

T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beste KOÇAK DİNÇ

(Y1313.090013)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. A. Metin GER

Nisan, 2017





T.C.  
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

**Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi**

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı Y1313.090013 numaralı öğrencisi Beste KOÇAK DİNÇ'in "ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 14.03.2017 tarih ve 2017/07 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından *cybr.k.f.* ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak *kabul* edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi :12/04/2017

1)Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ahmet Metin GER

*Ahmet Metin GER*

2) Jüri Üyesi : Doç. Dr. Müberra ESER AYDEMİR

*Müberra ESER AYDEMİR*

3) Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Ali ETEMADİ

*Ali ETEMADİ*

Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.



## **YEMİN METNİ**

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Zemin Taşıma Gücünün Belirlenmesi İçin Bir Yaklaşım ” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (12/04/2017..)

**Beste KOÇAK DİNÇ**





## **ÖNSÖZ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum bu çalışma, İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda hazırlanmıştır. Tez çalışmamda destek ve yardımını asla esirgemeyen, aktardığı bilgi ve deneyimleriyle çalışmamın her aşamasına katkıda bulunan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. A. Metin GER'e teşekkürü borç bilirim.

Lisansüstü eğitimim boyunca fikirleri ve görüşleri ile desteğini esirgemeyen, her türlü sorunlarımla ilgilenen ve çözüm bulan Sayın Doç. Dr. Müberra ESER AYDEMİR ve Yard. Doç. Dr. Cem AYDEMİR'e içten teşekkürlerimi sunarım. Destekleriyle her zaman yanımda olan İAU İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Ayrıca hayatımın her anında yanımda olan, bütün çalışmalarımda olduğu gibi yine maddi ve manevi hiçbir yardımdan kaçınmayan, desteklerini her an benimle birlikte hissettiğim çok kıymetli eşim Baykal Abdullah DİNÇ ve aileme şükranlarımı sunarım.

**Nisan, 2017**

**Beste KOCAK DİNÇ**

**(Jeofizik Mühendisi)**





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT .....	xix
<b>1 GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	2
1.3 Hipotez .....	5
<b>2 ZEMİN DAYANIM PAREMETRELERİNİN BELİRLENMESİ .....</b>	<b>7</b>
2.1 Laboratuvar Deneyleri.....	7
2.1.1 Kayma Mukavemeti Deneyleri .....	7
2.1.1.1 Üç Eksenli Basınç Deneyi.....	7
2.1.1.2 Kesme Kutusu Deneyi.....	8
2.1.1.3 Serbest Basınç Deneyi.....	9
<b>3 KURAMSAL BİLGİLER .....</b>	<b>11</b>
3.1 Terzaghi (1943) Taşıma Gücü Metodu .....	11
3.2 Meyerhof (1951) Taşıma Gücü Metodu.....	14
3.3 Brinch Hansen (1961) Taşıma Gücü Metodu.....	17
3.4 Vesic (1973) Taşıma Gücü Metodu .....	18
<b>4 ANALİTİK ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER... 19</b>	<b>19</b>
4.1 Temel Tipi .....	19
4.2 Yeraltı Suyu Derinlik Seviyesi.....	19
4.3 Zemin Tipi .....	20
<b>5 ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ İÇİN ÖRNEKLEME YAPILMASI VE TAŞIMA GÜCÜ BAĞINTISININ İYİLEŞTİRİLMESİ .....</b>	<b>23</b>
5.1 Zemin Taşıma Gücü İçin Örneklem Yapılması.....	24
5.2 Doğrusal olmayan Regresyon Analiziyle Taşıma Gücü Bağıntısı Katsayılarının Saptanması .....	25
<b>6 ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ BAĞINTILARININ DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRMALI İRDELENMESİ.....</b>	<b>31</b>
<b>7 SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>35</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>37</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>39</b>
EK 1.1 Duvar altı temel tipi.....	39
Ek 1.2 Tekil temel tipi .....	39
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>47</b>



## KISALTMALAR

<b>\$</b>	: Dolar
<b>CD</b>	: Konsolidasyonlu Drenajlı
<b>cot</b>	: Cotanjant
<b>CU</b>	: Konsolidasyonlu Drenajsız
<b>SPT</b>	: Standart Penetrasyon Deneyi
<b>SPTN</b>	: Düzeltilmiş Standart Penetrasyon Değeri
<b>tan</b>	: Tanjant
<b>RMSError</b>	: Ortalama Karesel Hatanın Karekökü
<b>USCS</b>	: Unified Soil Classification System
<b>UU</b>	: Konsolidasyonsuz Drenajsız
<b>Y.A.S</b>	: Yeraltı Su Seviyesi
<b>a<sub>1</sub>,a<sub>2</sub>,a<sub>3</sub></b>	: Taşıma gücü katsayıları
<b>B</b>	: Temel genişliği
<b>bx,by</b>	: Temel pabuç boyutları
<b>c</b>	: Kohezyon
<b>c<sub>u</sub></b>	: Direnajsız kayma direnci
<b>D, Df</b>	: Temel derinliği
<b>D<sub>i</sub></b>	: Deneysel taşıma gücü değerleri
<b>F</b>	: Sürtünme kuvveti
<b>K<sub>pY</sub></b>	: Pasif toprak basıncı katsayısı
<b>k<sub>1</sub>,k<sub>2</sub></b>	: Temel ebatlarına bağlı şekil faktörü
<b>L</b>	: Temel boyu
<b>n</b>	: Örnek sayısı
<b>N</b>	: Temel tabanında temel genişliği kadar derinlikteki SPT N değerinin ortalaması
<b>N<sub>c</sub>, N<sub>q</sub>, N<sub>y</sub></b>	: Taşıma gücü faktörleri
<b>P</b>	: Örtü basıncı, sürşarj yükü
<b>P<sub>i</sub></b>	: Öngörülen taşıma gücü değerleri
<b>P<sub>p</sub></b>	: Pasif kuvvet
<b>P<sub>o</sub></b>	: Efektif örtü basıncı
<b>s</b>	: Oturma
<b>V<sub>s</sub></b>	: Kayma dalga hızı
<b>q<sub>a</sub>, q<sub>d</sub></b>	: Güvenli taşıma gücü
<b>q<sub>u</sub></b>	: Tek eksenli basınç mukavemeti
<b>sc,sq,sy</b>	: Şekil faktörleri
<b>dc,dq,dy</b>	: Derinlik faktörleri
<b>ic,iq,iy</b>	: Eğim faktörleri
<b>bc,bq,by</b>	: Taban eğim faktörleri
<b>gc,gq,gy</b>	: Zemin eğim faktörleri
<b>Ø</b>	: İçsel sürtünme açısı
<b>Y</b>	: Birim hacim ağırlık
<b>Y<sub>n</sub></b>	: Doğal birim hacim ağırlık
<b>Y<sub>1</sub></b>	: Temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı

$\gamma_2$   
 $\gamma'$

: Temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı  
: Batık halde birim hacim ağırlık



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 3.1:</b> Terzaghi taşıma gücü faktörleri.....	13
<b>Çizelge 3.2:</b> Meyerhof taşıma gücü faktörleri .....	17
<b>Çizelge 5.1:</b> Bağımsız değişkenlerinin örneklenmesinde kullanılan sınır gözlemler	24
<b>Çizelge 6.1:</b> 21 adet deneysel taşıma gücü sonuçları, ampirik taşıma gücü bağıntılarından elde edilen sonuçlar ve önerilen bağıntı (5.3) taşıma gücü değerleri kıyaslaması.....	32





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Prandtl'ın plastik denge teorisinin şematik gösterimi .....	3
Şekil 1.2: Terzaghi taşıma gücü teorisi .....	3
Şekil 2.1: Üç eksenli deney sistemi .....	8
Şekil 2.2: Kesme kutusu deney sistemi .....	9
Şekil 3.1: Terzaghi'nin taşıma gücü modeli .....	11
Şekil 3.2: Meyerhof'un taşıma gücü modeli.....	15
Şekil 5.1: Örnekleme sayısının (5.2) bağıntı katsayılarına etkisi grafik gösterimi ...	26
Şekil 5.2: 32000 örnek için üretilen değer için önerilen bağıntı ve literatürde yer alan bağıntıların karşılaştırması grafik gösterimi .....	27
Şekil 5.3: Terzaghi zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması .....	28
Şekil 5.4: Meyerhof zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması .....	28
Şekil 5.5: Hansen zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması .....	29
Şekil 5.6: Vesic zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması .....	29
Şekil 6.1: 21 adet deneysel taşıma gücü değerinin, bağıntı (5.3) taşıma gücü değerleri ve diğer taşıma gücü ilişkisinin karşılaştırılması .....	33
Şekil 6.2: Önerilen ve diğer taşıma gücü bağıntıları için RMSE değerleri grafik gösterimi.....	34
Şekil Ek 1.1: Duvar altı temel tipi şematik gösterimi .....	39
Şekil Ek 1.3a: Tekil temel tipi .....	40
Şekil Ek 1.4b: Tekil temel tipi .....	41
Şekil Ek 1.3: Birleşik temel tipi .....	42
Şekil Ek 1.4: Bir doğrultuda sürekli temel tipi .....	43
Şekil Ek 1.5: İki doğrultuda sürekli temel tipi .....	44
Şekil Ek 1.6: Kirişsiz radye temel tipi .....	45
Şekil Ek 5: Kirişli radye temel tipi.....	46





## ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ İÇİN BİR YAKLAŞIM

### ÖZET

Bu çalışmada sığ temellerde taşıma gücünün saptanmasında yaygın kullanımı olan Terzaghi zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, sığ temellerin taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılan çeşitli taşıma gücü bağıntıları ve değişkenleri için geniş örneklemeler yapılarak, Terzaghi zemin taşıma gücü bağıntısına dayanan yeni bir bağıntı türetilmiştir.

Yedi bölümden oluşan tez çalışmasının birinci bölümünde literatür özeti sunularak, tezin amacı ve hipotezi açıklanmıştır.

İkinci bölümde analitik zemin taşıma gücünün saptanmasında kullanılan zemin dayanım parametreleri belirlenerek, üçüncü bölümde literatürde yaygın kullanılan çeşitli taşıma gücü bağıntıları tanıtılmış ve dördüncü bölümde ise analitik zemin taşıma gücünü etkileyecek faktörler açıklanmıştır.

Tezin beşinci bölümünde kalıp olarak Terzaghi tarafından önerilen bağıntı muhafaza edilmiş ancak sentetik olarak karakteristikleri belirlenen zemin örnekleri gözönünde bulundurularak Terzaghi kalıbında yer alan katsayılar doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemiyle değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda Terzaghi'nin bağıntısını temel teşkil eden yeni katsayılara sahip bir bağıntı önerilmiştir.

Altıncı bölümde önerilen bağıntının diğer analitik taşıma gücü bağıntıları ve deneysel taşıma gücü değerleri ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Son bölümde ise bu çalışma kapsamında ulaşılan sonuçlar vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Taşıma gücü, Terzaghi, Önerilen bağıntı*



## AN APPROACH FOR DETERMINING GROUND BEARING CAPACITY

### ABSTRACT

The aim of this study is the improvement of Terzaghi bearing capacity formula which is very common method to determine the bearing capacity in shallow foundations. For this purpose, many sampling has been done in very wide range for several formulas and variances that use to determine the bearing capacity in shallow foundations and a new formula is derived based on the Terzaghi bearing capacity formula with modification coefficients.

The summary of the literatures, the aim of the thesis and hypothesis are explained in the first chapter of the thesis.

The strength parameters of soils are defined in second chapter used for the determination of analytical bearing capacity. Various bearing capacity formulas are given in third chapter that use very common in literature. Following, the factors that affect the analytical bearing capacity are specified in fourth chapter.

In the fifth chapter of the thesis, the main formula that is recommended by Terzaghi keep as template however, the coefficients in Terzaghi template are evaluated with non-linear regression analysis method based on the soil samples that characteristic's determined in synthetic way. As a result of this evaluation, new formula is developed with new coefficients that are referred to Terzaghi template.

The proposed formula is compared with other analytical bearing capacity and experimental bearing capacity values in the sixth chapter.

In the last chapter, the conclusions of the study are emphasized.

**Keywords:** *Bearing capacity, Terzaghi, Suggested equation*



# 1 GİRİŞ

## 1.1 Tezin Amacı

Geoteknik mühendisliğinin ana amacı, yapıların üzerine inşa edileceği tabakaların, fiziksel ve mekanik olarak incelenmesidir. Bu tabakalar, kayaçların fiziksel ve kimyasal yollarla parçalanmasıyla meydana gelmektedir. Bileşiminde ise sedimen çökellerin, organik maddelerin, gevşek tutturulmamış tortul kayaçların birikiminin ve mikroskobik boyutta olan mineral parçacıklarının bulunduğundan söz edilebilir. Zeminler homojen olmadığından, karakteristik özellikleri oldukça değişkendir. Bu bünyesel değişkenlik zemin davranışını her mühendislik problemine göre ayrı ayrı ele almamıza sebep olmaktadır. Zeminlerin içindeki boşluk durumu, sıklık kavramı, bünyesinde bulunan su ile olan ilişkisi ve zeminlerin birbiriyle olan kimyasal ilişkisi de zemin mekaniğinin oldukça karmaşık ve anlaşılması zor bir durum olduğunun ispatı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu ve benzeri nedenle herhangi bir uygulamada zemini tanımlayabilmek için yapılan analizler derinlik ve koordinatsal olarak belirtilmektedir.

Yapıların inşa edileceği zeminler için çeşitli yöntemlerle zemin analizleri gerçekleştirilmektedir. Bu analizler içerisinde en önemli olanları taşıma gücü kavramı ile ilişkilendirilenlerdir. Sığ ve derin temellerin taşıma kapasitesi, göçmeye karşı duraylılığı ve sınır değerlerinin emniyetli ve maksimum değerinin tespiti zeminlerin dayanım ilkesine yani taşıma gücüne bağlıdır. Zeminlerin taşıma gücü birkaç farklı şekilde belirlenmektedir. En yaygın şekilde kullanılan taşıma gücü belirleme yöntemleri, arazi ve laboratuvar uygulamalarında geliştirilen bağıntılarla parametrik olarak tespitiye dayalı olan yöntemlerdir.

