

**SAYISAL VE ANALİTİK YÖNTEMLER İLE
KOHEZYONSUZ ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜ HESABI**

Emrah DAĞLI


**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Aralık 2013**

KABUL:

Emrah DAĞLI tarafından hazırlanan "SAYISAL VE ANALİTİK YÖNTEMLER İLE KOHEZYONSUZ ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜ HESABI" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
20/12/2013

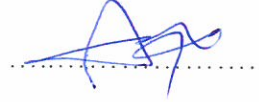
Başkan: Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR (BEÜ)



Üye : Doç. Dr. Hamit AYDIN (BEÜ)

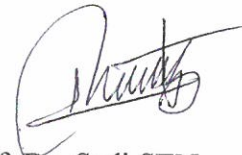


Üye : Yrd. Doç. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL (BEÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylıyorum. / /



Prof. Dr. Şadi ŞEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Emrah DAĞLI

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SAYISAL VE ANALİTİK YÖNTEMLER İLE KOHEZYONSUZ ZEMİNLERİN TAŞIMA GÜCÜ HESABI

Emrah DAĞLI

**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR
Aralık 2013, 105 Sayfa**

Bu çalışmada, kohezyonsuz zeminler üzerine oturan şerit temellerin taşıma gücü hesabı analitik ve sayısal yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle kohezyonsuz zemin gruplarından olan iyi derecelenmiş kumlu zeminler araştırma materyali olarak seçilmiştir. Malzeme parametreleri kumlu zeminin rölatif sıklığına göre belirlenmiştir. Taşıma gücü analizleri, malzeme parametreleri ve temel sisteminin geometrisi değiştirilerek toplam 75 ayrı analitik ve sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal çözümler yapılmıştır. Araştırmada, Mohr-Coulomb elastik-plastik model kullanılmıştır. Rölatif sıklık değerlerinin düşük olduğu modellerde, yüzeye oturan temel sistemlerinde analitik ve sayısal yöntemler birbiri ile uyumlu sonuçlar vermiştir. Ancak temel boyutları ve zeminin sıklığı arttığında analitik yaklaşımlar birbirleri ile uyum içindeyken sayısal yaklaşımlarda görünür bir şekilde ayrılmışlardır. Bunun sebebi, seçilen zemin modelinin ve sayısal modellemelerinin sınırlamalarından dolayıdır.

ÖZET (devam ediyor)

Anahtar Kelimeler: Sığ temeller, Taşıma gücü, Sonlu elemanlar, Kumlu zeminler

Bilim Kodu: 624.01.00

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

CALCULATION OF BEARING CAPACITY OF COHESIONLESS SOILS BY NUMERICAL AND ANALYTICAL METHODS

Emrah DAĞLI

**Bulent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Ömer Faruk ÇAPAR
December 2013, 105 pages**

In this study, calculations of the bearing capacity of the shallow foundations resting on noncohesive soils were executed by the analytical and numerical methods. First, well-graded sandy soil was chosen as a study material. Geotechnical parameters of the soil was achieved with regard to relative density. Total of 75 bearing capacity analyses of strip foundation systems were investigated by changing the material parameters and geometries of the foundations with deterministic and finite element methods. Mohr-Coulomb, elastic-plastic, model was preferred for this research. The results of deterministic and numerical analyses of strip foundation laying on loose sandy soil models give very close magnitudes. However, although very similar bearing capacity values of the foundations laying on dense soil models were calculated with respect to analytical methods, the results of numerical methods were very different and scattered. The reason for this is some limitations of the elastic-plastic model and numerical methods.

ABSTRACT (continued)

Keywords: Shallow foundations, Bearing capacity, Finite elements, Sandy soils

Science Code: 624.01.00

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda ve hayatım boyunca karşılaştığım her zorlukta beni motive ederek bana güvenen, ömrüm boyunca kendisini gururlanarak örnek alacağım, pozitif enerjisi, güleryüzü ve sapasağlam kişiliği ile kıymetli danışman hocam, Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk ÇAPAR'a sonsuz teşekkür ederim.

Teze başlamam ile birlikte her konuda fikir danışabildiğim ve gerek tez ile ilgili gerekse insani olarak bana pozitif bir yaklaşım içerisinde bulunan Doç. Dr. Murat Emre KARTAL'a teŐekkürlerimi sunarım.

Bu tez süresi boyunca hem tez konum ile ilgili yardımlarını gördüğüm, hem de bana karşı iyi niyetli ve olumlu bir tutuma sahip olan Yrd. Doç. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL'e teŐekkürlerimi sunarım.

Beni okutup bu yaşa getirene kadar türlü cefalar çeken hayatım boyunca arkamda büyük bir g olarak hissettiğim, aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 ÇALIŞMANIN TANIMI.....	2
BÖLÜM 2 TAŞIMA GÜCÜ KAVRAMI VE LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1 GİRİŞ	5
2.2 TAŞIMA GÜCÜ TANIMI.....	5
2.3 TAŞIMA GÜCÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİ.....	5
2.4 YENİLME MEKANİZMALARI.....	6
2.4.1 Genel Kayma Yenilmesi.....	7
2.4.2 Yerel Kayma Yenilmesi	8
2.4.3 Zımbalama Kayma Yenilmesi	9
2.5 ANALİTİK YÖNTEMLER İLE TAŞIMA GÜCÜNÜN HESAPLAMASI	11
2.5.1 Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi	11

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.5.1.1 Terzaghi'nin Lokal Kayma Durumunda Taşıma Gücü Teorisi.....	14
2.5.2 Meyerhof Taşıma Gücü Teorisi.....	15
2.5.3 Genel Taşıma Gücü Teorisi.....	18
2.5.4 Eurocode Taşıma Gücü	24
2.6 TAŞIMA GÜCÜ HESAPLAMALARINDA SONUCU ETKİLEYEN ÖZEL DURUMLAR.....	27
2.6.1 Taşıma Gücü Denklemlerinde Su Seviyesi Modifikasyonu.....	28
2.6.2 Temel Boyutlarının Taşıma Gücüne Etkisi	29
2.6.3 Yükleme Hızının Etkisi	29
2.6.4 Temel Tabanı Pürüzlülüğünün Etkisi.....	30
BÖLÜM 3 SONLU ELEMANLAR İLE TAŞIMA GÜCÜ ANALİZİ	31
3.1 GİRİŞ	31
3.2 ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	31
3.2.1 Kayma Çizgileri Yöntemi	31
3.2.2 Limit Denge Yöntemi.....	32
3.2.3 Limit Analiz Yöntemi.....	32
3.2.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi	32
3.3 GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ PROBLEMLERİNDE SONLU ELEMANLARIN ÖNEMİ.....	33
3.4 GEOSTUDİO 2012 PROGRAMI.....	34
3.4.1 Geostudio 2012 Sigma/W Modülü.....	34
3.4.2 Elastik Plastik Model.....	35
3.4.3 Modelin Geometrik Sınırlarının Teşkil Edilmesi	36
3.4.4 Modelin Bölgelere Ayrılması ve Malzeme Özelliklerinin Girilmesi	37
3.4.5 Model için Kullanılan Sınır Koşulları	39
3.4.6 Analizde Kullanılacak Eleman Tipi ve Sonlu Eleman Ağı Seçimi	39
3.4.7 Analizin Tamamlanması ve Sonuçların Alınması.....	40
3.5 SAYISAL TAŞIMA GÜCÜ KESTİRİM YÖNTEMLERİ	41

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.5.1 Brinch Hansen Yöntemi	41
3.5.2 De Beer Yöntemi	42
3.5.3 s/B= 10% Yöntemi	43
3.5.4 Decourt Sıfır Rijitlik Yöntemi.....	44
3.5.5 Chin Dönüştürülmüş Eksenler Yöntemi.....	45
3.6 ANALİZDE KULLANILAN ZEMİNLERE AİT PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ.....	46
3.6.1 İçsel Sürtünme Açısının Belirlenmesi	47
3.6.2 Elastisite Modülünün Belirlenmesi	48
3.6.3 Poisson Oranının Belirlenmesi	50
3.6.4 Birim Hacim Ağırlığın Belirlenmesi	51
3.6.5 Dilatasyon Açısının Belirlenmesi.....	51
3.6.6 Kohezyonun Belirlenmesi	52
3.7 GEOSTUDIO 2012 SİGMA/W İLE ANALİZİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ.....	52
3.8 YÜK-YERDEĞİŞTİRME ANALİZİ	53
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	55
4.1 GİRİŞ	55
4.2 TEMEL GENİŞLİĞİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ.....	55
4.3 TEMEL DERİNLİĞİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ	65
BÖLÜM 5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	71
5.1 SONUÇLAR	71
5.2 ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR.....	73

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Kumlu zeminde kayma yenilmesi tipleri	7
2.2 Genel kayma yenilmesi mekanizması.....	8
2.3 Genel kayma yenilmesine ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi	8
2.4 Yerel kayma yenilmesi mekanizması	9
2.5 Yerel kayma yenilmesine ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi	9
2.6 Zımbalama kayma yenilmesi mekanizması.....	10
2.7 Zımbalama kayma yenilmesine ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi.....	10
2.8 Terzaghi sürekli, pürüzlü, rijit temele oturan zeminin kayma yüzeyi	11
2.9 Terzaghi taşıma gücü faktörleri	14
2.10 Terzaghi modifiye taşıma gücü faktörleri.....	15
2.11 Meyerhof pürüzlü sürekli temelin kayma çizgileri.....	16
2.12 Meyerhof taşıma gücü faktörleri.....	17
2.13 Genel taşıma gücü faktörleri.....	20
2.14 Eurocode taşıma gücü faktörleri	26
2.15 Su seviyesine bağlı taşıma gücü denklemlerinin modifikasyonu	28
3.1 Elastik-tam plastik bünye bağıntısı.....	36
3.2 Analiz edilecek modele ait geometrik sınırlar	37
3.3 Analiz için kullanılan modelin bölgeleri	38
3.4 Analiz için kullanılan malzeme parametrelerinin tanımlanması	38
3.5 Model için sınır koşullarının uygulanması	39
3.6 Model için sonlu elemanlar ağının oluşturulması.....	40
3.7 Analiz sonucunda elde edilen deforme olmuş şekil.....	40
3.8 Analiz sonucunda elde edilen vektör okları.....	41
3.9 $\phi=28^0$ ve $B=1$ m için Brinch-Hansen yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması	42
3.10 $\phi=28^0$ ve $B=1$ m için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	43
3.11 $\phi=28^0$ ve $B=1$ m için $s/B=10\%$ yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması	44

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.12 $\phi=28^0$ ve B=1 m için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması	45
3.13 $\phi=28^0$ ve B=1 m için Chin yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması.....	46
3.14 Kaba daneli zeminleri için tipik içsel sürtünme açısı	47
3.15 Yerdeğiştirme hızının taşıma gücüne etkisi.....	53
3.16 Temele yerdeğiştirme uygulanması	54
4.1 $\phi=28^0$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.....	56
4.2 $\phi=30^0$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.....	57
4.3 $\phi=32^0$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.....	58
4.4 $\phi=34^0$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.....	60
4.5 $\phi=36^0$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.....	62
4.6 $\phi=38^0$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.....	63
4.7 $\phi=40^0$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.....	65
4.8 $\phi=30^0$ ve B=2 m için analitik yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.....	66
4.9 $\phi=30^0$ ve B=2 m için sayısal yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.....	67
4.10 $\phi=40^0$ ve B=2 m için analitik yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.....	68
4.11 $\phi=40^0$ ve B=2 m için sayısal yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.....	69
A.1 B=1 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	79
A.2 B=1,25 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	79
A.3 B=1,5 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
A.4 B=1,75 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	79
A.5 B=2 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	80
A.6 B=2,25 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	80
A.7 B=2,5 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	80
A.8 B=2,75 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	80
A.9 B=3 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.....	81
B.1 B=2 m ve $\phi=30^0$ için farklı temel derinliklerine ait gerilme deformasyon eğrileri	85
B.2 B=2 m ve $\phi=40^0$ için farklı temel derinliklerine ait gerilme deformasyon eğrileri	86
C.1 B=1 m ve $\phi=32^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	89
C.2 B=1,25 m ve $\phi=34^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	89
C.3 B=1,5 m ve $\phi=30^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	90
C.4 B=1,75 m ve $\phi=30^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	90
C.5 B=2,75 m ve $\phi=28^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	91
C.6 B=3 m ve $\phi=28^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	91
C.7 B=1 m ve $\phi=28^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	92
C.8 B=1,5 m ve $\phi=30^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	92
C.9 B=2 m ve $\phi=36^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	93
C.10 B=2,25 m ve $\phi=32^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	93
C.11 B=2,5 m ve $\phi=34^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	94
C.12 B=2,75 m ve $\phi=28^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	94
C.13 B=1 m ve $\phi=32^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	95
C.14 B=1,25 m ve $\phi=28^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	95
C.15 B=1,25 m ve $\phi=30^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	96
C.16 B=1,5 m ve $\phi=34^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	96

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
C.17 B=2,5 m ve $\phi=38^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	97
C.18 B=2,75 m ve $\phi=36^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	97
C.19 B=1 m ve $\phi=32^0$ için s/B=%10 yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	98
C.20 B=2 m ve $\phi=30^0$ için s/B=%10 yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	98
C.21 B=2,25 m ve $\phi=28^0$ için s/B=%10 yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	99
C.22 B=2,5 m ve $\phi=30^0$ için s/B=%10 yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	99
C.23 B=2,75 m ve $\phi=32^0$ için s/B=%10 yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	100
C.24 B=3 m ve $\phi=30^0$ için s/B=%10 yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	100
C.25 B=1 m ve $\phi=30^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	101
C.26 B=1,5 m ve $\phi=28^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	101
C.27 B=2 m ve $\phi=30^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması	102
C.28 B=2,5 m ve $\phi=28^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	102
C.29 B=2,75 m ve $\phi=30^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	103
C.30 B=3 m ve $\phi=28^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.....	103

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Meyerhof şekil, derinlik ve eğik yük faktörleri	18
2.2 Genel taşıma gücü şekil faktörleri	20
2.3 Genel taşıma gücü eğik yük faktörleri.....	21
2.4 $D_f/B < 1$ için Genel taşıma gücüne göre derinlik faktörleri.....	22
2.5 $D_f/B \geq 1$ için Genel taşıma gücüne göre derinlik faktörleri.....	22
2.6 Genel taşıma gücüne göre eğik zemin faktörleri	23
2.7 Genel taşıma gücüne göre eğik temel faktörleri	23
2.8 Genel taşıma gücüne göre sıkışma faktörleri.....	24
2.9 Eurocode şekil faktörleri.....	26
2.10 Eurocode eğik temel faktörleri	27
2.11 Eurocode eğik yük faktörleri	27
3.1 Elastik-plastik modele ait parametreler ve özellikleri	36
3.2 Granüler zeminlerde yaklaşık SPT-N ile D_r , ϕ ve γ ilişkileri.....	48
3.3 Zeminlere ait tipik elastisite modülü	48
3.4 Tipik elastisite ve kayma modülleri.....	49
3.5 $\phi=30^0$ ve $B=1$ m için farklı elastisite modüllerine göre taşıma gücü sonuçları	49
3.6 Zeminlere ait tipik poisson oranları	50
3.7 Zemin türlerine göre poisson oranları.....	50
3.8 Poisson oranının taşıma gücü değerine etkisi	50
3.9 Analizde kullanılan zeminlere ait parametreler	52

EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
EK A Temel Genişliğinin Taşıma Gücüne Etkisi Sigma/W Çıktıları.....	77
EK B Temel Derinliğinin Taşıma Gücüne Etkisi Sigma/W Çıktıları	83
EK C Sayısal Yöntemler ile Taşıma Gücü Hesaplamaları.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_f	:	Temelin Efektif Alanı
B	:	Temel Genişliği
c	:	Kohezyon
c_a	:	Taban Adezyonu
d	:	Temel Tabanından Su Tablasına Olan Mesafe
D_1	:	Birinci Katmanın Tabaka Kalınlığı
D_2	:	İkinci Katmanın Tabaka Kalınlığı
D_f	:	Temel Derinliği
D_r	:	Rölatif Sıkılık
e	:	Boşluk Oranı
E_s	:	Elastisite Modülü
$F_{cb}, F_{qb}, F_{\gamma b}$:	Eğik Temel Faktörleri
$F_{cc}, F_{qc}, F_{\gamma c}$:	Sıkışma Faktörleri
$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$:	Derinlik Faktörleri
$F_{cg}, F_{qg}, F_{\gamma g}$:	Eğik Zemin Faktörleri
$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$:	Eğik Yük Faktörleri
$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$:	Şekil Faktörleri
G_s	:	Kayma Modülü
H	:	Temele Etki Eden Yatay Yük
I_r	:	Zemine Ait Rijitlik İndeksi
$I_{r(cr)}$:	Kritik Rijitlik İndeksi
k	:	Rijitlik Matrisi
k_i	:	Yerdeğiştirmenin Sıfır Olduğu Andaki Başlangıç Rijitliği
K_p	:	Pasif Toprak Basıncı Katsayısı
K_{py}	:	Terzaghi Pasif Toprak Basıncı Katsayısı
K_s	:	Sekant Rijitlik

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

L	:	Temel Uzunluğu
m	:	Yük Doğrultusuna Göre Eğik Temel Faktöründe Üs İfadesi
m _B	:	Yük B Doğrultusunda Olduğunda Etki Eden Eğik Temel Faktörü Üs İfadesi
m _L	:	Yük L Doğrultusunda Olduğunda Etki Eden Eğik Temel Faktörü Üs İfadesi
N	:	Darbe Sayısı
N ₆₀	:	Arazi ve Ekipman Durumlarına Göre Düzeltilmiş Darbe Sayısı
N _c , N _q , N _γ	:	Taşıma Gücü Faktörleri
N _c ' , N _q ' , N _γ '	:	Modifiye Taşıma Gücü Faktörleri:
p _o	:	Normal Gerilme
q	:	Örtü Yüğü
q	:	Düğüm Yerdeğiştirme Vektörü
Q	:	Düğüm Kuvvet Vektör
q'	:	D _r +B/2 derinlikteki efektif gerilme
q _{cap}	:	Tahmin Edilen Gerilme
q ₁	:	Tahmin Edilen Gerilme
q ₂	:	Tahmin Edilen Gerilme Değeri nin 0,9 Katı
q _u	:	Nihai Taşıma Gücü
q _{u(1)}	:	İlk Nihai Taşıma Gücü
s	:	Yerdeğiştirme
s _o	:	Kayma Gerilmesi
s ₁	:	Tahmin Edilen Gerilme Değeri ne Karşılık Gelen Yerdeğiştirme
s ₂	:	Tahmin Edilen Gerilme Değeri ne Karşılık Gelen Yerdeğiştirmenin Yarısı
V	:	Temele Etki Eden Düşey Yüğü
α	:	Kamanın Yatay Eksenle Yaptığı Açı,
α	:	Yükün Düşey Eksenle Yaptığı Açı
β	:	Zeminin Yatayda Yaptığı Açı
β	:	Yükün Düşey Eksenle Yaptığı Açı
γ	:	Birim Hacim Ağırlık
γ _{sat}	:	Doygun Birim Hacim Ağırlık

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

γ_w	:	Suyun Birim Hacim Ağırlığı
γ'	:	Batık Birim Hacim Ağırlık
$\bar{\gamma}$:	Ortalama Birim Hacim Ağırlık
ε_s	:	Pseudo Şekil Değişirme
η	:	Temel Tabanı Eğiklik Açısı
η	:	Meyerhof Rankine Pasif Bölge Açısı
ϕ	:	İçsel Sürtünme Açısı
ϕ_{lokal}	:	Lokal Kırılma Durumundaki Azaltılmış İçsel Sürtünme Açısı
ψ	:	Dilatasyon Açısı
θ	:	Meyerhof Radyal Kayma Zonu Açısı
ν	:	Poisson Oranı

KISALTMALAR

GP	:	Kötü Derecelenmiş Çakıl
GW	:	İyi Derecelenmiş Çakıl
ML	:	Düşük Plastisiteli Silt
SM	:	Siltli Kum
SP	:	Kötü Derecelenmiş Kum
SW	:	İyi Derecelenmiş Kum
SPT	:	Standart Penetrasyon Testi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Temeller, uygulamada karşılaşılan durumlara göre çeşitli biçimlerde yapılırlar. Temel zemininin yapısı ve özellikleri ile üst yapının karakteristikleri temel biçiminin seçiminde ana öğelerdir. Temeller oturma derinliklerine ve yük taşıma yöntemlerine göre yüzeysel ve derin temel sistemleri olarak ikiye ayrılırlar. Bir yapı tasarımında öncelikle temel sisteminin maliyeti ve uygulama kolaylığı bakımından yüzeysel temel olarak projelendirilmesi istenir şayet binadan gelen tasarım yüklerini temel zemini emniyetli bir şekilde taşıyamıyorsa o zaman derin sistemlerinin projelendirilmesi yapılır. Bundan dolayı özel zeminler ve yüksek yapılar haricinde yüzeysel temel sistemleri yapılar için en çok kullanılan sistemlerdir.

Yüzeysel temel sisteminin, tasarımı yapılması düşünülen yapının yüklerini güvenli bir şekilde temel zeminine iletmesi istenir. Bunun için öncelikle, temel zemininin taşıma gücünün hesaplanması gerekmektedir. Ülkemizde, yüzeysel taşıma gücü hesaplamalarında, hangi yöntemin kullanılması gerektiğini belirten herhangi bir standart mevcut değildir. Uygulamada en yaygın kullanılan yöntemler ise Terzaghi, Meyerhof ve Vesic tarafından önerilen genel taşıma gücü ve Eurocode 7'dir. Analitik yaklaşımlar olarak da nitelendirilen bu metotlarda öncelikle yapının oturacağı temel zemini ve temel sistemine göre taşıma gücü hesaplanmaktadır. Öncelikle, ilgili inşaat sahasında temel-zemin etüdü yapılarak temel altı zemin katmanlarının litolojisi ve geoteknik parametreleri elde edilir. Daha sonrada bu bilgilerin ışığı altında temel zeminin taşıma gücü elde edilir. Analitik metotlarda zeminde gerilme artımından dolayı oluşacak kırılma mekanizması olarak genel kırılma durumu dikkate alınmaktadır. Lokal kırılma veya zımbalama durumları için özel etki katsayıları kullanılarak düzeltmeler yapılmaktadır.

Günümüzde bilgisayar ve simülasyon teknolojilerinin gelişimi ile mühendislik tasarımlarının sayısal yöntemler ile uygulamaları gün geçtikçe artmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde arazide ve laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler yardımı ile çok

hesap yükü gerektiren tasarımlarda sayısal yöntemlerin kullanılması artık zorunluluk haline gelmiştir. Bundan dolayı temel ve zemin mekaniği problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere sunulan bilgisayar yazılımlarının sayıları ve problemlerin kapsamlarına göre kullanıcılara verdikleri seçenekler her geçen gün artmaktadır.

Sayısal modeller, gerçek zemin davranışlarını temsil etmeye çalışmasına rağmen hala yakınsak yaklaşımlardır. Çözümleme hassasiyeti, seçilen sonlu elamanların düğüm sayıları ve çözüm fonksiyonlarının sınırları gibi birçok faktör, sonuçları etkilemektedir. Bundan dolayı, elde edilen sonuçların doğru olarak yorumlanması gerekir. Örneğin, yüzeysel temellerin taşıma gücünün sayısal yöntemler ile bulunması sırasında elde edilen yük-yer değiştirme eğrilerinin sayısal kestirim yöntemleri (Brinch Hansen, De Beer, $s/B=10\%$ vb.) ile tekrar incelenerek taşıma gücü tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, kohezyonsuz zeminlere oturan yüzeysel temel sistemi olan şerit temellerin taşıma gücü analizleri hem analitik hem de sayısal olarak yapılmıştır. Gerilme-yer değiştirme ilişkisinin elastik-plastik modeli ile incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Seçilen zemin modeli analitik yöntemlerde kullanılmasından dolayı seçilmiştir. Sayısal yöntemler ile analitik yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri birbirleri ile kıyaslanarak benzerlikleri ve ayrıştıkları noktalar tartışılmıştır.

1.1 ÇALIŞMANIN TANIMI

Bu tez çalışması kapsamında, birinci bölümde tez içerisinde anlatılan konular üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde, taşıma gücü kavramı hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra, taşıma gücünün hangi yöntemlerle belirlenebileceği anlatılmıştır. Zeminlerde kayma yenilmesi tiplerinden bahsedilerek, bir sonraki bölümde analitik yöntemlerle taşıma gücü teorilerinden bahsedilmiştir. Taşıma gücü denklemlerinden kullanılan denklemler, zeminin yenilme tipine göre farklılık gösterdiğinden analitik yöntemlerden önce kayma yenilmesi tipleri anlatılmıştır.

Üçüncü bölümde ise sonlu elemanlar yönteminden bahsedilmiştir. Analizde kullanılan zemin parametrelerinin nasıl elde edildiği ile ilgili bilgiler verilmiştir. Daha sonra, sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Geostudio 2012 Sigma/W programı hakkında genel bilgiler

verilmiştir. Analizin adım adım nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Programdan elde edilen gerilme-yerdeğiştirme eğrileri kullanılarak sayısal yöntemler ile taşıma gücü hesabı gerçekleştirilmiştir.

Dördüncü bölümde ise, temel genişliğinin ve temel derinliğinin taşıma gücüne etkisi değerlendirilmiştir. Analitik yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile sayısal yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlgili yöntemler arasından taşıma gücünü en yüksek ve en düşük hesaplayan yöntemler belirlenmiştir

Beşinci bölümde ise, analitik ve sayısal yöntemler yardımı ile bulunan sonuçlar yorumlanmıştır. Ayrıca, gelecekte yapılabilecek çalışmalar hakkında öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

TAŞIMA GÜCÜ KAVRAMI VE LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

2.1 GİRİŞ

Bu bölümde taşıma gücünün tanımı ve yenilme mekanizmaları hakkında kısaca bilgi verildikten sonra, sığ temel sistemlerinin taşıma gücünün analitik yöntemler ile nasıl belirlenebileceği anlatılmıştır.

2.2 TAŞIMA GÜCÜ TANIMI

Taşıma gücü, zeminin kayma yenilmesine uğramadan taşıyabileceği en büyük gerilme miktarıdır. Yapıdan gelen yüklerin temel tabanında oluşturduğu basınç gerilmesi temel zemininde yerdeğiştirme oluşturmaktadır. Yapıdan gelen gerilme arttıkça yerdeğiştirme de artmaktadır. Belli bir yerdeğiştirmeden sonra temel zemini daha fazla gerilme değerlerini taşıyamamaktadır. Artan yerdeğiştirmeye rağmen taban basıncının değişmediği veya azaldığı gerilme miktarı taşıma gücü olarak adlandırılır.

2.3 TAŞIMA GÜCÜ BELİRLEME YÖNTEMLERİ

Taşıma gücünü belirlemek için deneysel, analitik ve sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Deneysel yöntemler, tam ölçekli yükleme deneyleri ve plaka yükleme deneyleri olarak sıralanabilir. Tam ölçekli deneysel çalışmalarda, arazide temel sisteminin bire bir oluşturulması ve yükleme işleminin gerçek büyüklüklere ulaşabilmesi gerekmektedir. Bu yöntemin en çok uygulandığı temel sistemleri derin temellerdir. Örneğin, kazıklı temel sistemlerinde tam ölçekli kazık yükleme deneyleri yapılmaktadır. Fakat sığ temel sistemlerinde, tekil temeller hariç radye temel, şerit temel gibi oturum alanları büyük sistemlerde, tam ölçekli deneysel yöntemler ile taşıma gücünün belirlenmesinin maliyeti oldukça yüksektir. Bundan dolayı plaka yükleme deneyleri alternatif olarak kullanılmaktadır (ASTM D1196, 1997; TS 5744, 1988). Plaka yükleme deneylerinde, rijit ve çapları 30 cm ile

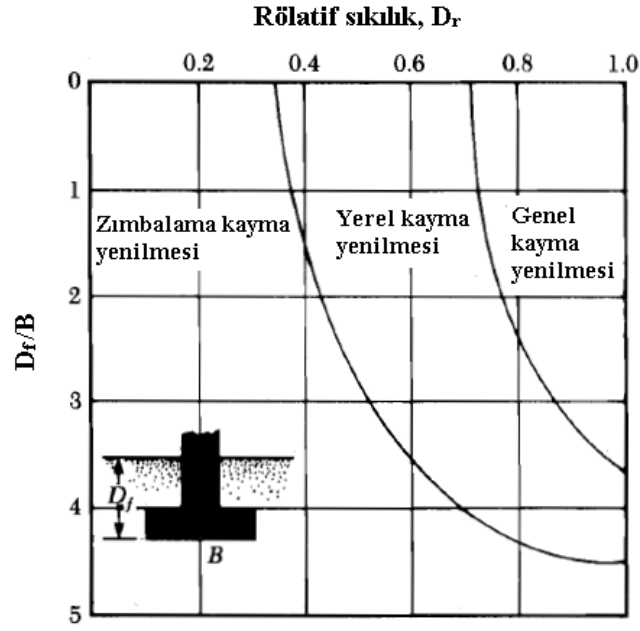
76,2 cm arasında değişen elik plakalar kullanılır. Yükleme, 10 kPa değerini geçmeyecek şekilde en az altı adımda, rijit plakanın son taşıma gücüne erişilene kadar veya plaka oturmasının plaka çapının %10'una erişmesine kadar sürdürülmesi istenir. Deney sonucunda basınç ve düşey yerdeğiştirme (oturma) grafiği çizilerek zemine ait taşıma gücü bulunur. Arazi ekipmanlarındaki bu kısıtlamalar ve artan yenilmenin temel altındaki zemin partiküllerinin yerini değiştirmesinden dolayı büyük gerilmelere ulaşamaz. Ayrıca deneyin analizinin, yapılacak yapıya göre daha küçük bir alanda yapılması da deneysel yöntemin eksik yönüdür (Taylor 1948). Bundan dolayı, geoteknik mühendisliğinde analitik yöntemler ile yapılan bir temel zeminine ait taşıma gücü hesabında, öncelikle arazi ve laboratuvar deneyleri yardımı ile zeminin indeks ve mukavemet parametreleri bulunur. Daha sonra eldeki parametreler kullanılarak taşıma gücünün hesaplanması yapılır.

Analitik yöntemler ile taşıma gücü hesabının yapılabilmesi için de kayma yenilmesi tipinin bilinmesi gerekir. Bunun sebebi ise taşıma gücü yenilmesi tipinin taşıma gücü hesabı ve sonuçlarını etkilemesidir.

2.4 YENİLME MEKANİZMALARI

Temelin taşıma gücünün aşılması ile zeminde kayma yenilmesi oluşmaktadır. Zeminlerde üç tip yenilme mevcuttur. Bunlar genel kayma yenilmesi, yerel kayma yenilmesi ve zımbalama kayma yenilmesidir.

Şekil 2.1'de Vesic (1973) tarafından sığ temel sisteminin oturduğu kohezyonsuz kumlu zeminler için önerilen kayma yenilmesi tiplerinin oluşum aralıkları görülmektedir. Bu eğride düşey ekseninde bulunan D_f/B temel derinliğinin temel genişliğine oranını göstermektedir. Yatay ekseninde bulunan D_r ise zemine ait rölatif sıklığı göstermektedir. Rölatif sıklık ve temel derinliğinin temel genişliğine oranı eğriye girildiğinde zeminin hangi tip yenilmeye uğradığı anlaşılmaktadır. Genel kayma yenilmesine uğrayan bir zemin, temel derinliğinin temel genişliğine oranının artması ile yerel kayma yenilmesi ya da zımbalama kayma yenilmesine uğrayabilmektedir.

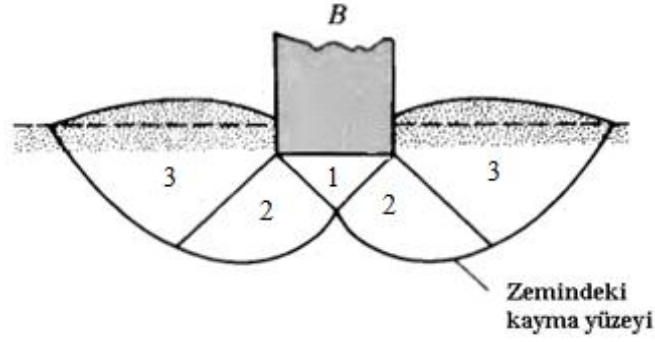


Şekil 2.1. Kumlu zeminde kayma yenilmesi tipleri (Vesic 1973).

2.4.1 Genel Kayma Yenilmesi

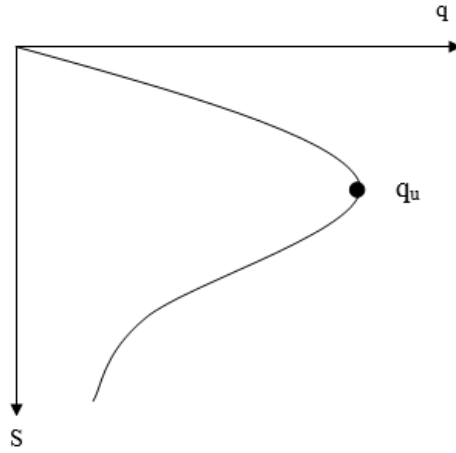
Genel kayma yenilmesi, temelin bir kenarından zemin yüzeyine kadar sürekli bir kayma çizgisi içeren ve kırılma modelinin belirgin olduğu bir yenilme tipidir. Şekil 2.2’de genel kayma yenilmesine uğrayan bir zemine ait kayma yüzeyleri görülmektedir. Şekilde (1) ile gösterilen elastik üçgen kama olup, (2) ile gösterilen radyal bölge ve (3) ile gösterilen ise Rankine pasif bölgelerdir. Tüm bölgelerde kayma yüzeyleri belirgindir. Ayrıca zemin yüzeyinin üzerinde de kabarmalar gözlemlenmektedir.

Genel kayma yenilmesi rölatif sıklığın % 75’ten büyük olduğu sıkı ve sert zeminlerde meydana gelir. Yapı temeli dönmeye karşı engellemedikçe yenilme temelin devrilmesi ile gerçekleşmektedir. Genel kayma yenilmesine uğrayan zeminlerde yenilme ani ve yıkıcı olmaktadır.



Şekil 2.2. Genel kayma yenilmesi mekanizması (Das 2007).

Genel kayma yenilmesine uğrayan bir zeminin tipik gerilme-yerdeğiştirme eğrisi Şekil 2.3’de görülmektedir. Burada q gerilme, s ise yerdeğiştirmedir. Temele etki eden gerilme arttıkça yerdeğiştirme de artmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi gerilme belirli bir pik noktasına ulaştıktan sonra daha fazla gerilme taşıyamaz ve kırılma oluşur. Zeminin taşıyabildiği bu maksimum değer nihai taşıma gücü (q_u) değerini verir. Pik gerilme oluşuktan sonra gerilmelerde azalma meydana gelirken yerdeğiştirme artmaya devam eder.

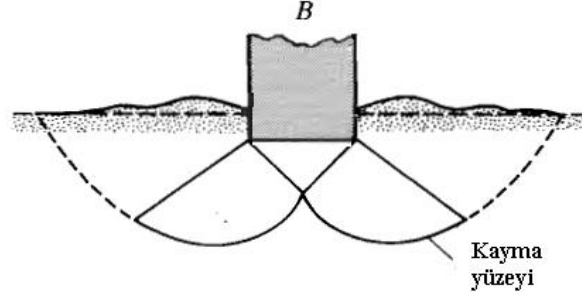


Şekil 2.3. Genel kayma yenilmesine ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi.

2.4.2 Yerel Kayma Yenilmesi

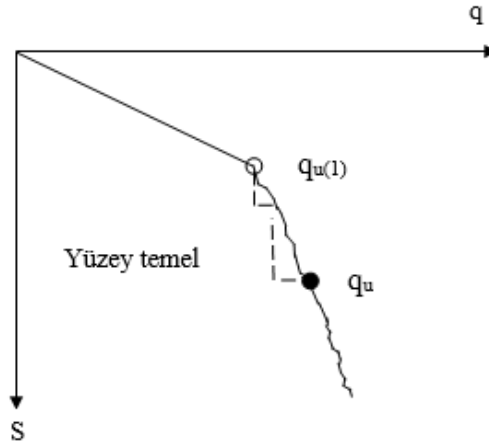
Yerel kayma yenilmesinde meydana gelen kırılma modeli sadece temelin hemen altında belirgin bir şekilde oluşur. Genel kayma yenilmesinde olduğu gibi temel altında üçgen elastik kama ve radyal bölgeye ait kayma yüzeyleri belirgindir ancak Rankine pasif bölgeye ait kayma yüzeyi belirgin değildir ve Şekil 2.4’de bu bölge kesikli çizgiler ile gösterilmiştir. Temelin altında yeterli bir yerdeğiştirme oluştuğunda zeminde kayma yüzeyleri belirir. Bu

yüzden yerel kayma yenilmesi, genel kayma yenilmesi ve zımbalama yenilmesinin her ikisinin de karakteristik özelliklerini taşır. Yerel kayma yenilmesine uğrayan zeminler genellikle gevşek ve yumuşak zeminlerdir.



Şekil 2.4. Yerel kayma yenilmesi mekanizması (Das 2007).

Şekil 2.5’de ise yerel kayma yenilmesine uğrayan bir zemine ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi gösterilmektedir. Temelde gerilme arttıkça yerdeğiştirme de artmaktadır. Şekil incelendiğinde yerdeğiştirme ve gerilme artmaya devam etmektedir. Taşıma gücünün hesaplanabilmesi için yerdeğiştirme arttıkça gerilmenin sabit kalması veya azalması gerekir. Bu yüzden, bu yöntemle taşıma gücünü belirlemek zordur. Eğride $q_{u(1)}$, birinci nihai taşıma gücünü göstermektedir. Eğriye bakıldığında q_u ise bir sonraki nihai taşıma gücüdür.



