

## B-1) - YERALTI SUYUNDAN EN FAZLA VERİM TEMİN EDİLECEK SAHANIN JEOFİZİK METOTLARLA TAYİNİ

### SUMMARY

*The resistivity values obtained on alluvium aquifers show variations in as wide space as 1 to 1000 ohm. meters. According to field data, most of the sediment tested for permeability values from all borehole fall in a rather large band as  $10^{-7}$  to  $10^{-1}$  cm/sec. In the following studies, based on the relationship between the vertical-transmissibility and the transversal-resistance, the range of true resistivity was searched allowing to obtain the maximum yield of water from wells to be drilled in water-saturated alluvium in Dalaman-Muğla.*

*The classification and description of materials forming alluvium were made and information was obtained about their compactness as a result of dynamic sounding and seismic refraction tests. In order to reach these goals, the seismic refraction with reverse profile data, and the vertical profiles with the Wenner's four electrode configurations by the use of a Gish – Rooney resistivity equipment were used to measure seismic velocity and resistivity values, respectively.*

*The vertical-transmissibility of homogeneous aquifers was calculated from the leakage tests. It was found that a narrow resistivity range of 140-180 ohm.m correlates with the most productive materials warranting test drilling in Dalaman-Muğla area. The maximum amount of water yielding material were described as gravel GP, has maximum size 7-7.5 cm. In diameter.*

*In heterogeneous aquifer, the zones where karst features is developing and ground water table has been determined by resistivity measurements.*

### ÖZET :

Bu çalışmalarda düşey su geçirimsizliği (vertical-transmissibility) ve yatay sahalarda açılacak kuyulardan en fazla suyun teminine imkan veren gerçek öz direnç öz direnç (transversal-resistance) arasındaki ilişkilerden hareket edilerek alüvyon sınırlarının aranmasına çalışılmıştır. Alüvyonu teşkil eden malzemelerin sınıflandırması ve tanımlanması yapılmış, dinamik sondaj ve sismik kırılma sonuçlarıyla zeminin sıkılıkları hakkında bilgiler elde edilmiştir. Bu amaçların sağlanabilmesi içinde sismik kırılma ve wenner elektrot açılımı kullanılarak rezistivite ölçüleri alınmıştır. Homojen akiferlerin Düşey Geçirimsizlik (vertical-transmissibility) sızma (leakage) tecrübelerinden hesaplanmıştır. Heterojen akiferlerde karstik olayların gelişme gösterdikleri zonları ve yeraltısu derinliklerinin rezistivite çalışmalarıyla tayinine çalışılmıştır.

1963-2001 yılları arasında yazar tarafından Türkiye'nin çeşitli sahalarda yüze yakın mekanik sondaj üzerinde; rezistivite ve sismik yansıma atışları yapılmış ve mekanik sondajın ilerleme zamanı, basınçlı su testleriyle temel kayadaki su kaçak miktarları ve karot yüzdesi gibi önemli jeoteknik parametreler bir arada kullanılmıştır.

### 1. GİRİŞ :

**1.1. Etütlerin Gayesi :** Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde içme suyu ihtiyacı son yıllarda üzerinde önemle durulacak bir durum göstermektedir. Bu sebeple yüze yakın geçirimsiz tabakaların tespiti, yeraltısu depolanmasına uygun görülen gömülü çakıl yataklarının aranması önemli ve ihtiyaç duyulan araştırmalar haline gelmiştir. Suların ana kaynaklarını nehirler, sığ alüvyon akiferleri ve derin temel kaya akiferleri

teşkil eder. Nehir ve sığ alüvyon akiferlerinin kalitesi genellikle iyi olup, bu sular çeşitli maksatlarla kullanılabilirler. Yeraltısularının genellikle yüzey sularına nazaran çok daha fazla avantajları vardır. Bunların başlıcaları, zaman ve ortamdaki düzenli dağılımları, sedimenler tarafından çok az kirlenmeleri, kimyevi ve biyolojik tahribatları ve ayrıca çok üniform kaliteli ve sıcaklığa sahip olmalarıdır. Şehirleşmede Mühendislik Jeolojisi problemlerinin Jeofizik yöntemlerle çözümlenerek yeraltısuyunun belirlenmesi, kanalizasyon, elektrik, havagazı gibi yer altı tesislerinin inşasında ortaya çıkabilecek önemli zorlukların giderilmesinde bu gelişmelerin getirdiği sonuçlar önemli olacaktır. Deprem araştırmalarından elde edilen sonuçlar; en ciddi hasarların su ile doymun bulunan kalın alüvyon malzemeleri üzerinde ve ayrıca temel kayaya az nüfuz etmiş inşaatlarda görülmektedir. Yeraltısuyunun derinlerde veya yüzeyde olması temel kayanın litolojik karakterinin aydınlatılmasına hayati bir önem kazandırır. Geçirgen malzemeler, mukavemet karakteristiklerini göstermesi sebebiyle köprü ayakları vs. yapılar için yüksek geçirimliliğe sahip bölgelerde aranmalıdır. Toprak barajların altından geçirgen tabakaları takip eden sular hidrostatik nedenlerle yapıyı yukarı kaldırarak sürtünme mukavemetinin azaltılmasına ve bunun sonunda hasarlara sebebiyet verebilirler. Baraj ve diğer hidrolik yapılarda zemin materyallerinin geçirgenlik (permeability) özelliklerine göre projelendirilmesinde önemli yer tutar. Kum ve çakıl gibi iri taneli ve yüksek geçirimliliğe sahip malzemeler, basınç altında pek az deformasyon göstermeleri sebebiyle karayolları yapımı içinde çok gereklidirler.