Bu çalışmada sığ temellerde taşıma gücünün saptanmasında yaygın kullanımı olan Terzaghi zemin taşıma gücü bağıntısının [1] geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, kalıp olarak Terzaghi tarafından önerilen bağıntı muhafaza edilmiş

ancak sentetik olarak karakteristikleri belirlenen zemin örnekleri gözönünde bulundurularak Terzaghi kalıbında yer alan katsayılar doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Terzaghinin bağıntısını temel teşkil eden yeni katsayılara sahip bir bağıntı önerilmiştir. Değerlendirmeler yapılırken sentetik veri tabanı büyüklüğünün etkisi de gözlenmiştir. Elde edilen yeni bağıntı literatürde kullanılması için önerilen bir dizi bağıntıyla ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

## 1.2 Literatür Araştırması

Zeminlerin taşıma gücü ile ilgili yapılan çalışmalar, 1800' lü yılların ortalarından başlayarak günümüze kadar etkin bir şekilde devam etmektedir. Bu çalışmalarda, farklı araştırmacılar tarafından farklı varsayımlara dayanan çeşitli bağıntılar türetilmiştir. Bu çalışmalardan ilki 1857 yılında Rankine [2] tarafından yürütülmüş olup, çalışmada taşıma gücünün temelin kenarındaki düşey düzlemde yatay gerilimin D derinliğindeki temelde zeminin temel basıncına eşit olduğu gösterilmiştir.

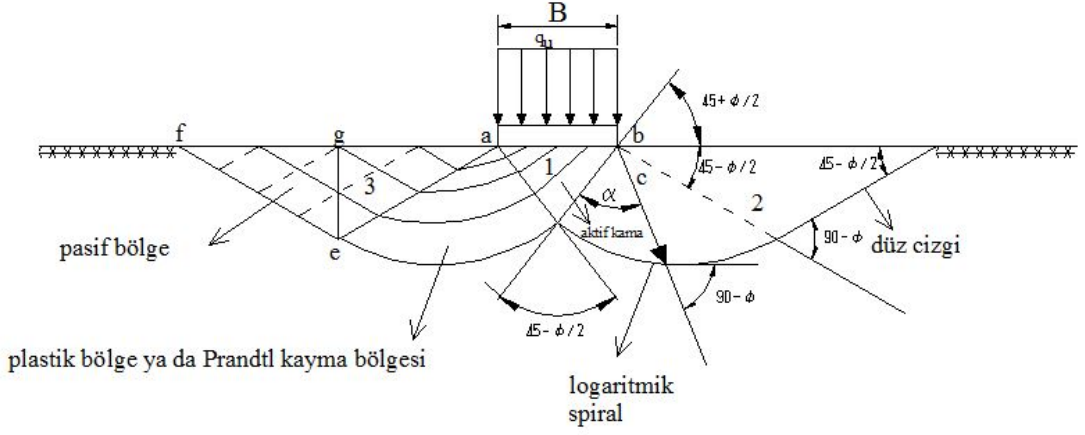
$$q = \gamma \cdot D \cdot \tan^4 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2} \right) + c \cdot \cot \emptyset \left[ \tan^4 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\emptyset}{2} \right) - 1 \right] \quad (1.1)$$

$\gamma$ ; birim hacim ağırlık,  $\emptyset$ ; içsel sürtünme açısı, c; kohezyon, D; derinliktir.

(1.1) bağıntısında temel boyutlarının etkisi dikkate alınmamakla birlikte, kohezyonlu zeminler için yüzeye oturan temellerde taşıma gücünün sıfır kabul edilmesi sebebiyle bağıntının tüm zemin türlerinde uygulanabilmesi mümkün olmamaktadır. Bu durum Myslivec ve Kysela [3]' nın yapmış olduğu çalışmalarda da vurgulanmıştır.

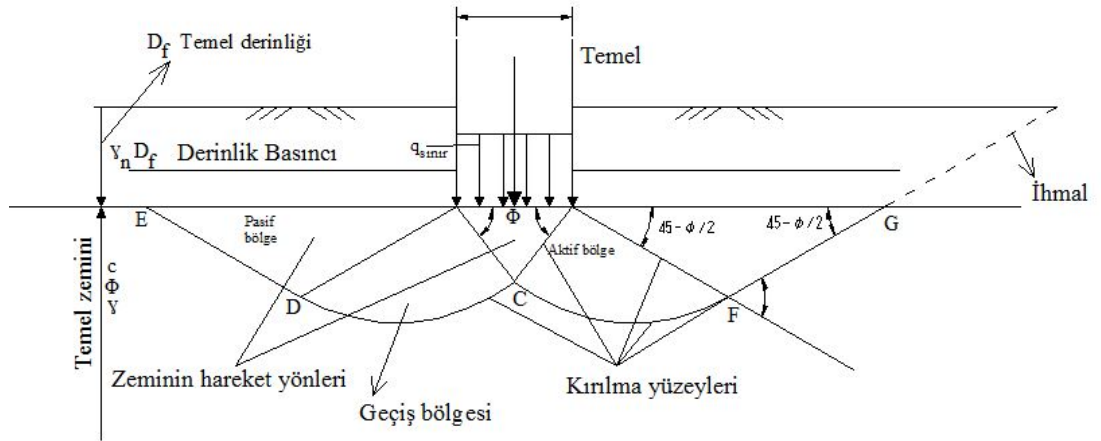
1920 yılında Prandtl [4] tarafından yürütülen çalışmada taşıma gücünün tanımı plastik denge kavramıyla yapılmıştır. Bu ifadeye göre araştırmacı zeminde oluşan kayma düzlemini üç ana bölüme ayırarak isimlendirmiştir. Bunlar; aktif kama (1), kama (2) ve pasif kama bölgeleridir (3) (Şekil 1.1). Aktif kama bölgesini temele etkileyen gerilmelerin bu bölgedeki zemine basınç yapması sonucu onu hareketlendirmesi ile oluştuğunu ifade etmiştir. Aktif kama bölgesindeki dinamik zeminin, kayma düzlemindeki zemini tetiklemesiyle kayma yenilmesi oluşmasına neden olduğunu belirlemiştir. Üçüncü bölüm olan

pasif kama bölgesindeki zemin kütlelerini ise kendi ağırlığı ile kayma bölgesindeki bölümün kaymasına engel olmaya çalışmasıyla açıklamıştır. Böylece taşıma kapasitesi tanımını yaparken zeminin üç bölgenin yenilmesini karşılayacak gerilme miktarı adıyla tanımlamıştır.



Şekil 1.1: Prandtl'in plastik denge teorisinin şematik gösterimi (Cernica, 1994) [5]

Prandtl ve Reissner [6] tarafından yürütülen çalışmaların Şekil 1.2 de görselleştirilmiş olan Terzaghi [7] çalışmasının temel kaynağını oluşturduğu tespit yapılmıştır. 1925 yılında Terzaghi [7] tarafından yapılan çalışma ile zemin özellikleri dikkate alınarak Prandtl [4] bağıntısıyla yüzeysel temeller için taşıma gücü teorisi türetilmiştir.



Şekil 1.2: Terzaghi taşıma gücü teorisi (Uzuner, 2000) [8]

Şekil 1.2' de kullanılan sembollerden

$c$ ; kohezyon,

$\gamma$ ; birim hacim ağırlık,

B; şerit temel genişliği,

$D_f$ ; temel derinliği,

$N_c, N_q, N_\gamma$ ; taşıma gücü faktörlerini temsil etmektedir. 1948 yılında Terzaghi ve Peck tarafından yürütülen çalışmalar ile aşağıda verilen (1.2) taşıma gücü ( $q_u$ ) bağıntısı türetilmiştir [9].

$$q_u = c \cdot N_c + 0,5 \cdot B \cdot \gamma \cdot N_q + P_o' \cdot (N_q - 1) + P \quad (1.2)$$

(1.2) bağıntısı üzerinde birçok araştırmacı tarafından çeşitli düzenlemeler gerçekleştirilmiştir. 1951 yılında Skempton [10] tarafından yürütülen çalışmada, temel seviyesine bağlı zemin ve zemin suyunun etkisiyle oluşan toplam örtü basıncı olan  $P$  ve efektif örtü basıncı  $P_o'$  katsayılarının kullanılmasıyla taşıma gücü olarak aşağıda verilen (1.3) bağıntısı türetilmiştir.

$$q_u = c \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \quad (1.3)$$

1965 yılında Meyerhof [11] tarafından yürütülen çalışmada, Terzaghi bağıntısının dikkate alındığı, SPT deneyi ile elde edilen SPT  $N$  değerinin hesaba katıldığı güvenli taşıma gücü bağıntıları önerilmiştir.

$$q_a = \frac{N_s}{2,14} \left[ \frac{B+0,3}{B} \right]^2 \quad (1.4)$$

$$q_a = \frac{N_s}{1,9} \quad B > 1,25 \text{ m} \quad (1.5)$$

$$q_a = \frac{N_s}{2,84} \quad B \leq 1,25 \text{ m} \quad (1.6)$$

Yukarıda yer alan bağıntılarda;

$q_a$ ;  $\text{kN/m}^3$  cinsinden güvenli taşıma gücünü,

$s$ ; oturmaya (mm),

$B$ ; temel genişliğini (m),

$N$ ; temel tabanında temel genişliği kadar derinlikteki SPT  $N$  değerinin ortalamasını temsil etmektedir.

Taşıma gücü kavramının ortaya çıkarılması sürecinden itibaren katkı sunan birçok araştırmacı tarafından benzer birçok bağıntı geliştirilmesine karşın



öncelikle tercih edilen yöntemin Terzaghi klasik yöntemi olduğu literatürde sıkça yer almaktadır.

Zemin taşıma gücünün belirlenebilmesi için farklı mühendislik disiplinlerinde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Jeofizik Mühendisliğinde arazide uygulanan jeofizik yöntemlerden biri olan sismik çalışmalar ile elde edilen  $V_s$  kayma dalga hızından türetilen bağıntılardan faydalanılmıştır. Katkı sunan çalışmalarda temel parametre olan  $V_s$  kayma dalga hızının, zeminin litolojik özelliğinin bir göstergesi olduğu ifade edilmiştir. Bu parametreye bağlı deneysel ve teorik taşıma gücü bağıntısı ortaya koyan çalışmalarda literatürde bulunmaktadır.

1975 yılında İmai ve Yoshimura [12] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda farklı zeminler için yapılmış araştırmalar ile tek eksenli basınç mukavemeti değerlerinin  $V_s$  kayma dalga hızları ile arasında doğrusal bir ilişki olduğunu aşağıda yer alan bağıntı (1.7) ile ifade edilmiştir.

$$V_s = 138,3 \cdot \bar{q}_u^{0,417} \quad (1.7)$$

### 1.3 Hipotez

Terzaghi taşıma gücü bağıntısı kalıbı temel alınarak sentetik olarak oluşturulan zemin örnekleri veri tabanına dayalı doğrusal olmayan regresyon analizi ile elde edilen kalıba ilişkin yeni katsayılarla belirlenen bağıntı aracılığı ile Terzaghi bağıntısı da dahil olmak üzere literatürde yer alan benzer bağıntılardan daha sağlıklı tahmin yapılabilecek şekilde ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak geliştirilebileceği gösterilebilir.



## **2 ZEMİN DAYANIM PAREMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Zeminlerin dayanımı incelendiğinde, düşey gerilmeler altındaki zeminlerin davranışını belirleyen özellikler anlaşılmalıdır. Taşıyıcı malzemenin maksimum yükleme şartıyla ortaya çıkan dayanma yapısı sınır noktaya kadar zemin tarafından karşılanır. Sınır noktalar aşıldığında ise gerilmeler sonucu zeminde göçme ve yenilmeye bağlı olan deformasyonlar meydana gelmektedir.

### **2.1 Laboratuvar Deneyleri**

Geoteknik Mühendisliğinde gerilme ve şekil değiştirme davranışını laboratuvar deneyleri ile tespit edilmesi mümkündür. Bu tip deneyler zeminden alınan numune ölçeğinde o noktadaki kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesini amaçlar. Zeminin bulunduğu koşula uygun yüklemeler yapıldığında ve uygun drenaj koşulları sağlandığında istenen parametrelerden olan zeminin kayma mukavemeti ve kohezyonu elde edilir. Genel olarak kayma mukavemetinin ölçümlerinde kullanılan laboratuvar deneyleri; serbest basınç, kesme kutusu, basit kesme ve üç eksenli basınç deneyleridir.

#### **2.1.1 Kayma Mukavemeti Deneyleri**

Zeminlerde yenilme durumunun ortaya çıkması için kayma düzlemi doğrultusu boyunca kayma mukavemetinin aşılması gerekmektedir. Kayma mukavemeti direnci ise laboratuvar ortamında çeşitli deneyler ile parametrik olarak tespit edilir.

##### **2.1.1.1 Üç Eksenli Basınç Deneyi**

Bu deney, zemin mekaniğinde kayma mukavemetinin laboratuvar ortamında deneysel olarak belirlenebilmesi için kullanılan deneylerdendir. Zemin mekaniği konusunda birçok çalışmayı gerçekleştiren A. Casagrande [13] 1930' lu yılların başında direkt kesme deneylerinde gözlemlediği dezavantajları elimine etmek için silindirik zemin örnekleri üzerinde basınç deneyleri gerçekleştirerek çeşitli araştırmalara başlamıştır.

Üç eksenli basınç deneyi, kesme kutusu deneyine göre çok daha karmaşık olmasına rağmen, laboratuvarlarda kayma direncinin belirlenmesinde kullanılan en gelişmiş deney yöntemi olarak bilinmektedir. Araştırmacılar tarafından daha çok tercih edilmesinin sebebi zeminin maruz kalmış olduğu koşulları üç eksenli basınç yöntemi ile laboratuvar ortamında birebir uygulayabilme olması ile açıklanabilir. Böylelikle kayma mukavemeti parametre değerleri gerçeğe yakın olarak belirlenebilir.



