

## SİSMİK HIZLARDAN TAŞIMA GÜCÜNÜN İNCELENMESİ

Osman Uyanık\*, Fatmagül Gördesli

### Özet

Bu çalışmanın amacı klasik taşıma gücü ile sismik hızlardan hesaplanan taşıma gücünü karşılaştırmaktır. Araştırmacıların en son ürettikleri ve tavsiye ettikleri taşıma gücü bağıntıları kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma pomza ve kil türü zeminlerde uygulanmıştır. Ancak pomza türü zeminlerin taşıma gücü kohezyon ve içsel sürtünme belirlenemediğinden klasik yöntemle hesaplanamamıştır. Karşılaştırılan taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü bağıntılarının sismik hızlara göre değişimleri, yoğunluk, güvenlik katsayısı ve temel faktörü bakımından da kıyaslanarak incelenmiştir. Buna ek olarak incelenen statik taşıma gücü bağıntısı ve dinamik olarak adlandırılan sismik hızlardan taşıma gücü bağıntılarının depreme dayanıklı yapılaşma için yeterliliği tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Taşıma gücü, sismik hızlar, güvenlik katsayısı, pomza, kil.

## EXAMINATION OF BEARING CAPACITY FROM SEISMIC VELOCITIES

### Abstract

The purpose of this study was to compare of classical bearing capacity with bearing capacity calculated from seismic velocities. In addition to, Recommendations and the final bearing capacities of the researchers are compared. This comparison was applied pumice and clay type soils. However, the bearing capacity of pumice type soils can't be calculated by classical method because of isn't detectable cohesion and internal friction. Bearing capacity and safe bearing capacity relationships were compared to seismic velocities. These relationships were compared in term of fundamental factor, the density and safety factor. In addition, for earthquake-resistance construction are discussed adequacies of the equations which are static bearing capacity calculated from cohesion and internal friction, and dynamic bearing capacity calculated from seismic velocities.

**Keywords:** Bearing capacity, seismic velocities, safety factor, pumice, clay.

### 1. Giriş

Yapının zeminle doğrudan temasını sağlayan ve yapıdan gelen yükleri zemine aktaran birime temel denir. Sağlıklı temel için oluşacak oturma değerleri güvenli sınır içinde kalmalı ve kayma değerine karşı yeterli direnç sağlanabilmelidir. Bu nedenle temel tasarımı, üzerinde bulunan yapının duyarlılığına ve zeminin özelliklerine göre boyutlandırılır. Bu kıstaslara uyulması halinde taşıma gücü şartları sağlanmış olur. Yani taşıma gücü, zeminin oturma yapmadan ve göçmeden taşıyabileceği en büyük yükür. Emniyetli taşıma gücü ise, taşıma gücünün birimsiz bir güvenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilir.

\* Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Isparta  
E-posta: osmanuyanik@sdu.edu.tr

Rankine'nin (1857) taşıma gücü konusundaki ilk çalışmalarından biridir. Daha sonra plastik denge kavramından yola çıkan Prandtl (1921) ve Reissner (1924), Terzaghi'nin çalışmalarının temelini oluşturmuştur. Terzaghi (1925), Prandtl eşitliğinden yararlanarak, yüzey temeller için zemin özelliklerine bağlı taşıma gücü elde etmiştir. Birçok araştırmacı taşıma gücü konusunda çalışmalar yapmış ve Terzaghi formülüne farklı yaklaşımlarda bulunmuştur. Ancak günümüzde hala kabul gören ve uygulanan Terzaghi klasik formülüdür. Terzaghi bağıntısı, zeminin kayma direncine bağlıdır. Bu nedenle zemin özelliklerine ilişkin parametreler (farklı yükleme şartları, temel boyutları, yeraltı su seviyesi vb.) dikkate alınarak gerekli düzeltmeler yapılmalıdır. Ayrıca statik olan bu yöntem uygulanırken arazideki gerçek zemin koşullarının korunabilmesi çok zordur.