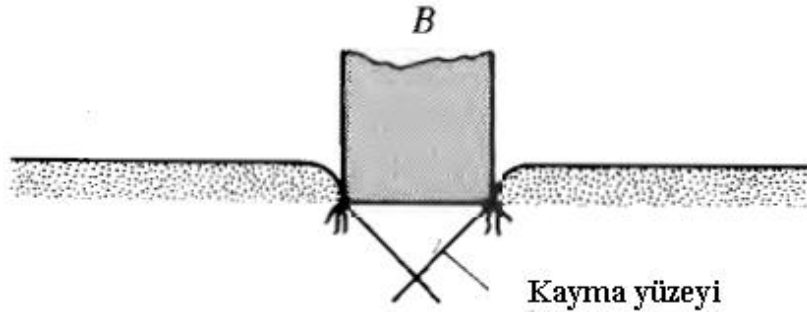
Şekil 2.5. Yerel kayma yenilmesine ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi (Vesic 1973).

2.4.3 Zımbalama Kayma Yenilmesi

Zımbalama kayma yenilmesinde kırılma modelinin belirlenmesi diğer yenilme tiplerine göre daha zordur. Yük arttıkça temelin hemen altındaki zeminde sıkışma meydana gelir ve temele

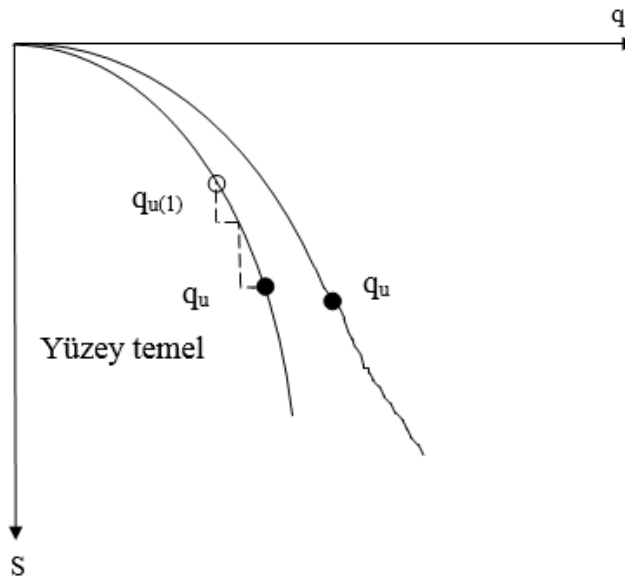
uygulanan gerilmenin artması ise temel çevresinde düşey kayma oluşturur. Temelin kenarlarındaki zeminde pratik olarak hareket gözlemlenmez ve düşey doğrultuda ani hareketlenme olmadıkça hem yatay hem düşey denge korunur.

Şekil 2.6'da da görülebileceği gibi temel altında üçgen elastik kama gözlemlenebilmektedir. Fakat log-spiral zon ve kayma zonu mevcut değildir. Dolayısıyla zımbalama kayma yenilmesine uğrayan zeminlerin nihai taşıma gücü hesabı yapılamaz. Temel zemine zımbalanır ve kayma yüzeyleri oluşmaz.



Şekil 2.6. Zımbalama kayma yenilmesi mekanizması (Das 2007).

Zımbalama kayma yenilmesi, çok yumuşak veya çok gevşek zeminlerde meydana gelir. Zımbalama kayma yenilmesine uğrayan bir zeminin iyileştirilmesi gerekir. Şekil 2.7'de görüldüğü gibi zımbalama kayma yenilmesine uğrayan bir temel yüklendikçe önce eğimi büyük olan gerilme-yerdeğiştirme eğrisi daha sonra daha yavaş artarak devam etmektedir. Burada $q_{u(1)}$ ilk nihai taşıma gücünü, q_u ise bir sonraki taşıma gücünü göstermektedir.



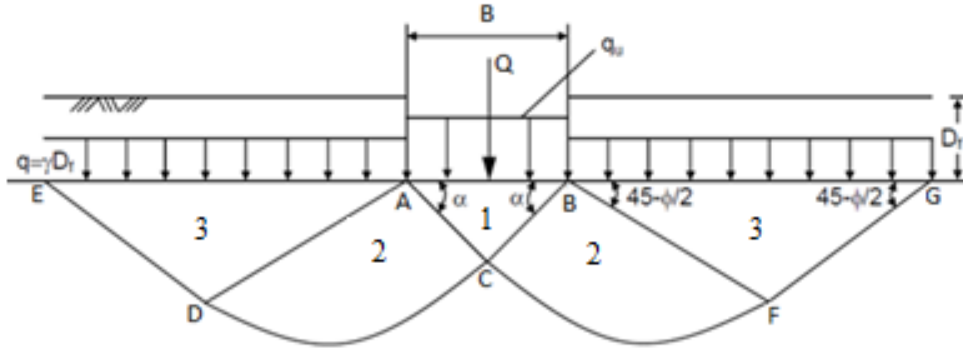
Şekil 2.7. Zımbalama kayma yenilmesine ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi.

2.5 ANALİTİK YÖNTEMLER İLE TAŞIMA GÜCÜNÜN HESAPLAMASI

Yüzeysel temellerin taşıma gücü ile ilgili olarak ilk çalışma 1943'te Terzaghi tarafından Prandtl teorisi ile ilişkilendirilerek belirlenmiştir. Prandtl (1920), B genişliğinde uzun rijit bir metalin kendinden daha yumuşak bir malzemenin yüzeyine bastırılması ile plastik şekil değiştirmeyi iki boyutlu olarak incelemiştir. Malzeme homojen ve izotropdur ve sadece içsel sürtünme (ϕ) ve kohezyona (c) sahiptir. Şekil değiştirme sırasında hacimsel değişimin olmadığı kabulü yapılmıştır. Bu yaklaşımı izleyerek değişik zemin, temel, yük koşullarında taşıma gücü hesaplamaları için birçok teori ve çözüm geliştirilmiştir. Bunlar arasından en çok kullanılanlar ise Terzaghi (1943), Meyerhof (1951), Hansen (1961), Vesic (1975) teorileri olmuştur. Alt bölümlerde ise taşıma gücü teorileri anlatılacaktır.

2.5.1 Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi

Terzaghi (1943), homojen zemine oturan pürüzlü, rijit, sığ ve şerit temellerin taşıma gücü ile ilgili teori geliştirmiştir. Terzaghi, derinliği genişliğe eşit veya daha küçük olan ($D_f/B \leq 1$) temelleri sığ temeller olarak tanımlamıştır. Terzaghi taşıma gücü yöntemine ait kayma yüzeyi Şekil 2.8'de görülmektedir. Kayma alanı 3 ana bölgeye ayrılır.



Şekil 2.8. Terzaghi sürekli, pürüzlü, rijit temele oturan zeminin kayma yüzeyi (Keskin 2009).

1. bölge temelin hemen altındaki üçgensel elastik kamadır. Terzaghi'ye (1943) göre, kamanın AC ve BC kenarıyla yatay doğrultuda yapmış olduğu açı α ile gösterilir ve zemine ait içsel sürtünme açısına eşittir ($\alpha = \phi$). Şekilde görülen CD ve CF ise kırılma yüzey kısımlarını göstermekte olup logaritmik spiraldir 2. bölge ise ACD ve BCF ile ifade edilen zondur ve bu bölge ise Prandtl'in radyal kayma zonu olarak adlandırılır. 3. bölge ise ADE ve BFG olarak

belirtilen zondur ve bu bölge Rankine pasif zonudur. Bu bölgede kayma çizgileri yatayla $\pm (45 + \phi/2)^0$ açı yaparlar.

Terzaghi taşıma gücü formülü şerit temeller için (iki boyutlu durumlarda) belirli kabuller kullanılarak ortaya çıkmıştır. Bu kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Zemin homojen, izotrop ve yarım sonsuzdur.
2. AB temel tabanı tam sürtünmelidir.
3. Temel tabanının altında üçgensel bir kama oluşmaktadır. Bu kamanın AC ve BC kenarıyla yatay yönde yaptığı açı, zeminin içsel sürtünme açısına eşittir.
4. Kayma yüzeyinin temel derinliği içinde kalan kısmı ihmal edilir ve bunun yerine temel taban düzeyi boyunca üniform yayılı yükün etki ettiği varsayılır
5. Temelin yan yüzeyleri ve zemin arasındaki sürtünmeler de ihmal edilmektedir ve zeminin genel bir zemin olduğu düşünülmektedir.

Terzaghi'nin taşıma gücü denkleminde şekil, derinlik, sıkışma, eğik yük, eğik zemin ve eğik temel faktörleri mevcut değildir. Sadece zemine ait içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişen taşıma gücü faktörleri kullanılmaktadır. Terzaghi şerit temeller için denklem 2.1'i önermiştir. Ayrıca kare temeller için denklem 2.2 ve dairesel temeller için denklem 2.3 ile taşıma gücü hesaplanmaktadır.

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma \quad (2.1)$$

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,4\gamma BN_\gamma \quad (2.2)$$

$$q_u = 1,3cN_c + qN_q + 0,3\gamma BN_\gamma \quad (2.3)$$

N_c, N_q, N_γ : taşıma gücü faktörleri

Bu denklemlerde c kohezyonu, q örtü yükünü, γ zemine ait birim hacim ağırlığı, B ise temel genişliğini göstermektedir. Örtü yükü ise zemin yüzeyi ile temel tabanı arasındaki efektif gerilmeyi vermektedir.

Terzaghi taşıma gücü denklemindeki taşıma gücü faktörleri aşağıda verilmiştir. Taşıma gücü faktörleri içsel sürtünme açısının (ϕ) fonksiyonudur.

$$N_q = \left[\frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right) \tan \phi}}{2 \cos^2 \left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \right] \quad (2.4)$$

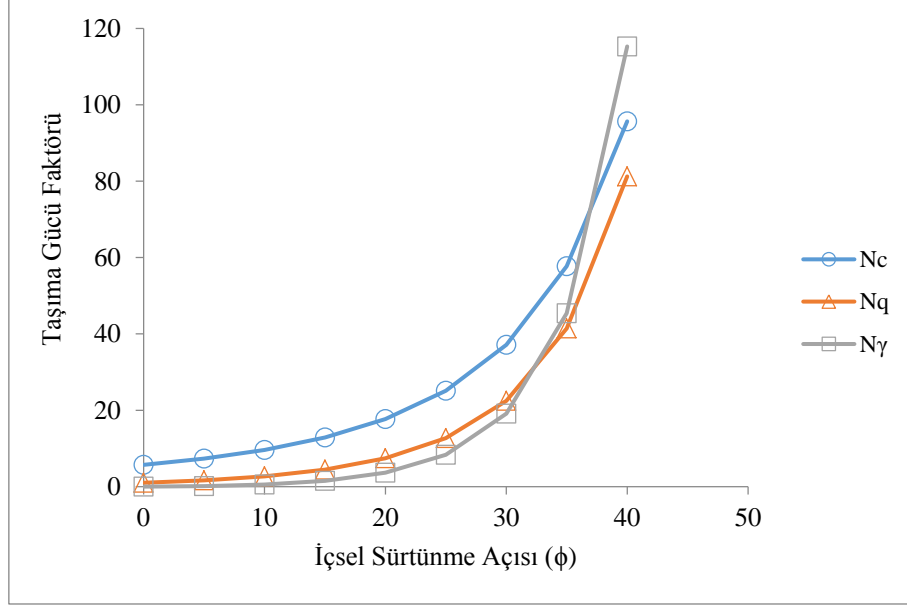
$$N_c = \cot \phi (N_q - 1) \quad (2.5)$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2} \left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2 \phi} - 1 \right) \tan \phi \quad (2.6)$$

$$K_{p\gamma} = 8,4834 + 2,3427e^{0.0971\phi} + 0,0000208e^{0.343\phi} \quad (2.7)$$

Burada $K_{p\gamma}$ Terzaghi pasif toprak basıncı katsayısı olup denklem 2.7 denklemi ile hesaplanır.

Şekil 2.9'da ise Terzaghi taşıma gücü teorisine ait taşıma gücü katsayılarının içsel sürtünme açısına göre değişimi gösterilmiştir. Denklem 2.4-2.6 ve Şekil 2.9'dan anlaşılacağı gibi içsel sürtünme açısı ile taşıma gücü faktörlerinin arttığı görülmektedir. Bu artış içsel sürtünme açısının 30 dereceye kadar olan kısmı için artış hızı yavaş 30 derecenin üzerinde hızlıdır. N_c faktörü içsel sürtünmenin 0 ile 35 derece olduğu durum için diğer taşıma gücü faktörlerinden daha büyük iken, içsel sürtünme açısı 40 derece olduğunda N_γ faktörü en büyük taşıma gücü faktörüdür. N_γ faktörü aynı zamanda artış hızı en büyük olan taşıma gücü faktörüdür.



Şekil 2.9. Terzaghi taşıma gücü faktörleri.

2.5.1.1 Terzaghi'nin Lokal Kayma Yenilmesi Durumundaki Taşıma Gücü Teorisi

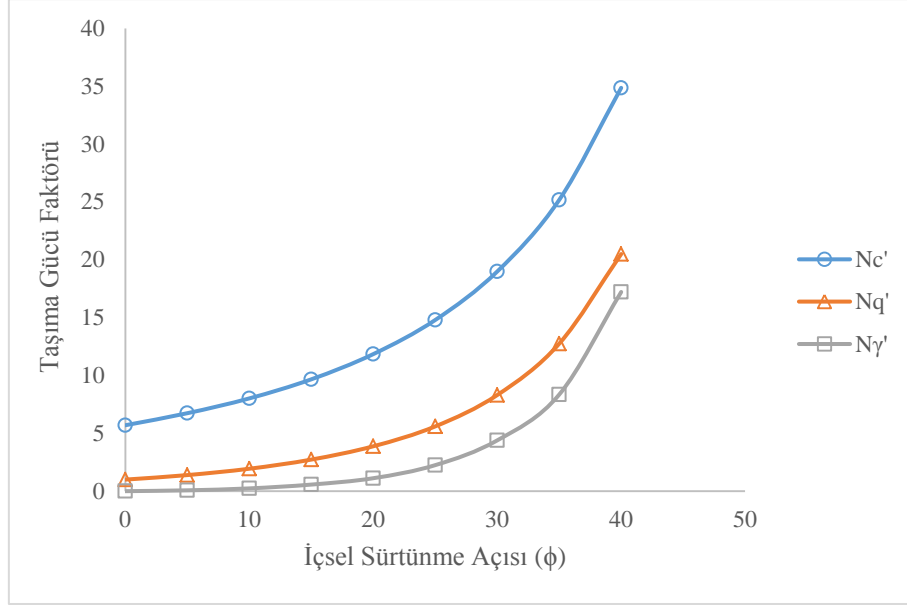
Terzaghi'nin taşıma gücü teorisinin zeminde genel kayma yenilmesi olduğunun varsayıldığı durumlarda elde edildiği bilinmektedir. Terzaghi, zeminde yerel kayma yenilmesi olduğu zaman ise aşağıdaki denklemleri önermektedir. Burada 2.8 denklemi şerit temeller için, 2.9 denklemi kare temeller için 2.10 denklemi ise dairesel temeller için geliştirilmiştir.

$$q_u = \frac{2}{3}cN_c' + qN_q' + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma' \quad (2.8)$$

$$q_u = 0,867cN_c' + qN_q' + 0,4\gamma BN_\gamma' \quad (2.9)$$

$$q_u = 0,867cN_c' + qN_q' + 0,3\gamma BN_\gamma' \quad (2.10)$$

N_c', N_q', N_γ' : modifiye taşıma gücü faktörleri



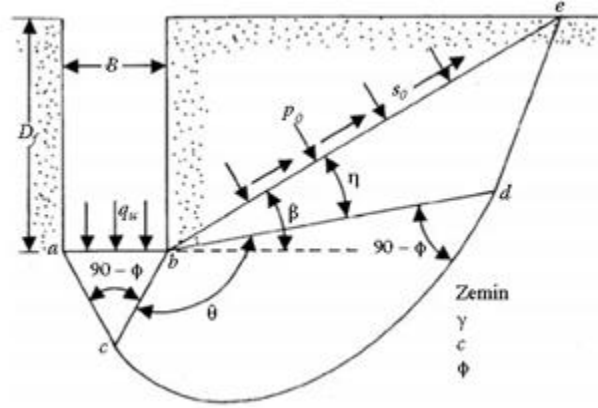
Şekil 2.10. Terzaghi modifiye taşıma gücü faktörleri.

Şekil 2.10'da Terzaghi'nin yerel kayma yenilmesine uğrayan zeminler için önerdiği taşıma gücü denkleminde kullanılan modifiye taşıma gücü faktörleri görülmektedir. İçsel sürtünme açısının artması ile taşıma gücü faktörleri artmaktadır. Şekilden de görüldüğü gibi N_c' değeri diğer taşıma gücü faktörlerinden tüm içsel sürtünme açısı değerlerinde daha büyük sonuçlar vermektedir. Bu parametreler, içsel sürtünme açısının ($\phi_{\text{lokal}} = \tan^{-1}[0.67 \tan \phi]$) belirli bir oranda azaltılması ile denklem 2.4-2.7 yardımı ile hesaplanmaktadır (Das 2009).

2.5.2 Meyerhof Taşıma Gücü Teorisi

Meyerhof (1951) pürüzlü, sık ve derin temellerde uygulanabilecek olan bir taşıma gücü teorisi yayınlamıştır. Meyerhof tarafından varsayılan sürekli şerit temellerin nihai yük altındaki kayma yüzeyleri Şekil 2.11'de görülmektedir. Bu şekilde abc elastik üçgen kama, bcd log spiral yay olan ac ile beraber radyal kayma zonu ve bde ise kaymanın temelin derinliği ve pürüzlüğüne bağlı radyal ve düzlem kayma sınırlarında farklı kayma değerleri aldığı karışık bir kayma zonedir. Şekilde görülen abc üçgeni ikizkenar üçgen olup ac ve bc kenarları birbirine eşittir. Ayrıca elastik kamanın yatay eksenle yapmış olduğu açı da $45 + \phi/2'$ dir. Burada be düzlemi ise eşdeğer serbest yüzeydir. Be düzlemindeki normal gerilmeler ve kayma gerilmeleri p_0 ve s_0 olarak ifade edilir (Das 2009).

Meyerhof taşıma gücü teorisinde Terzaghi teorisinden farklı olarak kayma yüzeyinin temel tabanının üzerinde kalan kısım da hesaplama da dahil edilmektedir. Kamanın yatay eksenle yapmış olduğu açı Terzaghi taşıma gücü yönteminde ϕ 'ye eşit iken, Meyerhof taşıma gücü yönteminde ise $45+\phi/2$ 'ye eşittir. Meyerhof taşıma gücü yönteminde ab temel tabanı Terzaghi yöntemindeki gibi tam sürtünmelidir.



Şekil 2.11. Meyerhof pürüzlü sürekli temelin kayma çizgileri (Das 2009).

Meyerhof (1963), Terzaghi'nin denklemlerini şekil derinlik ve eğim faktörleri ile geliştirmiş ve 2.11 denklemini elde etmiştir.

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + \gamma D_f N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + 0,5\gamma B N_\gamma F_{cs} F_{cd} F_{ci} \quad (2.11)$$

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: şekil faktörleri

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: derinlik faktörleri

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: eğik yük faktörleri

Meyerhof taşıma gücü denkleminde kullanılan N_c taşıma gücü faktörünün formülü Terzaghi taşıma gücü yöntemindeki ile aynıdır. Denklem 2.13'de de görüldüğü gibi N_c ifadesi N_q 'ya bağlı olarak değişmektedir. Fakat N_q ve N_γ taşıma gücü faktörlerinin denklemleri Terzaghi taşıma gücü yönteminden farklı olduğu için yöntemler arasından elde edilen taşıma gücü faktörü değerleri farklı çıkmaktadır.

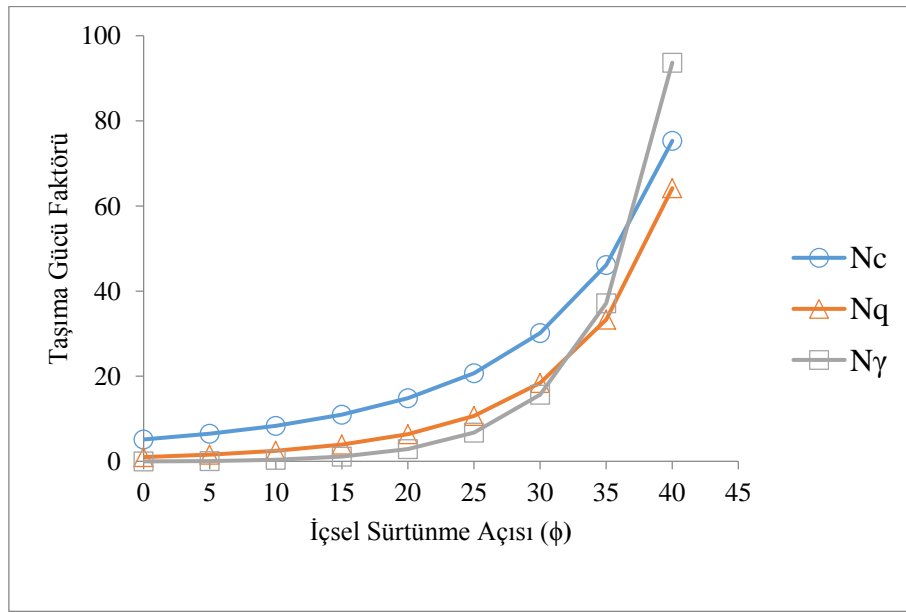
Meyerhof taşıma gücü faktörlerine ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (2.12)$$

$$N_c = \cot \phi (N_q - 1) \quad (2.13)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan 1,4\phi \quad (2.14)$$

Meyerhof taşıma gücü teorisine ait içsel sürtünme açısının değişimi ile taşıma gücü faktörlerinin değişimi şekil 2.12’de görülmektedir. Diğer taşıma gücü teorilerinde olduğu gibi Meyerhof taşıma gücü faktörlerinde de içsel sürtünme açısının 30 dereceye kadar olan kısmı için taşıma gücü faktörleri daha yavaş artarken 30 derecenin üzerindeki değerlerde daha hızlı bir artış söz konusudur.



Şekil 2.12. Meyerhof taşıma gücü faktörleri.

Çizelge 2.1’de Meyerhof taşıma gücü teorisine göre kullanılan şekil derinlik ve eğik yük faktörleri aşağıdaki gibidir. Burada α ile belirtilen etki eden yükün düşey eksenle yaptığı açıdır. K_p ise pasif toprak basıncı katsayısıdır ve formülü ise aşağıdaki gibidir.

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.15)$$

Çizelge 2.1. Meyerhof şekil, derinlik ve eğik yük faktörleri (Murthy 2007).

Şekil Faktörleri	F_{cs}	ϕ	$1 + 0,2 K_p \left(\frac{B}{L}\right)$
	F_{qs}	$\phi=0$	1
		$\phi>10$	$1 + 0,1 K_p \left(\frac{B}{L}\right)$
	$F_{\gamma s}$	$\phi=0$	1
		$\phi>10$	$1 + 0,1 K_p \left(\frac{B}{L}\right)$
	Derinlik Faktörleri	F_{cd}	ϕ
F_{qd}		$\phi=0$	1
		$\phi>10$	$1 + 0,1 \sqrt{K_p} \left(\frac{D_f}{B}\right)$
$F_{\gamma d}$		$\phi=0$	1
		$\phi>10$	$1 + 0,1 \sqrt{K_p} \left(\frac{D_f}{B}\right)$
Eğik Yük Faktörleri		F_{ci}	ϕ
	F_{qi}	ϕ	$\left(1 - \frac{\alpha}{90}\right)^2$
	$F_{\gamma i}$	$\phi=0$	0
		$\phi>10$	$\left(1 - \frac{\alpha}{\phi}\right)^2$

2.5.3 Genel Taşıma Gücü Teorisi

Vesic (1973), sığ temellerin taşıma gücü ile ilgili bir taşıma gücü teorisi önermiştir. Bu teori Meyerhof taşıma gücü teorisinde kabul edilen varsayımlar ile aynıdır. Vesic (1973), Meyerhof taşıma gücü denklemini geliştirmiştir. Meyerhof taşıma gücü yönteminde kullanılan şekil, derinlik ve eğik yük faktörlerinin yanında eğik zemin, eğik temel ve sıkışma faktörlerini de

taşıma gücü denklemine ilave etmiştir. Aşağıda genel taşıma gücüne ait denklem görünmektedir.

$$q_u = cN_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} F_{cc} F_{cg} F_{cb} + qN_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} F_{qc} F_{qg} F_{qb} \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} F_{\gamma i} F_{\gamma c} F_{\gamma g} F_{\gamma b} \quad (2.16)$$

c: kohezyon

q: örtü basıncı

γ : birim hacim ağırlık

B: temel genişliği

N_c, N_q, N_γ : taşıma gücü faktörleri

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: şekil faktörleri

$F_{cd}, F_{qd}, F_{\gamma d}$: derinlik faktörleri

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: eğik yük faktörleri

$F_{cc}, F_{qc}, F_{\gamma c}$: sıkışma faktörleri

$F_{cg}, F_{qg}, F_{\gamma g}$: eğik zemin faktörleri

$F_{cb}, F_{qb}, F_{\gamma b}$: eğik temel faktörleri

Aşağıdaki denklemler ise genel taşıma gücü denkleminde kullanılan taşıma gücü faktörlerini göstermektedir.

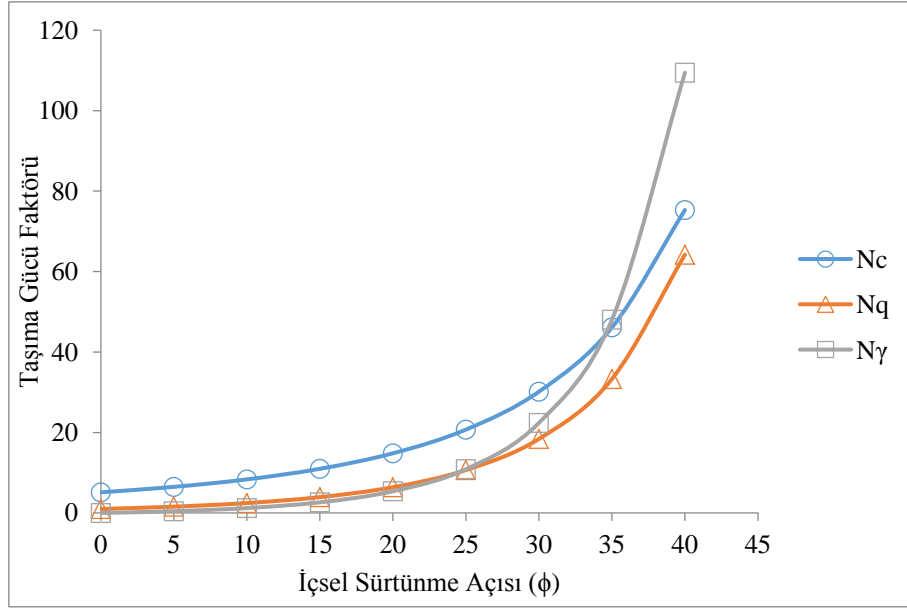
$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (2.17)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2.18)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (2.19)$$

N_q taşıma gücü faktörü Reissner (1924), N_c taşıma gücü faktörü Prandtl (1921) tarafından türetilmiştir. Caquot ve Kerisel (1953) ile Vesic (1973) ise N_γ denklemini önermişlerdir. Genel taşıma gücü denkleminde kullanılan taşıma gücü faktörleri N_c ve N_q 'ya ait denklemler Meyerhof taşıma gücü faktörleri ile aynıdır. Sadece N_γ faktörünün denklemi farklıdır. Şekil 2.13'de ise genel taşıma gücü teorisine göre içsel sürtünme açısı ile taşıma gücü faktörlerinin

değişimi gösterilmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi içsel sürtünme açısının 30^0 'yi geçmesi ile taşıma gücü faktörlerinin artışı hızlanmaktadır. Şekilde görünen N_c , N_q ve N_γ ifadeleri taşıma gücü faktörleridir ve içsel sürtünme açısının artması ile ilgili faktörler de artmakta bu da taşıma gücünü arttırmaktadır. Burada taşıma gücü faktörü N_c , $0 \leq \phi \leq 35$ aralığında olduğunda diğer taşıma gücü faktörlerinden daha büyüktür. İçsel sürtünme açısının 35 dereceden büyük olduğu durumlarda ise N_γ faktörü en büyük taşıma gücü faktörü olmaktadır.



Şekil 2.13. Genel taşıma gücü faktörleri.

Çizelge 2.2'de ise genel taşıma gücü denkleminde kullanılan şekil faktörlerine ait denklemler verilmiştir. Bu tez çalışmasında şerit temel ($L \gg B$) kullanıldığı için şekil faktörleri 1'e eşittir. Çünkü şerit temellerde B/L oranı sıfırdır. Burada L ise temelin uzunluğunu ifade etmektedir.

Çizelge 2.2. Genel taşıma gücü şekil faktörleri (Bowles 1996).

Şekil Faktörleri	F_{cs}	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \left(\frac{N_q}{N_c}\right)$
	F_{qs}	$1 + \left(\frac{B}{L}\right) \tan \phi$
	$F_{\gamma s}$	$1 - 0,4 \left(\frac{B}{L}\right)$

Çizelge 2.3 ise genel taşıma gücü denkleminde kullanılan eğik yük faktörlerini göstermektedir. Burada A_f temelin efektif alanını ($B \times L$), c_a taban adhezyonunu ($c_a=0.6c$ veya $c_a=c$), H temele etki eden yatay yükü, V temele etki eden düşey yükü ve m ise yükün temel genişliği veya temel uzunluğunda etki etmesine bağlı boyutsuz bir terimdir.

Yük B doğrultusunda etki ederse (2.18) denklemi kullanılır.

$$m = m_B = \frac{\left(2 + \frac{B}{L}\right)}{\left(1 + \frac{B}{L}\right)} \quad (2.18)$$

Yük L doğrultusunda etki ederse (2.19) denklemi kullanılır.

$$m = m_L = \frac{\left(2 + \frac{L}{B}\right)}{\left(1 + \frac{L}{B}\right)} \quad (2.19)$$

Çizelge 2.3. Genel taşıma gücü eğik yük faktörleri (Bowles 1996).

Eğik Yük Faktörleri	F_{ci}	$1 - \frac{mH}{A_f c_a N_c} \quad (\phi = 0)$ $F_{qi} - \frac{1 - F_{qi}}{N_q - 1} \quad (\phi > 0)$
	F_{qi}	$\left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^m$
	$F_{\gamma i}$	$\left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^{m+1}$

Temel derinliğinin temel genişliğine oranına göre derinlik faktörleri değişmektedir. Temel derinliğinin temel genişliğinden küçük ($D_f/B < 1$) olduğu duruma ait derinlik faktörleri Çizelge 2.4’de sunulmuştur. Burada tüm ϕ açıları için $F_{\gamma d}$ değeri 1’e eşittir. Bu tez çalışmasında hem yüzeye oturan şerit temellerin analizi hem de artan derinlikler için analiz yapılmıştır. Yüzeydeki temeller için bu değerler 1’e eşittir. Temel derinliği için yapılan analizde temel genişliği 2 m seçilmiş ve temel derinliği 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75 m olduğu durumlarda Çizelge 2.4’ten faydalanılmıştır.

Çizelge 2.4. $D_f/B < 1$ için genel taşıma gücüne göre derinlik faktörleri (Bowles 1996).

Derinlik faktörleri	
F_{cd}	$1 + 0,4 \left(\frac{D_f}{B} \right)$
F_{qd}	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{D_f}{B} \right)$
$F_{\gamma d}$	1

Çizelge 2.5’de temel derinliğinin temel genişliğine eşit ve büyük olduğu durumda ($D_f/B \geq 1$) kullanılacak olan genel taşıma gücüne ait derinlik faktörleri gösterilmektedir. Burada \tan^{-1} (D_f/B) ifadesi radyan cinsinden ifade edilir. Temel derinliğinin 2 m ve temel genişliğinin 2 m olduğu durum için ise D_f/B oranı 1 olduğu için Çizelge 2.5’teki denklemler kullanılmıştır.

Çizelge 2.5. $D_f/B \geq 1$ için genel taşıma gücüne göre derinlik faktörleri (Bowles 1996).

Derinlik faktörleri	
F_{cd}	$1 + 0,4 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$
F_{qd}	$1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \left(\frac{D_f}{B} \right)$
$F_{\gamma d}$	1

Vesic (1973) genel taşıma gücü denkleminde eğik zeminleri de modelleyebilmek için eğik zemin faktörleri geliştirmiştir. Çizelge 2.6’da eğik zemin faktörleri mevcuttur. Burada β açısı zeminin eğik olduğu durumda yatay eksen ile yaptığı açıyı göstermektedir. Burada F_{cg} içsel sürtünme açısının sıfır ve sıfırdan büyük olmasına göre iki farklı denklem ile hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında eğik zemin mevcut olmadığı için ilgili faktörler 1’e eşittir.

Çizelge 2.6. Genel taşıma gücüne göre eğik zemin faktörleri (Bowles 1996).

Eğik Zemin Faktörleri	F_{cg}	$\frac{\beta}{5,14} (\phi = 0)$ $F_{qi} - \frac{1 - F_{qi}}{5,14 \tan \phi} (\phi > 0)$
	F_{qg}	$(1 - \tan \beta)^2$
	$F_{\gamma g}$	$(1 - \tan \beta)^2$

Vesic (1973) temellerin eğik olduğu durumu analiz etmek için taşıma gücü denkleminde eğik temel faktörlerini Çizelge 2.7’de görüldüğü gibi kullanılmasını tavsiye etmiştir. Burada η açısı temelin yatay eksenle yaptığı açıyı göstermektedir. Bu tez çalışmasında eğik temel olmadığı için bu faktörler 1’e eşit olmaktadır.

Çizelge 2.7. Genel taşıma gücüne göre eğik temel faktörleri (Bowles 1996).

Eğik Temel Faktörleri		
F_{cb}	F_{qb}	$F_{\gamma b}$
$1 - \frac{2\beta}{5,14 \tan \phi}$	$(1 - \eta \tan \phi)^2$	F_{qb}

Vesic (1973) zeminlerin maruz kaldığı kayma yenilmesi tipine göre sıkışma faktörleri geliştirmiştir. Sıkışma faktörlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle ilgili zemine ait rijitlik indeksi I_r denklem 2.20 ile hesaplanır. Denklemdaki G_s zemine ait kayma modülünü, q' ise $D_f+B/2$ derinlikteki efektif gerilmeyi göstermektedir. Kritik rijitlik indeksi $I_{r(cr)}$ denklem 2.21’den hesaplanır. Kritik rijitlik indeksi ise temel genişliğinin, temel uzunluğunun ve içsel sürtünme açısının bir fonksiyonudur. Daha sonra rijitlik indeksi ve kritik rijitlik indeksi karşılaştırılır.

$$I_r = \frac{G_s}{c + q' \tan \phi} \quad (2.20)$$

$$I_{r(cr)} = \frac{1}{2} \left\{ \exp \left[\left(3,3 - 0,45 \frac{B}{L} \right) \cot \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \right] \right\} \quad (2.21)$$

Eğer $I_r \geq I_{r(cr)}$ ise zeminin genel kayma yenilmesine uğradığı varsayılır ve sıkışma faktörlerinin değerleri sırasıyla $F_{cc} = F_{qc} = F_{\gamma c} = 1$ olur. $I_r < I_{r(cr)}$ ise zeminin yerel kayma yenilmesine uğradığı kabul edilir ve Çizelge 2.8’de görüldüğü gibi sıkışma faktörleri hesaplanır.

Çizelge 2.8. Genel taşıma gücüne göre sıkışma faktörleri (Vesic 1973).

Sıkışma Faktörleri	$I_r \geq I_{r(cr)}$	$I_r < I_{r(cr)}$
F_{cc}	1	$0,32 + 0,12 \frac{B}{L} + 0,6 \log I_r$ ($\phi = 0$) $F_{qc} - \frac{1 - F_{qc}}{N_q \tan \phi} + 0,6 \log I_r$ ($\phi > 0$)
F_{qc}	1	$\exp \left\{ \left(-4,4 + 0,6 \frac{B}{L} \right) \tan \phi + \left[\frac{(3,07 \sin \phi)(\log 2I_r)}{1 + \sin \phi} \right] \right\}$
$F_{\gamma c}$	1	$\exp \left\{ \left(-4,4 + 0,6 \frac{B}{L} \right) \tan \phi + \left[\frac{(3,07 \sin \phi)(\log 2I_r)}{1 + \sin \phi} \right] \right\}$

Sıkışma faktörlerine geçici bir çözüm bulmak için temel altındaki kamanın kenarlarında aynı zemin kütesinin küresel eğriliğinin silindirik olarak genişlemesi için gerekli olan basıncın nihai normal basınca eşit olduğu varsayılır. Zeminin sıkışabilir olmasının taşıma gücüne etkisi bulunmaktadır. Vesic (1973) zeminin sıkışmasına bağlı kırılma modundaki değişmeden dolayı taşıma gücü denkleminde Çizelge 2.8’de verilen değişikliği yapmış ve sıkışma faktörlerini de hesaba katmıştır.

Bu tez çalışmasında temel genişliğinin 2 m, içsel sürtünme açısının 40 derece, temel derinliğinin 1,25; 1,5; 1,75 ve 2 m olduğu durumlarda gerçekleştirilen analizlerde zemine ait rijitlik indeksleri kritik rijitlik indekslerinden daha büyük çıkmıştır. Bu yüzden ilgili derinlikler için sıkışma faktörleri Çizelge 2.8’den hesaplanmıştır.