**Şekil 2.1:** Üç eksenli deney sistemi (İ.A.U. Zemin-Kaya Mekaniği Laboratuvarı)

### **2.1.1.2 Kesme Kutusu Deneyi**

Zeminlerin kayma mukavemetinin belirlenmesinde kullanılan önemli deneysel yöntemlerden biridir. Laboratuvar deneyleri ile zeminlerin kayma direncinin ölçümü ilk olarak 1846 yılında Fransız mühendis Alexandre Collin [14] tarafından yapılmıştır.

Collin tarafından yapılan kesme kutusu test cihazı modern zamanda çeşitli standartların geliştirilmesi ile bugünkü son halini almıştır. Tamamı bilgisayar tarafından kontrollü olarak her aşaması takip edilen ve kaydedilen cihaza ait görsel Şekil 2.2' de yer almaktadır. Dezavantajlarına rağmen kesme kutusu deneyi bilinen en eski ve günümüzde de çok yaygın olarak kullanılan laboratuvar mukavemet deney yöntemidir.



**Şekil 2.2:** Kesme kutusu deney sistemi (İ.A.U. Zemin-Kaya Mekanikği Laboratuvarı)

### 2.1.1.3 Serbest Basınç Deneyi

Kayma direncinin en basit yolla belirlenebilmesi için numuneye düşey basınç uygulayarak zeminin göçmesi sağlanır. Silindirik zemin numunesinin yalnızca aksenal doğrultuda yüklemeye tabii tutulması serbest basınç deneyi ile gerçekleştirilir. Bu deneyde, numuneye kırılma gerçekleşene kadar giderek artan aksenal yük uygulanır. Söz konusu deney oldukça hızlı ve pratik olarak sonuç verdiğinden kullanımı yaygındır. Drenajsız koşulların geçerli olduğu deneyde yük oldukça hızlı bir sürede uygulanır. Serbest basınç deneyinde aksenal yük artışları altında, numunenin boyunun kısalması yani aksenal şekil değiştirmesi ölçülmekte ve gerilme şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Aksenal gerilmenin maksimum değeri veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirme seviyesine karşılık gelen değeri zeminin serbest basınç direnci ( $q_u$ ) değerini verir.

Serbest basınç deneyi kendi ağırlığında ayakta duracak numunelere uygulanan bir deneydir. Bu nedenle kum ve silt içeriği fazla olan numunelere uygulanması genel durumda mümkün değildir ancak içeriğinde kil muhtevasının olması rijitliğini arttıracığından deneye izin verilebilir. Özellikle killi zeminler üzerinde uygulanabilen bir deney yöntemidir. İAU zemin kaya mekaniği laboratuvarında yer alan üç aksenli test cihazı (Şekil 2.1) aynı zamanda serbest basınç deneylerini de gerçekleştirmektedir.

Deney drenaj koşulları ihmal edilerek gerçekleştirildiğinden, yükleme oldukça hızlı bir şekilde gerçekleştirilir. Serbest basınç deneyi hızlı sonuç vermesi sebebiyle ve maliyet açısından oldukça düşük olması ile deneyin bir diğer avantajıdır. Serbest basınç deneyi ile drenajsız kayma direnci, olan  $c_u$ ;

$$c_u = \frac{q_u}{2} \quad (2.1)$$

bağıntısı ile bulunur. Bu denklemde “ $q_u$ ” zeminin serbest basınç direnci değeridir.

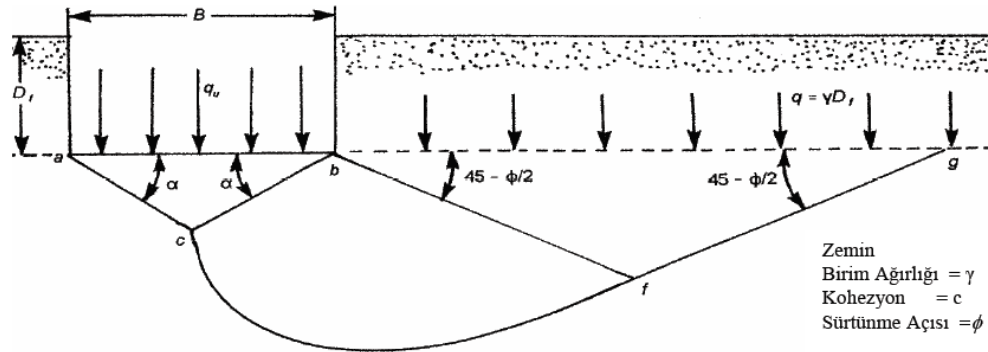


### 3 KURAMSAL BİLGİLER

#### 3.1 Terzaghi (1943) Taşıma Gücü Metodu

1943 yılında Terzaghi [1] tarafından yürütülen bir çalışmada, yüzeysel temelerde nihai taşıma gücü kuramını temel genişliği B, temel derinliği  $D_f$  olan sürekli bir temel üzerinde açıklamıştır. Şekil 3.1’ de görüldüğü üzere, temelin altındaki zemini üç ana zona ayırmıştır. Bunlar;

1. abc zonu; temelin hemen altındaki elastik bölgedir,  $\alpha=\phi$  ( $\phi$ =zeminin içsel sürtünme açısı)
2. bcf zonu; Prandtl’in radyal kayma zonu,
3. bfg zonu; Rankine pasif zonu.



Şekil 3.1: Terzaghi'nin taşıma gücü modeli (Arda, H. T., 2011' den alınmıştır.) [15]

Sonuç olarak Terzaghi' nin önerisi

$$q_u = k_1 c \cdot N_c + \gamma_1 D_f \cdot N_q + k_2 \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Taşıma gücü faktörleri

$$N_q = \frac{c^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \cdot \tan \phi}}{2 \cos^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (3.2)$$

$$N_c = \cot \phi \cdot (N_q - 1) \quad (3.3)$$

$$N_{\gamma} = \frac{1}{2} \cdot K_{p\gamma} \cdot \tan^2 \phi - \frac{\tan \phi}{2} \quad (3.4)$$

şeklinde tanımlanmış olup burada;

$K_{p\gamma}$ ; Pasif toprak basıncı katsayısı

$k_1, k_2$ ; temel geometri katsayıları

$\gamma_1$ ; temel tabanı üstündeki zeminin birim hacim ağırlığı

$\gamma_2$ ; temel tabanı altındaki zeminin birim hacim ağırlığı

$D_f$ ; temel derinliği

$B$ ; temel genişliğidir.

$\phi$  açısının değişen değerleri için taşıma gücü faktörlerinin aldığı değerler

Çizelge 3.1' de verilmiştir.



**Çizelge 3.1:** Terzaghi taşıma gücü faktörleri (Terzaghi, 1943) [1]

$\emptyset$	Nc	Nq	N $\gamma$	$\emptyset$	Nc	Nq	N $\gamma$
0	5.70	1	0	26	27.09	14.21	9.84
1	6	1.1	0.01	27	29.24	15.9	11.6
2	6.3	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.7
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.1	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.2	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2	0.27	33	48.09	32.23	31.94
8	8.6	2.21	0.35	34	52.64	36.5	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.8	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.5	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.6	5.45	2.18	43	134.58	126.5	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.6
19	16.57	6.7	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.8	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.87
23	21.75	10.23	6	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.4	7.08	50	347.5	415.14	1072.8
25	25.13	12.72	8.34				

Terzaghi [1]' nin yaklaşımında yaptığı temel kabuller;

1. Zemin homojen, izotrop ve ağırlıksızdır.
2. Temel aksenal ve dikey yönde yüklüdür.
3. Zemin tabakaları yataydır.
4. Y.A.S. çok aşağılardadır, temel tabanından çok uzaktadır.
5. Zemin c ve  $\phi$  değerlerine sahiptir.
6. Temel rijit ve sürtünmelidir.
7. Problem iki boyutludur.

olarak sıralanabilir.

Terzaghi [1] sürekli temeller için geliştirdiği (3.1) bağıntısını, farklı temel türlerine göre yeniden düzenleyerek ((3.5)-(3.6)-(3.7)) bağıntılarını elde etmiştir.

**Kare temel için;**

$$q_u = 1,3.c.N_c + q.N_q + 0,4.\gamma.B.N_\gamma \quad (3.5)$$

**Dairesel temel için;**

$$q_u = 1,3.c.N_c + q.N_q + 0,3.\gamma.B.N_\gamma \quad (3.6)$$

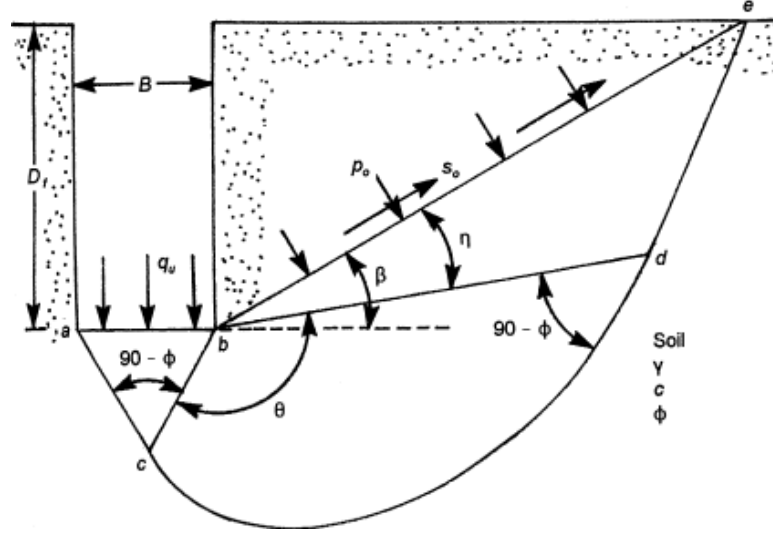
**Dikdörtgen temel için;**

$$q_u = 1,3.c.N_c \cdot \left(1 + 0,3 \frac{B}{L}\right) + \gamma.D_f.N_q + \frac{1}{2}.\gamma.B.N_\gamma \cdot \left(1 - 0,2 \frac{B}{L}\right) \quad (3.7)$$

### 3.2 Meyerhof (1951) Taşıma Gücü Metodu

Meyerhof [16] tarafından 1951'de yayınlanan taşıma gücü teorisi, Terzaghi'nin önerdiği yaklaşımdan farklıdır.

Meyerhof taşıma gücü hesap yönteminde Terzaghi' den farklı olarak temel üstünde kalan zeminde de kaymanın gerçekleştiği kabul edilmiştir. Meyerhof'un taşıma gücü modeli Şekil 3.2' da sunulmuştur [17].



**Şekil 3.2:** Meyerhof' un taşıma gücü modeli (Das, 1999) [18]

Meyerhof [16]' nin yaklaşımında Terzaghi' nin kabullerine ek olarak yaptığı kabuller;

1. Temel taban seviyesinin üstündeki zeminde kayma gerçekleşir.
2. Logaritmik kayma yüzeyi zemin yüzeyine kadar devam etmektedir.
3. Temel temelin düşey yüklerin yanısıra yatay yüklerin de etkisinde olduğu durumlar için yük eğim faktörlerini içerir.

olarak sıralanabilir.

Meyerhof nihai taşıma gücü bağıntısı ifadeye eklediği şekil, derinlik ve eğim faktörlerini eklemiş olup nihai taşıma gücü bağıntısı şu şekilde özetlemiştir.

$$q_u = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (3.8)$$

### Şekil faktörleri

$$S_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{B}{L} \cdot \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (3.9)$$

$$S_q = S_\gamma = 1 + 0,1 \cdot \frac{B}{L} \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad \phi > 10 \text{ için} \quad (3.10)$$

$$S_q = S_\gamma = 1 \quad \phi = 0 \text{ için} \quad (3.11)$$

$s_c, s_q, s_\gamma$ ; şekil faktörleri

### Derinlik faktörleri

$$d_c = 1 + 0,2 \cdot \frac{D_f}{L} \cdot \tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) \quad (3.12)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0,1 \cdot \frac{D_f}{L} \tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) \quad \phi \geq 10 \text{ için} \quad (3.13)$$

$$d_q = d_\gamma = 1 \quad \phi = 0 \text{ için} \quad (3.14)$$

$d_c$ ,  $d_q$ ,  $d_\gamma$ ; derinlik faktörleri

### Eğim faktörleri

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\beta^0}{90}\right)^2 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{\beta}{\phi}\right)^2 \quad (3.15)$$

$\beta$ ; bileşke yükün yaptığı açı

$i_c$ ,  $i_q$ ,  $i_\gamma$ ; eğim faktörleri

$\phi$  açısının değişen değerleri için taşıma gücü faktörlerinin aldığı değerler Çizelge 3.2' de verilmiştir.

**Çizelge 3.2:** Meyerhof taşıma gücü faktörleri [15]

$\emptyset$	Nc	Nq	N $\gamma$	$\emptyset$	Nc	Nq	N $\gamma$
0	5.14	1	0	26	22.25	11.85	8
1	5.38	1.09	0.002	27	23.94	13.2	9.46
2	5.63	1.2	0.01	28	25.8	14.72	11.19
3	5.9	1.31	0.02	29	27.86	16.44	13.24
4	6.19	1.43	0.04	30	30.14	18.4	15.67
5	6.49	1.57	0.07	31	32.67	20.63	18.56
6	6.81	1.72	0.11	32	35.49	23.18	22.02
7	7.16	1.88	0.15	33	38.64	26.09	26.17
8	7.53	2.06	0.21	34	42.16	29.44	31.15
9	7.92	2.25	0.28	35	46.12	33.3	37.15
10	8.35	2.47	0.37	36	50.59	37.75	44.43
11	8.8	2.71	0.47	37	55.63	42.92	53.27
12	9.28	2.97	0.6	38	61.35	48.93	64.07
13	9.81	3.26	0.74	39	67.87	55.96	77.33
14	10.37	3.59	0.92	40	75.31	64.2	93.69
15	10.98	3.94	1.13	41	83.86	73.9	113.99
16	11.63	4.34	1.38	42	93.71	85.38	139.32

### 3.3 Brinch Hansen (1961) Taşıma Gücü Metodu

Brinch Hansen [17] tarafından yürütülen çalışmalar, Meyerhof [15]' un yapmış olduğu taşıma gücü çalışmalarının devamı niteliğindedir. Hansen tarafından önerilen taşıma gücü faktörlerinden Nc ve Nq değerleri Meyerhof taşıma gücü faktör değerleri ile aynı olup N $\gamma$  değeri farklıdır.