Son yıllarda klasik yöntemden farklı olarak sismik hızlardan hesaplanan taşıma gücü bağıntıları geliştirilmiştir. Türker (1988) doktora çalışması sonucunda zeminin hakim titreşim periyodu, zemin yoğunluğu ve P dalga hızından taşıma gücü, S dalga hızından emniyetli taşıma gücü ve P ve S dalga hız oranından güvenlik faktörünü önermiştir. Keçeli (1990) da, taşıma gücü, tabaka kalınlığına dolayısıyla zemin hakim periyoduna bağlı olmadığından, danışmanı olduğu Türker (1988) doktorasındaki zemin hakim titreşim periyodu yerine 0.33 ya da 0.4 s kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Keçeli (2000) de taşıma gücünün P dalga hızından değil S dalga hızından hesaplanması gerektiğini belirtmiş, zemin hakim titreşim periyodu yerine eşit zaman aralığında incelenmesi gerektiğinden sabit olması gereken zaman değeri olarak belirlediği 0.1s değerini kullanmış ve taşıma gücünü güvenlik faktörüne ( $V_p/V_s$ ) oranlayarak emniyetli taşıma gücünü belirlemiştir. Kurtuluş (2000) de temel ebatları ve S dalga hızına bağlı fakat zemin yoğunluğu içermeyen deneysel bir ilişki ile taşıma gücünü belirlemiş ve emniyetli taşıma gücü için güvenlik faktörü olarak sismik hız oranını ( $V_p/V_s$ ) kullanmıştır. Türker (2004) de taşıma gücünü belirlemek için S dalga hızını kullanmış, zemin hakim titreşim periyodu yerine Keçeli (1990) önerilerini dikkate alarak 0.33 s tercih etmiştir. Ayrıca taşıma gücü bağıntısına temel derinliğini eklemiş ve güvenlik faktörü olarak 3 kullanmıştır. Tezcan vd. (2006) da Keçeli (2000) çalışmasına benzer şekilde yoğunluk ve S dalga hızına bağlı deneysel bir ilişki sunmuşlar ve 500m/s den büyük S dalga hızına sahip ortamlar için düzeltme katsayısı ( $S_v$ ) eklemişlerdir. Tezcan vd. (2006) ve daha sonraki çalışmalarında güvenli taşıma gücü eşitliklerinde kullanılan katsayılar Keçeli (2000) yayınında 0,1s olan zaman değerinin güvenlik faktörüne bölünmesiyle ( $0,1/4=0,025$ ) elde edilebilmektedir. S dalga hızından taşıma gücü çalışmaları temel ebatlarına bağlı gelişmeler (Tezcan vd. 2007; 2008; Keçeli 2010; 2012) devam etmektedir. Sismik hızların kullanıldığı bu yöntem, klasik yöntemle göre; daha pratik, daha ekonomik, daha kısa süreli çalışmalar gerektiren uygulamalar içermektedir. Bu konuda çalışan araştırmacıların çalışmaları incelendiğinde sağlıklı ve güvenilir sonuçlar elde edildiği de görülebilmektedir. Ayrıca kohezyon, içsel sürtünme, yeraltı suyu, sıklık-katılık gibi zemin özelliklerini yansıtabilen sismik hızların, taşıma gücü bağıntılarında kullanılması klasik yöntemde uygulanması gereken ve uygulama sırasında hata payı bulunan düzeltmeleri de gereksiz kılmaktadır.

Sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü konusunda pek çok yaklaşımda bulunulmuştur. Bu çalışmada ülkemizde öne çıkan çalışmalar irdelenmiş, bağıntılara arazi verileri uygulanarak elde edilen taşıma gücü değerleri grafikte sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar ve grafikteki dağılımlarından yola çıkılarak bağıntıların teorileri, benzerlik ve farklılıkları belirlenerek ifade edilmiştir. Sismik hızlardan elde edilen taşıma gücü bağıntıları araştırmacılar tarafından 'dinamik' olarak tanımlanmaktadır. Yapılan incelemelerde statik olan klasik taşıma gücü yönteminin temeli ile 'dinamik' olarak adlandırılan sismik hızların kullanıldığı taşıma gücü temelinin aynı teoriye (düşey gerilme) dayandığı belirlenmiştir. Bu nedenle, kullanılan

parametrelere bakılarak sismik hızlardan belirlenen taşıma gücünde ‘dinamik’ tanımının doğruluğu da çalışma kapsamında tartışılmıştır.

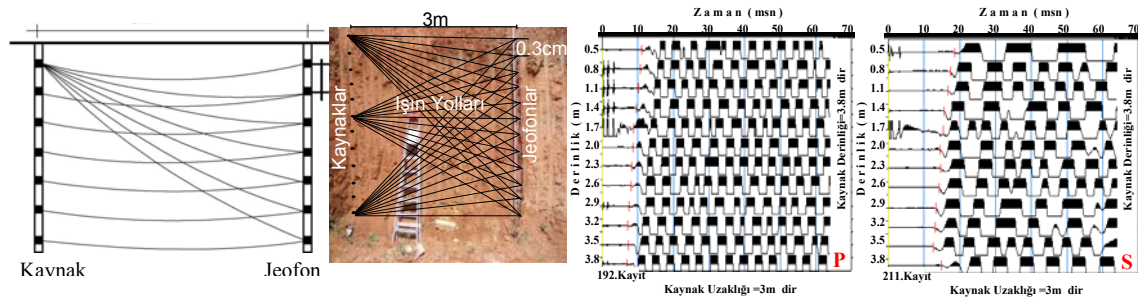
## SİSMİK HIZLARI BELİRLEME TEKNİKLERİ

Saha çalışmalarında küçük deformasyonlu sismik dalgaların kullanımının üstün yanları vardır. Sismik dalgalar her türlü zemin tipinde, laboratuvar numuneleri üzerinde ya da sondajların yapılamadığı büyük kaya parçalı dolgu alanlarda ve numune alımının zor olduğu alanlarda kolaylıkla ölçülebilir (Uyanık, 2006). Hızlı ve detaylı sonuç istenen tüm alanlarda yer altı görüntülenmesi sismik tomografi yöntemi ve sismik karşıt kuyu gibi yöntemler ile detaylı sismik hız belirleyebilmek sismik yöntemlerin üstünlükleridir. Ayrıca yüzey dalgalarının analizi yöntemleri (MASW, MAM, SPAC gibi) kullanılarak derine doğru düşük ya da yüksek kayma dalga hızları belirlenebilir. Bu çalışmada kullanılan veriler sismik kırılma ve sismik karşıt kuyu uygulamalarından elde edilmiştir.

