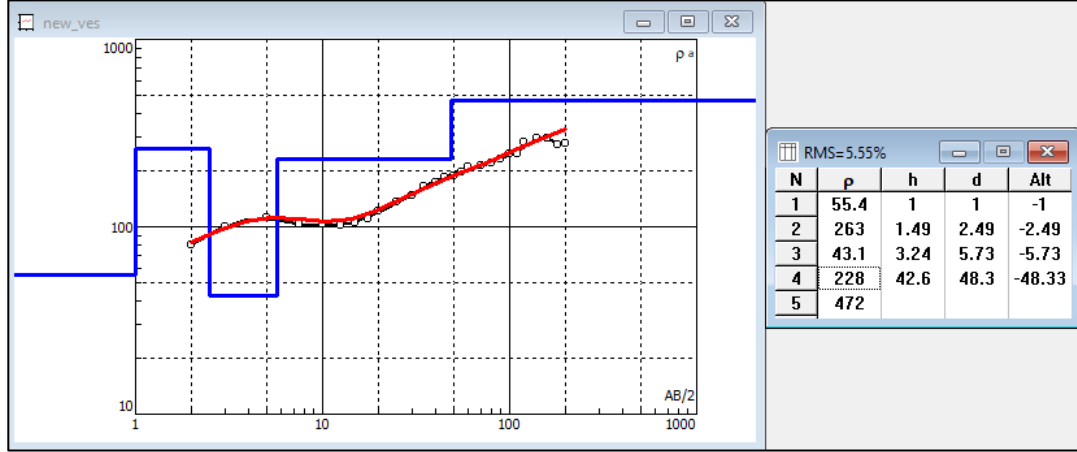
EK 1.7. Osmangazi Hamitler Arıtma



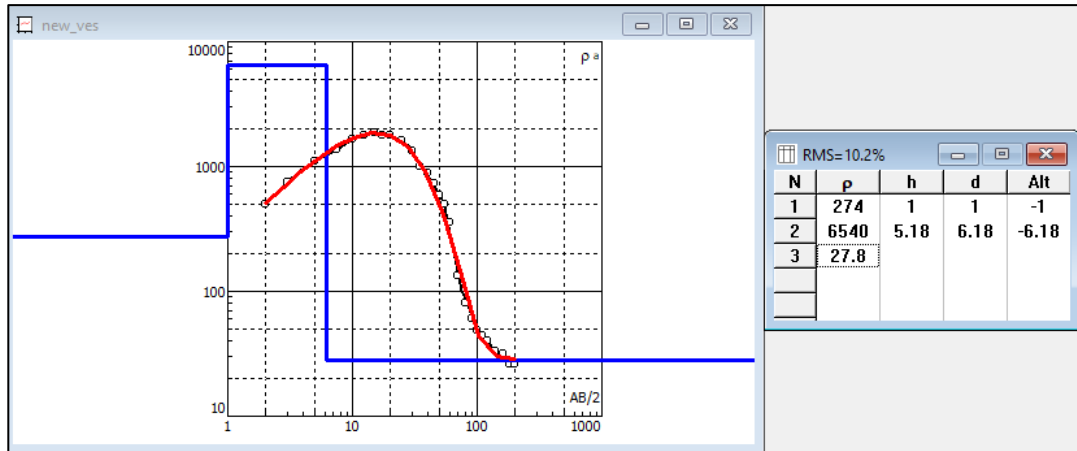
EK 1.8. Yenişehir Çardak Köyü



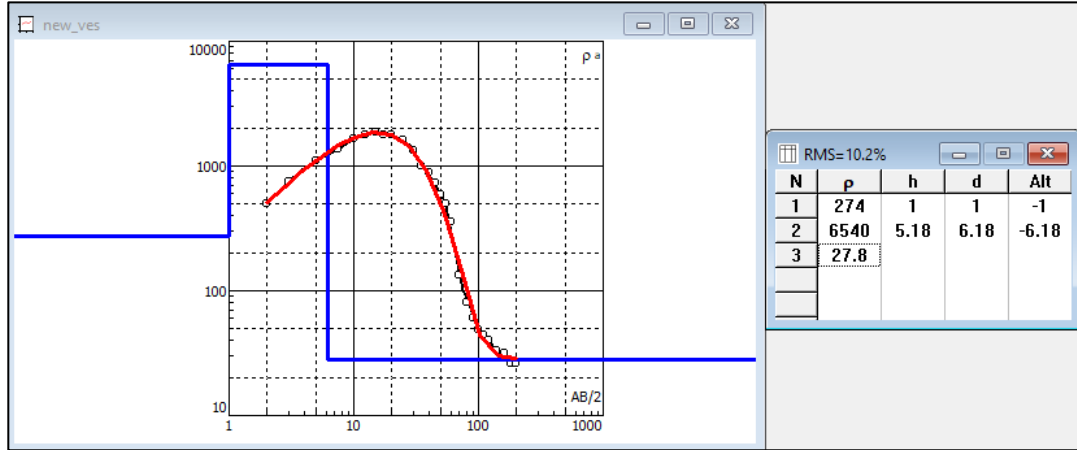
EK 1.9. İnegöl Çeltikçi Köyü-1



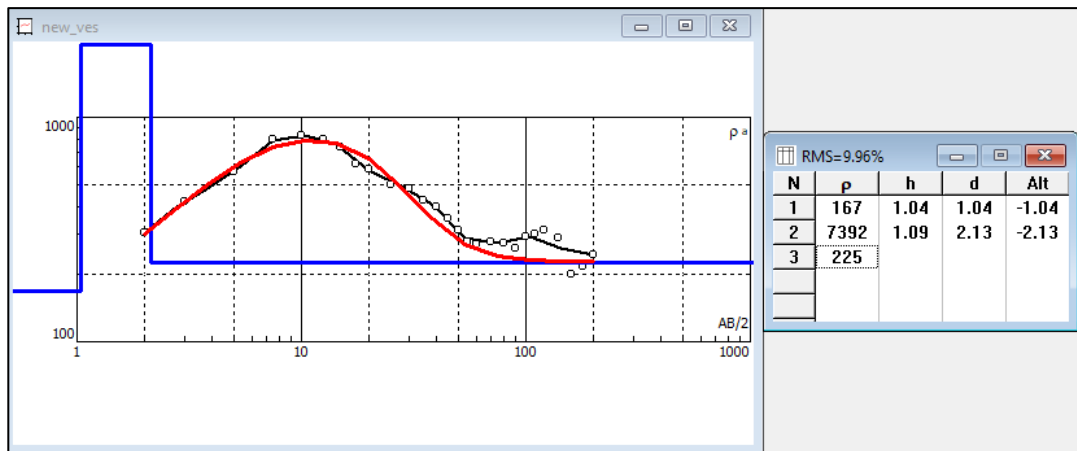
EK 1.10. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 1. kuyu



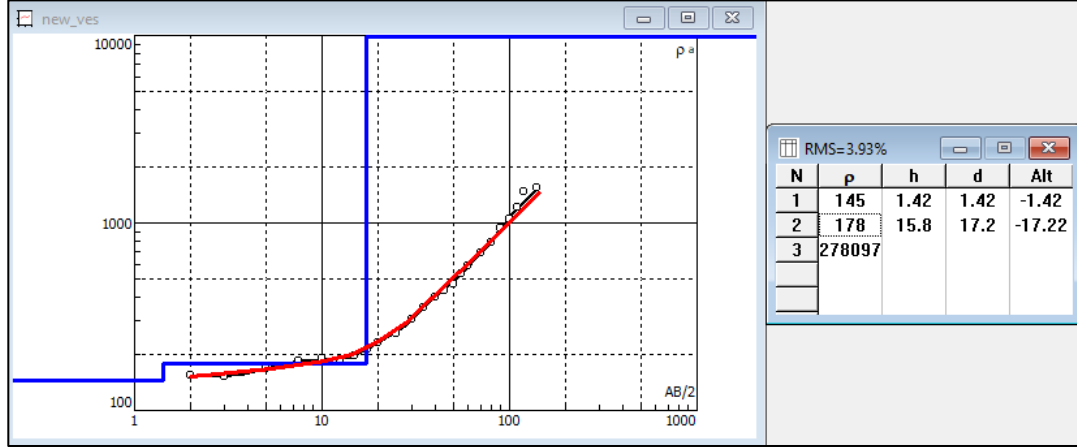
EK 1.11. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 2. kuyu



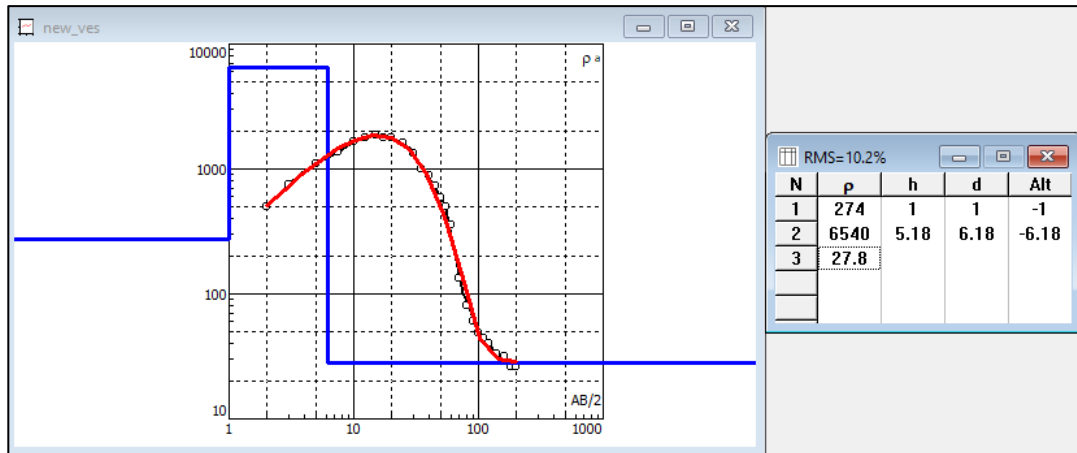
EK 1.12. Keles Akçapınar Köyü



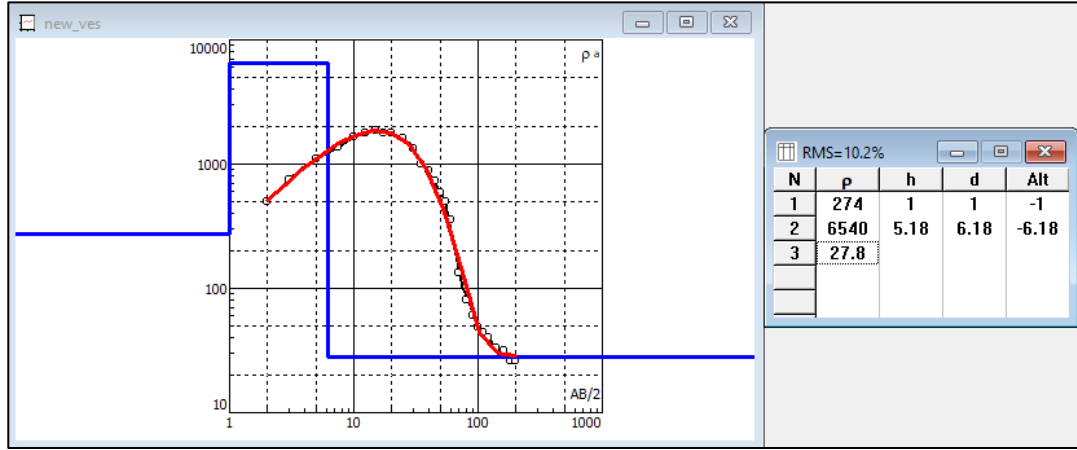
EK 1.13. Osmangazi Gökçeören Köyü



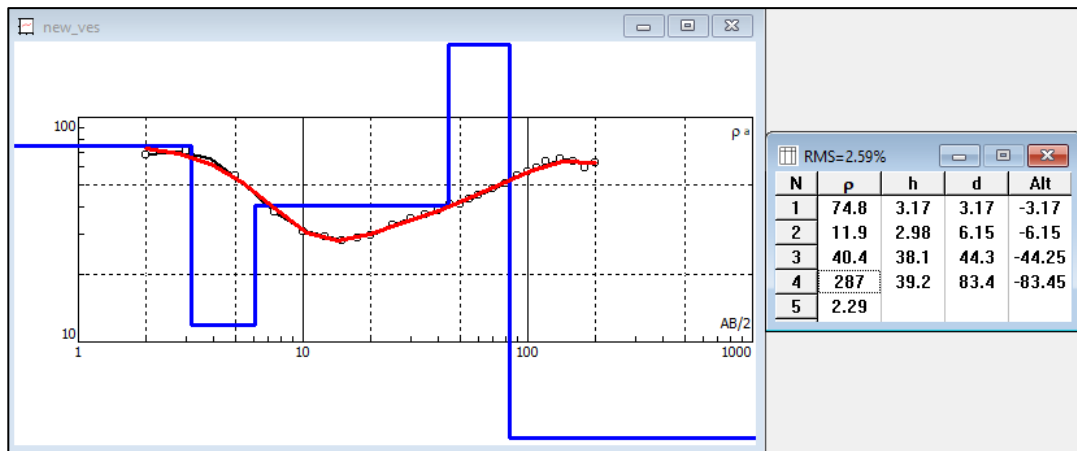
EK 1.14. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 3. kuyu



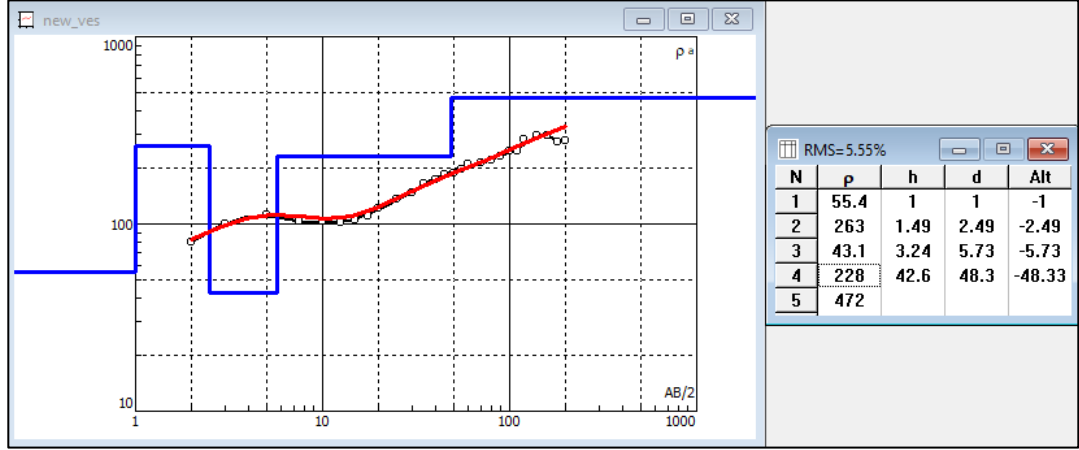
EK 1.15. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 4. kuyu



