



# Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



## ZEMİNLERİN EMNİYETLİ TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİNDE OTURMA MİKTARININ ÖNEMİ

### THE IMPORTANCE OF AMOUNT OF SETTLEMENT IN DETERMINING THE BEARING CAPACITY OF SOILS

Selçuk ALEMDAĞ<sup>a\*</sup>, Ashıhan CİNOĞLU<sup>b</sup> ve Elif GACENER<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane, Türkiye

<sup>b</sup>Gümüştaş Madencilik ve Ticaret A.Ş.29000, Gümüşhane, Türkiye

Arştırma Makalesi

#### Anahtar Kelimeler:

Jeofizik yöntemler, sayısal analiz, sismik hızlar, taşıma kapasitesi, zemin, oturma

#### ÖZ

Bu çalışmada Gümüşhane İli sınırları içerisinde bulunan Tamzı ve Akçakale Köylerinde yüzeylenen zeminlerde optimum bir temel tasarımı için izin verilebilir oturma koşullarını sağlayan emniyetli taşıma kapasitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Zeminlerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi için, her bir alanda üçer adet araştırma çukuru açılmış olup, bu alanlarda ikişer adet sismik kırılma ile yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) yöntemleri uygulanmıştır. Araştırma çukurlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş örneklerde elek analizi, kesme kutusu deneyi, üç eksenli sıkışma deneyleri yapılmıştır. Uygulanan sismik kırılma ve MASW yöntemleri ile zeminlere ait sismik hızlar belirlenmiştir. Emniyetli taşıma kapasitesinin belirlenmesinde Terzaghi, Meyerhof, Kurtuluş, Tezcan ve Özdemir, Türker ve Keçeli tarafından önerilen eşitlikler kullanılarak elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra her iki zemin sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek izin verilebilir oturma koşullarında emniyetli taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, ampirik eşitliklerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinin optimum bir temel tasarımı için uygun olmadığı, optimum tasarım için killi zeminde (CL) emniyetli taşıma kapasitesinin 190 kN/m<sup>2</sup>, killi kum (SC) da ise 485 kN/m<sup>2</sup> olarak alınması gerektiği belirlenmiştir.

Geliş Tarihi: 11.05.2016

Kabul Tarihi: 07.08.2016

#### Keywords:

geophysics methods, numerical analysis, seismic velocity, bearing capacity, soil, settlement

#### ABSTRACT

In this study, it is aimed to determine safe bearing capacity of soils, which are out cropped around Tamzı and Akçakale villages located in Gumushane, providing allowable settlement conditions for an optimum foundation design. To define the geotechnical properties of soils, three trenches were dug and two seismic refraction with two Multichannel Spectral Analysis of Surface Waves (MASW) were carried out in each research area. Sieve analyses, shear box tests, triaxial compression tests were carried out on disturbed and undisturbed samples taken from the trenches. Seismic velocities of the soils are determined by seismic refraction and MASW methods. While determining the safe bearing capacity; the equations proposed by Terzaghi, Meyerhof, Kurtuluş, Tezcan and Özdemir, Türker, Keçeli were used and the obtained safe bearing capacity values were compared to each other. After, the soils were modeled numerically by using finite elements method and safe bearing capacities providing allowable settlement conditions were determined. According to the results, safe bearing capacity values obtained from empirical equations are not satisfactory to have an optimum foundation design. For the optimum foundation design, safe bearing capacity should be accepted as 190 kN/m<sup>2</sup> for clayey soil (CL) and 485 kN/m<sup>2</sup> for the clayey sand (SC).

## 1. Giriş

Mühendislik çalışmalarının güvenilir ve ekonomik olarak tasarlanabilmesi için, tasarım parametrelerinin belirlenmesinde farklı yöntemlerin kullanılması ve bu yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırılarak tasarımın yapılması mühendislik çalışmalarının temel prensibidir. Bu mühendislik parametrelerinin en önemlisi ise zeminlerin taşıma kapasitesidir ve yapı

statığı açısından son derece önemlidir. Günümüze değin zeminlerin taşıma kapasitesinin belirlenmesinde araştırmacılar tarafından (Terzaghi, 1943; Meyerhof, 1963; Keçeli, 1990; Richards vd., 1993; Keçeli, 2000; Kurtuluş, 2000; Türker, 2004; Çinicioğlu, 2005; Keçeli, 2010; Tezcan vd., 2010; Uzuner vd., 2000; Tezcan ve Özdemir, 2011) birçok ampirik eşitlik önerilmiştir. Bu ampirik eşitlikler incelendiğinde, zeminlerin farklı mühendislik özelliklerinin kullanıldığı

\* Başvurulacak yazar: Selçuk Alemdağ, e-mail: selcukalemdag@gmail.com  
<http://dx.doi.org/10.19076/mta.33226>

görülmektedir. Bazı araştırmacılar (Terzaghi, 1943; Skempton, 1951; Meyerhof, 1963) zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile temel boyutlarını dikkate alırken, bazı araştırmacılar (Keçeli, 1990; Richards vd., 1993; Keçeli, 2000; Kurtuluş, 2000; Türker, 2004; Çinicioğlu, 2005; Önalp ve Sert, 2006; Keçeli, 2010; Tezcan vd., 2010; Uzuner vd. 2000; Tezcan ve Özdemir, 2011) zeminlerin dinamik özelliklerini parametre olarak kullanmışlardır. Bu ampirik eşitlikler zeminlerin taşıma kapasitesinin belirlenmesinde araştırmacılar ve mühendisler tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Alemdağ ve Gürocak, 2006; Alemdağ vd., 2008; Kayabaşı ve Gökçeoğlu, 2012; Uyanık ve Gördesli, 2013; Alemdağ, 2015). Ancak, yapılan tasarımın sağlıklı olabilmesi için kullanılacak eşitliğin iyi seçilmesi ve farklı eşitliklerden elde edilen sonuçların karşılaştırılarak tasarımın yapılması önem taşımaktadır. Ayrıca, ampirik yöntemlerden elde edilen sonuçların sayısal analizler ile kontrol edilmesi de elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve yapı tasarımı için gereklidir.

