

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/319503908>

ZEMİN İNCELEME YÖNTEMLERİNİ KULLANAN TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ METODLARININ İNCELENMES...

Conference Paper · December 2011

CITATIONS

0

READS

155

2 authors, including:



Ilkay Tonyali

Gazi University

8 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



ZEMİN İNCELEME YÖNTEMLERİNİ KULLANAN TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ METODLARININ İNCELENMESİ

[View project](#)



A CASE STUDY ON PREVENTION OF HIGH LATERAL DISPLACEMENT FOR SUPPORTED SYSTEM [View](#)

[project](#)

ZEMİN İNCELEME YÖNTEMLERİNİ KULLANAN TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ METODLARININ İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF SOIL'S ULTIMATE BEARING CAPACITY ANALYSIS METHODS USING SOIL EXPERIMENTS

Hüseyin YILDIRIM¹

İlkay TONYALI²

ABSTRACT

Structure foundation is expected to deliver the static and dynamic loads coming from superstructure to the soil safely. Therefore, the rule of having enough capacity to resist collapse is strictly important. Otherwise, foundation may collapse and superstructure may get damaged partly or fully. In order to create solid and economic solutions to those destructive effects, the foundation of the structure should be deeply investigated and the soil strength data should reflect the reality. Various researchers do some research about the analysis of ultimate bearing capacity by using laboratory or field experiments and geophysical experiment results. Within the context of this study, the ultimate bearing capacities are intended to be compared with the help of the foundation analysis of different construction sites and stated studies.

ÖZET

Yapı temellerinin, üst yapıdan gelen statik ve dinamik yükleri güvenli şekilde zemine aktarabilmesi şarttır. Bunun sağlanabilmesi için temellerin birbirinden ayrı olarak, göçmeye karşı yeterli güvenliğe sahip olması (taşıma gücü şartı) ve meydana gelecek muhtemel toplam oturmalar ile farklı oturmaların kabul edilebilir sınırlar dahilinde kalması (oturma şartı) gerekmektedir. Özellikle taşıma gücü şartının sağlanamaması, temelin göçmesine ve bunun sonucunda üst yapının tamamen ya da kısmen yıkılmasına neden olacaktır. Bu yıkıcı etkilere karşı güvenilir ve ekonomik projeler gerçekleştirilebilmesi için, yapıların oturacağı zeminin özelliklerinin son derece iyi incelenmesi ve ortaya konulan zemin mukavemet verilerinin gerçeği yansıtması gerekmektedir. Bu bağlamda, çeşitli araştırmacılar, Laboratuvar Deneyleri, Arazi Deneyleri (Sondalar) ve Jeofizik Deney sonuçlarını kullanarak, nihai taşıma gücü analizine yönelik çalışmalar geliştirmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri ve jeofizik yöntemlerin birbirlerine olan avantaj ve dezavantajlarını kıyaslamaktan ziyade, bu deney sonuçları kullanılarak geliştirilmiş taşıma gücü bağıntılarının birbirleri ile tutarlılığını veya tutarsızlığını ortaya koymaktır.

¹ Profesör, İstanbul Teknik Üniversitesi, yildirimh@itu.edu.tr

² İnşaat Yüksek Mühendisi, Moment Proje, info@momentproje.com

1. GİRİŞ

Geoteknik Mühendisliğinde, çeşitli üst yapı yüklerini güvenli şekilde zemine aktaran temellerin tasarımı son derece önemlidir. Bunun gerçekleştirilebilmesi için, zemin özelliklerinin derinlemesine incelenmesi gerekmektedir. Genellikle bu çalışmalar, laboratuvar ortamında ve/veya arazide gerçekleştirilmektedir. Son zamanlarda, jeofizik yöntemler de, zemin parametrelerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Önceleri petrol mühendisliğinde kaynak belirlemede kullanılan bu yöntemler, teknolojik gelişmelerinde etkisiyle inşaat mühendisliği dalında da tercih edilmeye başlanmıştır. Dünya genelinde daha çok kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemeye yönelik jeofizik çalışmalar mevcut olmakla birlikte, Ülkemizde zemin özelliklerini belirlemek amacıyla, birçok jeofizik çalışma gerçekleştirilmektedir. Bunların en dikkat çekicilerinden bazıları, zeminlerin taşıma güçlerinin belirlenmesine yönelik olanlardır.

Zeminlerin taşıma güçlerinin belirlenebilmesi için kullanılan en yaygın yöntemlerden biri, laboratuvar ortamında elde edilen zemin mukavemet parametrelerinin kullanıldığı klasik yöntemlerdir. Birçok araştırmacı tarafından geliştirilen taşıma gücü hesaplama yöntemleri, Prandtl (1920) tarafından yapılan ağırlıksız bir metalin yapışma ve iç sürtünme özelliklerini inceleyen araştırmasına dayandırılmaktadır (McCarthy, 2007). Ancak, her durumda laboratuvar ortamında mukavemet çalışmalarının uygulanabileceği örselenmemiş numune temini mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, zemin mukavemet parametrelerinin yerinde tespitini mümkün hale getiren arazi deneyleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde temel prensip, zemin içinde çakılarak ya da itilerek ilerletilen sondalara, zeminin gösterdiği direncin belirlenmesidir (Uzuner, 2000). Elde edilen bu direnç değerleri kullanılarak zeminlerin taşıma gücünü belirlemede çeşitli korelasyonlar geliştirilmiştir. Yukarıda bahsedildiği üzere, son zamanlarda taşıma gücü tayinine yönelik jeofizik çalışmalar da yapılmaktadır. Özellikle, sismik deneyler uygulanarak elde edilen kayma ve basınç dalgası hızları yardımıyla taşıma gücü analizleri gerçekleştirilmektedir.

