

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞEVLİ KOHEZYONLU ZEMİNLERDE
ŞERİT TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Merve KAYIKÇIOĞLU

EKİM 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞEVLİ KOHEZYONLU ZEMİNLERDE
ŞERİT TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ

Merve KAYIKÇIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05/09/2024

Tezin Savunma Tarihi : 09/10/2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Şevli Kohezyonlu Zeminlerde Şerit Temellerin Taşıma Gücü” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

İlgili tez çalışmasında, şevli bölgeye yakın şerit temellerin yükseklik (H), şev eğimi (β), şevin krete olan mesafesi (b) ve drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerlerinin durumları için kohezyonlu zeminlerdeki taşıma gücü değişimi irdelenmiştir. Plaxis 2D programı aracılığıyla pek çok modellemeler yapıp, analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile nonlinear regresyon analizi yapılarak bağıntı elde edilmiştir.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyip her türlü yardımı sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında yanımda olup, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Emine YILMAZ, babam Fethi YILMAZ’a, tez çalışmam boyunca bana her türlü desteği veren sevgili eşime ve tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Merve KAYIKÇIOĞLU

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Şevli Kohezyonlu Zeminlerde Şerit Temellerin Taşıma Gücü” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA’nın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 09/10/2024

Merve KAYIKÇIOĞLU

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü	2
1.3. Şevli Bölgede Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü.....	5
1.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ve Plaxis 2D.....	14
1.4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi	14
1.4.2. Plaxis 2D.....	15
1.5. SPSS Programı ve Regrasyon Analizi.....	31
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
3.1. N_s Katsayısının Taşıma Gücüne Etkisi	37
3.2. Temelin Şev Kretine Mesafesinin (b) Taşıma Gücüne Etkisi.....	42
3.3. Şev Yüksekliğinin (H) Taşıma Gücüne Etkisi	51
3.4. Geliştirilen Ampirik Bağlıntılar	59
3.5. Sonuçların Karşılaştırılması	60
4. SONUÇLAR.....	63
5. ÖNERİLER.....	64
6. KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ŞEVLİ KOHEZYONLU ZEMİNLERDE ŞERİT TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ

Merve KAYIKÇIOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
2024, 68 Sayfa

Yüzeysel temellerin taşıma gücü hesabı için literatürde birçok araştırma ve teorik çalışma mevcuttur. Terzaghi, Meyerhof, Hansen ve Vesic gibi bilim insanları tarafından geliştirilen teoriler konu hakkındaki çalışmaların temelini oluşturmaktadır. Bu mevcut çalışmalara ek olarak şevli bölgede yer alan zeminler için de literatürde çalışmalar sürdürülmüştür. Şevli bölgede yer alan zeminler için literatürdeki ilk çalışmanın Meyerhof'a ait olduğu bilinmektedir. Meyerhof (1957) 'un çalışmasından hareketle ilgili tez kapsamında şevli kohezyonlu zemin üzerine inşa edilen şerit temellerin taşıma gücü üzerinde analizler yapılmıştır. Analizlerde taşıma gücünü etkileyen temel genişliği (B), temelin şev kret noktasına uzaklığı (b), zeminin drenajsız kayma mukavemeti değeri (c_u), şev açısı (β), şev stabilite katsayısı (N_s) gibi parametrelerin taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis 2D programı ile 588 model oluşturulup analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları, SPSS programına işlenerek nonlineer regresyon analizi ile taşıma gücü katsayısı bağıntısı geliştirilmiştir. Plaxis 2D ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarının Meyerhof (1957), Hansen (1970), Vesic (1973)'in teorik çalışmaları ve geliştirilen ampirik bağıntı ile karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda geliştirilen bağıntı ile taşıma gücü katsayısının (N_{cq}) doğruluk oranı yüksek derecede belirlenebileceği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şev, Şerit temel, Taşıma gücü, Sonlu elemanlar yöntemi

Master Thesis

SUMMARY

BEARING CAPACITY OF STRIP FOUNDATIONS IN SLOPED COHESION SOILS

Merve KAYIKÇIOĞLU

Karadeniz Technical University
Institute of Science and Technology
Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
2024, 68 Pages

Many researches and theoretical studies exist in the literature to calculate the bearing capacity of shallow foundations. Theories developed by scientists such as Terzaghi, Meyerhof, Hansen and Vesic form the basis of studies on the subject. In addition to these existing studies, studies have been continued in the literature for the soils in the sloped region. It is known that the first study in the literature for soils located in the sloped region belongs to Meyerhof. Based on the study of Meyerhof (1957), within the scope of the thesis, analyzes were made on the bearing capacity of strip foundations built on sloped cohesive soil. In the analysis, the effects of parameters such as foundation width (B), distance of the foundation to the slope crest point (b), undrained shear strength (c_u), slope angle (β), slope stability coefficient (N_s) on the bearing capacity coefficient (N_{cq}) were examined. 588 models were created and analyzed with the Plaxis 2D program with the finite element method. The obtained results from analyses were processed into the SPSS program and the bearing capacity coefficient relationship was developed with nonlinear regression analysis. The results of the analysis performed with Plaxis 2D were compared with the theoretical studies of Meyerhof (1957), Hansen (1970), Vesic (1973) and the developed empirical correlation. In the results obtained, it was observed that the bearing capacity coefficient (N_{cq}) could be determined with a high degree of accuracy with the developed correlation.

Key Words: Slope, Bearing capacity, Strip foundation, Finite element method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Şev tepesindeki pürüzlü şerit temelin yakınındaki plastik bölgeler ve kayma yüzeyleri (Meyerhof, 1957)	6
Şekil 2.	Tamamen kohezyonlu şev tepesindeki şerit temel için taşıma gücü faktörleri (Meyerhof, 1957)	7
Şekil 3.	Sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizi yapılan bir madde örneği	14
Şekil 4.	Plaxis 2D giriş	16
Şekil 5.	Project properties penceresi-project sekmesi.....	17
Şekil 6.	Project properties penceresi-model sekmesi.....	17
Şekil 7.	Project properties penceresi-constants sekmesi.....	19
Şekil 8.	Input ekranı sayfa düzeni.....	20
Şekil 9.	Mode tabs.....	21
Şekil 10.	Soil model menü.....	22
Şekil 11.	Structures menüsündeki yapısal elemanlar.....	25
Şekil 12.	Yük menüsü	26
Şekil 13.	Yer değiştirme menüsü	26
Şekil 14.	Plaxis 2D hesap aşamaları	28
Şekil 15.	Mesh menüsü	28
Şekil 16.	Output menüsü.....	30
Şekil 17.	Deformations ve stresses sekmeleri.....	30
Şekil 18.	SPSS programından bir görünüm	33
Şekil 19.	Nümerik modellerde kullanılan değişkenler.....	34
Şekil 20.	$N_s=1$, $c_u=20$, $b=2$ ve $\beta=15$ durumunda analiz öncesi görünüm	36
Şekil 21.	$N_s=1$, $c_u=20$, $b=2$ ve $\beta=15$ durumunda toplam yer değiştirme	36
Şekil 22.	$N_s=1$, $c_u=20$, $b=2$ ve $\beta=15$ durumunda deformasyon modeli	36
Şekil 23.	N_s değerlerine göre $c_u=20$ kPa iken N_{cq} değişimi	38
Şekil 24.	N_s değerlerine göre $c_u=40$ kPa iken N_{cq} değişimi	39
Şekil 25.	N_s değerlerine göre $c_u=80$ kPa iken N_{cq} değişimi	41
Şekil 26.	N_s değerlerine göre $c_u=150$ kPa iken N_{cq} değişimi	42
Şekil 27.	$N_s=1$ ve $c_u=20$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi	43
Şekil 28.	$N_s=2$ ve $c_u=20$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi	44
Şekil 29.	$N_s=4$ ve $c_u=20$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi	44

Şekil 30.	$N_s=1$ ve $c_u=40$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	45
Şekil 31.	$N_s=2$ ve $c_u=40$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	46
Şekil 32.	$N_s=4$ ve $c_u=40$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	46
Şekil 33.	$N_s=1$ ve $c_u=80$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişim	47
Şekil 34.	$N_s=2$ ve $c_u=80$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	48
Şekil 35.	$N_s=4$ ve $c_u=80$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	48
Şekil 36.	$N_s=1$ ve $c_u=150$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	49
Şekil 37.	$N_s=2$ ve $c_u=150$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	50
Şekil 38.	$N_s=4$ ve $c_u=150$ kPa iken b/B' 'ye göre N_{cq} değişimi	50
Şekil 39.	$N_s=1$ ve $c_u=20$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	51
Şekil 40.	$N_s=2$ ve $c_u=20$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	52
Şekil 41.	$N_s=4$ ve $c_u=20$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	53
Şekil 42.	$N_s=1$ ve $c_u=40$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	53
Şekil 43.	$N_s=2$ ve $c_u=40$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	54
Şekil 44.	$N_s=4$ ve $c_u=40$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	55
Şekil 45.	$N_s=1$ ve $c_u=80$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	55
Şekil 46.	$N_s=2$ ve $c_u=80$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	56
Şekil 47.	$N_s=4$ ve $c_u=80$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	57
Şekil 48.	$N_s=1$ ve $c_u=150$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	57
Şekil 49.	$N_s=2$ ve $c_u=150$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi.....	58
Şekil 50.	$N_s=4$ ve $c_u=150$ kPa iken b/H' 'ye göre N_{cq} değişimi	59
Şekil 51.	$N_s=2$ değerine göre Meyerhof (1957), Hansen (1970), Vesic (1973), sonlu elemanlar analiz sonuçları ve ampirik bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 52.	$N_s=4$ değerine göre Meyerhof (1957), Hansen (1970), Vesic (1973), sonlu elemanlar analiz sonuçları ve ampirik bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması.....	61

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Terzaghi taşıma gücü temel şekil katsayıları (Sivrikaya, 2021).....	4
Tablo 2. Meyerhof taşıma gücü katsayıları (Sivrikaya, 2021).....	5
Tablo 3. Hansen taşıma gücü denklemi katsayıları (Sivrikaya, 2021).....	9
Tablo 4. Vesic taşıma gücü denklemi katsayıları (Sivrikaya, 2021)	10
Tablo 5. Zeminin drenajsız kayma mukavemeti ve elastisite modülü.....	35



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

β	: Şev eğimi (°)
b	: Temelin şev kretine olan uzaklığı (m)
B	: Temelin şev genişliği (m)
b/B	: Temelin şev kretine olan uzaklığının temel genişliğine oranı (birimsiz)
b/H	: Temelin şev kretine olan uzaklığının şev yüksekliğine oranı (birimsiz)
b_c, b_γ, b_q	: Taban eğim katsayıları (birimsiz)
c	: Zeminin kohezyon değeri (kPa)
c_u	: Zeminin drenajsız kayma mukavemeti değeri (kPa)
d	: Temel kalınlığı (m)
d_c, d_γ, d_q	: Temel derinlik katsayıları (birimsiz)
D_f	: Temel derinliği (m)
E	: Young modülü (kPa)
E_u	: Elastisite modülü (kPa)
EA	: Eksenel rijitlik (kN/m)
EI	: Eğilme rijitliği (kNm ² /m)
ϕ	: Zeminin içsel sürtünme açısı (°)
ϕ_u	: Drenajsız zeminin içsel sürtünme açısı (°)
FEM	: Finite element method (Sonlu elemanlar metodu)
γ	: Birim hacim ağırlık (kN/m ³)
g_c, g_γ, g_q	: Zemin eğim katsayıları (birimsiz)
H	: Şev yüksekliği (m)
i_c, i_γ, i_q	: Yük eğim katsayıları (birimsiz)
N_c, N_q, N_γ	: Taşıma gücü katsayıları (birimsiz)
$N_{cq}, N_{\gamma q}$	: Şevli durumdaki zeminin taşıma gücü katsayısı (birimsiz)
N_s	: Şev stabilite katsayısı (birimsiz)
ν	: Poisson oranı (birimsiz)
s_c, s_γ, s_q	: Temel şekil katsayıları (birimsiz)
q_u	: Nihai taşıma gücü (kPa)
w	: Temel birim ağırlığı (kN/m/m)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yapının ağırlığının alt bölümünde yer alan, üst yapıdan gelen yükleri zemin tabakasına ileten yapı elemanı temel olarak adlandırılır (Das, 1999). Bir yapının dayanımının ve güvenli oluşunun belirlenmesinde ilk adım temel tasarımıdır. Bu nedenle yükler altındaki bir temelin taşıma gücünün hesap edilmesi geoteknik mühendisleri tarafından oldukça önem arz eden bir konudur (Keskin & Laman, 2013). Yüzeysel temellerin geoteknik tasarımında dikkat edilmesi gereken iki husus; izin verilen taşıma kapasitesi değerinde oluşabilecek oturmalar izin verilen sınır değerini aşmaması ve nihai kayma gerilmesine karşı güvenilirliği sağlamasıdır (Akçay & Sivrikaya, 2023). Bir temelin en uygun biçimde tasarlanması için ortam koşullarının uygun ve doğru bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Temel, tüm olumsuz koşul ve değişimlerde tasarım fonksiyonunu yerine getirecek vaziyette kalmalıdır (Çinicioğlu, 2005).

Bir temelin tasarım aşamasında zeminin birim hacim ağırlığı, su miktarı, boşluk oranı gibi fiziksel faktörler oldukça önemlidir. Bunlardan bazıları zeminin üzerinde olumlu etki bırakırken bazıları olumsuzluklar meydana getirir. Örneğin bir zeminde daneler arasındaki boşluk oranının azalması sürtünmeden kaynaklı taşıma gücünde artışa sebebiyet verirken, içeriğinde su oranının artması zeminler arasındaki mesafeyi arttırıp dolayısıyla sürtünmeyi azaltacağından taşıma gücünü olumsuz etkilemektedir. Ayrıca zeminin davranışı üzerinde önemli etkiye sahip olan zeminin mukavemet özellikleri; içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) parametreleri doğru belirlenmelidir (Sivrikaya, 2021). Her zemin kendine özgün olup parametre değerleri zeminin kum, çakıl, kil, silt vs. olmasına bağlı olarak farklı değer aralıklarında yer almaktadır.

Yapılan arazi deneyleri sonuçlarına dayanan ampirik/yarı ampirik yöntemler, laboratuvar deneyleri, nümerik ve teorik yöntemler yardımıyla geoteknik mühendisleri tarafından yapının taşıma gücü belirlenebilmektedir. Arazi deneylerinde deney sonuçların deney bitiminden hemen sonra elde edildiği halde, yeterli numune alınamaması durumunda zemin özellikleri tespitinde sorunlarla karşılaşılabilir. Laboratuvar deneylerinde ise kumlu zeminlerden örselenmemiş numune almak imkânsız veya maaliyeti yüksektir.

Geoteknik incelemeler için arazi ve laboratuvar deneylerinin birlikte değerlendirilip, teorik yöntemlerdeki hesapların sonuçlarıyla karşılaştırılması en uygun yaklaşımdır (Sivrikaya, 2021).

Mühendisliğin temel kriterleri olan emniyet ve ekonomiye uygun bir temel türü seçilip boyutlandırılması, geoteknik mühendisleri tarafınca yapılır. Temel türü ve boyutlandırılması yük aktarımı için oldukça önemli olup taşıma gücünü etkilemektedir. Geçmişten günümüze kadar taşıma gücü hesabı üzerine birçok araştırma yapılmış olup çeşitli bağıntılar geliştirilmiştir. Günümüzde de bu konu hakkındaki çalışmalar çeşitlenerek devam etmektedir.

1.2. Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

Yüzeysel temellerin taşıma gücünün belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler sırasıyla; tablolar yardımıyla taşıma gücü hesabı, plaka yükleme deneyi ile taşıma gücü hesabı, arazi deney sonuçlarına bağlı olarak ampirik/yarı ampirik taşıma gücü hesabı ve teorik yaklaşımlarla taşıma gücü hesabıdır (Sivrikaya, 2021).

Tablolar yardımıyla taşıma gücü literatürdeki mevcut çalışmalardan edinilen tecrübe ve zemin cinsine bağlı olarak emniyetli taşıma gücünün tablolar yardımıyla belirlenmesine dayanmakla birlikte tablodan seçilen değerlerin büyük yapılar ve zayıf zeminler için uygun olmadığı belirtilmiştir. Deneylere dayalı yöntemlerden biri olan plaka yükleme deneyi ise bir plakaya uygulanan yük miktarıyla birlikte zeminde meydana gelen göçmenin ölçülmesi ile taşıma gücü belirlenir. Presiyometre deneyi (PMT), standart penetrasyon deneyi (SPT) ve koni penetrasyon deneyi (CPT) gibi arazi deneyleri de taşıma gücü hesabında kullanılan en yaygın arazi deneyleridir (Sivrikaya, 2021).

Teorik yöntemler, taşıma gücü hesabı için literatürde geniş yer kaplamaktadır. Yüzeysel temellerin taşıma gücü ile ilgili yapılan çalışmalardan ilki, Terzaghi (1943)'nin Prandtl Teorisi ile ilişkilendirilerek yaptığı çalışmadır. Terzaghi'nin çalışmalarından hareketle değişik zemin şartları, temel türleri ve yükleme durumlarını içeren birçok taşıma gücü hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Meyerhof (1957), Skempton (1951), Hansen (1970) ve Vesic (1973)'in geliştirdiği teoriler bunlardan bazılarıdır. Bu konu başlığı altında Terzaghi (1943) ve Meyerhof (1957)'ün yöntemleri üzerinde durulacaktır.

Terzaghi (1943), zeminin nihai taşıma kapasitesini (q_u) belirlemek için bazı varsayımlarda bulunmuştur. Bu varsayımlar;

- Temel derinliği, temel genişliğinden büyük olamaz ($D_f \leq B$).
- Temelle zemin arasında kayma oluşmaz.
- Temelin altındaki zemin homojen, izotrop, yarı sonsuz kütledir.
- Zemin için Mohr-Coulomb model geçerlidir.
- Genel kayma göçmesi mevcuttur.
- Zeminde konsolidasyon meydana gelmez.
- Temel, zemine göre oldukça çok rijittir.
- Temelin tabanı üzerindeki (gömme derinliğindeki) zemin kayma mukavemetine sahip olmayıp sadece devrilme yüküne karşı sürşarj yüküdür.
- Uygulanan moment mevcut değildir.

Terzaghi (1943), Prandtl'ın teorisine dayalı olarak geliştirdiği taşıma gücü hesabında zeminin içsel sürtünme açısı, kohezyon değeri ve sürşarj etkileri dikkate alınıp taşıma kapasitesi katsayılarının (N_c , N_γ , N_q) elde edilmesiyle bir bağıntı geliştirmiştir (Leshchinsky, 2015). Günümüzde de kullanımına devam edilen bu taşıma gücü formülü Bağıntı (1)'de verilmiştir.

$$q_u = cN_c s_c + \gamma_1 D_f N_q + \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma \quad (1)$$

Bağıntıda yer alan taşıma gücü denklemi üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, zeminin kohezyon değerinin temel taşıma gücüne etkisini, ikinci bölüm sürşarj yükünün ve temel derinliğinin taşıma gücüne etkisini son bölüm ise zeminin birim hacim ağırlığının taşıma gücüne etkisini göstermektedir (Keser, 2023). Bağıntıda yer alan ifadelerden q_u (kPa) nihai taşıma gücü değerini, c (kPa) temel zeminin kohezyonunu, s_c ve s_γ temel şekil katsayılarını, D_f (m) temel derinliğini, γ_1 (kN/m³) temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığını, γ_2 (kN/m³) temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığını; N_c , N_q ve N_γ taşıma gücü katsayıları olup aşağıdaki bağıntılarla ifade edilmiştir. Sadece kohezyonlu zeminlerde ($\phi_u=0$, c_u), $N_c=5.14$, $N_q=1$, $N_\gamma=0$ olarak önerilmiştir.

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

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad (3)$$

$$N_\gamma = 1.8 (N_q - 1) \tan \phi \quad (4)$$

Terzaghi'nin formülasyonunda yer alan s_c ve s_γ temel şekil katsayıları farklı temel şekilleri için Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Terzaghi taşıma gücü temel şekil katsayıları (Sivrikaya, 2021)

Temel Tipi	s_c	s_γ
Kare	1.3	0.4
Daire	1.3	0.3
Şerit	1.0	0.5
Dikdörtgen	$1+0.3B/L$	$0.5-0.1B/L$

Terzaghi'nin taşıma gücü teorisini temel alarak Meyerhof zeminin mukavemetini, temel boyutunu, temelin şeklini, derinlik ve eğim gibi faktörlerin tümünü hesaba katacak şekilde Bağntı (5)'i geliştirmiştir (Leshchinsky, 2015).

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c + \gamma_1 D_f N_q s_q d_q i_q + 0.5 B \gamma_2 N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (5)$$

Denklemdaki ifadelerden q_u (kPa) nihai taşıma gücü değerini, c (kPa) temel zeminin kohezyonunu, N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayılarını, D_f (m) temel derinliğini, γ_1 (kN/m³) temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığını, γ_2 (kN/m³) temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığını, s_c , s_q , s_γ temel şekil katsayılarını, d_c , d_q , d_γ derinlik katsayılarını, i_c , i_q , i_γ yük eğim katsayılarını ifade etmektedir. N_q değeri Bağntı (2), N_c değeri Bağntı (3) kullanılarak hesaplanırken N_γ için Bağntı (6) geliştirilmiştir.

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4\phi) \quad (6)$$

Temel şekil katsayıları (s_c , s_q , s_γ), derinlik katsayıları (d_c , d_q , d_γ) ve yük eğim katsayıları (i_c , i_q , i_γ) için bağıntılar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Meyerhof taşıma gücü katsayıları (Sivrikaya, 2021)

Temel şekil katsayıları (s)	
$\phi^\circ = 0$	$\phi^\circ > 0$
$s_c = 1 + 0.2(B/L)\tan^2(45 + \phi/2)$	$s_c = 1 + 0.2(B/L)\tan^2(45 + \phi/2)$
$s_q = s_\gamma = 1$	$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1(B/L)\tan^2(45 + \phi/2)$
$s_c = s_q = s_\gamma = 1$ (Şerit temeller için)	
Derinlik katsayıları (d)	
$\phi^\circ = 0$	$\phi^\circ > 0$
$d_c = 1 + 0.2(D_f/B)\tan(45 + \phi/2)$	$d_c = 1 + 0.2(D_f/B)\tan(45 + \phi/2)$
$d_q = d_\gamma = 1$	$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1(D_f/B)\tan(45 + \phi/2)$
Yük eğim katsayıları (i)	
$\phi^\circ = 0$	$\phi^\circ > 0$
$i_c = i_q = (1 - \alpha^\circ/90)^2$	$i_c = i_q = (1 - \alpha^\circ/90)^2$
$i_\gamma = 0 \alpha^\circ > 0$	$i_\gamma = (1 - \alpha^\circ/\phi)^2$
$\alpha = \tan^{-1}(H/V)$ H: Temel tabanına gelen toplam yatay yük V: Temel tabanına gelen düşey toplam yük	

1.3. Şevli Bölgede Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü

Yapı inşasının gerçekleşeceği arazinin eğimsiz, düz bir arazi olması her daim mümkün olamamaktadır. Bu gibi durumlarda yapıların ana unsurunu oluşturan temellerin şevli bölgedeki tasarımının titizlikle yapılıp, istenilen taşıma gücünün sağlatılması gerekmektedir. Şevli bölgelerde temellerin taşıma gücü eğimsiz, düz bir arazide inşa edilen temele göre daha düşük olmakla birlikte, artan şehirleşmeden dolayı bu bölgelerde yapı inşasıyla birlikte temellerin tasarımı da yaygın hale gelmiştir (Dey vd., 2021). Günümüz geoteknik mühendisliği araştırma konularında temellerin şevlerin üzerinde veya içerisinde inşa edilmesi konusu halen daha gündemdedir. Bahsi geçen durumlardaki sistemlerin analizinde yüklerin temel zemini ortamına güvenli bir şekilde aktarılabilmesinin yanında, temel yüklemeleri nedeni ile şevin iç stabilitesinin sağlanmasına da dikkat edilmelidir (Akbay Arama vd., 2018). Bir şevin veya kretine yakın yer alan temellerin geoteknik tasarımında şev açısı (β), derinlik oranı (B/D_f), zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ) ve temel ile şev kenarı arasındaki kret mesafesi (b) gibi çeşitli faktörlerin dikkate alınması gereklidir (Burujerdi ve Sharahi, 2019).

