

## SİSMİK YÖNTEM İLE ZEMİN TAŞIMA KAPASİTESİ VE OTURMASININ SAPTANMASI

### Determination of Soil Bearing Capacity and Consolidation Using Seismic Method

Ali KEÇELİ<sup>1</sup>

#### Özet

Zemin taşıma kapasitesi hesaplamalarında, temel taban seviyesi üzerindeki hafriyatı yapılan ağırlığın yerine ilave eşdeğer bir yük konduğunda, yerine koyma işlevi hesaplamaları basitleştirir ve hata küçük ve emniyetli tarafta olur. Bu görüş noktasından hareket ederek, zeminlerin sismik kayma dalga empedansı (direnci) ile yer basıncı ifade edilerek zeminlerin sınır taşıma kapasitesi tanımlanmıştır. Emniyetli taşıma kapasitesini elde edebilmek için zeminlerin özelliklerine bağlı güvenlik faktörü değerleri ile hız oranı  $[V_p/V_s]$  değerlerinin benzerliğinden yararlanarak  $[V_p/V_s]$  hız oranının güvenlik faktörü olarak kullanılabilceği gösterilmiştir. Bu bağlamda, sismik kayma dalgası hızına bağlı yoğunluk tanımı yapılmış ve bu çalışmadaki sayısal değerlendirmelerde kullanılmıştır. Müsaade edilebilir taşıma kapasitesinin, standart penetrasyon test (SPT (N))'tekine benzer olarak temel şekil faktörüne bağlı tanımlanabileceği ve ayrıca, zeminlerin yatak katsayıları ve elastik oturma miktarlarının Boussinesq denklemine göre basınç dağılımının aktif derinliğine bağlı olarak saptanabileceği gösterilmiştir. Zemin mekaniğinden elde edilen yük-oturma eğrisi ile sismik hızlardan elde edilen yük-oturma eğrisinin benzer değişim gösterdiği görülmüştür. Zemin etütlerinde, sismik yöntem, yapısal jeolojiyi ve diğer özelliklerini aydınlatmak için kullanılırken, bu yöntem ile güvenilir zemin emniyetli taşıma kapasitesi, yatak katsayısı ve oturma değerleri hakkında daha çabuk ve ucuz olarak güvenilir ön bilgi elde etmek mümkün olmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Taşıma kapasitesi, yoğunluk, yatak katsayısı, yük-oturma, sismik

#### Abstract

In computation of bearing capacity, if the weight of the soil above level of the foundation is replaced by an equivalent load, this substitution simplifies the computations and the error involved is small and the safe side. Starting from this point of view, an ultimate bearing capacity has been defined by expressing the earth pressure with the seismic shear wave impedance. In order to obtain a safe bearing capacity, it has been shown that velocity ratio  $[V_p/V_s]$  can be used as a safety factor due to the similarity of their values depending on the earth properties. Thus, a density relation depending on the seismic shear wave has been defined and it was used for the numerical evaluations in this study. It was shown that the allowable bearing capacity could be expressed depending on the foundation shape factor as used in the Standart Penetration Test (SPT(N)). It has also been shown that amounts of the subgrade reaction and the elastic settlement can be determined by means of Boussinesq's equation. It was observed that the load-settlement curve obtained by the seismic method indicates similar variation to that obtained by the soil mechanics. In soil and rocks studies, while the seismic method is used to elucidate the structural geology and its other properties, it is also possible to obtain a reliable reconnaissance knowledge about the safety bearing capacity, subgrade reaction and settlement values quickly and low cost by this method.

**Key words:** Bearing capacity, density, subgrade reaction, load-settlement, seismic method.

<sup>1</sup> e-mail: [keceliali@hotmail.com](mailto:keceliali@hotmail.com)

## GİRİŞ

Zeminlerin sismik hız, öz direnç, kütle çekimi vb. gibi yalın fiziksel özelliklerinin, katmanların yer altı konumlarının ve elastik parametrelerinin sayısal olarak belirlenmiş olması mühendislik projelerinin tasarımlarında yeterli olmamaktadır. Örneğin; sismik hızın ve elastik parametre değerinin mühendislik projesinin temelini oluşturacak bir zemin için ne ifade ettiğinin, işlevinin ve öneminin proje mühendisi dilinde ifade edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, son yıllarda, zeminlerin anılan yalın fiziksel özellikleri yanında zeminlerin mühendislik özelliklerinden olan litolojik, fiziksel ve elastik (mekanik) özelliklerinin aydınlatılmasına yönelik jeoteknik ve jeofizik inceleme ve uygulamaların artmakta olduğu görülmektedir. Ayrıca, pratikte çok önemli olan, zemin özelliklerinin indeks değerlerinin de ifade edilmesi gerekmektedir. Ancak, jeofizik mühendisliği uygulamaları zemin indeks özelliklerinin elde edilmesine henüz ulaşamamıştır.

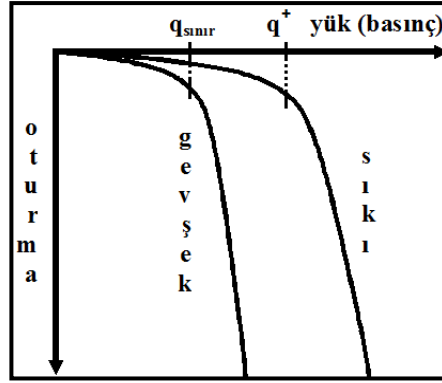
Söz konusu çalışmalar genellikle deneysel uygulamalardır. Bunlardan başlıcaları şunlardır: Hardin ve diğerleri (1972) sismik kayma modülü ve konsolidasyon oranı, Imai ve diğerleri (1976) kayma dalga hızı ve standart penetrasyon (STP) vuruş sayısı (N), Stuempel ve diğerleri (1984), Phillips ve diğerleri (1989) sismik hız ile basınç etkisi, gözenek ve kil içeriği, Othman (2005) sismik hızlarla kayaç kalitesi, yatak katsayısı arasında deneysel bağıntılar geliştirmişlerdir.

Bir mühendislik yapısının zeminle ilgili tasarımında önde gelen ana faktörlerden biri zeminin taşıma kapasitesi, diğeri ani veya elastik ve zamanla zemin oturması dolayısıyla yatak katsayısıdır. Zemine yük konsun veya konmasının zeminin zamanla oturması, yani konsolidasyon oturması oluşur. Konsolidasyon oturması laboratuvar deneyleriyle saptanabilmektedir. Ani oturma değerini saptamak için doğrudan bir laboratuvar tekniği henüz yoktur. Zemin deformasyonlarının incelenmesinde kayma direnci veya makaslanma direnci ve elastisite modülü çok önemlidir. Zeminin jeolojik yapısı karmaşık olmasından dolayı, zemin mekaniği ilkelerine göre, gerçeğe uygun deformasyon analizleri yapmak oldukça zordur. Bu nedenle yaklaşık olmasına rağmen ani oturmalar için genellikle elastisite teorisi kullanılmakta ve makul sonuçlar elde edilmektedir (Uzuner, 1992).

Türker 1988, 2004 doktora tezinde bu yayını hazırlayan Keçeli'nin önerdiği ve yürüttüğü "zemin taşıma kapasitesinin sismik yöntemle saptanması" konusunu zemin hakim periyoduna bağlı olarak elde etmeye çalışmıştır. Taşıma kapasitesi katman kalınlığına bağlı olmayan bir özelliktir. (keçeli, 1990 ve 2000) tarafından sismik yöntemle zeminlerin taşıma kapasitelerinin, müsaade edilebilir taşıma kapasitelerinin ve ani oturmalarının elde edilebileceği kuramsal bir yaklaşımla gösterilmiştir. Tezcan, (2006,2009), keçeli 2000 nin geliştirdiği kuramsal bağıntıları baz alarak kayma dalga hızı ve taşıma kapasitesi arasında daha ziyade kaya zeminlerin birim ağırlık tanımını içeren deneysel bir bağıntı önermiştir. Bu yayında, keçeli (1990 ve 2000) yayınlarında değinilen taşıma gücü ve onun sebep olabileceği deformasyon veya zemin oturması, dolayısıyla yatak katsayısı ile sismik empedans arasındaki kuramsal bağıntılar ve zemin mekaniğindeki yük-oturma eğrisine benzer eğrinin elde edilişi araştırılmıştır.