2.5.4 Eurocode Taşıma Gücü Teorisi

Eurocode taşıma gücü yöntemi Avrupa Birliği üyesi ülkeler arasında 2010’dan beri zorunlu olarak kullanılmaktadır. Eurocode taşıma gücü teorisinin kabulleri Meyerhof ve genel taşıma

gücü yöntemi ile aynıdır. Eurocode taşıma gücü denkleminde genel taşıma gücü denkleminde farklı olarak eğik zemin, derinlik ve sıkışma faktörleri mevcut değildir.

$$q_{ult} = cN_c F_{cs} F_{ci} F_{cb} + qN_q F_{qs} F_{qi} F_{qb} + 0,5\gamma N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma i} F_{\gamma b} \quad (2.22)$$

$F_{cs}, F_{qs}, F_{\gamma s}$: şekil faktörleri

$F_{ci}, F_{qi}, F_{\gamma i}$: eğik yük faktörleri

$F_{cb}, F_{qb}, F_{\gamma b}$: eğik temel faktörleri

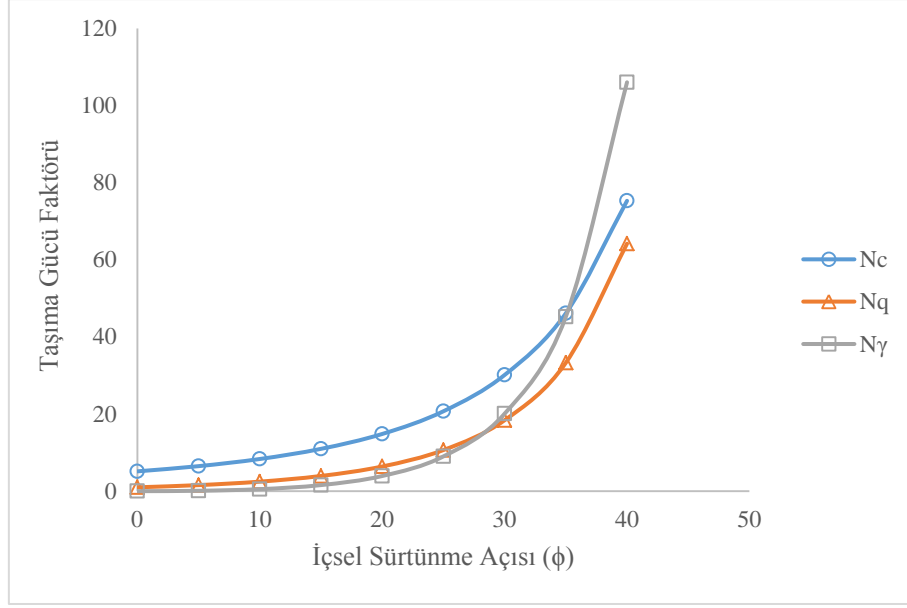
Eurocode taşıma gücü faktörleri aşağıda verilmektedir. Burada N_c ve N_q taşıma gücü faktörleri genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemindekiler ile eşittir. Sadece N_γ farklıdır. Diğer taşıma gücü yöntemlerinde olduğu gibi Eurocode taşıma gücü faktörleri de içsel sürtünme açısının fonksiyonudur.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.23)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (2.24)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \phi \quad (2.25)$$

Eurocode taşıma gücü faktörlerinde kullanılan N_c ve N_q faktörlerinin denklemleri, genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemi ile aynıdır. N_γ faktörünün denklemi ise farklıdır. Şekil 2.14'te Eurocode taşıma gücü faktörlerinin içsel sürtünme açısı ile değişimi görülmektedir. İçsel sürtünme açısı ile taşıma gücü faktörleri de artmaktadır. Diğer taşıma gücü yöntemlerinde olduğu gibi Eurocode taşıma gücü yönteminde de içsel sürtünme açısının 30 dereceden büyük olduğu durumda en büyük artış hızı N_γ taşıma gücü faktöründe görülmektedir.



Şekil 2.14. Eurocode taşıma gücü faktörleri.

Eurocode taşıma gücü denklemlerinde eğik zemin, sıkışma ve derinlik faktörleri mevcut değildir.

Denklemden kullanılan şekil faktörleri Çizelge 2.9’da sunulmuştur. Şerit temellerde B/L ifadesi sıfır olduğu için şekil faktörlerinin şerit temel için değerleri 1’e eşittir.

Çizelge 2.9. Eurocode şekil faktörleri (Bond and Harris 2008).

Şekil Faktörleri		
F_{cs}	F_{qs}	$F_{\gamma s}$
$1 + \frac{N_q B}{N_c L}$	$1 + \frac{B}{L} \tan \phi$	$1 - 0,3 \frac{B}{L}$

Çizelge 2.10’da temelin eğik olması durumunda kullanılacak olan Eurocode taşıma gücü denkleminde kullanılan eğik temel faktörleri gösterilmektedir. Burada α açısı, eğik temelin yatay eksenle yaptığı açıyı göstermekte olup derece cinsinden ifade edilir.

Çizelge 2.10. Eurocode eğik temel faktörleri (Bond and Harris 2008).

Eğik Temel Faktörleri		
F_{cb}	F_{qb}	$F_{\gamma b}$
$F_{qb} - \frac{1 - F_{qb}}{N_c \tan \phi}$	$(1 - \alpha \tan \phi)^2$	F_{qb}

Eurocode taşıma gücü teorisinde de Meyerhof ve genel taşıma gücü teorilerinde olduğu gibi eğik yük faktörleri bulunmaktadır. Yapıdan gelen yükler eğimli olduğunda eğik yük faktörlerinin de hesaba dahil edilmesi gerekmektedir. Çizelge 2.11 Eurocode taşıma gücü hesaplamalarında kullanılan eğik yük faktörlerini göstermektedir. Bu faktörlerde kullanılan m değeri uygulanan yatay yükün B doğrultusunda ve L doğrultusunda etki etmesine göre denklem 2.18 veya denklem 2.19 kullanılarak hesaplanır.

Çizelge 2.11. Eurocode eğik yük faktörleri (Bond and Harris 2008).

Eğik Yük Faktörleri		
F_{ci}	F_{qi}	$F_{\gamma i}$
$F_{qi} - \frac{1 - F_{qi}}{N_c \tan \phi}$	$\left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^m$	$\left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \cot \phi}\right)^m$

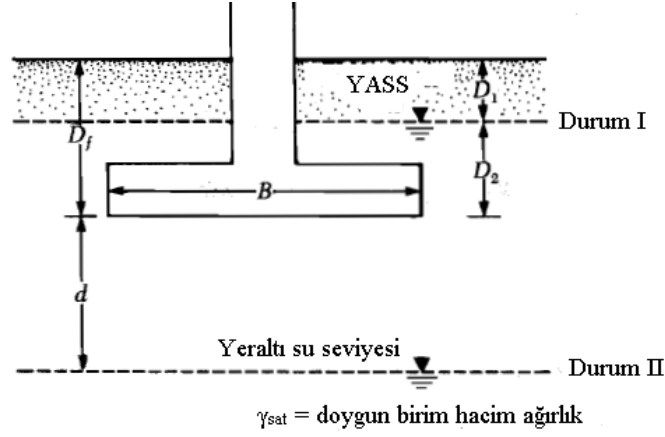
Bu tez çalışmasında eğik yük bulunmadığı için eğik yük faktörleri 1'e eşit olarak alınmıştır.

2.6 TAŞIMA GÜCÜ HESAPLAMALARINDA SONUCU ETKİLEYEBİLECEK ÖZEL DURUMLAR

Bu bölümde ise taşıma gücü hesaplaması yapılırken hesaba etki eden diğer ikincil faktörler ele alınacaktır.

2.6.1 Taşıma Gücü Denklemlerinde Su Seviyesi Modifikasyonu

Taşıma gücü denklemlerinin çözümünde su seviyesinin yeri oldukça önemlidir. Su seviyesinin konumuna göre taşıma gücü denklemlerinde bazı modifikasyonların uygulanması gerekmektedir. Su seviyesinin durumuna göre 3 farklı durum mevcuttur.



Şekil 2.15. Su seviyesine bağlı taşıma gücü denklemlerinin modifikasyonu (Das 2007).

Şekil 2.15’de D_1 ile gösterilen 1.durum için yer altı su seviyesinin zemin yüzeyi ile mesafesidir. D_2 ise yer altı su seviyesi ile temel tabanı arasındaki mesafeyi göstermektedir. Şekilde görülen d mesafesi ise durum 2 ve durum 3 için temel tabanından yer altı su seviyesine kadar olan mesafeyi göstermektedir.

Durum I: Su seviyesi $0 \leq D_1 \leq D_f$ aralığında bulunuyorsa, taşıma gücü denklemlerinde q ile ifade edilen örtü yükünde aşağıdaki düzeltmenin yapılması gerekir.

$$q = D_1\gamma + D_2(\gamma_{sat} - \gamma_w) \quad (2.26)$$

γ_{sat} : zeminin doymun birim hacim ağırlığı

γ_w : suyun birim hacim ağırlığı

Taşıma gücü denklemlerinin son ifadesinde yer alan γ ise $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ olarak değiştirilmelidir.

Durum II: Su seviyesi $0 \leq d \leq B$ aralığında bulunuyorsa, taşıma gücü denklemlerinde γ ile ifade edilen terimde aşağıdaki düzeltmenin yapılması gerekir.

$$\bar{\gamma} = \gamma' + \frac{d}{B}(\gamma - \gamma') \quad (2.27)$$

Durum III: Su seviyesi $d \geq B$ durumunda bulunuyorsa suyun taşıma gücü hesaplamalarına etkisi bulunmamaktadır.

2.6.2 Temel Boyutlarının Taşıma Gücüne Etkisi

Taşıma gücü hesaplamalarında klasik toprak basıncı teorilerinden farklı olarak ölçek etkisi de mevcuttur. De Beer (1965) ve Kerisel (1967) sığ temeller ve derin temellerde bu konu üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalarda sığ temel durumunda temel altındaki kayma çizgisindeki ortalama mobilize kayma dayanımının temel boyutuyla azaldığı görülmüştür. Bu durumun 3 ana sebebi bulunmaktadır. Birincisi Mohr zarfının eğriliği, ikincisi kayma çizgisi etrafındaki aşamalı kırılmadır. Son olarak tüm zeminlerde bulunan zayıflık bölgelerinin varlığıdır. Çalışmalar zeminin sıkışması, gravite kuvvetleri ve buna dayalı zeminin dayanımı temelin boyutuyla artmaktadır. Tüm bu bilgiler ışığında tüm zeminlerde temel boyutu ile taşıma gücü faktörlerinin artması beklenir. Yüzeydeki büyük temellerin taşıma gücü aynı zeminin derin temeldeki direncinden daha büyük olmuştur.

2.6.3 Yükleme Hızının Etkisi

Temel taşıma gücünün belirlenmesinde temelin yüklenme hızının da etkisi bulunmaktadır. Kum ve kile oturan model temeller için bu konuda çalışmalar yapılmıştır. Yükleme hızı 10^{-4} inc/sn değerinden 10 in/sn değerine yükseldiğinde hem sıkı kum hem de sıkışmış kilin kırılma şekli genelden zımbalamaya doğru değişmektedir. Bu değişim, zemin kütleindeki içsel etkilerin örtü yüküne benzer etki oluşturması ile açıklanabilir. Bahsi geçen yükleme hızı aralığında sıkı kuma oturan temelde artan yükleme hızı ile taşıma gücünde hafif bir azalmayı takiben sabit, düşük bir artış görülmüştür. Taşıma gücündeki değişim ile kuru kumun kayma mukavemeti değişimi incelenmiştir. Pratik olarak bunun anlamı, statik taşıma gücü analizi temeller kayma mukavemeti parametrelerinin uygun yükleme aralığında olması koşuluyla kısmen hızlı yüklemelere maruz kaldıklarında kabul edilebilir. Geçiş deneyleri için ekipmanın

eksik olması durumunda sıkı kumlar için içsel sürtünme açısından 2 dereceye kadar azaltım yapılabilir. Gevşek ve batmış kumlarda geçici sıvılaşma durumu mevcut olabileceği için bu durum sorgulanabilir durumdadır. Sıkışmış kile oturan temellerde yükleme hızı statikten dinamik koşula geldikçe taşıma gücünde gözle görülür artma oluşur. Yükleme hızının ortalama aralıkları için zeminin davranışı ile ilgili doğrudan bilgi mevcut değildir. Killer için bu durum ile ilgili sadece yükleme hızının artması ile taşıma gücünün artması beklenir (Vesic 1973).

Sonuç olarak, kayma mukavemeti parametreleri (c , ϕ) şekil değiştirme hızı etkisi ile düzenlenerek analiz edildiği durumlarda geleneksel statik taşıma gücü analizleri kısmen hızlı yüklenen temellerde kullanılabilir.

2.6.4 Temel Tabanı Pürüzlülüğünün Etkisi

Prandtl'in kayma modeli ile ilgili çeşitli araştırmacılar temel tabanının tam pürüzlü olması gerekliliği konusu üzerinde çalışmışlardır. Prandtl'in orijinal çözümünün şekil değiştirme hızı uyumluluk denklemlerini karşılamadığı ve en azından pürüzsüz temeller için Hencky modelinin kullanılması gerektiği ile ilgili tartışmalar yapılmıştır. Daha sonra, temelin pürüzsüzlüğünün etkisinin belirlenmesi için kullanılan Meyerhof'un önerdiği modelde kohezyonsuz zemine oturan pürüzsüz temellerin taşıma gücünün, pürüzlü temelin taşıma gücünün yarısı olması gerektiği belirtilmektedir. Bu durumla ilgili yapılan deneylerde temelin pürüzlülüğünün etkisinin pratikte olmadığı gözlemlenmiştir. Deneysel olarak 2 kama için taşıma alanının ortasında başlayan kayma çizgileri oluşturmanın imkansız olduğu da göz ardı edilmemelidir. Sonuç olarak sıkışmaya maruz kalan alanlarda gerilme deformasyon modeli için tek kama formasyonu uygundur (Vesic 1973).

BÖLÜM 3

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE TAŞIMA GÜCÜ ANALİZİ

3.1 GİRİŞ

Bu bölümde taşıma gücü için geliştirilmiş analiz yöntemlerinden bahsedilmiştir. Daha sonra bu kohezyonsuz zeminlere oturan sığ ve şerit temellerin taşıma gücü analizi Geostudio 2012 paket programında Sigma/W modülü kullanılarak nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Analiz sonucu elde edilen gerilme-yerdeğiştirme grafiklerinin kullanılarak sayısal yöntemler ile taşıma gücünün nasıl hesaplandığı belirtilmiştir.

3.2 ANALİZ YÖNTEMLERİ

Temellerin taşıma gücünü analiz etmek için farklı yöntemler mevcuttur.

- 1) Kayma çizgileri yöntemi
- 2) Limit denge yöntemi
- 3) Limit analiz yöntemi
- 4) Sonlu elemanlar yöntemi

Bu yöntemler değerlendirildiğinde ilk üç yöntemin taşıma kapasitesinin önem arz ettiği stabilite problemlerinde kullanılabilir. Zemin kütlelerinde gerilme dağılımı ve temelin oturmasının önemli olduğu durumlarda ise sonlu elemanlar yöntemi kullanılmak zorundadır.

3.2.1 Kayma Çizgileri Yöntemi

Kayma çizgileri yönteminde, kayma çizgileri ağ oluşturacak bir şekilde temsil edilir. Kayma çizgileri ise maksimum kayma gerilmesinin doğrultusunu belirtmektedir. Düzlem-şekil değiştirme problemlerinde, iki plastik denge diferansiyel denklem ve bir de bilinmeyen üç

gerilmenin çözümünü içeren denklem bulunmaktadır. Bununla birlikte problemin çözümünde analitik, sayısal ve grafik yöntemler de kullanılabilir. Kayma çizgileri yönteminin düzlem deformasyon durumu için ilk defa Kötter (1903) tarafından türetilmiştir. Kapalı formdaki çözümler ise Prandtl (1920) tarafından türetilmiştir. Bu denklemlerden elde edilen sonuçlar ise Reissner (1926) ve Novotortsev (1938) tarafından temellerin taşıma gücü problemlerinde kullanılmışlardır (Manoharan and Dasgupta 1995).

3.2.2 Limit Denge Yöntemi

Limit denge yöntemin kayma çizgilerinin tanımlanması ve tahkiki için gerçekleştirilen en iyi yaklaşımdır. Limit denge yönteminde deneme yanılma yöntemi kullanılarak varsayılan kayma yüzeylerinden en kritik olanı tespit edilir. Buna göre taşıma gücü analizi gerçekleştirilir. Bu yöntem, kayma yüzeyinin şekli ve yüzey boyunca etki eden normal gerilmenin belirgin olduğu durumda taşıma gücü için yaklaşık bir sonuç verir. Limit denge yöntemi olarak ise sıklıkla kullanılan Terzaghi (1943), Taylor (1948), Meyerhof (1951), ve Vesic (1973) gibi geliştirilmiş yöntemlerdir (Chen 1975).

3.2.3 Limit Analiz Yöntemi

Limit analiz yöntemi, gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini idealize eden bir yaklaşımla problemin çözümüne yaklaşır. Bu yöntem üst sınır ve alt sınır çözümlemesi yapar. Üst sınır yaklaşımı, hız sınır koşullarını sağlayan kinematik olarak kabul edilebilir bir hız alanında belirli durumlar dışında sürekli çözüm sağlar. Benzer şekilde alt sınır yönteminde, gerilme sınır şartlarını sağlayan ve hiçbir kısmında yenilme olmayan bir denge durumunu gösteren statik olarak kabul edilebilir gerilmelerden hesaplanır. Her iki yönteme dair çözümler üst limit çözümüne ulaşmakta olup bir çözümün alt limiti mi yoksa üst limiti mi temsil ettiğini tayin etmek zordur. Üst limit teoremi genellikle temellerin stabilite problemlerinde kullanılmaktadır (Manoharan and Dasgupta 1995).

3.2.4 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık geometriye sahip bir gerçek problemin daha basit ve küçük alt problemlere ayrılarak çözülmesidir. Fiziksel bir problem belirli yüklere maruz kalan yapısal bileşenleri veya gerçek bir yapıyı içerir. Sonlu elemanlar yöntemi ile fiziksel

problem idealize edilerek diferansiyel denklemler içeren bir matematiksel modele dönüştürülür. Sonlu elemanlar analizinde ise bu matematiksel model çözülür. Sonlu elemanlar analizi 3 aşamada incelenir (Bathe 1996).

Birinci aşamada, analiz edilecek fiziksel kütle ayrıştırılarak sonlu elemanlarda eşdeğer bir alt sisteme dönüştürülür. Bu sayede sonlu elemanlar sistemi için matematiksel model hazırlanmış olur. İkinci aşamada ise zemine ait gerçek yerdeğiştirme dağılımını temsil edecek yaklaşık bir yerdeğiştirme modeli seçilmelidir. Çoğu inşaat mühendisliği probleminde en basit anlamda kullanılan yerdeğiştirme modeli kullanımının kolay olması ve matematiksel modelinin daha anlaşılır olmasından dolayı lineer polinomdur.

Üçüncü aşamada, ise çeşitli ilkeler ile eleman rijitlik matrisi türetilir. Rijitlik matrisi verilen elemanın malzeme ve geometrik özelliklerinden türetilen denge denklemlerini içerir ve minimum potansiyel enerji ilkesini içerir.

Yapıya etki eden yayılı yükler düğüm noktalarında eşdeğer kuvvetlere çevrilir. Denge denkleminde ise rijitlik matrisi $[k]$, düğüm kuvvet vektörü $\{Q\}$ ve düğüm yerdeğiştirme vektörü $\{q\}$ lineer bir denklem olarak ifade edilir (Chandrakant and Abel 1972).

$$[k]\{q\}=\{Q\} \quad (3.1)$$

Sonuç olarak elde edilen düğüm kuvvetleri ile yerdeğiştirme arasındaki ilişki vasıtasıyla elde edilen parametreler değerlendirilerek, karmaşık geometriye sahip olan bir gerçek problemin çözümü için kullanılır.

3.3 GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ PROBLEMLERİNDE SONLU ELEMANLAR YAZILIMLARININ ÖNEMİ

Sonlu elemanlar yöntemine göre geliştirilmiş yazılımlar, hızla gelişen çağımızda her geçen gün önemini arttırmaktadır. Sonlu elemanlar yazılımları sayesinde elle hesap edilmesi çok uzun zaman alacak olan analizler kısa sürede sonuca ulaştırılabilmektedir. Geliştirilen sonlu elemanlar analizi programları sayesinde doğadaki gerçek problemler uygun bir şekilde modellenebilmektedir. Ancak, paket programların kullanımında araştırmacıların mühendislik problemlerinin sayısal modellenmesi, başlangıç ve sınır koşullarının oluşturulmasında

oldukça dikkatli olmaları gerekmektedir. Kullandıkları matematiksel modellerin avantajları ve dezavantajlarını veya problemi temsil etme yeteneğini bilmeleri gerekmektedir. Her bir zemin modeli tüm zemin koşulları için geçerli olmaz. Örnek olarak yumuşak kil (Modified Cam-clay) modelinin en uygun olduğu zeminler hafif derecede aşırı konsolide killer olup, yüksek derecede aşırı konsolide killerde uygun değildir. Yüksek derecede aşırı konsolide killer için lineer-elastik model Cam-clay modele göre daha iyi sonuç vermektedir.

Bir geoteknik tasarımda, sonlu elemanlar paket programları sırası ile deplasman verilerek kuvvetlerin bulunması (yerdeğiştirme kontrollü), kuvvetler belirtilerek deplasmanların bulunması (gerilme kontrollü) veya karma yöntemleri kullanabilme yetenekleri vardır.

3.4 GEOSTUDIO 2012 PROGRAMI

Günümüzde geoteknik problemlerine ait sonlu elemanlar yöntemiyle çalışan birçok yazılım mevcuttur. Projeler için verilen kısıtlı süreler göz önüne alındığında gün geçtikçe sonlu elemanlar yöntemini benimseyen paket programlarına ilgi artmıştır. Bu çalışmada Geostudio 2012 Sigma/W modülü kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Geostudio 2012 paket programı 2 boyutlu düzlem-şekil değiştirme ve aksinel simetri problemlerinin analizleri için önemli özelliklerle donatılmıştır. Özellikle problemin bölgelere ayrılarak her bölge için farklı eleman büyüklüğü kullanılabilmesi programın en büyük avantajlarından biridir. Sığ temellerin taşıma gücünü hesaplarken yerdeğiştirme kontrollü analiz gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi ise yerdeğiştirme kontrollü analiz gerçekleştirildiğinde analiz sonucunda ortaya çıkan yerdeğiştirme miktarı önceden bilinmektedir. Program öncelikle “insitu analysis” ile hesaplanması gereken gravite yüklerini hesaplarken, ikinci adımda ise verilen yerdeğiştirmeye kadar temeli yükler ve buna bağlı olarak yük-yerdeğiştirme eğrisini verir. Daha sonra bu eğri gerilme-yerdeğiştirme eğrisine dönüştürülür.

3.4.1 Geostudio 2012 Sigma/W Modülü

Sigma/W modülü geoteknik yapıların gerilme ve deformasyon analizinin gerçekleştirilmesinde kullanılan sonlu elemanlar yazılımıdır. Sigma/W, hem lineer-elastik deformasyon analizi hem de elastik-plastik (Mohr-Coulomb) modele göre analiz sağlamaktadır. Sigma/W, altı farklı malzeme modelini bünyesinde barındırır. Ayrıca

kullanıcıya model ekleme olanağı sunar. Her bir modelin kullanımı için, davranış modelin toplam gerilme, efektif gerilmeye göre malzeme davranışlarını incelemeye izin verir.

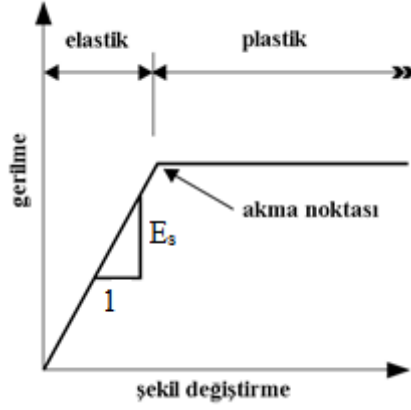
Sigma/W modülüne ait malzeme modelleri aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Lineer-elastik
2. Anizotropik Lineer-elastik
3. Hiperbolik E-B
4. Elastik-Plastik (Mohr Coulomb veya Tresca)
5. Soft Clay
6. Modified Cam Clay

Bu çalışmada malzeme modeli olarak elastik-plastik (Mohr Coulomb) malzeme modeli kullanılmıştır.

3.4.2 Elastik Plastik Model

Bu modelin tipik gerilme-şekil değiştirme eğrisi ise Şekil 3.1’de görülmektedir. Sigma/W’da Mohr-Coulomb model olarak tanımlanabilmektedir. Mohr-Coulomb modeli kullanımı en yaygın olan malzeme modelidir. Deneylerden elde edilen kohezyon, içsel sürtünme açısı, elastisite modülü, poisson oranı ve dilatasyon açısı olmak üzere 5 parametreye sahiptir. Bu parametrelere ait özellikler Çizelge 3.1’de sunulmuştur. Mohr Coulomb modeline göre malzeme belli bir gerilmeye kadar elastik (önceki durumuna geri dönebilen) davranış gösterirken, plastik bölgeye gelindiğinde ilgili zemin numunesinde kalıcı deformasyon oluşmaktadır. Mohr Coulomb malzeme modelinde her tabaka için ortalama sabit bir rijitlik belirlenir.



Şekil 3.1. Elastik-tam plastik bünye bağıntısı (Sigma/W 2012).

Gerilmeler akma noktasına ulaşana kadar şekil değiştirme ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Akma noktasından sonra gerilme-şekil değiştirme eğrisi yatay olmaktadır. Dolayısıyla akma noktası aşıldıktan sonra şekil değiştirme artarken gerilme sabit kalmaktadır.

Çizelge 3.1. Elastik-plastik modele ait parametreler ve özellikleri (Sigma/W 2012).

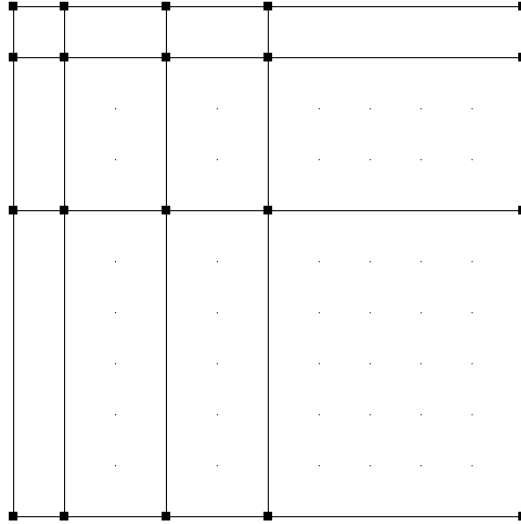
Parametreler	Özellikleri
Elastisite Modülü (E_s)	Zeminin başlangıç lineer-elastik rijitliği
Poisson Oranı (μ)	Sabit değer
Kohezyon (c)	Zeminin kohezif kayma dayanımı
İçsel sürtünme açısı (ϕ)	Zeminin derece cinsinden içsel sürtünme açısı
Dilatasyon açısı (ψ)	Zeminin derece cinsinden dilatasyon açısı ($0 \leq \psi \leq \phi$)

Zeminlerin analitik taşıma gücü hesaplamalarında da bu model kullanılmaktadır. Mohr-Coulomb modeli, sayısal yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırmalar yapılabilmesi için bu tez çalışmasında da malzeme modeli olarak seçilmiştir.

3.4.3 Modelin Geometrik Sınırlarının Teşkil Edilmesi

Programaya girilecek zemin modeli doğru seçimi tamamlandıktan sonra problemin geometrik sınırları belirlenmelidir. Öncelikle analiz edilecek model için çalışma alanı hem x hem y yönünde 200 mm olarak tercih edilmiştir. Daha sonra grid (ızgara) genişliği ise temel

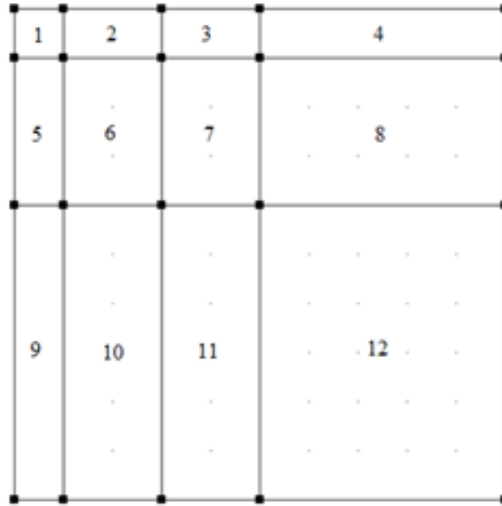
genişliğine bağlı olarak seçilmiştir. Simetrik bir problem olmasından dolayı modelin yarısının alınması yeterli olmuştur. Problemin geometrik sınırının başlangıç ve bitiş noktalarını belirlemek için literatür çalışmaları incelenmiştir. Literatür çalışmalarına göre problem geometrisi için farklı kullanımlar mevcuttur. (Sloan and Randolph 1982, Borst and Vermeer 1984, Manoharan and Dasgupta 1995, Potts and Zdravkovic 2001, Loukidis and Salgado 2009, Örnek 2011). Analizden analize göre bu durum değişmektedir. Göçme mekanizması sınır şartlarının içerisinde geliştiği sürece kullanılan sınırlar yeterli olmakta ve hesaplanan göçme yükü değişmemektedir (Sloan and Randolph 1982). Bu bilgiler ışığında yatay ve düşey yönde 5B kadar bir mesafe analiz için uygun görülmüştür. Geometrik sınırlar belirlendikten sonra modelin geometrisi çizilmiştir. Şekil 3.2’de analiz edilmek için geometrik sınırları teşkil edilmiş olan model görülmektedir.



Şekil 3.2. Analiz edilecek modele ait geometrik sınırlar.

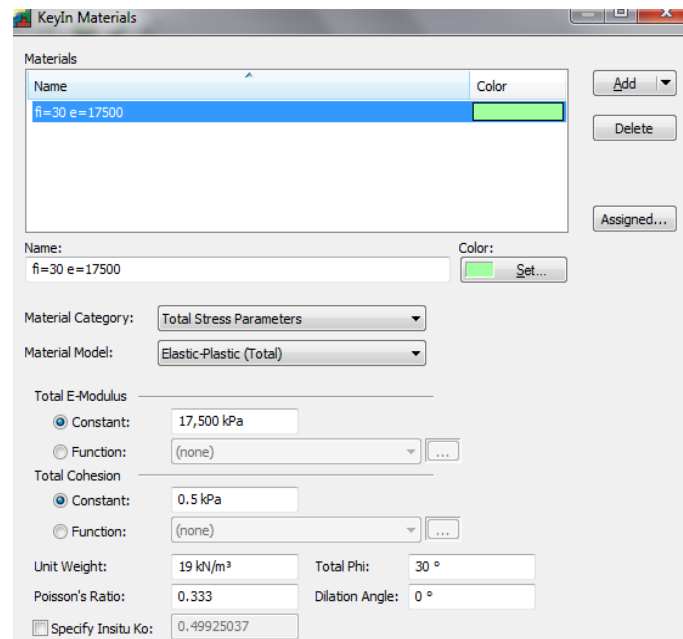
3.4.4 Modelin Bölgelere Ayrılması ve Malzeme Özelliklerinin Girilmesi

Model Şekil 3.3’de de görüldüğü gibi yatay yönde 4 düşey yönde 3 olmak üzere 12 farklı bölgeye ayrılmıştır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için programdan bölgeler çizilme seçeneği işaretlenerek her bir bölge ayrı ayrı oluşturulmuştur. Modelin farklı bölgelere ayrılmasının sebebi temele yakın bölgelerdeki elemanların daha sık yapılarak analizin hassasiyetini artırmaktır.



Şekil 3.3. Analiz için kullanılan modelin bölgeleri.

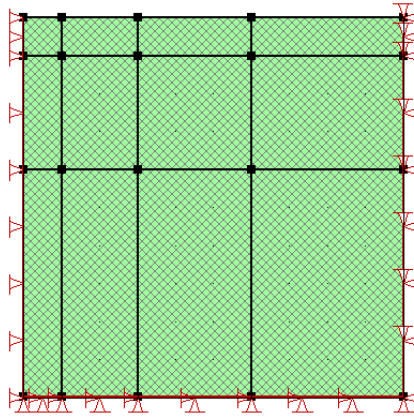
Bölgeler oluşturulduktan sonra malzeme özellikleri ilgili bölgelere tek tek tanımlanmıştır. Malzeme kategorisi analizde yeraltı su seviyesi olmadığından toplam gerilme parametresi olarak tercih edilmiştir. Malzeme modeli elastik-plastik (Mohr-Coulomb) olarak seçilmiştir. Bu seçimlerden sonra Şekil 3.4'de de görüldüğü gibi programa ilgili elastisite modülü, poisson oranı, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve dilatasyon değerleri girilerek malzeme tanıtımı tamamlanmış olur. Tanımlanmış olan malzeme özellikleri bölgelere tek tek uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Analiz için kullanılan malzeme parametrelerinin tanımlanması.

3.4.5 Model için Kullanılan Sınır Koşulları

Yanal sınırlar, analiz sonucu gelişen göçme mekanizmasını etkilemeyecek bir mesafede olduğu sürece yanal yüzeylerde hareketin sadece yatay ya da hem düşey hem yatay yönde kısıtlanması göçme yükünü etkilememektedir (Loukidis and Salgado 2009). Bundan dolayı analiz gerçekleştirilirken sağ yan yüzey ve alt yüzeyde hareket hem yatay hem de düşey yönde tutulmuştur. Sol yan yüzeyde ise sadece yatay yönde tutulmuştur. Bu durum analiz sonucunda elde edilen göçme yüküne etki etmemiştir. Sağ yan yüzeyde hareketin düşey yönde serbest bırakıldığı durumda da göçme yükü aynı şekilde hesaplanmıştır. Şekil 3.5'da analiz için kullanılan modele sınır koşullarında etki ettirilen sınır koşulları görülmektedir.



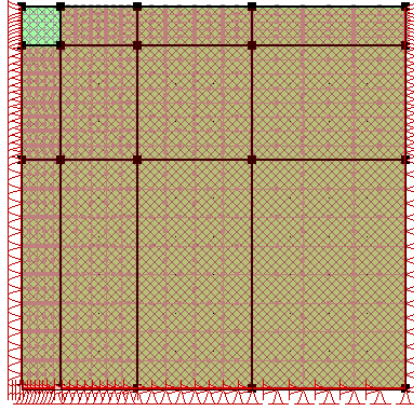
Şekil 3.5. Model için sınır koşullarının uygulanması.

3.4.6 Analizde Kullanılacak Eleman Tipi ve Sonlu Eleman Ağı Seçimi

Analize başlamadan önce bilinmesi gereken detaylardan biri de göçme analizine uygun bir elemanı seçmektir. Bu tezde 8 düğüm noktalı izoparametrik dörtgen elemanlar kullanılmıştır. 8 düğüm noktalı elemanda her bir elemanın serbestlik derecesi altıdır. Her eleman için de kısıt sayısı da altıdır. Bundan dolayı serbestlik derecesinin kısıtlara oranı bir olur. Bu oran bir ve birin üzerinde olduğunda kullanılan eleman analiz için uygun olmaktadır (Sloan and Randolph 1982). Dolayısıyla tercih edilen eleman analiz için uygundur. Toplamda 1148 düğüm noktası ve 357 eleman kullanılmıştır.

Sonlu eleman ağı için modelde mevcut 12 bölge için aynı eleman fakat farklı eleman büyüklükleri kullanılmıştır. Temele yakın bölgelerde sonlu eleman ağı sıklaştırılarak eleman

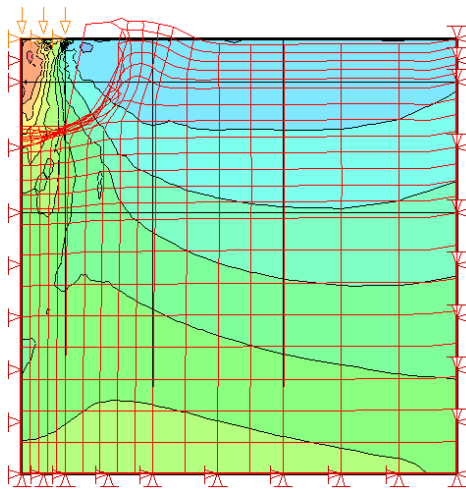
boyutu diğer bölgelerden daha küçük hale getirilmiştir. Temele yakın noktalarda gerçekleştirilen bu sıklaştırma neticesinde analiz daha hassas bir şekilde gerçekleştirilebilmiştir. Temelden uzaklaştıkça ise eleman büyüklüğü arttırılmıştır. Şekil 3.6’da sonlu elemanlar ağının modele uygulanması görülmektedir.



Şekil 3.6. Model için sonlu elemanlar ağının oluşturulması.

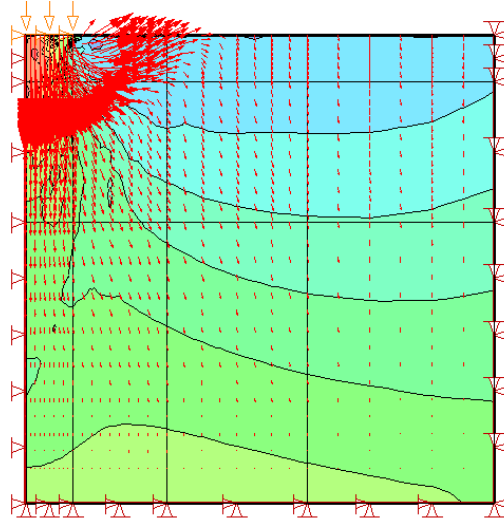
3.4.7 Analizin Tamamlanması ve Sonuçların Alınması

Yer değiştirme etki ettirildikten sonra model analize hazır hale gelir. Çözüm yöneticisi ile analiz başlatılır. Analiz sonuçlandırıldıktan sonra sonuçlar kısmından sonuçlar incelenmiştir. Şekil 3.7’de görülen ise modele yer değiştirme uygulandıktan sonra zeminin deforme olmuş durumudur. Şekil incelendiğinde zemin yüzeyinin üzerinde taşıma gücü teorilerine uygun olarak kabarmalar rahatlıkla gözlemlenebilmektedir.



Şekil 3.7. Analiz sonucunda elde edilen deforme olmuş şekil.

Şekil 3.8'de ise analiz sonucunda vektör okları görünmektedir. Uygulanan yerdeğiştirme etkisinde temel zemini şekilde de gösterildiği gibi üçgen kama ile radyal log-spiral bölgeye itmektedir. Rankine pasif kayma bölgesi ise bu makaslama yenilmesine karşı yeterli mukavemete sahip değilse şekilde görüldüğü gibi kabarmalar oluşmaktadır.