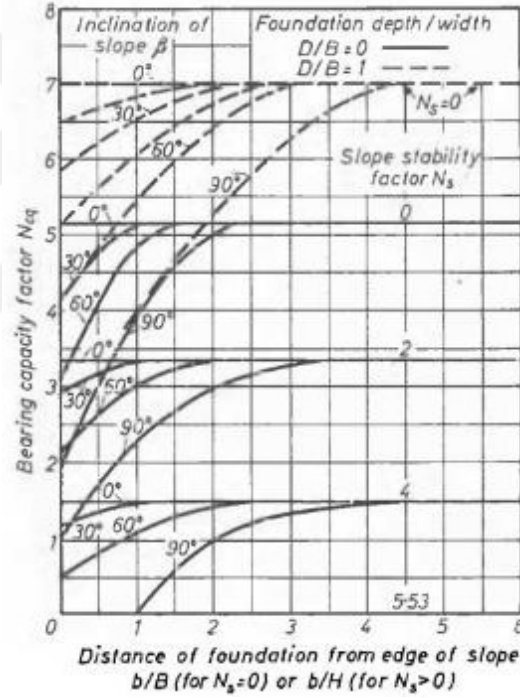
Şev tepesinde inşa edilen temellerin taşıma gücü hesabı için geliştirilen ilk metotlar genellikle Terzaghi (1943) tarafından önerilen yüzeysel temellerin taşıma gücü eşitliğinden

Denkleimde yer alan c (kPa) zeminin kohezyon değerini, N_{cq} taşıma gücü katsayısını, γ (kN/m³) zeminin birim hacim ağırlığını, D_f temel derinliği ifade etmektedir. Taşıma gücü

katsayısı (N_{cq}), temelin şev kret noktasına olan mesafesi (b), şev eğimi (β) ve şev stabilite katsayısı (N_s) bağlıdır. Şev stabilite katsayısı (N_s) Bağntı (9) ile ifade edilmektedir.

$$N_s = \gamma H / c \quad (9)$$

Bahsedilen parametreler dikkat alınarak Meyerhof tarafından tamamen kohezyonlu ($\phi_u=0$), şev tepesindeki şerit temel için taşıma gücü katsayısının değişiminin gösterildiği, Şekil 2’de belirtilen grafik elde edilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde b/B oranının artmasının taşıma gücü katsayısı N_{cq} üzerinde olumlu etkisi gözlenirken, N_s değerinin artmasının N_{cq} değerinin azalması durumunu temsil etmektedir.



Şekil 2. Tamamen kohezyonlu şev tepesindeki şerit temel için taşıma gücü faktörleri (Meyerhof, 1957)

Meyerhof’un çalışmasından yola çıkarak Hansen (1970) ve Vesic (1973)’de çalışmalarda bulunmuştur. Hansen (1970) çalışmasında Meyerhof (1957)’un taşıma gücü ifadesine (Bağntı 5) zemin eğimi katsayıları (g_c , g_q , g_γ) ve taban eğimi katsayıları (b_c , b_q , b_γ) ekleyerek yeni bir bağntı geliştirmiştir. Vesic (1973)’de Hansenin geliştirmiş olduğu denklemi kullanmakla beraber taşıma gücü hesabında yer alan katsayıların hesabı için

farklı formülasyonlar önermiştir (Sivrikaya, 2021). Hansen (1970) ve Vesic (1973)'in önerdiği taşıma gücü ifadesi aşağıda belirtilmiştir.

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma_1 D_f N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma_2 N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (10)$$

Denklemden yer alan q_u (kPa) nihai taşıma gücü değerini, c (kPa) temel zeminin kohezyonunu, N_c , N_q , N_γ taşıma gücü katsayılarını, D_f (m) temel derinliğini, γ_1 (kN/m³) temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığını, γ_2 (kN/m³) temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığını, s_c , s_q , s_γ temel şekil katsayılarını, d_c , d_q , d_γ derinlik katsayılarını, i_c , i_q , i_γ yük eğim katsayılarını, g_c , g_q , g_γ zemin eğim katsayılarını, b_c , b_q , b_γ taban eğim katsayılarını ifade etmektedir. Taşıma gücü katsayıları Hansen için Tablo 3, Vesic için Tablo 4'de verilmiştir. N_q değeri Bağntı (2), N_c değeri Bağntı (3) yardımıyla hesaplanırken N_γ için Hansen (1970) Bağntı (11)'i, Vesic (1973) Bağntı (12)'nin kullanılmasını önermiştir. Drenajsız durumda ($\phi_u=0$) zeminin taşıma gücü Bağntı (13) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$N_\gamma = 1.5(N_q - 1) \tan \phi \quad (11)$$

$$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi \quad (12)$$

$$q_u = 5.14c_u(1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + \gamma D_f \quad (13)$$

Tablo 3. Hansen taşıma gücü denklemi katsayıları (Sivrikaya, 2021)

Temel şekil katsayıları (s)		
$\phi = 0^\circ$	$\phi > 0^\circ$	
$s_c = 0.2(B'/L')$	$s_c = 1 + (N_q/N_c)(B'/L')$	
	$s_q = 1 + (B'/L')\sin\phi$	
	$s_\gamma = 1 - 0.4(B'/L') \geq 0.6$	
$s_c = s_q = s_\gamma = 1$ (Şerit temeller için)		
Derinlik katsayıları (d)		
$\phi = 0^\circ$	$\phi > 0^\circ$	
$D_f \leq B$ $d_c = 0.4(D_f/B)$ $D_f > B$ $d_c = 0.4\tan^{-1}(D_f/B)$	$D_f \leq B$ $d_c = 1 + 0.4(D_f/B)$	
	$D_f > B$ $d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1}(D_f/B)$	
	$D_f \leq B$ $d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D_f/B)$	
	$D_f > B$ $d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D_f/B) \tan^{-1}(D_f/B)$	
	$d_\gamma = 1$ *$\tan^{-1}(D_f/B)$ radyan	
Yük eğim katsayıları (i)		
$\phi = 0^\circ$	$\phi > 0^\circ$	
A: Efektif Alan H: Yatay yük C _a : Adezyon	$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$	
	$i_q = [1 - (0.5H)/(V + AC_a \cot \phi)]^a$	
	$\alpha = 0^\circ$ $i_\gamma = [1 - (0.7H)/(V + AC_a \cot \phi)]^b$	
	$\alpha > 0^\circ$ $i_\gamma = [1 - (0.7 - (\alpha^\circ - 450^\circ)H)/(V + AC_a \cot \phi)]^b$	
	$2 \leq a, b \leq 5$	
	A: Eksantrik yükte efektif alan, V: Düşey yük	
Zemin eğim katsayıları (g)		
$\phi = 0^\circ$	$\phi > 0^\circ$	
$g_c = \beta^\circ/147^\circ$	$g_c = 1 - (\beta^\circ/147^\circ)$	
	$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \tan \beta^\circ)^{0.5}$	
Temel taban eğimi katsayıları (b)		
$\phi = 0^\circ$	$\phi > 0^\circ$	* α (radyan)
$b_c = \alpha^\circ/147^\circ$	$b_c = 1 - (\alpha^\circ/147^\circ)$	
	$b_q = e^{-2\alpha\tan\phi}$	
	$b_\gamma = e^{-2.7\alpha\tan\phi}$	

Tablo 4. Vesic taşıma gücü denklemi katsayıları (Sivrikaya, 2021)

Temel şekil katsayıları (s)	
$\phi^{\circ}=0$	$\phi^{\circ} > 0$
$s_c = 0.2(B/L)$	$s_c = 1 + (N_q/N_c)(B/L)$
	$s_q = 1 + (B/L)\tan\phi$
	$s_{\gamma} = 1 - 0.4(B/L) \geq 0.6$
$s_c = s_q = s_{\gamma} = 1$ (Şerit temeller için)	
Derinlik katsayıları (d)	
$\phi^{\circ}=0$	$\phi^{\circ} > 0$
$d_c = 0.4(D_f/B)$	$D_f \leq B \quad d_c = 1 + 0.4(D_f/B)$
	$D_f > B \quad d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1}(D_f/B)$
	$D_f \leq B \quad d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D_f/B)$
	$D_f > B \quad d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1}(D_f/B)$
	$d_{\gamma} = 1$
	$* \tan^{-1}(D_f/B)$ radyan
Yük eğim katsayıları (i)	
$\phi^{\circ}=0$	$\phi^{\circ} > 0$
$i_c = 1 - [(mH)/(AC_a N_c)]$	$i_c = i_q - [(1 - i_q)/(N_q - 1)]$
	$i_q = [1 - (H)/(V + AC_a \cot \phi)]^m$
	$i_{\gamma} = [1 - (H)/(V + AC_a \cot \phi)]^{m+1}$
	$m = [(H_B)^2 + (H_L)^2]^{0.5}$
	H_B : yatay yük B kenarına paralelse, H_L : Yatay yük L kenarına paralelse A: Eksantrik yükte efektif alan, V: Düşey yük
Zemin eğim katsayıları (g)	
$\phi^{\circ}=0$	$\phi^{\circ} > 0$
$g_c = \beta^{\circ}/5.14$	$g_c = i_q - (1 - i_q)/(5.14 \tan \phi)$
	$g_q = g_{\gamma} = (1 - \tan \beta^{\circ})^2$
Temel taban eğimi katsayıları (b)	
$\phi^{\circ}=0$	$\phi^{\circ} > 0$
$b_c = \alpha^{\circ}/147^{\circ}$	$b_c = 1 - (\alpha^{\circ}/147^{\circ})$
	$b_q = b_{\gamma} = (1 - \alpha \tan \phi)^2$
	$*\alpha$ (radyan)

Literatürde bahsedilen teorik çalışmalar dışında şevli zemine inşa edilen temellerin taşıma gücü için farklı yöntemler kullanılarak da çalışmalar yapılmıştır: limit analiz yöntemleri (Lysmer, 1970; Davis ve Booker, 1973; Chen, 1975; Kusakabe ve diğ., 1981, Michalowski, 1989; Farzaneh ve diğ., 2008; Shiau ve diğ., 2011; Modifi ve diğ., 2014), sonlu elemanlar yöntemi (Sloan ve Kleeman, 1995; Krabbenhoft ve diğ., 2005; Georgiadis

ve diğ., 2008; Shiau ve diğ., 2011), limit denge analizleri (Narita ve Yamaguchi, 1990; Castelli ve Motta, 2008), kayma çizgisi metodu (Sokolovski, 1960; Chen, 1975), akma tasarım teorisi, (Buhan ve Garnier, 1994;1998), gerilme karakteristikleri yöntemi (Graham ve diğ., 1987), fiziksel modelleme teknikleri (Gemperline, 1988; Shileds ve diğ., 1990), saha uygulamaları (Shields ve diğ., 1977) gibi farklı metotlar denenerek çok sayıda araştırma yapılmıştır (Akday Arama vd., 2018). Literatürde bu konu hakkında çalışmalar halen daha devam etmekte olup günümüze kadar yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda kronolojik olarak listelenip açıklanmıştır.

Kusakabe vd., (1981) şevli bölgede upper-limit teoremini kullanılarak şev eğimi, zeminin kohezyon ve birim hacim ağırlığı gibi etmenlerin taşıma gücü üzerindeki etkilerini incelemiştir. Elde edilen sonuçların geleneksel dairesel yay yöntemleri ve Kotter'ın gerilme karakteristikleri denklemleriyle bulunan taşıma kapasiteleri ile karşılaştırılması yoluyla, yöntemin basitliği nedeniyle üst sınır çözümünün mühendislik açısından yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Graham vd. (1987), kohezyonsuz şevli zeminlerde yer alan temeller için gerilme karakteristikleri metodunu kullanarak bir taşıma gücü yaklaşımı geliştirmiştir. Yaklaşımda teorik taşıma kapasiteleri, iki dizi laboratuvar testinden elde edilen deneysel değerlerle karşılaştırılarak uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak hem kohezyon hem de içsel sürtünmeye sahip zeminlere genişletilememesi açısından bu yaklaşım eksik kalmıştır.

Shields vd. (1990), kum gibi kohezyonsuz malzeme ve normal konsolide kilden oluşmuş olan şevlerde temel tasarımına ilişkin bir metot açıklamıştır. Bu metotta bahsedilen yöntem teoriden yanı sıra fiziksel testlere dayanmaktadır. Bulgulara göre şev üzerinde veya yakınında bulunan bir temelin taşıma kapasitesinin, aynı temelin düz zemin yüzeyinde sahip olacağı kapasitenin bir yüzdesi olarak değerlendirilmiştir. Ek olarak makul ölçekteki temeller üzerinde gerçekleştirilmesi sebebiyle tasarımcının temel boyutunu düzeltmesine gerek olmamaktadır. Yöntem pratikte karşılaşılabilen en uygun tasarım geometrilerini içermekle birlikte kullanımı basittir.

Chen vd. (2007) yaptıkları çalışmada deprem kuvvetlerinin şevli zeminlerde temel taşıma kapasitesine etkisini incelemiştir. Çalışmada, şevli durumdaki zemine inşa edilen şerit temellerin sismik nihai taşıma kapasitesi ara asal gerilme etkilerini göz önünde bulundurarak ve psödo statik analiz yöntemini kullanılarak belirlenmiştir. Limit denge teorisine dayanarak, zeminlerin sürşarj, özgül ağırlığı ve kohezyonu ile ilişkili statik taşıma gücü katsayıları (N_q , N_c , N_γ) ve dinamik taşıma gücü katsayıları (N_{qd} , N_{cd} , $N_{\gamma d}$)'nin

hesaplanmasına yönelik formüller ortaya konulmuştur. Statik ve dinamik taşıma gücü katsayıları çeşitli hesap parametreleri ile ilişki eğrilerini elde etmek için çok sayıda analiz yapılmıştır.

Georgiadis (2010), çalışmasında drenajsız taşıma kapasitesini etkileyen çeşitli parametrelerin etkisini araştırmak amacıyla drenajsız zemin şevleri üzerindeki veya yakınındaki şerit temellerin sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmiştir. Analiz sonuçlarını mevcut yöntemlerle karşılaştırmıştır. Bu yöntemlerden bazılarının, geometrik parametrelerin ve zemin özelliklerinin belirli kombinasyonları için sonlu elemanlar sonuçlarıyla iyi bir şekilde karşılaştırılmasına rağmen, etkileyen parametrelerin tamamını hesaba katmadıkları veya genel olarak konservatif olmadıkları için yeterince doğru sonuçlar vermedikleri bulunmuştur. Sonlu elemanlar sonuçlarına dayanarak, drenajsız taşıma gücü katsayısı (N_c), drenajsız kayma mukavemetinin, zeminin kütle birim hacim ağırlığının, temel genişliğinin, temelin şevden uzaklığının, eğim açısının ve şev yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak hesaplanması için tasarım şemaları, denklemler ve bir tasarım prosedürü önerilmiştir.

Mofidi vd. (2014), çalışmasında şev yakınındaki şerit temellerin taşıma kapasitesinin tahmini için bir alt sınır çözümü açıklanmıştır. Çözüm statik olarak kabul edilebilir bir gerilme alanı boyunca göçme yüküne yol açan sonlu eleman formülasyonu ve doğrusal programlama tekniğine dayanmaktadır. Çalışmada şevlere bitişik şerit temellerin ortalama sınır basıncı, şev üzerindeki temel sisteminin stabilitesini etkileyen boyutsuz parametrelerin bir fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Bu parametrelerden özellikle zeminin sürtünme açısı olmak üzere her biri ayrı ayrı incelenerek ilgili grafikler sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, araştırmada kullanılan metodolojinin uygunluğunu doğrulamak için literatürde mevcut olan diğer bazı çözümlerle karşılaştırılmıştır.

Akbay Arama vd. (2018), sonlu elemanlar programı kullanarak şeve komşu dolgu yapılarının temel zemini göçme davranışına etkilerini şev yüksekliği, açısı; dolgu yüksekliği, temel zemini mukavemet parametreleri, dolgu-şev yaklaşım mesafesi gibi değişken değerlerle irdelenmiştir. Yapılan çalışmadan elden edilen bazı sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

- Komşu zemin yapılarına sahip şev-dolgu sistemlerinde güvenlik sayısı farklı konumlarda değişmekte olup en düşük güvenlik sayısı değerine dolgunun şev tepesine konumlandırılması durumunda yaklaşıldığı sonucuna varılmıştır.

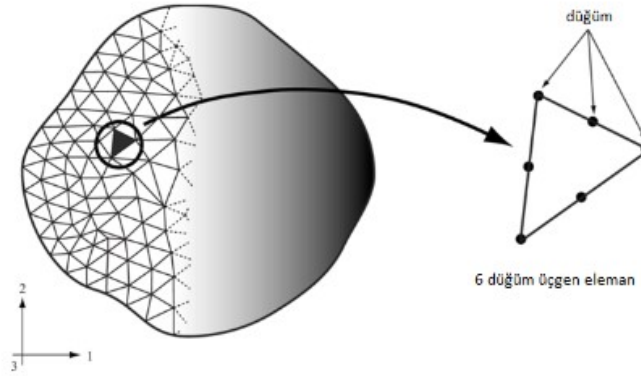
- Şeve komşu dolgu yapılarının stabilitesi üzerinde etkisi büyük ana parametre zeminin mukavemeti olarak görülmüş olup, drenajsız yükleme sonucunda aktive hale gelen göçme mekanizmasının sınırları ve gerilme dağılım alanları mukavemet parametresinden çok etkileşim mesafesine bağlı değişim göstermiştir.
- Dolgunun şev tepesinden uzaklaşmasıyla göçme davranışı şev göçmesinden toptan göçmeye, toptan göçmeden de taşıma gücü göçmesine doğru değişim göstermiştir.
- Şev açısının artması duraylılığı olumsuz etkilediğinden şev yakınında bulunan dolguların taşıma gücünde azalış olup şev ile birlikte göçme davranışı gözlenmiştir.
- Belli bir temel zemini profilinde, şev yüksekliğinin (H) temel taban genişliğine (B) oranı şeklinde belirlenebilen mesafelere göre farklı göçme şekilleri meydana gelebilmektedir. H/B değerlerinin düşük olması durumunda şev yüksekliği sınırı nedeni ile göçme de şev içerisinde gerçekleşmektedir.
- Şev yanında yer alan dolguların taşıma gücü şev açısının artmasına ve/veya temel tabanı ile şev tepesi arası mesafenin azalışına bağlı olarak azalmaktadır.

Casablanca vd. (2021), şevlere bitişik sığ şerit temeller için taşıma gücü katsayılarının statik ve sismik değerleri, zeminde oluşan ve üst yapı tarafından iletilen yatay ve düşey atalet kuvvetlerinin etkisi için psödo-statik yaklaşım yoluyla özellikler yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Şev eğimi ile zemin ve üst yapıdaki yatay ve düşey sismik ivmelerinin hesaba katılmasına olanak sağlayan uygun düzeltme katsayılarını veya taşıma gücü katsayılarını hesaplamak için orijinal ampirik formüller ve bazı durumlarda kapalı form çözümler üretilmiştir. Elde edilen önerilen çözümler, sonlu elemanlar analizleri yoluyla elde edilenlerle karşılaştırılarak kontrol edilmiş ve literatürde mevcut olan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

1.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi (FEM) ve Plaxis 2D

1.4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM), mühendislikteki farklı problemlere yaklaşık çözümler sunmak amacıyla kullanılan bir analiz yöntemidir. Yöntemin temelinde çözümlenmesi istenen bir bölgenin analitik olarak modellenmesi ya da ayırık elemanların bir araya getirilip değiştirilmesiyle tahmin edilmesi yer almaktadır. Bahsi geçen bu elemanlar farklı kombinasyonlarla bir araya getirilerek çözümü oldukça zor olan şekilleri temsil edebilmektedir. Şekil 3'te örnek olarak sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizi yapılan bir madde örneği gösterilmiştir.



Şekil 3. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak analizi yapılan bir madde örneği (URL-1)

Sonlu elemanlar yöntemini diğer analiz yöntemlerinden ayıran en önemli özelliği sorunun tümünü temsil edecek şekilde bir araya getirmeden önce ayırık elemanlar için çözümler üretme yeteneğidir. Örneğin gerilme analizindeki bir problem ele alınıyorsa her bir elemanın kuvvet-yer değiştirme veya rijitlik özelliklerini elde edebilir ardından tüm yapının rijitliğini bulmak için bu elemanları bir araya getirebiliriz. Gerçekte karmaşık gibi görünen birçok problem bu yöntem sayesinde büyük ölçüde basitleştirilmiş olup daha basit bir problem haline getirilir (Jagota vd., 2013). Sonlu elemanlar yönteminin avantajları (URL-2);

- Karmaşık geometrik ve düzensiz şekillerin daha kolay modellenmesine olanak tanır. Tasarımcı hem iç hem de dış mekân modellenebildiğinden, kritik faktörlerin tüm yapıyı nasıl etkileyebileceği ve göçmelerin neden meydana gelebileceği belirlenebilir.

- Tasarım sürecinde fiziksel prototiplere olan ihtiyacı azaltmak amacıyla doğruluk açısından belirli spesifikasyonları karşılayacak şekilde uyarlanabilir. İlk prototiplerin birden fazla yinelemesini oluşturmak genellikle maliyetli ve zaman alan bir süreçtir. Tasarımcı, zorlu prototip oluşturmaya haftalar harcamak yerine, yazılım aracılığıyla farklı tasarım ve malzemeleri kısa zaman içerisinde modelleyebilmektedir.
- Karmaşık bir fiziksel deformasyonun elle modellenmesi pratik olmasa da sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı bir bilgisayar yardımıyla sorunun yüksek derecede doğrulukla çözümü sağlanabilir.
- Belli bir alandaki deformasyonların başka bir alandaki deformasyona bağlı olduğu, (çarpışma simülasyonları gibi) belirli zamana bağlı simülasyonlar için oldukça kullanışlı olmaktadır.
- Modelin hangi koşullarda tepki vermesi gerektiğini tanımlamak için sınır koşulları kullanılabilir.
- Üretilen ayrıntılı görselleştirmelerle tasarımdaki herhangi bir açıklık kolayca tespit edilebilir ardından yeni veriler yeni bir tasarım oluşturmak için kullanılabilir.

Sonlu elemanlar yöntemi fiziksel testlerin gerçekleştirilmesinin zorlu olduğu çeşitli mühendislik alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Köprü, bina, baraj gibi mühendislik tasarımlarının güvenliğini ve bütünlüğünü denetleme, bu yapıların güvenlik standartlarını karşılayacak şekilde optimize edilip, bakım ihtiyaçlarını tahmin etme gibi durumlara yardımcı olabilmektedir (URL-3).

1.4.2. Plaxis 2D

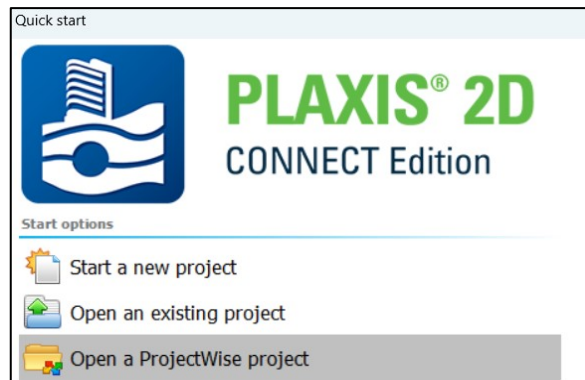
Plaxis 2D, çeşitli geoteknik mühendisliği problemleri için deformasyon, stabilite ve akış analizlerini gerçekleştirmekte kolaylık sağlayan özel iki boyutlu sonlu elemanlar programıdır (Plaxis, 2017). Kısaca "zemin ve kaya analizi için sonlu eleman kodu" olarak tanınan Plaxis güvenilir bir analiz programı ilk olarak 1987 yılında Hollanda'daki Delft Teknik Üniversitesi'nde geliştirilmiştir. Başlangıçta nehir dolgularının yumuşak zemin üzerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmesindeki güçlü zorluğun

üstesinden gelmek için tasarlanmış olsa da zamanla çeşitli geoteknik sorunları kapsayacak şekilde önemli gelişmelere tabi olmuştur (Taher, 2024).