**1.2.Etütlerin Amacı :** Yeryüzünde tam manasıyla homojen akifer bulunmadığı gibi ayrıca gerçek manada heterojen akiferlerde mevcut değildir. Tek sisteme bağlı olmayan su taşıyan materyeller heterojen akiferleri meydana getirirler. Su hareketleri bir tek çatlak içerisinde ziyade çatlak grupları içinde meydana gelmektedir. Şöyle ki, bir yerdeki akım anaforlu bir akımdır, fakat diğer bölgelerde laminer ve çok farklı yönlerde yılankavi yol izler. Çok sert ve gevşek kayalar heterojen akifer şeklindedir ve çatlaklık heterojenliğin başlıca sebebidir. Bozuşmanın gelişmesi, kısmi erime ve kırılmalar heterojeniteyi, geniş çapta erimeler ise homojeniteyi yaratabilir. Kalkerler çoğunlukla tektonik basınç ve su sirkülasyonunun temasları sebebiyle çatlak ve yarıklar ihtiva ederler. Bu konudaki örnekler (Şekil 9,10,11) de gösterilmiştir.

### YER ALTI SUYUNDAN MAKSİMUM VERİM

Homojen ve Heterojen akiferler; yapı, porozite ve gözenek boşluklarının doymunluk (saturation) derecesi yönünden çok değişme göstermelerine rağmen aralarındaki bu ilişki kısmen doymun formasyonlarda aşağıdaki formülle verilir :

$$\rho = \frac{A \cdot \rho_w}{S^m \cdot \emptyset^n} \quad (1) \text{bu formülde :}$$

$\emptyset^n$	: Gözeneklilik (porozite)
$\rho_w$	: Formasyon suyu öz direnci
$S^m$	: En az doymunluk
$n, m \text{ ve } A$	: Sabit
$\rho$	: Öz direnç

Kalker ve tebeşirli kalkerler üzerinde açılan sondajlarda çeşitli derinliklerde yeraltısuyuna girilmiştir. Şekil : 9,10,11,12.

Bu sondaj kuyularının yakınında alınan rezistivite ölçüleri, kuyulara ait basınçlı su tecrübeleri ve sondajın ilerleme zamanıyla karşılaştırılmıştır. Bu sondajda rezistivite değerleri yüzeyden itibaren önemli düşüşler göstermiştir. Bu seviyeler karstik olayların geliştiği karstlaşma zonlarına denk gelmektedir (tekabül etmektedir).

1.Nolu formül ile rezistivite düşüşlerinin anlamını karstlaşma tabanına kadar açıklamaya çalışalım.

Şekillerden görüldüğü gibi mekanik sondajın ilerleme zamanı ile rezistivite değişimleri arasında oldukça uygun bir benzerlik mevcuttur. Litolojide meydana gelen herhangi bir değişme penetrasyon (ilerleme) hızındaki değişmelere sebep olmaktadır. Bundan böyle bu değişmeler kayacın sertliğindeki değişmeler olarak ifade edilirse rezistivitedeki bu azalmalar 1 nolu formül gereğince yoğunluk ve sıkılığa (compact) denk düşen (m) değerinin ve ayrıca gözenekliliğinde erimelerle arttığı düşünülürse (n) değerinin değişmeleriyle açıklanabilir. Su kayıplarının çok fazla olduğu ve ilerleme zamanının düşük olduğu bölgelerde özdirenç (rezistivite) azalmaları oldukça dikkate değerdir. Doygunluk (saturation) zonunun üst kısmındaki havalanma zonundan düşey çatlaklar boyunca hareket eden yüzey suları sirkülasyon temasları sonucu çatlak ve yarıkların oluşmasına ayrıca erimelere neden olmaktadır. Gözenekliliğin erime ve kırılmalarla artması ve çimentolaşma derecesinin azalması sebebiyle özdirenç (rezistivite) değerlerinin düşmelerine yol açılmıştır. Şekil (H 1, 2, 3) deki rezistivite eğrileri bir çok yönlerden benzerlik arz etmektedir. Karstik taban seviyesine kadar olan bu bölgelerdeki fay zonları, bozuşmalar, parçalı, kırıklı ve çok gözenekli seviyeler düşük rezistivite değerleriyle karakterize edilmişlerdir. Yeraltısu tarafından yoğun şekilde karstik bir duruma sokulan ikinci seviye ise büyük çapta rezistivite düşüşler göstermektedir. Her ne kadar bu kuyularda su içindeki klor miktarı tayin edilmemişse de aşağıdaki açıklamalar, derinlerdeki bu sulara klor miktarının fazla olabileceğini göstermektedir.

Souline ve Ignatoritch tarafından ispat edilen yeraltısuyunun düşey farklılaşmasıyla ilgili açıklamalara göre: Bir yeraltısu ne derece derine inerse hareketi o derece yavaş olacağı gibi yüzeysel karışma imkanları da o derece az olacaktır. Her iki sebepten ötürü iyon konsantrasyonu derine indikçe artacak ve diğer taraftan iyon oranları değişecektir. Neticede yüzeye yakın bir seviyede bikarbonatlı olan bir su derine indikçe klorürlü su durumuna girecektir. Nitekim açılan kuyulardan elde edilen sonuçlara göre yüzeye yakın derinlikteki kalker akiferler kısmen tatlı su içermektedir. Fakat derinlere kadar açılan kalker akiferlere ait kuyularda klor miktarı bazen daha fazla artma göstermektedir. Rezistivite sonuçlarından 3 – 23 ohm. m değerlerinin elde edilmesi bununla açıklanabilir. Erime ve kırılma sebebiyle gözenekliliğin artması ayrıca özdirenç (resistivity) doğrudan doğruya formasyonun içerdiği suyun iletkenliğine (conductivity) bağlı olması sebebiyle karstik zonlarda önemli özdirenç (rezistivite) düşüşleri meydana gelmektedir. Şekillerden de görüldüğü gibi kalker ve tebeşirli kalker serileri kırılma, itilme ve faylanmaların etkisiyle ayrıca aralarından geçen yeraltısu tarafından yoğun bir şekilde karstik bir duruma gelmiştir. Neticede yeraltısu için geçirimli bir ortamın yaratılmasına yol açılacağından özellikle baraj sahalarında karstlaşmaya uğramış geçirimli sahaların sızdırmazlık problemini ortaya çıkaracaktır. Karstik olayların gelişme gösterdikleri diğer bir örnek şekil 12'de görülmektedir. Oligomiosen yaştaki kalker çimentolu konglomera serisi aynen kalker sahalarındaki gibi yeraltısularının salınımları görülmüştür. Yeraltısuyunun varlığını ortaya koyan en önemli delil şüphesiz ki yeraltısu seviyesine çok yakın bölgelerdeki önemli özdirenç düşüşleridir. Örneklerde; yeraltısu seviyelerinin özdirenç düşüşlerinin hemen başladığı, sona erdiği veya her ikisinin arasında da rastlamaktadır. Sonuç olarak şunu belirtmeliyiz ki ortada bulunan gerçekler rezistivite çalışmalarıyla karstik sahalarda yeraltısuyunun tayin edilebileceğini belirli bir şekilde göstermektedir. Dikkate alınması gereken bir gerçek, Türkiye'nin kurak bölgelerinde bu tarz yeraltısularına şiddetle ihtiyaç duyulduğudur.