Hansen [18] önceki çalışmalara ek olarak aşağıdaki kabulleri yapmıştır.

1. Dairesel temeller için temel B çapıdır,
2. Kohezyonsuz zeminlerde düzlemsel gerilme halindeki koşullarda eğer  $\emptyset$  için herhangi bir düzeltme yapılmaz ise bu bağıntı güvenilir sonuçlar vermektedir,

Brinch Hansen nihai taşıma gücü bağıntısını şu şekilde düzenlemiştir. [18]

$$q_u = c \cdot N_c \cdot (s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot (s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q) + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma)$$

(3.16)

Eğer arazi yüzeyi yatay ise bağıntı;

$$q_u = -c \cdot \cot \emptyset + (\gamma \cdot D_f + c \cdot \cot \emptyset) N_q \cdot (s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q) + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma) \quad (3.17)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

### 3.4 Vesic (1973) Taşıma Gücü Metodu

1973 yılında Vesic [20] tarafından önerilen bağıntı Hansen tarafından önerilen bağıntı ile aynı olup bağıntının içeriğinde yer alan taşıma gücü katsayılarında bir farklılık gözlenmektedir.

Vesic [20]' in yaklaşımında yaptığı kabuller;

1. Büyük ölçüde Hansen [18] tarafından benimsenen kabuller geçerlidir.
2. Hansen[18]' in aksine taşıma gücü hesaplamalarında, eksantrisite etkisini dikkate almayarak, temel boyutlarını olduğu gibi kabul etmektedir.

Olarak sıralanabilir.

Vesic [20] tarafından önerilen bağıntı (3.18) ile ifade edilmiştir.

$$q_u = c \cdot N_c \cdot (s_s \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c) + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot (s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q) + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot (s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot b_\gamma \cdot g_\gamma) \quad (3.18)$$

## **4 ANALİTİK ZEMİN TAŞIMA GÜCÜNÜ ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Zemin taşıma gücünün analitik hesabındaki etkin faktörler temel tipi, yeraltı suyu derinlik seviyesi ve zemin tipi olup bunlarla ilgili detaylı bilgi aşağıda sunulmuştur.

### **4.1 Temel Tipi**

Mühendislik yapıların inşasında, temel ve temel tipleri çok önemli bir yere sahip olup bugüne kadar farklı araştırmacılar tarafından tanıtılmış ve tartışılmıştır. 1987 yılında Köseoğlu [21] tarafından yürütülen çalışmalarda yapı temeli, üzerindeki yapıdan gelen yükleri, kendi ağırlığı ile birlikte güvenlikle taşıyan ve bu yükleri yapıya zarar vermeyecek ölçüdeki oturmalarla taşıyıcı ortama aktaran yapı düzenekleri olarak ifade edilmiştir.

2001 yılında Ulusay [22] tarafından yürütülen çalışmalarda temeli tanımlarken, kaya veya zemin üzerine inşa edilen mühendislik yapılarını taşıyan ve yapı yüklerini zemine veya kayaya aktaran yapı elemanları olarak tanımlamıştır.

2011 yılında yapılan çalışmalarla Ersoy, temel boyutlandırılırken, zeminin taşıma kapasitesini ölçü olarak bu taşıma ölçüsünün aşılmasına özen gösterilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Bu çalışmada hedeflenen taşıma gücü bağıntısı oluşturulurken, karşılaştırmalarda kullanılan temel tipine bağlı bağıntılar içindeki kat sayılarının etkisini tanımlayan temel tipleri EK 1' de açıklanmıştır.

### **4.2 Yeraltı Suyu Derinlik Seviyesi**

Zemin türlerinde taşıma gücünü hesaplayabilmek için saha koşullarının sahip olduğu doğal etkilerin de bilinmesi gerekmektedir. Beklenen en büyük doğal etkiler hidrolojik ve hidrojeolojik unsurlardır. Daha kapsamlı dikkate alınırsa öncelikli olarak zemin sondaj kuyularında ölçülen yeraltı su düzeyi derinlik

analizleri yapılmalı ve ardından bölgenin sahip olduğu litolojik birimlerin karakterlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Bu bölüm kapsamında da yeraltı su seviyesinin temel derinliği seviyesinin üstünde veya altında kaldığı sınır durumların incelemesi yapılmıştır. Yeraltı suyu varlığı tüm zemin türleri için temel derinliği taban seviyesinde veya temelin üstünde olması durumunda nihai taşıma gücü değerini etkilediği tespit edilmiştir.

Genel yaklaşım olarak, literatürde bulunan taşıma gücü denklemleri ele alınarak tahkik yapılmıştır. Öncelikli seçim olan zemin türlerine bakıldığında kohezyonsuz zeminlerde yeraltı su seviyesi varlığı söz konusu ise bu tür zeminler için kumun doymuş hale gelmesinin sürtünme açısı üzerinde fazla etkisi yoktur, yani  $\phi = \phi'$  alınabilir. Fakat yeraltı suyunun yüzdürme etkisi yani sıfır sürtünme ile zeminin mukavemetini azaltacağı bilinmektedir. Kohezyonlu zemin türlerinde ise doymuşluk derecesi yüksek olduğundan elde edilen sürtünme açısının herhangi bir dönüşümü yoktur. Bu koşula bağlı olarak sürtünme açısının ( $\phi$ ) fonksiyonu olan boyutsuz taşıma gücü katsayıları ( $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ ) denklem içerisinde uygun değerleri alacak şekilde kullanılmaktadır.

Su altındaki birim hacim ağırlık ( $\gamma'$ ) temelin batık halini yani serbest yeraltı suyu altındaki zemin durumunu ifade etmektedir. Bu durum ise Terzaghi taşıma gücü denkleminde yer alan ikinci terimin ( $\gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q$ ) genel biçimini değiştirmektedir. Yeraltı suyu etkisini denklem içinde hesaba katmak için ikinci terimdeki  $\gamma$  değerinin  $\gamma'$  ( $\gamma' = \gamma_{\text{doymuş}} - \gamma_w$ ) ile değiştirilmesi yeterli olacaktır.

İkinci bir durum olarak ise yeraltı su seviyesinin temel derinliği seviyesinin altında olması durumudur. Eğer yer altı su seviyesi, temel tabanından itibaren B (temel tabanı en dar kenarı veya temel çapı) kadar veya daha fazla aşağıda ise taşıma gücü bağıntısında üçüncü ( $k_2 \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma$ ) terimde doğal birim hacim ağırlığı kullanılır.

### 4.3 Zemin Tipi

Zeminler, temel kaya üzerindeki mineraller ile organik maddelerin bir araya gelerek oluşturduğu gevşek kütlelerdir. Bu karmaşıklık sebebiyle zemin kütlesi her bir noktada birbirinden bağımsız özellik gösterir ve farklı zeminlerin



oluşumunu sağlar. Bu çeşitlilikten doğarak, kendi içerisinde iri ve ince tane boyutuna sahip olan zeminler olarak ilk genel ayrımı oluşturur; çakıllar ve kumlar iri taneli, silt ve kil ise ince taneli zeminler grubuna dahildir. Kumlu ve çakıllı birimlerin taneleri arasında bağlayıcılık veya tutuculuk özelliği yoktur, aralarındaki etkileşimleri kontrolsüzdür. İnce taneli zeminler ise plastisitesi ve kohezyonluklarına göre kendi arasında ayrılmaktadır. İnce taneli zeminler için yeraltı suyu içeriğine bağlı olarak zemin davranışı dağınık halinden uzak, kıvam alabilir, farklı likitlik indislerinde tanımlanır. Kohezyonlu zeminlerin kıvamlılığını değiştiren yeraltı suyu varlığı taşıma gücünü de değiştirmektedir.

Bu çalışması içeriğinde ele alınan taşıma gücü hesapları ince taneli malzemeler için geçerli olup sadece killer ve siltlerin, ince taneli kumların oluşturduğu granüle zeminlerin mühendislik tahkikleri yapılmıştır. Sonuçta önerilen bağıntının bu nedenle sadece belirtilen zemin özellikleri için geçerli olacaktır. Yapılan hesap analizlerinde gerçek deney sonuçlarının karşılaştırıldığı tüm zeminler için zemin sınıflanmasına yönelik deneyler yapılmıştır. Zeminler için yapılan deneylerde sınıflandırma sistemleri içinden günümüzde yaygın olarak kullanılan (Unified Soil Classification System - USCS) Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi kullanılmıştır.



## 5 ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ İÇİN ÖRNEKLEME YAPILMASI VE TAŞIMA GÜCÜ BAĞINTISININ İYİLEŞTİRİLMESİ

Temellerin taşıma gücü zeminin birim hacim ağırlığına, kayma mukavemetine ve deformasyon özelliklerine, zeminin arazideki gerilme durumuna, hidrolik şartlara, temelin derinlik, büyüklük, taban şekli ve pürüzlülüğü gibi geometrik özelliklerine, temele uygulanan yük değerlerine ve inşaat metodlarına gibi birçok parametreye göre değişim gösterebilmektedir [23]. Literatürde zemin taşıma gücünün saptanmasına yönelik deneysel verilere dayanan birçok bağıntı türetilmiştir [1, 11, 17, 20]. Bu bağıntılardan en yaygın kullanılan Terzaghi taşıma gücü [1] (3.1) bağıntısıyla tanımlanmaktadır. Terzaghi bağıntısının eldesinde yapılan kabuller gerekse de ihmal edilen etkenler (temel biçim değişikliği veya eğik yükleme vb.) nedeniyle hesaplanan analitik zemin taşıma gücü büyüklüğünde önemli sapmalar olabilmektedir.

$$q_d = (k_1 \cdot c \cdot N_c) + (g_1 \cdot D_f \cdot N_q) + (k_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot g_2) \quad (5.1)$$

(5.1) bağıntısındaki  $k_1$  ve  $k_2$  temel şekil katsayıları,  $c$  kohezon katsayısı,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\gamma$ , taşıma gücü faktörleri,  $g_1$  temel taban düzeyindeki düşey efektif gerilme,  $D_f$  temel derinliği,  $B$  temel genişliği ve  $g_2$  ise zeminin birim hacim ağırlığını göstermektedir. Denklemden görüleceği üzere bağıntıdaki ilk çarpım kohezyonun ( $c$ ) zemin taşıma gücüne katkısını, ikincisi temel üzerindeki sürsaj yükünün taşıma gücüne etkisini ve üçüncüsü ise zemin içsel sürtünmesinin taşıma gücüne katkısı olarak açıklanabilir.

Daha öncede belirtildiği üzere, çalışmada sığ temeller için taşıma gücünün saptanmasında yaygın kullanımı olan (5.1) bağıntısıyla verilen Terzaghi zemin taşıma gücünün geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bağıntının geliştirilmesi  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  geliştirme katsayıları ile tanımlanacak olup geliştirilen bağıntı

$$q_d = a_1(k_1 \cdot c \cdot N_c) + a_2(g_1 \cdot D_f \cdot N_q) + a_3(k_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot g_2) \quad (5.2)$$

olarak ifade edilecektir.

Bu amaca yönelik olarak zemin taşıma gücü için veri örneklemelerinin oluşturulması ve bu örneklemeden elde edilen verilere göre doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak belirlenecektir. Doğrusal olmayan regresyon analizi ile birden fazla değişkenin olduğu bağıntıların analizinin yapılması tasarlanmıştır.

### 5.1 Zemin Taşıma Gücü İçin Örneklemeye Yapılması

Bu çalışmada öncelikle Terzaghi' nin yaptığı kabuller çerçevesinde yer alan bağımsız değişkenler kullanılarak bir sentetik zemin örneklem veri tabanı oluşturulmuştur. Söz konusu veri tabanının oluşturulmasında kullanılan değişkenler ve rasgele atamalarla oluşturulacak değerleri için değer aralıkları (sınır değerleri) Çizelge 5.1' de listelenmiştir.

**Çizelge 5.1:** Bağımsız değişkenlerinin örnekleme sürecinde kullanılan sınır gözlemler

Değişken	B	L	D <sub>f</sub>	D <sub>w</sub>	G <sub>k</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	c	Φ
<i>Minimum gözlem değeri</i>	0.5	0.5	0	0	0	16	16	0	0
<i>Maksimum gözlem değeri</i>	10	20	5	5	3	20	20	100	50

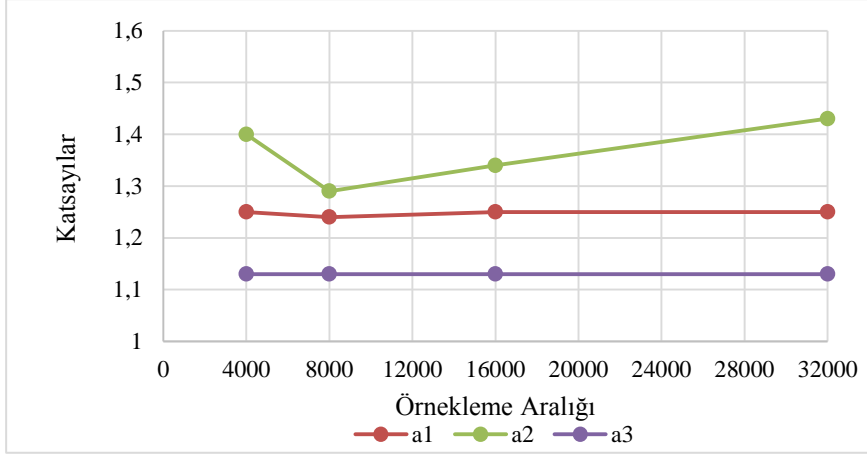
Zemin taşıma gücü veri örnekleme sürecinde bağımsız ve bağımlı değişkenlere göre zemin taşıma güçlerinin eldesinde Bölüm 3' de bahsedilen 4 ayrı araştırmacının taşıma gücü bağıntıları [1, 11, 17, 20] kullanılmıştır. Bir başka ifade ile örneklemede elde edilecek zemin taşıma gücü sayısı, minimum ve maksimum gözlem aralığında belirli bir sayıda türetilen bağımsız veri sayısının 4 katı olacaktır. Ayrıca örnekleme aşamasında örnek sayısındaki değişkenliğin sonuçlara etkisinin gözlenmesi amacıyla 1000, 2000, 4000, 8000, 16000 ve 32000 olmak üzere 6 farklı örnekleme sayısı kullanılmıştır.