Plaxis programının veri tabanında zemin problemlerini çözmek için çeşitli yapı elemanları ve analiz yöntemleri mevcuttur. Analizler için model oluşturulurken sınırlar belirlenip zemin modeli tanımlanır. Eğer zeminde mevcut bir yapı varsa plaka, kiriş gibi yapı elemanlarıyla tanımlanır. Mevcut yükler ise noktasal veya çizgisel olarak atanır. Model oluşturulduktan sonra su akışı, deformasyon ve yeraltı su seviyesi gibi sınır koşulları tanımlanır ve sonlu eleman ağları oluşturulur. Program, farklı mesh boyutları sunarak sonlu eleman ağlarının oluşmasını sağlayabilmektedir. Analiz aşamasında, aşamalı inşaat gerçekleştirilebilir. İnşaat aşamaları tanımlanırken her adım için farklı hesap yöntemleri seçilebilmektedir. Plastik analiz, konsolidasyon analizi ve güvenlik analizi gibi çeşitli analizler program yardımıyla yapılabilmekte olup analiz sonuçları arasında gerilme, deformasyon, boşluk suyu basıncı, oturma, kesit etkileri, konsolidasyon süresi ve güvenlik sayısı gibi çıktılar elde edilebilmektedir (Özev, 2023).

Doğada mevcut ortamlarına göre farklı özelliklere sahip olan zeminlerin Plaxis 2D ile modellenmesi yapılırken, programın zeminlerin bu özelliklerindeki farklılıklara sahip olmasından hareketle geliştirdiği çeşitli malzeme modeli tanımlama seçenekleri kullanılabilenmektedir. Programda yer alan özellikler ve kullanımı hakkında genel bilgilendirme aşağıda verilmiştir.

Plaxis 2D programı başlat seçeneği tuşlandığında ilk olarak Şekil 4' te yer alan görsel karşımıza çıkmaktadır. Burada yer alan Start a new project yazısını tıklanarak yeni proje oluşturulmaya başlanılabilir veya Open an existing project sekmesi kullanılarak önceden çizilmiş bir proje üzerinde düzenlemeler yapılabilmektedir.



Şekil 4. Plaxis 2D giriş

Project properties

Project Model Constants Cloud services

PLAXIS® 2D
CONNECT Edition

Project

Title

Company KTU

Directory

File name

Comments

Company logo

☐ Set as default

Next OK Cancel

Şekil 5. Project properties penceresi-project sekmesi

Start a new project sekmesi seçildikten sonra Şekil 5’te yer alan Project properties sekmesi karşımıza çıkmaktadır. Burada Project başlığı altında ilgili projenin adı düzenlenebilmektedir. Model başlığını tıkladığımızda karşımıza Şekil 6’da görüldüğü gibi projedeki model çizimini detaylandıracak özelliklerin girileceği sekmeler açılacaktır.

Project properties

Project Model Constants Cloud services

Type

Model Plane strain

Elements 15-Noded

Units

Length m

Force kN

Time day

Mass t

Temperature K

Energy kJ

Power kW

Stress kN/m²

Weight kN/m³

Contour

x_{min} 0,00000 m

x_{max} 300,000 m

y_{min} 0,00000 m

y_{max} 100,000 m

☐ Set as default

Next OK Cancel

Şekil 6. Project properties penceresi-model sekmesi

Model başlığının Type alt başlığı altında model türü olarak Plane strain ve Axisymmetric olmak üzere iki zemin tanımlama modülü karşımıza çıkmaktadır.

- Plane strain: Bu model hemen hemen tekdüze bir kesite ve ilgili gerilim durumuna ve kesite dik belirli bir uzunluk (z yönü) üzerinde yükleme şemasına sahip geometriler için kullanılır. Z yönündeki yer değiştirmelerin ve gerinimlerin sıfır olduğu varsayılmakla beraber bu yöndeki normal gerilimler tümüyle dikkate alınır.
- Axisymmetric: Deformasyon ve gerilim durumunun herhangi bir radyal yönde aynı olduğu varsayılan, hemen hemen üniform radyal kesite ve merkezi eksen etrafında yükleme şemasına sahip dairesel yapılar için kullanılır. Burada x koordinatı yarıçapı, y eksenini ise eksenel simetri çizgisine karşılık gelmektedir. Negatif x koordinatı değerleri kullanılamamaktadır.

Elements başlığı altında zeminin tanımlanmasına yardımcı olacak 6 veya 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar seçilebilmektedir. 15 düğüm noktalı üçgenlerin daha fazla bellek tüketimine, yavaş hesap ve işlem performansına yol açma gibi özelliklerinin mevcut olmasının yanında eksenel simetrik analizde kullanılması özellikle tavsiye edilmektedir. 6 düğüm noktalı üçgen seçimi yeterli sayıda eleman kullanılması koşuluyla standart deformasyon analizlerinde iyi sonuçlar veren oldukça doğru bir elemandır. Ancak eksenel simetrik modellerde, taşıma kapasitesi hesaplaması veya phi-c azaltma yoluyla güvenlik analizi gibi (olası) arızanın rol oynadığı durumlarda dikkatli olunmalıdır. Göçme yükleri veya güvenlik faktörleri genellikle 6 düğüm noktalı elemanlar kullanılarak aşırı tahmin edilir. Bu durumlarda 15 düğümlü elemanların kullanılması tercih edilmektedir.

Units alt başlığı modelde kullanılacak parametrelerin birimlerin seçilmesine yardımcı olmaktadır. Contour alt başlığı altında da oluşturulacak olan modelin kontürleri belirlenebilmektedir. Modelin dış sınırları x_{min} , x_{max} , y_{min} ve y_{max} parametrelerinin girilmesiyle belirlenir.

Project properties

Project Model Constants Cloud services

General

Gravity 1,0 g (-Y direction) T_{ref} 293,150 K

Earth gravity 9,81000 m/s²

Water

γ_{water} 10,0000 kN/m³

Liquid

c_{water} 4181,30 kJ/t/K

λ_{water} 0,600000E-3 kW/m/K

L_{water} 334000 kJ/t

α_{water} 0,210000E-3 1/K

T_{water} 293,150 K

Ice

c_{ice} 2108,00 kJ/t/K

λ_{ice} 2,22000E-3 kW/m/K

α_{ice} 0,0500000E-3 1/K

Vapour

c_{vapour} 1930,00 kJ/t/K

λ_{vapour} 0,0250000E-3 kW/m/K

R 461,500 kJ/t/K

☐ Use temperature dependent table

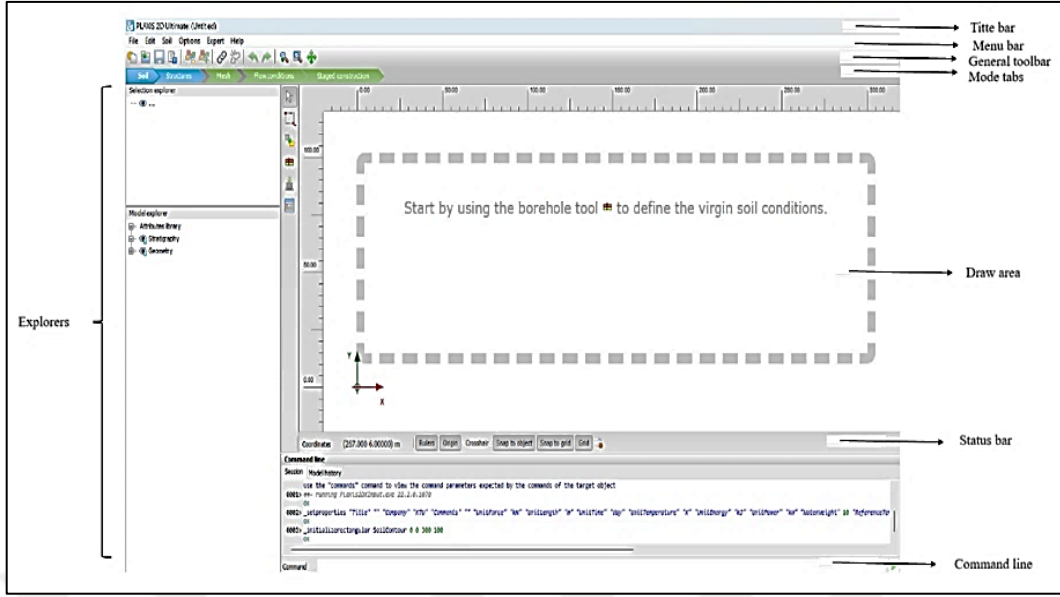
☐ Set as default

Next OK Cancel

Şekil 7. Project properties penceresi-constants sekmesi

Constants başlığında yer çekimi (g) program veri tabanında sabit değer olarak girilmiştir. Referans sıcaklığı (T_{ref}) bir termal koşulun verilmemesi durumunda, yer yüzeyindeki sıcaklığı temsil etmekle beraber veri tabanında sabit görülen sabit değeri değiştirilebilmektedir. Zeminlerin termal özellikleri büyük ölçüde gözeneklerdeki suyun durumuna bağlıdır. Termal hesaplamalar yapılırken boşluk suyu farklı hallerde görünebilir; yani sıvı halde (su), katı halde (buz) ve gaz halinde (buhar). Bu özellikler Constant sekmesi altında bir bütün olarak proje için belirtilir (Şekil 7).

Project properties kısmındaki veriler belirlenip onaylandıktan sonra Şekil 8’de verilen Input sayfası açılır. Input ekranı hakkında genel bilgiler aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 8. Input ekranı sayfa düzeni

Title bar: Programın adı ve projenin başlığı burada görüntülenir. Projedeki kaydedilmemiş değişiklikler proje adında '*' ile gösterilir.

Menu bar: Menü çubuğu, input programında yer alan seçenekleri kapsayan açılır menüleri içerir.

General toolbar: Genel araç çubuğu, disk işlemleri ve model görüntüleme düzenlemesi gibi genel eylemler için düğmeler içerir. Ayrıca Output programını başlatmak için bir buton da içermektedir.

Mode tabs: Mod sekmeleri farklı modelleme modlarını ayırmak için kullanılır. Bu kısımda aşağıda belirtilen sekmeler mevcuttur:

- Soil: Zemin stratigrafisi tanımlanır.
- Structures: Modelin yapısal bileşenleri tanımlanmaktadır.
- Mesh: Mesh özellikleri tanımlanır ve geometri modeli ayrıklaştırılarak sonlu elemanlar modeline dönüştürülür.
- Flow conditions: Su seviyeleri tanımlanır.
- Staged construction: Hesaplama ayarları tanımlanır ve proje hesaplanır.

Draw area: Çizim alanı, geometri modelinin oluşturulduğu ve değiştirildiği çizim sayfasıdır. Geometri modeli, fare aracılığıyla ve yan araç çubuğunda bulunan butonlar kullanılarak oluşturulabilir.

Side toolbar: Etkin modda kullanılabilen özelliklerin butonları, yan araç çubuğunda bulunur. İşaretçi birkaç saniye boyunca butonun üzerinde tutulduğunda butonun işlevine

dair bir ipucu görüntülenir. Yan araç çubuğu ayrıca çizim alanındaki bir veya daha fazla nesneyi seçme seçeneklerini de içermektedir.

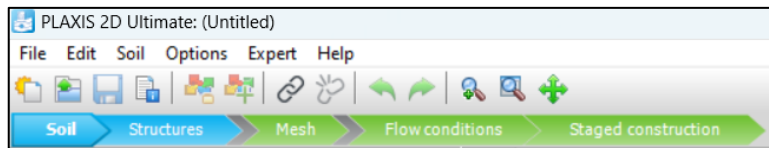
Status bar: Durum çubuğu, fare imlecinin çizim alanındaki konumu hakkındaki bilgileri görüntüler. Cetvellerin, orijinin, artı işaretinin, ızgaranın ve ızgaraya veya nesnelerin görüntülenmesi, durum çubuğundaki ilgili butonlara tıklanarak açılıp kapatılabilir.

Command line: İlgili komutların komut satırına yazarak klavye girişini kullanarak eylemleri gerçekleştirmeye olanak tanır. Öte yandan fare yardımıyla gerçekleştirilen tüm eylemler komutlara dönüştürülür. Model history sekmesine tıklandığında projede yürütülen tüm komutlar görüntülenirken, Session sekmesine tıklandığında yalnızca aktif oturumda yürütülen komutlar ve programın geri bildirimleri görüntülenir.

Explorers: Model ve proje hakkında bilgi verilmektedir. Gezgincilerin kullanılabilirliği ve işlevselliği etkin moda bağlıdır. Input sayfasında bulunan explorers seçenekleri şunlardır.

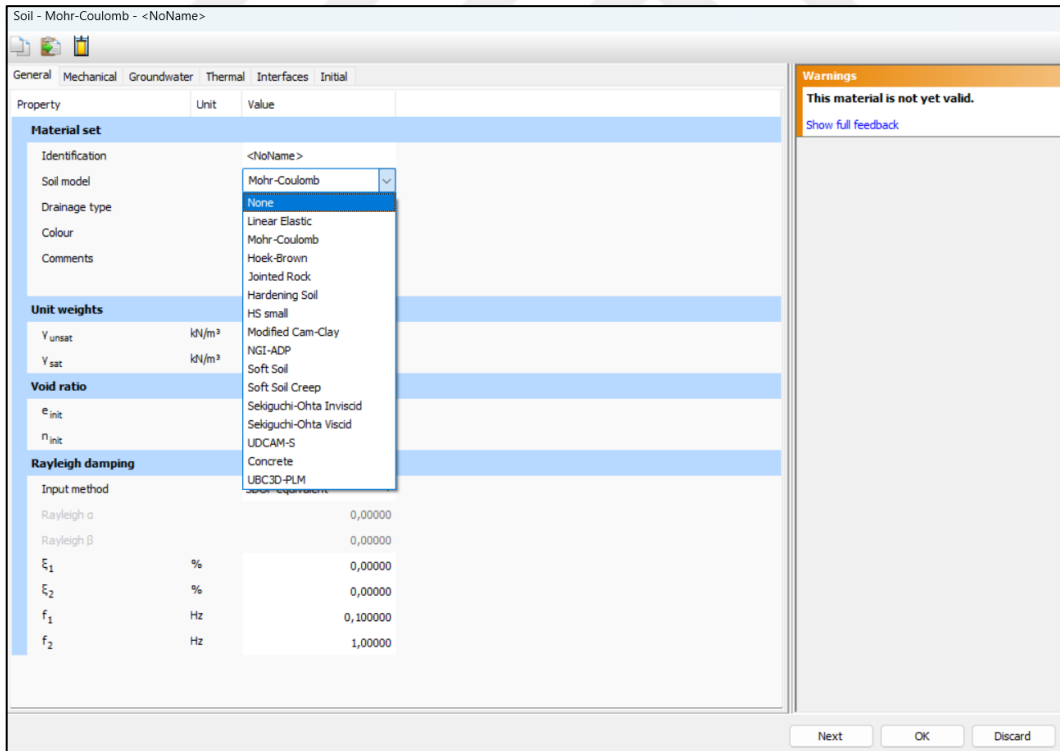
- Selection explorer: Seçilen geometri nesnelerinin özelliklerini ve atanan özelliklerini görüntüler ve bu nesneleri gizleme/gösterme, etkinleştirme/devre dışı bırakma olanağı verir.
- Model explorer: Modeldeki tüm geometri nesnelerinin özelliklerini ve onlara atanan özellikleri görüntüler ve bu nesneleri gizleme/gösterme, etkinleştirme/devre dışı bırakma olanağı verir.
- Phases explorer: Hesaplama aşamalarının listesini gösterir ve bir hesaplama aşamasının yanı sıra tüm hesaplama aşamalarının bağımlılıklarının eklenmesine, silinmesine veya değiştirilmesine olanak sağlar.

Plaxiste bir projenin geometrik modellemesi Şekil 9'da gösterilen, Input sayfasındaki Mode tabs bölümünde yer alan mavi renkli Soil ve Structures geometrik modlarından tanımlanmaktadır. Geometrideki oluşum, yer değişimi, kaldırma gibi değişimlerin tümü yalnızca bu modlar kullanırken mümkün olmaktadır.



Şekil 9. Mode tabs

Soil: Zemin modunda zemin stratigrafisi (profili), genel su seviyeleri ve zemin katmanlarının başlangıç koşulları tanımlanmaktadır. Geometride zemin malzemesini ve stratigrafiyi tanımlamak için gerekli özellikler mevcut bulunmaktadır. Yalnızca bu modda düzeline bilinen zemin stratigrafisinin oluşumu için Create Borehole butonu kullanılır. Zemin stratigrafisini gösteren sondajlar çizim alanındaki zemin katmanlarının konumu ve su tablası hakkında bilgi verir. Program birden fazla sondaj kuyusu tanımlandığında sondajlar arasında otomatik olarak enterpolasyon yapar ve sondaj bilgisinden zemin katmanlarının konumunu elde eder. Her zemin katmanı tanımlandığı model konturu boyunca uygulanır. Katmanların üst ve alt sınırları sondajlar boyunca değişiklik gösterebilmesi üniform olmayan kalınlıktaki yatay olmayan toprak katmanlarının yanı sıra yerel olarak sıfır kalınlığa sahip katmanların tanımlanmasını da mümkün kılar. Zemin modellemesini istenen özelliklere göre tanımlamak için programın veri tabanında yer alan zemin modeli türlerinden seçim yapılabilmektedir. Programda yaygın olarak kullanılan zemin modeli türleri Şekil 10'da gösterilmiş ve bazı türleri aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 10. Soil model menü

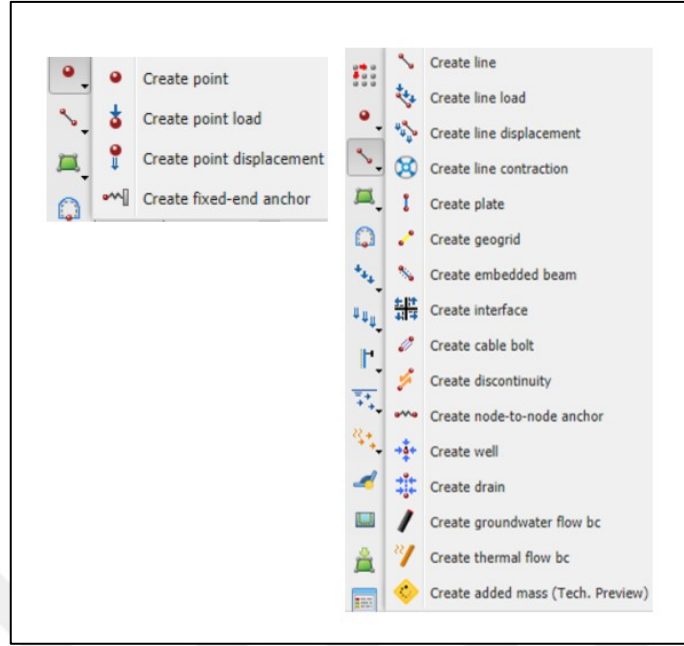
- Linear elastic model (LE): Linear elastik model, Hooke'un izotropik elastisite yasasına dayanmaktadır. Model Young modülü (E) ve poisson oranı (ν) olmak

üzere iki temel elastik parametreyi içerir. Bu modelleme yöntemi zemini modellemek için uygun olmasa da beton duvarlar veya bozulma olmamış kaya oluşumları gibi zemindeki sert hacimleri modellemek için kullanılabilir. Bu model seçildiğinde karşımıza çıkan drenaj türleri Drained ve Undrained (A), Undrained (C) ve Non-porous olmak üzere dört çeşittir (Plaxis, 2017).

- Mohr-Coulomb model (MC): Zemin davranışının ilk yaklaşımı olarak kullanılabilen bu model basit ve iyi bilinen bir lineer elastik mükemmel plastik modeldir. Mohr-Coulomb zemin modelinin doğrusal elastik kısmı, Hooke'un izotropik elastisite yasasına dayanırken mükemmel plastik kısmı ise ilişkili olmayan bir plastiklik çerçevesinde formüle edilen Mohr-Coulomb yenilme kriterine dayanmaktadır. Mohr-Coulomb modeli zemin elastisitesi için E ve ν ; zemin plastisitesi için ϕ ve c ve dilatasyon açısı olarak ψ olmak üzere beş girdi parametresi içerir. Bir konuda zemin problemin ilk analizi için bu modelin kullanılması tavsiye edilmektedir. Bu model seçildiğinde karşımıza çıkan drenaj türleri Drained, Undrained (A), Undrained (B), Undrained (C) ve Non-porous olmak üzere beş çeşittir (Plaxis, 2017; Gülnergiz, 2023).
- Hardening soil modeli (HS): Zemin davranışının simülasyonu için geliştirilmiş olan bu model Mohr-Coulomb (MC) modeliyle karşılaştırıldığında hem yumuşak hem de sert zemin davranışının daha doğru temsil etmektedir. MC modeline benzer şekilde, kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) tarafından belirlenen gerilim sınırlarını dikkate alır. Bu parametrelerin yanı sıra zemin sertliği, üç farklı sertlik girdisi kullanılarak çok daha doğru bir şekilde tanımlanır: üç eksenli yükleme rijitliği (E_{50}), üç eksenli boşaltım rijitliği, (E_{ur}) ve ödometre yükleme rijitliği (E_{oed}). Bu model seçildiğinde karşımıza çıkan drenaj türleri Drained, Undrained (A), Undrained (B) olmak üzere üç çeşittir (Plaxis, 2017; Taher, 2024).
- Hardening soil model with small-strain stiffness (HSsmall): Zeminlerin küçük şekil değiştirmelerdeki artan sertliğini hesaba katan Hardening soil modelinin bir modifikasyonudur. Hardening soil modelindeki parametrelere ek olarak $\gamma_{0.7}$ ve G_0^{ref} olmak üzere iki farklı rijitlik parametresi içermektedir. Bu model seçildiğinde karşımıza çıkan drenaj türleri Drained, Undrained (A) ve Undrained (B) olmak üzere üç çeşittir.

- Hoek-Brown model (HB): İyi bilinen bir elastik mükemmel plastik olan bu model, kayanın izotropik davranışını simüle etmek için kullanılır. Model, elastik parametrelerin (E ve ν) yanı sıra, sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı (σ_{ci}), jeolojik dayanım indeksi (GSI) ve örselenme faktörü (D) gibi pratik kaya parametrelerini de içerir.
- Soft soil model (SS): Normal konsolide kil ve turba gibi yumuşak zeminlerin davranışını belirtmek için kullanılabilen Cam-Clay tipi bir modellemedir. Model, birincil sıkıştırma durumlarında en iyi performansı gösterir. Bu model seçildiğinde karşımıza çıkan drenaj türleri Drained ve Undrained (A) olmak üzere iki çeşittir.
- Soft soil creep model (SSC): Viskoplastisite çerçevesinde formüle edilmiş ikinci dereceden bir modeldir. Model öncelikle temellerin, dolguların vb. oturma problemlerine uygulanmak üzere geliştirilmiştir. Normal konsolide kil ve turba gibi yumuşak zeminlerin zamana bağlı davranışlarını simüle etmek için kullanılabilir. Logaritmik birincil ve ikincil sıkıştırma modellemede yer alır. Tünel açma vb. gibi kazılarda karşılaşılan zemin boşaltma problemleri için bu model kullanılmaz.
- Jointed rock model (JR): Özellikle tabakalaşma ve belirli fay yönlerini içeren kaya katmanlarının davranışını simüle etmeyi amaçlamayan anizotropik elastik-plastik bir modeldir.
- Modified Cam-Clay model (MCC): Modifiye Cam-Clay modeli uluslararası zemin modelleme literatüründe iyi bilinen bir modeldir. Model, boşluk oranı ile ortalama efektif gerilim arasında logaritmik bir ilişki olduğunu varsaymaktadır. Normal konsolide yumuşak zeminlerin davranışını simüle etmek için kullanılabilir.