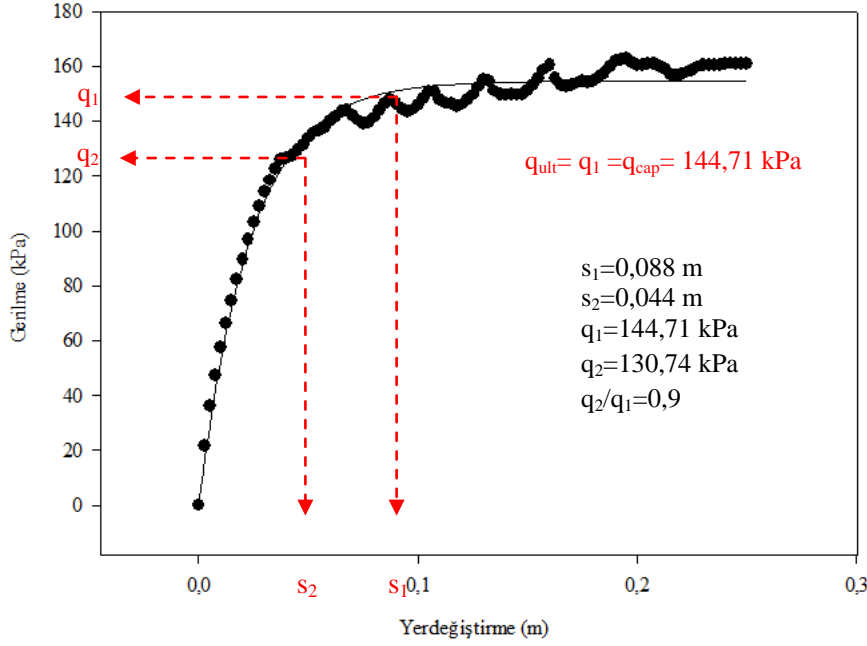
Şekil 3.8. Analiz sonucunda elde edilen vektör okları.

3.5 SAYISAL TAŞIMA GÜCÜ KESTİRİM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde ise Geostudio 2012 Sigma/W programından analiz sonucu elde edilen yük-yerdeğiştirme eğrileri ile sayısal kestirim yöntemlerinin kullanılarak taşıma gücü hesabının nasıl gerçekleştirildiği anlatılmıştır. Toplam 5 yöntem kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla Brinch Hansen, De Beer, $s/B=10\%$, Decourt sıfır rijitlik ve Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemidir.

3.5.1 Brinch Hansen Yöntemi

Brinch Hansen (1963), Şekil 3.9'da gösterildiği gibi öncelikle bir gerilme değeri ($q_{cap}=q_1$) tahmin edilir ve bu gerilmeye karşılık gelen yerdeğiştirme değeri (s_1) belirlenir. Daha sonra s_1 değerinin yarısı alınarak ($s_2=0,5s_1$) bu değere karşılık gelen gerilme değeri (q_2) belirlenir. Eğer q_2 değeri edilen ilk gerilme değerinin ($q_1=q_{cap}$) %90'ı ise q_{cap} değeri ilgili temele ait taşıma gücünü verir. Bu durum varsayılan q_{cap} değerinin bu koşulları sağlayana kadar devam etmesi gereken bir iterasyon süreci olduğunu göstermektedir (Elhakim 2005).



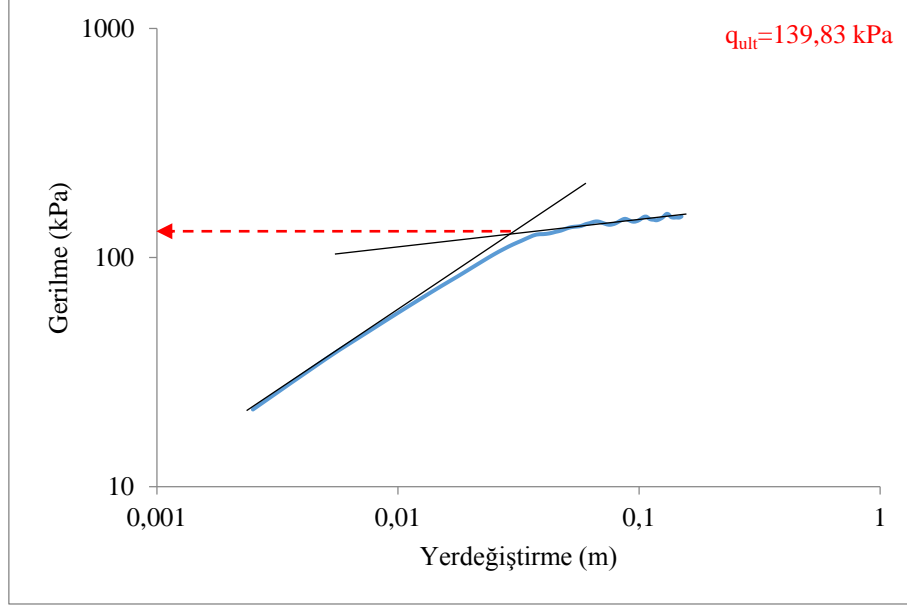
Şekil 3.9. $\phi=28^0$ ve $B=1 \text{ m}$ için Brinch-Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.

Şekil 3.9’da Brinch Hansen yöntemi ile temel genişliği 1 m ve içsel sürtünme açısı 28^0 olduğu duruma ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi görülmektedir. Eğriye en uygun regresyon eğrisi geçirilmiştir. Regresyon eğrisinin denklemi için analize en uygunu eksponansiyel fonksiyondur. Denklem belirlendikten sonra Microsoft Excel programında çözücü eklentisi yardımı ile iterasyon yapılarak taşıma gücü hesaplaması gerçekleştirilmiştir.

3.5.2 De Beer Yöntemi

De Beer (1970) yönteminde logaritmik skalada çizilen yük-gerilme eğrisinden taşıma gücünü belirlemektedir. De Beer yöntemine göre, elastik bölgeye ait olan birinci doğrusal kısmın teğeti ile plastik bölgeye ait olan ikinci doğrusal kısmın teğetinin birleştirilip y ekseninde okunan değer şerit temelin altındaki zemin modeline ait taşıma gücü olarak bulunmuş olur. Bu yöntem temele uygulanan yüklemekten kaynaklı oturmanın temel genişliğinin en az % 50’si olmasını gerektirir (Elhakim 2005).

İçsel sürtünme açısının 28^0 ve temel genişliğinin 1 m olduğu duruma ait olan Şekil 3.10’de lineer elastik bölgeye ait eğrinin teğeti ile plastik bölgeye ait eğrinin teğeti kesiştirilmiştir. Kesişen noktanın düşey koordinatı temelin taşıma gücünü vermektedir. Bu örnek için taşıma gücü 139,83 kPa olarak bulunmuştur.

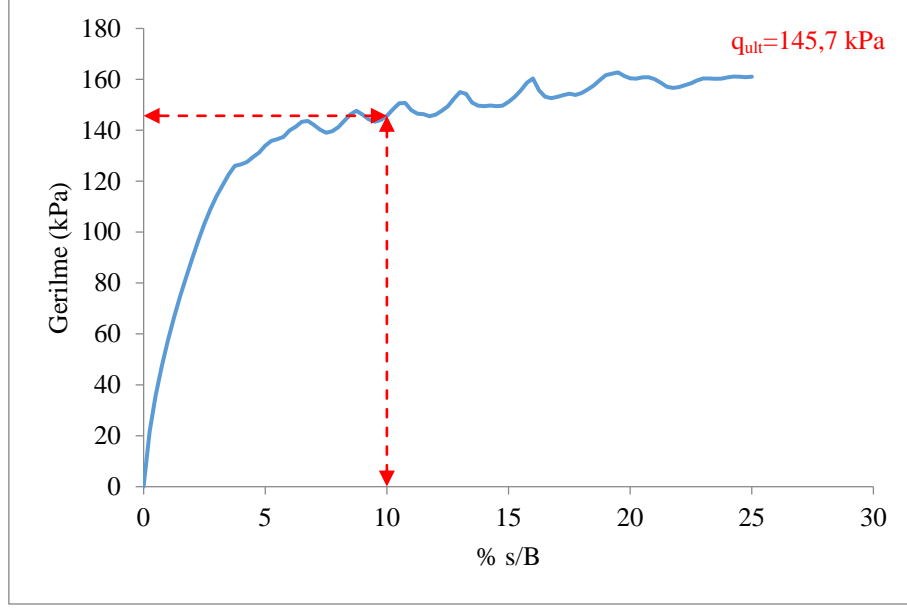


Şekil 3.10. $\phi=28^0$ ve $B=1 \text{ m}$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması.

3.5.3 $s/B=\%10$ Yöntemi

Sığ temellerin tasarımında Fransız standartlarını güncellemek amacıyla bir seri tam ölçekli yükleme deneyleri yapılmıştır (Amar et al. 1994). Bu kritere göre düşey yüklenmiş temellerin taşıma gücü, zeminde meydana gelen düşey yerdeğiştirmenin temel genişliğinin % 10'una eşit olduğu zamandaki gerilme olarak tanımlanmaktadır. Yüzeyde yüklenen temeller için s/B oranı pseudo-şekil değıştirmeyi göstermektedir (Elhakim 2005).

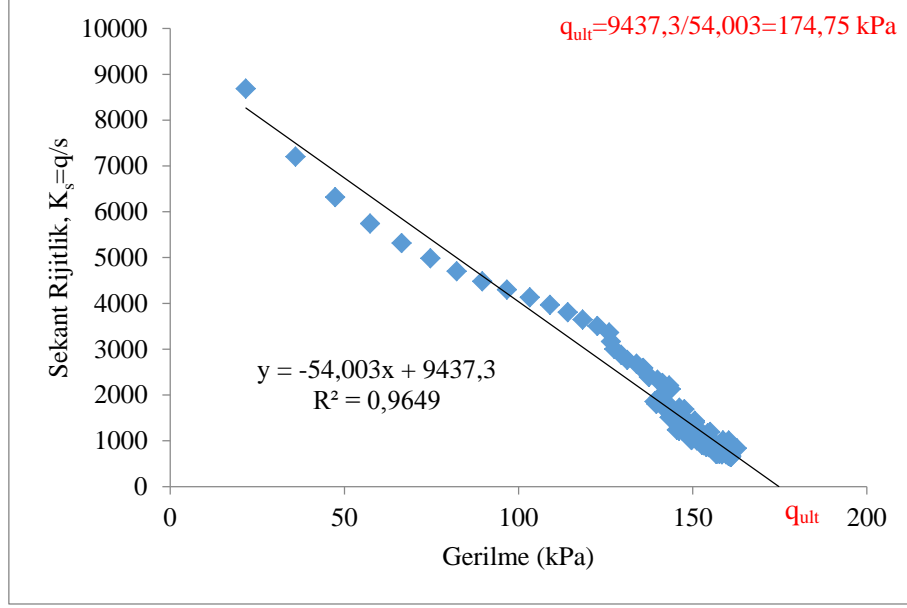
Şekil 3.11'de ilgili yöntemin temel genişliği 1 m ve içsel sürtünme açısı 28^0 olduğu durumdan elde edilen analiz sonuçlarına göre nasıl hesaplandığı gösterilmektedir. Yatay eksen yerdeğiştirmenin temel genişliğine oranının yüzdesel değerini, düşey eksen ise gerilmeyi göstermektedir. Yatay eksenden %10'a denk gelen kısımdan eğri kestirilir ve eğrinin kestiği noktanın düşey koordinat değeri temele ait taşıma gücü değeri verir. Bu yöntemle yapılan örnek analiz için taşıma gücü değeri 145,7 kPa olarak bulunmuştur.



Şekil 3.11. $\phi=28^0$ ve $B=1$ m için $s/B=\%10$ yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması.

3.5.4 Decourt Sıfır Rijitlik Yöntemi

Decourt (1999), Şekil 3.12’de de görüldüğü gibi nihai taşıma gücünü bulmak amacıyla gerilme ve sekant rijitlik ($K_s=q/s$) arasında bir grafik önermiştir. Bu yöntemle göre, gerilmenin yerdeğiştirmeye oranı ve gerilme arasındaki noktalar işaretlenir ve bu noktalardan uygun lineer regresyon doğrusu geçirilir. Nihai taşıma gücü, sekant rijitliğin sıfıra eşit olduğu andaki gerilme değeri olarak tanımlanmaktadır. Ancak bu durumun oluşabilmesi için gerilme değerinin sıfır olması gerektiğinden, grafik ekstrapolasyon yöntemiyle x ekseninde kestirilir. Böylece $K_s=0$ olduğu anda okunan gerilme değeri, o temele ait taşıma gücünü vermiş olur (Elhakim 2005).



Şekil 3.12. $\phi=28^0$ ve $B=1$ m için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması.

Şekil 3.15’de temel genişliğinin 1 m ve içsel sürtünme açısının 28^0 olduğu duruma ait gerilme ile sekant rijitlik arasındaki lineer ilişkiden elde edilen denklemin x eksenini kestiği nokta okunarak taşıma gücü belirlenmiştir. Taşıma gücü değeri bu yöntemle 174,75 kPa olarak belirlenmiştir.

3.7.5 Chin Dönüştürülmüş Eksenler Yöntemi

Chin (1971) dönüştürülmüş eksenler yöntemine göre pseudo şekil değiştirme ve pseudo şekil değiştirmenin gerilme ile oranı arasındaki ilişki ile taşıma gücü hesaplanır. Burada elde edilen eğriden lineer regresyon eğrisi geçirilir. Bu sayede lineer olarak elde edilmiş denklemin eğiminin tersi ise taşıma gücü değerini verir. Aşağıdaki 3.2 denkleminde ϵ_s ve ϵ_s/q arasındaki ilişki görülmektedir.

$$q = \frac{\epsilon_s}{\frac{1}{k_i} + \frac{\epsilon_s}{q_{ult}}} \quad (3.2)$$

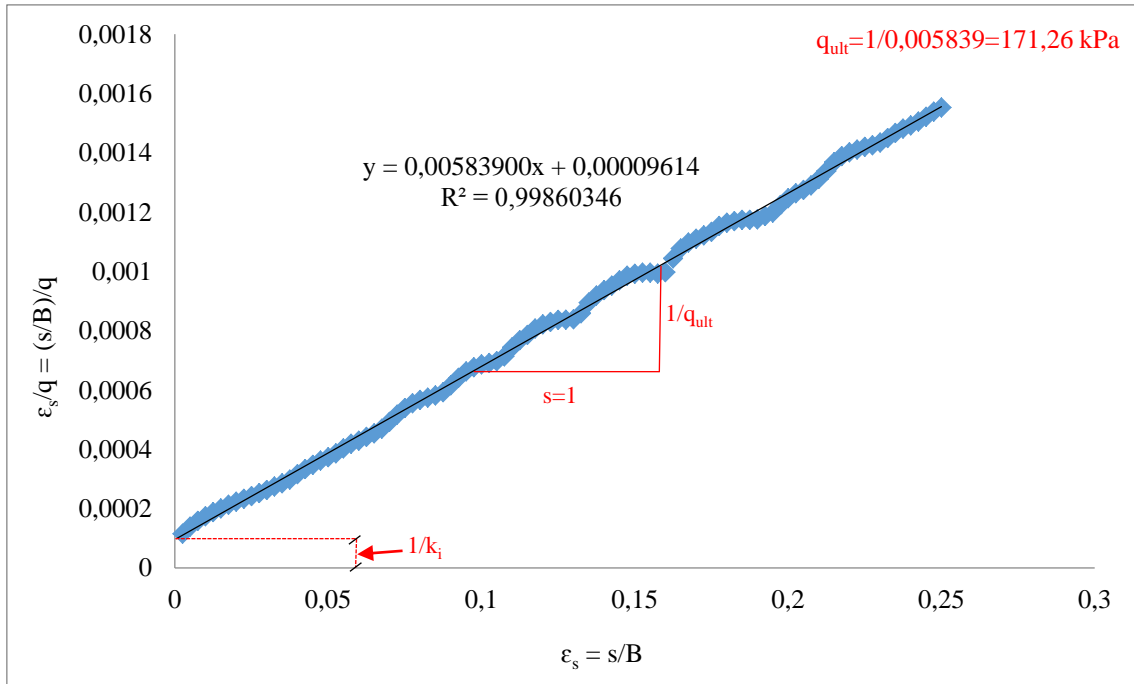
k_i : yerdeğiştirmenin sıfır olduğu durumundaki başlangıç rijitliği

q_{ult} : nihai taşıma gücü

Burada k_i ve q_{ult} parametrelerinin elde edilmesi için ε_s/q ve ε_s dönüştürülmüş eksenlere göre eğri çizilmelidir. Buradaki ilişki doğrusaldır. Bu dönüştürülmüş eksenlere göre 3.2 denklemi aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$\frac{\varepsilon_s}{q} = \frac{1}{q_{ult}} + \frac{1}{k_i} \quad (3.3)$$

Bu tez çalışmasında Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi kullanılarak taşıma gücü hesaplanması gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13'de temel genişliği 1 m ve içsel sürtünme açısı 28° için gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen grafiğe uygun olacak şekilde bir lineer regresyon eğrisi geçirilmiştir ve eğrinin eğimi belirlenmiştir. Taşıma gücü ise (1/eğim) olarak hesaplanır. İlgili örnek için taşıma gücü değeri 171,26 kPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.13. $\phi=28^\circ$ ve $B=1$ m için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücü hesaplanması.

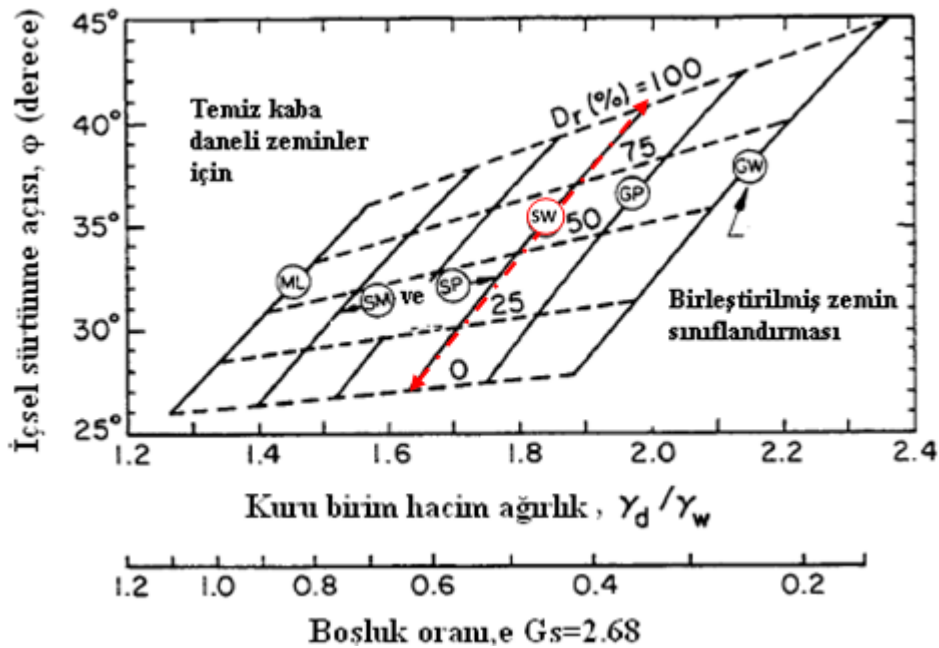
3.6 ANALİZDE KULLANILAN ZEMİNLERE AİT PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Elastik-Plastik zemine modeline ait parametrelerin belirlenmesi için literatür araştırmaları yapılmıştır. Analizde kullanılan zeminlere ait elastisite modülü, poisson oranı, birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı, kohezyon ve dilatasyon açılarının değerlerinin uygun olup

olmadığı çeşitli kaynaklara bakılarak teyit edilmiştir (Navfac 1986, Kulhawy and Mayne 1990, Orhan 2011, Budhu 2007, Ghavazi et al. 2013).

3.6.1 İçsel Sürtünme Açısının Belirlenmesi

İçsel sürtünme açısının değişimi Şekil 3.14’de görüldüğü gibi hem iyi derecelenmiş kumlarda (SW) hem de kötü derecelenmiş kumlarda (SP) 26° ile 40° arasında değişmektedir. Şekil 3.14 incelendiğinde düşey eksende özgül ağırlığı 2,68 olan bir zemin için farklı boşluk oranları ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri düşey eksene girilirse ve eğri içinde zeminin tipi ve rölatif sıklığı seçildiği zaman düşey eksende içsel sürtünme açısı bulunur.



Şekil 3.14. Kaba daneli zeminler için tipik içsel sürtünme açısı (Navfac 1986, Kulhawy and Mayne 1990, Budhu 2007).

Çizelge 3.2’de bakıldığında granüler zeminlerin içsel sürtünme açısının 26 ile 45 derece arasında değiştiği görülmektedir. Burada N ile belirtilen ham Standart Penetrasyon Deneyi (N) darbe sayısıdır. D_r ile gösterilen rölatif sıklıktır. Çizelgeye göre SPT deneyi yapılmış olan granüler bir zeminin yaklaşık birim hacim ağırlığı, rölatif sıklığı ve içsel sürtünme açısı hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Çizelge 3.2. Granüler zeminlerde yaklaşık SPT-N ile D_r , ϕ ve γ ilişkileri (Budhu 2007).

N	Tanım	γ	D_r	ϕ
0-4	Çok gevşek	11-13	0-15	26-28
4-10	Gevşek	14-16	16-35	29-34
10-30	Orta	17-19	36-65	35-40
30-50	Sıkı	20-21	66-85	38-45
>50	Çok sıkı	>21	>86	>45

Bu tez çalışmasında kohezyonsuz iyi derecelenmiş kumlu zeminlerin (SW) taşıma gücü analizleri için kullanılan içsel sürtünme açısı, gevşek durumdan sıkı zemin özelliklerine doğru 28° , 30° , 32° , 34° , 36° , 38° ve 40° değerlerinin uygun olduğu anlaşılmaktadır.

3.6.2 Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Kohezyonsuz iyi derecelenmiş kumlu zeminlere ait kullanılacak olan elastisite modülü değeri için de kaynaklar taranarak kullanılan değer doğruluğu araştırılmıştır. Çizelge 3.3'de elastisite modülü gevşek kumlarda 5865-13500 kPa arasında değişmektedir. Sıkı kumlar için ise 34500-69000 kPa aralığında değer almaktadır.

Çizelge 3.3. Zeminlere ait tipik elastisite modülü (Orhan 2011).

Zemin Türü	Elastisite Modülü, E_s (kPa)
Gevşek Kum	10350-27600
Sıkı Kum	34500-69000

Çizelge 3.4'de verilen killer ve kumlar için tipik elastisite ve kayma modülleri verilmiştir. Kumlar için rölatif sıklığı gevşek, orta sıkı ve sıkı olması durumuna göre tipik elastisite ve kayma modülü değerleri görünmektedir

Çizelge 3.4. Tipik elastisite ve kayma modülleri (Budhu 2007).

Zemin tipi	Tanım	E_s (MPa)	G (MPa)
Kum	Gevşek	10-20	4-8
	Orta sıkı	20-40	8-16
	Sıkı	40-80	16-32

Çizelgelerden görüldüğü gibi elastisite modülü kumlu zeminler için oldukça geniş bir değer aralığına sahiptir. Budan dolayı tam olarak değeri tahmin etmek oldukça zordur. Arazide ve laboratuvarında deneysel çalışmalar ile bu değer elde edilmesi zorunluluğu görülse de bilindiği üzere özellikle gevşek zeminler yük aldıkça hacim azalması göstereceğinden dolayı deney sırasında elastisite modülü değerlerinde başlangıçta artım görülecektir. Bundan dolayı, Taşıma gücü analizlerinde sabit bir modül değer girilebilmesi için temel genişliği (B) 1 m ve yüzeye oturan bir şerit temel sistemi ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 30^0 olan bir zemin modelinin elastisite modülü sırası ile 10000, 15000, 17500 ve 20000 kPa olarak girilerek ayrı ayrı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler neticesinde Çizelge 3.5'den de görülebileceği gibi elastisite modülünün 15000, 17500 ve 20000 kPa olduğu durumlarda sayısal kestirim yöntemleri ile elde edilen taşıma gücü değerlerinin birbirine oldukça yakın çıktığı görülmektedir.

Çizelge 3.5. $\phi=30^0$ ve B=1 m için farklı elastisite modüllerine göre taşıma gücü sonuçları.

Elastisite Modülü (kPa)	Brinch Hansen (kPa)	De Beer Yöntemi (kPa)	Decourt sıfır rijitlik yöntemi (kPa)	s/B=% 10 yöntemi (kPa)	Chin yöntemi (kPa)
10000	184,74	178,09	249,32	179,57	242,91
15000	192,68	177,22	237,57	196,02	225,38
17500	190,15	180,61	234,85	194,39	223,56
20000	193,64	177,24	233,74	191,2	226,88

3.6.3 Poisson Oranının Belirlenmesi

Poisson oranı için de literatürden benzer araştırmalar yapılmıştır. Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7 incelendiğinde kumlar için poisson oranının 0,15 ile 0,45 arasında değiştiği görölmektedir.

Çizelge 3.6. Zeminlere ait tipik poisson oranları (Budhu 2007).

Zemin tipi	Tanım	Poisson Oranı
Kum	Gevşek	0,15-0,25
	Orta sıkı	0,25-0,30
	Sıkı	0,25-0,35

Poisson oranının uygunluğu için de yukarıda bahsi geçen zemin ve temel modeli için analizler gerçekteştirilmiştir. Elastisite modölu 20000 kPa sabit tutulurken, poisson oranı sırası ile 0,2; 0,333 ve 0,4 olarak değiştirilerek taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.8 incelendiğinde poisson oranının sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü sonuçlarını fazla etkilemediği ve değerlerin birbirine yakın çıktığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 3.7. Zemin türlerine göre poisson oranları (Orhan 2011).

Zemin Türü	Poisson Oranı
Gevşek Kum	0,20-0,40
Orta Kum	0,25-0,40
Sıkı Kum	0,30-0,45
Siltli Kum	0,20-0,40

Çizelge 3.8. Poisson oranının taşıma gücü değerine etkisi.

Elastisite Modölu, E (kPa)	Poisson Oranı, ν	Brinch Hansen yöntemi (kPa)	De Beer yöntemi (kPa)	Decourt Sıfır Rijitlik Yöntemi (kPa)	s/B=% 10 yöntemi (kPa)	Chin Dönüştürölmüş Eksenler Yöntemi (kPa)
20000	0,2	197,42	177,04	279,89	197,83	258,01
	0,333	193,64	177,24	233,74	191,20	226,88
	0,4	195,35	181,30	224,56	192,21	218,17

3.6.4 Birim Hacim Ağırlığın Belirlenmesi

Şekil 3.2 incelendiğinde kuru birim hacim ağırlığı değerleri zemin tipi ve rölatif sıklık değerine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Çizelge 3.2’de ise kum için birim hacim ağırlık değerlerinin 11 ile 21 kN/m³ arasında alınması tavsiye edilmiştir. Dolayısıyla analiz için tercih edilen 18,6 ve 21 kN/m³ aralığındaki birim hacim ağırlığı değerlerinin uygun olduğu görülmektedir.

3.6.5 Dilatasyon Açısının Belirlenmesi

Bir diğer araştırma ise dilatasyon açısı için yapılmıştır. Dilatasyon açısı, birim plastik hacimsel değişimin birim kayma değişimine oranlanarak bağlı olarak hesaplanan bir malzeme parametresidir. Özellikle 30⁰’nin üzerindeki içsel sürtünme açısı(Ψ) için sonlu eleman analizlerinde dilatasyon açısının girilmesi gerekmektedir. Literatür araştırmalarından dilatasyon ve içsel sürtünme açısı arasında $\Psi=\phi-30$ olarak bilinen bağıntı sıklıkla kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında da 28 ve 30 derece için dilatasyon açısı sıfır olarak girilmiştir. Diğer içsel sürtünme açısı değerlerinde $\Psi=\phi-30$ bağıntısına göre dilatasyon açısı kullanılmıştır (URL-1 2012, Bolton 1986, Bartlett 2010).

Dilatasyon açısının belirlenmesi için temel genişliği 1 m ve içsel sürtünme açısının 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 ve 40 derece olduğu durumlar için analizler yapılmıştır. Öncelikle her içsel sürtünme açısı için dilatasyon açısı sıfır olarak analiz edilmiş ve daha sonra ise dilatasyon açısı içsel sürtünme açısından 30 derece küçük olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler neticesinde dilatasyon açısı ile içsel sürtünme arasındaki kullanılan bağıntının doğru olduğu anlaşılmıştır. Örnek olarak, temel genişliği 1 m ve içsel sürtünme açısının 40⁰ olduğu durumda dilatasyon açısı 0⁰ olarak girildiğinde Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemine göre taşıma gücü 826,2 kPa çıkarken dilatasyon açısı 10⁰ olarak girildiğinde taşıma gücü 1196,46 kPa olarak bulunmaktadır ve bu değer analitik yöntemlerden elde edilen değerlere daha yakındır. Dolayısıyla, dilatasyon açısı içsel sürtünme açısından 30⁰ düşük olacak şekilde analizlerde kullanılmıştır.

3.6.6 Kohezyonun Belirlenmesi

Kohezyonsuz zeminlere göre taşıma gücü analizi yapılmıştır. Ancak kohezyonun sıfır olarak girilmesi analizlerde malzeme matrisinin oluşumunda ve sayısal çözümlerinde problem çıkardığı için mevcut analizde 0,5 kPa gibi oldukça küçük bir değer girilerek analizler yapılmıştır.

3.7 GEOSTUDIO 2012 SİGMA/W İLE ANALİZİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında Geostudio 2012 Sigma/W modülü kullanılmıştır. Sigma/W modülü İçsel sürtünme açısının 28, 30, 32, 34, 36, 38 ve 40 derece olduğu ve temel genişliğinin 1; 1,25; 1,50; 1,75; 2; 2,25; 2,50; 2,75 ve 3 m olduğu durumlar için 63 analiz gerçekleştirilmiştir. Bu sayede temel genişliğinin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Ayrıca temel derinliğinin de taşıma gücüne etkisini belirlemek için temel genişliğinin 2 m olduğu ve içsel sürtünme açısının 30 ve 40 derece olduğu durumlar için 12 analiz daha gerçekleştirilmiştir. Toplamda 75 analiz yapılmıştır. Analizler kohezyonsuz iyi derecelenmiş kumlu zemine oturan şerit temeller için gerçekleştirilmiştir. Malzeme modeli olarak elastik-plastik Mohr Coulomb modeli seçilmiştir. Analizler için kullanılmış olan zemin parametreleri Çizelge 3.9'da sunulmuştur.

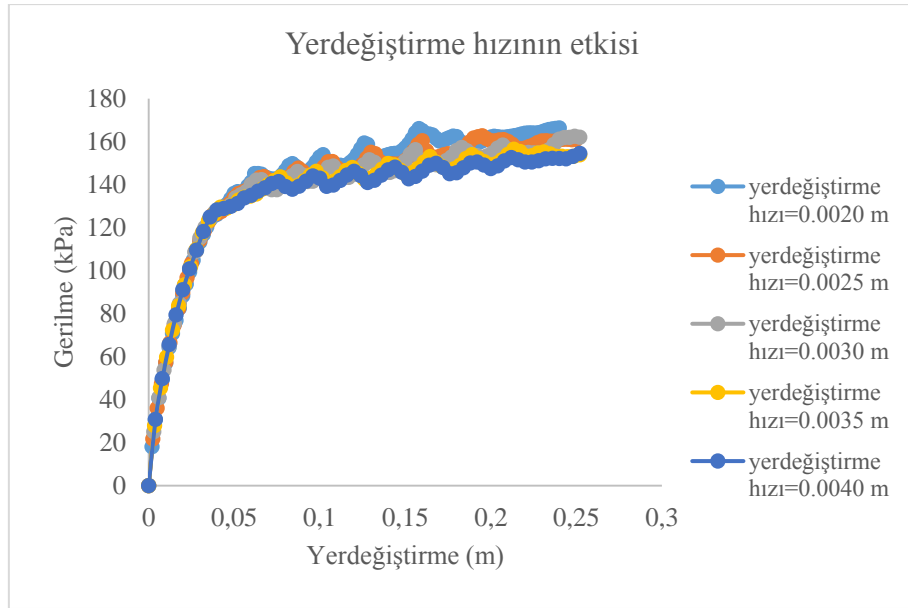
Çizelge 3.9. Analizde kullanılan zeminlere ait parametreler.

Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Kohezyon (kPa)	İçsel sürtünme açısı (°)	Dilatasyon açısı (°)	Elastisite modülü (kPa)	Poisson Oranı
γ	c	ϕ	Ψ	E_s	ν
18,6	0,5	28	0	12500	0,351
19	0,5	30	0	17500	0,333
19,6	0,5	32	2	22500	0,32
20,1	0,5	34	4	27500	0,306
20,5	0,5	36	6	35000	0,291
20,8	0,5	38	8	45000	0,278
21	0,5	40	10	55000	0,263

3.7 YÜK-YERDEĞİŞTİRME ANALİZİ

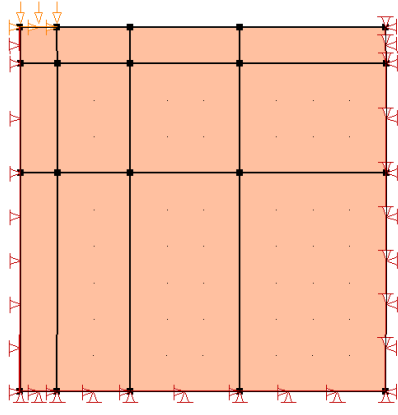
Granüler zeminlerde genellikle temel genişliğinin %5 ile %15'i arasında taşıma gücü yenilmesi gerçekleşmektedir (Vesic 1973). Fakat, bazı durumlarda temel genişliğinin %25'i kadar bir yer değiştirme gerçekleştiği zaman da zeminde yenilme gerçekleşebildiğinden bu tez çalışmasında güvenli tarafta kalmak açısından temel genişliğinin %25'i kadar yer değiştirme oluşturacak bir analiz tercih edilmiştir.

Temele uygulanacak yer değiştirmeyi seçmek için içsel sürtünme açısı 28° ve temel genişliği 1 m için analizler yapılmıştır. Analizlerde 0,002; 0,0025; 0,003; 0,0035 ve 0,004 m yer değiştirme değerleri denenmiştir Şekil 3.15 incelendiğinde bu seçimin sonucu fazla etkilemediği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla analiz için seçilmiş olan 0,0025 m yer değiştirme hızı değeri uygundur.



Şekil 3.15. Yer değiştirme hızının taşıma gücüne etkisi.

Temele uygulanacak yer değiştirme ilk kademedede 0,0025 m olarak başlayıp son kademedede temel genişliğinin %25'ine kadar ulaşmaktadır. Örnek olarak 2 m için yapılan bir analizde birinci kademedede 0,0025 m ile başlayan yer değiştirme 200 kademe sonucunda 0,5 m olmaktadır. Şekil 3.16 ise analize hazır hale gelmiş modele yer değiştirme uygulanmasını göstermektedir.



Şekil 3.16. Temele yerdeğiştirme uygulanması.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMALAR

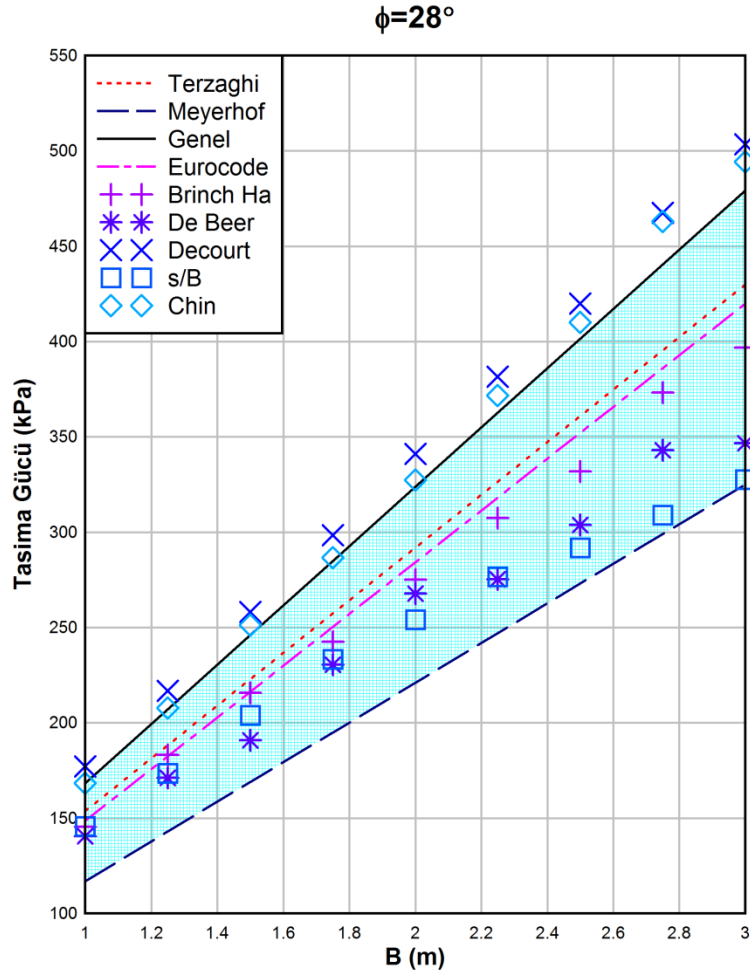
4.1 GİRİŞ

Bu bölümde analitik ve sayısal yöntemler ile bulunan taşıma gücü değerleri yorumlanmıştır. İçsel sürtünme açısının 28; 30; 32; 34; 36; 38 ve 40 derece olduğu temel genişliğinin ise 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 2,75 ve 3 m olduğu durumlar için kohezyonsuz iyi derecelenmiş kumlu zemine (SW) oturan sığ temellerin taşıma gücü analizleri yapılmıştır.

Ayrıca temel derinliğinin taşıma gücüne etkisini incelemek için şerit temelin genişliği (B=2 m) sabit tutularak temel derinliği 0,75; 1; 1,25; 1,5; 1,75 ve 2 m olarak değiştirilmiş ve taşıma gücü analizleri yapılmıştır. Zeminin içsel sürtünme açısı 30^0 ve 40^0 olması durumunda temel derinlikleri değiştirilmiştir. Böylelikle, değişik zemin durumlarında da derinlik etkisi ayrıca incelenmiştir.