2. LABORATUAR DENEY SONUÇLARINA GÖRE YAPILAN TAŞIMA GÜCÜ ANALİZLERİ

2.1. Terzaghi Taşıma Gücü Hesabı

Temellerin taşıma gücü hesaplamaları ile ilgili ilk çalışmalardan olan ve günümüzde yaygın olarak kabul edilen formüller, Terzaghi (1943) tarafından geliştirilmiştir. Terzaghi, ilk hesaplamalarını sürekli temeller için gerçekleştirmiştir. Devam eden süreçte, deneysel olarak elde ettiği sonuçları kullanarak, kare ve dikdörtgen temeller için de geometrik katsayılar geliştirmiştir. Buna göre, Terzaghi taşıma gücü formülü, aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$q_n = c'N_c s_c + \sigma'_z N_q + 0.5\gamma'BN_\gamma s_\gamma \quad (1)$$

Burada; q_n : Zeminin nihai taşıma gücünü, c' : Temel altındaki zemin efektif kohezyonunu, σ'_z : Temel derinliğindeki efektif düşey gerilmeyi, γ' : Zemin efektif birim hacim ağırlığını, B : Temel genişliğini, N_c , N_q ve N_γ : Terzaghi taşıma gücü faktörlerini, s_c ve s_γ : Temel geometri katsayılarını göstermektedir. Terzaghi'nin taşıma gücü formülü, efektif gerilmeler için geliştirilmiş olsa da, bu formül toplam gerilme analizlerinde de kullanılabilir.

2.2. Meyerhof Taşıma Gücü Hesabı

Meyerhof (1951, 1963), Terzaghi'nin hesaplamalarına benzer bir yaklaşımla, temellerin şekil ve derinlik faktörlerini de dikkate alarak bir taşıma gücü formülü geliştirmiştir. Ayrıca, temelin düşey yüklerin yanısıra yatay yüklerin de etkisinde olduğu durumlar için yük eğim faktörlerini içeren bir yaklaşımı da mevcuttur. Meyerhof taşıma gücü formülleri, aşağıda verildiği şekilde kullanılmaktadır.

$$q_n = cN_c s_c d_c + \sigma_z N_q s_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (2)$$

$$q_n = cN_c i_c d_c + \sigma_z N_q i_q d_q + 0.5\gamma B N_\gamma i_\gamma d_\gamma \quad (3)$$

Burada, Terzaghi taşıma gücü formülüne ek olarak; d_c , d_q ve d_γ : Derinlik faktörlerini, s_c , s_q ve s_γ : Temel şekil faktörlerini, i_c , i_q ve i_γ : Yük eğim faktörlerini temsil etmektedir.

2.3. Hansen Taşıma Gücü Hesabı

Hansen (1970), Meyerhof'un taşıma gücü hesabına paralellik gösteren ve ona ek olarak, yük eğim açısı faktörlerini, zemin eğim faktörlerini ve temel sapma faktörlerini dikkate alan bir formül geliştirmiştir. Burada kullanılan temel sapma faktörü b_i , temel tabanının yatay düzlemde η açısı kadar saptırılması durumunda ve zemin eğim faktörü g_i de, temelin yan yüzünü destekleyen zeminde β açısı kadar bir eğim bulunması durumunda dikkate alınan değerlerdir. i_i yük eğim faktörleri ise, temele etkiyen yatay ve düşey yük bulunması durumunda oluşacak bileşke yüklerin düşey eksenden kaçıklığını dikkate alan katsayılarıdır. Buna göre, Hansen taşıma gücü formülü aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$q_n = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \sigma_z N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (4)$$

Ayrıca, Hansen'in temel üzerinde oluşacak eksantrisitelerin taşıma gücü üzerindeki etkilerini dikkate alan bir yaklaşımı da mevcuttur.

