

SİSMİK YÖNTEMLE KABUL EDİLEBİLİR VEYA EMNİYETLİ TAŞIMA KAPASİTESİ SAPTANMASI⁽¹⁾

The Determination of the Presumptive or Safe Bearing Capacity by Means of the Seismic Method

D. Ali KEÇELİ*

ÖZET

Bu makalede taşıma kapasitesi ve sismik kayma modülü, dolayısıyla sismik hızlar arasında bağıntı araştırılmıştır. Sınır taşıma kapasitesi (ultimate bearing capacity), q_u , yerine bina temel seviyesi altında birim alana ve belirli derinliğe sahip zemin sütunu ağırlığının meydana getireceği eşdeğer zemin basıncı yerleştirilmiştir. Eşdeğer sismik sınır taşıma kapasitesi (equivalent seismic ultimate bearing capacity), q_{us} , sabit bir zaman T_0 ile zeminin sismik kayma dalga hızının çarpımına eşit olan derinlik ve birim ağırlık cinsinden ifade edilmiştir. Kabul edilebilir veya güvenli taşıma basıncı, q_s basıncı, eşdeğer sınır taşıma kapasitesinin boyuna dalga hızının (V_p) kayma dalgası hızına (V_s) oranına bölünmesiyle elde edilmiştir. Yani, V_p/V_s oranı sayısal olarak emniyet faktörüne eşdeğer olan indirgeme faktörü gibi kullanılmıştır. Böylece, kabule dileyebilir taşıma basıncı kayma veya makaslanma direnci anlamında olan kayma modülü cinsinden elde edilmiştir. Sismik hızlar yeraltısuyuna duyarlı olmaları nedeniyle ayrıca, yeraltısuyu indirgemesi gerekmemektedir.

Sismik hızlardan saptanan kabul edilebilir taşıma basıncının laboratuvar ve Standart Penetrasyon

ABSTRACT

In this paper, a relation between bearing capacity and seismic velocities has been investigated. An ultimate bearing capacity, q_u , is replaced by the equivalent ground pressure caused by the weight of a ground column of equivalent depth and unit area, below foundation level. The equivalent ultimate bearing capacity, q_{us} , is expressed in terms of unit weight and an equivalent depth which equals to the multiplication of seismic shear wave velocity, V_s and constant time, T_0 . Presumptive or safe bearing pressure, q_s , is obtained from the equivalent ultimate bearing capacity divided by the ratio of the compressional wave velocity, V_p , to V_s . That is, the ratio- V_p/V_s , ranging approximately from 1.5 to 5, is used as reduction factor being equivalent to safety factor in numerical. Thus, the presumptive bearing pressure are obtained in terms of shear modulus (resistance). There is no need the use of underground water reduction factor because saturation causes an observable increase in the velocity ratio.

It is shown that the presumptive bearing pres-

*Fatih Mah., Yalı Cad., 20/17, Küçükçekmece, İstanbul

Tel.:0 (212) 5791289 • Fax:0 (212) 5997439 • Gsm: 0 532 4555957 • e.mail:a.keceli@superonline

(1) 23-25 Kasım 2000 Ankara Ulusal Jeofizik Toplantısında sunulmuştur.

Test (SPT) sonuçlarıyla uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Sonuç olarak, sismik yöntemeye dayanan bu teknik yayınlanmış müsaade edilebilir taşıma basıncı ve emniyetli taşıma kapasitesi tablo değerlerine uyumlu sonuçları yanında aynı zamanda yapısal jeolojiyi de aydınlatılabildiğinden ve yeriçi dinamik parametreleri de verebildiğinden avantaja sahiptir. SPT vuruş sayıları (N) ile uyumdan yararlanarak SPT de kullanılan temel şekil faktörleri sismik müsaade edilebilir taşıma basıncı (seismic allowable bearing pressure), q_{as} , ile de aynı şekil faktörleri bezer olarak kullanılabilir. Bu nedenle, bu teknik, özellikle, mekanik sondajın sınırlı olduğu ve uygun olmadığı yerlerdeki jeoteknik etüdlerde başarıyla kul-

sure values calculated from the V_p and V_s velocities are in good agreement with those of the laboratory and Standart Penetration Tests (SPT). For this reason, the foundation shape factor of SPT may be used similarly for q_s . This procedure has an advantage according to allowable bearing pressure, q_{as} , or safety bearing capacity, q_s , published in tables or in building codes because it can also elucidate local structural geology and dynamic parameters at the same time. Therefore, this procedure can be used successfully for geotechnical studies of sites where the soil mechanics techniques have some disadvan-

GİRİŞ

Geçen yıllarda daneli ve kaya ortamların mekanik ve fiziksel özelliklerini tayin etmek için sismik hızların kullanımı üzerine ilgi artmıştır. Birçok araştırmacı zemin mekaniği ve sismik hızların bazı parametreleri arasında bir takım korelasyonlar kurmaya çalışmışlardır. Coates (1970) tek eksenli basınç mukavemeti ile elastik modül ve sismik boyuna dalga hızı arasında deneylere dayanan ilişkiler vermiştir. Hardin ve Black (1968) ve Hardin ve Drnevich (1972) boşluk oranı ve kayma modülü arasında deneysel bağıntılar vermiştir. Ohkubo ve diğ. (1976) kayma dalga hızı, yoğunluk, gözeneklilik, elastisite modülü, serbest basınç gücü ve nem oranı arasında deneysel ilişkiler kurmuştur. Keza, Tatham (1982), Wilkens ve diğ. (1984), Phillips ve diğ. (1989), Jongmans (1992), Sully (1995), Pyrak-Nolte ve diğ. (1996) kayma modülü ve sismik hızlar ile etkin yer basıncı, gözeneklilik, kil içeriği ve jeolojik formasyonun kırıklığı arasında bağıntılar vermişlerdir.

