



## Determination of the relationship between hydraulic conductivity and formation factor for different formations: A case study of Bursa

Gökçen Eryılmaz Türkan\*<sup>ID</sup>, Serdar Korkmaz<sup>ID</sup>

Department of Civil Engineering, Uludag University, Bursa, 16059, Turkey

### Highlights:

- Field survey within Qal, Tmm, Trkn and Kpa formations in Bursa
- Vertical electrical sounding application, slug test application in wells
- Relationship between hydraulic conductivity and formation factor in different formations

### Keywords:

- Vertical electrical sounding method
- IPI2win
- Slug test

### Article Info:

Received: 23.01.2017

Accepted: 11.10.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416399

### Acknowledgement:

The authors would like to extend their thanks to the Bursa Water and Sewerage Administration (BUSKİ) for providing equipment support during the field study

### Correspondence:

Author:  
Gökçen Eryılmaz Türkan  
e-mail:  
geryilmaz@uludag.edu.tr  
phone:  
+90 5336932118

### Graphical/Tabular Abstract

A total of 9 different field studies were carried out on Alluvium, Mudanya, Nilüfer and Paşayayla formations on the basis of the geology map of Bursa established by the General Directorate of Mineral Research and Exploration in 2009. Slug tests were performed in the wells drilled on each of the study areas and hydraulic conductivity values were determined by using Bouwer-Rice and Dagan analytical methods. 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 were measured in the laboratory and resistivities of water samples were calculated. For each location, formation factor was calculated as a ratio of real resistivity to groundwater resistivity. The relation between formation factor and hydraulic conductivity were investigated.

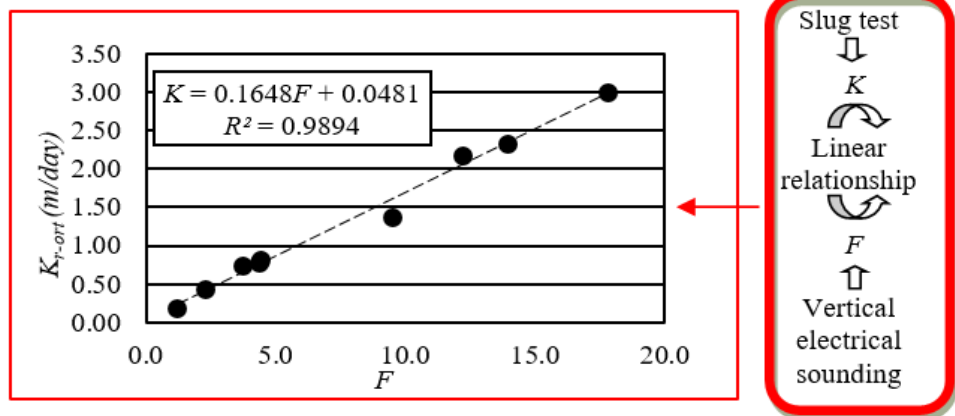


Figure A. Relation between formation factor and hydraulic conductivity

### Purpose:

The aim of this study is to research the relationship between hydraulic conductivity and resistivity in different geological formations.

### Theory and Methods:

Slug tests were performed in the wells drilled on each of the study areas and hydraulic conductivity values were determined by using Bouwer-Rice and Dagan analytical methods. 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 were measured in the laboratory and resistivities of water samples were calculated. For each location, formation factor was calculated as a ratio of real resistivity to groundwater resistivity.

### Results:

The formation factor- hydraulic conductivity relationships were analyzed. Formation factor varies between 1,193 and 17,807. Hydraulic conductivity varies between 0,185 and 2,994 m/day.

### Conclusion:

This research proves a linear relationship between hydraulic conductivity and formation factor in different formations. It is believed that this study will be beneficial to groundwater research studies.



## Farklı formasyonlar için hidrolik iletkenlik ile formasyon katsayısı arasındaki ilişkinin belirlenmesi: Bursa örneği

Gökçen Eryılmaz Türkan\*<sup>ID</sup>, Serdar Korkmaz<sup>ID</sup>

Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye

### Ö N E Ç İ K A N L A R

- Bursa'da Qal, Tmm, Trkn ve Kpa formasyonlarında saha çalışması
- Düşey elektrik sondaj uygulaması, kuyularda slug test uygulaması
- Farklı formasyonlardaki hidrolik iletkenlik ile formasyon katsayısı arasındaki ilişki

### Makale Bilgileri

Geliş: 23.01.2017  
Kabul: 11.10.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416399

### Anahtar Kelimeler:

Düşey elektrik sondaj  
yöntemi,  
IPI2win,  
Slug test

### ÖZET

Bu çalışmada amaç, hidrolik iletkenlik ile rezistivite arasındaki ilişkiyi farklı formasyonlar üzerinde araştırmaktır. Bu amaç doğrultusunda, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2009 yılında oluşturduğu Bursa ili jeoloji haritasından faydalanarak Alüvyon, Mudanya, Nilüfer ve Paşayayla formasyonlarında olmak üzere toplam 9 farklı lokasyonda arazi çalışması yürütülmüştür. Bu bölgelerin her birinde açılan kuyularda slug test yapılmış ve hidrolik iletkenlik değerleri Bouwer-Rice ve Dagan analitik metotları kullanılarak bulunmuştur. Buna ek olarak, kuyuların bulunduğu bölgelerde Schlumberger dizilimi kullanılarak düşey elektrik sondaj yöntemi uygulanmıştır. Arazi çalışması sonucu elde edilen ölçüm değerleri IPI2win yazılımı kullanılarak işlenmiş ve çalışılan bölgelerdeki katmanların gerçek rezistivite değerleri bulunmuştur. Açılan her bir kuyudan su numunesi alınarak elektrik iletkenlik değerleri laboratuvarında ölçülmüş ve suyun rezistivitesi hesaplanmıştır. Her bir lokasyon için gerçek rezistivite değeri, yeraltı suyunun rezistivite değerine oranlanarak formasyon faktörü elde edilmiştir. Formasyon faktörü ile hidrolik iletkenlik arasındaki ilişki incelenmiş ve lineer bir bağıntı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmanın yeraltı suyu araştırmaları açısından faydalı olacağı düşünülmektedir.