## 5.2 Doğrusal olmayan Regresyon Analiziyle Taşıma Gücü Bağıntısı Katsayılarının Saptanması

Terzaghi zemin taşıma gücü modeli ve bağıntısı esas alınarak,  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  katsayıları ile geliştirilmesi hedeflenen taşıma gücü bağıntısı (5.2) bağıntısı ile verilmiştir.

$$q_d = a_1 \cdot (k_1 \cdot c \cdot N_c) + a_2 \cdot (g_1 \cdot D_f \cdot N_q) + a_3 \cdot (k_2 \cdot N_\gamma \cdot B \cdot g_2) \quad (5.2)$$

(5.2) bağıntısında yer alan  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  geliştirme katsayılarının beklenen değerlerinin eldesinde Statistica [24] programı ile doğrusal olmayan regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Örnekleme sayısının belirlenmesi amacıyla veri tabanının 4000, 8000, 16000 ve 32000 örnekten oluşması durumları için bağıntı katsayılarının beklenen değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.1' de özetlenmiştir. Şekilden de görüleceği üzere (5.2) bağıntısındaki zemin taşıma gücü ifadesinde yer alan  $a_1$  (kohezyonun zemin taşıma gücüne katkısına yönelik çarpan) ve  $a_3$  (zemin içsel sürtünmesinin taşıma gücüne katkısına yönelik çarpan) katsayıları örnekleme sayısından etkilenmezken,  $a_2$  katsayısının (temel üzerindeki sürsaj yükünün taşıma gücüne etkisine yönelik çarpan) örnekleme sayısından etkilendiği söylenebilir.



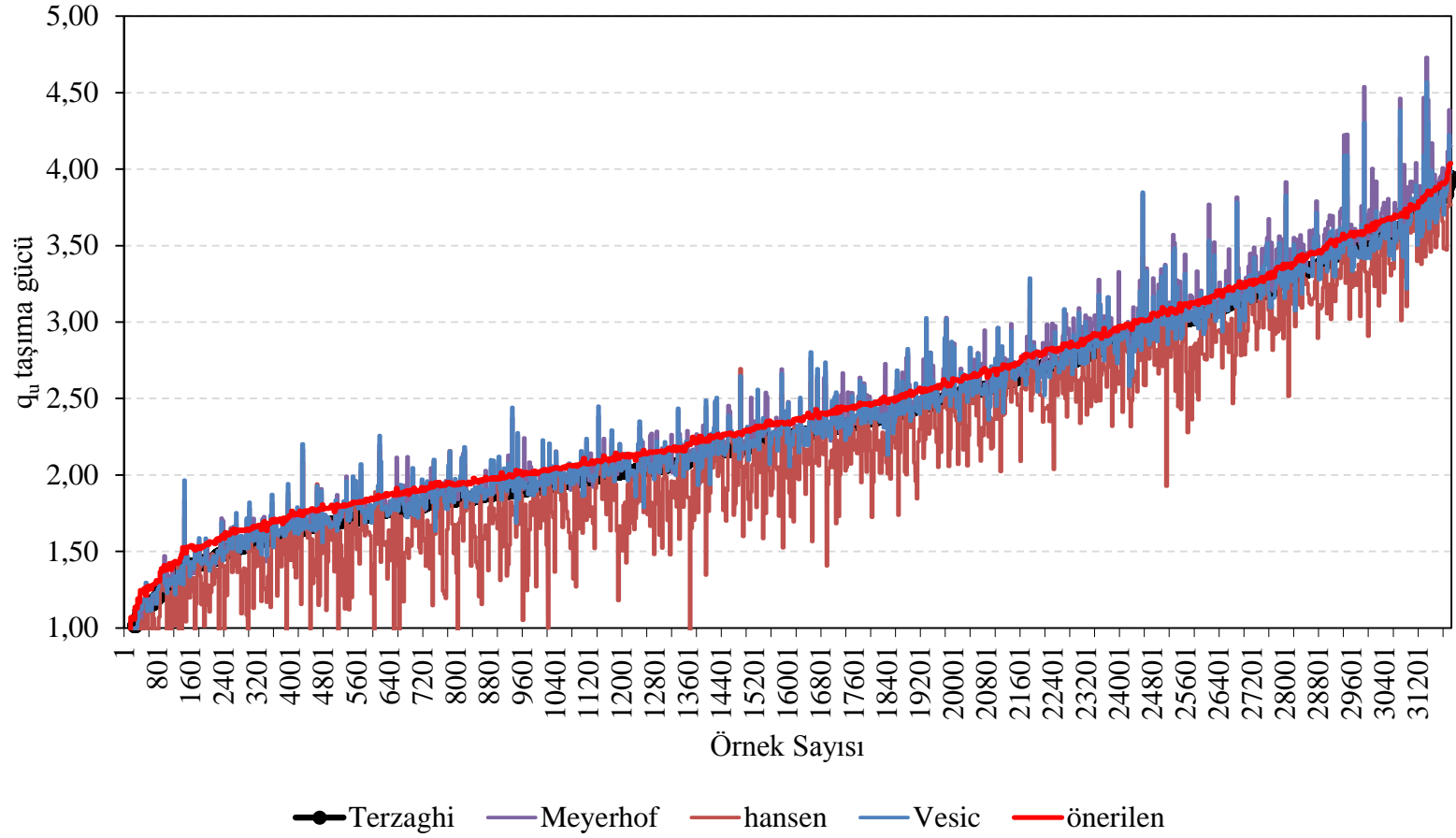
**Şekil 5.1:** Örnekleme sayısının (5.2) bağıntı katsayılarına etkisi grafik gösterimi

Buna göre geliştirilen bağıntının son hali

$$q_d = 1,25. (k_1. c. N_c) + 1,43. (g_1. D_f \times N_q) + 1,13. (k_2. N_y. B. g_2) \quad (5.3)$$

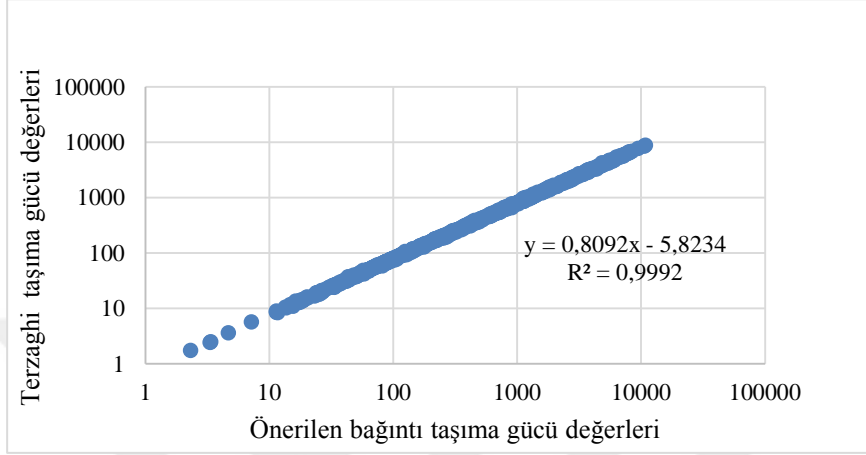
bağıntısı ile verilmiştir.

Bağıntı katsayılarının oluşturulmasında kullanılan 32000 örneklemeden elde edilen değerler için önerilen bağıntı ve literatürde yer alan taşıma gücü bağıntıları dikkate alınarak taşıma gücü sonuçları karşılaştırması yapılmış ve Şekil 5.2’ de grafik olarak sunulmuştur. Karşılaştırılmaların daha kolay incelenebilmesi amacıyla taşıma gücü değerleri logaritmik olarak sıralı şekilde gösterilmiştir. Şekil 5.2’ de görüldüğü üzere önerilen bağıntı, diğer taşıma gücü bağıntıları ile kıyaslandığında diğer bağıntılar ile bulunan taşıma gücü değerlerindeki saçınım oldukça belirgin iken, önerilen bağıntı ile bulunan sonuçların daha düzenli olduğu gözlenmektedir.

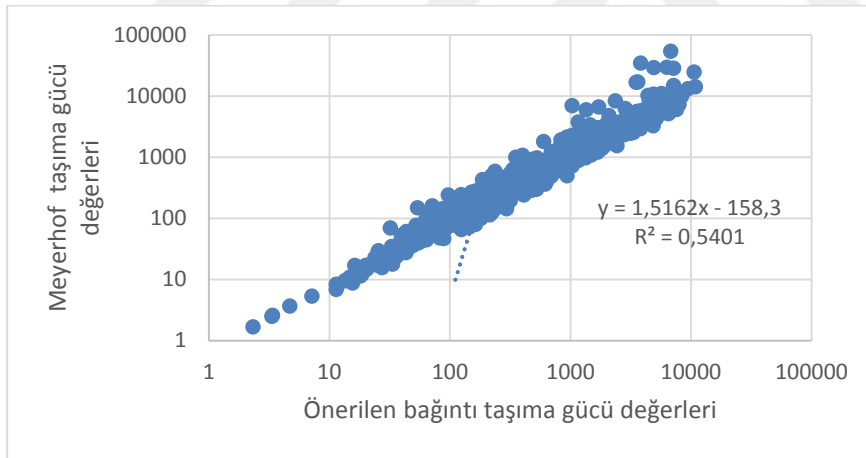


**Şekil 5.2:** 32000 örnek için üretilen değer için önerilen bağıntı ve literatürde yer alan bağıntıların karşılaştırması grafik gösterimi

Terzaghi bağıntısıyla hesaplanan taşıma gücü değerleri ile önerilen bağıntıyla elde edilen zemin taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması, logaritmik ölçekli olarak Şekil 5.3’ de gösterilmiştir. Benzer karşılaştırma Meyerhof taşıma gücü bağıntısı ile Şekil 5.4’ de, Hansen taşıma gücü bağıntısı ile Şekil 5.5’ de ve son olarak Vesic taşıma gücü bağıntısı ile Şekil 5.6’ de verilmiştir.

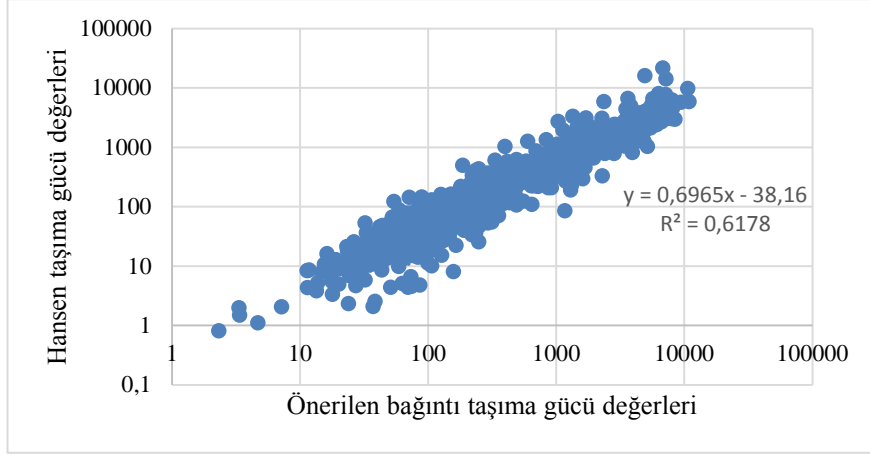


**Şekil 5.3:** Terzaghi zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması

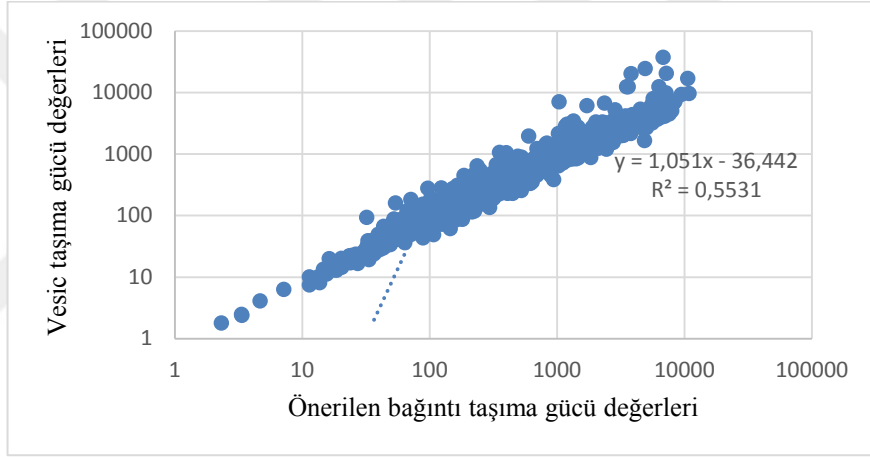


**Şekil 5.4:** Meyerhof zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması





**Şekil 5.5:** Hansen zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması



**Şekil 5.6:** Vesic zemin taşıma gücü bağıntısının geliştirilen bağıntıdan elde edilen zemin taşıma güçleriyle karşılaştırılması



## 6 ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ BAĞINTILARININ DENEYSEL SONUÇLARLA KARŞILAŞTIRMALI İRDELENMESİ