Zeminlerin taşıma kapasitesi konusu belki de jeotekniğin en önemli konusu olmasına rağmen, ancak birkaç araştırmacı taşıma kapasitesi ile sığ sismik arasında uygulama tartışmasına teşebbüs etmiştir. Imai ve diğ. (1976) Standart Penetrasyon Test (SPT) vuruş sayıları ve sismik kayma dalga hızı arasında deneysel bir bağıntı önermiştir. Medvedev (1962)'nin zeminlerin deprem şiddeti artırma bağıntısına dayanarak, Bracinac

(1978) ve Ondrasyk ve diğ. (1992) sismik akustik empedans ve taşıma kapasitesini içeren mühendislik jeolojisi haritaları yapmıştır. Seed ve diğ. (1986) Standart Penetrasyon Direnci ile kayma modülü ilişkisini kurmuştur. Genelde kayma dalgası hızı ile ilişki kurulmaya çalışılmakla beraber, Sternberg ve diğ. (1990) SPT vuruş sayısı ile boyuna dalga hızı arasında deneysel bir bağıntı kurmuş ve jeoteknik projelerde taşıma kapasiteleri üzerine bilgi sağlanabileceğini belirtmiştir. Türker (1988) taşıma kapasitesi ile sismik hızlar arasında ilişki kurmaya çalışmış ancak, taşıma kapasitesinin katman hakim periyoduna dolayısıyla kalınlığına bağlı ifadesi nedeniyle eksik bir çalışma olmuştur. Keçeli (1990), aslında katman kalınlıklarına bağlı olmayan müsaade edilebilir taşıma kapasitesi ile sismik hızlar arasında bağıntı kurulabileceğini ve kayaç türlerine göre çizelge değerlerinin elde edilebileceğini göstermiştir.

Belirli bölgelerde ve benzer zeminlerde geçmişteki deneyimlere dayanan pratikte **zemin emniyet gerilmesi** olarak kullanılan güvenli taşıma kapasitesi (safe bearing capacity) değerleri Building Code'larda ve diğer standartlarda çizelge olarak verilmektedir. Çizelgelerdeki zemin basıncının bu keyfi değerleri genellikle **kabul edilebilir taşıma, güvenli taşıma kapasitesi** veya **müsaade edilebilir taşıma basıncı** değerleri olarak ifade edilmektedir. O nedenle bu makalede de benzer başlık kullanılmıştır. Çünkü: zeminin geçmiş uygulamalardaki deneyimlere göre temelinde belirli bir oturma olmaksızın o yükü

güvenle taşıyabildiği kabul edilir. Bu değerler genelde temellerin ön tasarımı için yararlı bir klavuzdur. Fakat bu değerlerin kayma deformasyonlarına güven faktörü kullanan laboratuvar ve arazi testlerine karşı temel şekil faktörünü de dikkate alarak daima desteklenmeleri gerekir.

Bir ortamın taşıma kapasitesi daha ziyade jeolojik özelliklerin karakteri üzerine bağlı olmakla beraber, taşıma kapasitesi sorunları jeolojik özellikler yanında yapısal jeolojinin detayları ile de ilgilidir. Sismik sıkışma dalgaları yapısal jeoloji özelliklerini, kayma dalgaları jeolojik formasyonların litolojik özelliklerini yansıtmada daha uygun araçlardır. Bu nedenle, bu araştırma kabul edilebilir veya SPT de kullanılan müsadde edilebilir taşıma basıncının (allowable bearing pressure) kayma deformasyonunun bağlı olduğu sismik kayma modülü (kayma direnci) cinsinden doğrudan saptanmasını amaçlamaktadır.

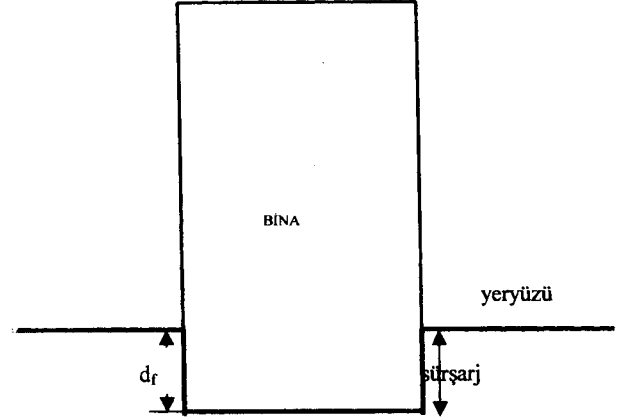
KABUL EDİLEBİLİR VEYA EMNİYETLİ TAŞIMA KAPASİTESİ SAPTANMASI

Doğrusal elastik yarı sonsuz ortam üzerinde düzgün olarak yüklü bir birim alanın altındaki düşey normal gerilimden dolayı zemin deformasyonu, gerilim ve deformasyon arasındaki ilişkiyi belirleyen elastik modüllere bağlıdır. Temeli taşıyan zemin genellikle kayma direncinin yenilmesiyle deformasyona uğradığından, elastisite modüllerinde kayma modülü ve taşıma basıncı arasında bir ilişki elastik teori içine girmeden aşağıdaki gibi araştırılabilir:

Zemin mekaniği taşıma kapasitesi hesaplamalarında, temelin taban seviyesi üzerindeki hafredilen toprağın ağırlığı yerine tek düze ilave bir eşdeğer basınç konur (Şekil 1).

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

İlave yük (surcharge), q_{df} tarafından meydana getirilen birim alanın taşıma kapasitesindeki artış temel inşaatında sınır taşıma kapasitesinden (ultimate bearing capacity), q_{uu} , çıkarılan zemin ağırlığı, q_{df} , ile tam olarak karşılandığı kabul edilir (Terzaghi ve diğ. 1967, Tomlin-



Şekil 1. Sürekli sığ temel derinlik kesitinde sürşarj seviyesi.