## Determination of the relationship between hydraulic conductivity and formation factor for different formations: A case study of Bursa

### H I G H L I G H T S

- Field survey within Qal, Tmm, Trkn and Kpa formations in Bursa
- Vertical electrical sounding application, slug test application in wells
- Relationship between hydraulic conductivity and formation factor in different formations

### Article Info

Received: 23.01.2017  
Accepted: 11.10.2017

### DOI:

10.17341/gazimmfd.416399

### Keywords:

Vertical electrical sounding  
method,  
IPI2win,  
Slug test

### ABSTRACT

The aim of this study is to research the relationship between hydraulic conductivity and resistivity on different formations. For this purpose, a total of 9 different field studies were carried out on Alluvium, Mudanya, Nilüfer and Paşayayla formations on the basis of the geology map of Bursa established by the General Directorate of Mineral Research and Exploration in 2009. Slug tests were performed in the wells drilled on each of the study areas and hydraulic conductivity values were determined by using Bouwer-Rice and Dagan analytical methods. 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 were measured in the laboratory and resistivities of water samples were calculated. For each location, formation factor was calculated as a ratio of real resistivity to groundwater resistivity. The relation between formation factor and hydraulic conductivity were investigated and a linear relationship was found. It is believed that this study will be beneficial to groundwater research studies.

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: geryilmaz@uludag.edu.tr / Tel: +90 533 693 2118

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gerek yeraltı suları gerek yüzeysel sular günümüzde oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Su insan hayatında bu kadar önemli iken, yüzeysel suları da yeraltı sularını da bilinçli kullanmak gereklidir. Davranışı bilinen kaynağın kullanımı da kolay olacaktır. Bu anlamda akifer parametrelerinin bilinmesi ve incelenmesi önemlidir. Akifere ait en önemli parametrelerden biri olan hidrolik iletkenliğe ulaşmak için birçok metot mevcuttur. Bu çalışmada slug testler uygulanmıştır. Slug testler, kuyuya belli bir hacimdeki külçenin aniden bırakılması veya önceden bırakılmış bir külçenin aniden çekilmesi ile su seviyesindeki değişimin zamana bağlı ölçülmesi şeklinde uygulanır. Ölçüm verileri kullanılarak birtakım analitik hesaplamalar ile akiferin hidrolik iletkenlik değeri elde edilir. Basıncı akiferlerde Cooper, Bredehoeft ve Papadopulos metodu [1] ve Hvorslev metodu [2], basıncısız akiferlerde ise Bouwer-Rice metodu [3] ve Dagan metodu [4] bulunmaktadır.

Yeraltı suyu gözlemeleme çalışmalarında günümüzde jeoelektriksel yöntemlere oldukça fazla başvurulmaktadır. Bunlar arasında en yaygın kullanılanı düşey elektrik sondaj (DES) yöntemidir. Bu yöntem, diğer jeofizik yöntemlerden elde edilemeyecek bilgiyi sağlayabilmektedir. Örneğin, elektriksel 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 yöntemde amaç, yeraltı formasyonlarının yatay ve düşey yönde elektrik iletim biçimlerini araştırmak ve rezistivitesini bulmaktır. DES yöntemi birçok çalışmada kullanılmıştır [5-7]. Örneğin; Muhammad ve Khalid [8], çalışmalarında Pakistandaki Peshawar havzasının yeraltı suyu potansiyelini hidrojeofizik araştırmalarla değerlendirmiştir. Mahmoud ve Kotb [9], jeofizik teknikleri kullanarak Mısır'daki jeolojik yapıların yeraltı suyuna etkisini incelemiştir. Alhassan vd. [10], Nijeryadaki yeraltı suyu potansiyelini jeoelektriksel yöntemler kullanarak incelemiştir. Gyulai vd. [11], DES ölçümleri ile termal suların jeoelektriksel özelliğini araştırmıştır. Asfahani [12], çalışmasında Suriyedeki Khanasser vadi bölgesini DES yöntemi ile inceleyerek hidrolik parametre tahmini gerçekleştirmiştir. Balakrishna vd. [13], Elektriksel tomografi ve DES yöntemini kullanarak çatlaklı akiferlerin yeraltı suyu potansiyelini incelemiştir. Sundararajan vd. [14], çalışmasında DES ve Wenner yöntemlerini kullanarak çevresel etki değerlendirmesi yapmıştır.

Aynı formasyon için hidrolik iletkenlik ile formasyon faktörü arasındaki ilişkiyi inceleyen birçok çalışma mevcuttur. Örneğin Sikandar vd. [15], alüvyonlu akiferler için DES yöntemini kullanarak elde ettikleri formasyon faktörü ile akiferin hidrolik iletkenliği arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Yadav G.S. [16], makalesinde jeoelektriksel parametreler ile hidrolik parametreler arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Soupios vd. [17], jeofiziksel metotlarla akiferin hidrolik iletkenliğinin belirlenmesi üzerine bir çalışma

yürütmüştür. Niwas ve Celik [18], Almanya'da yüzey jeofiziğini kullanarak akiferin hidrolik iletkenliği ve porozitesinin belirlenmesi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) tarafından içme suyu ve sulama amaçlı olmak üzere Bursa ilinde hemen her bölgede yeraltı su kuyuları açılmaktadır. Kuyu açılması oldukça masraflı olduğundan jeofizik etütler ile önceden bölgedeki yeraltı suyu varlığı ile ilgili araştırmalar yapılmaktadır. Mevcut çalışma BUSKİ'nin destekleriyle yürütülmüştür. Bu çalışmada amaç, farklı formasyonlar için hidrolik iletkenlik ile rezistivite arasındaki ilişkiyi bulmaktır. Bu amaç doğrultusunda Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2009 yılında oluşturduğu Bursa ili jeoloji haritasından faydalanarak, Bursa'nın farklı formasyondan oluşan bölümleri çalışma alanı olarak tercih edilmiştir. Bursa'da Qal (Alüvyon formasyonu), Tmm (Mudanya formasyonu), Trkn (Nilüfer formasyonu) ve Kpa (Paşayayla formasyonu) formasyonlarında yer alan 9 farklı lokasyonda arazi çalışması yürütülmüştür. Akiferlerin hidrolik iletkenliği bulunurken arazide slug testler uygulanmıştır. Bouwer-Rice ve Dagan analitik metotları kullanılarak hidrolik iletkenlik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca, kuyuların bulunduğu bölgelerde Schlumberger dizilimi kullanılarak DES yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen Schlumberger dizilim değerleri IPI2win yazılımı [19] kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucu zeminin gerçek rezistivite değerleri bulunmuştur. Alınan su numunesi örneklerinin laboratuvarında incelenmesi sonucu suyun elektrik iletkenliği ölçülmüş ve suyun rezistivitesi hesaplanmıştır. Her bir lokasyon için gerçek rezistivite değeri, yeraltı suyunun rezistivite değerine oranlanarak formasyon faktörü hesaplanmıştır. Elde edilen formasyon faktörleri ile hidrolik iletkenlik değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışma ile çalışılan bölgenin hidrolik iletkenliği, gerçek rezistivitesi ve formasyon faktörü hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Aralarındaki ilişki yorumlanmıştır.