### Taşıma Kapasitesinin Saptanması

Zeminin bir noktasına bir basınç veya bir yük uygulandığında zemin yüzeyinde deformasyon yani oturma oluşur. Birim alandaki ortalama yük ile oturma arasındaki ilişki, zemin özelliğine bağlı olarak, Şekil 1. deki yük-oturma eğrisi ile ifade edilir. Yük miktarı arttıkça oturma miktarı da artar. Ancak, sınır veya son taşıma kapasitesine varıldıktan sonra oturma miktarı hızla artar ve göçme durumuna ulaşılır. Zeminin birim alanının göçme olmadan taşıyabileceği yük değerine sınır taşıma kapasitesi,  $q_{sınır}$ , denir.

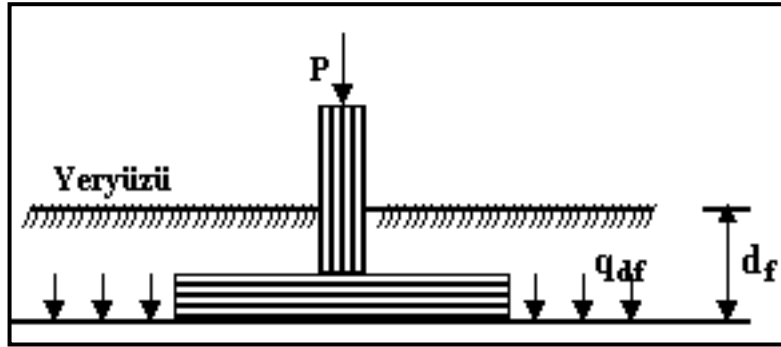


**Şekil 1.** Zeminin birim alanı için yük-oturma eğrisi, (Terzaghi, 1967) den adapte edilmiştir.  
**Figure 1.** Load consolidation curve for unit area of soil, adopted from (Terzaghi, 1967).

(Terzaghi, 1967 ve s.:218), Zemin Mekaniği taşıma kapasitesi hesaplamalarında, Şekil 2. deki gibi, temelin taban seviyesi üzerindeki hafriyatı yapılan toprağın ağırlığı,  $q_{df}$ , yerine ilave bir eşdeğer basınç veya yük konduğunda yerine koyma işlevinin hesaplamaları basitleştirdiğini, hatanın küçük ve emniyetli tarafta olduğunu ifade etmiştir. Terzaghi eşdeğer zeminin basınç yükünü

$$q_{df} = \gamma d_f \quad (1)$$

şeklinde tanımlamıştır.



**Şekil 2.** Temel hafriyatı derinliği,  $d_f$ , ve hafriyatın noktasal düşey basıncı,  $q_{df}$   
**Figure 2.** Basic excavation depth  $d_f$ , and the excavation point vertical pressure,  $q_{df}$

Burada  $\gamma (= \rho \cdot g)$   $\text{kN/m}^3$  zeminin birim ağırlığıdır,  $\rho$ :  $\text{kg/m}^3$  yoğunluk,  $g (=9,807 \text{ m/s}^2$  veya  $\cong 10 \text{ m/s}^2)$  yerçekim ivmesi ve  $d_f$ : temel derinliğidir.

Hafriyat ağırlığı yerine eşdeğer yük konmasıyla zeminde herhangi bir deformasyon olmayacağından  $q_{df}$  yükü emin tarafta olan zeminin sınır taşıma kapasitesi,  $q_{sınır}$ , olarak kabul edilebilir. Yani;

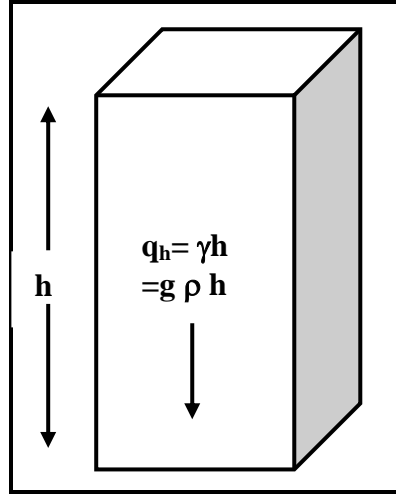
$$q_{sınır} = q_{df} = g \rho d_f \quad (2)$$

olarak ifade edebilir.

Zeminlerin depremde göstereceği maksimum yer ivmesi ve sıvılaşma potansiyelleri arasındaki ilişki analizlerinden biri de birim alanlı ve h derinlikli zemin kolonu kabulü ile yapılmasıdır Das, 1993) ve (Seed ve Idriss, 1971). Benzer olarak Şekil 3. de görüldüğü üzere, sınır taşıma basıncı,  $q_{sınır}$ , yerine temel zemininki ile aynı  $\gamma$  birim ağırlıklı, h derinlikli bir zemin sütunu,  $q_{sınır}$ , veya eşdeğer ağırlıklı zemin kolonu basıncı aşağıdaki gibi

$$q_h = \gamma h = g \rho h \quad (3)$$

yazılabilir.



**Şekil 3.** Birim alan kesitli, h derinlikli zemin sütunu  
**Figure 3.** Cross section per unit area, h-depth soil column

Düşey olarak sismik dalga yayılımı esnasında, h derinliği, sismik hız V, ve sabit bir zaman T, cinsinden  $q_h$  bağıntısı aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$q_h = \gamma V T \quad (4)$$

Mühendislik yapısını taşıyan zemin genellikle kayma veya makaslanma direncinin yenilmesiyle deformasyona uğradığından, zeminin  $q_{sınır}$  taşıma gücünün kayma dalgası hızı  $V_s$ , ilişkisinden elde edilmesi gerekir. Dolayısıyla,  $q_{sınır}$  taşıma gücü bağıntısı

$$q_{sınır} = g \rho V_s T \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir.

(5) denkleminde T zamanı dışındaki terimler herhangi bir kayacın özelliğini tanımlayan sabit değerlerdir. Bu nedenle, T zamanının da tüm kayalar için sabit değerinin saptanması gerekir. T zaman miktarının sabit değeri kayaların emin taşıma gücünün literatürdeki en küçük ve en büyük değerlerine başlangıç ve son değer prensibine göre kalibrasyonu yapılarak, Keçeli (2000) de belirtiltiği üzere, aşağıdaki gibi elde edilebilir:

Zemin mekaniğinde yük konan zeminde oturma ve göçme olmaması için emin taşıma kapasitesi,  $q_e$ , elde etme işlevinde sınır taşıma kapasitesi bir güvenlik katsayısına ( $F_s$ ) bölünür.

$$q_e = \frac{q_{sınır}}{F_s} \quad (6)$$

( $F_s$ ) emniyet faktörü yapının önemine ve özellikle zeminden zemine bağlı olarak en sağlam zeminden en gevşek zemine göre sırasıyla  $F_s=1.5 - 5$  arasında değişmektedir (Venkatramaiah, 1993). Çinicioğlu (2005) yüksek güvenlik gerektiren statik taşıma gücü analizlerinde  $F_s=3$  ve sismik taşıma gücü analizlerinde  $F_s=5$  arasında veya daha yüksek olarak kullanıldığını belirtmektedir.