2.4. Vesic Taşıma Gücü Hesabı

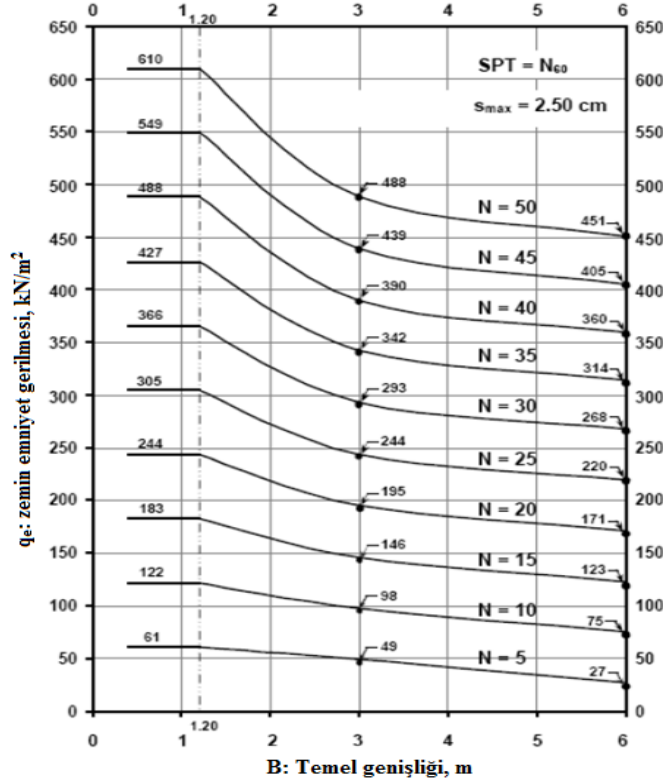
Vesic (1975) taşıma gücü hesaplama yöntemi, Hansen tarafından geliştirilen yöntemle benzerdir. İki yöntem arasındaki farklılıklardan biri, N_γ taşıma gücü faktörüdür. Vesic, b_i temel sapma faktörleri, g_i zemin eğim faktörleri ve i_i yük eğim faktörlerinin hesaplanmalarında da farklı yaklaşımlar geliştirmiştir. Buna ek olarak, Vesic, Hansen'in aksine taşıma gücü hesaplamalarında, eksantrisite etkisini dikkate almayarak, temel boyutlarını olduğu gibi kabul etmektedir.

3. ARAZİ DENEYLERİ İLE TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ

Arazi deneyleri, ekonomik olmaları ve süreden tasarruf imkanı sağlamaları bakımından, temel tasarım kriterlerinin yerinde belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Ayrıca, zeminin örselenmemiş numune alımı konusunda elverişli olmadığı durumlarda, zemin parametrelerinin doğrudan yerinde tespit edilmesine imkan tanımaktadır.

3.1. Terzaghi ve Peck SPT Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

Terzaghi ve Peck (1967), temellerde meydana gelebilecek oturmaların 25 milimetreyi geçmediği durumlar için emniyetli taşıma gücü bağıntıları geliştirmişlerdir. Bu bağıntılar, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiş olup, emniyetli taşıma gücü q_e , temel genişliği B ve SPT-N değerleri arasındaki ilişki Şekil 1’de verilmektedir.



Şekil 1. Terzaghi ve Peck emniyetli taşıma gücü q_e 'nin B ve SPT-N ile değişimi (Bowles, 1996).

3.2. Meyerhof SPT Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

Meyerhof (1974) temellerde meydana gelebilecek oturmaları 25 milimetre ile sınırlı tutarak, emniyetli taşıma gücü bağıntısını aşağıdaki şekilde vermektedir (Çinicioğlu, 2005).

$$q_e = 12NK_d \quad B < 1.22m \quad (5)$$

$$q_e = 8N((B + 0.305)/B)^2 K_d \quad B > 1.22m \quad (6)$$

$$K_d = 1 + 0.33D/B \leq 1.33 \quad (7)$$

Burada; q_e : Emniyetli taşıma gücünü, N : SPT darbe sayısını, D : Temel derinliğini, B : Temel genişliğini göstermektedir. Meyerhof, genişliği büyük olan radye temeller altında etkilenen bölge derinliğini ve artan oturma miktarlarını dikkate alarak, radye temeller için emniyetli taşıma gücü formülünü aşağıdaki gibi vermektedir (Bowles, 1996).

$$q_e = 12.5NK_d \quad (8)$$

3.3. Bowles SPT Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

Bowles (1996), Meyerhof (1974) ile Terzaghi ve Peck (1967) tarafından geliştirilen, SPT-N sayılarına göre hesaplanan temel taşıma güçlerinin, çok güvenli tarafta kalarak elde edildiğini kabul etmektedir. Bu nedenle, benzer deney verileri ile daha yüksek taşıma gücü hesabının yapılabildiği aşağıdaki formülleri geliştirmiştir.

$$q_e = NK_d/F_1 \quad B < F_4 \quad (9)$$

$$q_e = \frac{N}{F_2} \left(\frac{B + F_3}{B} \right)^2 K_d \quad B > F_4 \quad (10)$$

K_d katsayısının hesaplanması, Meyerhof formülündekine benzer şekilde yapılmaktadır. F_1 , F_2 , F_3 ve F_4 katsayıları ise Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Bowles F_1 , F_2 , F_3 ve F_4 taşıma gücü katsayıları (Bowles, 1996)

	N_{55}	N_{70}
F_1	0.05	0.04
F_2	0.08	0.06
F_3	0.3	0.3
F_4	1.2	1.2

Formüllerde kullanılan SPT-N değerleri, temel derinliğinin $0.5B$ üzerindeki ve $2B$ altındaki SPT-N değerlerinin ortalaması olarak kabul edilmektedir. Ancak, $2B$ mesafesinin altında daha yumuşak bir zemin tabakasının bulunması durumunda, bu durum N sayısına yansıtılmadığı takdirde oturma problemleri ile karşılaşılması muhtemeldir (Bowles, 1996).