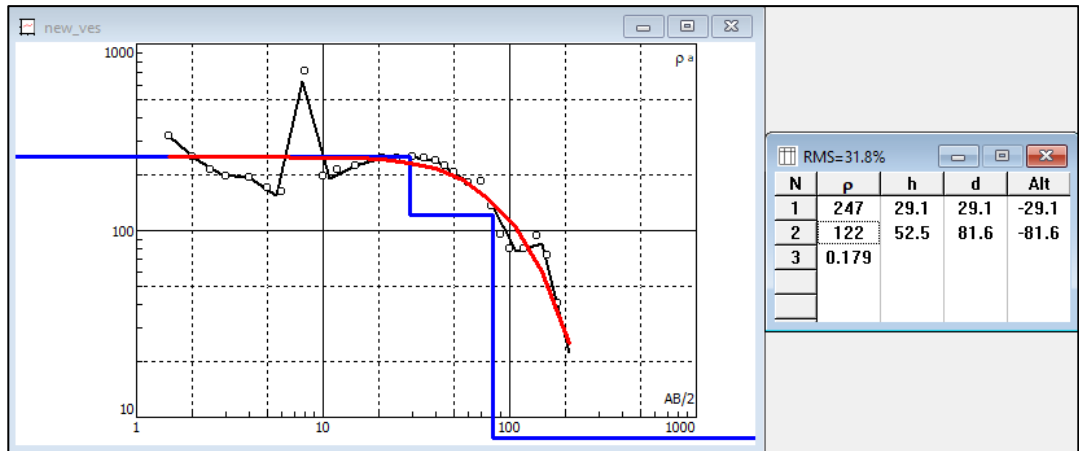
EK 1.16. Karacabey Hamidiye Köyü



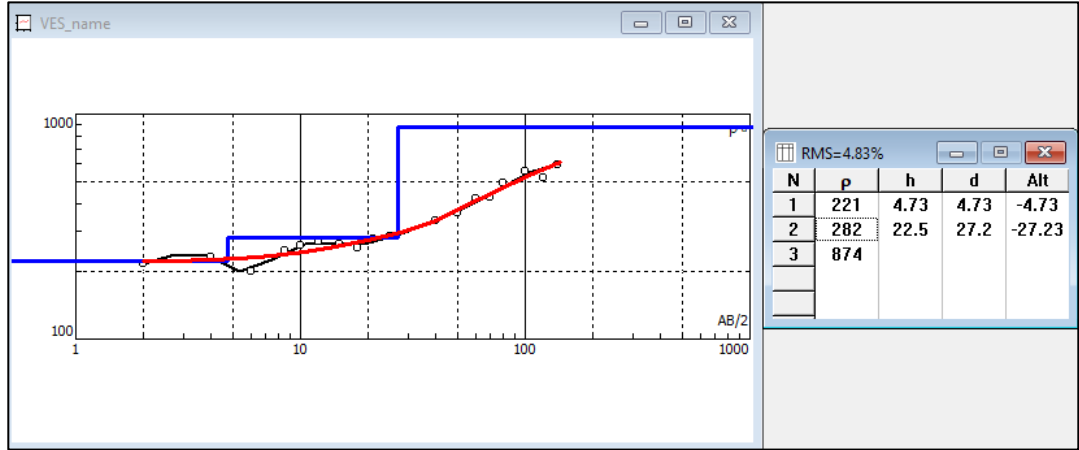
EK 1.17. İnegöl Çeltikçi Köyü-2



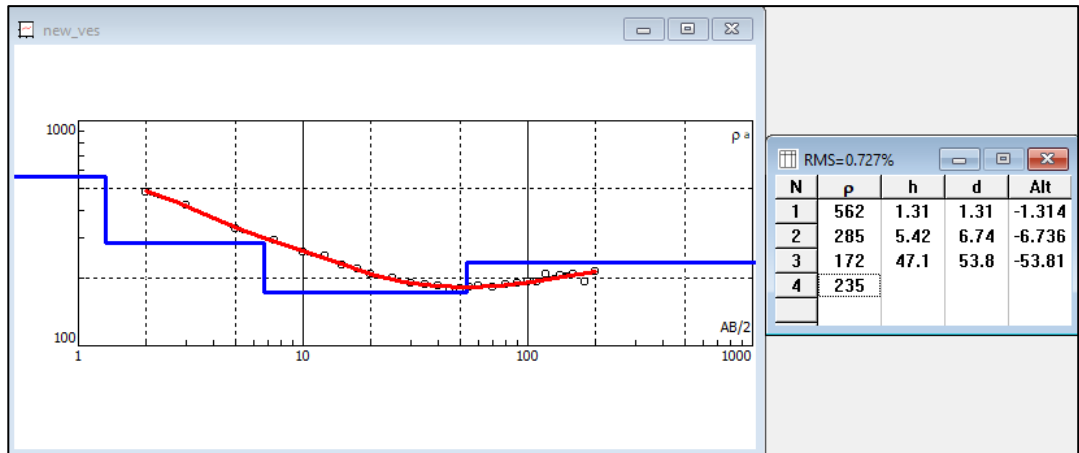
EK 1.18. Mustafakemalpaşa Yalıntaş



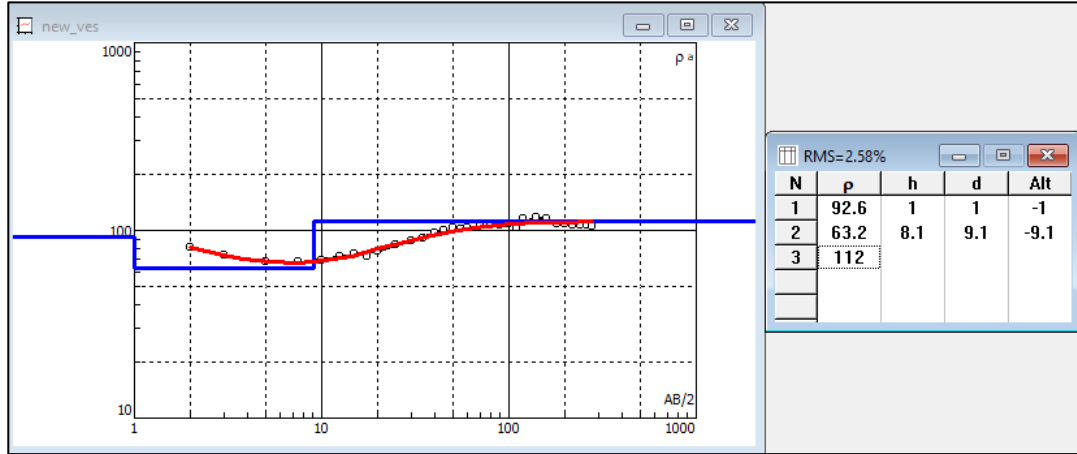
EK 1.19. Karacabey Yarısı



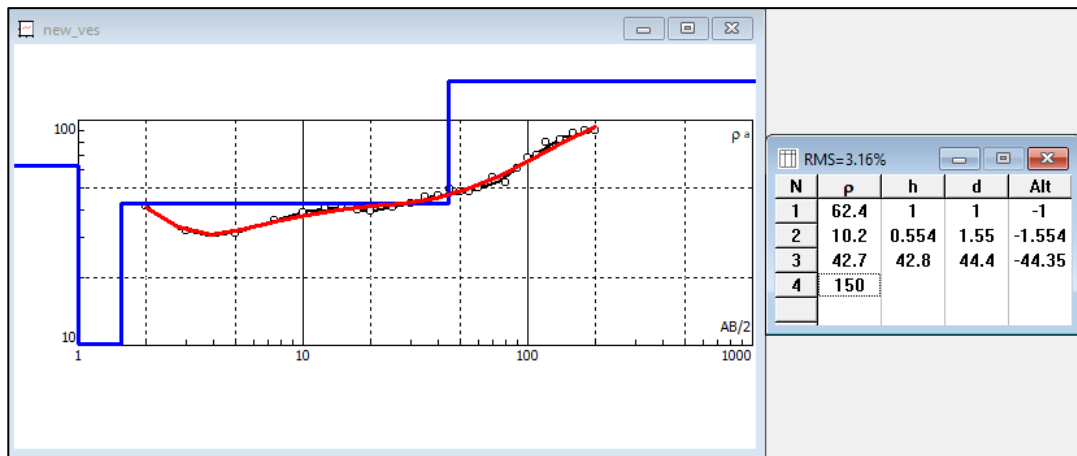
EK 1.20. İznik Müşküle



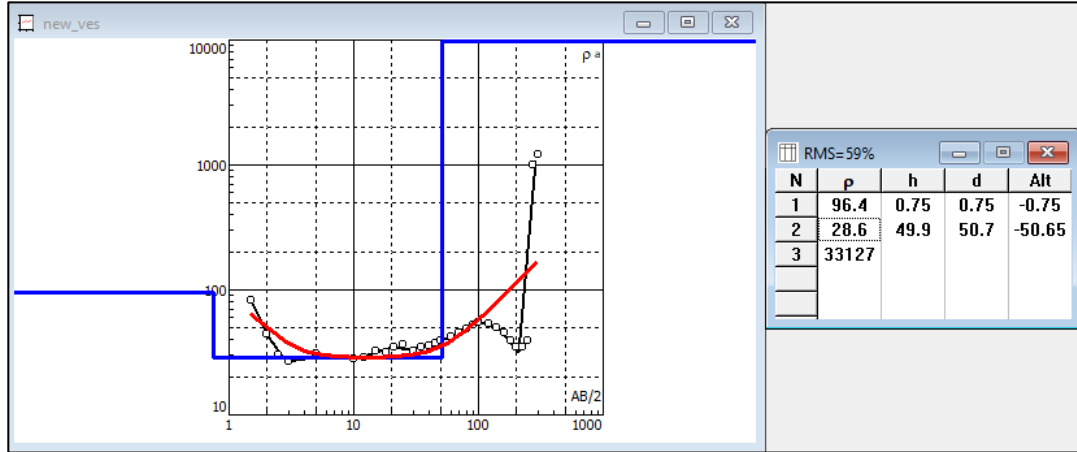
EK 1.21. Mudanya Esence-1



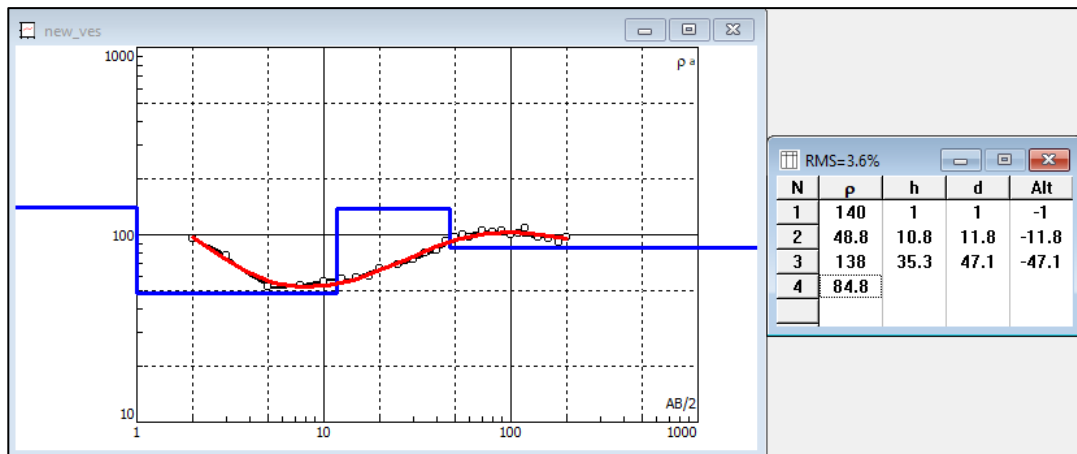
EK 1.22. Mudanya Mesudiye



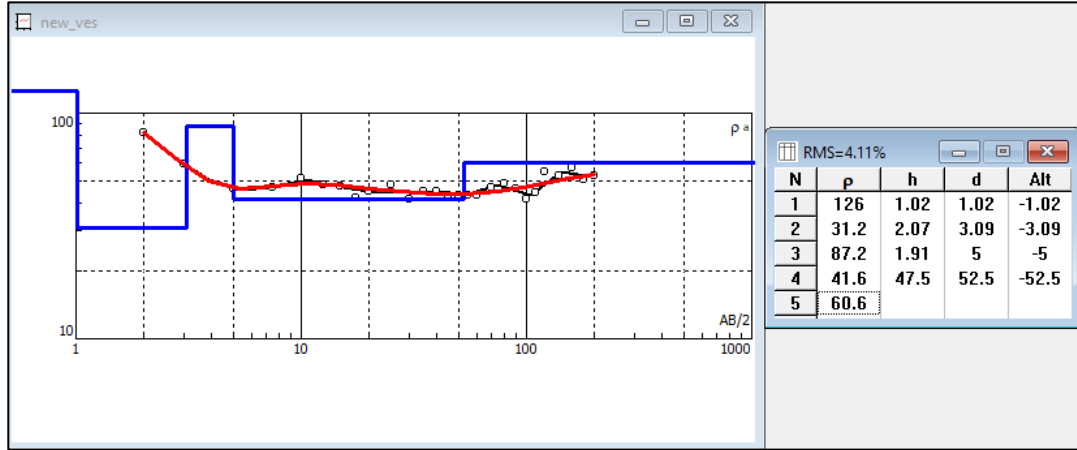
EK 1.23. Mudanya Esence-2



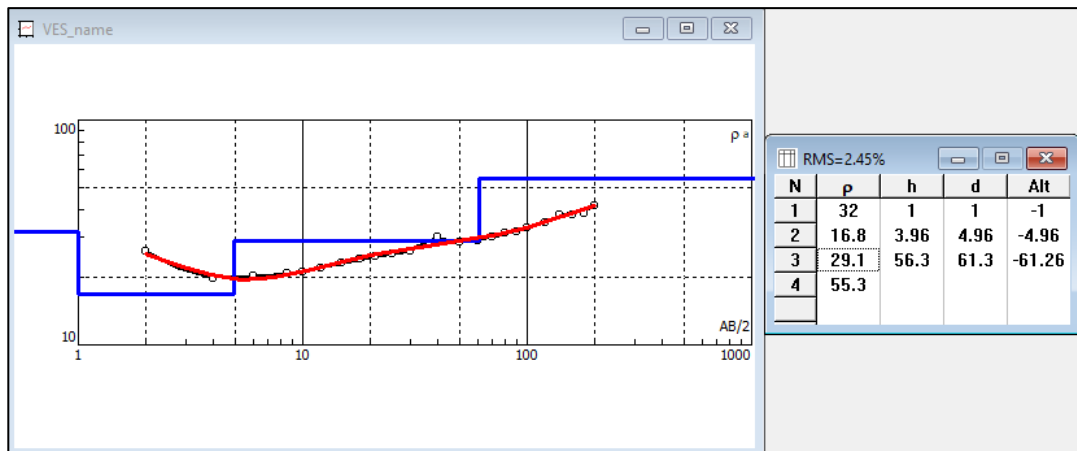
EK 1.24. Harmancık, H.Danişment



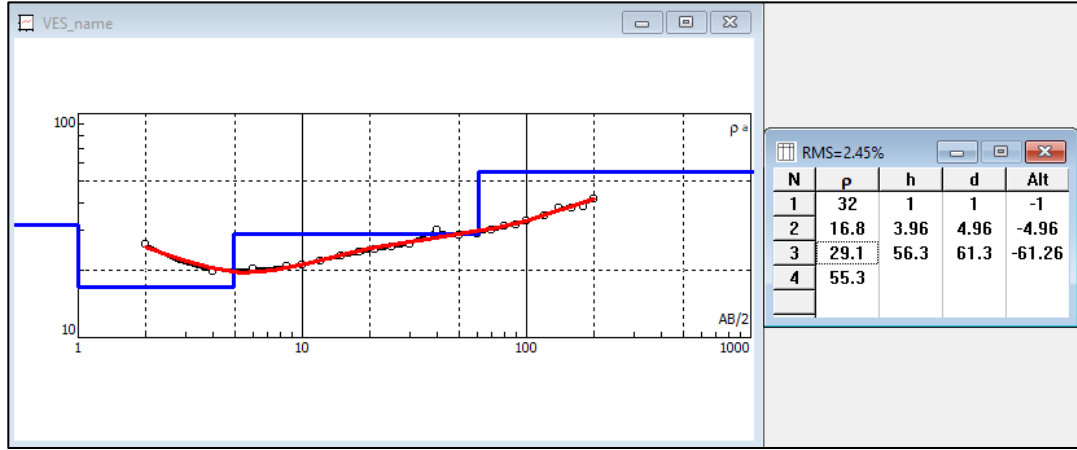