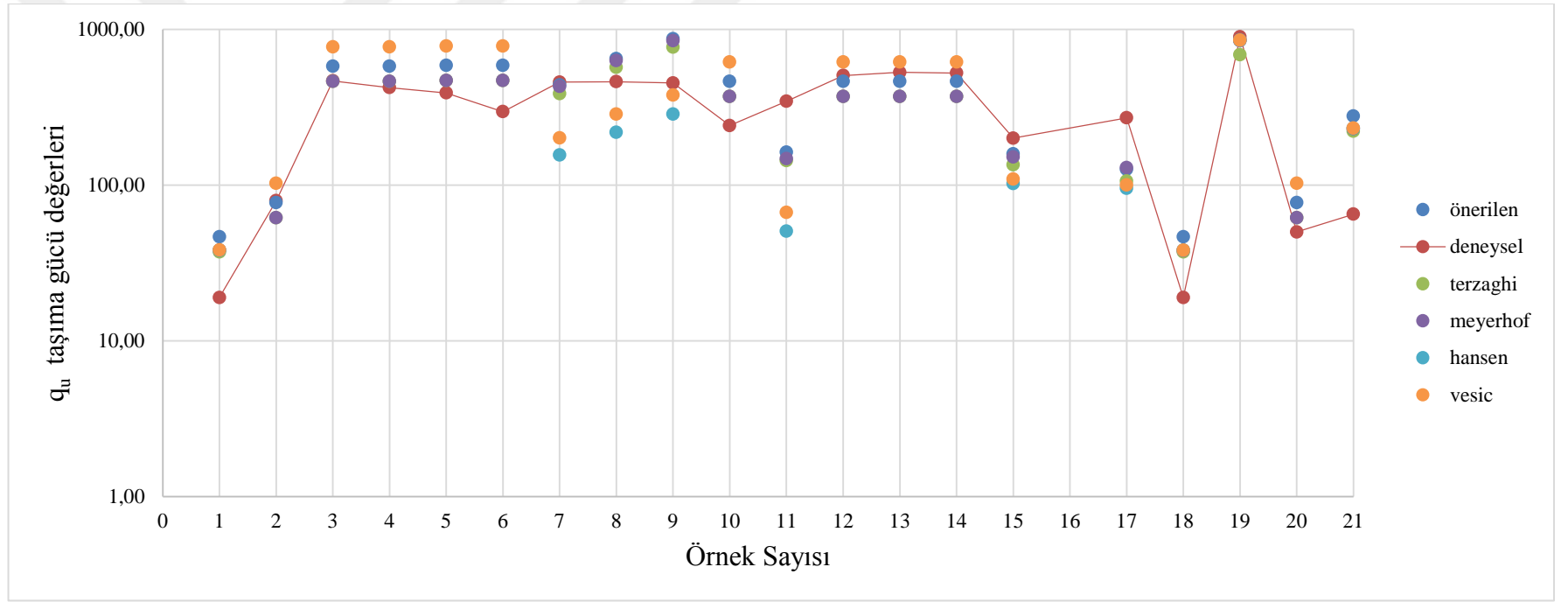
Literatürde taşıma gücü bağıntılarının karşılaştırmasına yönelik farklı çalışmalar mevcuttur. Bunlardan bazıları taşıma gücünün farklı yaklaşımlara bağlı karşılaştırmasıdır ki örneğin var olan sismik yöntemlerden elde edilen taşıma gücünün diğer taşıma gücü hesaplamaları arasında kıyaslanması ya da arazi deneylerinden elde edilen bağıntıların mevcut taşıma gücü yöntemleri ile karşılaştırılarak geliştirilen bağıntıların kabul edilebilirliğine yönelik yapılan çalışmalardır. Bazı araştırmacılar da farklı veriler üzerinde farklı bağıntıların karşılaştırılarak değerlendirildiği çalışmalar yapmışlardır. Genel olarak farklı bağıntıların aynı saha deneyi ve aynı zemin parametreleri için karşılaştırıldığı çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında öncelikle Terzaghi formunu geliştirmek üzere yeni katsayılar ile türetilen bağıntının karşılaştırılması amacıyla yapılan parametre seçimleri ve sentetik zemin örnekleri veri tabanı oluşturulması adımları gerçekleştirilmiştir. -Bağıntı (5.3)' den elde edilen taşıma gücü sonuçları ile 21 adet deneysel gerçek taşıma gücünden elde edilen değerler ve Bölüm 3' de bahsedilen araştırmacıların önermiş oldukları bağıntıların karşılaştırılması Çizelge 6.2' de verilmiştir.

Şekil 6.1' de görüldüğü üzere 21 deneysel gerçek taşıma gücü değerleri ile önerilen bağıntı ve diğer taşıma gücü değerleri arasında yapılan karşılaştırmada önerilen bağıntı seçilen sınır değerleri için gerçek taşıma gücü değerine en yakın sonucu verdiği görülmektedir. Ancak temel boyutları için sınır değerler dışında veri girişi olduğunda önerilen bağıntının ikinci en yakın değeri bulunduğu gözlenmektedir.

**Çizelge 6.1:** 21 adet deneysel taşıma gücü sonuçları, ampirik taşıma gücü bağıntılarından elde edilen sonuçlar ve önerilen bağıntı (5.3) taşıma gücü değerleri kıyaslaması

	B	L	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y'	Y <sub>w</sub>	c	Φ	Kıyas Ekranı						
									Bağıntı (5.3) için qd (kPa)	Deneysel qd (kPa)	Ref.	Terzaghi qd (kPa)	Meyerhof qd (kPa)	Hansen qd (kPa)	Vesic qd (kPa)
	B (m)	L (m)	Y <sub>1</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Y <sub>2</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Y' (kN/m <sup>3</sup> )	Y <sub>w</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	c (kPa)	Φ							
1	0,18	0,18	20,45	20,45	10,65	9,80	5,00	4,0	46,48	18,96	[25]	37,19	38,08	38,11	38,28
2	10,00	10,00	15,00	15,00	5,20	9,80	10,00	0,0	77,10	79,3	[26]	61,68	61,68	0,00	102,80
3	0,26	0,26	18,00	18,00	8,20	9,80	75,00	0,0	578,25	466,33	[27]	462,60	462,60	0,00	771,00
4	0,39	0,39	18,00	18,00	8,20	9,80	75,00	0,0	578,25	422,47	[27]	462,60	462,60	0,00	771,00
5	0,53	0,53	18,00	18,00	8,20	9,80	76,00	0,0	585,96	390,88	[27]	468,77	468,77	0,00	781,28
6	0,80	0,80	18,00	18,00	8,20	9,80	76,00	0,0	585,96	295,71	[27]	468,77	468,77	0,00	781,28
7	0,26	0,26	21,50	21,50	11,70	9,80	0,15	43,0	439,34	458,35	[27]	386,79	430,44	155,74	200,85
8	0,39	0,39	21,50	21,50	11,70	9,80	0,15	43,0	647,18	460,48	[28]	570,72	629,43	218,29	285,96
9	0,53	0,53	21,50	21,50	11,70	9,80	0,15	43,0	871,02	452,17	[28]	768,80	843,74	285,66	377,62
10	0,21	0,21	18,00	18,00	8,20	9,80	60,00	0,0	462,60	241	[28]	370,08	370,08	0,00	616,80
11	0,11	0,11	20,00	20,00	10,20	9,80	0,03	43,0	162,38	345	[29]	143,30	147,94	50,59	66,63
12	0,11	0,11	18,00	18,00	8,20	9,80	60,00	0,0	462,60	505	[30]	370,08	370,08	0,00	616,80
13	0,04	0,04	18,00	18,00	8,20	9,80	60,00	0,0	462,60	529	[31]	370,08	370,08	0,00	616,80
14	2,12	2,12	18,00	18,00	8,20	9,80	60,00	0,0	462,60	523,67	[31]	370,08	370,08	0,00	616,80
15	0,08	0,08	16,00	16,00	6,20	9,80	0,40	43,0	158,25	200	[31]	134,69	151,41	102,05	109,40
16	0,05	0,05	16,00	16,00	6,20	9,80	0,40	43,0	126,12	270	[32]	106,26	129,51	95,16	100,04
17	0,15	0,15	17,70	17,70	7,90	9,80	5,00	4,0	46,45	18,96	[32]	37,17	38,06	38,10	38,21
18	0,46	0,46	17,63	17,63	7,83	9,80	24,60	26,0	855,89	896	[33]	687,66	845,86	847,60	852,53
19	0,13	0,13	20,00	20,00	10,20	9,80	10,00	0,0	77,10	50	[34]	61,68	61,68	0,00	102,80
20	0,10	0,30	13,82	13,82	4,02	9,80	20,00	14,0	277,38	65	[35]	221,98	230,25	231,47	231,70
21	0,13	0,13	17,85	17,85	8,05	9,80	0,00	23,0	7,23	8,48	[36]	6,40	3,70	1,80	2,96



**Şekil 6.1:** 21 adet deneysel taşıma gücü değerinin, bağıntı (5.3) taşıma gücü değerleri ve diğer taşıma gücü ilişkisinin karşılaştırılması

Deneysel taşıma gücü değerleri ile önerilen bağıntı ve diğer taşıma gücü bağıntıları ile hesaplanan taşıma gücü değerleri arasındaki sapmayı belirlemek için (6.1) bağıntısı kullanılarak standart hata değerleri hesaplanmış olup, bu değerler Şekil 6.2' de sunulmuştur. Şekil 6.2' de görüleceği üzere deneysel taşıma gücü değerlerine en yakın sonucu önerilen bağıntı vermektedir. İkinci en yakın sonucu ise önerilen bağıntının esas aldığı Terzaghi tarafından önerilen bağıntı vermektedir. ortalama karekök hata (RMSE) değerleri karşılaştırması yapılmıştır. Bulunan RMSE değerleri Şekil 6.2' de gösterilmiştir. Önerilen bağıntı için hesaplanan RMSE değerinin en düşük olduğu görülmektedir.

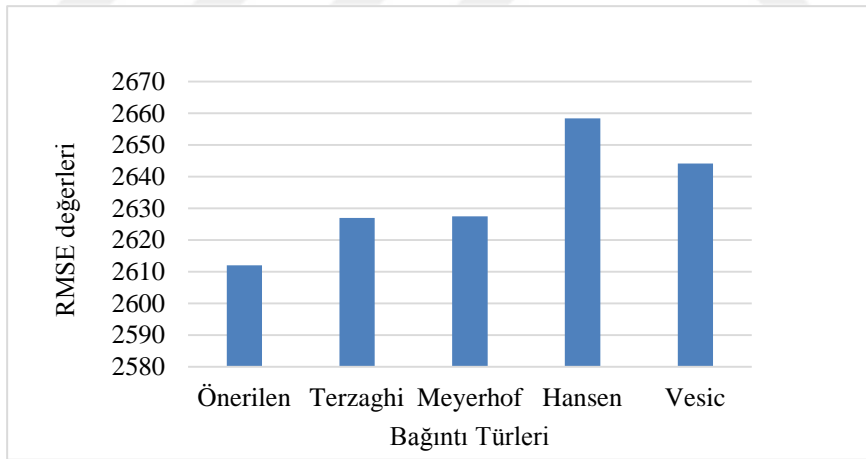
$$RMSE_{Error} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - D_i)^2}{n}} \quad (6.1)$$

$P_i$ ; öngörülen taşıma gücü değerleri

$D_i$ ; deneysel taşıma gücü değerleri

$n$ ; örnek sayısı

$P_i$  olarak ifade edilen öngörülen taşıma gücü değerleri (6.1) bağıntısı için önerilen bağıntı ve literatürde yer alan diğer bağıntıları ifade etmektedir.



**Şekil 6.2:** Önerilen ve diğer taşıma gücü bağıntıları için RMSE değerleri grafik gösterimi

## 7 SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, öncelikli olarak araştırmacılar tarafından geliştirilen analitik olarak hesaplanan taşıma gücü yaklaşımları incelenmiştir. Bağlıntıların kendi aralarında olan ilişkilerine bakılmış ve tez konusu olarak hedeflenen temel taşıma gücü bağıntısının belirlenebilmesi için karar verme aşaması gerçekleştirilmiştir. Günümüz zemin inceleme raporlarında veya zemin araştırma çalışmalarında en çok tercih edilen Terzaghi bağıntısı olduğundan ilgili bağıntının ampirik analizi yapılarak, bağıntıya farklı bakışla değerlendirme yapmak gereksinilmiştir. Bu amaçla, kalıp olarak Terzaghi tarafından önerilen bağıntı muhafaza edilmiş ancak sentetik olarak karakteristikleri belirlenen zemin örnekleri gözönünde bulundurularak Terzaghi kalıbında yer alan katsayılar doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda Terzaghinin bağıntısını temel teşkil eden yeni katsayılara sahip bir bağıntı önerilmiştir. Önerilen yeni bağıntıya ait (5.3) bağıntı katsayılarının belirlenmesi örnekleme sayısının fazlalığından etkilendiği Şekil 5.1’ de gözlenmiştir. Değerlendirmeler yapılırken sentetik veri tabanı büyüklüğünün etkisi de gözlenmiştir. Elde edilen yeni bağıntı literatürde kullanılması için önerilen bir dizi bağıntıyla ve deneysel gerçek taşıma gücü sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Öcelikli olarak bağıntı katsayılarının oluşturulmasında kullanılan 32000 örneklemeden elde edilen değerler için önerilen bağıntı ve literatürde yer alan taşıma gücü bağıntıları dikakte alınarak taşıma gücü sonuçları karşılaştırması yapılmış ve Şekil 5.2’ de grafik olarak sunulmuştur. Karşılaştırılmaların daha kolay incelenebilmesi amacıyla taşıma gücü değerleri logaritmik olarak sıralı şekilde gösterilmiştir. Önerilen bağıntı ve 21 adet gerçek deneysel taşıma gücü sonuçlarından elde edilen değerlerin karşılaştırması yapılmış ve Şekil 6.1’ de grafik olarak sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde temel boyutları için seçilen sınır değer aralığında kaldığında önerilen bağıntının gerçek taşıma gücü değerine en yakın değeri bulduğu gözlenmiştir. Ancak seçilen temel boyutları için sınır değerler dışında veri girişi olduğunda ikinci en yakın taşıma gücü

değerini hesapladığı belirlenmiştir. Sonuç olarak yeni bağıntının uyumluluk açısından gerçek taşıma gücü değerine olan yakınlığı sebebiyle tercih edilebileceği öneri olarak sunulmuş ve taşıma gücü analitik hesaplamalarında elde edilen yorumun katkısı olabileceği düşünülmüştür