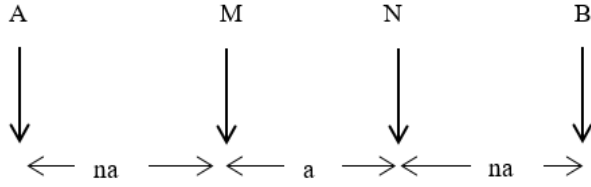
## 2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

### 2.1. Düşey Elektrik Sondaj Yöntemi (Vertical Electrical Sounding Method)

Bu çalışmada, jeoelektriksel yöntemlerden biri olan DES yöntemi kullanılmıştır. DES yöntemi, 2 adet akım elektrodu ile yer altına 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 rezistivite değerlerini belirleyebilmektir. DES yönteminin arazi uygulamasında çözülmek istenilen probleme bağlı olarak farklı geometrik dizilimler mevcuttur. Dizilimlerin birbirinden temel farklılıkları araştırma derinliği, yatay çözüm duyarlılığıdır. Bu çalışmada aynı yatay açılımda daha derinden bilgi vermesi sebebiyle Schlumberger dizilimi kullanılmıştır.

A,B akım ve M,N gerilim elektrotlarının farklı konumlarına göre farklı elektrot dizilimleri önerilmiştir. Pratikte yer içine A ve B gibi iki noktadan elektrot akımı gönderilir, M ve N gibi ayrı iki noktadan potansiyel farkı ölçülür. Şekil 1’de Schlumberger dizilimine ve Eş. 1’de dizilim katsayısının hesabına yer verilmiştir.

$$k = \pi n (n + 1)a \quad (1)$$



Şekil 1. Schlumberger dizilimi (Schlumberger array)

Schlumberger dizilimi için dizilim katsayısı hesaplandıktan sonra Eş. 2 yardımı ile “görünür rezistivite” hesaplanır.

$$\rho_a = \left(\frac{\Delta V}{I}\right) k \quad (2)$$

DES tekniği ile yeraltındaki katmanların gerçek rezistivitesini ve tabaka kalınlıklarını elde edebilmek için logaritmik kâğıdın düşey eksenine görünür rezistivite değerleri, yatay eksenine elektrot aralığı işlenir. Böylece yüzeyden derine doğru görünür rezistivite değişimi elde edilmiş olur. Tabakaların gerçek rezistivitesinin ve kalınlıklarının elde edilmesi için ise birtakım 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

Elde edilen eğriler grafik kaydırma tekniği ile düzeltilip Orellana-Mooney model eğrileri [20] ile karşılaştırılmakta ve tabakaların gerçek rezistivitesi, kalınlıkları belirlenmektedir. Bunun yanı sıra bilgisayar kullanımının yaygınlaşması ile klasik yöntemler yerine IPI2win [19] gibi programlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada Schlumberger dizilimlerinin çözümü için IPI2win yazılımı kullanılmıştır. Aynı zamanda çalışmada arazi ölçümlerinin birkaç tanesi Orellana-Mooney model eğrileri karşılaştırılarak çözülmüş, IPI2win yazılım sonuçları ile teyit edilmiştir. 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 değişkenlerini ya da Tikhonov

yaklaşımını kullanır. Ters çözüm problemleri her bir eğri için ayrı ayrı çözülür [21]. Program, Schlumberger elektrot dizilimine karşılık görünür rezistivite değerlerini kullanarak düşey elektrik sondaj eğrilerini oluşturur. Zeminin tabaka kalınlıklarını ve rezistivite değerlerini belirler.

Ayrıca kayalara ait rezistiviteyi belirlemek için “Archie Kanunu” [22] geliştirilmiştir. Aşağıdaki ampirik eşitlikle ifade edilmektedir (Eş. 3).

$$\rho = a\rho_0\eta^{-m}S^{-n} \quad (3)$$

Yukarıdaki eşitlikte geçen  $a$ ,  $n$  ve  $m$  ampirik katsayıları pekiştirme (konsolidasyon) derecesine bağlıdır.  $m$  ve  $n$  değerleri ıslanabilirliğe ve sementasyona bağlıdır. Eğer mineral tanecikleri yalıtkan ise  $a=1$  olarak alınır.  $\rho$  değeri gerçek rezistivitedir.  $\rho_0$  değeri ise suyun rezistivitesidir. Alınan yeraltı suyu numunelerinin laboratuvarında incelenmesi ile bulunan elektrik iletkenliğinden elde edilir (Eş. 4).

$$\rho_0 = \frac{1}{G} * 10000 \quad (4)$$

Eş. 5’de ise formasyon faktörünün hesabına yer verilmiştir.

$$F = \frac{\rho}{\rho_0} \quad (5)$$

## 2.2. Slug Testler (Slug Tests)

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 ( $K_r$ ) değeri kuyu civarındaki küçük bir bölgeyi temsil eder. Slug test temelde, belli bir hacimdeki külçeyi kuyuya aniden bırakarak veya önceden bırakılan bir külçeyi aniden çekerek kuyudaki su seviyesinin değişiminin ölçülmesi ile yapılır. 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 bir kaç dakika alabileceği gibi günler boyunca da sürebilir [23]. Slug testler ile basınçsız akiferlerde hidrolik iletkenliği bulmaya yarayan iki analitik metot aşağıda sunulmuştur.