Bu sebeple gelişmiş ülkelerdeki gibi açılacak derin kuyularla bu akiferlerden fazla miktarda su temin etmek yolunda atılacak her adım bizi en iyi çözüme götürecektir.

### 1.3. Homojen Akiferler

Kolay ezilebilen kumtaşı ve tüfleri, kum-silt gibi yumuşak ve taneli sedimanlar homojen akiferleri meydana getirirler. Sular tarafından taşınan elemanların farklı hızlarda çökelmeleri homojeniteyi yaratmaktadır. Geçirimsiz (impermeable) bir toprağın üzerine alüvyon malzemeleri geldiğinde tek yönlü serbest bir yeraltısu tablasına örnek bir yapı meydana gelir. Bunlar alüvyon üzerine yağın yağmur sularının aşağıya süzülmesiyle beslenirler.

#### 1.3 – 1 : Homojen Akiferlerin Hidrolik Özellikleri

##### Geçirimsizlik (Permeability) :

Su ile doymun bulunan materyallerin geçirimsizliği, basınç altında su geçirme kapasitesidir. Bir akiferin diğerleri ile karşılaştırılması sırasında geçirimsizlik, hidrolik özellikler içinde en önemlisini teşkil eder. Geçirimsizlik, tane büyüklüğüne, gözenekliliğe (gözeneklerin hacim, şekil ve sıralanmalarını için alır) ve gözeneklerdeki sıvıya bağlıdır. Geçirimsizlik, taneli sedimanlarda gerçek tane irilikleri ile doğru orantılıdır.

$$K = b.d^2 e^{-a\sigma}$$

bu formülde :

- a, b : Sabitler
- d : Geometrik yarıçap
- $\sigma$  : Geometrik standart sapma
- K : Geçirimsizlik (permeabilite)

Permeabiliteye kuvvetle etki eden diğer faktörler formasyonun sıklığı ve içerdiği kil miktarıdır. Kilin mevcut olduğu yerlerde suların pompalama ile teminini imkansızlaştıran tane civarındaki yüzey gerilimleri mevcuttur. Sahada geçirimsizlik (permeability) kat sayısının tayini yolunda çeşitli formüller geliştirilmiştir. Bunlardan çoğu kuyudaki suyun boşaltılması metodunu dayanır. "Theis" tarafından basit olarak aşağıdaki şekilde yazılan formül en çok kullanılanlardan biridir.

$$S = \frac{114,2 \cdot Q}{K \cdot M} \times W [u]$$

S : Alçalma [m]  
Q : Birim zamanda boşalan su miktarı  
W [u] : Boşalmanın başladığı zamana bağlı olan kuyuya ait bir fonksiyon.  
K : Sahanın geçirgenlik katsayısı  
M : Akifer kalınlığı

Bu çalışmalarımnda düşey geçirimsizlik değeri sızma tecrübelerinden aşağıdaki formülle tayin edilmiştir.

$$K_v = \frac{Q}{5,5.r.H}$$

Bu formülde:

- Q : Belirli zamanda sabit seviyede tutmak için verilen su miktarı (debi) lt/dakika
- r : Tecrübe yapılan borunun yarı çapı [m]
- H : Diferansiyel su sütunu yüksekliği [m]
- $K_v$  : Düşey geçirimsizlik birimide lt/dakika X m<sup>2</sup> olarak elde edilir

Sızma tecrübesi, dibi açık bir borudan veya deliğin muhafazasız bir kısmından toprağın kabul ettiği su miktarını ölçmeğe dayanmaktadır. Bu tecrübeler sırasında yanlıtıcı neticelere meydan vermemek için temiz su kullanılmıştır.

Zira ilave edilen suda gayet az miktarda silt ve kil mevcut olması halinde, tecrübe edilen kısmı tıkayarak tecrübe sonucunda geçirimsizliğin az olduğu gibi yanlış sonuçlara neden olabilir. Bu çalışmalar sırasında dinlendirme tankı kullanılır ve muhafaza borusunun tamamen temizlenmiş olmasına dikkat edilmiştir. Geçirimsizlik, elektrik analogi tecrübelerinden elde edilen yukarıdaki ilişkilerden belirlenmiştir. Şekil (1-a). Bu çalışmalar sırasında geçirimsizlik tecrübeleri her 20 cm. derinlikte bir defa tekrarlanarak devam ettirilmiştir. Şekil (1-a) dan kolayca görüleceği gibi bu çalışmalardan esas amaç sahada yerinde Darcy ve Ohm kanunlarının ortak bir uygulamasıdır.

**1.3.- 2 : Düşey Transmissibilite** : Transmissibilite, su taşıyan tabakanın kalınlığıyla permeabilitesinin (geçirimsizlik) çarpımıdır, Şekil (1). Bir akiferin transmissibilitesi aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$TK_v = \sum_{i=1}^n K_i \cdot m_i$$

$TK_v$  : Düşey transmissibilite  
 $K_i$  : i'ninci tabakaya ait düşey geçirimsizlik  
 $m_i$  : i'ninci tabakaya ait düşey geçirimsizlik kalınlığı  
 $n$  : Farklı geçirimsizliğe sahip tabaka sayısıdır.