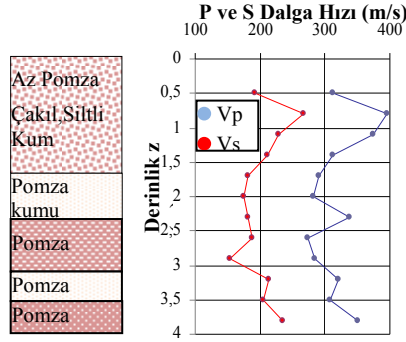
### Sismik Karşıt-Kuyu Deneyi

Sismik karşıt kuyu tekniği ile belirli bir derinlikte P ve S dalgalarının seyahat zamanları ölçülür. Bu derinlikteki ortalama P ve S dalga hızları, P ve S dalgalarının alıcılara geliş zamanlarından ve kaynak-alıcı arasındaki mesafelerden hesaplanır. Araştırılan bölge, alıcılar ile kaynak arasındaki alandır. Karşıt Kuyu sismik tekniğinde dalga yayılımı Şekil 1’de gösterilmiştir. Karşıt kuyu tekniği ile derine doğru düşük hız tabakaları net bir şekilde görülebilir. Bu yüzden önem arz eden bütün yapıların zemin araştırmalarında karşıt-kuyu tekniği ile P ve S dalga hızları değerlendirilir. Bilindiği üzere, statik deneyler, sınırlı hacimdeki materyalin kesin sonuçlarını verir ancak bu sonuçlar heterojen bölgelerde büyük alanların hacmini nadiren temsil eder (Wadhawa vd., 2005) ve statik deneyler, noktadan noktaya bilgi sağlamaktadır. Dolayısıyla bu deneyler ile yeraltının yüzeye yakın bölgeleri kabaca modellenebilir ya da bu deneyler yetersiz kalmaktadır (Sarman ve Palmer, 1990).

Bu çalışmada kullanılan pomza zeminine ait hızlar araştırma çukurları içerisinde karşıt kuyu tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Araştırma çukurları içerisinde 12 adet 100Hz’lik alıcılar (jeofonlar) derine doğru 0.3-0.4m aralığında dizilmişlerdir. Tam alıcıların karşısında olacak şekilde yatay uzaklığı 3m olan 12 adet P ve S kaynakları oluşturulmuştur. Uyanık ve Çekmen (2009) da yapılan araştırma çukurlarından NÇ-4’de ait 3.8m derinlikte oluşturulan P ve S kaynaklarından yayılan dalgaların yatay uzaklığı 3m olan yüzeyden derine doğru 30cm ara ile toprağa sabitlenmiş alıcılar ve kayıtçı tarafından algılanan sinyaller ve ilk varış zamanları işaretlenmiş olarak Şekil 1 de verilmiştir. P ve S dalga hızları, alıcılara gelen P ve S dalgalarının varış zamanları ve kaynak-alıcı arasındaki uzaklık kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 2).



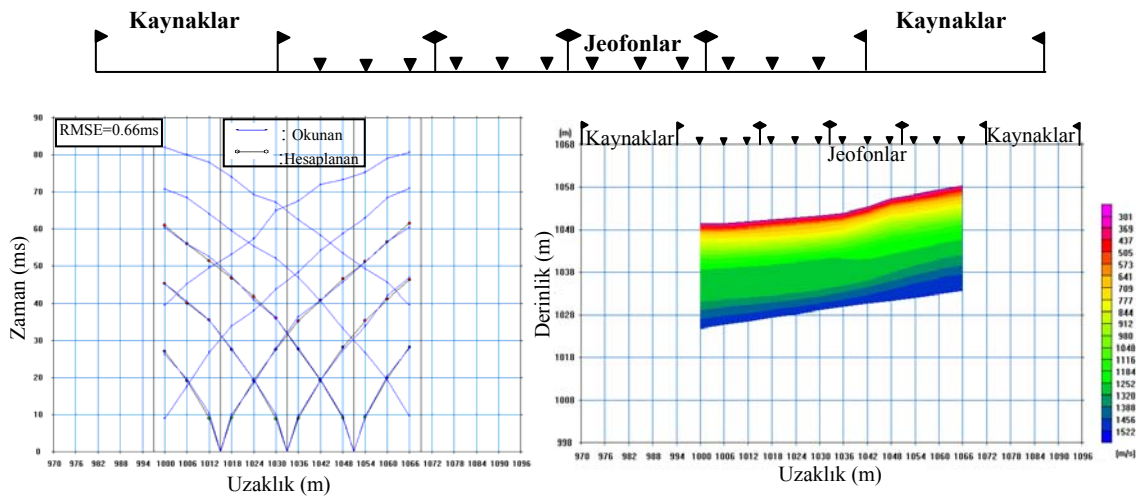
**Şekil 1.** Karşıt Kuyu Tekniğinde Dalga Yayılımı ve NÇ-4’de ait P ve S sinyalleri (P: Basınç Dalga ve S: Kayma Dalga Sinyallerini gösterir.) (Uyanık ve Çekmen 2009).