## KAYNAKLAR

- Terzaghi, K., (1943).** Theoretical Soil Mechanics. Wiley Publishing, New York, USA.
- Rankine, W.J.M., (1857).** On the Stability of Loose Earth, Phil. Trans. Roy. Soc. London. 147.
- Myslivec, A. And Kysela Z. (1978).** The Bearing Capacity Of Building Foundations, Elsevier Scientific Publishing Company.
- Prandtl, L., (1921).** Uber Die Eindringungs-Festigkeit Plastischer Baustoffe Und Die Festigkeit Von Schneiden, Z. Ang. Math. Mech., 1(1), 15.
- Cernica, J.N., (1994).** Geotechnical Engineering Foundation Desing, Jonh Wiley & Sons, Inc., New York, 488 pp.
- Reissner, H., (1924).** Zum Erddruck Problem. In Proc., First Intl. Conf. Appl. Mech., Delft, The Netherlands, 295.
- 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 Practise in Soil Mechanics, New York, John Wiley and Sons, 1960.
- Uzuner, B.A., (2000).** Temel Mühendisliğine Giriş: Derya Kitabevi, Trabzon.
- Terzaghi, K., Peck, R. B., (1948).** Soil Mechanics in Engineering Practise, John Wiley and Sons Inc. N. Y.
- Skempton, A. W., (1951).** The Bearing Capacity of Clays. Proceedings, Buildg Reaseach Congres, London.
- Meyerhof, G. G., (1965).** Shallow Foundations State of the Art Review Paper, Proc. ASCE, V. 91.
- Imai, T. and Yoshimura, Y.. (1975).** The Relation of Mechanical Properties of Soils to P and S-wave.
- Casagrande, A., (1932).** The Structure of Clay and Its Importance İn Foundation
- Head, K. H. (1982).** Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 2:Permeability, Shear Strength & Compressibility Tests, Robert Hartnoll Ltd., Bodmin, Cornwall.
- Arda, H. T., (2011).** Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücünün İki ve Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi.
- Meyerhof, G. G. (1951).** The Ultimate Bearng Capacity of Foundations, Geotechnique 2, No. 4, pp. 301-302.
- Das, B. M. (1999).** Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlements. CRC Press.
- Brinch Hansen, J. (1961).** A General Formula For Bearing Capacity. Ingenforen (Int. Edition). The Danish Geotechnical Institute, Bulten No. 11, pp. 38-46.
- Vesic, A. S. (1973).** Analysis of ultimate loads of shallow foundations, Journal of SM and FE Division, ASCE, vol. 99, No. SMI, pp. 45-73.
- Köseoğlu, S., (1987).** Temeller Statiği ve Konstruksiyonu 1 Temel Bilgiler, 3.Basım, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 264 s.
- Ulusay, R., (2001).** Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, Genişletilmiş 4. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisler Odası Yayınları, Ankara, 38 s.

- Çinicioglu, F.**, (2005). Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. İMO İstanbul, 21-22 s.
- StatSoft Inc.** STATISTICA V.6.0 for Windows. Tulsa, OK, USA;1995.
- Vekli, M., Aytakin, M., İkizler, S.B., ve Çalık, Ü.**, (2012). Taş Kolonla İyileştirilmiş Şevlerin Stabilitate Analizi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 28 (2), 88-96 s.
- Demir, A., Örnek, M., Mısır, G., Laman, M., ve Yıldız, A.**, (2009). Stabilize Granüler Dolgu İle İyileştirilen Yumuşak Kil Zeminlere Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. TÜBİTAK, 106M496 Nolu Araştırma Projesi., 145-150 s.
- Örnek, M.**, (2009). Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı İle Güçlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 85 s.
- Örnek, M.**, (2009). Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı İle Güçlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 87-97 s.
- Yıldırım, D.**, (2009). Geogrid Donatılı Stabilize Dolgu Tabakası İle Kil Zeminlerin İyileştirilmesi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 85 s.
- Demir, A.**, (2011). Yumuşak Kil Zemin Üzerinde Güçlendirilmiş Stabilize Dolguya Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 98-108 s.
- Mısır, G. ve Laman, M.**, (2015). Tabakalı Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Deney ve Analitik Yöntemle İrdelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 30(1), 249-256 s.
- Vekli, M.**, (2009). Taş Kolon İle Şev İyileştirilmesinin Deneysel ve Sayısal Olarak İyileştirilmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 93-106 s.
- Sharma, R., Chen, Q., Abu Farsakh. And Yoon S.** (2009). Analytical Modeling of Geogrid Reinforced Soil Foundation. Geotextiles and Geomembranes., Bulten No. 27, pp. 63-72.
- Sireesh, S., Sitharam, T. G., And Dash S. K.** (2009). Bearing Capacity of Circular Footing On Geocell – Sand Mattress Overlying Clay Bed With Void. Geotextiles and Geomembranes., Bulten No. 27, pp. 89-98.
- Choudhary, A. K., Jha, J. N., And Gill K. S.** (2010). Laboratory Investigation of Bearing Capacity Behaviour of Strip Footing on Reinforced Flash Slope. Geotextiles and Geomembranes., Bulten No. 28, pp. 393-402.
- Hataf, N., And Rahimi M. M.** (2006). Experimental Investigation of Bearing Capacity of Sand Reinforced With Randomly Distributed Tire Shreds. Construction and Building Materials., Bulten No. 20, pp. 910-916.

## EKLER

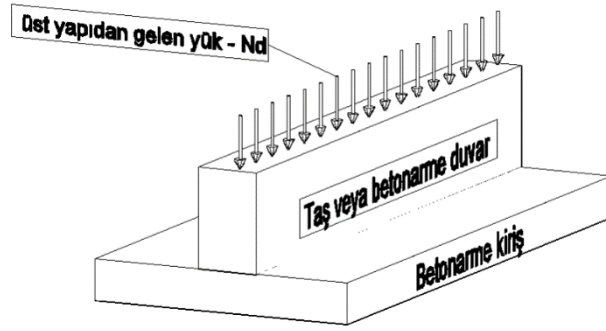
### EK 1. Temel Tipleri

#### EK 1.1 Duvar altı temel tipi

2010 yılında Türkçü [25] tarafından yürütülen çalışmalarda duvar altı temellerin sürekli temellerle uyumlu olduğu belirtmiştir.

2011 yılında Ersoy [26] tarafından yürütülen çalışmalarda duvar altı temellerin genellikle yığma ve kargir yapı sistemlerinde taşıyıcı duvarların alt kısımlarında yapıldığı belirtilmiştir.

Duvar altı temeller için TS 500' e göre imalat yapılırken bir ya da iki katlı basit yığma yapılar için temel duvarının altına, duvardan en az 20 cm daha geniş betonarme bir kiriş yapılarak oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. Boyutları için standarta göre genişliği 50-70 cm, yüksekliği ise 30-40 cm civarında yapılması gerektiği yer almaktadır.



Şekil Ek 1.1: Duvar altı temel tipi şematik gösterimi

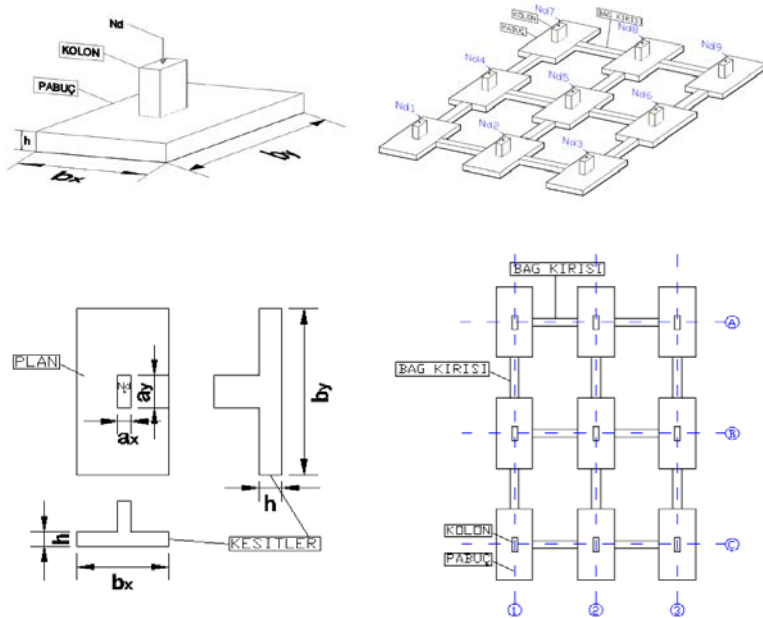
#### Ek 1.2 Tekil temel tipi

2006 yılında Uzuner [27] tarafından yürütülen çalışmalarda tekil temellerin, binadaki her kolonun altında yer aldığını ve betonarme olan bu tekil temel için;

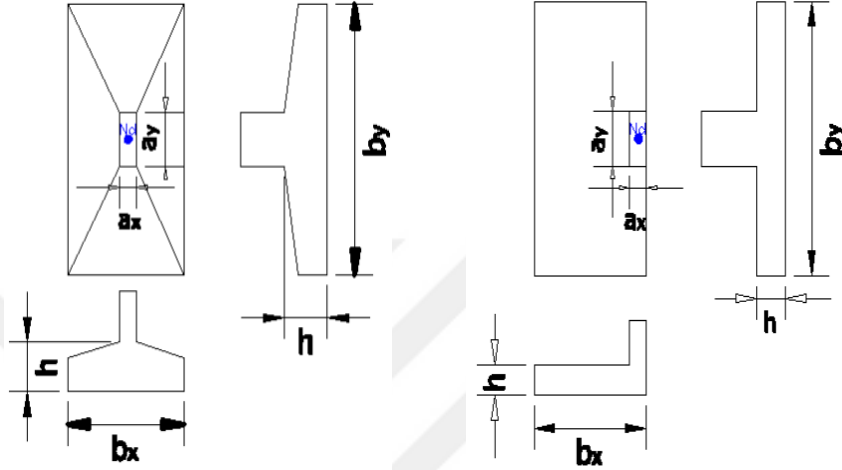
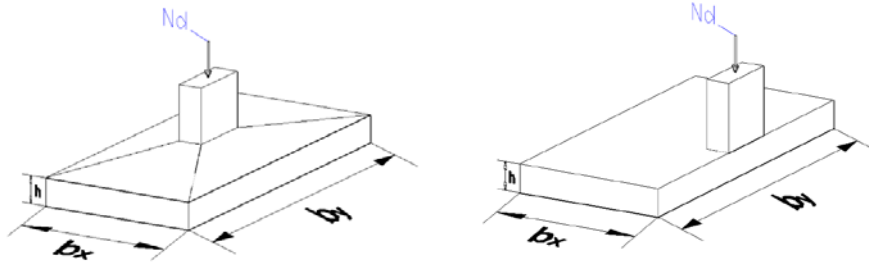
kolon yükünü daha geniş bir alana yayarak temel zeminine iletiildiği sonucuna varmıştır.

2000 yılında Öczan [28] tarafından yürütülen çalışmalarda münferit veya ayak temel de denilen bu temeller için, temel zemininin orta sertlikte ve bina ağırlığının daha az olması durumlarında uygulandığı vurgulanmıştır.

Tekil temeller için TS 500' e göre kolonların altına kolon kesitinden çok daha büyük betonarme bir plak (pabuç) yapılarak oluşturulmalıdır. Deprem kuvvetini aktarması için pabuçlar, bağ kirişi veya kalınlığı en az 15 cm olan döşeme ile birbirine bağlanmalıdır. Pabuç alanı ( $b_x$  ve  $b_y$ ); kolon kuvvetinden zeminde oluşan gerilme zeminin emniyetle taşıyabileceği gerilmeden küçük kalacak şekilde seçilmelidir. Pabuç boyutları en az 100x100 (cm), kalınlığı en az 25 cm' dir, uygulamada 30-40 cm civarında olmalıdır. Tekil temel yüksekliği az fakat uzun hangar gibi yapılarda ve çok sağlam (kaya) zemin üzerindeki normal yapılarda kullanıldığı belirtilmiştir. Apartman tipi yüksek yapılar için uygun bir temel olmadığı ve farklı oturma riskinin çok yüksek olduğu standartça belirtilmiştir.



Şekil Ek 1.3a: Tekil temel tipi

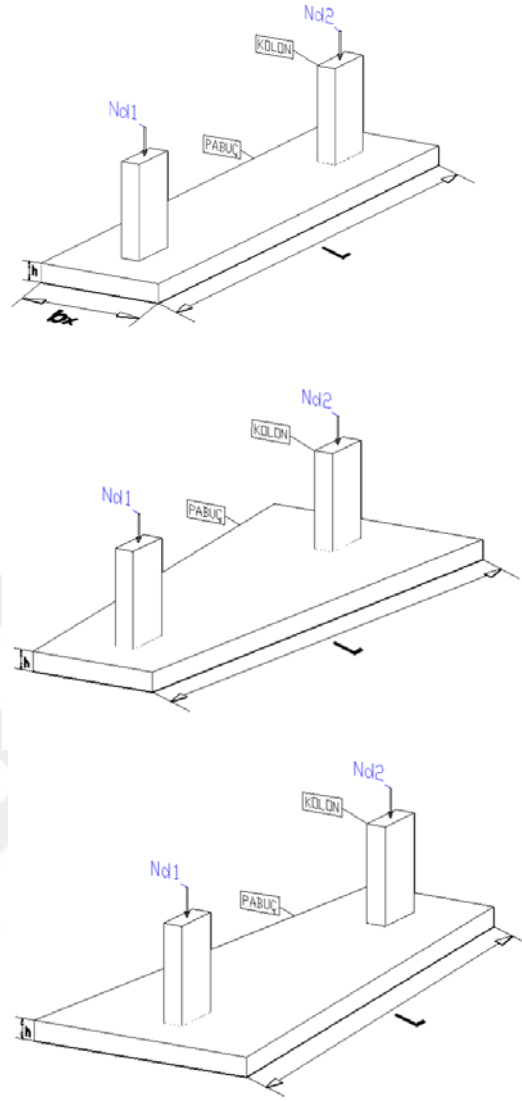


Şekil Ek 1.4b: Tekil temel tipi

### Ek 1.3 Birleşik temel tipi

1995 yılında Ersoy [23] tarafından yapılan incelemelerde iki kolonun birbirine yakın ve yüklerinin büyük olduğu durumlarda bu iki kolonun temelinin çakışabileceğini ve bu gibi durumlarda sürekli temel yapılamıyorsa, iki temel birleştirilip bir “birleşik temel” yapılabileceğini belirtmiştir. Bazı durumlarda da dış kolon arsa sınırına çok yakın ise, temeli o yönde çok kısa yapmanın, dolayısıyla kolona göre simetrik olmayan bir temel oluşturmak gerekebileceğini ve bunun yerine iki kolonu birleştirmek daha sağlıklı bir çözüm olduğunu savunmuştur. Araştırmacı tarafından birleşik temel tasarımında boyutlar seçilirken kolonlardan gelen yüklerin bileşkesi ile temelin geometrik merkezi çakıştırılmaya çalışılmaması gerektiğini ve eğer bu başarıldığı takdirde temelin altında düzgün yayılı bir zemin gerilmesi oluşturulabileceği ifade edilmiştir.