### 2.2.1. Bouwer-Rice metodu (Bouwer-Rice method)

Bouwer ve Rice Metodu [24, 25] orjinal modeli izotropik durumlar için tanımlanmıştır. Zlotnik [25] anizotropik durumlar için metodu geliştirmiştir. Slug testte birtakım kabuller altında analitik çözümler geliştirilmiştir. Bu kabulleri şu şekilde sıralayabiliriz [26];

- Akifer, yatay düzlemde sonsuz büyüklüğe 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 eşitlikler tanımlanmıştır (Eş. 6, Eş. 7).

$$H_0 = \frac{V}{\pi r_c^2} \quad (6)$$

$$K_r = \frac{r_c^2 \ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)}{2L_e} \frac{1}{t} \ln\left(\frac{H_0}{H(t)}\right) \quad (7)$$

$R_e$  aynı zamanda kuyudan itibaren ortalama hidrolik iletkenlik değerinin ölçüldüğü karakteristik mesafedir. Ancak, belirli bir kuyu için  $R_e$ 'nin değeri bilinemez. Hidrolik iletkenlik değerini hesaplamak için gereken  $\ln(R_e/r_w)$  değeri hesabına aşağıda yer verilmiştir [3, 24];

a) Su tablasından kuyu tabanına olan mesafe ( $L_w$ ), akiferin doymun kalınlığından ( $D$ ) küçükse Eş. 8 kullanılır (kuyu akiferi kısmen deliyorsa);

$$\ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right) = \left[ \frac{1,1}{\ln\left(\frac{L_w}{r_w}\right)} + \frac{X+Y \ln\left(\frac{D-L_w}{r_w}\right)}{\frac{L_e}{r_w}} \right]^{-1} \quad (8)$$

b)  $L_w=D$  ise Eş. 9 kullanılır;

$$\ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right) = \left[ \frac{1,1}{\ln\left(\frac{L_w}{r_w}\right)} + \frac{Z}{\frac{L_e}{r_w}} \right]^{-1} \quad (9)$$

$X, Y, Z$  boyutsuz parametreleri  $L_e/r_w$  değerine bağlı olup Şekil 2'deki abaktan bulunur. Bulunan hidrolik iletkenlik değeri,  $r_w$  ve  $L_e$  ne kadar büyükse akiferin o kadar büyük bir kısmını temsil eder [27].

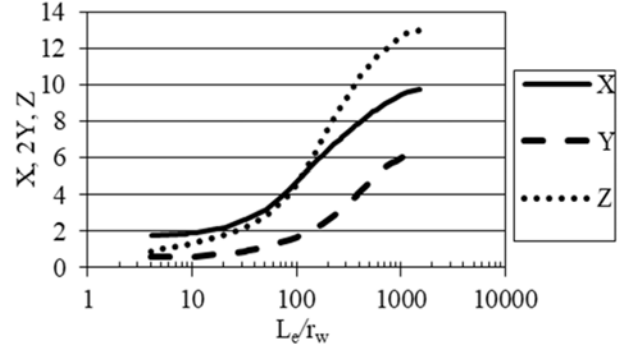
İşlem adımları;

- Öncelikle logaritmik düşey eksene  $H(t)/H_0$  değerleri, aritmetik yatay eksene ise zaman ( $t$ ) değerleri işaretlenir. İşaretlenen noktalara bir düz çizgi uydurulur.
- $L_e/r_w$  değerine karşılık gelen  $X, Y, Z$  değerleri Şekil 2'deki abaktan okunur.
- Yukarıdaki (a) ve (b) durumlarından uygun olan formül seçilir, hesaplanır.
- $H(t)=0,368H_0$  seçilerek Eş.7'de  $\ln(H_0/H(t))$  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 Eş. 10'da yerine konularak hidrolik iletkenliğe ulaşılır.

$$K_r = \frac{r_c^2 \ln\left(\frac{R_e}{r_w}\right)}{2L_e} \frac{1}{t_{new}} \quad (10)$$



Şekil 2.  $X, Y, Z$  boyutsuz parametrelerinin  $L_e/r_w$ 'nin fonksiyonu olarak gösterilmesi [3]

(Dimensionless parameters  $X, Y, Z$  plotted as a function of  $L_e/r_w$  [3])

### 2.2.2. Dagan metodu (Dagan method)

Dagan metodu [4], 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;

- Logaritmik düşey eksene  $H(t)/H_0$  değerleri, yatay eksene ise zaman ( $t$ ) değerleri işaretlenir. İşaretlenen noktalara bir düz çizgi uydurulur.
- 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.
- Anizotropik oran  $K_z/K_r$  değerine göre  $\psi$  Eş. 11 ile bulunur (Genelde  $K_z/K_r=1$  alınır).

$$\psi = \frac{\sqrt{\frac{K_z}{K_r}}}{L_e/r_w} \quad (11)$$

4. Bulunan  $\psi$  değerini kullanarak Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3'den duruma uygun olan biri kullanılarak boyutsuz akım parametresi  $P$  değerine ulaşılır.

5. Son olarak Eş.12'den yararlanarak hidrolik iletkenlik elde edilir.

$$K_r = \frac{r_c^2 \left(\frac{1}{P}\right)}{2L_e t_{new}} \quad (12)$$

**Tablo 1.** Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi ( $P$ ) değerleri (Kuyu gözenekleri su tablasının altında ve  $L_w/D \leq 0,05$  ise) [28]  
(Tabulated values of the dimensionless flow parameter  $P$  used in Dagan method for wells screened below the water table (values for  $L_w/D \leq 0,05$ ) [28])

$\psi$	$(L_w+L_e)/L_e$				
	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

**Tablo 2.** Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi ( $P$ ) değerleri (Kuyu gözenekleri su tablasının altında ve  $(L_w+L_e)=D$  ise) [28]  
(Tabulated values of the dimensionless flow parameter,  $P$ , used in Dagan method for wells screened below the water table (values for  $(L_w+L_e)=D$ ) [28])

$\psi$	$L_e/D$					
	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

**Tablo 3.** Dagan metodu için boyutsuz akım parametresi ( $P$ ) değerleri (Basıncılı formasyonlar için) ( $L_e/D \leq 0,05$  ise) [28]  
(Tabulated values of the dimensionless flow parameter,  $P$ , used in Dagan method for confined aquifers ( $L_e/D \leq 0,05$ ) [28])

$\psi$	$(L_w+L_e)/L_e$				
	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

### 3. ARAZİ ÇALIŞMASI (FIELD STUDY)

Rezistivite ölçümleri için akım kaynağı, akımölçer, volt ölçer, akım elektrotları, potansiyel elektrotlar, makaralar, kablolar ve rezistivite cihazı kullanılmıştır. Kullanılan elektrotlar paslanmaz çeliktedir (Şekil 3).