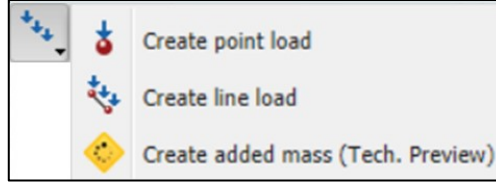
Structures: Projede yer alan geometrik objeler, yapısal elemanlar ya da yükler Structures modunda tanımlanmaktadır. Tanımlama için modda yer alan seçenekler Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Structures menüsündeki yapısal elemanlar

- Points: Nokta, bir geometrinin oluşturulmasında temel girdi öğelerindendir. Bir nokta oluşturmak için yan araç çubuğundaki Creat point butonu tıklanır ve ardından noktanın konumunu seçilir. Bir noktaya bir nokta yükü (point load), noktasal yer değiştirme (point displacement) ve Sabit uçlu ankraj (fixed-end anchor) özellikleri atanabilmektedir.
- Lines: Point gibi geometrik öğelerin oluşturulmasında kullanılan diğer bir temel girdi öğesi de çizgidir. Bir çizgi oluşturmak için yan araç çubuğundaki Create a line butonu tıklanılır ve ardından çizginin birinci ve ikinci noktalarının konumu çizim alanında tıklanılarak belirlenir. İsteğe göre bir çizgi zinciri oluşturacak şekilde ek noktalar oluşturulabilir. Bir çizgi elemanına Distributed load, öngörülen yer değiştirme (prescribed displacement), Plaka (Plate), Geogrid, Gömülü kiriş sırası (embedded beam row), Arayüz (interface), Düğümden düğüme ankraj (node-to-node anchor), Kuyu (well), Drenaj (drain) ve Yeraltı suyu akışı sınır koşulu (groundwater flow boundary condition) atanabilir. Düğümden düğüme ankraj (node-to-node anchor) ve gömülü kiriş sırası (embedded beam row) diğer özelliklerin atanmış olduğu bir çizgiye atanamaz.
- Polygons: Bu özellik Structures modunda zemin kümeleri oluşturmak için kullanılabilir.

- Loads: Yükleler geometrik objelere atanabilen özelliklerden olup mevcut objeyi sağ tıklayarak ve beliren menüde ilgili seçeneği seçerek atanabilir. Point load ve line load olmak üzere farklı şekillerde uygulanabilmektedir (Şekil 12).

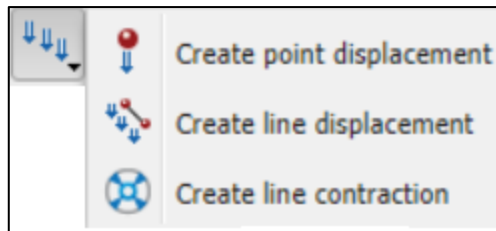


Şekil 12. Yükle menüsü

Point load: Create a point load butonu kullanılarak bir noktasal yük oluşturulabilir. Bir noktasal yük düzlem dışı yönde genişlik birimi başına kuvvet birimi cinsinden ifade edilir (kN/m). Noktasal yüklerin varsayılan değeri negatif y yönünde ifade edilir.

Line load: Create a line load butonu kullanılarak bir yayılı yük oluşturulabilir. Bir yayılı yük düzlem dışı uzunluk başına uzunluk başına kuvvet birimi cinsinden ifade edilir (kN/m/m). Dağıtılmış bir yükün varsayılan değeri, negatif y yönünde bir birimdir. Yayılı yüklerin varsayılan değeri negatif y yönünde ifade edilir.

- Prescribed displacements: Belirli konumlardaki yer değiştirmeleri kontrol etmek için model üzerinde uygulanabilen özel durumlardır. Seçili objenin sağa tıklanılıp ve açılan menüde ilgili seçeneğin seçilmesiyle mevcut geometrik objelere atanabilmektedir. Point displacement, line displacement ve line contraction olmak üzere farklı şekillerde uygulanabilmektedir (Şekil 13).



Şekil 13. Yer değiştirme menüsü

Point displacement: Create point displacement butonu kullanılarak noktasal yer değiştirme oluşturulur. Varsayılan noktasal öngörülen yer değiştirme x yönünde serbest olup y yönünde öngörölmüş -1 birimlik bir değere sahiptir.

Line displacement: Create line displacement butonu kullanılarak yayılı öngörülen yer değiştirme oluşturulur. Varsayılan yayılı öngörülen yer değiştirme x yönünde serbest olup y yönünde öngörülmüş -1 birimlik bir değere sahiptir.

Line contraction: Bir tünel kaplaması etrafındaki alan kaybını simüle etmek veya genel olarak bir hatta daralma uygulamak için kullanılabilir.

- Fixed-end anchor: Sabit uçlu ankraj, bir taraftan yapıya bağlanıp diğer taraftan dünyaya sabitlenmiş olan bir noktasal elemandır. Sabit uçlu ankrajlar, basitleştirilmiş bir şekilde kazık-zemin etkileşimini hesaba katmadan kazıkların simüle edilmesi için kullanılabilir. Ayrıca sabit uçlu ankrajlar istinat duvarlarını desteklemek için kullanılan ankraj ve dayanakları simüle etmek için de kullanılabilir. Sabit uçlu bir ankraj döndürülmüş bir T harfi (-) olarak görselleştirilir. Görselleşen T harfinin uzunluğu keyfi olup belirli bir fiziksel anlamı yoktur.
- Node-to-node anchor: Bahsedilen ankraj türü sabit yay sertliğine (normal sertlik) sahip iki düğümlü elastik bir yay elemandır. Bu eleman hem çekme kuvvetlerine (ankrajlar için) hem de basınç kuvvetlerine (payandalar için) maruz kalabilmektedir.
- Plate: Aslında kiriş elemanları olan plakalar, belirgin eğilme rijitliği (veya bükülme rijitliği) ve normal rijitliğe sahip zemindeki ince yapıları modellemek için kullanılan yapısal elemanlardır. Plakalar, z yönünde uzanan duvarların, plakaların, kabukların veya kaplamaların etkisini simüle etmek için kullanılabilir.
- Geogrid: Geogridler aksel rijitliğe sahip olup eğilme rijitliğine sahip olmayan ince yapılardır. Bu elemanlar yalnızca çekme kuvvetlerine dayanmakta olup sıkıştırmaya neden olmaz. Geogridler genellikle zemin donatılarını modellemek için kullanılmaktadır.
- Embedded beam row: Kazıkların, kaya bulonlarının ve zemin ankrajlarının etrafındaki gerilim durumu ve deformasyon modeli tamamen üç boyutlu olduğundan, bu tür yapıların iki boyutlu modelde gerçekçi bir şekilde modellenmesi imkansızdır. İki boyutlu gömülü kiriş elemanı, iki boyutlu düzlem dışı yöndeki bir dizi kazık, kaya bulonları veya zemin ankrajlarıyla başa çıkmak için basitleştirilmiş bir yaklaşımdır.

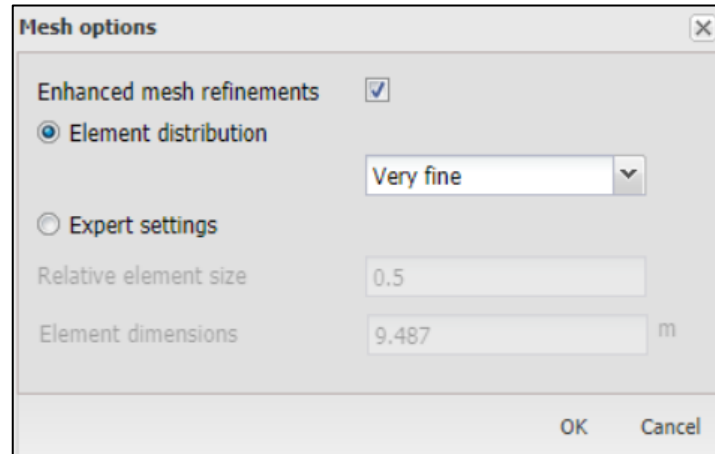
- Interface: Arayüzler, zemin-yapı etkileşiminin uygun bir şekilde modellenmesine olanak sağlamak için plakalara veya geogridlere eklenen bağlantı elemanlarıdır. Örneğin bir plaka ile çevreleyen zemin arasındaki bağlantıda yoğun olarak kesilen malzemenin ince bölgesini simüle etmek için kullanılabilir. Arayüzler, plaka veya geogrid elemanların yanında veya iki zemin hacmi arasında oluşturulabilir.

Programda ilgili modelleme aşaması tamamlandıktan sonra hesap adımlarına geçiş yapılmaktadır. Hesap adımlarında modellenen yapı Şekil 14'te yeşil renkle belirtildiği üzere Mesh, Flow conditions ve Staged construction aşamalarına tabii olur.



Şekil 14. Plaxis 2D hesap aşamaları

Mesh: Geometrik modelleme aşaması tamamlandığında sonlu eleman hesaplamalarını gerçekleştirebilmek için model geometrinin sonlu elemanlara bölünmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlardan oluşan bir bileşim Mesh olarak adlandırılmaktadır. Mesh oluşumu bahsedilen mesh modundan oluşturulmaktadır. Mesh ayarı menüsü Şekil 15'te gösterilmiştir.



Şekil 15. Mesh menüsü

Mesh elemanlarının dağılımı very fine, fine, medium, coarse, very coarse seçeneklerine sahiptir. Meshi ince seçeneklere (coarse seçeneğinden very fine seçeneğine doğru) yaklaştırmak daha doğru analiz sonuçları elde etmemizi sağlarken öte yandan aşırı

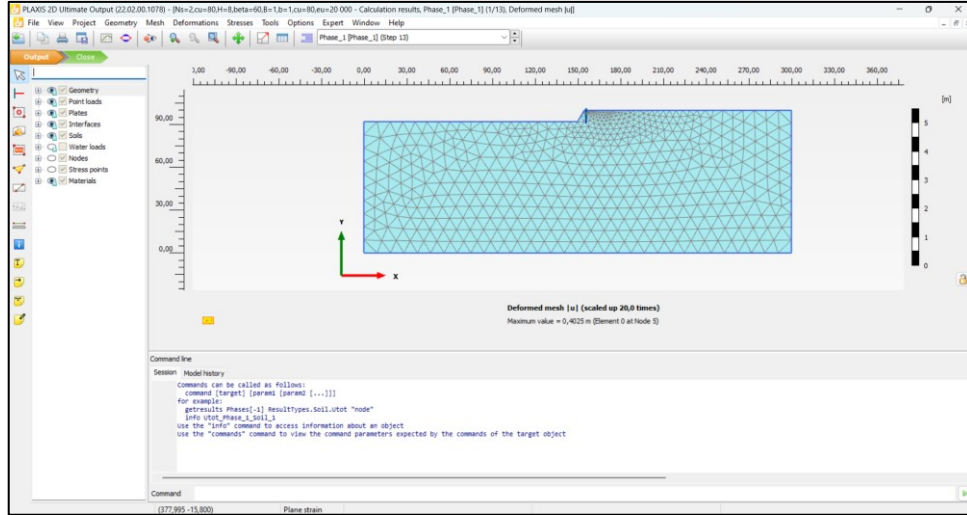
hesaplama süresine de yol açabilmektedir. Mesh ayarlarındaki Expert settings kısmından mesh elemanının boyutu ve mesafesi de ayarlanabilmektedir.

Flow conditions: Bu modda, Soil modunda tanımlanan su koşullarından üretilen su seviyelerinin yanı sıra kullanıcı su seviyeleri de tanımlanıp değiştirilebilmektedir.

Staged construction: Proje, Staged construction modunda hesaplanmaktadır. Bu modda geometri modelinin parçaları etkinleştirilebilir/devre dışı bırakılabilir ve özellikler değiştirilebilmektedir. Staged construction başlığı altında gerçekleştirilebilen analiz çeşitlerinden bazıları aşağıda belirtilmiştir.

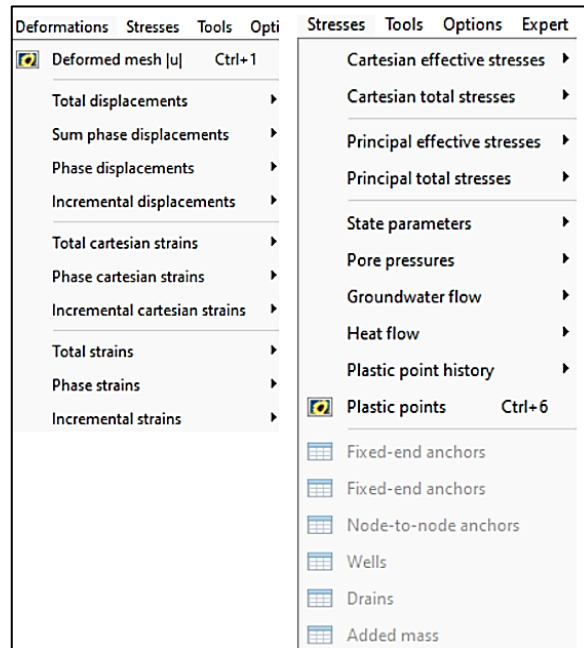
- Plastic analysis: Boşluk suyu basıncının zamanla değişiminin hesaba katılmasının gerekli olmadığı elastik-plastik deformasyon analizlerinin gerçekleştirilmesi için kullanılmaktadır. Bu tür analizlerin çoğu pratik geoteknik uygulamalar için uygundur.
- Consolidation analysis: Genellikle zamanın bir fonksiyonu olarak doymuş kil tipi zemindeki aşırı boşluk suyu basınçlarının gelişimini ve dağılımını analiz etmek gerektiğinde uygulanan bir analiz türüdür.
- Safety analysis: Global güvenlik faktörlerini hesaplamak için kullanılan bir analiz türüdür.
- Dynamic analysis: Zemindeki gerilim dalgaları ve titreşimlerin dikkate alınması gerektiğinde kullanılmaktadır.
- Fully coupled flow-deformation analysis: Hidrolik sınır koşullarının zamana bağlı değişikliklerinin bir sonucu olarak doymuş ve kısmen doymuş zeminlerdeki deformasyonların ve boşluk suyu basınçlarının eşzamanlı gelişimini analiz etmek gerektiğinde uygulanan bir analiz türüdür.

Analiz sonucundaki hesap çıktıları elde etmek için Output menüsü kullanılır. Output menüsünde sonlu elemanlar analizinin sonuçlarını görüntülemek için View calculation results butonu kullanılır. Açılan görüntüleme sayfasındaki sekmelerden analiz sonuçlarına ilişkin birçok çıktıya erişilebilir (Şekil 16). Yer değiştirmeler ve gerilmeler sonlu elemanlar hesaplamasının ana çıktı büyüklükleridir.



Şekil 16. Output menüsü

Deformations sekmesinde Total displacements, Phase displacements, Incremental displacements, Total cartesian strains, Phase cartesian strains, Incremental cartesian strains, Total strains, Phase strains ve Incremental strains çıktıları elde edilebilirken Stresses sekmesinden Cartesian effective stresses, Cartesian total stresses, Principal effective stresses, Principal total stresses, Initial conditions, State parameters, Pore pressures, Groundwater flow ve Heat flow çıktıları elde edilir (Şekil 17).



Şekil 17. Deformations ve stresses sekmeleri

1.5. SPSS Programı ve Regrasyon Analizi

SPSS, kelime açılımı olarak ‘Sosyal Bilimler İstatistik Paketi’ anlamına gelmekle birlikte verilerin işlenmesi, analiz edilmesi ve sunulması için kullanılan etkili bir yazılım programıdır. SPSS programı özellikle psikoloji, sosyoloji, psikiyatri ve diğer davranış bilimlerindeki araştırmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Landau & Everitt., 2004). Bahsi geçen araştırmaların amacına uygun olarak kullanılan yaygın istatistiksel analizler SPSS programı kullanılarak yapılabilmektedir. Bu analizlerden bazıları aşağıda belirtilmiştir (Puteh & Ong., 2017):

- Sürekli olarak hedeflenen bir değişkene yönelik iki ilgili grup arasındaki belirgin farklılıkları incelemek.
- İki den fazla karşılaştırma grubu arasında sürekli hedeflenen bir değişkene yönelik belirgin farklılıkları ölçmek.
- İki den fazla karşılaştırma grubu arasında birden fazla sürekli hedeflenen değişkene yönelik belirgin farklılıkları ölçmek.
- İki sürekli ilgili değişken arasındaki belirgin iki değişkenli ilişkiyi belirlemek.
- Bir sürekli bağımlı değişkenle eşleştirilmiş bir dizi bağımsız değişken arasındaki neden-sonuç ilişkisini incelemek.
- Bir dizi bağımsız değişkenlerinin bir kategorik bağımlı değişkenle eşleştirilmiş bir kategorik bağımsız değişkeni içerdiği bir dizi bağımsız değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini incelemek.
- Bağımsız değişkenler kümesinin, bir kategorik bağımlı değişkenle eşleştirilmiş kategorik bir değişkeni içermediği bir dizi değişken arasındaki neden-sonuç ilişkisini incelemek.
- Teorileri doğrulamak veya reddetmek öncelikli olmak üzere, bir dizi bağımsız ve bağımlı değişken arasındaki neden-sonuç ilişkisini incelemek.
- Teorileri keşfetmeye öncelik vererek bir dizi bağımsız ve bağımlı değişken arasındaki neden-sonuç ilişkisini incelemek.
- Ortak varyansı paylaşan değişkenlerin yapısını iyileştirmek veya yeniden yapılandırmak veya doğrulamak.

SPSS programını kullanırken veri çeşitliliğinin geniş olması durumu göz önünde bulundurularak, veri analizi ve yorumlama yapılırken aşağıda belirtilen durumlara oldukça dikkat edilmelidir (URL-4).

Veri temizliği ve hazırlık evresi: SPSS programı kullanılırken, verilerin analizine başlamadan önce veri temizliği aşamasının atlanmaması önemli bir husustur. Verilerdeki eksik, hata ve uygunsuzlukların düzeltilip, verilerin analiz için uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Veri setindeki değişkenlerin tanımlanması ve kodlanmasına da verilerin hazırlık sürecinde dikkat edilmelidir.

Uygun istatistiksel analiz yönteminin belirlenmesi: Analiz etmek istenilen soruya en uygun istatistiksel analiz yöntemi seçmek oldukça önemlidir. Araştırma sorularına ve veri tipine göre seçilen analiz yöntemi değişkenlik gösterebilmektedir. Örneğin, değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek için korelasyon analizi, gruplar arasındaki farkları belirlemek için t-testi veya ANOVA gibi farklı analiz yöntemleri kullanılabilir. Uygun analiz yöntemini belirlemek, sonuçların doğru bir şekilde yorumlanması açısından yardımcı olmaktadır.

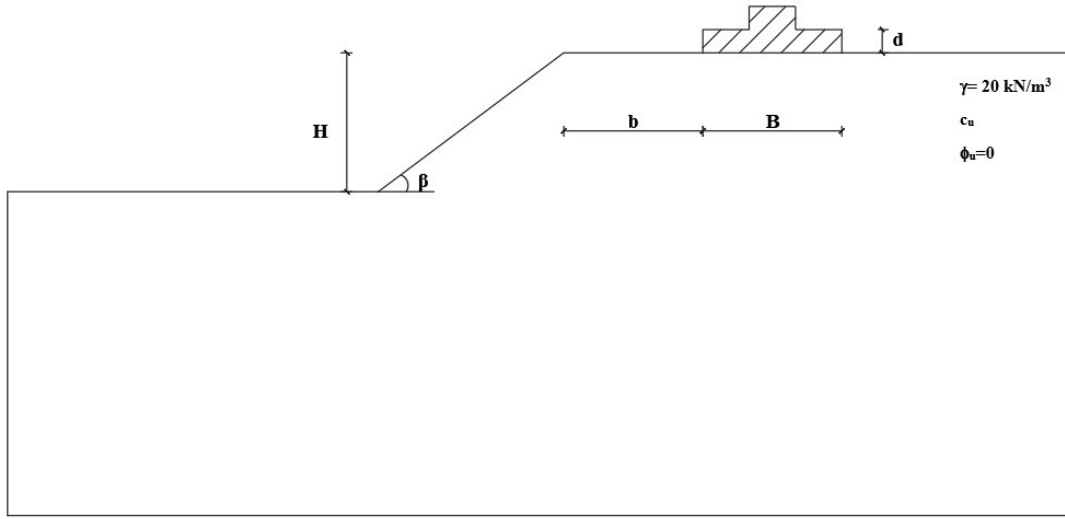
Analiz sonuçlarının istatistiksel anlamlılığının yorumlanması: Analizler sonucunda elde edilen sonuçları doğru bir şekilde yorumlamak araştırmaya anlam kazandırıp geçerlilik durumunu belirlemek yüksek derecede önemlidir. İstatistiksel anlamlılığın belirlenmesinde p-değerleri, güven aralıkları ve etki büyüklüğü dikkatlice değerlendirilmelidir. Araştırma soruları ve hipotezi elde edilen sonuçlar doğrultusunda yorumlanarak analizlerin anlam ilişkisi belirlenebilmektedir.

Test önerileri: SPSS kullanırken araştırmanın kalitesini artırabilmek için bazı önemli test önerilerine dikkat edilmelidir. Örneklem büyüklüğünü dikkatlice belirlemeli ve istatistiksel gücün hesaplanması bu konudaki ilk adım olmalıdır. Örneklem büyüklüğünün yeterli olması, elde edilen sonuçların genelleştirilebilmesini ve güvenilirliğini arttırmaktadır. SPSS’de kullanılan istatistiksel analiz yöntemlerindeki varsayımların göz önüne bulundurulması da oldukça önemlidir. Varsayımların karşılanmadığı durumlarda, alternatif analiz yöntemleri veya düzeltici işlemler uygulanarak elde edilen sonuçların yorumlanması doğru bir şekilde yapılmalıdır.

Elde edilen sonuçlarının görsel olarak sunulması: SPSS programı grafikler, tablolar ve görsel sunumlar oluşturmak için çeşitli seçenekler sunmaktadır. Bu seçenekler kullanarak veri analiz sonuçlarının görsel hale getirilmesi, araştırmanın etkin bir şekilde sunumu sağlayıp sonuçların anlaşılmasını da daha kolay hale getirebilmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında, kohezyonlu şevli zemine inşa edilen şerit bir temelin nihai taşıma gücü ve taşıma gücü katsayısının, zemin ve şev özelliklerini içeren parametrelere göre değişimi incelenmiştir. Literatürde yer alan, şevler üzerine yapılan ilk çalışma olarak bilinen Meyerhof (1957)'un şevli zeminler üzerine inşa edilen şerit temelin nihai taşıma kapasitesi ile ilgili yaptığı çalışma, bu tez çalışmasıyla geliştirilmesi ve karşılaştırılması amaçlanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemine dayanan Plaxis 2D programıyla 588 adet model oluşturulup analizler yapılmıştır. Modellemelerde nihai taşıma gücünü etkileyen bağımsız değişken parametrelerden; drenajsız kayma mukavemeti (c_u), zeminin birim hacim ağırlığı (γ), şev eğimi (β), temel kalınlığı (d), temel genişliği (B), şev yüksekliği (H), temelin şev kret noktasına uzaklığı (b) kullanılmıştır. Kullanılan bu parametrelerin görselleştirmiş hali Şekil 19'da verilmiştir.



Şekil 19. Nümerik modellerde kullanılan değişkenler

Meyerhof (1957)'in geliştirdiği teoriye göre şevli kohezyonlu zemin bölgelerinde taşıma gücü temel genişliğinden bağımsız olup ($\phi_u=0$ durumu olduğu için) Bağntı (8) kullanılarak hesap edilmektedir. Bu sebeple yapılan tez çalışmasında temel genişliği; $B=1\text{m}$ olarak sabit kabul edilip analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Meyerhof'un kohezyonlu zeminler için Bağntı (9)'da tanımladığı şev stabilite katsayısının (N_s)

analizlerde $N_s=1$, $N_s=2$ ve $N_s=4$ değerleri kullanılarak N_s katsayısı yardımıyla şev yüksekliğinin taşıma gücüne etkisi irdelenmiştir.

Analizler, temelin zemin yüzeyinde olması (temel derinliği $D_f=0$ m) durumunda gerçekleştirilmiş olup Şekil 19’da belirtilen parametrelerden; kohezyonlu zeminin birim hacim ağırlığı $\gamma=20$ kN/m³ kabul edilmiş, şev eğimi için $\beta=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$; zeminin drenajsız kayma mukavemeti değeri için $c_u=20, 40, 80$ ve 150 kPa, temelin şev kretine olan uzaklığı içinse $b=0, 0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6$ değerleri kullanılmıştır.