Figure 1. Section through continuous shallow footing for surcharge level.

son 1986). Bu nedenle net sınır taşıma kapasitesi (net ultimate bearing capacity), q_{nu} , aşağıdaki gibi verilir:

$$q_{nu} = q_u - q_{df} \quad (2)$$

Burada $\gamma (= \rho \cdot g)$ olup, kN/m^3 biriminde zeminin birim ağırlığıdır, ρ : T/m^3 biriminde yoğunluk, $g (=9,807 \text{ m/s}^2$ veya $10 \text{ m/s}^2)$ biriminde yerçekim ivmesi ve d_f : temel derinliğidir. Terzaghi (1967) bu yerine koyma işlevinin hesaplamaları basitleştirdiğini, hatanın küçük ve güvenli tarafta olduğunu ifade etmiştir.

Das (1993) tarafından da belirtildiği gibi, Seed ve Idriss (1971) birim alanlı ve d derinlikli toprak kolonu kabul ederek sıvılaşma potansiyeline sahip kum depozitlerinin izafi yoğunluğu ve depremde göstereceği maksimum yer ivmesi arasındaki ilişkiyi saptamak için basitleştirilmiş bir yöntem geliştirmiştir. Venkatramaiah (1993)'nin belirttiği gibi, klasik yer basıncı teorisi ile sınır taşıma kapasitesi saptanmasında Pauker yöntemi zeminin sınır taşıma kapasitesi yerine bir eşdeğer yükseklikli aynı zemin sütunu yerleştirilmesine dayanır. Benzer olarak, düzgün katı bir kütle gibi davranan bir zemin sütunu kabul ederek sınır taşıma basıncı, q_{uu} , yerine temel zemin ile aynı birim ağırlıklı, γ , eşdeğer derinlikli d_e , bir zemin sütunu, q_{uu} , veya eşdeğer ağırlıklı zemin sütunu aşağıdaki gibi verilebilir.

$$q_{us} = \gamma \cdot d_e \quad (3)$$

Şekil 2 birim alan kesitli, eşdeğer ağırlıklı kabul edilen d_e derinlikli zemin sütununun içinde bulunduğu türdeş, tekdüze ve doğrusal elastik yarı sonsuz ortam üzerindeki düşey yükü göstermektedir. Düşey olarak sismik dalga yayılımı esnasında, d_e derinliği, kayma dalgası V_s , ve sabit bir zaman T_0 , cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$d_e = V_s T_0 \quad (4)$$

Burada V_s , m/s biriminde kayma dalgası hızıdır ve T_0 , saniye biriminde zaman süresini göstermektedir. T_0 , sismik kayma dalgası yayılım denklemlerinden veya çeyrek dalga periyodu prensibinden elde edilen zemin hakim periyodu (predominant period: $T_p = 4h / (V_s(2n+1))$, $n=0,1,2,3$) T_p 'den farklı anlam taşımaktadır. Bu durumda d_e derinlikli, eşdeğer ağırlıklı ve V_s kayma dalgası hı-

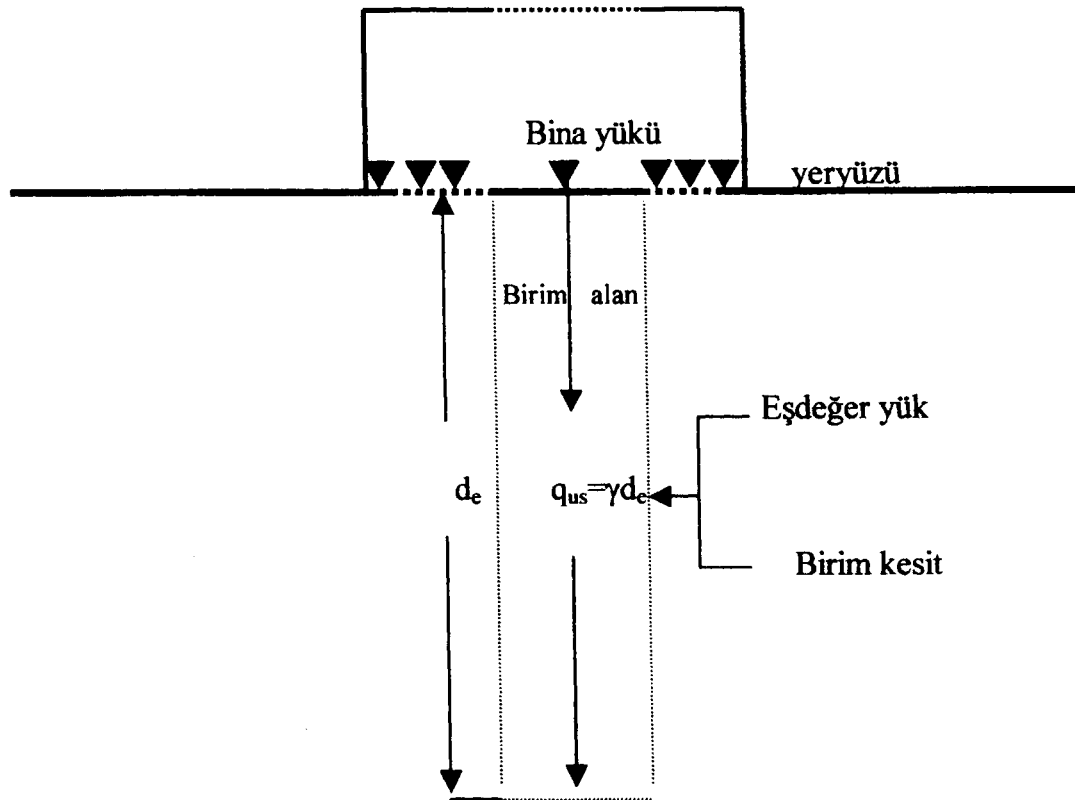
zına sahip zemin sütununun meydana getirdiği sismik sınır taşıma basıncı, q_{us} , aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$q_{us} = \gamma d_e = \rho g V_s T_0 \quad (5)$$

Burada sınır taşıma basıncı, q_u , aynı ağırlığa sahip yer basıncına eşdeğer olmaktadır..