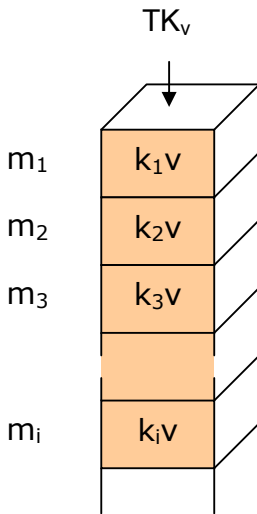
i : 1, 2, 3.....n

Çeşitli loglardan elde edilen Transmissibilite formülü şöyledir :

$$TK_v = \sum k_1 x m_1 + \sum k_2 x m_2 + \sum k_3 x m_3 + \dots$$

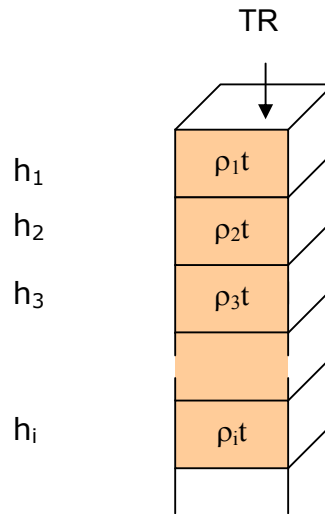
$\bar{k}_1, \bar{k}_2, \bar{k}_3$  değerleri ortalama düşey permeabiliteyi göstermektedir, yani her 20 cm. için elde edilen permeabilite değerleridir.

Düşey transmissibilite  
Vertical Transmissibility



$$TK_v = \sum_{i=1}^n k_{iv} * m_i$$

Yatay Özdirenç  
Transversal Resistance



$$TR = \sum_{i=1}^n \rho_{it} * h_i$$

## Şekil – 1 TEORİ

### YERALTISUYUNDAN MAKSİMUM VERİM 1.4.Transversal Birim Rezistans :

$\rho_1, \rho_2, \rho_3 \dots \dots \dots \rho_n$  izotrop tabakaların rezistivitesi  $h_1, h_2, h_3 \dots \dots \dots h_n$  de bu tabakaların kalınlıkları olsun. Şekil (1) deki kare prizmanın kesit kenar uzunlukları 1 birim ve yüksekliği  $h$  ise yatay öz direnç (Transversal – Resistance)  $TR = \sum_{i=1}^n \rho_i \times h_i$  olacaktır. Transversal Rezistansın birimi de  $TR = \text{ohmm}^2$  olarak çıkar.

#### 1.4.1.Yatay-Özdirenç ve Düşey Transmissibilite (iletkenlik) arasındaki ilişkiler:

Yüze elektrik ölçüleri ile alüvyal tabakalarda yeraltısularının fazla verimli olduğu yerleri belirleme probleminde, ölçülen rezistivite değerlerinin kilin birlikte bulunduğu kum ve çakıla oranı, gözeneklilik, doygunluk yüzdesi, suyun tuzluluğu ve formasyon sıklığı gibi birçok faktörlerin bir fonksiyonu olması sebebiyle oldukça karmaşıktır. Suyun tuzluluk derecesinin değişmemesi halinde bile elektrik ölçüleriyle araştırılan formasyonun yapı ve kompozisyonundaki değişimler tabakanın etkili gözenekliliğinin değişmesine sebep olacağından formasyonun elektriki öz direncinde dikkate değer değişimler meydana getirebilmektedir.

Şekil (2) de apsis ekseninde yatay öz direnç, ordinat ekseninde düşey transmissibilite (iletkenlik) değerlerini işleyerek simetrik olmayan bir eğri elde edilmiştir. Ortalama değerlerden hareketle, ortalama bir eğri çizilmiştir. Ortalama eğrinin etrafındaki noktaların dağılımları alüvyonun heterojenitesi açısından ve ayrıca ölçülerin buharlaşma hızının farklı olduğu çeşitli sahalarda alınmış olması sebebiyle (bu durum yer altı suyunun tuzluluk derecesine tesir etmektedir) beklenmeyen bir durum değildir.

Yapılan saha çalışmaları düşey geçirgenliliğin yatay geçirgenliliğe oranının 1/15 ile 1/25 arasında değişmekte olduğunu göstermiştir.

Bu durum yeraltısuyunun yatay akımının bile düşey akıma nispeten geniş bir aralıkta değişmekte olduğunu göstermektedir.

Bu grafikte maksimum düşey Transmissibilite'yi (dolayısıyla verimi) tayin eden U-K aralığında Transversal Rezistans değerinde pek az değişme görülmesine rağmen transmissibilitelerinde çok daha fazla kayda değer değişikliğin görülmesi U-K aralığına ayrı bir dikkati zorunlu kılmaktadır. Bu grafikte U-K arasındaki yani maksimum verimi tayin eden aralıkta formasyonun litolojik karakteri hakkında daha detaylı neticeler elde edebilmek için kuyu logların sınıflandırma ve tanımlanması yapılmıştır. Şekil 3'te yatay ekseninde alüvyonun sınıflaması düşey ekseninde de Transversal Rezistans değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu grafikten kolayca görüleceği gibi U-K limitleri arasına rastlayan malzeme cinsi maksimum çapı 7-7,5 cm. olan GP (bloklu çakıl) karakterindedir.

GP-SP (Çakıl-Kum), siltli ve killi SP-GP (kum-çakıl) ve SP (kaba kum) gibi malzemeler bu limite çok yakın ve bazende bu limitler içindeki değerleri verebilmektedir.