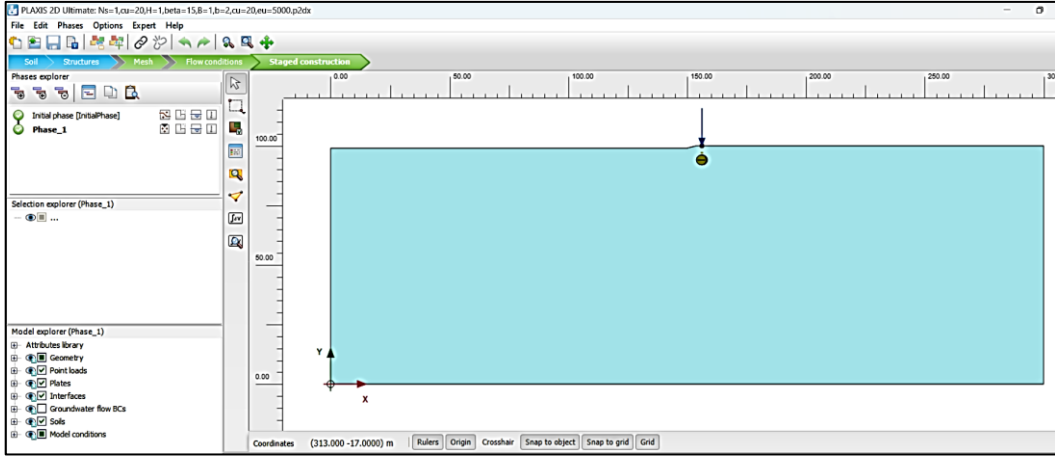
Analizlerin modellenmesi yapılırken model türü plane-strain ve element tipi 15-Noded olarak seçilmiştir. Zemin malzeme özelliklerinde drenaj tipi seçeneklerinden Undrained (C) ve malzeme analiz modellerinden Mohr-Coulomb analiz modeli seçilmiştir. Zemin suya doygün olarak kabul edilmiştir. Zeminin drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerine göre değişen Elastisite modülü (E_u) değerleri literatürdeki kaynaklardan seçilmiş ve Tablo 5’te verilmiştir (Sivrikaya, 2021).

Tablo 5. Zeminin drenajsız kayma mukavemeti ve elastisite modülü

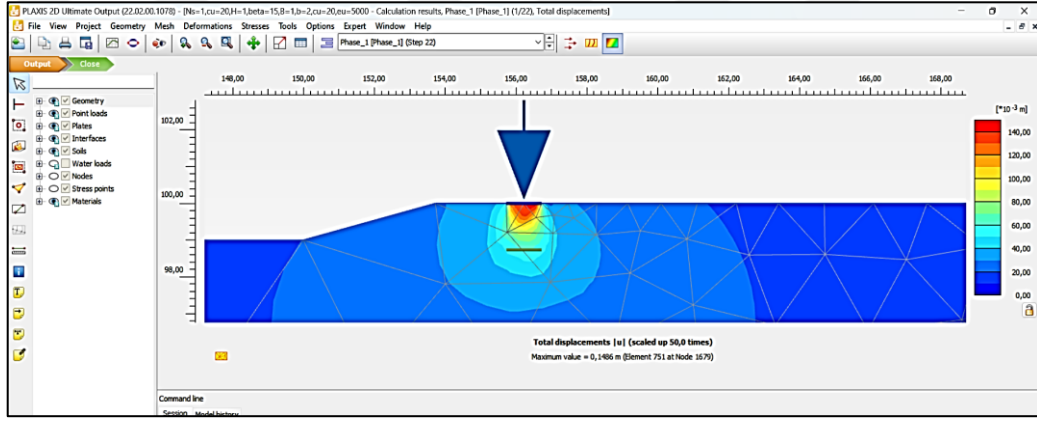
c_u (kPa)	20	40	80	150
E_u (kPa)	5 000	10 000	20 000	37 500

Modelde oluşturulan şerit temel rijit olarak kabul edilip plate eleman olarak seçilmiştir. Şerit temelin malzeme tipi elastik malzeme ve izotropik olduğu kabul edilmiştir. Temelin rijitlik özelliklerinden eksenel rijitlik (EA) değeri $EA=30 \times 10^6$ kN/m, eğilme rijitlik (EI) değeri ise $EI=2.5 \times 10^6$ kNm²/m olarak seçilmiştir. Tasarlanan şerit temelin genişliği $B=1$ m, temel kalınlığı $d=1$ m, temelin ağırlığıysa (w) ihmal edilip rijit bir betonarme malzemeden oluştuğu varsayılarak poisson oranı $\nu=0.2$ olarak seçilmiştir. Yük aktarımında yükleme tipi Point Load olarak seçilip temelin orta noktasından etki ettirilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

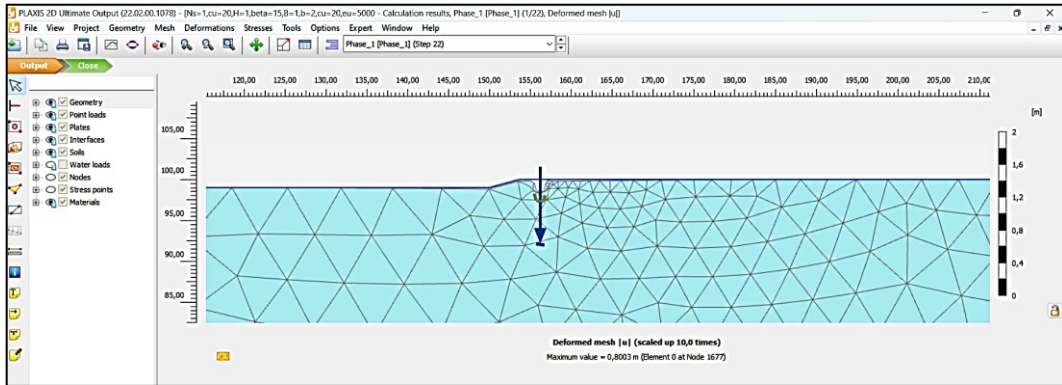
Analizler gerçekleştirilirken yüzey temelin şevli kohezyonlu zeminde taşıma gücünü hesaplamak için Initial Phase ayarından Gravity Loading, hesaplama tipi olarak Plastic seçeneği seçilmiştir. Plaxis 2D programında gerçekleştirilen analizlerden bazı örnekleri Şekil 20-21 ve 22’de verilmiştir.



Şekil 20. $N_s=1$, $c_u=20$, $b=2$ ve $\beta=15$ durumunda analiz öncesi görünüm



Şekil 21. $N_s=1$, $c_u=20$, $b=2$ ve $\beta=15$ durumunda toplam yer değiştirme



Şekil 22. $N_s=1$, $c_u=20$, $b=2$ ve $\beta=15$ durumunda deformasyon modeli

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan tez çalışmasında, şevli kohezyonlu bir zemin üzerinde yer alan şerit temelin taşıma gücü için analizler gerçekleştirilmiş olup farklı bağımsız değişkenlerin nihai taşıma gücü (q_u) dolayısıyla da taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Burada taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) durumu ele alınmıştır.

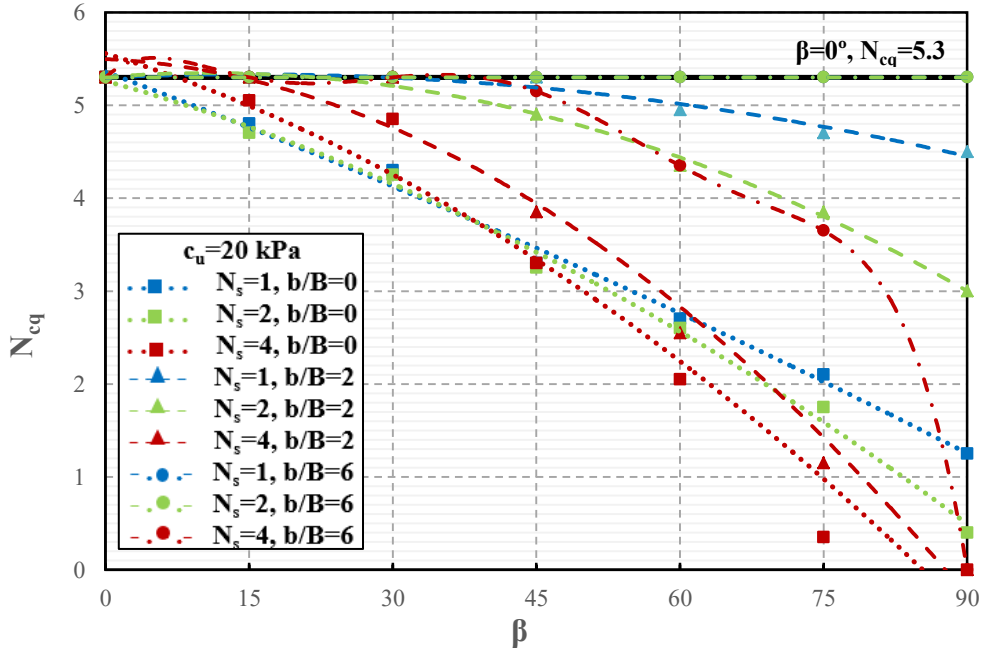
3.1. N_s Katsayısının Taşıma Gücüne Etkisi

Şev stabilite katsayısı (N_s), analiz kapsamında $N_s=1$, $N_s=2$ ve $N_s=4$ olarak seçilmiştir. Bu değerlerin Bağıntı (9) kullanılarak farklı drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerine sahip zeminler üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Zeminin birim hacim ağırlığı sabit iken ($\gamma=20 \text{ kN/m}^3$) $b/B=0$, $b/B=2$ ve $b/B=6$ durumları için Bağıntı (8) kullanılarak N_{cq} değerinin değişim sonuçları elde edilmiştir. Grafikteki veri sonuçlarını genel olarak özetlenecek olunursa, N_s değerinin artışının taşıma gücü katsayısı üzerinde olumsuz etki yarattığı görülmektedir.

Şekil 23'te verilen grafikte $c_u=20 \text{ kPa}$ ve $b/B=0$ iken eğilim çizgisine göre $\beta=0^\circ$ 'de; $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq}\cong 5.4$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq}\cong 5.3$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq}\cong 5.5$ maksimum değerine sahip olup yaklaşık $N_{cq}\cong 5.3$ civarında olduğu belirlenmiştir. Bu durum beklenen bir sonuçtur. $\beta=0^\circ$ 'den $\beta=90^\circ$ 'den doğru şev eğiminin artışında N_{cq} değerlerinin azalışa geçtiği, $\beta\cong 40^\circ$ 'ye kadar N_s değerlerinin farkının etkili olmadığı, $\beta\cong 40^\circ$ için $N_{cq}\cong 3.7$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta>40^\circ$ 'de birbirinden uzaklaşarak $N_s=1$ için olan değerler $N_s=2$ 'deki değerleri, $N_s=2$ için olan değerler ise $N_s=4$ 'teki değerleri geçmiştir. N_s değeri arttıkça N_{cq} değerinin azaldığı görülmüştür.

$\beta=0^\circ$ ve $b/B=2$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq}\cong 5.3$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq}\cong 5.3$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq}\cong 5.5$ olup maksimum değerine sahip olmaktadır. $\beta=0^\circ$ 'den $\beta=90^\circ$ 'ye doğru şev eğiminin artışında N_{cq} değerlerinin azalışa geçtiği, $\beta\cong 15^\circ$ 'de iken tüm N_s değerlerinin çakışıp $N_{cq}\cong 5.3$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta>15^\circ$ 'de birbirinden uzaklaşarak azalışa geçmiş olan N_{cq} değerlerinden $N_s=1$ için olan değerler $N_s=2$ 'yi, $N_s=2$ için olan değerler ise $N_s=4$ 'ü geçmiştir.

$b/B=6$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ ve $N_s=2$ durumlarında taşıma gücü katsayısı $N_{cq} \cong 5.3$ te sabit olup şev açısı değiştikçe durumdan etkilenmemektedir. $N_s=4$ durumunda ise taşıma gücü katsayısının $\beta \cong 45^\circ$ 'ye kadar $N_{cq} \cong 5.3$ değerinde sabit gözükürken, $\beta > 45^\circ$ 'den sonra azalışa geçmiştir.



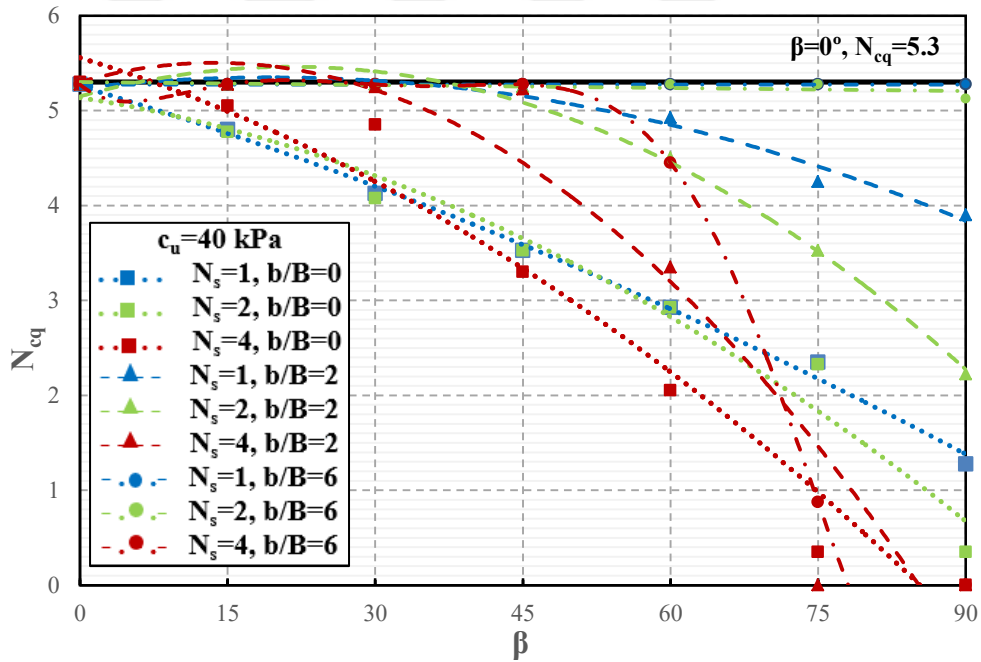
Şekil 23. N_s değerlerine göre $c_u=20$ kPa iken N_{cq} değişimi

Şekil 24'te verilen grafikte $c_u=40$ kPa ve $b/B=0$ iken eğilim çizgisine göre $\beta=0^\circ$ 'de; $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq} \cong 5.2$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq} \cong 5.1$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq} \cong 5.6$ maksimum değerine sahip olmaktadır. $\beta=0^\circ$ 'den $\beta=90^\circ$ 'ye doğru şev eğiminin artışıyla N_{cq} değerlerinin azalışa geçtiği görülmektedir. $N_s=1$ ve $N_s=2$ değerleri $\beta \cong 7^\circ$ ve $\beta \cong 53^\circ$ iken çakışmakta olup sırasıyla $N_{cq} \cong 5$ ve $N_{cq} \cong 3.3$ değerlerini almaktadır. $\beta \cong 7^\circ$ ile $\beta \cong 53^\circ$ arasında $N_s=2$ için elde edilen N_{cq} değerleri $N_s=1$ 'i geçerken $\beta \geq 53^\circ$ 'den sonra $N_s=1$ 'in sahip olduğu N_{cq} değerleri $N_s=2$ 'den daha yüksek çıkmıştır. $N_s=1$ ve $N_s=4$ değerleri $\beta \cong 33^\circ$ 'de çakışmakta olup $N_{cq} \cong 4$ değerini almaktadır. $\beta > 33^\circ$ 'den sonra $N_s=1$ 'in sahip olduğu N_{cq} değerleri $N_s=4$ 'ten daha yüksek çıkmıştır. $N_s=2$ ve $N_s=4$ değerleri $\beta \cong 25^\circ$ 'de çakışmakta olup $N_{cq} \cong 4.5$ değerini almaktadır. $\beta > 25^\circ$ 'den sonra $N_s=2$ 'nin sahip olduğu N_{cq} değerleri $N_s=4$ 'ten daha yüksek çıkmıştır.

$\beta=0^\circ$ ve $b/B=2$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq} \cong 5.2$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq} \cong 5.1$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq} \cong 5.3$ maksimum değerine

sahip olmaktadır. $N_s=1$ ve $N_s=2$ değerleri $\beta \cong 7^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq} \cong 5.3$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta \cong 7^\circ$ ve $\beta \cong 40^\circ$ arasında $N_s=2$ değerlerinin $N_s=1$ değerlerini geçtiği, $\beta \cong 40^\circ$ 'de tekrar çakıştıkları görülmüştür. $\beta > 40^\circ$ 'den sonra N_{cq} değerlerinde azalışın meydana geldiği $N_s=1$ için olan değerlerin $N_s=2$ için olan değerleri geçtiği görülmüştür. $N_s=2$ ve $N_s=4$ 'te taşıma gücü katsayı değerlerinin $\beta \cong 20^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq} \cong 5.5$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta > 20^\circ$ 'den sonra $N_s=2$ değerlerinin $N_s=4$ değerlerini geçtiği görülmüştür. $N_s=1$ ve $N_s=4$ değerlerinin $\beta \cong 25^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq} \cong 5.3$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta > 25^\circ$ 'den sonra $N_s=1$ değerlerinin $N_s=4$ değerlerini geçtiği görülmüştür.

$b/B=6$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ ve $N_s=2$ durumlarında taşıma gücü katsayısı $N_{cq} \cong 5.28$ 'de sabit olup, şev açısı ve N_s durumu değişiminden etkilenmemektedir. $N_s=4$ durumunda ise taşıma gücü katsayısı $\beta \cong 45^\circ$ 'ye kadar $N_{cq} \cong 5.3$ değerinde sabit gözükürken, $\beta > 45^\circ$ 'den sonra azalışa geçmiştir.



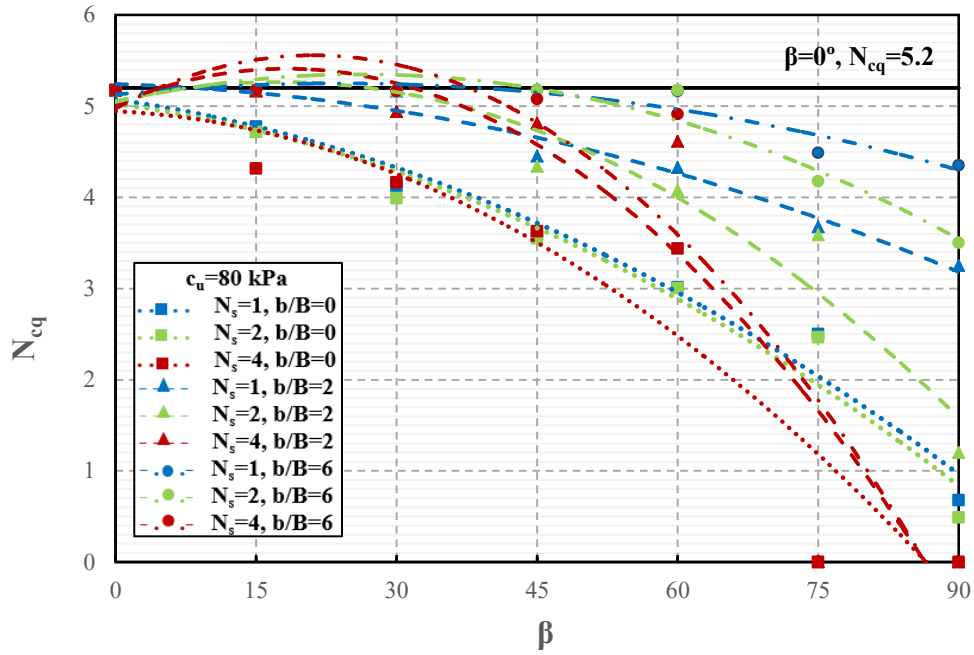
Şekil 24. N_s değerlerine göre $c_u=40$ kPa iken N_{cq} değişimi

Şekil 25'te verilen grafikte $c_u=80$ kPa ve $b/B=0$ iken eğilim çizgisine göre $\beta=0^\circ$ 'de; $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq} \cong 5.1$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq} \cong 5.1$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq} \cong 4.9$ maksimum değerine sahip olmaktadır. $\beta=0^\circ$ 'den $\beta=90^\circ$ 'den doğru şev eğiminin artışıyla N_{cq} değerlerinin azalışa geçtiği, $\beta \leq 30^\circ$ 'de tüm N_s değerlerinin birbirlerine oldukça yakın N_{cq} değerleri aldığı görülmektedir. $\beta > 30^\circ$ 'de azalışa geçmiş olan

N_{cq} değerlerinden $N_s=1$ için olan değerler $N_s=2$ 'yi, $N_s=2$ için olan değerler ise $N_s=4$ 'ü geçmiştir.

$\beta=0^\circ$ ve $b/B=2$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq}\cong 5.2$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq}\cong 5.1$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq}\cong 5$ maksimum değerine sahip olmaktadır. $N_s=1$ ve $N_s=2$ durumunda taşıma gücü katsayısı değerleri $\beta\cong 10^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq}\cong 5.2$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta\cong 10^\circ$ ve $\beta\cong 47^\circ$ arasında $N_s=2$ değerlerinin $N_s=1$ değerlerini geçtiği, $\beta\cong 47^\circ$ 'de tekrar çakıştıkları görülmüştür. $\beta>47^\circ$ 'de N_{cq} değerlerinde azalışın meydana geldiği $N_s=1$ için olan değerlerin $N_s=2$ için olan değerleri geçtiği görülmüştür. $N_s=1$ ve $N_s=4$ değerleri $\beta\cong 6^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq}\cong 5.2$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta\cong 6^\circ$ ve $\beta\cong 43^\circ$ arasında $N_s=4$ değerlerinin $N_s=1$ değerlerini geçtiği, $\beta\cong 43^\circ$ 'de tekrar çakıştıkları görülmüştür. $\beta>43^\circ$ 'de N_{cq} değerlerinde azalışın meydana geldiği $N_s=1$ için olan değerlerin $N_s=4$ için olan değerleri geçtiği görülmüştür. $N_s=2$ ve $N_s=4$ 'te taşıma gücü katsayısı değerlerinin $\beta\cong 1^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq}\cong 5.1$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta\cong 1^\circ$ 'den sonra $N_s=4$ değerlerinin $N_s=2$ değerlerini geçtiği görülmüştür. $\beta\cong 1^\circ$ ve $\beta\cong 38^\circ$ arasında $N_s=4$ değerlerinin $N_s=2$ değerlerini geçtiği, $\beta\cong 38^\circ$ 'de tekrar çakıştıkları görülmüştür. $\beta>38^\circ$ 'de N_{cq} değerlerinde azalışın meydana geldiği $N_s=2$ için olan değerlerin $N_s=4$ için olan değerleri geçtiği görülmüştür.

$b/B=6$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ ve $N_s=2$ durumları için $\beta\cong 15^\circ$ ile $\beta\cong 55^\circ$ arasında taşıma gücü katsayılarının birbirine oldukça yakın değerlere sahip olup $N_{cq}\cong 5.3$ 'tür. $\beta>55^\circ$ 'de $N_s=1$ değerlerinin $N_s=2$ için olan değerleri geçtiği görülmektedir. $N_s=4$ 'ün sahip olduğu değerler $\beta\cong 25^\circ$ 'ye kadar artış göstermekte olup bu değerden sonra azalışa geçerek devam edip $N_s=1$ ve $N_s=2$ değerleriyle $\beta\cong 38^\circ$ 'de çakışmaktadır.