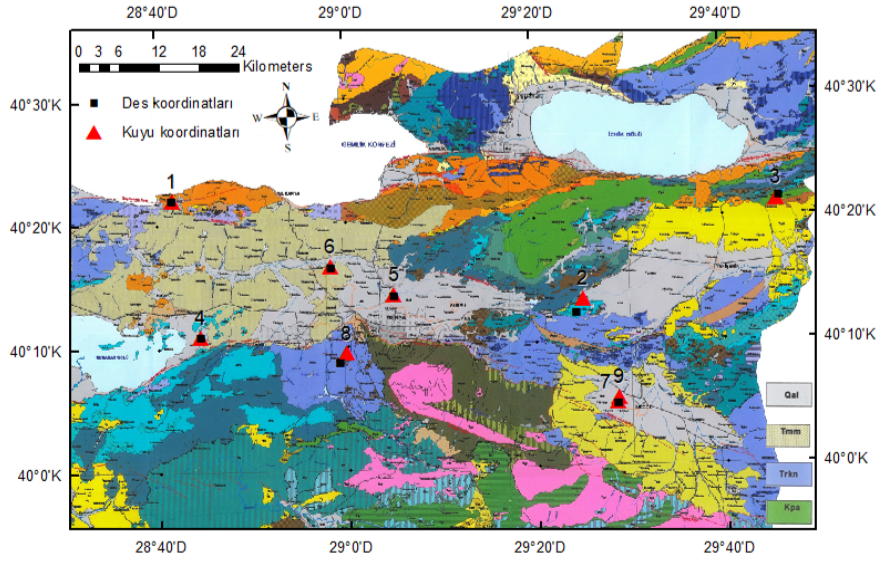
Çalışmada Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün 2009 yılında oluşturduğu Bursa ili jeoloji haritasından faydalanılmıştır. Bu çalışma Bursa'nın farklı formasyondan oluşan bölümlerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Çalışılan bölgeler; Qal, Tmm, Trkn ve Kpa formasyonlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada 6 adet Qal, 1 adet Tmm, 1 adet Trkn, 1 adet Kpa formasyonunda olmak üzere toplamda 9 farklı lokasyonda çalışma yürütülmüştür (Şekil 4). Qal

formasyonu Alüvyon formasyonudur. Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kilden oluşmaktadır. Tmm formasyonu Mudanya formasyonudur. Konglemera, kumtaşı, silttaşı, kilttaşı ve görsel kireçtaşıdan oluşmaktadır. Formasyonu oluşturan bu kaya türleri yanal ve düşey yönde birbiriyle geçişlidir. Yersel çökel farklılığı sunan birim, konglomera-kumtaşı ardalıması, kumtaşı-çamurtaşı-silttaşı ara tabakalı konglomera, çakıltaşı-kilttaşı-kireçtaşı, kumtaşı-kilttaşı-marn ardalıması ve silttaşı-kilttaşı ara tabakalı kireçtaşıdan oluşan bir istiflenme göstermektedir. Formasyonu, Görmüş ve Hançer'e [29] göre Geç Miyosen, bir başka çalışmaya [30] göre ise Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşındadır. Trkn Nilüfer formasyonudur. Geniş alanlarda yayılım gösteren birim, çoğunlukla metabazit ve metapelitik kayalardan, az oranda da kalkıştinden oluşur. Yer yer fillat ve mermer ara





Şekil 3. Rezistivite çalışmasında kullanılan ekipmanlar (Equipments for resistivity study)



Şekil 4. Çalışma bölgesi, kuyu koordinatları, DES koordinatları, formasyonlar  
(Working area, well coordinates, VES coordinates, formations)

seviyeli, yeşil renkli metatüflerden oluşan bir istiflenme sunar. Tüm kayalarda belirgin bir foliyon ve yersel gelişmiş mineral yönelimi izlenir. Metamorfizmaları 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 [31]. Kpa Paşayayla formasyonudur. Boz, kahve, krem, yeşil renkli ince-orta-kalın tabakalı çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, marn, kıltaşı, tuf, silttaşı, çamurtaşından oluşur. Bu formasyonlarda açılan kuyulara ve kuyulardan alınan su numunelerine ait bilgilere Tablo 4'de yer verilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

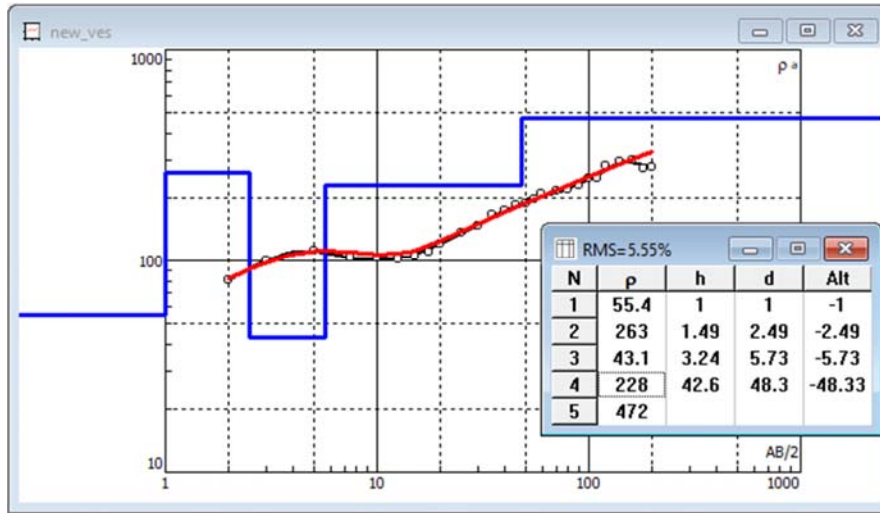
Arazi çalışması sonucu elde edilen Schlumberger dizilim değerleri IPI2win programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Bu değerlendirmeler sonucu zeminin gerçek rezistivitesi bulunmuştur (Tablo 5). Örnek teşkil etmesi açısından Şekil 5'de İnegöl Çeltikçi Köyü-2 bölgesinde yapılan rezistivite ölçümünün IPI2win yazılım değerlendirmesine yer verilmiştir.