EK 1.25. Osmangazi, Alaşar



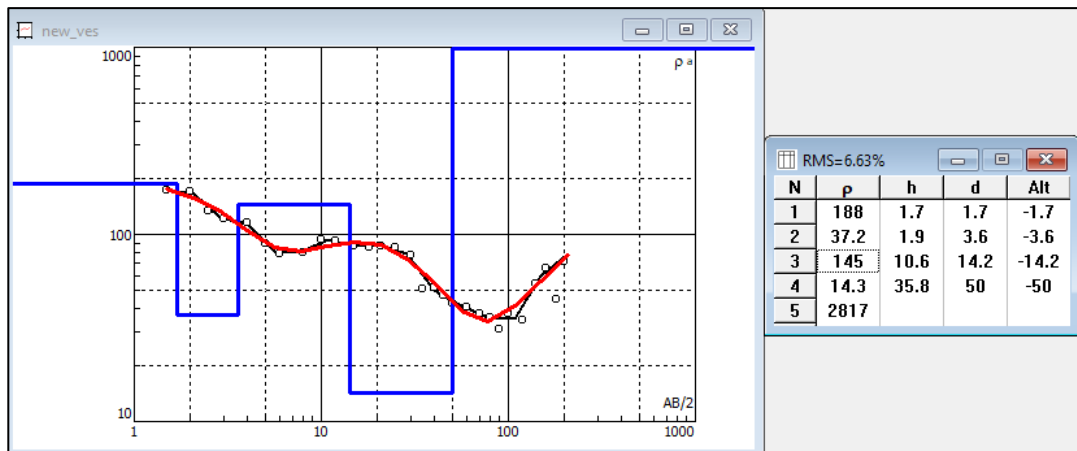
EK 1.26. Kestel, Seymen-1



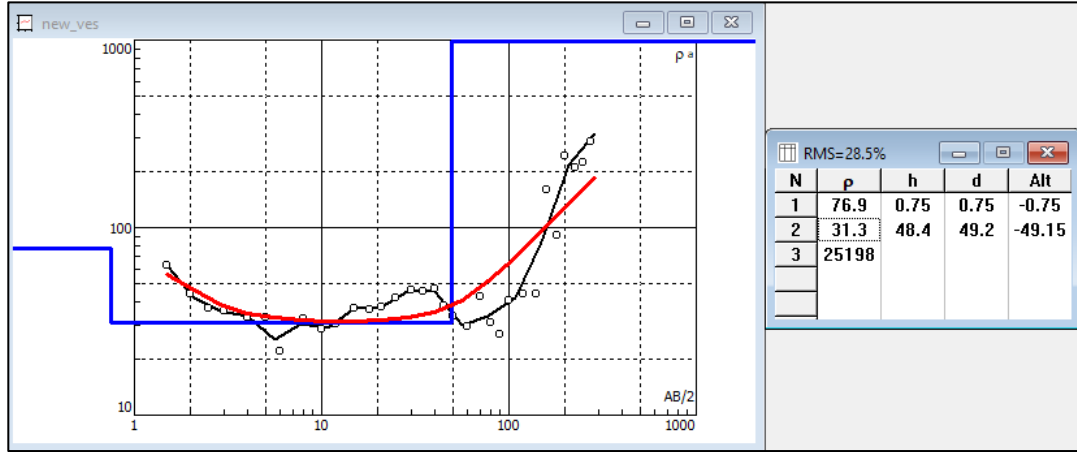
EK 1.27. Kestel, Seymen-2



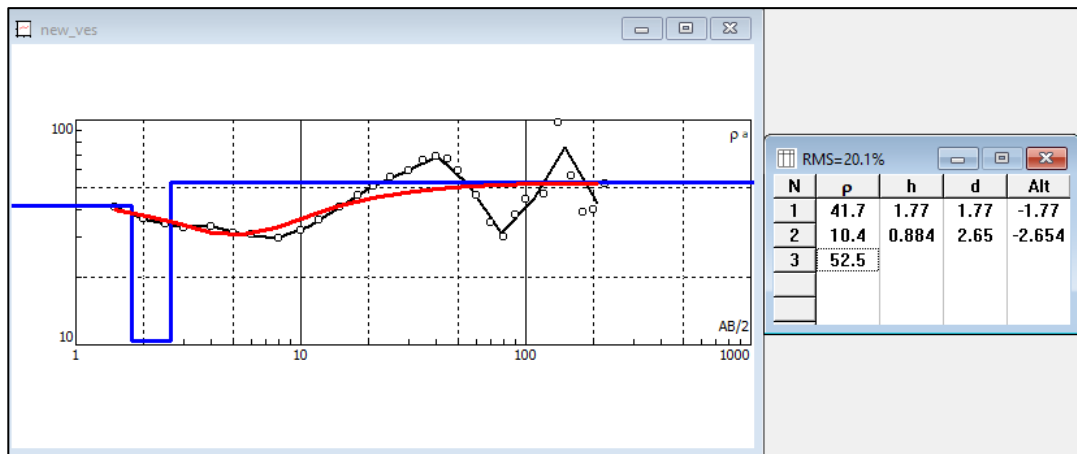
EK 1.28. İnegöl, Küçükyenice



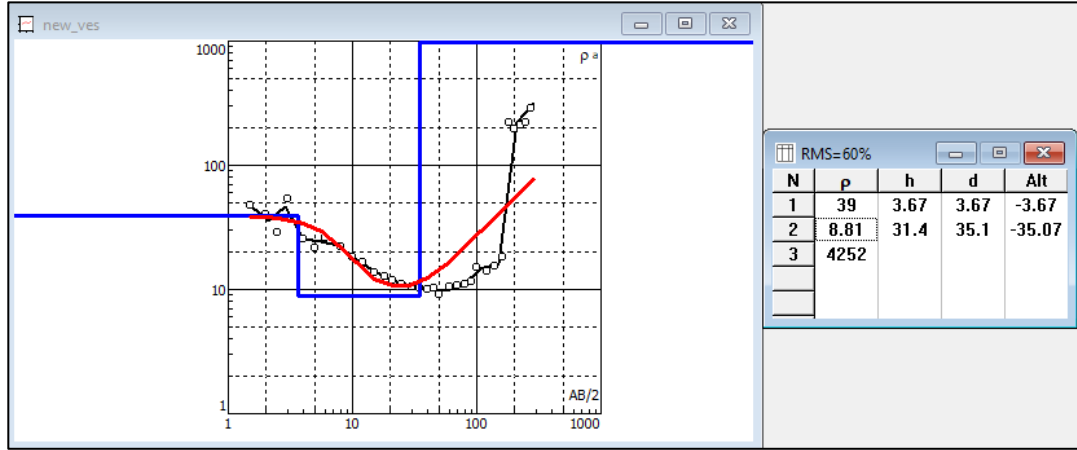
EK 1.29. Yenişehir, Osmaniye-1



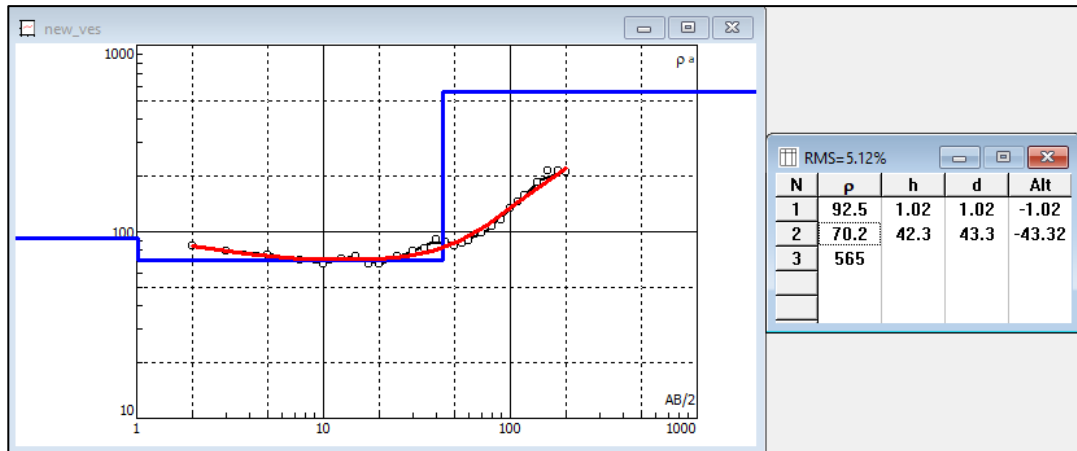
EK 1.30. Yenişehir, Osmaniye-2



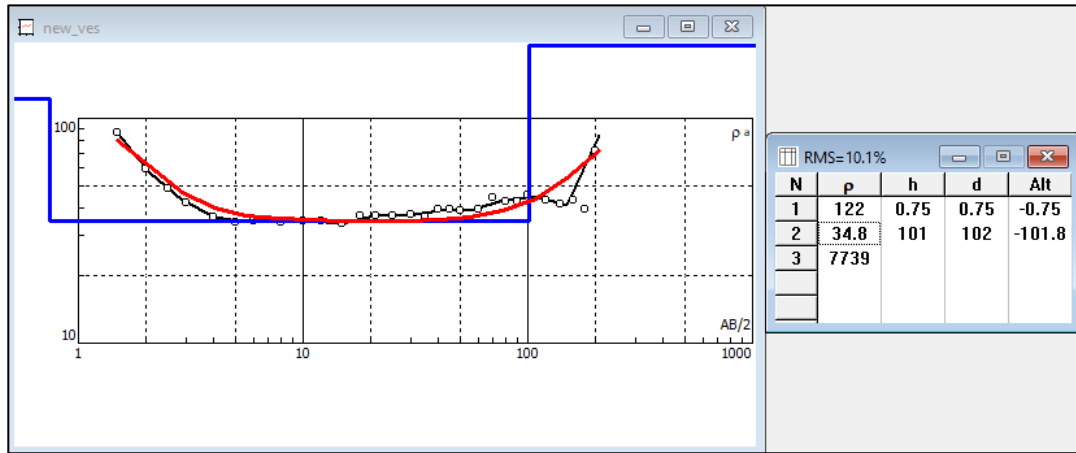
EK 1.31. Yenişehir, Osmaniye-3



EK 1.32. Yenişehir, Kızılköy

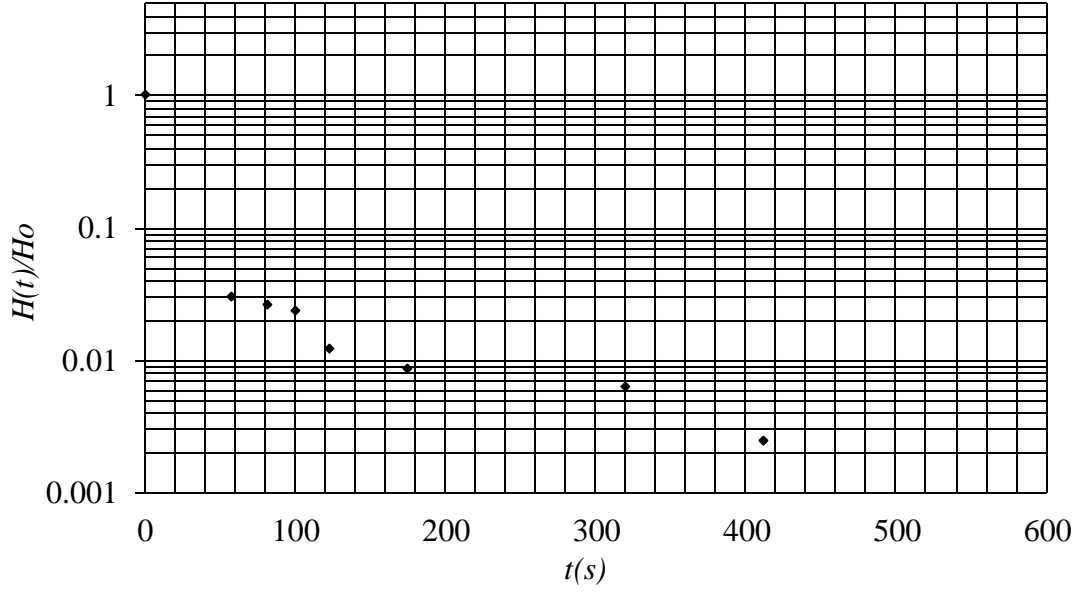


EK 1.33. Orhangazi, Sölöz

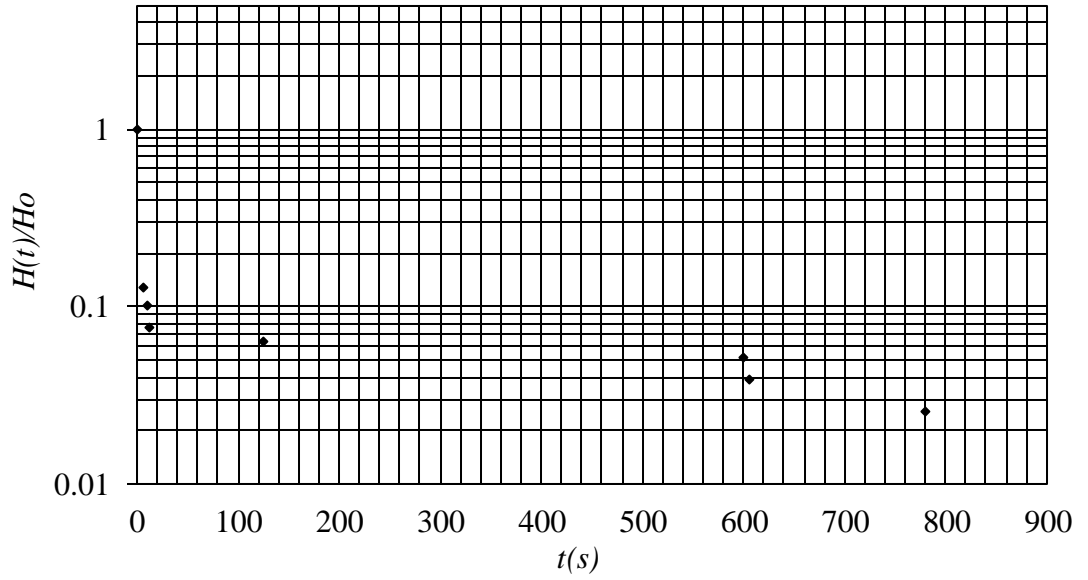


EK 2. Slug test verilerinin analitik çözümü [$H(t)/H_0-t$ grafikleri]