4.2 TEMEL GENİŞLİĞİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

Şekil 4.1'de içsel sürtünme açısı 28^0 için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait hem analitik yöntemler ile hem de sayısal yöntemler ile bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. Analitik yöntemler arasında en büyük taşıma gücü değerleri genel taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Meyerhof taşıma gücü değerleri tüm yöntemlerden daha düşük sonuçlar vermiştir. Terzaghi taşıma gücü, Eurocode taşıma gücünden temel genişliği 1,5 m için % 2,81 ve temel genişliği 2,5 m için ise % 2,9 daha fazladır. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar Genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemleri arasındadır ve temel genişliği 1 m için bu fark % 43,95 ve temel genişliği 3 m için ise % 47,43 değerindedir.

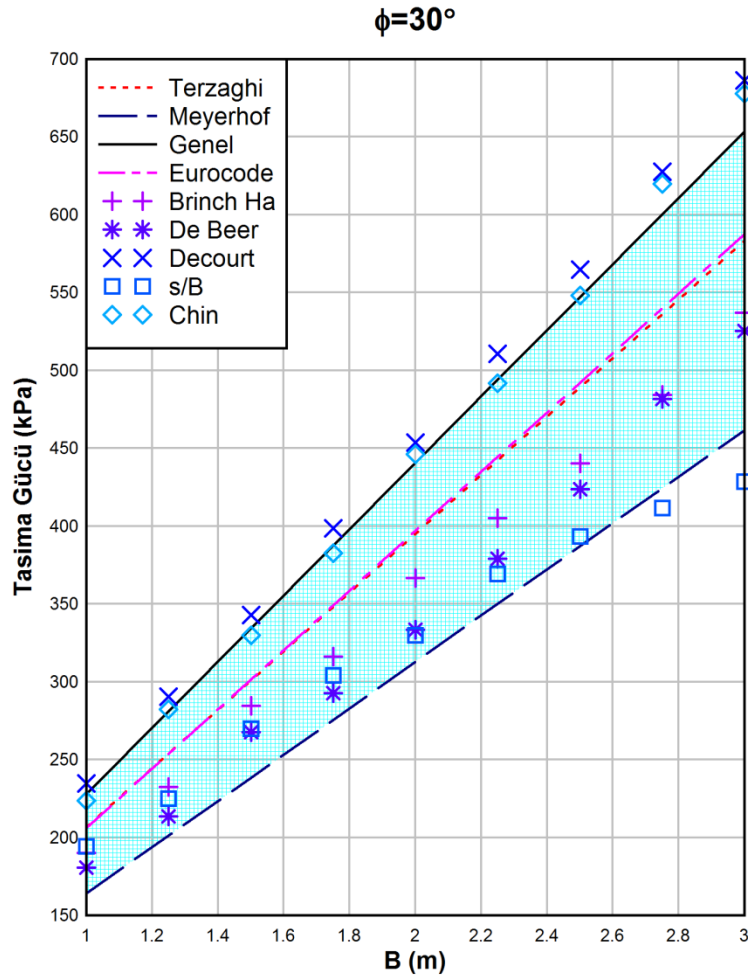


Şekil 4.1. $\phi=28^\circ$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.

Şekil 4.1’de analitik yöntemde olduğu gibi sayısal yöntemde de temel genişliğinin artması ile taşıma gücü değerleri artmıştır. Sayısal yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre taşıma gücünü en büyük hesaplayan yöntem Decourt sıfır rijitlik yöntemi olmuştur. Sayısal yöntemler arasından en düşük taşıma gücü değerleri temel genişliğinin 1; 1,25; 1,5; 1,75 ve 2,25 m olduğu durumda De Beer yönteminden diğer temel genişliklerinde ise s/B=%10 yönteminden elde edilmiştir. Sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 26,03 ve temel genişliği 3 m için ise % 53,73 değerindedir.

Analitik ve sayısal yöntemler karşılaştırıldığında ise en büyük taşıma gücü değerleri, Decourt sıfır rijitlik yöntemiyle hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri, Meyerhof yönteminden bulunmuştur. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri

arasında yüzdesel olarak en büyük farklar, temel genişliği 1 m için % 51,4 ve temel genişliği 3 m için % 54,87 değerindedir.

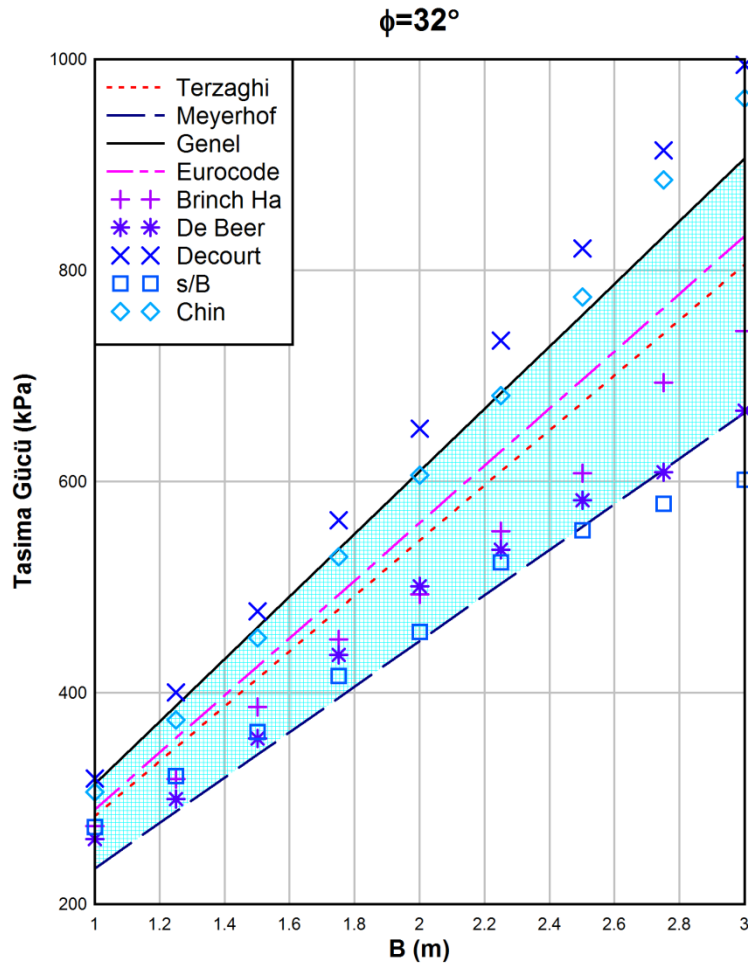


Şekil 4.2. $\phi=30^\circ$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.

Şekil 4.2'de içsel sürtünme açısı 30° için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait analitik yöntemler ile sayısal yöntemlerden bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. Analitik yöntemler arasında en büyük taşıma gücü değerleri, genel taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Eurocode taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücünden temel genişliği 1,75 m için % 0,32 ve temel genişliği 2,75 m için ise % 0,7 daha fazladır. Meyerhof taşıma gücü değerleri tüm yöntemlerden daha düşük sonuçlar vermiştir. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar Genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemleri arasındadır ve temel genişliği 1 m için bu fark % 39,03 ve temel genişliği 3 m için ise % 41,58 değerindedir.

Sayısal yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre taşıma gücünü en büyük hesaplayan yöntem, decourt sıfır rijitlik yöntemi olmuştur. Sayısal yöntemler arasından en düşük taşıma gücü değerleri temel genişliğinin 1; 1,25; 1,5 ve 1,75 m olduğu durumda De Beer yönteminden diğer temel genişliklerinde ise s/B=%10 yönteminden elde edilmiştir. Sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 30,03 ve temel genişliği 3 m için ise % 60,01 olmuştur.

Analitik ve sayısal yöntemler karşılaştırıldığında ise, en büyük taşıma gücü değerleri Decourt sıfır rijitlik yöntemiyle hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri, temel genişliğinin 2,75 ve 3 m olduğunda s/B= %10 yönteminden diğer temel genişliklerinde ise Meyerhof yönteminden bulunmuştur. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 43,27 ve temel genişliği 3 m için % 52,44 değerindedir.

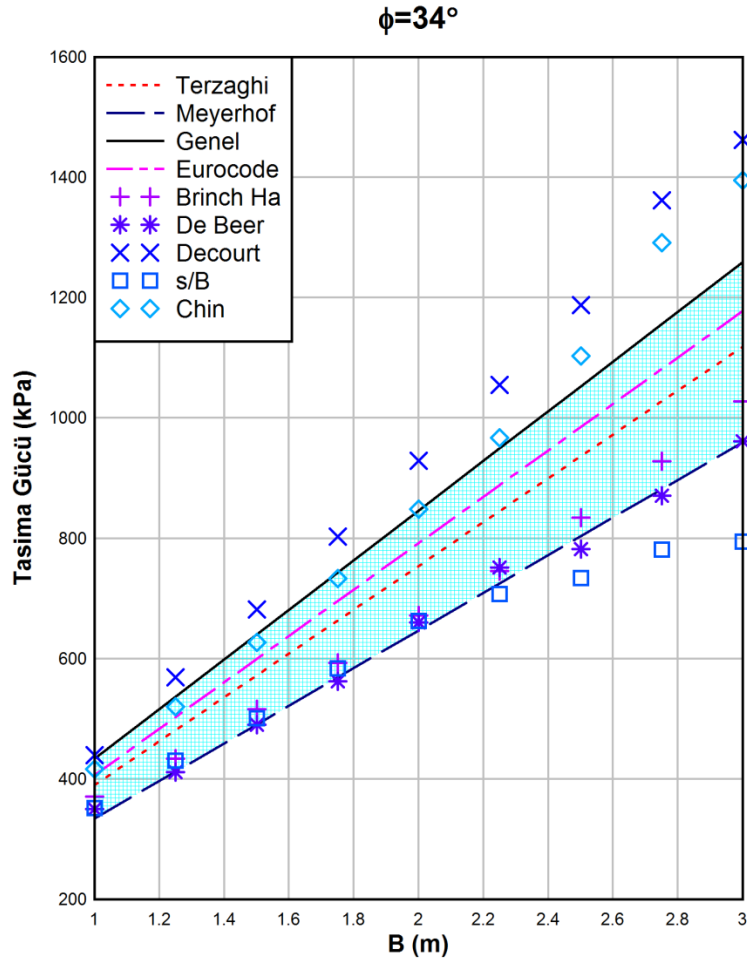


Şekil 4.3. $\phi=32^\circ$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.

Şekil 4.3’de içsel sürtünme açısı 32° için en büyük taşıma gücü değerleri, analitik yöntemler karşılaştırılırsa genel taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Meyerhof taşıma gücü değerleri tüm yöntemlerden daha düşük sonuçlar vermiştir. Eurocode taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücünden temel genişliği 1,25 m için % 2,5 ve temel genişliği 2,25 m için ise % 3,13 daha fazladır. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar Genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemleri arasındadır ve temel genişliği 1 m için bu fark % 34,37 ve temel genişliği 3 m için ise % 36,21 değerindedir.

Sayısal yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre taşıma gücünü en büyük hesaplayan yöntem, Decourt sıfır rijitlik yöntemi olmuştur. Sayısal yöntemler arasından en düşük taşıma gücü değeri, temel genişliğinin 1; 1,25 ve 1,5 m olduğu durumlar için De Beer yönteminden, diğer temel genişliklerinde ise $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 21,99 ve temel genişliği 3 m için ise % 65,26 olmuştur.

Analitik ve sayısal yöntemler birlikte karşılaştırıldığında ise şu sonuçlar elde edilmiştir. En büyük taşıma gücü değerleri Decourt sıfır rijitlik yöntemiyle hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri temel genişliğinin 2,5; 2,75 ve 3 m olduğu durumlarda $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Diğer temel genişliklerinde ise Meyerhof yönteminden bulunmuştur. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 36,61 ve temel genişliği 3 m için % 50,53 değerindedir.



Şekil 4.4. $\phi=34^\circ$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.

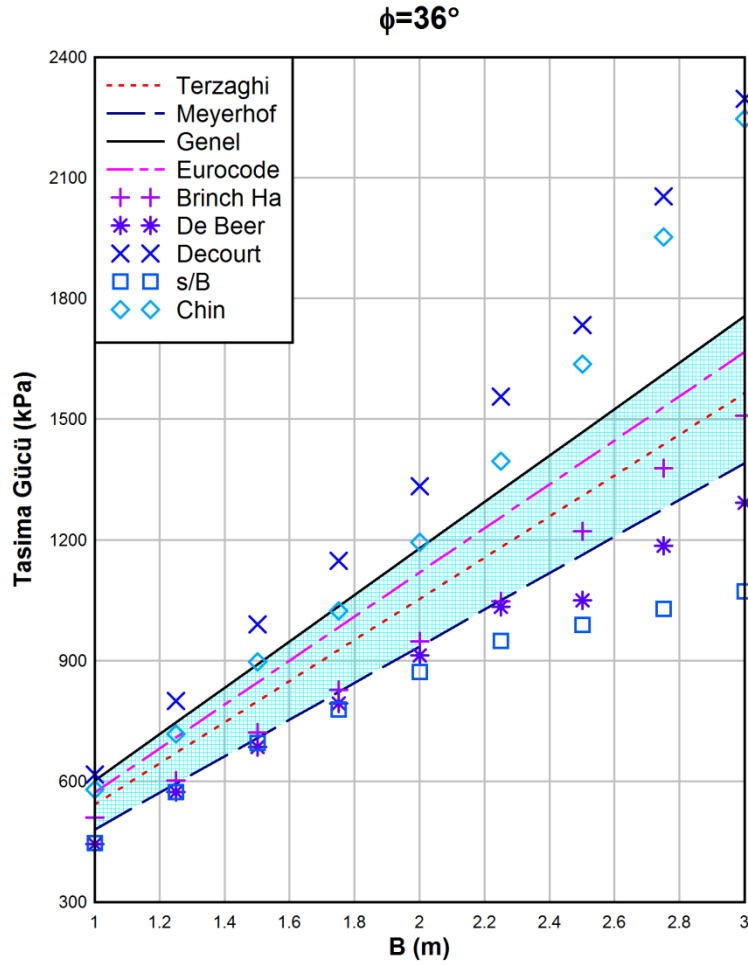
Şekil 4.4'de içsel sürtünme açısı 34° için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait analitik ve sayısal yöntemler ile bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. Analitik yöntemler arasında en büyük taşıma gücü değerleri genel taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Meyerhof taşıma gücü değerleri tüm yöntemlerden daha düşük sonuçlar vermiştir. Eurocode taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücünden temel genişliği 1,5 m için % 4,73 ve temel genişliği 2 m için ise % 5,02 daha fazladır. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar Genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemleri arasındadır ve temel genişliği 1 m için bu fark % 29,84 ve temel genişliği 3 m için ise % 31,15 değerindedir.

Sayısal kestirim yöntemlerinden elde edilen sonuçlara göre taşıma gücünü en büyük hesaplayan yöntem Decourt sıfır rijitlik yöntemi olmuştur. Sayısal yöntemler arasından en düşük taşıma gücü değeri temel genişliğinin 1; 1,25; 1,5; 1,75 ve 2 m olduğu durumlar için

$s/B=10\%$ yönteminden diğer temel genişlikleri için ise De Beer yönteminden elde edilmiştir. Sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 25,64 ve temel genişliği 3 m için ise % 84 olmuştur.

Analitik ve sayısal yöntemler birlikte karşılaştırıldığında ise, en büyük taşıma gücü değerleri Decourt sıfır rijitlik yöntemiyle hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri, temel genişliğinin 1,25 ve 1,75 m olduğunda De Beer yönteminden bulunmuştur. Temel genişliğinin 1; 1,5 ve 2 m olduğu durumlarda Meyerhof yönteminden elde edilmiştir. Diğer temel genişliklerinde ise $s/B=10\%$ yönteminden bulunmuştur. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar, temel genişliği 1 m için % 31,58 ve temel genişliği 3 m için % 58,48 değerindedir.

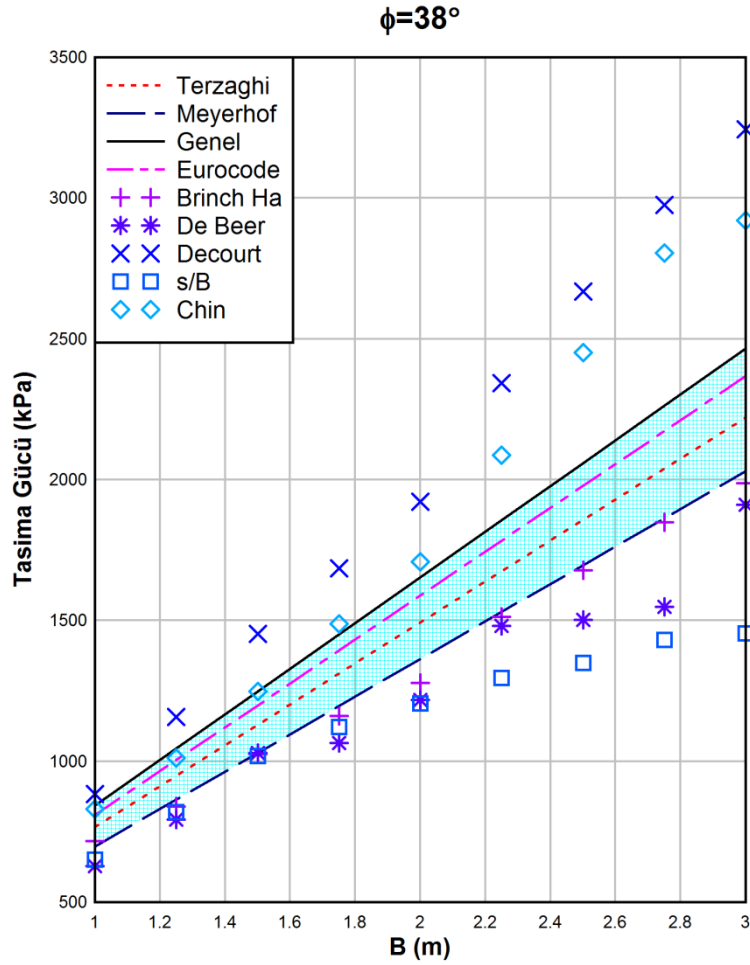
Şekil 4.5'de içsel sürtünme açısı 36° için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait analitik ve sayısal yöntemler ile bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. En büyük taşıma gücü değerleri genel taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Meyerhof taşıma gücü değerleri tüm yöntemlerden daha düşük sonuçlar vermiştir. Eurocode taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücünden temel genişliği 1,75 m için % 6,13 ve temel genişliği 2,75 m için ise % 6,47 daha fazladır. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar Genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemleri arasındadır ve temel genişliği 1 m için bu fark % 25,34 ve temel genişliği 3 m için ise % 26,26 değerindedir.



Şekil 4.5. $\phi=36^\circ$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.

Sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre taşıma gücünü en büyük hesaplayan yöntem, Decourt sıfır rijitlik yöntemi olmuştur. Sayısal yöntemler arasından en düşük taşıma gücü değeri, temel genişliğinin 1 ve 1,5 m olduğu durumlar için De Beer yönteminden diğer temel genişlikleri için ise s/B=%10 yönteminden elde edilmiştir. Sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 38,91 ve temel genişliği 3 m için ise % 114,09 olmuştur.

Analitik ve sayısal yöntemler birlikte karşılaştırıldığında ise en büyük taşıma gücü değerleri, Decourt sıfır rijitlik yöntemiyle hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri, temel genişliğinin 1 ve 1,5 m olduğu durumlar için De Beer yönteminden diğer temel genişlikleri için ise s/B=%10 yönteminden elde edilmiştir. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için % 35,49 ve temel genişliği 3 m için % 65,07 değerindedir.



Şekil 4.6. $\phi=38^\circ$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.

Şekil 4.6'da içsel sürtünme açısı 38° için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait analitik ve sayısal yöntemler ile bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. Analitik yöntemler arasında en büyük taşıma gücü değerleri genel taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Meyerhof taşıma gücü değerleri tüm yöntemlerden daha düşük sonuçlar vermiştir. Eurocode taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücünden temel genişliği 1,25 m için % 5,95 ve temel genişliği 2,75 m için ise % 6,56 daha fazladır. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar Genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemleri arasındadır ve temel genişliği 1 m için bu fark % 20,81 ve temel genişliği 3 m için ise % 21,44 değerindedir.

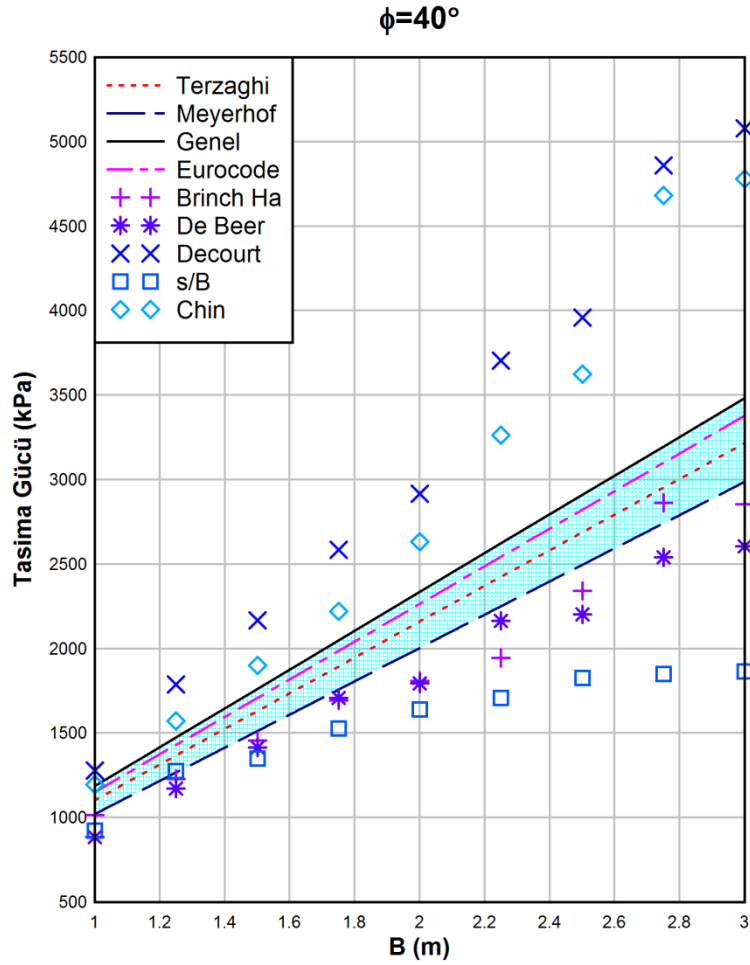
Analitik yöntemde olduğu gibi sayısal yöntemde de temel genişliğinin artması ile taşıma gücü değerleri artmıştır. Sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre taşıma gücünü en büyük hesaplayan yöntem, Decourt sıfır rijitlik yöntemi olmuştur. Sayısal yöntemler arasından en

düşük taşıma gücü değeri temel genişliğinin 1; 1,25 ve 1,75 m olduğu durumlar için De Beer yönteminden diğer temel genişlikleri için ise $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için $40,27\%$ ve temel genişliği 3 m için ise $123,03\%$ olmuştur.

Analitik ve sayısal yöntemler birlikte karşılaştırıldığında en büyük taşıma gücü değerleri, Decourt sıfır rijitlik yöntemiyle hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri, temel genişliğinin 1; 1,25 ve 1,75 m olduğu durumlar için De Beer yönteminden diğer temel genişlikleri için ise $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar, temel genişliği 1 m için $34,09\%$ ve temel genişliği 3 m için $69,59\%$ değerindedir.

Şekil 4.7'de içsel sürtünme açısı 40° için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait sayısal ve analitik yöntemler ile bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. Analitik yöntemler arasından en büyük taşıma gücü değerleri, genel taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Meyerhof taşıma gücü değerleri tüm yöntemlerden daha düşük sonuçlar vermiştir. Eurocode taşıma gücü, Terzaghi taşıma gücünden temel genişliği 2 m için $4,84\%$ ve temel genişliği 3 m için ise $5,03\%$ daha fazladır. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar Genel taşıma gücü ve Meyerhof taşıma gücü yöntemleri arasındadır ve temel genişliği 1 m için bu fark $16,16\%$ ve temel genişliği 3 m için ise $16,57\%$ değerindedir. Sayısal yöntemlerden elde edilen taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar, temel genişliği 1 m için $44,63\%$ ve temel genişliği 3 m için ise $172,26\%$ olmuştur.

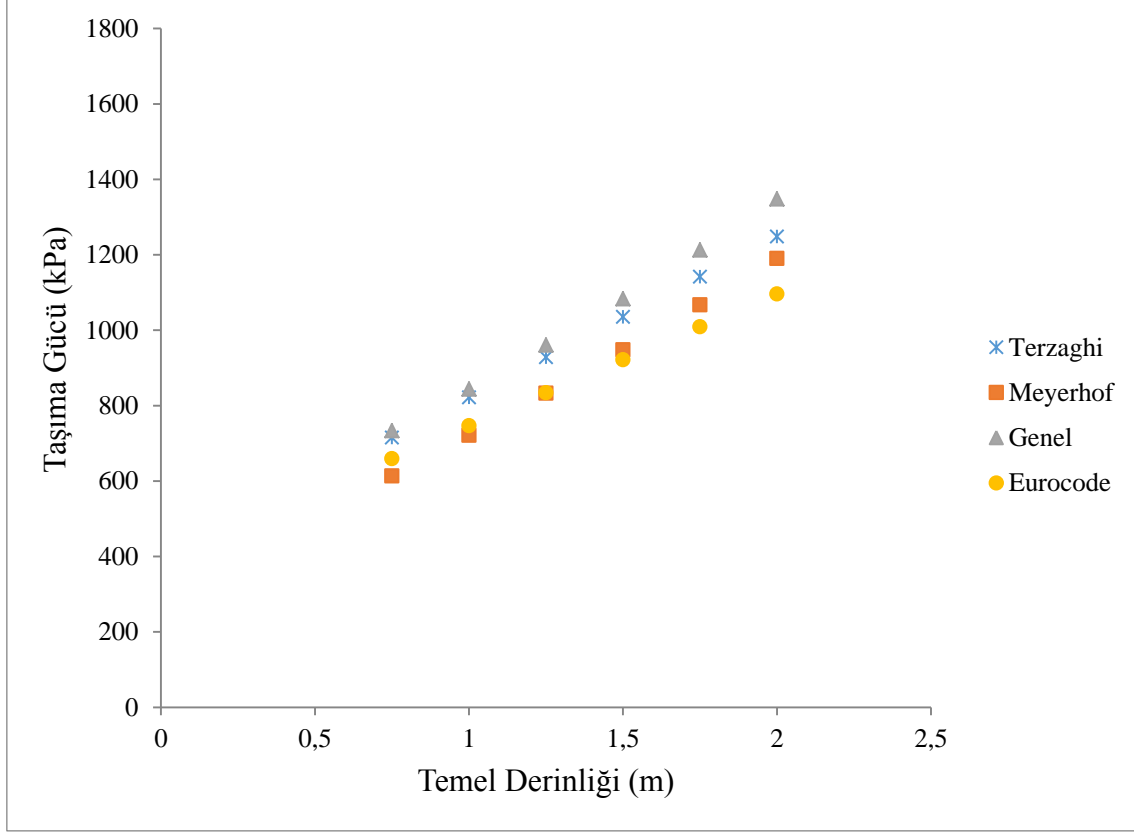
Analitik ve sayısal yöntemler birlikte karşılaştırıldığında ise en büyük taşıma gücü değerleri, Decourt sıfır rijitlik yöntemiyle hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri, temel genişliğinin 1 ve 1,25 m olduğu durumlar için De Beer yönteminden diğer temel genişlikleri için ise $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar temel genişliği 1 m için $34,23\%$ ve temel genişliği 3 m için $86,79\%$ değerindedir.



Şekil 4.7. $\phi=40^\circ$ için farklı temel genişliklerinde analitik ve sayısal yöntemlerin karşılaştırılması.

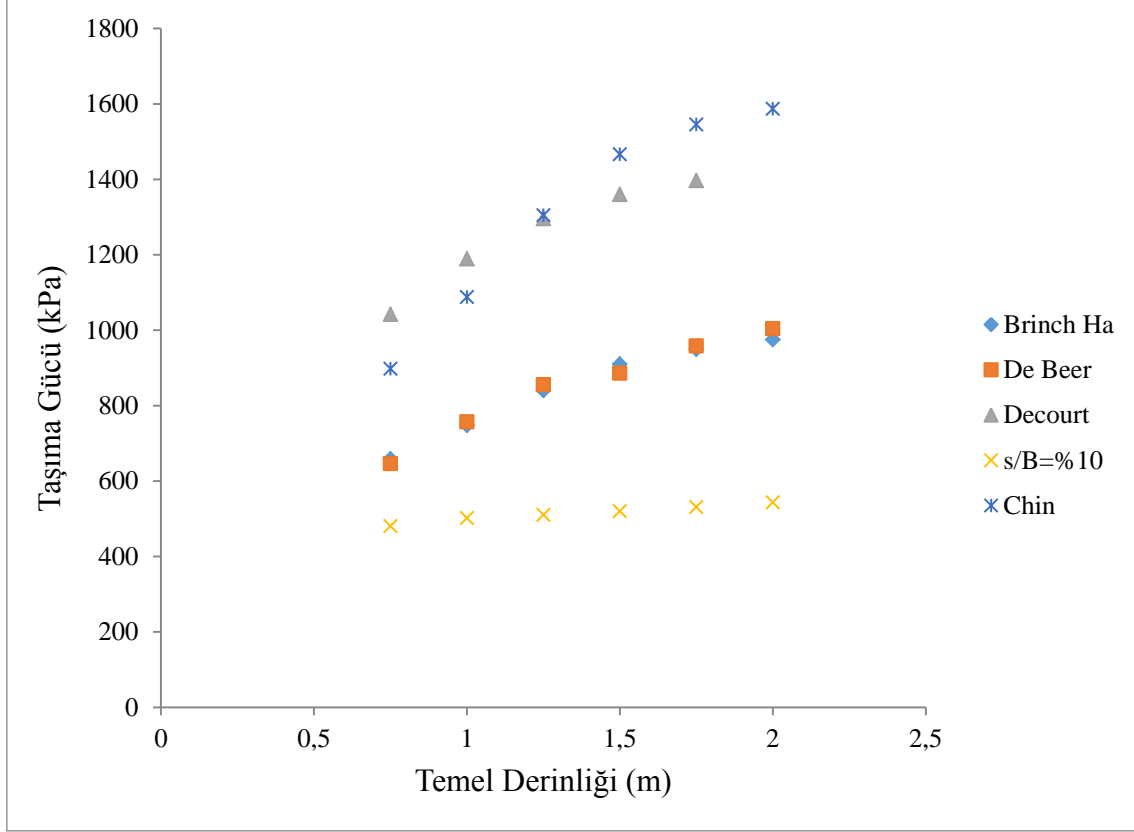
4.3 TEMEL DERİNLİĞİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ

Şekil 4.8’de içsel sürtünme açısı 30° için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait analitik yöntemler ile bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. En yüksek taşıma gücü genel taşıma gücü yönteminden bulunmaktadır. En düşük taşıma gücü, temel derinliğinin 0,75 m; 1 m ve 1,25 m olduğu durumlarda Meyerhof taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Diğer temel derinliklerinde ise Eurocode taşıma gücü yönteminden elde edilmiştir. Taşıma gücü değerleri arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar temel derinliğinin 0,75 m olduğu durumda genel taşıma gücü ile Meyerhof taşıma gücü yöntemi arasındadır ve bu fark % 19,61 olarak bulunmuştur. Temel derinliğinin 1,75 m olduğu durum için ise yöntemler arasındaki yüzdesel en büyük fark genel taşıma gücü ile Eurocode taşıma gücü yöntemi arasında olmuştur ve bu fark % 20,2’dir.



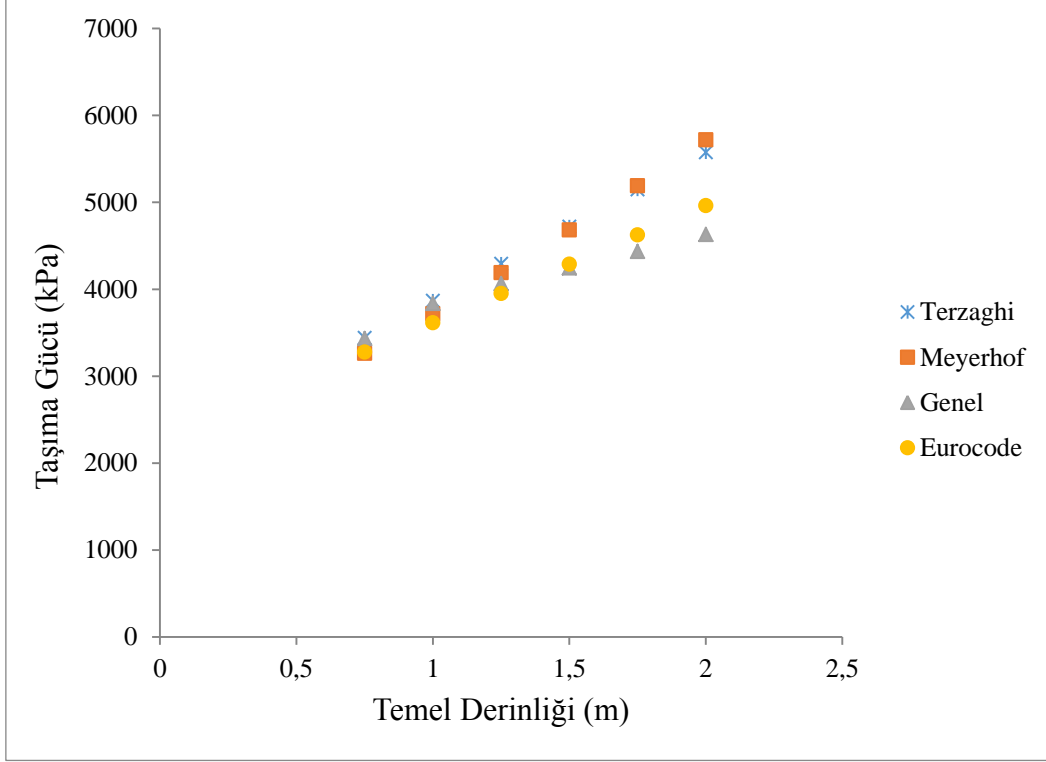
Şekil 4.8. $\phi=30^0$ ve $B=2$ m için analitik yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.

Şekil 4.9'da farklı temel derinliklerine sahip kohezyonsuz zemine oturan şerit temellerin sayısal analiz sonuçları görülmektedir. Sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre en büyük taşıma gücü değerlerini temel derinliğinin 0,75 m olduğu durumda Decourt sıfır rijitlik yönteminden elde edilmektedir. Diğer tüm temel derinlikleri için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi en büyük taşıma gücü değerini vermektedir. En düşük taşıma gücü değerleri $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Taşıma gücü arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar, temel derinliğinin 1 m olduğu durumda % 116,77 ve 2 m olduğu durumda ise % 192,09 olarak bulunmuştur. Analitik ve sayısal yöntemler karşılaştırıldığında ise, en büyük taşıma gücü değerleri, temel derinliği 0,75 m için Decourt sıfır rijitlik yönteminden diğer tüm derinliklerde ise Chin dönüştürülmüş eksenler yönteminden hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar, temel derinliği 0,75 m için % 52,71 ve temel derinliği 2 m için % 148,07 değerindedir.



Şekil 4.9. $\phi=30^\circ$ ve $B=2$ m için sayısal yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.

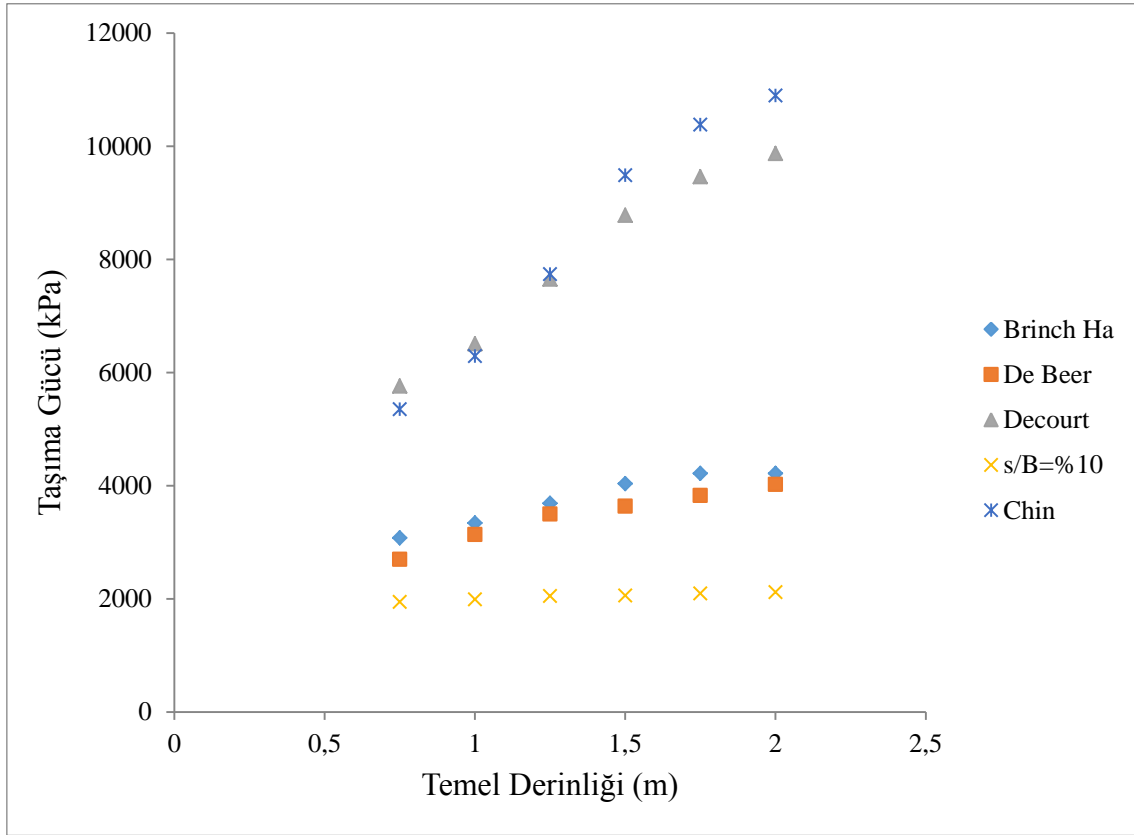
Şekil 4.10'da içsel sürtünme açısı 40° için kohezyonsuz zeminlere oturan farklı temel genişliklerine sahip ve yüzeye oturan şerit temellere ($D_f=0$ m) ait analitik yöntemler ile bulunan taşıma gücü sonuçları gösterilmektedir. Buradan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Temel genişliği arttıkça taşıma gücü doğrusal olarak bir artış göstermiştir. En büyük taşıma gücü değerleri temel derinliğinin 1,75 m ve 2 m olduğu durumlarda Meyerhof yönteminden elde edilmiştir. Diğer temel derinliklerinde ise Terzaghi yönteminden bulunan taşıma gücü değerleri diğer yöntemlerden daha büyüktür. En düşük taşıma gücü değerleri ise temel derinliğinin 0,75 m olduğu durumda Meyerhof yönteminden bulunmuştur. Temel derinliğinin 1 ve 1,25 m olduğu durumlarda Eurocode taşıma gücü yönteminden bulunmuştur. Diğer temel derinliklerinde ise en düşük taşıma gücü değerleri genel taşıma gücü denkleminde bulunmuştur. Taşıma gücü yöntemleri arasında yüzdesel olarak en büyük farklar temel derinliğinin 0,75 m olduğu durumda Terzaghi ve Meyerhof yöntemi arasında olmuştur ve bu fark % 5,47 olarak bulunmuştur. Temel derinliğinin 1,25 m olduğu durumda Terzaghi ve Eurocode yöntemi arasında olmuştur ve bu fark % 7,03 olarak bulunmuştur. Temel derinliğinin 2 m olduğu durumda Meyerhof ve genel taşıma gücü yöntemi arasında olmuştur ve bu fark % 23,49 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.10. $\phi=40^0$ ve $B=2$ m için analitik yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.