Basit koşullar altında normal kabul, eşdeğer derinliğin d_e , yerin taşıma kapasitesi ile artmasıdır. Taşıma kapasitesi, birim ağırlık ve sismik kayma dalga hızı farklı zemin birimleri için karakteristik parametreler olduklarından eşdeğer derinlik d_e , T_0 zamanı sabit seçildiğinde, (5) eşitliğine göre karakteristik olmalıdır. T_0 , zaman miktarı sabit olduğunda, aşağıda gösterileceği gibi, taşıma basıncının sadece birim ağırlık ve kayma dalgası hızına bağlı olduğu görülür.

Temel düzenlemede kullanılacak güvenli taşıma kapasitesini (q_s) elde etme işlevinde sınır taşıma kapasitesi bir güven faktörüne bölünür. Güven faktörü yapının



Şekil 2. Kabul edilen eşdeğer yüklü zemin sütunu taşıma basıncı modeli.

Figure 2. The bearing pressure model considered column of ground of equivalent weight.

önemine ve zeminden zemine bağlı olarak 1.5 ile 5 arasında değişebilir (Venkatramiah 1993). Keza, sismik sıkışma dalga hızının, V_p , kayma dalgası hızına, V_s , oranı da yeraltısuyuna doygun olmayan ortamlarda genelde 1.5 ile 5 arasında değişmektedir. V_p/V_s oranı, esasen, zeminin doğasına ve onun fiziksel ve mühendislik özelliklerine bağlıdır. Örneğin; oturmuş büyük derinlikli çökel ortamlarda 1.6 ile 2.2 arasında, onun üzerinde bulunan küçük kalınlıklı çökellerde 2.8, ve gevşek çökellerde 5 veya daha yüksek olabilmektedir (Tatham 1982, Prakla-seismos 1986). Yeraltısuyu seviyesi derinliği taşıma kapasitesi üzerine önemli şekilde etkiye sahiptir. Bu nedenle, zemin mekaniğinde taşıma kapasitesi değerleri, su seviyesi temel tabanı seviyesinde ise yüzde 50 küçültülür (Terzaghi et al 1967, Wyllie 1992). Ancak, V_p/V_s oranı değeri üzerinde gözeneklilik, suya doygunluk, çatlaklık derecesi, kil içeriği ve etkin basınç önemli fonksiyonlardır (Tatham 1982, Wilkens et al 1984, Prakla 1986 ve Phillips et al 1989). Doğunluğun sıkışma dalgası hızını artırması ve kayma dalgası hızını azaltması V_p/V_s oranı üzerinde belirgin olması önemli sonuç ortaya çıkarmaktadır. V_p/V_s hız oranında artış miktarı 2 civarında olabilmektedir. Keza, V_s hızı kaya çatlağına V_p hızından daha duyarlıklı olduğundan kırıklık derecesi arttıkça V_p/V_s , hız oranı artmaktadır. Bu nedenle zemin ve kaya mekaniğindeki gibi herhangi bir indirgeme faktörü kullanmaya gerek olmamaktadır. Bu durumda, V_p/V_s oranı güven faktörüne eşdeğer olarak kullanılabilir. güven faktörü değerleri ile V_p/V_s hız oranı değerlerinin benzerliğinden yararlanarak kabul edilebilir taşıma basıncı, q_s , sismik yöntemde (5) eşitliğinden aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$q_s = (q_{us}) / (V_p/V_s) = (\gamma d_e) / (V_p/V_s) \\ = (\rho g V_s T_0) / (V_p/V_s) = \frac{g T_0}{V_p} \rho \cdot V_s^2 = k G \quad (6)$$

Burada $k (=gT/V_p)$ kayaç türüne bağlı boyutsuz bir sabittir ve $G (= \rho \cdot V_s^2)$ kPa biriminde kayma veya makaslanmaya karşı direnç anlamında olan kayma (direnci) modülüdür. T_0 , zaman miktarının sabit değeri aşağıdaki gibi elde edilebilir: Örneğin, Çizelge 1'de görüldüğü gibi, Building Code'larda ve yayınlanmış çizelgelerde en sert ve masif genç kayaların güvenli taşıma kapasiteleri üst sınır olarak yaklaşık 10 Mpa veya 100 kg/cm² olarak

verilmektedir (Bowles 1984, Wyllie 1992). En yüksek sıkışma dalga hızı V_p ve kayma dalga hızı V_s , sırasıyla 6000 m/s; ve 4000 m/s, birim ağırlığı da 3.5 g/cm³ veya 35 kN/m³ civarında verilir. Bu değerler (6) eşitliğinde yerine konursa,

$$q_s = \frac{g T_0}{V_p} \quad G \cong \frac{T_0}{6000} (35) (4000)^2 \cong 10 \text{ M Pa} \quad (7)$$

(7) eşitliğinin sayısal sadeleştirilmesinden, T_0 zaman miktarı 0.1 saniye olarak elde edilir. O zaman, $T_0=0.1$ değeri (5) ve (6) eşitliklerinde yerine konursa sınır taşıma basıncı ve müsaade edilebilir taşıma basıncı sırasıyla

$$q_{us} = \rho (T/m^3) g (10 (m/s^2)) T (0.1 (s)) V_s (m/s) \\ = \rho V_s (kPa) \quad (8)$$

$$q_s = \rho (T/m^3) g (10 (m/s^2)) T (0.1 (s)) \frac{V_s^2 (m/s)^2}{V_p (m/s)} \\ = \frac{\rho V_s^2}{V_p} (kPa) \quad (9)$$

veya

$$q_{us} = (\rho V_s) / 100 \quad (kg/cm^2) \quad (10)$$

$$q_s = \left(\frac{\rho V_s^2}{V_p} \right) / 100 (kg/cm^2) \quad (11)$$

olarak elde edilir. (8) eşitliği Cernica (1995) tarafından da ifade edildiği gibi, sınır taşıma basıncının zeminin sınır kayma direnci cinsinden ifade edilebileceğini göstermektedir. Diğer yandan sismikte kayma dalgası empe-

Çizelge 2. Sismik hızlardan elde edilen kabul edilebilir veya güvenli taşıma kapasiteleri.