Burada dikkati çeken önemli bir hususta; aynı sınıflamaya sahip olan malzemelerin U-K limitleri arasındaki değerlerinden bazen daha büyük ve bazen daha küçük değerler göstermekte olduğudur. Şekil (2) de, bu hususun aydınlatılmasına çalışılmıştır. Yatay ekseninde Transversal Rezistans, düşey ekseninde de dinamik sondaj neticelerinden elde edilen penetrasyon miktarları (10 darbede malzemenin 1 santimetresindeki ilerleme) ve sismik hız değerleri yer almaktadır. Bu

grafikten kolaylıkla görüleceği gibi kil ve silt miktarı nispeten fazla olan düşük rezistivite değerleriyle karakterize edilen bölgelerde büyük penetrasyonlar elde edilmektedir. Bu bölgeler Şekil 2 de U-K aralığının sol tarafını (yani 140-180 ohm.m değerlerin sol tarafını) temsil eden gevşek ve kil miktarı nispeten fazla olan malzemelere aittir. Bu bölgede Düşey Transmissibilitenin düşük değerler vermesinin sebebini kil miktarının fazlalığı olarak izah edebiliriz. Şekil (6) da kuyu loğlarından elde edilen neticelerde de rezistivite düşüşlerinin hakim olduğu killi zonlarda darbe adedinin azalmakta olduğu veya çakıllı ve kumlu seviyelerde her ikisinde de dikkate değer artışların mevcut olduğu kolaylıkla görülmektedir.

Genellikle P dalga hızındaki bir artma ortamın sıklığı hakkında iyi bir delildir ve bundan böyle de zeminin taşıma gücünün de arttığına işarettir. (Şekil 7) Çok gevşek topraklarda boyuna dalga hızı çok az olabilir, hatta havada yayılan ses hızından bile az olabilir. Buna sebepte, gevşek yahut zayıf çimentolu parçacıkların elastik olmayan hareketlerinden ötürü enerjii absorbe etmesidir. Gevşek veya su ile doygun toprağın 1500 m/s gibi yüksek bir sismik hıza sahip olduğu bazen görülmüştür. Bu son durum nispeten yüksek taşıma gücüne sahip bir toprak imiş gibi bizde yanlış bir izlenim yaratabilir. Şunu unutmamak lazımdır ki, gevşek veya su ile doygun ortamda sismik hız, genellikle P dalga hızının suda yayıldığı değeri olan 1500 m/s değerine eşittir. Bu hallerde düşük bir P dalga hızının, sıklığı yüksek olan bir zemini gösterebileceği hususu mantığa aykırı görülmektedir. Genellikle iri taneli ve iyi dereceli malzemeler yüksek kesme mukavemeti (shear-strenght) gösterirler. Yani yüklere karşı fazla yatay deformasyonlar göstermeksizin karşı koyarlar. Gerçekten de çok fazla geçirgen bir zon olan U-K aralığında sismik hız 1800 m/s değerini vermiştir. Bu aralıkta penetrasyon miktarı oldukça düşüktür. Bu bölge şekil (2) deki eğirinin dönüşe başladığı kısımların hemen başlangıcına gelmektedir. U-K bölgesinin sağ tarafı çok daha fazla penetrasyon direnci göstermektedir. Bu kısımlardaki sıkışmanın artması porositeyi (dolayısıyla permeabiliteyi) çok fazla etkilemiş olup verimin azalmasına yol açmıştır. Demek oluyor ki, arzulanan verimi etkileyen şartların başında, elemanların iri taneli ve iyi dereceli olması yanında sıklık derecesinde çok önemli rol oynamaktadır. Rezistivitenin artması halinde mutlaka sismik hızında (V) artacağını düşünmek hatalı olur. Saha çalışmalarından görülmüştür ki, 2000-2500 mps hıza sahip bir konglomera, çimentosunun killi olması sebebiyle 40 – 60 ohm.m arasında rezistivite değerleri vermektedir. Buna sebep sismik hızın rezistivite gibi formasyonun içerdiği sıvının elektrik geçirgenliğine bağlı olmamasıdır. Diğer bir dikkate değer nokta, U-K nın sağ tarafında penetrasyon direncinin artmış olmasından ötürü P dalga hızında bir artma beklenirken bu bölgede 1500-1700 m/s'lik düşük hız değerleri elde edilmiştir. Sedimen kayaçlarda sismik hızın, formasyonun içerdiği su miktarına çok daha şiddetle bağlı olduğu bu çalışmalarda görülmüştür. En ideal verimin tayini yolunda yapılan bir çalışma, her iki yöntemin ortak uygulanmasını gerektirmektedir. Tek başına sismik yöntemle alınacak sonuçlar hiçbir anlam ifade etmezler, çünkü yukarıdaki maksimum verim aralığındaki hız değerini, bozmuş temel kayada veya yeraltısuyunun altında bulunan ıslak killi zemin de verebilmektedir. Bu çalışmaların bir kısmında su ile doygun çakıl seviyelerinin altında suyun aşağıya sızmasına engel olan killi sedimen kayaçlar bulunmaktadır. (Şekil 4 eğri 4). Yapılan saha çalışmaları her iki formasyonun arasında pek az hız farkı olduğunu göstermiştir.

Bu farklılığın az olması su taşıyan tabakanın derinliğinin hesaplanmasında %50 kadar hatalı derinlikler ortaya çıkarmaktadır. Rezistivite çalışmaları her iki formasyon arasında önemli elektriki direnç zıtlığından dolayı %10 kadar hatalı derinlikler vermektedir. Yorumlarda meydana gelecek bu hatalar Transmissibilite'ye doğrudan etkileyecektir. Bazı formasyonlarda yeraltısuyunun araştırılmasında tek

başına rezistivite metodu netice verememektedir. Örneğin killi marnda yeraltısu seviyesinin alt ve üstünde önemli rezistivite farkı yoktur. (6-10 ohm.m.gibi) Buna sebep kilin kendi içinde asılı duran suyun, düşük rezistivite göstermesidir. Sismik yöntem bu tarz yapıda oldukça kesin neticeler vermektedir. Yeraltısu seviyesi üzerinde 833 m/s hız, yeraltısu seviyesinin altında 1800 m/s gibi bir hız artışı sedimen kayaçların su ile doymun hale geldiğinin en kuvvetli delilidir.