Şekil 4.11’de farklı temel derinliklerine sahip kohezyonsuz zemine oturan şerit temellerin sayısal analiz sonuçları görülmektedir. Sayısal yöntemlerden elde edilen sonuçlara göre en büyük taşıma gücü değerlerini temel derinliğinin 0,75 ve 1 m olduğu durumda Decourt sıfır rijitlik yönteminden elde edilmektedir. Diğer tüm temel derinlikleri için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi en büyük taşıma gücü değerini vermektedir. En düşük taşıma gücü değerleri, $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Burada $s/B=10\%$, Brinch Hansen ve De Beer yöntemleri ile taşıma gücü temel genişliği arttıkça diğer sayısal yöntemlere göre daha az artmaktadır. Chin dönüştürülmüş eksenler ve Decourt sıfır rijitlik yönteminde artış doğrusal ve eğim diğer yöntemlerden daha fazladır. Yöntemler arasında bu farkın oluşmasının sebebi ise $s/B=10\%$ yöntemi, Brinch Hansen ve De Beer yönteminde elde edilen taşıma gücü değerinin diğer yöntemlere göre daha düşük yerdeğiştirme değerinde bulunmasıdır. Taşıma gücü arasındaki yüzdesel olarak en büyük farklar, temel derinliğinin 0,75 m olduğu durumda % 196,26 ve 1,5 m olduğu durumda ise % 361,32 olarak bulunmuştur. Analitik ve sayısal yöntemler karşılaştırıldığında ise; en büyük taşıma gücü değerleri, temel derinliği 0,75 m için Decourt sıfır rijitlik yönteminden, diğer tüm derinliklerde ise Chin dönüştürülmüş eksenler yönteminden hesaplanmıştır. En düşük taşıma gücü değerleri $s/B=10\%$ yönteminden elde edilmiştir. Sayısal ve analitik yöntemler arasında hesaplanan taşıma güçleri arasında yüzdesel

olarak en büyük farklar temel derinliği 0,75 m için % 76,61 ve temel derinliği 2 m için % 170,04 değerindedir.



Şekil 4.11. $\phi=40^0$ ve B=2 m için sayısal yöntemler ile temel derinliklerinin taşıma gücüne etkisi.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, kohezyonsuz iyi derecelenmiş kumlu zeminler (SW) üzerine oturan şerit temellerin taşıma gücü analitik ve sayısal yöntemlerle belirlenmiştir. Farklı içsel sürtünme açılarına sahip ($\phi=28^0$, $\phi=30^0$, $\phi=32^0$, $\phi=34^0$, $\phi=36^0$, $\phi=38^0$ ve $\phi=40^0$) kumlu zeminler kullanılmıştır. Temel genişliğinin ve derinliğinin taşıma gücüne etkisini incelemek amacıyla toplam 75 analiz gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, literatürde mevcut olan analitik yöntemler (Terzaghi, Meyerhof, Genel ve Eurocode) ile taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Daha sonra sonlu elemanlar programı Geostudio 2012 Sigma/W ile taşıma gücü analizi gerçekleştirilmiştir. Programdan elde edilen gerilme-yerdeğiştirme eğrileri yardımı ile sayısal yöntemler (s/B=%10, De Beer, Brinch Hansen, Decourt sıfır rijitlik, Chin dönüştürülmüş eksenler) kullanılarak taşıma gücü bulunmuştur.

Öncelikle, iyi derecelenmiş kumlu zemin için, temel genişlikleri değiştirilerek yüzeye oturan şerit temellerin ($D_f=0$ m) taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Hem analitik yöntemlerde hem de sayısal yöntemlerde temel genişliği ve içsel sürtünme açısı arttıkça taşıma gücü de artmaktadır. İçsel sürtünme açısının düşük ($\phi=28^0$, $\phi=30^0$ ve $\phi=32^0$) olduğu durumlarda analitik yöntemler ile sayısal yöntemler uyumlu sonuçlar vermektedir. İçsel sürtünme açısı ve temel genişliği arttıkça yöntemler arasındaki uyumluluk azalmaktadır. Örneğin, $\phi=28^0$ ve temel genişliğinin 1 m olduğu durumda analitik ve sayısal yöntemler arasındaki en büyük yüzdesel fark % 26,03 iken, $\phi=40^0$ ve temel genişliği 3 m için % 86,79 olmuştur. İçsel sürtünme açısının büyük değerleri için ($\phi=38^0$ ve $\phi=40^0$) gerilme ve deformasyon eğrileri incelendiğinde analizde yakınsama ile ilgili sıkıntılar oluşmaktadır. Bu yüzden analitik ve sayısal yöntemler arasında taşıma gücü değerleri arasında önemli farklılıklar oluşmaktadır.

Temel derinliğinin taşıma gücüne etkisinin incelenmesi için de 2 farklı zeminde ($\phi=30^0$ ve $\phi=40^0$) temel derinlikleri değiştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde analitik ve sayısal

yöntemlerin ikisinde de temel derinliği arttıkça taşıma gücü değerleri artmıştır. Analitik yöntemler değerlendirildiğinde temel derinliğinin etki etmesinden dolayı derinlik faktörleri de etki etmiştir. $\phi=40^0$ için temel derinliği 1,25, 1,5, 1,75 ve 2 m olduğu durumlarda rijitlik indeksi (I_r), kritik rijitlik indeksi değerinden (I_{cr}) daha küçük sonuç verdiği için sıkışma faktörleri de ilgili temel derinliklerinde hesaplanmıştır. Sıkışma faktörlerinin ve temel derinliği faktörlerinin de etki etmesi ile analitik yöntemler arasında en büyük taşıma gücü değerleri farklılık göstermiştir. Sayısal yöntemler incelendiğinde ise içsel sürtünme açısının artması ile yöntemler arasında hesaplanan taşıma gücü değerleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bunun sebebi ise yöntemlerin her birinin hesapladığı taşıma gücüne karşılık gelen yerdeğiştirme değerinin farklı olmasıdır. Ayrıca gerilme-deformasyon eğrilerinde görüldüğü gibi temel genişliğinin %25'ine kadar yerdeğiştirme oluştuğunda kırılma gerçekleşmektedir. Analitik ve sayısal yöntemler birlikte incelendiğinde ise temel derinliğinin 2 m olduğu durumda yöntemler arasındaki yüzdesel fark % 170,04 değerine kadar ulaşmıştır.

5.2 ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında yapılan temel derinliğinin taşıma gücüne etkisinin incelenmesinde kullanılan zemin sayısı artırılabilir. Sonlu elemanlar programı olarak bu tez çalışmasında kullanılmış olan Geostudio 2012 Sigma/W programı yerine 3 boyutlu analiz gerçekleştirebilen sonlu farklar prensibi ile çalışan FLAC programı kullanılabilir. Tabaka sayısı artırılarak farklı zeminler tanımlanıp daha karmaşık bir model de çalışılabilir. Eğik yük, eğik zemin, eğik temel gibi faktörlerin kullanılabilceği bir problem analiz edilebilir.

KAYNAKLAR

- Amar S, Baguelin F, Canepa Y and Frank R** (1994) Experimental study of the settlement of shallow foundations, *Vert. and Hor. Def. of Found. and Emb.*, 2 (40): 1602-1610.
- ASTM D1196** (1997) *Standard Test Method for Repetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*, Annual Book of ASTM Standards, 04:08.
- Bartlett S F** (2010) *Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, Lecture Notes, Utah, 421 p.
- Bathe K J** (1996) *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, New Jersey, 1037 p.
- Bolton M D** (1986) The strength and dilatancy of sands, *Geotec.*, 36 (1): 65-78.
- Bond A and Harris A** (2008) *Decoding Eurocode 7*, Taylor & Francis, London and New York, 598 p.
- Bowles J E** (1996) *Foundation analysis and design*, The McGraw-Hill Companies, New York, 1207 p.
- Budhu M** (2007) *Foundations and earth retaining structures*, John Wiley & Sons, Arizona, 483 p.
- Caquot A and Kerisel J** (1953) Sur le terme de surface dans le calcul des fondations en milieu pulvérulent. Proceedings Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zürich, 1: 336-337.
- Chandrakant S D and Abel J F** (1972) *Introduction to Finite Element Method, A Numerical Method for Engineering Analysis*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 477 p.
- Chen W F and Liu X L** (1975) *Limit analysis and soil plasticity*, J. Ross Publishing, Amsterdam, 638 p.
- Chin F K** (1971) Discussion to "Pile tests: Arkansas river project". *ASCE Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*, 97 (6): 930-932.
- Das B** (2007) *Principles of Foundation Engineering 5th ed*, Thomson Brooks/Cole, Stamford, 743 p.
- Das B** (2009) *Shallow Foundations 2nd edition*, CRC Press, Arizona, 325 p.
- De Beer E E** (1965) Bearing Capacity and Settlement of Shallow Foundations on Sand, Proceedings of a Symposium held at Duke University, pp. 15-34.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- De Beer E E** (1970) Experimental determination on the shape factors and the bearing capacity factors of sand, *Geotec.*, 2 (4): 387-411.
- De Borst R and Vermeer P A** (1984) Possibilities and limitations of finite elements for limit analysis, *Geotec.*, 34 (2): 199-210.
- Decourt L** (1999) Behaviour Of Foundations Under Working Load Conditions, Proceedings Of The XI Panamerican Conference On Soil Mechanics And Geotechnical Engineering, Foz Du Iguassu, Brazil, 4: 453-487.
- Elhakim A F** (2005) Evaluation Of Shallow Foundation Displacements Using Soil Small-Strain Stiffness, Doctor of Philosphy, Georgia Institute of Technology, Civil and Enviromental Engineering.
- Ghazavi M and Eghbali A H** (2013) New Geometric Average Method for Calculation of Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundations on Stratified Sands, *ASCE Int. J. of Geom.*, 13 (29): 101-108.
- Hansen B J** (1961) A general formula for bearing capacity. Danish. Geotechnical Institute, Bulletin No. 11: 38-46.
- Hansen B J** (1963) Discussion of Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils, *J of S.Mech & Found. Div*, 89 (4): 241-242.
- Kerisel J** (1967) Scaling Law in Soil Mechanics. Proceedings, Third Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Caracas, Venezuela, 3: 69-92.
- Keskin M S** (2009) Güçlendirilmiş Kumlu Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Deneysel ve Teorik, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kötter F** (1903) *Die Bestimmung Des Druckes An Gekrümmten Gleitflächen Eine Aufgabe Aus Der Lehre Vom Erddruck*, Monatsber, Akad. Wiss., Berlin, pp. 229-233.
- Kulhawy F H and Mayne P W** (1990) *Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*, Hollister Hall, New York, 308 p.
- Loukidis D and Salgado R** (2009) Bearing Capacity of Strip and Circular Footings in Sand Using Finite Elements, *Comp. & Struc.*, 36 (5): 871-879.
- Manoharan N and Dasgupta S P** (1995) Bearing Capacity of Surface Footings by Finite Elements, *Comp.& Struc.*, 54 (4): 563-586.
- Meyerhof G G** (1951) The Ultimate Bearing Capacity of Foundations, *Geotec.*, 2 (4): 301-332.
- Meyerhof G G** (1963) Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations, *Can. Geotec. J.*, 1 (1): 16-26.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

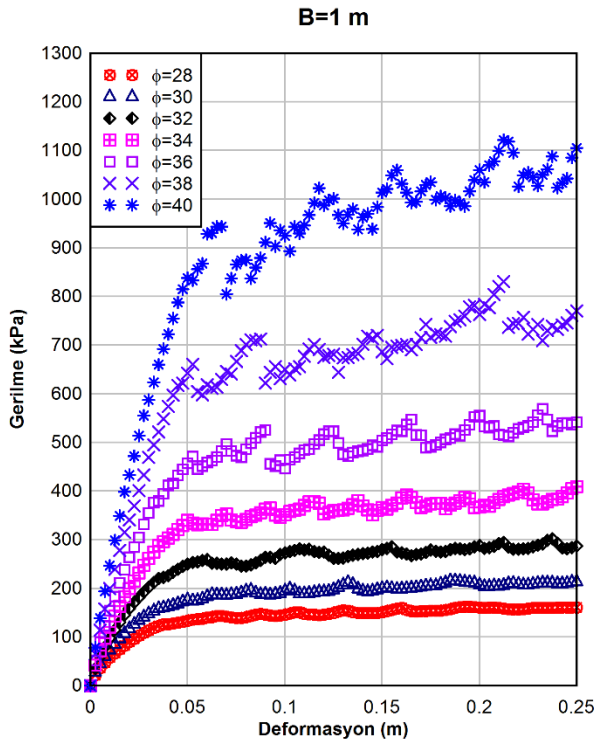
- Murthy V N S** (2007) *Advanced Foundation Engineering*, CBS Publishers & Distributors, New Delhi, 821 p.
- Navfac DM-7.02** (1986) *Foundations & Earth Structures Design Manual 7.02*, Washington, 279 p.
- Novotortsev V I** (1938) Experience with the application of the theory of plasticity to problems of determination of the bearing capacity of foundation beds of structures, *Izv. Nauchno. Issl. Inst. Anzh. Geol.*, 22 (1):115-128.
- Orhan M** (2011) *Temel İnşaat*, Gazi Kitabevi, Ankara, 258 s.
- Örnek M** (2011) Eksantrik yüklü temellerde taşıma gücü ve gerilme davranışının sayısal analizi. *e-Journal of New W. Sci. Acad.*, 6 (4): 1A0204.
- Potts D M and Zdravkovic L** (2001) *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Application*, Thomas Telford Publishing, London, 427 p.
- Prandtl L** (1920) Über die Harte plastischer Körper, *Nachr. Ges. Wiss. Goettingen, Math.-Phys. Kl.*, 74-85.
- Prandtl L** (1921) Über die eindringungsfestigkeit (Harte) Plastischer Baustoffe und die festigkeit von schneiden. 2. *Angew. Math. Mech.* 1: 15-20.
- Reissner H** (1924) Zum erddruckproblem, *Proceedings of the First International Congress on Applied Mechanics*, Delft, pp. 295-311.
- Reissner H** (1926) Zum erddruckproblem, *Proceedings of the First. Congr. Appl. Mech.*, C. B. Biezeno and J. M. Burgers, Delft, pp. 295-311.
- Sloan S W and Randolph M F** (1982) Numerical prediction of collapse loads using finite element methods, *Int. J. for Num. and Analy. Met. in Geomec.*, 6: 47-76.
- Sigma/W** (2012) *Stress-Deformation Modelling with Sigma/W 2012*, Geo-Slope International Ltd. Canada, 221 p.
- Taylor D W** (1948) *Fundamental of soil mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 700 p.
- Terzaghi K** (1943) *Theoretical soil mechanics*, Wiley, New York, 510 p.
- TS 5744** (1988) *İnşaat mühendisliğinde temel zemini özelliklerinin yerinde ölçümü*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL -1** (2012) <http://www.plaxis.nl/files/files/2D2012-3-Material-Models.pdf> (Erişim tarihi 27.8.2013).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

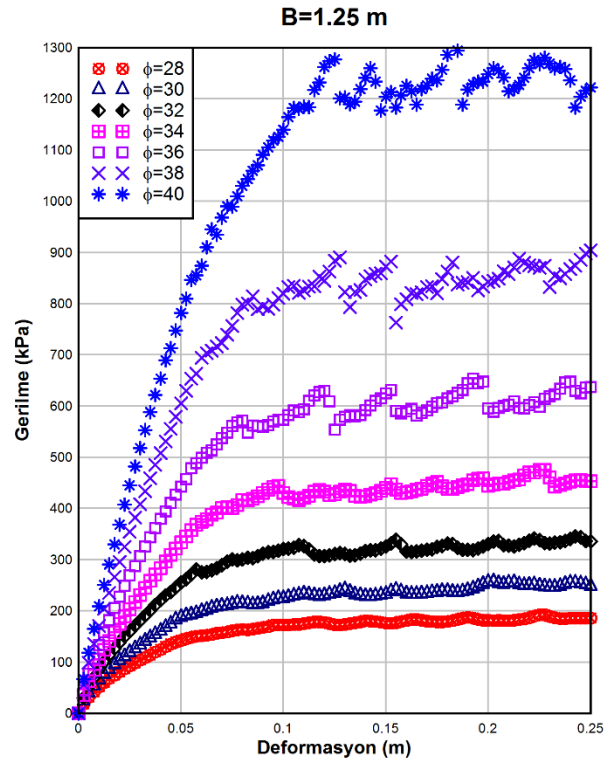
Vesic A S (1973) Analysis of Ultimate Loads on Shallow Foundations. *J. of S. Mech. Found. Div.*, ASCE, 99 (1): 45-73.

Vesic A S (1975) *Bearing Capacity Of Shallow Foundation*, Foundation Engineering Handbook (eds Winterkorn & Fang), Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 121-147.

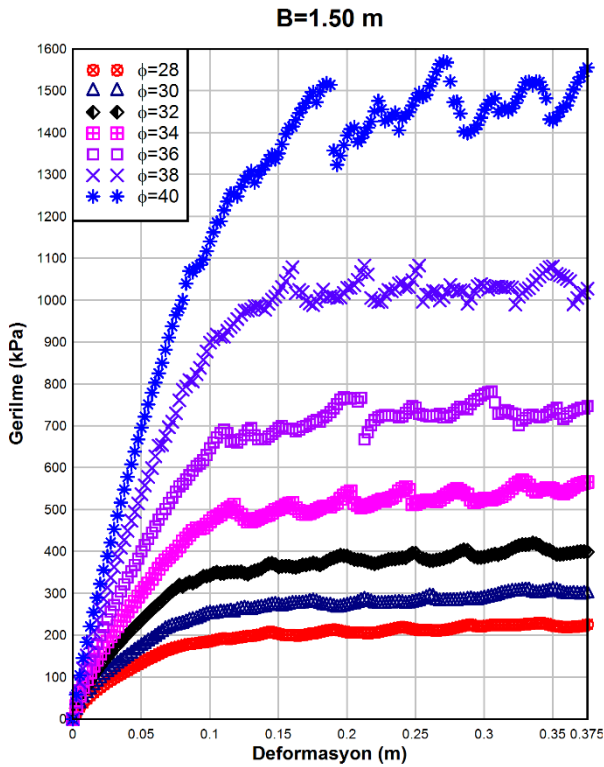
EK AÇIKLAMALAR A
TEMEL GENİŞLİĞİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ SİGMA/W ÇIKTILARI



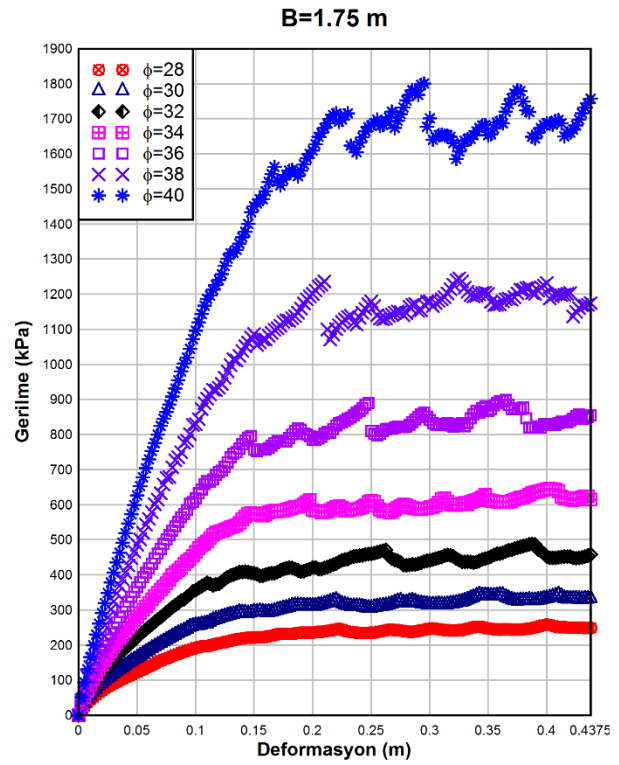
Şekil A.1. B=1 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.



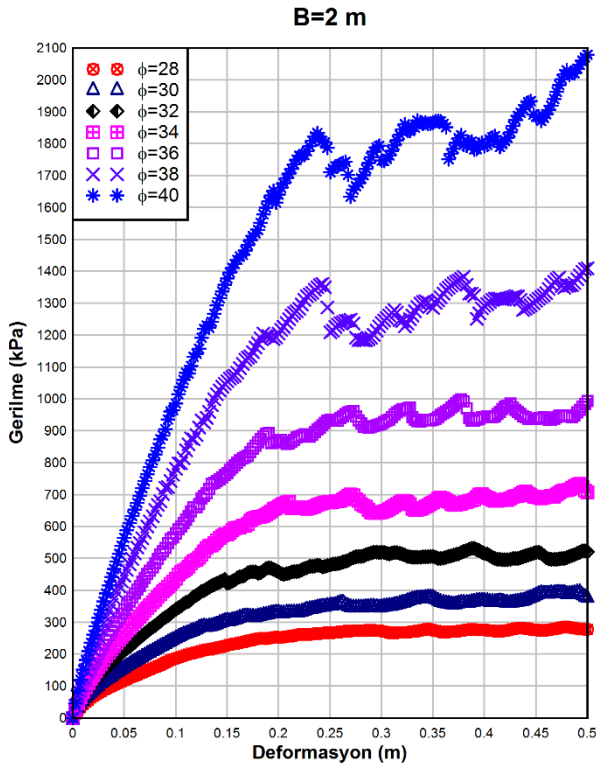
Şekil A.2. B=1,25 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.



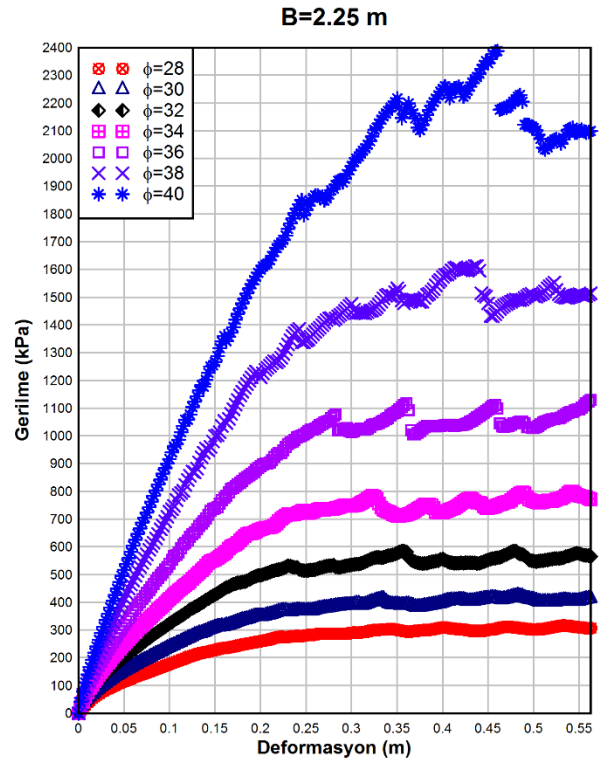
Şekil A.3. B=1,50 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.



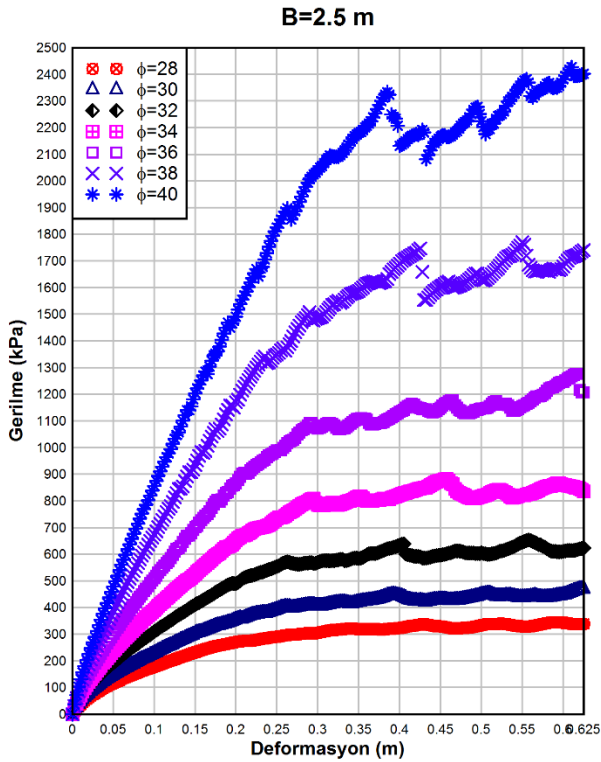
Şekil A.4. B=1,75 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.



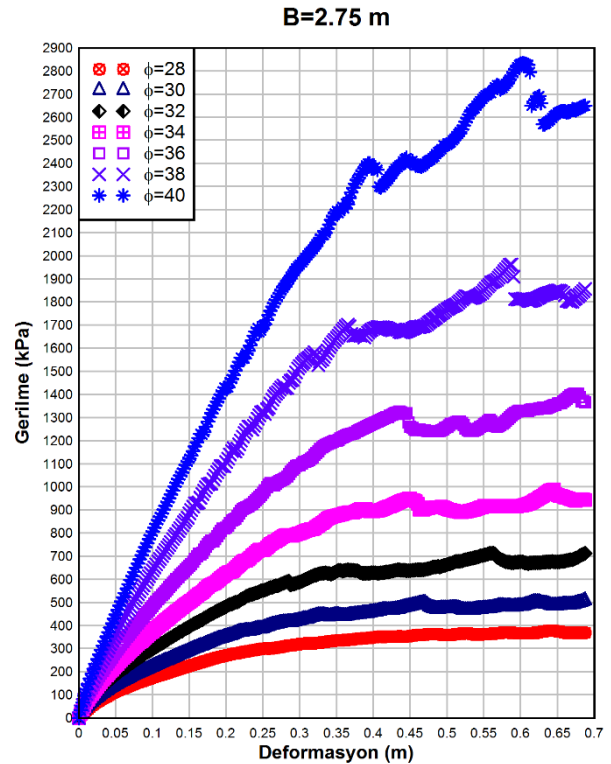
Şekil A.5. B=2 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.



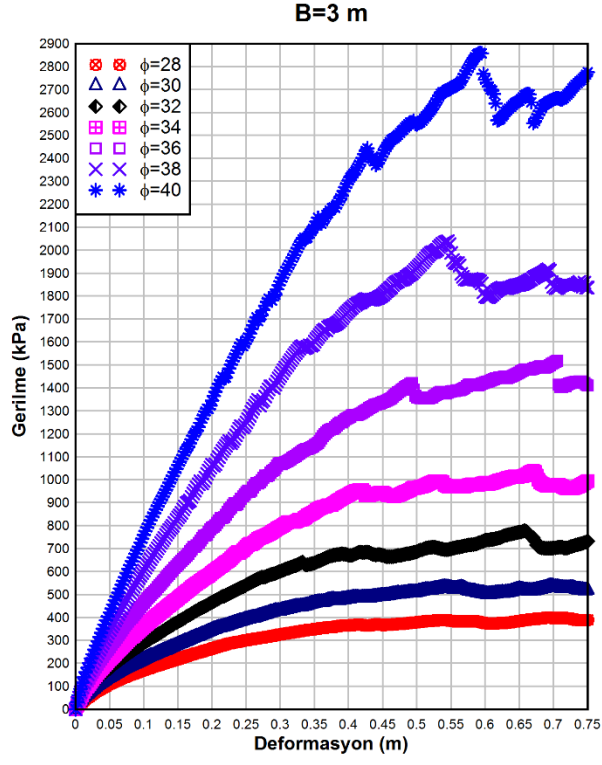
Şekil A.6. B=2,25 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.



Şekil A.7. B=2,5 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.

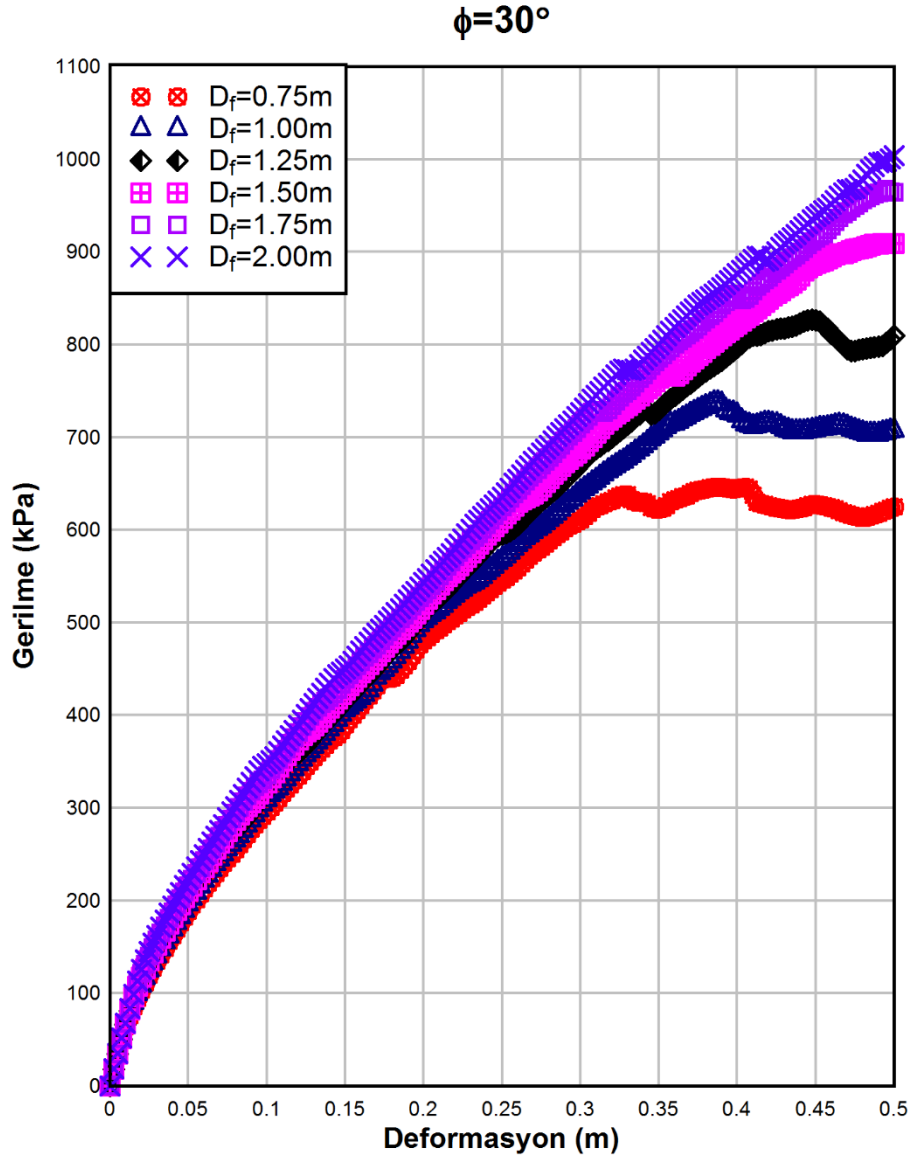


Şekil A.8. B=2,75 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.

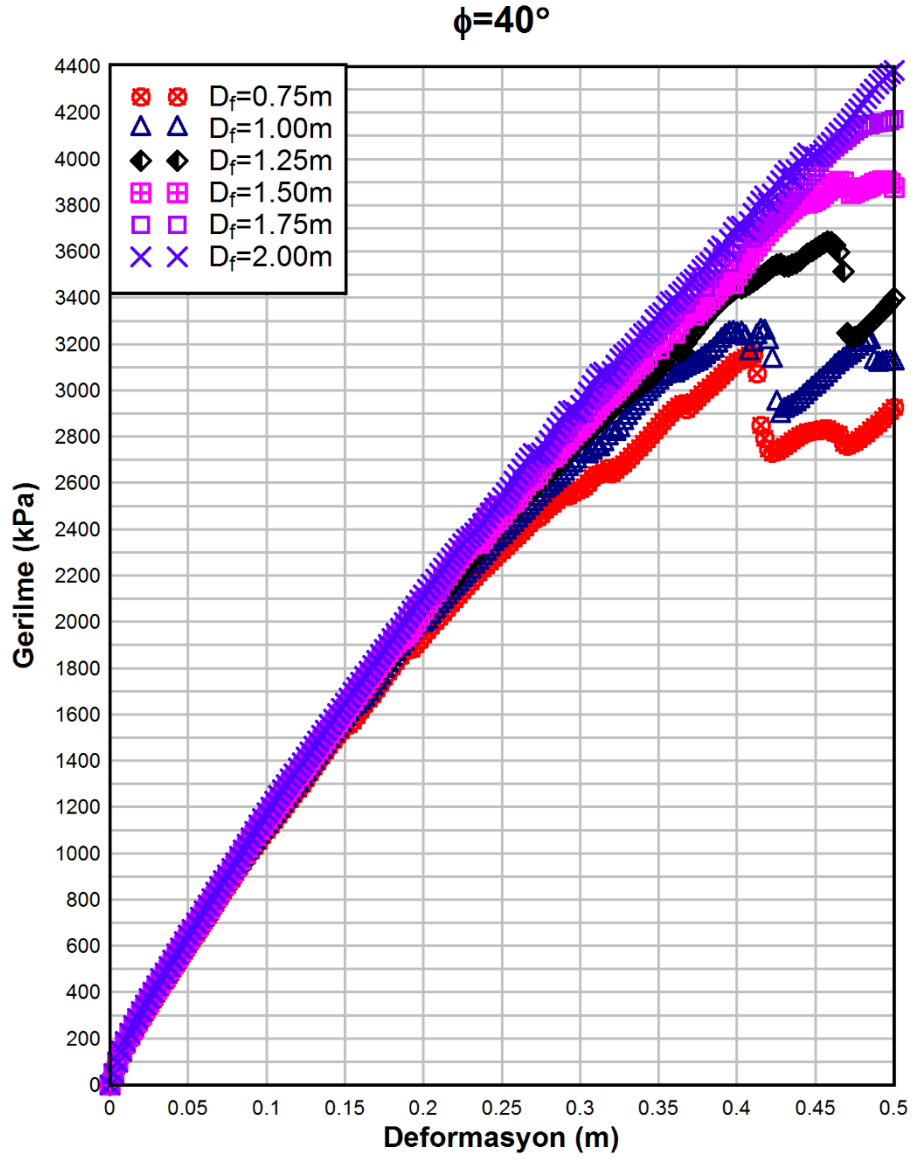


Şekil A.9. B=3 m ve farklı içsel sürtünme açıları için gerilme-deformasyon eğrileri.

EK AÇIKLAMALAR B
TEMEL DERİNLİĞİNİN TAŞIMA GÜCÜNE ETKİSİ SİGMA/W ÇIKTILARI

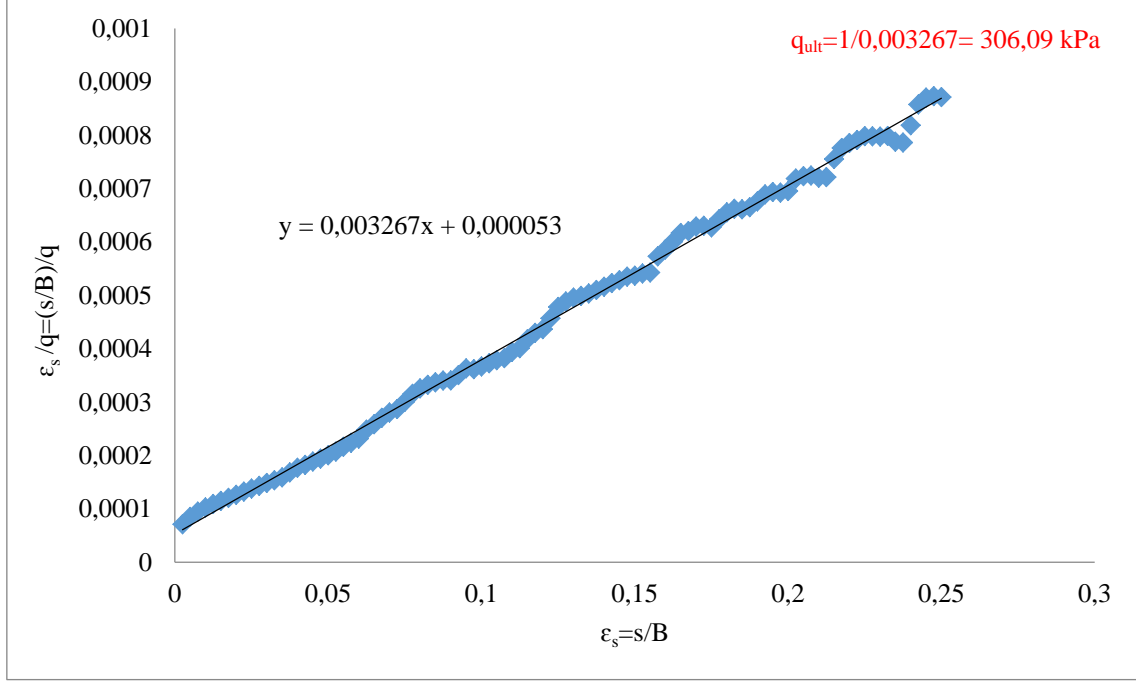


Şekil B.1. $B=2\text{ m}$ ve $\phi=30^\circ$ için farklı temel derinliklerine ait gerilme deformasyon eğrileri.