TS 500' e göre iki kolonun birbirine çok yakın olması durumunda her iki kolon için tek pabuç yapılarak zeminde oluşan gerilme dağılımının pabuç altında her yerde eşit olması durumunun sağlandığı standartça belirlenmiştir.

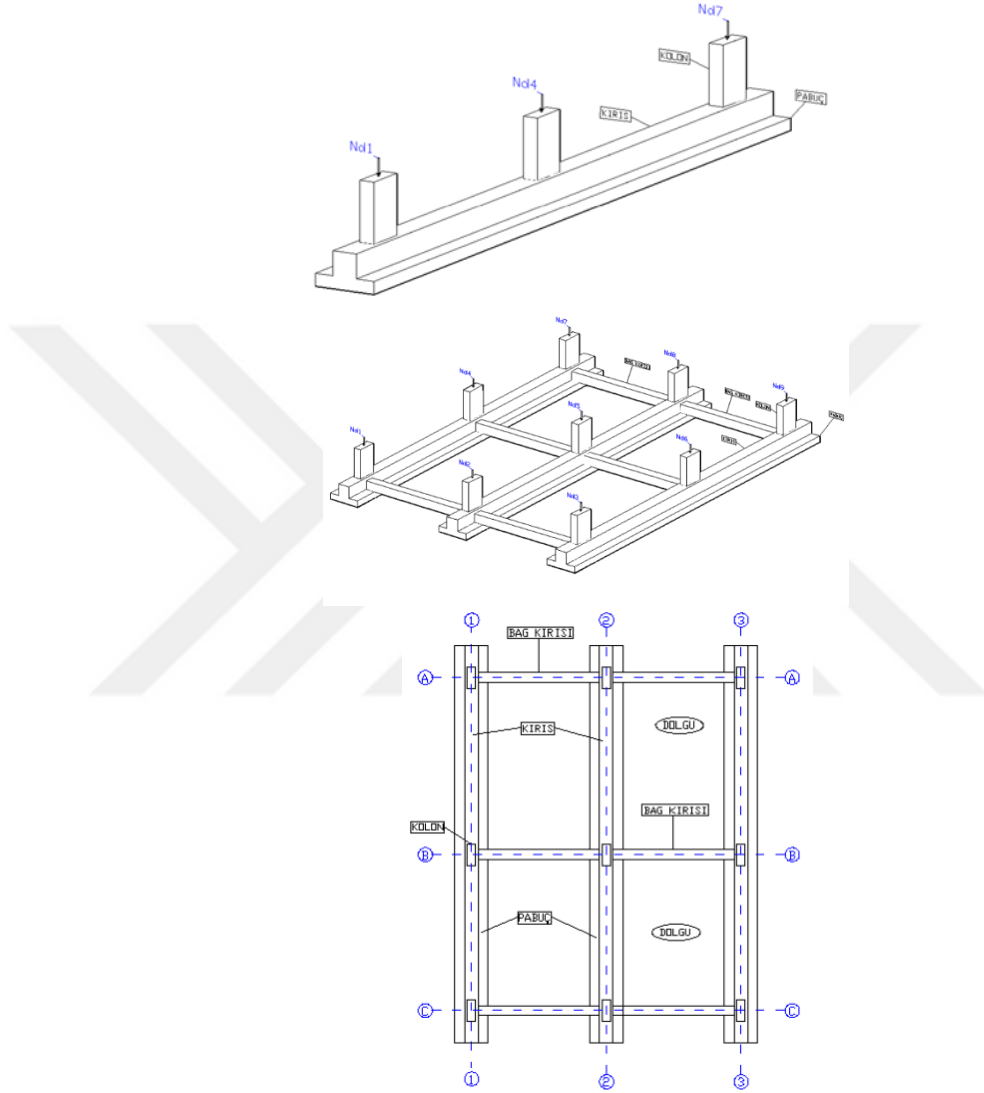


**Şekil Ek 1.3:** Birleşik temel tipi

#### **EK 1.4 Bir doğrultuda sürekli temel tipi**

TS 500' e göre yapının bir doğrultudaki her aksı boyunca dizili kolonlarının altına ters tablalı betonarme bir kiriş yapılmalıdır. Kolon yükleri kirişe, kirişten tablaya (pabuca), tabladan zemine bu şekilde aktarılır. Deprem kuvvetini aktarması için kirişler bağ kirişi veya kalınlığı en az 15 cm olan döşeme ile birbirine bağlanmalıdır. Kolon kesiti tümüyle kirişe oturmalı bir kısmı kirişin dışına taşmamalıdır. Bu şekilde kiriş genişliğini kolonların kesitleri belirlemektedir. Pabuç kalınlığı en az 20 cm dir, uygulamada genelde 25-30 cm civarında olmalıdır. Pabuç genişliği en az 100 cm ve kolon kuvvetlerinden

zeminde oluşan gerilme zeminin emniyetle taşıyabileceği gerilmeden küçük kalacak şekilde seçilmelidir. Bir doğrultuda sürekli temel tipi; kolonları bir doğrultuda düzenli dizili hangar tipi yapılarda kullanılmalıdır. Apartman tipi yüksek yapılar için uygun olmadığı ve farklı oturma riskinin yüksek olacağı standartça belirtilmiştir.

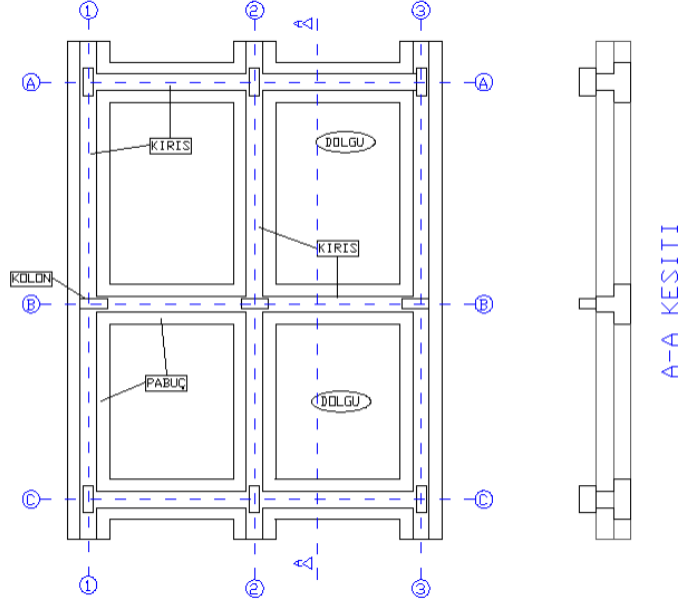


**Şekil Ek 1.4:** Bir doğrultuda sürekli temel tipi

### **EK 1.5 İki doğrultuda sürekli temel tipi**

TS 500' e göre yapının her iki doğrultudaki her aksı boyunca dizili kolonların altına ters tablalı betonarme bir kiriş yapılmalıdır. Bu şekilde kolon yükleri kirişe, kirişten tablaya (pabuca), pabuçtan zemine aktarılmaktadır. Kolon tümüyle kirişe oturmalı bir kısmı kirişin dışına taşmamalıdır. Pabuç kalınlığı en az 20 cm ve uygulamada genelde 25-30 cm civarında olmalıdır. Pabuç genişliği en az 100 cm ve kolon kuvvetlerinden zeminde oluşan gerilme zeminin

emniyetle taşıyabileceği gerilmeden küçük kalacak şekilde seçilmelidir. İki doğrultuda sürekli temel apartman tipi yüksek yapılar için genelde uygundur. Farklı oturma riski, bir doğrultuda sürekli temele nazaran, çok daha düşüktür.



Şekil Ek 1.5: İki doğrultuda sürekli temel tipi

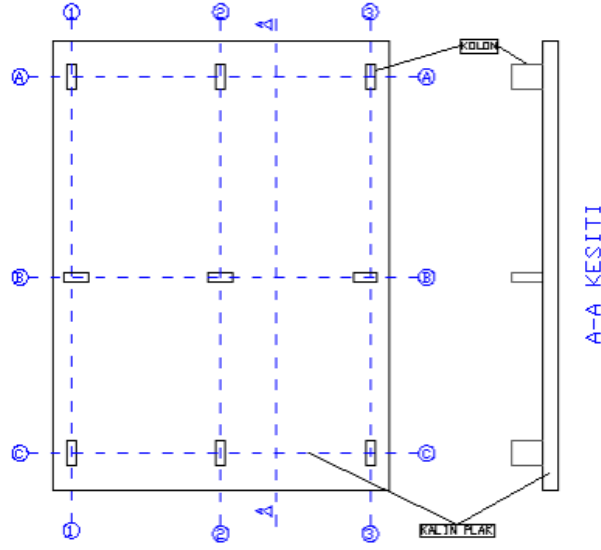
### **EK 1.6 Radye temel tipi**

Radye temeller zeminin yapısına, bina yüküne ve temel duvarı ya da kolonların açıklıklarına göre farklı şekillerde uygulanmaktadır.

#### **Ek 1.6.1 Kirişsiz radye temel tipi**

TS 500' e göre yapının tüm kolonları altına, inşaat alanının tümünü örten kalın bir plak yapılarak ve kolonlar doğrudan plağa oturtularak kirişsiz radye temel oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. Bu kapsamda plak kalınlığı en az 30 cm dir. Normal mühendislik yapılarıda plak kalınlığı kabaca kat sayısının 8-10 katı olması gerektiği standartta yer almaktadır.



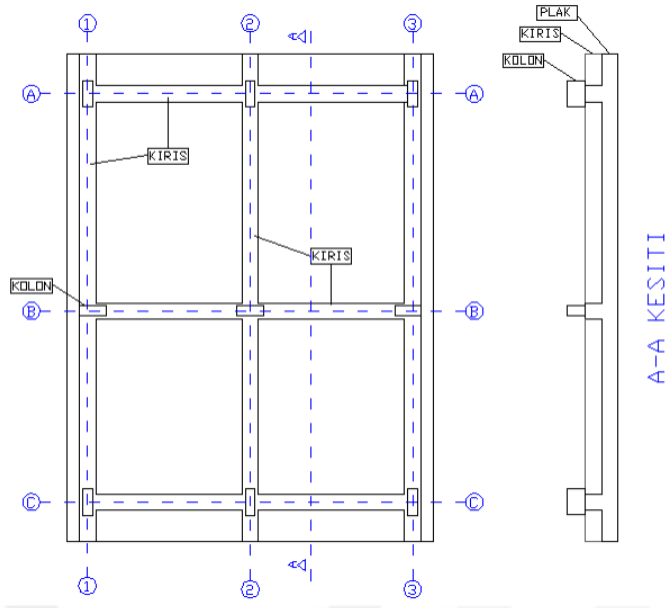


**Şekil Ek 1.6:** Kirişsiz radye temel tipi

#### **Ek 1.6.2 Kirişli radye temel tipi**

TS 500' e göre yapının tüm kolonları altına, inşaat alanlarının tümünü örten bir plak, plağın üstüne kirişler yapılarak ve kolonlar kirişe oturtularak kirişli radye temel oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. Buna göre plak kalınlığı en az 20 cm dir. Normal yapılarda plak kalınlığı 30-40 cm, kiriş genişliği 40-60 cm, kiriş yüksekliği (plak dahil) 100-150 cm olarak geliştirilmiştir.

Standartta göre kolon kuvvetlerinden radye plağı altında oluşan gerilme zeminin taşıyabileceği gerilmeyi aşarsa plak ve varsa kirişler konsol yapılarak gerilme düşürülmesi gerektiği belirtilmiştir. Ancak, konsol yapılabilmesi için arsa durumunun müsait olması gerekmektedir. Radye temellerde farklı oturma riski çok düşüktür. Bu nedenle radye temel, zayıf zeminlerde, apartman tipi yüksek yapılar için en uygun temel tipi olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil Ek 5: Kirişli radye temel tipi

## **ÖZGEÇMİŞ**

1985 yılında Konya’ da doğdu. İlkokulu Nilüfer Hatun İlk Okulunda, Ortaokulu Mecidiye Ortaokulunda, Liseyi Yunus Emre Lisesi’ nde (YDA) tamamladı. 2004 yılında Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ nü kazandı. 2008 yılında aynı bölümden dördüncülükle mezun olarak Jeofizik Mühendisi ünvanını aldı. 2014 yılında İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ nde yüksek lisans eğitimine başladı. 2014-2015 eğitim-öğretim döneminde yılında bir yıl bilimsel hazırlık derslerini tamamladı. 2016 yılında aynı bölümden mezun olarak Yüksek Mühendis ünvanını aldı.