### **1.5.HOMOJEN AKİFERLERDE KARŞILAŞILAN REZİSTİVİTE EĞRİ TİPLERİ**

Şekil (4) de arazi çalışmalarından elde edilen rezistivite eğrileri görülmektedir. Şekil (2 ve 5) deki ortalama eğri değerlerini daha ziyade 1 ve 4 nolu eğri tipleri vermiştir. 4 nolu eğri, satıhta 0,50 – 1 metre arasında değişen killi ve siltli (CL-ML) malzemelerinden sonra gelen GP-SP, GP, SP-GP gibi malzemelere ait klasik sinüzoidal eğrileridir. Yapılan bu çalışmalarda 4 nolu çan şeklindeki eğrilerden artezyen durumunda sular elde edilmiş olup, yeraltısu üstteki kil seviyesinin hemen altında bulunmaktadır. 2 nolu eğrinin zahiri rezistivite değerleri maksimum veremi temin eden U-K rezistivite limitleri içindedir. Bilhare düşen rezistivite değeri altta CL, ML, Cl gibi su geçirmeyen seviyelere tekabül etmektedir. Bu eğri tipine uyan jeolojik yapı 3 ve 4 nolu yapılara göre daha büyük permeabilite değerlerine sahiptir. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda en büyük transmissibilite değerini 1 nolu eğri tipinde elde etmiş bulunuyoruz. Bu tarz eğriyi jeolojik tanımlamalarında parçalı ve çatlaklı olarak tarif edilen granit üzerindeki GP karakterindeki malzemeler vermektedir. Satıhtan itibaren hakiki rezistivite değerleri U-K limitleri içinde bulunan bu kuyuda Düşey Transmissibilite değeri 8280 lt/dakika.m. olarak hesaplanmıştır. 1 nolu eğrinin Düşey Transmissibilitesi 3 ve 4 nolu eğri tipindeki transmissibiliteden 16 defa daha fazla olarak hesaplanmıştır. Bu son durum verimin, sadece malzemenin yapısına ve kalınlığına değil fakat aynı zamanda malzemenin alt ve üstündeki yapıya kuvvetle bağlı olduğunu göstermiştir.

### **1.6. Sakai Konik Penetrometresi ile Elde Edilen Darbe Sayısı (N), Taşıma Gücü ( $\gamma$ kg/cm<sup>2</sup>) ve P, S Dalgaları Arasındaki İlişkiler**

Şekil (7)'de düşey logaritmik ekseninde Sakai tarafından kil ve silt için deneysel olarak elde edilen  $V_s$  hızı ile O.D.T.Ü. civarında sismik kırılmayla killi, siltli ve iri çakıllı zemin üzerinde elde  $V_p$  hızı, yatay ekseninde ise killi, kumlu ve çakıllı sahalara ait yerinde Sakai tarafından geliştirilen cihazın kullanılması ile elde edilen darbe sayısı, bunlardan hesaplanan taşıma gücü değerleri işaretlenmiştir. Ref (3) Sakai tarafından kil ve silt için, S dalgası hızı için oluşturulan grafik belirli limitler içinde oldukça düzgün değişimler göstermektedir. Bu çalışmalarda elde edilen  $V_p$  hızı ile darbe sayısı (N) ve taşıma gücü ( $\gamma$ ) arasındaki ilişkiler ise oldukça ani ve dikkate değer değişimler göstermektedir.

P dalgası hızındaki ani değişimler, taşıma gücünün 2 kg/cm<sup>2</sup> olduğu ve  $V_p$ 'nin 170m/sn olarak hesaplandığı bölgeye rastlamaktadır. Düşük P dalgasının mevcut olduğu bölgede darbe sayısı 30-60 arasında değişmekte taşıma gücü 1-2 kg/cm<sup>2</sup> mertebesinde hesaplanmaktadır. Bu düşük  $V_p$  hızına ve taşıma gücüne sahip zeminde yapılacak testler sırasındaki jeolojik tanımlamalarda; oldukça gevşek ve su içermeyen killi ve siltli birimler olarak değerlendirilmiştir.

O.D.T.Ü. civarında dere yatağına yakın sahalarda aynı taşıma gücüne sahip olmalarına rağmen killi ve siltli malzemelerin su içermemesinden dolayı hızlarının 900-1000 m/sn değerine ani olarak yükseldiği görülmüştür (C-5 ve C-6 noktaları). 1000 m/sn bir hız artışının nedeni formasyonun su içermemesi olduğu açıkça görülmektedir.

Bu düşük taşıma gücü değerlerine sahip olan sahada konik penetrasyon testleri oldukça hızlı bir şekilde tamamlanmıştır. Buna sebep konik ucu zorlayıcı çakıl ve iri blokluların malzemelerin mevcut olmamasıdır. Bu nedenle de sahada sismik hızın 1000m/sn olduğu zayıf malzemeler üzerinde konik penetrasyon tecrübelerinden hızlı sonuç alınmıştır. Konik ucun sık sık ikileme yaptığı kil ve siltin azaldığı iri kum ve çakıl seviyelerine gidilmesi, taşıma gücünün 7,5 kg/cm<sup>2</sup>, P dalgası hızında 1500 m/sn gibi yüksek bir değere ulaşmasına yol açmıştır. Bu zeminlerde testlerin hızı oldukça yavaşlamıştır. V<sub>p</sub> ve γ arasındaki ilişki 2 ile 7,5 kg/cm<sup>2</sup> arasında oldukça lineer bir değişim göstermiş olması, blokluların konik penetrasyon testleri sırasında karşılaşılan penetrasyon zorluğunu önlemek için sadece V<sub>p</sub> hızı belirlenerek grafik yardımıyla buna denk düşebilecek taşıma gücü iyi bir yaklaşımla bulunabilir.

Kuzey Kaliforniya inşaat mühendisleri birliğinin sismisite yönünden hassas olan bölgeler için deprem spektrumları analizleri sonucu hazırladıkları raporda şu hususlar ortaya konmuştur.