**Şekil 2.** Karşıt Kuyu Tekniği kullanılarak derine doğru P ve S dalga hız dağılımı (Uyanık ve Çekmen 2009).

### Çok Kaynaklı Sismik Kırılma Çalışması

Sismik kırılma yöntemi elastik bir dalganın yer içerisinde seyahat zamanının kaydına bağlıdır. Sismik kırılma çalışmalarında basınç (P) ve kayma (S) dalgaları sırasıyla düşey ve yatay bileşenli jeofonlar, 7kg ağırlığında bir balyoz ile kaynak kullanılarak bir sayısal kayıtçı aracılığı ile ölçülür. P dalgası ölçümünde kaynak olarak bir çelik plakaya balyoz ile düşey yönde darbe yapılırken, S dalgası ölçümünde kaynak olarak (1.8 m×0.2 m×0.3 m) ebatlarında bir kalas zemin ile iyice teması sağlanır ve sonra yatay yönde darbe yapılır. Jeofonlar bir hat boyunca istenilen derinliğe bağlı olarak belirli aralıklar ile zemine iyice temas ettirilir. Bu hat boyunca belirli aralıklar ile kaynak oluşturulur ve P ve S dalgaları yaratılır (Uyanık 2011). Elde edilen P ve S sinyallerinin ilk varış zamanları sayısallaştırılarak SeisImager (Geometrics ve OYO, 2003) paket programı aracılığı 2 boyutlu ters çözüm yöntemi ile zeminin yeraltı hız görüntüsü ve detaylı hız değerleri bulunur (Şekil 3).



**Şekil 3.** Çok atışlı sismik kırılmanın saha uygulaması ve değerlendirme örneği (Uyanık ve Yeşil, 2012)

## KLASİK ve DİNAMİK TAŞIMA GÜCÜ KARŞILAŞTIRILMASI

Taşıma gücü konusunda en temel çalışmalardan biri olan Terzaghi ve Peck (1967) bağıntısı Eşitlik 1’de verilmiştir.

$$q_f = cN_c S_c + \gamma D N_q S_q + 0,5 \gamma B N_\gamma S_\gamma \quad (1)$$

$$N_q = \exp(\pi \tan \varphi) \tan^2(45^\circ + \varphi/2), \quad N_c = (N_q - 1) \cot \varphi, \quad N_\gamma = 1,8(N_q - 1) \tan \varphi$$

Burada;  $S_c$ ,  $S_q$ ,  $S_\gamma$ : şekil faktörleri,  $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_\gamma$ : Taşıma gücü faktörleri,  $B$ : Şerit temel genişliği,  $D$ : Temel derinliği,  $c$ : Zeminin kohezyon direnci,  $\varphi$ : Zeminin içsel sürtünme açısı ve  $\gamma$ : Zeminin birim hacim ağırlığıdır. Güvenlik faktörü olarak genellikle 3 alınır. Zemin emniyetli taşıma gücü ise taşıma gücünün güvenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilir. Sismik hızlardan hesaplanan taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü bağıntıları ile günümüze kadar araştırmacılar tarafından yapılan değişiklikler Tablo 1’de sunulmuştur. Tablo 1 de araştırmacıların çalışmaları incelenmiş ve en son geliştirdikleri bağıntılar kullanılarak taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü sonuçlarından grafikler elde edilmiştir. Uygulamada kullanılan değerler literatür çalışmalarından derlenmiş gerçek arazi ve laboratuvar verileridir. Bağıntılar uygulanırken araştırmacılar tarafından önerilen birim hacim ağırlık ve güvenlik katsayıları kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan kil zemine ait veriler Tezcan vd. (2006) ve pomza zemine ait veriler Uyanık ve Çekmen (2009) dan derlenmiştir. Kil zemine ait veriler, sismik hızlar, yoğunluk ve kayma direnç (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) parametrelerinden oluşur. Buna karşın pomza zemine ait verilerde kayma direnç parametreleri elde edilememiştir. Bu yüzden pomza zemine ait klasik taşıma gücü hesabı yapılamamıştır. Kil zemine ait veriler kullanılarak hem klasik hem de dinamik olarak taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. Bu değerleri karşılaştırmak amacı ile Şekil 4a ve 4b oluşturulmuştur.

Şekil 4a’da Türker (2004), Tezcan vd. (2011) ve Keçeli (2012) taşıma gücü değerlerinin yaklaşık aynı doğrultuyu izlediği görülebilir. Bu çalışmaların temelini Keçeli danışmanlığında yapılan “Sismik empedans ile zemin taşıma gücü arasındaki ilişkilerin incelenmesi” konulu Türker (1988) doktora tezi ve zeminin mukavemetini ortaya koyan kayma dalga hızının taşıma gücü hesabında olmasının gerekliliği ile çok önemli bir değişiklik yapan Keçeli (2000) çalışması oluşturmaktadır. Araştırmacıların taşıma gücü değerlerindeki farklar temel şekil faktörlerinin ve yoğunluğun farklı ele alınması ayrıca Türker (2004)’ de zemin hakim titreşim periyodunu 0,33s sabit kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Kurtuluş (2000) bağıntısı ise temel boyutlarına ve  $V_s$  kayma dalgası hızına bağlı olarak değişirken önemli bir zemin parametresi olan birim hacim ağırlık değerine yer vermemiştir ve Keçeli (2000)’nin suya doymuş ortamlar için %50 azaltılmış taşıma gücü bağıntısına benzerdir. Şekil 4a incelendiğinde en düşük taşıma gücü değerlerini Kurtuluş (2000) elde etmektedir. Ancak bu değerler diğer bağıntılar ile karşılaştırıldığında aşırı güvenli olarak değerlendirilir. Bilindiği üzere en zayıf kaya ortamın ( $V_s > 700\text{m/s}$ ) taşıma gücü yaklaşık 1000kPa civarındadır. Sismik kayma dalga hızının 700m/s den büyük olduğu alanlar kaya olarak kabul edilir. Bu durum göz önüne alındığında Türker (2004), Tezcan vd. (2011) ve Keçeli (2012) taşıma gücü bağıntıları doğruya daha yakındır. Bu bağıntıların taşıma gücü değerleri incelendiğinde özellikle zayıf zeminlerde ( $V_s < 300\text{m/s}$ ) klasik taşıma gücü sonuçlarından daha düşük, orta sağlamlıkta ve daha sağlam ortamlarda ise daha büyük taşıma gücü değerleri elde edilmesi mühendislik açısından olması gereken şartları taşıdığını ve doğruya daha yakın olduğunu göstermektedir. Ayrıca sismik hızlardan taşıma gücü değerleri zemin sağlamlığına bağlı olarak artarken klasik

taşıma gücü değerlerinde artış göstermez. Bu durum sismik hızlardan bulunan taşıma gücü değerlerinin zeminin sağlamlığına daha bağımlı olduğunu göstermektedir.

**Tablo 1.** Sismik Hızlardan Taşıma Gücü ( $q_f$ ) ve Güvenli Taşıma Gücü ( $q_a$ ) Eşitlikleri (\*Suya doygun zeminler için)

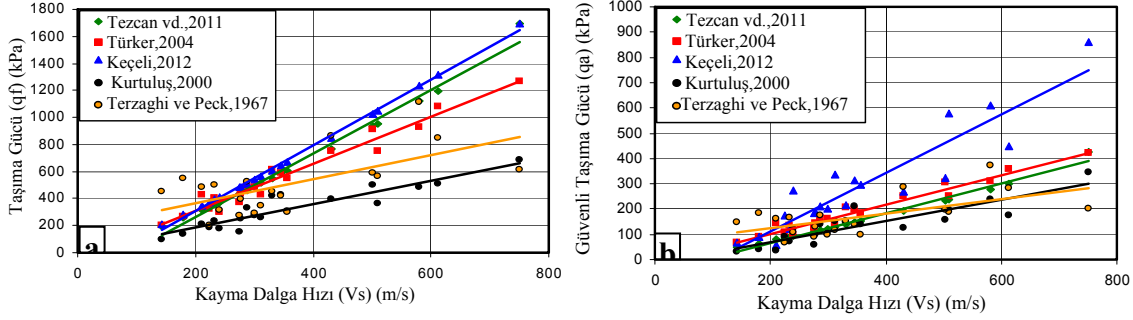
Kaynak	Eşitlikler			
	Yoğunluk ( $\gamma$ ) ya da $\rho$	Taşıma Gücü ( $q_f$ )	Güvenli Taşıma Gücü ( $q_a$ )	Güvenlik Faktörü ( $F_s$ )
Türker (1988)	$\rho = 0,31(V_p^{0,25} / (m/s))$ ( $gr/cm^3$ ) $\rho = 0,2V_p + 1,6$ ( $gr/cm^3$ )	$q_f = \gamma V_p T_0 / 4$ *%50 azaltılır	$q_a = \gamma V_s T_0 / 4$ *%50 azaltılır	$V_p/V_s$
Keçeli (1990)		$q_f = \rho V_p / 100$ ( $kg/cm^2$ ) * $q_f = \rho V_p / 200$ ( $kg/cm^2$ )	$q_a = \rho V_s / 100$ ( $kg/cm^2$ ) * $q_a = \rho V_s / 200$ ( $kg/cm^2$ )	$V_p/V_s$
Keçeli (2000)	$\rho = 0,31(V_p^{0,25} / (m/s))$ ( $gr/cm^3$ )	$q_f = \frac{\rho V_s}{100}$ ( $kg/cm^2$ )	$q_a = \frac{(\rho V_s^2 / V_p)}{100}$ ( $kg/cm^2$ )	$V_p/V_s$
Kurtuluş (2000)	$\rho = 0,31(V_p^{0,25} / (m/s))$ ( $gr/cm^3$ )	$P = 1 + 0,33D/B$ $q_f = P V_s / 200$ ( $kg/cm^2$ )	$q_a = q_f / F_s$	$V_p/V_s$
Türker (2004)		$q_f = V_s \gamma 0,33(s) / 40 + \gamma D_f / 10$ ( $kg/cm^2$ )	$q_a = q_f / 3$ ( $kg/cm^2$ )	3
Tezcan vd. (2006)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ ( $kN/m^3$ )		$q_a = 0,024\gamma V_s S_v$ $S_v \leq 30,6\gamma$ $S_v = 1 - 3 \times 10^{-6}(V_s - 500)^{1,6}$	
Tezcan ve Özdemir (2006)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ ( $kN/m^3$ )		$q_a = 0,024\gamma V_s \alpha$ kPa	
Tezcan vd. (2007)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ ( $kN/m^3$ )	<sup>(1)</sup> $q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ ( $kN/m^2$ )	$V_s \leq 700$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$ $700 \leq V_s \leq 3500$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$ $3500 \leq V_s$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,067\gamma V_s \alpha$	$n=4$ $n = 4,62 - 8,90(10^{-4})V_s$ $n=1,5$
Tezcan vd. (2008)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ ( $kN/m^3$ )	<sup>(1)</sup> $q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ ( $kN/m^2$ )	$V_s \leq 750$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$ $750 \leq V_s \leq 4000$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$ $4000 \leq V_s$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,071\gamma V_s \alpha$	$n=4$ $n = 4,6 - 0,0008V_s$ $n=1,4$
Keçeli (2010)	$\rho = 0,44V_s^{0,25}$ ( $gr/cm^3$ )	$q_f = \frac{\rho V_s}{100}$ ( $kg/cm^2$ )	$q_a = \frac{(\rho V_s^2 / V_p)}{100}$ ( $kg/cm^2$ )	$V_p/V_s$
Tezcan ve Özdemir (2011)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002V_p$ ( $kN/m^3$ ) <sup>(2)</sup> $\gamma = 4,3V_s^{0,25}$ ( $kN/m^3$ )	<sup>(1)</sup> $q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ ( $kN/m^2$ )	$V_s \leq 750$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$ $750 \leq V_s \leq 4000$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$ $4000 \leq V_s$ <sup>(1)</sup> $q_a = 0,071\gamma V_s \alpha$	$n=4$ $n = 4,6 - 0,0008V_s$ $n=1,4$
Keçeli (2012)	$\rho = 0,44V_s^{0,25}$ ( $gr/cm^3$ )	$q_f = \rho V_s / 100$ ( $kg/cm^2$ )	$q_a = (\rho V_s^2 / V_p) / 100$ ( $kg/cm^2$ ) <sup>(3)</sup> $q_a = q_{az} K$ $B \leq 1,22m$ $q_a = q_{az} \left( \frac{B + 0,305}{B} \right)^2 K$ $B > 1,22m$	$V_p/V_s$

<sup>(1)</sup>  $\alpha$ : temel genişliğine bağlı katsayı  $\alpha=1$ ;  $0,0 \leq B \leq 1,20m$ ,  $\alpha=1,13-0,11B$ ;  $1,20 \leq B \leq 3,00m$ ,  $\alpha=0,83-0,01B$ ;  $3,00 \leq B \leq 12,0m$ .

<sup>(2)</sup> Keçeli (2010) yoğunluk bağımsız Tezcan ve Özdemir (2011) tarafından  $kN/m^3$  olarak kullanılmıştır.

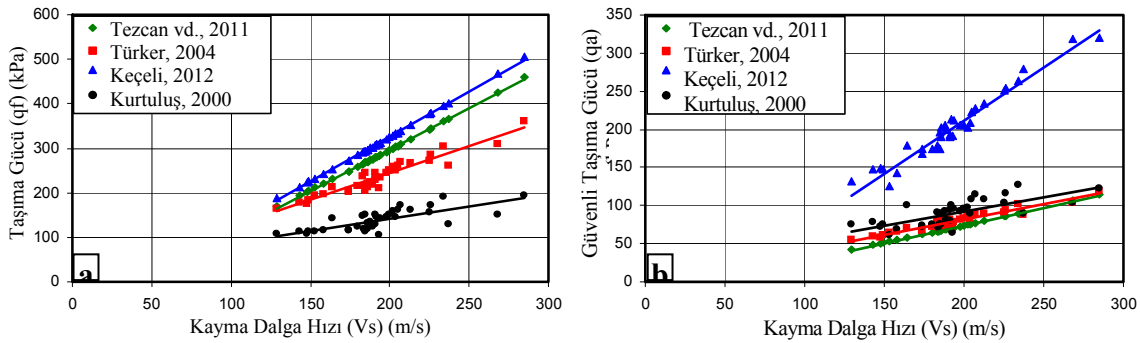
<sup>(3)</sup>  $q_{az}$ : temel ebatlarına bağlı müsaade edilebilir taşıma gücü,  $K=1+0,33(df/B) \leq 1,33$ .

Bu çalışmada kullanılan taşıma gücü bağıntılarında araştırmacılar tarafından önerilen güvenlik sayıları kullanılarak güvenli taşıma gücü değerleri elde edilmiş ve Şekil 4b de sunulmuştur. Güvenlik sayısını Türker (2004) de 3, Tezcan vd (2011) de  $V_s < 750m/s$  zeminler için 4, Keçeli (2012) de  $V_p/V_s$  değerine bağlı ve Kurtuluş (2000) de  $V_p/V_s$  değerini kullanmışlardır. Şekil 4b incelendiğinde çok gevşek zeminler için ( $V_s < 200m/s$ ) güvenli taşıma gücü değerleri yaklaşık aynı değerler etrafında iken zemin sağlamlıklaştıkça güvenli taşıma gücü değerlerinde farklılıklar gözlenmektedir. Bunun nedeni araştırmacıların farklı güvenlik sayıları kullanmasından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 4.** Kil zeminler için farklı araştırmacılara ait bağıntıların önerilen uygun olarak hesaplanan a) taşıma gücü b) güvenli taşıma gücü sonuçları.