Önceki taşıma gücü hesap yöntemlerinde belirtildiği gibi, Bowles da çalışmalarında oturma miktarının 25 milimetreyi geçmediği varsayımında bulunmaktadır. Bunun yanında, daha büyük oturma değerleri için emniyetli taşıma gücünün aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabileceğini belirtmektedir.

$$q'_e = \frac{\Delta H_j}{\Delta H_0} q_e \quad (11)$$

Burada, q'_e : 25mm 'den büyük oturma miktarları için düzeltilmiş emniyetli taşıma gücünü ΔH_j : Gerçek oturma değerini, ΔH_0 : 25mm oturma değerini temsil etmektedir.

3.3. Presiyometre Deneyi ile Taşıma Gücü Hesabı

Presiyometre ile taşıma gücü hesabı aşağıdaki şekilde yapılmaktadır (McCarthy, 2007).

$$q_n = \sigma_z + k_{bc} (p_{maks} - \sigma_h) \quad (12)$$

Burada; q_n : Zeminin nihai taşıma gücü, σ_z : Temel seviyesindeki düşey gerilme, σ_h : Temel seviyesindeki yatay zemin gerilmesi, k_{bc} : Temel şekil ve derinliğini dikkate alan katsayı, p_{maks} : Prob sınır basıncı olarak verilmektedir. k_{bc} , değerleri farklı zemin tipleri için Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2. Presiyometre taşıma gücü için k_{bc} değerleri (McCarthy,2007).

Şerit temeller için, k_{bc} değerleri									
Zemin Tipi	Kum			Silt			Kil		
D/B oranı	0	2	4	0	2	4	0	2	4
P_{maks}									
500	0.8	1.5	1.8	0.8	1.4	1.6	0.8	1.3	1.5
1000	0.8	1.7	2.2	0.8	1.5	1.8	0.8	1.4	1.7
3000	0.8	2.0	2.6	0.8	1.7	2.0	0.8	1.5	1.8
6000	0.8	2.3	3.0						
Kare ve Yuvarlak temeller için, k_{bc} değerleri									
500	0.8	2.2	3.0	0.8	2.1	2.5	0.8	1.9	
1000	0.8	3.0	4.0	0.8	2.3	2.8	0.8	2.2	2.5
3000	0.8	3.7	4.8	0.8	2.5	3.1	0.8	2.4	2.9
6000		0.8	3.9	5.4					

4. JEOFİZİK DENEYLER İLE TAŞIMA GÜCÜ ANALİZ YÖNTEMLERİ

Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde, jeofizik yöntemlerle ilgili birçok ampirik çalışma mevcuttur. Özellikle, sismik yöntemler ile bulunan kayma ve basınç dalga hızları ile zeminin taşıma kapasitesi arasındaki ilişkiler, çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmaktadır.

4.1. Imai ve Yoshimura Taşıma Gücü Hesabı

Imai ve Yoshimura (1976), Japonya’da gerçekleştirdikleri araştırmalar sonucunda nihai taşıma gücü ile basınç dalgası hızı V_p arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekilde vermektedir.

$$q_n = 10V_p^3 \quad (13)$$

Burada, dalga hızı km/s cinsinden boyutlandırılmaktadır.

4.2. Keçeli Taşıma Gücü Hesabı

Keçeli (1990), zeminin elastik davranış gösterdiğini kabul ederek, nihai taşıma gücü hesabı için aşağıdaki formülü vermektedir.

$$q_n = \frac{TV_p\gamma}{40} \quad (14)$$

Burada; T: Zemin hakim titreşim periyodunu ($0.4s_n$), V_p : Basınç dalga hızını, γ : Zemin birim hacim ağırlığını göstermektedir. Keçeli, zemin hakim periyodunu en sağlam kayaç tiplerine göre incelemiş olup, bunların görece zayıf zeminler için benzer sonuçlar vereceğini belirtmektedir.

Keçeli, temelin zemin yüzeyinden D kadar derinde olması durumunda, bu etkinin sürşarj etkisi olarak formüle eklenmesini önermektedir. Ayrıca, yeraltı su seviyesi temel tabanından yukarıda olduğunda, nihai taşıma gücü %50 oranında azaltılmaktadır. Ancak, emniyetli taşıma gücü hesabında kullanılan güvenlik faktörü, P-dalgasının S-dalgasına oranı olarak kullanılacaksa herhangi bir azaltma yapmaya gerek kalmamaktadır (Keçeli, 1990).

4.3. Türker Taşıma Gücü Hesabı

Türker'in (1998) nihai taşıma gücü formülü ile ilgili ilk çalışmaları, Keçeli (1990) bağıntılarına benzemektedir. İlerleyen dönemde Türker (2003), zemin hakim titreşim periyodu T_s 'yi, 0.33 saniye sabit kabul ederek;

$$q_n = \frac{TV_S\gamma}{40} \quad (15)$$

formülünü geliştirmiştir.

4.4. Tezcan ve diğ. Taşıma Gücü Hesabı

Tezcan ve diğ. (2010), yaptıkları çalışmalar sonucunda kayma dalgası hızlarını kullanarak, nihai taşıma gücü formülünü aşağıdaki gibi vermektedir.

$$q_n = 0.1\gamma V_S \quad (16)$$

Terzaghi ve Peck'in (1967) SPT deneyi ile taşıma gücü hesaplamasında dikkate aldıkları temel genişliği–zemin emniyet gerilmesi ilişkisi, Tezcan ve diğ. tarafından da benimsenmektedir. Bu nedenle, temel genişliğinin 0 ila 12 metre arasında değiştiği durumlarda, β azaltma katsayısı kullanılarak nihai taşıma gücü,

$$q_n = 0.1\gamma V_S \beta \quad (17)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada, β 'nin alabileceği değerler Tablo 3'de gösterilmektedir.