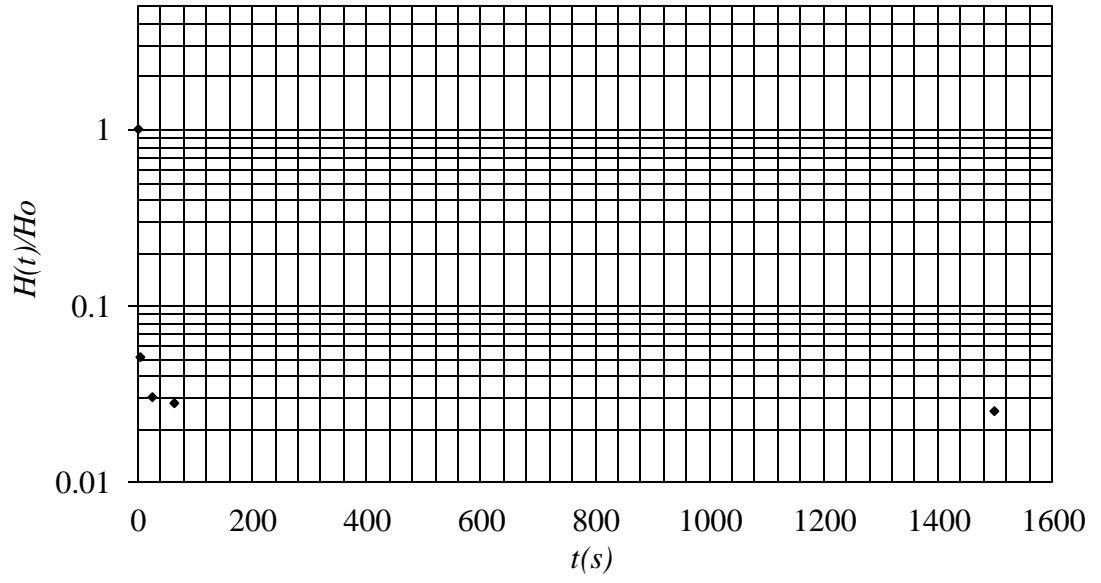
EK 2.1. Karacabey Şahinköy



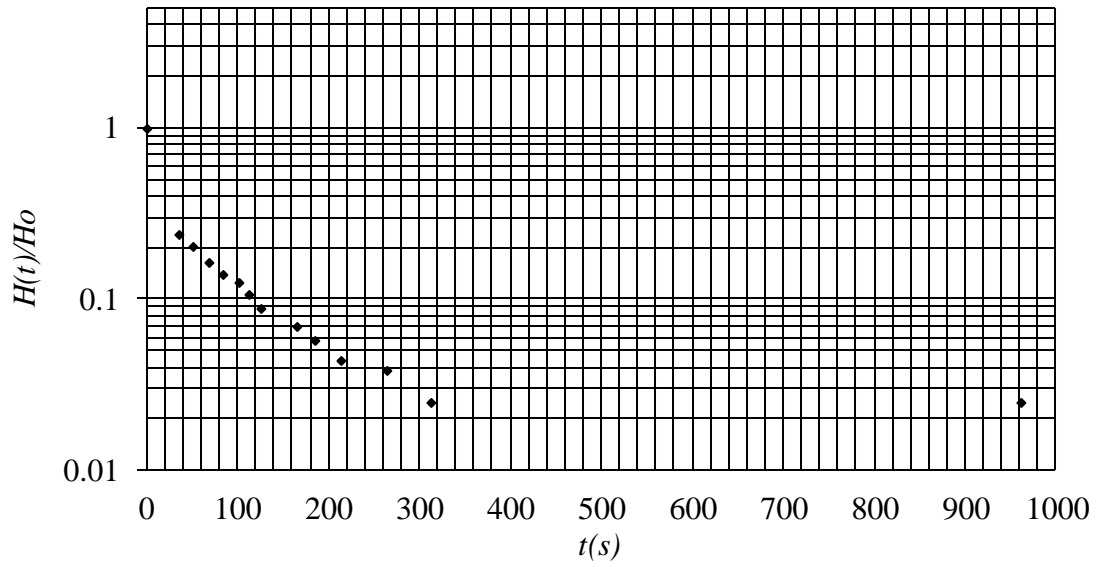
EK 2.2. Harmancık Kılavuzlar



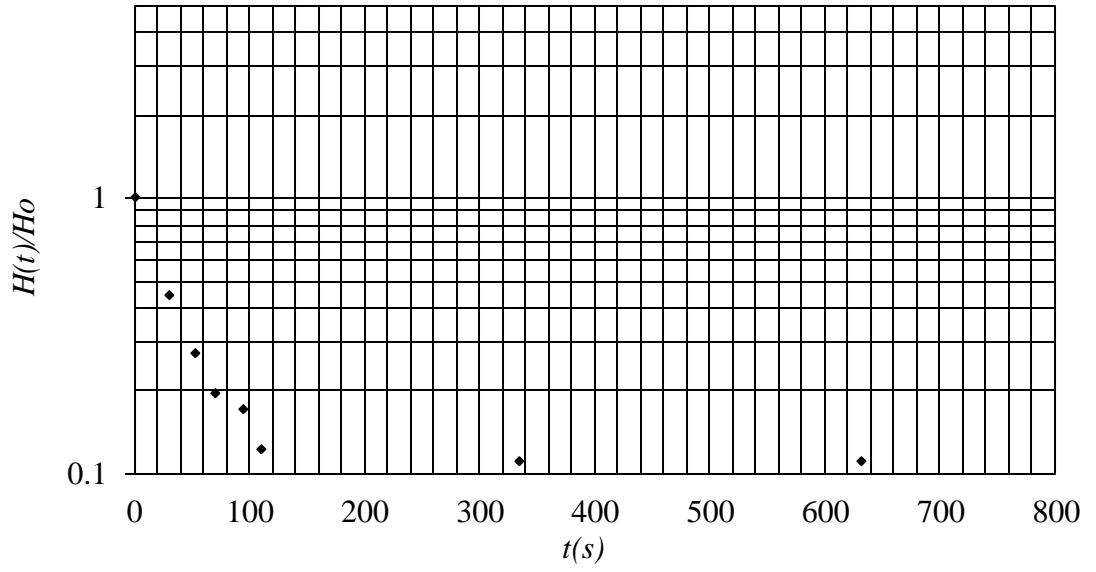
EK 2.3. Büyükorhan Gedikler



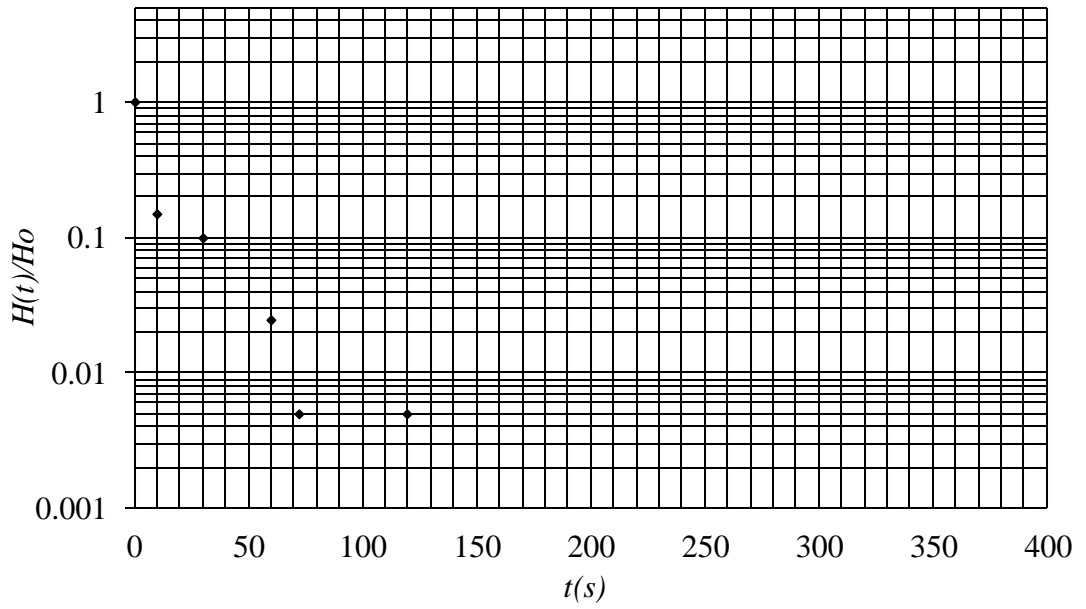
EK 2.4. Nilüfer Akçalar



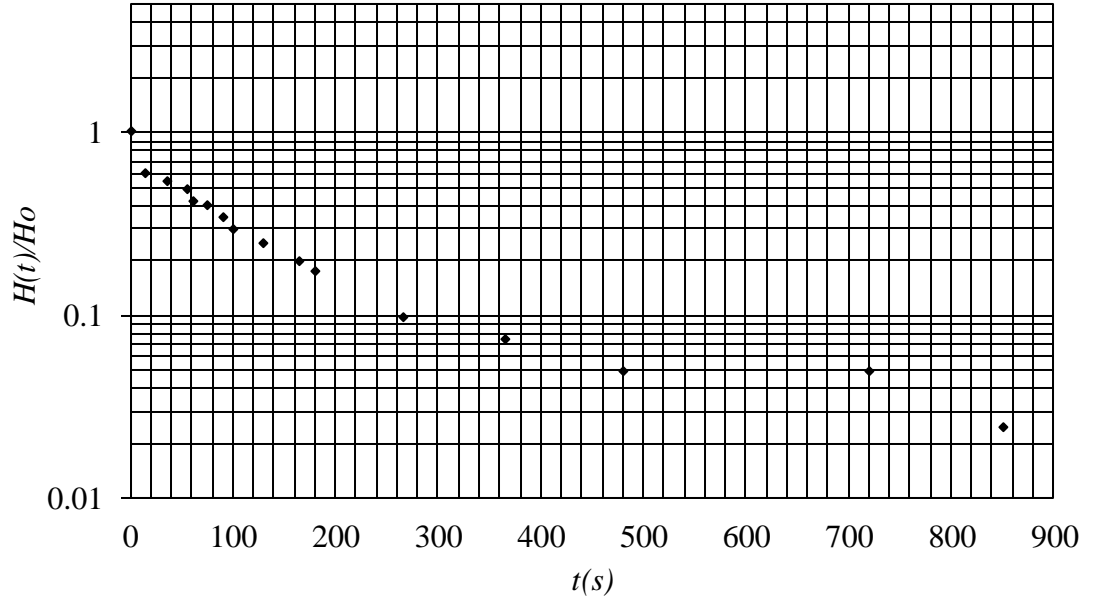
EK 2.5. Osmangazi Doğu Atık Su



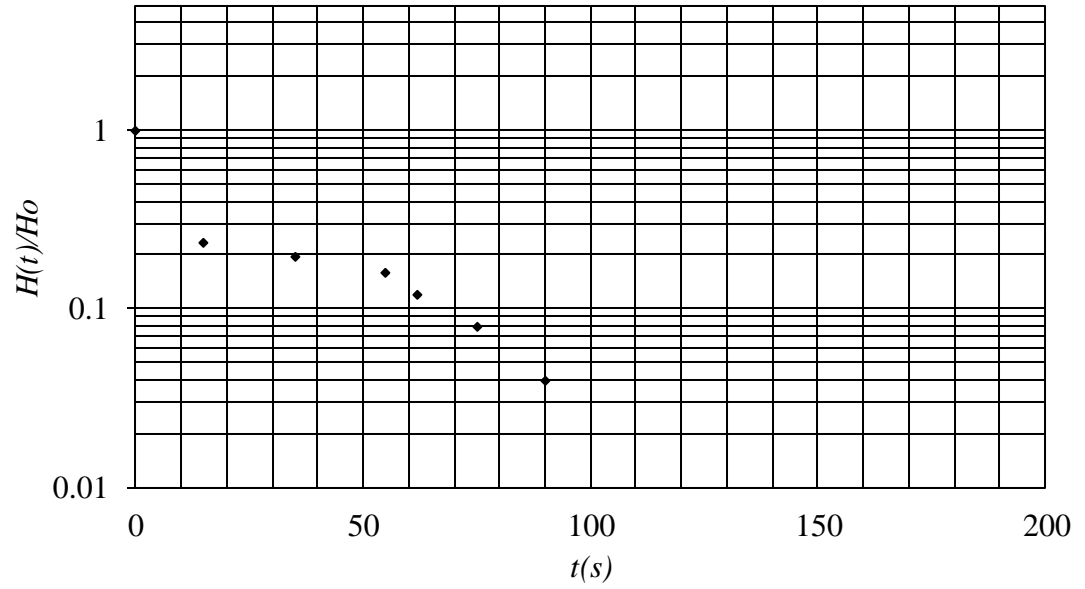
EK 2.6. Nilüfer Özlüce Arıtma