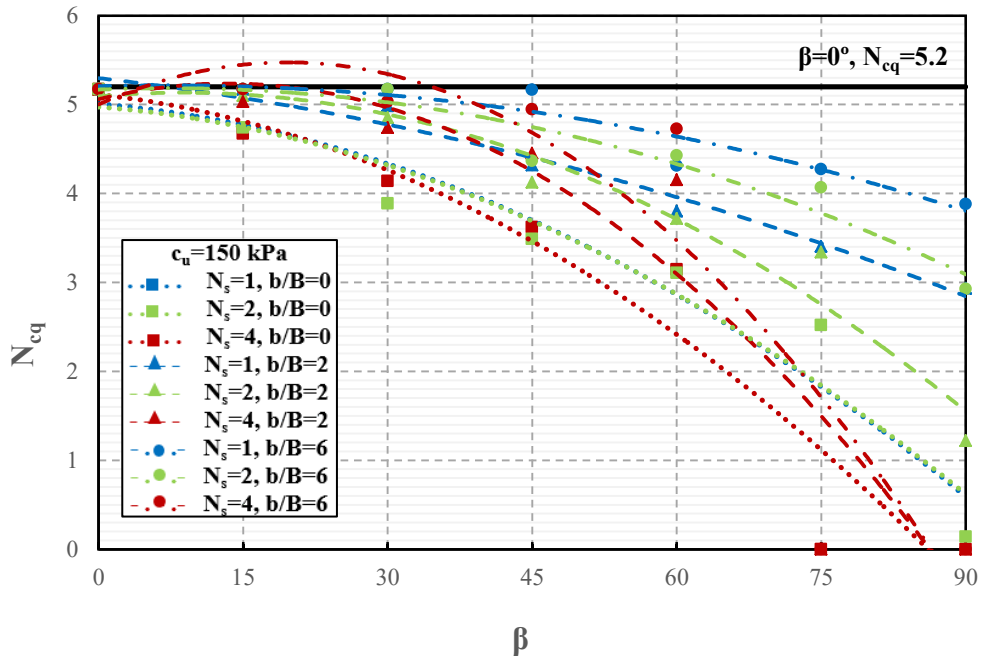
Şekil 25. N_s değerlerine göre $c_u=80$ kPa iken N_{cq} değişimi

Şekil 26'de verilen grafikte $c_u=150$ kPa ve $b/B=0$ iken eğilim çizgisine göre $\beta=0^\circ$ 'de; $N_s=1$ ve $N_s=2$ 'nin eğilim çizgilerinin çakıştığı görülmüştür. $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq} \cong 5$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq} \cong 5$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq} \cong 5.1$ maksimum değerine sahip olmaktadır. $\beta=0^\circ$ 'den $\beta=90^\circ$ 'ye doğru şev eğiminin artışıyla N_{cq} değerlerinin azalışa geçtiği, $\beta \cong 15^\circ$ ile $\beta \cong 30^\circ$ arasında iken tüm N_s değerlerinin birbirlerine oldukça yakın N_{cq} değerleri aldığı görülmektedir.

$\beta=0^\circ$ ve $b/B=2$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ durumunda taşıma gücü katsayısı $N_{cq} \cong 5.3$, $N_s=2$ durumunda $N_{cq} \cong 5.1$ ve $N_s=4$ durumunda $N_{cq} \cong 5.1$ maksimum değerine sahip olmaktadır. $N_s=1$ ve $N_s=2$ değerleri $\beta \cong 10^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq} \cong 5.1$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta \cong 10^\circ$ ve $\beta \cong 46^\circ$ arasında $N_s=2$ değerlerinin $N_s=1$ değerlerini geçtiği, $\beta \cong 46^\circ$ 'de tekrar çakıştıkları görülmüştür. $\beta > 46^\circ$ 'de N_{cq} değerlerinde azalışın meydana geldiği $N_s=1$ için olan değerlerin $N_s=2$ için olan değerleri geçtiği görülmüştür. $N_s=1$ ve $N_s=4$ değerleri $\beta \cong 6^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq} \cong 5.2$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta \cong 6^\circ$ ve $\beta \cong 40^\circ$ arasında $N_s=4$ değerlerinin $N_s=1$ değerlerini geçtiği, $\beta \cong 40^\circ$ 'de tekrar çakıştıkları görülmüştür. $\beta > 40^\circ$ 'de N_{cq} değerlerinde azalışın meydana geldiği $N_s=1$ için olan değerlerin $N_s=4$ için olan değerleri geçtiği görülmüştür. $N_s=2$ ve $N_s=4$ değerlerinin $\beta \cong 0^\circ$ 'de çakışıp $N_{cq} \cong 5.1$ değerini aldığı görülmektedir. $\beta \cong 0^\circ$ ve $\beta \cong 36^\circ$ arasında $N_s=4$ değerlerinin $N_s=2$ değerlerini geçtiği, $\beta \cong 36^\circ$ 'de tekrar çakıştıkları görülmüştür. $\beta > 36^\circ$ 'den sonra N_{cq}

değerlerinde azalışın meydana geldiği $N_s=2$ için olan değerlerin $N_s=4$ için olan değerleri geçtiği görülmüştür.

$b/B=6$ durumunda eğilim çizgisi $N_s=1$ ve $N_s=2$ durumları için $\beta \cong 0^\circ$ ile $\beta \cong 30^\circ$ arasında taşıma gücü katsayılarının birbirine oldukça yakın değerlere sahip olup $N_{cq} \cong 5.3$ 'tür. $\beta=30^\circ$ 'den sonra $N_s=1$ değerlerinin $N_s=2$ için olan değerleri geçtiği görülmektedir. $N_s=4$ 'ün sahip olduğu değerler $\beta \cong 20^\circ$ 'ye kadar artış göstermekte olup bu değerden sonra azalışa geçip $N_s=1$ ve $N_s=2$ değerleriyle $\beta \cong 41^\circ$ 'de çakışmaktadır.



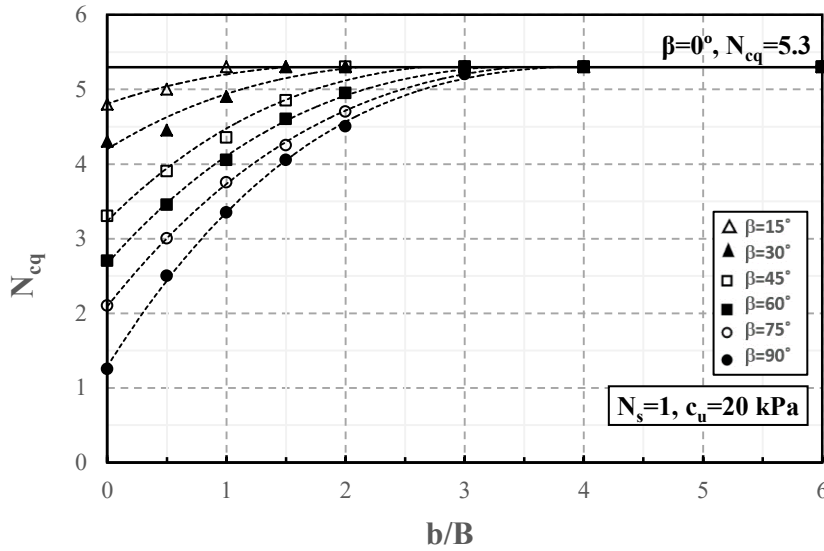
Şekil 26. N_s değerlerine göre $c_u=150$ kPa iken N_{cq} değişimi

3.2. Temelin Şev Kretine Mesafesinin (b) Taşıma Gücüne Etkisi

Temelin şev kretine olan uzaklığı (b), temelin taşıma gücünü ve temel tarafından zemine aktarılabilecek olan yükün dağılımını etkileyen bir parametredir. Bu sebeple temelin şev kretine olan uzaklığının belirlenmesi önemli bir durumdur. İlgili başlık altında temelin taşıma gücü üzerinde incelemeler yapılırken, temelin şev kretine olan uzaklığının (b) temelin genişliğine (B) oranı kullanılarak bu değerlerin taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Analizlerde temelin şev kretine olan uzaklığı için $b=0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4$ ve 6 m değerleri seçilirken, temel genişliği için $B=1$ m olarak seçilmiştir. Dolayısıyla b/B parametresi için $0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4$ ve 6 değerleri kullanılmıştır. Analiz sonuçları aşağıda

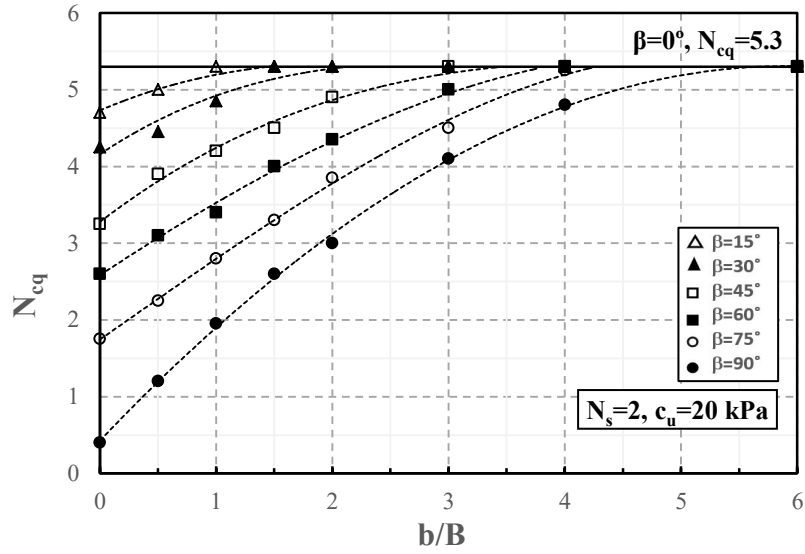
yer alan grafikler üzerinden sunulmuştur. Grafikteki veri sonuçlarını genel olarak özetlenecek olunursa, şev kretinden uzaklaştıkça taşıma gücü katsayısında artışlar meydana gelmekte olup maksimum değere eriştikten sonra bu değerde sabit devam etmektedir.

Şekil 27’de verilen grafikte $N_s=1$ ve $c_u=20$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B ’ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte, taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ ’de $b/B \geq 1$ ’iken, $\beta=30^\circ$ ’de $b/B \geq 1.5$ ’iken, $\beta=45^\circ$ ’de $b/B \geq 2$ ’iken, $\beta \geq 60^\circ$ ’de $b/B \geq 3$ ’iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır.



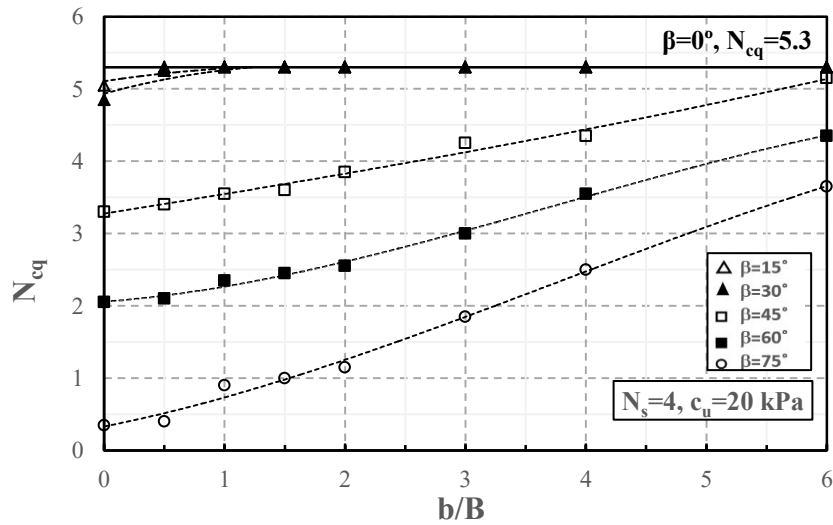
Şekil 27. $N_s=1$ ve $c_u=20$ kPa iken b/B ’ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 28’deki grafikte $N_s=2$ ve $c_u=20$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B ’ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte, taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ ’de $b/B \geq 1.5$ ’iken, $\beta=30^\circ$ ’de $b/B \geq 2$ ’iken, $\beta=45^\circ$ ’de $b/B \geq 3$ ’iken, $\beta=60^\circ$ ve 75° ’de $b/B \geq 4$ ’iken, $\beta=75^\circ$ ’te $b/B \geq 4$ ’iken ve $\beta=90^\circ$ ’de $b/B \geq 6$ ’iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır.



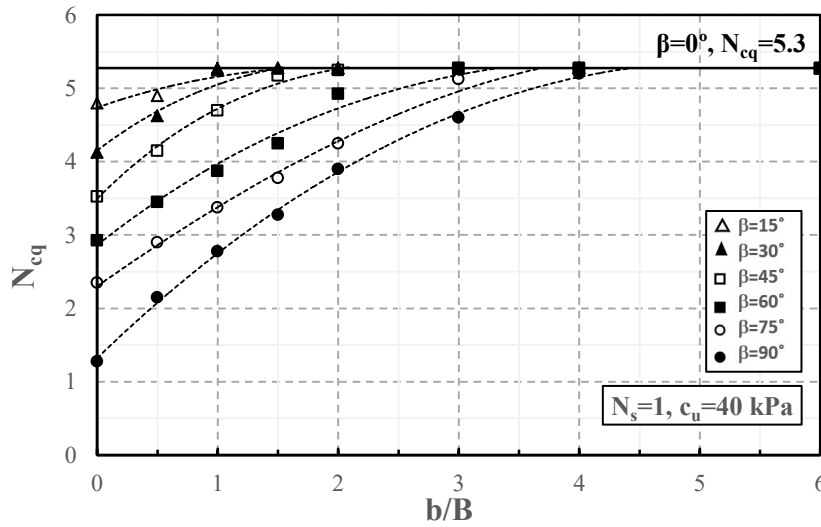
Şekil 28. $N_s=2$ ve $c_u=20$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 29'da verilen grafikte $N_s=4$ ve $c_u=20$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte, taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 0.5$ 'den, $\beta=30^\circ$ 'de ise $b/B \geq 1$ 'den sonra N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısına ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$ ve $\beta=75^\circ$ 'te $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısına erişememektedir. $\beta=90^\circ$ 'de ise şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.



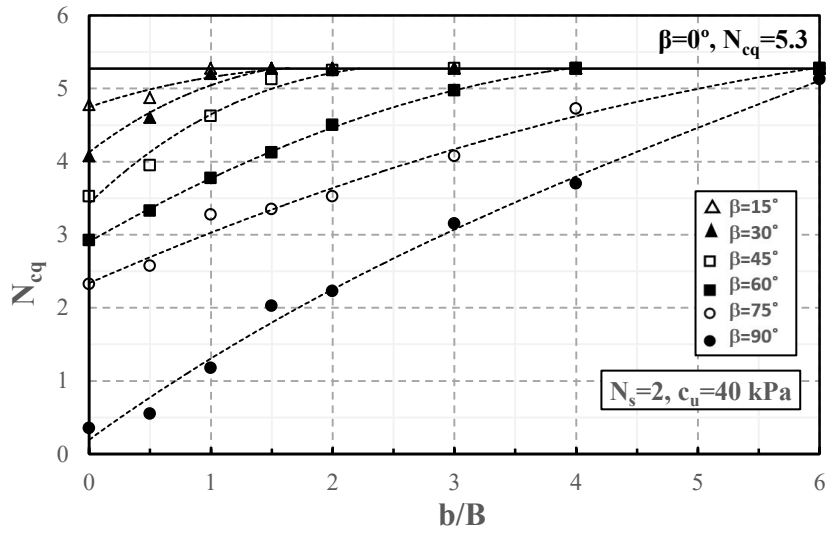
Şekil 29. $N_s=4$ ve $c_u=20$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 30'daki grafikte $N_s=1$ ve $c_u=40$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 1$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/B \geq 1.5$ 'iken, $\beta=45^\circ$ 'de $b/B \geq 2$ 'iken, $\beta=60^\circ$ 'de $b/B \geq 3$ 'iken, $\beta=75^\circ$ 'te $b/B \geq 3.5$ 'iken ve $\beta=90^\circ$ 'de $b/B \geq 4$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır.



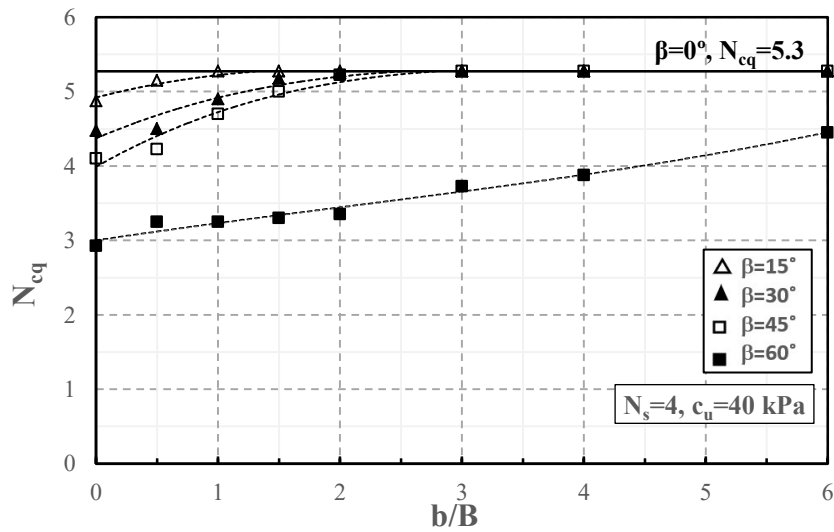
Şekil 30. $N_s=1$ ve $c_u=40$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 31'de verilen grafikte $N_s=2$ ve $c_u=40$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. Diğer açılara göre $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 1$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/B \geq 1.5$ 'iken, $\beta=45^\circ$ 'de $b/B \geq 2$ 'iken ve $\beta=60^\circ$ 'de $b/B \geq 4$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} artış göstermekte olup $b/B=6$ 'da $\beta=75^\circ$ için şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişirken $\beta=90^\circ$ 'de bu değere erişmemektedir.



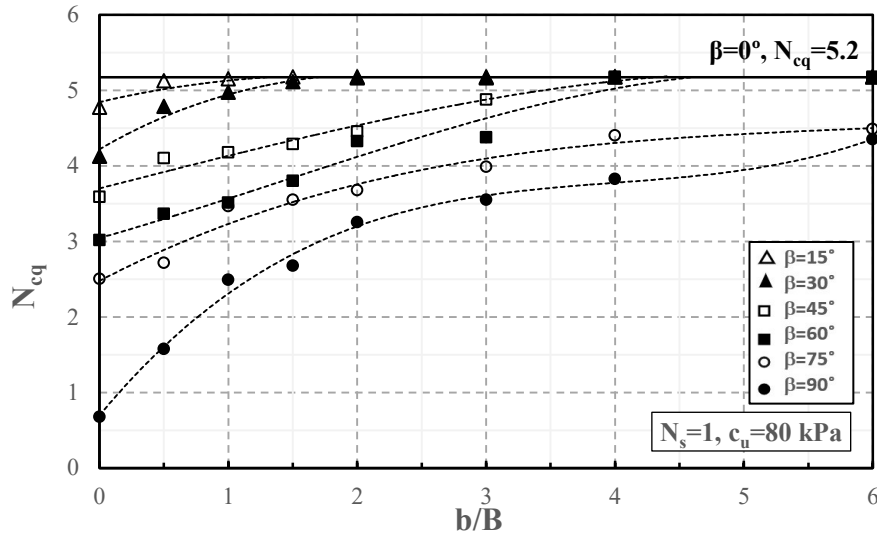
Şekil 31. $N_s=2$ ve $c_u=40$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 32'de verilen grafikte $N_s=4$ ve $c_u=40$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 1$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/B \geq 2$ 'iken ve $\beta=45^\circ$ 'de $b/B \geq 3$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=60^\circ$ 'de $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişememektedir. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.



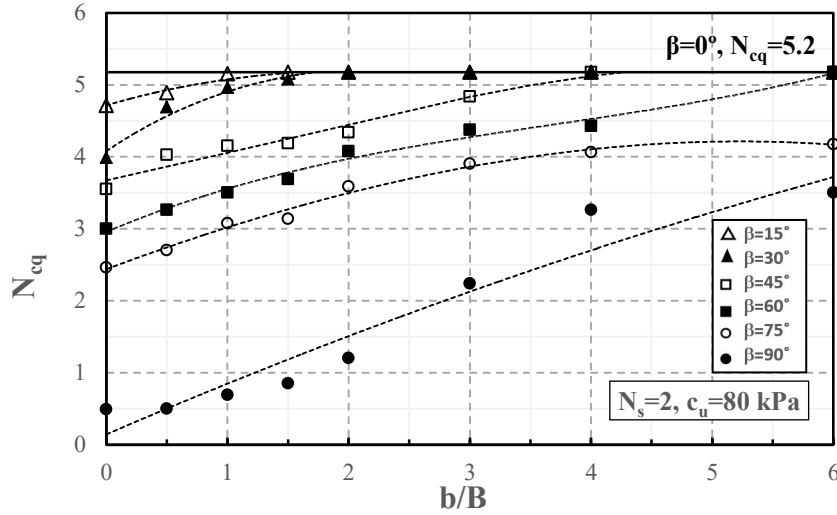
Şekil 32. $N_s=4$ ve $c_u=40$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 33'teki grafikte $N_s=1$ ve $c_u=80$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 1$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/B \geq 1.5$ 'iken ve $\beta=45^\circ$ ' ve $\beta=60^\circ$ 'de $b/B \geq 4$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de N_{cq} değeri $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmemektedir.



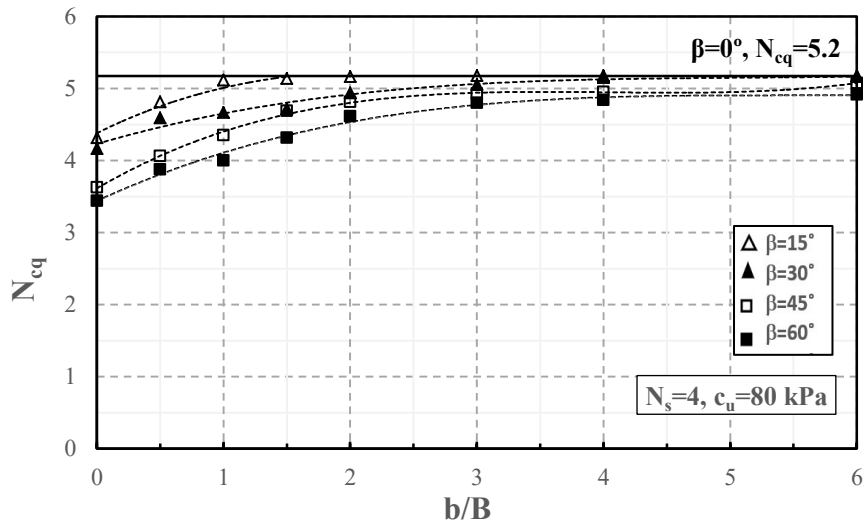
Şekil 33. $N_s=1$ ve $c_u=80$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 34'te verilen grafikte $N_s=2$ ve $c_u=80$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 1.5$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/B \geq 2$ 'iken ve $\beta=45^\circ$ 'de $b/B \geq 4$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=60^\circ$ 'de $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} artış göstermekte olup $b/B=6$ 'da şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişmektedir. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de N_{cq} değeri $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmemektedir.



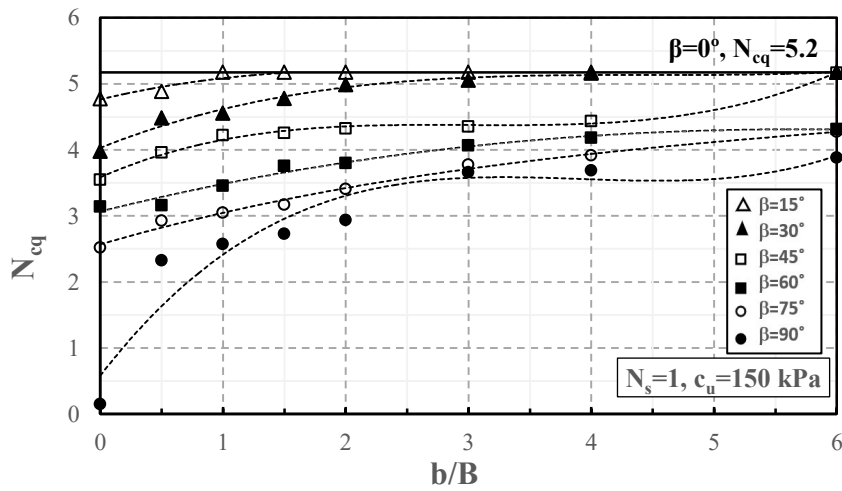
Şekil 34. $N_s=2$ ve $c_u=80$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 35'te verilen grafikte $N_s=4$ ve $c_u=80$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 1.5$ 'iken ve $\beta=30^\circ$ 'de $b/B \geq 4$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=45^\circ$ ve $\beta=60^\circ$ 'de $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişememektedir. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.



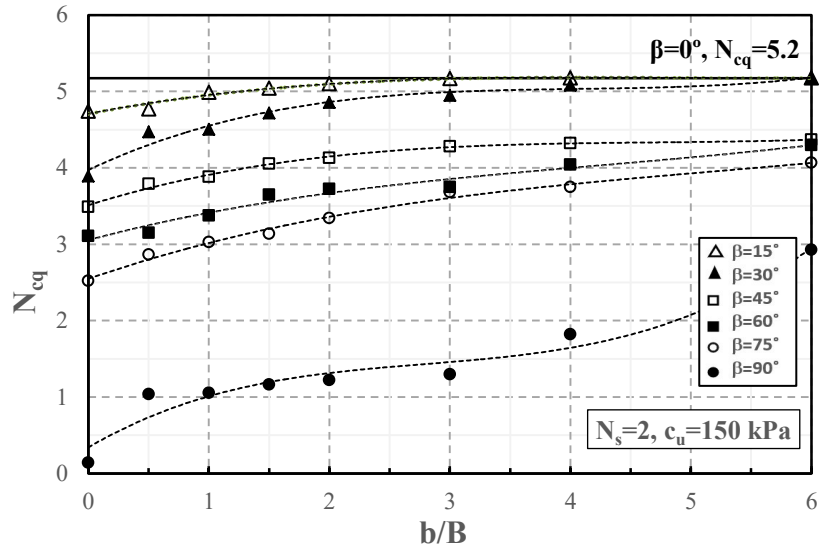
Şekil 35. $N_s=4$ ve $c_u=80$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 36'daki grafikte $N_s=1$ ve $c_u=150$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 1.5$ 'iken ve $\beta=30^\circ$ 'de $b/B \geq 4$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=45^\circ$ ise $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup $b/B=6$ 'da şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmektedir. $\beta=60^\circ$, $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de ise $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmemektedir.



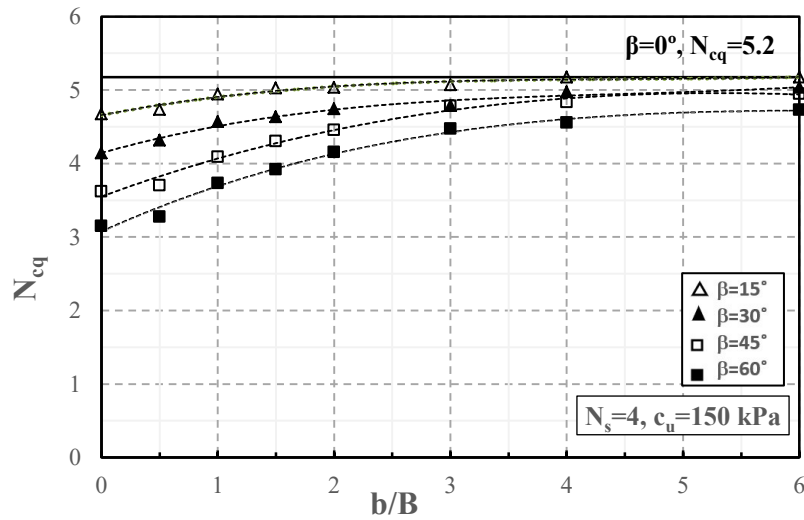
Şekil 36. $N_s=1$ ve $c_u=150$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 37'de verilen grafikte $N_s=2$ ve $c_u=150$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 3$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=30^\circ$ 'de $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup $b/B=6$ 'da şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmektedir. $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$, $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de de $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmemektedir.



Şekil 37. $N_s=2$ ve $c_u=150$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 38'deki grafikte $N_s=4$ ve $c_u=150$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/B 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/B \geq 4$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=30^\circ$, $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$ 'de $b/B=0$ 'dan $b/B=6$ 'ya kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişmemektedir. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de ise şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.

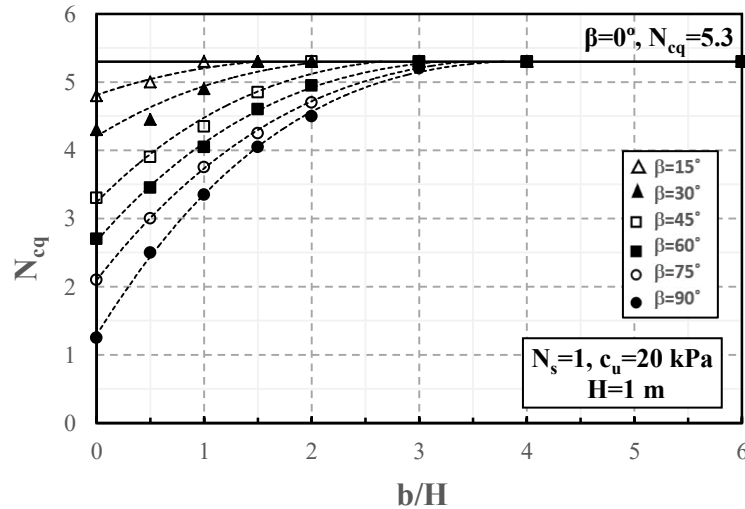


Şekil 38. $N_s=4$ ve $c_u=150$ kPa iken b/B 'ye göre N_{cq} değişimi

3.3. Şev Yüksekliğinin (H) Taşıma Gücüne Etkisi

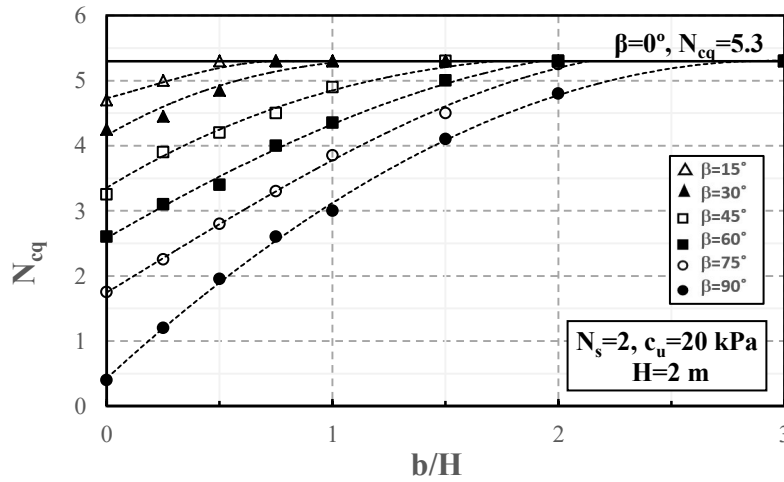
Temelin taşıma gücünü ve temel tarafından zemine aktarılacak olan yükün dağılımını etkileyen parametrelerden birisi de şev yüksekliğidir. Bu nedenle şev yüksekliğinin incelenmesi önemli ve gerekli bir durumdur. İlgili başlık altında temelin taşıma gücü üzerinde incelemeler yapılırken, temelin şev kretine olan uzaklığının (b) şev yüksekliğine (H) oranı (b/H) kullanılarak, bu değerlerin taşıma gücü üzerindeki etkisi incelenmiştir. Temelin şev kretine olan uzaklığı için $b=0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4$ ve 6 m değerleri kullanılmıştır. Şev yükseklikleri (H) içinse $N_s=1$, $N_s=2$ ve $N_s=4$ durumları için Bağıntı (9)'daki N_s bağıntısından H değerleri çekilerek elde edilmiştir. Dolayısıyla b/H parametresi her bir drenajsız kayma mukavemeti (c_u) ve şev stabilite katsayısı (N_s) için farklı değerleri elde edilip grafik üzerine aktarılmıştır. Analiz sonuçları aşağıda yer alan grafikler üzerinden sunulmuştur. Grafikteki veri sonuçlarını kısaca özetlersek temelin şev kretine olan uzaklığının şev yüksekliğine oranı (b/H) arttıkça taşıma gücü katsayısında artışlar meydana gelmekte olup maksimum değere eriştikten itibaren bu değer sabit devam etmektedir.

Şekil 39'da verilen grafikte $N_s=1$ ve $c_u=20$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/H \geq 1$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/H \geq 1.5$ 'iken, $\beta=45^\circ$ 'de $b/H \geq 2$ 'iken, $\beta=60^\circ$, $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de ise $b/H \geq 3$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır.



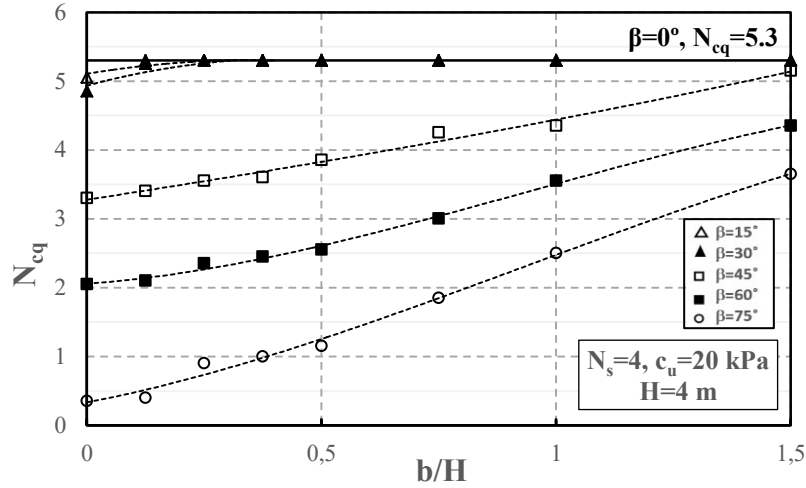
Şekil 39. $N_s=1$ ve $c_u=20$ kPa iken b/H'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 40'daki grafikte $N_s=2$ ve $c_u=20$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/H \geq 0.5$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/H \geq 1$ 'iken, $\beta=45^\circ$ 'de $b/H \geq 1.5$ 'iken, $\beta=60^\circ$ ve $\beta=75^\circ$ 'de $b/H \geq 2$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=90^\circ$ 'de $b/H \leq 6$ 'da N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısına erişmektedir.



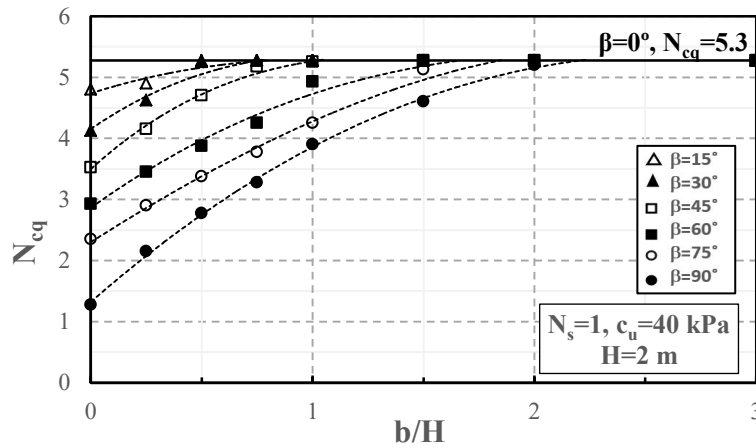
Şekil 40. $N_s=2$ ve $c_u=20$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 41'de verilen grafikte $N_s=4$ ve $c_u=20$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ ve $\beta=30^\circ$ 'de $b/H \geq 0.3$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$ ve $\beta=75^\circ$ 'te $b/H=0$ 'dan $b/H=1.5$ 'e kadar N_{cq} artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişememektedir. $\beta=90^\circ$ 'de ise şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.



Şekil 41. $N_s=4$ ve $c_u=20$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

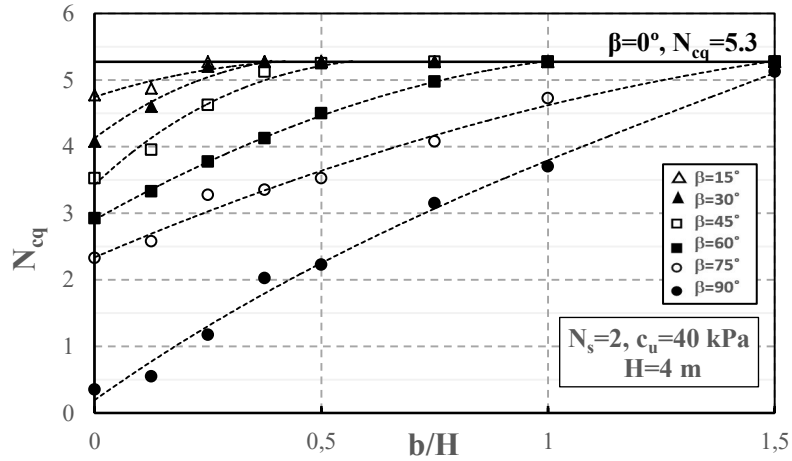
Şekil 42'deki grafikte $N_s=1$ ve $c_u=40$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ ve $\beta=30^\circ$ 'de $b/H \geq 0.8$ 'iken, $\beta=45^\circ$ 'de $b/H \geq 1$ 'iken, $\beta=60^\circ$ 'de $b/H \geq 1.5$ 'iken, $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de $b/H \geq 2$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır.



Şekil 42. $N_s=1$ ve $c_u=40$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

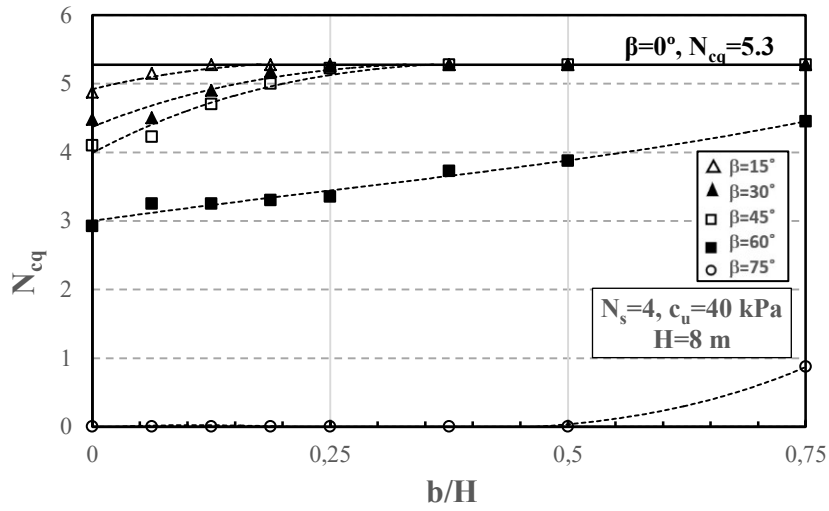
Şekil 43'te verilen grafikte $N_s=2$ ve $c_u=40$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir

değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/H \geq 0.25$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/H \geq 0.4$ 'iken, $\beta=45^\circ$ 'de $b/H \geq 0.5$ 'iken, $\beta=60^\circ$ 'de $b/H \geq 1$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de $b/H=0$ 'dan $b/H=1.5$ 'e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup $b/H=1.5$ 'te $\beta=75^\circ$ şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişirken $\beta=90^\circ$ 'de erişememektedir.



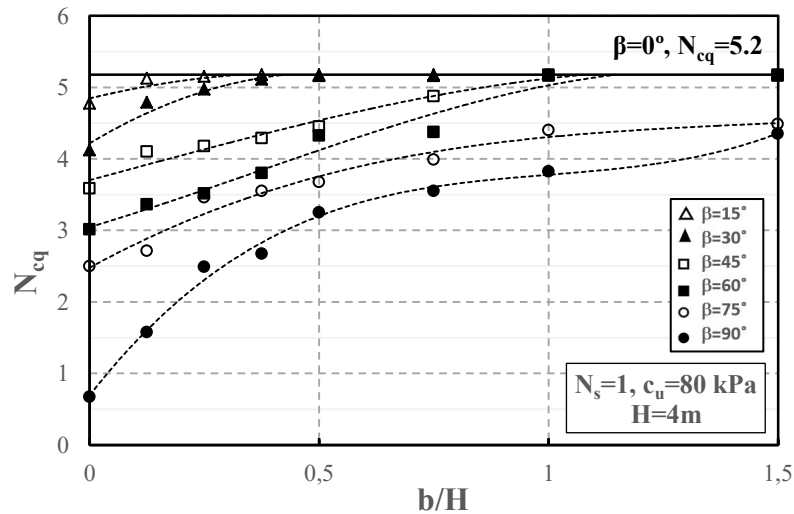
Şekil 43. $N_s=2$ ve $c_u=40$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 44'te verilen grafikte $N_s=4$ ve $c_u=40$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.3$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/H \geq 0.2$ 'iken, $\beta=30^\circ$ ve $\beta=45^\circ$ 'de $b/H \geq 0.25$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.3$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=60^\circ$ ve $\beta=75^\circ$ 'de $b/H=0$ 'dan $b/H=0.75$ 'e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişememektedir. $\beta=90^\circ$ 'de ise şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.



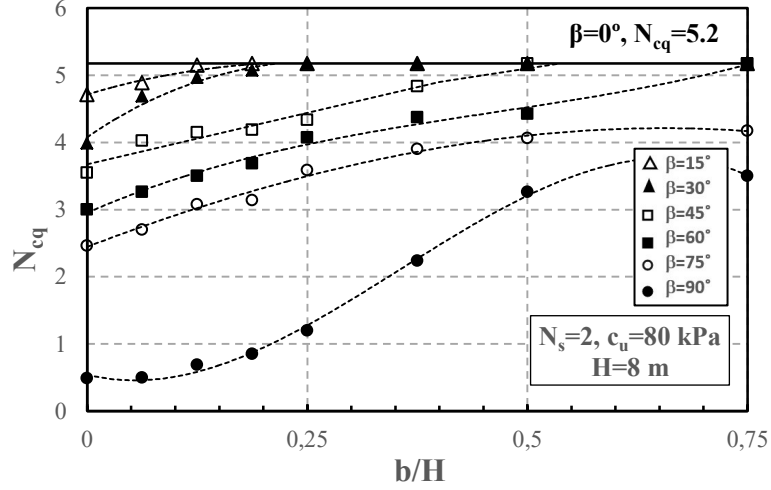
Şekil 44. $N_s=4$ ve $c_u=40$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 45'teki grafikte $N_s=1$ ve $c_u=80$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/H \geq 0.25$ 'iken, $\beta=30^\circ$ 'de $b/H \geq 0.5$ 'iken, $\beta=45^\circ$ ve $\beta=60^\circ$ 'de $b/H \geq 1$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de $b/H=0$ 'dan $b/H=1.5$ 'e kadar N_{cq} artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişememektedir.



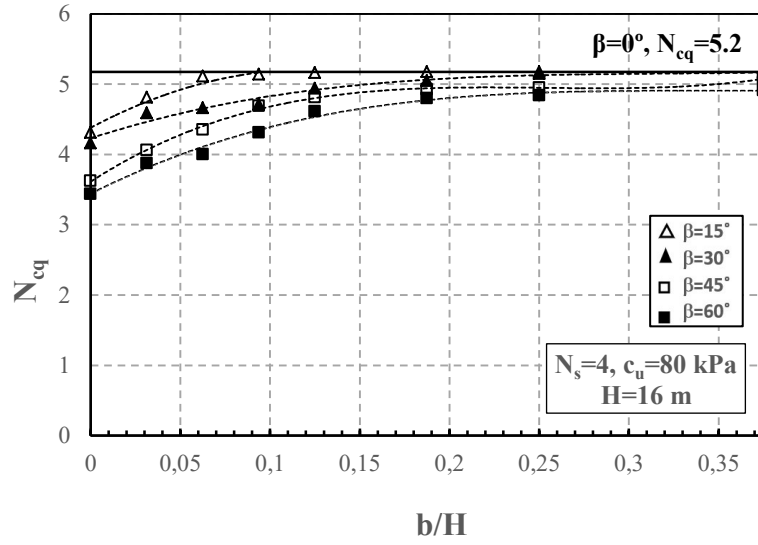
Şekil 45. $N_s=1$ ve $c_u=80$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 46’da verilen grafikte $N_s=2$ ve $c_u=80$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H ’ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ ’de $b/H \geq 0.2$ ’iken, $\beta=30^\circ$ ’de $b/H \geq 0.25$ ’iken, $\beta=45^\circ$ ’de $b/H \geq 0.5$ ’iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=60^\circ$ ’de $b/H=0$ ’dan $b/H=0.75$ ’e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup $b/H \leq 0.75$ ’te şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmektedir. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ ’de $b/H=0$ ’dan $b/H=0.75$ ’e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmemektedir.



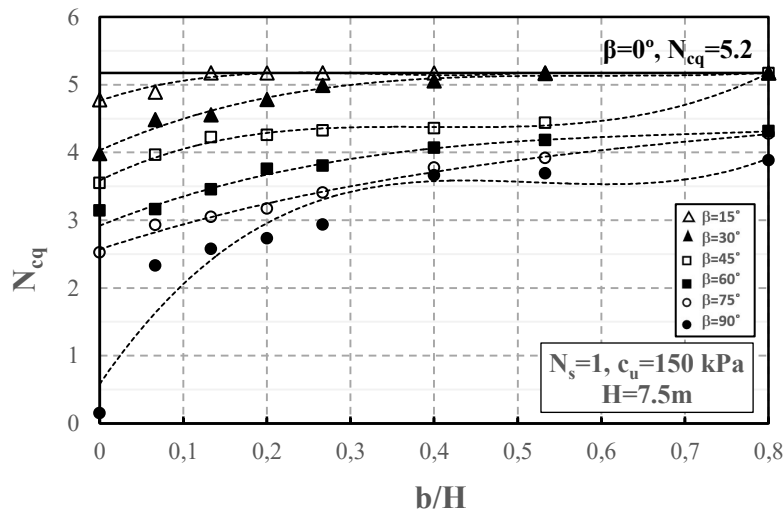
Şekil 46. $N_s=2$ ve $c_u=80$ kPa iken b/H ’ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 47’deki grafikte $N_s=4$ ve $c_u=80$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H ’ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ ’de $b/H \geq 0.13$ ’iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=30^\circ$ ’de $b/H=0$ ’dan $b/H \leq 0.375$ ’e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup $b/H \leq 0.375$ ’te şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmektedir. $\beta=45^\circ$ ve $\beta=60^\circ$ ’de $b/H=0$ ’dan $b/H \leq 0.375$ ’e kadar N_{cq} artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmektedir. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ ’de ise şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.



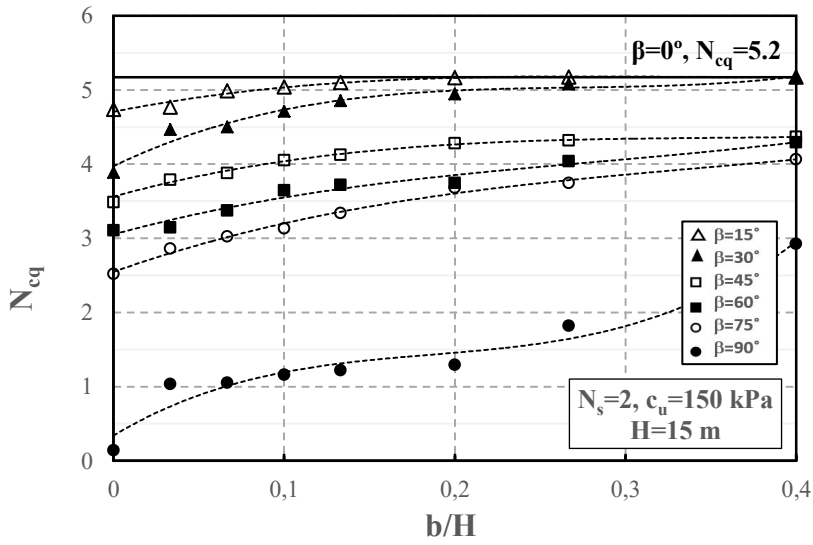
Şekil 47. $N_s=4$ ve $c_u=80$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 48'deki grafikte $N_s=1$ ve $c_u=150$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/H \geq 0.2$ 'iken N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=30^\circ$ ve $\beta=45^\circ$ 'de $b/H=0$ 'dan $b/H \leq 0.8$ 'e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup $b/H \leq 0.8$ 'de şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişmektedir. $\beta=60^\circ$, $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de $b/H=0$ 'dan $b/H \leq 0.8$ 'e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişmemektedir.