Arazide alınan su numunesi örneklerinin laboratuvarında incelenmesiyle suyun elektrik iletkenliği ölçülmüştür (Tablo 4). Eş. 4 ile suyun rezistivitesi hesaplanmış, Eş. 5 ile formasyon faktörü hesaplanmıştır (Tablo 5). Bu çalışmada, zemin özellikleri göz önünde bulundurulması sonucunda tüm kuyular rotary-çamurlu sondaj yöntemi kullanılarak açılmıştır. Slug testler kuyuya 10 lt hacminde suyun bırakılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Testlerde 10 lt hacmin kullanılmasının sebebi, su seviyesinde ölçüm alınabilecek kadar değişim oluşturmaktır. Ayrıca slug testlerde kullanılan hacmin sonuçlarda bir etkisi olmadığı yazarlar tarafından daha önce yapılmış bir çalışmada görülmüştür [23]. 10 lt hacminde su hızlıca bırakıldıktan hemen sonra kuyu içinde su seviyesi zamana bağlı olarak

**Tablo 4.** Kuyular ve kuyulardan alınan su numunelerine ait bilgiler (Information on wells and water samples taken from wells)

Çalışma no	Çalışılan bölge	Formasyon tipi	Kuyu derinliği (m)	$2r_c$ (cm)	$G$ ( $\mu\text{S/cm}$ )
1	Mudanya Esence	Qal	148	22,5	1242
2	Kestel Seymen	Qal	128	28,0	1489
3	Yenişehir Kızılköy	Kpa	116	20,0	525
4	Nilüfer Akçalar	Qal	120	14,0	1482
5	Osmangazi Doğu Atık Su Tesisi Osmangazi	Qal	212	25,0	509
6	Hamitler Arıtma Tesisi	Tmm	164	25,0	654
7	İnegöl Çeltikçi Köyü-1	Qal	152	24,5	535
8	Osmangazi Gökçeören Köyü	Trkn	80	20,0	532
9	İnegöl Çeltikçi Köyü-2	Qal	124	25,0	781

**Şekil 5.** İnegöl Çeltikçi Köyü-2 için IPI2win yazılımı ile gerçek rezistivitenin belirlenmesi (Identification of real resistivity using IPI2win software for İnegöl Çeltikçi Village-2)

ölçülmüştür. Ölçüme su seviyesi durağan hale gelene kadar devam edilmiş ve hidrolik iletkenliği bulabilmek amacıyla Bouwer-Rice ve Dagan analitik metotları tercih edilmiştir. Örneğin; İnegöl Çeltikçi Köyü-2. kuyuda  $L_e = 4400$  cm,  $r_w = 22$  cm,  $L_e/r_w = 200$  olarak hesaplanmıştır. Bouwer-Rice metodu için öncelikle logaritmik düşey eksene  $H(t)/H_0$  değerleri, aritmetik yatay eksene ise zaman ( $t$ ) değerleri işaretlenmiştir. İşaretlenen noktalardan bir düz çizgi geçirilmiştir.  $L_e/r_w$  değerine karşılık gelen  $Z$  değeri Şekil 2'deki abaktan 7 olarak okunmuştur.

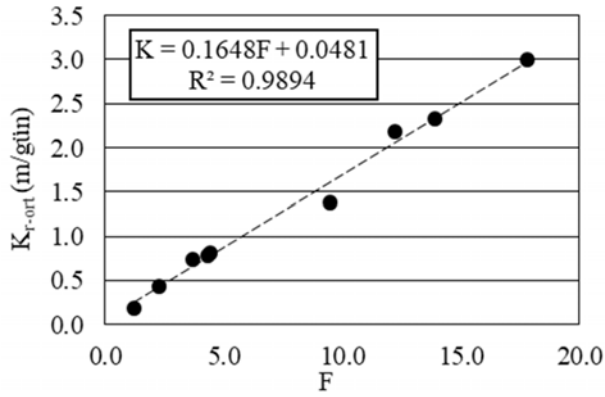
Eş. 9 kullanılarak  $\ln(R_e/r_w) = 4,744$  bulunmuştur. Arazide alınan ölçüm verileri kullanılarak oluşturulan  $H(t)/H_0-t$  grafiğinden geçirilen düz çizginin  $y$  eksenini kestiği noktadaki değer okunup 0,368 ile çarpılmış 0,1472 değeri bulunmuştur. Aynı grafikte  $y$  eksenindeki 0,1472 değerinin düz çizgiyi kestiği noktadan dikme indirilip  $x$  eksenini kestiği noktadaki

değer  $t_{new} = 25$  sn olarak belirlenmiştir. Eş.10 kullanılarak  $K_r = 2,912$  m/gün olarak bulunmuştur. İnegöl Çeltikçi Köyü-2. kuyu için Dagan metodunda da Bouwer-Rice metodunda olduğu gibi aynı şekilde  $H(t)/H_0-t$  grafiği oluşturulup  $t_{new} = 25$  sn olarak belirlenmiştir. Anizotropik oran  $K_z/K_r = 1$  kabul edilerek Eş.11'den  $\psi = 0,005$  elde edilmiştir. 2.2.2. Dagan metodunun yer verildiği bölümde ilgili tablodan boyutsuz akım parametresi ( $P$ ) okunmuştur. Son olarak Eş.12 kullanılarak  $K_r = 3,076$  m/gün olarak hesaplanmıştır. Her kuyu için Bouwer-Rice ve Dagan metotları ile bulunan hidrolik iletkenlik değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. Hesaplanan hidrolik iletkenlik değerlerine, su numunesi alınan derinliğe ( $D_{su}$ ), formasyon faktörü gibi değerlere Tablo 5'de yer verilmiştir. Şekil 6'da formasyon faktörüne karşılık Bouwer-Rice ve Dagan metotları ile bulunan hidrolik iletkenlik değerlerinin aritmetik ortalaması ( $K_{r-ort}$ ) çizdirilmiştir.