Deprem sırasında yapıya etki eden yanal kuvvet veya bunun eşiti olan bina temel kuvveti değeri (V) aşağıdaki ifadeyle verilmiştir:

$$V = \frac{A}{g} \cdot W = C \cdot W$$

Bu formülde:

V	: Bina temel kuvvet değeri
g	: Gravite ivmesi
A	: En büyük ivme
W	: Binanın ağırlığı
C	: Zeminin kesme kuvveti katsayısı

C değerinin yani zeminin kesme kuvvet katsayısının en büyük olduğu değer, binanın doğal periyodunun 0.2 sn olduğu değere karşılık gelmektedir.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi civarında yapılan konik-penetrasyon tecrübeleri sonunda taşıma gücü, (N), darbe sayısı ve S dalgası arasındaki ilişkilerden S dalgası hızı tespit edilmiştir. Bu hızlardan hareket edilerek (  $T_{pp} = 4H_1/V_{s1}$  formülüyle de zeminlerin hakim titreşim periyodu), H<sub>1</sub> ( tabaka kalınlığı), V<sub>s</sub> [bu tabakaya ait S dalgası hızı (m/sn)]

Hesaplanan zeminin hakim titreşim periyodu değerleri yatay eksen üzerine yani binanın titreşim periyodunu temsil eden eksene konursa ortaya bazı dikkate değer sonuçlar çıkmaktadır. Şöyle ki ; binalar için bulunan 0.2 sn değerine yani deprem sırasında yapıya etki edebilecek yanal kuvvetin en fazla olduğu ve binayı tehlikeli bir duruma sokabilecek değere karşılık gelen binanın hakim titreşim periyodu değerlerine yaklaşan değerlere etüt sahasında C5, C6 noktalarında rastlanmıştır. Ref(3).

Bu noktalarda periyod değerleri 0.20-0.25 sn olarak hesaplanmıştır. Bu zemin jeolojik tanımlamalarında gevşek killi, siltli, çok az kumlu ve az miktarda doygun bir seviye olarak tarif edilmiş ve taşıma gücünde 0.7-0.9 kg/cm<sup>2</sup> arasında değişen değerlere karşılık geldiği hesaplanmıştır. Bu zeminlerde elde edilen hız değerleri V<sub>p</sub> = 900-1100 m/sn olarak hesaplanmıştır. Halbuki aynı taşıma gücüne sahip su içermeyen killi, siltli birimler üzerinde P dalgası hızı yukarıda açıklandığı gibi 150-170 m/sn olarak bulunmuştur. P dalgasında, sadece formasyonun içerdiği su miktarının artması nedeniyle 1000 m/sn bir hız artışı, taşıma gücünde hiçbir artışa neden olmamış ancak zeminin titreşim periyodunu 0.2'ye yani binaya en büyük yanal kuvvetin etki ettiği andaki titreşim periyodu değerine yükseltmiştir. Bu zeminlerin deprem sırasında yanal kuvvetleri artıracığı ve hasarın büyük ölçüde gelişmesine yardımcı olacağı görüşü kuvvet kazanmaktadır.

$V_p$  değerindeki ani değişmeyi takiben gerek darbe sayısında gerekse  $V_p$  hızında oldukça dikkate değer artışlar görölmüştür. Konik ucun sık sık ikilemeye başladığı kil ve silt miktarlarının azalarak yerlerini iri kum ve çakıla bıraktığı seviyelerde taşıma gücü  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  ve sismik hızında  $1500 \text{ m/sn}$  gibi değerlere yükselmiştir.

Genellikle yüksek  $V_p$  hızı ve taşıma gücü değerleri gösteren sahalarda küçük hakim titreşim peryod değerleri vermekte hızlı  $0.2 \text{ sn}$  değerinin sol tarafına düşmekte ve en büyük C değeri aralığından uzaklaşmaktadır. Şekil (8)

$V_p$  ve  $\gamma$  (veya N) arasındaki ilişki  $2$  ile  $7.5 \text{ kg/cm}^2$  arasında oldukça doğrusal bir değişme göstermiş olması bloklular zeminlerde penetrasyon zorluğunu yenmek ve zaman kaybını azaltmak için sadece P dalgası hızından yararlanılıp taşıma gücü hesaplanabilir.

Yüksek darbe sayısı ile tanımlanan zeminlerde sismik kırılma testleri ve yorumları hızlı yapılmasına rağmen, konik penetrasyon testleri zeminin sıkı ve iri çakıllı olması nedeniyle ikilemelere ve zaman kaybına yol açmaktadır. Sismik alışmalar zaman baskısı altında yeni yerleşim yerlerinin seğimi sırasında hızlı ve faydalı sonuçlar verebilecektir.

Sismik hızın formasyonun içerdiği suyun iletkenliğine (conductivity) bağlı olmayıp sıklık ve yoğunluğuna fazlasıyla bağlı olması depreme karşı koyabilecek birimlerin belirlenmesine imkan verebilecektir.

## 2. KULLANILAN YÖNTEM VE TEKNİK

Rezistivite ölçüleri, Wenner'in elektrot açılımla yapılmıştır ve görünür özdirenç değerleri, elektrot açılımı 'a' nın bir fonksiyonu olarak çizilmiştir. Elektrik sondaj grafikleri alişılmış tarzda log-log skalasında yorumlanmıştır. Sismik kırılma ölçülerinde çok kısa off-set mesafesi kullanılmıştır. Yorumlar standart intersept yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

### 2.1. Sonuç ve Öneriler

Yukarıda ifade edildiği gibi bu çalışmaların alüvyal sahalarda en fazla verimde yeraltısuyunun elde edilebileceği yerin önceden sismik ve rezistivite çalışmalarıyla bulunmasıyla ilgilidir. Kuyu yerlerin sismik ve rezistivite çalışmalarıyla tespit edilmesinin yararını şöyle açıklayabiliriz. Geçirimliliği  $10^{-2} \text{ lt/dak.m}^2$  olan alüvyon transmissibilitesinin, geçirimliliği  $10^{-1}$  ve derinliği  $10 \text{ m}$ 'den olan diğer bir alüvyon tabakasının transmissibilitesine eşdeğer olabilmesi için kalınlığının  $100 \text{ m}$  olması gerekir. Bu son durum açılacak sondaj kuyusu için önemli mali sonuçları getirecektir. Oysa ki, bu çalışmaların sonucunda belirlenen gerçek özdirenç değerleri alüvyal sahalarda açılacak kuyunun ekonomik olmasını sağladığı gibi en verimli suyun yerini belirlemeye imkan verecektir. Bu alışmalarda Düşey Transmissibilite sonuçları yatay özdirenç, standart-penetrasyon, Konik-Penetrasyon ve ayrıca sismik hız sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil (2). Elde edilen sonuçları şöyle özetleyebiliriz:

1. Yapılan saha çalışmaları alüvyon içerisinde yanal (lateral) değişmelerin mevcut olduğunu göstermiştir. Çok fazla yanal değişmelerin mevcut olduğu alüvyon sahalarda bundan böyle belirlenen gerçek özdirenç değerleri yardımıyla en fazla verimde su sağlayacak saha tespit edilebilecektir. (Şekil 2 –(U-K) aralığı)
2. En fazla su veren malzeme en büyük çapının  $7-7,5 \text{ cm}$ . olup GP karakterinde olduğu belirlenmiştir. Şekil (3). Ayrıca SP-GP, GP-SP ve SP gibi malzemelere sahip akifer sistemleri uygun sıkışma şartları ve kil miktarlarına sahip oldukları zaman en fazla kapasite de su sağlayan U-K aralığına girmektedirler. [Şekil 2. (Transversal Resistance -Penetration Resistance eğrisi)]

3. Akifer sistemlerinin sıklıklarının artması ve kil miktarının fazlalığı arzulan fazla verimin düşmesine yol açmaktadır. (Şekil 2 –(U-K) aralığının sağ ve sol tarafı)
4. Gevşek sedimenlerde sismik hız, formasyonun içerdiği su miktarına aşırı derecede bağlıdır. Sismik hız (Vp), gevşek malzemelerde formasyon sıklığına 2.derecede bağlıdır. (Şekil 2)
5. Çok çeşitli jeolojik yapıda bile en fazla verim aralığı içindeki (Şekil 2 –(U-K) ) öz direnç değerlerinde çok az değişimler olmasına rağmen, transmissibilitesindeki çok fazla kayda değer değişmelerin sebebi, homojen akiferlerde geçirgenliğin sadece su taşıyan malzemenin yapısına değil fakat aynı zamanda bu malzemelerin altındaki ve üstündeki malzemelerdeki özelliğine aşırı derecede bağlı olmasıdır. (Şekil (2), (4) ve (5). Şekil 4'deki 1 nolu eğri GP malzemesinin takiben aşağıdan alüvyon içine geniş çapta suyun sızmasına imkan veren çatlaklı granit üzerinde elde edilmiştir. 4 nolu eğriyse yüzeyde 1 m kalınlıkta CL-CH-ML geçirimsiz seviyeden sonra GP, GP-SP, SP malzemelerin takiben CL-CH gibi geçirimsiz bir yapı üzerinde elde edilmiştir. 1 nolu eğriye ait akifer transmissibilitesi 4 nolu eğriye sahip olan yapıdan 16 kez daha fazla değer sahibidir.)
6. Akifer sistemin sıklığının artması halinde sismik hızın (Vp) 1800 m/sn'den 1600 m/sn değerine düşmesi, sismik hızın formasyonun içerdiği su miktarına çok daha kuvvetle bağlı olduğunu göstermektedir.
7. 1 ve 4 nolu arazi eğrilerinin Şekil (2) ve (5)'deki durumları araştırıldığında şu sonuçlara varılmaktadır; 1 nolu eğriye ait en çok verim aralığı civarındaki yatay öz dirençteki pek az değişimler düşey transmissibilite bakımından 4 nolu eğriye göre çok daha önemli olmaktadır. Bundan böyle 1 nolu eğri değerlerini veren jeolojik yapı üzerinde elde edilen öz direnç eğrilerinin yorumunda çok daha fazla dikkat gösterilmelidir.
8. İri taneli malzemeler ister kuru, ister doygun olsunlar çok fazla penetrasyon direnci göstermektedirler. (Şekil 2 –(U-K aralığının sağ tarafı ))
9. 1,2,3 ve 4 nolu eğrilere (Şekil 4) ait transmissibilite değerleri verim fazlalığına göre yazılırsa;  $TKv_1 > TKv_2 > TKv_3 > TKv_4$  elde edilir.

## REFERANSLAR

- DUPRAT,A.,and POUCHAN,P.,*Electrical survey for Groundwater in arid zone country-Qyed ambouli zone Djibouti*
- GLOVER,R.E., *Groundwater movement (April 1966)*
- KURAN, UĞUR., 1967. *Temel Etütlerinde sismik hız ve rezistivite neticelerinin korelasyonu bunların kayaçların litolojik karakteriyle olan bağıntıları Türkiye jeofizikçiler derneği yayını No.8*
- KEYS, W. SCOTT., 1968. *Well logging in Ground water Hydrology*
- LİNEHAN, S.J. 1948, *Seismic Reconnaissance for Ground water development*
- MURDAY,VINCENT,J.AND SEXTON, THOMAS,1967 *Seismic surveys for ground water investigation in Massachutes.*
- MEIDAV,TSVI., 1965. *Semi,Quantitative determination of ground water quality from surface electrical measurements.*
- MANGER,6.EDWARD, 1966., *Method dependent waves of bulk, grain and pore bolume as observed porosity.*
- Monreo, WATSON. H., 1966., *Formation of Tropical karst topography by Limestone solution and Reprecipitation.*
- RASMUSSEN, WILLIAM. C. 1963. *Permeability and storage of Heterogeneous aquifers in the United states.*
- TERZAGHİ, KARL PECK, RALPH. B., 1960, *Soil Mechanic in Engineering practice.*
- ZODY, ADEL. A.R *“Goelectrical and seismic refraction investigations near San Jose., California. 1965.*