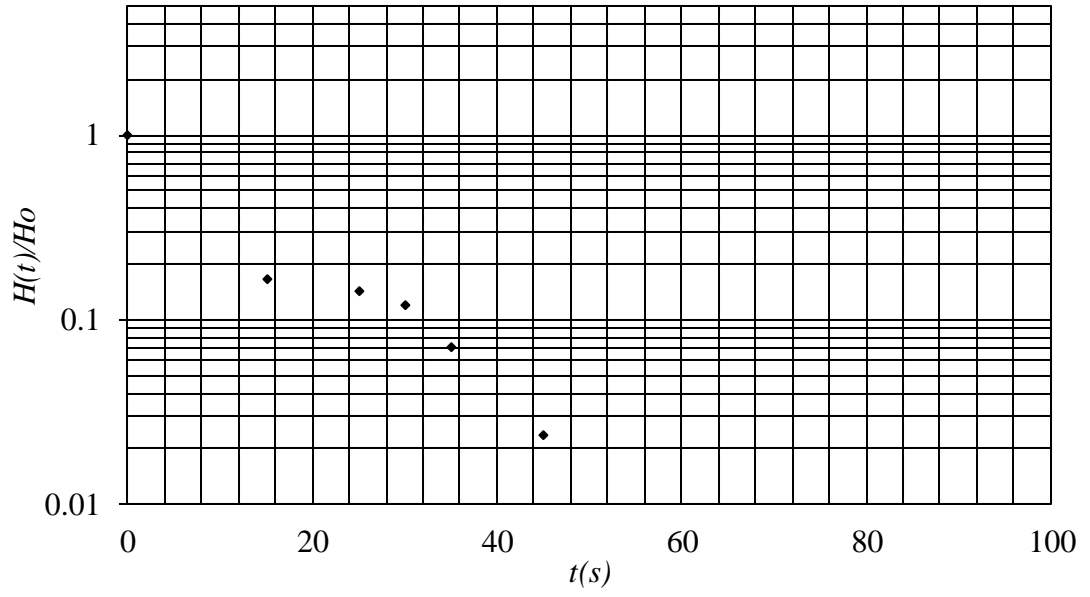
EK 2.7. Osmangazi Hamitler Arıtma



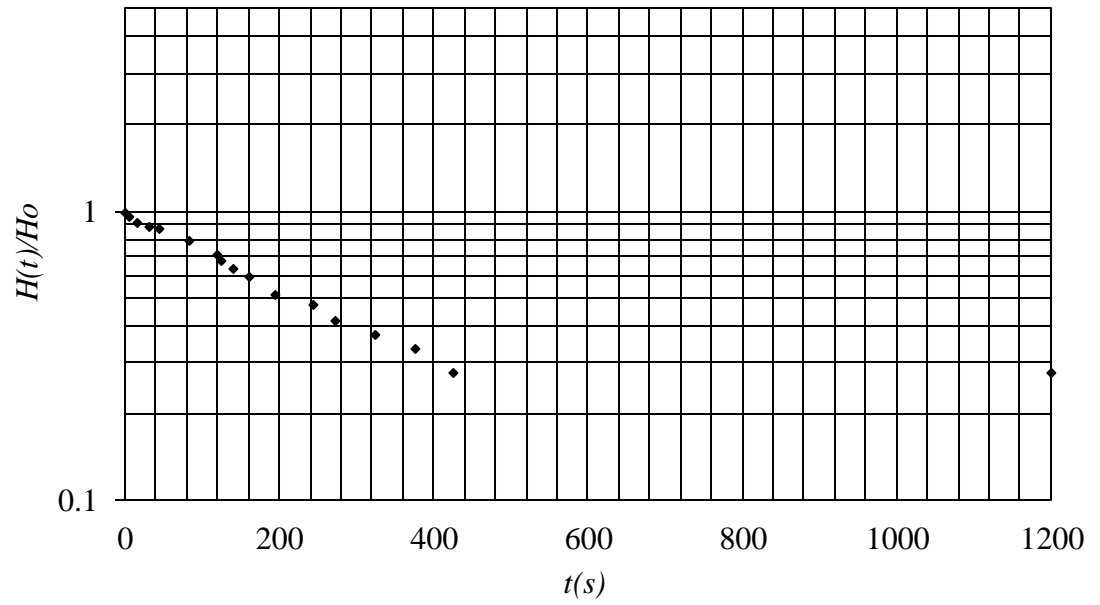
EK 2.8. Yenişehir Çardak Köyü



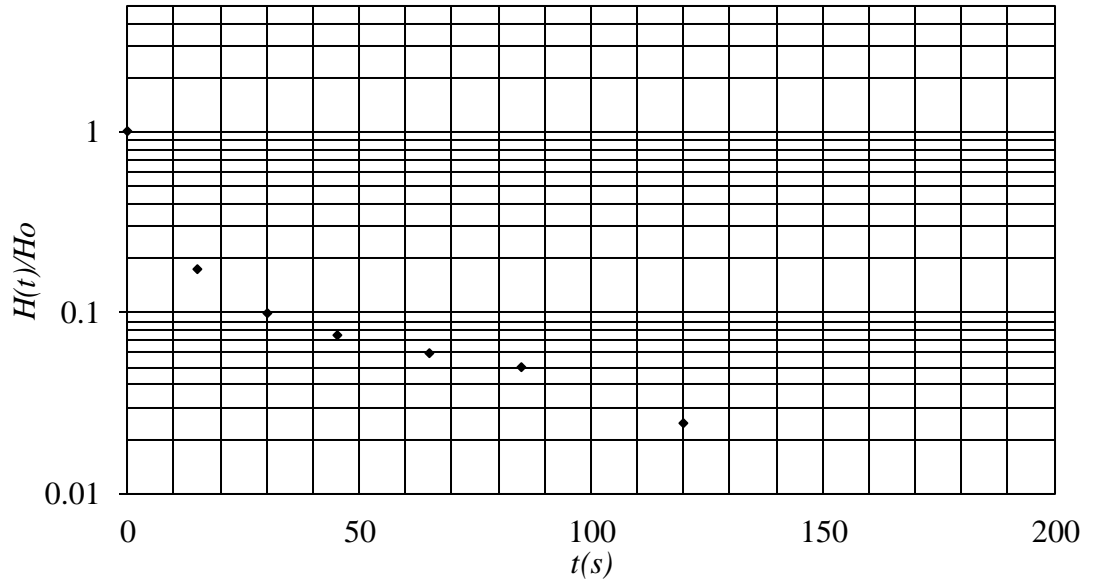
EK 2.9. İnegöl Çeltikçi Köyü-1



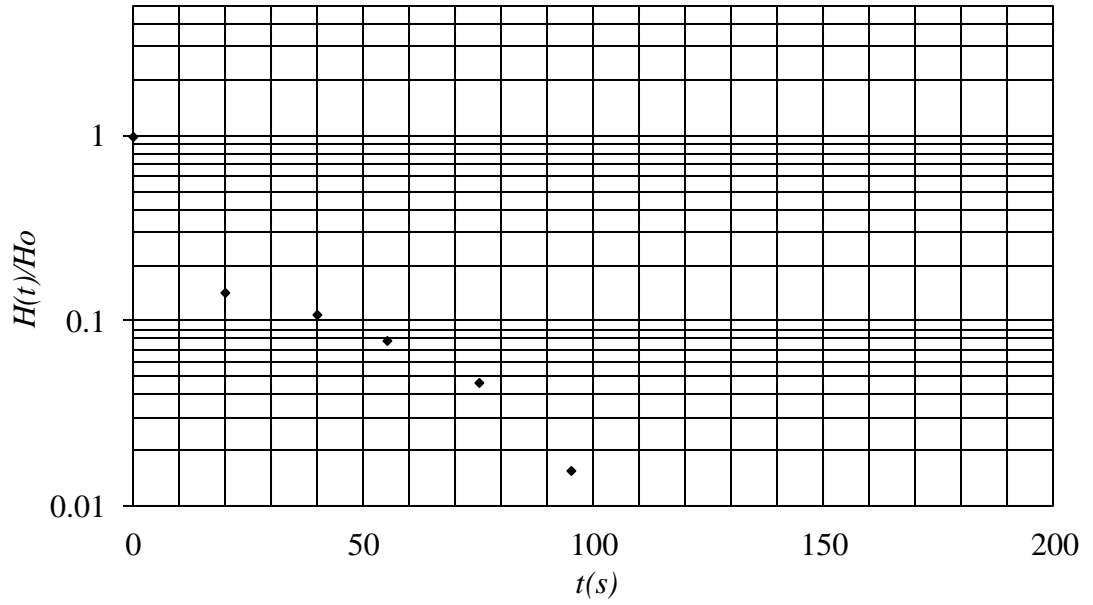
EK 2.10. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 1. kuyu



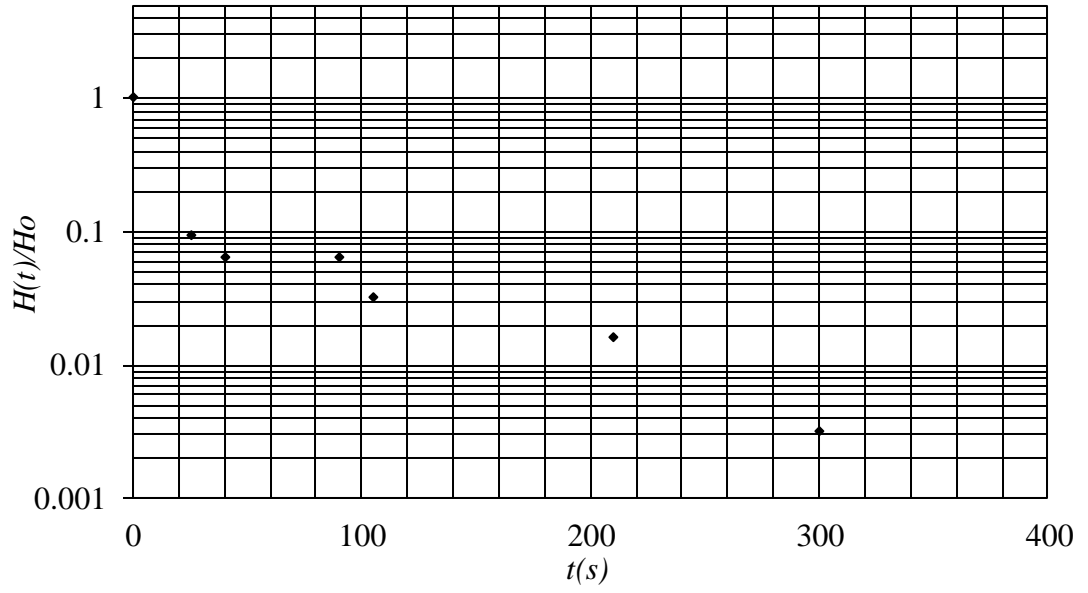
EK 2.11. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 2. kuyu