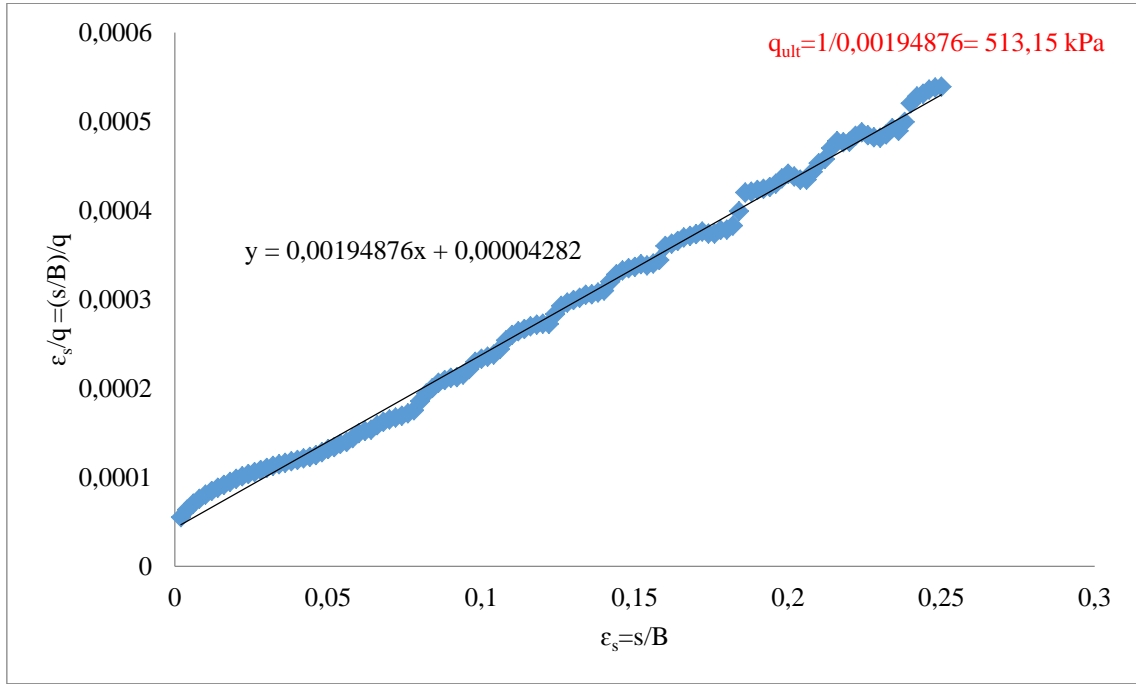


Şekil B.2. B=2 m ve $\phi=40^\circ$ için farklı temel derinliklerine ait gerilme deformasyon eğrileri.

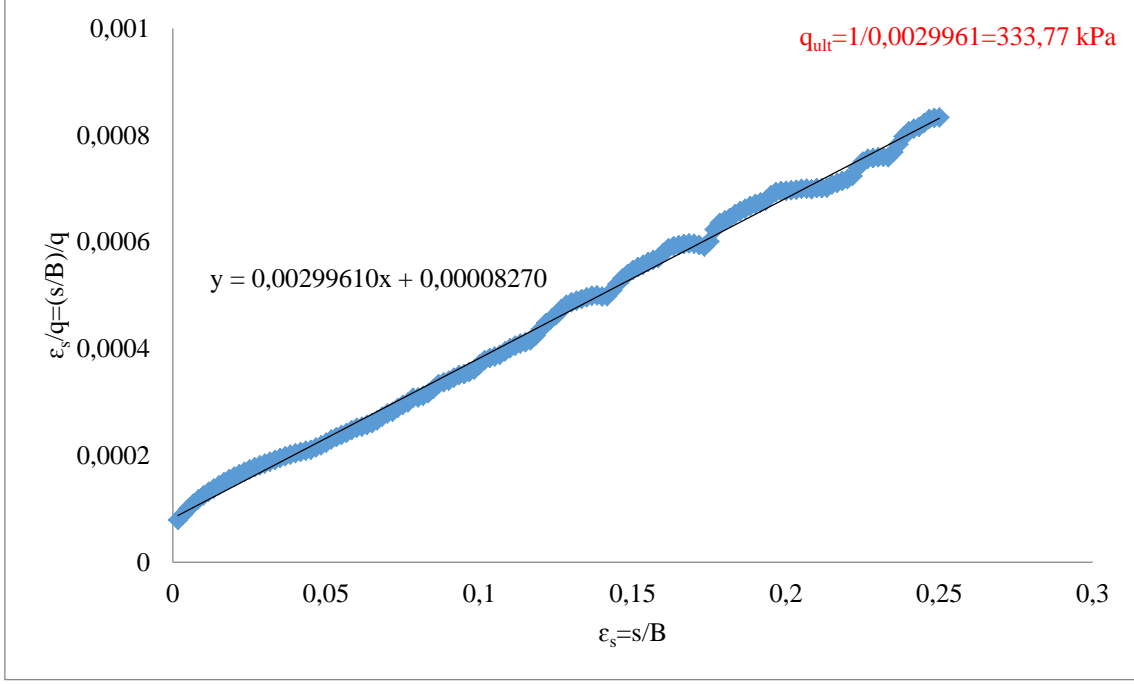
EK AÇIKLAMALAR C
SAYISAL YÖNTEMLER İLE TAŞIMA GÜCÜ HESAPLAMALARI



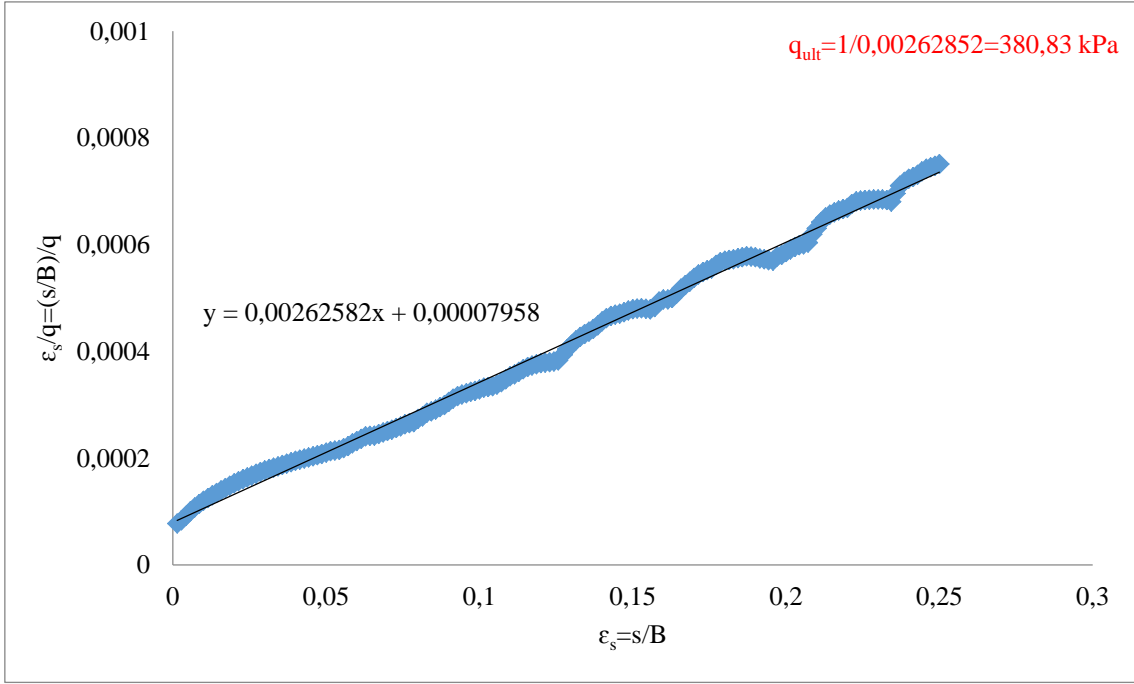
Şekil C.1. $B=1$ m ve $\phi=32^\circ$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



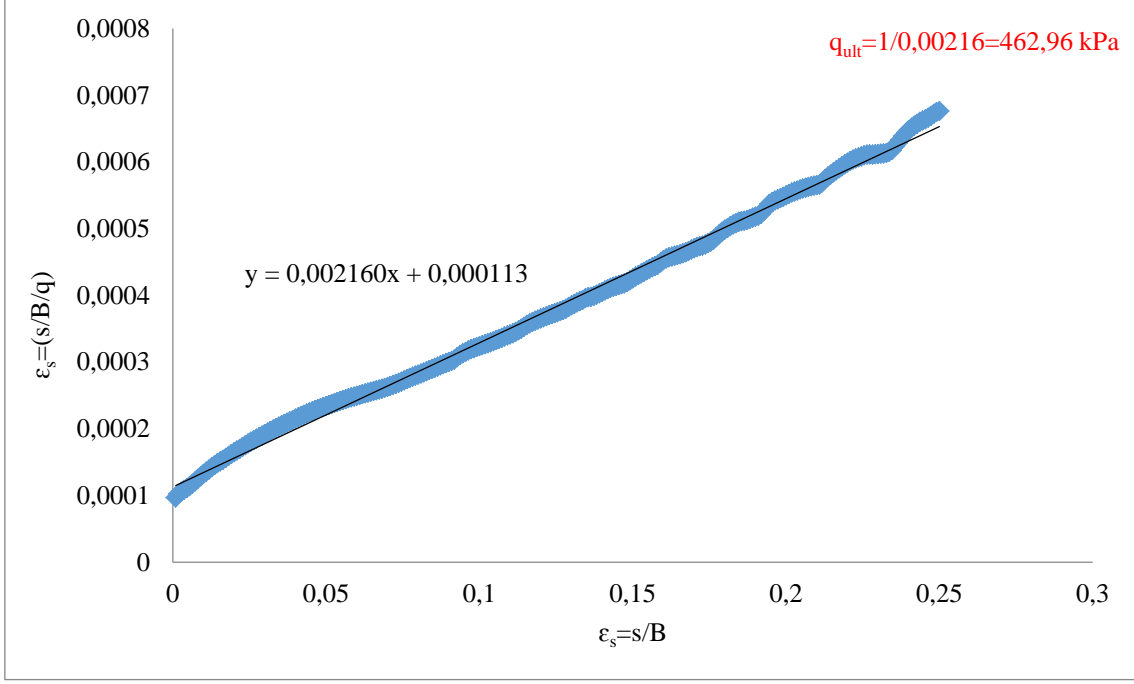
Şekil C.2. $B=1,25$ m ve $\phi=34^\circ$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



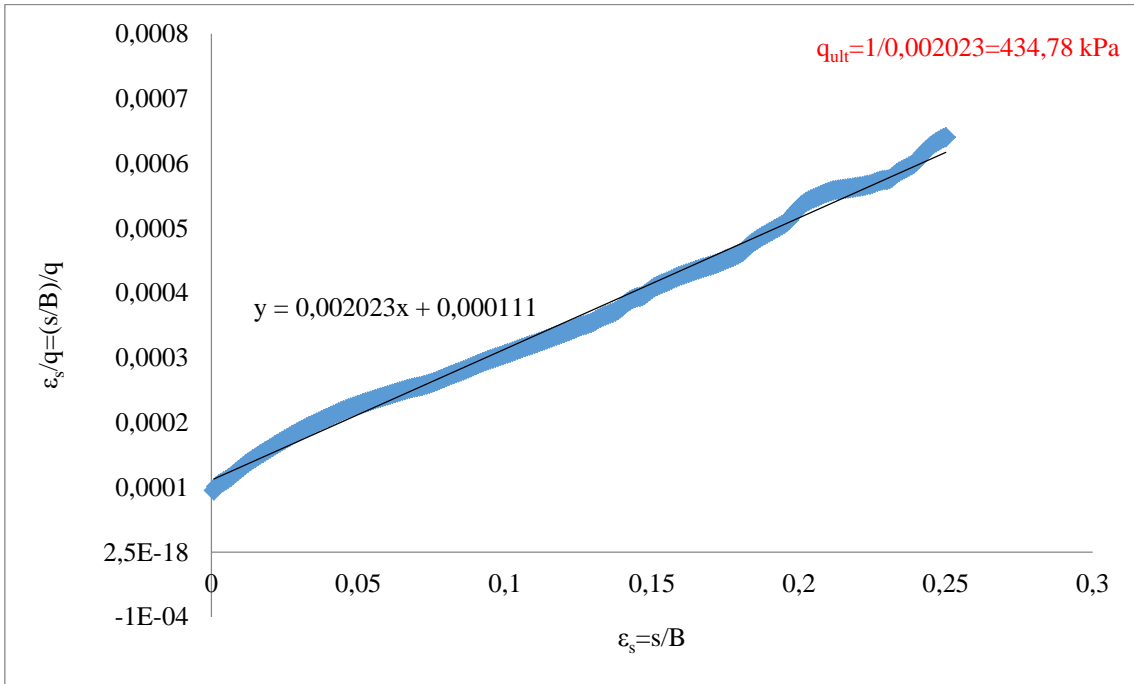
Şekil C.3. $B=1,5$ m ve $\phi=30^\circ$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



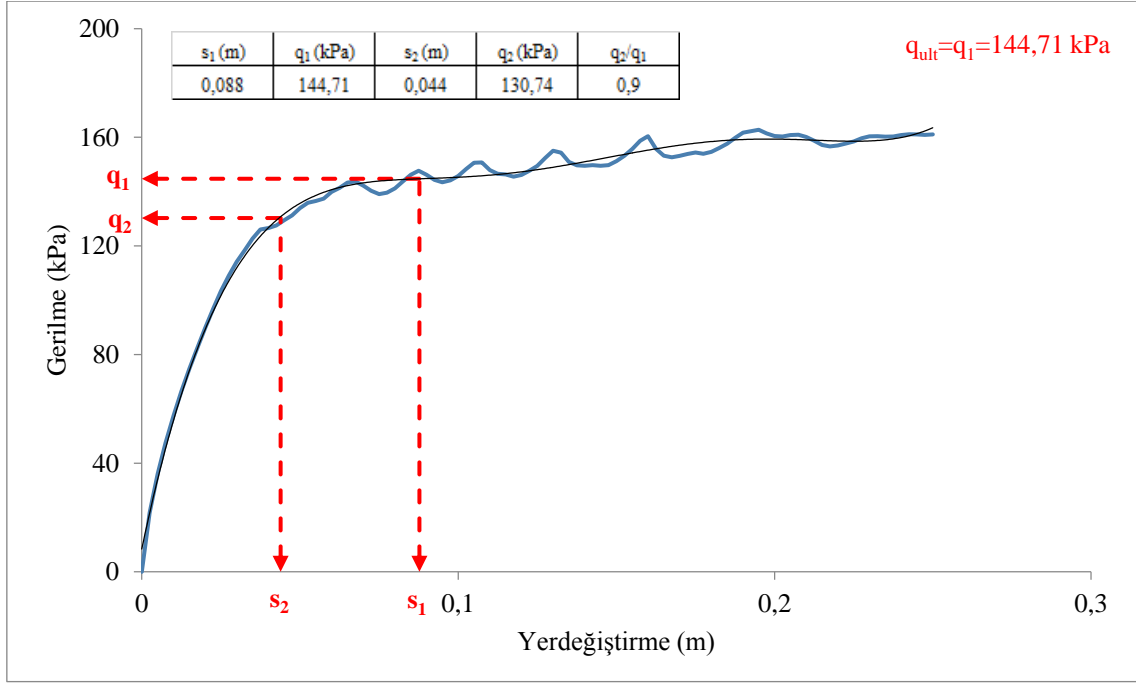
Şekil C.4. $B=1,75$ m ve $\phi=30^\circ$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



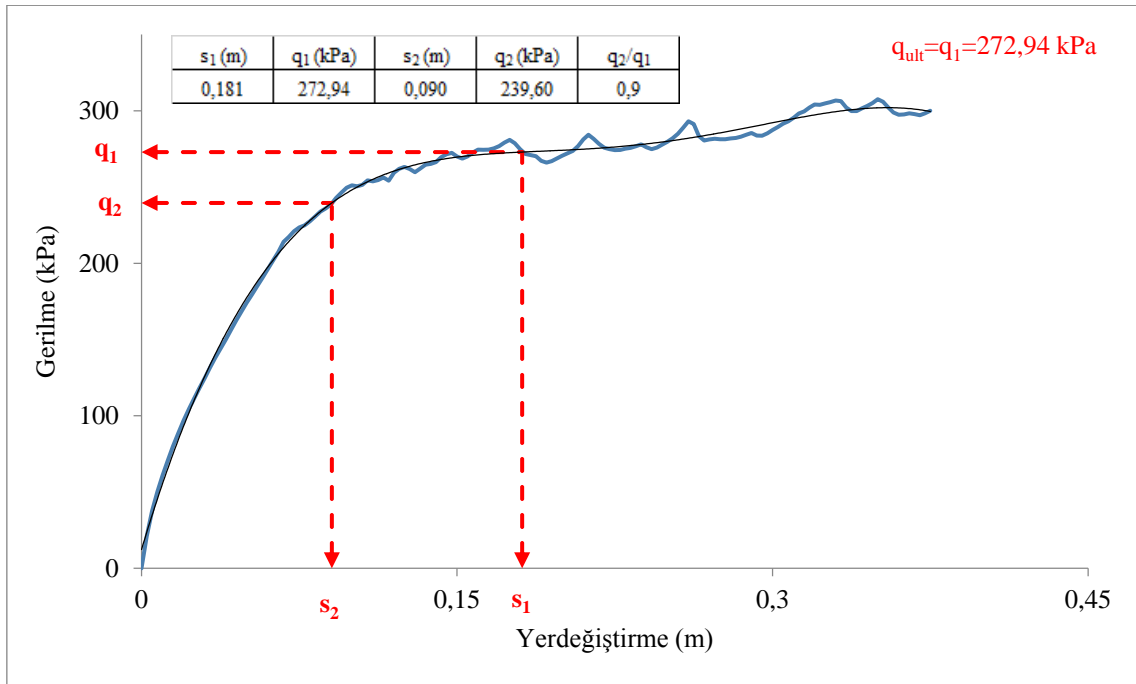
Şekil C.5. $B=2,75 \text{ m}$ ve $\phi=28^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



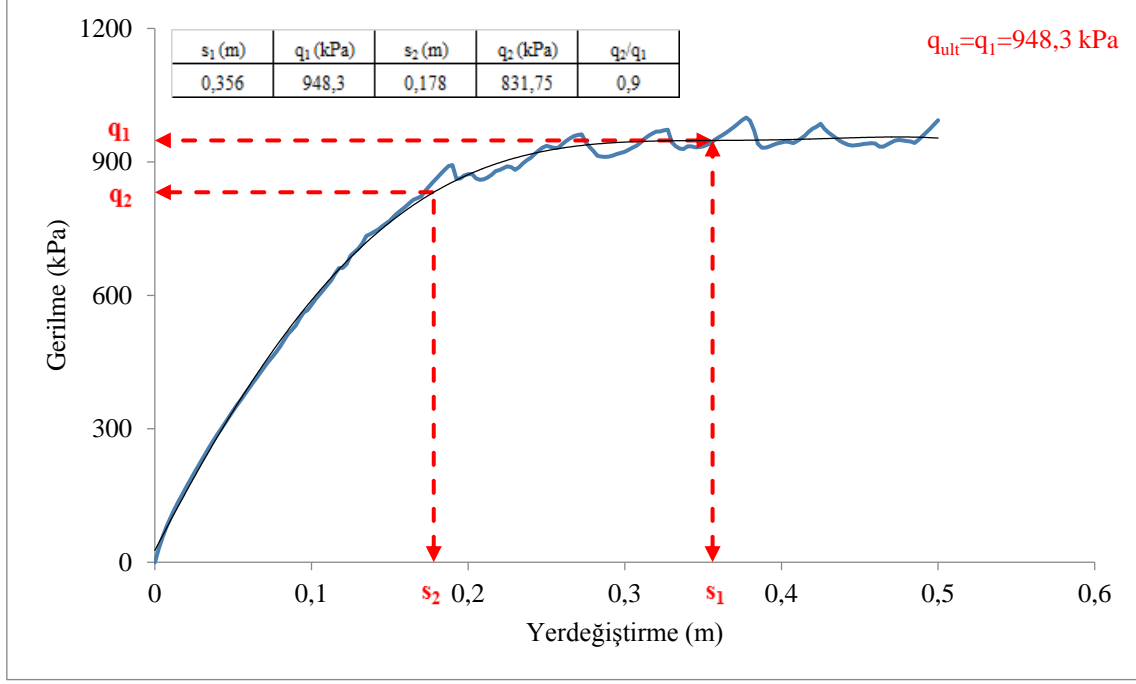
Şekil C.6. $B=3 \text{ m}$ ve $\phi=28^0$ için Chin dönüştürülmüş eksenler yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



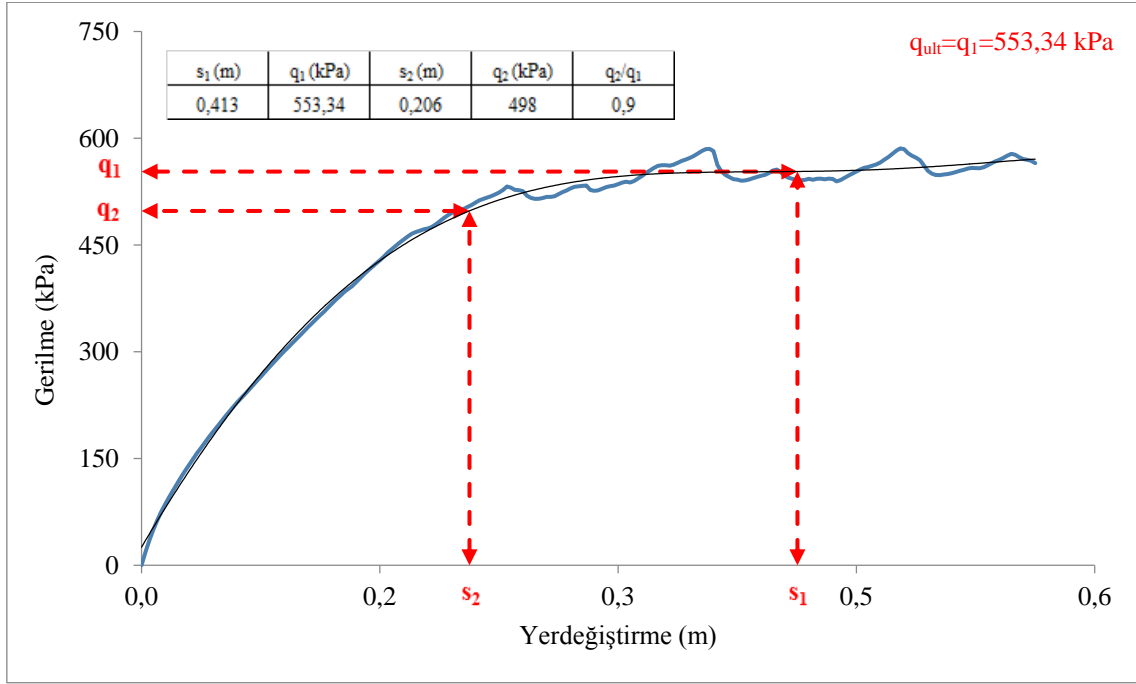
Şekil C.7. $B=1$ m ve $\phi=28^\circ$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



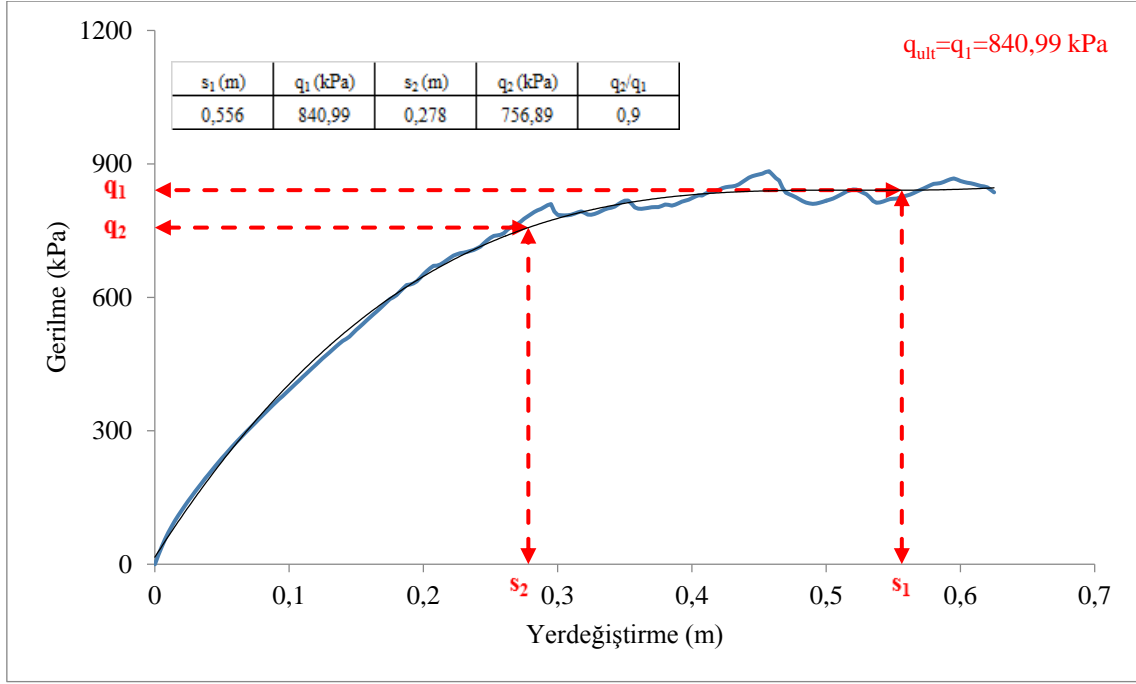
Şekil C.8. $B=1,5$ m ve $\phi=30^\circ$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



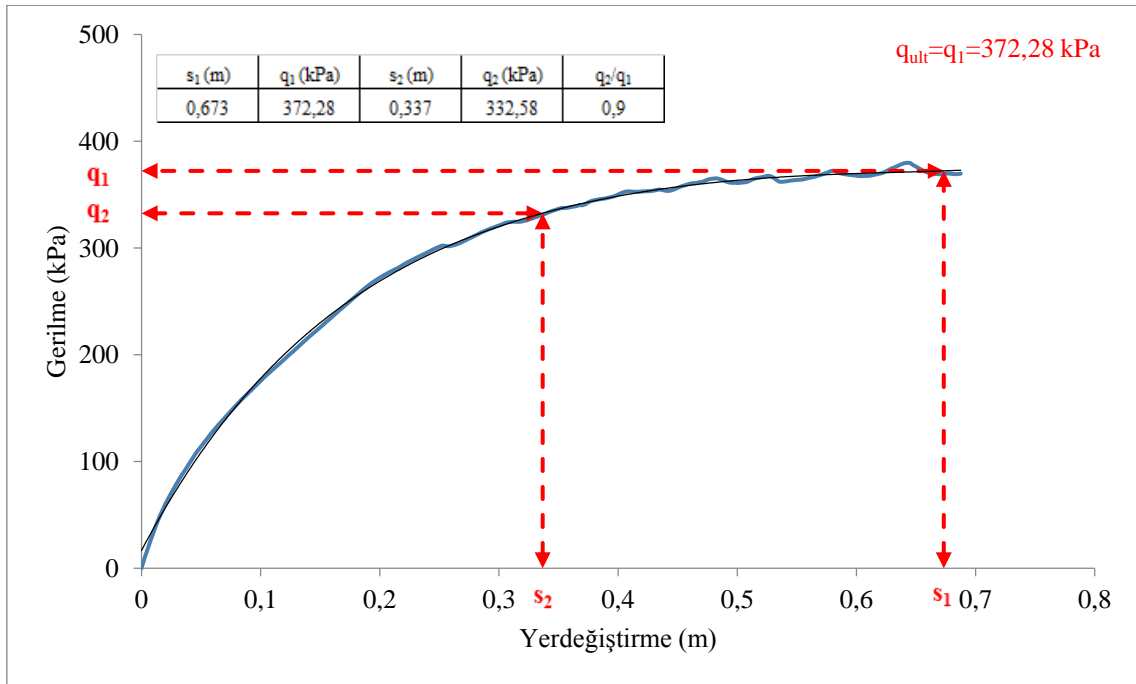
Şekil C.9. $B=2$ m ve $\phi=36^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



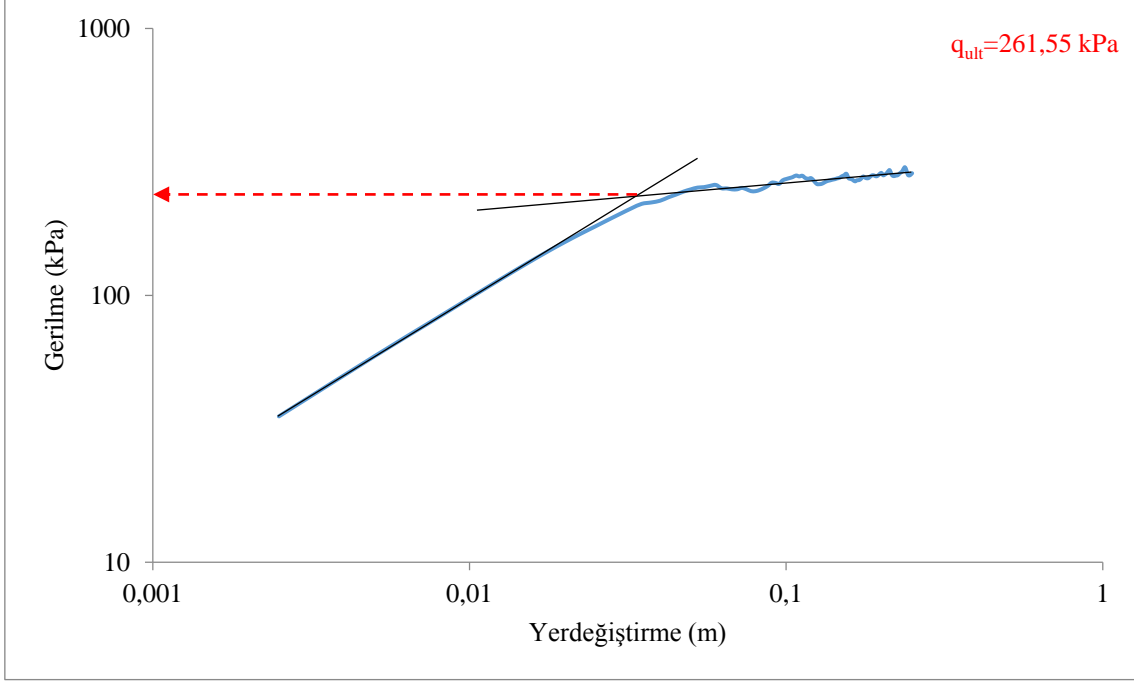
Şekil C.10. $B=2,25$ m ve $\phi=32^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



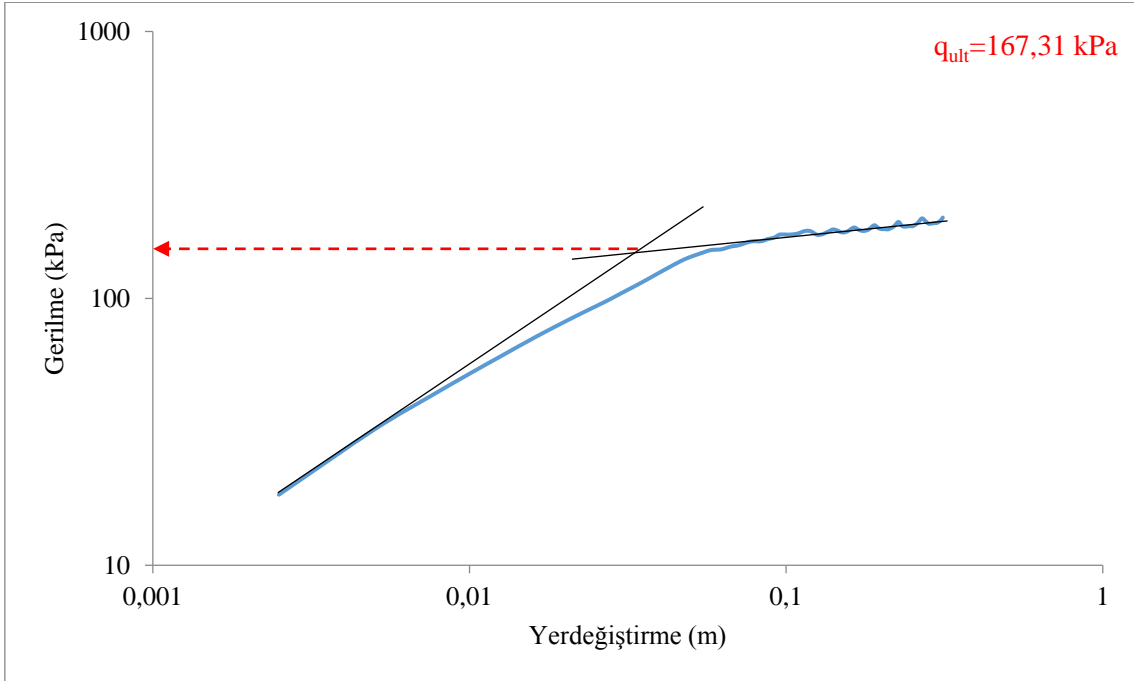
Şekil C.11. $B=2,5$ m ve $\phi=34^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



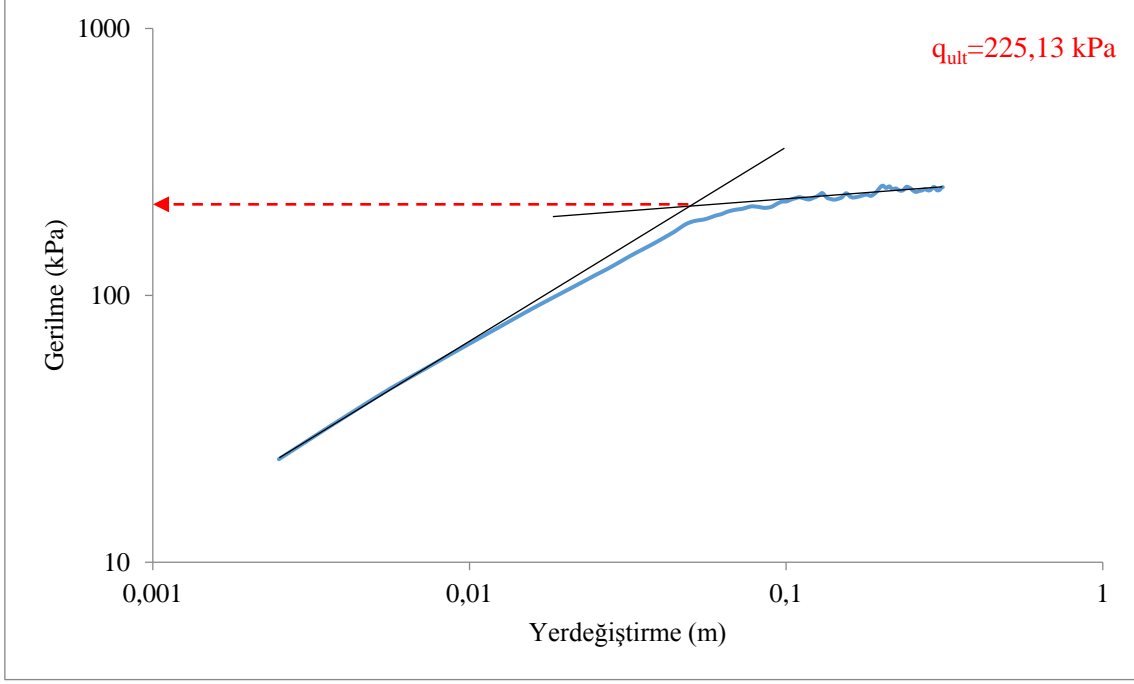
Şekil C.12. $B=2,75$ m ve $\phi=28^0$ için Brinch Hansen yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