**Tablo 5.** Formasyon faktörü ve hidrolik iletkenlik değerleri (Formation factor and hydraulic conductivity values)

Çalışma no	$D_{su}$ (m)	$\rho$ (ohm-m)	$\rho_0$ (ohm-m)	$F$	Bouwer-	Dagan	$K_{r-ort}$ (m/gün)
					Rice $K_r$ (m/gün)	$K_r$ (m/gün)	
1	70	112,00	8,050	13,910	2,333	2,333	2,333
2	60	29,10	6,720	4,330	0,760	0,804	0,782
3	40	70,20	19,050	3,690	0,726	0,760	0,743
4	10,41	8,05	6,748	1,193	0,187	0,183	0,185
5	88-104	87,10	19,646	4,433	0,821	0,804	0,812
6	68-80	34,40	15,291	2,250	0,433	0,439	0,436
7	42-43	228,00	18,692	12,198	2,177	2,186	2,182
8	17-20	178,00	18,797	9,470	1,469	1,296	1,382
9	44	228,00	12,804	17,807	2,912	3,076	2,994

**Şekil 6.** Formasyon faktörü ile hidrolik iletkenlik arasındaki ilişki (Relationship between formation factor and hydraulic conductivity)

## 6. SİMGELER (SYMBOLS)

- $a$  : Ampirik katsayı  
 $D$  : Akiferin doymun kalınlığı  
 $D_{su}$  : Su numunesi alınan derinlik  
 $F$  : Formasyon faktörü  
 $G$  : Elektrik iletkenliği  
 $H_0$  : Su bırakıldıktan hemen sonraki düşü  
 $H(t)$  : Zamana bağlı düşü  
 $I$  : Yere verilen akım  
 $K_r$  : Hidrolik iletkenlik  
 $k$  : Dizilim katsayısı (geometrik faktör)  
 $L_e$  : Filtreli kısmın uzunluğu  
 $L_w$  : Su tablasından kuyu tabanına olan mesafe  
 $m$  : Ampirik katsayı  
 $n$  : Ampirik katsayı  
 $P$  : Boyutsuz akım parametresi  
 $R_e$  : Yük değişiminin dağıldığı etkili mesafe  
 $r_c$  : Filtresiz borunun yarıçapı  
 $r_w$  : Sondaj yarıçapı (çakıl zarfının yarıçapı)  
 $s$  : Suyun doymunluğu  
 $t$  : Zaman  
 $V$  : Bırakılan veya çekilen suyun hacmi  
 $X$  : Boyutsuz parametre  
 $Y$  : Boyutsuz parametre  
 $Z$  : Boyutsuz parametre

- $\Delta V$  : Ölçülen gerilim farkı  
 $\eta$  : Porozite  
 $\rho$  : Gerçek rezistivite  
 $\rho_a$  : Görünür rezistivite  
 $\rho_0$  : Suyun rezistivitesi  
 $\psi$  : Boyutsuz parametre

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, 6 adet Qal, 1 adet Tmm, 1 adet Trkn ve 1 adet Kpa formasyonunda olmak üzere toplamda 9 farklı lokasyonda arazi çalışması yürütülmüştür. Bahsedilen bölgelerde slug testler uygulanmış ve hidrolik iletkenlik değerleri Bouwer-Rice ve Dagan analitik metotları kullanılarak bulunmuştur. Buna ek olarak, kuyuların bulunduğu bölgelerde Schlumberger dizilimi kullanılarak DES yöntemi uygulanmıştır. Araziden elde edilen ölçüm değerleri IPI2win yazılımı ile işlenerek katmanların gerçek rezistiviteyi bulunmuştur. Açılan kuyulardan alınan su numunelerinin elektrik iletkenliği laboratuvarında ölçülmüş ve bunlardan suyun rezistivitesi hesaplanmıştır. Her bir lokasyon için gerçek rezistivite değeri, yeraltı suyunun rezistivitesine oranlanarak formasyon faktörü bulunmuştur. Formasyon faktörü ile hidrolik iletkenlik arasında lineer bir ilişki olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Çalışılan bölgelerde formasyon faktörünün 1,193 ile 17,807 arasında, hidrolik iletkenliğin ise 0,185 m/gün ile 2,994 m/gün arasında değiştiği görülmüştür. Noktalardan geçen en uygun doğrunun denklemi  $K=0,1648F+0,0481$  olarak bulunmuştur. Sikandar vd. [15] yürüttükleri çalışmada  $K=6,8493F+34,216$  şeklinde bir denklem bulmuşlardır. Yadav [16] ise  $K=21,18F+4,48$  şeklinde bulunmuştur. Aynı formasyonda gerçekleştirilen bu çalışmalara benzer olarak, farklı formasyonlarda gerçekleştirilen mevcut çalışmada da hidrolik iletkenlik ile formasyon faktörü arasında lineer bir ilişki olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak elde edilen doğruların eğimlerinin farklı olduğu görülmektedir. Bu denklemlerin çalışılan bölgedeki jeolojik formasyonu temsil ettiği düşünülmektedir. Elektrik iletkenliği, genel olarak suda çözülmüş toplam katı madde miktarı veya suyun tuzluluğu hakkında bilgi verir. Buna göre tuzluluk oranı en düşük yeraltı suyuna Osmangazi Doğu Atık Su Tesisinde ve