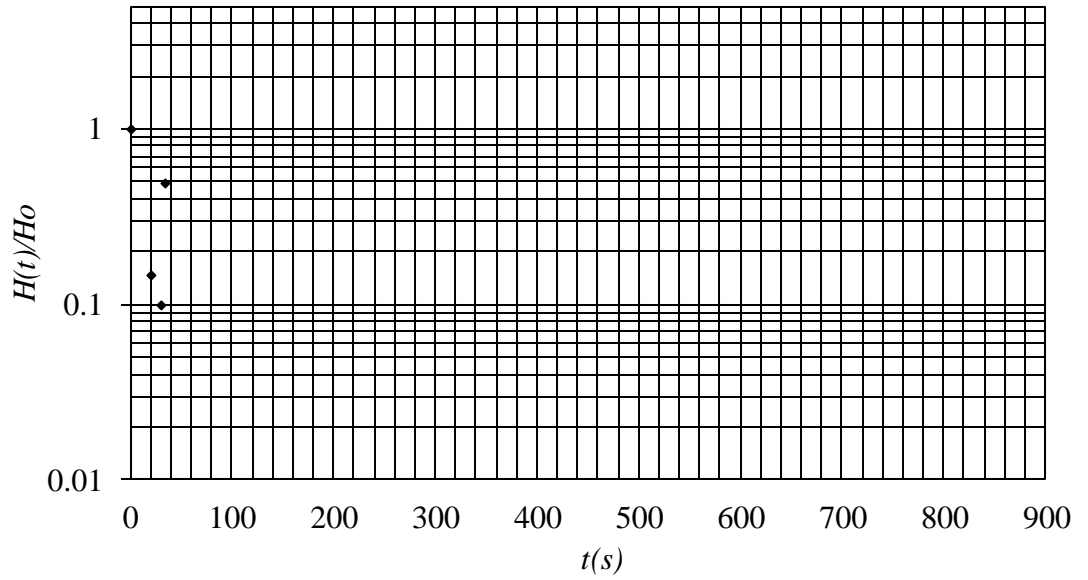
EK 2.12. Keles Akçapınar Köyü



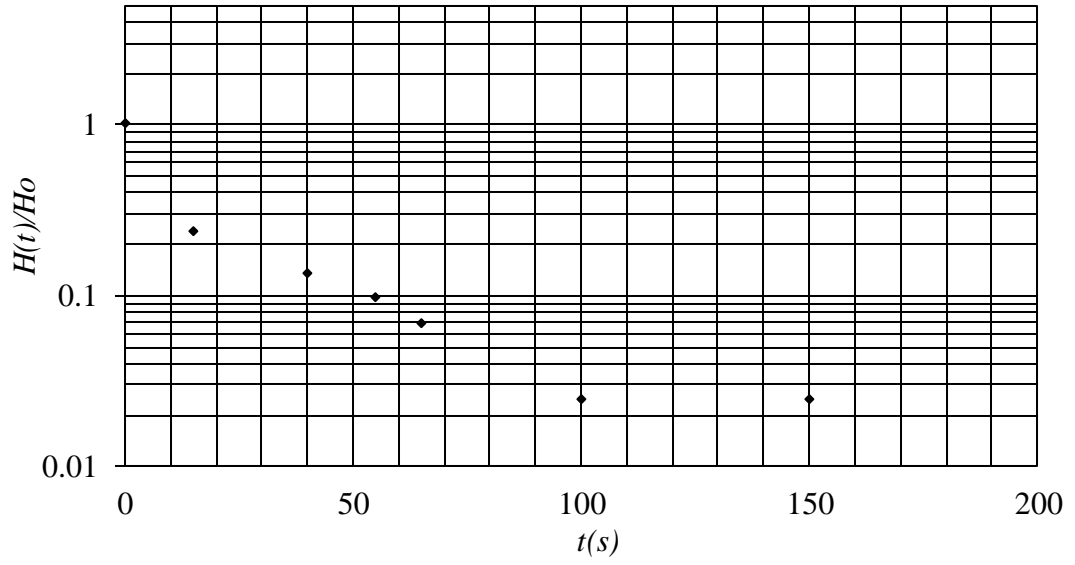
EK 2.13. Osmangazi Gökçeören Köyü



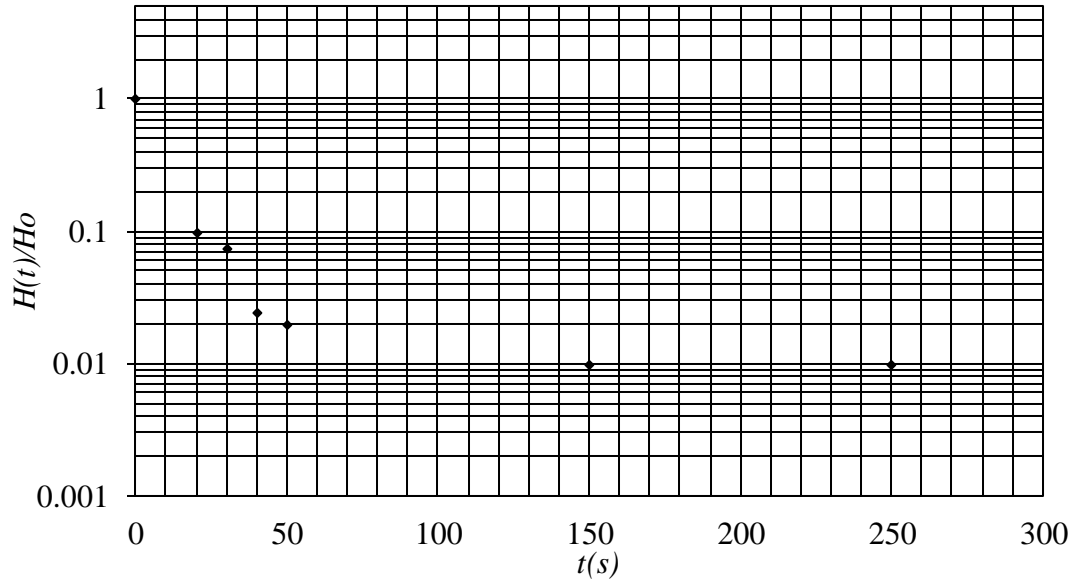
EK 2.14. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 3. kuyu



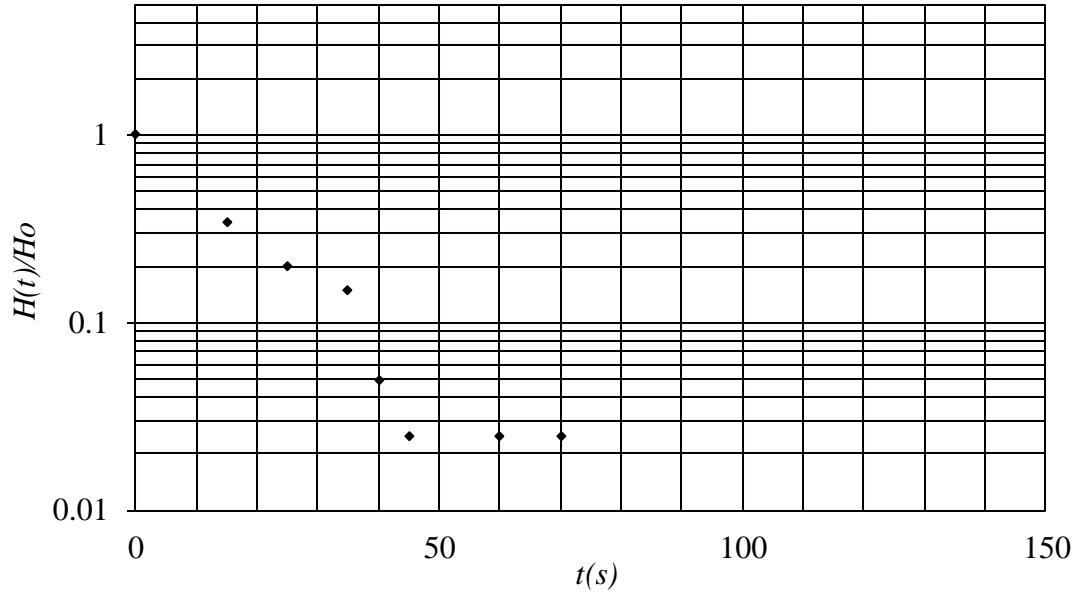
EK 2.15. Mustafakemalpaşa Tatkavaklı 4. Kuyu