Building Code'larda ve yayınlanmış tablolarda en sert ve masif genç kayaların kabul edilebilir veya müsaade edilebilir taşıma kapasitesi 10 MPa olarak verilir Bowles (1984), Wyllie (1992). Bu durumda, sınır taşıma kapasitesi üst sınır olarak yaklaşık 15 MPa veya  $150 \text{ kg/cm}^2$  olarak ifade edilebilir. Yani;

$$\begin{aligned} q_{sınır} &= g \rho V_s T \\ &= \gamma [1000 \times 10(\text{m/s}^2) \times \rho (\text{kg/m}^3)] \times V_s (\text{m/s}) \times T(\text{s}) \\ &= 15000 [(k\text{kg/ms}^2)=k\text{N/m}^2=(k\text{Pa})]= 15\text{MPa} \end{aligned} \quad (7)$$

yazılabilir. Kayaçlar için en yüksek sıkışma dalga hızı  $V_p$  ve kayma dalga hızı  $V_s$ , yaklaşık olarak sırasıyla  $6000 \text{ m/s}$ ; ve  $4000 \text{ m/s}$ , birim ağırlığı da  $35 \text{ kN/m}^3$  civarında olarak kabul edilebilir. Bu değerler (7) eşitliğinde yerine konursa,

$$q_{sınır} = 1.5 q_{emniyetli} = 35 \times 4000 \times T = 15 \text{ Mpa} \quad (8)$$

$$q_{sınır} = 35 (\text{kN/m}^3) \cdot 4000 (\text{m/s}) \cdot T = 15000 (\text{kPa}) \quad (9)$$

(9) eşitliğinin sayısal sadeleştirilmesinden,  $T_{zaman}$  miktarı  $T = 0.1$  saniye olarak elde edilir. O zaman,  $T = 0.1$  saniye ve  $g = 10 \text{ m/s}^2$  sayısal değerleri (7) eşitliğinde yerine konursa sınır taşıma kapasitesi

$$q_{sınır} = g \rho V_s T = 10 \cdot \rho V_s \cdot 0.1 = \rho V_s \quad (\text{kPa}) \quad (10)$$

elde edilir. Burada, bilindiği gibi,  $Z_s = \rho V_s$  enine dalga hızı sismik empedansdır. Empedansın birimi ( $\text{kg/m}^2\text{s}$ ) olup dalga hareketi basıncın hızı oranı, ( $\text{Nm}^{-3}\text{s}$ ), olarak da tanımlanır. (10) ifadesi nitelik bakımından taşıma kapasitesi, nicelik ve formal bakımdan enine dalga sismik empedansdır. (10) ifadesinden emniyetli zemin taşıma kapasitesi

$$q_e = \frac{\rho V_s}{F_s} \quad (\text{kPa}) \quad (11)$$

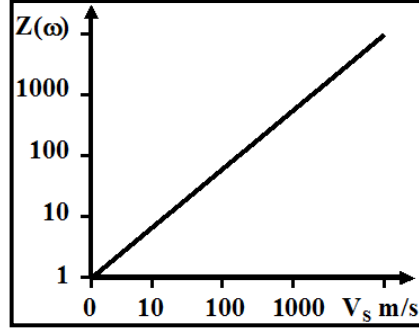
olarak yazılabilir. Veya

$$q_{sınır} = \frac{1}{100} \rho V_s \quad \text{kg/cm}^2 \quad (12)$$

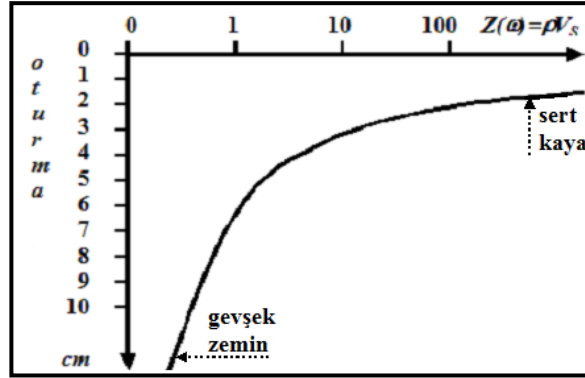
$$q_e = \frac{1}{100} \frac{\rho V_s}{F_s} \quad \text{kg/cm}^2 \quad (13)$$

olarak yazılabilir. Kayma dalgası sismik empedans ile kayma dalgası hızı arasında Şekil 3a. da görüldüğü gibi doğrusal (lineer) bir ilişki vardır. Şüphesiz ki, en yüksek sismik dirence sahip sert

sıkı masif genç kayaç deformasyonu en küçük deformasyona sahip kayacı tanımlar. Sismik hızın ve yoğunluğun en küçük değerinde ise; gevşek alüvyon zeminler en büyük deformasyonu tanımlar. Yani, herhangi bir kayaç için söz konusu en yüksek sismik direnç aşıldığında kayaç deformasyonu başlar, (Şekil 3b). Söz konusu sismik dirence bağlı deformasyon miktarı ile zemin mekaniğinde basınca bağlı deformasyon miktarı eşdeğer olur. Söz konusu deformasyon oluşumunun sayısal değerlendirilmesi aşağıdaki bölümlerde gösterilmektedir.



**Şekil 4 (a).** Kayma dalgası hızı ile sismik kayma empedansı veya direncinin değişimini  
**Figure 4 (a).** Changing of impedance, or resistance with the velocity of shear wave



**Şekil 4(b).** Kayaçların sismik kayma direnci ile oturma miktarlarının değişimini  
**Figure 4(b).** Changing of consolidation with the strength of shear wave

Şekil 2. deki gibi temel taban seviyesi üzerindeki hafriyatı yapılan toprağın ağırlığı,  $q_{df}$ , dikkate alınması gerektiğinde  $q_e$

$$q_e = \frac{q_{sum} - \gamma d_f}{F_s} + \gamma d_f \quad (14)$$

şeklinde ifade edilir.

#### [Vp/Vs] Oranının Güvenlik Faktörü Olarak Kullanılması

Elastik özelliklerden Poisson oranı inşaat yapı malzemelerinin gözeneklilik oranını ve gözenek içindeki sıvı doygunluğunu yansıtan ve yaygın olarak beton incelemelerinde kullanılan bir elastisite modülüdür. Poisson oranının değerleri (0-0.5) gibi oldukça dar bir aralıkta değişir. Poisson oranı  $[Vp/Vs]=[(0.5-\sigma)/(1-\sigma)]^{1/2}$  sismik hız oranıyla daha geniş olan 1-8 aralığı arasında kontrol

edildiğinden  $[V_p/V_s]$  oranı aşağıda sözü edilen zemin özelliklerini çeşitli amaçlar için saptanmasında kullanılan önemli bir faktör olmuştur.

Sıkışma dalga hızı,  $V_p$ , yeraltı gözenek sıvısına doymunluğuna ve kayma dalga hızı  $V_s$ , yeraltının katılığına ve sıklığına duyarlı olması sebebiyle  $V_p/V_s$  oranı son yıllarda deprem, yer kabuğu, zemin sıvılaşmasında ön bilgi, zemin büyütmesi, hidrokarbon rezervuarlarının ve akiferlerin incelemelerinde laboratuvar ve arazi uygulamalarıyla kullanılan önemli bir faktör olmuştur. Söz konusu uygulamalardan bazıları şunlardır: Tatham (1982)  $V_p/V_s$  oranının yer altı suyu doymunluğuna ve kırıklığına duyarlılığını, Prakla-seismos (1986) katmanların  $V_p/V_s$  oranlarını ve hidrokarbon rezervuarlarının değerlendirilmesinde kullanılabileceğini ilk gösterenlerdir. Wang (2001)  $V_p/V_s$  oranının litolojik gösterge olarak kullanılacağını ve direk rezervuar saptamalarında da başarıyla kullanılabileceğini belirtmektedir. Daha sonraları Ishihara K. ve diğerleri (2004) deneysel sıvılaşma incelemelerinde gözenek basıncı katsayısı ile  $V_p/V_s$  oranı arasındaki ilişkinin deprem anındaki gibi olduğunu, Hamada (2004)  $V_p/V_s$  oranı kullanarak rezervuar incelemelerinin başarıyla yapılabileceğini, Carvalho ve diğerleri (2008) olası bir depremde lokal etkilerini mikrobölgelemede zemin davranışı büyütmesinin belirlenmesinde ve sınıflamasında  $V_p/V_s$  oranlarının önemli bir parametre olduğu uygulama örnekleri ile göstermiştir. Bu konularda diğer başlıca çalışmalar Fu ve diğerleri (2006), Moreno ve diğerleri (2003), Hicks (2006) olarak belirtilebilir.

Sismik sıkışma dalga hızının,  $V_{p, \text{kayma}}$  dalgası hızına,  $V_s$ , oranı,  $(V_p/V_s)$ , da yeraltı suyuna doymun olmayan çok sıkı, sert ortamlarda 1,5 ile yeraltı suyuna doymun gevşek ortamlarda genelde 8 arasında değişmektedir. Güvenlik sayısı,  $F_s$ , ve  $(V_p/V_s)$  oranı arasındaki zemin türüne bağlı benzerlik Tablo 1. de görülmektedir.

**Tablo 1.** Zemin türüne göre  $V_p/V_s$  ve  $(F_s)$  değişimi

**Table 1.**  $V_p/V_s$  and  $(F_s)$  variation according to the soil type

Zemin türü	$(V_p/V_s)$	Güvenlik sayısı( $F_s$ )
Kaya ortamlarda	1.45 - 2	1.5
Çok sıkı sert ortamlarda	1.5 - 2	1.5-2
Sıkı katı ortamlarda	2 - 3	2
Orta sıkı bozuşmuş ortamlarda	3 - 4	3
Gevşek yumuşak ortamlarda	4 - 6	3-4
Gevşek yer altı suyuna doymun	5 - 8	4-5

Tablo 1. de  $V_p/V_s > F_s$  veya  $V_p/V_s \approx 1.5 F_s$  olduğu görülmektedir. Tablo 1. deki güvenlik sayısı değerleri ile  $V_p/V_s$  hız oranı değerlerinin benzerliğinden yararlanarak güvenlik faktörü yaklaşık olarak sismik hız oranı cinsinden

$$F_s \approx \frac{V_p}{V_s} \quad (15)$$

şeklinde ifade edilebilir. Buradan emniyetli zemin taşıma kapasitesi,  $q_{e, \text{sismik}}$  yöntemde (13–14) eşitliğinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$q_e = \frac{\rho V_s^2}{V_p} \quad (\text{kPa}) \quad (16)$$

$$q_e = \frac{1}{100} \frac{\rho V_s^2}{V_p} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (17)$$

Bu durumda,  $G=\rho V_s^2$  kayma modülü tanımı ile, 16 eşitliği

$$q_e = \frac{\rho V_s^2}{V_p} = \frac{G}{V_p} = \frac{\text{Makaslanma deformasyonu}}{\text{Boyuna deformasyon}} \quad (18)$$

$$= \frac{\text{shear modül}}{\text{compressional wave velocity}} \quad \text{kPa}$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu ifade ile, sismik hızlardan elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi ifadesinin zemindeki bir yükün sebep olacağı bilinen deformasyon türlerini içerdiği görülmektedir.  $V_p / V_s$  oranı yer altı suyu içeren gözenekli gevşek zeminlerde artar. Çünkü, zeminin yer altı suyu doygunluğu arttıkça,  $V_s$  den ziyade, aşağıda yoğunluk bölümünde açıklandığı gibi,  $V_p$  hızı önemli miktarda etkilenir. Bu nedenle,  $V_p / V_s$  oranı güvenlik faktörü olarak kullanılması halinde zemin mekaniğinde olduğu gibi suya doygun zeminlerdeki emniyetli taşıma gücü değerinde herhangi bir indirgeme faktörü kullanmaya gerek kalmamaktadır. Dolayısı ile,  $(V_p / V_s)$  oranı güvenlik sayısına eşdeğer olarak kullanılması halinde kişisel tercihe bağlı olmadığından daha sağlıklı olmaktadır. Nitekim Pişen S. ve Pekşen E.(2009) faklı yöntemlerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinin karşılaştırılmasında “Kullanılan güvenlik sayılarının zeminlerin heterojen olduğunu bildiğimiz halde her tür zemin için 3 kullanılması yerine,  $F_s= V_p/V_s$  oranından elde edilerek kullanılmasının ilgili zemin için daha doğru değerler verebileceği sonucuna varılmıştır.”denilmektedir.

Tezcan (2006 ve 2009) sadece taneli zeminler için emniyet faktörünü 4 sabit değerinde kabullenip onun tersi 0.25 ile kayma dalgası empedansının çarpımından oluşan fakat deformasyon türlerinden olan kayma modülü ve düşey deformasyonu içermeyen  $q = 0.25 \gamma_p V_s$  şeklinde deneysel bir bağıntı önermiştir. Burada,  $\gamma_p =$  boyuna dalga hızına bağlı birim ağırlık ( $\text{kN/m}^3$ ).

$V_p/V_s$  oranının kullanılmasının diğer bir yararı,  $V_s$  hızının elde edilmesinin titizlik gerektirmesinden kaynaklanmaktadır. Bilindiği gibi elde edilen verinin sağlıklı olması birinci derecede önem taşır. Polaritesi kontrol edilmemiş sadece  $V_s$  ölçülmüş olsa  $V_s$  ölçülerine  $V_p$  dalgasının karışık karışmadığının farkına varılamaz. Bu nedenle sadece  $V_s$  hızını kullanarak işlem yapmak hatalı sonuç verebilir.  $V_p/V_s$  oran değeri Tablo 1. deki zemin türüne uygun olup olmadığının kontrolünü sağlar.

### Yoğunluk tanımı

Kayaçların yoğunluklarının sismik hızlardan elde edilmesinde kaya zeminlerde (Telford et al., 1976)  $V_p$  hızı ile kaya zeminler için yoğunlukları arasında deneysel ilişkiyi aşağıdaki gibi vermiştir.

$$\rho = 1.6 + 0.2 (V_p \text{ (km/s)}) \quad (19)$$

Lankston (1990)  $V_p$  hızı ile taneli zeminler için yoğunlukları arasında deneysel ilişkiyi aşağıdaki gibi vermiştir.



$$\rho = 0.31 (V_p^{0.25} \text{ (m/s)}) \quad (20)$$

Tezcan (2006 ve 2009)  $V_p$  hızı ile taneli zeminler için birim ağırlıkları,  $\gamma$ , arasında deneysel ilişkiyi aşağıdaki gibi vermiş

$$\gamma = \gamma_0 + 0.002 (V_p \text{ (m/s)}) \quad (21)$$

ve (21) da zeminler için  $\gamma_0=16$  (gevşek kum, kil ve silt),  $\gamma_0 = 17$  (sıkı kum ve çakıl),  $\gamma_0 = 18$  kN/m<sup>3</sup> (çamurtaşı kireçtaşı),  $\gamma_0 = 20$  kN/m<sup>3</sup> (kırıklı kumtaşı ve tüf),  $\gamma_0 = 24$  kN/m<sup>3</sup> (sert kaya) için tanımlamıştır. Halbuki gevşek taneli zeminlerin birim ağırlıkları  $\gamma_0=12$  kN/m<sup>3</sup> na kadar değişebildiğinden (21) tanımı tüm zemin yoğunluklarını temsil etmemektedir. Ayrıca, suya doymuş taneli zeminlerde  $V_p=500$  m/s iken yer altı suyu  $V_p=1500$  m/s etkisiyle suya doymuş aynı taneli zeminlerde  $V_p =1300$  m/s daha yüksek olabilmektedir. Bu bakımdan taneli gevşek zeminlerde  $V_p$  hızından yoğunluk saptamak sağlıklı olmamaktadır. Aşırı kırıklı ve gözenekli olmayan kaya ortamlarda yeraltı suyu miktarı katı kısmına oranla çok az olacağından  $V_p$  hızını fazla etkilememektedir. Bu tür kaya ortamlarda  $V_p$  hızından yoğunluk saptaması yanıltıcı olmaz. Bu nedenle,  $V_s$  kayma dalgası hızı suya duyarsız olduğundan ve sadece katı ortamın hızını yansıttığından taneli zeminlerin yoğunluklarının saptanmasında  $V_s$  hızının kullanılması daha uygun olmaktadır. Ayrıca, burada taşıma kapasitesi saptanmasında  $V_s$  hızı esas alındığından zemin yoğunluğunun  $V_s$  hızından saptanması gerekmektedir.

Sismik yöntemle taşıma gücü elde edilmesinin diğer önemli yanı ölçü ve hesaplamalarda kişisel tercihlerin ortadan kalkmasıdır. Bu nedenle, numune koşullarına bağlı olmaması, aynı zamanda yoğunluğun yukarıda kalibrasyon için kullanılan değerlerden elde edilmesi ve ön görülen kalibrasyon işlevine uygun olması gerekmektedir.

Lankston (1990) nın taneli zeminler için yaptığı yoğunluk tanımına paralel olarak

$$\rho = aV_s^\alpha \quad (22)$$

genel tanımlaması yapılırsa, burada  $\alpha=0.25$  olup

$$a = \frac{\rho = 3.5}{V_s^{0.25} = 4000^{0.25}} = 0.44 \quad (23)$$

ifadesinin sayısal sadeleştirilmesi yapılarak elde edilen aşağıdaki yoğunluk tanımının kullanılması daha uygun olmaktadır.

$$\rho = 0.44 V_s^{0.25} \quad (24)$$

burada  $\rho$  yoğunluk değeri gr/cm<sup>3</sup> ve  $V_s$  m/s birimi ile ifade edilmektedir.

### Müsaade Edilebilir Taşıma Kapasitesinin Saptanması

(10-11 veya 14) bağıntıları ile tanımlanan emniyetli taşıma kapasitesi birim alanda noktasal bir taşıma kapasitesi olup, temel şekil faktörü ile birlikte değerlendirildiğinde ancak bir mühendislik yapısı için müsaade edilebilir taşıma kapasitesi,  $q_a$ , anlamını taşır. Bu sonuca göre, şerit temel bağıntılarıyla SPT (N) sayısı ilişkilendirilmesinden müsaade edilebilir taşıma kapasitesinin,  $q_{a,N}$ , elde edilmesinde olduğu gibi keçeli 2000 de (10–11) bağıntılarını şerit temel şekil faktörleri ile ilişkilendirilerek müsaade edilebilir taşıma kapasitesinin elde edilebileceğini göstermiştir.

Örneğin  $d_f$  temel derinliği, B temel genişliği olmak üzere temel şekil faktörüne bağlı olarak Meyerhof SPT müsaade edilebilir taşıma kapasitesi,  $q_{aN}$ , deneysel tanımını Bowles (1984) aşağıdaki gibi vermiştir.

$$q_{aN} = 12N k_d \quad B \geq 1.22 \quad (25)$$

$$q_{aN} = 8N((B+0.305)/B)^2 k_d \quad B > 1.22 \quad (26)$$

Literatürde yukarıdaki koşullarda  $k_d = 1 + 0.33(d_f / B) \leq 1.33$  olması önerilir. (25) eşitliğinde N yerine  $q_e$  konursa, sismik yöntemde de temel şekil faktörüne bağlı müsaade edilebilir taşıma kapasitesi,  $q_{as}$ , benzer şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Bowles ifadesi, T/m<sup>2</sup> biriminde olan SPT (N) vuruş sayısı (10N) kPa birimine dönüştürerek ifade edilirse

$$q_{as} = 1.2 q_s k_d \quad \text{kPa} \quad (27)$$

$$q_{as} \cong 0.12 q_s k_d \quad \text{kg/cm}^2 \quad (28)$$

Burada, temel şekil faktörlerine bağlı olarak aşağıdaki değerler elde edilir.

$$\begin{aligned} B=1 \text{ metre için } k_d &\leq 1.33 \text{ koşulunda } q_{as} = 1.5 q_s \\ d_f = 0 \text{ yani yeryüzünde } k_d &= 1 \text{ koşulunda } q_{as} = 1.2 q_s \end{aligned} \quad (29)$$

$$B=2 \text{ metre ve } d_f = 0 \text{ için } k_d = 0.5 \text{ koşulunda } q_{as} = 0.6 q_s$$

Araştırmanın başlangıcında dikkate alınmayan temel şekil faktörü bu şekilde işleme sokulabilir. Burada, SPT (N) yönteminde olduğu gibi, geliştirilen bu teknikte de temelin zemine aktaracağı müsaade edilebilir taşıma kapasitesi (29) eşitliğinde yer alan  $k_d$  içindeki B temel genişliği büyüdükçe azalacağı,  $d_f$  temel derinliği büyüdükçe artacağı sonucu benzerdir.

### Yatak Katsayısının ve Zemin Oturmasının Elde Edilmesi

Zemine konan yükün sebep olabileceği oturma miktarı yük miktarına ve zemin özelliğine bağlı olduğu kadar aynı zamanda yük geriliminin etki alanının dağılım şekline de bağlıdır. Sismik yöntemde yük-oturma eğrisinin değişim şekli aşağıda açıklandığı gibi elde edilebilmektedir.

Elastik ortamlarda basınç sonucu oluşan elastik deformasyon miktarı Hook Kanununu

$$E = \frac{\text{Boyuna gerilim}}{\text{Boyuna deformasyon}} = \frac{P}{\delta} \quad (30)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada E Elastisite modülü,

$$E = G \frac{3V_P^2 - 4V_S^2}{V_P^2 - V_S^2} \quad (31)$$

P uygulanan gerilim ve  $\delta$  deformasyon miktarıdır. Jeoteknik mühendisliğinde zemine herhangi bir yük konduğunda zeminin elastik deformasyon karakteri analiz yöntemlerinden biri olan yatak katsayısı  $k_s$ , ile belirli bir gerilme altında zeminde meydana gelen oturma olarak tanımlar. Elastik

sıkışma genelde ani oturma olarak adlandırılır, çabuk vuku bulur ve küçüktür.  $k_s$  Hook kanunu tanımına benzer şekilde aşağıdaki gibi

$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (32)$$

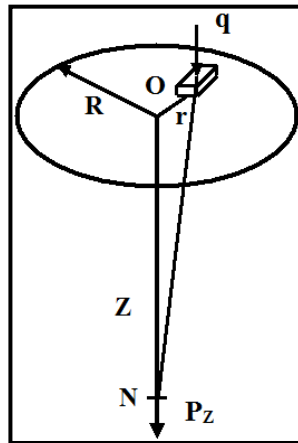
ifade edilir. Burada  $\delta$  oturmayı temsil etmektedir. Yatak katsayısı hesaplama yöntemlerinden biri de eşdeğer devre gibi yay sistemi kullanan hesap yöntemidir. Yatak katsayısı uygulamasında oldukça iyi sonuç veren bir yöntem olarak bilinir.  $k_s$  değerini saptamak için doğrudan bir laboratuvar tekniği yoktur. Nihai oturma değeri laboratuvar yöntemleri ile numuneler üzerinde uygun bir konsolidasyon teorisine göre oturma hesapları yapılır ve yatak katsayısı belirlenir. Yatak katsayıları toplam oturmayı bulmak için kullanılmaz.

Sismik hızlardan Elastisite modülü kolaylıkla saptanabildiğinden yatak katsayısı tanımının Hook kanunu ile benzerliğinden yararlanarak zemin elastik oturmasının saptanması yatak katsayısı için süratli ve kolay bir şekilde ön bilgi edinilmesi sismik hızlarla mümkün olabilmektedir.

(32) ifadesi zemine konan bir yapı yükü temel şekil faktörünü şimdilik dikkate almadan düşey z derinliği kadar bir zemin kalınlığının düşey yöndeki oturma (deformasyon),  $\delta_z$  miktarı için Hook kanunu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

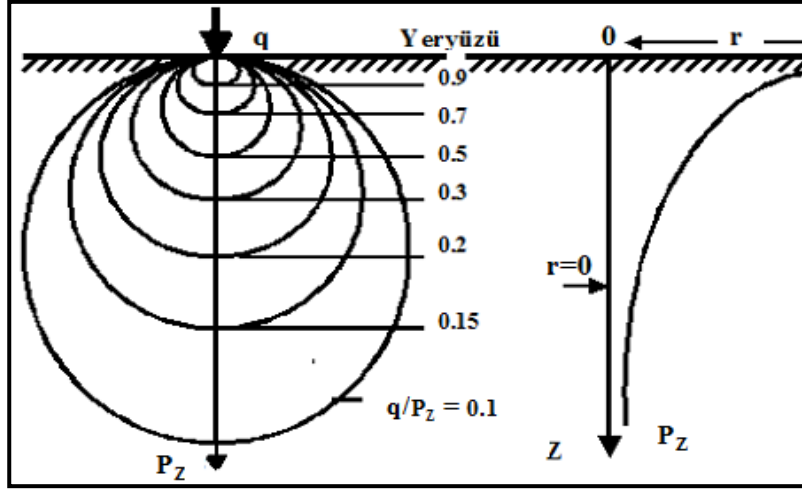
$$\delta_z = \delta z = \frac{q_s}{E} z \quad (33)$$

(33) ifadesinde oturma miktarına  $q$  ve  $E$  kadar  $z$  derinlik değeri de etkili olmaktadır. ( 33 ) ifadesindeki  $z$  derinliği aşağıdaki Boussinesq denkleminde saptanabilir. Boussinesq denklemi genel olarak zemin içindeki gerilim dağılımını zemin yüzeyinde tahmin için kullanılır. Zemine konan mühendislik yapısı yükünün birim alanda zemin içinde düşey doğrultuda oluşan düşey gerilim dağılımı Boussinesq denkleminde Şekil 5. - 6. daki gibi verilir, (Terzaghi, 1967) ve (Uzuner,1992).



Şekil 5. Zemine konan yükün zemin içinde düşey yönde basınç noktaları (Terzaghi, 1967)

Figure 5. The pressure points of the load placed vertically in the ground (Terzaghi, 1967)



Şekil 6. Birim alanda q yükünden dolayı düşey doğrultuda oluşan basınç soğanı ve düşey gerilme dağılımı (Uzuner,1992)

Figure 6. Vertical stress distribution and the pressure bulb due to load q per unit area (Uzuner,1992)

$$p_z = \frac{3}{2\pi} \left[ \frac{1}{1+(r/z)^2} \right]^{5/2} \frac{q}{z^2} = I \frac{q}{z^2} \quad (34)$$

Burada  $p_z$  : birim alandaki q yükünün derinliğe bağlı gerilim değeri, ( I ) : düşey noktasal yük için etki faktörü olarak tanımlanır.  $r=0$  için (34) bağıntısı

$$p_z = \frac{3}{2\pi} \frac{q}{z^2} \quad (35)$$

olur. Buradan z derinliği (35) ifadesinden aşağıdaki gibi saptanabilir. Boussinesq denklemine göre zemine konan yükten dolayı gerilim dağılımının veya basınç soğanında yükün üçte bir değerini aldığı derinlik değeri (*zeminde konan yükün deformasyon etkinlik derinliği*) aktif derinlik olarak kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, ancak aktif derinlik içinde oturma oluşabilmektedir. Bu çalışmada, farklı yükler ve farklı özellikteki zeminlerin oturma miktarlarını saptamak durumunda olduğumuzdan kıstas yük olarak birim yük ve birim yükün üçte bir değerini kullanmak durumundayız. Yani,  $p_z=0.333$  kPa değerini kullanmamız uygun olmaktadır. Ayrıca, jeofizik mühendisliği potansiyel alan dağılımında kütle yer içinde, hesaplama kütle üstündeki yeryüzündedir, yani hesaplama yarısız ortamdır. Burada yük veya kütle yeryüzünde, etki değerlendirmesi yer içindedir, yani üç boyutlu ortam içindedir. Bu sebeple, bu çalışmada I etki faktöründeki  $2\pi$  yerine  $4\pi$  kullanılması gerekmektedir. Bu durumda ön görülen koşullar altında söz konusu aktif derinlik, (35) ifadesinden

$$z^2 = \frac{3}{4\pi} \frac{q_{smr}}{0.333} \quad (36)$$

olarak elde edilir.  $z$  aktif derinliğe bağlı oturma miktarları sismik hızlardan saptanan yük yani empedans değeri ve elastisite modülü kullanarak zemin oturması ve yatak katsayısı aşağıdaki örnekteki gibi saptanabilir.

Sismik hızları  $V_p=400$  m/s,  $V_s=100$  m/s olan ve bu hızlardan zeminin yeryüzüne konan  $q_{sımr} = 139$  kPa yükünün oluşturacağı  $E$  elastisite modülü ve  $\delta$  zemin deformasyonu geriliminde oturma, Hook kanununa göre;

$$\delta = \frac{q_{sımr}}{E} = \frac{139}{40773} = 0.0034 \quad (37)$$

Olup, burada  $\delta$  deformasyonu birim uzunluk veya birim derinlik için deformasyondur. Zemine konan yük nedeniyle deformasyon yükün 0.333 değerini aldığı aktif derinliğine kadar etkin olacağı için, bu deformasyonun etkin derinlik değerinin saptanarak işlem görmesi gerekir. Bunun için (36) bağıntısından  $V_p$ ,  $V_s$  hızlarından elde edilen yüke bağlı etkin derinlik  $z$

$$z = 10 \text{ m} \quad (38)$$

olarak elde edilir. Zemine konan yükün etkin derinliği  $z=10$  m itibariyle toplam elastik oturma miktarı

$$\delta_z = \delta z = \frac{q_{sımr}}{E} z = 0.0034 \times 10 = 0.034 \text{ m veya } 3.4 \text{ cm} \quad (39)$$

olabileceği elde edilir. Buradan yatak katsayısı

$$k_s = \frac{q_{sımr}}{\delta_z} = \frac{139}{0.034} = 4088 \text{ kN/m}^3 \quad (40)$$

elde edilir. Bowles deneysel bağıntısı  $k_{Bowles}$  ' na göre

$$k_{Bowles} = 40 \times q_{sımr} = 40 \times 139 = 5560 \text{ kN/m}^3 \quad (41)$$

olarak elde edilir. Temel mühendisliğinde maksimum oturma toleransları, genel olarak, kil zeminlerde 2.5 cm, kum zeminlerde 2 cm olarak kabul edilir. Nitekim Bowles (1984) yatak katsayısı, deneysel bağıntısını  $k_{Bowles}=40 \times q_{sımr}$  olarak tanımlamış ve katsayısı 40 olarak seçmiştir.

$$k_{Bowles} = \frac{q_{sımr}}{\delta_z} \Leftrightarrow 40 \times q_{sımr} \quad (42)$$

buradan maksimum oturma miktarı (42) eşitliğinin sağ tarafında  $\delta_z$  çekildiğinde ve M.K.S. sisteminden c.g.s. sistemine dönüştürüldüğünde  $\delta_z = 2.5$  cm elde edilir. Bowles çeşitli zeminlerin yatak katsayılarını aşağıdaki Tablo 2. deki gibi vermiştir.

**Tablo 2.** Yatak katsayısı deneysel değerleri  
**Table 2.** Experimental bearing coefficient values

Zemin türü	Yaklaşık $k_s$ T/m <sup>3</sup>
Gevşek kum zemin	4800 -16000
Orta sıkı kum zemin	9600 – 80000
Sıkı kum zemin	64000 -128000
Killi sıkı kum zemin	32000 – 80000
Siltli sıkı kum zemin	24000 – 48000
Killi toprak zemin ( $q_u < 2 \text{ kg/cm}^2$ )	12000–24000
Killi toprak zemin ( $q_u = 0.2-0.4 \text{ kg/cm}^2$ )	24000–48000
Killi toprak zemin ( $q_u > 8 \text{ kg/cm}^3$ )	> 48000

38 ifadesinde yatak katsayısı değerinin 40 ifadesindeki ve Tablo 2. deki değerle belirli bir aralık içinde uyumlu olduğu görülmektedir. Tablo 3. çeşitli kayaçların farklı hız ve hız oranlarına göre saptanan konu edilen parametre değerlerini ve aynı zamanda Bowles yatak katsayılarına göre elde edilenle sismik hızlardan elde edilen katsayıların karşılaştırılmasını göstermektedir. Tablo 3. değerlerine göre sismik kayma dalgası hızı azaldıkça yani sismik kayma dalgası empedansı azaldıkça yatak katsayısının küçüldüğü dolayısıyla oturma miktarının arttığı görülmektedir.