Yenişehir Kızılköy’de rastlanmıştır. Ayrıca, elektrik iletkenlik değerleri birbirine benzer olan yeraltı suyuna sahip bölgelerde, formasyon rezistivitesi yüksek olanın hidrolik iletkenliğinin de yüksek olduğu görülmüştür (Tablo 4, Tablo 5). Çalışılan bölgelerin hidrolik iletkenliği, rezistivitesi ve formasyon faktörleri hakkında bilgi sahibi olunmuştur. Bu çalışmanın, ölçüm yapılan bölgeye yakın yerlerde belirlenecek formasyon faktörü ile hidrolik iletkenliğin tahminine yardımcı olacağı düşünülmektedir.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, arazi çalışmalarında her türlü desteği sağlayan Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi’ne (BUSKI) teşekkürlerini sunar.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Papadopoulos S.S., Bredehoeft J.D., Cooper Jr.H.H., On the Analysis of ‘Slug Test’ Data, *Water Resources Research*, 9 (4), 1087–1089, 1973.
- Hvorslev M.J., Time Lag and Soil Permeability in Ground-Water Observations, 36, *Waterways Exper. Sta. Corps of Engrs, U.S. Army, Vicksburg, Mississippi*, 1951.
- Bouwer H., Rice R.C., A Slug Test Method for Determining Hydraulic Conductivity of Unconfined Aquifers with Completely or Partially Penetrating Wells, *Water Resources Research*, 12 (3), 423-428, 1976.
- Dagan G., A Note on Packer, Slug, and Recovery Tests in Unconfined Aquifers, *Water Resources Research*, 14 (5), 929-934, 1978.
- Onimisi M., Kolawole M.S., Daniel A., Ebeh A., 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, 2014.
- Odunaike R.K., Akinyem L.P., Akinsegun O., Ijeoma G.C., Application of Vertical Electrical Method in Groundwater Exploration at Remo North Local Government in Ogun State of Nigeria, *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*, 4 (4), 672-678, 2013.
- McInnis D., Silliman S., Boukari M., Yalo N., Orou-Pete S., Fertenbaugh C., Sarre K., Fayomi H., Combined Application of Electrical Resistivity and Shallow Groundwater Sampling to Assess Salinity in a Shallow Coastal Aquifer in Benin, West Africa, *Journal of Hydrology*, 505, 335–345, 2013.
- Muhammad S., Khalid P., Hydrogeophysical Investigations for Assessing the Groundwater Potential in Part of the Peshawar Basin, Pakistan, *Environ Earth Sci.*, 76 (494), 2017.
- Mahmoud H.H., Kotb A.D.M., 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*, 130, 161-173, 2017.
- Alhassan U.D., Obiora D.N., Okeke F.N., Geoelectrical Investigation of Groundwater Potentials of Northern Paiko, Niger State, North Central Nigeria, *Journal of Earth Science*, 28 (1), 103-112, 2017.
- Gyulai A., Szucs P., Turai E., Baracza M.K., Fejes Z., Geoelectric Characterization of Thermal Water Aquifers Using 2.5D Inversion of VES Measurements, *Surv Geophys.*, 38 (2), 503-526, 2017.
- Asfahani J., 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*, 117, 196-206, 2016.
- Balakrishna S., Maury B.S., Narshimulu G., 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*, 83 (4), 393-402, 2014.
- Sundararajan N., Sankaran S., Al-Hosni T.K., Vertical Electrical Sounding (VES) and Multi-Electrode Resistivity in Environmental Impact Assessment Studies Over Some Selected Lakes: A Case Study, *Environ Earth Sci.*, 65, 881–895, 2012.
- Sikandar P., Christen E.W., Geoelectrical Sounding for the Estimation of Hydraulic Conductivity of Alluvial Aquifers, *Water Resources Management*, 26 (5), 1201-1215, 2012.
- Yadav G.S., Relating Hydraulic and Geoelectric Parameters of the Jayant Aquifer India, *Journal of Hydrology*, 167 (1-4), 23-38, 1995.
- Soupios P.M., Kouli M., Vallianatos F., Vafidis A., Stavroulakis G., 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, 2007.
- Niwas S., Celik M., Equation Estimation of Porosity and Hydraulic Conductivity of Ruhrtal Aquifer in Germany Using Near Surface Geophysics, *Journal of Applied Geophysics*, 84, 77-85, 2012.
- Bobachow A., IPI2win User’s Guide, Moscow State University, Moscow, 2002.
- Orellana E., Mooney H.M., Master Tables and Curves for Vertical Electrical Sounding over Layered Structures, *Interciencia*, Madrid, 1966.
- Gürbüz M., Koç N., Hamzaçebi G., Jeofiziksel Yaklaşımlarla Heyelan Yapısının Araştırılması, *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*, 1154-1156, 23-25Mart, 2005.
- Archie G.E., The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics, *Petroleum Transactions of the AIME*, 146, 54–62, 1942.
- Türkkan Eryılmaz G., Korkmaz S., Kuyu ve Akifer Testlerine Uygulanan Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Hidrolik İletkenliğin Belirlenmesi, *Teknik Dergi*, 26 (1), 6969-6991, 2015.
- Bouwer H., Estimating and Enhancing Groundwater Recharge, *Groundwater Recharge*, Editör: M.L.Sharma, Balkema Publisher, Rotterdam, The Netherland, 1-10, 1989.

25. Zlotnik V., Interpretation of Slug and Packer Tests in Anisotropic Aquifers, *Ground Water*, 32 (5), 761-766, 1994.
26. Kruseman G.P., de Ridder N.A., Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. (2nd ed.), 47, Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 1990.
27. Mays L.W., *Ground and Surface Water Hydrology*, Wiley, NJ., 2011.
28. Butler J.J.Jr., *The Design, Performance, and Analysis of Slug Tests*, Lewis Publishers, New York, 1998.
29. Görmüş M., Hançer M., Dereboğazı (Isparta Güneyi) Dolaylarındaki Karabayır Formasyonu'na ait Fasiyes Bulguları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2 (1), 39-50, 1997.
30. Emre Ö., Erkal T., Tchepalyga A., Kazancı N., Keçer M., Ünay E., Marmara Bölgesinin Neojen-Kuvaterner'deki Evrimi, *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, 120, 233- 258, 1998.
31. Akyüz S., Okay A.I., A Section Across a Tethyan Suture in Northwest Turkey, *International Geological Review*, 38 (5), 405-418, 1996.