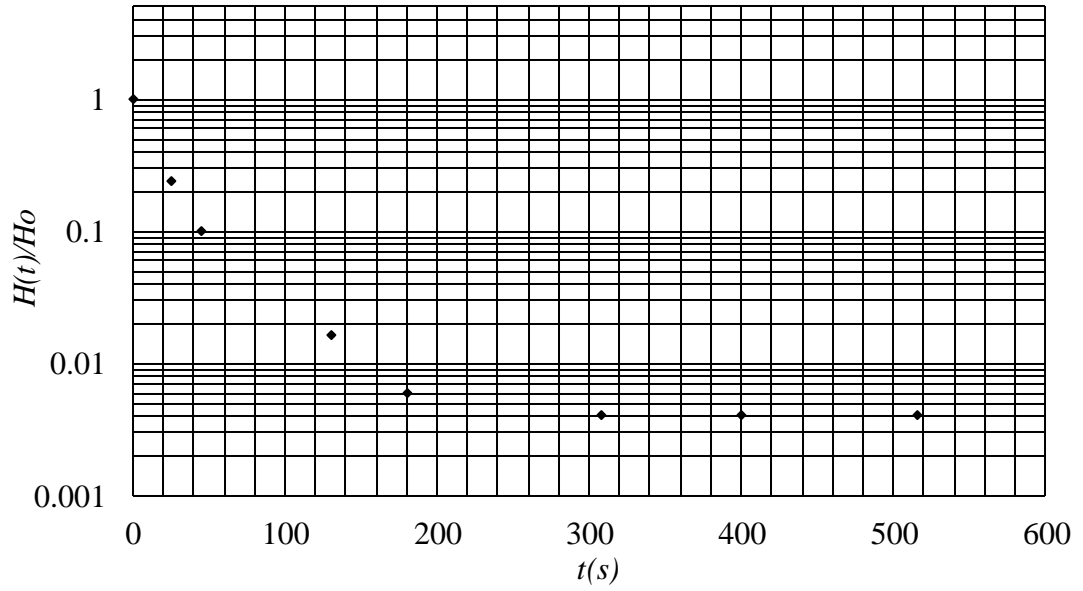
EK 2.16. Karacabey Hamidiye Köyü



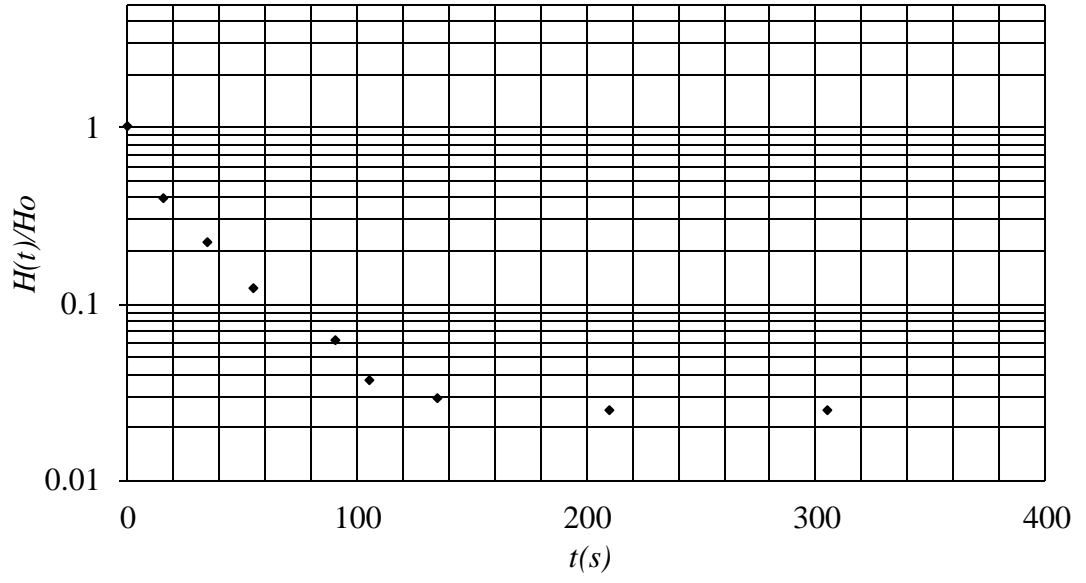
EK 2.17. İnegöl Çeltikçi Köyü-2



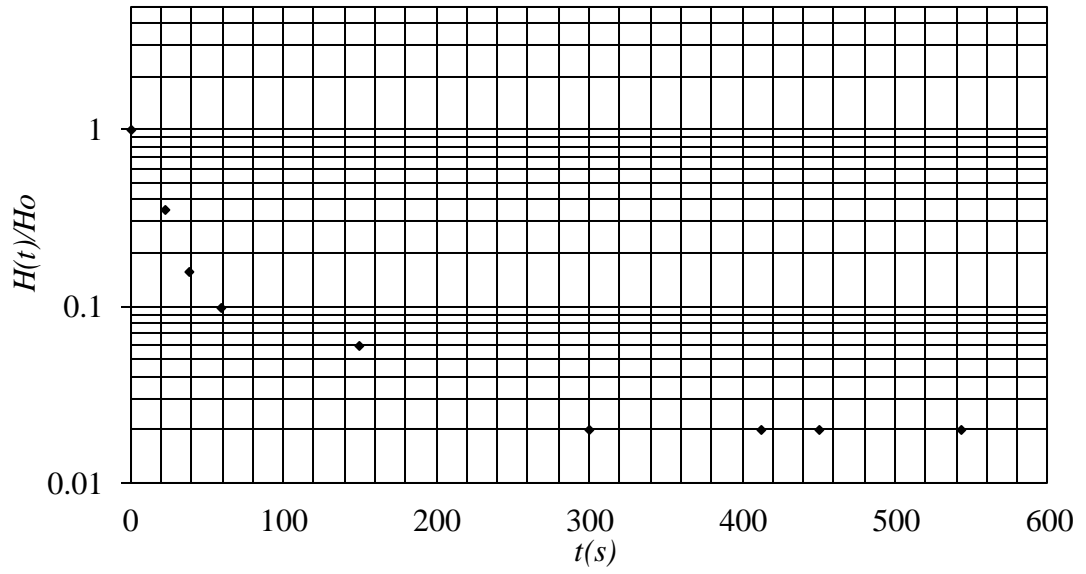
EK 2.18. Mustafakemalpaşa Yalıntaş



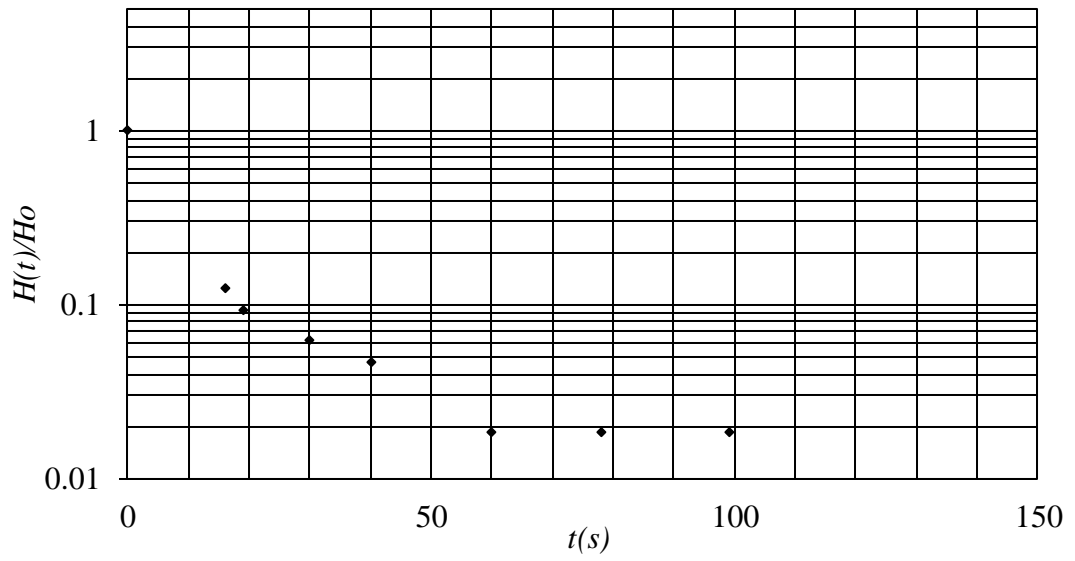
EK 2.19. Karacabey Yarış



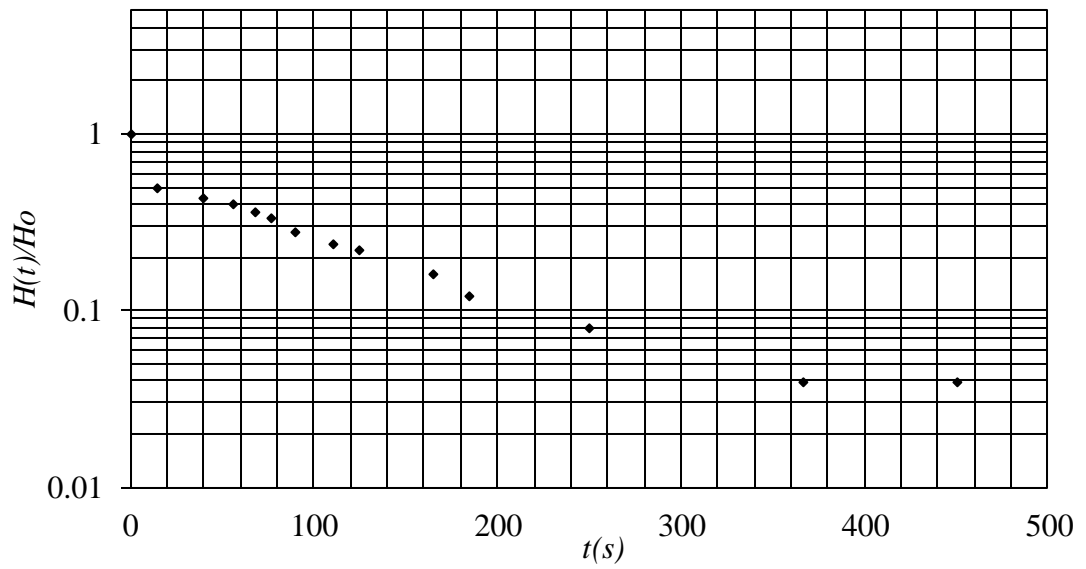
EK 2.20. İznik Müşküle



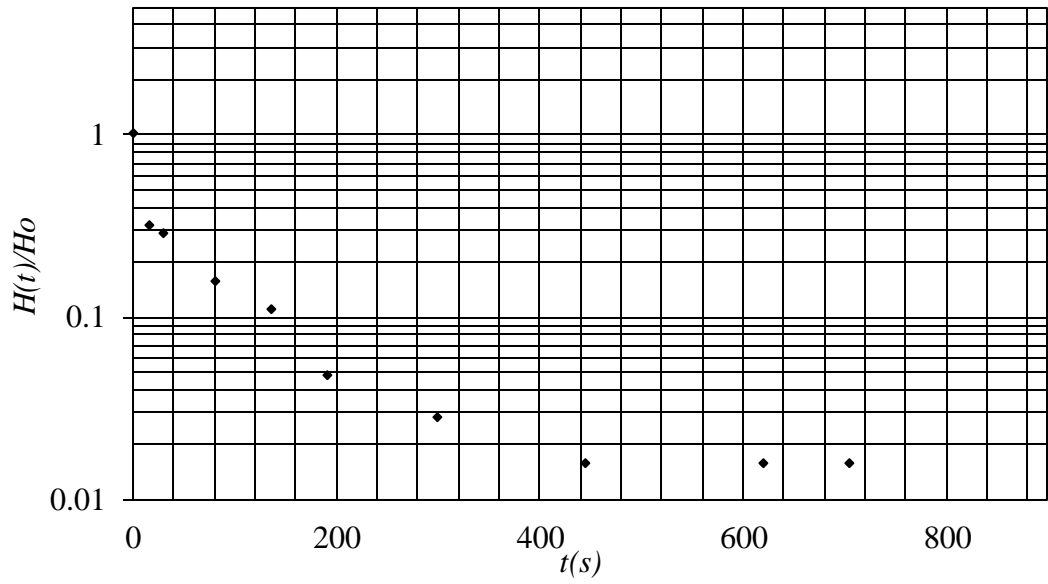
EK 2.21. Mudanya Esence-1



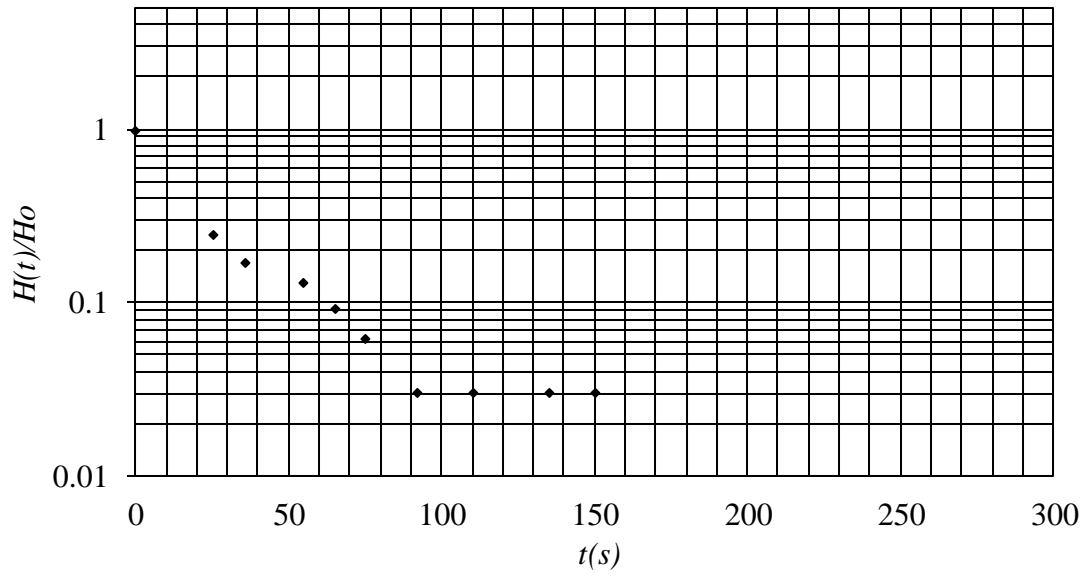
EK 2.22. Mudanya Mesudiye



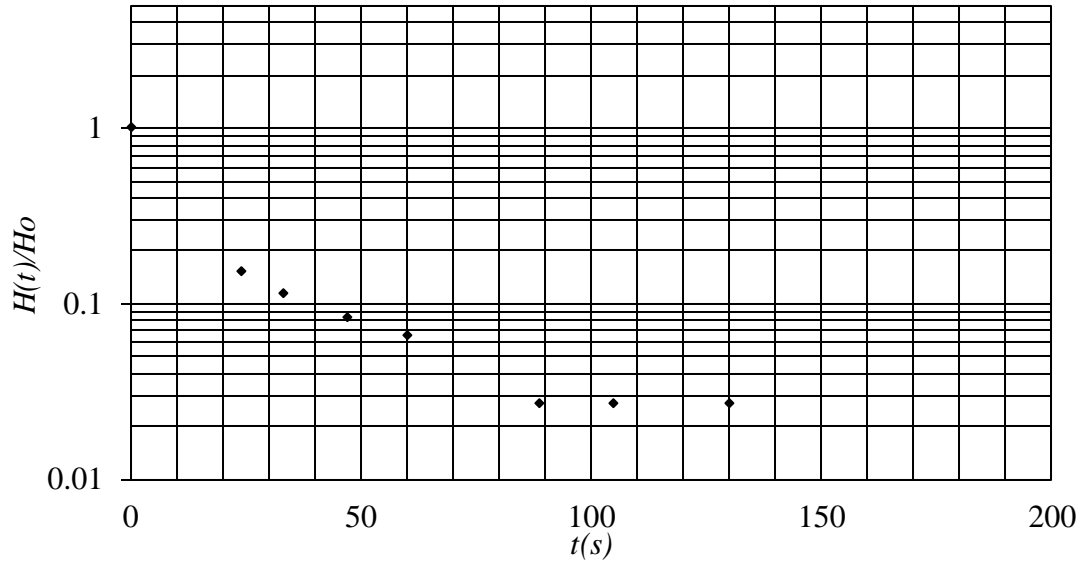
EK 2.23. Mudanya Esence-2



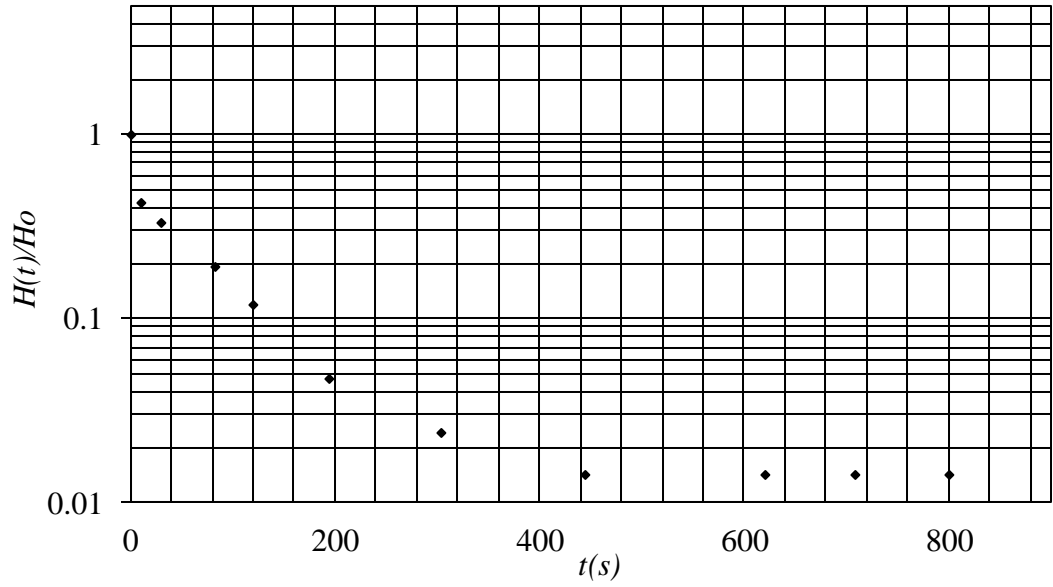
EK 2.24. Harmancık, H.Danişment



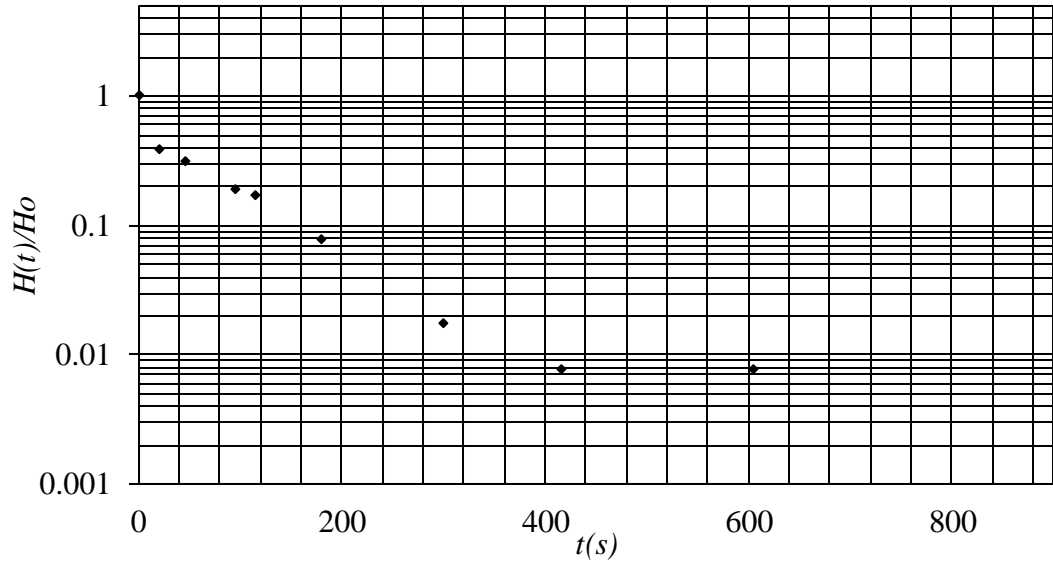
EK 2.25. Osmangazi, Alaşar



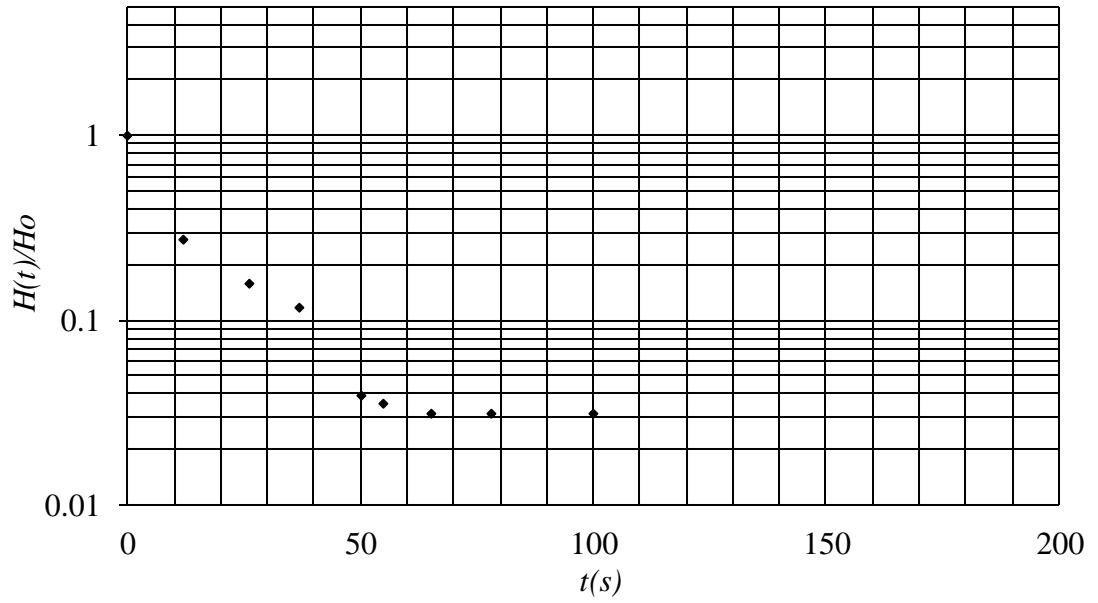
EK 2.26. Kestel, Seymen-1



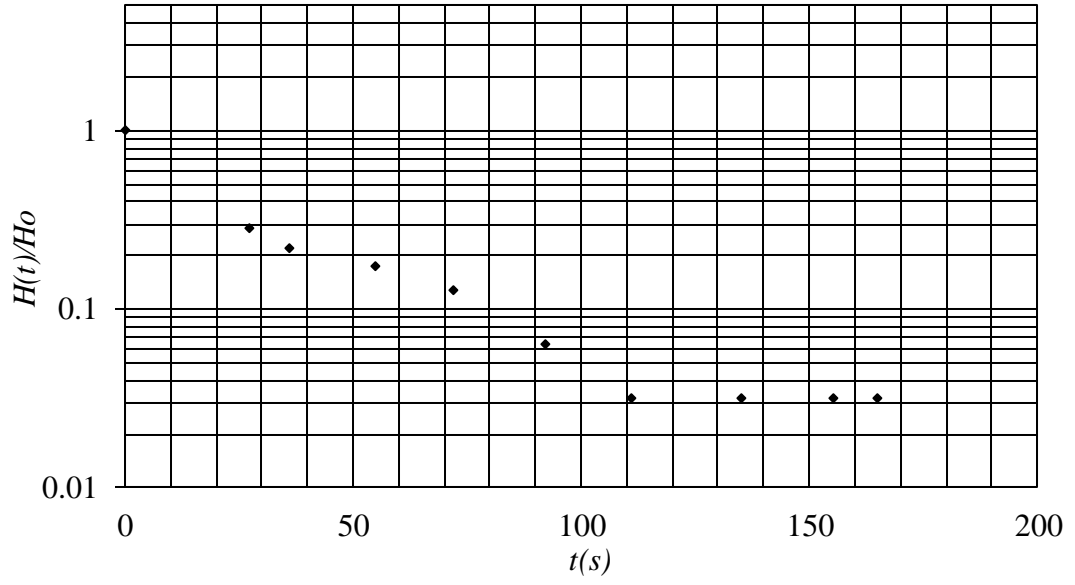
EK 2.27. Kestel, Seymen-2



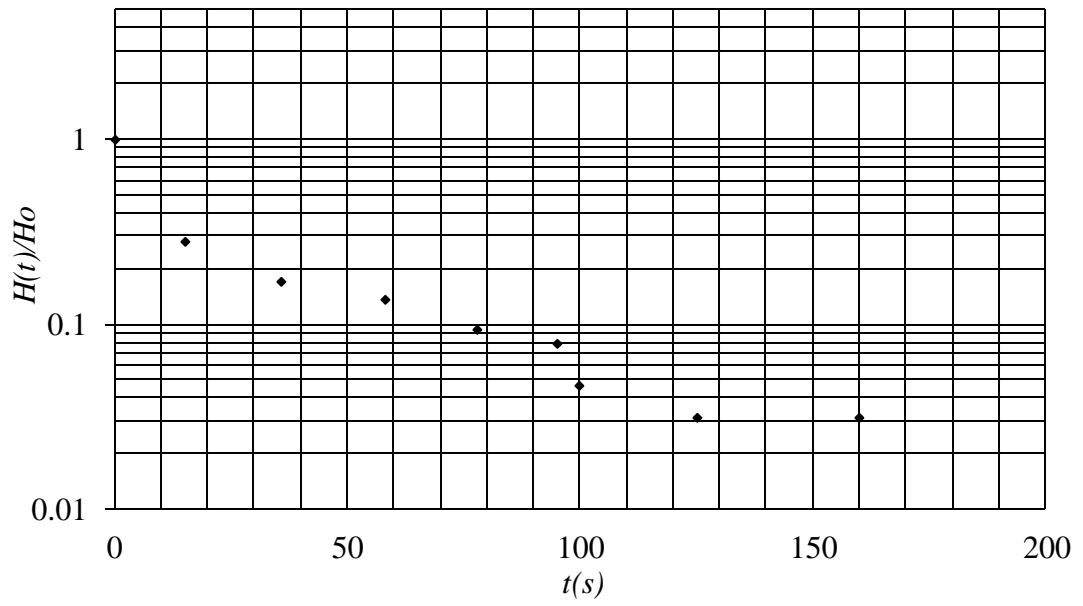
EK 2.28. İnegöl, Küçükyenice



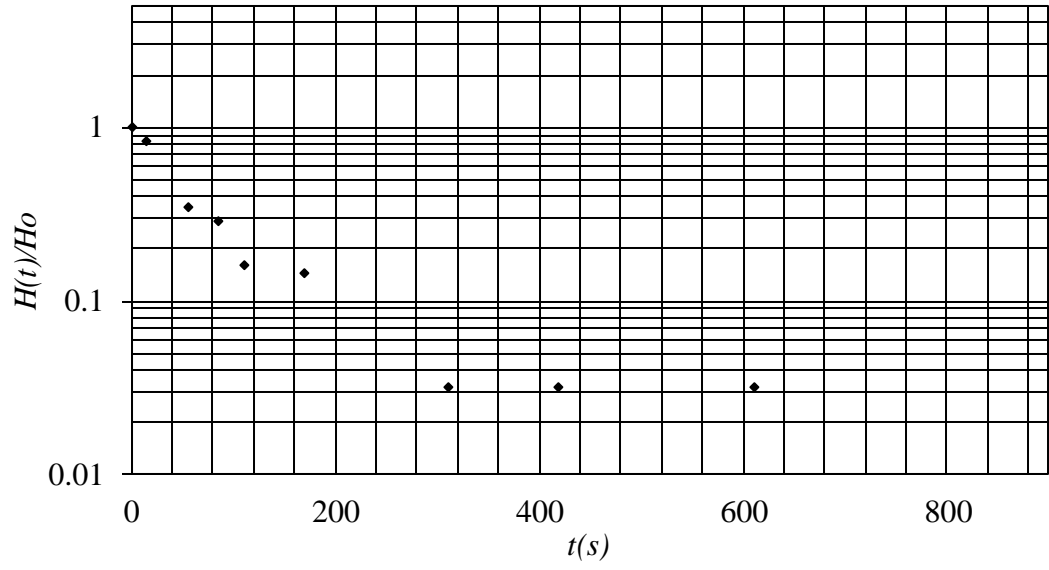
EK 2.29. Yenişehir, Osmaniye-1



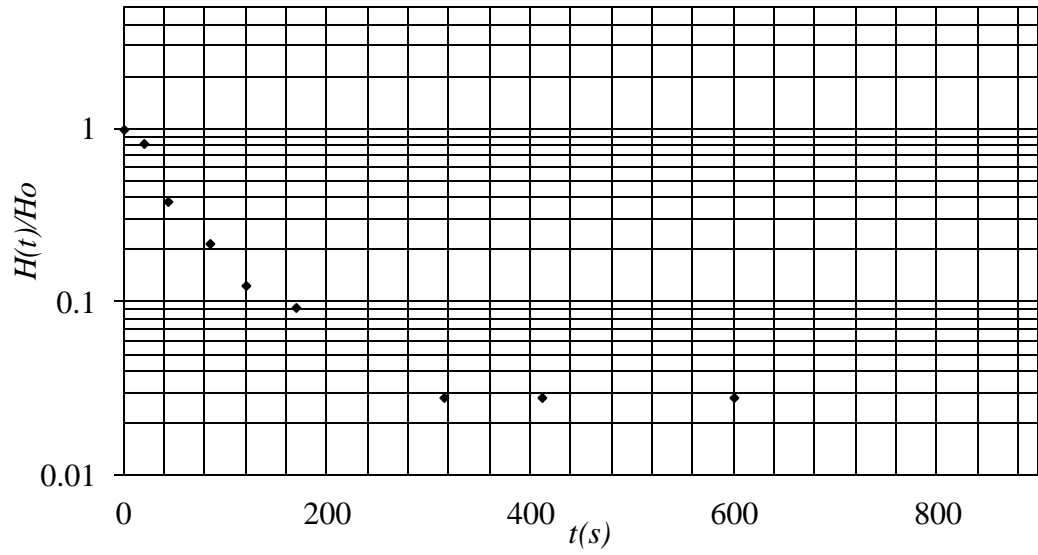
EK 2.30. Yenişehir, Osmaniye-2



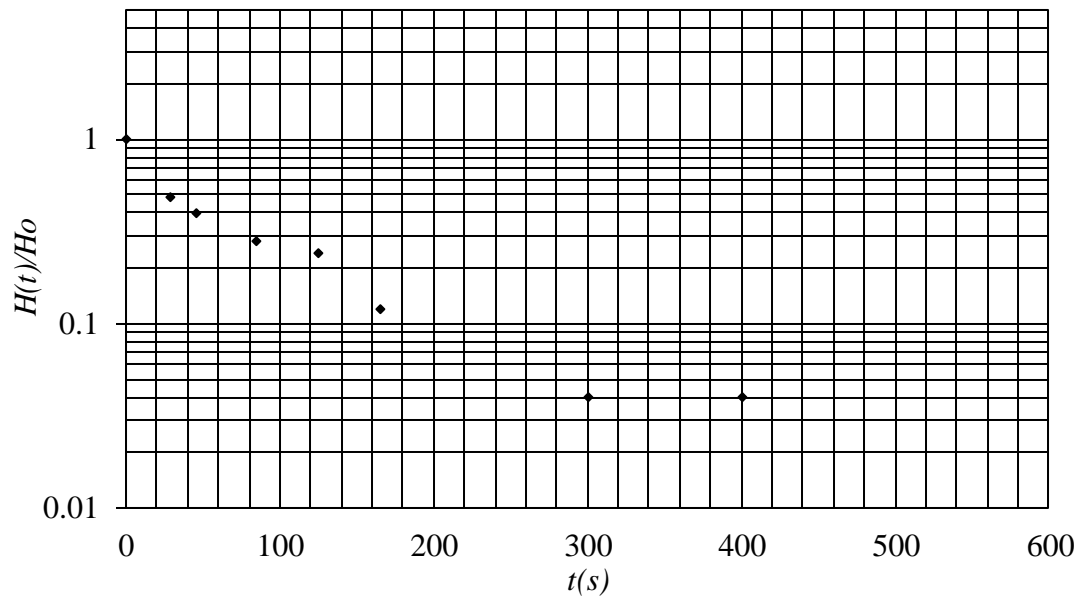
EK 2.31. Yenişehir, Osmaniye-3



EK 2.32. Yenişehir, Kızılköy



EK 2.33. Orhangazi, Sölöz



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gökçen Eryılmaz Türkkan

Doğum Yeri ve Tarihi: Bursa, 26.08.1987

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu:

Lisans : Balıkesir Üniversitesi, (2005-2009)

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, (2011-2013)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

Mimak Yapı Denetim 2009-Kontrol Mühendisi

Bayburt Üniversitesi Mühendislik Fakültesi 2010-Araştırma Görevlisi

Uludağ Üniveristesesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2012-Araştırma Görevlisi

İletişim (e-posta): geryilmaz@uludag.edu.tr

gokcen_eryilmaz@hotmail.com

Yayımları:

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleleri (SCI & SCI-Expanded):

Eryılmaz G.T., Korkmaz S., 2015. Kuyu ve Akifer Testlerine Uygulanan Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Hidrolik İletkenliğin Belirlenmesi, *Teknik Dergi*, ISSN:1300-3453.

Eryılmaz Türkkan G., Korkmaz S., 2015. Determination of Hydraulic Conductivity Using Analytical and Numerical Methods Applied to Well and Aquifer Tests. *Digest*, V.:26.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında (Proceedings)
Basılan Bildirileri:

Korkmaz S., Eryılmaz G.T., 2015. Evaluation of Pumping Test Data Using Analytical and Numerical Methods. 36th IAHR World Congress, Lahey, Hollanda (Tam makale).