**Tablo 3.** Bowles yatak katsayıları ile sismik hızlardan elde edilen katsayıların karşılaştırılması.  
**Table 3.** Comparison of the coefficients with Bowles bearing coefficients obtained from seismic velocities

$V_S - V_P$	$\frac{V_P}{V_S}$	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	$q_{sınır}$ kPa	$q_e$ kPa	E kPa	$Z_{sin}$ m	$\delta_{sin}$ m	$k_{sınır}$ kN/m <sup>3</sup>	$k_{Bowles}$ = $40q_{sınır}$	$Z_e$ m	$\delta_e$ m
4000-6000	1.5	3.5	14000	9333	1232x10 <sup>5</sup>	100	1.1	1232000	560000	82	0.6
2000-3000	1.5	2.94	5885	3923	25894000	65	1.5	398548	235400	53	0.8
1000-2000	2	2.47	2474	1237	6597333	42	1.6	156613	98960	30	0.6
1000-1500	1.5	2.47	2474	1649	5442800	42	1.9	129225	98960	34	1
700-1400	2	2.26	1584	792	2949408	34	1.8	87508	63360	24	0.6
500-1250	2.5	2.1	1040	416	1460952	27	1.9	53489	41600	17	0.5
300-900	3	1.83	549	183	473513	20	2.3	23869	21960	11	0.4
250-1250	5	1.75	437	87	323198	18	2.4	18268	17480	7.9	0.2
200-800	4	1.65	331	83	194186	15	2.6	12614	13240	7.7	0.3
100-400	4	1.39	139	35	40773	10	3.4	4097	5560	5	0.4
50-250	5	1.2	60	12	8874	6.6	4.4	1353	2400	2.9	0.4

Bowles yatak katsayıları ile sismik hızlardan elde edilen katsayıların karşılaştırılması değerlerinden şekil 3. deki sismik empedans- oturma ilişkisini gösteren grafiğin çizilebileceği görülmektedir.

Tablo 4. örnek olarak seçilen sismik hızları  $V_P = 900$  m/s,  $V_S = 300$  m/s ve yoğunluğu  $\rho = 1.83$  g/cm<sup>3</sup> olan bir zeminde yük (sismik empedans) artırıldığında oturma miktarının ne şekilde değiştiğinin sayısal değerlerini göstermektedir.

**Tablo 4.** Yük-oturma ilişkisi sayısal değerleri

**Table 4.** Numerical values of load-consolidation relation

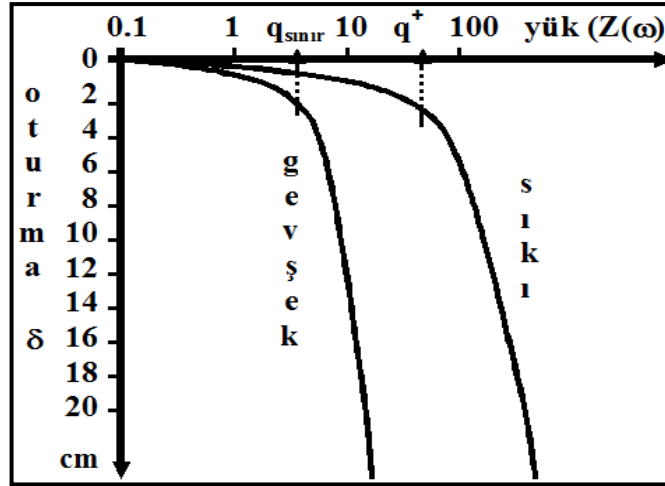
$V_S - V_P$ m/s	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	E kPa	q kPa	$\delta_z$ cm
300-900	1.83	473513	33	0.034
300-900	1.83	473513	100	0.18
300-900	1.83	473513	150	0.33
300-900	1.83	473513	200	0.5
300-900	1.83	473513	275	0.8
300-900	1.83	473513	331	1.1
300-900	1.83	473513	400	1.4
300-900	1.83	473513	500	2
300-900	1.83	473513	549	2.3
300-900	1.83	473513	650	3
300-900	1.83	473513	800	4
300-900	1.83	473513	1000	5.7
300-900	1.83	473513	1300	8.4
300-900	1.83	473513	1600	11.4
300-900	1.83	473513	2000	16

Tablo 5. örnek olarak seçilen sismik hızları  $V_P = 400$  m/s,  $V_S = 100$  m/s ve yoğunluğu  $\rho = 1.39$  g/cm<sup>3</sup> olan bir zeminde yük (sismik empedans) artırıldığında oturma miktarının ne şekilde değiştiğinin sayısal değerlerini göstermektedir.

Farklı kayaçların sismik empedanslarının (dirençlerinin) da farklı sınır değerleri olduğundan bu bağlamda aşağıdaki yük-oturma şekli içinde benzer olarak çizilebilir. Tablo 3. daki değerlere göre oluşturulan yük-oturma eğrisi şekil 7. da gösterilmiştir. Şekil 7. yük arttıkça  $q_{sınır}$  değerinin aşıldığını, oturma veya göçmenin başladığını ve oluşacak oturma miktarlarını göstermektedir. Tablo 3. ve ondan oluşturulan Şekil 7. deki artan yüke bağlı oturma değerlerinin zemin mekaniğinde elde edilen şekil 1. deki yük-oturma eğrisi değişim ile uyumlu olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.** Yük-oturma ilişkisi sayısal değerleri**Table 5.** Numerical values of load-consolidation relation

$V_S - V_P$ m/s	$\rho$ g/cm <sup>3</sup>	E kPa	q kPa	$\delta_z$ cm
100 -400	1.39	40773	33	0.39
100 -400	1.39	40773	100	2.1
100 -400	1.39	40773	139	3.4
100 -400	1.39	40773	150	3.8
100 -400	1.39	40773	200	5
100 -400	1.39	40773	275	9.5
100-400	1.39	40773	350	14
100-400	1.39	40773	500	23
100-400	1.39	40773	650	34
100-400	1.39	40773	800	47
100-400	1.39	40773	1000	66

**Şekil 7.** Zeminlerin yük - oturma veya sismik empedans - deformasyon ilişkisi grafiği**Figure 7.** Soil load - consolidation or seismic impedance - deformation relationship chart

Şekil 1. ve 7. deki yük-oturma eğrilerinin benzer değişime sahip olmaları sismik dalga yayılmasında oluşan deformasyon miktarlarının Das (1993) belirttiği gibi ( $10^{-2} - 10^{-4}$ ) mertebelerinde çok küçük olmasının zeminlerin taşıma kapasitelerinin ve oturmalarının saptanmasında önemli olmadığını göstermektedir.



Yukarıda hesaplanan yatak katsayısı ve oturma miktarları birim alandaki yükün düşey basıncına aittir. Mühendislik yapılarının temel şeklinin değişik kısımlarında yük dağılımı farklıdır, dolayısıyla ( I ) etki faktörü farklıdır. Bunun sonucu olarak, farklı basınç dağılımı oturmaların da farklı olmasına neden olur. Temel şekil faktörüne bağlı zemin oturma konusu bu çalışmanın dışındadır.