Tablo 3. β azaltma katsayısı-B temel genişliği ilişkisi.

β	Değişken Temel Boyutları
1.00	$0 \leq B \leq 1.20$ m
$1.13 - 0.11B$	1.20 m $< B \leq 3.00$ m
$0.83 - 0.01B$	3.00 m $< B \leq 12.00$ m

Tezcan ve diğ., zeminin suya doygunluk derecesinin değişiminin, kayma dalgası hızı ile hesaplanan nihai taşıma gücünü etkilemeyeceğini belirtmektedir. Buna ek olarak, formülde kullanılan zemin birim hacim ağırlığı γ 'nın, basınç dalgası hızı V_P ile aşağıdaki şekilde hesaplanabileceği kabulü yapılmaktadır.

$$\gamma = \gamma_0 + 0.002V_P \quad (18)$$

$$\gamma = 3.2V_P^{0.25} \quad (19)$$

Burada γ_0 , birim ağırlığın referans değerini temsil etmekte olup, değişik zemin tipleri için aldığı değerler Tablo 4'de toplu olarak verilmektedir.

Tablo 4. Zemin cinsi ile referans birim ağırlık ilişkisi (Tezcan ve diğ., 2010).

Zemin Cinsi	γ_0 (kN/m ³)
Gevşek kum, silt ve killi zeminler	16
Sıkı kum ve çakıllı zeminler	17
Kil taşı, kireç taşı ve konglomera cinsi kayalar	18
Çatlaklı kumtaşı, tuf, grovak ve şist tipi çatlaklı kayalar	19
Sağlam kayalar	20

5. NİHAİ TAŞIMA GÜCÜ ANALİZLERİ

Türkiye genelinde 50 adet zemin araştırması sonucunda elde edilen veriler ile önceki bölümlerde açıklanan nihai taşıma gücü hesap yöntemleri kullanılarak, analizler gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalara esas temel geometrisi şerit (mütemadi) olarak seçilmiştir. Ayrıca, tüm analizlerde temel genişliği 3 m, temel uzunluğu ise 10 m olarak alınmıştır. Temel derinlikleri, zeminden alınan numune kotları dikkate alınarak düzenlenmiştir. Bununla birlikte, yeraltı su seviyeleri sondaj loglarında belirtilen derinliklerde kabul edilmiştir.

Laboratuarda yapılan mukavemet deneyleri sonucunda elde edilen parametreler, Terzaghi (1943), Meyerhof (1951, 1963), Hansen (1970) ve Vesic (1975) tarafından verilen taşıma gücü bağıntılarında kullanılarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Temel derinliğinin, yeraltı su seviyesi altında kaldığı durumlarda, efektif değerler dikkate alınarak hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Nihai taşıma gücü analizlerinde, temel geometri katsayıları, şekil ve derinlik faktörleri göz önüne alınmıştır. Ancak, Terzaghi formülü kullanılarak elde edilen nihai taşıma gücü değerleriyle kıyaslama yapabilmek amacıyla, temele etkiyen yatay yükleme mevcut olmadığı kabulü ile yük eğim faktörü ve eksantrisite etkileri hesaba katılmamıştır.