Eryılmaz Türkkan G., Korkmaz S., 2016. Investigation of Formations Using Geoelectrical Methods in the Village of İnayet, Located in İnegöl, Bursa. 1st International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences Afyon Kocatepe University, Turkey (Tam makale).

Korkmaz S., Eryılmaz Türkkan G., 2016. Application of Aquifer Tests to Determine Hydraulic Conductivity of Aquifers in Bursa, Turkey. International Conference on Engineering and Natural Sciences. Sarajevo (Tam makale).

Korkmaz S., Eryılmaz Türkkan G., 2016. A Numerical Groundwater Flow Model of Bursa Basköy Aquifer. 4th IAHR Europe Congress, Belgium (Tam makale).

Eryılmaz Türkkan G., Korkmaz S., 2016. A Ground Investigation Study At Sakarya, Çamlıca Using Geoelectrical Methods. 1st International Black Sea Congress On Environmental Sciences. Giresun, Turkey (Özet).

Eryılmaz Türkkan G., Korkmaz S., 2017. Investigation of Bursa, İnayet Village's Formation with Schlumberger Array. ICOCEE2017. Cappadocia, Turkey (Tam makale).

Eryılmaz Türkkan G., Korkmaz S., 2017. Investigation of Bursa, Eskikaraağaç Using Vertical Electrical Sounding Method. ISTECC2017. Berlin, Almanya (Tam makale).

Eryılmaz Türkkan G., Korkmaz S., 2017. Bursa İli, Karacabey İlçesi, Hamidiye Köyü Formasyonunun Su Sondajı Öncesi Jeoelektriksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi. ICADET2017. Bayburt, Turkey (Tam makale).

Eryılmaz Türkkkan G., Korkmaz S., 2017. Bursa İli,İzmit İlçesi, Müşküle Köyü Formasyonunun Wenner Yöntemiyle İncelenmesi. ICADET2017. Bayburt, Turkey (Tam makale).

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan ve Bildiri Kitabında Basılan Bildirileri:

Korkmaz S., Eryılmaz G., 2012. Hidrolik Anabilim Dalında Yürütülen Çalışmalar. Uludağ Üniversitesi II.Bilgilendirme ve Arge Günleri, Uludağ Üniversitesi, Bursa (Poster sunumu).

Korkmaz S., Eryılmaz G., 2013. Hidrolik Laboratuvarı. Uludağ Üniversitesi III.Bilgilendirme ve Arge Günleri, Uludağ Üniversitesi, Bursa (Poster sunumu).

Eryılmaz G., Korkmaz S., 2013. Kuyu İnkişafının Performansa Etkisi. VII. Ulusal Hidroloji Kongresi , Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta (Tam makale).

Eryılmaz Türkkkan G., Korkmaz S., 2015. Kaplıkaya Deresinin Sayısal Model ile Taşkın Analizi. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa (Tam makale).

Korkmaz S., Eryılmaz Türkkkan G., 2015. Bursa Başköy Akiferi için Sayısal Model Verilerinin Hazırlanması. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa (Tam makale).