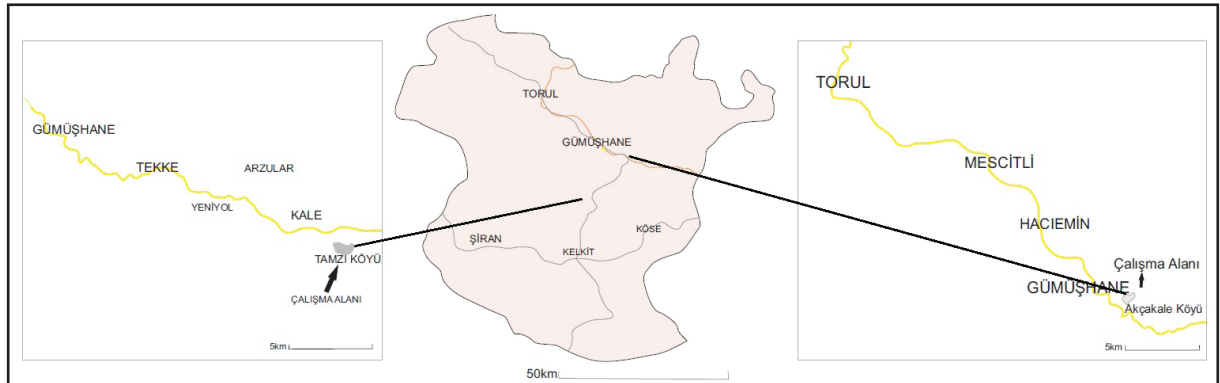
Zeminlerin taşıma kapasitesinin belirlenmesinde dikkate alınması gereken diğer önemli bir durum ise, ampirik olarak belirlenen taşıma kapasitesi değeri dikkate alınarak yapılan tasarımdan sonra, yapı temelleri ile zemine iletilen gerilme sonucunda zeminde meydana gelecek olan oturma ve sıkışma miktarının izin verilebilir sınırlar içerisinde olması gerektiğidir. Bu durum çoğu zaman ihmal edilmektedir ve oturma miktarının izin verilebilir sınırlar içerisinde olduğu varsayılmaktadır. Ancak, yüksek sıkışabilirliğe sahip zeminlerde önemli miktarlarda oturma ve sıkışmalar meydana gelebilmekte ve izin verilebilir sınırları aşan bu oturma ve sıkışma değerleri yapıda ciddi hasarların oluşmasına neden olabilmektedir.

Bu nedenle, ampirik eşitliklerden elde edilen taşıma kapasitesi değerlerinin zeminlerde oluşturacağı oturma ve sıkışma miktarlarının da belirlenmesi önem taşımaktadır.

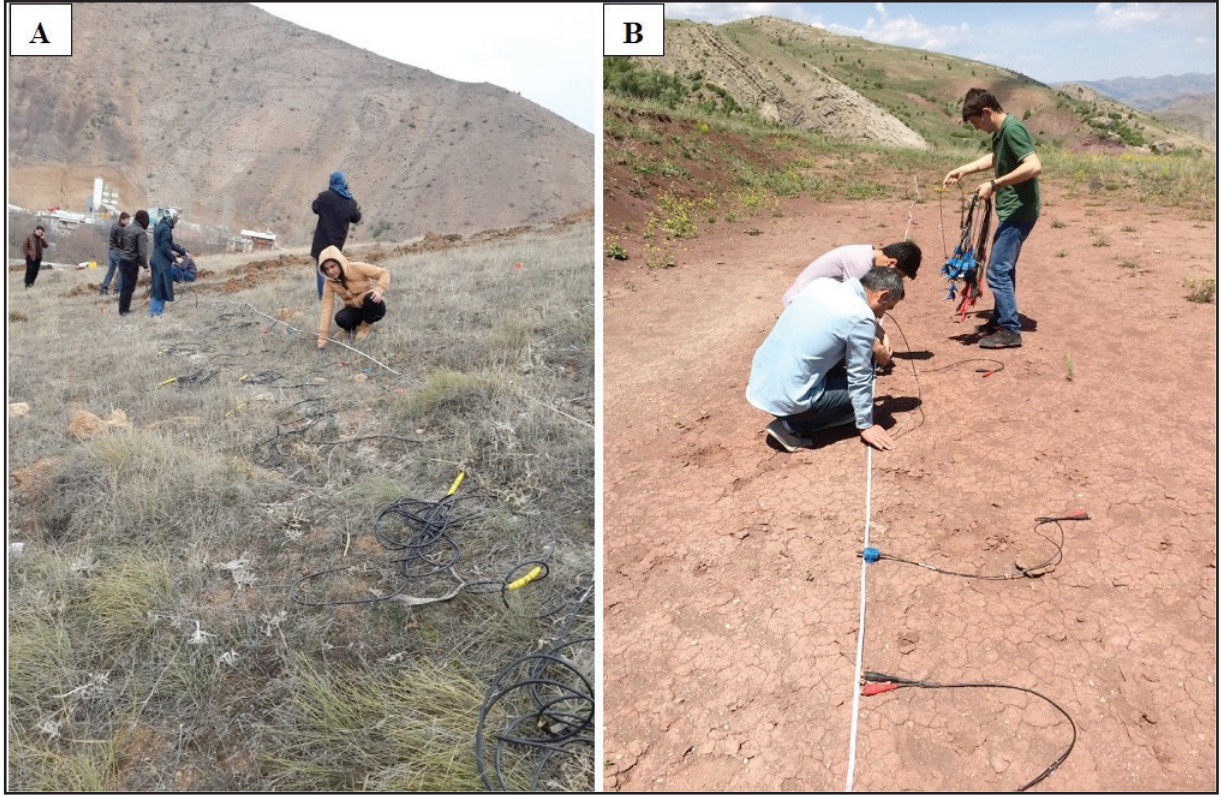
Bu çalışmada Gümüşhane İli, Akçakale ve Tamzı köylerinde (Şekil 1) yayılım gösteren Gümüşhane granitoyid kompleksi ve Şenköy formasyonundan türeyen ayrışma ürünü zeminlerin taşıma kapasitesi farklı araştırmacılar tarafından önerilen ampirik eşitliklere göre belirlenmiş ve bu taşıma gücü değerlerinin zeminlerde sebep olacağı oturma ve sıkışma miktarları ise sayısal analizler ile belirlenerek, hangi ampirik eşitlikten elde edilen değer tasarım için uygun olacağı belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Akçakale Köyünde yüzeyleme veren Erken Karbonifer yaşlı Gümüşhane granitoyid kompleksinin (Topuz vd., 2010; Dokuz, 2011; Kaygusuz vd., 2012; Karlı vd., 2017) ve Tamzı Köyünde yüzeyleme veren Erken Jura yaşlı Şenköy formasyonuna (Kandemir ve Yılmaz, 2009) ait ayrışma ürünü zeminlerin taşıma kapasitesini belirlemek için hem arazi hem de laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmalarında, her bir inceleme alanında ikişer adet hat etüdü yapılarak (Şekil 2), jeofizik yöntemlerden sismik kırılma ve yüzey dalgalarının çok kanallı analizi (MASW) ölçümleri ile zemin tabakalarına ait  $V_p$  ve  $V_s$  dalga hızları belirlenmiştir (Çizelge 1). Bu çalışmada  $V_p$  dalga hızı sismik kırılma yönteminden,  $V_s$  dalga hızı ise MASW yönteminden elde edilmiştir. Ayrıca her bir çalışma alanı için üçer adet araştırma çukuru açılmış ve laboratuvar deneyleri için örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır.



Şekil 1- İnceleme alanının yer belirleme haritası.



Şekil 2- Akçakale (A) ve Tamzı (B) Köylerinde yapılan jeofizik çalışmalar.

Çizelge 1- Sismik kırılma ve MASW yöntemlerinden elde edilen  $V_p$  ve  $V_s$  dalga hızları.

AKÇAKALE KÖYÜ					TAMZI KÖYÜ		
Ölçü No	Tabaka No	Derinlik (m)	$V_p$ Dalga Hızı (m/sn)	$V_s$ Dalga Hızı (m/sn)	Derinlik (m)	$V_p$ Dalga Hızı (m/sn)	$V_s$ Dalga Hızı (m/sn)
Hat 1	1	7.5	452.4	184	7.5	516.9	213
	2	13.5	763.0	224	13.5	883.7	349
	3	-	2510.3	288	21	2423	394
Hat 2	1	7.5	320.8	143	7.5	585.6	235
	2	13.5	800.5	215	13.5	996.9	391.5
	3	21	2506.2	304	21	2058.5	573.7

İnceleme alanındaki zeminlere ait dinamik parametrelerin belirlenmesinde sismik kırılma ve MASW yöntemlerinden elde edilen  $V_p$  ve  $V_s$  hızları kullanılarak, elastisite modülü, kayma modülü ve poisson oranı Bowles (1988), yoğunluk ise Keçeli (2012) tarafından üretilmiş olan ampirik eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir (Çizelge 2).

$$\rho = 0,44V_s^{0,25} \quad (1)$$

$$\nu = (V_p^2 - 2V_s^2) / 2(V_p^2 - V_s^2) \quad (2)$$

$$\mu = \rho V_s^2 / 100 \quad (3)$$

$$E = \mu (3V_p^2 - 4V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2) \quad (4)$$

Bu eşitliklerde,  $V_p$ : boyuna dalga hızı (m/sn),  $V_s$ : enine dalga hızı (m/sn),  $\rho$ : yoğunluk ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ),  $\nu$ : poisson oranı,  $\mu$ : kesme modülü ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), ve  $E_m$  ise elastisite modülüdür ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ).

Laboratuvar çalışmaları ile araştırma çukurlarından alınan örselenmiş örneklerde elek analizi deneyi ASTM D 422-63 (2003) standartlarına göre yapılmıştır. Örselenmemiş örneklerde ise kesme kutusu (ASTM, 2011) ve üç eksenli sıkışma dayanımı deneyleri (ASTM D 4767-95, 2003) yapılarak kayma gerilmesi-normal gerilme grafikleri yardımı

ile zeminlerin dayanım parametreleri belirlenmiştir (Şekil 3). Akçakale sahasından alınan örnekler birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre killi kum (SC), Tamzı köyü mevkiinde yayılım gösteren zeminler ise düşük plastisiteli kil (CL) özelliğindedir. İncelenen zeminlerin mühendislik özelliklerine ait sonuçlar çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 2- Zeminlere ait dinamik parametreler.

Etüd Hattı No	USC	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	$\mu$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Poisson Oranı	$E_m$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Tamzı Köyü							
1	CL	1.68	516.9	213	762.62	0.39	2131.9
2	CL	1.72	585.6	235	951.38	0.40	2671.5
Akçakale Köyü							
1	SC	1.62	452.4	184	548.65	0.40	1537.2
2	SC	1.52	320.8	143	311.14	0.38	856.3

Çizelge 3- İnceleme alanındaki zeminlerin dayanım parametreleri ve sınıflandırılması.

Araştırma Çukuru	4 Nolu elekte kalan (%)	200 Nolu elekten geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$g_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	USC
T1	12	90.55	42	17	25	72.34	5	18.96	CL
T2	10.65	76.50	38	20	18	36.71	16	18.44	CL
T3	8.23	71.20	26	15	11	44.73	12	19.22	CL
A1	10.05	18	22	12	10	23.79	29	19.81	SC
A2	8.50	15.6	28	10	18	36.68	32	19.62	SC
A3	11.30	13	26	14	12	35.14	35	18.53	SC

T 1-2-3: Tamzı Köyü

A 1-2-3: Akçakale Köyü

c: Kohezyon;  $\phi$ : İçsel sürtünme açısı;  $g_n$ : Birim hacim ağırlık

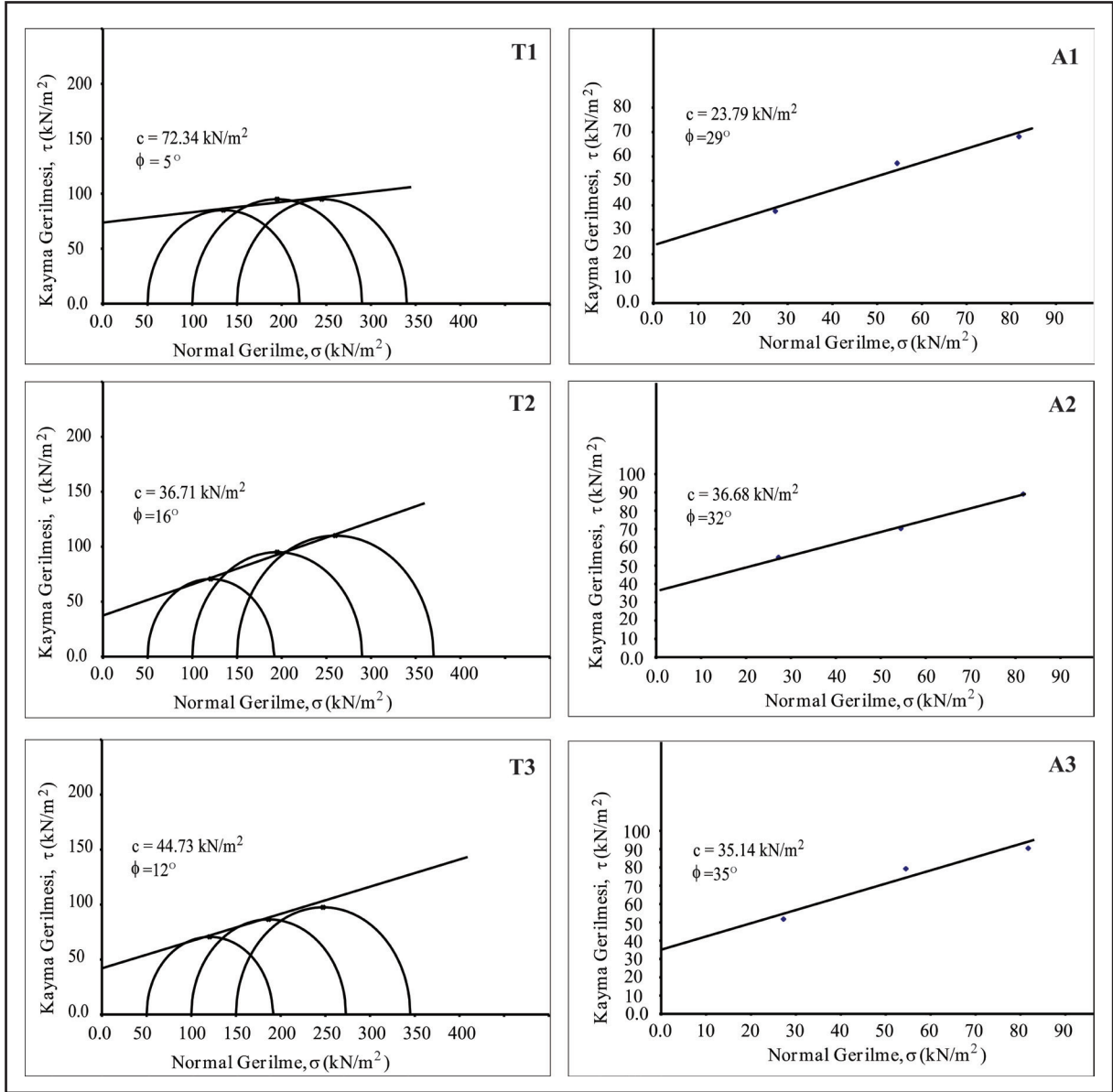
### 3. Taşıma Kapasitesinin Ampirik Eşitlikler ile Belirlenmesi

Tamzı ve Akçakale köylerinde yüzeyleyen zeminlerde yapılan sismik çalışmalar ve laboratuvar deneylerine ait sonuçlar Terzaghi (1943), Meyerhof (1963), Kurtuluş (2000), Türker (2004), Keçeli (2010) ve Tezcan ve Özdemir (2011) tarafından önerilen ampirik eşitliklerinde kullanılmış ve şerit temeller için taşıma kapasitesi belirlenmiştir.

#### 3.1. Terzaghi (1943) Eşitliğine Göre Taşıma Kapasitesi

Terzaghi (1943) tarafından önerilen taşıma kapasitesi eşitliği günümüzde jeoteknik çalışmalarda birçok alanda yaygın olarak kullanılan eşitliklerden biridir. Bu eşitlik farklı temel tipleri için önerilmiş olup, bu çalışmada şerit temeller için değerlendirilmiştir.

$$q_u = K_1 c N_c + \gamma D_f N_q + K_2 \gamma B N_\gamma \quad (5)$$

Şekil 3- Zeminlere ait kayma gerilmesi ( $\tau$ )-normal gerilme ( $\sigma$ ) grafikleri.

$$q_{\text{net}} = q_u - \gamma D_f \quad (6)$$

$$q_{\text{em}} = q_{\text{net}} / G_s + \gamma D_f \quad (7)$$

Bu eşitliklerde;  $q_u$ : Nihai taşıma kapasitesi,  $q_{\text{net}}$ : Net taşıma kapasitesi,  $q_{\text{em}}$ : Emniyetli taşıma kapasitesi,  $K_1$ ,  $K_2$ : temel taban şekline bağlı katsayılar,  $c$ : Kohezyon,  $D_f$ : Temel derinliği (3m),  $G_s$ : Güvenlik sayısı (3),  $B$ : Temel genişliği (2m),  $\gamma$ : Birim hacim ağırlık,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ : Taşıma gücü faktörleri olup, aşağıdaki eşitliklerden hesaplanmaktadır.

$$N_q = e^{(\text{ptan}\phi)} \tan^2 [45 + (\phi/2)] \quad (8)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot\phi \quad (9)$$

$$N_\gamma = 1.8 (N_q - 1) \tan\phi \quad (10)$$

Yukarıdaki 7 nolu eşitliğe göre inceleme alanındaki zeminlerin emniyetli taşıma kapasitesi değerleri çizelge 4'de verilmiştir.

### 3.2. Meyerhof (1963) Eşitliğine Göre Taşıma Kapasitesi

Meyerhof (1963) tarafından üretilen taşıma kapasitesi eşitliği Terzaghi (1943)'den farklı olarak derinlik ( $d$ ) ve şekil ( $s$ ) parametrelerini içermektedir. Burada dikdörtgen temel tipi kullanılmıştır.

$$q_u = cN_c s_c d_c + gD_f N_q s_q d_q + 0.5gBN_g s_g d_g \quad (11)$$

Bu eşitlikte;  $B=2$ ,  $L=4$ ,  $D_f=3$ ,  $G_s=3$  olarak alınmıştır.

$$K_p = \tan^2(45+f/2) \quad (12)$$

$$s_c = 1+0.2K_p(B/L) \quad (13)$$

$$d_c = 1+0.2K_p^{0.5}(D_f/B) \quad (14)$$

$$s_q = s_g = 1+0.1K_p(B/L) \quad (15)$$

$$d_q = d_g = 1+0.1K_p^{0.5}(D_f/B) \quad (16)$$

$$N_q = e^{\tan f} \tan^2(45+f/2) \quad (17)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot f \quad (18)$$

$$N_g = (N_q - 1) \tan(1.4f) \quad (19)$$

Meyerhof (1693) taşıma kapasitesi eşitliğine göre inceleme alanındaki zeminlerin emniyetli taşıma kapasitesi değerleri çizelge 5'te verilmiştir.

### 3.3. Kurtuluş (2000) Eşitliğine Göre Taşıma Kapasitesi

İnceleme alanlarında belirlenen etüd hatlarında yapılan sismik kırılma ve MASW deneyleri sonucunda yüzeye yakın temel seviyesi oluşturacak zonda (birinci tabaka) elde edilen kayma ve basınç dalgası hızları, Kurtuluş (2000) tarafından önerilen nihai taşıma kapasitesi eşitliğinde kullanılarak, Akçakale ve Tamız Köylerinde yüzeyleyen zeminlerin taşıma kapasitesi belirlenmiştir (Çizelge 6). Kurtuluş'un önerdiği eşitlikte zeminlerin güvenli taşıma kapasitesini belirlemede zemine ait dalga hızları ile birlikte birimsiz bir P sabiti ile temel genişliği (B) ve temel derinliği (D) parametreleri de kullanmıştır. Ayrıca emniyetli taşıma kapasitesini belirlemek için kullanılan güvenlik katsayısı ( $F_s = V_p/V_s$ ) hızların oranı olarak alınmıştır.

$$q_u = (PV_s)/200 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (20)$$

$$q_{em} = q_u/F_s \quad (21)$$

$$P = 1+0.33 D/B \quad (22)$$

$$\rho = 0.31 V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (23)$$

Çizelge 4- Terzaghi (1943) eşitliğine zeminlerin taşıma kapasitesi.

Parametreler	Araştırma Çukurları					
	T1	T2	T3	A1	A2	A3
c (kN/m <sup>2</sup> )	72.3	36.7	44.7	23.8	36.7	35.1
$\phi$ (°)	5	16	12	29	32	35
$g_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.96	18.44	19.22	19.81	19.62	18.53
$N_c$	6.5	11.6	9.28	27.8	35.4	46.1
$N_q$	1.57	4.33	2.97	16.4	23.2	33.3
$N_y$	0.09	1.72	0.75	15.4	24.9	40.6
$K_1$	1	1	1	1	1	1
$K_2$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	561	693	604	1943	3151	4220
$q_{net}$ (kN/m <sup>2</sup> )	504	637	547	1884	3093	4165
$q_{em}$ (kN/m <sup>2</sup> )	225	267	240	687	1090	1444
USC	CL	CL	CL	SC	SC	SC

Çizelge 5- Meyerhof (1963) eşitliğine göre zeminlerin taşıma kapasitesi.

Parametreler	Araştırma Çukurları					
	T1	T2	T3	A1	A2	A3
c (kPa)	72.34	36.71	44.73	23.79	36.68	35.14
$\phi$ (°)	5	16	12	29	32	35
$g_n$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.96	18.44	19.22	19.81	19.62	18.53
$N_c$	6.5	11.6	9.3	27.8	35.4	46.1
$N_q$	1.6	4.3	3.0	16.4	23.1	33.3
$N_y$	0.1	1.4	0.6	13.2	22.0	37.1
$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	810.7	1039.3	894.3	3064.5	5306.5	7362.1
$q_{net}$ (kN/m <sup>2</sup> )	754	984	837	3005	5248	7307
$q_{em}$ (kN/m <sup>2</sup> )	308	383	337	1061	1808	2491
USC	CL	CL	CL	SC	SC	SC

## 3.4. Türker (2004) Eşitliğine Göre Taşıma Kapasitesi

Türker, zemin hakim titreşim periyodunu (T) 0,33 saniye sabit kabul ederek zeminlerin nihai taşıma kapasitesi için aşağıdaki eşitliği önermiştir. Emniyetli taşıma kapasitesi için güvenlik katsayısı ( $G_s$ ) 3 olarak alınmıştır.

$$q_u = (V_s g T) / 40 + (\gamma D_f) / 10 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (24)$$

$$q_{em} = q_u / G_s \quad (25)$$

$$\rho = 0.31 V_p^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \text{ (Kurtuluş, 2000)} \quad (26)$$

İnceleme alanındaki zeminlerde yapılan sismik ölçümlerden elde edilen hızların verilen eşitlikte kullanılması ile belirlenen emniyetli taşıma kapasitesi değerleri çizelge 7’de verilmiştir.

## 3.5. Keçeli (2010) Eşitliğine Göre Taşıma Kapasitesi

Keçeli’nin önerdiği taşıma kapasitesi eşitliği incelendiğinde sadece zemine ait dalga hızlarının dikkate alındığı, temel boyutlarının dikkate alınmadığı görülmektedir. İnceleme alanındaki zeminlerin emniyetli taşıma kapasitesi aşağıda verilen eşitliklerden faydalanılarak belirlenmiş olup, sonuçlar çizelge 8’de verilmiştir.

$$q_u = r V_s / 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (27)$$

$$q_{em} = (r V_s^2 / V_p) / 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (28)$$

$$\rho = 0.44 V_s^{0.25} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (29)$$

Çizelge 6- Kurtuluş (2000) eşitliğine göre zeminlerin taşıma kapasitesi.

Etüd Hattı No	B (m)	D <sub>f</sub> (m)	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	P	F (V <sub>p</sub> /V <sub>s</sub> )	q <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	q <sub>em</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	USC
Tamzı Köyü										
1	2	3	1.48	516.9	213	1.495	2.43	156.13	64.25	CL
2	2	3	1.52	585.6	235	1.495	2.49	172.25	69.18	CL
Akçakale Köyü										
3	2	3	1.43	452.4	184	1.495	2.46	134.87	54.83	SC
4	2	3	1.31	320.8	143	1.495	2.24	104.82	46.79	SC

Çizelge 7- Türker (2004) eşitliğine göre zeminlerin taşıma kapasitesi.

Etüd Hattı No	D <sub>f</sub> (m)	$\gamma$ (gr/cm <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	q <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	q <sub>em</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	USC
Tamzı Köyü							
1	3	1.48	516.9	213	298.19	99.40	CL
2	3	1.52	585.6	235	334.78	111.59	CL
Akçakale Köyü							
3	3	1.43	452.4	184	254.88	84.96	SC
4	3	1.31	320.8	143	190.37	63.46	SC

Çizelge 8- Keçeli (2010) eşitliğine göre zeminlerin taşıma kapasitesi.

Etüd Hattı No	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	q <sub>u</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	q <sub>em</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	USC
Tamzı Köyü						
1	1.68	516.9	213	351.09	144.67	CL
2	1.72	585.6	235	396.99	159.31	CL
Akçakale Köyü						
3	1.62	452.4	184	292.39	118.92	SC
4	1.52	320.8	143	213.36	95.11	SC

### 3.6. Tezcan ve Özdemir (2011) Eşitliğine Göre Taşıma Kapasitesi

Tezcan ve Özdemir zeminlerin emniyetli taşıma kapasitesini belirlemede incelenen zeminlerin dalga hızlarına ek olarak temel genişliğini de dikkate alan bir  $\alpha$  katsayısı geliştirmişlerdir. Bu çalışmada uygulanması düşünülen temel genişliği  $B=2m$  olduğu için bu katsayı aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$1.2 \leq B \leq 3.0m$  koşulunda;

$$\alpha = 1.13 - 0.11B \quad (30)$$

$$\gamma = 4.3 V_s^{0.25} \text{ (kN/m}^3\text{)} \quad (31)$$

$$q_u = 0.1gV_s\alpha \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (32)$$

$V_s \leq 750$  koşulunda  $n=4$  kabul edildiği için,  $n$  (güvenlik katsayısı)

$$q_{em} = 0.025gV_s\alpha \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (33)$$

Tezcan ve Özdemir tarafından önerilen emniyetli taşıma kapasitesi eşitliğinden faydalanılarak Tamzı ve Akçakale Köylerindeki zeminlerin taşıma kapasitesi belirlenmiştir (Çizelge 9).

Akçakale ve Tamzı köylerinde yüzeyleyen zeminlerin ampirik eşitlikler kullanılarak hesaplanan emniyetli taşıma kapasitesi değerleri çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 9- Tezcan ve Özdemir (2011) eşitliğine göre zeminlerin taşıma kapasitesi.

Etüd Hattı No	B (m)	$\rho$ (kN/m <sup>3</sup> )	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	a	n	$q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{em}$ (kN/m <sup>2</sup> )	USC
Tamzı Köyü									
1	2	16.43	516.9	213	0.91	4	318.41	79.60	CL
2	2	16.84	585.6	235	0.91	4	360.03	90.01	CL
Akçakale Köyü									
3	2	15.84	452.4	184	0.91	4	265.17	66.29	SC
4	2	14.87	320.8	143	0.91	4	193.50	48.37	SC

Çizelge 10- Zeminlere ait emniyetli taşıma kapasitesi değerleri.

Araştırmacı	Tamzı (CL) $q_{em}$ (kN/m <sup>2</sup> )	Akçakale (SC) $q_{em}$ (kN/m <sup>2</sup> )
Terzaghi (1943)	225	687
	267	1090
	240	1444
Meyerhof (1963)	308	1061
	383	1808
	337	2491
Kurtuluş (2000)	64.25	54.83
	69.18	46.79
Türker (2004)	99.40	84.96
	111.59	63.46
Keçeli (2010)	144.67	118.92
	159.31	95.11
Tezcan ve Özdemir (2011)	79.60	66.29
	90.01	48.37
CL: Düşük Plastisiteli Kil, SC: Killi Kum		

Çizelge 10'daki emniyetli taşıma kapasitesi sonuçları değerlendirildiğinde; Tamzı Köyü'nde yüzeleyen killerin (CL) taşıma kapasitesi Terzaghi (1943) eşitliğine göre 225-267 kN/m<sup>2</sup> arasında değişirken, Akçakale Köyünde yüzeleyen Killi Kumların (SC) ise 687-1444 kN/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Meyerhof (1963) tarafından önerilen eşitliğe göre killer (CL) 308-383 kN/m<sup>2</sup>, killi kumlar (SC) ise 1061-2491 kN/m<sup>2</sup> taşıma kapasitesine sahiptir.

Jeofizik yöntemlerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi sonuçları irdelendiğinde; Tamzı köyünde yayılım gösteren killerin (CL) taşıma kapasitesi 64-159 kN/m<sup>2</sup> arasında, Akçakale Köyünde yayılım gösteren killi kumların (SC) taşıma kapasiteleri ise 47-119 kN/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir.

### 3.7. Oturma Miktarının Sayısal Analizler İle Belirlenmesi

Zeminlerin izin verilebilir oturma değerleri killi zeminler için  $\leq 7.5$  cm, kumlu zeminler için ise  $\leq 5$  cm olarak öngörülmektedir. Bu oturma değerlerini sağlayan gerilme değerleri ise o zemine uygulanabilecek maksimum düşey gerilme olarak tanımlanabilir. Bu nedenle ampirik eşitliklerden elde edilen taşıma kapasitesi değerlerinin zeminlerde oluşturacağı oturma değerinin izin verilebilir sınırlar içerisinde olup, olmadığı belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu çalışmada incelenen kil (CL) ve killi kum (SC) zeminlerde meydana gelecek izin verilebilir oturma miktarlarının hangi düşey gerilme değerlerinde oluşacağını belirlemek için sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Analizler iki boyutlu düzlem deformasyon koşulları dikkate alınarak, malzemenin gerilme-deformasyon davranışı lineer davranış göstermeyen sonlu elemanlar ağ sistemi ile modellenmiştir. Modellemede Phase<sup>2</sup> v6.0 (Rocscience, 2006) sonlu elemanlar tabanlı bilgisayar programı kullanılmış ve Mohr

Coulomb yenilme koşulları altında düşey doğrultuda meydana gelebilecek oturmalar belirlenmiştir. Sayısal analizlerde kil ve killi kum zeminler için kullanılan parametrelere ait değerler çizelge 11'de verilmiştir.

Model kesitlerde kil (CL) ve killi kum (SC) zeminlerde yapı temellerinin zemine uygulayacağı gerilme izin verilebilir düşey oturmalar göz önünde bulundurularak (killi zeminlerde  $\leq 7.5$ cm, kumlarda  $\leq 5$ cm) ampirik eşitliklerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerleri şerit temel geometrisi dikkate alınarak (3m temel derinliği, 2m temel genişliği) üniform yük dağılımı altında her bir zeminde ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Yapılan sayısal analiz sonuçlarına göre izin verilebilir oturma koşullarını sağlayan üniform düşey gerilmeler killi zeminler (CL) için 190 kN/m<sup>2</sup>, killi kum (SC) zeminler için ise 485 kN/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir (Şekil 4-5). Bu üniform düşey gerilmeler altında kil zeminlerde meydana gelen düşey oturma miktarı 6.40-7.20 cm arasında bir değer almaktadır (Şekil 4). Bu durum killi kum zemin için değerlendirildiğinde; 485 kN/m<sup>2</sup>lik üniform düşey gerilme altında zeminde oluşan düşey oturma miktarı 3.75-4.75 cm arasında değişmektedir (Şekil 5).

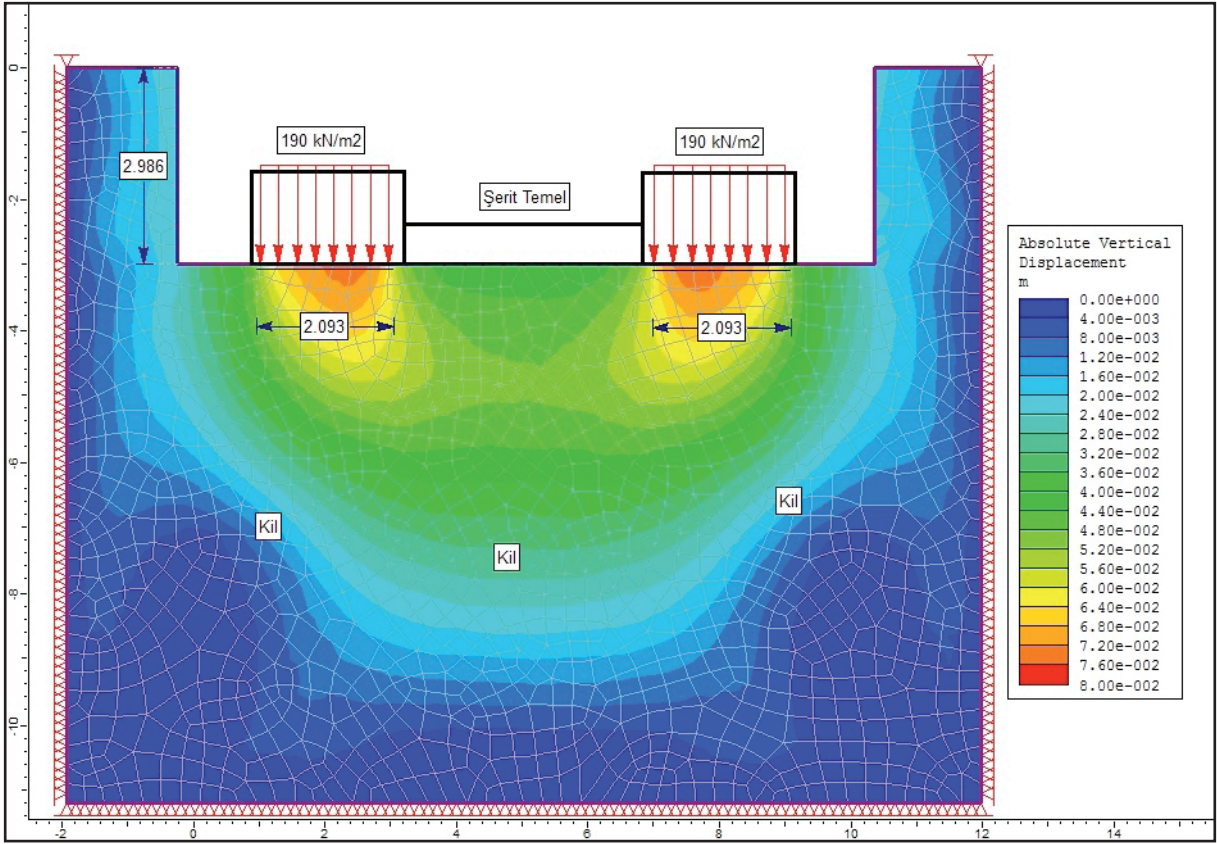
Sayısal analizlerden elde edilen ve izin verilebilir oturma koşullarını sağlayan üniform düşey gerilme değerleri ampirik eşitliklerden elde edilen taşıma kapasitesi değerleri ile karşılaştırıldığında Terzaghi (1943) ve Meyerhof (1963) tarafından önerilen ampirik eşitliklerden killi (CL) ve killi kum (SC) zeminler için elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinin sayısal analizlerden elde edilen değerlerden daha yüksek olduğunu görmek mümkündür.

Keçeli (2010) tarafından önerilen ampirik eşitlik kullanılarak hesaplanan emniyetli taşıma kapasitesi değeri ise sadece killi zeminler (CL) için izin verilebilir oturma koşullarını sağlamaktadır. Kurtuluş (2000), Türker (2004), Tezcan ve Özdemir (2011) tarafından önerilen taşıma kapasitesi eşitliklerinden elde edilen

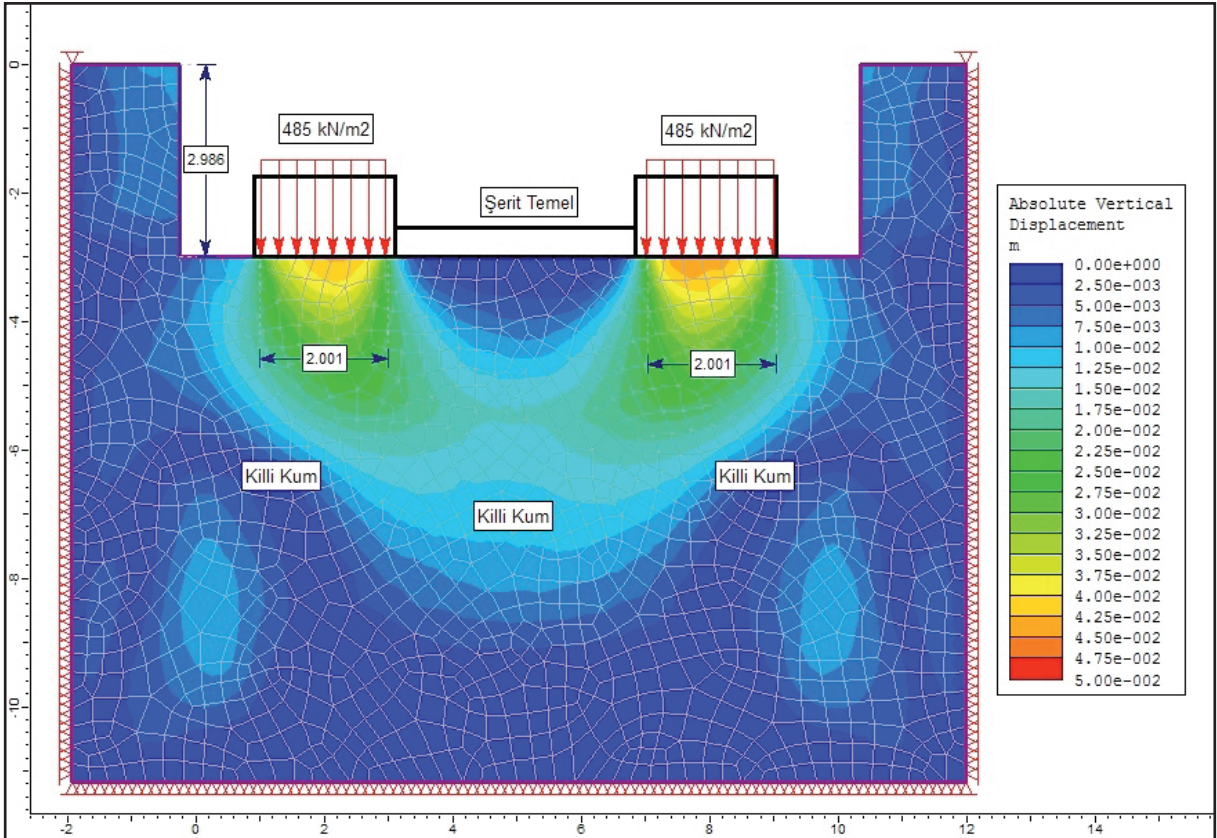
Çizelge 11- Sayısal analizde kullanılan parametrelere ait değerler.

USC	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kN/m <sup>2</sup> )	Poisson Oranı (v)	$E_m$ (MN/m <sup>2</sup> )	P (kN/m <sup>2</sup> )
CL	18.87	11	51.26	0.39	213	190
SC	19.32	32	31.87	0.38	85.6	485

P: Zemine uygulanan üniform gerilme



Şekil 4- Üniorm gerilmeler altında killerde (CL) meydana gelen düşey oturmamın sayısal analiz modeli.



Şekil 5- Üniorm gerilmeler altında killi kumlarda (SC) meydana gelen düşey oturmamın sayısal analiz modeli.

değerlerin ise izin verilebilir oturma koşullarını sağlayan değerlerden çok daha az oturmaya neden olacağı belirlenmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada Gümüşhane İli Tamzı ve Akçakale Köylerinde yayılım gösteren kil ve killi kum zeminlerin emniyetli taşıma kapasiteleri çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen taşıma kapasitesi eşitlikleri yardımı ile hesaplanmış ve elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinin zemine uygulanması sonucunda hangi ampirik eşitlikten elde edilen değerlerin izin verilebilir oturma koşullarını sağladığı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla yapılan arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen değerler kullanılarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca verilmiştir.

1. Jeofizik yöntemler kullanılarak üretilmiş olan ampirik eşitliklerden hesaplanan emniyetli taşıma kapasitesi değerleri hem kendi içerisinde, hem de laboratuvar deneyleri ile elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerleri ile büyük farklılıklar göstermektedir. Jeofizik yöntemler ile killi zeminin (CL) emniyetli taşıma kapasitesi 64.25-159.31 kN/m<sup>2</sup> arasında iken, killi kumların (SC) 46.79-118.92 kN/m<sup>2</sup> arasındadır. Laboratuvar deney verilerine dayalı ampirik eşitliklerden hesaplanan taşıma kapasitesi değerleri killi zemin (CL) için 225-383 kN/m<sup>2</sup> arasında değişirken, killi kumlarda (SC) 687-2491 kN/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir.
2. Laboratuvar deneyleri ile elde edilen parametrelerin dikkate alındığı Terzaghi (1943) ve Meyerhof (1963) tarafından önerilen taşıma kapasitesi eşitlikleri kullanıldığında; bu iki eşitlik yardımıyla elde edilen değerler arasında önemli farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Meyerhof (1963) tarafından önerilen eşitliğe göre taşıma kapasitesi hem killerde (CL) hem de killi kumlarda (SC) daha yüksek değerler almaktadır. Benzer şekilde, jeofizik verilerin kullanıldığı Kurtuluş (2000), Türker (2004), Keçeli (2010) ile Tezcan ve Özdemir (2011) tarafından önerilen ampirik eşitliklerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerleri de oldukça farklı değerler sunmaktadır.
3. İncelenen zeminler sayısal analizler ile değerlendirildiğinde; izin verilebilir oturma koşullarının sağlandığı üniform düşey gerilme değerleri killi zemin (CL) için 190 kN/m<sup>2</sup>, killi kumlar (SC) için ise 485 kN/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Bu değerler, zeminler için optimum emniyetli taşıma kapasitesi değerleridir ve zeminlere bu değerlerden daha fazla gerilme uygulanması halinde zeminlerde meydana gelecek oturma değerleri izin verilebilir sınırları aşacaktır. Bu değerlerden daha az gerilme uygulanması halinde ise zeminlere uygulanması gereken gerilmelerin altında gerilme uygulanacağı için optimum tasarım sağlanamayacaktır.
4. Killer (CL) ve killi kum (SC) zeminler için farklı ampirik eşitlikler yardımıyla hesaplanan emniyetli taşıma kapasitesi değerleri sayısal analizlerden elde edilen ve izin verilebilir oturma koşullarını sağlayan üniform düşey gerilmeler ile karşılaştırıldığında; Terzaghi (1943) ve Meyerhof (1963) tarafından önerilen ampirik eşitliklerden elde edilen değerlerin her iki zemin türü için de izin verilebilir oturma koşullarını sağlayan limitlerden (killi zeminler için  $\leq 7.5$ cm, kumlu zeminler için ise  $\leq 5$ cm) daha yüksek oturmalara neden olacağı belirlenmiştir. Kurtuluş (2000), Türker (2004), Keçeli (2010) ile Tezcan ve Özdemir (2011) tarafından önerilen ampirik eşitliklerden elde edilen değerlerin ise daha az oturmalara neden olacağı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, tüm ampirik eşitliklerden elde edilen emniyetli taşıma kapasitesi değerlerinin optimum bir tasarım için uygun olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, optimum temel tasarımını gerçekleştirmek için emniyetli taşıma kapasitesi değerleri killi zemin (CL) için 190 kN/m<sup>2</sup>, killi kumlar (SC) için ise 485 kN/m<sup>2</sup> olarak alınmalıdır.
5. Yapılan çalışmalar zeminlerde emniyetli taşıma kapasitesinin ampirik olarak belirlenmesinde izin verilebilir oturma şartının sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesinin de optimum bir tasarım için çok önemli olduğunu göstermektedir. Nitekim, temel tasarımında zeminin taşıyabileceği maksimum gerilmenin zemine uygulanması, ancak zemine uygulanacak bu gerilmenin oluşturacağı oturma miktarının ise izin verilebilir sınırdadır.

olması esastır. Bu nedenle, temel tasarımında sadece zeminin emniyetli taşıma kapasitesinin değil aynı zamanda zeminde meydana gelecek oturma miktarının da dikkate alınması gerekmektedir.

### Katkı Belirtme

Bu çalışmada, jeofizik yöntemlerin sahada uygulanması ve değerlendirilmesinde emeği geçen Doç. Dr. Nafiz Maden'e ve saha çalışmalarında yardımcı olan öğrencilerimize katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Ayrıca makalenin geliştirilmesinde eleştirileri ile katkı koyan değerli hocam Prof. Dr. Zülfü Gürocak'a şükranlarımızı sunarız.

### Değinilen Belgeler

- Alemdağ, S., Gürocak Z. 2006. Atasu (Trabzon) Baraj Yerindeki Bazaltların Taşıma Gücü. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi 18, 3, 285-396.
- Alemdağ, S., Gürocak, Z., Solanki, P., Zaman, M. 2008. Estimation of Bearing Capacity of Basalts at Atasu Dam Site, Turkey. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 67, 1, 79-85.
- Alemdağ, S. 2015. Assessment of Bearing Capacity and Permeability of Foundation Rocks at the Gumustas Waste Dam Site, (NE Turkey) Using Empirical and Numerical Analysis. Arabian Journal of Geosciences 8, 1099-1110.
- ASTM D 422-63, 2003. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, In:Annual Book of ASTM Standards, Volume 04.08, Philadelphia, PA, pp. 93-99.
- ASTM D 4767-95, 2003. Standard test method for consolidated-undrained triaxial compression test for cohesive soils. Annual Book of ASTM standards. Volume 04.08, West Conshohocken, PA, pp.924-934.
- ASTM, 2011. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. Annual Book of ASTM Standards, ASTM D3080, Philadelphia, USA.
- Bowles, J.E. 1998. Foundation Analysis and Desing, 6th ed., Mc Graw-Hill, 56799 9346, Newyork, USA.
- Çinicioğlu, S. F. 2005. Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı, Seminer, IMO İstanbul Şubesi.
- Dokuz, A. 2011. A slab detachment and delamination model for the generation of Carboniferous high-potassium I-type magmatism in the Eastern Pontides, NE Turkey: the Köse composite pluton. Gondwana Research 19, 926-944.
- Kandemir, R., Yılmaz, C. 2009. Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümüşhane area, NE Turkey: implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean. Journal of Asian Earth Sciences 34, 586-598.
- Karşlı, O., Dokuz, A., Kandemir, R. 2017. Subduction-related Late Carboniferous to Early Permian Magmatism in the Eastern Pontides, the Camlık and Casurluk plutons: Insights from geochemistry, whole-rock Sr-Nd and in situ zircon Lu-Hf isotopes, and U-Pb Geochronology. Lithos, <http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2016.10.007>.
- Kayabaşı, A., Gökçeoğlu, C. 2012. Taşıma Kapasitesi ve Oturma Miktarının Hesaplanmasında Yaygın Kullanılan Yöntemlerin Mersin Arıtma Tesisi Temeli Örneğinde Uygulanması, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 36 (1), 1-22.
- Kaygusuz, A., Arslan, M., Siebel, W., Sipahi, F., Ilbeyli, N. 2012. Geochronological evidence and tectonic significance of Carboniferous magmatism in the southwest Trabzon area, eastern Pontides, Turkey. International Geology Review 54, 1776-1800.
- Keçeli, A. 1990. Sismik yöntemlerle mücade edilebilir dinamik zemin taşıma kapasitesi ve oturmasının saptanması, Jeofizik, 4, 83-92.
- Keçeli, A. 2000. Sismik Yöntemlerle Kabul Edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması, Jeofizik, 14, 61-72.
- Keçeli, A. 2010. Sismik Yöntem ile Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. Jeofizik Bülteni 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 Bağıntısı ve Uygulanması. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi 6, 51-59.

- Meyerhof, G.G. 1963. Some recent research on the bearing capacity of foundations. *Canadian Geotechnical Journal* 1(1), 16-26.
- Önalp, A., Sert, S. 2006. *Geoteknik Bilgisi-III, Bina Temelleri*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 375 s.
- Richards, R., Elms, D.G., Budhu, M. 1993. Seismic bearing capacity and settlements of foundations. *Journal of Geotechnical Engineering* 116 (5), 662-674.
- Rocscience, 2006. Phase2 v6.0, 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around the underground excavations. Geomechanics Software and Research, Rocscience Inc., Toronto, Ontario, Canada.
- Skempton, A.W. 1951. The bearing capacity of clays. *Proceedings, Building Research Congress*, London.
- Terzaghi, K. 1943. *Theoretical Soil Mechanics*. Wiley Publishing, New York, USA.
- Tezcan, S. S., Keçeli, A., Özdemir, Z. 2010. Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Belirlenmesi, *Tübvav Bilim Dergisi* 3 (1), 1-10.
- 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.
- Topuz, G., Altherr, R., Siebel, W., Schwarz, W.H., Zack, T., Hasözbeç, A., Barth, M., Satır, M., Şen, C. 2010. Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey). *Lithos* 116, 92-110.
- Türker, E. 2004. *Computation of Ground Bearing Capacity from Shear Wave Velocity. Continuum Models and Discrete Systems* Kluwer Academic Publisher, Netherland, 173-180.
- Uyanık, O., Gördesli, F. 2013. Sismik Hızlardan Taşıma Gücünün İncelenmesi. *SDU International Journal of Technologic Sciences* 5(2), 78-86.
- Uzuner, B. A., Bektaş, F., Moroğlu, B. 2000. Kumda Merkezi ve Eksantrik Yüklü Şerit Temellerde Taban Gerilmelerinin Dağılımları, Zemin Mekanikliği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi 32-38.