Table 2. Presumptive or safe bearing capacities obtained from seismic velocities.

Zemin cinsi	Sıkışma dalgası hızı V_p (m/s)	kayma dalgası hızı V_s (m/s)	yoğunluk ρ (T/m ³)	Güvenli taşıma kapasitesi q_s (kPa)
Alüvyon kili	210-600	70-150	1.2-1.5	28-58
Sel kili	500-1800	100-350	1.5-2	30-137
Alüvyon çakılı	400-1900	100-430	1.4-2	35-199
Gevşek kum	600-1800	150-500	1.5-2	57-280
Çakıl, kuru kum	500-1000	200-300	1.5-1.7	117-156
Sel çakılı	900-2200	250-600	1.7-2.1	117-347
Çamurtaşı	600-1900	300-700	1.5-2	230-527
Kireçtaşı	1200-6190	600-3350	1.8-2.8	547-4985
Şist	3200-5200	1454-3500	2.3-2.6	1540-6201
Granit	3300-5640	2000-3760	2.3-2.8	2857-7019
Gabro	4500-6500	2730-4300	2.5-3.5	4140-9956

Burada kabul edilebilir taşıma basıncını hesaplama-
da önemli parametrelerden biri de yoğunluk parametre-
sidir. Telford ve diğ. (1976) daneli ve kaya zeminlerin
 V_p hızları ile yoğunlukları arasında aşağıdaki deneysel
ilişkiyi aşağıdaki gibi vermiştir.

$$\rho = 0.31 (V_p^{0.25} \text{ (m/s)}) \quad (12)$$

veya kaya zeminler için

$$\rho = 1.6 + 0.2 (V_p \text{ (km/s)}) \quad (13)$$

(12) ve (13) eşitliklerindeki (ρ yoğunluk değeri
gr/cm³ birimi ile ifade edilmektedir.

Sonuç olarak, bir zeminin V_p ve V_s sismik hızları
elde edildiğinde kabul edilebilir taşıma basıncı veya mü-
saade edilebilir taşıma kapasitesi mekanik sondaja gerek
olmadan tahmin edilebilir.

LABORATUVAR UYGULAMASI

Sismik hızlardan elde edilen kabul edilebilir taşıma
basıncının sonuçlarının güvenilirliğini göstermek ama-
cıyla, Çizelge 3'deki kaya mekaniği laboratuvarı verile-
ri Elektrik İşleri Etüde İdaresi (EİEİ) tarafından hazırla-
nan Limonlu Lamos Barajı Raporu'ndan temin edilmiş-
tir. Baraj sahasının çeşitli derinliklerinden alınan numu-
neler üzerinde sıkışma ve kayma dalgası hızları yol-za-
man yöntemiyle ölçüldükten sonra tek eksenli basınç
dayanımı (uniaxial compression strength), Brazilian ve
nokta yükleme (Point load) testleri yapılmıştır. Çizelge
3, ayrıca laboratuvar test sonuçlarıyla (9) eşitliğinden
elde edilen kabul edilebilir taşıma basıncının, q_s , uygun
değişimlerini göstermektedir. q_s değerlerinin özellikle
nokta yükleme değerleri ile hemen hemen aynı seviyede
uyumlu değişimleri açıkça görülmektedir. Bu test sonu-
cuna göre, q_s makul sınır içinde olan değerleri dayanım
ve deformasyon için kaya sınıflamasında kullanılabilir.

Çizelge 3. Kaya numuneleri için laboratuvar mukavemet testleri sonuçları ve sismik hızlarından elde edilen güvenli taşıma kapasiteleri.

Table 3. Laboratory strength tests results for specimens of rocks and safe bearing capacity obtained from their seismic velocities.

Sondaj No :	Numune No :	Litoloji	Tek eksli.basınç ger. MPa	Brezilyan MPa	Nokta yüklme MPa	q_s MPa	V_p m/s	V_s m/s
BH1	1	Dol.kireçtaşı	99.1	-	3	4	5983	2966
BH2	1	M.kireçtaşı	86.7	-	-	3.9	5534	2832
BH3	1	M.kireçtaşı	74.7	-	1.1	2.8	3591	1806
BH3	2	Dol.kireçtaşı	66.8	6.2	-	4.4	5977	3110
BH5	2	<<	81.4	8.4	3.7	4.1	6027	3013
BH5	3	<<	77.4	3.7	-	4	6190	3009
BH5	4	<<	88	-	3	5.4	6351	3525
BH6	4	<<	77.7	4	-	3.4	6179	2794
BH7	4	<<	78.7	6.3	-	3.9	5909	2902
BH9	1	<<	84.7	9.1	-	4	606	3008
BH9	4	<<	67.8	6.3	-	4.4	6314	3157
BH10	1	<<	66.3	8.4	-	3.8	5625	2832
BH11	1	M. Kireçtaşı	46.3	5.6	-	2.6	4348	2116
BH13	2	Dol.kireçtaşı	47.8	5.9	3.5	4	5906	2932
BH14	2	M.kireçtaşı	50.8	2	3.3	3	5479	2395
BH17	1	<<	56.3	3.9	-	3.3	6368	2744
BH18	7	Killi kireçtaşı	77.2	5.3	-	3.3	4000	2299
BH18	9	<<	69.8	3.7	-	2.2	3223	1748
BH18	10	<<	45.8	3.2	1.7	1.6	2788	1427
BH19	1	Killi silttaşı	17.4	0.5	1	1.5	2764	1369
BH19	2	Killi kireçtaşı	37.9	3.7	1.8	1.9	3433	1676