## **SONUÇ**

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Zeminlerin sınır taşıma kapasiteleri sismik kayma dalgası empedansları ile ifade edilebilmektedir.
- 2- Zeminlerin özelliklerine bağlı olan güvenlik sayısı değerleri ile  $V_p / V_s$  hız oranı değerlerinin benzerliğinden yararlanarak  $[V_p/V_s]$  oranının güvenlik faktörü olarak kullanılması mümkün olmaktadır.
- 3-  $V_p / V_s$  oranı güvenlik faktörü olarak kullanılması halinde zemin mekaniğinde olduğu gibi suya doygun zeminlerdeki emniyetli taşıma gücü değerinde herhangi bir indirgeme faktörü kullanmaya gerek kalmamaktadır. Dolayısı ile  $(V_p / V_s)$  oranı ve yöntemin işleyişi kişisel tercihe bağlı olmadığından daha sağlıklı olmaktadır.
- 4- Tüm zemin türlerinin yoğunluklarının sismik kayma dalgası hızına bağlı yeni bir yoğunluk tanımı ile ifade edilmesi daha uygun olduğu görülmüştür.
- 5- Zemine konan yükün Boussinesq denklemine göre basınç dağılımının aktif derinliğine bağlı olarak zeminlerin yatak katsayıları ve ani oturma miktarlarının sismik hızlardan elde edilen elastisite modülü değerleri kullanarak saptanabilmektedir.
- 6- Sismik hızlardan elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi ifadesinin zemindeki bir yükün sebep olacağı bilinen deformasyon türlerini içermektedir.
- 7- Zemin mekaniği ilkelerinden elde edilen yük-oturma eğrisi ile sismik hızlardan elde edilen yük-oturma eğrisi benzer değişim göstermektedir.
- 8- SPT (N) müsaade edilebilir taşıma kapasitesi tanımındaki benzer olarak sismik yöntemde de temel şekil faktörüne bağlı müsaade edilebilir taşıma kapasitesi tanımlanabilmektedir.
- 9- Yük-oturma eğrilerinin benzer değişime sahip olmaları sismik dalga yayılmasında oluşan deformasyon miktarlarının ( $10^{-2} - 10^{-4}$ ) mertebelerinde çok küçük olmasının zeminlerin taşıma kapasitelerinin ve oturmalarının saptanmasında önemli olmadığını göstermektedir.

Sonuç olarak, sismik yöntem yapısal jeolojiyi ve diğer özelliklerini aydınlatmak için kullanılırken, güvenilir zemin emniyetli taşıma kapasitesi, yatak katsayısı ve oturma değerleri hakkında daha çabuk ve ucuz olarak güvenilir ön bilgi elde etmek mümkün olmaktadır. Hiç bir yöntem, yer içinin karmaşık yapısı karşısında sınırsız değildir. Bu nedenle, sismik yöntem zemin mekaniği yöntemleri ile birlikte kullanıldığı zaman zemin etüdü raporu hazırlanmasında oto kontrol ile güven artırıcı rol oynar.

## **KAYNAKLAR**

BOWLES, J.E., 1984. Physical and Geotechnical Properties of Soils. McGraw-Hill.

CARVALHO, J., DIAS, R., PINTO, C., LEOTE, J. and MENDES-VICTOR L., 2008. A Soil Classification for Seismic Hazard Assessment and Mitigation of the Algarve The 14 th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, Beijing, China. [http://e-geo.ineti.pt/edicoes\\_online/artigos/44.pdf](http://e-geo.ineti.pt/edicoes_online/artigos/44.pdf)

CARVALHO, J., DIAS, R., PINTO, C., LEOTE, J. and MENDES, L., 2009. SPT seismic hazard seismic refraction soil classification. and Geotechnical Data Applied to the Soil Microzoning of Western Algarve, European Journal of Environmental and Engineering Geophysics 5, 3-14.

ÇİNİCİOĞLU, S. F., 2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı: İMO, İstanbul Seminer Notu.

DAS, M.B, 1993. Principles of Soil Dynamics. 2nd edn. PWS-KENT Publishing Company.

Fu D., Sullivan E.C. and Marfurt K.J., 2006, Rock-Property and Seismic-Attribute Analysis of a chert reservoir in Devonian Thirty-one Formation: Geophysics, Vol. 71, No.5.

GULIEV, E., Vp/Vs estimation from Multicomponent Seismic Data for Improved Characterization of a Tight sandstone Gas reservoir, Colorado School of Mines , A thesis for the degree of Master of Science (Geophysics).

HAMADA, G. M., 2004. Reservoir Fluids Identification Using Vp/Vs Ratio? *Oil & Gas Science and Technology-Rev.IFP*, Vol.59, No.6, pp.649-654.

HARDIN, B.O., DRNEVICH, V.P., 1972. Shear modulus and damping in soils: design equations and curves, Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 98(SM7), pp.667-692.

HICKS, G.J., 2006. Extended Elastic Impedance and Its Relation to AVO Crossplotting and Vp/Vs EAGE 68<sup>th</sup> Conference, Vienna, Austria.

ISHIHARA, K. and TSUKAMOTO, Y., 2004. Review: Cyclic Strength of Imperfectly Saturated Sands and Analysis of Liquefaction: Proc. Japan Acad. V.80, Ser. B(2004).

KEÇELİ, A. D., 1990. The determination of the Bearing Capacity by means of the seismic method. ( in Turkish). Jeofizik 4, 83-92.

KEÇELİ, A., 2000. “Sismik Yöntemle Kabul edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması”, “The Determination of the Presumptive or Safe Bearing Capacity by means of the Seismic Method”, Jeofizik Dergisi, Cilt:14, Sayı: 1-2, Ankara.

MORENO, C., HUFFMAN, A., and BERTAGNE, A., 2003. The Vp/Vs Inversion Procedure: A Methodology for Shallow Water Flow (SWF) Prediction from Seismic Analysis of Multicomponent Data. Offshore Technology Conference, Houston, Texas.

OTHMAN, A. A., 2005. Construed geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements . J. Geophys. Eng. 2 126–138.

PİŞEN, S. VE PEKŞEN, E., 2009. Sığ Zeminler için Farklı Yöntemlerden Elde Edilen Zemin Emniyet Gerilmesi Değerlerinin Karşılaştırılması: Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2(Ekim-Kasım) 2009 36-46.

PHILLIPS, D. E., HAN, D. H. & ZOBACK, M. D., 1989. Empirical Relationships among Seismic Velocity, Effect Pressure, Porosity, and Clay Content in Sandstone. Geophysics,54:(1) 82-89.

PRAKLA , 1986. Seismos AG. Buchholzer Str. 100 P.O.B. 510530 D-300 Hannover 51.

Seed H.B., and Idriss I. M., 1971, Simplified Procedure For evaluating Soil Liquefaction Potential: Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division. ASCE. V.:97, No: SM9.PP:1249-1273.

TATHAM, R.H., 1982.  $V_p/V_s$  and Lithology. *Geophysics*, 47: 336-344.

TEZCAN, S. S., KECELİ, A., ÖZDEMİR, Z., 2006. Allowable Bearing Capacity of Shallow Foundations Based on Shear Wave Velocity, *Geotechnical and Geological Engineering*, p:203-2188.

TEZCAN, S., ÖZDEMİR, Z. and KECELİ, A., 2009. Seismic Technique to Determine the Allowable Bearing Pressure for Shallow Foundations in Soils and Rocks: **Acta Geophysica**, vol. 57, no. 2, pp. 400-412.

TÜRKER, E., 1988. Sismik Yöntemlerle Zemin Taşıma Gücünün Saptanması, Doktora Tezi, A.Ü.Isparta Mühendislik Fakültesi.

TÜRKER, E., 2004. Computatio of ground bearing capacity from shear wave velocity. In: D. Bergman et al. (eds.), *Continuum Models and Discrete Systems* Kluwer Academic Publishers, Neterhlands, 173-180.

UZUNER, B.A.,1992. Temel Zemin Mekaniği, İnşaat Mühendisleri Odası Trabzon Şubesi

VENKATRAMAIAH, C., 1993. *Geotechnical Engineering*, John Wiley & Sons.

WANG Z., 2001, *Fundamentals of Seismic Rock Physics: Geophysics*, Vol. 66, No. 2; P. 398–412.

WILLKENS, R., SIMMONS G. & CARUSO, L., 1984. The ratio  $V_p/V_s$  as a Discriminant of Composition for Siliceous Limestones. *Geophysics*, 49( 11) 1850-1860.

WYLLIE, D. C. , 1992. *Foundations on Rock*. E & FN Spon, London.