Pomza zemine ait veriler kullanılarak dinamik olarak taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. Bu değerleri karşılaştırmak amacı ile Şekil 5a ve b oluşturulmuştur. Karşılaştırmaların özellikle pomza birimi için yapılmasının nedeni  $V_p/V_s$  oranının 1,5 civarında bir değer vermesidir. Güvenlik katsayısı olarak doğrudan  $V_p/V_s$  oranının kullanılması yanıltıcı sonuçlar vermektedir. Şekil 5a incelendiğinde taşıma gücü değeri küçükten büyüğe doğru sırayla Kurtuluş (2000), Türker (2004), Tezcan vd. (2011) ve Keçeli (2012) tarafından elde edilmiştir. Kurtuluş (2000) güvenlik sayısı olarak  $V_p/V_s$  oran değerini kullandığı için ve pomza gibi gözenekli ve hava dolgulı ortamlarda  $V_p/V_s$  oran değeri 1.5-1.7 arasında değişmesinden dolayı taşıma gücü değeri çok az değişim göstermiştir. Buna karşın Türker (2004) de güvenlik sayısı 3 ve Tezcan vd. (2011) de 4 gibi yüksek değerler olmasından dolayı güvenli taşıma gücü değerleri 100kPa dan daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu değerler genelde suya doymuş çok zayıf zeminlerde bulunabilir. En büyük taşıma gücü değeri Keçeli (2012) tarafından bulunur (Şekil 5a) ve güvenlik sayısı  $V_p/V_s$  bağlı olmasından dolayı 1.5-2 arasında bir değer seçilebilir (Şekil 5b). Bu yüzden Keçeli (2012) güvenli taşıma gücü değerleri diğer araştırmacılardan daha büyük elde etmiştir.



**Şekil 5.** Pomza zeminler için farklı araştırmacılara ait bağıntıların önerilen tanımlarına uygun olarak a) taşıma gücü b) güvenli taşıma gücü sonuçları.

## SONUÇLAR

Sismik hızlardan hesaplanan taşıma gücü yöntemlerle kıyaslandığında klasik yöntemin uygulama kısıtlamaları vardır. Bazı zeminler için örselenmemiş numune almak çok zor ve masraflıdır. Ayrıca bu durumda klasik yöntem sonuçları yanıltıcı olabilmektedir. Yer içinin heterojen yapıya sahip olmasından dolayı tek noktada alınan numune örneğinden klasik yöntemle belirlenen taşıma gücü değerleri geniş bir alanı temsil edemez. Sismik kırılma yöntemiyle elde edilen hızların kullanıldığı yöntemler ise geniş alanda daha az masrafla

uygulanabilmesi yanında yer içinin heterojenliği de belirlenebildiğinden oldukça kolaylık sağlamaktadır.

S dalga hızından elde edilen taşıma gücü bağıntılarının temeli Keçeli (2000) dayanmaktadır. Bu çalışmada incelenen araştırmacıların taşıma gücü sonuçlarındaki farklılıklar; yoğunluk parametresinin farklı bağıntılardan hesabı, güvenlik faktöründeki seçimler ve farklı temel ebat ilişkilerinin kullanımından kaynaklanmaktadır.

Karşılaştırılan taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü sonuçları hakkında en güvenilir ya da en düşük sonucu veren bağıntı anlamında yorum yapmak oldukça zordur. Çünkü grafiklerde de görüldüğü üzere kayma dalgasının düşük olduğu yerlerde birbirine oldukça yakın konumda bulunan, temelde aynı fizik kuralına dayanan Türler (2004), Keçeli (2012), Tezcan vd. (2011) eğrileri temel faktörü, güvenlik faktörü ve hesaplanması durumunda farklı yoğunluk değerleri nedeniyle, hızın yüksek değerlerinde oldukça değişik doğrultular izlemektedir.

Keçeli (2012) tarafından kullanılan  $V_p/V_s$  oranı zemin özelliklerini iyi yansıtmaktadır. Suya doymun zeminlerde  $V_p$  hızının artışından dolayı  $V_p/V_s$  oran değeri büyük çıkarken gaza doymun ya da gözenekli zeminlerde (pomza gibi)  $V_p$  hızının artmamasından dolayı  $V_p/V_s$  oran değeri küçük çıkmaktadır. Bu durumda  $V_p/V_s$  oran değerinin gaza doymun gevşek ortamlarda doğrudan kullanımı hatalı olacağı düşünülmektedir.