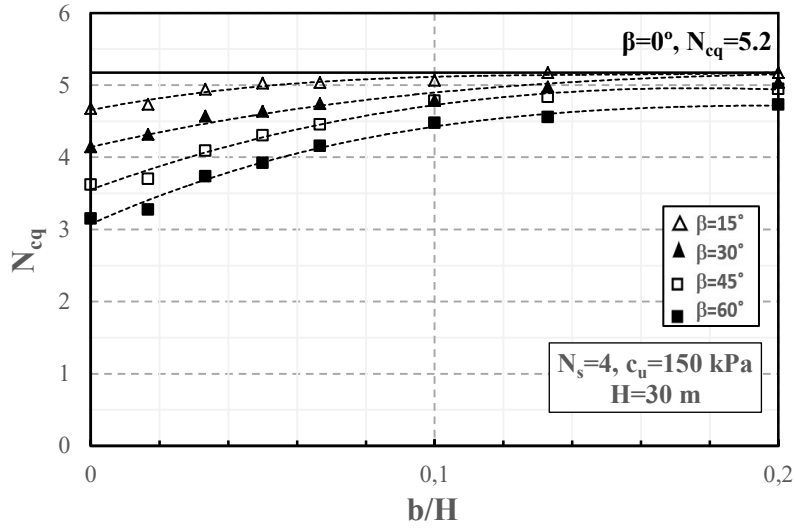
Şekil 48. $N_s=1$ ve $c_u=150$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 49'da verilen grafikte $N_s=2$ ve $c_u=150$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ 'de $b/H \geq 0.2$ 'için N_{cq} değeri şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişip sabit kalmaktadır. $\beta=30^\circ$ 'de $b/H=0$ 'dan $b/H \leq 0.4$ 'e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup $b/H \leq 0.4$ 'te şevin maksimum taşıma katsayı değerine erişmektedir. $\beta=45^\circ$, $\beta=60^\circ$, $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de $b/H=0$ 'dan $b/H \leq 0.4$ 'e kadar N_{cq} değeri artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmemektedir.



Şekil 49. $N_s=2$ ve $c_u=150$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

Şekil 50'deki grafikte $N_s=4$ ve $c_u=150$ kPa iken farklı şev açılarında (β) b/H 'ye göre taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) değişimi gösterilmiştir. $\beta=0^\circ$ durumu şevin olmadığı durumu temsil etmekle birlikte taşıma gücü katsayısı maksimum olup $N_{cq}=5.2$ sabit bir değerdir. $\beta=15^\circ$ ve $\beta=30^\circ$ 'de $b/H \leq 0$ 'dan $b/H \leq 0.2$ 'ye kadar N_{cq} değeri artış gösterip $b/H \leq 0.2$ 'de şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine ($N_{cq}=5.2$) erişmektedir. $\beta=45^\circ$ ve $\beta=60^\circ$ $b/H=0$ 'dan $b/H \leq 0.2$ 'ye kadar N_{cq} artış göstermekte olup şevin maksimum taşıma gücü katsayı değerine erişmemektedir. $\beta=75^\circ$ ve $\beta=90^\circ$ 'de ise şevde göçme durumu gözlenmiş olup herhangi bir veri elde edilememiştir.



Şekil 50. $N_s=4$ ve $c_u=150$ kPa iken b/H 'ye göre N_{cq} değişimi

3.4. Geliştirilen Ampirik Bağıntılar

Plaxis 2D programının kullanımıyla kohezyonlu şevli zemine inşa edilen şerit temel için taşıma gücü katsayısının (N_{cq}) bazı değişken parametreler (b/B , b/H , N_s , β ve c_u) ile değişimi irdelenmiştir. Analiz sonuçlarından bulunan nihai taşıma gücü (q_u) değerleri, kohezyonlu zeminlerdeki şerit temellerin taşıma gücü ifade eden Bağıntı (8) yardımıyla taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) elde edilmiştir. Elde edilen bu taşıma gücü katsayıları için değişken parametreler (b/B , b/H , N_s , β ve c_u) dikkate alınarak SPSS programı ile nonlinear regresyon analizi yapılarak bağıntı geliştirilmiştir. Elde edilen bağıntının performans değerinin belirlenmesini sağlayan determinasyon katsayısı (R^2) değeri belirlenmiştir. Regresyon bağıntılarının determinasyon katsayısının (R^2) 1'e yaklaşması elde edilen bağıntının o kadar tutarlı olduğu anlamını taşımaktadır.

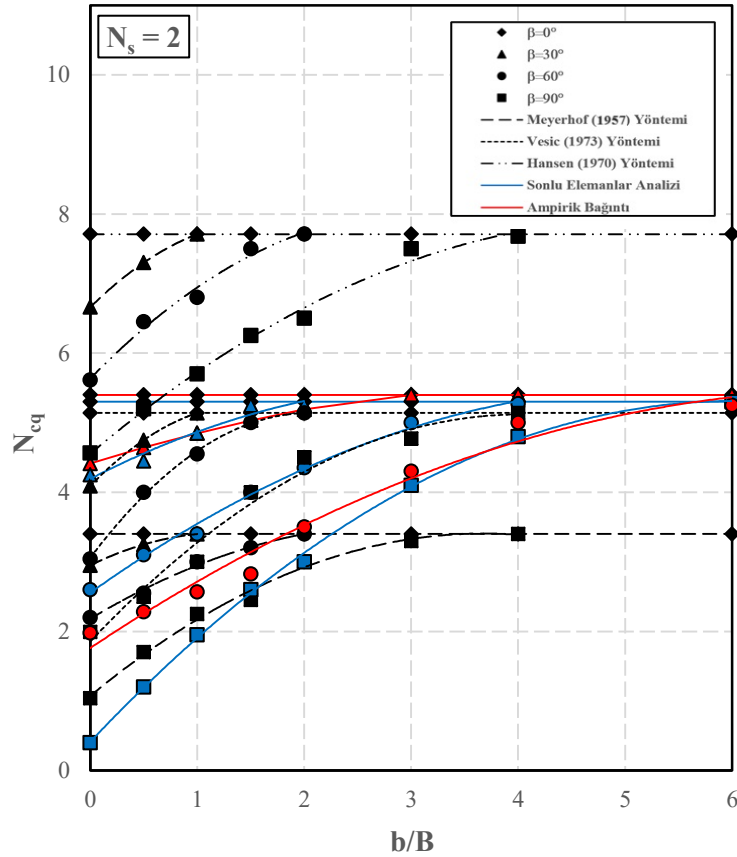
Bağımsız değişken parametrelerin tümü göze alınarak (b/B , b/H , β , N_s ve c_u) $n=588$ adet verinin kullanımıyla, Bağıntı (14)'te yer alan genel taşıma gücü katsayısının ampirik bağıntısı elde edilmiştir. Bağıntının performans değerini gösteren determinasyon katsayısı $R^2=0.88$ olarak bulunmuştur.

$$\begin{aligned}
 N_{cq} = & 4.055 + 0.032\beta + 0.456 \times (b/B) - 0.03 c_u + 0.494 N_s + 0.005 \times \beta \times (b/B) \\
 & - 5.622 \times 10^{-5} \times \beta \times c_u - 0.014 \beta \times N_s - 0.001 \times (b/B) \times c_u - 0.048 \times \\
 & (b/B) \times N_s + 0.001 c_u N_s - 0.001 \times \beta^2 - 0.047 \times (b/B)^2 \\
 & + 1.113 \times 10^{-5} c_u^2 - 0.04 N_s^2
 \end{aligned} \tag{14}$$

3.5. Sonuçların Karşılaştırılması

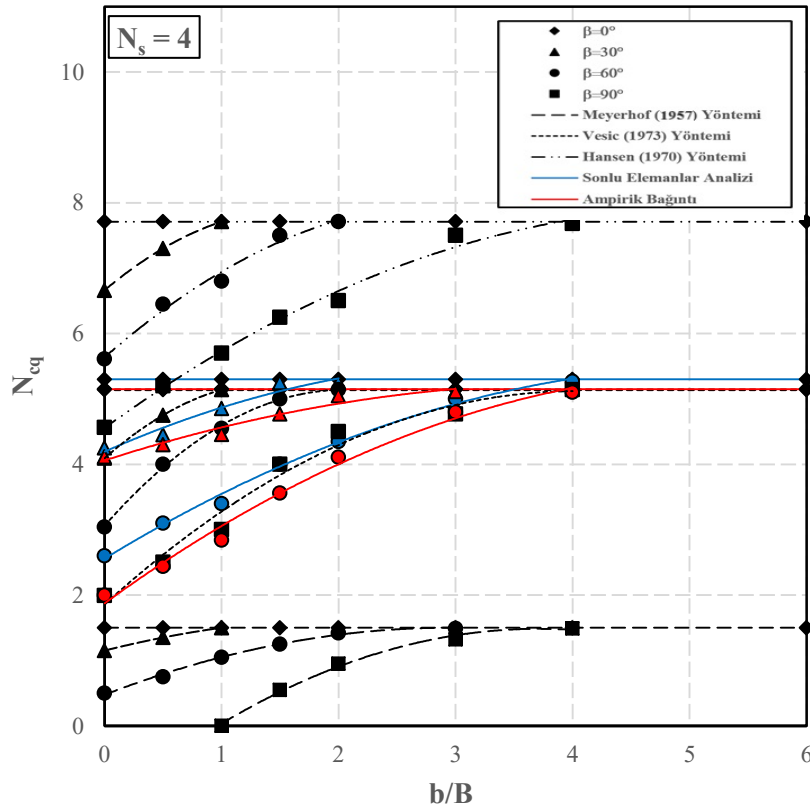
Tez kapsamında sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis 2D paket program ile kohezyonlu şevli zemin tepesine inşa edilen şerit temellerin taşıma gücü elde edilmiştir. Elde edilen taşıma gücü sonuçları ile taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) bağıntısı elde edilmiştir. SPSS programı kullanılarak elde edilen taşıma gücü katsayıları (N_{cq}) için nonlinear regresyon analizi yapılarak ampirik bağıntı geliştirilmiştir.

Yapılan çalışma kapsamında Meyerhof'un (1957) kohezyonlu şevli zeminlere inşa edilen şerit temeller üzerine yapmış olduğu çalışma, Hansen (1970) yöntemi, Vesic (1973) yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak nümerik analizlerden elde edilen veriler ve regresyon analiziyle elde edilen genel ampirik bağıntı, farklı N_s değerlerine göre karşılaştırılması yapılmıştır. Farklı N_s ($N_s=2$ ve $N_s=4$) değerlerine göre Meyerhof (1957) yöntemi, Hansen (1970) yöntemi, Vesic (1973) yöntemi, sonlu elemanlar analiz sonuçları ve elde edilen ampirik bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 51 ve Şekil 52'de verilmiştir.



Şekil 51. $N_s=2$ değerine göre Meyerhof (1957), Hansen (1970), Vesic (1973), sonlu elemanlar analiz sonuçları ve ampirik bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 51'deki $N_s=2$ durumu için karşılaştırma grafiklerinden elde edilen sonuçlara göre, sonlu elemanlar analizi ile ampirik bağıntı sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Buna ek olarak sonlu elemanlar yöntemi ve ampirik bağıntı sonuçları, Vesic (1973) yöntemi ile çok yakın sonuçlar verirken Meyerhof (1957) yöntemi sonuçları ile $b/B \leq 2$ için uyumlu ancak $b/B > 2$ için daha yüksek olduğu, Hansen (1970) yöntemine göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca Meyerhof (1957), Hansen (1970) ve Vesic (1973) yöntemlerine göre farklı şev eğimlerine inşa edilmiş şerit temeller daha düşük b/B oranlarında yatay zemin durumundaki taşıma gücü katsayısı değerine ulaşırken, sonlu elemanlar yöntemine ve elde edilen ampirik bağıntıya göre daha büyük b/B oranında yatay zemin durumundaki taşıma gücü katsayısı değerine ulaşmıştır.



Şekil 52. $N_s=4$ değerine göre Meyerhof (1957), Hansen (1970), Vesic (1973), sonlu elemanlar analiz sonuçları ve ampirik bağıntı sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 52'deki grafik $N_s=4$ için tüm yaklaşımların karşılaştırmasını göstermektedir. Karşılaştırma grafiklerinden elde edilen sonuçlara göre, sonlu elemanlar analizi ile elde edilen ampirik bağıntı sonuçlarının uyumlu olduğu görülmektedir. Buna ek olarak sonlu elemanlar yöntemi ve ampirik bağıntı sonuçları, Vesic (1973) yöntemi ile çok yakın

sonuçlar verirken Meyerhof (1957) yöntemi sonuçlarına göre oldukça yüksek olduğu, Hansen (1970) yöntemine göre daha düşük olduğu görülmektedir. Sonlu elemanlar ve ampirik bağıntıdan elde edilen taşıma gücü katsayısı (N_{cq}), $N_s=2$ durumunda $b/B \geq 6$ iken değişmez olup sabit kalırken $N_s=4$ 'te $b/B \geq 4$ durumunda maksimum taşıma gücü katsayısı değerine erişilmektedir.



4. SONUÇLAR

Tez kapsamında kohezyonlu şevli zemin üzerine inşa edilen şerit bir temelin, şev stabilite katsayısı (N_s), temelin şev kret noktasına olan mesafesi (b), şev eğimi (β), zeminin drenajsız kayma mukavemeti değeri (c_u), şev yüksekliği (H) gibi parametrelerin taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) üzerindeki etkisi 588 adet nümerik modellemeyle analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları için SPSS programı kullanılarak regresyon analizi gerçekleştirilip ampirik bağıntı geliştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Nümerik analizler sonucu, şevli kohezyonlu zeminlerde şerit temellerin taşıma gücü katsayısını (N_{cq}) belirlemek için β , c_u , b/B veya b/H 'ya bağlı abak geliştirilmiştir.
- Şev eğim açısının azalması (b), zeminin drenajsız kayma mukavemeti (c_u) değerinin artması, temelin şev kret noktasından (b) uzaklaşması, şev yüksekliğinin (H) azalması zeminin nihai taşıma gücünü dolayısıyla taşıma gücü katsayısını (N_{cq}) arttırmaktadır.
- Kohezyonlu şevli zemine inşa edilmiş şerit temelde, b/B oranının artması durumunda (şev kret noktasından uzaklaştırdıkça) belli bir mesafeden sonra taşıma gücünün eğimin olmadığı yatay zemin durumundaki temelin nihai taşıma gücü seviyesine erişmektedir. Bu durumdan sonraki durumlarda, şev kret noktasına olan uzaklık ne kadar artırılırsa artırılсын nihai taşıma gücünün değişmeyip sabit kaldığı ve şevin nihai taşıma gücüne etkisinin artık ihmal edilebilir seviye ulaştığı görülmektedir. Aynı durum b/H oranı için de geçerlidir.
- Aynı drenajsız kayma mukavemeti değerindeki zeminlerde, şev stabilite katsayısı (N_s) arttıkça zeminin nihai taşıma gücü dolayısıyla taşıma gücü katsayısı (N_{cq}) azalmaktadır.
- Sonlu elemanlar yöntemi ve geliştirilen ampirik bağıntı sonuçları, Vesic (1973) yöntemi ile çok yakın sonuçlar verirken Meyerhof (1957) yöntemi sonuçlarına göre daha yüksek olduğu, Hansen (1970) yöntemine göre daha düşük olduğu görülmüştür.

5. ÖNERİLER

Şevli zeminler üzerine inşa edilen temellerin nihai taşıma gücü üzerine Meyerhof'un (1957) yapmış olduğu çalışma esas alınarak yüksek lisans tezi kapsamında birçok nümerik analiz yapılmış ve ampirik bağıntı geliştirilmiştir. Bu tez konusunu hakkında çalışma yapmayı isteyebilecek araştırmacılara ve uygulayıcılara iletmek üzere öneriler aşağıda belirtilmiştir:

- Çalışma kapsamında temel türü olarak şerit temel kullanılmış olup farklı temel türleri üzerinde çalışmalar yapıp genişletilebilir.
- Analizler modellemesindeki şerit temelin ağırlığı (w) ihmal edilip kalınlığı (d) 1 metre olarak seçilmiştir. Bunlara ek olarak temel rijit kabul edilip ve yükleme şekli tekil yük olarak uygulanmıştır. Farklı temel ağırlığı ve kalınlık değerleri için analizler gerçekleştirilebilir. Ayrıca esnek temel ve/veya yayılı yük kabulleri yapılarak farklı analizler uygulanabilir.
- Zeminin birim hacim ağırlığı $\gamma=20 \text{ kN/m}^3$ olarak sabit bir değer kabul edilmiş olup, zeminin farklı birim hacim değerleri için araştırmalar genişletilebilir.
- Temelin zemin yüzeyinde olması (temel derinliği $D_f=0 \text{ m}$) durumu kabulüne dayanarak gerçekleştirilen analizler farklı temel derinliği değerleri için uygulanabilir.
- Analizler statik yükler altında gerçekleştirilmiş olup dinamik yüklerin etkisi hakkında çalışmalar yapılabilir.
- İlgili tez çalışmasında sadece kohezyonlu zeminler üzerine çalışılmıştır. Kohezyonsuz zeminler üzerinde de nümerik veya deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Farklı analiz yöntemleri kullanılarak analiz sonuçları karşılaştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Akbay Arama, Z., Akın, M.S., & Çinicioğlu, S. F. (2018). Komşu Zemin Yapılarının Parametrik Analizi “Dolgu-Şev Etkileşimi”. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 23(2), 109-128.
- Akçay, B. (2024). Şevli Kohezyonsuz Zeminlerde Şerit Temellerin Taşıma Gücü. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Akçay, B., & Sivrikaya, O. (2023). The Effect of the Distance of Strip Foundations from the Edge of A Horizontal Top Surface of Slope with Cohesionless Soil on Bearing Capacity. ICEARC, Trabzon, 532-544.
- Buhan, P. and Garnier, D. (1994). Analysis of the Bearing Capacity Reduction of a Foundation Near a Slope by Means of the Yield Design Theory. Revue Française de Géotechnique, 68, 21–32. (in French).
- Buhan P. D. and Garnier D. (1998). The Dimensional Bearing Capacity Analysis of a Foundation Near a Slope, Revue Française de Géotechnique, 38, 153-163.
- Burujerdi, A. R., & Sharahi, M. J. (2019). Bearing Capacity of Footings Near Slopes. ARCE, 1(1), 9-14.
- Casablanca, O., Biondi, G., Cascone, E., & Filippo, G. (2021). Static and Seismic Bearing Capacity of Shallow Strip Foundations on Slopes. Géotechnique, İtalya, 769-783.
- Castelli F. and Motta E. (2010). Bearing Capacity of Strip Footings Near Slopes, Geotechnical and Geological Engineering, 28, 187-198.
- Chen C., Dong W. & Tang Y. (2007). Seismic Ultimate Bearing Capacity of Strip Footings on Slope. Journal of Central South University of Technology 14(5):730-736
- Chen W. F. (1975) Limit Analysis and Soil Plasticity, Elsevier, Amsterdam.
- Çinicioğlu, S. F. (2005). Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. Seminer, İMO İstanbul.
- Das, B.M. (1999). Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement. U.S.A: CRR Press LLC.
- Davis, E.H. and Booker, J.R. (1973). Some Adaptations of Classical Plasticity Theory for Soil Stability Problems, Proceedings of the Symposium on the Role of Plasticity in Soil Mechanics, A.C. Palmer, ed., Cambridge University, Cambridge, UK, 24–41.

- Dey, A., Acharyya R., & Alammyan A. (2021). Bearing Capacity and Failure Mechanism of Shallow Footings on Unreinforced Slopes: A State-of-the-Art Review. *International Journal of Geotechnical Engineering*.
- Farzaneh, O., Askari, F. and Ganjian, N. (2008). Three Dimensional Stability Analysis of Convex Slopes in Plan View, *ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(8), 1192-1200.
- Fish J. & Belytschko T. (2007). *A First Course in Finite Elements*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Gemperline, M. C. (1988). Centrifuge Modeling of Shallow Foundations., In *Proc. ASCE Spring Convention*, 45-70.
- Georgiadis, K. (2008). The Influence of Load Inclination on the Undrained Bearing Capacity of Strip Footings on Slopes, *Computers and Geotechnics*, 37(3), 311-322.
- Georgiadis, K. (2010). Undrained Bearing Capacity of Strip Footings on Slopes. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 2010, 136(5): 677-685.
- Graham, J., Andrews, M., & Shields, D.H. (1987). Stress Characteristics for Shallow Footings in Cohesionless Slopes. *Canadian Geotechnical Journal*, 25, 238-249.
- Hansen, J. B. (1970). A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity.
- Jagota V., Sethi A. P. S., & Kumar K. (2013). Finite Element Method: An Overview, *Walailak J Sci & Tech*, 10(1), 1-8.
- Keser, K. (2023). Tasarım Parametreleri Değişkenliği ile Farklı Hesap Yöntemlerinin Taşıma Gücüne Etkisi. *Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, Tunceli.
- Keskin, M.S., & Laman, M. (2012). Model Studies of Bearing Capacity of Strip Footing on Sand Slope. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17(4), 699-711.
- Kusakabe, O., Kimura, T., & Yamaguchi, H. (1981). Bearing Capacity of Slopes Under Strip Loads on the Top Surfaces. *Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 21(4), 29-40.
- Krabbenhoft, K., Lyamin, A.V., Hjiaj, M. and Sloan, S.W. (2005). A New Discontinuous Upper Bound Limit Analysis Formulation, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 63(7), 1069–1088.
- Leshchinsky, B. (2015). Bearing Capacity of Footings Placed Adjacent to $c'-\phi'$ Slopes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(6), (1-13).
- Lysmer, J. (1970). Limit Analysis of Plane problems in Soil Mechanics, *J. Soil Mechanics Foundation Division, ASCE*, 96 (SM4), 1311-1334.

- Meyerhof, G. G. (1957). The Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Slopes. The Proceedings of the Fourth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, s.384-386, Londra.
- Michalowski, R.L. (1989). Three-dimensional Analysis of Locally Loaded Slopes, *Géotechnique*, 39(1), 27–38.
- Mofidi, J., Farzaneh, O., & Askari F. (2014). Bearing Capacity of Strip Footings Near Slopes Using Lower Bound Limit Analysis. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 47(1), 89 – 109.
- Narita, K. & Yamaguchi, H. (1990). Bearing Capacity Analysis of Foundations on Slopes by Use of Log-spiral Sliding Surfaces, *Soils and Foundations*, 30(3), 144–152.
- Özev, M. M. (2023). Killerin Konsolidasyon Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Parametrik Olarak İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Plaxis 2D (2017). Plaxis Material Models Manuel.
- Plaxis 2D (2017). Plaxis Reference Manuel.
- Shiau, J.S., Merifield, R.S., Lyamin, A.V. and Sloan, S.W. (2011). Undrained Stability of Footings on Slopes, *ASCE, International Journal of Geomechanics*, 11(5), 381-390.
- Shields, D. H., Scott, J. D., Bauer, G. E., Deschemes, J. H., and Barsvary, A. K. (1977). Bearing Capacity of Foundations Near Slopes. *Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 1, pp. 715-720.
- Shields, D., Chandler, N., & Garnier, J. (1990). Bearing Capacity of Foundations in Slopes. *J. Geotech. Eng., ASCE*, 116, 3, 528-537.
- Sivrikaya, O. (2021). İnşaat Mühendisliğinde Temel İnşaatı-I. Trabzon: Birsen Yayınevi.
- Skempton, A. (1951). The Bearing capacity of Clays. *Proc. Building Research Congress*, pp. 180-189.
- Sloan, S.W. and Kleeman, P.W. (1995). Upper Bound Limit Analysis Using Discontinuous Velocity Fields, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 127(1-4), 293– 314.
- Sokolovski, V.V. (1960). *Statics of Granular Media*, Butterworth Scientific Publications, London.
- Taher, N. R. T. (2024). Improvement of Bearing Capacity of Shallow Foundation on Sand Reinforced with Polyethylene Terephthalate (PET) Flakes. *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ*.
- Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*. New York: John Wiley and Sons.

- URL-1. (2024, 3 Ağustos). Sonlu Elemanlar Metodu Nedir? Kullanım Alanları: <https://pi404.com/sonlu-elemanlar-metodu-nedir-kullanim-alanlari/> adresinden alındı.
- URL-2. (2024, 21 Mayıs). The Advantages of the Finite Element Method: <https://innovationatwork.ieee.org/the-advantages-of-fem/> adresinden alındı.
- URL-3. (2024, 16 Ağustos). What is Finite Element Analysis? <https://www.ansys.com/simulation-topics/what-is-finite-element-analysis> adresinden alındı.
- URL-4. (2024, 18 Ağustos). SPSS Veri Analizi ve Yorumlama: Dikkat edilmesi gerekenler <https://modistatistik.com/2023/07/12/spss-veri-analizi-ve-yorumlama-dikkat-edilmesi-gerekenler/> adresinden alındı.
- Vesic, A. S. (1973). Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 99, 45-73.

ÖZGEÇMİŞ

Merve KAYIKÇIOĞLU, ilköğrenimini Yavuz Selim İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2015 yılında Trabzon Yomra Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2016-2021 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği (İngilizce) bölümünde lisans eğitimine başladı. 2021 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. İyi derece İngilizce bilmektedir.