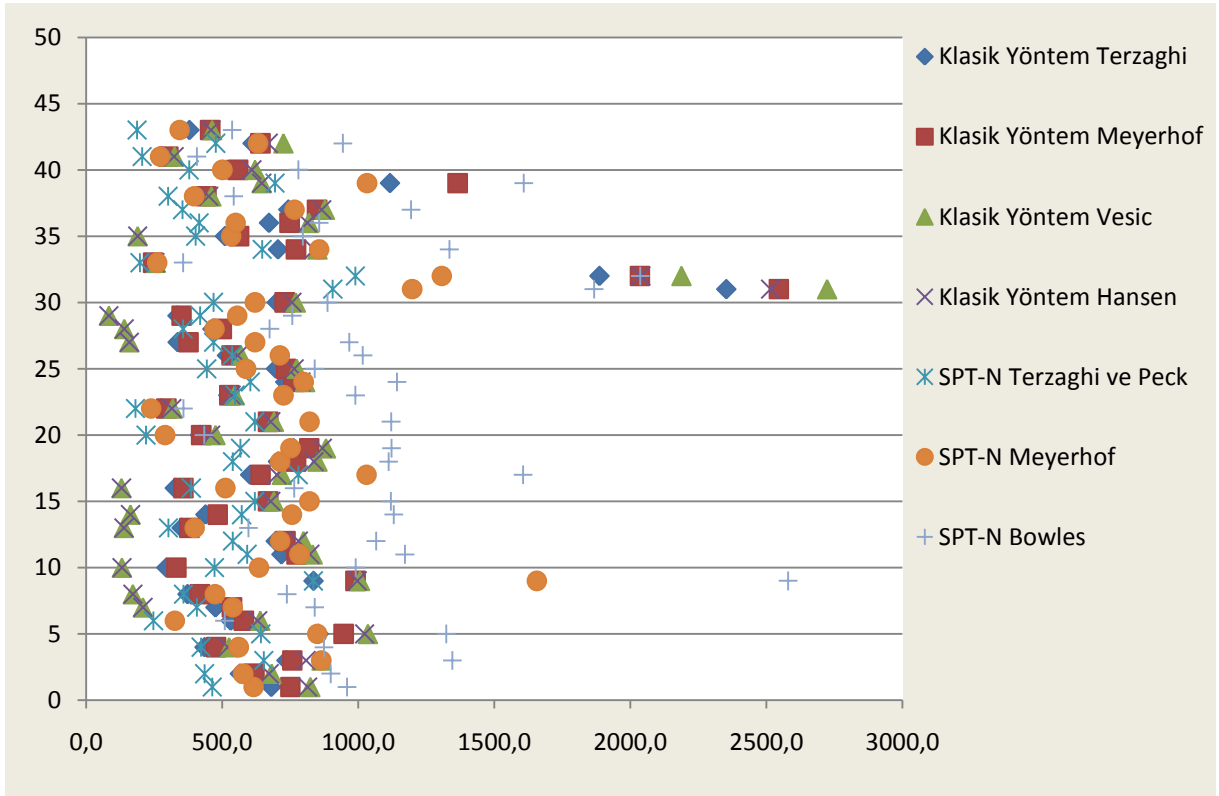
Arazide yapılan Standart Penetrasyon Deney sonuçlarından elde edilen SPT-N değerleri, Terzaghi ve Peck (1967), Meyerhof (1974) ve Bowles (1996) tarafından verilen ampirik formüllerde kullanılarak emniyetli taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. Diğer yöntemler kullanılarak elde edilen nihai taşıma güçleri ile kıyaslama yapabilmek amacıyla, bu değerler güvenlik katsayısı 3 alınarak büyütülmüştür. SPT-N değerleri, şahmerdan etkinlik oranı, kuyu çapı, örnek alıcı, tij uzunluğu ve boşluk suyu basıncı düzeltmeleri dikkate alınarak hesaplarda kullanılmıştır.

Presiyometre deneyinden elde edilen prob sınır basınç değerleri kullanılarak nihai taşıma gücü verileri elde edilmiştir. Bu değerler hesaplanırken, inceleme derinliğindeki jeolojik yüklerde dikkate alınmıştır.

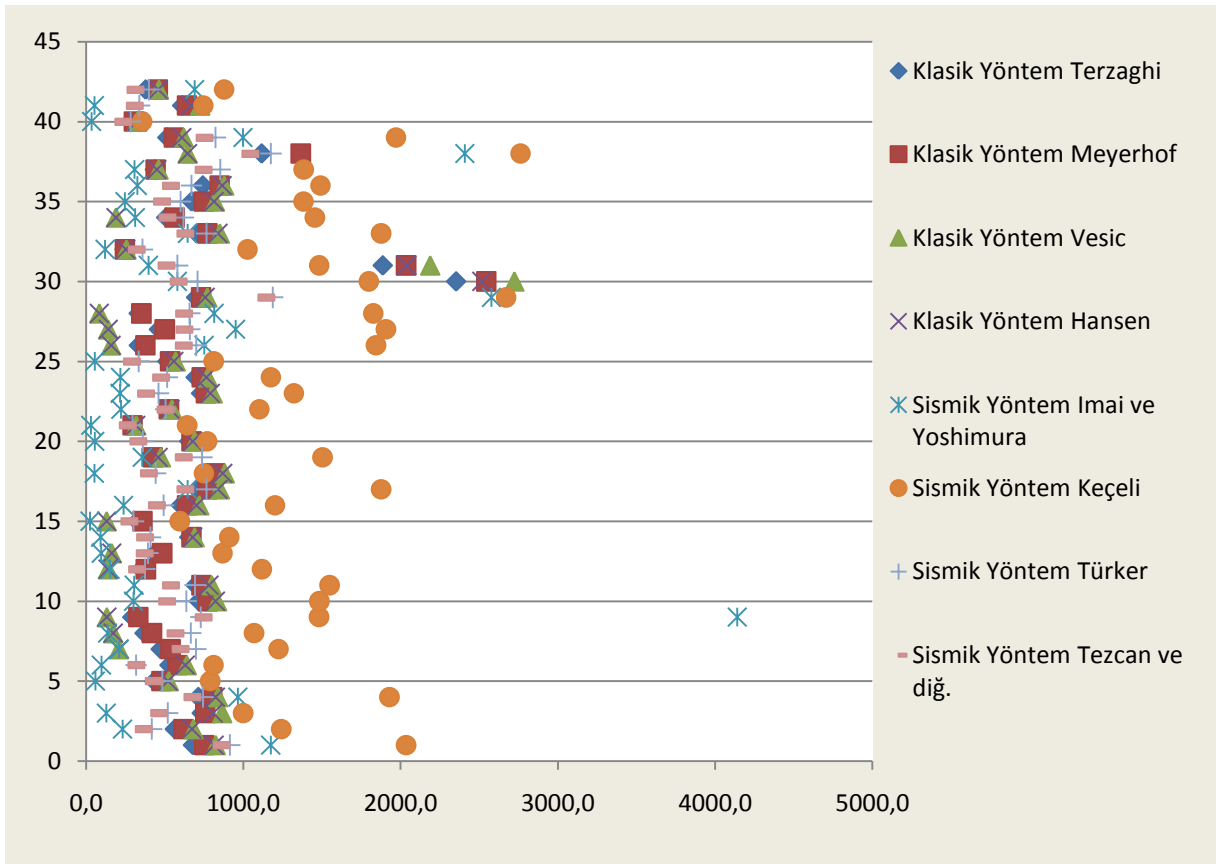
Arazide yapılan sismik deneyler sonucunda temel oturum seviyesinden elde edilen kayma ve basınç dalgası hızları, Imai ve Yoshimura (1976), Keçeli (1990), Türker (2003) ile Tezcan ve diğ. (2010) tarafından verilen nihai taşıma gücü hesaplamalarında kullanılmıştır. Keçeli ve Türker tarafından geliştirilen formüllerde bulunan birim hacim ağırlık değerleri, laboratuvar deney sonuçlarından elde edilmiştir. Tezcan ve diğ. tarafından verilen formüllerde bulunan birim hacim ağırlık değerleri ise, yine aynı çalışmada verilmiş olan formüllerle, P-dalga hızları kullanılarak hesaplanmıştır.