Tezcan vd. (2011), güvenlik faktörü olarak  $V_s \leq 750$  m/s olduğu durumlar için 4 değeri alınması gerektiğini önermiş ve ayrıca bu zeminlerde taşıma gücünü azaltıcı yönde temel faktörü kullanmıştır.  $V_s$  kayma dalga hızının yaklaşık olarak 500 m/s ve üzerindeki değerlerinde kaya olarak adlandırılmasa da kısmen sağlam zemin olarak tanımlanan zemin sınıflarıyla karşılaştırılır. Bu tür zeminlerde bu kadar azaltma yapılmasının doğruluğu tartışılmalıdır. Diğer yandan 250-300 m/s den daha az  $V_s$  değerleri zeminin zayıf olduğunu gösterir ve buralarda 4 alınması makul olabilir. Fakat zemin çeşitliliğinin bu kadar değiştiği  $V_s$  aralığında böyle genel güvenli taşıma gücü tanımı yetersizdir.

Kayma dalgası hızının 200m/s civarında olduğu değerlere karşılık gelen taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinde pomza gibi özel durumlar dışında Keçeli (2012) eğrisinin Klasik yöntem eğrisinden dahi düşük değerler vermesi kritik özelliklere sahip özellikle suya doymun zeminler için en güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Hızın artmasıyla yataya yakın eğriler gösteren diğer yöntemlere göre daha dik bir doğrultu izleyerek zeminin sağlaştığına dikkat çekmektedir.

Dinamik olarak adlandırılan sismik hızlar kullanılarak hesaplanan taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü bağıntıları için hızlar elde edilirken oluşturulan enerji, deprem gibi büyük etkiler yanında zayıf kalmaktadır. Sadece zemin özelliklerini yansıtan sismik hızların kullanılmasıyla dinamik tanımı yapılması eksik bir yaklaşım olduğu düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Geometrics inc., OYO inc. (2003). SeisImager manual, version 3.  
 Keçeli, A. (1990). Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. Jeofizik, 4(2), 83-92.  
 Keçeli, A. (2000). Sismik Yöntemle Kabul edilebilir veya Güvenli Taşıma Kapasitesi Saptanması. Jeofizik, 14(1-2), 61-72.



- Keçeli, A. (2009). Uygulamalı Jeofizik, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:9, s.479. Ankara.
- Keçeli, A. (2010). Sismik Yöntem ile Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, Jeofizik Bülteni, 22(63), 65-76.
- Keçeli A. (2012). Soil parameters which can be determined with seismic velocities. Jeofizik 16(1), 17-29.
- Kurtuluş, C. (2000). Sismik Yöntemle Belirlenen Ampirik Taşıma Gücü Bağlantısı ve Uygulaması. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 6, 51-59.
- Sarman,R., Palmer,D.F. (1990) Engineering Geophysics The need for its development and application, 6. International IAEG Congress, Rotterdam, 1017-1023.
- Terzaghi, K. (1925). Structure and volume of voids of soils, Pages 10, 11, 12, and part of 13 of Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage, translated by A. Casagrande in from theory to practice in soil mechanics, New York, John Wiley and Sons, 1960, 146-148.
- Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. Wiley Publishing, New York, USA.
- Terzaghi, K., Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. Second Edition, John Wiley and Sons, London.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z. (2006). Kayma Dalgası Hızı Yardımı ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayini. Şantiye (İnşaat, Makine ve Mimarlık Dergisi), 214, 102-105.
- Tezcan, S., Özdemir, Z. (2006). Sismik Yöntem ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayininde Temel Boyutları. Şantiye (İnşaat, Makine ve Mimarlık Dergisi), 217,106-108.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z. (2007). Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Tayini. Dünya İnşaat, 01, 90-95.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z. (2008). Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Belirlenmesi. Şantiye (İnşaat, Makine ve Mimarlık Dergisi), 244, 122-125.
- Tezcan, S., Özdemir, Z. (2011). A Refined Formula for the Allowable Soil Pressure Using Shear Wave Velocities, The Open Civil Engineering Journal, 5, 1-8.
- Türker, E. (1988). Zemin Taşıma Gücünün Sismik Yöntemlerle Saptanması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s:205. Isparta.
- Türker, E. (2004). Computation of Ground Bearing Capacity from Shear Wave Velocity. Continuum Models and Discrete Systems, 173-180. Kluwer Academic Publisher. Netherland.
- Uyanık, O. (2006). Sıvılaşır yada Sıvılaşmaz Zeminlerin Yinelemeli Gerilme Oranına Bir Seçenek, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(2),79-91, İzmir.
- Uyanık, O., Çekmen, V. (2009). Kayma Direnç Parametrelerinin Sismik Hızlar ile Belirlenmesi, SDÜ Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: 1625-yl-08 Isparta.
- Uyanık, O. (2011). The Porosity of Saturated Shallow Sediments from Seismic Compressional and Shear Wave Velocities, Journal of Applied Geophysics 73(1),16-24.
- Uyanık O, Yeşil Y. (2012). Zemin Büyütmesinin Sismik Hızlardan Belirlenmesi, SDÜ Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: 1808-yl-09 Isparta.
- Wadhwa, R.S., Ghosh, N., Chaudhari, M.S., Rao, CH.S., Mukhopadhyay, R. (2005). Pre- and post-excavation cross-hole seismic and geotomographic studies for a nuclear power project, Journal India Geophysics Union, 9 (2), 137-146.