ARAZİ UYGULAMASI

Geliştirilen bu teknik on yıldan beri yüzlerce arazi-de birçok jeofizik mühendisi tarafından SPT verileri ile karşılaştırılmalı olarak kullanılmış ve kullanılmaya devam edilmektedir. Kabul edilebilir taşıma basıncı değerlerinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla mekanik sondaj kuyusu üzerinde sismik refraksiyon ölçüsü olan çalışmalar temin edilmiştir. Bunun için Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde Mutlutürk ve diğerleri (1997)

tarafından hazırlanan jeoteknik rapor verileri seçilmiştir. Jeoteknik rapor üniversite hastanesi inşaat alanı için 1997 de hazırlanmıştır. Üniversite kampus sahası Kuva-terner yaşlı alüvyonla kaplıdır. Hakim litoloji kötü dere-celenmiş kumdur. Bununla beraber, temel çökelleri üç alüvyon seviyesi oluşturmaktadır. En üst birimi gevşek kum ve silt teşkil eder. Ara birim başlıca killi silt ve çakıllı kumdan oluşmuştur. Alt birim ince taneli kumlu silt ve kilden oluşmuştur. İnşaat sahasında iki mekanik son-daj kuyusu açılmıştır. Bu iki sondaj kuyusu üzerinde iki sismik profil ölçüsü alınmıştır. Herbirinde sıkışma V_p ve

Çizelge 4. S.D.Ü . Kampüstü alüvyon ortamından elde edilen SPT vuruş sayıları ile sismik verilerin karşılaştırılması.

Table 4. The comparison of seismic data with SPT blowcounts obtained from alluvial medium at S.D.U. campus area

Sondaj No:	SPT derinlik m	Birim ağırlık T/m^3	SPT vuruş sayıları	SPT düzlmş. sayılı T/m^2	SPT ortalama kPa	Sismik q_s kPa		Sismik derinlik m	V_p m/s	V_s m/s	katman sayısı
						a*	b*				
	1.95	1.9	13	16.5	165	160	140	0-2.7	266	150	1
1	3.45	1.81	36	40	357	465	351	2.7-10.4	600	350	2
	4.95	2.45	39	36							
	6.45	2.6	49	40							
	7.95	2.08	36	30							
	9.45	2.39	50	35							
	10.55	2.39	50	33							
	-	-	-	-	-	750	586	10.4-	1000	571	3
2	2.25	1.9	7	9	90	106	92	0-2.5	266	122	1
	3.45	22.8	33	36	335	380	281	2.5-10.5	444	272	2
	4.95		50	47							
	6.45		38	33							
	7.95		50	39							
	9.45		29	21							
	10.55		37	25							
	-	-	-	-	-	350	280	10.55-	1200	429	3

a* laboratuarda saptanan ortalama birim ağırlık ve b* (12) eşitliğinden saptanan birim ağırlıktır.

yatay polarizlenen kayma dalgası VSH hızları ölçülmüştür. Ölçü cihazı Geometrics model 1210F, 12 kanallı sayısal sinyal biriktirmeli sismoğrafıdır. Çizelge 4, sismik hızlardan elde edilen kabul edilebilir taşıma basıncı ile SPT vuruş sayılarının karşılaştırmasını göstermektedir. Çizelge 4'de ortalama N değerleri sıkışma dalga hızı V_p 'den elde edilen ile hemen hemen aynı kalınlığa sahip SPT tabaka kalınlıkları için kullanılmıştır. SPT nin yer basıncı etkisi düzeltilmiş vuruş sayılarının bir katman içindeki aritmetik ortalama değeri (q_{aN})_{ort.} ile aynı katmanın sismik hızlardan elde edilen kabul edilebilir taşıma basıncı q_s değerlerinin birbirine yakın değerler oldu-

ğu görülmektedir. Küçük farklılıklar sismik ölçülerde genelde bir katmanın ortalama hız değerinin ölçülmesinden veya SPT vuruş sayılarının katman içindeki tane dağılımı ve sıklık farklılıklarından dolayıdır. Bu benzer sonuçlardan yararlanarak aşağıdaki temel şekil faktörü içeren ifadeler geliştirilebilir.

Örneğin d_f temel derinliği olmak üzere temel şekil faktörüne bağlı olarak, B temel genişliği 1.22 metreden küçük olması durumu için Meyerhof SPT müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, q_{aN} , deneysel tanımını Bowles, (1984) aşağıdaki gibi vermiştir.

$$q_{aN} = 12N k_d \quad \text{kPa} \quad (14)$$

Jeoteknik yazın, yukarıdaki koşullarda $k_d = 1 + 0.33(d_f / B) \leq 1.33$ olmasını önermektedir. Çizelge 4'deki q_{aN} ve q_s değerleri birbirine yakın sonuçlar vermesi ve aynı birimde olmaları özelliğinden yararlanarak, (14) eşitliğinde N yerine q_s konursa, sismik yöntemde de temel şekil faktörüne bağlı müsaade edilebilir taşıma kapasitesi veya basıncı, q_{as} , benzer şekilde aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$q_{as} = 12 q_s k_d \quad \text{kPa} \quad (15)$$

$$q_{as} \equiv 0.12 q_s k_d \quad \text{kg/cm}^2 \quad (16)$$

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

$B = 1$ metre için $k_d \leq 1.33$ koşulunda

$$q_{as} = 1.5 N \Leftrightarrow 1.5 q_s,$$

$d_f = 0$ yani yeryüzünde $k_d = 1$ koşulunda

$$q_{as} = 1.2 N \Leftrightarrow 1.2 q_s,$$

$B = 2$ metre ve $d_f = 0$ için $k_d = 0.5$ koşulunda

$$q_{as} = 0.6 N \Leftrightarrow 0.6 q_s,$$

Çalışmanın başlangıcında dikkate alınmayan temel şekil faktörü bu şekilde işleme sokulabilir.