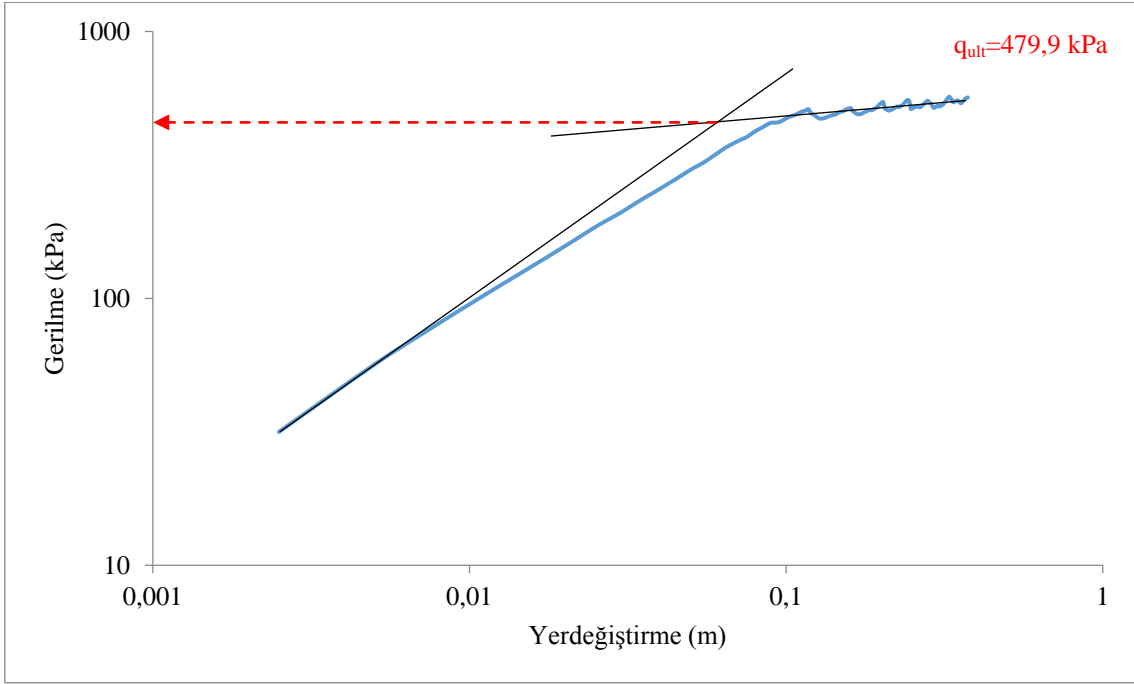
Şekil C.13. B=1 m ve $\phi=32^{\circ}$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



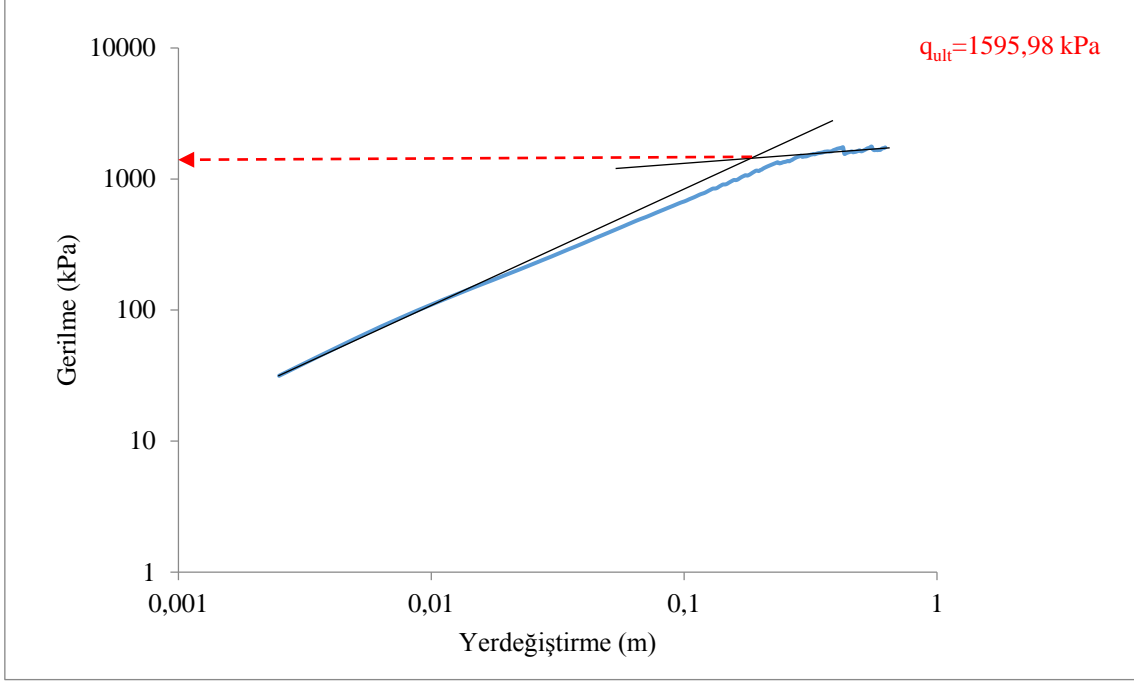
Şekil C.14. B=1,25 m ve $\phi=28^{\circ}$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



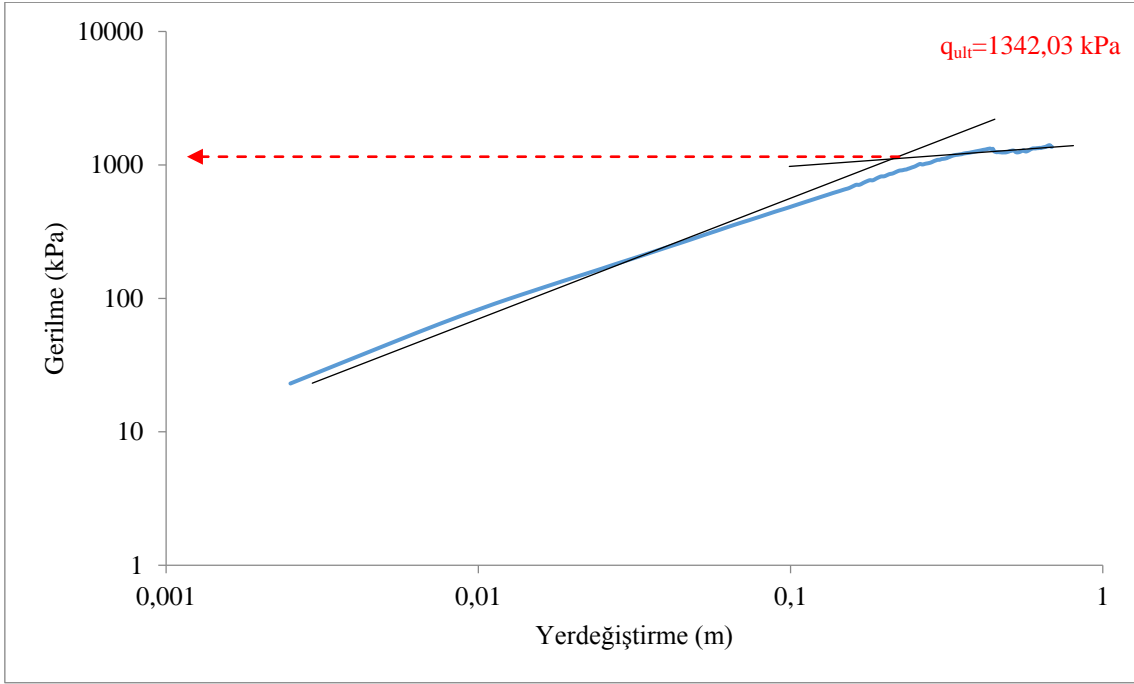
Şekil C.15. B=1,25 m ve $\phi=30^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



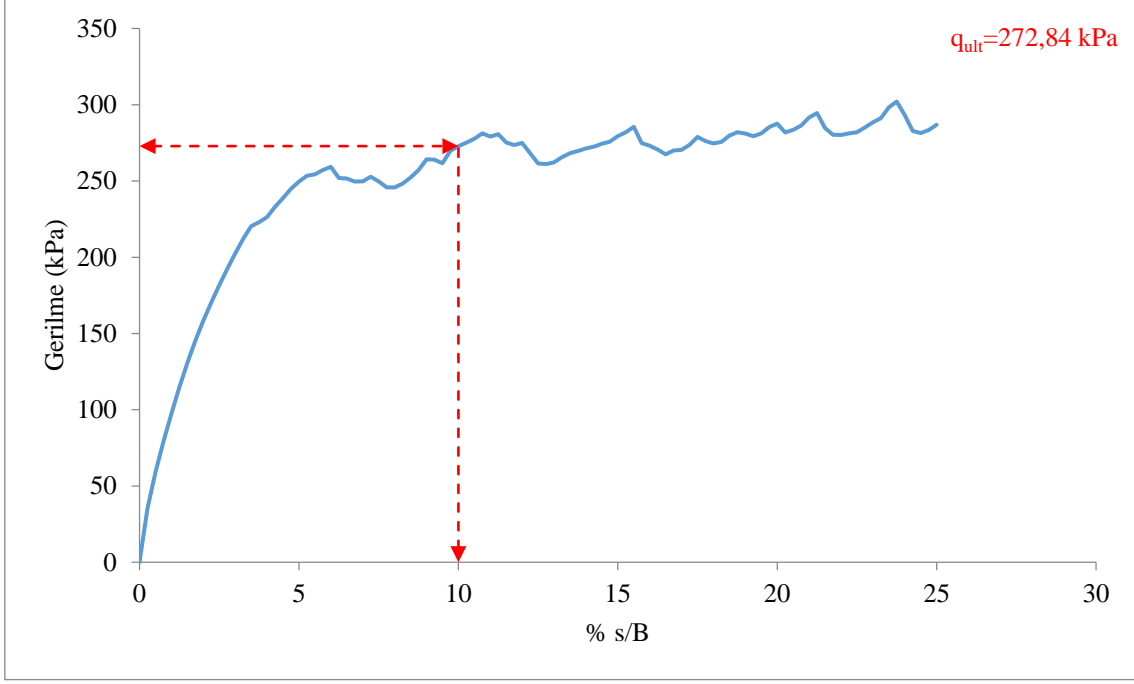
Şekil C.16. B=1,5 m ve $\phi=34^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



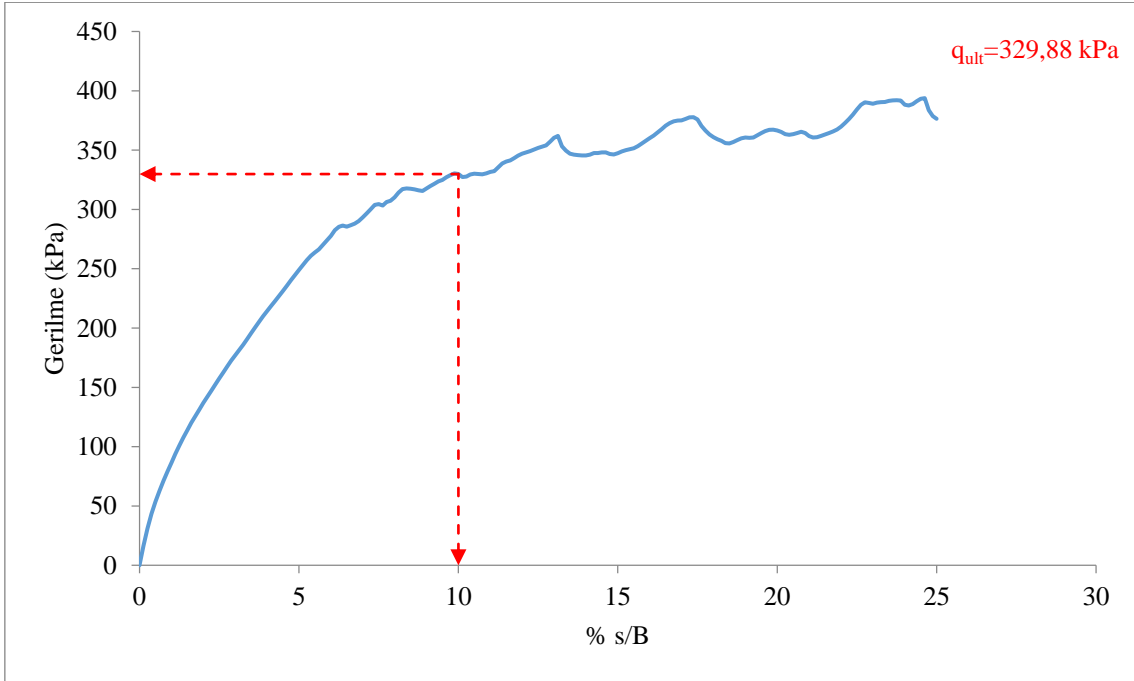
Şekil C.17. B=2,5 m ve $\phi=38^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



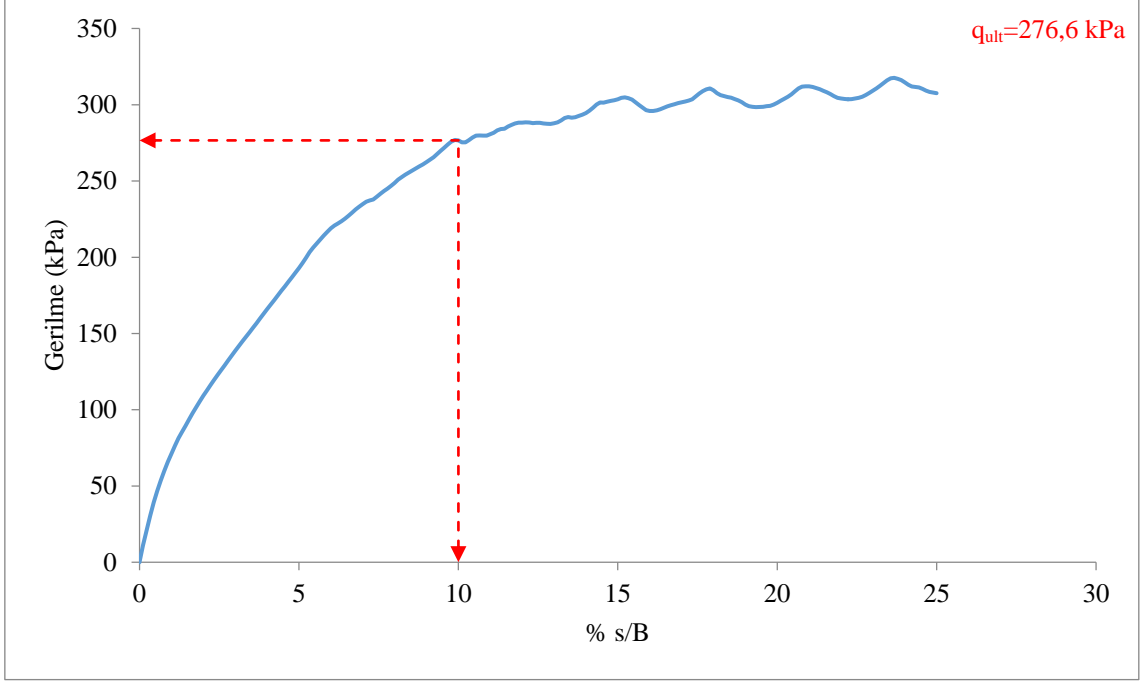
Şekil C.18. B=2,75 m ve $\phi=36^0$ için De Beer yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



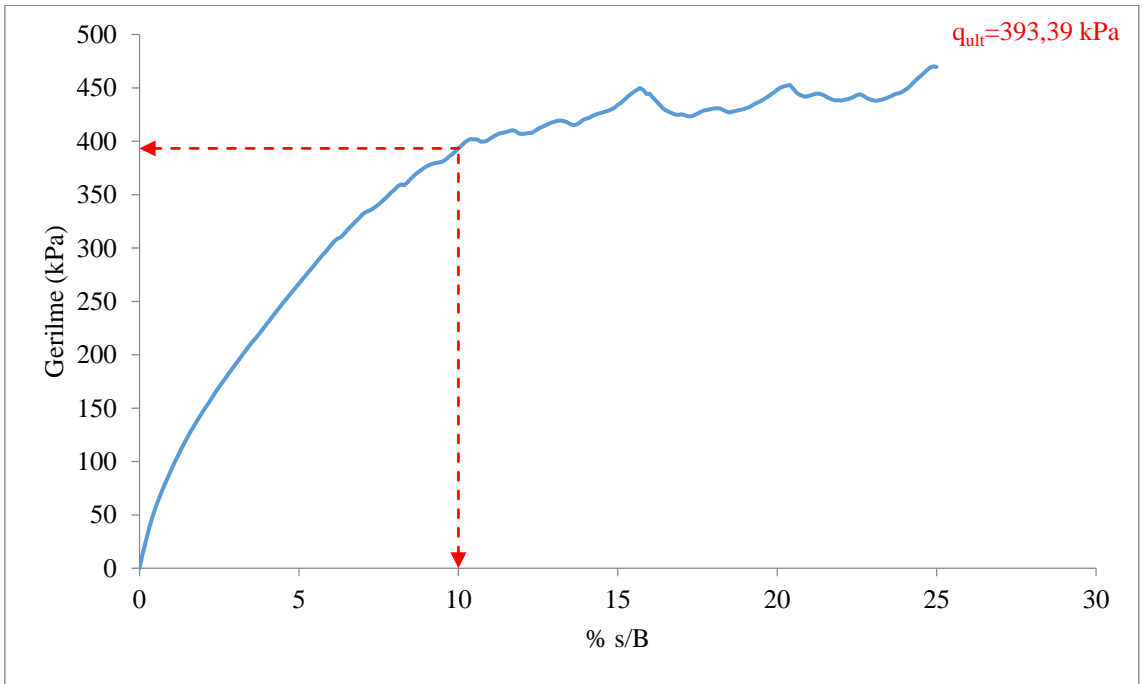
Şekil C.19. $B=1 \text{ m}$ ve $\phi=32^\circ$ için $s/B=\%10$ yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



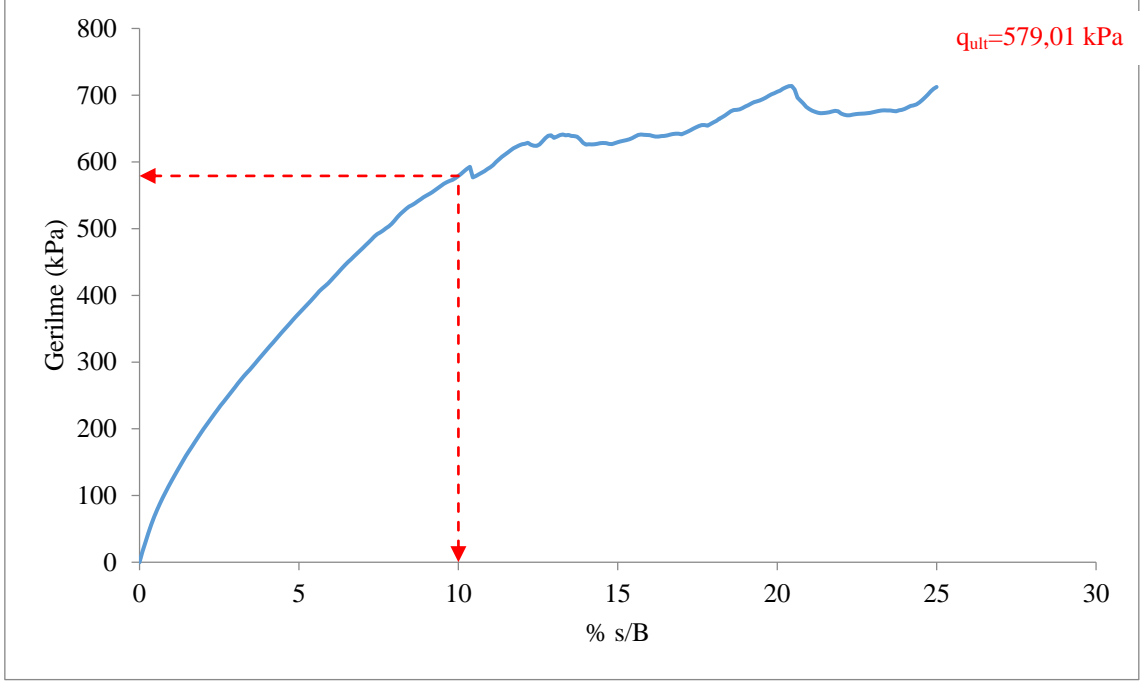
Şekil C.20. $B=2 \text{ m}$ ve $\phi=30^\circ$ için $s/B=\%10$ yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



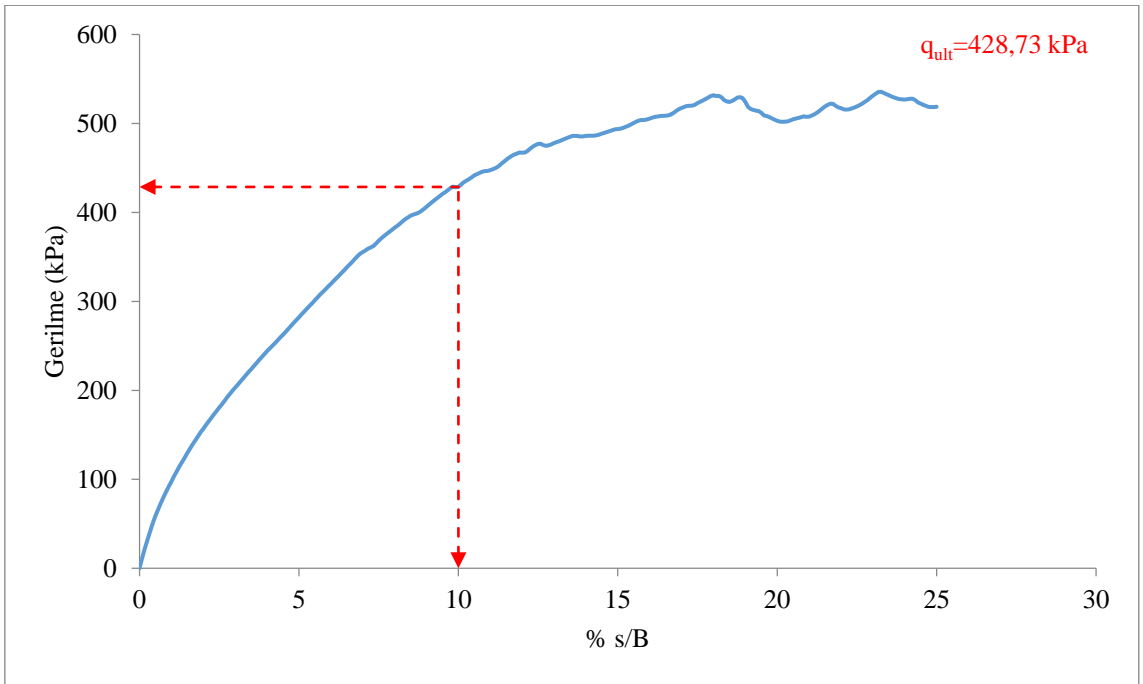
Şekil C.21. $B=2,25 \text{ m}$ ve $\phi=28^0$ için $s/B=\%10$ yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



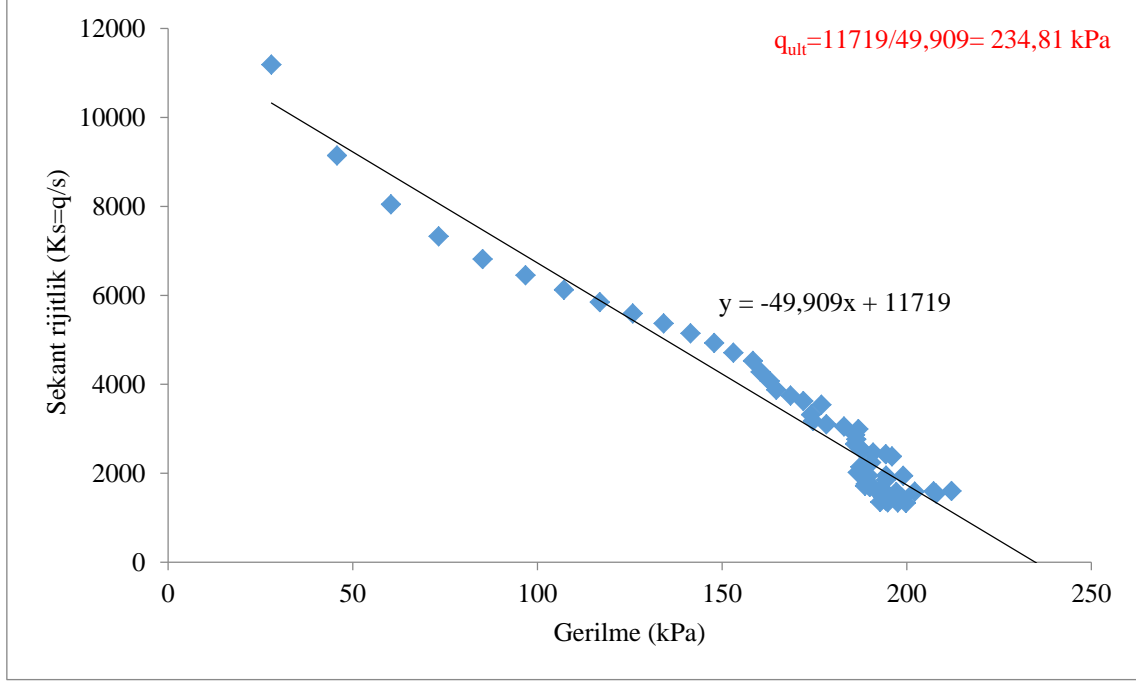
Şekil C.22. $B=2,5 \text{ m}$ ve $\phi=30^0$ için $s/B=\%10$ yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



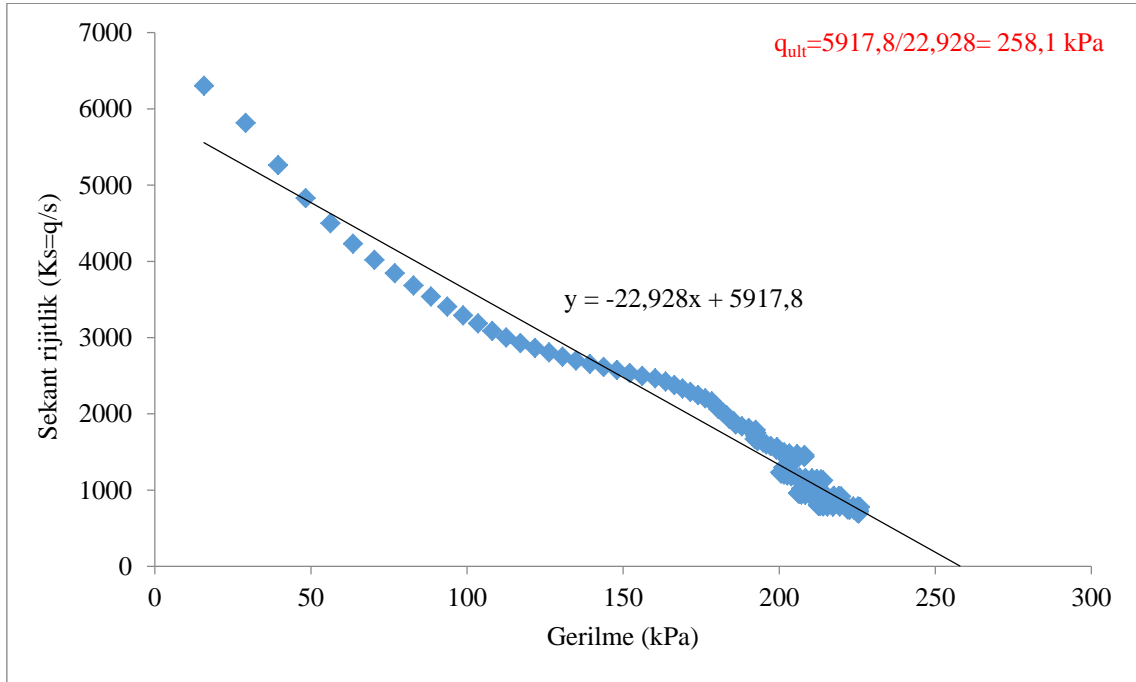
Şekil C.23. $B=2,75 \text{ m}$ ve $\phi=32^0$ için $s/B=\%10$ yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



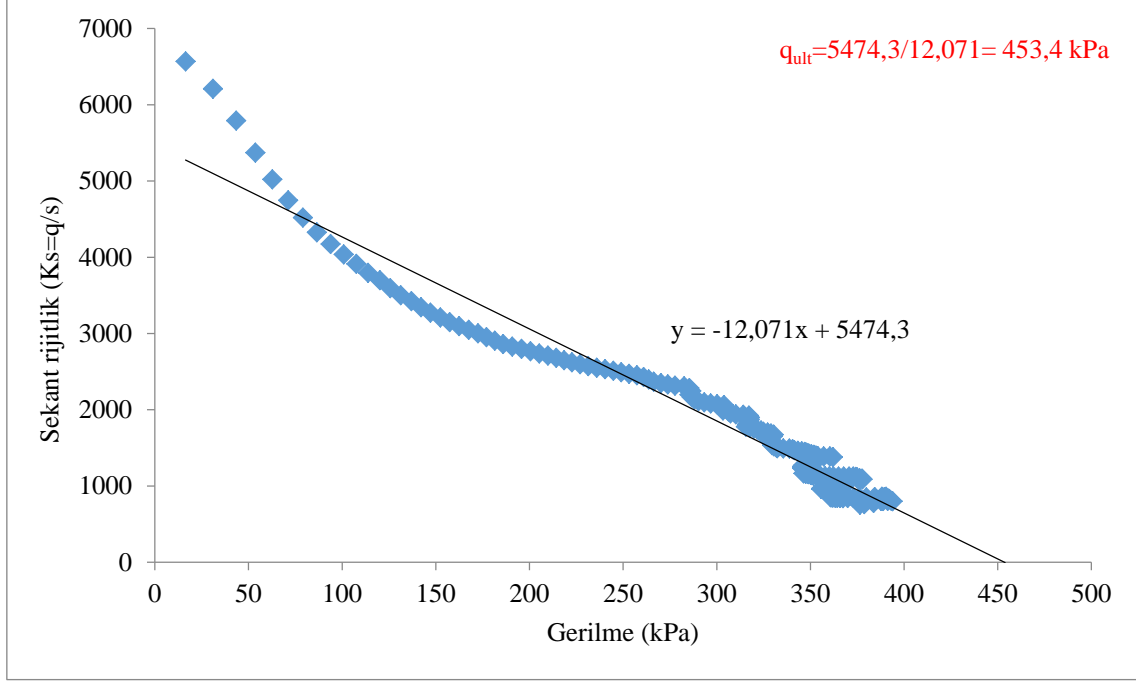
Şekil C.24. $B=3 \text{ m}$ ve $\phi=30^0$ için $s/B=\%10$ yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



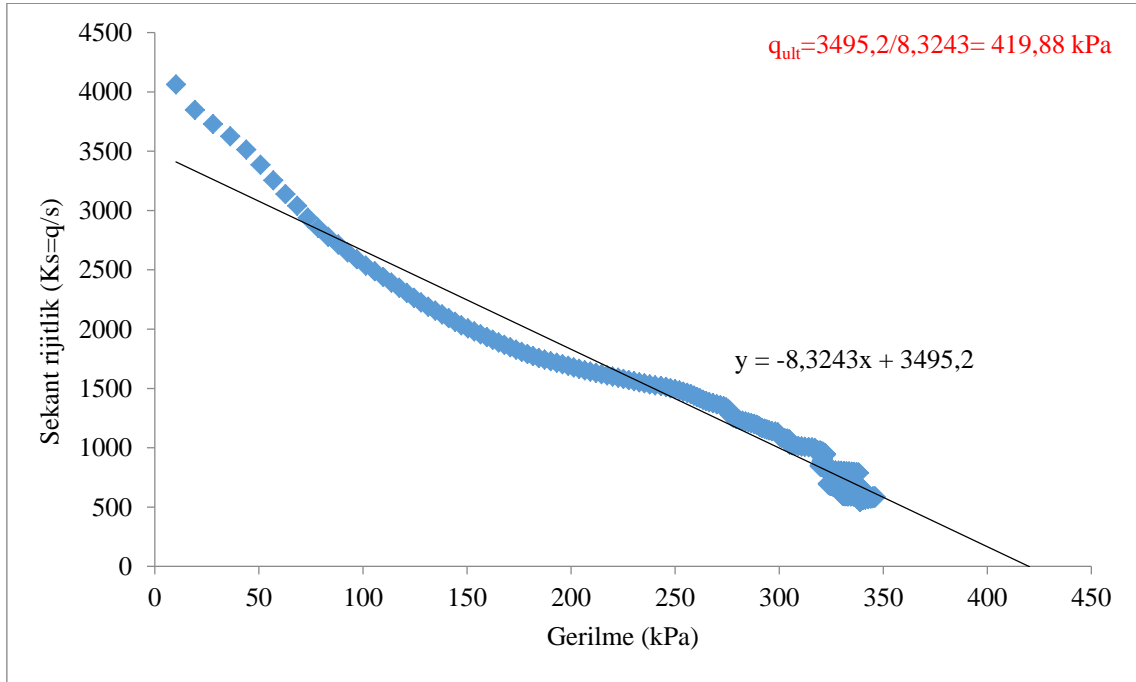
Şekil C.25. B=1 m ve $\phi=30^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



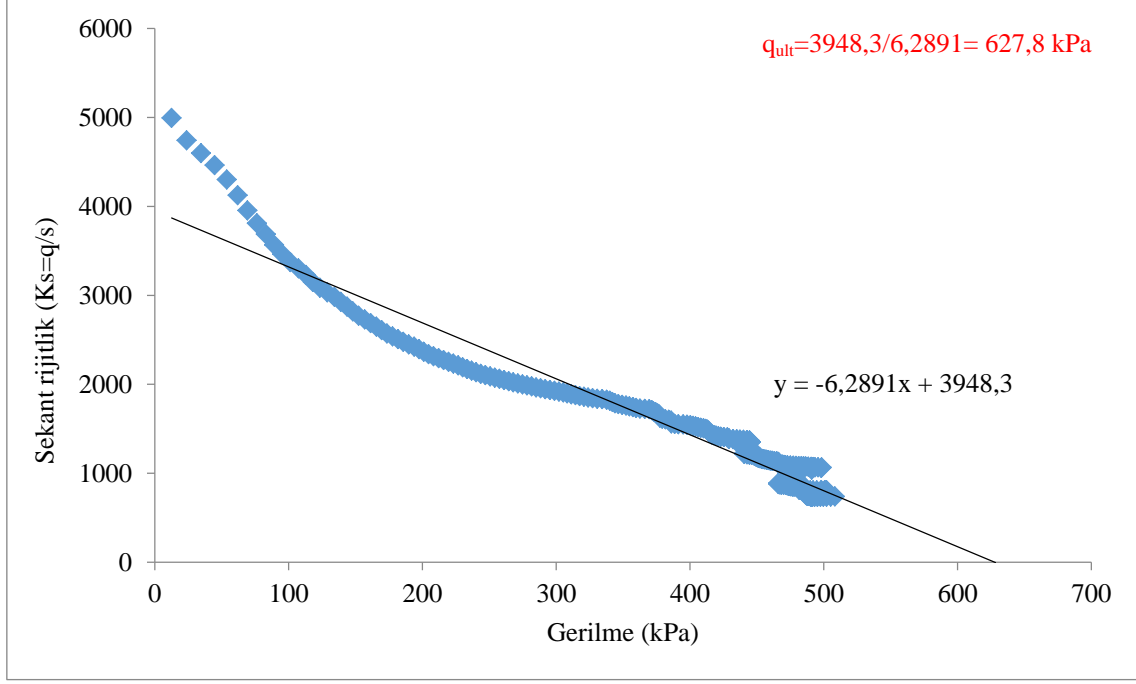
Şekil C.26. B=1,5 m ve $\phi=28^0$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



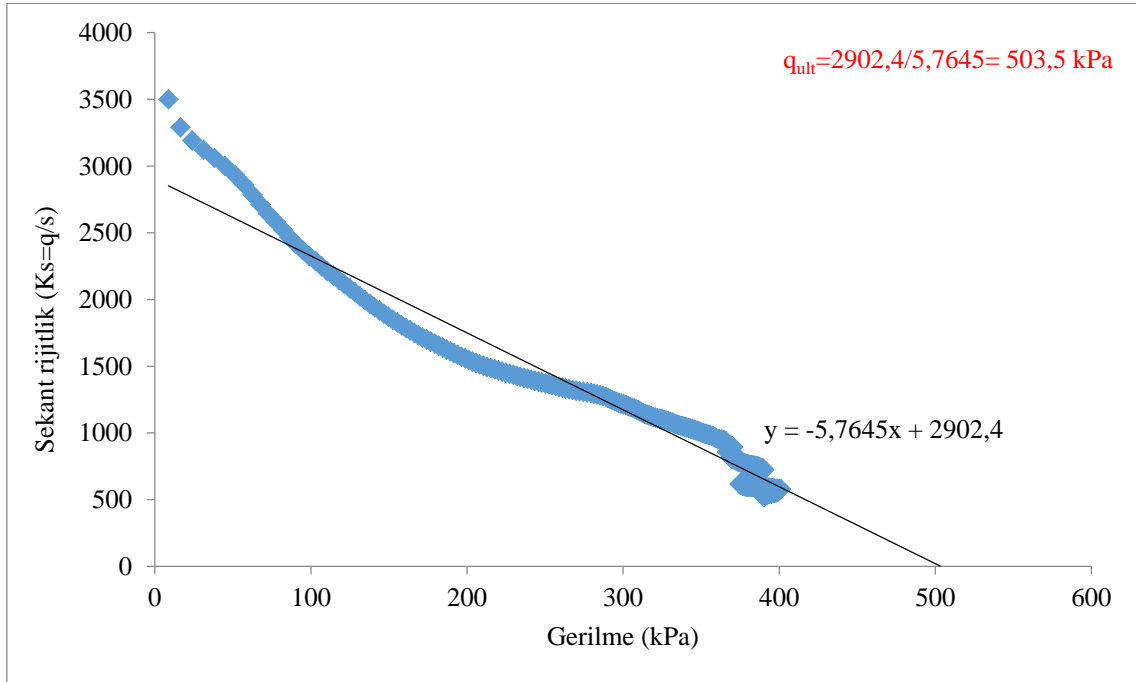
Şekil C.27. $B=2$ m ve $\phi=30^\circ$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



Şekil C.28. $B=2,5$ m ve $\phi=28^\circ$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



Şekil C.29. $B=2,75$ m ve $\phi=30^\circ$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.



Şekil C.30. $B=3$ m ve $\phi=28^\circ$ için Decourt sıfır rijitlik yöntemi ile taşıma gücünün hesaplanması.

ÖZGEÇMİŞ

Emrah DAĞLI, 1985 yılında Ankara'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2010 yılında Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Lisans mezuniyetinden kısa bir süre sonra Afganistan'da saha mühendisi olarak görev yaptı. 2011 yılından bu yana Bülent Ecevit Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : İncivez Mahallesi, Üniversite Caddesi, Çaybaşı Sokak, Serdar Yılmaz Sitesi,
C Blok, 14/36, Merkez/ZONGULDAK

Tel : (507) 288 86 46

E-posta : emrahdagli@beun.edu.tr