50 farklı inşaat sahasından elde edilen 44 adet kayma mukavemeti laboratuvar sonuçları, 46 adet SPT deney sonuçları, 7 adet presiyometre deney sonuçları ve 48 adet sismik deney sonuçları, yukarıda belirtilen analiz yöntemlerinde kullanılarak nihai taşıma gücü değerleri ayrı ayrı elde edilmiştir. İstatiksel değerlendirmeler, sonuçların birbirlerine %10'luk yakınlık düzeyi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemler arası değerlendirmeler, doğrudan gözleme dayanması ve kontrollü deney imkanı sağlaması bakımından laboratuvarında elde edilen sonuçlar baz alınarak yapılmıştır. Buna göre;

- Klasik yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyumluluk göstermektedir. Hansen (1970) ve Vesic (1973,1975) analiz yöntemleri ile hesap edilen nihai taşıma gücü değerleri, diğer klasik yöntem sonuçlarına göre nispeten büyüktür. Ancak, yüksek plastiteli kil zeminlerde, içsel sürtünme açısının sıfır olması nedeniyle, elde edilen Hansen ve Vesic taşıma gücü değerleri, diğerlerinin yarısı mertebelerine inmektedir. Bunun nedeni, her iki formülde bulunan derinlik faktörlerinin etkisi olarak açıklanabilir.
- SPT sonuçları dikkate alınarak yapılan analiz sonuçlarına göre, görece düşük SPT-N değerlerinde Terzaghi ve Peck (1967) ile Meyerhof (1974) tarafından verilen nihai taşıma güçleri uyumluluk göstermektedir. Ancak, düzeltilmiş SPT-N değerleri 25'i aştığında iki sonuç arasında gözle görülür farklar oluşmaktadır.
- Sismik yöntemlerde Imai ve Yoshimura (1976) formüllerinden elde edilen taşıma gücü değerlerinin kendi içinde ve diğer yöntemlerle büyük farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bunun nedeni olarak, formülde nihai taşıma gücünün basınç dalgası hızının küpü ile orantılı olarak verilmesi gösterilebilir. Basınç dalgası hızlarını kullanarak taşıma gücü analizi yapan bir diğer yöntem olan Keçeli (1990) sonuçlarının, diğer sismik yöntemlere göre 2-3 kat yüksek mertebelerde değerler verdiği gözlenmektedir. Sismik dalga hızları ile hesabı gerçekleştirilen Türker (2003) ile Tezcan ve diğ. (2010) yöntemlerinde elde edilen sonuçların diğer yöntemlerle elde edilen nihai taşıma gücü değerlerine nispeten daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.
- Yöntemler arasında değerlendirme yapıldığında, klasik yöntemler ile Meyerhof SPT-N analizi arasında %71, Terzaghi ve Peck hesap yöntemi ile %31'lik bir uyum gözlemlenmektedir. Bowles metodu ile %15 seviyelerinde uyumluluk elde edilmiştir. SPT-N analiz yöntemleri kum zeminler için geliştirilmiş olsa da, diğer zemin tipleri içinde uyumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Klasik yöntemler ile SPT-N verilerine göre yapılan analizlerin grafiksel gösterimi Şekil 2'de verilmektedir.
- Klasik yöntemler ile hesaplanan nihai taşıma gücü değerlerinin, Imai ve Yoshimura ile %2, Keçeli ile %7.1, Türker ile %26, Tezcan ve diğ. ile %9.5 oranlarında uyum gösterdiği görülmüştür. Şekil 3'de klasik ve sismik yöntemler ile elde edilen nihai taşıma gücü değerleri toplu olarak gösterilmektedir.
- Presiyometre deney sonuçları ile Meyerhof SPT-N analiz yöntemi arasında %50 oranında uyum belirlenmiştir. Sismik yöntemlerle ise uyumlu sonuçlar sadece Keçeli yöntemiyle %42 oranında elde edilmiştir. Presiyometre, SPT ve sismik yöntemler kullanılarak elde edilen sonuçlar Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 2 : Klasik yöntemler ve SPT-N'e göre nihai taşıma gücü değerleri.