Sonuç olarak, SPT yönteminde olduğu gibi, geliştirilen bu teknikte de temelin zemine aktaracağı müsaade edilebilir taşıma basıncı (15) ve (16) eşitliklerinde yer alan k_d içindeki B temel genişliği büyüdükçe azalacağı, d_f temel derinliği büyüdükçe artacağı sonucu benzerdir.

SONUÇLARIN TARTIŞMASI

Geliştirilen tekniğin mühendislik etüdlerinde özel yararları ve sınırları aşağıdaki şekilde tartışılabilir:

1. Zemin mekaniğinde taşıma kapasitesi yarı deneysel bağıntıları daneli zeminlerin her türüne uygulanmasına rağmen, genelde kohezyonsuz daneli zeminler için pratik değildir. Çünkü laboratuvarında arazi koşu-

lunu sağlayacak bozulmamış numune elde etmek hemen hemen imkansızdır. Ayrıca, Craig (1989)'un da belirttiği gibi, laboratuvar testinin diğer bir dezavantajı zeminin çok küçük bir hacminin test edilmesidir. Keza, SPT çakıl tabakası ve blokların olması durumunda bazı dezavantajlara sahiptir. Diğer taraftan, sismik yöntemle arazi ölçüleri zeminin geniş bir hacmine yerinde uygulanabilmektedir. Ayrıca, Wyllie (1992)'nin de belirttiği gibi, kaya zeminlerin taşıma kapasitesi için genelleştirilmiş bir eşitlik yoktur. Buna karşın, sismik hızlar yardımıyla saptanan kabuledilebilir taşıma bağıntısı daneli ve kaya zeminlerin her türüne uygulanabilir.

Genel olarak, kaya türü zeminlerin dışında kalan zeminlerin davranışı elastik zeminlerinkinden önemli bir şekilde sapmakla beraber; sismik yöntem uygulamalarındaki gibi çok küçük gerilime karşın çok küçük deformasyon seviyelerinde, tutturulmamış daneli zeminlerin de elastik davranış gösterdikleri makul bir yaklaşım ile kabul edilebilmektedir (Das 1993).

2. Zemin mekaniğinde, Terzaghi ve diğ. (1967) ve Wyllie (1992)'nin de ifade ettiği gibi, taşıma kapasitesi üzerine su seviyesinin etkisinden dolayı % 50 civarında indirgeme faktörü değerleri kullanılır. Diğer taraftan, kırık derecesi ve yeraltı suyu seviyesi V_p/V_s hız oranı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu nedenle, V_p/V_s oranı güven faktörü olarak kullanıldığında sismik hızlarla saptanan sınır taşıma kapasitesini indirmek için ayrıca herhangi bir indirgeme faktörü kullanmaya gerek yoktur.

3. Deprem hasarlarını yaratan faktörlerden biri olan rezonans frekansının önceden kestirilebilmesinde, zemin hakim periyodunun kayma dalgası hızının yerinde ölçülmesi ile saptanabilmesi, sismik yöntemi daha avantajlı kılmaktadır. Kanai (1984)'de zemin sıvılaşmasından dolayı deprem hasarlarının V_p/V_s oranının büyük olduğu yerlerdeki kum zeminlerde büyük olacağını göstermiştir. Bu nedenle, V_p/V_s hız oranının güven faktörü olarak kullanımı çok yararlı olacaktır. Çünkü, deprem esnasında taşıma kapasitesi önemli şekilde küçüldüğü için, kohezyonsuz suya doymun ince daneli zeminlere özel önem verilmektedir. Yani, V_p/V_s oranının 4'den büyük değerleri, suya doymun kum yataklarının potansiyel zemin sıvılaşması özelliklerini tanımda kullanılabilir.

4. Doğada zeminin katmanlı olduğu veya olmadı-

ğında, özellikleri noktadan noktaya değiştiğinde, her bir ortamın sismik hızları vasıtasıyla taşıma kapasitelerini ayrı ayrı elde etmek olanaklıdır. Bilindiği gibi, geometrileri farklı ortamlar için sismik kırılma çalışmaları yapılabilmektedir (Mooney 1977, Ward 1990, Lankston 1990 ve Pyrak-Nolte et al. 1996). Bununla beraber, burada geliştirilen teknik alttakine göre daha yüksek sismik hıza sahip bir üst tabaka bulunması durumunda da sismik yöntemdeki gibi aynı sınırlamaya sahiptir. Ancak bu sorun da, kuyu içi sismik çalışması tekniği ile yenilebilir.

5. Bracinac ve diğ. (1978); Sternberg ve diğ. (1990), Ondrasyk ve diğ. (1992)'nin yayınlarında görüldüğü gibi, eğer bir şehirde imara açılacak bölge varsa, bu yöntem yeşil alanların farklı inşaat yükseklik düzenlemesi gerektiren geniş arazilerin sismik mikrobölgelendirmelerini içeren mühendislik jeolojisi haritalarının hazırlanması için kullanılabilir. Hiç olmazsa, geniş alanlara hızlı uygulanabilme özelliği ile zaman ve parasal kazanç sağlar.

SONUÇ

Bu araştırma, sismik dalga hızları ve güvenli taşıma kapasitesinin çizelge değerleri arasında doğrudan bir ilişki elde etmek için ilk adımdır. Bu çalışmada, sınır taşıma kapasitesinin eşdeğer ağırlıklı birim alana sahip zemin sütunu tarafından meydana getirilen eşdeğer yer basıncı ile ifade edilebileceği ve daha sonra, güvenli taşıma kapasitesi veya kabul edilebilir taşıma basıncının sınır taşıma basıncının güven faktörü olarak kullanılan V_p/V_s hız oranına bölümüyle elde edilebileceği gösterilmiştir. Sismik kırılma yöntemine dayanan teknik, mekanik sondaj ve yeraltı suyu veya çatlaklık indirgeme faktörü kullanımını gerektirmemektedir.

Laboratuvar ve SPT verileri ile sismik hızlardan elde edilen veriler uyum içinde olmaktadır. Farklılık küçük ve güvenli tarafta bulunmaktadır. Bu çalışmada elde edilen taşıma basıncı değerleri başlangıçta temel şekil faktörüne bağlı olmamakla beraber, SPT vuruş sayısı ile birlikte kullanılan temel şekil faktörleri sismik hızlardan elde edilen taşıma basıncı için de benzer şekilde kullanılabilir. Bu nedenle temel şekil faktörü sorunu bulunmamaktadır.

Sonuç olarak, zemin ve kaya mekaniği sonuçlarıyla sismik sonuçların birlikte kullanımıyla taşıma kapasitesi yanında yapısal jeoloji, litoloji, zemin hakim periyodu, zemin sıvılaşması ve deprem şiddeti artımı hakkında ilave bilgiler sağlamak mümkün olduğundan, önerilen teknik, güvenli taşıma kapasitesi ve müsaade edilebilir taşıma basıncı çizelge değerlerinden daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Geliştirilen teknik pratikte deprem ve yeraraştırmalarında yüzlerce noktada mekanik sondaj ile birlikte, birçok uygulayıcı tarafından kullanılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu nedenle, sismik hızlar vasıtasıyla müsaade edilebilir taşıma basıncı saptanması yeraraştırmalarında gelecekte yararlı bir teknik olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Bowles, J.E. 1984, Physical and Geotechnical Properties of Soils, McGraw-Hill.
- Bracinac, Z., & Janjic, M. 1978, Engineering-Geological Maps of Seismic Regions, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 18: 27-32.
- Cernica, J. N. 1995, Geotechnical Engineering: Soil Mechanics, John Wiley & Sons, Inc.,
- Coates D.F. 1970, Rock Mechanics Principles, Mines Branch Monograph 874.
- Craig, R.F. 1989, Soil Mechanics, English Language Book Society, Van Nostrand.
- Das, M.B. 1993, Principles of Soil Dynamics, 2nd edn. PWS-KENT Publishing Company.
- Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Müdürlüğü 1999, Limonlu Lamos Barajı Sahası Etüd Raporu.
- Hardin, B.O., & Black, W.L. 1968, Vibration Modulus of Normally Consolidated Clays, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.94, No.SM2, pp.353-369.
- Hardin, B.O. & Drnevich, V.P. 1972, Shear Modulus and Damping in Soils, J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 98 SM7: 667-692.
- Imai, T. & Yoshimura, M. 1976, The relation of Mechanical Properties of Soils to P and S Wave Velocity

- es for Soil Ground in Japan, Urana Research Institute, OYO Corp.
- Jongmans, D. 1992, The application of Seismic Methods for Dynamic Characterization of Soils, Bulletin of International Association of Engineering Geology, 46: 63-69.
- Kanai, K. 1984, Engineering Seismology, I.I.S.E.E. in Japan.
- Keçeli, A. D. 1990), The determination of the Bearing Capacity by means of the seismic method, (in Turkish), Jeofizik 4, 83-92.
- Lankston, R. W. 1990, High-Resolution Refraction Seismic Data Acquisition and Interpretation: in Geotechnical and environmental Geophysics. Soc. Expl. Geophys, Vol., I, 45-73.
- Mutlutürk, M., Saraç, L. & Kamacı, Z. 1997, The geotechnical investigation of the building area of hospital, Süleyman Demirel University (SDU).
- Medvedev, S.V. 1962, Engineering Seismology (in Russian)- Moskova.
- Mooney, M.H. 1977, Handbook of Engineering Geophysics, Bison Instruments, Inc..
- Ohkubo, T. & Terasaki, A. 1976, Physical Property and Seismic Wave Velocity of Rock, OYO Corp.
- Ondrasyk, R., Matys, M. & Vyskup, J. 1992, Engineering Geological Zoning and Seismic Microzoning, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 46: 89-92.
- 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.
- Pyrak-Nolte, L., J., Roy, S. & Mullenbach, B., L. 1996, Interface waves propagated along a fracture. Journal of Applied Geophysics, 35: 79-87.
- Seed, B., and Idriss, I. M. 1971, Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 97, No. SM9, 1249-1273.
- Seed, H. B., Wong, R.T., Idriss, I.M., & Tokimatsu, K. 1986, Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of cohesive Soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 112, N. GT11, 1016-1032.
- Sternberg, B. K., Poulton, M. M. & Thomas, S. J. 1990, Geophysical investigations in Support of the Arizona SSC project, (In Geotechnical and Environmental Geophysics, S.E.G. V.III:211-228).
- Sully, J. P. & Campanella, R. G. 1995, Evaluation of in situ anisotropy from crosshole and downhole shear wave velocity measurements, Geotechnique, 45(2) 267-282.
- Tatham, R.H. 1982, Vp/Vs and Lithology, Geophysics, 47: 336-344.
- Telford, W.M., Geldart, L. P., Sherff, R.E. & Keys, D.A. 1976, Applied Geophysics, Cambridge University Press.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B. 1967, Soil Mechanics in Engineering Practice, Second Edition, John Wiley & Sons, London.
- Tomlinson, M.J. 1986, Foundation design and construction, Longman Scientific & Technical.
- Türker, E. 1988, Sismik Yöntemlerle Zemin Taşıma Gücünün Saptanması, Doktora Tezi, A.Ü. Isparta Mühendislik Fakültesi.
- Venkatramaiah, C. 1993, Geotechnical Engineering, John Wiley & Sons.
- Ward, S.H. 1990, Geotechnical and Environmental Geophysics, Vol.(I-II), Soc. Expl. Geophys.
- 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.