Şekil 3 : Klasik yöntemler ve sismik yöntemlere göre nihai taşıma gücü değerleri.



Şekil 4 : Presiyometre, SPT-N ve sismik yöntemlere göre nihai taşıma gücü değerleri.

3. SONUÇLAR

Bu değerlendirmeler sonucunda, klasik yöntemler ile arazide yapılan SPT ve Presiyometre deney sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Sismik yöntemlerin ise, bu yöntemler ile elde edilen sonuçlara göre daha büyük aralıklarda değişkenlik gösterdiğini söylemek mümkündür.

Yöntem bazında değerlendirme yapıldığı takdirde, seçilen temel tip ve boyutlarında, klasik yöntemlerin, içsel sürtünme açısı sıfırdan farklı değerler alması durumunda birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. İçsel sürtünme açısının olmadığı kohezyonlu zeminlerde, benzer temel tipleri için, Terzaghi ve Meyerhof yöntemleri ile hesaplama yapılmasının daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir. Ancak, yük eğim, temel sapma ve zemin eğim faktörlerini içeren Vesic ve Hansen formülleri ile daha detaylı nihai taşıma gücü analizi gerçekleştirilmenin mümkün olduğu da aşikârdır.

Klasik yöntemlerle hesaplanan nihai taşıma gücü değerlerinin, özellikle Meyerhof tarafından verilen SPT deney sonuçları analizi ile son derece uyumlu olduğu görülmektedir. Presiyometre verileri ile yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar da, Meyerhof SPT-N analizleriyle oldukça uyumludur. Bowles tarafından geliştirilen SPT-N analizi sonuçlarının ise, değerlendirilen temel boyut ve tipi için yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sismik yöntemler kullanılarak bulunan nihai taşıma güçlerinin, kendi içinde ve diğer metotlar kullanılarak elde edilen değerlerle yeterince uyumlu olmadığı görülmektedir. Sismik yöntemler içinde, laboratuvar ve arazi deney sonuçlarıyla analiz yapan yöntemlere en yakın sonuçları, kayma dalgası hızlarını kullanarak hesaplama yapan Türker'in geliştirdiği yöntem olduğu söylenebilir. Ancak, bu nihai taşıma gücü değerlerinin, dikkate alınan %10'luk uyumluluk değerlerinin çoğunlukla dışında kaldığı görülmektedir.

Bu sebeplerden dolayı, incelenen temel tipi ve boyutları için sismik yöntemlerle elde edilen nihai ve emniyetli taşıma gücü değerlerine göre yapısal analiz gerçekleştirmek yerine, bu verileri ön inceleme ve fizibilite aşamalarında değerlendirmek faydalı olacaktır. Buna ek olarak, jeofizik yöntemlerin geniş çaplı arazi incelemelerinde, geoteknik çalışmaları kolaylaştırmak ve maliyetleri düşürmek maksatlı kullanılmasının daha uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Bowles, J. E., 1996: Foundation Analysis and Design, 5th ed., The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Bozkurt, A., Kurtuluş, C., 2009: Jeofizik ve Geoteknik Metotlarla Mühendislik Uygulamaları: Yalova'da Arazi Uygulaması, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 8. Cilt, 2. Sayı, s. 1-14.
- Coduto, D. P., 2001: Foundation Design: Principles and Practise, Prentice-Hall Inc.
- Çinicioğlu, S. F., 2005: Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı, Seminer, IMO İstanbul Şubesi.
- Imai, T. and Yoshimura, M., 1976. *The Relation of Mechanical Properties of Soils to P and S Wave Velocities for Soil Ground in Japan*, Urana Research Institute, OYO corp.
- Keçeli, A., 1990. Sismik Yöntemlerle Müsade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, Jeofizik, 4, p. 83-92.
- Keçeli, A., 2000. Sismik Yöntemlerle Kabul Edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması, Jeofizik, 14, p. 61-72.
- McCarthy, D. F., 2007. Zemin mekaniğinin esasları ve temeller; temel geoteknik, 7. Baskı, OYTEV, İstanbul.
- Sieffert, J. G. and Bay-Gress C., 2000: Comparison of the European Bearing Capacity Calculation Methods For Shallow Foundation, Geotechnical Engineering, Institution of Civil Engineering, Vol. 143, p. 65-74.
- Terzaghi, K., 1947: Theoretical Soil Mechanics, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practise, Second ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Tezcan, S. S., Keçeli A. ve Özdemir, Z., 2010: Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Belirlenmesi, Tübav Bilim Dergisi, Cilt. 3, Sayı. 1, s. 1-10.
- Tezcan, S. S. and Özdemir, Z., 2011. A Refined Formula for Allowable Soil Pressure Using Shear Wave Velocities, The Open Civil Engineering Journal, 5, pp. 1-8.
- Turker, E., 2003. Computation of ground bearing capacity from shear wave velocity, 10th International Symposium on Continuum Models and Discrete Systems, NATO Advanced Research Workshop & Research Workshop of The Israel Science Foundation.
- Uzuner, B. A., 2000. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Vesic, A. S., 1967: A Study of Bearing Capacity of Deep Foundation, Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia.