KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞEVLİ KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ŞERİT TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burak AKÇAY

OCAK 2024
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞEVLİ KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ŞERİT TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ

Burak AKÇAY

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19/12/2023
Tezin Savunma Tarihi : 05/01/2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışması, şevli bölgeye yakın şerit temellerin taşıma gücüne etki eden parametrelerin detaylı olarak incelenmesi, bağıntılar elde edilmesi, farklı temel şekillerinin taşıma gücüne etkisinin araştırılması üzerine yapılmıştır. Şimdiye kadar yapılmış olan teorik çalışmalardan elde edilen grafikleri detaylandırmak, daha hassas sonuçlar elde etmek amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında Plaxis 2D sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak modelleme yapılmış ve analiz sonuçları kaydedilmiştir. Kaydedilen analiz sonuçları üzerinde nonlineer regresyon analizi yapılarak baskın olan parametreler belirlenerek bağıntılar oluşturulmuştur.

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütülmesi sırasında tecrübe, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, bütün çalışmalarımda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam olan Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA'ya teşekkür ediyorum.

Yalnız tez çalışmam boyunca değil bu yaşıma kadar desteklerini esirgemeyen babam Mehmet AKÇAY'a, annem Nuran AKÇAY'a ve çalışmalarım boyunca gerekli sabrı ve çabayı göstererek bana destek veren meslektaşım olan ablam Tuba AKÇAY'a, sevgileriyle destek veren arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Burak AKÇAY

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Şevli Kohezyonsuz 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. 05/01/2024

Burak AKÇAY

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ IV
İÇİNDEKİLER V
ÖZET VII
SUMMARY VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ IX
TABLOLAR DİZİNİ XIII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ XIV
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Taşıma Gücü Hesabı 2
1.3. Şevli Zeminlerde Taşıma Gücü 6
1.4. Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi (FEAM) ve Plaxis 2D 15
1.4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi 15
1.4.2. Plaxis 2D Programı 16
1.5. SPSS Programı ve Regresyon Analizi 30
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR 33
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 36
3.1. $D_f/B=0$ Durumu 36
3.1.1. Temelin Şev Kretine Mesafesinin (b/B) Taşıma Kapasitesine Etkisi 36
3.1.2. Şev Açısının (β) Nihai Taşıma Kapasitesine Etkisi 44
3.1.3. Temel Genişliğinin (B) Nihai Taşıma Kapasitesine Etkisi 50
3.1.4. Zeminin İçsel Sürtünme Açısının (ϕ) Nihai Taşıma Kapasitesine Etkisi 55
3.2. $D_f/B=0.5$ ve $D_f/B=1$ Durumu 62
3.2.1. Temel Derinliğinin (D_f/B) Nihai Taşıma Gücüne Etkisi 63
3.3. Geliştirilen Ampirik Bağıntılar 78
3.4. Sonuçların Karşılaştırılması 80
4. SONUÇLAR 86
5. ÖNERİLER 89

6. KAYNAKLAR 90
7. EKLER 94
ÖZGEÇMİŞ 281

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ŞEVLİ KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ŞERİT TEMELLERİN TAŞIMA GÜCÜ

Burak AKÇAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Osman SİVRİKAYA
2024, 94 (Tez Sayfa), 187 (Ek Sayfalar)

Yüzeysel temellerin taşıma gücünü belirlemek için analitik, nümerik, ampirik, yarı ampirik ve fiziksel modeller kullanılmaktadır. Analitik yöntemler arasında Terzaghi, Meyerhof, Hansen ve Vesic gibi tanınmış mühendislik yaklaşımları bulunmaktadır. Bu yaklaşımlara ek olarak şevli zeminlere inşa edilen temellerin taşıma gücü kapsamında yapılan birçok çalışma vardır. Bilinen ilk çalışmalardan biri de Meyerhof'a (1955) aittir. Bu tez kapsamında kohezyonsuz şevli zeminlerin tepesine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma gücünü etkileyen parametrelerin (şev açısı β, temel genişliği B, temelin şeve uzaklığı b, temel derinliği D_f, içsel sürtünme açısı ϕ) nihai taşıma gücü (q_u) ve taşıma gücü faktörü ($N_{\gamma q}$) ile ilişkisi irdelenmiştir. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi kullanılan Plaxis 2D programı ile yaklaşık 2439 tane model oluşturulup analiz edilmiştir. Elde edilen nihai taşıma gücü verileri taşıma kapasitesi faktörlerine dönüştürülmüştür. Elde edilen veriler kullanılarak SPSS programı ile nonlineer regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizi ile dört tane ampirik taşıma gücü faktörü bağıntısı geliştirilmiştir. Nümerik model (sonlu elemanlar yöntemi), Meyerhof'un (1955) şevli zeminlere inşa edilen şerit temeller üzerine yapmış olduğu çalışma ve regresyon analizinden elde edilen ampirik bağıntılarla karşılaştırılması yapılmıştır. Geliştirilen ampirik bağıntılar ile taşıma gücü katsayısının ($N_{\gamma q}$) büyük doğrulukla belirlenebildiği görülmüştür.

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

Master Thesis

SUMMARY

BEARING CAPACITY OF STRIP FOUNDATIONS IN SLOPED COHESIONLESS SOILS

Burak AKÇAY

Karadeniz Technical University
Institute of Science and Technology
Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Osman SİVRİKAYA
2024, 94 Pages, Appendix (187)

Analytical, numerical, empirical, semi-empirical and physical models are used to determine the bearing capacity of shallow foundations. Analytical methods include well-known engineering approaches such as Terzaghi, Meyerhof, Hansen and Vesic. In addition to these approaches, there are many studies on the bearing capacity of foundations constructed on sloping soils. One of the first known studies belongs to Meyerhof (1955). In this thesis, the relationship between the parameters (slope angle β, foundation width B, distance of the foundation to the slope b, foundation depth D_f, internal friction angle ϕ) affecting the ultimate bearing capacity of strip foundations built on top of cohesionless sloped soils and the ultimate bearing capacity (q_u) and the bearing capacity factor ($N_{\gamma q}$) is investigated. In this study, approximately 2439 models were created and analysed with the Plaxis 2D programme which using the finite element method. The ultimate bearing capacity data obtained were converted into bearing capacity factors. Nonlinear regression analyses were performed with SPSS software using the obtained data. Four empirical bearing capacity factor relations were developed by regression analysis. The numerical model (finite element method) was compared with the empirical relations obtained from Meyerhof's (1955) study on strip foundations constructed on sloped soils and regression analysis. It was found that the bearing capacity coefficient ($N_{\gamma q}$) could be determined with great accuracy with the empirical relations developed.

Keywords: Slope, Bearing capacity, Strip foundation, Finite element method

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. İçsel sürtünme açısı (ϕ)–taşıma gücü katsayıları arasındaki ilişki 4

Şekil 2. Terzaghi taşıma gücü kırılma yüzeyleri gösterimi 4

Şekil 3. Şevin üzerine ve şev yüzeyine inşa edilen şerit temelin yakınında plastik bölgeler ve kayma yüzeyleri..... 8

Şekil 4. Meyerhof'a göre kohezyonsuz şevli zemin tepesine inşa edilen şerit temelin $N_{\gamma q}$ katsayısının β, ϕ. b/B ve D_f/B ile ilişkisi (Das, 1999)..... 9

Şekil 5. Plaxis 2D input program düzeni..... 20

Şekil 6. Geometri oluşturma sekmeleri 22

Şekil 7. Soil model menüsü 22

Şekil 8. Yapısal elemanlar..... 25

Şekil 9. Yük elemanları 25

Şekil 10. Deplasman elemanları 26

Şekil 11. Structure menü..... 26

Şekil 12. Calculation modes 27

Şekil 13. Mesh menü 28

Şekil 14. Deformasyon ve gerilme sekmeleri..... 30

Şekil 15. SPSS paket programı ve arayüzü 31

Şekil 16. Parametrelerin şekil üzerinde gösterimi..... 33

Şekil 17. Şevli zemin tepesine inşa edilen şerit temelin yükleme durumu ve mesh diyagramı..... 35

Şekil 18. D_f/B=0, ϕ=40°, B=1 m ve β=20° için farklı b/B mesafelerindeki temellerin zemindeki gerilme durumu (a) b/B=0, b) b/B=1, c) b/B=3, d) b/B=6)..... 37

Şekil 19. $N_{\gamma q}$ katsayısının b/B, b ve B'ye göre değişimi 38

Şekil 20. $N_{\gamma q}$ katsayısının b/B, B, ϕ ve β'ya göre değişimi..... 42

Şekil 21. ϕ=40˚ olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı şev eğimlerinde B ve b/B ile değişimi 46

Şekil 22. B=1 m olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı β için ϕ ile b/B'ye göre değişimi 48

Şekil 23. β=30° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının B değerlerine göre için ϕ ve b/B'ye bağlı değişimi 52

Şekil 24. ϕ=40° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı B değerlerine göre β ve b/B'ye bağlı değişimi 54
Şekil 25. β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı ϕ değerleri için B ve b/B'ye göre değişimi 56
Şekil 26. B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı ϕ değerleri için β ve b/B'ye bağlı değişimi 60
Şekil 27. ϕ=40° ve β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranı için B ve b/B'ye bağlı değişimi..... 66
Şekil 28. ϕ=40° ve β=30° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı temel genişlikleri için D_f/B ve b/B'ye bağlı değişimi 67
Şekil 29. β=20° ve B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranları için ϕ ve b/B'ye göre değişimi 70
Şekil 30. β=20° ve B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı ϕ değerleri için D_f/B ve b/B'ye göre değişimi..... 71
Şekil 31. ϕ=40° ve β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranları için β ve b/B'ye göre değişimi 74
Şekil 32. ϕ=40° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı β değerleri için D_f/B ve b/B'ye göre değişimi 76
Şekil 33. B=2 metre için sonlu elemanlar yöntemi analiz sonuçları ve geliştirilen bağıntıların karşılaştırılması..... 81
Şekil 34. Farklı genişliklere (B) sahip temeller için yapılan karşılaştırmalar 85
Ek Şekil 1. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 metre) 96
Ek Şekil 2. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 metre) 98
Ek Şekil 3. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 metre) 101
Ek Şekil 4. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 metre) 103
Ek Şekil 5. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 metre) 105
Ek Şekil 6. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 metre) 108
Ek Şekil 7. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 metre) 110
Ek Şekil 8. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 metre) 113
Ek Şekil 9. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 metre) 115
Ek Şekil 10. Farklı β, B ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0)..... 124
Ek Şekil 11. Farklı β, B ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5)..... 133
Ek Şekil 12. Farklı β, B ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1)..... 142
Ek Şekil 13. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 m) 144
Ek Şekil 14. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 m) 146

Ek Şekil 15. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 m) 148
Ek Şekil 16. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 m) 150
Ek Şekil 17. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 m) 152
Ek Şekil 18. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 m) 154
Ek Şekil 19. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 m) 156
Ek Şekil 20. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 m) 158
Ek Şekil 21. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 m) 160
Ek Şekil 22. Farklı β, ϕ ve D_f/B için q_u-b/B grafiği (B=1 m) 169
Ek Şekil 23. Farklı β, ϕ ve D_f/B için q_u-b/B grafiği (B=1.5 m) 178
Ek Şekil 24. Farklı β, ϕ ve D_f/B için q_u-b/B grafiği (B=2 m) 187
Ek Şekil 25. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 m) 189
Ek Şekil 26. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 m) 191
Ek Şekil 27. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 m) 194
Ek Şekil 28. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 m) 196
Ek Şekil 29. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 m) 198
Ek Şekil 30. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 m) 201
Ek Şekil 31. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 m) 203
Ek Şekil 32. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 m) 205
Ek Şekil 33. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 m) 208
Ek Şekil 34. Farklı β, ϕ ve B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0)..... 217
Ek Şekil 35. Farklı β, ϕ ve B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5)..... 226
Ek Şekil 36. Farklı β, ϕ ve B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1)..... 235
Ek Şekil 37. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 m) 237
Ek Şekil 38. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 m) 239
Ek Şekil 39. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 m) 241
Ek Şekil 40. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 m) 243
Ek Şekil 41. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 m) 245
Ek Şekil 42. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 m) 247
Ek Şekil 43. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 m) 249
Ek Şekil 44. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 m) 251
Ek Şekil 45. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 m) 253

Ek Şekil 46. Farklı β, ϕ ve D_f/B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (B=1 m)..... 262
Ek Şekil 47. Farklı β, ϕ ve D_f/B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (B=1.5 m)..... 271
Ek Şekil 48. Farklı β, ϕ ve D_f/B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (B=2 m)..... 280

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. Temel şekil katsayıları 3
Tablo 2. Meyerhof taşıma gücü katsayıları 6
Tablo 3. Hansen taşıma gücü bağıntısına ait katsayılar 10
Tablo 4. Vesic taşıma gücü bağıntısına ait katsayılar 11
Tablo 5. Analizlerde kullanılan zemin parametreleri 34

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

β : Şev eğimi (˚)

b : Temelin şev kretine olan mesafesi (m)

B : Temel genişliği (m)

b/B : Temelin şev kretine olan mesafesinin temel genişliğine oranı (birimsiz)

c : Zemin kohezyon değeri (kPa)

c′ : Zeminin efektif kohezyon değeri (kPa)

d : Temel kalınlığı (m)

D_f : Temel derinliği (m)

D_f/B : Temel derinliğinin temel genişliğine oranı (birimsiz)

D_r : Rölatif sıkılık (%)

ψ : Dilatansi açısı (˚)

E' : Young modülü (kPa)

EA : Eksenel rijitlik (kN/m)

EI : Eğilme rijitliği (kNm^2/m)

ϕ : Zeminin içsel sürtünme açısı (˚)

ϕ' : Zeminin efektif içsel sürtünme açısı (˚)

FEAM : Finite element analysis method (Sonlu elemanlar analiz metodu)

γ : Birim hacim ağırlık (kN/m^3)

H : Şev yüksekliği (m)

N_c, N_q, N_γ : Temel tabanı altındaki zeminin makaslama dayanımı açısına bağlı taşıma gücü katsayıları (birimsiz)

N_{cq}, $N_{\gamma q}$: Şevli durumdaki zeminin taşıma gücü katsayıları (birimsiz)

ν : Poisson oranı (birimsiz)

q_u : Nihai taşıma gücü (kPa)

w : Temel birim ağırlığı (kN/m/m)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geoteknik mühendislerinin pratikte karşılaştıkları en temel sorunlardan biri temel zeminlerinin taşıma gücünün, yükler altında temel tasarımının uygun olup olmadığının denetlenerek tasarlanmasıdır (Leshchinsky, 2015). Yapıların dayanıklılığı ve güvenliği, temel olarak kullanılan zeminin taşıma gücüne bağlıdır. Bu yüzden yüzeysel temellerin nihai taşıma kapasitesinin belirlenmesi, geoteknik mühendisliğinde temel tasarımı için önemli konulardan biridir. Yüzeysel temellerde, temele gelen yükler için iki önemli husus vardır. Bunlar; taban basınçlarının sebep olacağı oturmaların öngörülen seviye değerini aşmaması ve nihai kayma gerilmesine karşı yeterli güvenilirlikte olmasıdır. Zemin, üzerine inşa edilen yapıların yüklerini güvenli şekilde taşımak zorundadır. Bu nedenle, inşaat mühendisleri yapıları planlarken zeminin taşıma kapasitesini dikkate almalıdır (Keskin & Laman, 2013; Akbay vd., 2018).

Zeminin taşıma gücü, üzerine uygulanan yükleri taşıma kapasitesini ifade eder. Zeminin taşıma gücü, birim alana düşen yük miktarıyla ölçülür. Zeminin taşıma gücü, zeminin yapısına, sıkılığına, kohezyon değerine, içindeki su miktarına ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir (Keskin & Laman, 2013). Kil, kum, çakıl, killi kum gibi farklı zemin türleri farklı taşıma kapasitelerine sahiptir. Örneğin yüksek rölatif sıkılığa sahip zeminler genellikle daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. Çünkü zeminin rölatif sıkılığı (D_r), zeminin içindeki danelerinin birbirleri arasındaki sıkışma miktarını ifade eder. Zemin danelerinin sıkışma derecesi arttıkça daneler arasındaki sürtünme kuvveti artar buna bağlı olarak taşıma kapasitesi de artmış olur. Zeminin rölatif sıkılığı, zeminin sıkıştırılması veya vibrasyonla iyileştirilmesi gibi yöntemlerle artırılabilir. Bunun yanında zemindeki su miktarı da taşıma gücünü önemli ölçüde etkiler. Su, zemindeki boşlukları doldurarak sürtünme kuvvetini azaltır ve zeminin taşıma kapasitesini düşürür. Bu nedenle, zeminin taşıma gücü, su içeriğiyle ters orantılıdır. Yüksek yeraltı suyu seviyeleri, zeminin taşıma kapasitesini azaltabilir ve çamur akışı veya sıvılaşma gibi problemlere neden olabilir. Bu yüzden iyi drene edilen ve kurutulmuş zeminler genellikle daha yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. Yeraltı suyu seviyesi, drenaj sistemleri veya suyun pompalanması gibi yöntemlerle kontrol altına alınabilir (Tran vd., 2023). Bunlara ek olarak taşıma gücünü etkileyen diğer önemli

faktörler ise kayma direnci, içsel sürtünme açısı, konsolidasyon davranışı, plastisite indeksi gibi parametrelerdir. Çünkü bu parametreler, zeminin mekanik davranışını ve taşıma kapasitesini belirlemede önemli rol oynamaktadır.

Geoteknik mühendisleri, temele gelen dinamik ve statik yükleri zemine aktaracak temellerin doğru bir şekilde tasarlanmasını sağlamak için zeminin taşıma kapasitesini dikkate almaktadırlar. Bu değerlendirme genellikle zeminin taşıma gücünü belirlemek için gerçekleştirilen sondaj ve zemin testleriyle yapılır. Zeminin taşıma gücüne bağlı olarak, mühendisler, temelleri uygun şekilde boyutlandırır ve güçlendirir. Bu, yapıya etkileyen yükleri zemine aktarmak ve yapıyı güvenli bir şekilde desteklemek için önemlidir. Ayrıca, zeminin taşıma kapasitesi, yapı mühendisleri tarafından yapı malzemeleri, yapı geometrisi ve diğer tasarım faktörleriyle birlikte dikkate alınır. Sonuç olarak zeminin taşıma gücü, yapıların güvenli ve dayanıklı olmasında kritik bir rol oynar. Bu kapsamda, geçmişten günümüze kadar nihai taşıma kapasitesi üzerine birçok teorik, nümerik ve deneysel çalışma yapılmıştır ve halen de yapılmaktadır (Akçay & Sivrikaya, 2023).

1.2. Taşıma Gücü Hesabı

Temellerin taşıma gücü, birçok yöntemle belirlenebilmektedir. Arazi deney sonuçlarını içeren ampirik ya da yarı ampirik bağıntılarla, teorik çalışmalarla elde edilen bağıntılarla ve sayısal (nümerik) analiz yöntemlerle temellerin taşıma gücü hesaplanabilmektedir (Sivrikaya, 2021).

Kaba daneli zeminler üzerine inşa edilen yüzeysel temellerin taşıma gücü hesaplamak amacıyla sık kullanılan yöntemlerden biri de arazi deneyleridir. Arazide en sık yapılan deneyler ise standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT), presiyometre deneyi (PMT) ve plaka yükleme deneyidir (PLT) (Sivrikaya, 2021).

Literatürde, yüzeysel temellerin taşıma gücünü hesaplamada kullanılan farklı teorik (analitik) yöntemler bulunmaktadır. Yüzeysel temellerin taşıma gücü konusunda bilinen ilk çalışma, Terzaghi (1943) tarafından yapılmıştır. Terzaghi (1943), Prandtl'ın (1921) plastisite teorisine dayalı olarak zımbalama göçme mekanizması üzerine yapmış olduğu çalışmadan ilham alarak genel zemin durumu (c-ϕ zemini) için nihai taşıma gücünü (q_u) tanımlamıştır. Terzaghi'nin (1943) geliştirdiği bu teoride zemin, homojen, yarı sonsuz ve izotroptur, temel tabanı pürüzlüdür, genel kayma yenilmesi durumu söz konusudur, zemin yüzeyi yataydır, temel zemine kıyasla daha rijittir gibi bazı kabullerde bulunmuştur (Uzuner, 2006). Nihai

taşıma kapasitesi hesabı yaparken zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ), zemin kohezyonu (c) ve temelin sürşarj yükünü ve bunlara bağlı olarak taşıma kapasitesi katsayılarını (N_c, N_γ ve N_q) elde ederek nihai taşıma kapasitesi noktasında bir bağıntı elde etmiştir. Bu bağıntı hala günümüzde de yaygın olarak kullanılan hesap yöntemlerinden biridir (Leshchinsky, 2015). Bu kabullere göre Terzaghi nihai taşıma gücü formülü aşağıda verilmiştir.

$$q_u = c \times N_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q + 0.5 \times B \times \gamma_2 \times N_\gamma \quad (1)$$

Terzaghi taşıma gücü eşitliği 3 kısımdan oluşmaktadır. İlk kısım, temel zemininindeki kohezyonun taşıma gücüne katkısını; ikinci kısım, temel tabanı üzerinde yer alan sürşarj yükünün taşıma gücüne katkısını ve son kısım ise zemin ağırlığının taşıma gücüne katkısını göstermektedir (Das, 1999). Bu bağıntıda; q_u (kPa) temelin nihai taşıma gücünü, B (m) temel genişliği veya daire temel halinde çapını, D_f (m) temel derinliğini, c (kPa) temel zemininin kohezyonunu, γ_1 (kN/m^3) temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığını, γ_2 (kN/m^3) temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığını, N_c, N_q, N_γ temel tabanı altındaki zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayılarını göstermektedir. Temel şekil katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Terzaghi taşıma gücü katsayıları aşağıdaki bağıntılarla veya Şekil 1'den elde edilir.

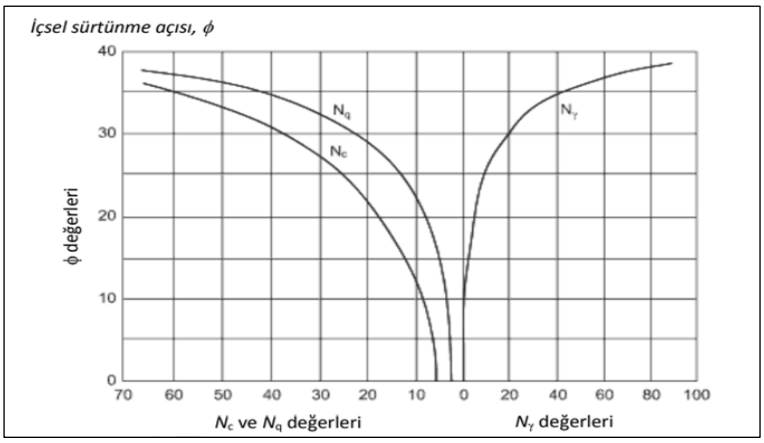
$$N_q = \tan^2\left(45 + (\phi/2)\right) \times e^{\pi \times \tan\phi} \quad (2)$$

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

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

Tablo 1. Temel şekil katsayıları (Sivrikaya, 2021)

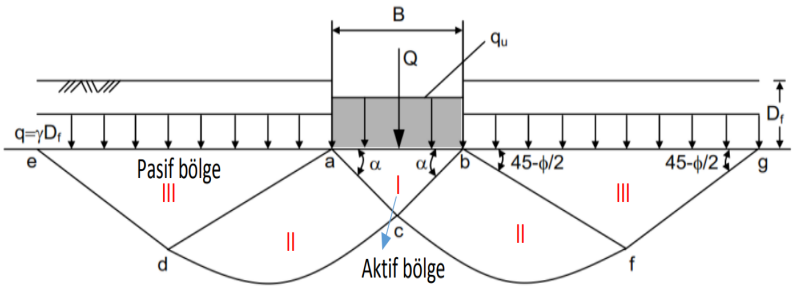
Temel Şekli			
Şerit Temel (L=∞, B/L=0)	**Dikdörtgen** (B<L)	**Kare** (B=L)	**Daire** (B=L=D)
1.0	1+0.3(B/L)	1.3	1.3
0.5	0.5-0.1(B/L)	0.4	0.3



Şekil 1. İçsel sürtünme açısı (ϕ)–taşıma gücü katsayıları arasındaki ilişki (Sivrikaya, 2021)

Terzaghi tarafından sığ temeller için tanımlanan kayma yüzeyleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de belirtilen görselde temel altındaki yenilme bölgesi 3 bölgeden oluşmaktadır (Uzuner, 2006).

- I. bölge (abc bölgesi): Temelin hemen altında yer alan üçgen kama şeklindeki bölgede bc ve ac kenarları eşit olup kırılma açısı α, makaslama dayanımı açısı ise ϕ değerine eşittir. Bu bölge aktif bölge olarak adlandırılmıştır. Ani oturmalar yoğunlukla bu bölgede olur.
- II. bölge (bcf-acd bölgesi): Prandtl radyal kayma bölgesi olarak adlandırılmaktadır. cf-cd kırılma yüzeyi logaritmik spiraldir.
- III. bölge (bfg-ade bölgesi): Rankine pasif bölgesidir. Bu bölgenin kayma yüzeylerinin yatayla yapmış olduğu açı (45-ϕ/2) 'dir.



Şekil 2. Terzaghi taşıma gücü kırılma yüzeyleri gösterimi (Uzuner, 2006)

Meyerhof (1951, 1955, 1963, 1974), Terzaghi'nin öne sürdüğü yenilme mekanizmasından biraz daha farklı bir yenilme mekanizması varsayarak temellerin nihai taşıma gücünü belirlemiştir. Temellerin taşıma gücü belirlemek için Terzaghi'nin önermiş olduğu taşıma gücü formülünü geliştirmiştir. Bu bağıntıda zemin mukavemeti, temel boyutu ve şekli, temel derinliği ve yük eğimi dikkate alınmıştır (Sivrikaya, 2021). Meyerhof, bağıntılarına temelin şekline, derinliğine ve yükün yüklenme biçimine bağlı olarak; şekil faktörü (s), derinlik faktörü (d) ve yük eğim faktörünü (i) Terzaghi'nin nihai taşıma kapasitesi bağıntısına ekleyerek yeni bağıntı elde etmiştir. Meyerhof'un taşıma kapasitesi bağıntısında ise düşey yüklerin yanı sıra eğimli yüklerin etkisi de dikkate alınmıştır. Meyerhof'un öne sürdüğü bağıntı aşağıda sunulmuştur.

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

Bu bağıntıda; q_u (kN/m^2) temelin nihai taşıma gücünü, B (m) temel genişliğini, D_f (m) temel derinliğini, c (kPa) zeminin kohezyon dayanımını, γ_1 (kN/m^3) temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığını, γ_2 (kN/m^3) temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığını, N_c, N_q, N_γ temel tabanı altındaki zeminin içsel sürtünme dayanımı açısına bağlı taşıma gücü katsayılarını, s_c, s_q, s_γ şekil faktörlerini, i_c, i_q, i_γ yük eğim faktörlerini, d_c, d_q, d_γ derinlik faktörlerini temsil etmektedir. Taşıma gücü katsayılarından N_c ve N_q Terzaghi'nin önermiş olduğu bağıntıda kullanılan (2) ve (3) ile aynı bağıntılarla hesap edilmektedir. N_γ ise aşağıda verilen bağıntı (6) ile hesap edilmektedir. Temel şekil katsayıları, derinlik katsayıları ve yük eğim katsayılarını ifade eden bağıntılar aşağıda Tablo 2'de verilmiştir.

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

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

<table>
<tr><th colspan="3">Temel şekil katsayıları</th></tr>
<tr><th colspan="2">ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">s_c= 1+0.2 (B/L)tan^2(45+ϕ/2)
s_q=s_γ=1</td><td>s_c= 1+0.2tan^2(45+ ϕ/2)(B/L)
s_q=s_γ=1+0.1(B/L)tan^2(45+ϕ/2)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Şerit temeller için; s_c= s_q=s_γ=1'dir.</td></tr>
<tr><th colspan="3">Derinlik katsayıları</th></tr>
<tr><th colspan="2">ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">d_c= 1+0.2 (D_f/B)tan(45+ϕ/2)
d_q=d_γ=1</td><td>d_c= 1+0.2tan(45+ϕ/2)(D_f/B)
d_q=d_γ=1+0.1tan(45+ϕ/2)(D_f/B)</td></tr>
<tr><th colspan="3">Yük eğim katsayıları</th></tr>
<tr><th>Herhangi ϕ için</th><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td>i_c=i_q= (1-θ/90)^2</td><td>i_γ=1 (θ>0)</td><td>i_γ=(1-θ/ϕ)^2</td></tr>
</table>

∗θ=tan^{-1} (H/V),
(H: Temel tabanına gelen toplam yatay yük, V: Temel tabanına gelen düşey toplam yük)

1.3. Şevli Zeminlerde Taşıma Gücü

İnşaat mühendisliğinde, yapıların dayanıklı ve uzun ömürlü olmasını sağlamak için temel, önemli bir unsurdur. Ancak, bazı projelerde, şevli zeminler üzerine inşa edilmek zorunda kalınmaktadır. Bu tür arazilerde, temel tasarımı ve yapısal güvenlik önemli bir sorun haline gelebilmektedir. Bu tür zeminlerde temel tasarlamak, yerçekimi ve zeminin taşıma kapasitesi gibi faktörler göz önüne alındığında zorluklarla karşılaşabilmektedir (Akçay & Sivrikaya, 2023).

Şevli zeminlere yapı inşa edilmesi durumda karşılaşılacak durumlar aşağıda verilmiştir (Kim vd., 2017; Zhang vd., 2021; Le vd., 2013).

i. Temel Tasarımı: Şevli zeminlerde temel tasarımı, düz zeminlere kıyasla daha karmaşık bir süreçtir. Zemin eğimi, temel yükleri üzerinde eşit şekilde dağıtmak için dikkate alınmalıdır. Temelin şekli ve boyutları, zemin eğimi ve yapının yüküne bağlı olarak belirlenmelidir. Bazı çalışmalar, şevli zeminlerde temel tasarımı için analitik ve sayısal yöntemlerin kullanılmasını önermektedir. Bu yöntemler, zeminin taşıma kapasitesini ve temel üzerine gelen yüklerin etkilerini değerlendirmeye yardımcı olur.
ii. Zemin Etkileşimi: Şevli zeminlerde temel inşa edildiğinde, zemin-temel etkileşimi önemli bir faktördür. Zeminin taşıma kapasitesi ve temel üzerine gelen yükler arasındaki ilişki, yapısal güvenlik açısından dikkate alınmalıdır. Zeminin stabilize edilmesi ve temel üzerindeki yüklerin eşit şekilde dağıtılması için uygun zemin

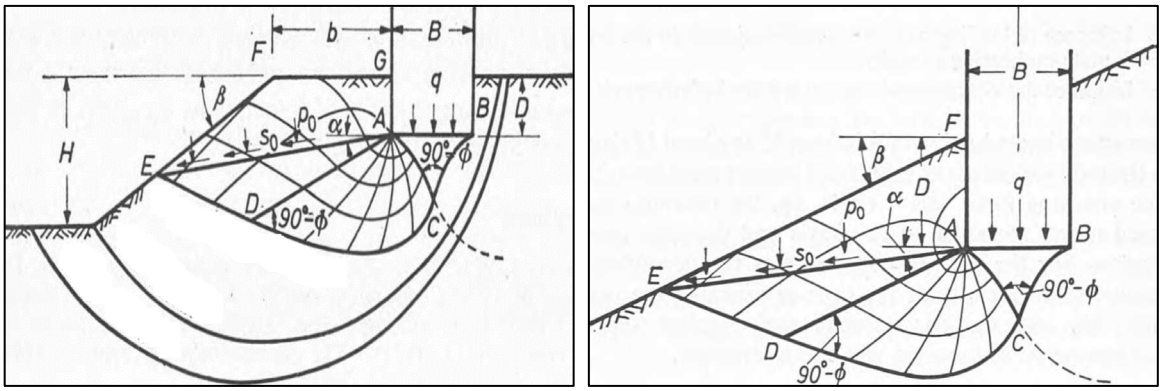
etkileşimi yöntemleri kullanılmalıdır. Bazı çalışmalar, şevli zeminlerdeki etkileşimi analitik modeller ve sayısal yöntemler kullanarak değerlendirmektedir.

iii. Stabilite Analizi: Şevli zeminlerde temel inşa edilirken stabilite analizi büyük önem taşır. Zeminin eğimli yüzeyleri veya gevşek tabakaları, kayma ve yer değiştirme gibi zemin hareketlerine neden olabilir. Bu nedenle, temelin stabilitesi, şevli zeminin özelliklerine uygun olarak analiz edilmelidir. Yerel stabilite analizleri, zeminin stabilite durumunu değerlendirmek için kullanılan yaygın yöntemler arasındadır. Ayrıca, parametrik analizler ve sayısal modellemeler de temel stabilitesinin belirlenmesinde yardımcı olabilir.

iv. Güçlendirme Yöntemleri: Şevli zeminlerde temel güçlendirme, temelin stabilitesini ve dayanıklılığını artırmak için önemli bir adımdır. Bu tür zeminlerde kullanılan yaygın güçlendirme yöntemleri arasında zemin çivileri, ankrajlar, jet grout ve zemin iyileştirmesi yer alır. Güçlendirme yöntemi seçimi, zeminin özelliklerine, yapının yüklerine ve projenin özelliklerine bağlı olarak yapılmalıdır. Çalışmalar, şevli zeminlerde temel güçlendirme tekniklerinin etkinliğini araştırmakta ve yeni yöntemlerin geliştirilmesini önermektedir.

Yapılan çalışmalarla, yatay zemin durumunda zeminin özellikleri, temel şekli ve temel derinliğinin nihai taşıma kapasitesini nasıl etkilediği noktasına açıklık getirilmiş olmasına rağmen zeminin şevli olması durumunda temellerin nihai taşıma gücü hakkında yapılan çalışmalar (Terzaghi 1943; Meyerhof 1951, 1955, 1963; Hansen 1970; Vesic;1973) ve görüşler sınırlı olduğu için bu tür zeminlere inşa edilen temellerin nihai taşıma kapasitesini etkileyen faktörler bakımından elde edilen bulgular da sınırlıdır (Akçay & Sivrikaya, 2023).

Şevli zeminler üzerine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma kapasitesinin hesabında kullanılması önerilen ilk metot Meyerhof (1955) tarafından Terzaghi'nin (1943) önerdiği yüzeysel temellerin taşıma gücü formülünü kullanarak oluşturmuştur (Leshchinsky, 2015). Bu çalışmada kohezyonlu ve kohezyonsuz şevli zeminlerde, şev üzerine veya şev tepesine inşa edilen şerit temellerin taşıma gücü konusu üzerinde durulmuştur. Meyerhof'un yaptığı çalışmada şev üzerine ve şev yüzeyine inşa edilen şerit temellerin göçme yüzeyleri Şekil 3'te gösterilmektedir.



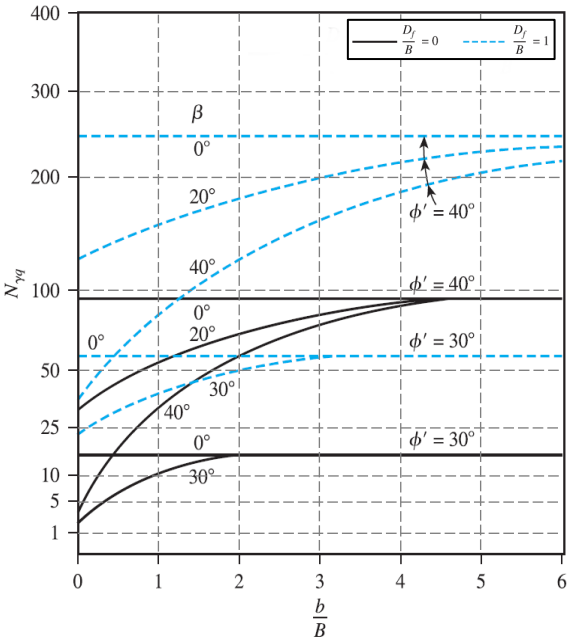
Şekil 3. Şevin üzerine ve şev yüzeyine inşa edilen şerit temelin yakınında plastik bölgeler ve kayma yüzeyleri (Meyerhof, 1955)

Meyerhof (1955) tarafından geliştirilen ve şevli zemine inşa edilen şerit temelin nihai taşıma kapasitesinin formülü şu şekildedir:

$$q_u = cN_{cq} + 0.5\gamma BN_{\gamma q} \quad (7)$$

Bu bağıntıda; γ (kN/m^3) temel zeminin birim hacim ağırlığını, B (m) temel genişliğini, N_{cq} ve $N_{\gamma q}$ şevli durumdaki zeminin taşıma gücü katsayılarını ifade etmektedir.

Kohezyonsuz şevli zeminlerde taşıma gücü faktörünün ($N_{\gamma q}$) şev eğimi (β), zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ), temel derinliğinin temel genişliğine oranı (D_f/B) ve temelin şev kretine olan mesafesinin inşa edilen şerit temelin genişliğine oranıyla (b/B) ilişkisi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Meyerhof'a göre kohezyonsuz şevli zemin tepesine inşa edilen şerit temelin $N_{\gamma q}$ katsayısının β, ϕ. b/B ve D_f/B ile ilişkisi (Das, 1999)

Meyerhof (1955) tarafından geliştirilmiş olan kohezyonsuz şevli zemine inşa edilen şerit temelin nihai taşıma kapasitesi bağıntısı aşağıdaki şekli alır.

$$q_u = 0.5\gamma B N_{\gamma q} \tag{8}$$

Meyerhof'un yanı sıra Hansen (1970) ve Vesic (1973) de şevli zeminlerdeki sığ temellerin taşıma kapasitesi üzerine çalışmalar yapmıştır. Hansen'in denklemleri Meyerhof'un denkleminin geniş bir uzantısıdır. Hansen (1970), Meyerhof'un bağıntısına ek olarak, tabanın eğim faktörlerini (b) ve zeminin eğim faktörlerini (g) ekleyerek geliştirmiştir. Vesic (1973) taşıma gücü yöntemi, Hansen (1970) tarafından geliştirilen yönteme oldukça benzemektedir. İki yöntem arasındaki farklardan biri taşıma gücü faktörü N_γ'dır. Vesic (1973) ayrıca temel taban eğim faktörleri, zemin eğim faktörleri ve yük eğim faktörlerinin hesaplanmasında farklı yaklaşımlar geliştirmiştir (Sivrikaya, 2021). Hansen (1970) ve Vesic (1973) tarafından önerilen taşıma gücü denklemi aşağıdaki gibidir.

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \sigma_{v0}{}' N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5\gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \tag{9}$$

Burada q_u (kPa) temelin nihai taşıma kapasitesini, B (m) temel genişliğini, σ_{v0}' (kPa) temel tabanındaki efektif gerilmeyi, c (kPa) temel zemininin kohezyonunu, γ (kN/m^3), zeminin birim hacim ağırlığını N_c, N_q ve N_γ, temel zemininin içsel sürtünme direnci açısına bağlı taşıma kapasitesi katsayılarını s_c, s_q ve s_γ şekil faktörlerini, i_c, i_q ve i_γ yük eğim faktörlerini, d_c, d_q ve d_γ derinlik faktörlerini, g_c, g_q ve g_γ zemin eğim faktörünü, b_c, b_q ve b_γ taban eğim faktörlerini temsil etmektedir. Hansen için katsayılar Tablo 3'te, Vesic için katsayılar Tablo 4'te gösterilmektedir. Hansen ve Vesic'in önermiş olduğu bağıntılarda N_γ farklı şekillerde hesaplanmaktadır. Hansen ve Vesic tarafından önerilen N_γ bağıntıları sırasıyla aşağıda verilmiştir. Nihai taşıma gücü drenajsız durum için bağıntı (12) ile hesaplanır.

$$N_\gamma = 1.5 \times \left(N_q - 1\right) \times \tan\left(\phi\right) \tag{10}$$

$$N_\gamma = 2 \times \left(N_q + 1\right) \times \tan\left(\phi\right) \tag{11}$$

$$q_u = 5.14 x c_u x (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + \sigma_v' \tag{12}$$

Tablo 3. Hansen taşıma gücü bağıntısına ait katsayılar (Sivrikaya, 2021)

<table>
<tr><th colspan="2">Temel şekil katsayıları (s)</th><th colspan="2">Yük eğim katsayıları (i)</th></tr>
<tr><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">Şerit temeller için; $s_c = s_q = s_\gamma = 1$'dir.</td><td>$i_c = 0.5 - [1 - H/(AC_a)]^{0.5}$
A: Efektif Alan, H: Yatay yük
C_a: Adezyon</td><td>$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_q - 1)$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$s_c = 0.2\ (B'/L')$</td><td rowspan="2">$s_c = 1 + (N_q/N_c)(B'/L')$
$s_q = 1 + (B'/L')\sin\phi$
$s_\gamma = 1 - 0.4(B'/L') \geq 0.6$</td><td colspan="2">ϕ>0° için</td></tr>
<tr><td colspan="2">$i_q = [1 - (0.5H)/(V + AC_a\cot\phi)]^a$
$\alpha = 0° \rightarrow i_\gamma = [1 - (0.7H)/(V + AC_a\cot\phi)]^b$
$\alpha > 0° \rightarrow i_\gamma = [1 - (0.7 - (\alpha°/450°)H)/(V + AC_a\cot\phi)]^b$
$2 \leq a, b \leq 5$
A: Eksantrik yükte efektif Alan, V: Düşey yük</td></tr>
<tr><th colspan="2">Derinlik katsayıları (d)</th><th colspan="2">Zemin eğim katsayıları (g)</th></tr>
<tr><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td>$D_f \leq B \rightarrow d_c = 0.4(D_f/B)$
$D_f > B \rightarrow d_c = 0.4\tan^{-1}(D_f/B)$</td><td>$D_f \leq B \rightarrow d_c = 1 + 0.4(D_f/B)$
$D_f > B \rightarrow d_c = 1 + 0.4\tan^{-1}(D_f/B)$</td><td>$g_c = \beta°/147°$</td><td>$g_c = 1 - (\beta°/147°)$</td></tr>
<tr><th colspan="2">ϕ>0° için</th><th colspan="2">ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">$D_f \leq B \rightarrow d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - \sin\phi)^2(D_f/B)$
$D_f > B \rightarrow d_q = 1 + 2\tan\phi(1 - \sin\phi)^2(D_f/B)\tan^{-1}(D_f/B)$
$d_\gamma = 1$ $\tan^{-1}(D_f/B)$ (radyan)</td><td colspan="2">$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5\tan\beta°)^{0.5}$</td></tr>
<tr><th colspan="4">Temel taban eğimi katsayıları (b)</th></tr>
<tr><th colspan="2">ϕ=0° için</th><th colspan="2">ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">$b_c = \alpha°/147°$</td><td colspan="2">$b_c = 1 - (\alpha\ °/147°)$
$b_q = e^{-2\alpha\tan\phi}$ α (radyan)
$b_\gamma = e^{-2.7\alpha\tan\phi}$</td></tr>
</table>

Tablo 4. Vesic taşıma gücü bağıntısına ait katsayılar (Sivrikaya, 2021)

<table>
<tr><th colspan="2">Temel şekil katsayıları (s)</th><th colspan="2">Yük eğim katsayıları (i)</th></tr>
<tr><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">Şerit temeller için; $s_c= s_q=s_\gamma=1$'dir.</td><td>$i_c=1-[(mH)/(AC_aN_c)]$</td><td>$i_c=i_q-[(1-i_q)/(N_q-1)]$</td></tr>
<tr><td rowspan="2">$s_c=0.2\ (B/L)$</td><td rowspan="2">$s_c= 1+(N_q/N_c)(B/L)$
$s_q= 1+(B/L)\tan\phi$
$s_\gamma=1-0.4(B/L)\geq 0.6$</td><td colspan="2">ϕ>0° için</td></tr>
<tr><td colspan="2">$i_q=[1-(H)/(V+AC_a\cot\phi)]^m$
$i_\gamma= [1-(H)/(V+AC_a\cot\phi)]^{m+1}$
$m=[(H_B)^2+(H_L)^2]^{0.5}$
H_B: Yatay yük B kenarına paralelse, H_L: Yatay yük L kenarına paralelse A: Eksantrik yükte efektif Alan, V: Düşey yük</td></tr>
<tr><th colspan="2">Derinlik katsayıları (d)</th><th colspan="2">Zemin eğim katsayıları (g)</th></tr>
<tr><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th><th>ϕ=0° için</th><th>ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td>$d_c= 0.4(D_f/B)$</td><td>$D_f\leq B \rightarrow d_c= 1+0.4(D_f/B)$
$D_f> B \rightarrow d_c= 1+ 0.4\tan^{-1}(D_f/B)$</td><td>$g_c=\beta/5.14$</td><td>$g_c=i_q-(1-i_q)/(5.14\tan\phi)$</td></tr>
<tr><th colspan="2">ϕ>0° için</th><th colspan="2">ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">$D_f\leq B \rightarrow d_q= 1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2(D_f/B)$
$D_f> B \rightarrow d_q= 1+2\tan\phi(1-\sin\phi)^2(D_f/B)\ \tan^{-1}(D_f/B)$
$d_\gamma=1$
$\tan^{-1}(D_f/B)$ (radyan)</td><td colspan="2">$g_q=g_\gamma= (1-\tan\beta°)^2$</td></tr>
<tr><th colspan="4">Temel taban eğimi katsayıları (b)</th></tr>
<tr><th colspan="2">ϕ=0° için</th><th colspan="2">ϕ>0° için</th></tr>
<tr><td colspan="2">$b_c=\alpha°/147°$</td><td colspan="2">$b_c= 1-(\alpha\ °/147°)$
$b_q= b_\gamma= (1-\alpha\tan\phi)^2$
α (radyan)</td></tr>
</table>

Bu teorik çalışmalar dışında şevli zemine inşa edilen temellerin nihai taşıma kapasitesi üzerine farklı yöntemlerle yapılan birçok çalışma mevcuttur: Sonlu elemanlar yöntemi (Kleeman & Sloan, 1995; Krabbenhoft vd., 2005; Georgiadis vd., 2008; Shiau vd., 2011), limit analiz yöntemleri (Lysmer, 1970; Davis & Booker, 1973; Chen, 1975; Kusakabe vd., 1981, Michalowski, 1989; Farzaneh vd., 2008; Shiau vd., 2011; Modifi vd., 2014), gerilme karakteristikleri yöntemi (Graham vd., 1987), kayma çizgisi metodu (Sokolovski, 1960; Chen, 1975), akma tasarım teorisi, (Buhan & Garnier, 1994; 1998), limit denge analizleri (Narita & Yamaguchi, 1990; Motta & Castelli, 2008), fiziksel modelleme teknikleri (Gemperline, 1988; Shileds vd., 1990), saha uygulamaları (Shields vd., 1977) gibi metotlar uygulanarak birçok araştırma yapılmıştır. (Akbay vd., 2018)

Kusakabe vd. (1981), kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminler için yatay zemine inşa edilen temeller için upper-limit analiz yöntemini kullanarak geleneksel nihai taşıma kapasitesi yaklaşımından ziyade nihai taşıma kapasitesindeki azalmayı gösteren boyutsuz faktörlere sahip bir tasarım şeması sunmuştur.

Griffiths (1982), c′-ϕ′ zeminlerin nihai taşıma kapasitesini belirlemek amacıyla sonlu eleman nümerik analiz yöntemini kullanarak birçok analiz yaptı. Bu analizler sonucunda şevlere inşa edilen temeller için makul sonuçlar elde etti, ancak taşıma gücü faktörlerini belirleme aşamasında N_γ için sonuçlarda yakınsama sorunlarıyla karşılaşmıştır.

Azzouz vd. (1983), limit analiz yöntemini kullanarak kohezyonlu zeminlerden oluşan şevlere inşa edilen şerit ve kare temeller için çalışmalarda bulunmuştur. İlk olarak sonsuz uzunluktaki bir şerit temele yük uygulanarak iki boyutlu (düzlem şekil değiştirme) analizler yapmıştır. Daha sonra kare temele yük uygulayarak şevlerin üç boyutlu stabilite analizleri yapmış ve sonuçlar, göçmeye neden olan yükün büyüklüğü üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla iki boyutlu çözümlerle karşılaştırılmıştır. İki boyutlu analizlerin üç boyutlu analizlere göre daha kaba hesap yaptığı göz önünde bulundurularak sonuçların tutarlı olduğunu görmüştür.

Bowles (1988), c′ ve ϕ′ zeminler üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Bu çalışmalarda, Terzaghi'nin varsaydığı teoride bulunan yenilme mekanizmasına benzer şekilde bir yenilme mekanizması varsayarak N_c ve N_γ değerleri elde etmiştir.

Graham vd. (1988) ise kohezyonsuz şevli zeminlere inşa edilen temeller üzerine yapmış olduğu deneysel çalışmalarla bu temellerin nihai taşıma kapasitesi üzerine analitik bir yaklaşım oluşturmuştur. Kohezyonsuz şevlerde temel kapasitesi için gerilme özellikleri yöntemini kullanan yeni bir çözüm tanımlamaktadır. Teorik taşıma kapasiteleri, iki seri laboratuvar testinden elde edilen deneysel değerlerle karşılaştırılarak uyumluluğun oldukça makul olduğunu tespit etmiştir.

Shields vd. (1990), kum ve normal konsolide kil gibi kohezyonsuz malzemeden oluşan şevlerde temel tasarımı için bir yöntem açıklanmaktadır. Bu çalışmada sunulan yöntem teoriden ziyade fiziksel testlere dayanmaktadır. Elde edilen bulgulara göre şev üzerinde veya yakınında bulunan bir temelin taşıma kapasitesinin, aynı temelin düz zemin yüzeyinde sahip olacağı kapasitenin bir yüzdesi olarak değerlendirmiştir. Yapılan çalışmada testler makul ölçekteki temeller üzerinde gerçekleştirildiği için tasarımcının temel boyutunu düzeltmesine gerek olmamaktadır.

Chen vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada şevli zeminlerde deprem kuvvetlerinin temel taşıma kapasitesine etkisi incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada, şevli durumdaki zemine inşa edilen şerit temellerin sismik nihai taşıma kapasitesi ara asal gerilmelerin etkisi dikkate alınarak, yarı statik analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Statik ve dinamik taşıma kapasitesi faktörlerinin çeşitli hesaplama parametreleriyle ilişki eğrileri elde edilmiştir. Limit

denge teorisine dayanarak, sırasıyla zeminlerin sürşarj, kohezyon ve öz ağırlığı ile ilişkili olan statik taşıma kapasitesi faktörleri (N_q, N_c, N_γ) ve dinamik taşıma kapasitesi faktörlerinin (N_{qd}, N_{cd}, $N_{\gamma d}$) hesaplanması için formüller sunulmuştur.

Yang vd. (2007) tarafından enerji yayılım yöntemi ve model deneyleri ile belirlenen şev üzerindeki temelin taşıma kapasitesinin belirlenmesi için yapılan çalışmada, şevli durumdaki zemin üzerine inşa edilen temellerin nihai taşıma kapasitesini belirlemek ve formüle etmek için enerji dağılımı yöntemi kullanılmıştır. Laboratuvarda bir şerit temel tarafından yüklenen temellerde şevlerin performansını analiz etmek için tam ölçekli zemin model deneyleri yapılmıştır. Sayısal sonuçlar, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlar, model deneylerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, limit analiz çözümlerinin model deneylerinkine neredeyse aynı olduğu ve enerji yayılımı yönteminin şevlere inşa edilen şerit temellerin taşıma kapasitesini tahmin etmek için etkili bir yöntem olduğu görülmüştür.

Castelli vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada şev yakınına inşa edilen şerit temellerin taşıma kapasitesi irdelenmiştir. Bu çalışmada limit denge yöntemine dayalı bir model geliştirilerek şev yakınına inşa edilen şerit temellerin temelin şev kenarından uzaklığı ve/veya temel derinliğinin etkisi dikkate alarak taşıma kapasitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Sismik yüklemenin hem atalet hem de kinematik etkileri analiz edilmiş ve sismik taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi için basit bir denklem türetilmiştir.

Keskin vd. (2012) tarafından yapılmış olan bir çalışmada şevli kohezyonsuz zemin üzerine inşa edilecek bir şerit temelin nihai taşıma kapasitesini araştırmak adına modelleme ve laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Çalışmada, temelin şev kretine olan mesafesinin, rölatif sıkılığın, temel genişliğinin, şev açısının nihai taşıma kapasitesi üzerine olan etkileri irdelenmiştir. Yapılan çalışma Plaxis 2D programında modellenerek analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak tutarlılığı irdelenmiştir. Model ve sonlu elemanlar analiz sonuçları birbirine oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

Modifi vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, şevlere bitişik şerit temellerin ortalama sınır basıncı, şev temel sisteminin stabilitesini etkileyen boyutsuz parametrelerin bir fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Lineer sonlu elemanlar metodu kullanılmıştır. Değerlendirilen boyutsuz parametreler, özellikle zeminin sürtünme açısı ayrı ayrı incelenmiş ve sonuç olarak ilgili tablolar sunulmuştur. Sonuçlar, bu araştırmada kullanılan

metodolojinin uygunluğunu doğrulamak için literatürde mevcut olan diğer çözümlerle karşılaştırılarak uygun olduğu tespit edilmiştir.

Yu (2018) tarafından, şevli durumdaki zemine inşa edilen temellerin taşıma gücünün üst sınır çözümü üzerine yapılmış olan bu çalışmada şev temelinin göçme mekanizmasını ortaya çıkarmak için, limit analiz yöntemi ve limit denge yöntemi kullanılmıştır. Farklı derinliklere sahip temelin arkasındaki zeminin gerilme katsayıları elde edilmiştir. Buna bağlı olarak temel zemininin içsel sürtünme açısının, temelin yanındaki şevin eğiminin, temelden şev tepesine ve temelin derinliğinin, temelin nihai taşıma kapasitesine etkisi irdelenmiştir. Burada, şevin arkasındaki zemin eğiminin etkisini dikkate alarak, şev temelinin taşıma kapasitesini hesaplamak için bir bağıntı geliştirilmiştir.

Acharyya (2019) tarafından bir şevin üzerine veya yakınına yerleştirilen şerit temellerin nihai taşıma kapasitesi incelenmiştir. Yapılan çalışmada Plaxis 2D kullanılarak sonlu eleman analizi gerçekleştirilmiştir. Zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyonu (c), temelin şeve olan mesafesi (b), temel genişliği (B), eğim açısı (β) ve temel derinliği (D_f) gibi çeşitli parametrelerin temelin nihai taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre içsel sürtünme açısı, zeminin kohezyonu, temelin şeve olan mesafesi, temel genişliği ve temel derinliği arttıkça nihai taşıma kapasitesinin arttığı, şev eğiminin artmasıyla da nihai taşıma kapasitesinin azaldığı görülmüştür.

Ebid vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, şeve inşa edilen temellerin temel genişliği, temel derinliği, temelin şevden uzaklığı, zeminin birim hacim ağırlığı, şev eğimi, içsel sürtünme açısı, kohezyon ve aşırı yük basıncının taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Bir şev üzerinde veya bitişiğindeki temelin nihai taşıma kapasitesini tahmin etmek için genetik programlama (GP), evrimsel polinom regresyonu (EPR) ve yapay sinir ağı (YSA) akıllı teknikleri kullanılmıştır. Modellerin performansları değerlendirilmiş, sağlamlıkları ve doğrulukları Prandtl'ın bulgularıyla karşılaştırılmıştır. Sonuçların GP, EPR ve YSA tekniklerinin Prandtl'ın hesaplama çalışmalarına göre daha üstün olduğu görülmüştür. Ayrıca YSA, çalışmadaki diğer yapay zekâ yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Casablanca vd. (2022) yaptıkları çalışmada, şevlere bitişik sığ şerit temeller için taşıma gücü faktörlerinin statik ve sismik değerleri, pseudo-statik yaklaşımla zeminde ortaya çıkan ve üst yapıdan gelen yatay ve düşey atalet kuvvetlerinin etkisini hesaba katarak belirlemeyi amaçlamışlardır. Zemin ve üstyapıdaki yatay ve düşey sismik ivmeler ile şev eğiminin hesaba katılmasını sağlayan taşıma kapasitesi faktörlerinin veya uygun düzeltici katsayıların

hesaplanması için ampirik bağıntılar ve çözümler sunulmuştur. Elde edilen ve önerilen çözümler, sonlu eleman analizleriyle elde edilenlerle kontrol edilmiş ve literatürde halihazırda mevcut olan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

1.4. Sonlu Elemanlar Analiz Yöntemi (FEAM) ve Plaxis 2D

1.4.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Mühendislik disiplinlerinde, yapıların davranışını anlamak ve tasarlamak önemli bir süreçtir. Karmaşık yapıların performansını tahmin etmek zor olabilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizi, yapıların davranışını nümerik olarak modellenmesini ve analiz edilmesini sağlayan bir yaklaşımdır.

Sonlu elemanlar analizi, karmaşık yapıları daha küçük parçalara bölerek ve her bir parçanın davranışını matematiksel olarak tanımlayarak yapıların davranışını analiz etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu parçalara "sonlu elemanlar" denir ve her bir eleman, geometrik ve fiziksel özelliklere sahiptir. Sonlu elemanlar analizi, diferansiyel denklemlerden oluşan bir sistem oluşturarak bu elemanların davranışını matematiksel olarak ifade eder. Bu sistem çözüldüğünde, yapıların yer değiştirmeleri, gerilmeleri, deformasyonları ve diğer önemli parametreler elde edilir (URL-1).

Sonlu elemanlar analizi, adını aldığı "sonlu elemanlar" kavramına dayanır. Yapının geometrisi ve malzeme özellikleri dikkate alınarak yapı, daha küçük parçalara bölünür. Bu parçaların her biri, matematiksel olarak ifade edilen diferansiyel denklemlerle tanımlanır. Bu denklemler, elemanların davranışını açıklar ve yapının davranışını genel olarak temsil eder. Bu denklemler, elastik davranış, plastik davranış, sıvılaşma, termal etkiler ve diğer etkileri dikkate alabilir (URL-1).

Sonlu elemanlar analizi, yapıyı oluşturan tüm elemanlar ve bunların etkileşimleri arasındaki denklem sistemini oluşturur. Bu sistem, sayısal yöntemler kullanılarak çözülür ve yapıların davranışı hakkında bilgi sağlar. Sonlu elemanlar analizi, hesaplama gücünün artmasıyla birlikte daha karmaşık yapıların analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır.
Sonlu elemanlar analizi, çeşitli mühendislik disiplinlerinde geniş bir kullanım alanına sahiptir. İşte bazı kullanım alanları (URL-1):

i. Yapısal Analiz: Sonlu elemanlar analizi, yapıların statik ve dinamik davranışlarının analizinde kullanılır. Bu analizler, yapıların yer değiştirmelerini, gerilmelerini, deformasyonlarını ve diğer önemli parametreleri değerlendirerek yapıların güvenliğini ve dayanıklılığını belirlemeye yardımcı olur.
ii. Isıl Analiz: Sonlu elemanlar analizi, ısıl etkilerin yapıların davranışı üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılır. Yapıların ısı transferi, termal genleşme ve termal gerilmeler gibi ısıl etkilere karşı nasıl tepki vereceğini değerlendirmek için bu analiz yöntemi kullanılır.
iii. Akış Analizi: Sonlu elemanlar analizi, akışkanlar mekaniği problemlerini çözmek için kullanılır. Akışkanların akış hızı, basınç dağılımı, sıcaklık dağılımı gibi parametrelerin analizi yapılır. Bu, hidrolik yapılar, su kaynakları yönetimi ve diğer akışkanlarla etkileşim içinde olan yapılar için önemlidir.

Sonuç olarak sonlu elemanlar analizi, karmaşık yapıların davranışını anlamak ve analiz etmek için güçlü bir araçtır. Yapının geometrisi, malzeme özellikleri ve yük koşulları dikkate alınarak yapılan bu analizler, yapıların yer değiştirmeleri, gerilmeleri, deformasyonları ve diğer önemli parametreleri tahmin etmeye yardımcı olur. Sonlu elemanlar analizi, mühendislerin daha güvenli, dayanıklı ve optimize edilmiş yapılar tasarlamalarına olanak sağlar. Yapı mühendisliği ve benzeri disiplinlerde, sonlu elemanlar analizi yöntemi, yapıların davranışını anlamak için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir (URL-1)

1.4.2. Plaxis 2D Programı

Zemin mekaniği, yapı mühendisliği ve geoteknik mühendislik alanlarında oldukça önemli bir disiplin olan bu program, zemin davranışının analiz edilmesi ve yapıların zemin üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, güvenli ve dayanıklı yapıların tasarımı için hayati önem taşır. Bu amaçla, Plaxis 2D gibi gelişmiş yazılımların kullanımı önemli bir rol oynamaktadır. Statik ve dinamik elastoplastik deformasyon, gelişmiş zemin modelleri, stabilite analizi, konsolidasyon, güvenlik analizi, güncellenmiş ağ ve kararlı durum yeraltı suyu akışı için analizler yapabilen bu yazılım, zemin davranışının çeşitli yönlerini incelemek ve yapıların zemin üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Plaxis 2D, karmaşık zemin-yapı etkileşimlerini simüle ederek kullanıcılar için gelişmiş bir imkân sunar ve

mühendislerin zeminin nihai taşıma kapasitesini, yer değiştirmelerini, deformasyonlarını ve gerilmelerini anlamalarına yardımcı olur (Türemiş, 2003).

Plaxis 2D'nin temel özellikleri şunlardır (Sexton vd., 2013):

i. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA): Plaxis 2D, sonlu elemanlar analizi yöntemini kullanır. Bu yöntem, karmaşık problemlerin analizinde etkili bir yaklaşımdır. Plaxis 2D, zemin ve yapıları küçük parçalara böler ve her parçanın davranışını hesaplar. Bu şekilde, zeminin ve yapıların yer değiştirmelerini, gerilmelerini ve deformasyonlarını analiz etme imkânı sağlar.

ii. Geometri ve Malzeme Tanımlama: Plaxis 2D, zemin tabakalarının geometrisini, malzeme özelliklerini ve sınır koşullarını tanımlamak için kullanıcı dostu bir arayüze sahiptir. Zeminin farklı katmanlarının kalınlığı, eğimi, malzeme parametreleri gibi bilgiler girilerek model oluşturulur. Plaxis 2D, çeşitli zemin tipleri için farklı modeller sunar. Bu modeller arasında elastik, elastoplastik, kırılgan, sıvılaşma ve gevşeme gibi modeller bulunur. Bu sayede, farklı zemin davranışlarını simüle edebilir ve pratikte karşılaşılan durumlara daha yakın sonuçlar elde edilebilir.

iii. Yük ve Sınır Koşulları: Plaxis 2D, temel üzerine gelen yükleri ve sınır koşullarını tanımlamak için çeşitli seçenekler sunar. Zemin yükleri, temel yükleri, zemin-temel etkileşimi, zemin hareketleri gibi faktörler dikkate alınarak analiz yapılabilir. Ayrıca Plaxis 2D, farklı yükleme ve sınır koşullarını tanımlamaya da olanak sağlar. Yerçekimi yükleri, doğal yükler, zemin hareketleri, sıcaklık değişimleri gibi çeşitli yüklerin etkileri simüle edilebilir. Ayrıca, sabit destekler, serbest destekler, deformasyon sınırlamaları gibi farklı sınır koşullarını da tanımlama imkânı sağlar.

iv. Zemin Davranışı: Plaxis 2D, farklı zemin tiplerinin davranışını modelleyebilir. Zeminin elastik, plastik, kırılma, konsolidasyon gibi davranışları dikkate alınarak analiz yapılabilir. Ayrıca, zeminin zaman bağımlı davranışı, sıvılaşma, konsolidasyon ve gerilmelerin dağılımı gibi fenomenler de simüle edilebilir.

v. Yapı Modelleri: Plaxis 2D, çeşitli yapı modelleri oluşturmaya olanak tanır. Temeller, kazıklar, destek duvarları ve yapı elemanları gibi yapısal bileşenleri simüle edebilir ve zemin-yapı etkileşimlerini analiz etmede kolaylık sağlar. Bu yazılımla, geoteknik mühendislerinin yapıların güvenliğini ve dayanıklılığını değerlendirmesine yardımcı olur.

vi. Analiz ve Sonuçlar: Plaxis 2D, yapılan modellemeleri analiz etmek ve sonuçları elde etmek için geniş bir araç seti sunar. Zemin deformasyonları, gerilmelerin dağılımı, yer değiştirmeler, taşıma kapasitesi gibi parametrelerin analizi yapılarak proje değerlendirilir. Ayrıca, sonuçların grafiksel olarak görselleştirilmesi ve raporlanması da mümkündür.

Plaxis 2D, geoteknik mühendisliğinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Kullanım alanları şu şekildedir (Mekdash vd., 2022):

i. Zemin Yüklemesi Analizi: Statik analiz, zemin ve yapı davranışının durağan yükler altında nasıl değiştiğini incelemek için kullanılır. Bu, temelin oturması, gerilme dağılımı ve yer değiştirmelerin değerlendirilmesini içerir.
ii. Zaman Tabanlı Analiz: Zaman tabanlı analiz, zamanla değişen yükler altında zemin ve yapı davranışını modellemek için kullanılır. Bu, zeminin zaman içindeki konsolidasyonu, göçme ve yük değişimlerine karşı tepkisi gibi dinamik süreçleri içerir.
iii. Adım Adım Analiz: Adım adım analiz, bir yapının yapım sürecini veya bir zemin iyileştirme projesini simüle etmek için kullanılır. Yapının veya projenin her aşamasının analizini yapar.
iv. Dinamik Analiz: Dinamik analiz, dinamik yükler (örneğin, deprem yükleri) altında zemin ve yapı davranışını incelemek için kullanılır. Bu, dinamik yüklerin etkilerini değerlendirmek için titreşim analizlerini içerir.
v. Temel Tasarımı: Plaxis 2D, temel yapılarının zemin etkileşimi analizlerini gerçekleştirmek için kullanılır. Temel deplasmanı, zemin yükleme ve temel altındaki gerilmelerin değerlendirilmesi gibi faktörlerin hesaplanması bu alanda önemlidir.
vi. Zemin Mühendisliği ve Geoteknik Analizler: Plaxis 2D, zemin mühendisliği projeleri için zemin davranışının analizini yapmak amacıyla kullanılır. Bu, zeminlerin kayma, yer değiştirme, gerilme ve deformasyon özelliklerini incelemeyi içerir.
vii. Zemin İyileştirme Projeleri: Plaxis 2D, zemin sıkıştırma, zemin karıştırma ve taş kolonlar veya geosentetikler gibi geoteknik elemanların montajı gibi zemin iyileştirme tekniklerinin etkilerini değerlendirmek için kullanılır.

viii. Kazık Analizi: Kazık temellerin davranışını incelemek için Plaxis 2D kullanılır. Kazık yüklemesi, kazık zemin etkileşimi, kazık eğilmesi ve kazık çekilmesi gibi faktörler incelenir.

ix. İstinat Duvarı Tasarımı: İstinat duvarlarını tasarlamak ve analiz etmek için Plaxis 2D kullanılır. Bu, duvar stabilitesi, toprak basıncı dağılımı ve duvar deformasyonları gibi faktörlerin incelenmesini içerir.

x. Zemin Yapısı Etkileşimi Analizi: Plaxis 2D, bina veya köprü gibi yapıların zeminle etkileşimini analiz ederek bu yapıların güvenliği ve dayanıklılığı hakkında bilgi sağlar.

xi. Derin Kazı: Geoteknik mühendisleri, Plaxis 2D'yi derin kazıları analiz etmek ve komşu yapılar, altyapı hizmetleri ve zemin hareketleri üzerindeki etkiyi değerlendirmek için kullanırlar.

xii. Şev Stabilite Analizi: Plaxis 2D, şevlerin stabilitesinin analiz edilmesinde ve heyelan potansiyelinin değerlendirilmesinde uygulanır. Güvenlik faktörü ve kritik kayma yüzeyleri gibi faktörlerin belirlenmesine yardımcı olur.

xiii. Baraj ve Dolgu Analizi: Plaxis 2D, mühendislerin barajların, setlerin ve toprak işlerinin stabilitesini analiz etmelerine yardımcı olur. Sızıntı, deformasyon ve potansiyel arıza mekanizmalarını değerlendirmek için kullanılır.

xiv. Heyelan Analizi: Plaxis 2D, heyelanların olası etkilerini ve hareketlerini analiz etmek için kullanılır. Bu, heyelan tehlikelerinin değerlendirilmesi ve uygun stabilite önlemlerinin belirlenmesi için önemlidir.

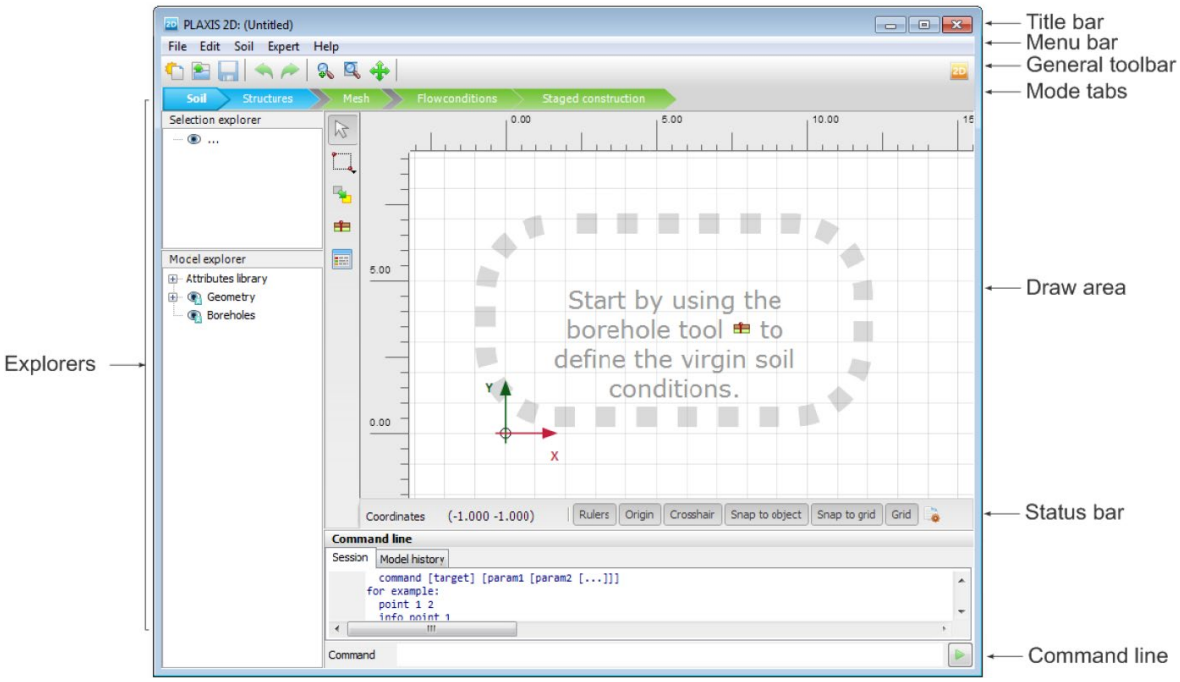
xv. Tünel ve Yeraltı Yapıları Analizi: Tünellerin ve yeraltı yapılarının tasarımında, zeminin davranışının analizi Plaxis 2D ile gerçekleştirilir. Bu, tünel stabilitesi ve zeminin yeraltı yapısı üzerindeki etkilerini değerlendirmeyi içerir.

xvi. Deniz Mühendisliği ve Liman Projeleri: Plaxis 2D, limanların, rıhtımların ve deniz yapılarının zemin etkileşimini analiz etmek için kullanılır. Dalga yüklemesi, deniz suyu basıncı ve zeminin etkileri bu projelerde değerlendirilir.

Sonuç olarak Plaxis 2D, zemin mekaniği problemlerini analiz etmek ve yapıların zemin üzerindeki etkilerini değerlendirmek için güçlü bir araçtır. Zeminin nihai taşıma kapasitesi, yer değiştirmeleri, gerilmeleri ve deformasyonları gibi önemli parametreleri hesaplayarak mühendislerin daha güvenli ve dayanıklı yapılar tasarlamasına yardımcı olur. Plaxis 2D'nin özellikleri ve kullanım alanları, geoteknik mühendisliğinde önemli bir rol oynamaktadır (Russo vd., 2021).

Plaxis 2D Paket Programında Modelleme

Plaxis 2D programının kullanımında geoteknik uygulamalar, zeminlerin ve/veya kayaların doğrusal olmayan, zamana bağlı ve anizotropik davranışlarının simülasyonu için gelişmiş bünye modelleri gereklidir. Buna ek olarak, zemin çok fazlı bir malzeme olduğundan, zemindeki hidrostatik ve hidrostatik olmayan boşluk suyu basınçları ile başa çıkmak için özel prosedürler uygulamak gereklidir. Zeminin kendisinin modellenmesi önemli bir konu olmasına rağmen, birçok geoteknik proje yapıların modellenmesini ve yapı-zemin arasındaki etkileşimini içermektedir. Plaxis, karmaşık geoteknik yapıların çeşitli yönleriyle başa çıkmak için özelliklerle donatılmıştır bir yazılımdır. Zemin verilerinin, yapıların, inşaat aşamalarının, yüklerin ve sınır koşullarının girişi, geometrinin ayrıntılı bir şekilde modellenmesine olanak tanıyan uygun CAD çizim prosedürlerine dayanmaktadır. Bu geometri modelinden bir sonlu eleman ağı kolayca üretilir (Dasho & Aga, 2023). Plaxis 2D kullanımı için genel bilgiler ve kısa özet aşağıda verilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Plaxis 2D input program düzeni

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

Menu bar: Menü çubuğu, output programında bulunan seçenekleri kapsayan açılır menüler içerir.

General toolbar: Disk işlemleri ve model görüntüleme düzeni gibi genel işlemler için sekmeler içerir. Ayrıca, output programını başlatmak için bir sekme içerir.
Mode tabs: Farklı modelleme modlarını ayırmak için kullanılır. Burada aşağıdaki sekmeler mevcuttur:
Draw area: Çizim alanı, geometri modelinin oluşturulduğu ve değiştirildiği çizim sayfasıdır. Geometri modeli, fare ve yan araç çubuğunda bulunan düğmeler kullanılarak oluşturulabilir.
Status bar: Status bar, fare imlecinin çizim alanındaki konumu hakkında bilgi görüntüler. Cetvellerin, başlangıç noktasının, artı işaretinin, ızgaranın ve ızgaraya ya da nesnelerin görüntülenmesi, durum çubuğundaki ilgili düğmelere tıklanarak açılıp kapatılabilir.
Command line: Plaxis 2D, komut satırına karşılık gelen komutları yazarak klavye girişini kullanarak eylemleri gerçekleştirmeyi sağlar. Öte yandan, fare kullanılarak gerçekleştirilen tüm eylemler komutlara çevrilir. Model history sekmesine tıklandığında projede yürütülen tüm komutlar oynatılırken, Session sekmesine tıklandığında yalnızca aktif oturumda yürütülen komutlar ve programın geri bildirimi görüntülenir. Kullanılabilir komutlar hakkında bilgi, Help menüsünün Command referansı seçeneği seçildiğinde sağlanır.

Explorers: Plaxis 2D input programda Explorers sekmesinde şunlar vardır:

- Selection explorer: Seçilen geometri nesnelerinin özelliklerini ve bunlara atanan özellikleri görüntüler ve bu nesneleri gizleme/gösterme, etkinleştirme/devre dışı bırakma imkânı verir.
- Model explorer: Modelde tüm geometri nesnelerinin özelliklerini ve bunlara atanan özellikleri görüntüler ve bu nesneleri gizleme/gösterme, etkinleştirme/devre dışı bırakma imkânı verir.
- Phases explorer: Hesaplama aşamalarının listesini gösterir ve tüm hesaplama aşamalarının bağımlılıklarının yanı sıra bir hesaplama aşamasının eklenmesini, silinmesini veya değiştirilmesini sağlar.

1. Geometri Oluşturma Sekmeleri:

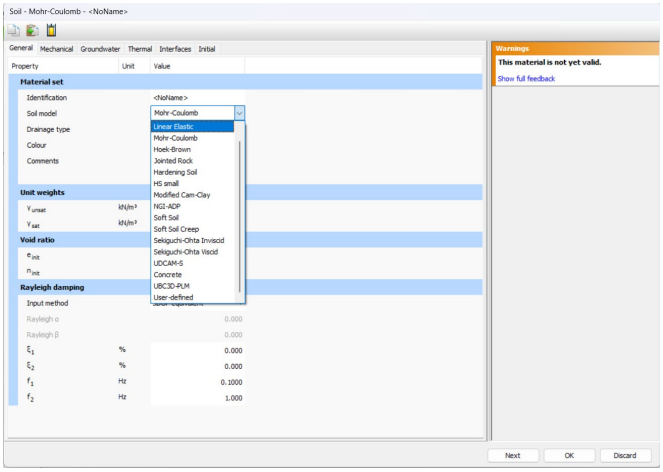
Projenin geometrik konfigürasyonu, input programında mavi renkli sekmelerle gösterilen geometri modlarında tanımlanır. Yapılar (plates, beams), interfaces veya loads gibi unsurlar, yalnızca Structures modunda geometrik objelere atanabilir (Şekil 6).



Şekil 6. Geometri oluşturma sekmeleri

Soil: Zemin stratigrafisi, genel su seviyeleri ve zemin katmanlarının başlangıç koşulları Soil sekmesinde tanımlanır. Create borehole butonuna basarak sondaj kuyusu oluşturulur. Geometride zemin malzemesi ve stratigrafiyi tanımlamak için gerekli özellikler mevcuttur. Sondaj kuyuları, yatay olmayan bir zemin stratigrafisi veya eğimli bir zemin yüzeyi tanımlamak için geometriye birden fazla sondaj deliği yerleştirilebilir. Plaxis 2D, sondaj delikleri arasındaki katman ve zemin yüzeyi konumlarını otomatik olarak enterpole eder. Eğer zemin modellemesi borehole oluşturularak yapılmayacak kadar kompleks bir yapıda ise kullanılabilecek bir diğer zemin modeli oluşturma alternatifi de polygon oluşturmaktır.

Oluşturulan zemin model tipleri ise modellenmek istenen zeminin tipine, drenaj durumuna ve yapılan malzeme özelliğinin detay durumuna göre farklılık göstermektedir. Malzeme tipleri aşağıdaki Şekil 7'de gösterilmiştir. Burada yaygın kullanılan malzeme model tipleri "Linear Elastic, Mohr-Coulomb, Hoek Brown, Jointed Rock, Hardening Soil, HS Small, Soft Soil ve Soft Soil Creep"'tir.



Şekil 7. Soil model menüsü

- Linear Elastic Model (LE): Lineer Elastic model, Hooke'un izotropik esneklik yasasına dayanmaktadır. Young modülü ve Poisson oranı olmak üzere iki temel elastik parametre içerir. Lineer Elastic model, zemin modellemek için uygun olmasa da beton duvarlar veya bozulmamış kaya oluşumları gibi zemindeki sert hacimleri modellemek

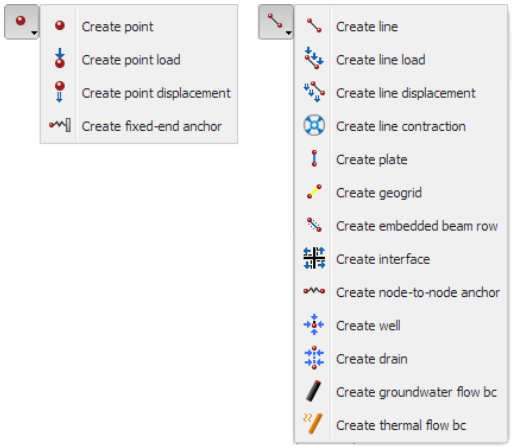
için kullanılabilir. Programda modelleme yaparken Drained, Undrained (A) ve Undrained (C) drenaj tipi önerilir.

- Mohr-Coulomb Model (MC): Bu model analizinde gerekli olan 7 tane temel parametre girdisi vardır. Bunlar; zeminin doğal ve doygun birim hacim ağırlıkları (γ_{unsat} ve γ_{sat}), Young modülü (E), Poisson oranı (ν), kohezyonu (c), içsel sürtünme açısı (ϕ) ve dilatansi (ψ) açısıdır. Mohr-Coulomb modelinde ele alınan sorunun ilk analizi için bu model önerilir. Her katman için sabit bir ortalama rijitlik (E_{ort}) veya derinlikle doğrusal olarak artan bir rijitlik ($E_0+\Delta E$) tahmin edilir. Bu sabit rijitlik nedeniyle, analizler hızlı yapılır ve deformasyonların ilk tahmini elde edilir. Tüm zemin türleri için bu model kullanılabilir. Model analizinde Drained, Undrained (A), Undrained (B), Undrained (C) ve Non-Porous drenaj tipi kullanılması önerilir.
- Hoek-Brown Model: Bu model, sağlam ve ayrışmış kaya oluşumlarının sertliğini ve mukavemetini tanımlamak için kullanılabilir. Pratik girdi parametreleri ile iyi bilinen Hoek-Brown yenilme kriterine dayanmaktadır. Alternatif olarak, eklemli kaya modeli tabakalı ve eklemli kaya oluşumları için kullanılabilir.
- Jointed Rock Model (JR): Eklemli Kaya modeli, tabakalaşma ve belirli fay yönlerini içeren kaya katmanlarının davranışını simüle etmek için özel olarak tasarlanmış anizotropik bir elastik-plastik modeldir.
- Hardening Soil Model: Zemin davranışı analizi yapmak için gelişmiş bir modeldir. Mohr-Coulomb model tipinde kullanılan parametrelere ek olarak malzeme rijitliğinin gerilme düzeyine bağlılığının gücü (m) olan sabit bir değer girilir. Bu değer yumuşak killer için m=1, kum ve siltler için genellikle m=0.5 alınır. Young modülü (E) için 3 parametre girilmelidir. Bu parametreler; üç eksenli yükleme rijitliği (E_{50}), üç eksenli boşaltma rijitliği (E_{ur}), ödometre yükleme rijitliğidir (E_{oed}). Çeşitli zemin türleri için ortalama değerler olarak, default ayarlar için $E_{ur} \cong 3*E_{50}$ ve $E_{oed} \cong E_{50}$ önerilir. Hem çok yumuşak hem de çok sert zeminler için E_{oed} /E_{50} oranı kullanıcı tarafından girilebilir. Bu model analizinde ön konsolidasyon gibi başlangıç zemin koşulları, çoğu zemin deformasyon probleminde önemli bir rol oynamaktadır. Bu model, tüm zemin tipleri için kullanılabilir detaylı analiz yöntemidir. Drained, Undrained (A), Undrained (B) drenaj tipi önerilir.
- HS Small Model: Bu model analizinde, küçük gerilmelerde zeminlerin artan rijitliğini açıklayan Hardening Soil model analizinin farklı bir analiz modelidir. Hardening Soil (HS) modele göre daha detaylı analiz yapar. Hardening Soil modelde girilen

parametrelere (c′, ϕ′, ψ, E_{50}, E_{ur}, E_{oed}, m) ek olarak 2 parametre daha girilmelidir. Bu parametreler; small-strain shear modülü (G_0^{ref}) ve strain level ($\gamma_{0.7}$). Bu modelde, HS'ye göre daha güvenilir yer değiştirme sonuçları verir. Bu model, döngüsel yüklemeyi (cyclic loading) modellemek için kullanılabilir. Ancak döngüsel yükleme sırasında kademeli bir yumuşama içermez, bu nedenle yumuşamanın rol oynadığı döngüsel yükleme problemleri için uygun değildir. Buna ek olarak sıvılaşma davranışı hesaba katılmaz. Drained, Undrained (A), Undrained (B) drenaj tipi önerilir.

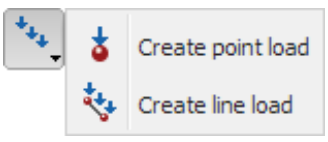
- Soft Soil Model (SS): Bu zemin modeli, normal konsolide killerin birincil sıkışma anlamına gelen Cam-Clay tip zeminler için kullanılan model tipidir. Soft Soil model, yumuşak zeminlerin analizinde Hardening Soil modele göre daha kapsamlı çalışan bir modeldir. 5 parametre girdisi vardır. Bunlar; λ, κ, c′, ϕ′, ψ'dir. Soft Soil modelin kullanımı, sıkışmanın hâkim olduğu durumlarla sınırlandırılmalıdır. Model, boşaltma problemlerinde Mohr-Coulomb modelinin yerini alamadığı için, kazı problemlerinde kullanılması önerilmez. Drained, Undrained (A) drenaj tipi önerilir.
- Soft Soil Creep Model (SSC): Hardening Soil modelde olduğu gibi, SSC kullanılırken uygun başlangıç zemin koşulları da önemlidir. Model, aşırı konsolidasyonun etkisini hesaba kattığı için bu, ön konsolidasyon gerilimleri ilgili verileri de içerir. Drained, Undrained (A) drenaj tipi önerilir. Bütün zeminler akmaya ve birincil konsolidasyona, bazıları ise ek olarak ikincil konsolidasyona sahiptir. Hardening Soil model de tüm zeminlerin analizi için en uygun modeldir ancak akma ve gerilmenin gevşemesi gibi viskoz etkileri hesaba katmaz bu yüzden viskoz etkiler dikkate alınacaksa bu model kullanılmalıdır. Soft Soil modelde bulunan parametrelere (λ, κ, c′, ϕ′, ψ) ek olarak μ (C_α) girdisi vardır. Normal konsolide killer, siltler ve turba gibi yumuşak zeminler modellenirken Soft Soil Creep model kullanmak tavsiye edilir. SSC temel olarak temeller, bentler vb. yapıların oturma problemlerinin analizi için geliştirilmiştir. Tünel açma ve diğer kazı problemlerinde karşılaşılan zemin boşaltma problemlerinde SSC kullanılmaz.

Structures: Projedeki yapısal elemanlar ve kuvvetlerin yanı sıra geometrik objeler, Structures modunda tanımlanır (Şekil 6, Şekil 8).



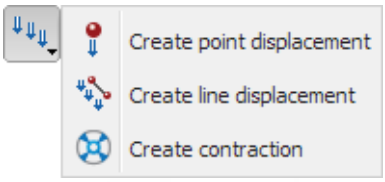
Şekil 8. Yapısal elemanlar

- Points: Bir geometrinin oluşturulmasında temel girdi öğelerinden biri noktadır. Bir nokta oluşturmak için yan araç çubuğundaki Create point butonuna tıklanır ve ardından noktanın konumu tıklanır. Bir noktaya Point load, Point displacement ve Fixed-and anchor özelliği atanabilir (Şekil 8).
- Lines: Geometrinin oluşturulmasında kullanılan diğer bir temel girdi öğesi ise Line'dır. Bir çizgi oluşturmak için yan araç çubuğundaki Create line butonuna tıklanarak çizim alanında çizginin birinci ve ikinci noktalarının konumu belirlenerek eleman çizilir. Line elemana Distributed load, Prescribed displacement, Plate, Geogrid, Embedded beam row, Interface, Node-to-node anchor, Well, Drain ve Groundwater flow boundary condition atanabilir (Şekil 8).
- Polygons: Poligon özelliği Structures modunda zemin kümeleri oluşturmak için kullanılabilir. Daha çok düzgün olmayan ve birbirine paralel olmayan zemin katmanlarının modellenmesi amacıyla kullanılır.
- Point Load: Yapılan modellemede, belirli noktalara veya x,y koordinatı girilerek tekil yük uygulamak amacıyla kullanılır (Şekil 9).
- Line Load: Yapılan modellemede, belirli noktalara veya x,y koordinatı girilerek yayılı yük uygulamak amacıyla kullanılır (Şekil 9).



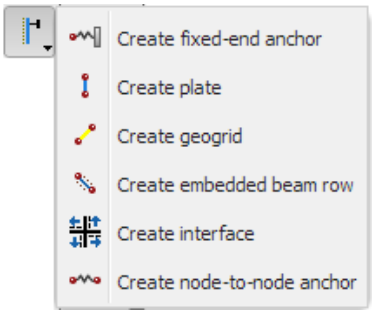
Şekil 9. Yük elemanları

- Point displacement: Model üzerinde x ve y eksenlerinde istenilen değerde noktasal deplasman tanımlamak amacıyla kullanılır (Şekil 10).
- Distributed displacement: Model üzerinde istenilen değerde belirlenen düzlem uzunluğunda deplasman tanımlamak amacıyla kullanılır (Şekil 10).
- Line contraction: Bu eleman, bir tünel kaplaması etrafındaki alan kaybını simüle etmek veya genel olarak bir hatta daralma uygulamak için kullanılabilir (Şekil 10).



Şekil 10. Deplasman elemanları

- Fixed-end anchor: Kazıkları simüle etmek için kullanılan bir model yöntemidir. Kazık-zemin etkileşimini dikkate almadan simüle edilir. Alternatif olarak, sabit uçlu ankrajlar istinat duvarlarını desteklemek için ankrajları veya destekleri simüle etmek için kullanılabilir (Şekil 11).
- Node-to-node anchor: Bu eleman hem çekme kuvvetlerine (ankrajlar için) hem de basınç kuvvetlerine (payandalar için) maruz kalabilir. Hem çekme kuvveti hem de basınç kuvveti, ankraj veya payanda arızasının simülasyonuna izin verecek şekilde sınırlandırılabilir (Şekil 11).



Şekil 11. Structure menü

- Embedded beam row: Kazıkların, kaya bulonlarının ve zemin ankrajlarının etrafındaki gerilim durumu ve deformasyon modeli tamamen üç boyutlu olduğundan, bu tür yapıların 2 boyutlu bir modelde gerçekçi bir şekilde

modellenmesi imkansızdır. Bu nedenle, embedded beam row, 2 boyutlu plane strain modelinde düzlem dışı yöndeki bir dizi kazık, kaya bulonları veya zemin ankrajlarıyla başa çıkmak için yalnızca basitleştirilmiş bir yaklaşımdır (Şekil 8).

- Plate: Aslında kiriş elemanı olarak kullanılan plate elemanlar, önemli bir eğilme rijitliğine ve normal bir rijitliğe sahip zemindeki ince yapıları modellemek için kullanılan yapısal nesnelerdir. Plakalar, z yönünde uzanan duvarların, plakaların, kabukların veya kaplamaların etkisini simüle etmek için kullanılabilir (Şekil 8).
- Geogrid: Geogrid elemanlar eksenel rijitliğe sahip fakat eğilme rijitliği olmayan ince yapılardır. Geogrid elemanlar yalnızca çekme kuvvetlerine dayanabilir ve sıkıştırmaya neden olmaz. Bu nesneler genellikle zemin donatılarını modellemek için kullanılır (Şekil 8).
- Interface: Interface elemanlar, zemin yapısı etkileşiminin uygun bir şekilde modellenmesine olanak sağlamak için plate veya geogrid elemanlara eklenecek bağlantı elemanlarıdır. Arayüzler, örneğin bir plaka ile çevredeki toprak arasındaki temasta yoğun olarak kesilen malzemenin ince bölgesini simüle etmek için kullanılabilir. Plate veya geogrid elemanlarının yanında veya iki toprak hacmi arasında arayüzler oluşturulabilir (Şekil 8).
- Tunnel: İstenilen şekillere ve koşullara sahip tünel modellemek amacıyla kullanılmaktadır.

2. Hesap Sekmeleri:

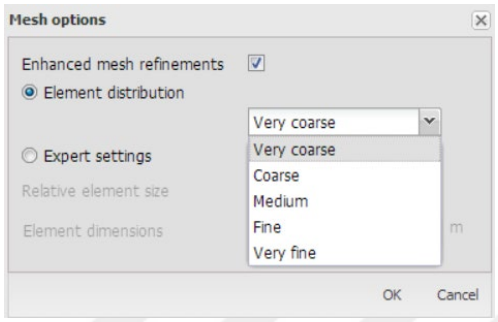
Hesaplama işlemi, Plaxis 2D input programında yeşil renkli sekmelerle gösterilen Calculation (Mesh, Flow conditions ve Staged construction) modlarında tanımlanır (Şekil 12). Bu modlarda objeler oluşturulamaz ve mevcut geometri objelerine yeni unsurlar atanamaz. Ancak tanımlanan özelliklerin (malzeme veri seti, yük değerleri) özellikleri değiştirilebilir.



Şekil 12. Calculation modes

Mesh: Geometri modeli ayrıklaştırılır ve Mesh modunda bir sonlu eleman ağına dönüştürülür. Geometrik konfigürasyon bu modda değiştirilemez. Ağ, projenin geometrisi

her değiştirildiğinde yeniden oluşturulmalıdır. Aşağıda verilen şekilde Very coarse, Coarse, Medium, Fine ve Very fine modları ağ sıklığını yani oluşturulan gerilme noktalarının sıklığı ve sayısını ifade eder. Very fine moddan Very coarse moduna doğru analiz süresi ve yapılan analiz detayı azalmaktadır. Bu modlar dışında mesh ayarı element boyutu ve mesafesine bağlı olarak Expert settings kısmından yapılabilir (Şekil 13).



Şekil 13. Mesh menü

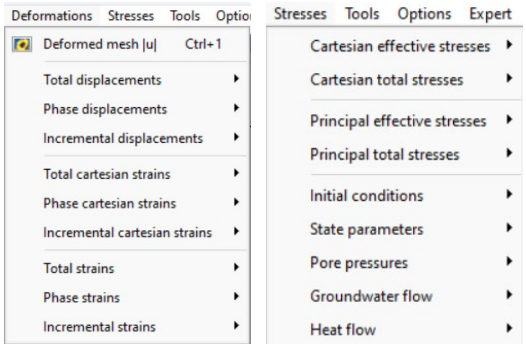
Flow conditions: Soil modunda tanımlanan su koşullarından üretilen su seviyelerinin yanı sıra, bu modda kullanıcı su seviyeleri de tanımlanabilir ve değiştirilebilir.
Staged construction: Geometri modelinin parçaları etkinleştirilebilir/devre dışı bırakılabilir ve özellikler değiştirilebilir. Proje, Stage construction modunda hesaplanır. Bu sekme altında 5 farklı hesap tipi ve 3 farklı boşluk suyu basınç hesap tipi bulunmaktadır. Analiz hesap tipleri; Plastic analysis, Consolidation analysis, Safety analysis, Dynamic analysis ve Fully coupled flow deformation analysis‘dir. Boşluk suyu basıncı hesap tipleri ise; Phreatic, Use pressures from previous phase ve Steady state groundwater flow’dır.

- Plastic analysis: Elastoplastik drenajlı ve drenajsız analiz hesaplama türüdür. Bu hesaplama tipinde konsolidasyon hesabı yapılmaz.
- Consolidation analysis: Deformasyonun zamana bağlı hesabını ve aşırı boşluk suyu basıncı hesabını yapmak için kullanılan yöntemdir.
- Safety analysis: Kuvvet azaltma katsayısı ile global güvenlik katsayısı hesabını yapmak için kullanılan tiptir. Mesh, bu analiz tipinde updated edilmez.
- Dynamic analysis: Zaman alanında dinamik analiz yapmak için kullanılan hesaplama tipidir. Hesaplama yaparken 0 (sıfır) olmayan zaman aralığı kullanılmalıdır.

- Fully coupled flow deformation analysis: Deformasyonun zamana bağımlı analizi ve toplam boşluk suyu basıncı hesabını yapmak için kullanılan hesaplama tipidir. Permeabilite özellikleri girilmelidir. Hesaplama yaparken 0 (sıfır) olmayan zaman aralığı kullanılmalıdır.
- Phreatic: Sabit seviyede bulunan ve kararlı haldeki sudan oluşan boşluk suyu basıncını hesaplamak için kullanılan hesaplama tipidir.
- Use pressures from previous phase: Akım deformasyon analizi için ana aşamada girilmiş olan kararlı halde bulunan suyun oluşturduğu boşluk suyu basıncını hesaplamak için kullanılan hesaplama tipidir.
- Steady state groundwater flow: Hidrolik koşullara bağlı olarak kararlı durum boşluk suyu basıncını ve phreatic level belirlemek için akış hesaplaması yapmak için kullanılır. Permeabilite özelliklerinin değerleri girilmelidir.

3. Program Çıktıları (Output)

Plaxis paket programda önce geometri modeli oluşturulur. Daha sonra hesaplama aşamasına gelinerek yükleme ve zemin koşulları belirlenip analiz yapılır. Yapılan analiz türüne göre analiz çıktıları elde edilir. View calculation results butonuna basılarak elde edilen çıktılar bu kısımda incelenir. Bu bölümde zeminde ve yapısal elemanlarda meydana gelen eksenlere göre oturmalar, maksimum ve minimum gerilmeler, yapısal elemanlara gelen eksenel yükler, kesme kuvvetleri, momentler, su basınçları gibi birçok çıktı elde edilmektedir. Bu çıktılara bakabilmek için paket programda sekmeler bulunmaktadır. Deformation sekmesine basılarak Total displacements, Phase displacements, Incremental displacements, Total cartesian strains, Phase cartesian strains, Incremental cartesian strains, Total strains, Phase strains ve Incremental strains çıktıları, Stresses sekmesine basılarak Cartesian effective stresses, Cartesian total stresses, Principal effective stresses, Principal total stresses, Initial conditions, State parameters, Pore pressures, Groundwater flow ve Heat flow çıktıları incelenebilir. Deformation ve Stresses sekmeleri Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Deformasyon ve gerilme sekmeleri

1.5. SPSS Programı ve Regresyon Analizi

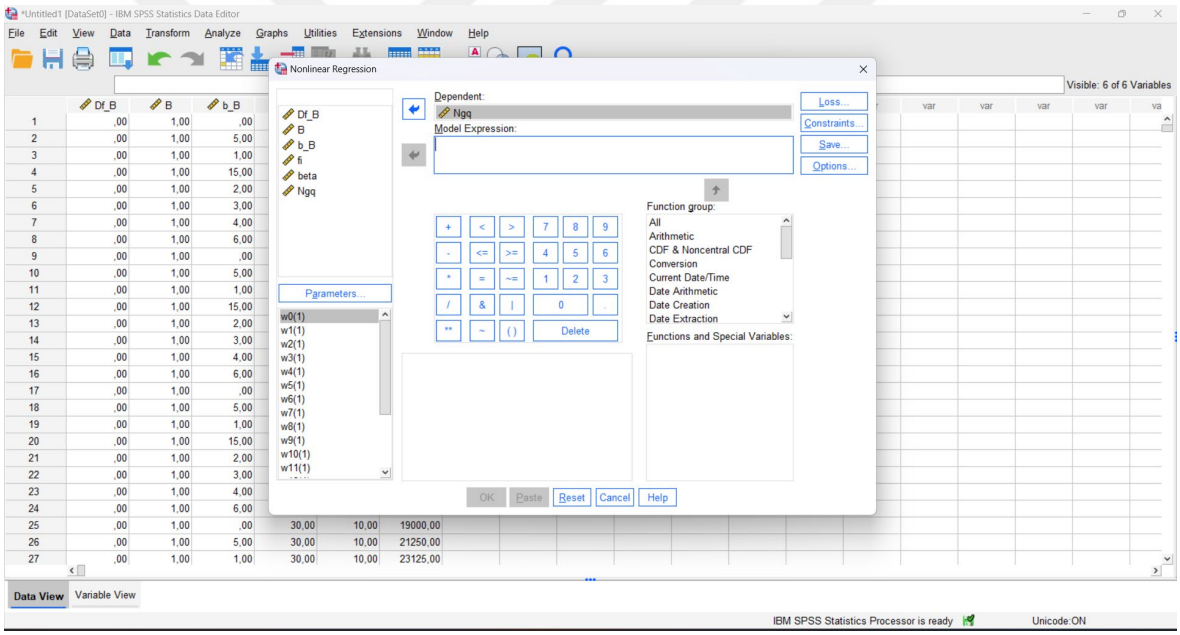
Kısaltması “sosyal bilimler için istatistik paketi” anlamına gelen SPSS, istatistiksel analiz ve veri yönetimi için yaygın olarak kullanılan modüler bir yazılım aracıdır. Özellikle sosyal bilimler, tıp ve psikoloji gibi alanlarda popülerdir. SPSS, çeşitli istatistiksel analiz yöntemleri ve araçları sunarak onu çeşitli araştırma alanları için zorunlu bir nicel veri analizi aracı haline getirmektedir (Rahman & Muktadir, 2021).

Veri tabanı geliştirme, istatistiksel analizin otomasyonu, bağımlı bir değişken ile bir veya daha fazla bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi araştırmak ve modellemek için kullanılan istatistiksel bir yöntem olan regresyon modelleri oluşturma ve anket verilerinin analiz edilmesi gibi görevlerde kullanılır (Elbay vd., 2022). Hipotez testleri, t-testleri, ki-kare testleri ve ilişki ölçümleri dahil olmak üzere veri analizi için bir dizi işlevsellik sağlar (Miller vd., 2002).

SPSS, tıbbi araştırmalarda ameliyat için hasta seçimi, prognoz tahmini ve klinik araştırmalara göre sınıflandırma ile ilgili çalışmalarda da kullanılmıştır (Naffouje vd., 2018; Lv vd., 2022). Ayrıca çocuklarda ve ergenlerde bilişsel ve duygusal temsillerin analizinde ve ayrıca travmatik beyin hasarı sonrası aile memnuniyeti ve yaşam memnuniyeti yörüngelerinin incelenmesinde kullanılmıştır (Maftei vd., 2022; Johnson vd., 2010). SPSS ayrıca çalışan performansının analizi, öğretim stratejileri, ürün yeniliği ve evlerde çapraz havalandırma için pencerelerin manuel kontrolünde bina sakinlerinin davranışlarının tahmini gibi diğer çeşitli araştırma alanlarında da kullanılmıştır (Riwukore vd., 2022; Borisha vd., 2018). Ayrıca, ulusal girişimciliğin ulusal rekabet gücü üzerindeki etkisinin analizinde, kar mülklerinin geri alınmasında, akut miyokard enfarktüsünün bakımında mekânsal eşitsizliklerde ve Hindistan'da kendi kendine yardım grubu ürünlerinin perakende

satışında kullanılmıştır (Kara & Kaygısız, 2022; Mei vd., 2021). Ek olarak SPSS, kariyer gelişiminin ve iş güvensizliğinin dış kaynak kullanan çalışanların işten ayrılma niyetleri üzerindeki etkisine ilişkin çalışmalarda ve Tayland'da karayolu trafik ölümlerini tahmin etmede kullanılmıştır (Nugraha & Garin, 2019; Jomnonkwao vd., 2020).

Mühendislikte, büyük miktarda veri toplama ve analiz ihtiyacı sürekli artmaktadır. SPSS, mühendislik için geniş bir veri analizi aracı seti sunar ve karmaşık mühendislik sorunlarını anlamada ve çözmede yardımcı olur. SPSS, mühendisler için gerekli olan deneysel verileri anlamada, yorumlamada ve değerlendirmede kullanabilecekleri temel istatistiksel analiz yapar. Yapılan analizler arasında ortalama, standart sapma, regresyon analizi ve ANOVA gibi temel istatistiksel yöntemler bulunur. Bu yöntemler, mühendislik projelerindeki değişkenler arasındaki ilişkileri anlamada kritik öneme sahiptir.



Şekil 15. SPSS paket programı ve arayüzü

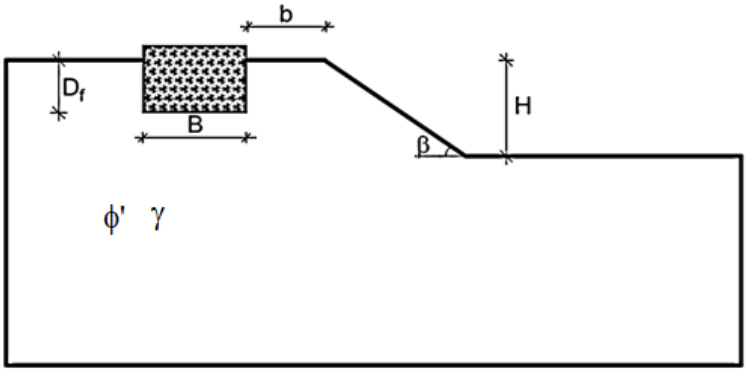
Mühendislik alanında projelerde sıklıkla karşılaşılan temel sorunlardan biri de bir değişkenin diğerleri üzerindeki etkisinin nasıl ve ne derecede olduğunu anlamaktır. SPSS'in lojistik ve doğrusal regresyon analizi gibi araçları, bu tür durumları modelleyerek değerlendirir. Bu, mühendislerin belirli parametrelerin sistem üzerindeki etkilerini tahmin etmelerine ve anlamalarına yardımcı olur. Buna ek olarak SPSS'in boyut azaltma araçları ve faktör analizi, benzer özelliklere sahip değişken gruplarını belirlemede ve veri setini daha anlamlı hale getirmede yardımcı olabilir (Kolawole, 2015).

Mühendislik projelerinde zaman içindeki değişiklikleri izlemek ve analiz etmek önemlidir. SPSS, zaman serisi analizi araçları ile mühendislerin zamana bağlı değişen verileri anlamalarına ve gelecekteki eğilimleri tahmin etmelerine yardımcı olur. Ayrıca SPSS'in sunduğu analiz sonuçları, mühendislerin projelerde önemli kararları almasına ve stratejik planlamalar yapmasına da yardımcı olmaktadır. Bu sonuçlar, mühendislik projelerinde veri tabanlı karar destek sistemlerinin oluşturulmasında kritik bir rol oynamaktadır (Inder, 2020).

Sonuç olarak SPSS, çeşitli araştırma alanlarında istatistiksel analiz ve veri yönetimi için çok yönlü ve yaygın olarak kullanılan bir yazılım aracıdır ve bu da onu farklı alanlardaki araştırmacılar ve analistler için önemli bir kaynak haline getirmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında kohezyonsuz şevli zemine inşa edilen şerit temelin nihai taşıma gücünün bağlı olduğu parametrelerin nihai taşıma kapasitesi, taşıma gücü faktörü ve parametrelerin birbirleri üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Meyerhof'un (1955) şevli zeminler üzerine inşa edilen şerit temelin nihai taşıma kapasitesi üzerine yaptığı çalışmasının daha kapsamlı hale getirilmesi amaçlanmıştır. Nihai taşıma kapasitesi değerlerinden taşıma kapasitesi faktörleri elde edilip her bir değişken parametre için SPSS paket programı ile nonlineer regresyon analizi yapılarak taşıma gücü faktörü bağıntısı elde edilmeye çalışılmıştır. Şev tepesine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma kapasitesini belirlemek için sayısal (nümerik) çözüm olan sonlu eleman yöntemi kullanan Plaxis 2D programında modeller yapılmıştır. Modellemede, nihai taşıma gücüne etkiyen değişken parametreler olarak; şev eğimi (β), temel genişliği (B), temelin şev kret noktasına uzaklığı (b), temel derinliği (D_f), zeminin içsel sürtünme açısı (ϕ) kullanılmıştır (Şekil 16). Modelleme yapılırken nihai taşıma gücüne etki eden 7 parametreden 2 tanesi sabit tutularak (c= 0~3 kPa ve H= 2 m) 5 tane değişken parametre kullanılmıştır. SPSS programı ile nonlineer regresyon analizinden elde edilen genel taşıma gücü katsayısı ($N_{\gamma q}$) bağıntıları, Meyerhof'un yaptığı çalışma ve nümerik (sonlu elemanlar yöntemi) analizler ile elde edilen veriler karşılaştırılarak yorumlanmıştır.



Şekil 16. Parametrelerin şekil üzerinde gösterimi

Tez kapsamında sonlu elemanlar yöntemine göre yapılan analizlerde kullanılan değişken parametreler, şev eğimi (β) için β=10˚, 15˚, 20˚, 30˚ ve şevli durumdaki zeminin eğim sınır değeri (ϕ′=β) olarak seçilmiştir. Temel genişliği (B) için B=1 metre, 1.5 metre ve

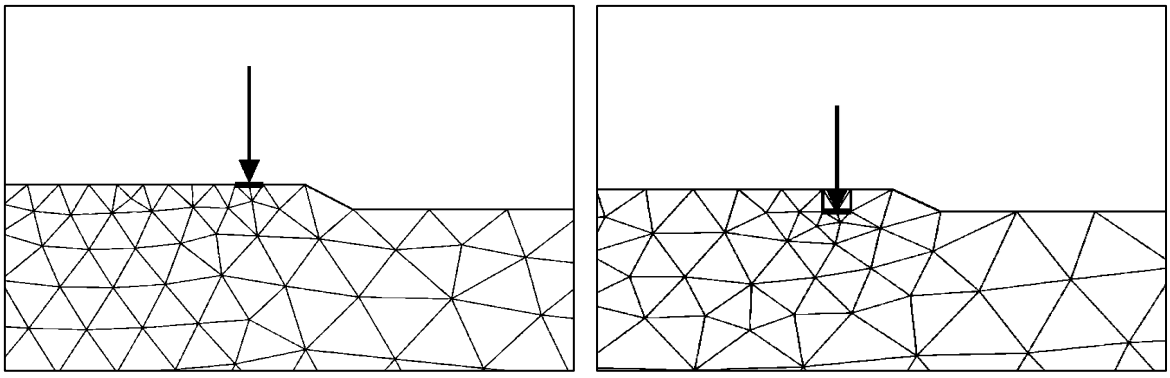
2 metre olarak seçilmiştir. Temelin kret noktasına uzaklığı (b) ve temel derinliği (D_f), temel genişliği ile boyutsuz parametre olarak b/B ve D_f/B kullanılmıştır. b/B olarak seçilen değerler; b/B=0, 0.5, 1, 1.5, 2, 4 ve 6'dır. D_f/B ise; 0, 0.5 ve 1 olarak seçilmiştir. Kohezyonsuz zemin için seçilen içsel sürtünme açıları gevşek zeminden sıkı zemine doğru ϕ=28˚, 30˚, 32˚, 34˚, 36˚, 38˚ ve 40˚ olarak seçilmiştir. Şev yüksekliği (H) ise 2 metre olarak sabit tutulmuştur.

Analizler, modellenirken model tipi *plane-strain* ve element tipi *15-Noded* olarak seçilmiştir. Zemin malzeme özellikleri atanırken drenaj tipi, *drained* olarak ve malzeme analiz modeli, *Mohr-Coulomb* analiz yöntemi seçilmiştir. Zeminde, yeraltı suyu bulunmadığı kabulü yapılarak yeraltı suyunun etkileri ihmal edilmiştir. Dilatansi açısı (ψ), Plaxis 2D Material Models Manuel'de kumlu zeminler için $\psi=\phi-30^\circ$ alınması ve $\phi<30^\circ$ ise genellikle $\psi=0^\circ$ olarak alınması belirtilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre yapılan analizlerde kullanılan zemin parametreleri Tablo 5'te verilmiştir. Zeminin kohezyon (c′) değeri ise; c′=0~3 kPa arasında seçilmiştir.

Tablo 5. Analizlerde kullanılan zemin parametreleri

ϕ' (˚)	28˚	30˚	32˚	34˚	36˚	38˚	40˚
γ (kN/m^3)	15	16	17	18	19	20	21
E′ (MPa)	13	15	20	25	30	35	40
ψ' (˚)	0	0	2	4	6	8	10

Yapıdan gelen yükleri taşıyacak olan şerit temel, rijit olarak kabul edilmiştir. Modelleme yaparken şerit temel, *plate* eleman olarak seçilmiştir. Şerit temelin malzeme tipi elastik malzeme ve izotropik olduğu kabul edilmiştir. Temelin rijitlik özellikleri ise; eksenel rijitlik (EA) değeri EA=30×10^6 kN/m, eğilme rijitlik (EI) değeri de EI=25×10^5 kNm^2/m olarak seçilmiştir. Temelin kalınlığı (d) 1 metre olarak seçildi ve ağırlığı (w) ihmal edildi. Tasarlanan şerit temel, rijit bir betonarme malzeme olduğu varsayıldığı için poisson oranı ν=0.2 olarak seçilmiştir. Yükleme tipi ise *point load* olarak seçildi ve temelin orta noktasına yerleştirilerek analizler yapıldı. Modellenen şevli zemin ve yükleme durumunun mesh diyagramı Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 17. Şevli zemin tepesine inşa edilen şerit temelin yükleme durumu ve mesh diyagramı

Şevli bir zemin üzerinde hesaplama yapıldığı için zeminin bulunduğu eğimde kendi ağırlığını taşıyıp taşıyamamasını hesaplamalara dahil etmek için hesap işleminin ilk adımında, *Inital Phase* kısmında analiz hesap tipi *Gravity Loading* olarak seçildi. Hesaplamalarda nihai taşıma gücünü bulmak için hesaplama tipi *Plastic* olarak seçildi. Hesaplama adımlarında her aşamada deplasmanlar sıfır değerine ayarlandı ve küçük gerilmeler ihmal edildi. Hesaplama adımları en fazla 1000 ve maksimum iterasyon sayısı da 100 olarak seçilerek hesaplamalar yapıldı.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez kapsamında yapılan çalışmada sonlu elemanlar yöntemiyle şevli durumdaki zeminin tepesine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma gücü (q_u) ve buna bağlı olarak taşıma gücü kapasitesi faktörü belirlenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

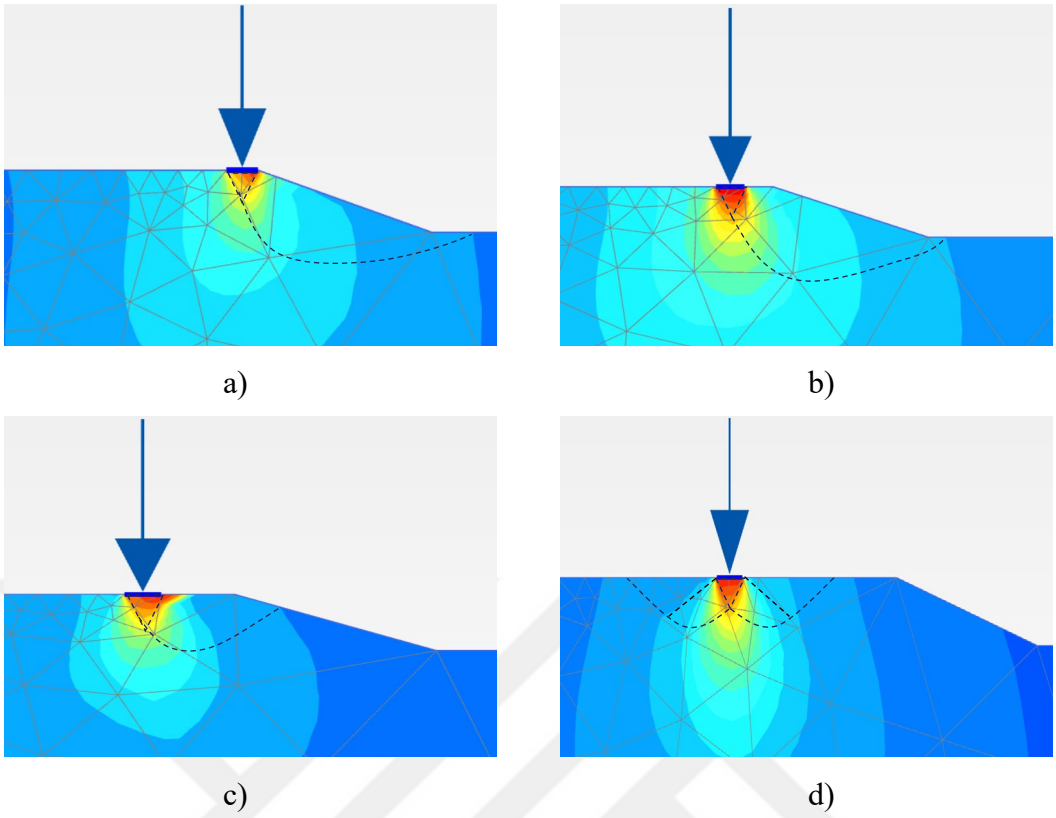
3.1. $D_f/B=0$ Durumu

Kohezyonsuz şevli zeminin tepesine inşa edilen şerit temellerde temel derinliğinin olmadığı ($D_f=0$) durumda, temelin nihai taşıma gücü, taşıma gücü faktörü ve nihai taşıma gücüne etki eden parametreler bu bölümde irdelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Temelin Şev Kretine Mesafesinin (b/B) Taşıma Kapasitesine Etkisi

Yüzeysel temel tasarımında, temelin şev kretine olan mesafesi (b), yapıya aktarılan yüklerin zemin üzerinde nasıl dağıldığını zeminin yer değiştirme davranışını ve nihai taşıma kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, temel tasarımında şev kretine olan mesafenin doğru bir şekilde hesaplanması ve uygun bir şekilde seçilmesi önemlidir. Bu çalışmada temelin şev kretine olan mesafesi (b) genellikle temel genişliğiyle (B) ilişkilendirilerek b/B oranının nihai taşıma kapasitesine etkisi üzerinde çalışılmıştır.

Temelin şev kretine olan mesafesi, yapıya etki eden yüklerin zemin üzerinde nasıl dağıldığını etkiler. Aynı özelliklere sahip şevli zeminde şev kretine olan mesafesinin farklı olması durumundaki temellerin zeminde oluşturmuş olduğu gerilme durumları Şekil 18'de gösterilmiştir. Bu yapılan çalışmada ise b/B oranları 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4 ve 6 olarak seçilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen nihai taşıma gücü değerleri kullanılarak (8) bağıntısı ile taşıma gücü katsayısı ($N_{\gamma q}$) elde edilmiştir. $N_{\gamma q}$ değerinin yüksek olması, taşıma gücünün de yüksek olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 18. $D_f/B=0$, $\phi=40°$, B=1 m ve $\beta=20°$ için farklı b/B mesafelerindeki temellerin zemindeki gerilme durumu (a) b/B=0, b) b/B=1, c) b/B=3, d) b/B=6)

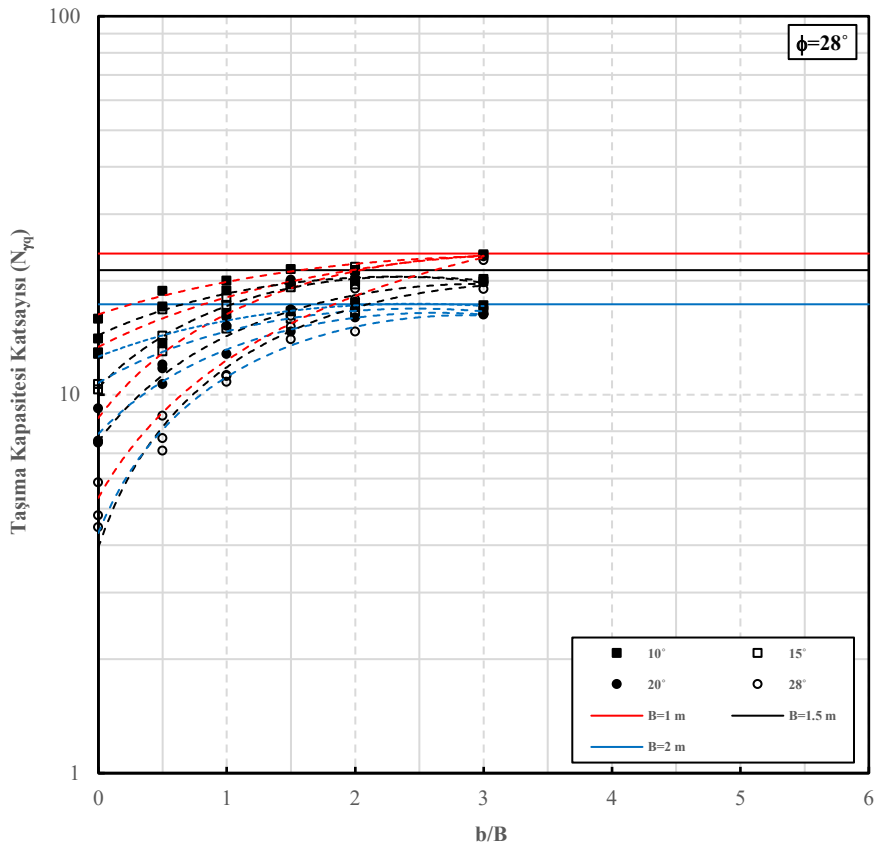
Temel, yüklerin zemine yayılmasını ve zeminin taşıma kapasitesini kullanarak yapının dengelemesini sağlar. Şev kretine olan mesafe (b), yüklerin zemine daha yaygın bir şekilde dağılmasını veya daha dar bir bölgede yoğunlaşmasını etkileyebilir. Bu parametre, temelin taşıma kapasitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir (Şekil 18).

Bu parametrenin, şevli zeminlere inşa edilen temellerin nihai taşıma kapasitesi üzerindeki bir diğer etkisi ise b/B oranının artması halinde belli bir mesafeden sonra yatay zemin durumunda bulunan temelin nihai taşıma kapasitesi seviyesine ulaşması ve bu mesafe ne kadar artırılırsa artırılsın nihai taşıma kapasitesinin sabit kaldığı, şevin nihai taşıma kapasitesine artık etkisinin ihmal edilebilir seviyede olduğu görülmektedir (Şekil 18). Temel, yatay zemin durumundaymış gibi davranış sergilemektedir. Yapılan analizlerin sonuçlarına göre b/B oranının artması taşıma gücü faktörünün artmasını sağlamaktadır. Bu artış belirli bir orandan sonra sabit kalmaktadır.

$\phi=28°$ ve 30° için yaklaşık olarak $b/B \geq 2\sim3$ olduktan sonra taşıma gücü faktörü değeri sabit kalmaktadır. Şev eğimi $\beta=$ 10° ve 15°'de bu oran b/B=2 değerine daha yakın olurken $\beta=20°$ ve 30° için bu oran 3'e daha yakın olmaktadır. Temel genişliği B= 1 metre için $N_{\gamma q}$

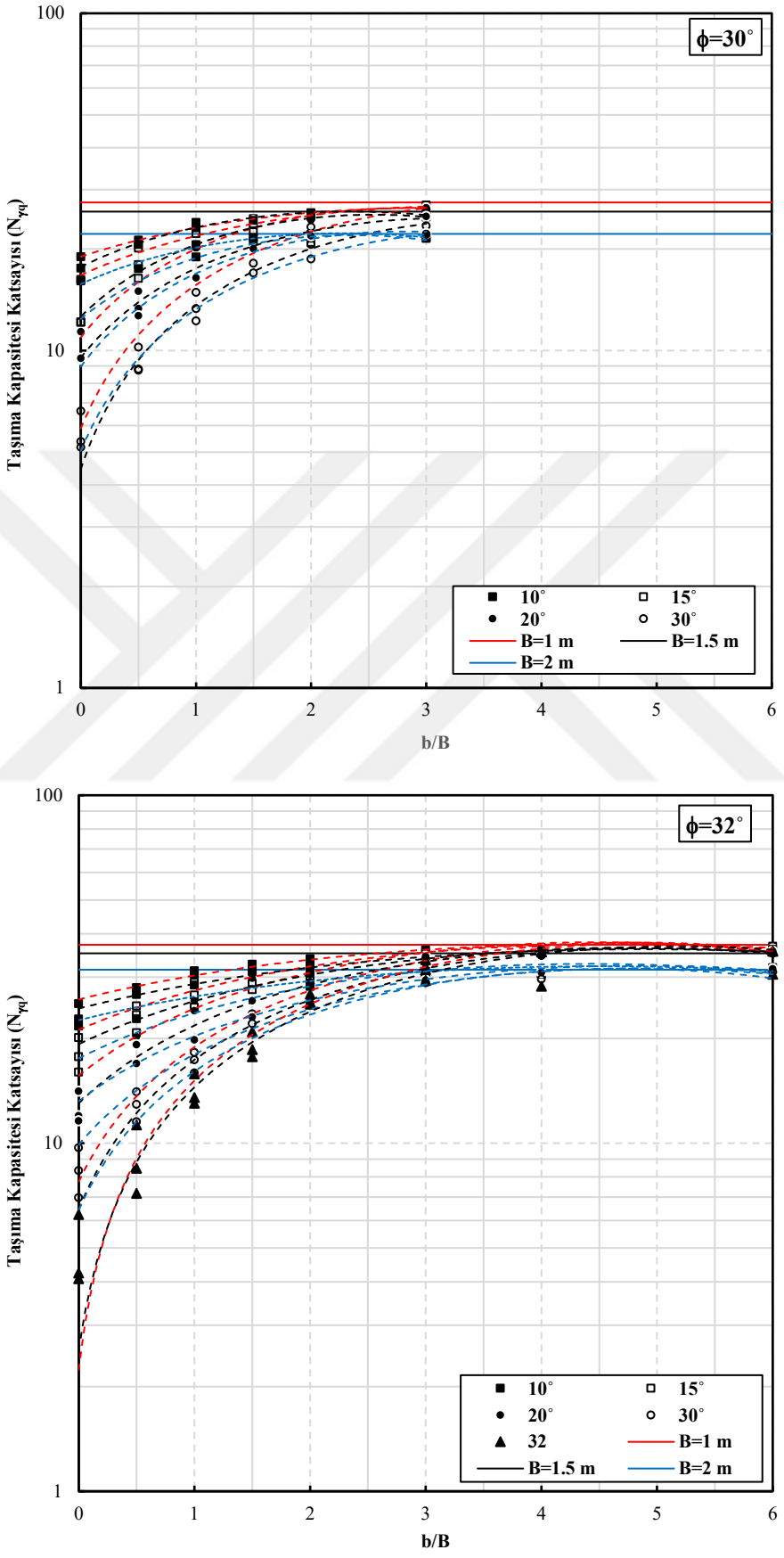
değeri b/B≥ 2'de sabit kalırken, B=2 m için bu oran b/B=3 olmaktadır. ϕ=32°, 34° ve 36° için yaklaşık olarak b/B≥3~4 olduğunda taşıma gücü faktörü değeri sabit kalmaktadır. Şev eğimi β=10° ve 15°'de bu oran b/B=3 değerine daha yakın olurken 20° ve 30° için bu oran 4'e daha yakın olmaktadır. Temel genişliği (B) 1 metre için b/B≥3'te sabit kalırken, B=2 m için bu oran b/B=4 olmaktadır. ϕ=38° ve 40° için yaklaşık olarak b/B≥4~5 olduğunda taşıma gücü faktörü değeri sabit kalmaktadır. Şev eğimi β= 10° ve 15°'de bu oran b/B=4 değerine daha yakın olurken β= 20° ve 30° için bu oran 5'e daha yakın olmaktadır. Temel genişliği B= 1 metre için b/B≥ 4'te $N_{\gamma q}$ değeri sabit kalırken, B=2 m için bu oran b/B=5 olmaktadır (Şekil 19).

$N_{\gamma q}$ katsayısının b/B oranına bağlı olarak farklı içsel sürtünme açıları (ϕ) için şev eğimi (β) ve temel genişliği (B) açısından değişimi Şekil 19'da gösterilmiştir.

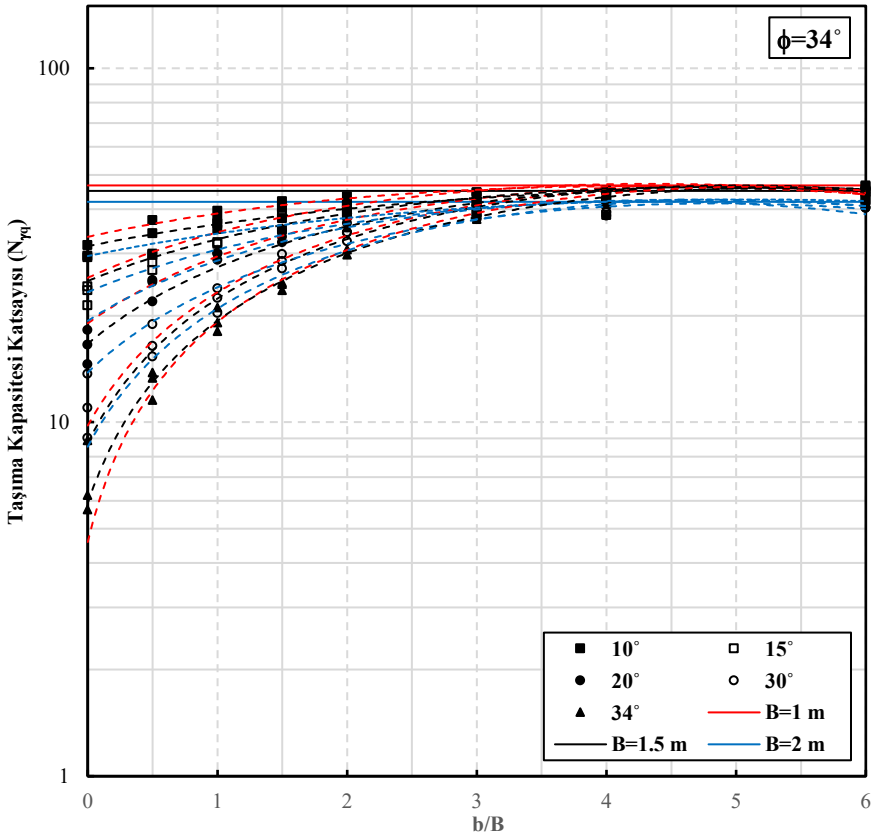


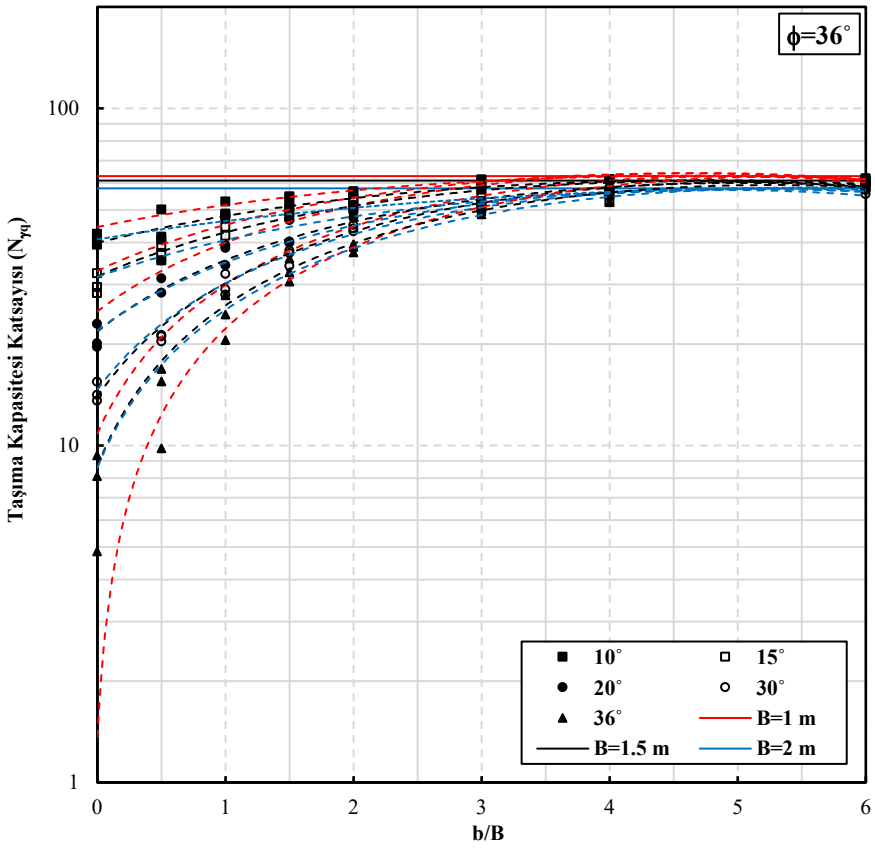
Şekil 19. $N_{\gamma q}$ katsayısının b/B, b ve B'ye göre değişimi

Şekil 19'un devamı

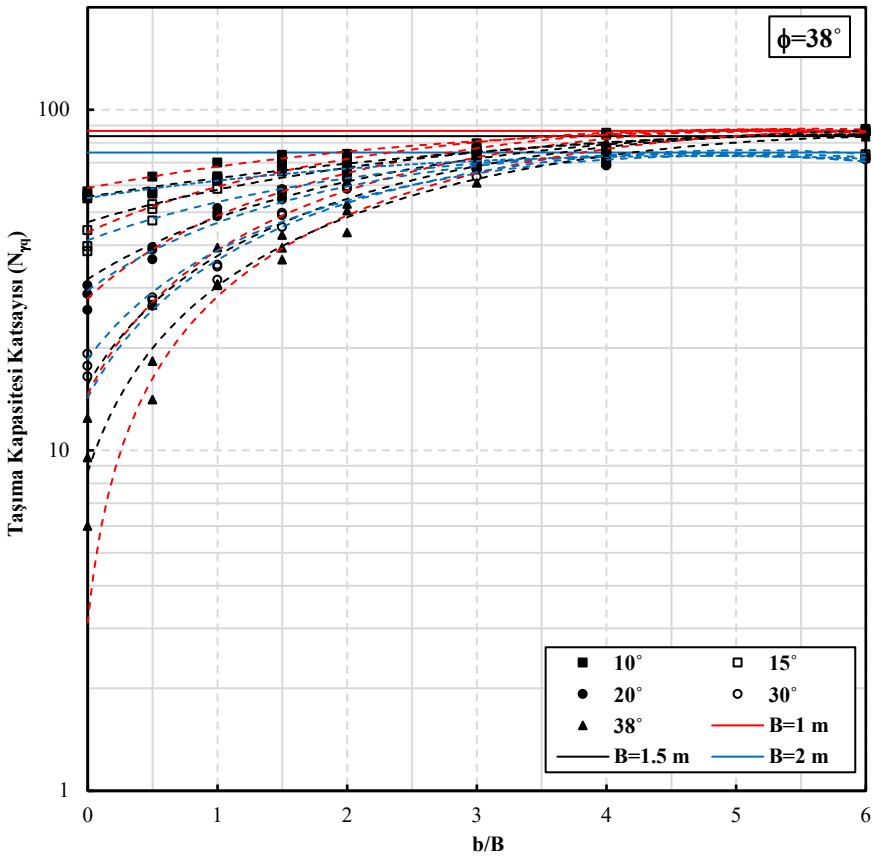


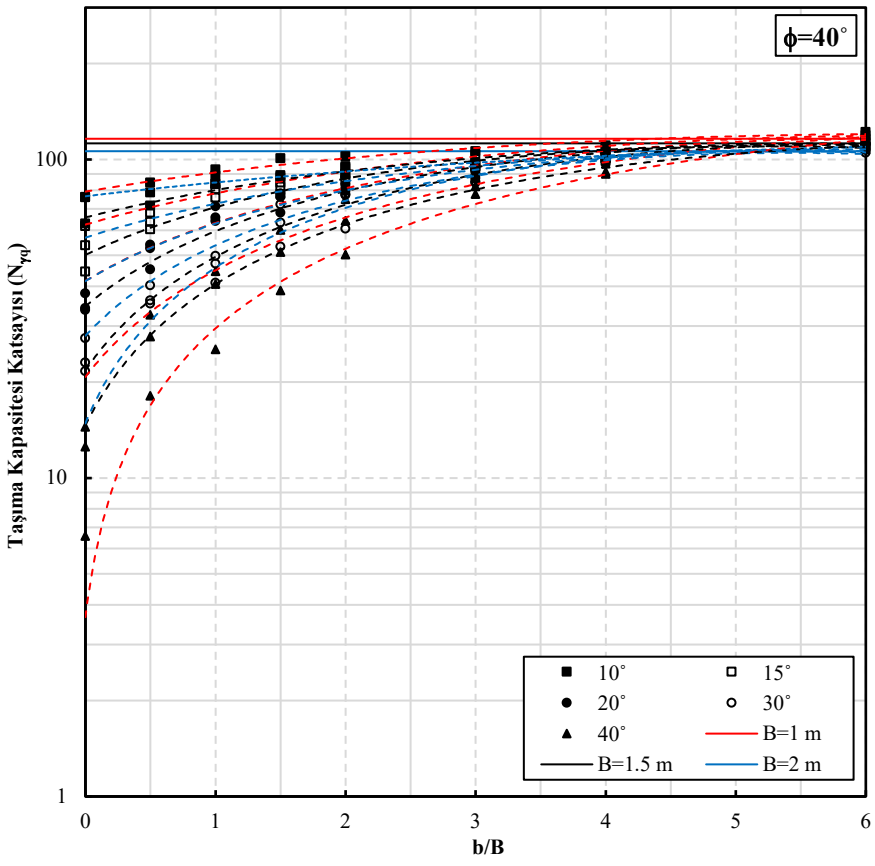
Şekil 19'un devamı



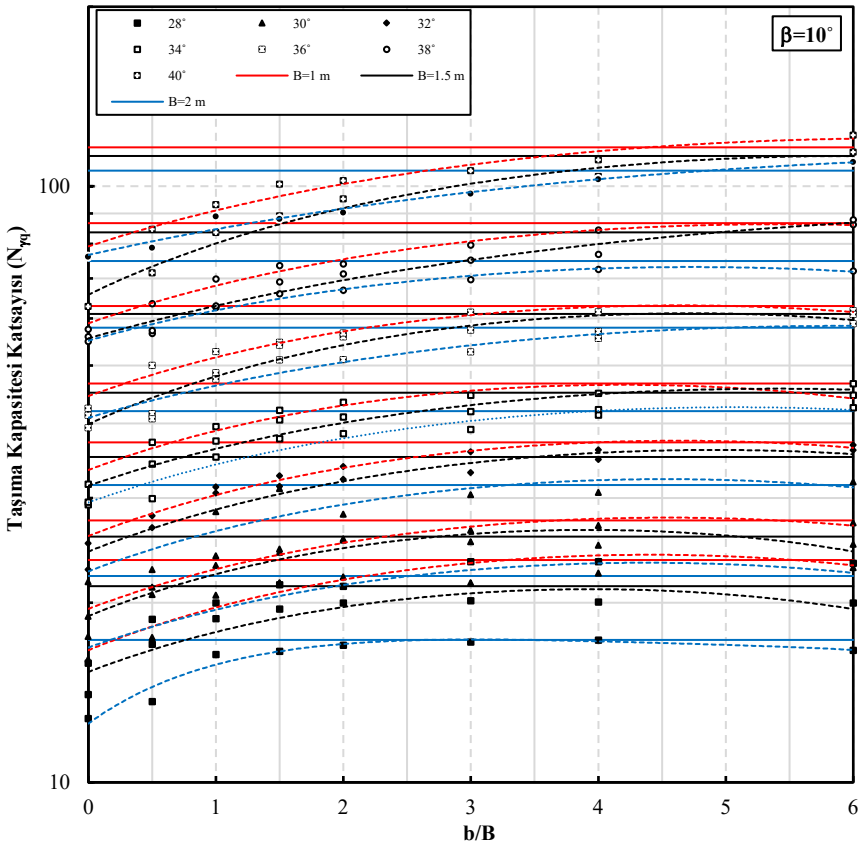


Şekil 19'un devamı



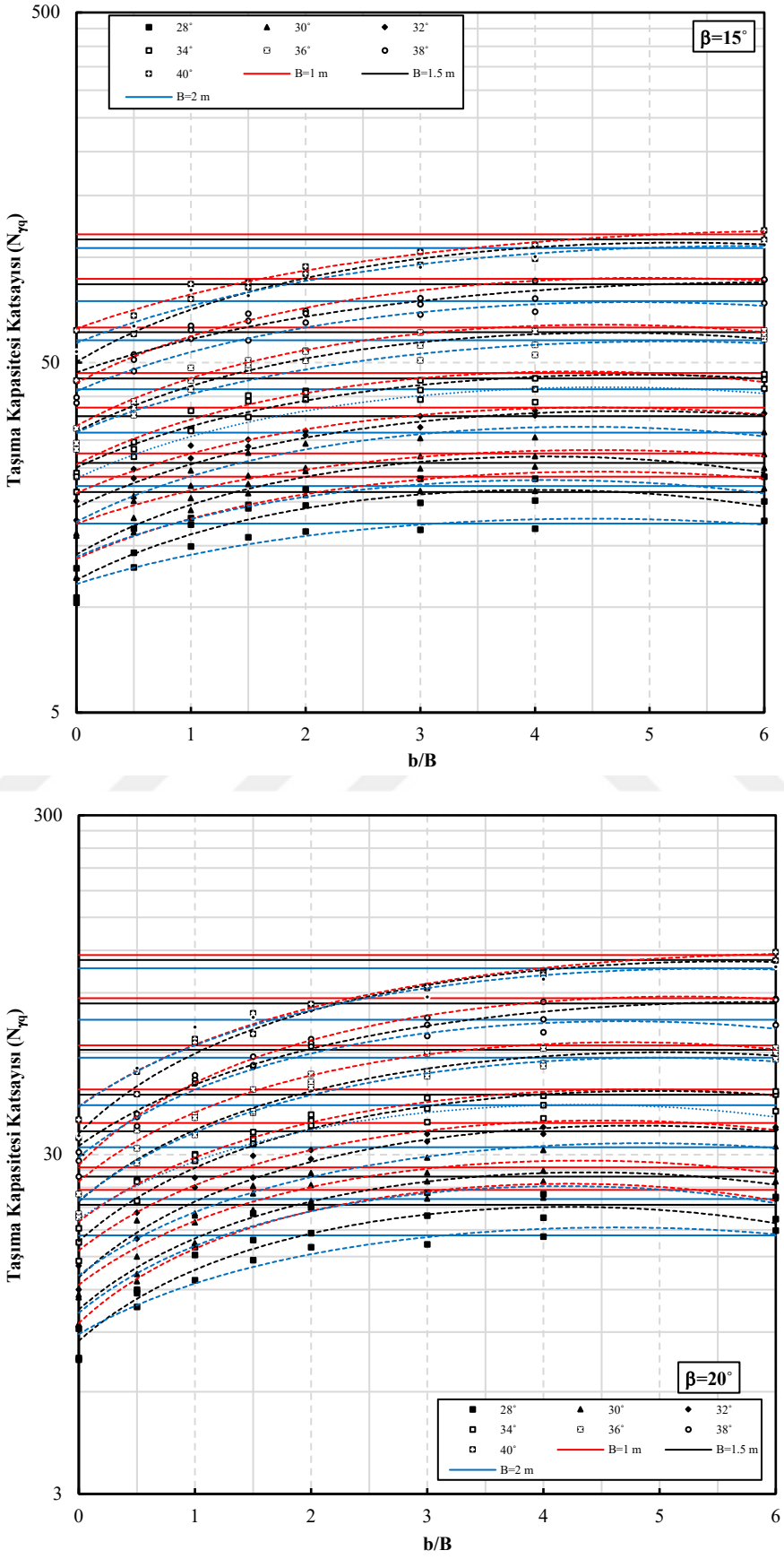


Yapılan çalışmada açıkça görülmektedir ki şev eğimi arttıkça taşıma gücü faktörü değeri azalmaktadır. Buna bağlı olarak, şev tepesine inşa edilen şerit temellerin daha düşük eğimlerde daha düşük b/B oranında yatay zemin durumundaki (β=0°) taşıma gücü faktörü değerine ulaştığı yani temelin şev etkisinden kurtulduğu görülmektedir. Buna ek olarak temellerin taşıma gücü faktörü, içsel sürtünme açısına bağlı olarak artmaktadır ve farklı genişlikteki temellerin taşıma gücü faktörü değeri içsel sürtünme açısı arttıkça birbirine yakın sonuçlar vermektedir. $N_{\gamma q}$ katsayısının b/B oranına bağlı olarak farklı şev eğimleri (β) için içsel sürtünme açısı (ϕ) ve temel genişliği (B) açısından değişimi Şekil 20'de gösterilmiştir.

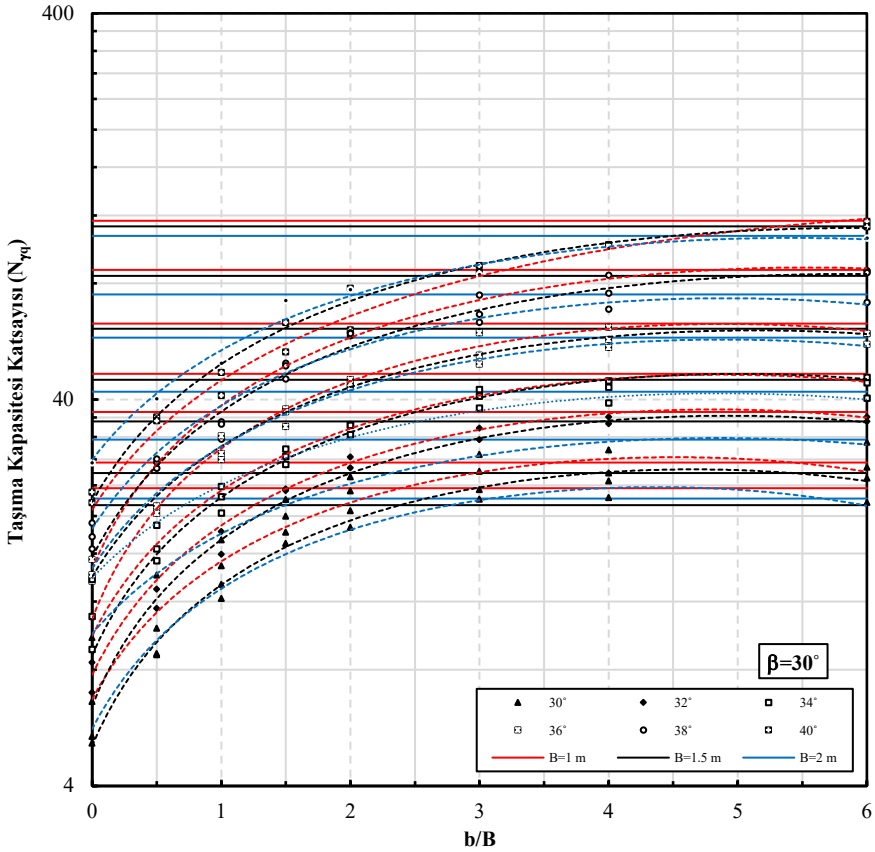


Şekil 20. $N_{\gamma q}$ katsayısının b/B, B, ϕ ve β'ya göre değişimi

Şekil 20'nin devamı



Şekil 20'nin devamı



3.1.2. Şev Açısının (β) Nihai Taşıma Kapasitesine Etkisi

Bu çalışma kapsamında yapılan modellemede şev eğimi β= 10˚, 15˚, 20˚ ve 30˚ olarak seçilmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen nihai taşıma gücü (q_u) değerleri (8) bağıntısı ile taşıma gücü katsayısı ($N_{\gamma q}$) elde edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi analizlerinden elde edilen bulgulara göre; şevli zemine inşa edilmiş şerit temelin nihai taşıma gücünü etkileyen parametrelerden temel genişliğinin (B) içsel sürtünme açısının (ϕ) ve şev eğiminin (β), nihai taşıma gücü (q_u-b/B) ve taşıma gücü faktörü ($N_{\gamma q}$-b/B) üzerindeki ilişkisi irdelenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre şev eğimi arttıkça taşıma gücü katsayısının ($N_{\gamma q}$) düştüğü gözlemlenmiştir. Temelin, şev eğiminin olmadığı bir zemine inşa edilmesi durumdaki nihai taşıma kapasitesine daha düşük şev eğimlerinde daha küçük b/B oranında ulaşırken daha yüksek şev eğimlerinde bu oran çok ciddi oranda olmasa bile artmaktadır.

A. Şev Eğimi (β) - Temel Genişliği (B) İlişkisi

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre ϕ=38˚ ve 40˚, şev eğimi β= 10˚ olması durumunda taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B=6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m'de ise b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥5 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında artmaya devam ederken, B=1.5 m iken b/B≥5~6 oranında, B=1 m iken b/B≥4~5 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında artmaya devam ederken, B=1.5 m iken b/B≥6 oranında, B=1 m iken b/B≥5 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

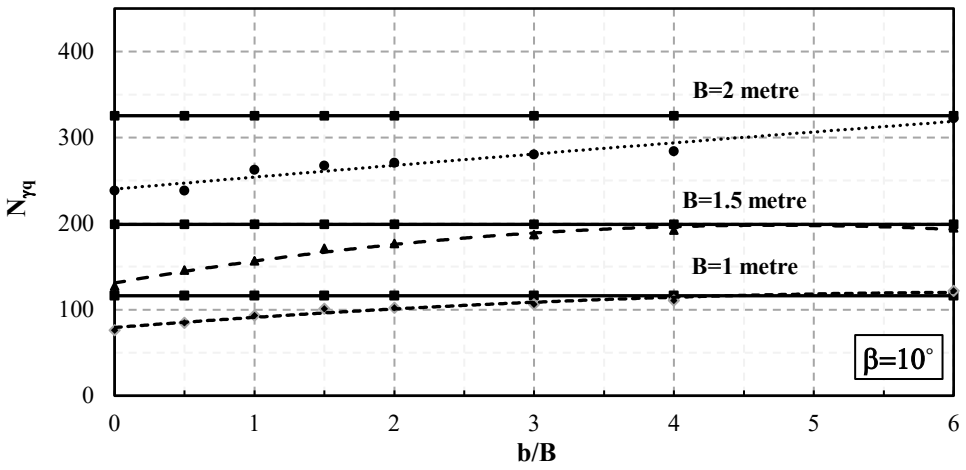
ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5~6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥5 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥5~6 oranında, B=1 m iken b/B≥4~5 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

ϕ=28˚ ve 30˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3 oranında, B=1 m iken b/B≥2~3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=30˚ ve şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

ϕ=40˚ olması halinde β= 10˚, 15˚, 20˚ ve 30˚ için B= 1 m iken taşıma gücü faktörü $N_{\gamma q}$≅90~110 arasında, B= 1.5 m iken $N_{\gamma q}$≅110~200 arasında, B=2 m iken $N_{\gamma q}$≅240~320 arasında değişmektedir. ϕ=38˚ olması halinde β= 10˚, 15˚, 20˚ ve 30˚ için B= 1 m iken taşıma

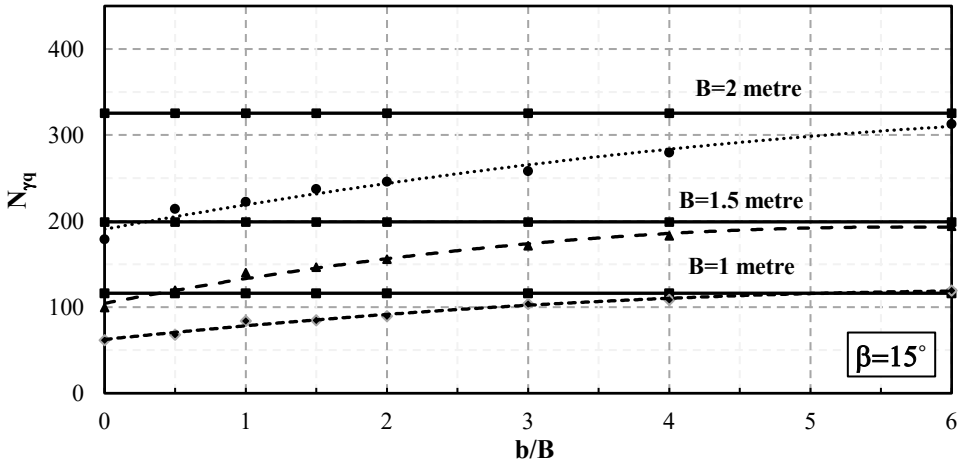
gücü faktörü $N_{\gamma q}$≅30~100 arasında, B= 1.5 m iken $N_{\gamma q}$≅50~150 arasında, B=2 m iken $N_{\gamma q}$≅105~210 arasında değişmektedir. ϕ=36˚ olması halinde β= 10˚, 15˚, 20˚ ve 30˚ için B= 1 m iken taşıma gücü faktörü $N_{\gamma q}$≅50~80 arasında, B= 1.5 m iken $N_{\gamma q}$≅80~110 arasında, B=2 m iken $N_{\gamma q}$≅140~190 arasında değişmektedir. ϕ=34˚ olması halinde β= 10˚, 15˚, 20˚ ve 30˚ için B= 1 m iken taşıma gücü faktörü $N_{\gamma q}$≅40~60 arasında, B= 1.5 m iken $N_{\gamma q}$≅60~80 arasında, B=2 m iken $N_{\gamma q}$≅105~135 arasında değişmektedir. ϕ=32˚ olması halinde β= 10˚, 15˚, 20˚ ve 30˚ için B= 1 m iken taşıma gücü faktörü $N_{\gamma q}$≅30~40 arasında, B= 1.5 m iken $N_{\gamma q}$≅45~60 arasında, B=2 m iken $N_{\gamma q}$≅80~100 arasında değişmektedir. ϕ=30˚ olması halinde β= 10˚, 15˚, 20˚ ve 30˚ için B= 1 m iken taşıma gücü faktörü $N_{\gamma q}$≅5~35 arasında, B= 1.5 m iken $N_{\gamma q}$≅20~50 arasında, B=2 m iken $N_{\gamma q}$≅38~80 arasında değişmektedir. ϕ=28˚ olması halinde β= 10˚, 15˚ ve 20˚ için B= 1 m iken taşıma gücü faktörü $N_{\gamma q}$≅18~22 arasında, B= 1.5 m iken $N_{\gamma q}$≅30~40 arasında, B=2 m iken $N_{\gamma q}$≅50~70 arasında değişmektedir.

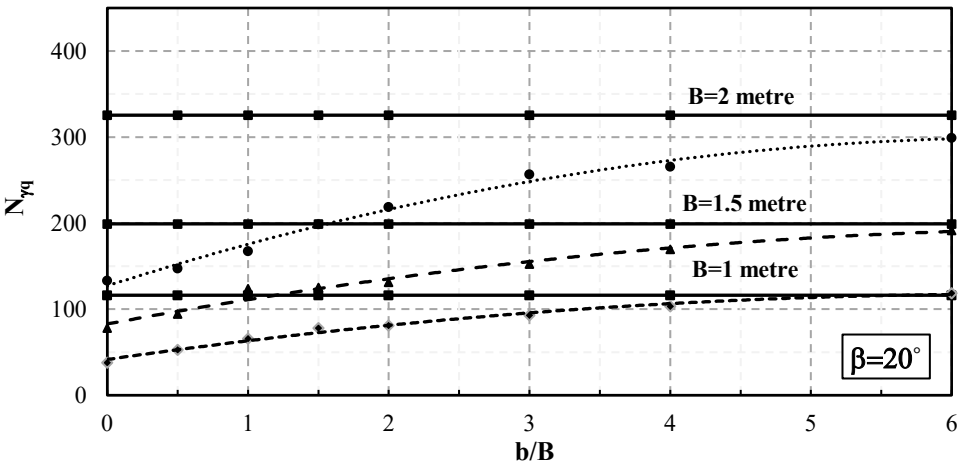
ϕ=40˚ olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı şev eğimlerinde B ve b/B ile değişimi Şekil 21'de gösterilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 34-36'da q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 10-12'de verilmiştir.

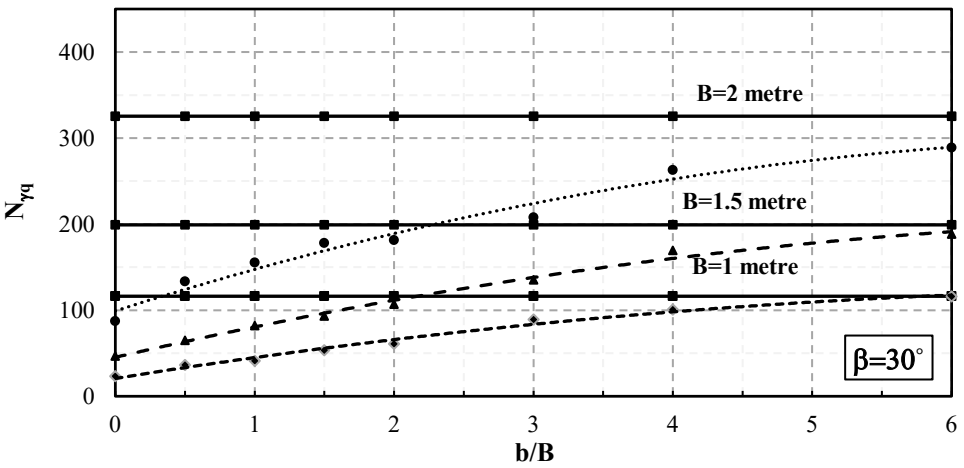


Şekil 21. ϕ=40˚ olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı şev eğimlerinde B ve b/B ile değişimi

Şekil 21'in devamı



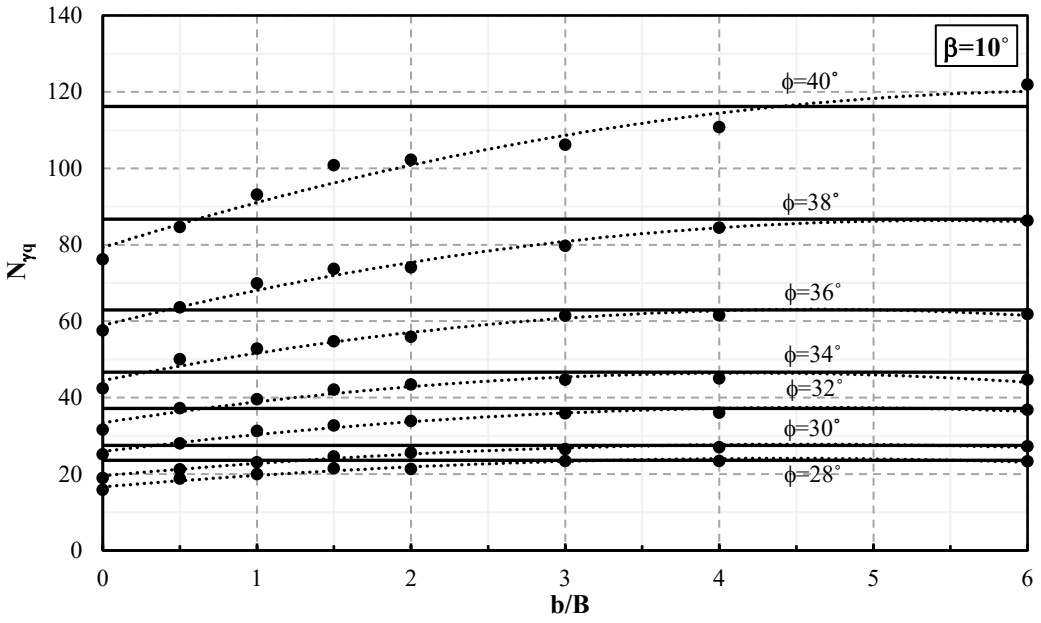




B. Şev Eğimi (β)–İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) İlişkisi

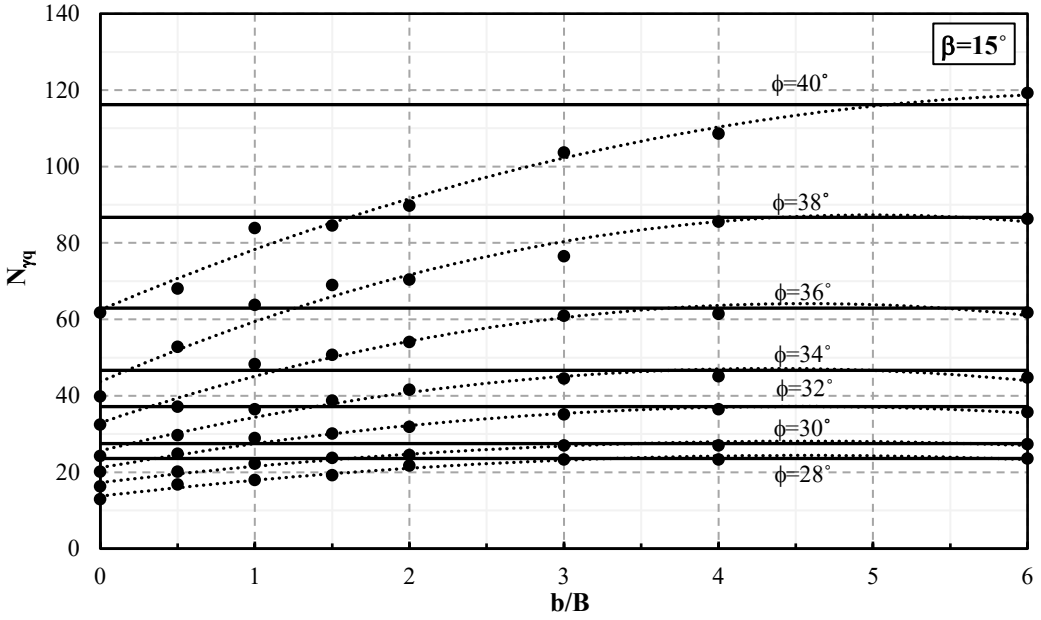
Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚iken b/B≥3~4 olduğunda, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 olduğunda taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β=15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚'de b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40°iken b/B≥5~6 oranında, ϕ=38°iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ=40°iken b/B≥5~6 oranında, ϕ=38°iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚'de b/B≥3~4 oranında, ϕ=30˚iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır.

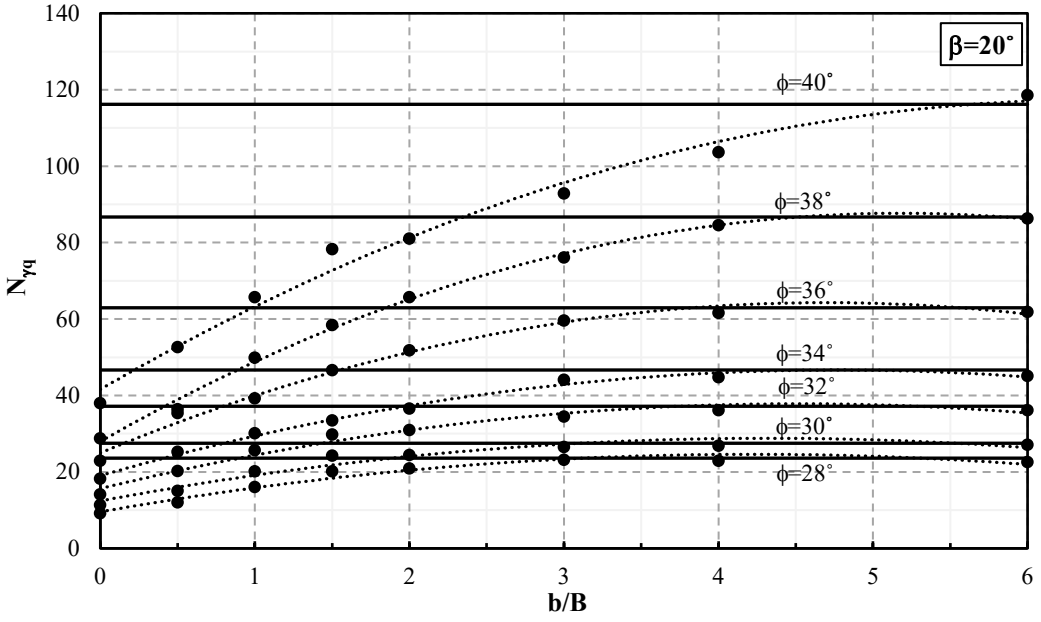
B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı şev eğimleri (β) için içsel sürtünme açısı (ϕ) ve b/B oranına bağlı değişimi Şekil 22'de verilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 37-45'te, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 13-21'de verilmiştir.



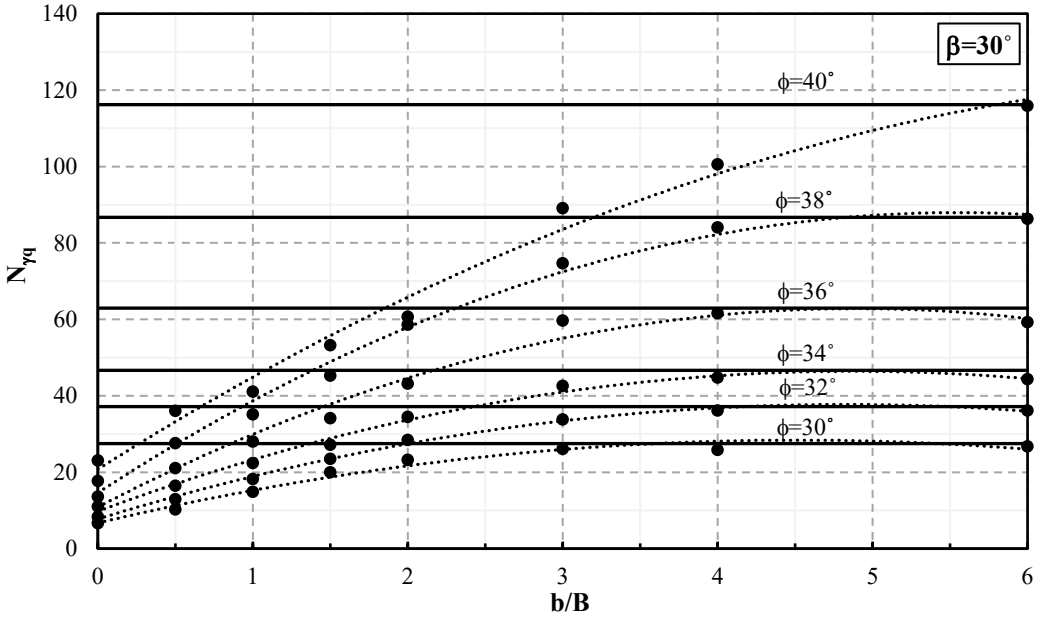
Şekil 22. B=1 m olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı β için ϕ ile b/B'ye göre değişimi

Şekil 22'nin devamı





Şekil 22'nin devamı



3.1.3. Temel Genişliğinin (B) Nihai Taşıma Kapasitesine Etkisi

Bu tez kapsamında 3 farklı temel genişliği seçilerek sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis 2D paket programında analizler gerçekleştirilmiştir. Bu temel genişliği değerleri B=1 metre, B=1.5 metre ve B= 2 metredir. Yapılan analizlerden elde edilen bulgulara göre, şevli zemine inşa edilen ve nihai taşıma gücünü etkileyen parametreler ile temel genişliği (B), nihai taşıma kapasitesi (q_u-b/B) ve nihai taşıma gücü faktörü ($N_{\gamma q}$-b/B) noktasında ilişkisi irdelenmiştir.

A. Temel Genişliği (B)-İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) İlişkisi

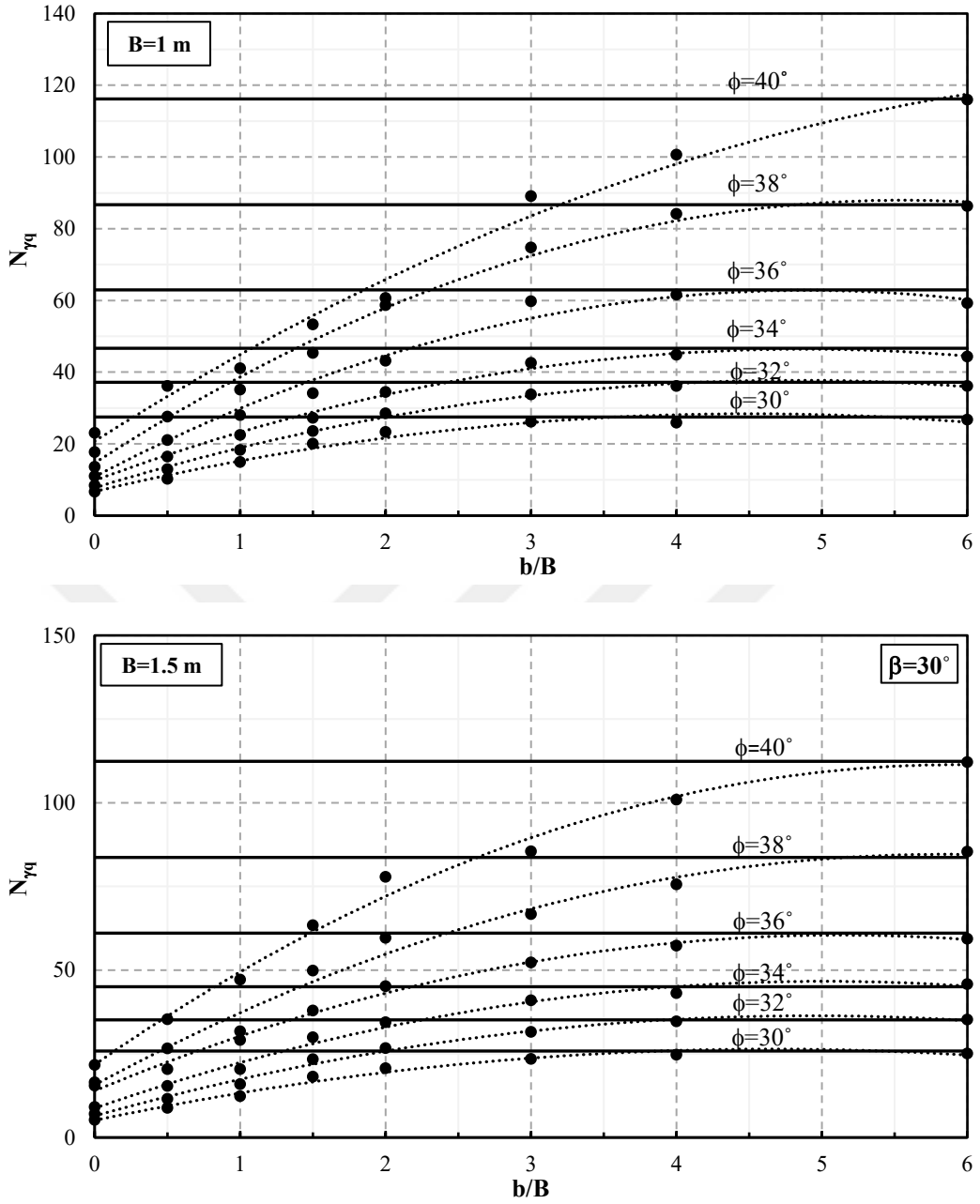
Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre temel genişliği B= 1 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° iken b/B≥5~6 oranında, 38° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında

taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° iken b/B≥6 oranında, ϕ= 38° iken b/B≥5 oranında, ϕ≥32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır.

Temel genişliği B= 1.5 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B=2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° iken b/B≥5~6 oranında, ϕ= 38° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° iken b/B≥6 oranında, ϕ= 38° iken b/B≥5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır.

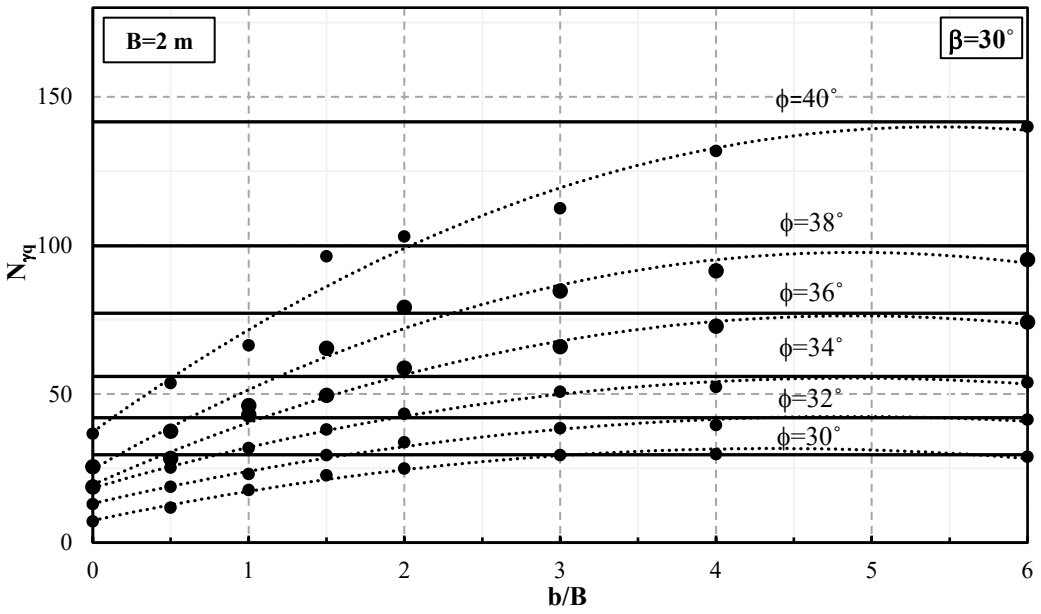
Temel genişliği B= 2 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° iken b/B≥5~6 oranında, ϕ= 38° iken b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° iken b/B≥6 oranında, ϕ= 38° iken b/B≥5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ iken b/B≥3~4 oranında, ϕ=30˚ iken b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır.

β=30° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı temel genişlikleri için içsel sürtünme açısı ve b/B'ye bağlı değişimi Şekil 23'te gösterilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 37-45, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 13-21'de verilmiştir.



Şekil 23. β=30° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının B değerlerine göre için ϕ ve b/B'ye bağlı değişimi

Şekil 23'ün devamı



B. Temel Genişliği (B)-Şev Eğimi (β) İlişkisi

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre ϕ=40°, B= 1 m ve şev eğiminin β= 10° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalırken β= 15° için b/B≥4 oranında, β= 20° ve 30° için b/B≥5~6 oranında sabit kalmaktadır. B= 1.5 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır. B= 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

ϕ=38°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

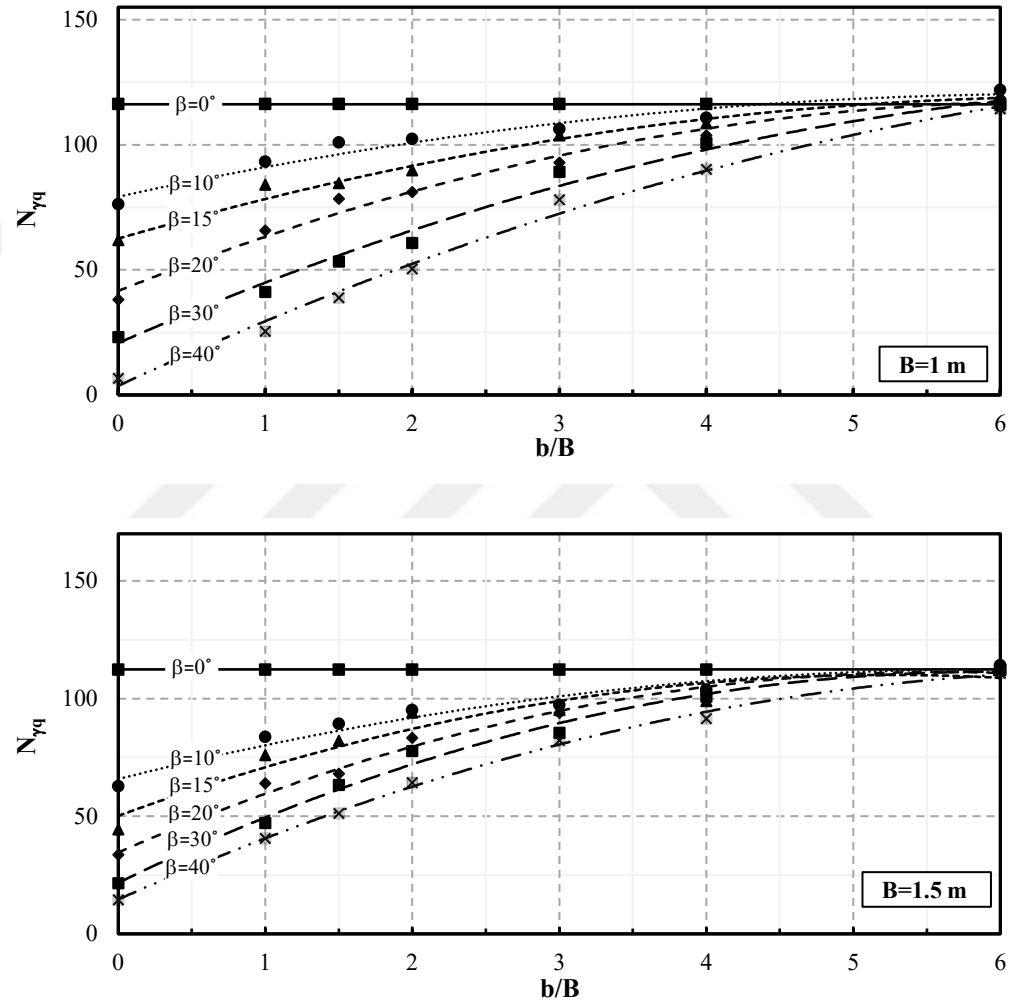
ϕ=36°, B=1 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3~4 oranında sabit kalmaktadır. B= 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

ϕ=32°, 34°, 36°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

ϕ=28°, 30°, B= 1 m, 1.5 m, ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3 oranında sabit kalmaktadır. B= 2 m ve şev

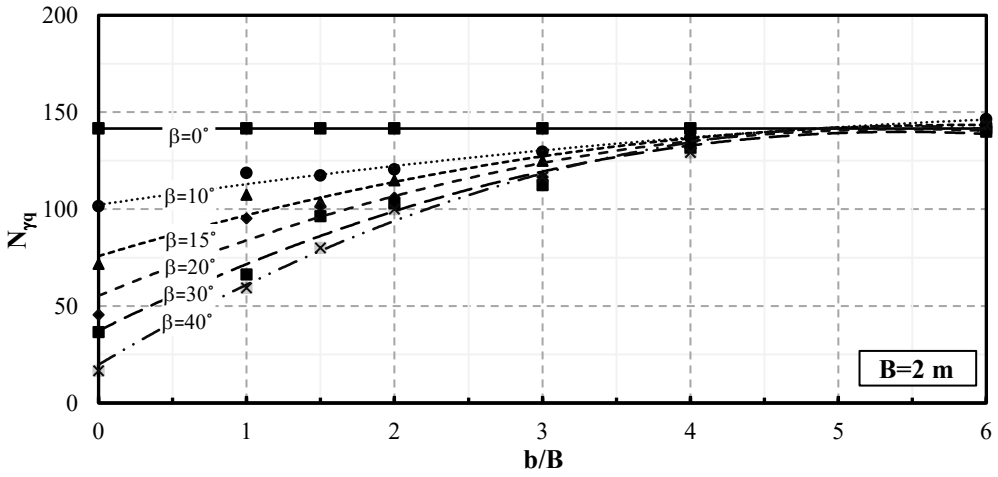
eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma gücü katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥2~3 oranında sabit kalmaktadır.

ϕ=40° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı genişliklere sahip temeller için şev eğimi ve b/B'ye bağlı değişimi Şekil 24'te gösterilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 25-33'te, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 1-9'da verilmiştir.



Şekil 24. ϕ=40° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı B değerlerine göre β ve b/B'ye bağlı değişimi

Şekil 24'ün devamı



3.1.4. Zeminin İçsel Sürtünme Açısının (ϕ) Nihai Taşıma Kapasitesine Etkisi

Çalışma kapsamında içsel sürtünme açısı değerleri ϕ=28˚, 30˚, 32˚, 34˚, 36˚, 38˚ ve 40˚ olarak seçilmiştir. Plaxis 2D paket programda yapılan analizler neticesinde içsel sürtünme açısının nihai taşıma kapasitesi, taşıma gücü faktörü ve diğer değişken parametrelerle olan ilişkisi irdelenmiştir.

A. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)-Temel Genişliği (B) İlişkisi

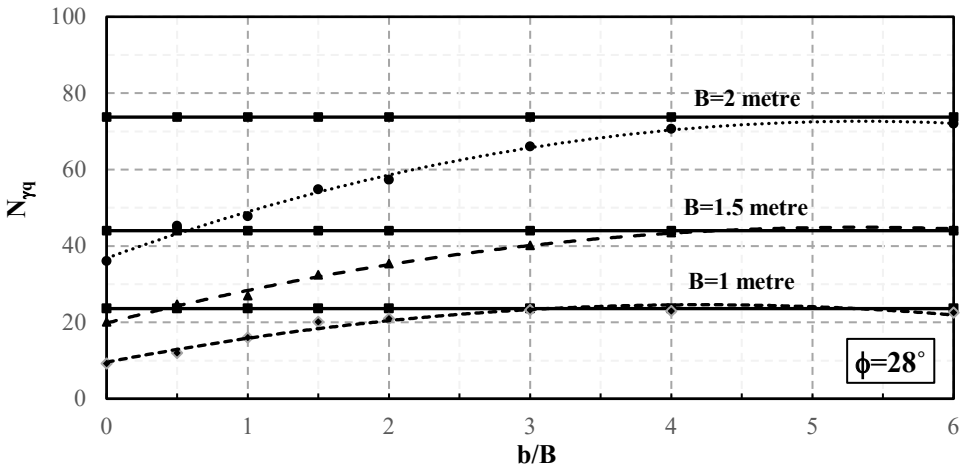
Yapılan analizlerden elde edilen bulgulara göre ϕ=38˚ ve 40˚, şev eğimi β=10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥6 oranında, B=1.5 m'de b/B≥4 oranında, B=1 m'de ise b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥6 oranında, B=1.5 m'de b/B≥5 oranında, B=1 m'de ise b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥6 oranında artmaya devam ederken, B=1.5 m'de b/B≥5~6 oranında, B=1 m'de ise b/B≥4~5 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥6 oranında artmaya devam ederken, B=1.5 m'de b/B≥6 oranında, B=1 m'de ise b/B≥5 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥5 oranında, B=1.5 m'de b/B≥3~4 oranında, B=1 m'de ise b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥5~6 oranında, B=1.5 m'de b/B≥4 oranında, B=1 m'de ise b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı

görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥6 oranında, B=1.5 m'de b/B≥5 oranında, B=1 m'de ise b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi (β) 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥6 oranında, B=1.5 m'de b/B≥5~6 oranında, B=1 m'de ise b/B≥4~5 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

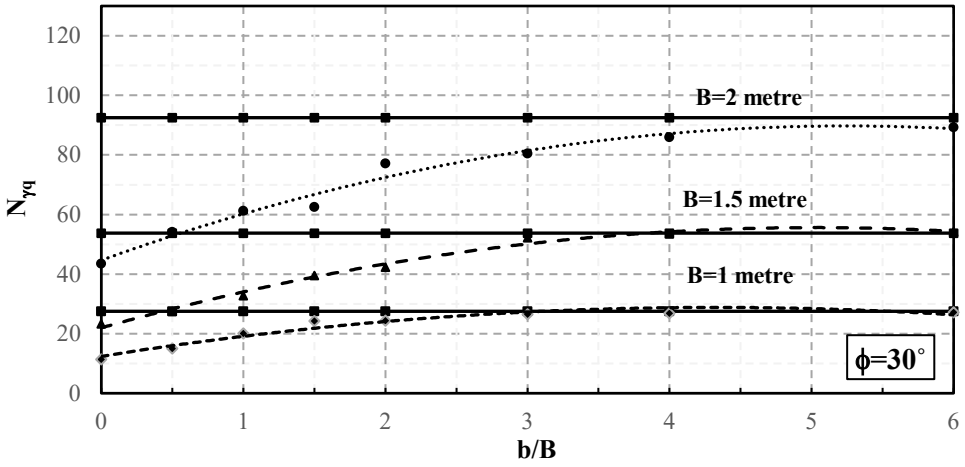
ϕ=28˚ ve 30˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥4 oranında, B=1.5 m'de b/B≥3 oranında, B=1 m'de ise b/B≥2~3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥4~5 oranında, B=1.5 m'de b/B≥3 oranında, B=1 m'de ise b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥5 oranında, B=1.5 m'de b/B≥3~4 oranında, B=1 m'de ise b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=30˚ ve şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m'de b/B≥6 oranında, B=1.5 m'de b/B≥4~5 oranında, B=1 m'de ise b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

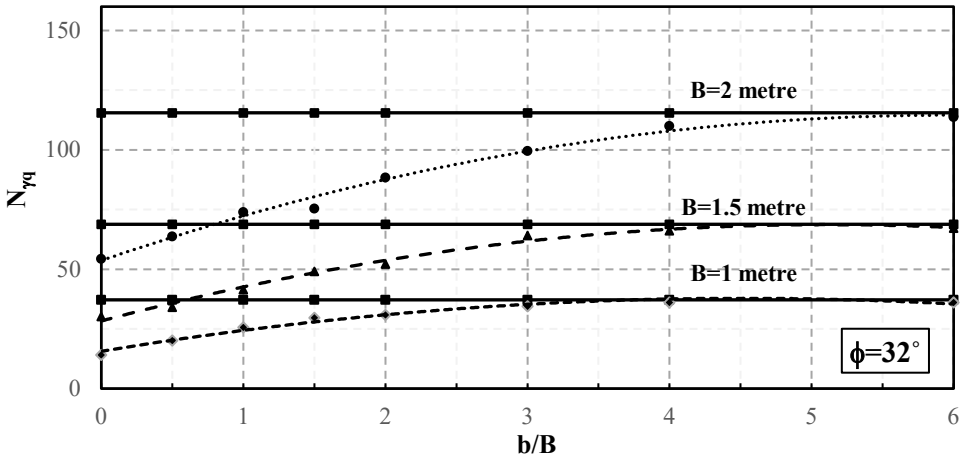
β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı içsel sürtünme açıları için B ve b/B'ye göre değişimi Şekil 25'te gösterilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 34-36'da, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 10-12'de verilmiştir.

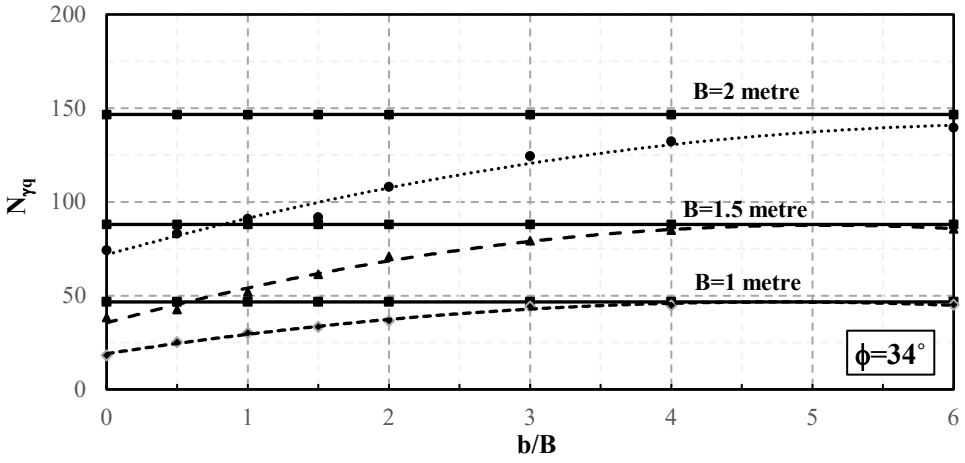


Şekil 25. β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı ϕ değerleri için B ve b/B'ye göre değişimi

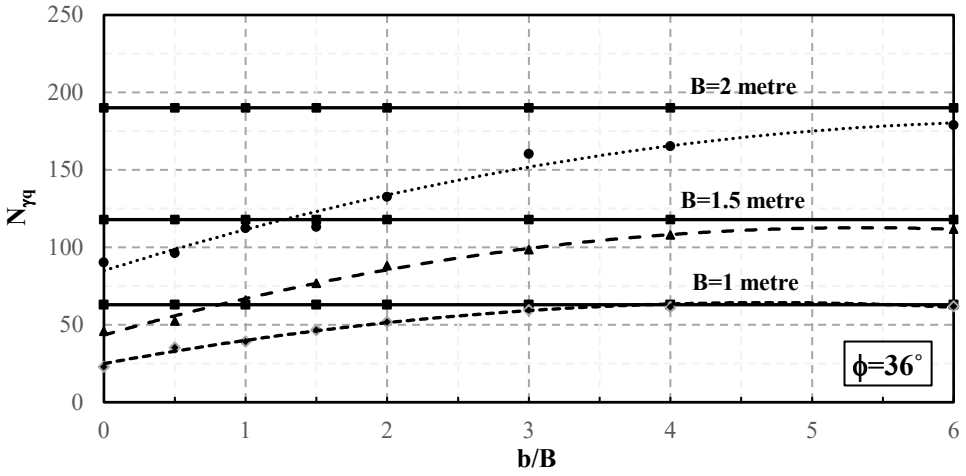
Şekil 25'in devamı

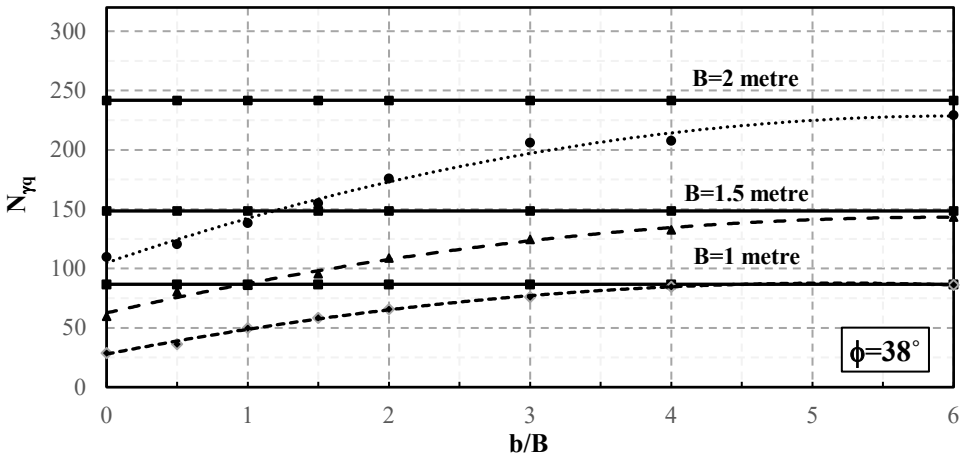


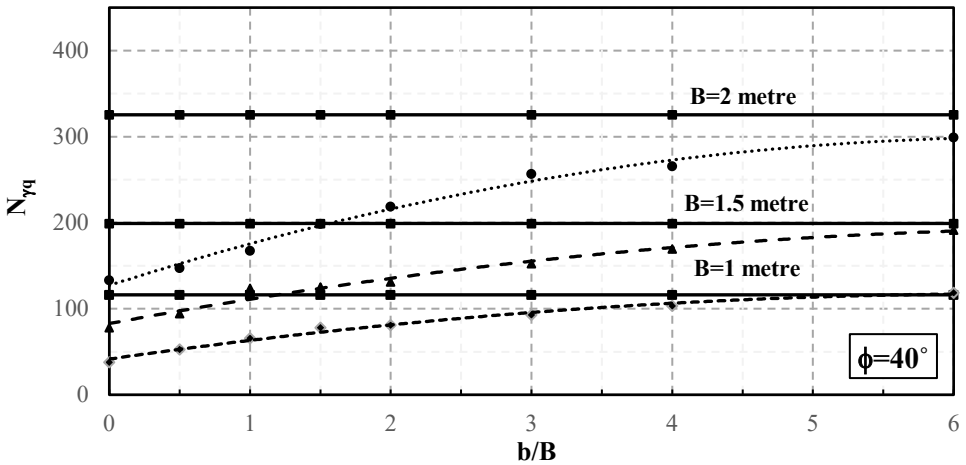




Şekil 25'in devamı







B. İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)-Şev Eğimi (β) İlişkisi

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre ϕ=40°, B= 1 m ve şev eğiminin (β) 10° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalırken β= 15° için b/B≥4 oranında, β= 20° ve 30° için b/B≥5~6 oranında sabit kalmaktadır. B= 1.5 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır. B= 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

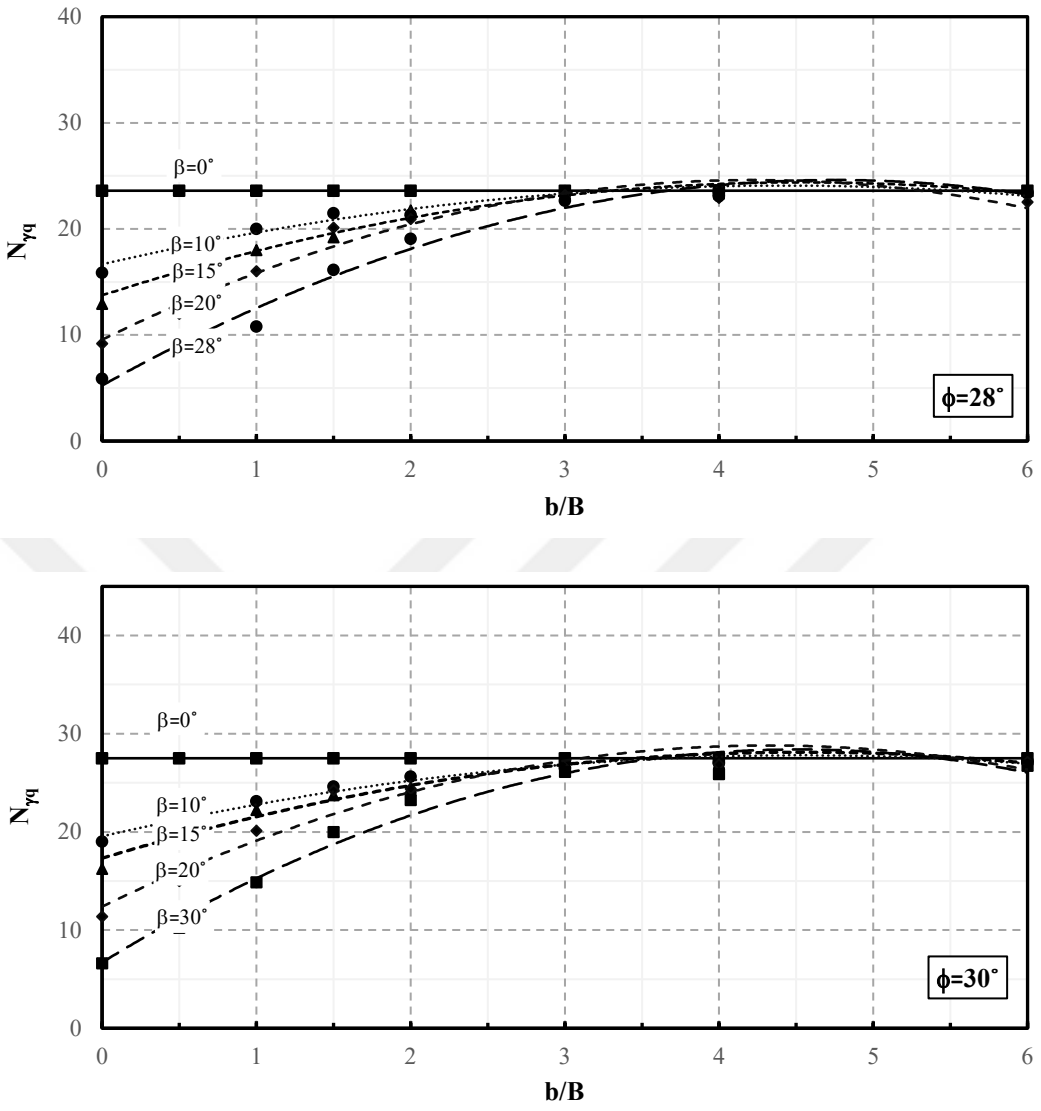
ϕ=38°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

ϕ=36°, B= 1 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3~4 oranında sabit kalmaktadır. B= 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

ϕ=32°, 34°, 36°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır.

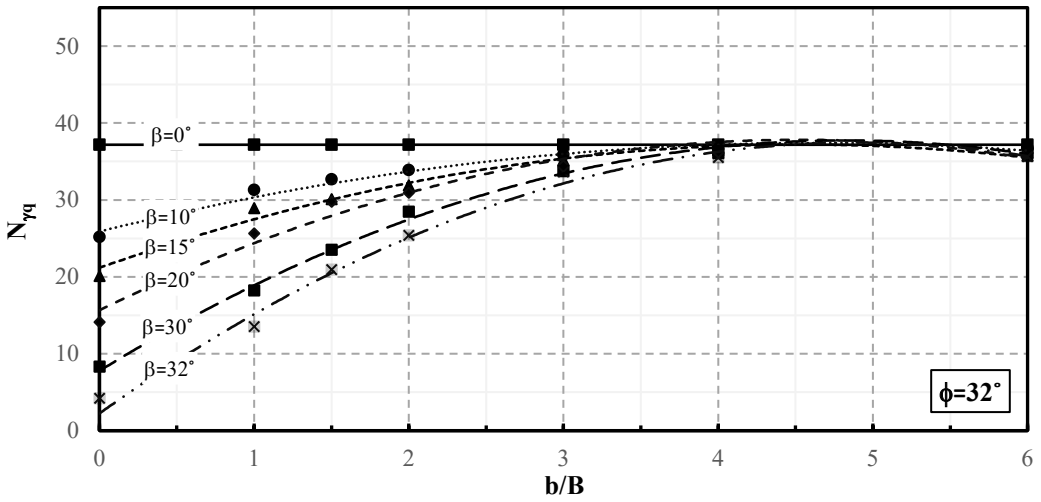
ϕ=28°, 30°, B= 1 m, 1.5 m, ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3 oranında sabit kalmaktadır. B= 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥2~3 oranında sabit kalmaktadır.

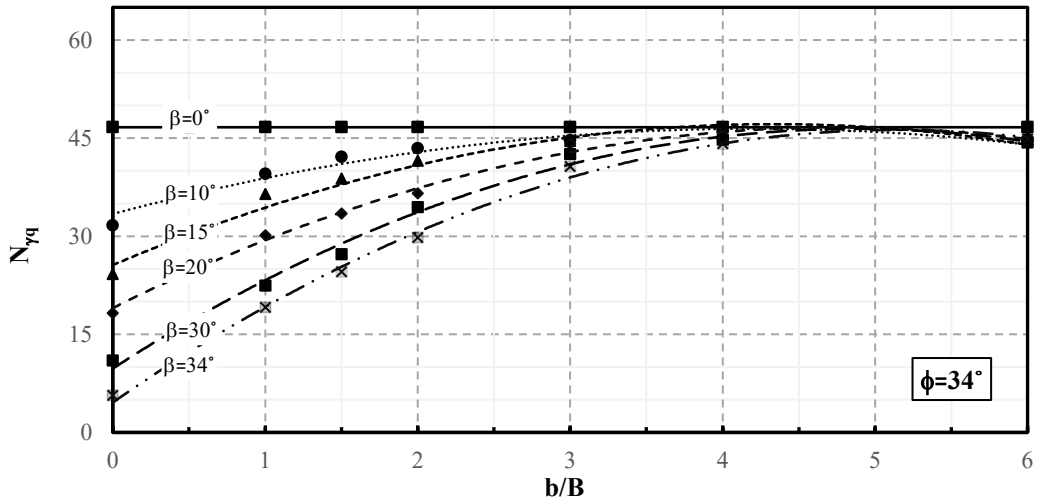
B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı içsel sürtünme açıları için β ve b/B'ye bağlı değişimi Şekil 26'da gösterilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 25-33'te, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 1-9'da verilmiştir.

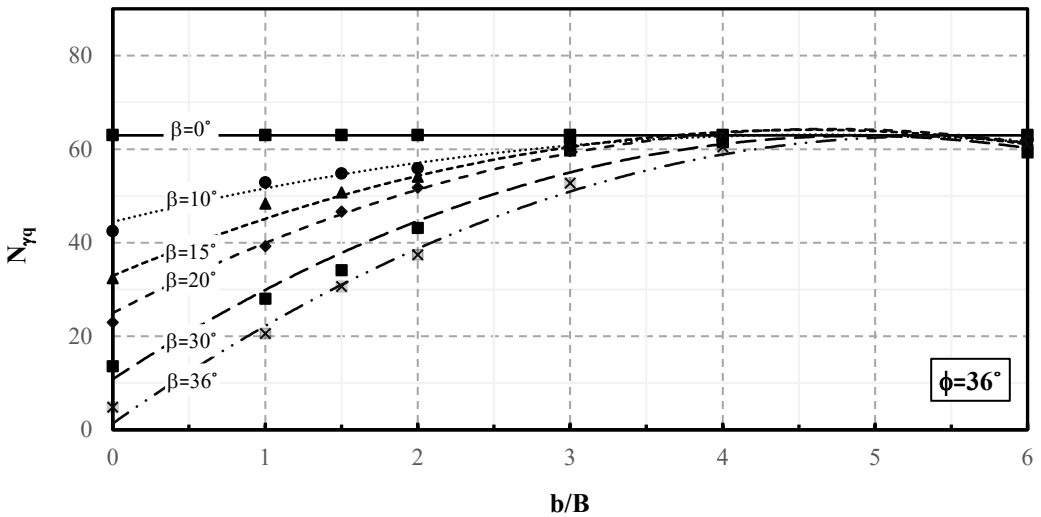


Şekil 26. B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı ϕ değerleri için β ve b/B'ye bağlı değişimi

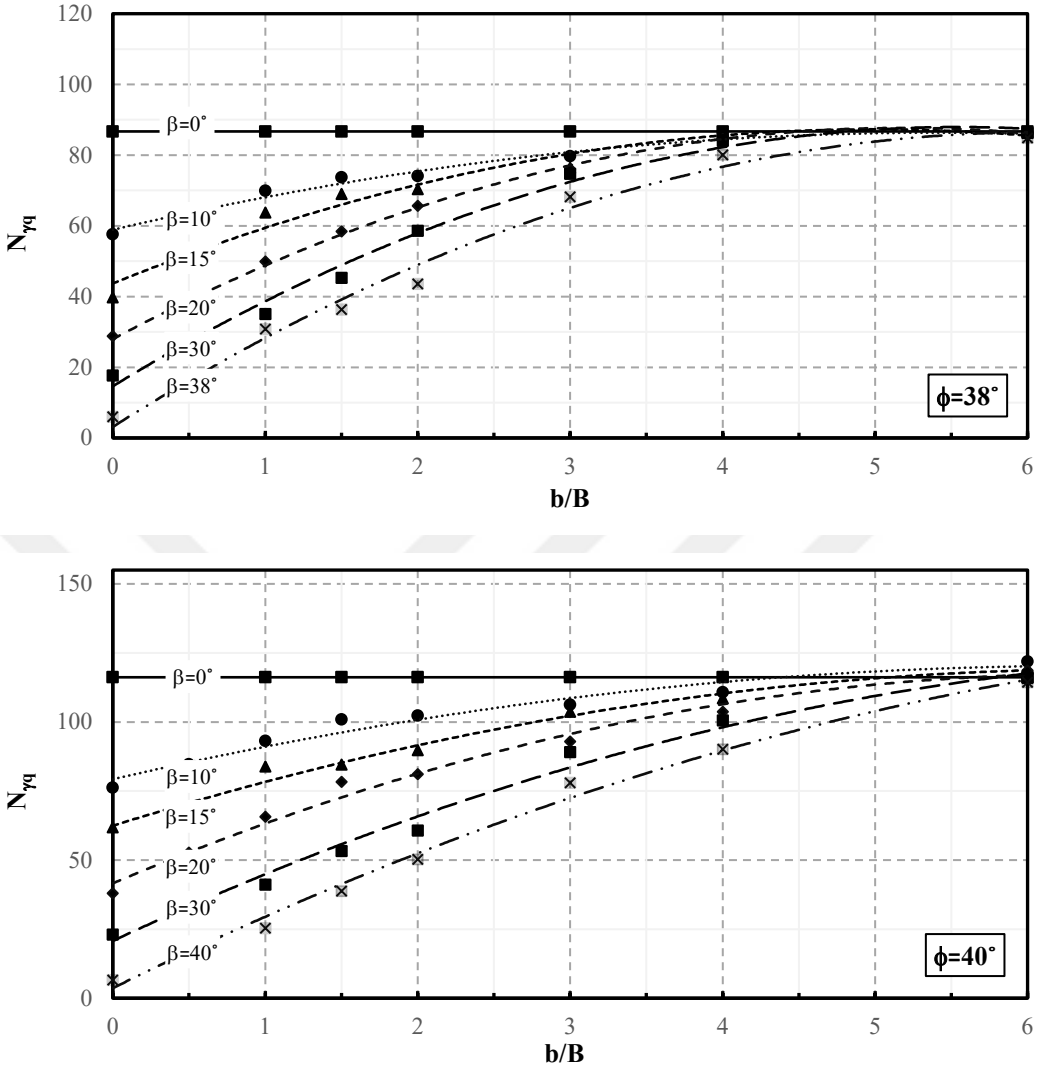
Şekil 26'nın devamı







Şekil 26'nın devamı



3.2. $D_f/B=0.5$ ve $D_f/B=1$ Durumu

Tez kapsamında, Plaxis 2D kullanılarak sonlu elemanlar analizi ile yapılan model sonuçlarından elde edilen verilere göre temel derinliğinin (D_f) nihai taşıma kapasitesiyle, taşıma gücü faktörüyle ve diğer değişken parametrelerle olan ilişkisi bu kısımda sunulmaktadır. Yapılan çalışmada temel derinliği (D_f), temel genişliği (B) ile ilişkilendirilerek boyutsuz bir parametre olan D_f/B kullanılmıştır. Yapılan modellemelerde $D_f/B=0.5$ ve $D_f/B=1$ alınarak temel derinliğinin nihai taşıma kapasitesiyle (q_u), taşıma gücü faktörüyle ($N_{\gamma q}$) ve diğer değişken parametrelerle olan ilişki irdelenmiştir.

3.2.1. Temel Derinliğinin (D_f/B) Nihai Taşıma Gücüne Etkisi

A. D_f/B-B İlişkisi

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre D_f/B=0.5, ϕ=38˚ ve 40˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B=5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5~6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1 m iken b/B≥4~5 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında artmaya devam ederken, B=1.5 m iken b/B≥5~6 oranında, B=1 m iken b/B≥4~5 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5~6'dan, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=28˚ ve 30˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3 oranında, B=1 m iken b/B≥2 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3 oranında, B=1 m iken b/B≥2~3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5~6'dan, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=30˚ ve şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

D_f/B=1, ϕ=38˚ ve 40˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında artmaya devam ettiği, B=1.5 m iken b/B≥5~6 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit

kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında artmaya devam ettiği, B=1.5 m iken b/B≥6 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında artmaya devam ederken, B=1.5 m iken b/B≥6 oranında, B=1 m iken b/B≥4~5 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=36˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir.36˚ ϕ=32˚ ve 34˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5~6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=32˚ ve 34˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5~6'dan, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥3~4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥6 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1 m iken b/B≥4 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=28˚ ve 30˚, şev eğimi β= 10˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3 oranında, B=1 m iken b/B≥2 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 15˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4 oranında, B=1.5 m iken b/B≥3~4 oranında, B=1 m iken b/B≥2~3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. Şev eğimi β= 20˚ için taşıma

gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥2~3 oranında sabit kaldığı görülmektedir. ϕ=30˚ ve şev eğimi β= 30˚ için taşıma gücü faktörü değeri B=2 m iken b/B≥4~5 oranında, B=1.5 m iken b/B≥4 oranında, B=1 m iken b/B≥3 oranında sabit kaldığı görülmektedir.

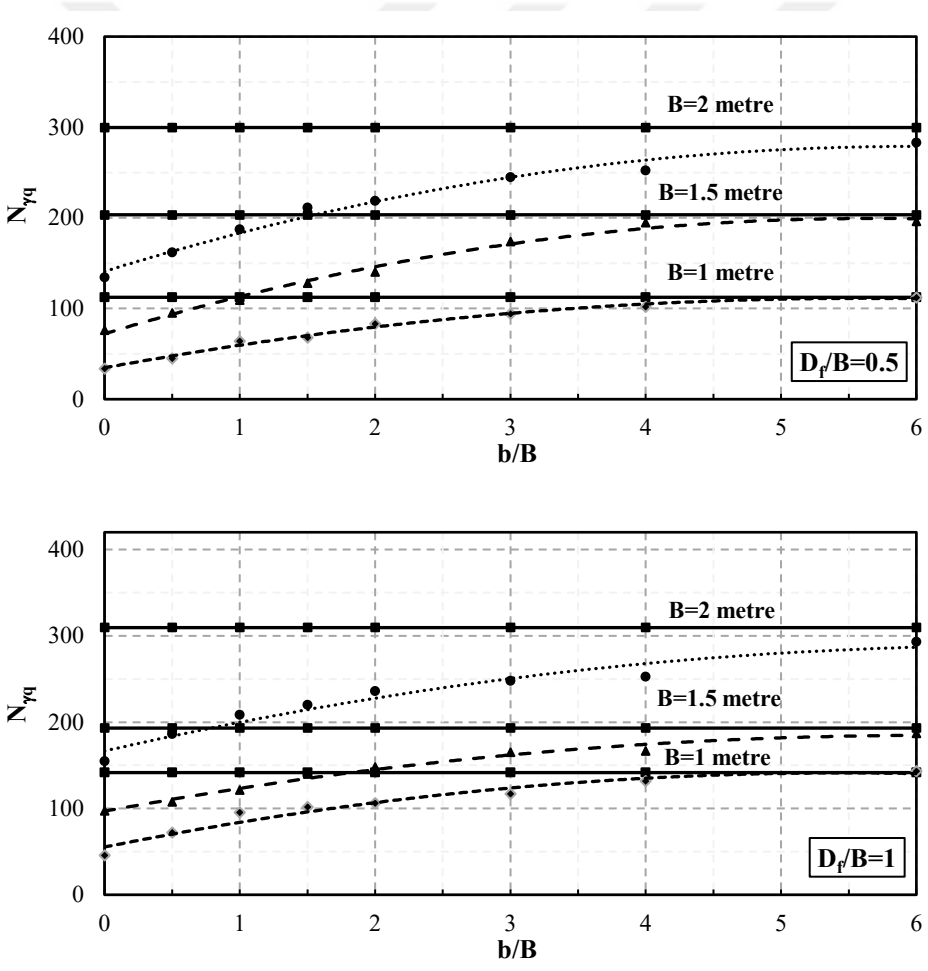
ϕ=40° ve β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranı için B ve b/B'ye bağlı değişimi Şekil 27'de gösterilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 34-36'da q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 10-12'de verilmiştir.

D_f/B=0.5 olması halinde β=10°, 15°, 20° ve 30° ve B=1 m iken ϕ=40° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅48~190 arasında, ϕ=38° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅40~140 arasında, ϕ=36° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅30~115 arasında, ϕ=34° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅20~90 arasında, ϕ=32° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅15~70 arasında, ϕ=30° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅10~55 arasında, ϕ=28° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅7~45 arasında değişmektedir. B=1.5 m iken ϕ=40° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅55~200 arasında, ϕ=38° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅48~145 arasında, ϕ=36° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅30~110 arasında, ϕ=34° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅25~90 arasında, ϕ=32° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅15~70 arasında, ϕ=30° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅10~55 arasında, ϕ=28° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅7~45 arasında değişmektedir. B=2 m iken ϕ=40° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅80~190 arasında, ϕ=38° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅50~140 arasında, ϕ=36° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅45~102 arasında, ϕ=34° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅30~80 arasında, ϕ=32° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅20~60 arasında, ϕ=30° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅10~50 arasında, ϕ=28° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅7~45 arasında değişmektedir.

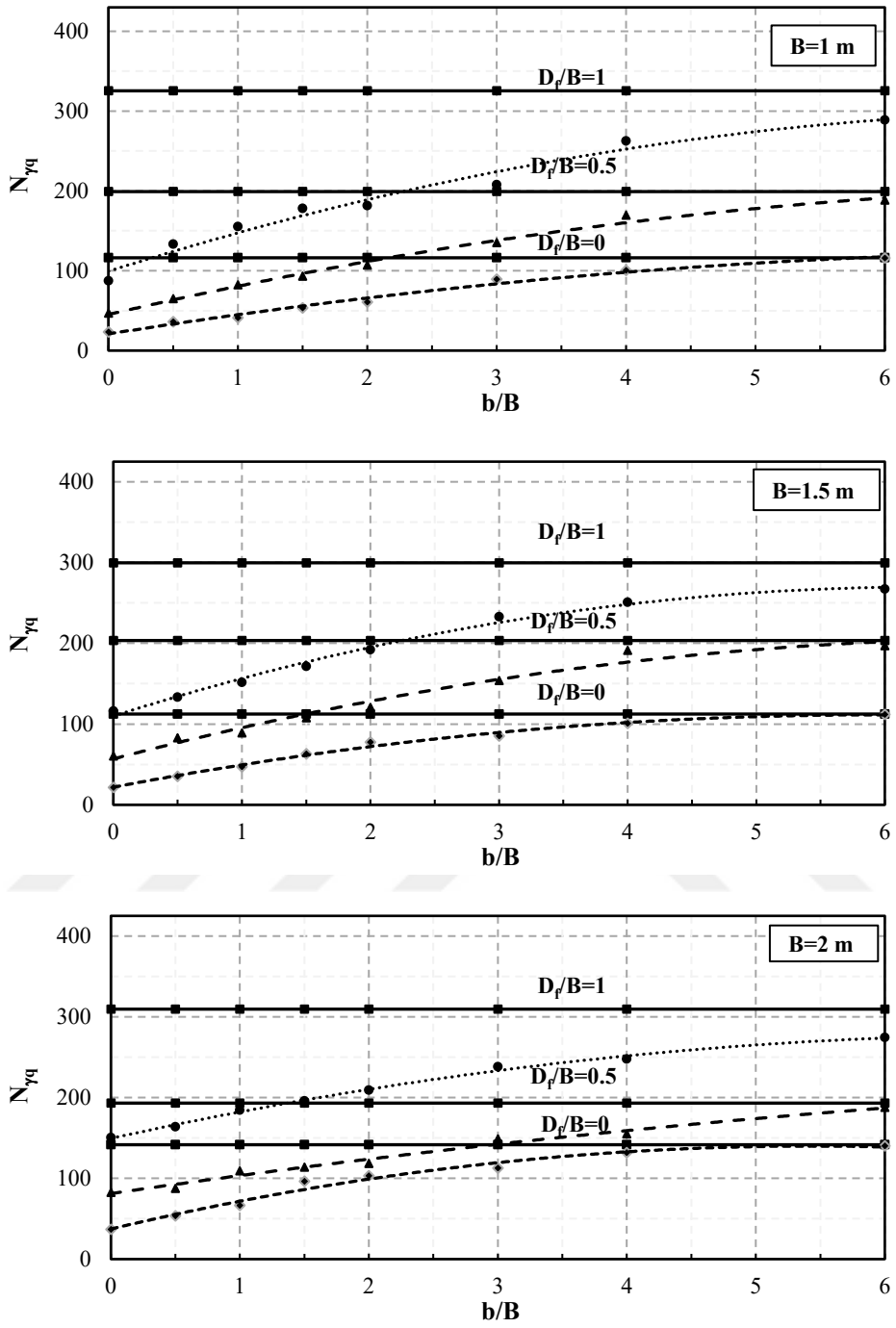
D_f/B=1 olması halinde β=10°, 15°, 20° ve 30° ve B=1 m iken ϕ=40° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅95~295 arasında, ϕ=38° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅70~245 arasında, ϕ=36° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅60~195 arasında, ϕ=34° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅45~145 arasında, ϕ=32° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅20~110 arasında, ϕ=30° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅15~95 arasında, ϕ=28° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅12~80 arasında değişmektedir. B=1.5 m iken ϕ=40° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅105~300 arasında, ϕ=38° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅90~225 arasında, ϕ=36° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅50~160 arasında, ϕ=34° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅50~110 arasında, ϕ=32° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅50~100 arasında, ϕ=30° için taşıma gücü katsayısı

$N_{\gamma q}$≅30~90 arasında, ϕ=28° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅27~70 arasında değişmektedir. B=2 m iken ϕ=40° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅150~300 arasında, ϕ=38° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅100~220 arasında, ϕ=36° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅45~102 arasında, ϕ=34° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅90~190 arasında, ϕ=32° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅50~100 arasında, ϕ=30° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅45~85 arasında, ϕ=28° için taşıma gücü katsayısı $N_{\gamma q}$≅40~60 arasında değişmektedir.

ϕ=40° ve β=30° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı temel genişlikleri (B) için D_f/B ve b/B'ye bağlı değişimi Şekil 28'de gösterilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 46-48'de, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 22-24'te verilmiştir.



Şekil 27. ϕ=40° ve β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranı için B ve b/B'ye bağlı değişimi



Şekil 28. ϕ=40° ve β=30° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı temel genişlikleri için D_f/B ve b/B'ye bağlı değişimi

B. D_f/B-ϕ İlişkisi

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre D_f/B=0.5, temel genişliği (B) 1 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40°için b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü

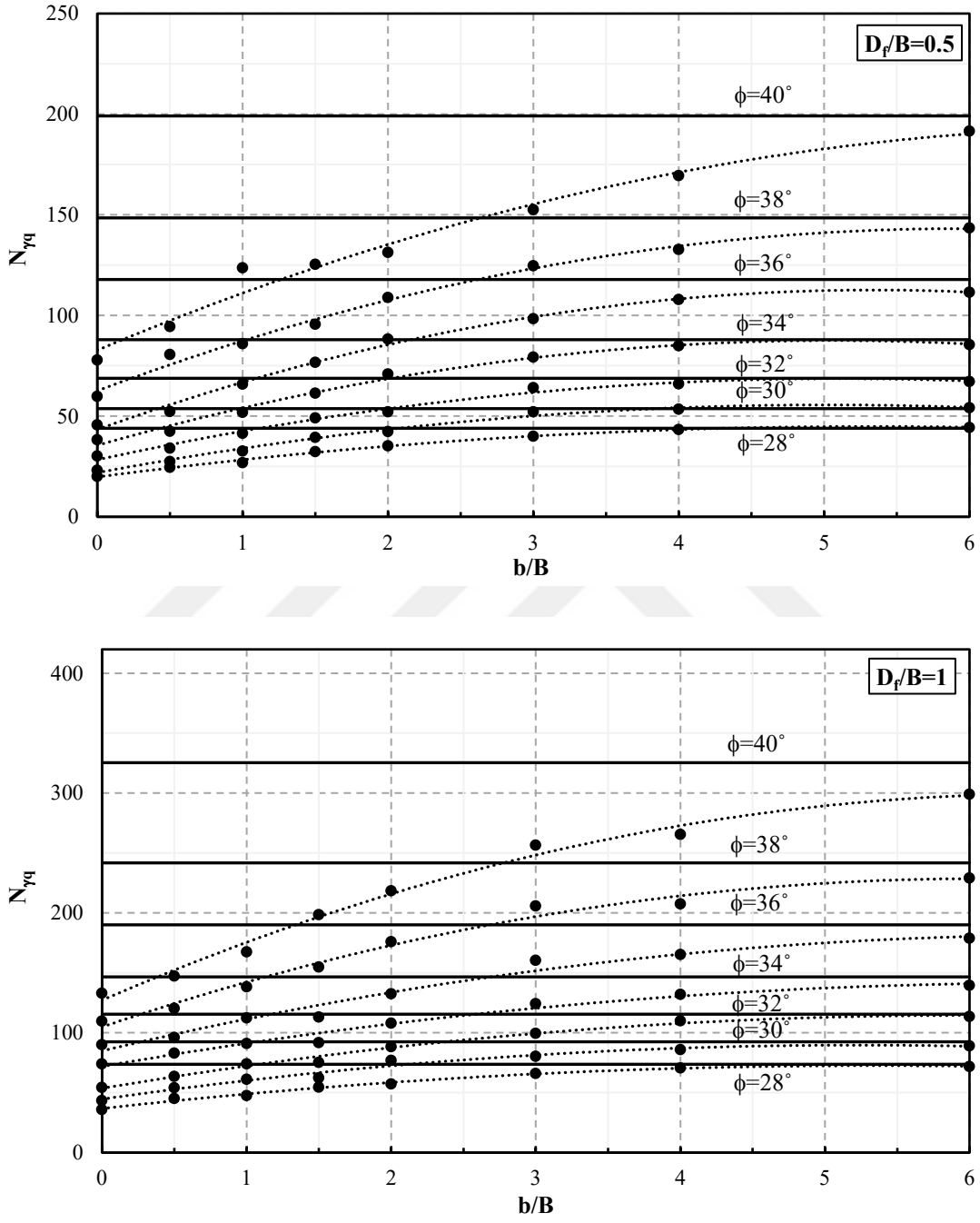
katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ= 38° için b/B≥5~6 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥4~5 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥3~4 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 36˚, 38° ve 40° için b/B≥6 oranında, ϕ=32˚, 34˚'te b/B≥4~5 oranında, ϕ=30˚ için b/B≥4 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Temel genişliği (B) 1.5 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥4 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥5 oranında, ϕ= 38° için b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ= 38° için b/B≥5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=30˚ için b/B≥3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Temel genişliği (B) 2 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥4 oranında, ϕ= 34˚ ve 36˚ için b/B≥3 oranında, ϕ=28˚, 30˚ ve ϕ=32˚ için b/B≥2 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ=38° için b/B≥4 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ= 38° için b/B≥5~6 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır.

D_f/B=1, temel genişliği (B) 1 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ=38˚ için b/B≥4 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= ve 40° için b/B≥6 oranında,

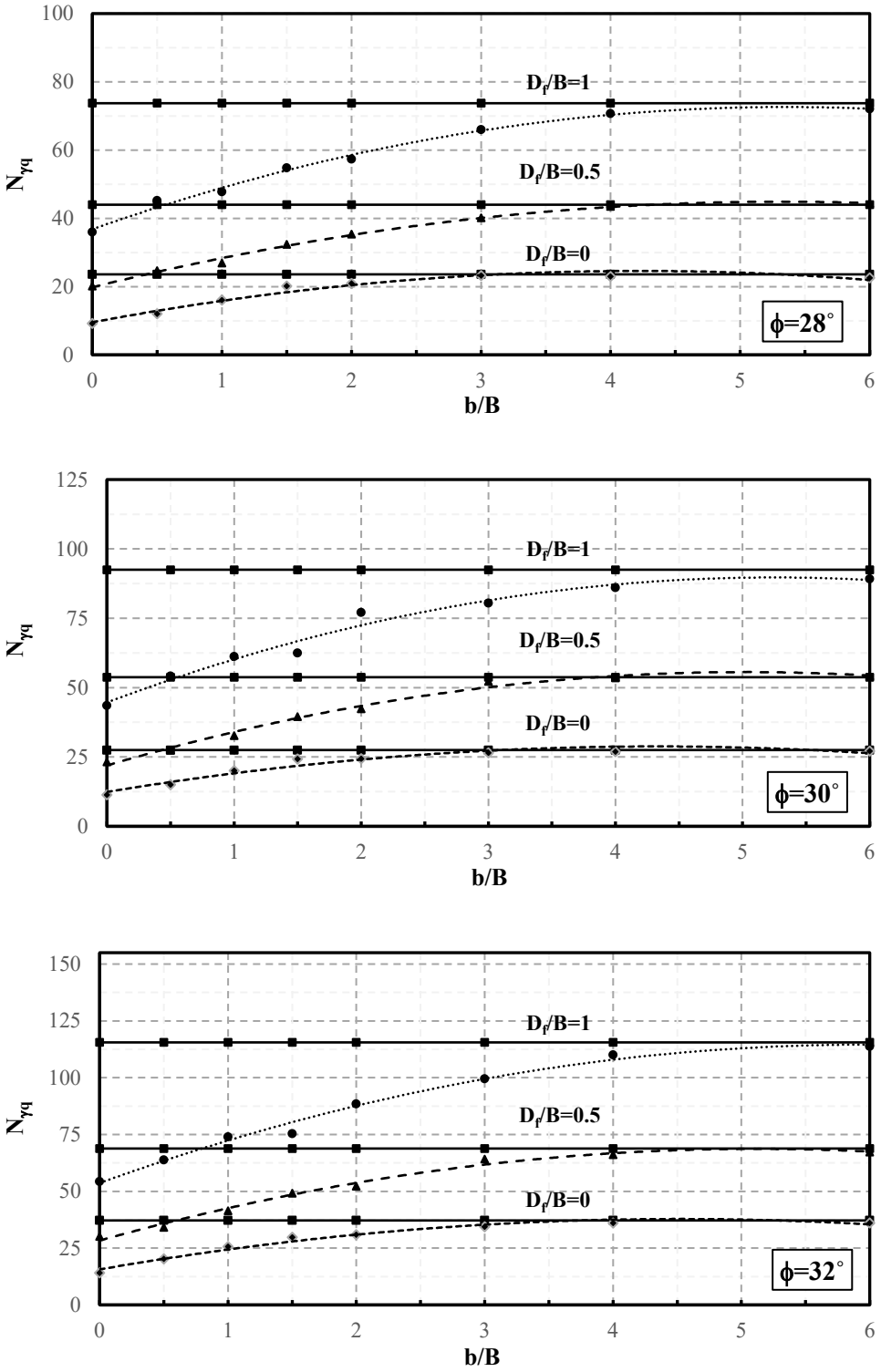
ϕ=38° için b/B≥5~6 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ= 38° için b/B≥5~6 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥4~5 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ= 38° için b/B≥6 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥4~5 oranında, ϕ=30˚ için b/B≥3~4 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Temel genişliği (B) 1.5 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥5~6 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥5~6 oranında, ϕ=30˚, 32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥4~5 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Temel genişliği (B) 2 m için şev eğiminin β= 10° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 15° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥5~6 oranında, ϕ=38° için b/B≥4~5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥3~4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥2~3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 20° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 40° için b/B≥6 oranında, ϕ=38° için b/B≥5 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥4 oranında, ϕ=28˚ ve 30˚ için b/B≥3 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır. Şev eğiminin β= 30° olması halinde içsel sürtünme açısı ϕ= 38° ve 40° için b/B≥6 oranında, ϕ=32˚, 34˚ ve 36˚ için b/B≥4~5 oranında, ϕ=30˚ için b/B≥3~4 oranında taşıma gücü katsayısı değeri sabit olmaktadır.

β=20° ve B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranları için ϕ ve b/B'ye göre değişimi Şekil 29'da verilmiştir. Diğer -b/B grafikleri Ek Şekil 37-45'de, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 13-21'de verilmiştir. β=20° ve B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının

farklı ϕ değerleri için D_f/B ve b/B'ye göre değişimi Şekil 30'da verilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 46-48'de, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 22-24'te verilmiştir.

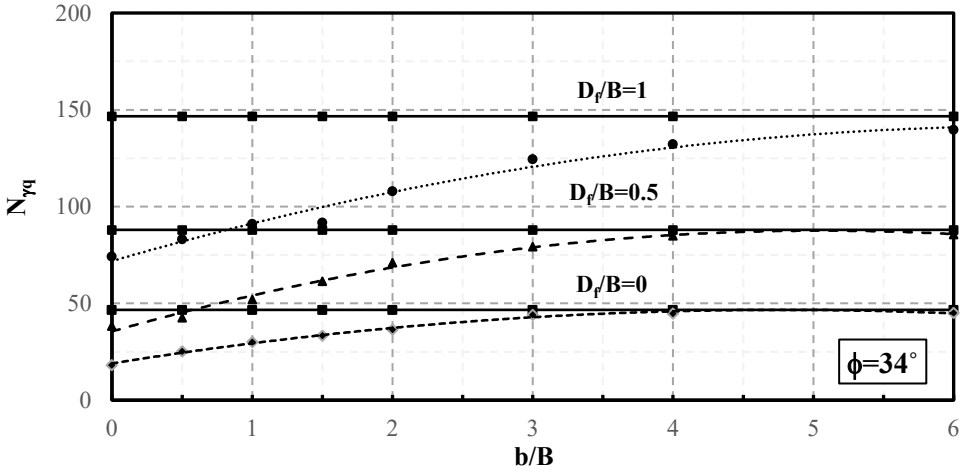


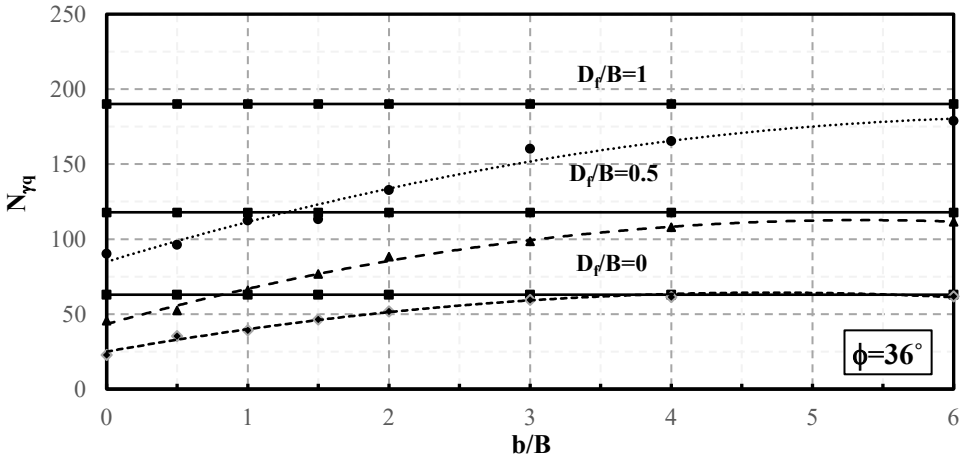
Şekil 29. β=20° ve B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranları için ϕ ve b/B'ye göre değişimi

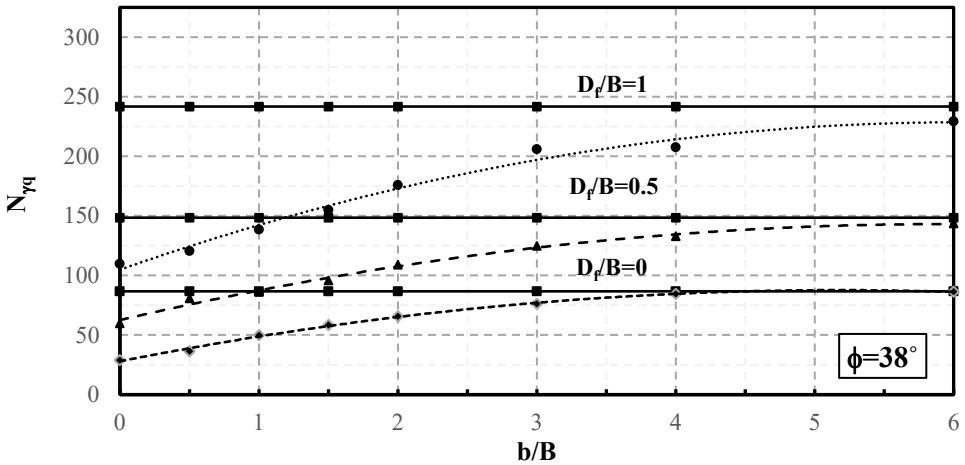


Şekil 30. β=20° ve B=1 metre olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı ϕ değerleri için D_f/B ve b/B'ye göre değişimi

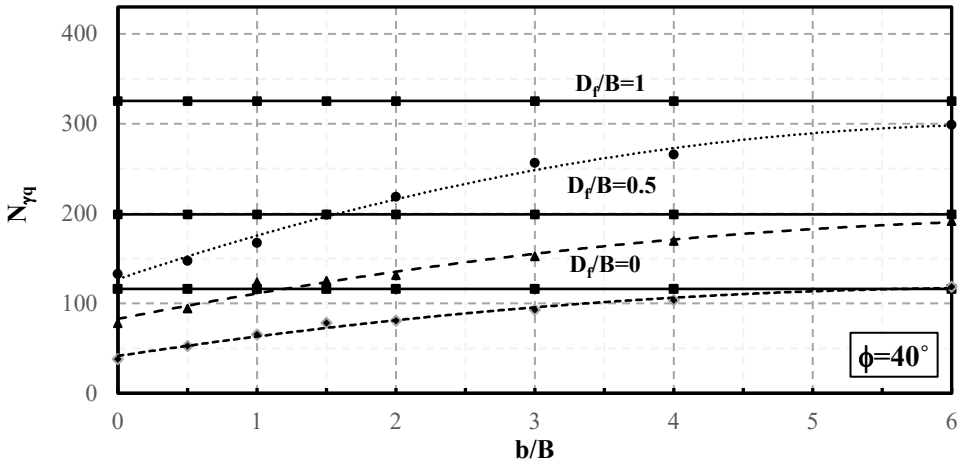
Şekil 30'un devamı







Şekil 30'un devamı



C. D_f/B- β İlişkisi

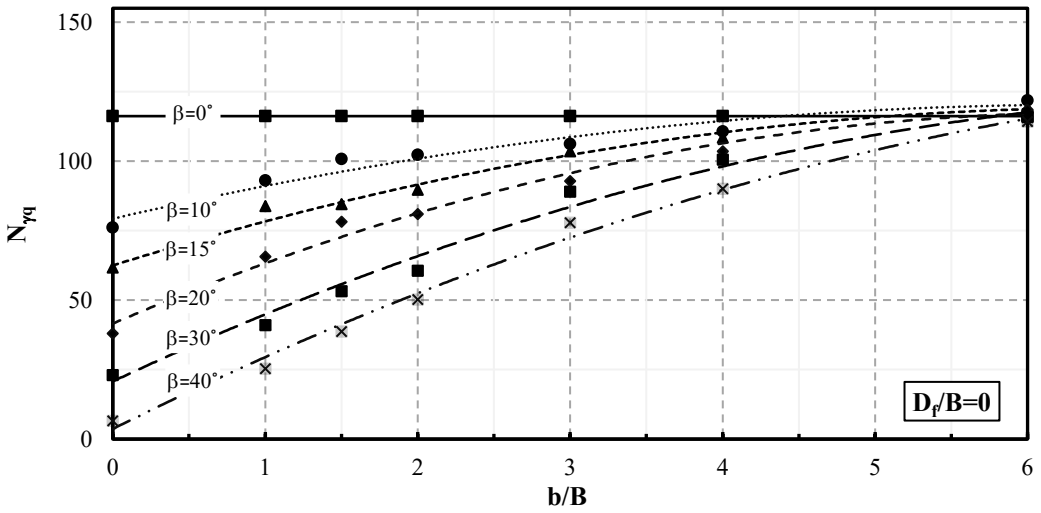
D_f/B=0.5, ϕ=40°, B= 1 m ve şev eğiminin β= 10° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4 oranında sabit kalırken β= 15° için b/B≥4 oranında, β= 20° ve 30° için b/B≥5~6 oranında sabit kalmaktadır. B= 1.5 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır. B= 2 m ve şev eğiminin β= 10° ve 15° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4 oranında sabit kalırken, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥5~6 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=38°, B= 1 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3~4 oranında, B=1.5 m ve şev eğiminin β= 10° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=36°, B=1 m 1.5 m ve 2 m şev eğiminin β= 10°, 15° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3~4 oranında, şev eğiminin β= 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥5 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=32° ve 34°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3~4 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=28°, 30°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3~4 oranında sabit kalmaktadır.

D_f/B=1, ϕ=40°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥6 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=38°, B=

1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥5~6 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=36°, B=1 m, 1.5 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4~5 oranında sabit kalmaktadır. B= 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥5~6 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=32°, 34°, 36°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥4 oranında sabit kalmaktadır. ϕ=28°, 30°, B= 1 m, 1.5 m, 2 m ve şev eğiminin β= 10°, 15°, 20° ve 30° olması halinde taşıma kapasitesi katsayısı ($N_{\gamma q}$) değeri b/B≥3~4 oranında sabit kalmaktadır.

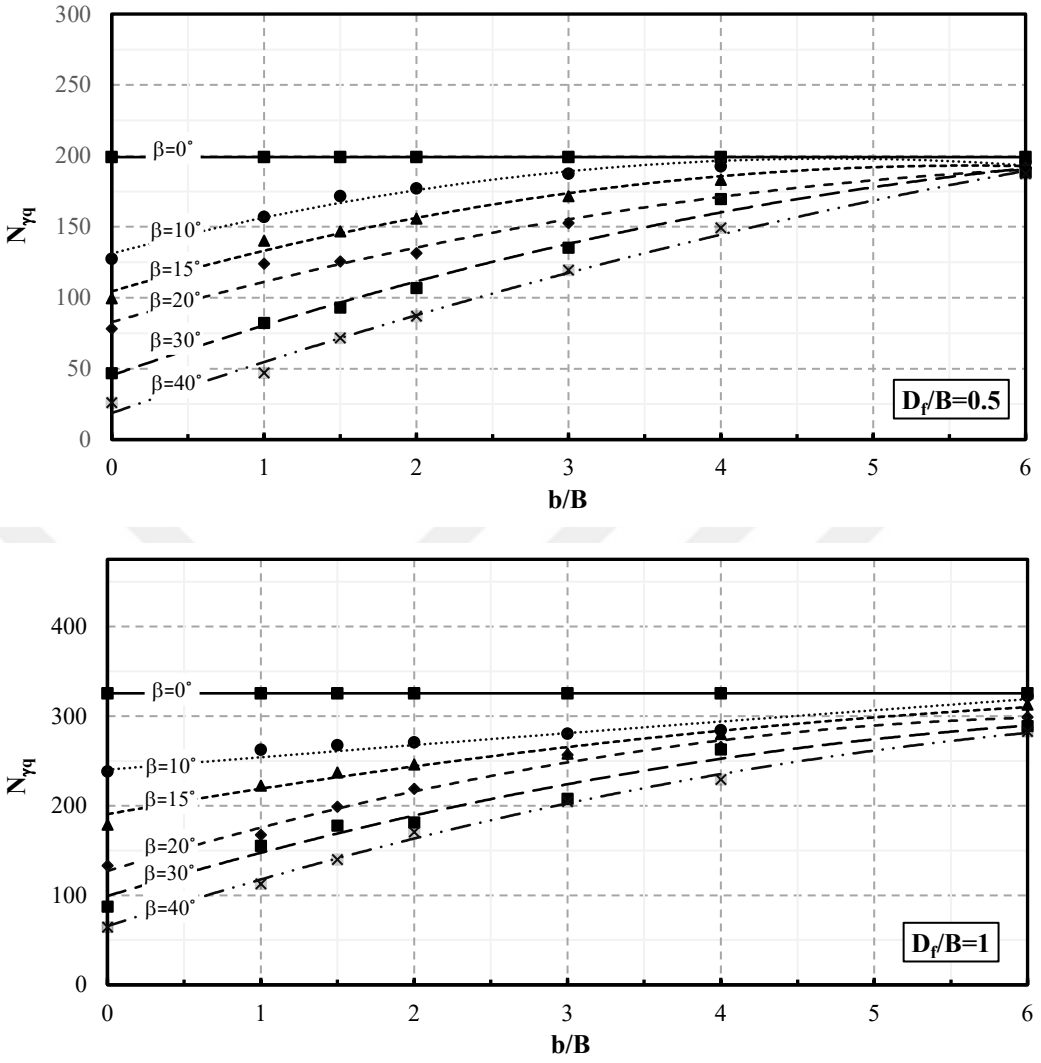
ϕ=40° ve β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranları için β ve b/B'ye göre değişimi Şekil 31'de verilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 25-33'te, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 1-9'da verilmiştir.

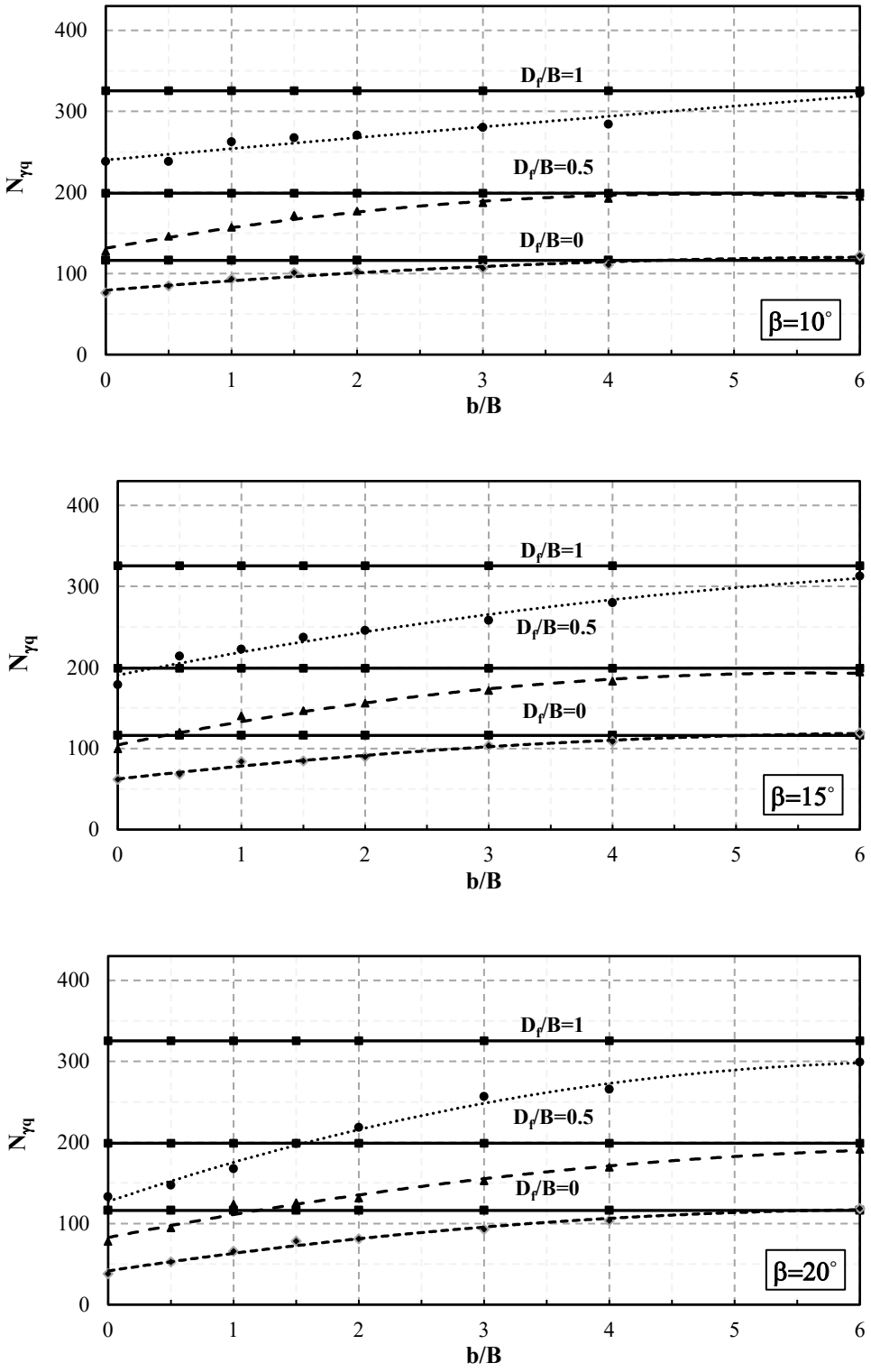
ϕ=40° ve β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı β değerleri için D_f/B ve b/B'ye göre değişimi Şekil 32'de verilmiştir. Diğer $N_{\gamma q}$-b/B grafikleri Ek Şekil 46-48'de, q_u-b/B grafikleri Ek Şekil 22-24'te verilmiştir.



Şekil 31. ϕ=40° ve β=20° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı D_f/B oranları için β ve b/B'ye göre değişimi

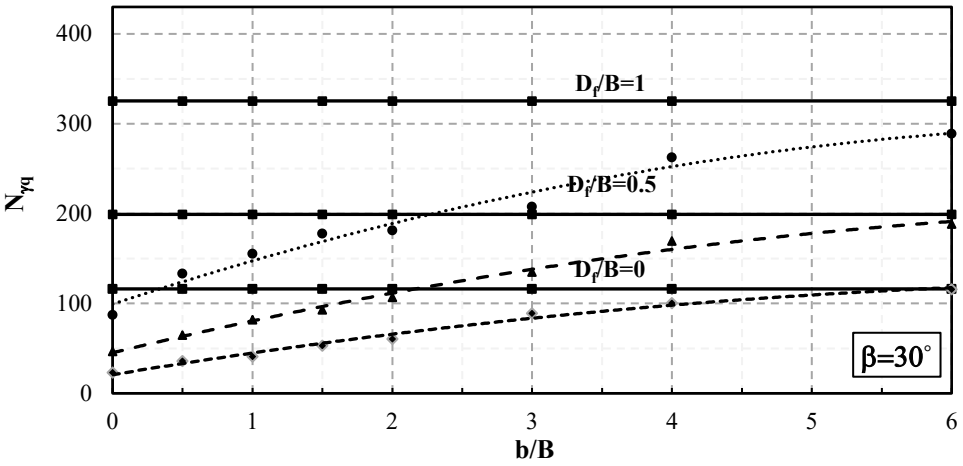
Şekil 31'in devamı





Şekil 32. ϕ=40° olması halinde $N_{\gamma q}$ katsayısının farklı β değerleri için D_f/B ve b/B'ye göre değişimi

Şekil 32’nin devamı



3.3. Geliştirilen Ampirik Bağıntılar

Sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 2D programı ile kohezyonsuz şevli durumdaki zemine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma gücü (q_u) belirli değişken parametreler (D_f/B, b/B, B, β ve ϕ) esas alınarak belirlenmiştir. Analiz sonuçlarından elde edilen nihai taşıma gücü değerleri, Meyerhof'un kohezyonsuz zeminlere inşa edilen şerit temellerin taşıma gücü bağıntısı (8) dikkate alınarak taşıma kapasitesi faktörleri ($N_{\gamma q}$) elde edilmiştir. Elde edilen taşıma kapasitesi faktörleri için bağımsız değişken parametreler (D_f/B, b/B, B, β ve ϕ) esas alınarak SPSS programında nonlinear regresyon analizi yapılarak bağıntılar geliştirilmiştir.

Geliştirilen bağıntıların performansı yani ne kadar güçlü olduğu göstermek için determinasyon katsayısı olan R^2 kullanılır. Bağıntı (13)'te tüm değişken parametreler dikkate alınıp (D_f/B, b/B, ϕ, β ve B) n=2882 adet veri kullanılarak genel taşıma gücü katsayısı bağıntısı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntının determinasyon katsayısı değeri R^2= 0.975 olarak bulunmuştur. Bağıntı (14)'te D_f/B=0 için diğer değişken parametreler dikkate alınıp (b/B, ϕ, β ve B) n=960 adet veri kullanılarak taşıma gücü katsayısı bağıntısı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntının determinasyon katsayısı değeri R^2=0.966 olarak bulunmuştur. Bağıntı (15)'te D_f/B=0.5 için diğer değişken parametreler dikkate alınıp (b/B, ϕ, β ve B) n=960 adet veri kullanılarak taşıma gücü katsayısı bağıntısı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntının determinasyon katsayısı değeri R^2= 0.974 olarak bulunmuştur. Bağıntı (16)'da D_f/B=1 için diğer değişken parametreler dikkate alınıp (b/B, ϕ, β ve B) n=960 adet veri kullanılarak taşıma gücü katsayısı bağıntısı elde edilmiştir. Elde edilen bağıntının determinasyon katsayısı değeri R^2= 0.979 olarak bulunmuştur.

Elde edilen bütün nonlineer regresyon bağıntılarının determinasyon katsayısı değeri yani R^2 değeri 1'e ne kadar yakın ise elde edilen bağıntı da o kadar tutarlı ve güçlü bir bağıntıdır anlamına gelmektedir. Elde edilen bağıntılar aşağıda verilmiştir.

Bütün değişken parametreleri içeren genel taşıma gücü faktörü ($N_{\gamma q}$) bağıntısı:

$$N_{\gamma q} = -258.135 \times \frac{D_f}{B} - 51.257xB - 21.187x\frac{b}{B} - 44.252x\phi + 3.305x\beta$$

$$+2.484 \times \frac{D_f}{B}xB + 5.546x\frac{D_f}{B}x\frac{b}{B} + 9.499x\frac{D_f}{B}x\phi - 1.27x\frac{D_f}{B}x\beta - 2.099xBx\frac{b}{B} \qquad (13)$$

$$+0.391xBx\phi+0.499xBx\beta+0.892x\frac{b}{B}x\phi+0.364x\frac{b}{B}x\beta-0.176x\phi x\beta+23.718x\frac{D_f}{B}^2$$

$$+10.3xB^2-1.343x\frac{b}{B}^2+0.731x\phi^2+0.017x\beta^2+733.202$$

(Determinasyon katsayısı değeri R^2=0.975)

D_f/B=0 için taşıma gücü faktörü ($N_{\gamma q}$) bağıntısı:

$$N_{\gamma q}=-6.998\times B-13.222\times\left(\frac{b}{B}\right)-23.294\times\phi+1.713\times\beta-1.038\times B\times\left(\frac{b}{B}\right)-0.026\times B\times\phi$$
$$+0.238\times B\times\beta+0.619\times\left(\frac{b}{B}\right)\times\phi+0.24\times\left(\frac{b}{B}\right)\times\beta-0.104\times\phi\times\beta+0.205\times(B)^2 \quad (14)$$
$$-1.012\times\left(\frac{b}{B}\right)^2+0.428\times(\phi)^2+0.009\times(\beta)^2+348.678$$

(Determinasyon katsayısı değeri R^2=0.966)

D_f/B=0.5 için taşıma gücü faktörü ($N_{\gamma q}$) bağıntısı:

$$N_{\gamma q}=-24.858\times B-18.555\times\left(\frac{b}{B}\right)-39.517\times\phi+2.79\times\beta-2.076\times B\times\left(\frac{b}{B}\right)+0.644\times B\times\phi$$
$$+0.437\times B\times\beta+0.912\times\left(\frac{b}{B}\right)\times\phi+0.381\times\left(\frac{b}{B}\right)\times\beta-0.173\times\phi\times\beta-0.079\times(B)^2 \quad (15)$$
$$-1.477\times\left(\frac{b}{B}\right)^2+0.717\times(\phi)^2+0.013\times(\beta)^2+600.317$$

(Determinasyon katsayısı değeri R^2=0.974)

D_f/B=1 için taşıma gücü faktörü ($N_{\gamma q}$) bağıntısı:

$$N_{\gamma q}=-119.894\times B-23.449\times\left(\frac{b}{B}\right)-55.984\times\phi+3.582\times\beta-3.185\times B\times\left(\frac{b}{B}\right)+0.547\times B\times\phi$$
$$+0.806\times B\times\beta+1.145\times\left(\frac{b}{B}\right)\times\phi+0.471\times\left(\frac{b}{B}\right)\times\beta-0.252\times\phi\times\beta+30.975\times(B)^2 \quad (16)$$
$$-1.539\times\left(\frac{b}{B}\right)^2+1.051\times(\phi)^2+0.029\times(\beta)^2+898.271$$

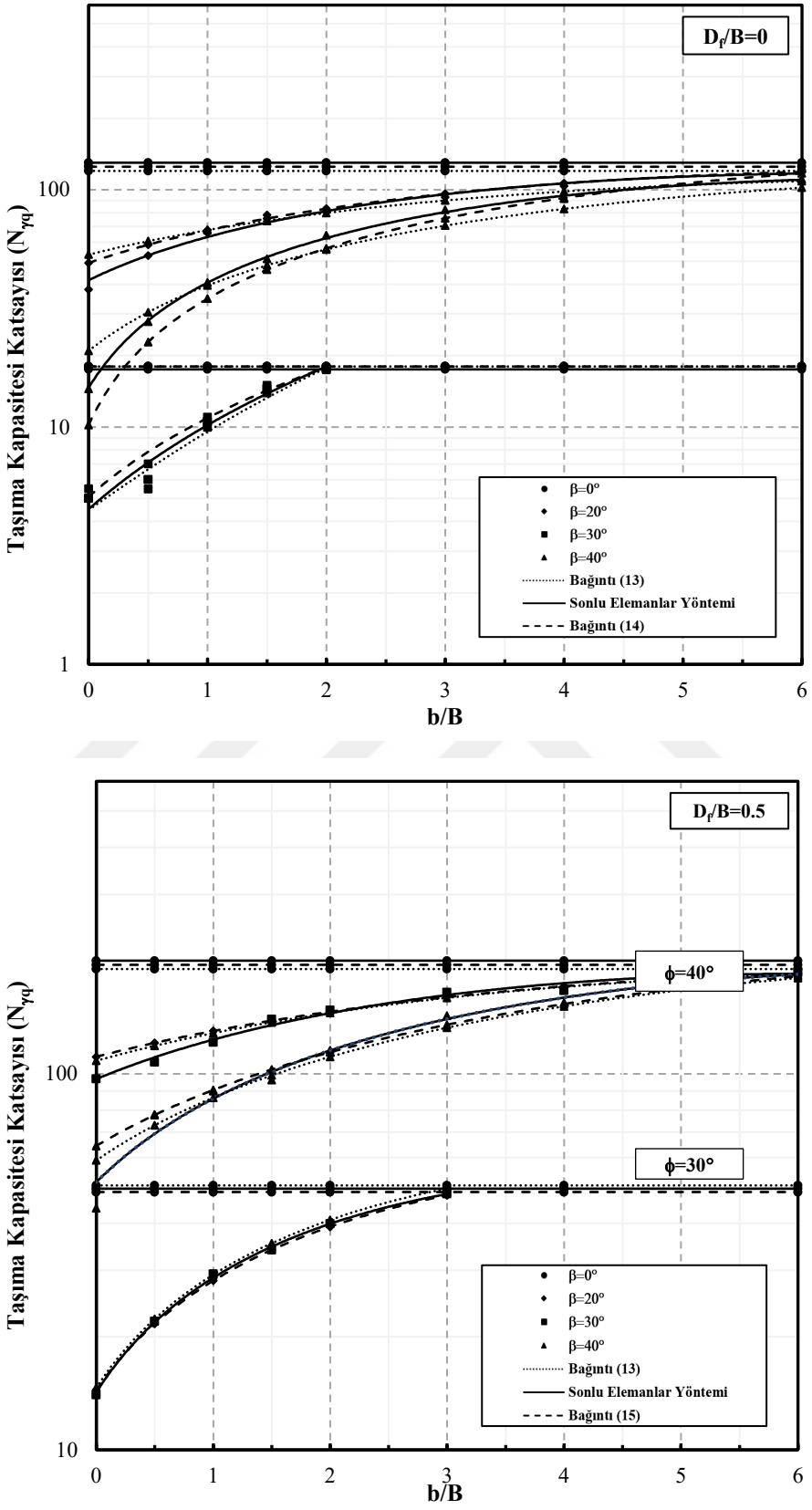
(Determinasyon katsayısı değeri R^2=0.979)

3.4. Sonuçların Karşılaştırılması

Yapılan tez kapsamında sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis 2D paket program ile kohezyonsuz şevli zemin tepesine inşa edilen şerit temellerin taşıma kapasitesi elde edilmiştir. Elde edilen taşıma kapasitesi sonuçlarından taşıma gücü faktörü, (8) bağıntısı ile elde edilmiştir. SPSS istatistik programı kullanılarak elde edilen taşıma kapasitesi faktörleri değişkenleri için nonlineer regresyon analizi yapılarak ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analiz sonuçları, geliştirilen genel ampirik bağıntı (13) ve farklı D_f/B oranları için geliştirilen bağıntılar (14), (15) ve (16) birbirleriyle karşılaştırılmıştır ve Şekil 33'de gösterilmiştir.

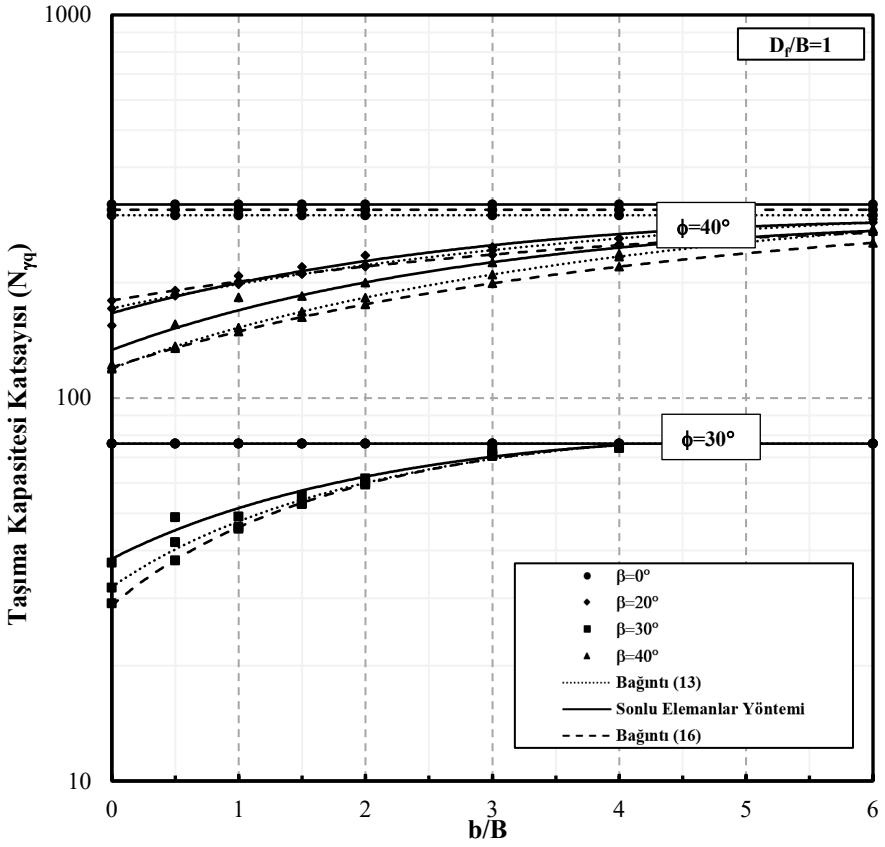
Meyerhof'un (1955) kohezyonsuz şevli zeminlere inşa edilen şerit temeller üzerine yapmış olduğu çalışma, sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen veriler ve regresyon analizi ile elde edilen genel ampirik bağıntı karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma, farklı temel genişlikleri (B) için yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonuçları Şekil 34'te gösterilmiştir.

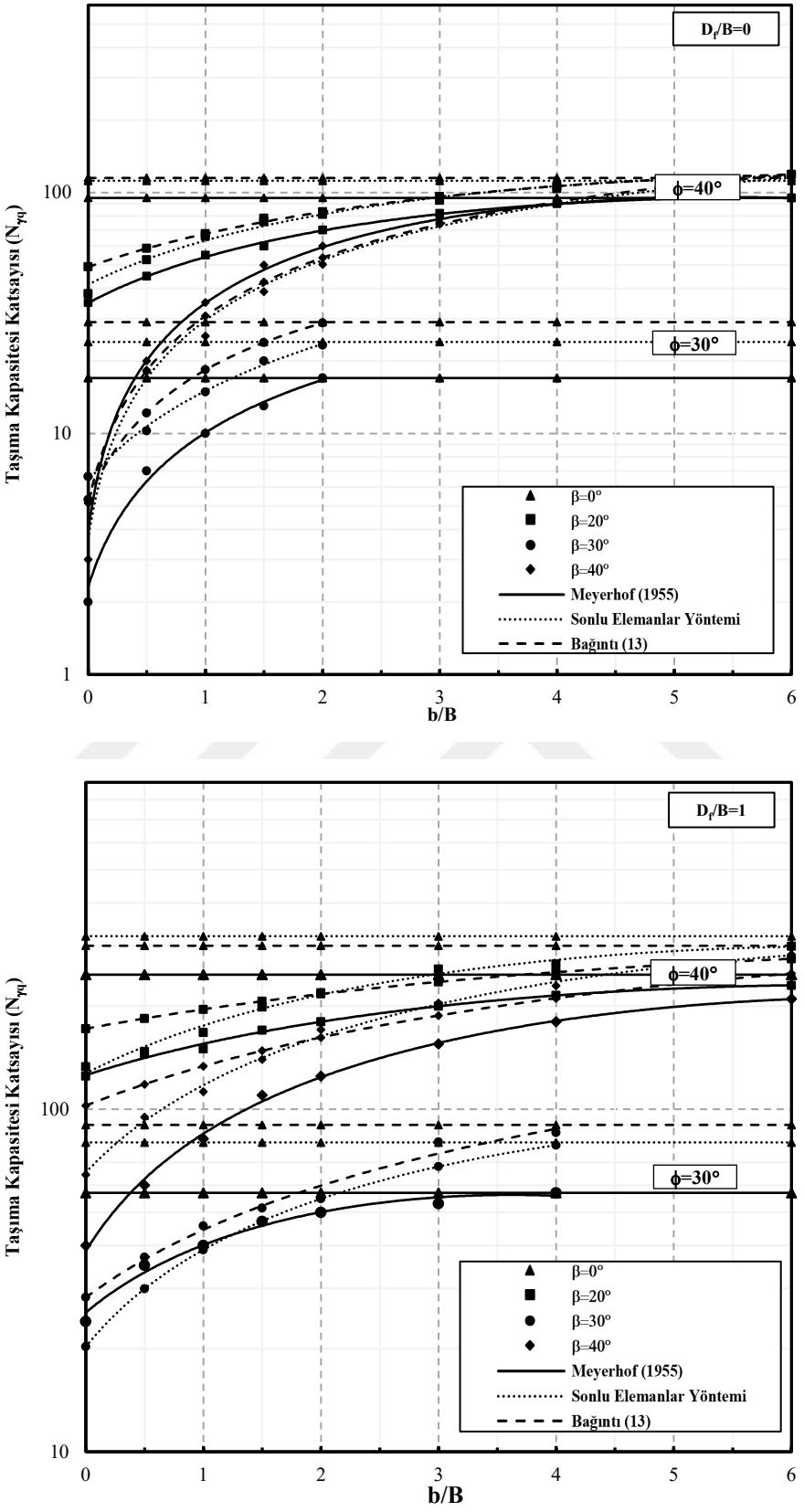
Yapılan karşılaştırmada açıkça görülmektedir ki Meyerhof (1955), sonlu elemanlar yöntemi sonuçları ve nonlineer regresyon analiz sonuçları $D_f/B=1$ için daha yakın ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Bunun dışında daha büyük genişliğe sahip temeller için karşılaştırma sonuçları daha yakın ve tutarlıdır. Buna ek olarak yüksek içsel sürtünme açısına ve düşük eğime sahip zemine inşa edilen şerit temeller için yapılan bu karşılaştırma daha yakın sonuçlar vermektedir. Kısaca taşıma gücü faktörü ne kadar yüksek olursa Meyerhof (1955), sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar ve nonlineer regresyon analiz sonuçlarından elde edilen ampirik bağıntı o kadar tutarlı ve birbirine yakın olmaktadır.



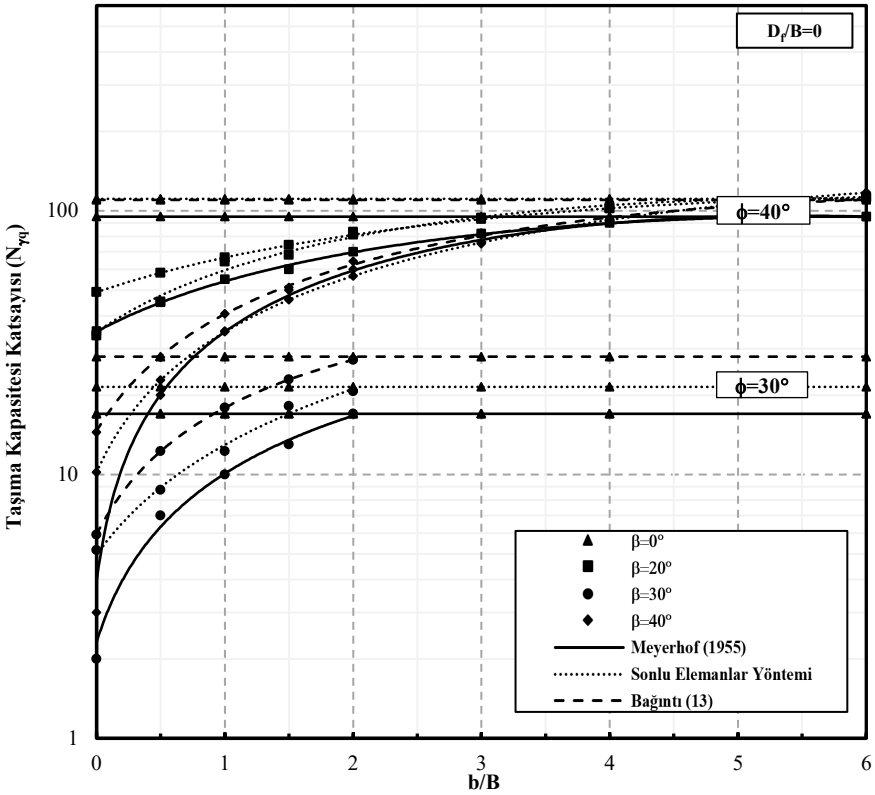
Şekil 33. B=2 metre için sonlu elemanlar yöntemi analiz sonuçları ve geliştirilen bağıntıların karşılaştırılması

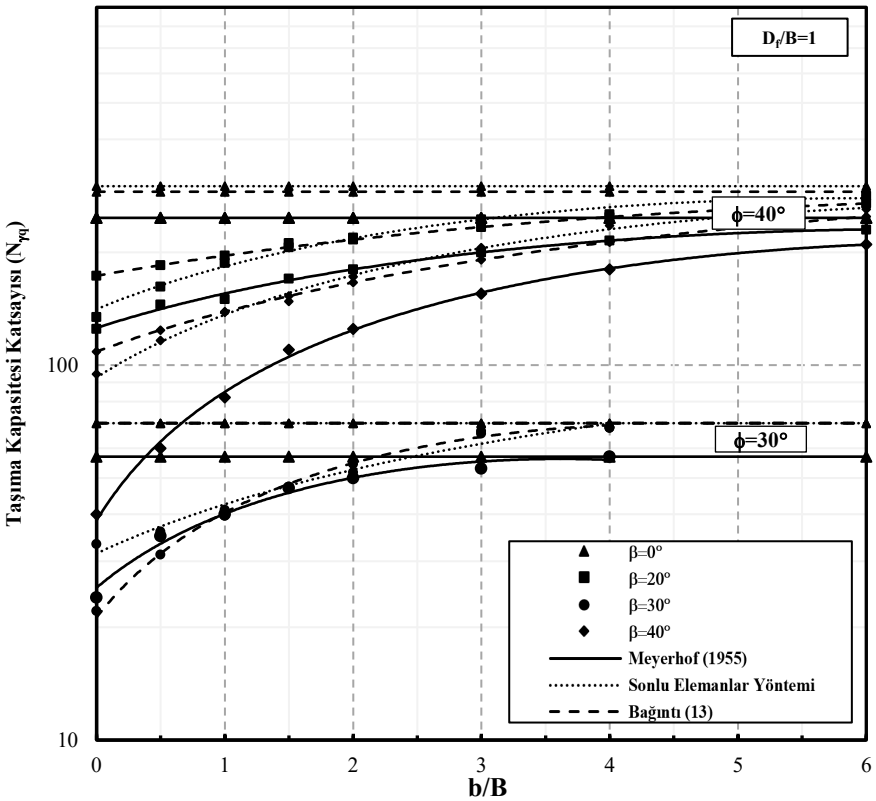
Şekil 33'ün devamı



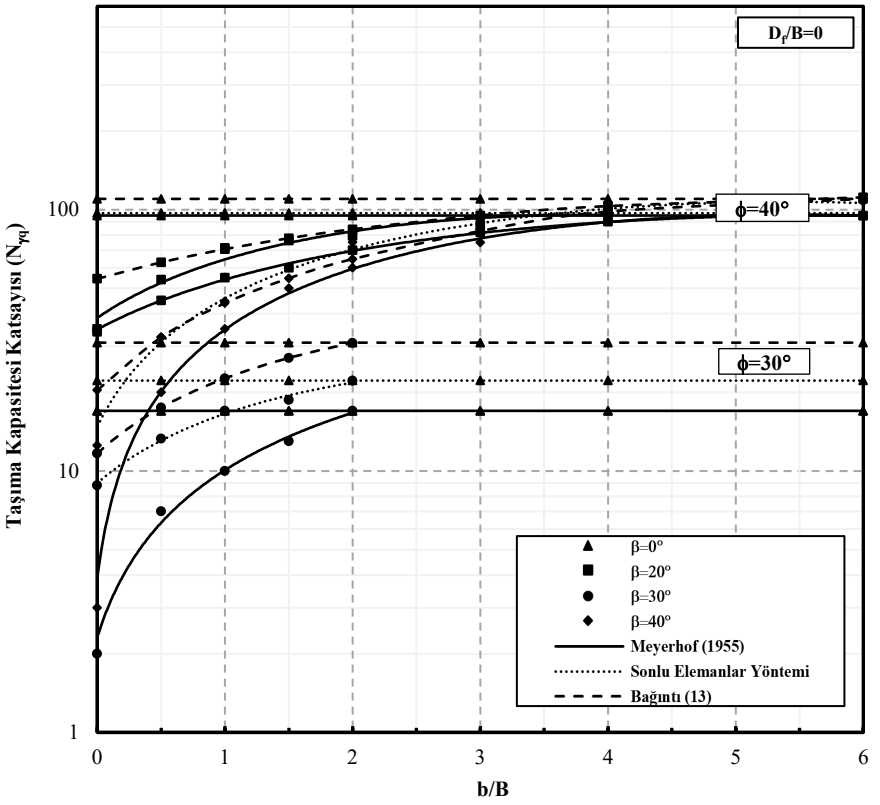

$D_f/B=0$
$\phi=40°$
$\phi=30°$
Taşıma Kapasitesi Katsayısı ($N_{\gamma q}$)
100
10
1
0
1
2
3
4
5
6
b/B
β=0°
β=20°
β=30°
β=40°
Meyerhof (1955)
Sonlu Elemanlar Yöntemi
Bağıntı (13)
$D_f/B=1$
$\phi=40°$
$\phi=30°$
Taşıma Kapasitesi Katsayısı ($N_{\gamma q}$)
100
10
0
1
2
3
4
5
6
b/B
β=0°
β=20°
β=30°
β=40°
Meyerhof (1955)
Sonlu Elemanlar Yöntemi
Bağıntı (13)

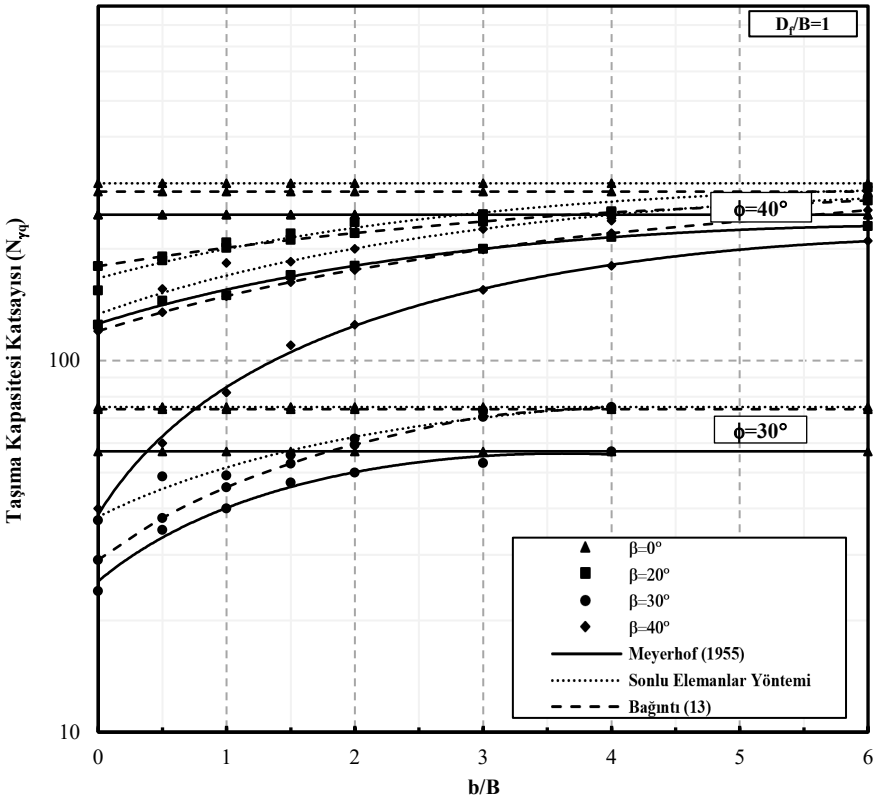
a)


$D_f/B=0$
$\phi=40°$
$\phi=30°$
β=0°
β=20°
β=30°
β=40°
Meyerhof (1955)
Sonlu Elemanlar Yöntemi
Bağıntı (13)
Taşıma Kapasitesi Katsayısı ($N_{\gamma q}$)
b/B
100
10
1
0
1
2
3
4
5
6


$D_f/B=1$
$\phi=40°$
$\phi=30°$
β=0°
β=20°
β=30°
β=40°
Meyerhof (1955)
Sonlu Elemanlar Yöntemi
Bağıntı (13)
Taşıma Kapasitesi Katsayısı ($N_{\gamma q}$)
b/B
100
10
0
1
2
3
4
5
6

b)





c)

Şekil 34. Farklı genişliklere (B) sahip temeller için yapılan karşılaştırmalar
a) B=1 m, b) B=1.5 m, c) B=2 m

4. SONUÇLAR

Kohezyonsuz şevli zemin üzerine inşa edilen şerit temelin nihai taşıma kapasitesini irdelemek için toplamda 2439 tane nümerik model analizi yapılmıştır. Temelin, şev tepesine olan mesafesinin (b), şev açısının (β), zeminin içsel sürtünme açısının (ϕ) temel genişliğinin (B) ve temel derinliğinin (D_f) nihai taşıma gücü (q_u) ve taşıma gücü katsayısı ($N_{\gamma q}$) üzerindeki etkisi incelenmiş ve tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, SPSS programında regresyon analizi yapılarak bağıntılar geliştirilmiştir. Yapılan analizlerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapılan analizlere göre:

1. Şev eğim açısının azalması, temel genişliğinin artırılması, içsel sürtünme açısının artması, temelin şev kret noktasından uzaklaşması ve temel derinliğinin artması, temelin nihai taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır.
2. Kohezyonsuz şevli zeminlere inşa edilen şerit temeller, şev kret noktasından uzaklaştırıldıkça b/B oranının artması halinde, belli bir mesafeden sonra yatay zemin durumunda bulunan temelin nihai taşıma kapasitesi seviyesine ulaştığı ve bu mesafe ne kadar artırılırsa artırılsın nihai taşıma kapasitesinin sabit kaldığı, şevin nihai taşıma kapasitesine artık etkisinin ihmal edilebilir seviyede olduğu görülmektedir. Temel, yatay zemin durumundaymış gibi davranış sergilemektedir.
3. Temel, şev kretinden uzaklaştırılırken farklı değişken parametrelere (ϕ, D_f/B, β, B) sahipken farklı b/B oranlarında sabit kaldığı gözlemlenmiştir. D_f/B=0 için ϕ=30˚ ise b/B≥2 oranında, ϕ=40˚'de b/B≥5 oranında, D_f/B=0.5 için; ϕ=30˚ iken b/B≥3 oranında, ϕ=40˚ iken b/B≥6 oranında, D_f/B=1 için; ϕ=30˚ iken b/B≥4 oranında, ϕ=40˚ iken b/B≥6 oranında sabit kaldığı ve şevin taşıma gücüne etkisinin ihmal edilecek derecede azaldığı görülmüştür. Kısaca; daha yüksek içsel sürtünme açısına sahip zeminlerde, yatay zemin halindeki (şev eğiminin olmadığı durum) nihai taşıma kapasitesine ulaşması daha yüksek b/B oranında olurken daha düşük içsel sürtünme açılarında daha düşük b/B oranında nihai taşıma kapasitesine ulaştığı görülmüştür.
4. İçsel sürtünme açısının (ϕ) artması nihai taşıma kapasitesini (q_u) de artırmaktadır. Yüksek içsel sürtünme açısına sahip zeminlerde, yatay zemin halindeki (şev eğiminin olmadığı durum) nihai taşıma kapasitesine ulaşması daha yüksek b/B

oranında olurken, daha düşük içsel sürtünme açılarında daha düşük b/B oranında nihai taşıma kapasitesine ulaştığı görülmüştür.

5. Düşük içsel sürtünme açısına sahip zeminlerde B=1.5 metre ve B=2 metre için temellerin nihai taşıma kapasitesi birbirine daha yakın değerlere sahipken B=1 metre için temelin nihai taşıma kapasitesi, diğer temellerin nihai taşıma kapasitesinden daha düşük bir nihai taşıma kapasitesine sahiptir. İçsel sürtünme açısı arttıkça her bir temelin nihai taşıma kapasitesi arasındaki fark yaklaşık olarak eşit hale geldiği görülmüştür.
6. Şev eğimi (β) arttıkça inşa edilen temelin nihai taşıma kapasitesi (q_u) daha büyük b/B oranında sabit kaldığı görülmüştür. Yani temel, daha düşük eğimde (β) şevin nihai taşıma kapasitesine olan etkisinden daha düşük b/B oranında kurtulurken, daha yüksek eğimlerde daha yüksek b/B oranında şev etkisinden kurtulmuştur.
7. Farklı şev eğimlerinde temel genişliğinin artırılması taşıma kapasitesinin artmasını sağlamaktadır. Temel genişliğinin artması yüksek eğime sahip şevlerde daha düşük b/B oranında yatay zemin durumdaki temelin nihai taşıma kapasitesine ulaştığı görülmüştür. Bunun yanı sıra, daha küçük genişliğe sahip temeller için sunulan $N_{\gamma q}$-b/B ve q_u-b/B grafiklerine bakıldığında farklı β değerleri için çizilen parabolik eğrilerin daha ayrık şekilde ilerlediği ve temel genişliğinin artmasına bağlı olarak bu ayrıklığın azaldığı görülmüştür.
8. Aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlerde temel genişliğinin artırılmasına bağlı olarak nihai taşıma kapasitesi de artmaktadır. Bunun dışında aynı içsel sürtünme açısına sahip zeminlere inşa edilen farklı genişlikteki temellerin $N_{\gamma q}$-b/B ve q_u-b/B grafiklerine bakılacak olursa; temel genişliğinin artırılması çizilen parabolik eğrilerin eğiminin azalmasına ve buna bağlı olarak da daha yüksek b/B oranında yatay zemin durumundaki temelin nihai taşıma kapasitesine ulaştığı görülmüştür. Bu durum yüksek içsel sürtünme açısına sahip zeminlerde daha belirgin şekilde görülmektedir.
9. Şevli durumdaki zeminin tepesine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma gücü sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen veriler taşıma gücü katsayısına ($N_{\gamma q}$) dönüştürülmüştür. Elde edilen taşıma gücü kapasitesi verileri kullanılarak nonlineer regresyon analizi yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda ampirik bağıntılar geliştirilmiştir.

10. Elde edilen bu bağıntılar ile kohezyonsuz şevli zeminlere inşa edilen şerit temellerin yaklaşık nihai taşıma kapasitesi kolaylıkla bulunabilmektedir. Meyerhof'un (1955) kohezyonlu ve kohezyonsuz şevli zeminler üzerine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma kapasitesi üzerine yapmış olduğu çalışma kohezyonsuz zeminler için parametreler daha detaylı hale getirilerek daha hassas sonuçlar elde edilmiştir.
11. Yapılan çalışmalar, şevli zeminlerde temel inşa etme konusunda bilgi sağlamakta ve daha güvenli ve dayanıklı yapılar için yönlendirici olmaktadır. Gelecekteki araştırmaların, şevli zeminlerde temel tasarımı ve güçlendirme yöntemleri üzerinde odaklanarak bu alandaki bilgi birikimini artıracağı düşünülmektedir.

5. ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada kohezyonsuz şevli zemine inşa edilen şerit temellerin nihai taşıma gücüne etkiyen parametreler dikkate alınarak bu parametrelerin nihai taşıma gücüne olan etkisi ve bu parametrelerin birbirleri arasında olan ilişkileri irdelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanan Plaxis 2D ile yaklaşık 2439 adet analiz yapılmıştır. Şevli zeminler üzerine inşa edilen temellerin nihai taşıma gücü üzerine Meyerhof'un (1955) yapmış olduğu çalışma, kohezyonsuz zeminler kapsamında daha detaylı hale getirilmiş ve ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Bu tez konusu ile çalışma yapmak isteyecek araştırmacılara ve uygulayıcılara iletilmek üzere öneriler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Bu çalışma sadece kohezyonsuz zeminler üzerine çalışılmıştır. Kohezyonlu zeminler üzerine de nümerik veya deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Çalışmanın odak noktası şerit temeller olmuştur. Farklı temel şekilleri üzerine çalışmalar yapılabilir ve sonlu elemanlar yöntemi kullanan üç boyutlu paket programlarda daha gerçeğe yakın bir biçimde modelleme yapılarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir.
- Bu çalışma kapsamında temel rijit ve yükleme şekli tekil yük olarak kabul edilmiştir. Esnek temel ve/veya yayılı yük kabulleri yapılarak birbirleriyle karşılaştırılabilir.
- Modelleme yapılırken şev yüksekliği H=2 metre olarak sabit bir değer alınmıştır. Bu parametre temel genişliği ile ilişkilendirilerek H/B parametresinin nihai taşıma gücü üzerindeki etkisi irdelenebilir.
- Çalışma kapsamında, statik yüklere maruz bir yapının nihai taşıma gücü üzerine çalışılmıştır. Dinamik koşullar dikkate alınarak çalışma kapsamlı hale getirilebilir.
- Zemin profilinde suyun etkisi göz ardı edilmiştir. Suyun etkisi dikkate alınarak doygun halde bulunan zeminin taşıma gücü üzerine çalışmalar yapılabilir.
- Farklı analiz yöntemleri kullanılarak analiz sonuçları karşılaştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

Acharyya, R. (2019). Finite element investigation and ANN-based prediction of the bearing capacity of strip footings resting on sloping ground. International Journal of Geo-Engineering, Bombay, India.

Akbay, 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., & 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. International Civil Engineering and Architecture Congress, Trabzon, 532-544.

Azzouz, A.S., & Baligh, M.M. (1983). Loaded areas on cohesive slopes. Journal of Geotechnical Engineering, 109(5).

Borishade, T., Kehinde, O., Iyiola, O., Olokundun, M., Ibidunni, A., Dirisu, J., & Omotoyinbo, C. (2018). Dataset on customer experience and satisfaction in healthcare sector of Nigeria. Elsevier Data in Brief, 1850-1853.

Bowles, J.E. (1988). Foundation analysis and design. 4th Ed., McGraw-Hill, New York.

Buhan, P., & 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, Fransa, 68, 21–32.

Casablanca, O., Biondi, G., Cascone, E., & Filippo, G. (2022). Static and seismic bearing capacity of shallow strip foundations on slopes. Géotechnique, İtalya, 769-783.

Castelli F., & 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. Institute of Geotechnical Engineering, Changsha, China.

Chen, WF., & McCarron, WO. (1991). Bearing capacity of shallow foundations. Boston: Springer.

Chen, W. F. (1975). Limit analysis and soil plasticity. Elsevier, Amsterdam.

Das, B.M. (1999) Principles of foundation engineering. Global Engineering: Florida

Dasho, D.K., & Aga, B.B. (2023). Comprehensive characterization of soils with analytical and numerical simulation for bearing capacity and settlement requirements of the footing. Hindawi Advances in Materials Science and Engineering, Etiyopya.

Davis, E.H., & 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.

Ebid, A.M., Onyelowe, K.C., & Arinze, E.E. (2021). Estimating the ultimate bearing capacity for strip footing near and within slopes using AI (GP, ANN, and EPR) techniques. Hindawi Journal of Engineering.

Elbay, Ü.Ş., Elbay, M., & Kaya, C.A. (2022). Evaluation of knowledge and awareness of parents about emergency management of traumatic dental injuries. Selcuk Dent J, 2022; 9: 409-416.

Farzaneh, O., Askari, F., & Ganjian, N. (2008). Three dimensional stability analysis of convex slopes in plan view. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 134(8), 1192-1200.

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.

Graham, J. Andrews, M., & Sheilds, D.H. (1987). Stress characteristics for shallow footings in cohesionless slopes. Canadian Geotechnical Journal, 25, 238-249.

Griffiths, D.V. (1982). Computation of bearing capacity factors using finite elements. Geotechnique, 32(3), 195–202.

Hansen, J. B. (1970). A revised and extended formula for bearing capacity.

Inder, M.D. (2020). Software engineering defect prediction using the SPSS method. Recent trends in Management and Commerce, 1(3), 107-115.

Johnson, C.L., Resch, J.A., Elliott, T.R., Villareal, V., Kwok, O., Berry, J.W., & Underhill, A.T. (2010). Family satisfaction predicts life satisfaction trajectories over the first 5 years after traumatic brain injury. Rehabilitation Psychology, 55(2), 180–187.

Kara, K., Edinsel, S., & Kaygısız, E. G. (2022). Effect of green social capital, green organizational capital, and green human capital on green competitiveness: empirical research on logistics service providers. İşletme Akademisi Dergisi, 3(4), 419–435.

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.

Kim, J., Kim, Y., Jeong, S., & Hong, M. (2017). Rainfall-induced landslides by deficit field matric suction in unsaturated soil slopes. Environmental Earth Sciences.

Kolawole, A.R. (2015). Change order management in Nigeria: the current context. Journal of Management Research, 7(5), 127-136, Kenya.

Krabbenhoft, K., Lyamin, A.V., Hjiaj, M., & Sloan, S.W. (2005) A new discontinuous upper bound limit analysis formulation. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 63(7), 1069–1088.

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.

Leshchinsky, B. (2015) Bearing capacity of footings placed adjacent to c'-ϕ' slopes. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 141(6), (1-13).

Lv, A., Li, Y., Sun R., Xue, G., Tian, X., & Hao, C. (2022) Patient selection for surgery for peritoneal sarcomatosis in retroperitoneal sarcoma-external validation of the simplified peritoneal sarcomatosis score.

Lysmer, J. (1970) Limit analysis of plane problems in soil mechanics, J. Soil Mechanics Foundation Division, ASCE, 96 (SM4), 1311-1334.

Maftei, A., Merlici, I., & Roca, I. (2022). Implications of the covid-19 pandemic on children and adolescents: cognitive and emotional representations. Children 2022, 9, 359.

Mei, X., Yan, D., Deng, X., & Cen, Y. (2021). A study on the ınfluencing factors of college students' fear of missing out in mobile social media environment based on SPSS. 2nd International Conference on Big Data and Informatization Education (ICBDIE), China.

Mekdash, H., Jaber, L., Temsah, Y., & Sadek, M. (2022). Reinforcement of voncrete shoring systems by prestressing. Hindawi Advances in Civil Engineering, Lübnan.

Meyerhof, G. G. (1963). Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian Geotechnical Journal, 1, 16-26.

Meyerhof, G. G. (1951 and 1955). The ultimate bearing capacity of foundations on slopes. The proceedings of the fourth ınternational 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.

Naffouje, S.A., Tulla, K.A., & Salti, G.I. (2018). A simplified peritoneal sarcomatosis score for patients treated with cytoreductive surgery and hyperthermic intraperitoneal chemotherapy, Journal of Gastrointestinal, 9(6), 1138-1.

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.

Plaxis Manuel 2D. (2023). Plaxis Material Models Manuel 2D.

Rahman, A., & Muktadir M. (2021). SPSS: an imperative quantitative data analysis tool for social science research. International Journal of Research and Innovation in Social Science (IJRISS), Volume V, 300-302.

Riwukore, J.R., Marnisah, L., & Habaora, F. (2022). Employee performance analysis based on the effect of discipline, motivation, and organizational commitment at the regional secretariat of the kupang city government. Jurnal Maksipreneur: Manajemen, Koperasi, dan Entrepreneurship, 12(1), 76-79, Endonezya.

Russo, G., Marone, G., & Girolamo, L.D. (2021). Hybrid energy piles as a smart and sustainable foundation. Journal of Human, Earth, and Future, 2(3), 306-322, İtalya.

Sexton, B.G., & McCabe, B.A. (2013). Numerical modelling of the improvements to primary and creep settlements offered by granular columns. Acta Geotechnica (2013) 8:447–464, Berlin.

Shiau, J.S., Merifield, R.S., Lyamin, A.V., & 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., & Barsvary, A. K. (1977) Bearing capacity of foundations near slopes. Proceedings of the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, 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.

Sloan, S.W., & 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.

Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. New York: Wiley

TMMOB, (2021). Toprak zeminlerde sığ temellerin taşıma gücü hesap cetveli kullanım kılavuzu. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası

Tran, M.N., Lai, V.Q., Nguyen, T.K., Dang, T.D., & Huynh, N.T. (2023). Bearing capacity of strip footing on c-ϕ slope under rainfall. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Condition

Türemiş, E.İ. (2003). Geotekstiller ve plaxis sonlu elemanlar programı, İstanbul

URL-1. (2022, Aralık 5). Finite element method: https://en.wikipedia.org/wiki/Finite_ element_method# adresinden alınmıştır.

Vesic, A.S. (1975). Bearing capacity of shallow foundations. New York: Van Nostrant Reinhold Co.

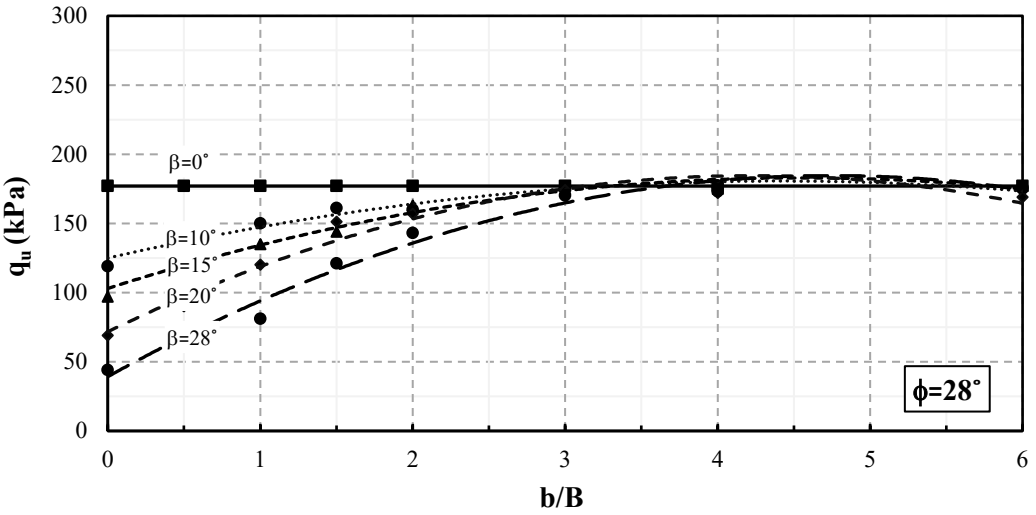
Vesic, A. S. (1973). Analysis of ultimate loads of shallow foundations. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 99, 45-73.

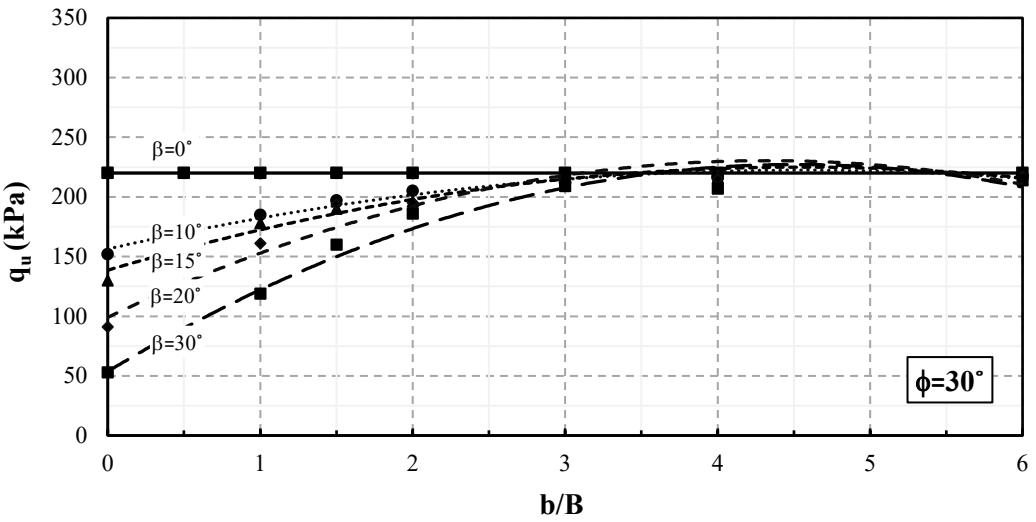
Yang, X., Wang, Z., & Zou, J. (2007). Influences of nonassociated flow rules on seismic bearing capacity of foundation on slope determined by energy dissipation method and model experiments. Journal of Central South University of Technology, 125-128.

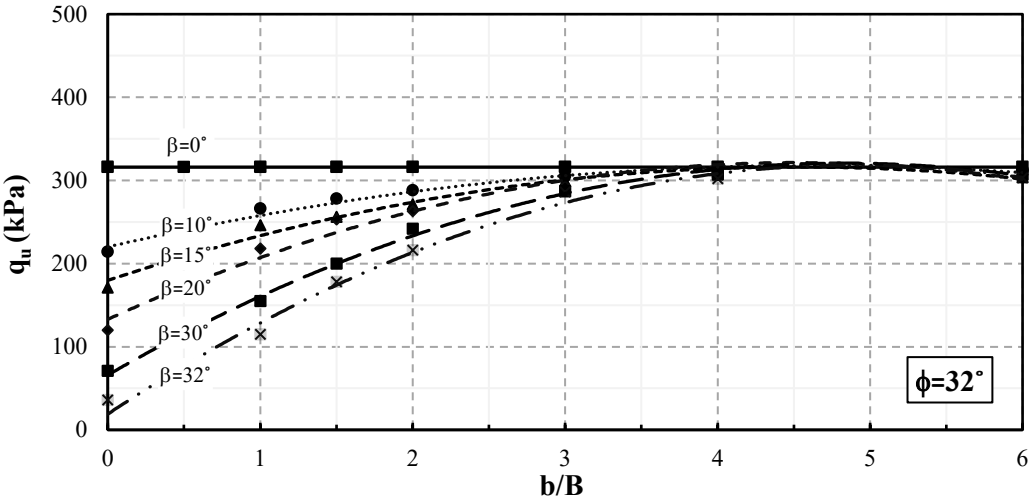
Yu, X. (2018). Slope foundation bearing capacity upper bound solution. Proceedings of the 2017 3rd International Forum on Energy, Environment Science and Materials (IFEESM 2017).

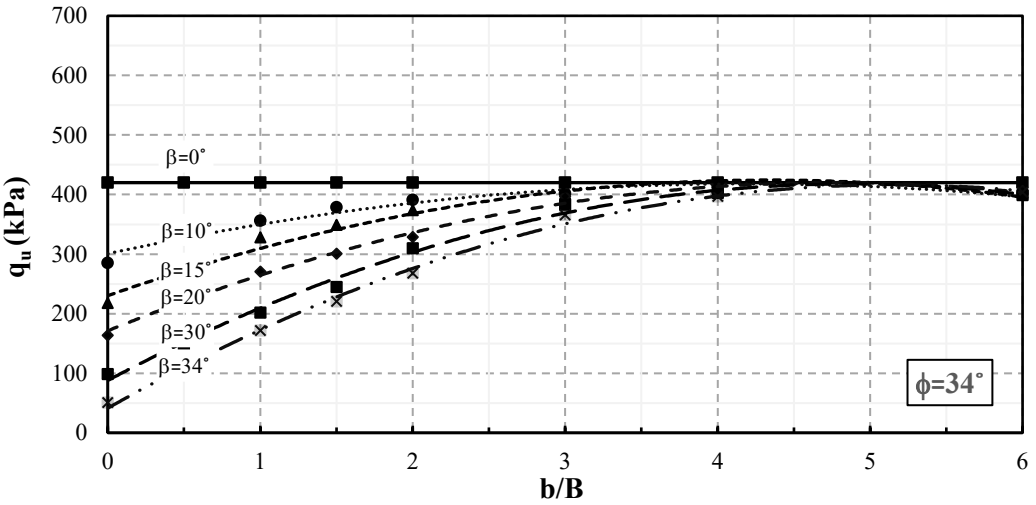
7. EKLER

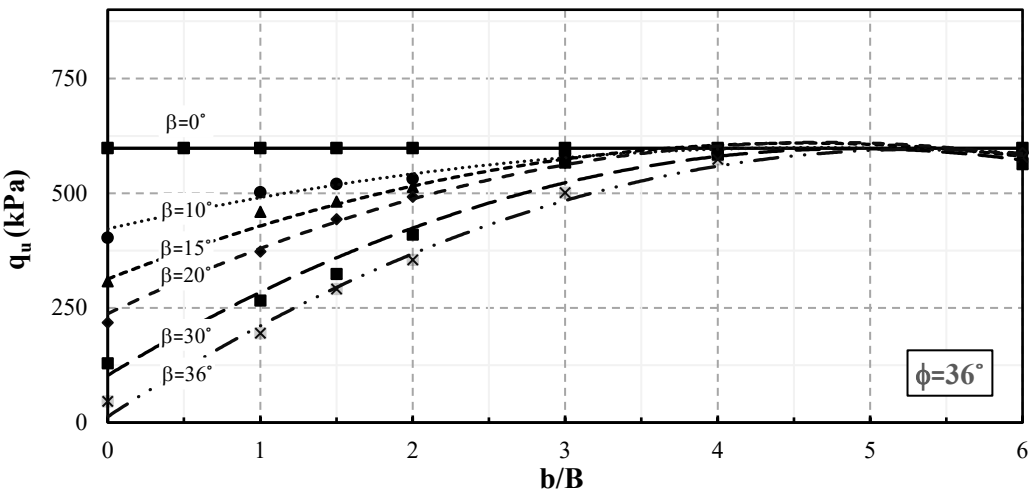
Yapılan analizler sonucunda değişken parametrelerin birbirleriyle ve nihai taşıma gücü ile ilişkilerinin irdelenmesinden elde edilen grafiksel şekillerden bir kısım seri Sonuçlar başlığı altında verilmiştir. Sunulan grafiklerin diğer serileri aşağıda verilmiştir.

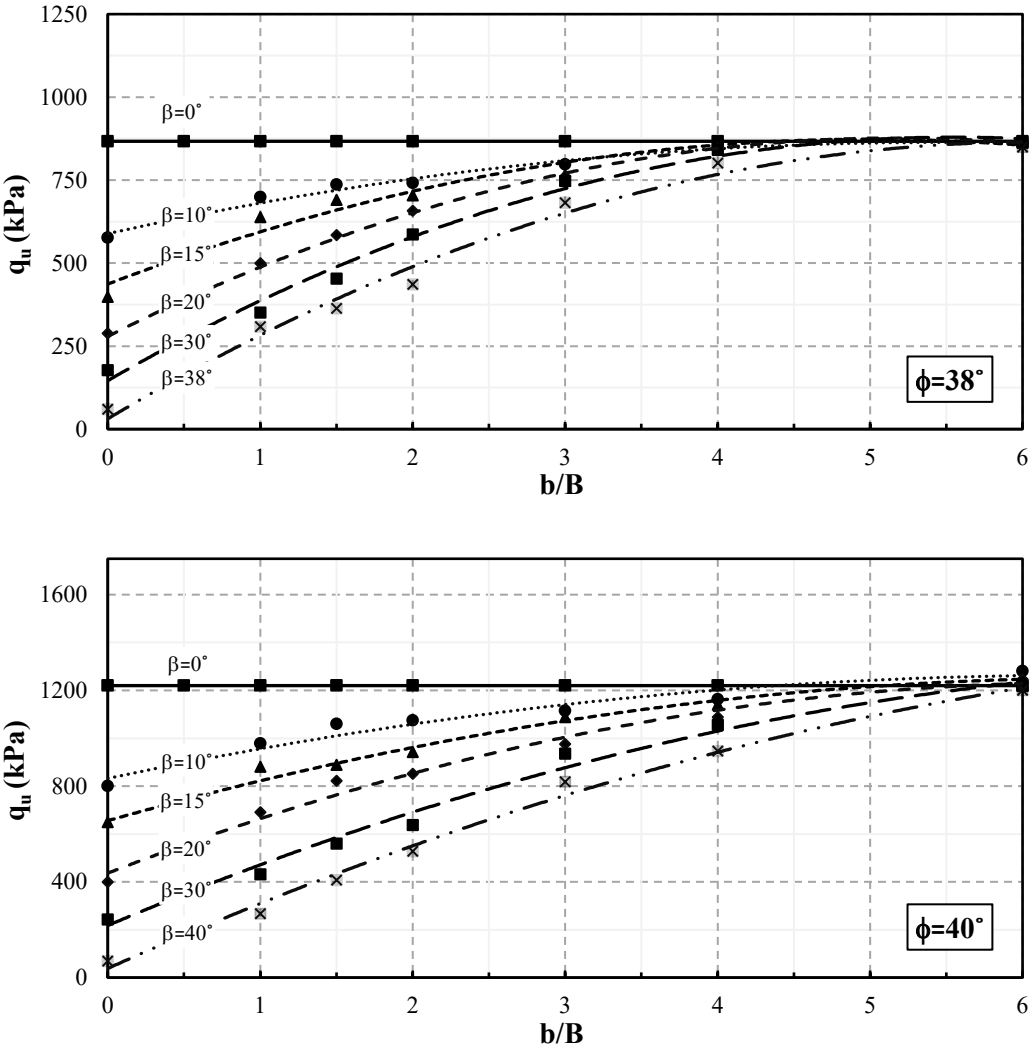




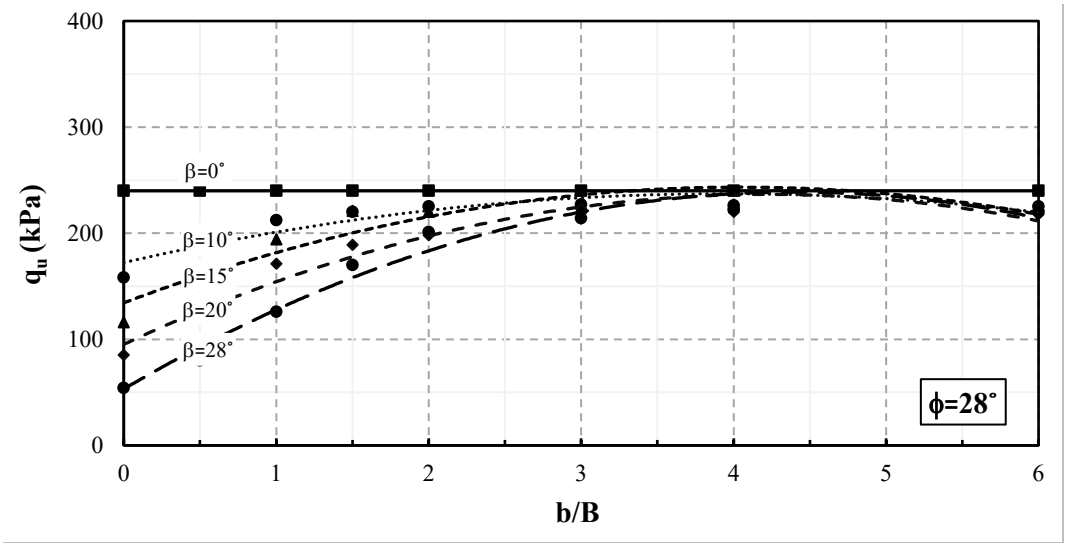

500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

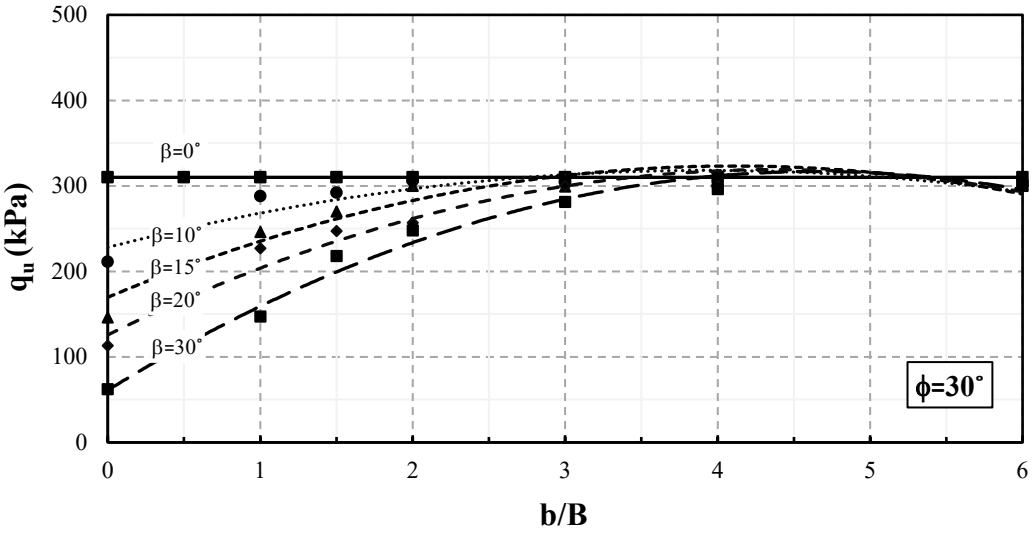

700
600
500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

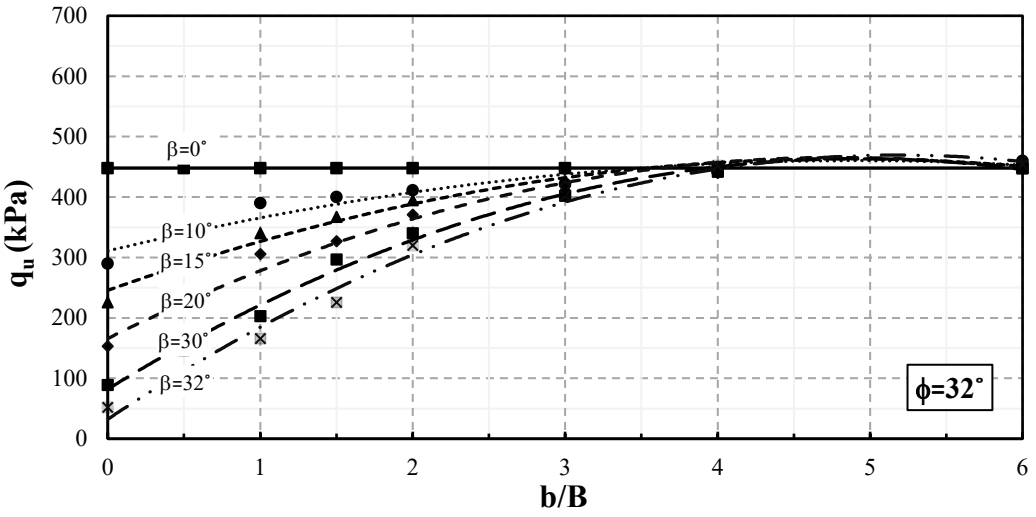

750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

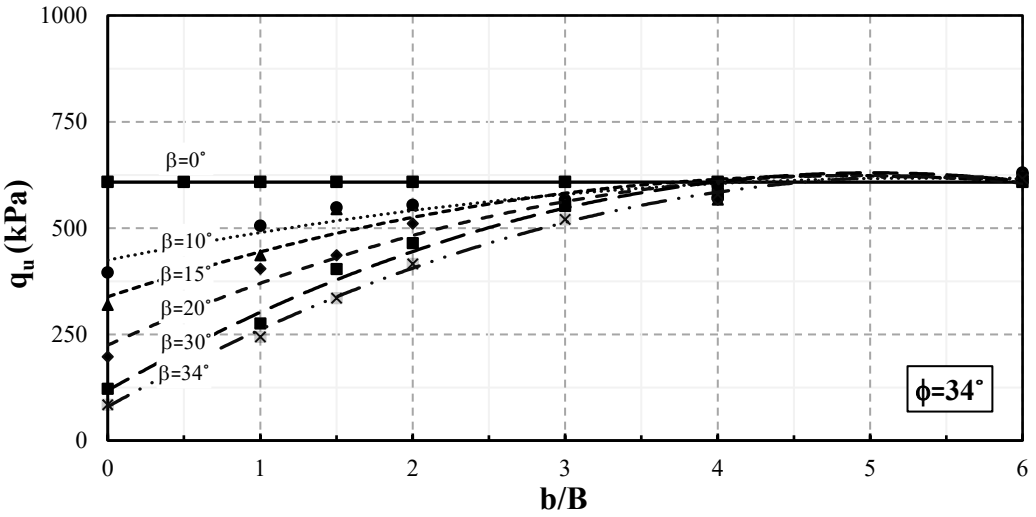


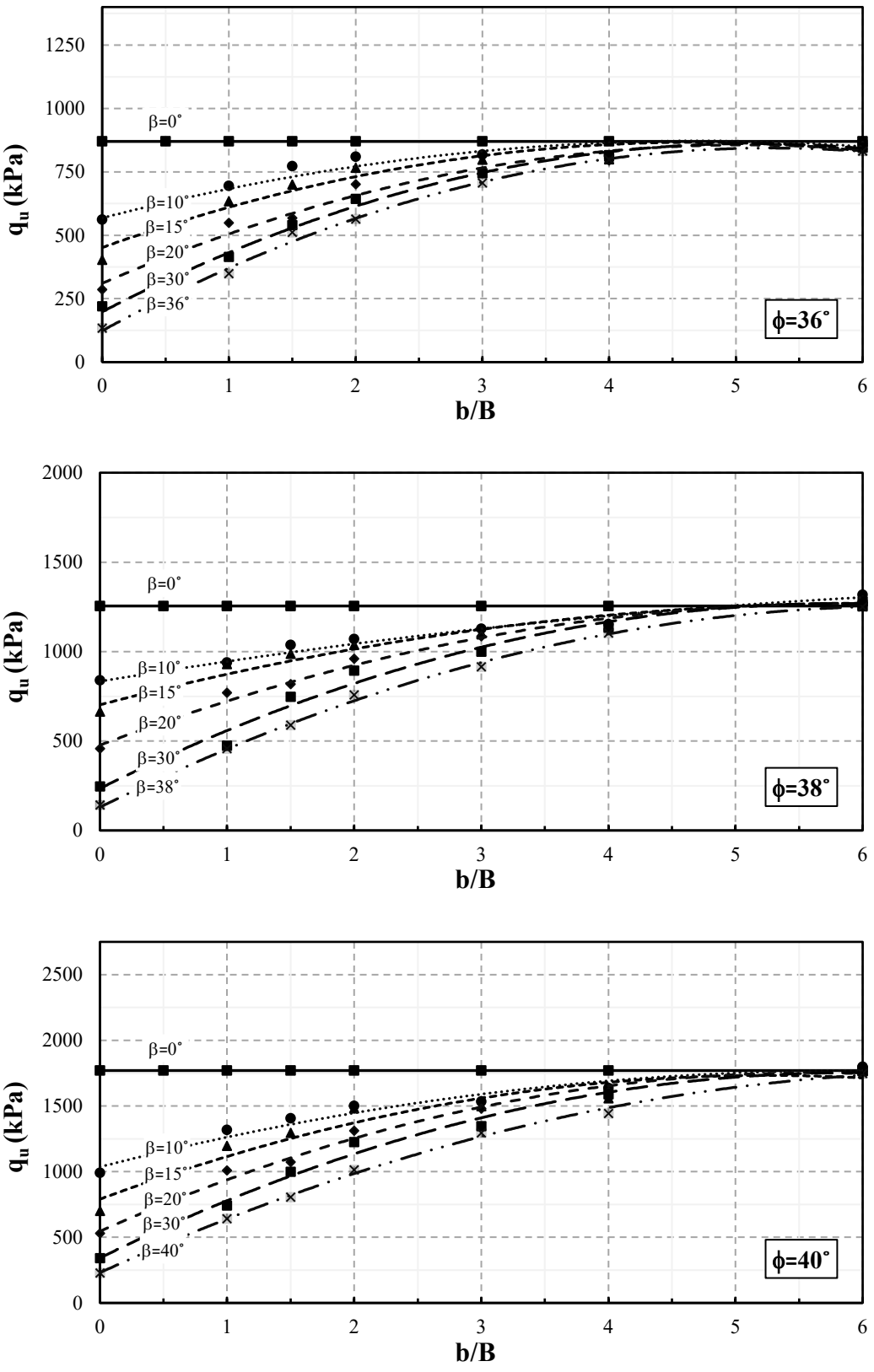
Ek Şekil 1. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 metre)



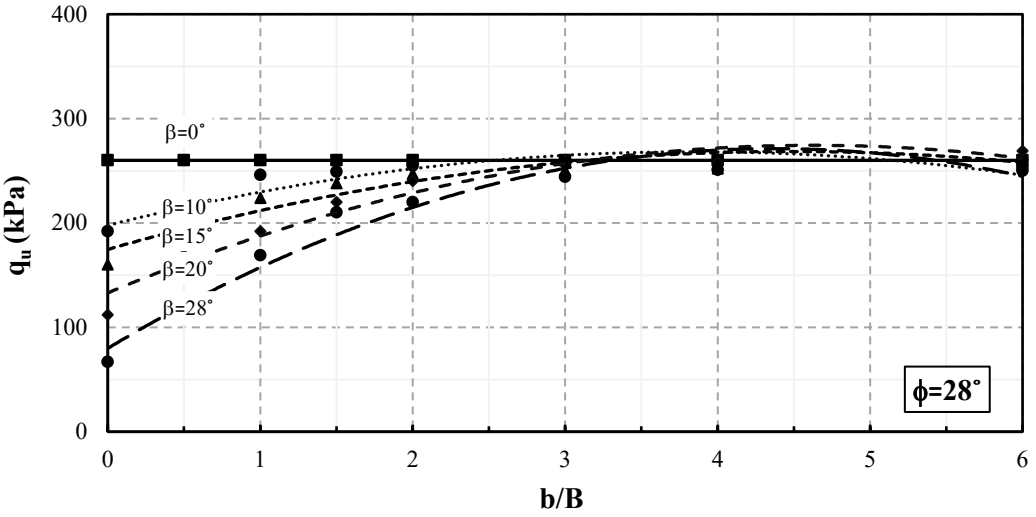

500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

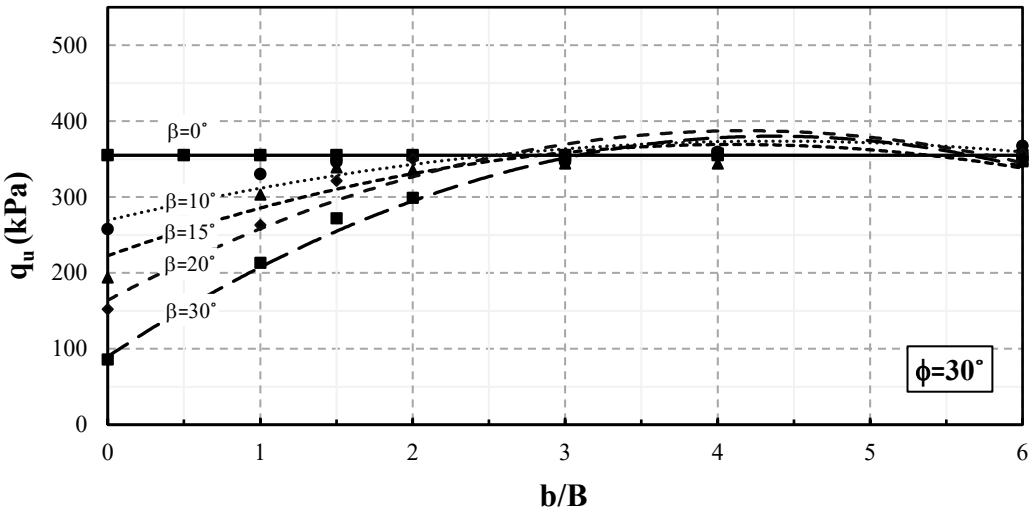

700
600
500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

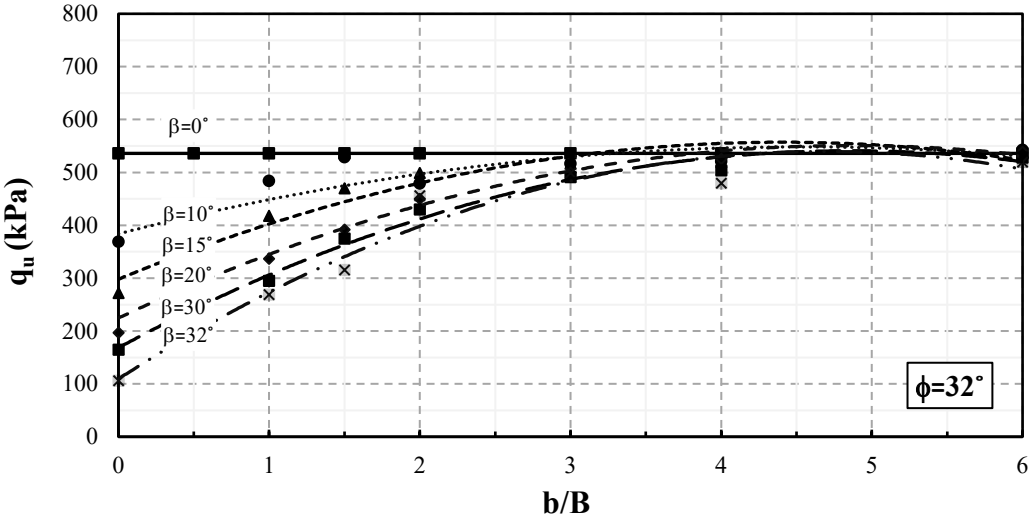

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

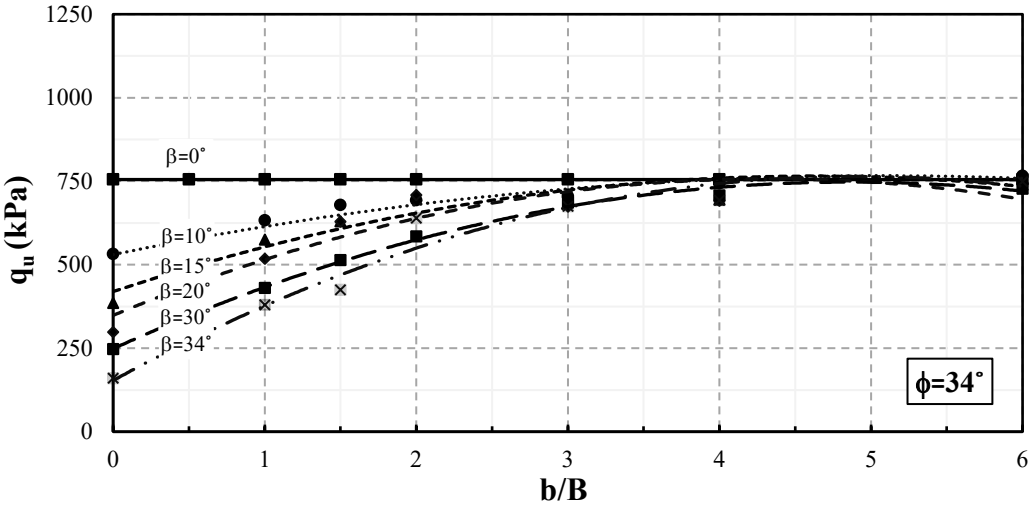


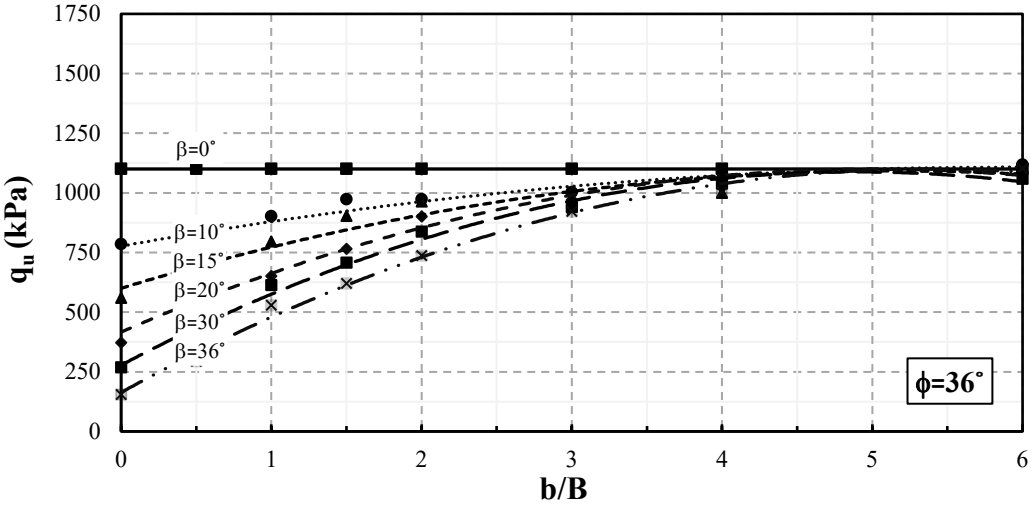
Ek Şekil 2. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 metre)

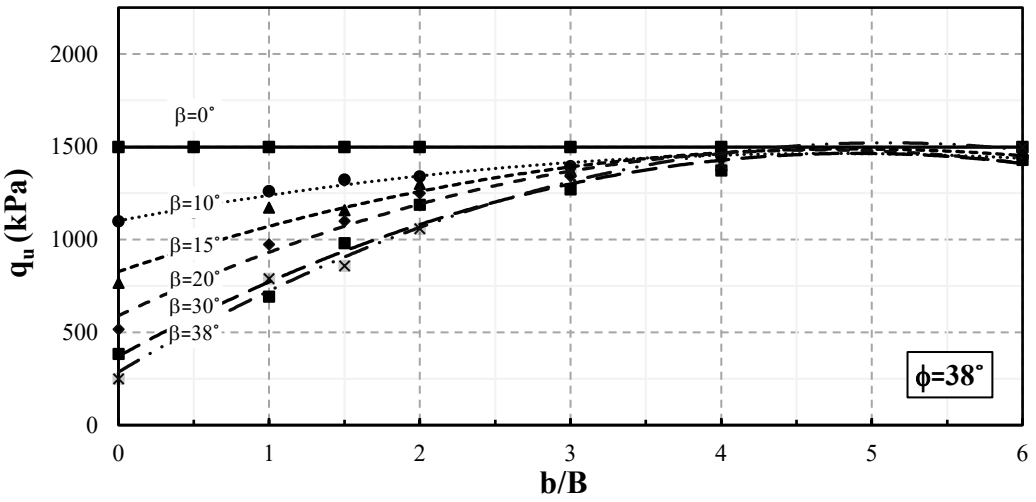

400
300
200
100
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=28˚
ϕ=28˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

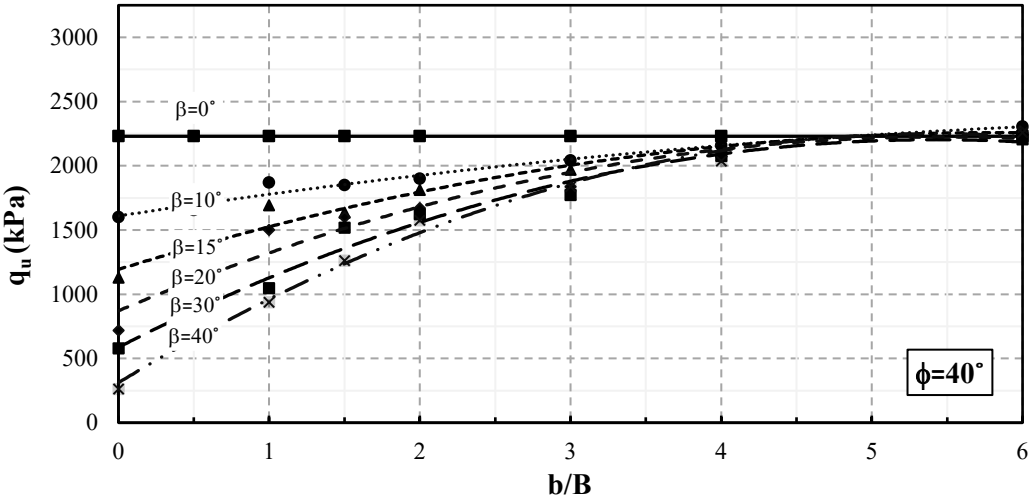

500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B


800
700
600
500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

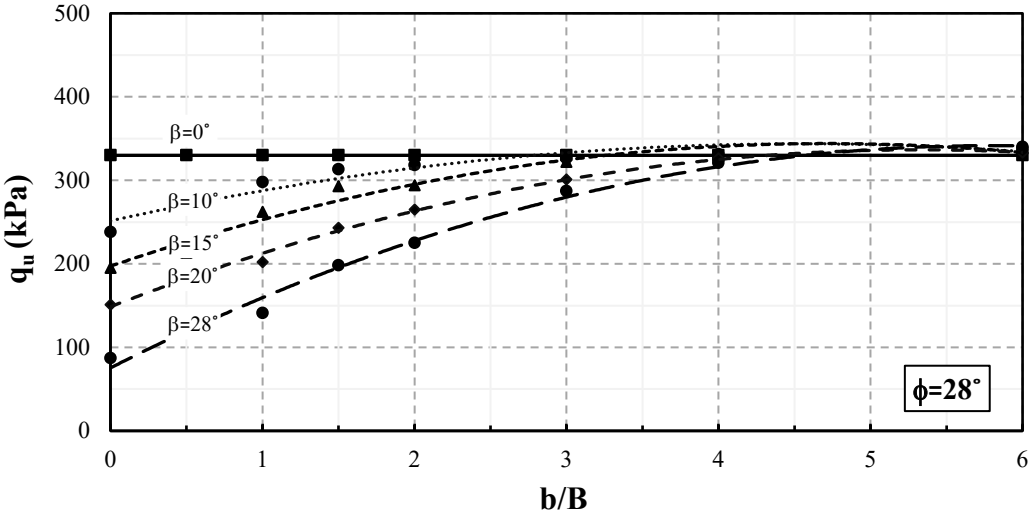

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

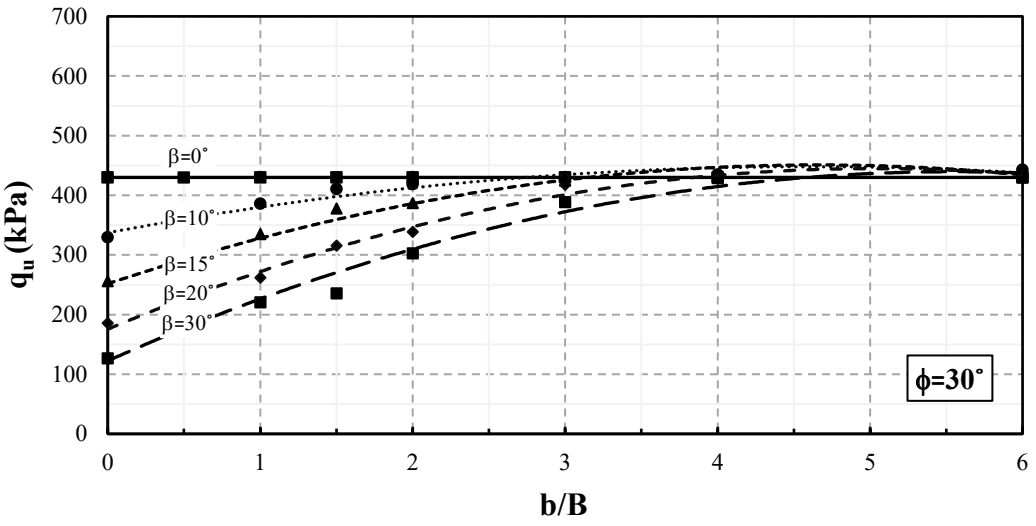

1750
1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

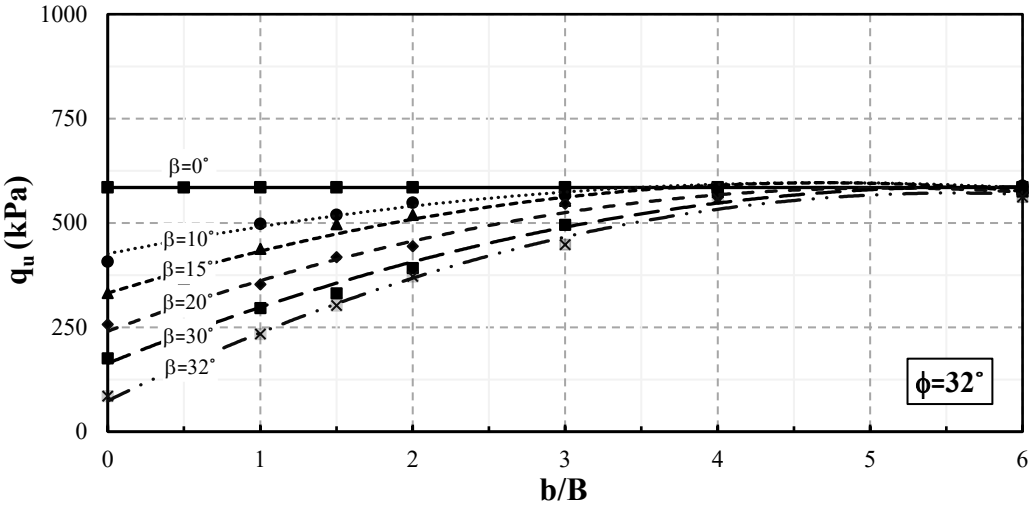

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=38˚
ϕ=38˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

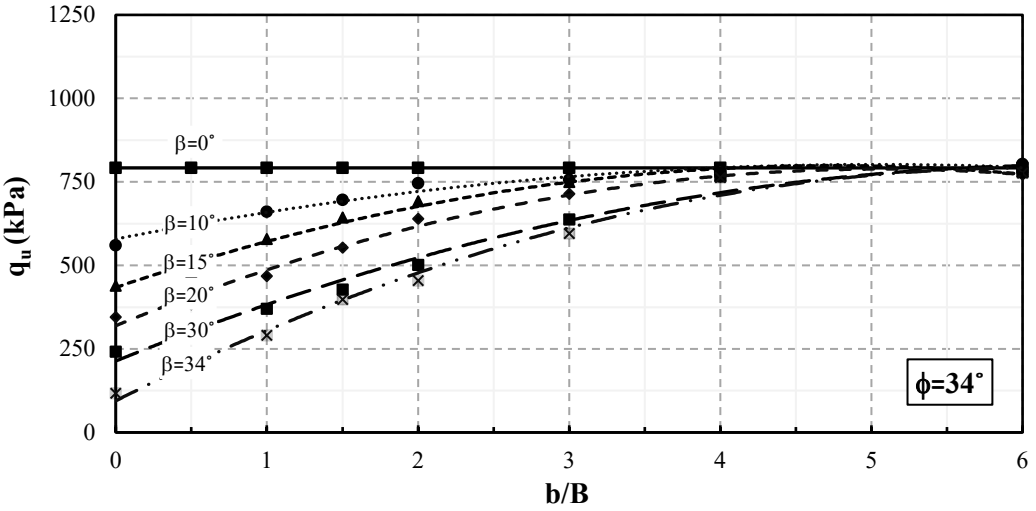


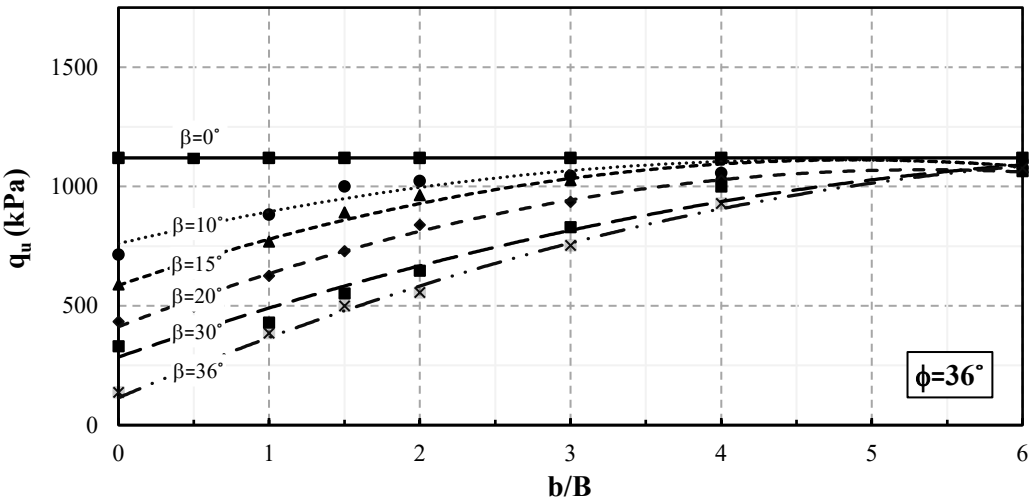
Ek Şekil 3. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 metre)

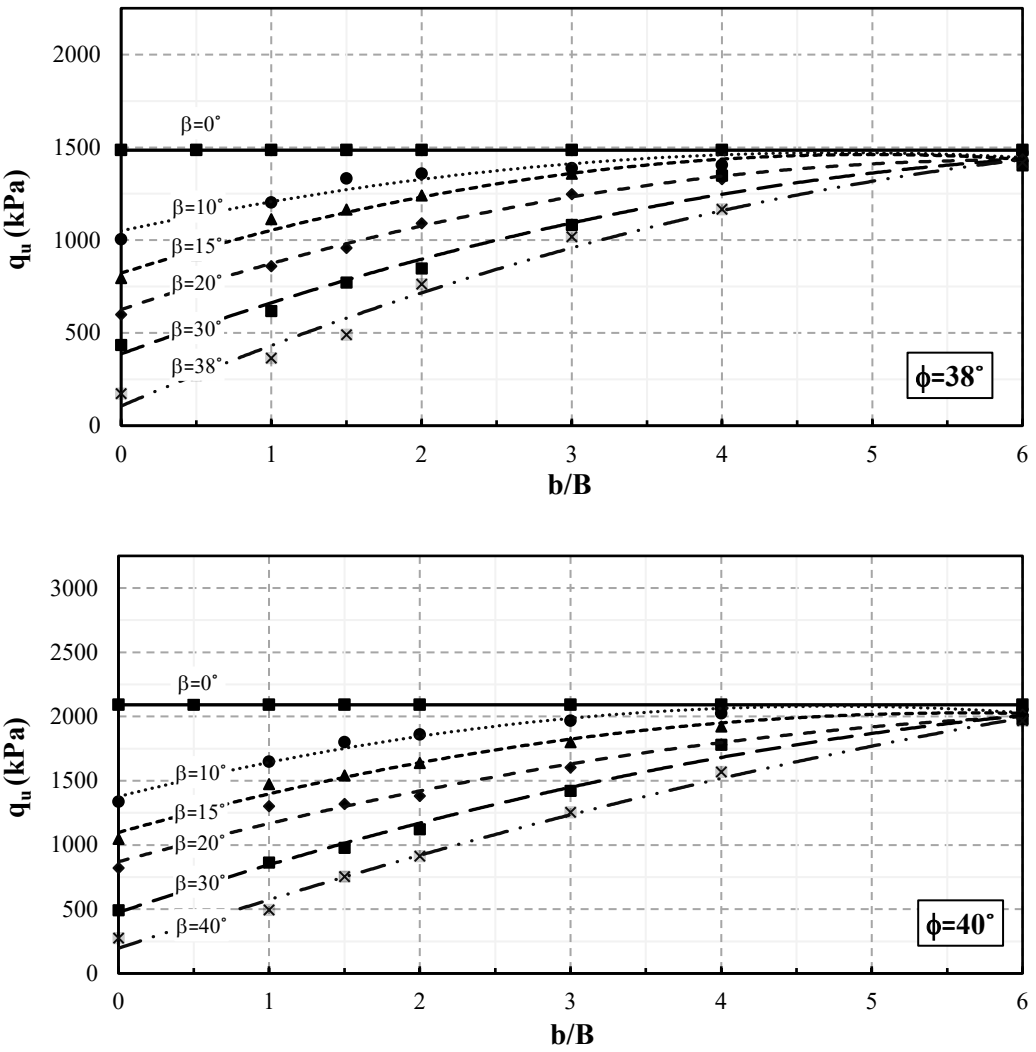




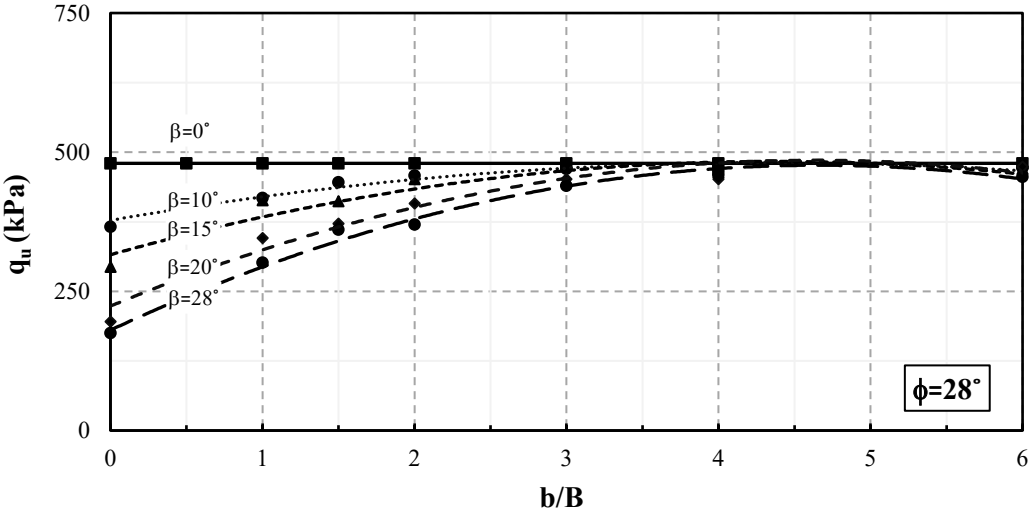

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

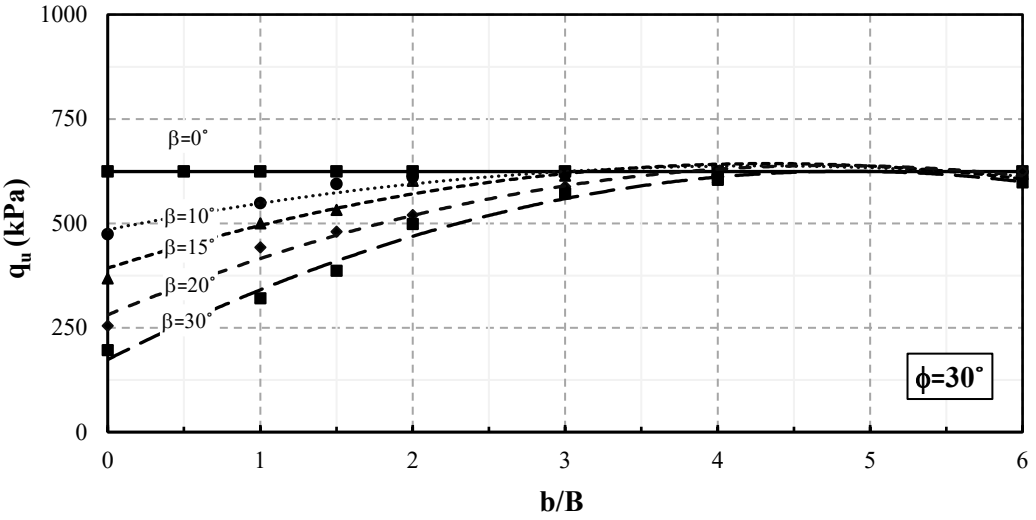

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

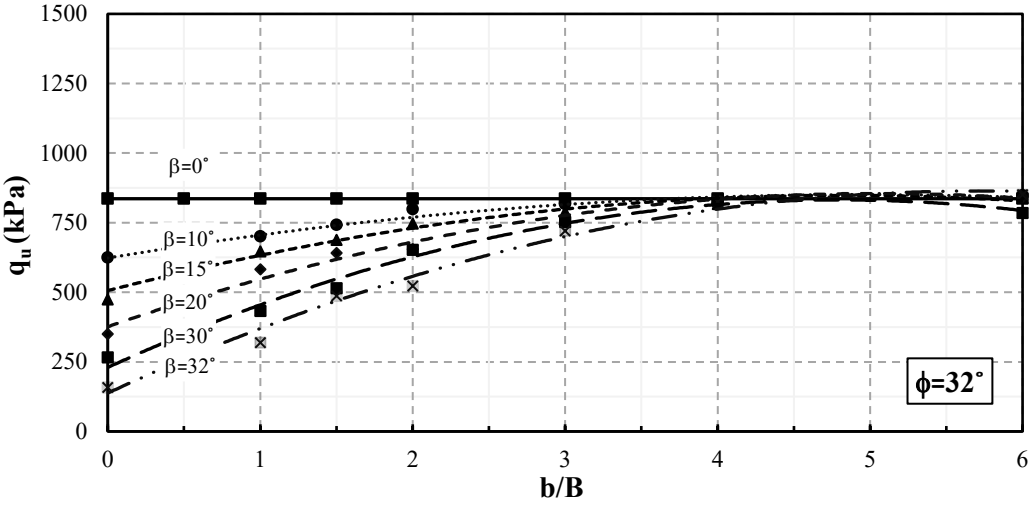

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

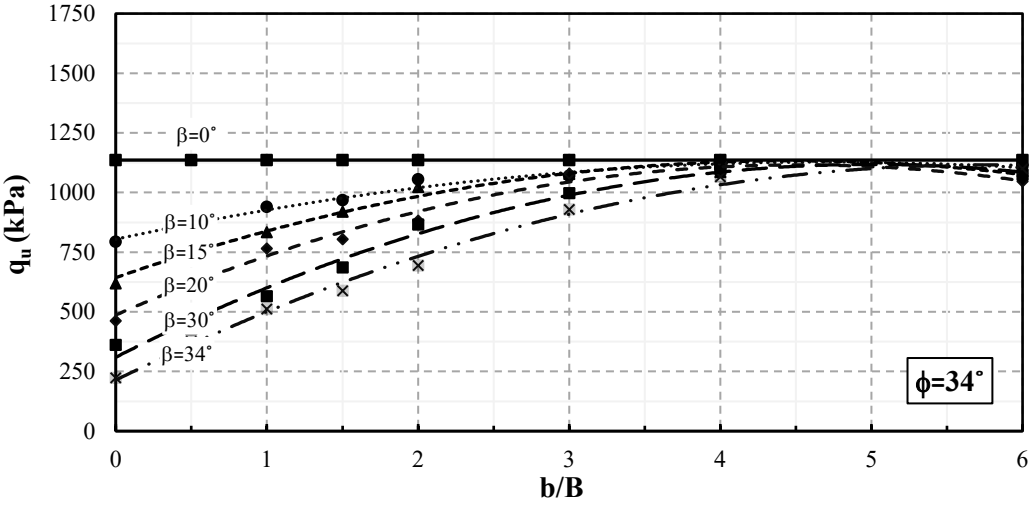


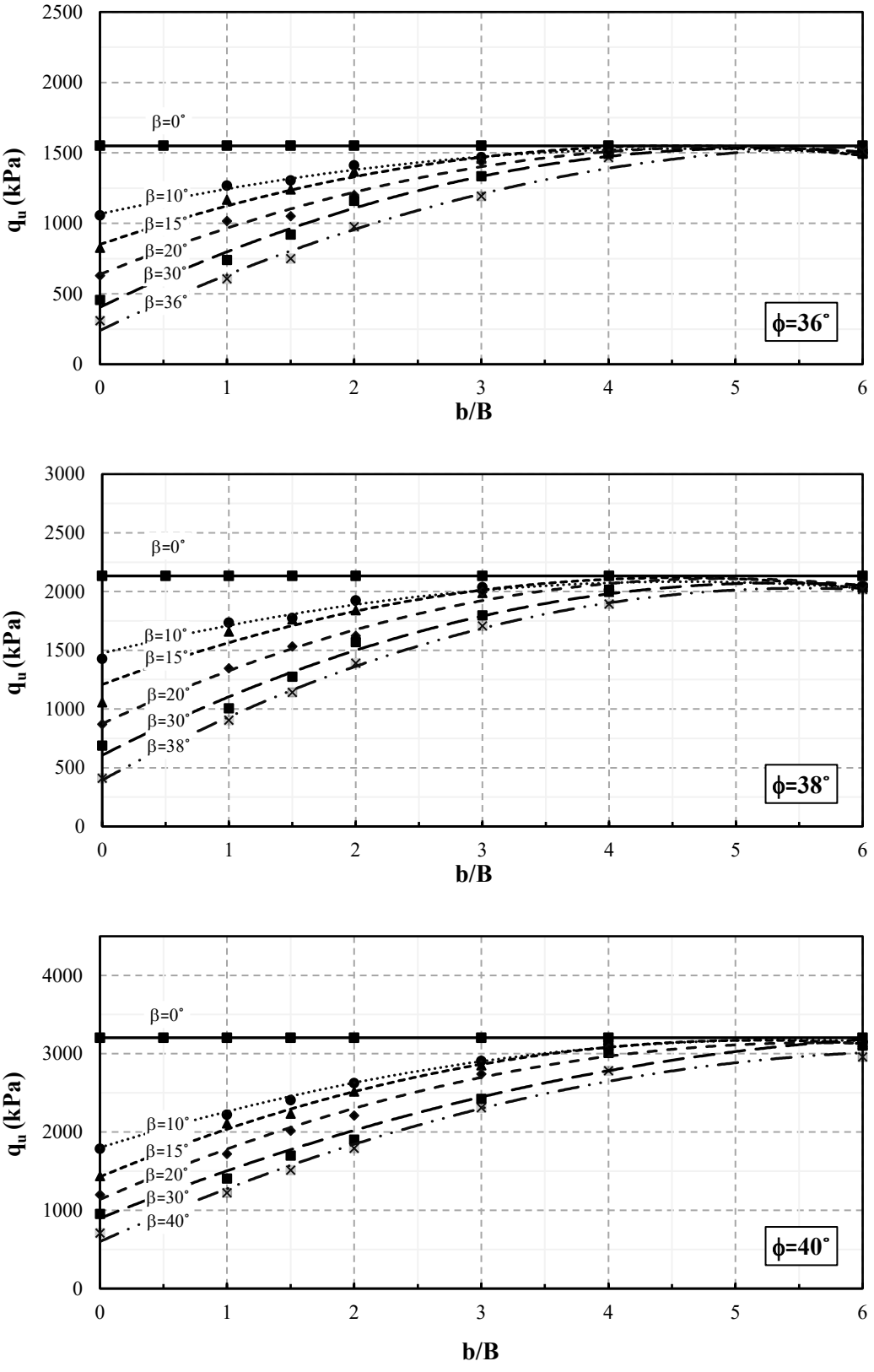
Ek Şekil 4. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 metre)



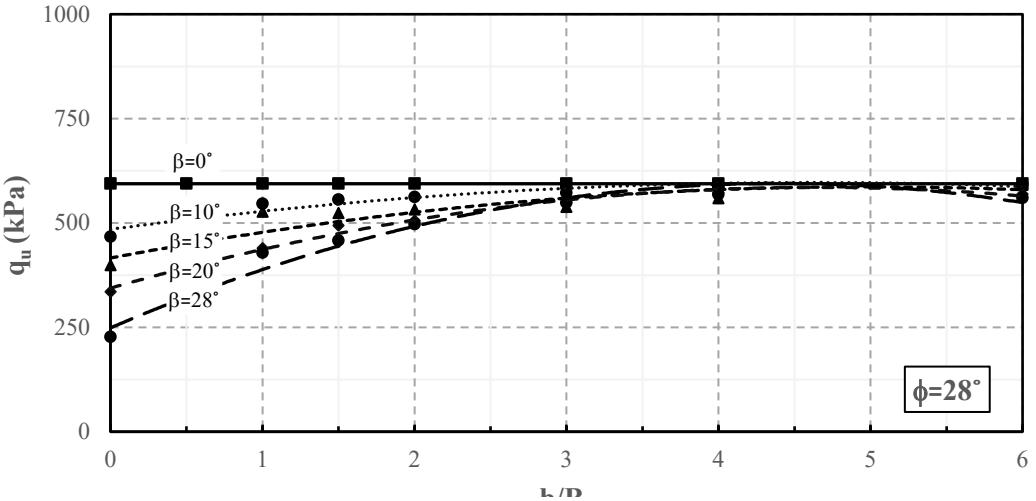

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
ϕ=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

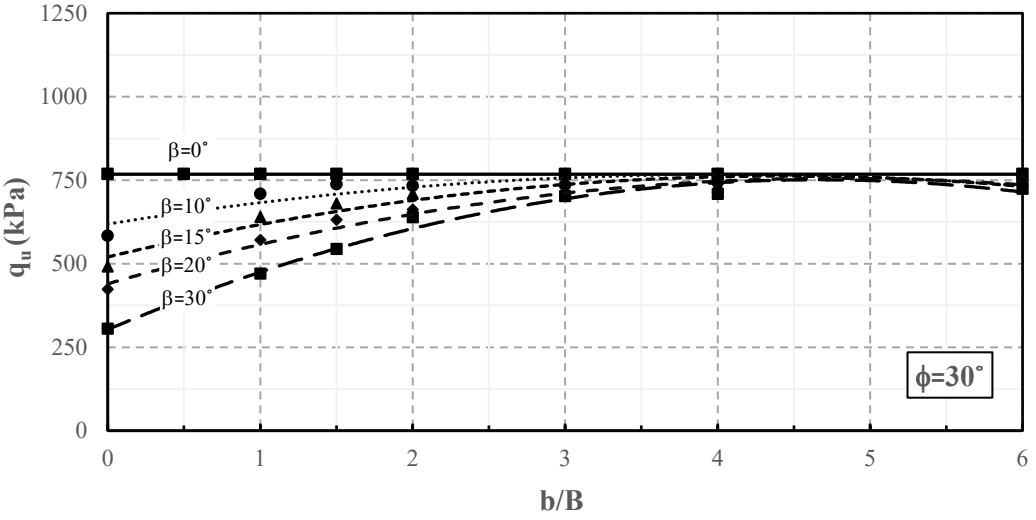

1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=32°
ϕ=32°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

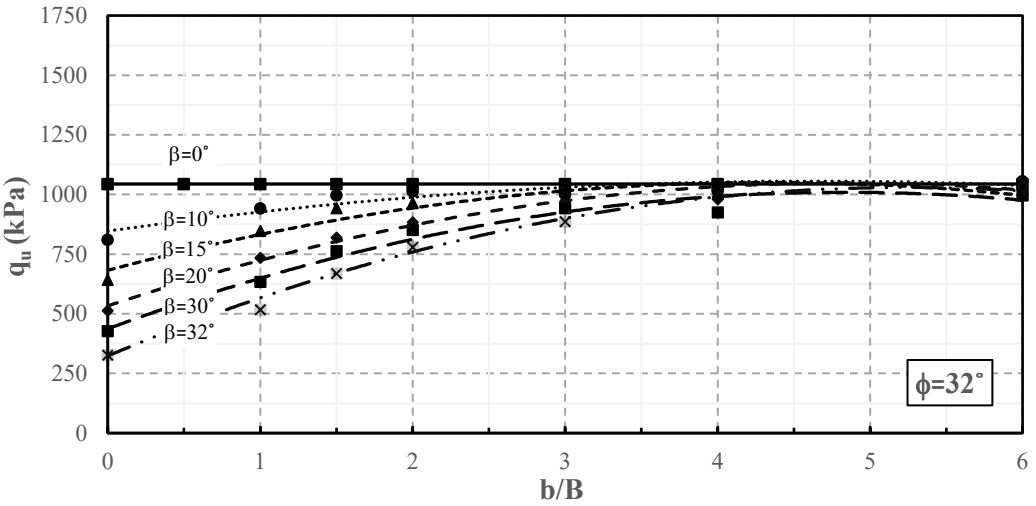

1750
1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=34°
ϕ=34°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

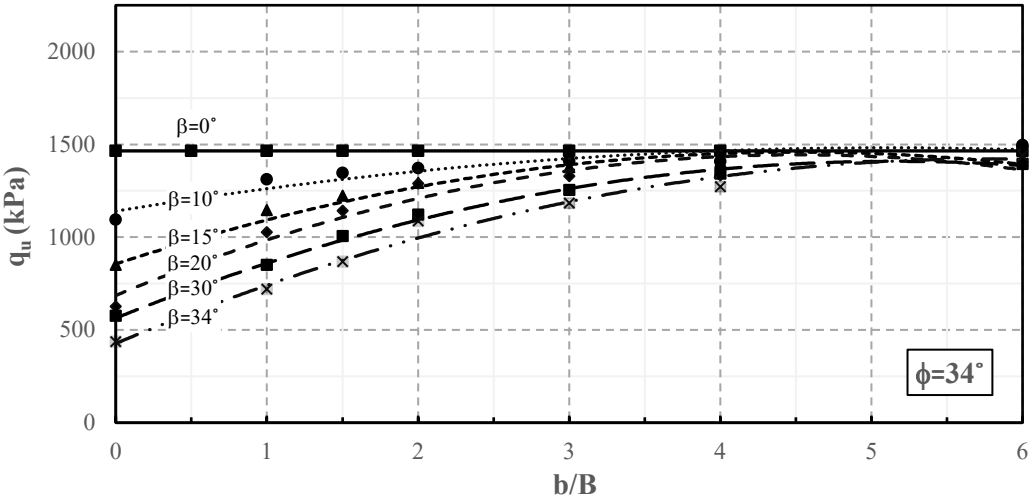


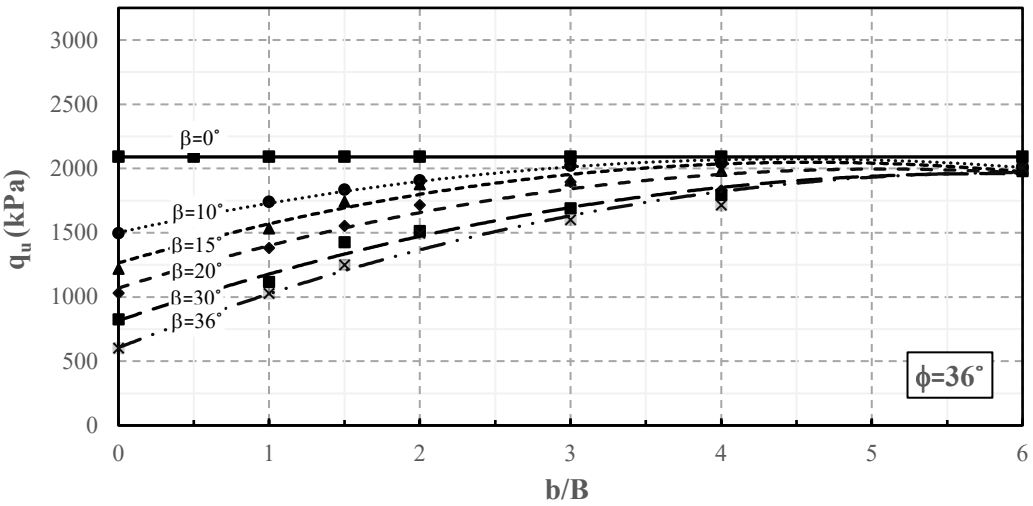
Ek Şekil 5. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 metre)

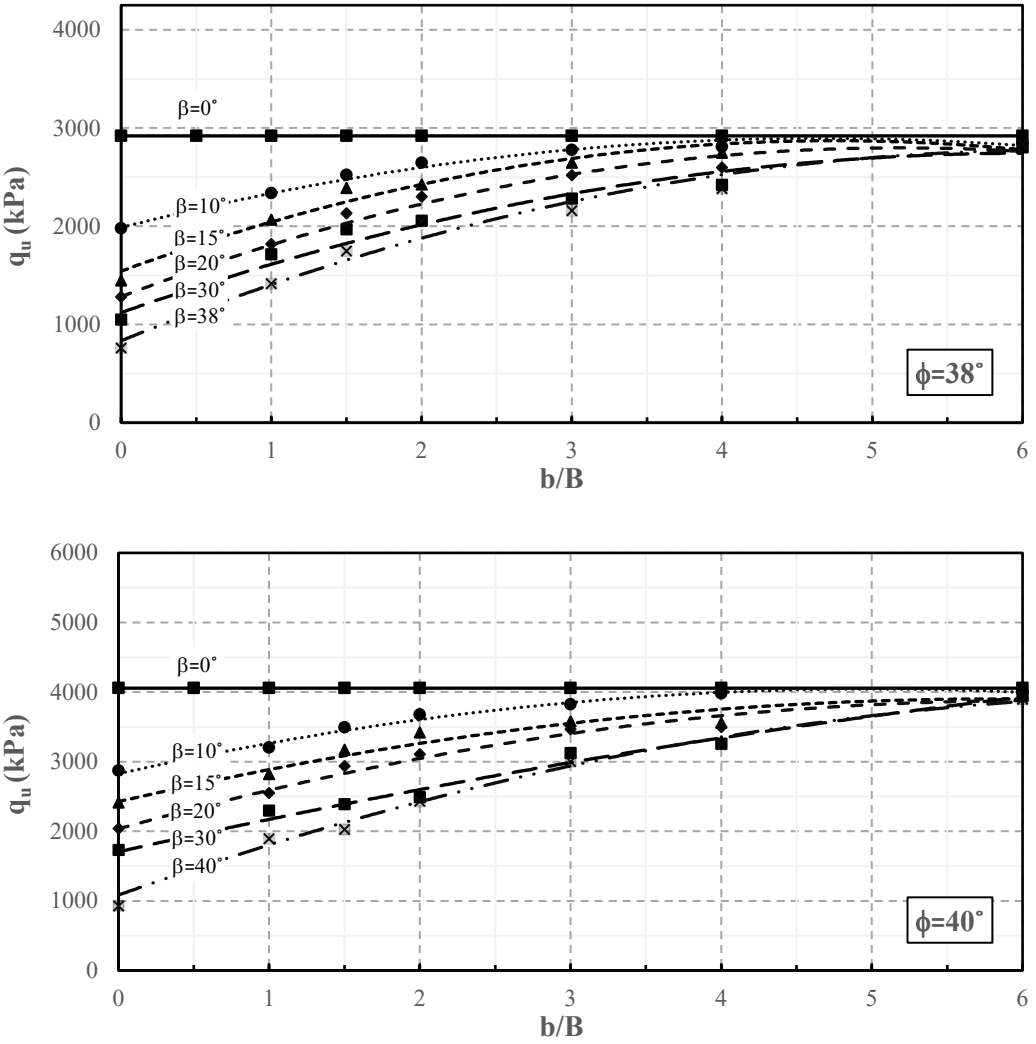

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=28˚
ϕ=28˚
0
1
2
3
4
5
6


1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

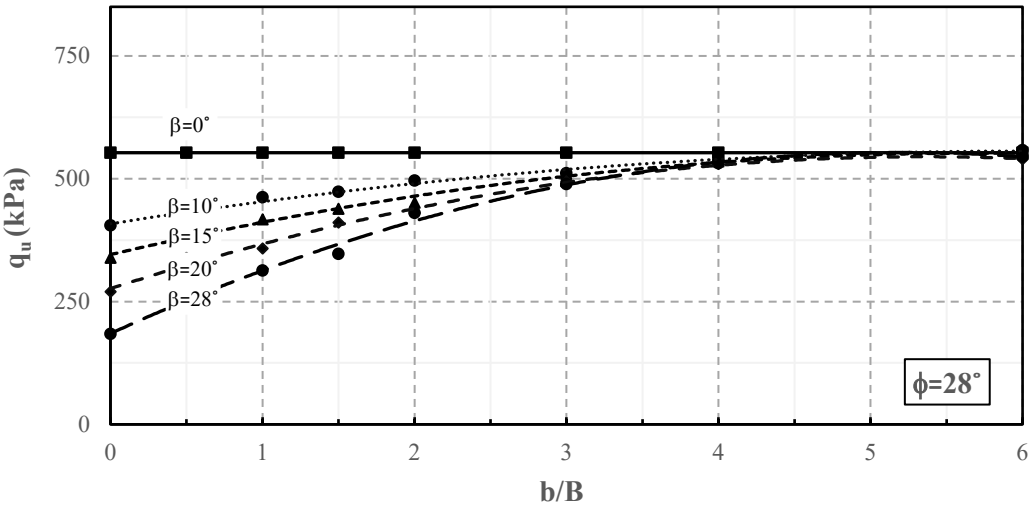

1750
1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

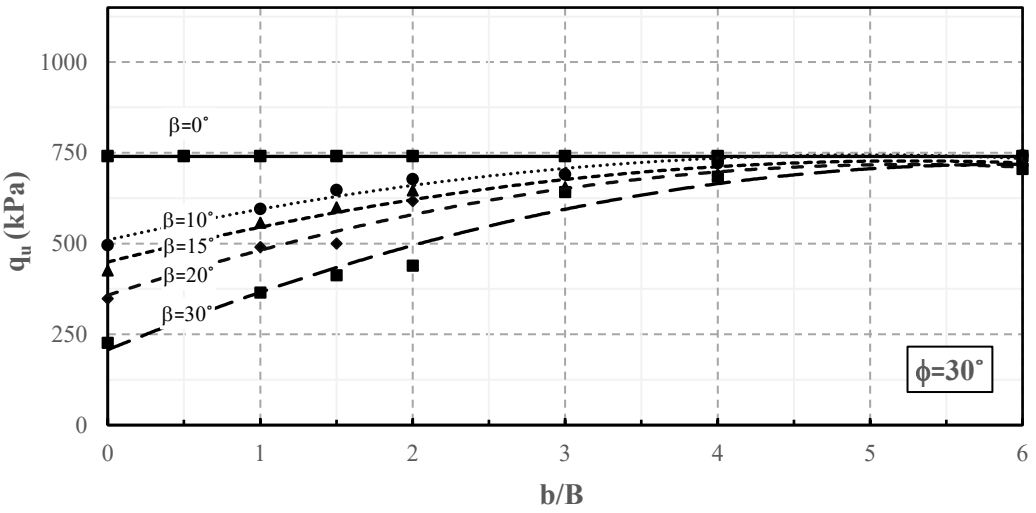

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

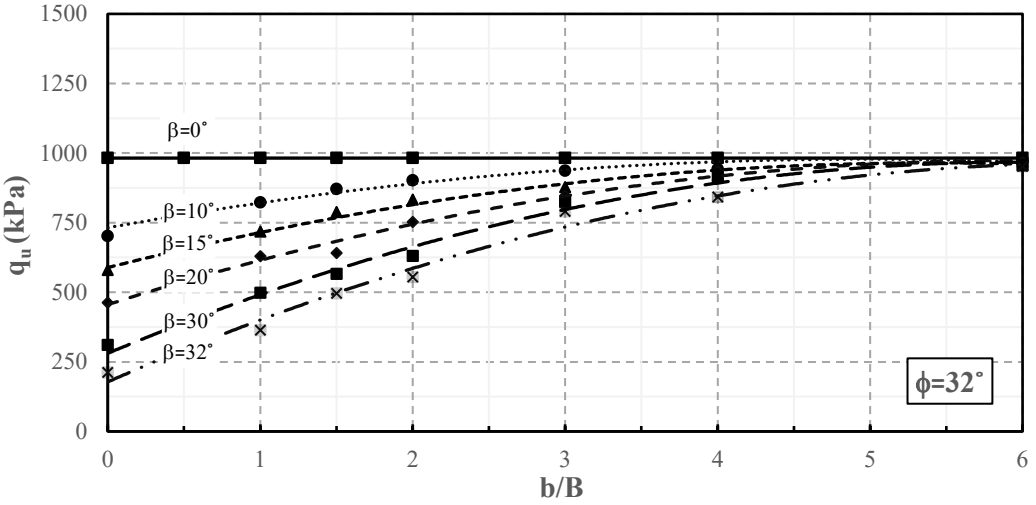

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

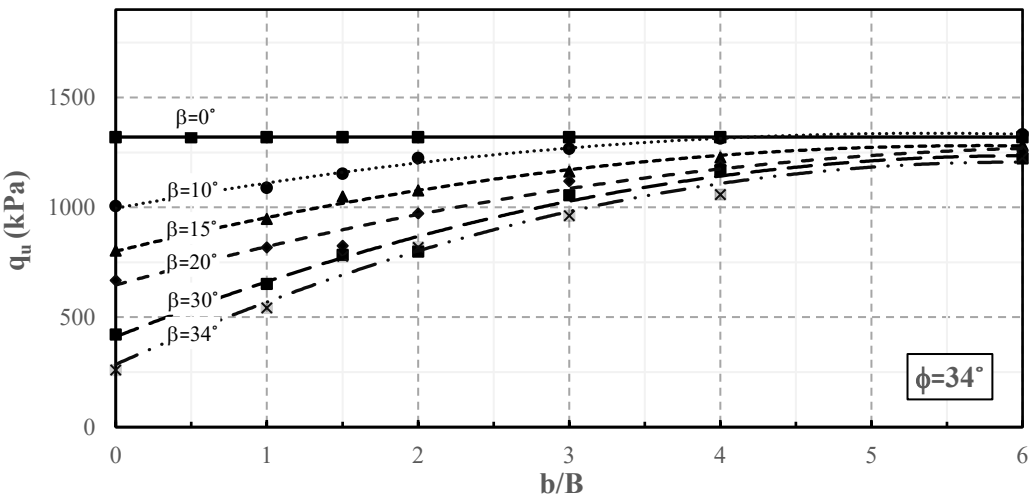


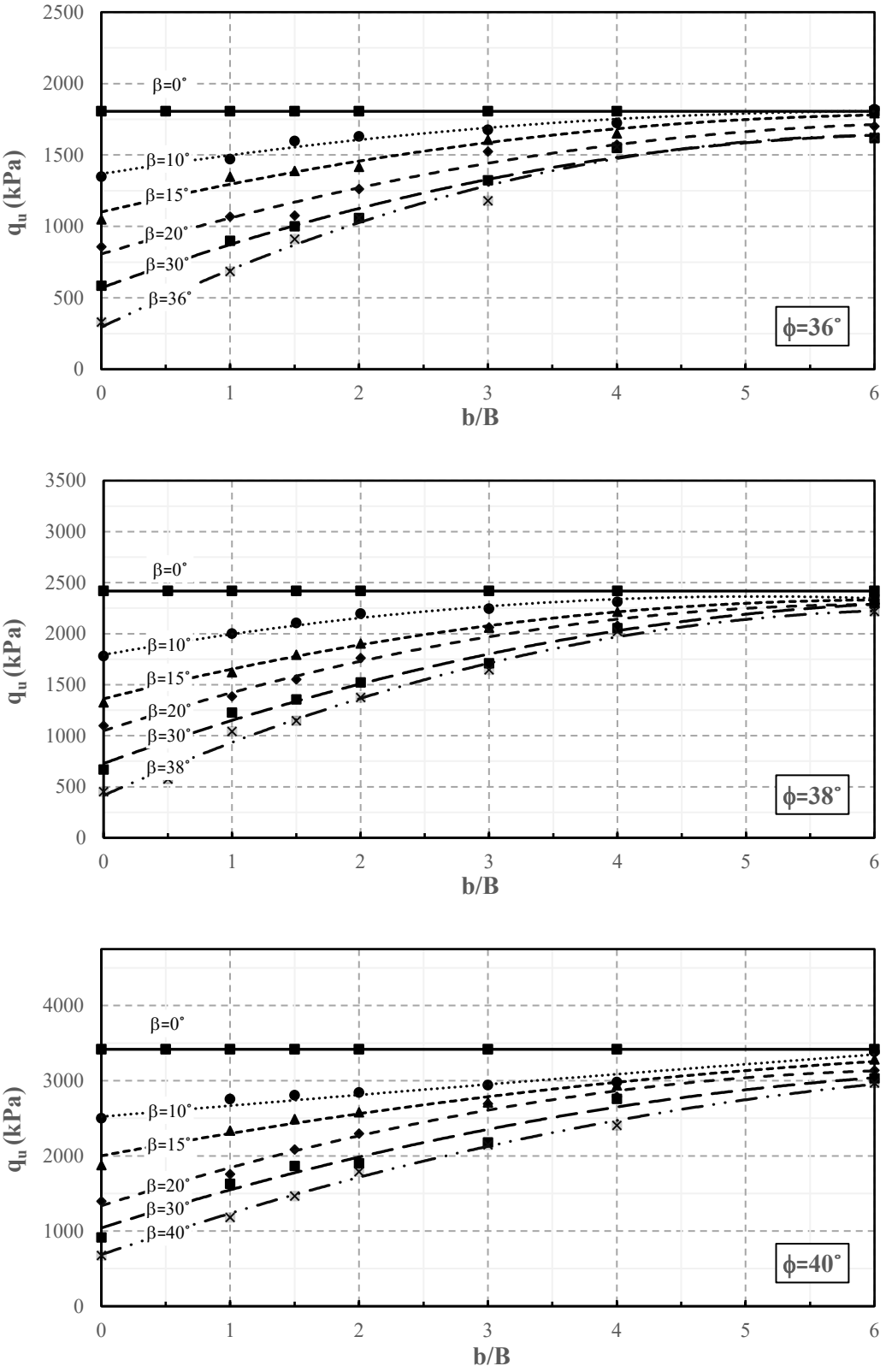
Ek Şekil 6. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 metre)



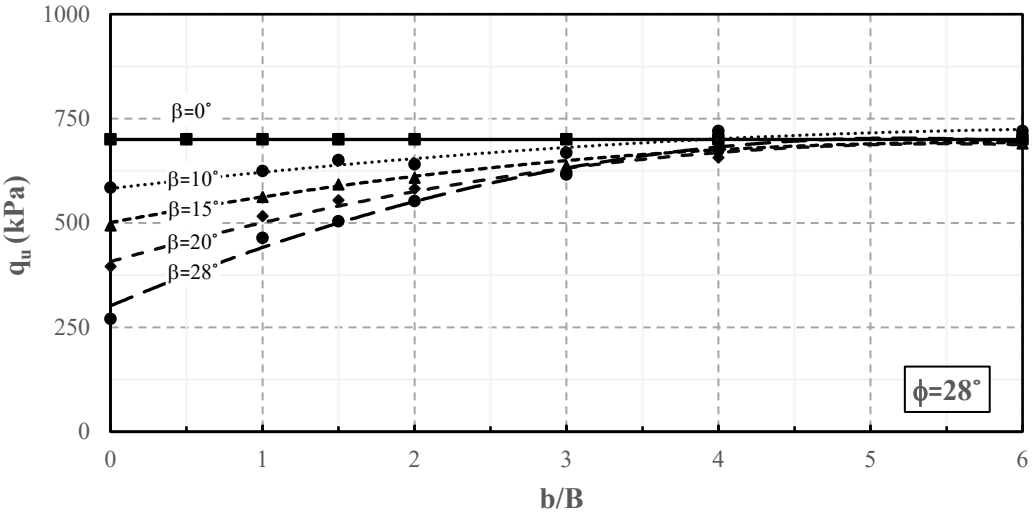

1000
750
500
250
0
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B
qu (kPa)

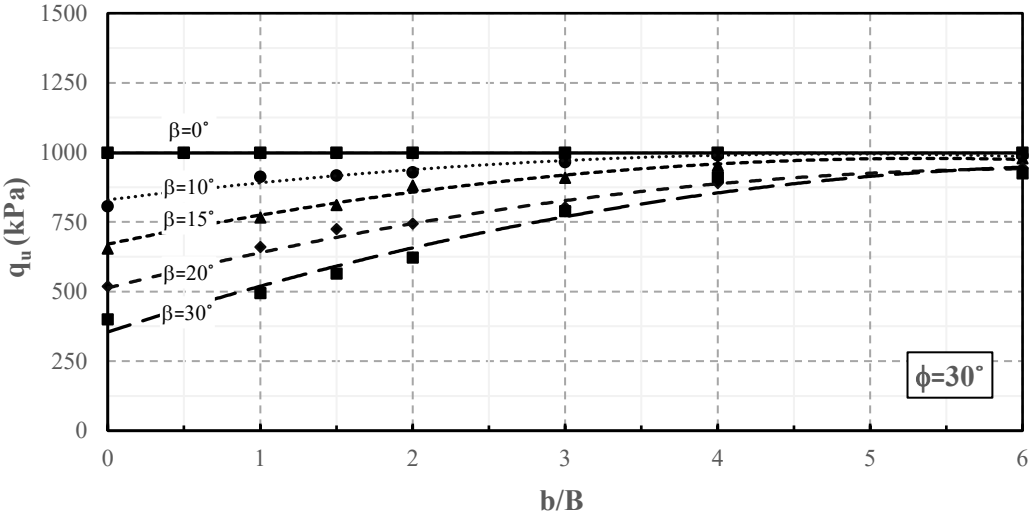

1500
1250
1000
750
500
250
0
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B
qu (kPa)

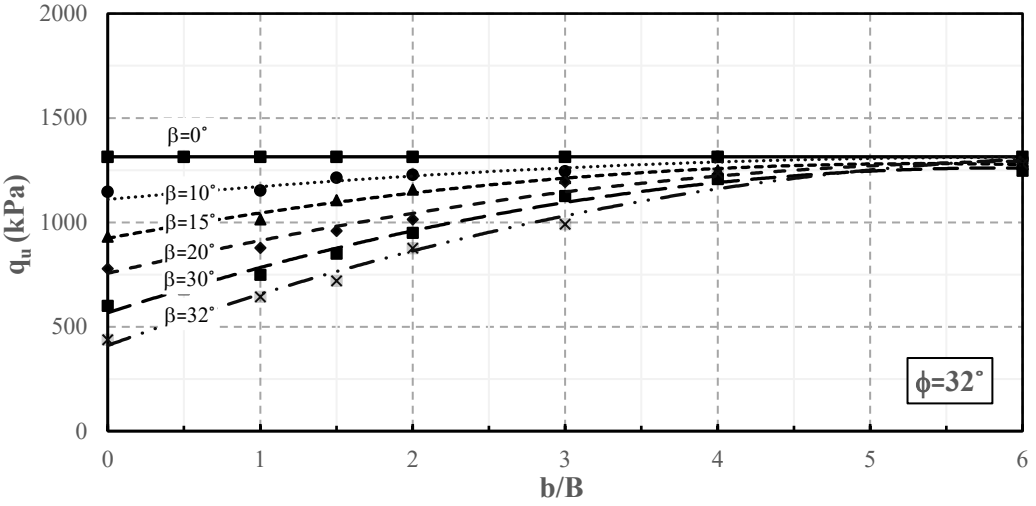

1500
1000
500
0
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B
qu (kPa)

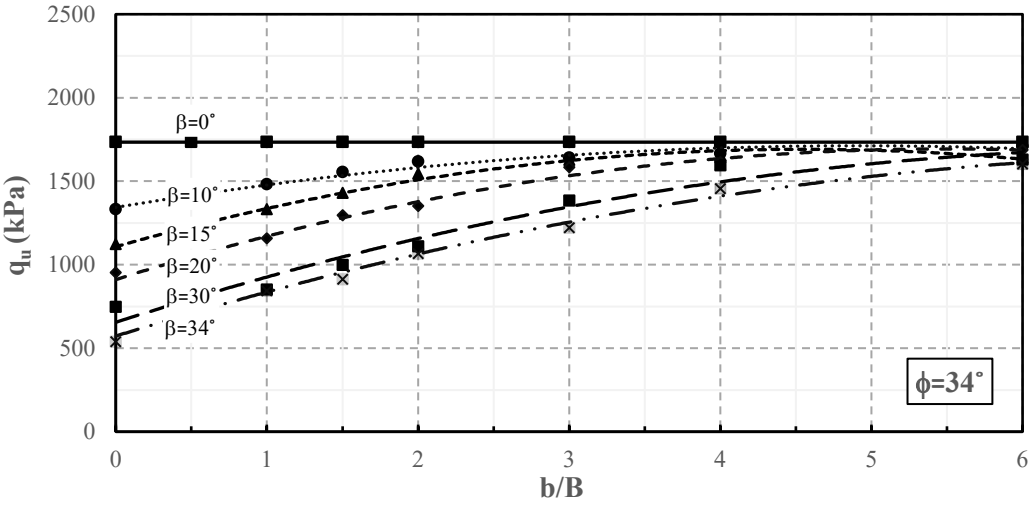


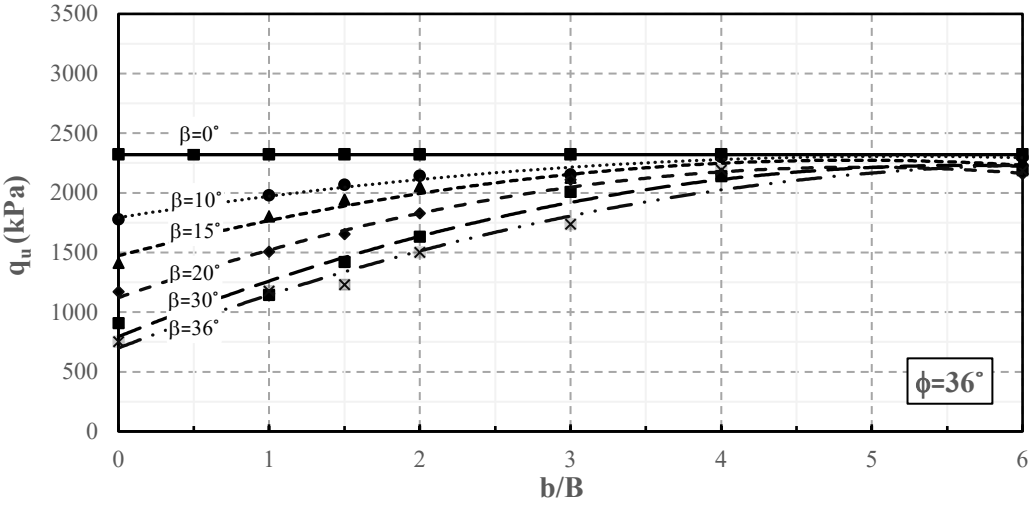
Ek Şekil 7. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 metre)

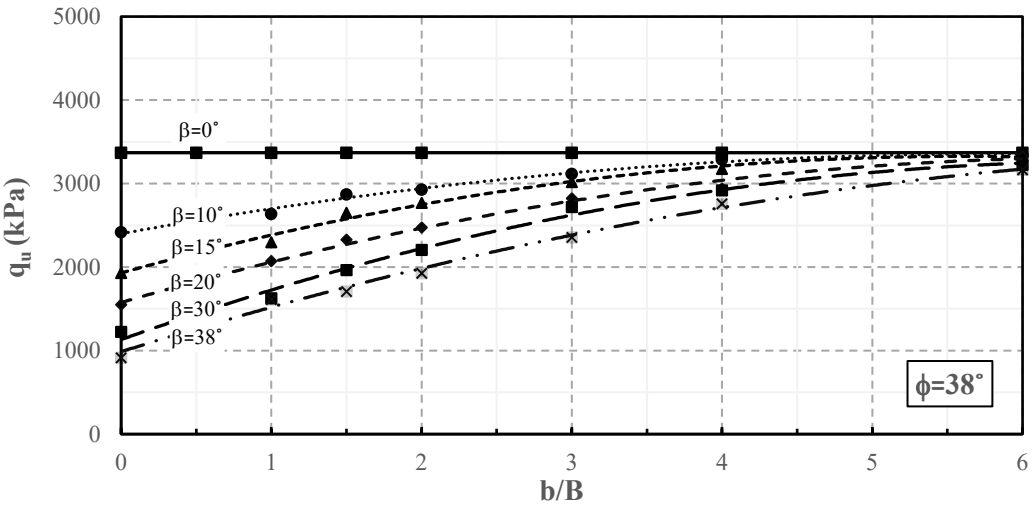

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=28˚
ϕ=28˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

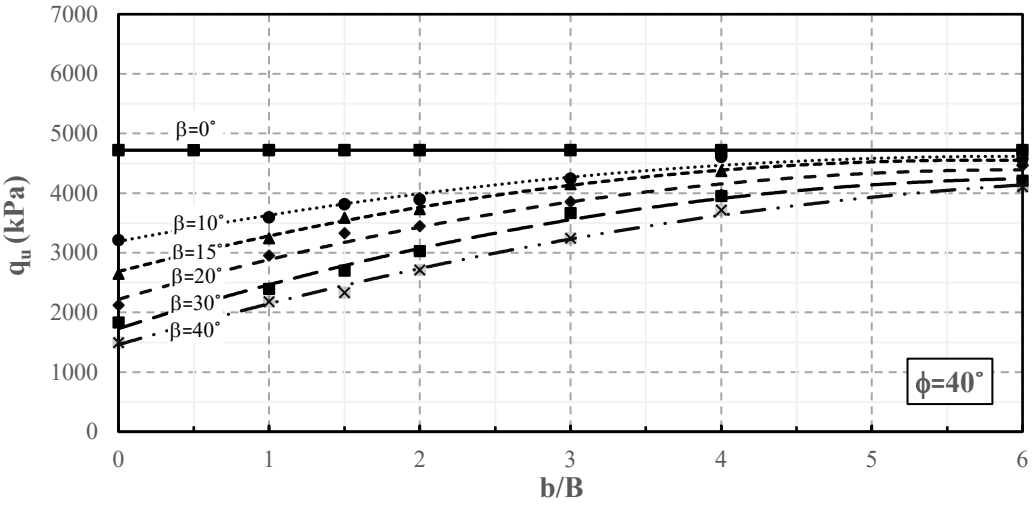

1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B


2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

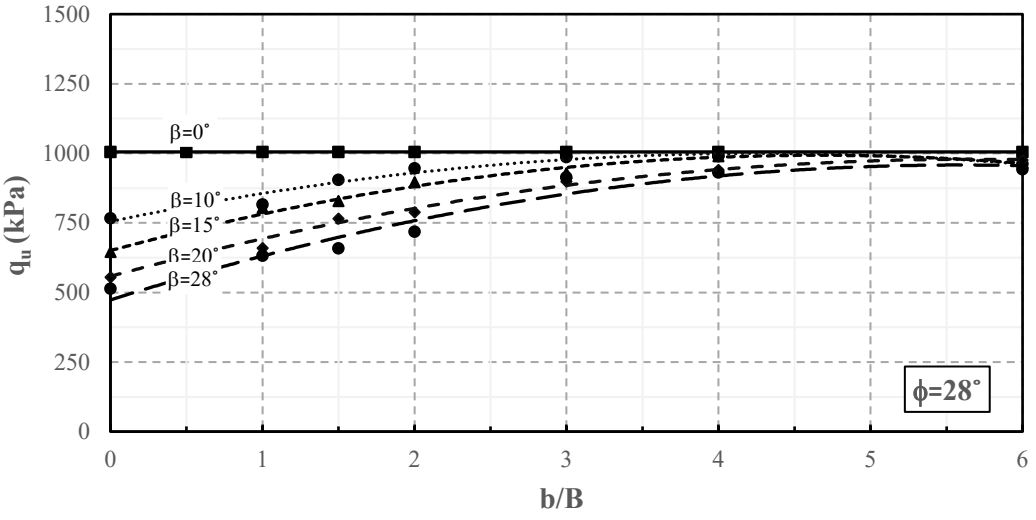

2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

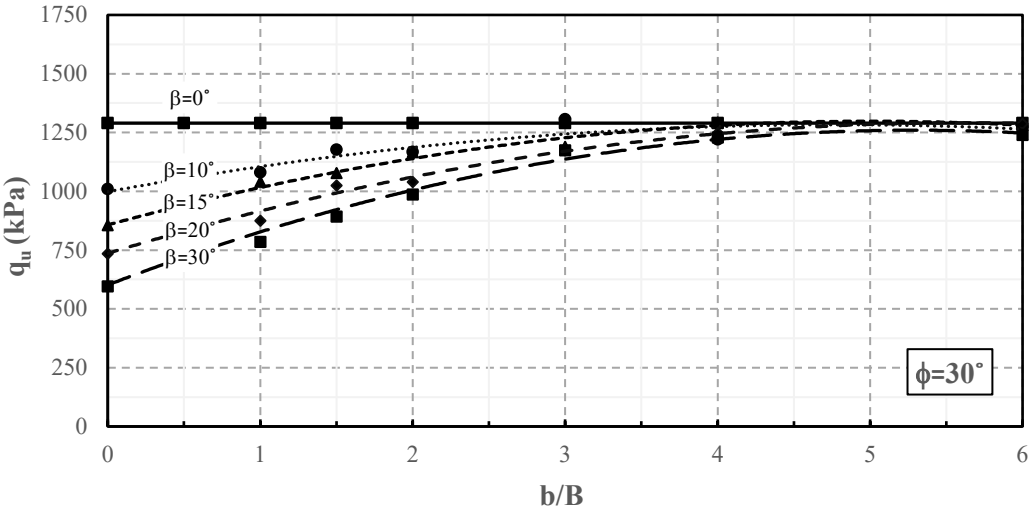

3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

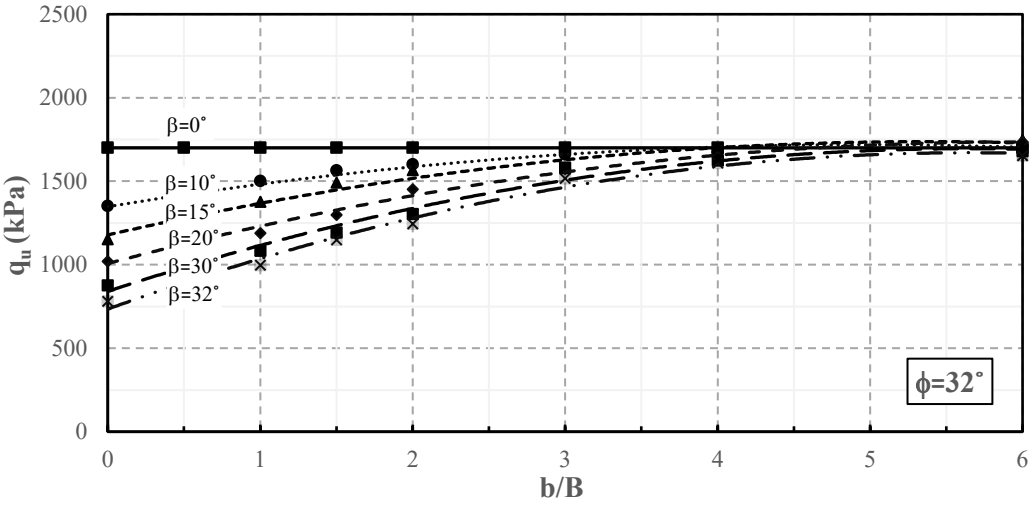

5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=38˚
ϕ=38˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

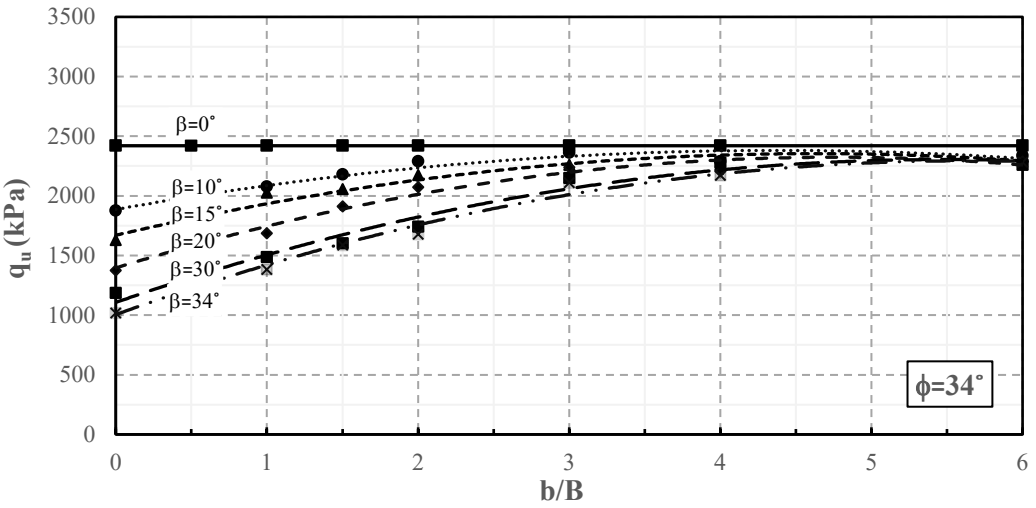


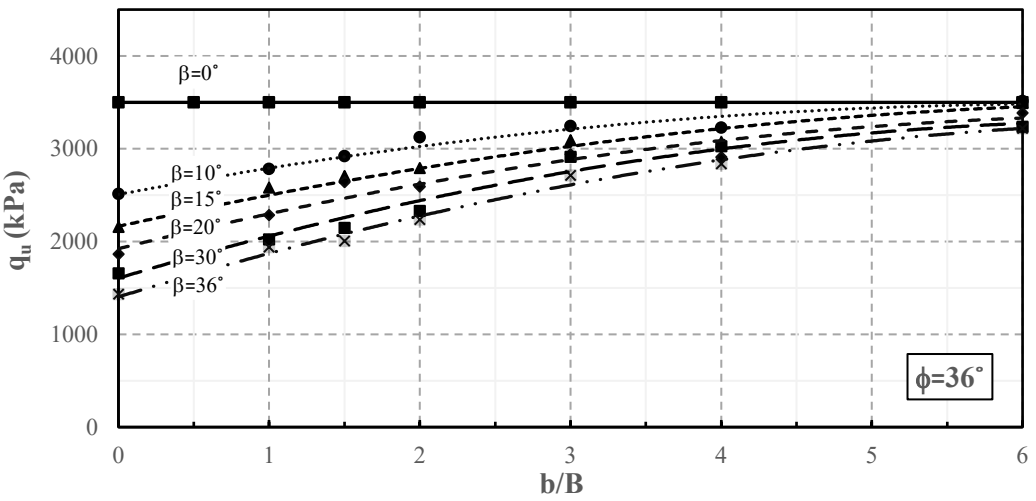
Ek Şekil 8. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 metre)

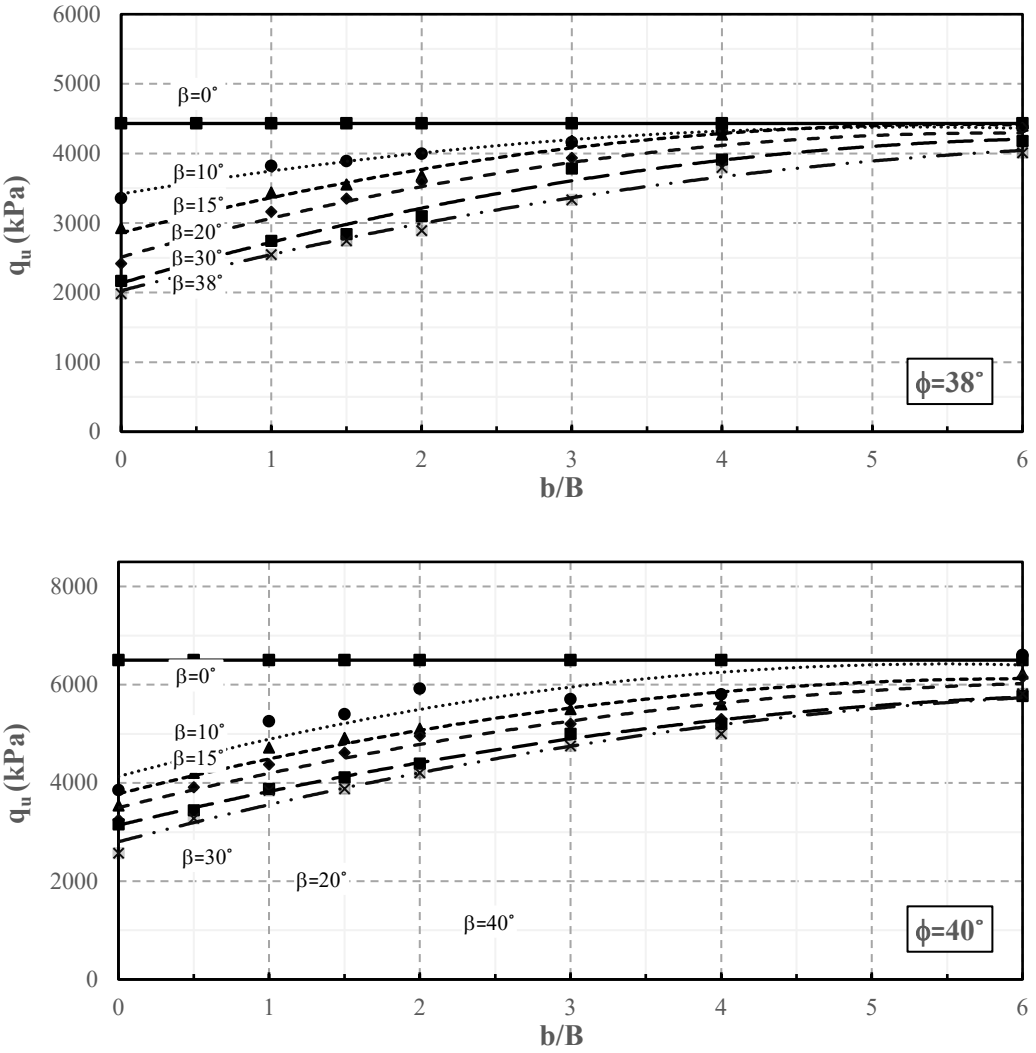




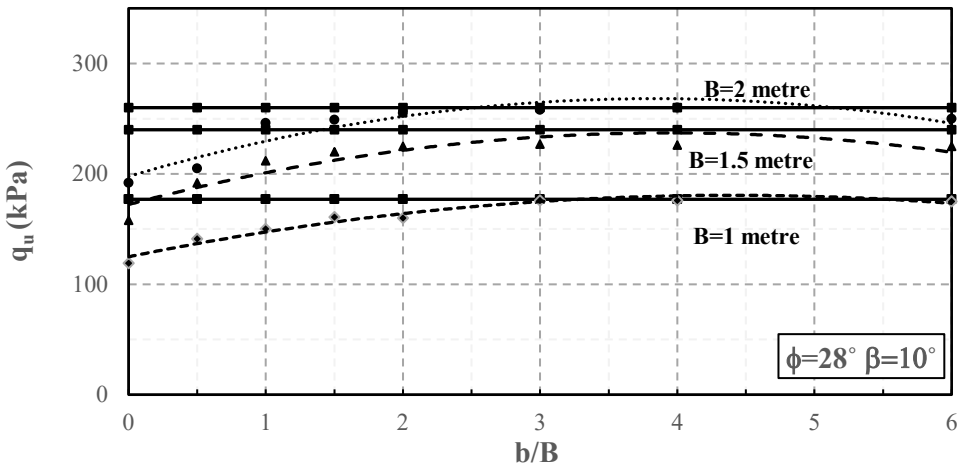

2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

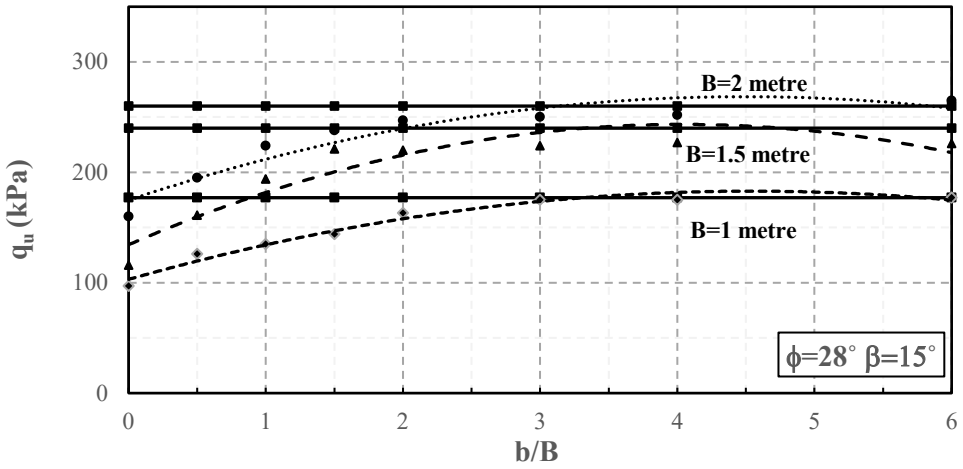

3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

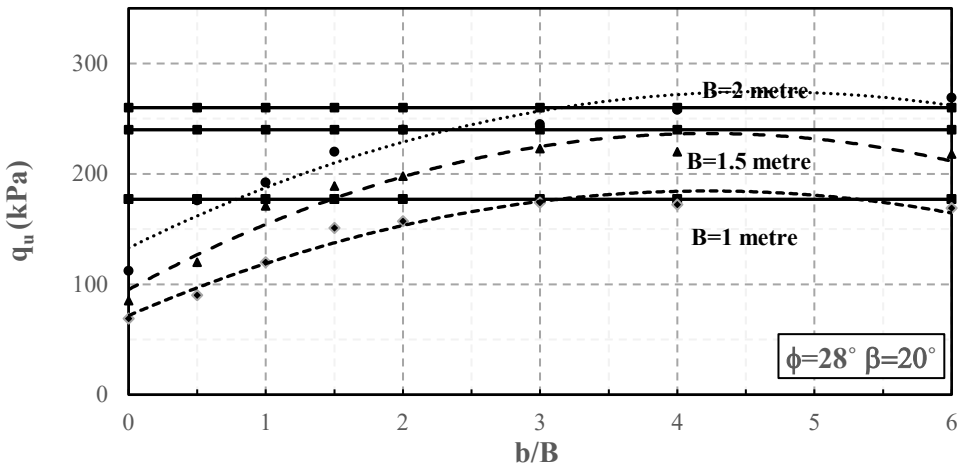

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

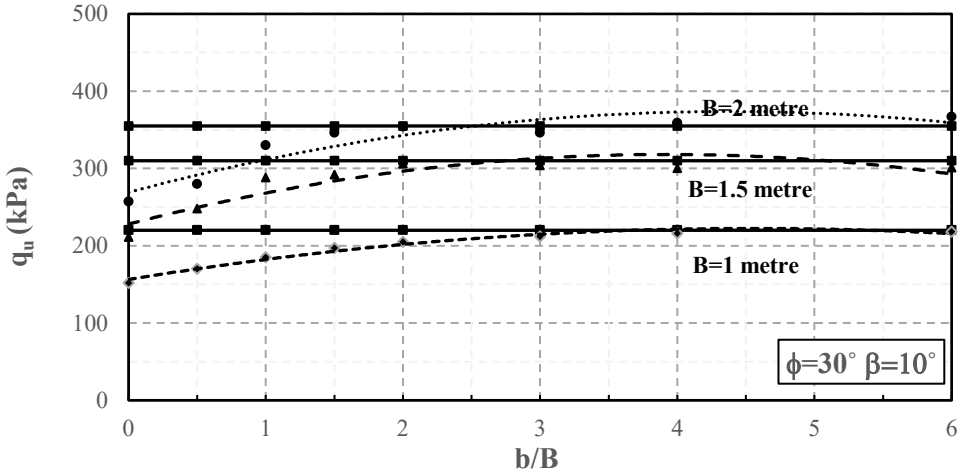


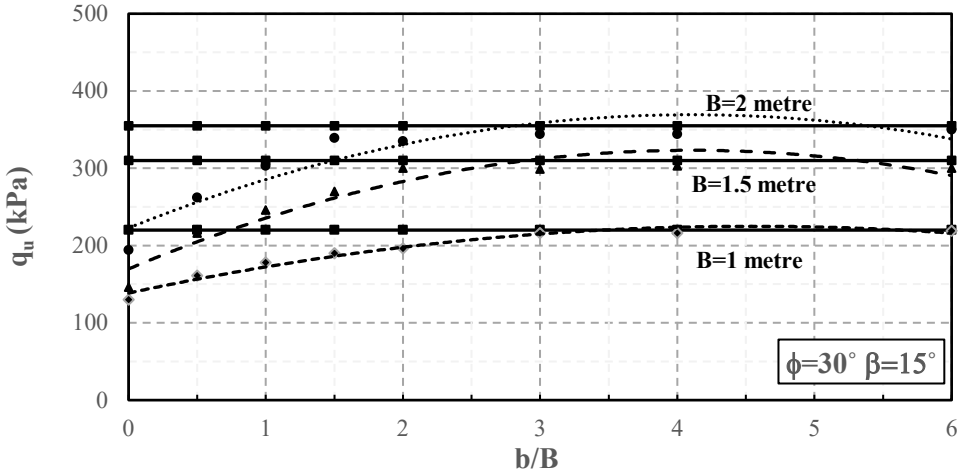
Ek Şekil 9. Farklı β ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 metre)

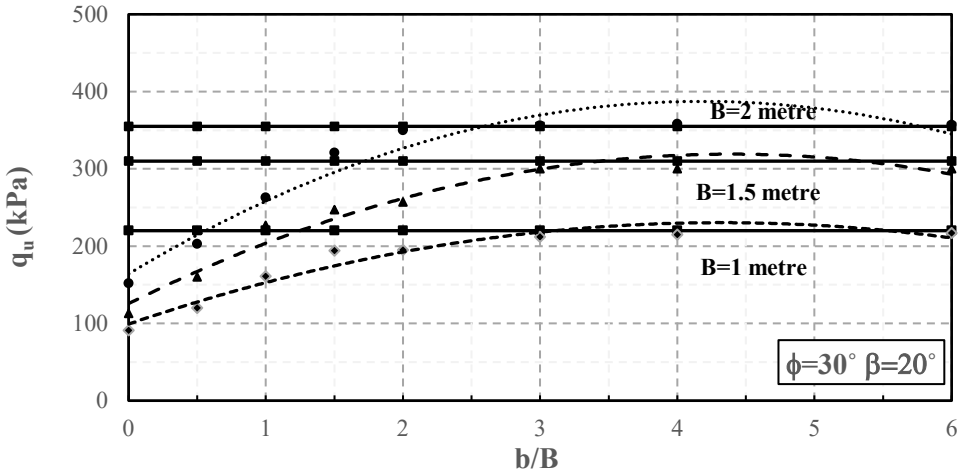


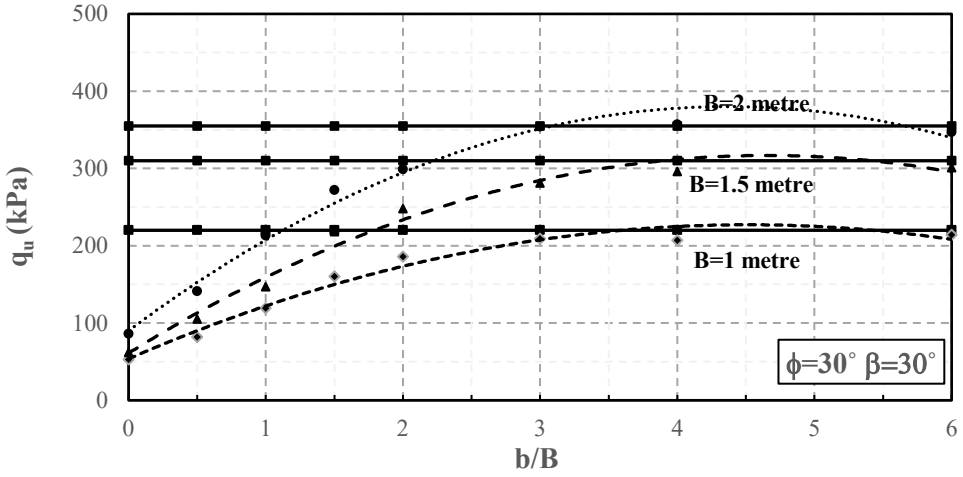

300
200
100
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

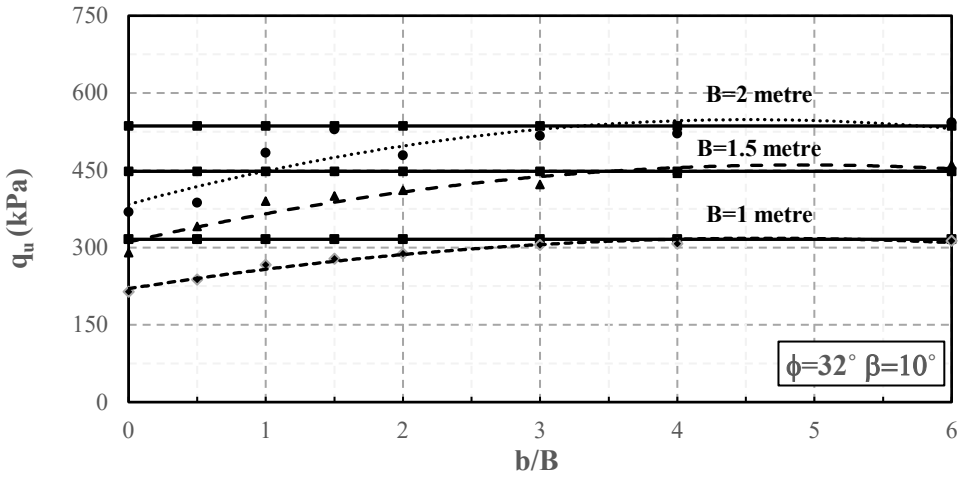

300
200
100
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

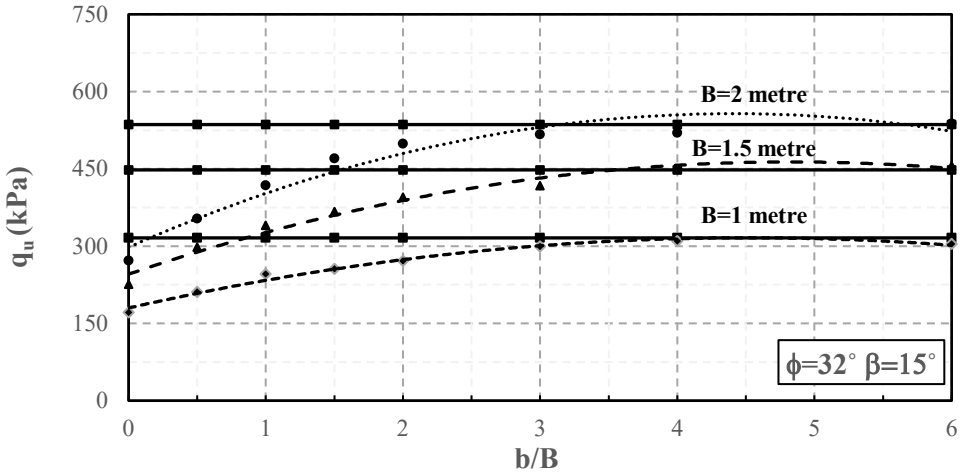

500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

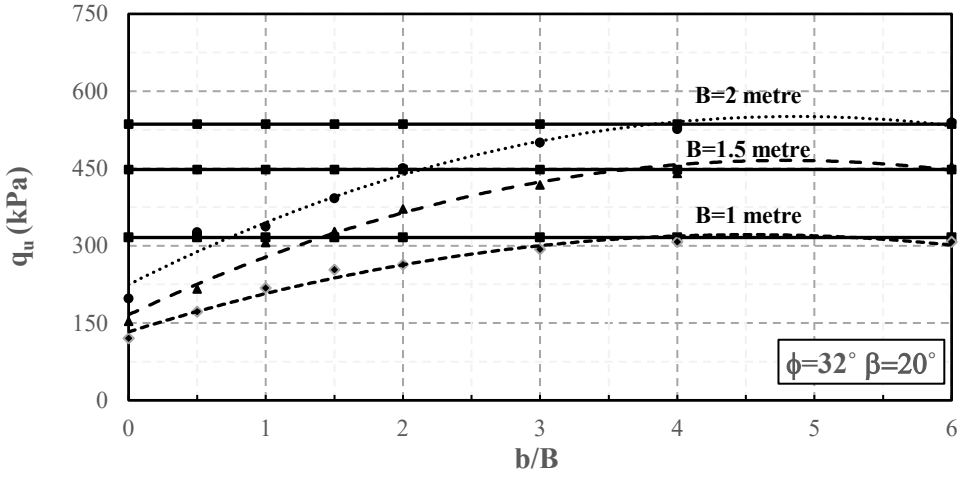

500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

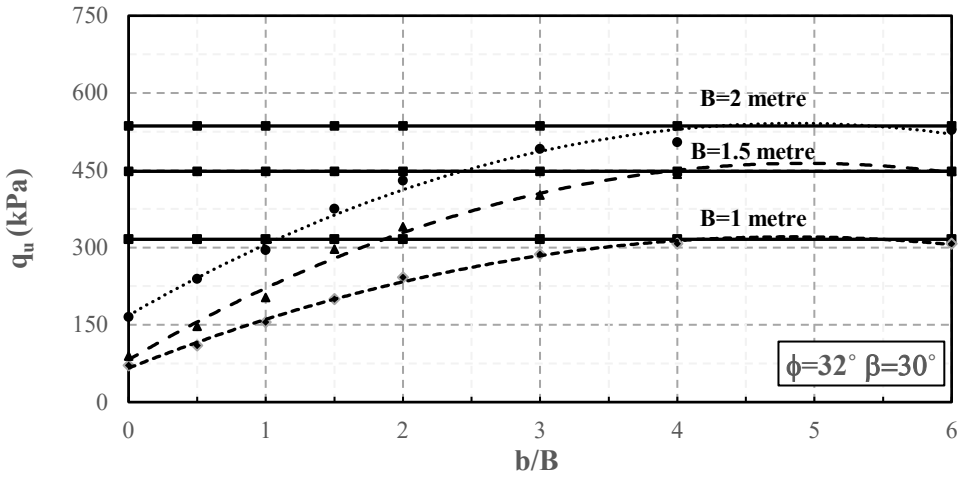

500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

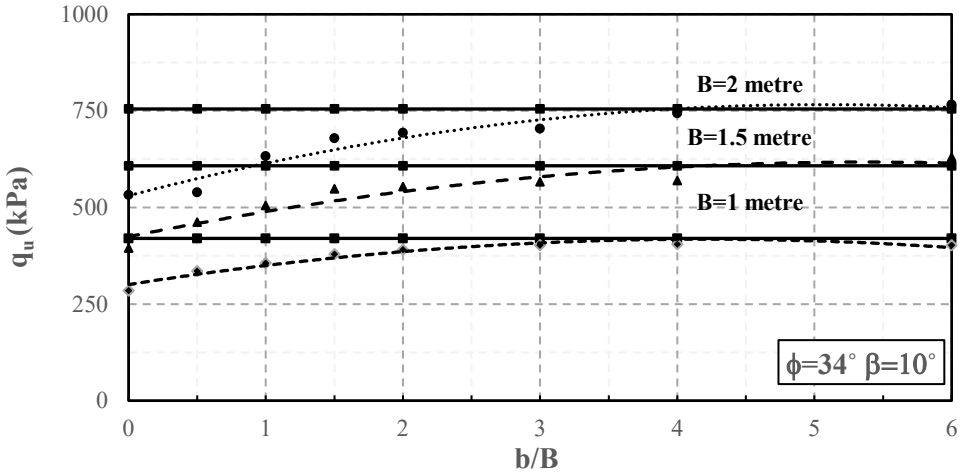

500
400
300
200
100
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

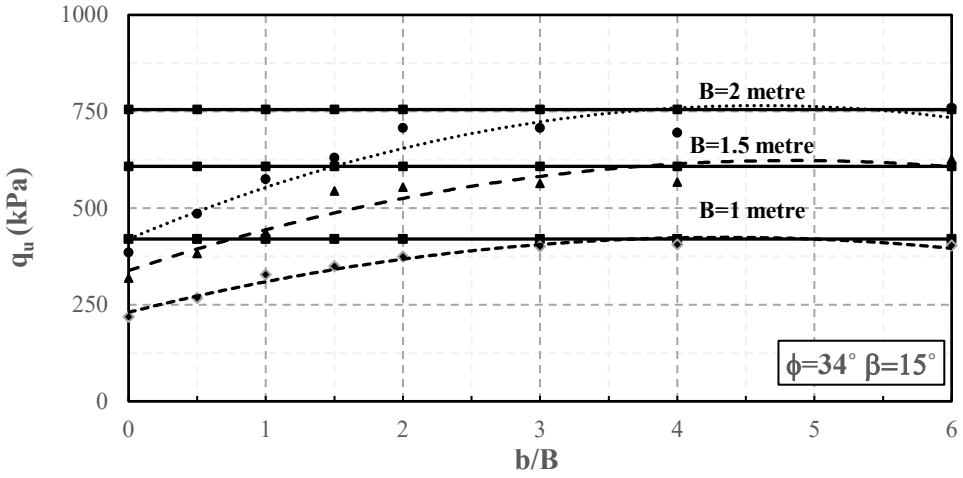

750
600
450
300
150
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=10°

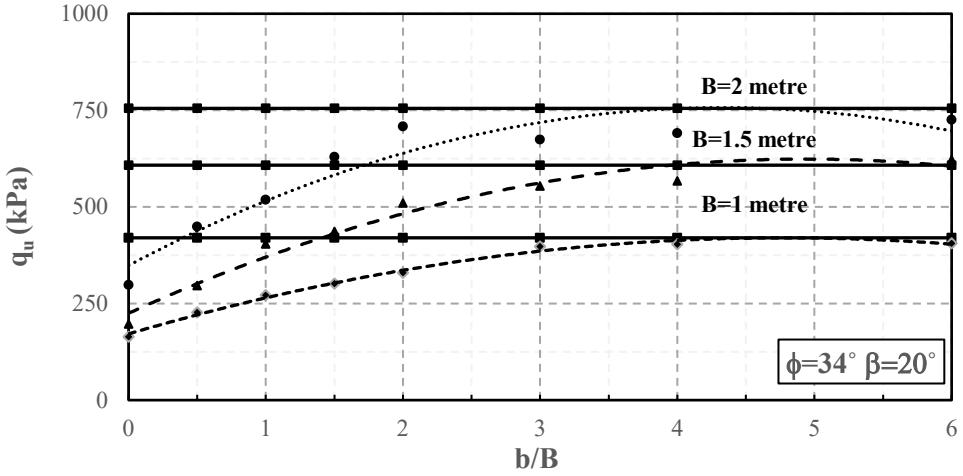

750
600
450
300
150
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=15°

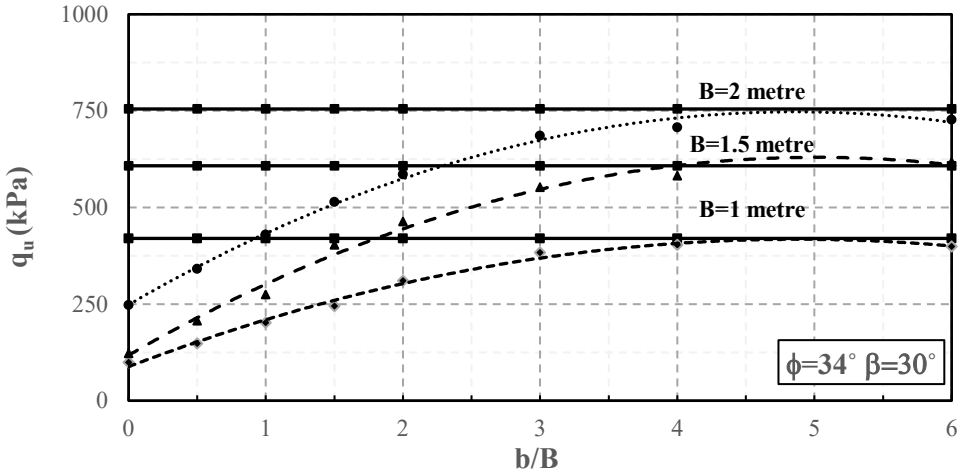

750
600
450
300
150
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=20°

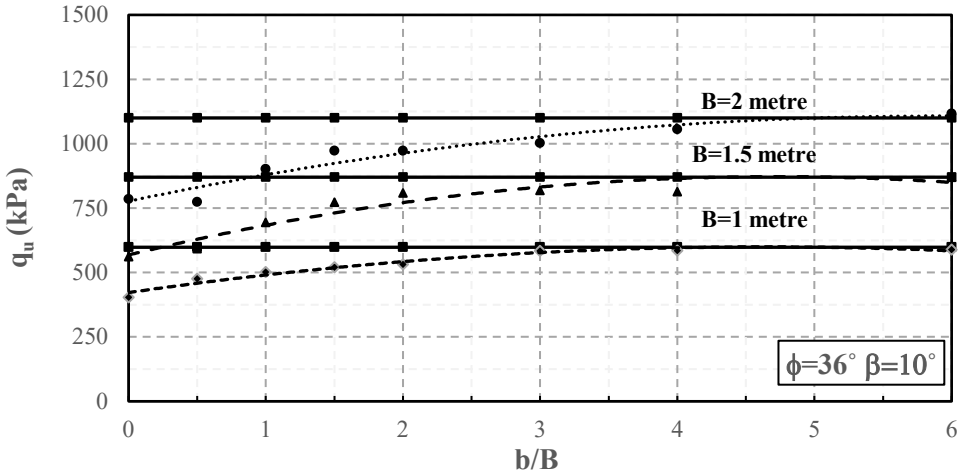

750
600
450
300
150
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=30°

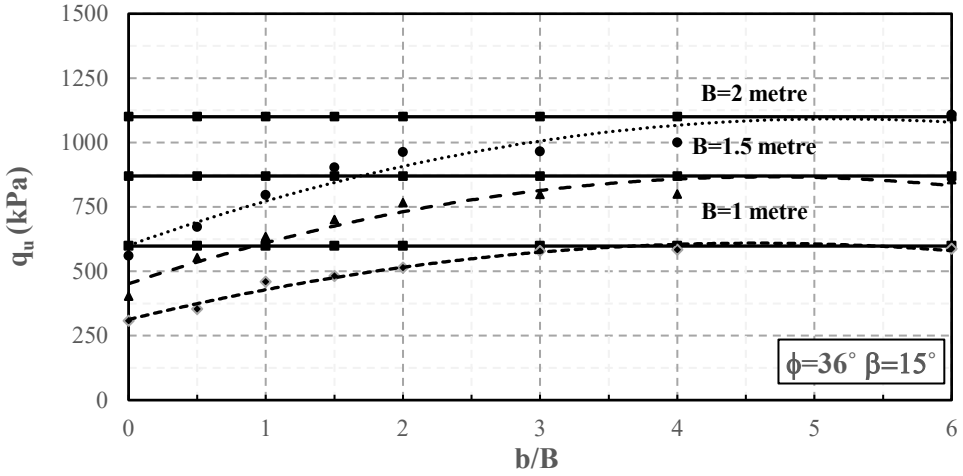

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=10°

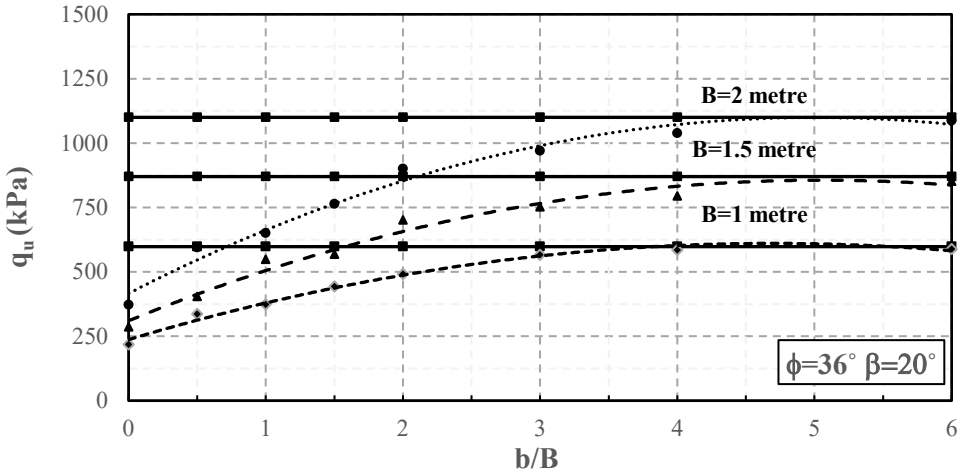

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=15°

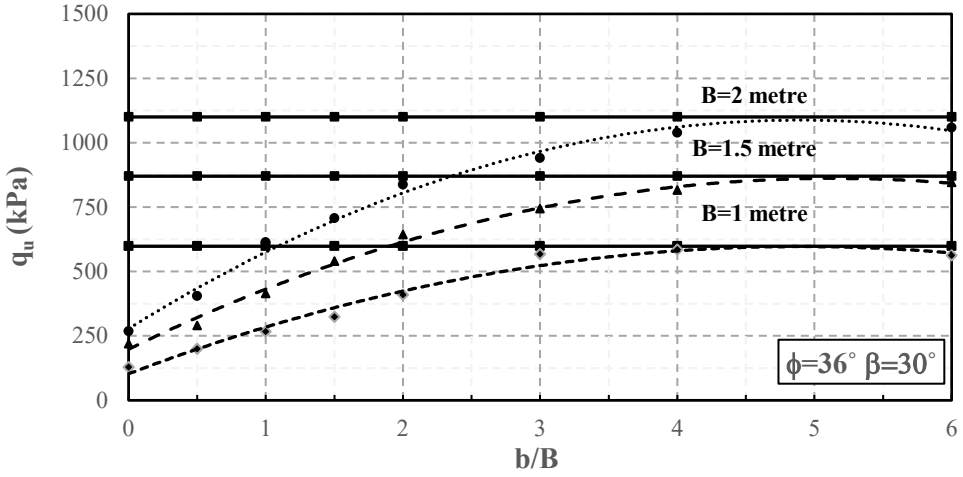

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

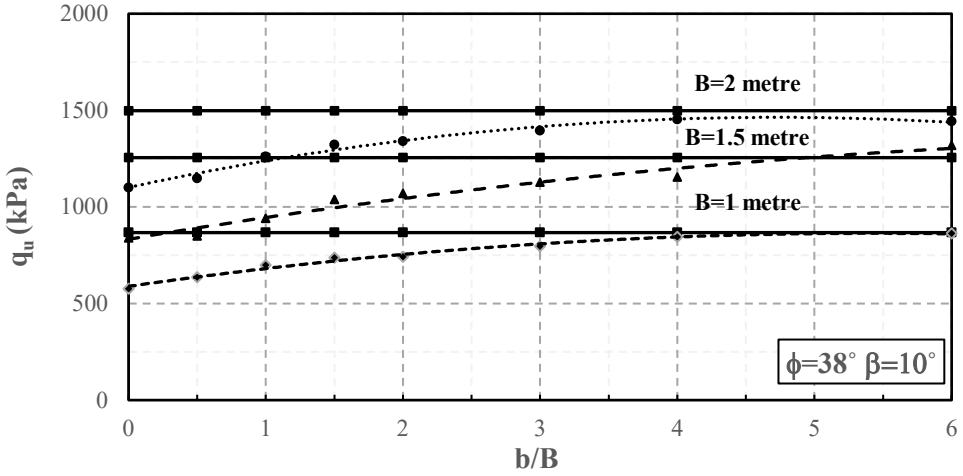

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

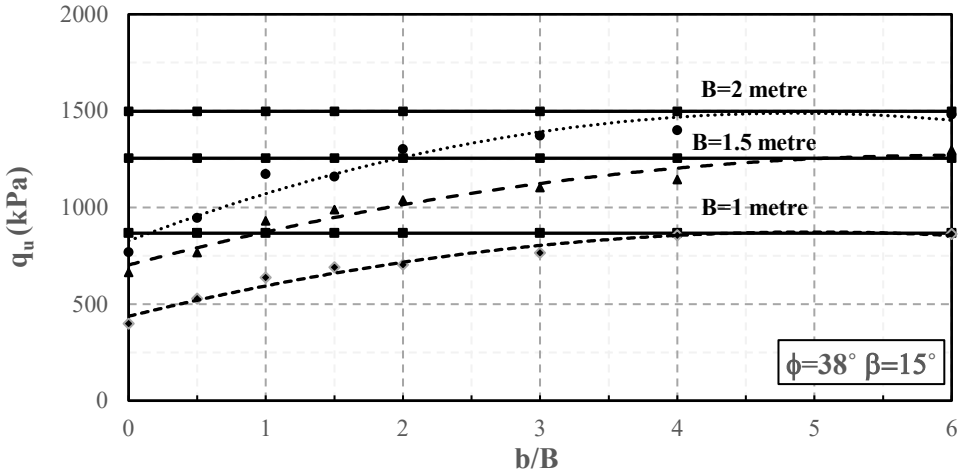

1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

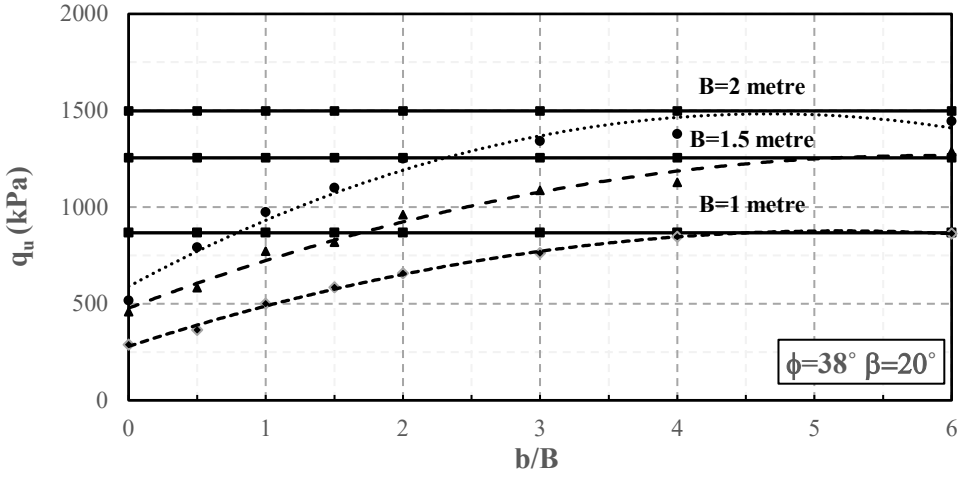

1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=15°

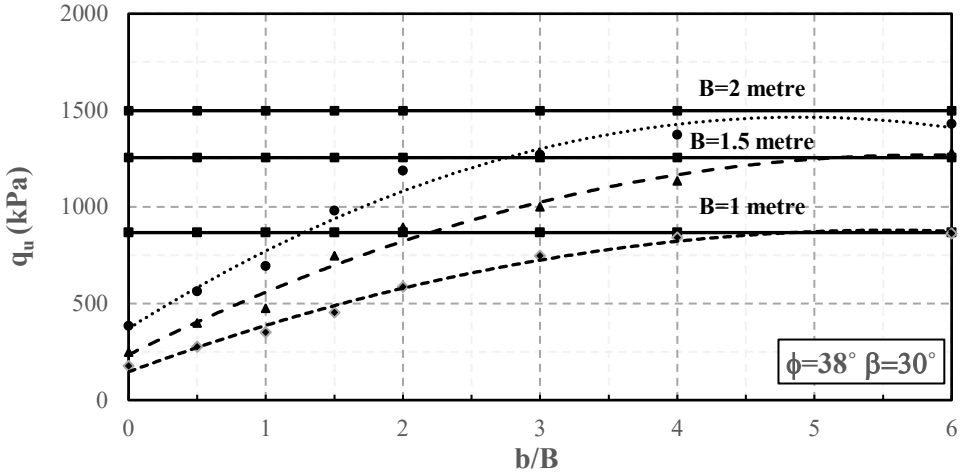

1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=20°

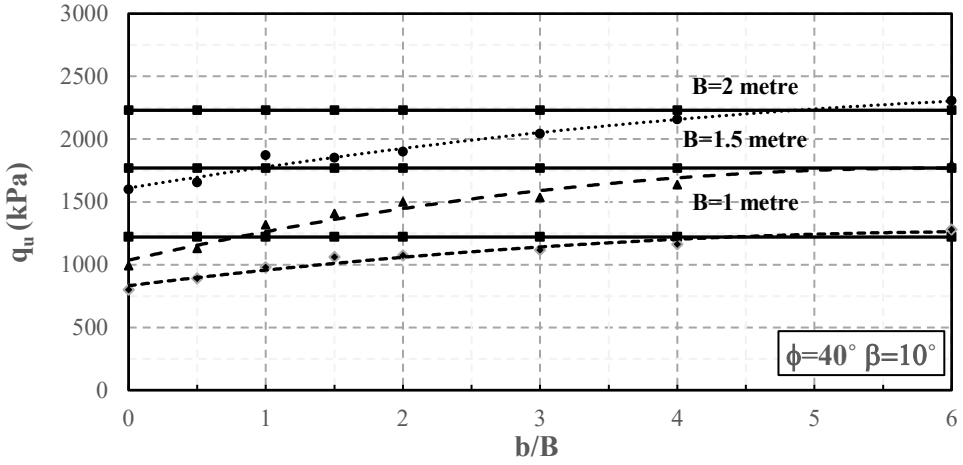

1500
1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=30°

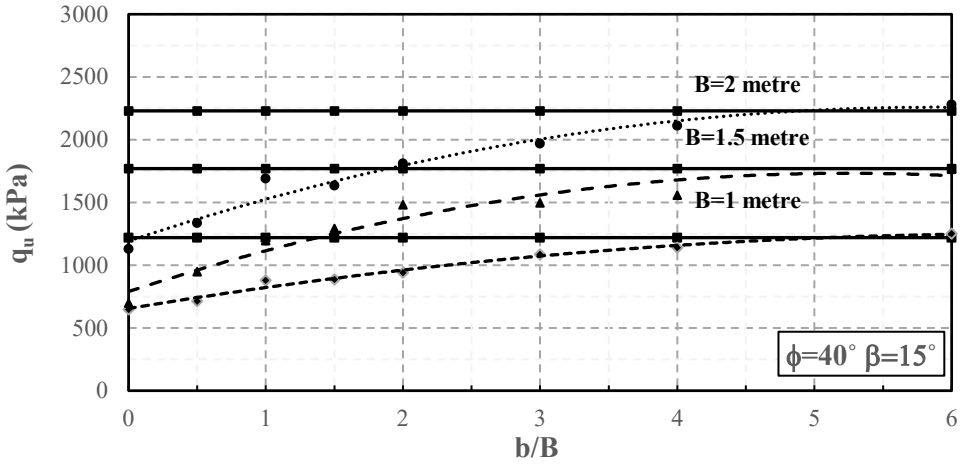

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

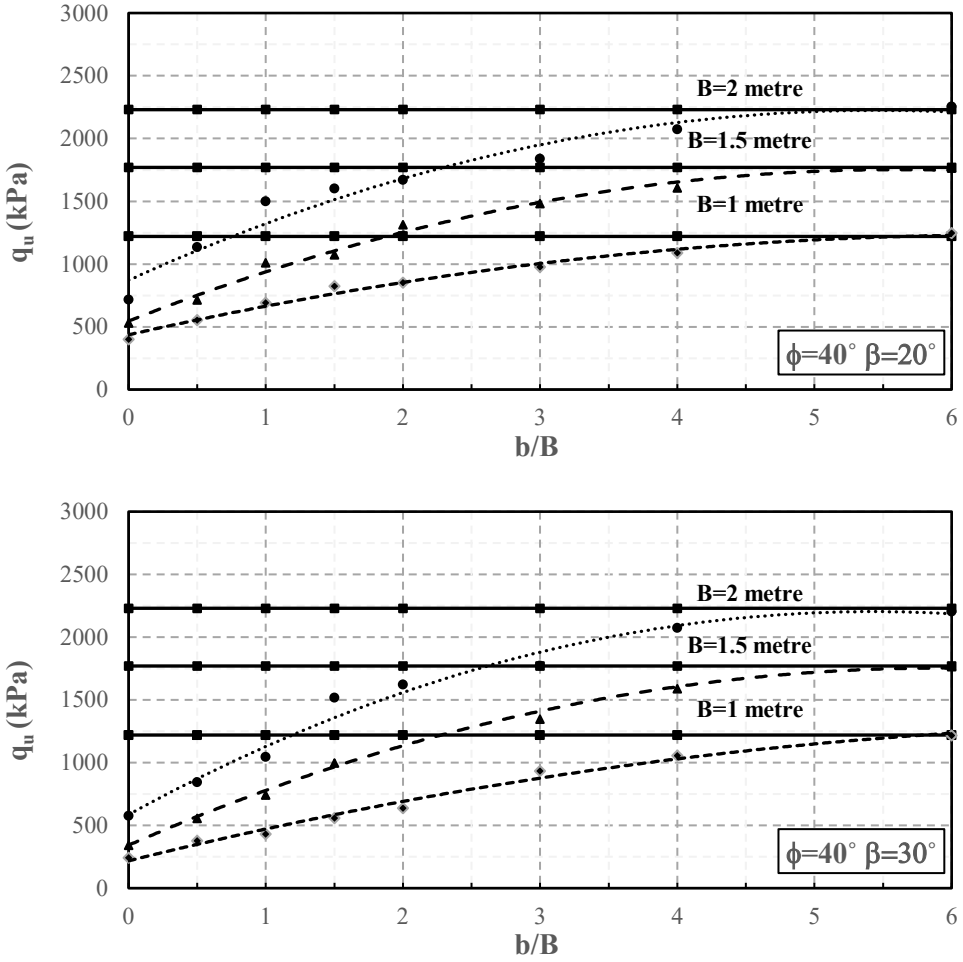

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

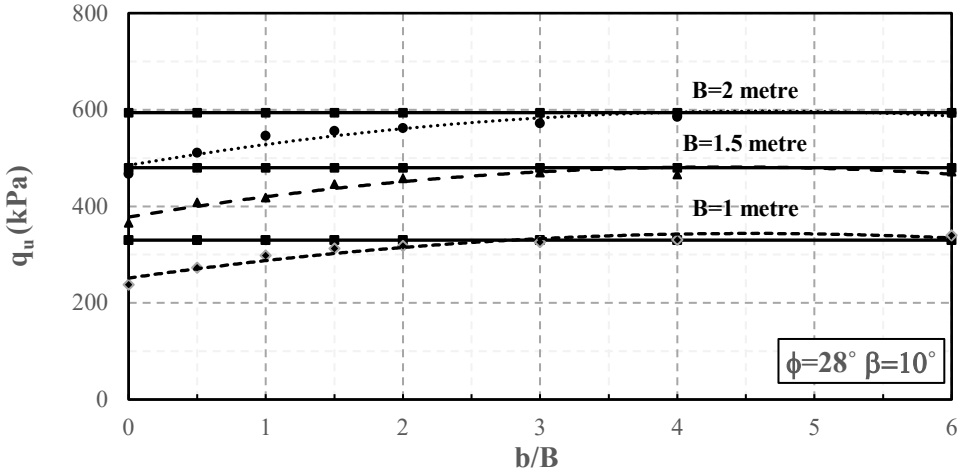

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

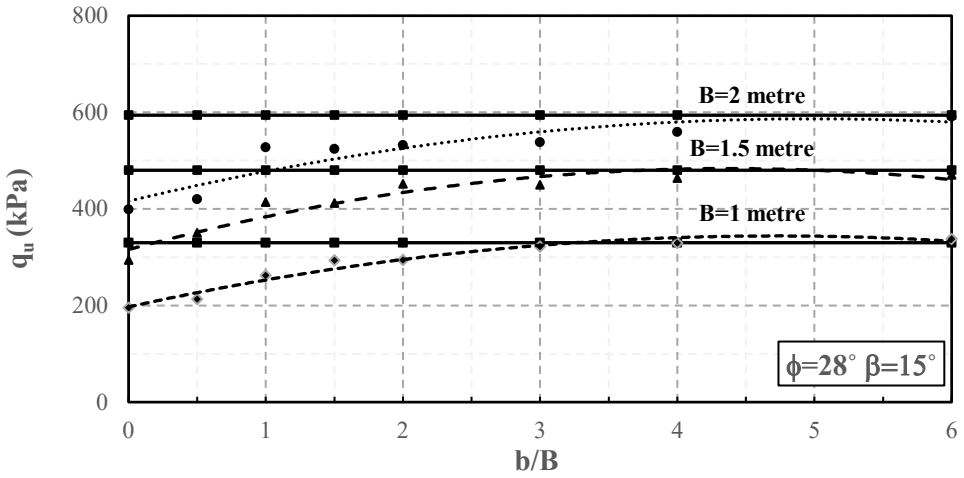

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

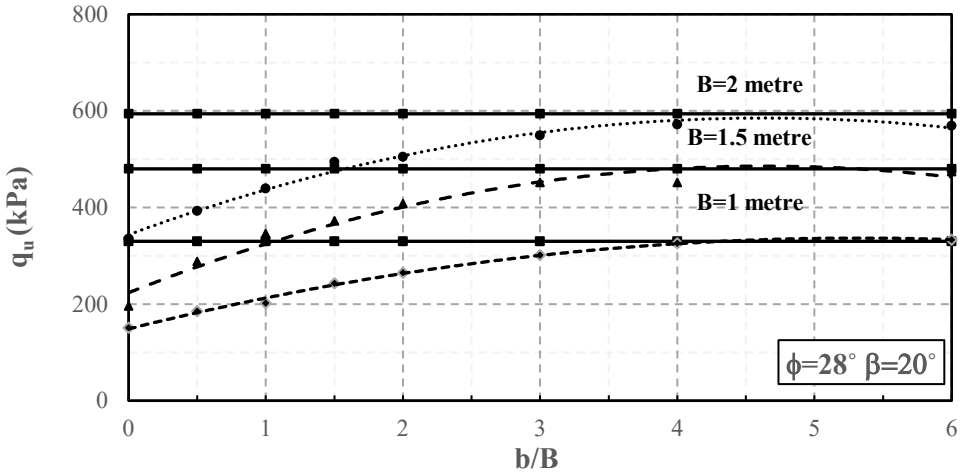

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

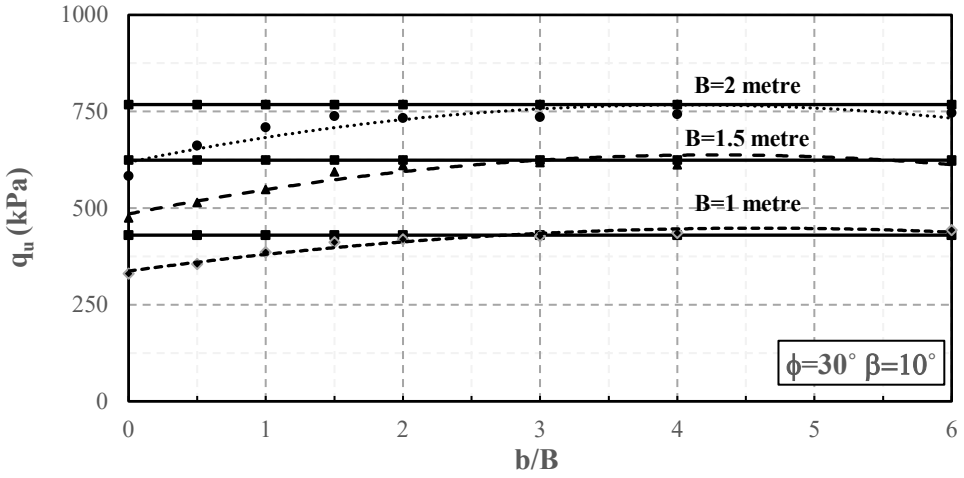


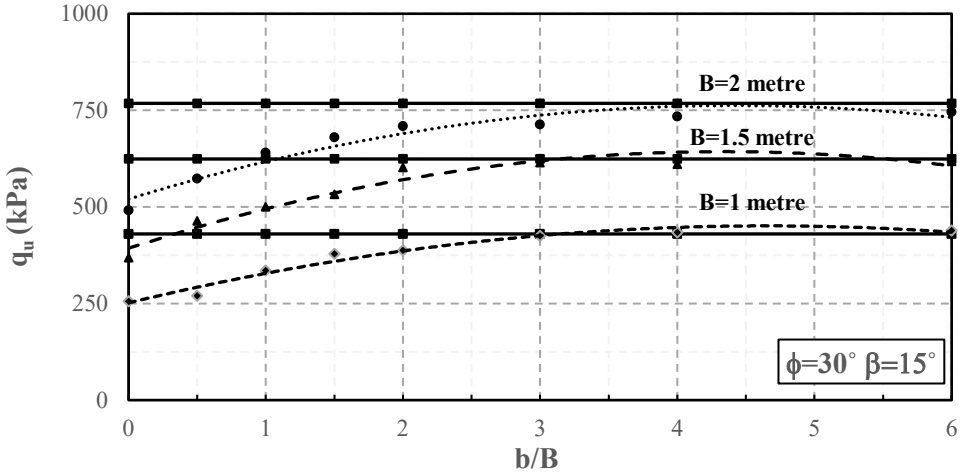
Ek Şekil 10. Farklı β, B ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0)

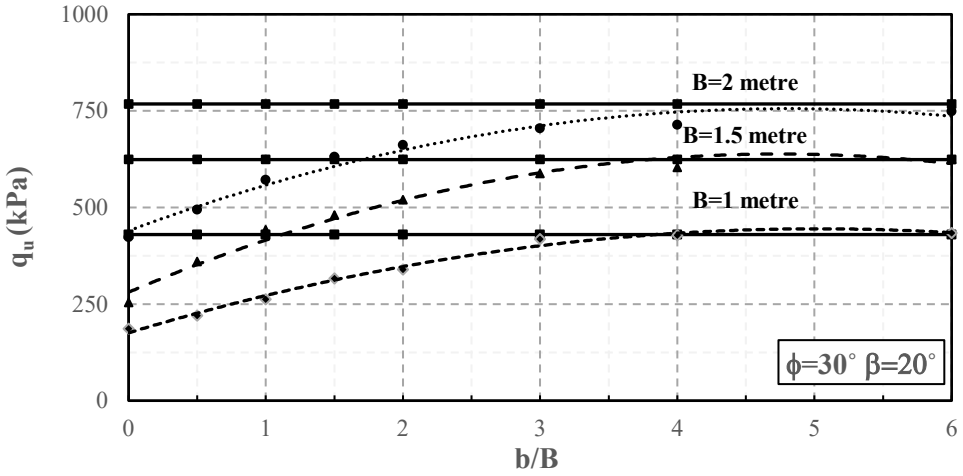


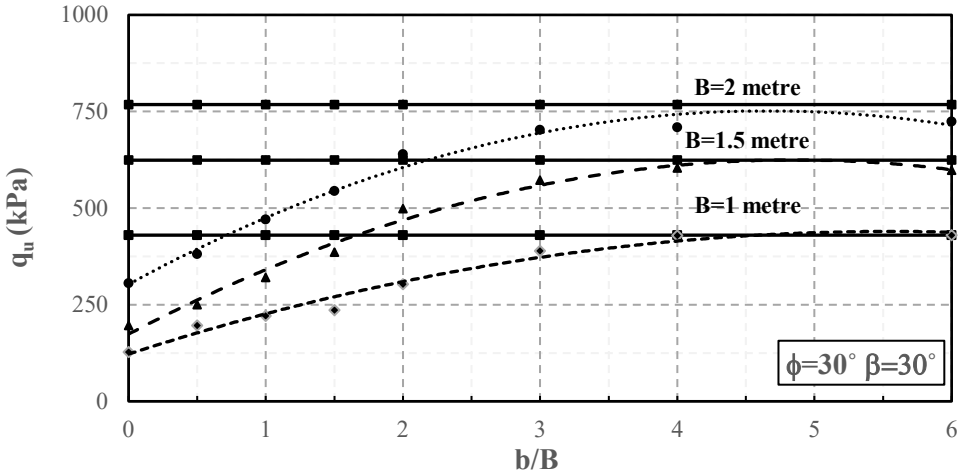

800
600
400
200
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

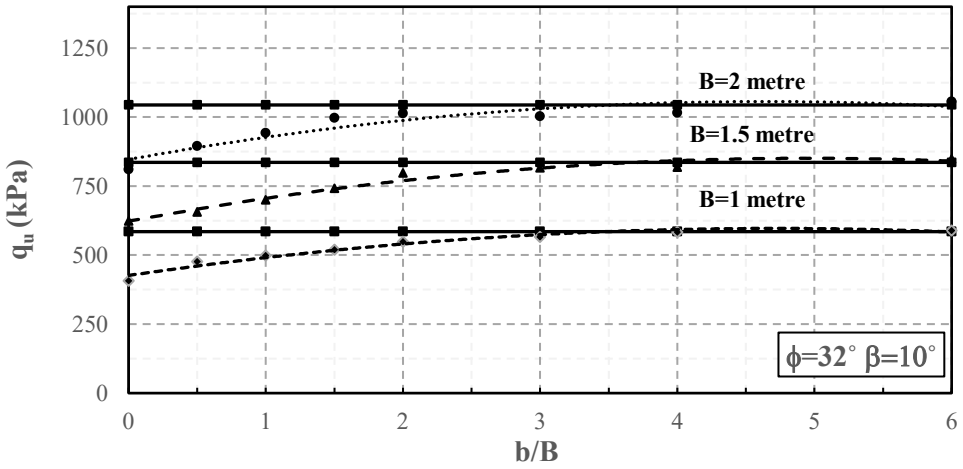

800
600
400
200
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

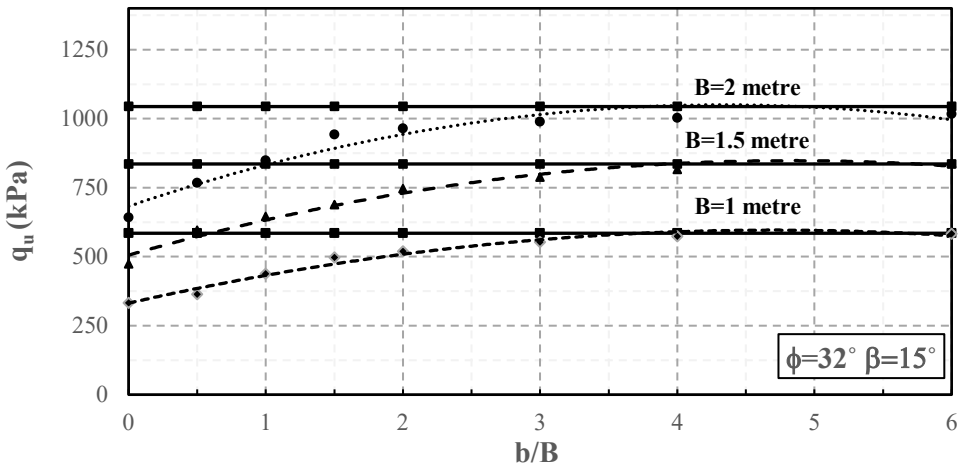

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

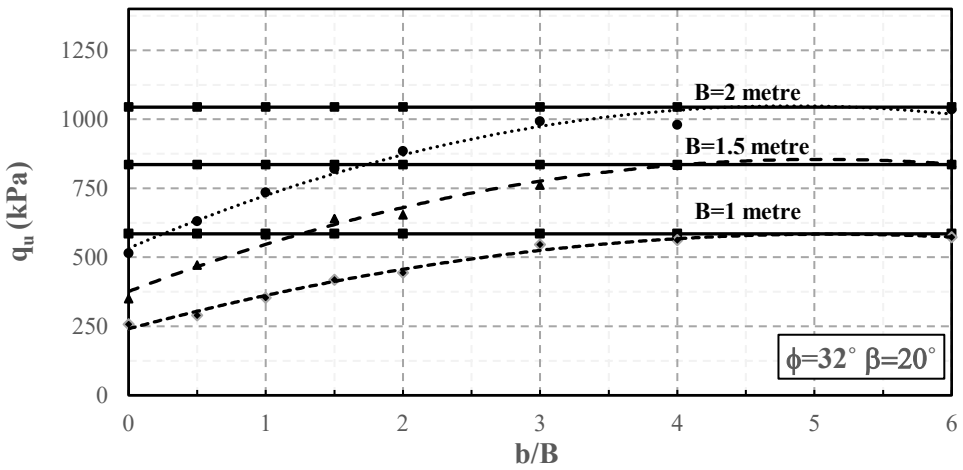

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

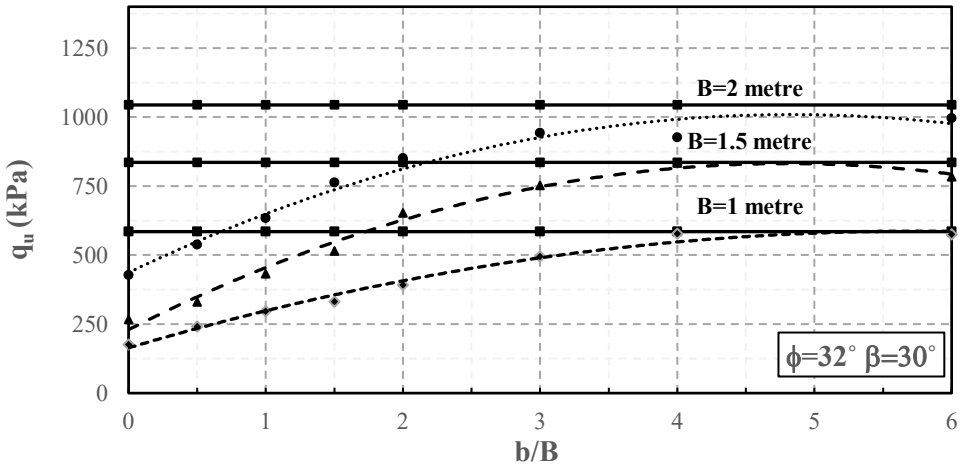

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

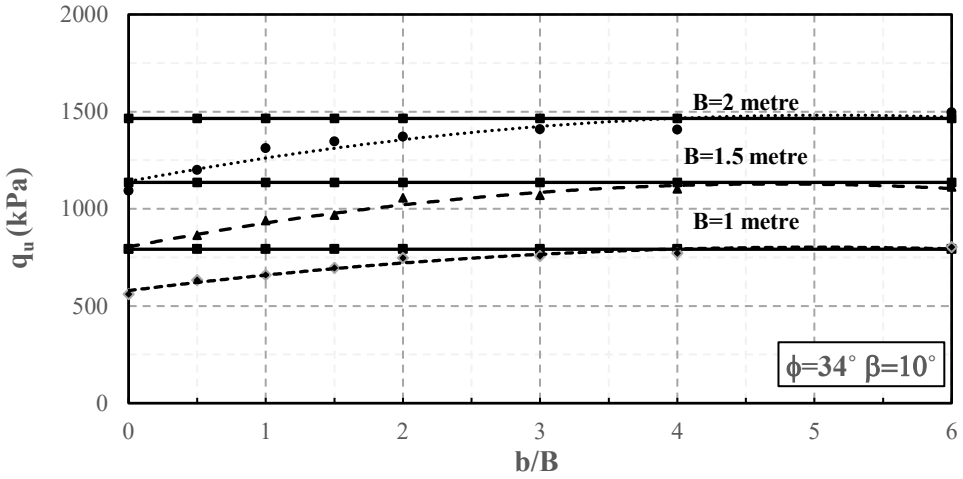

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

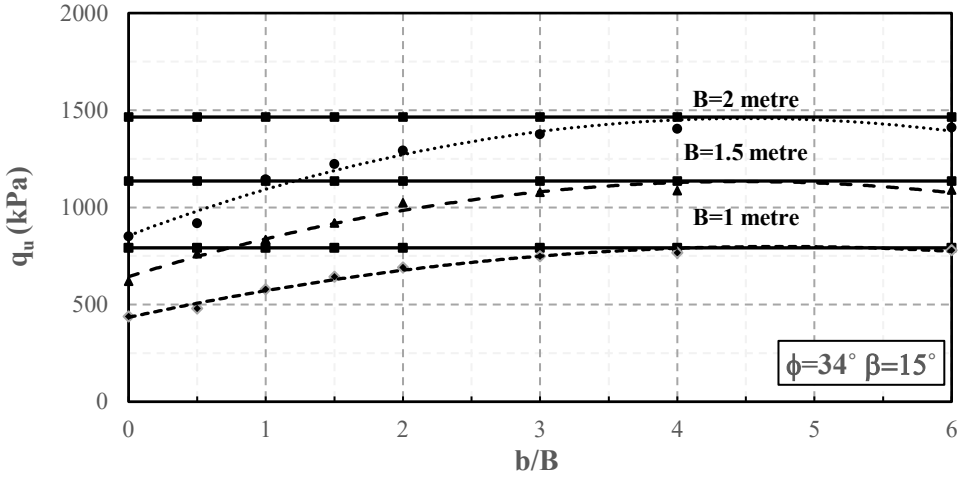

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=10°

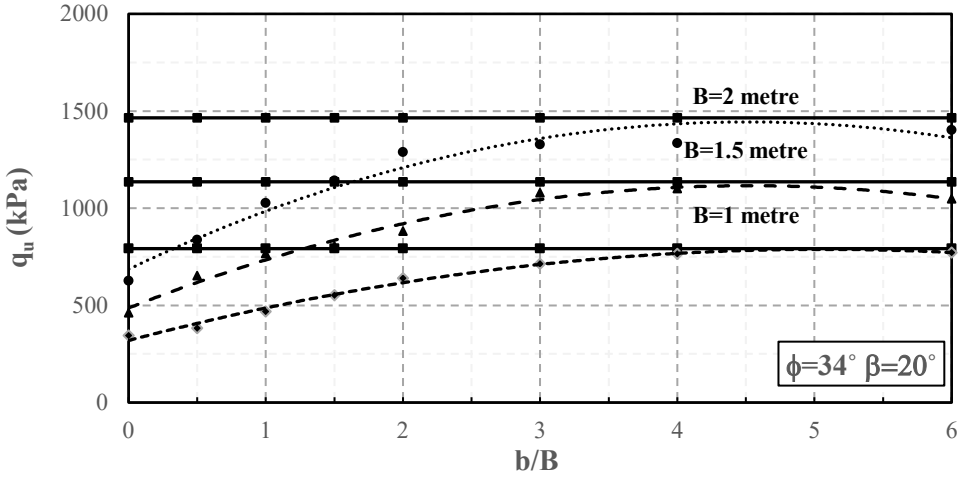

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=15°

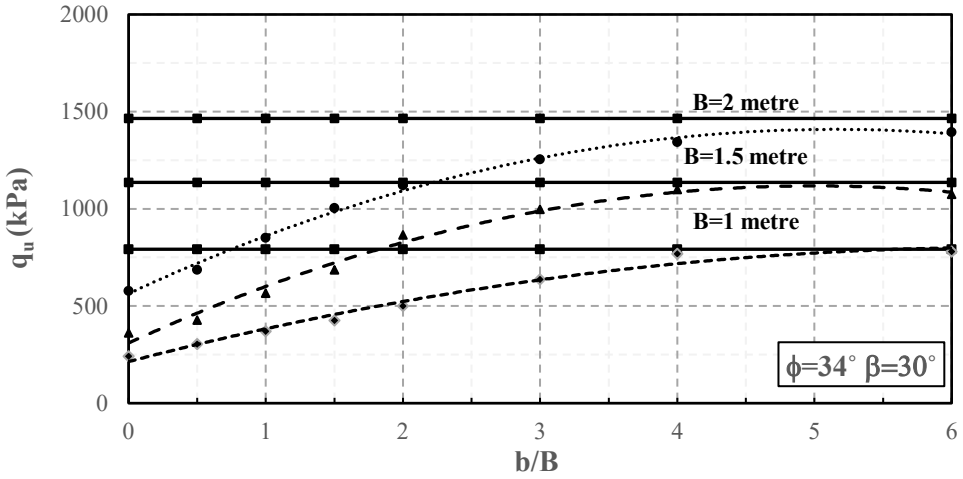

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=20°

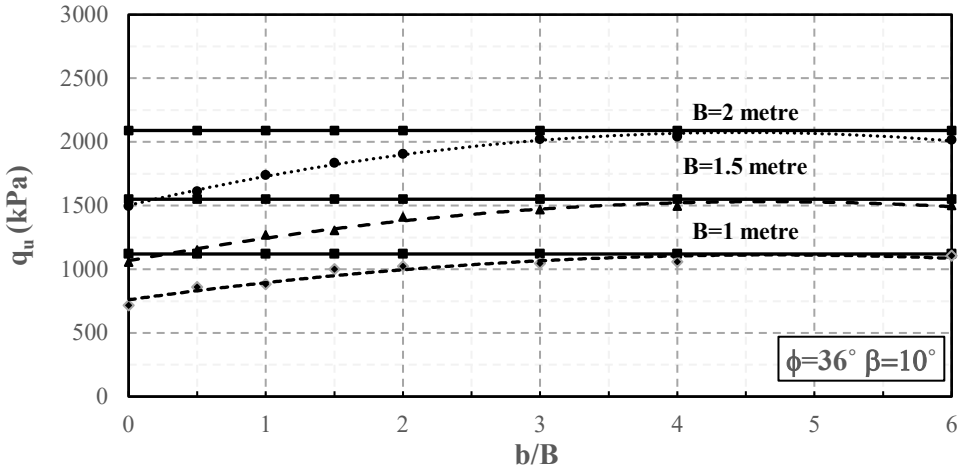

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

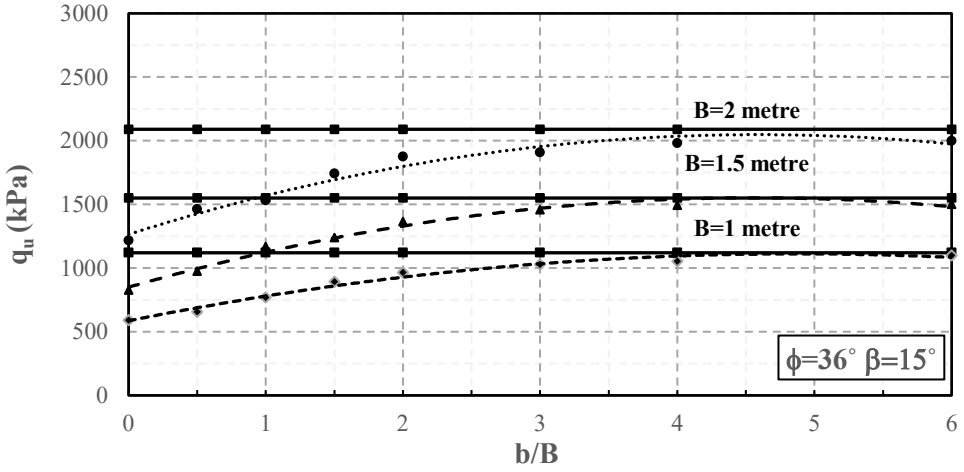

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

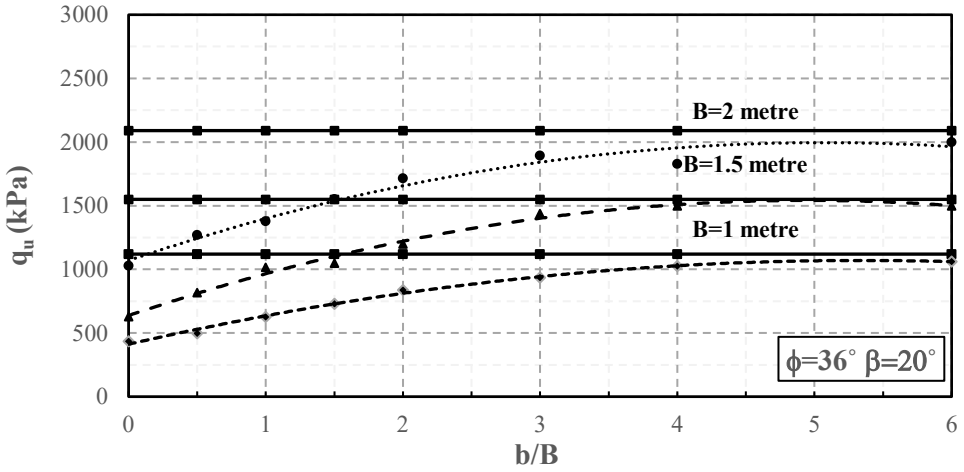

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

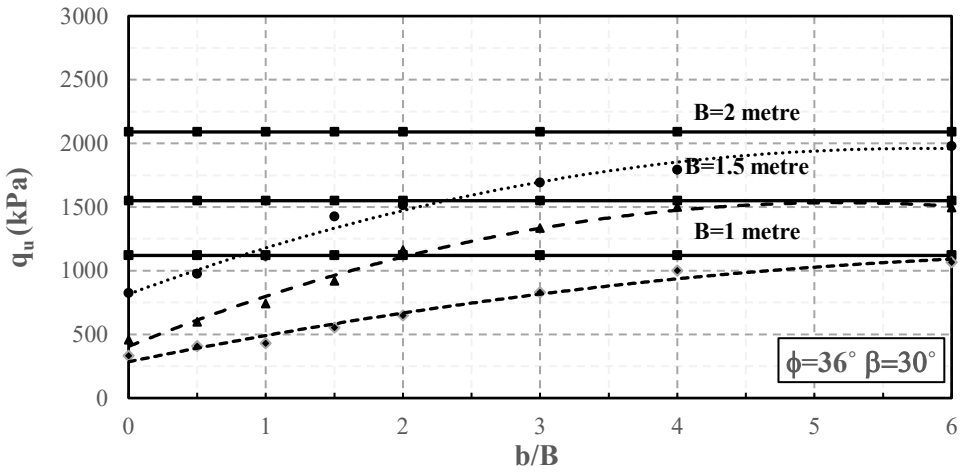

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

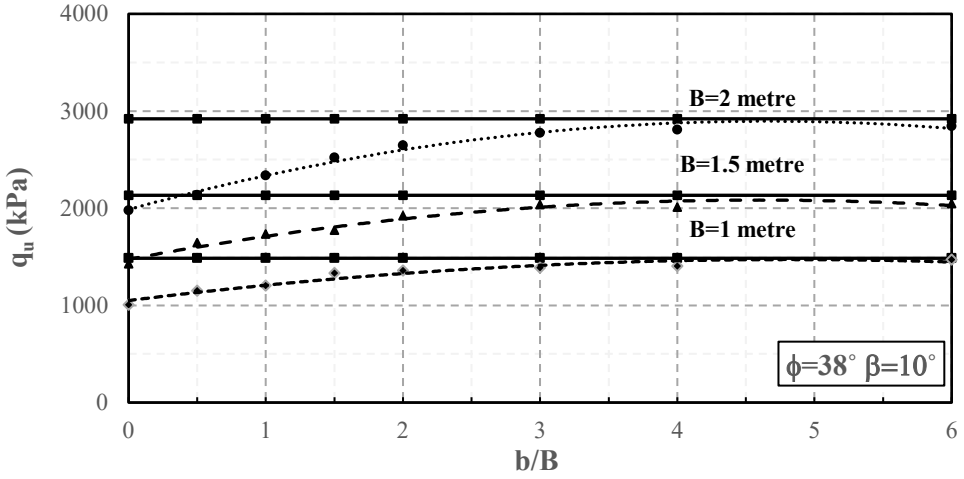

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

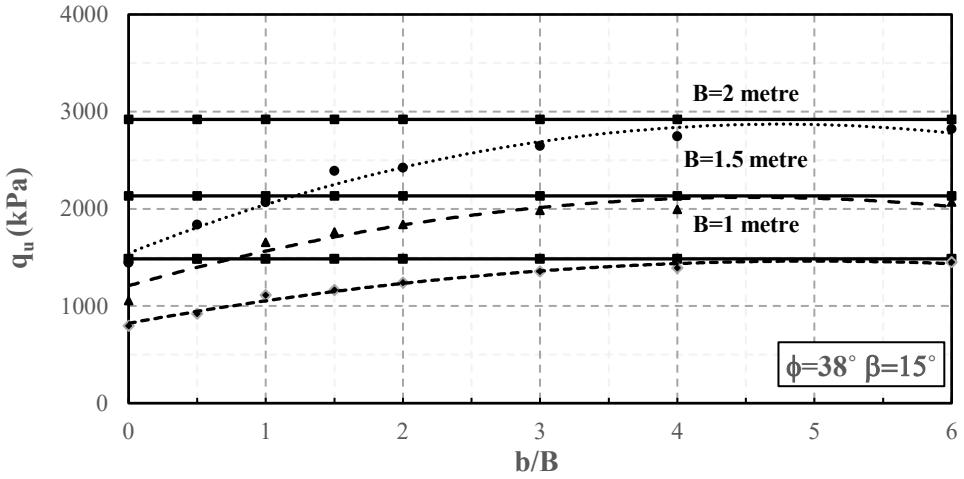

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

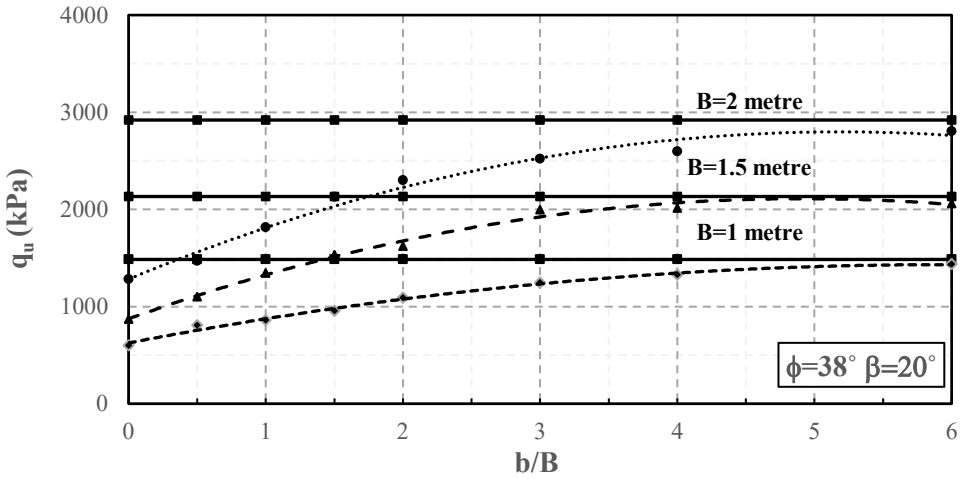

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=15°

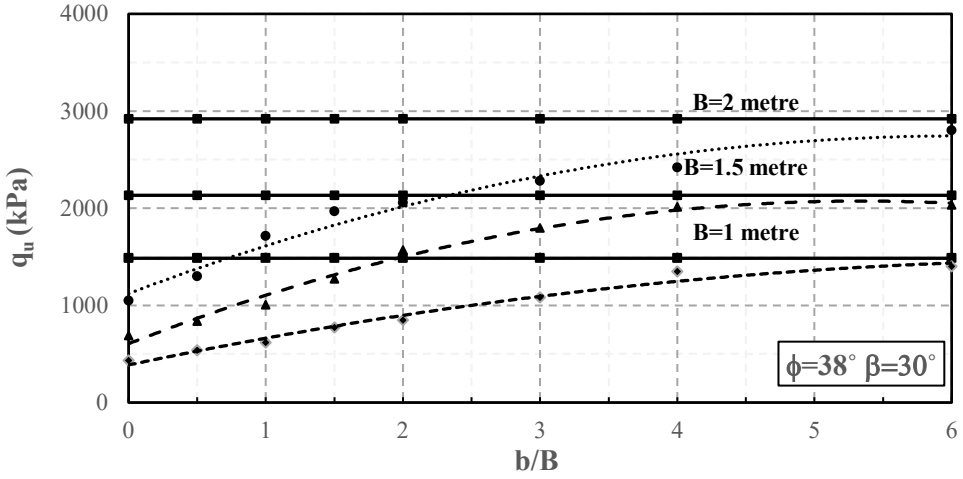

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=20°

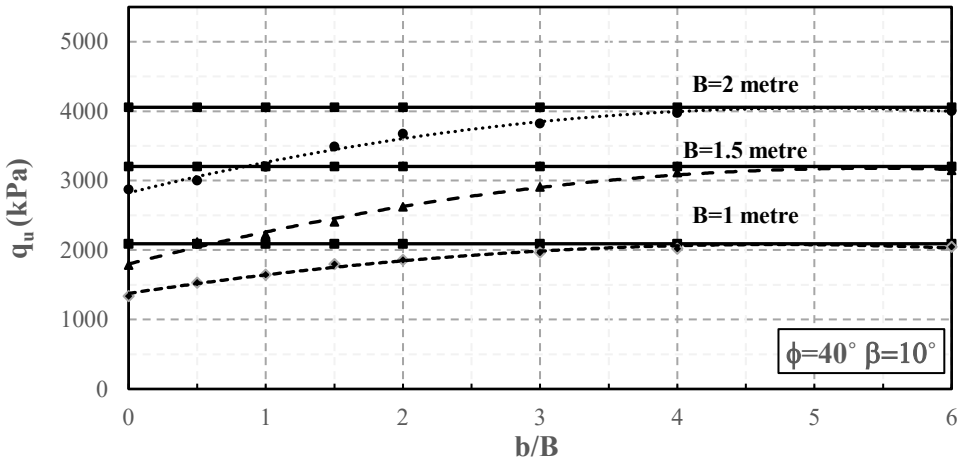

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=30°

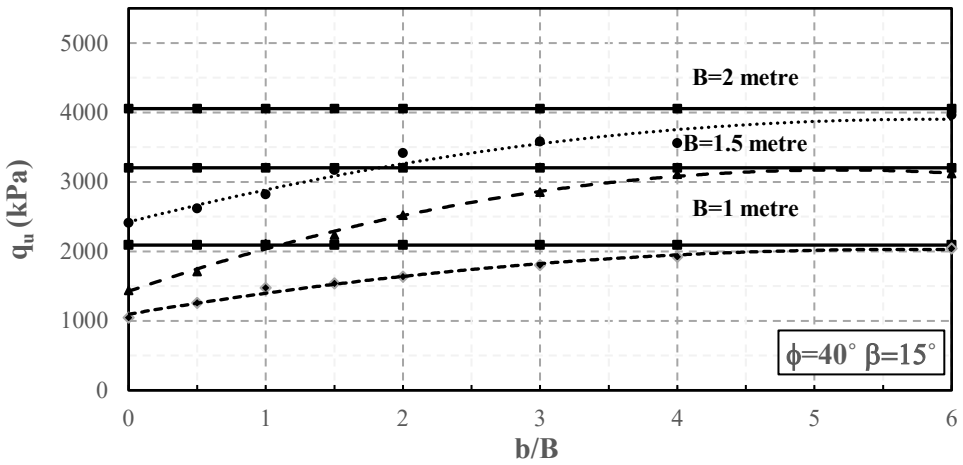

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

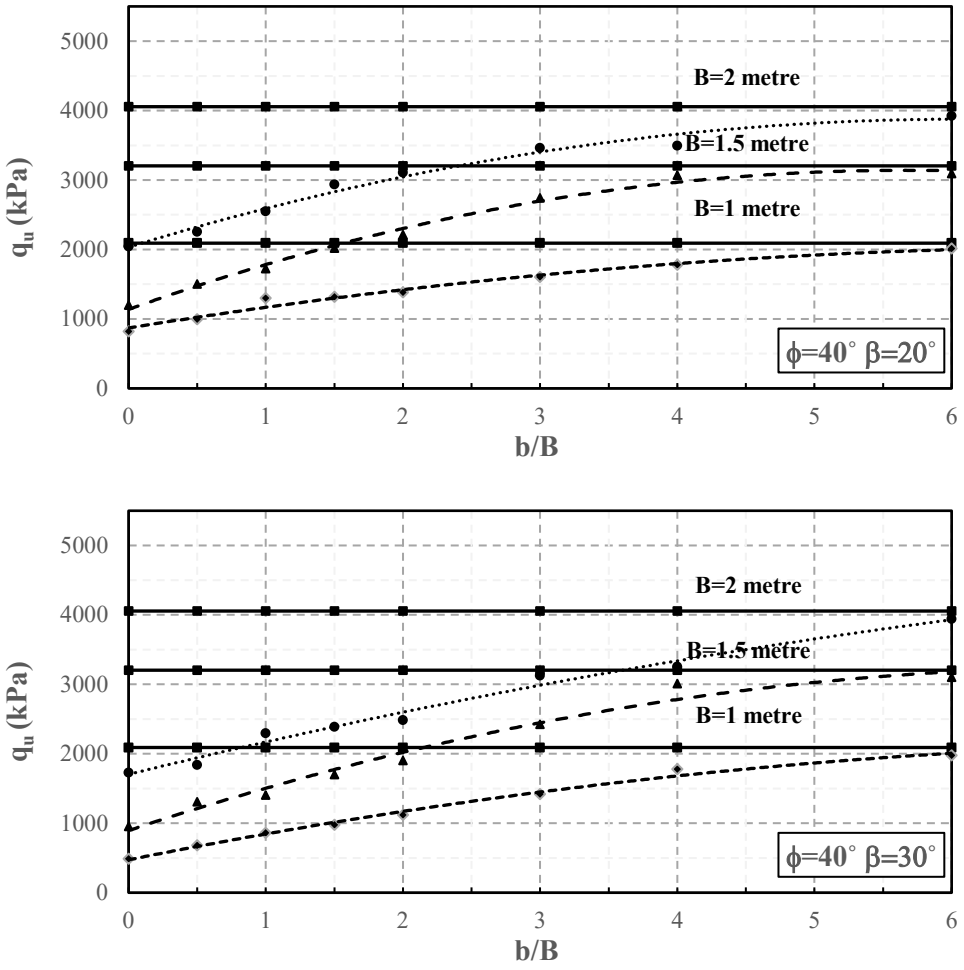

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

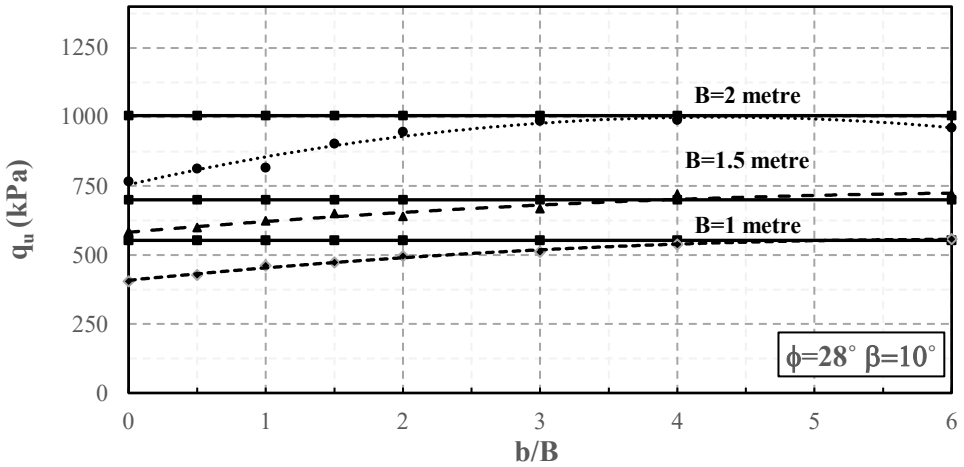

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

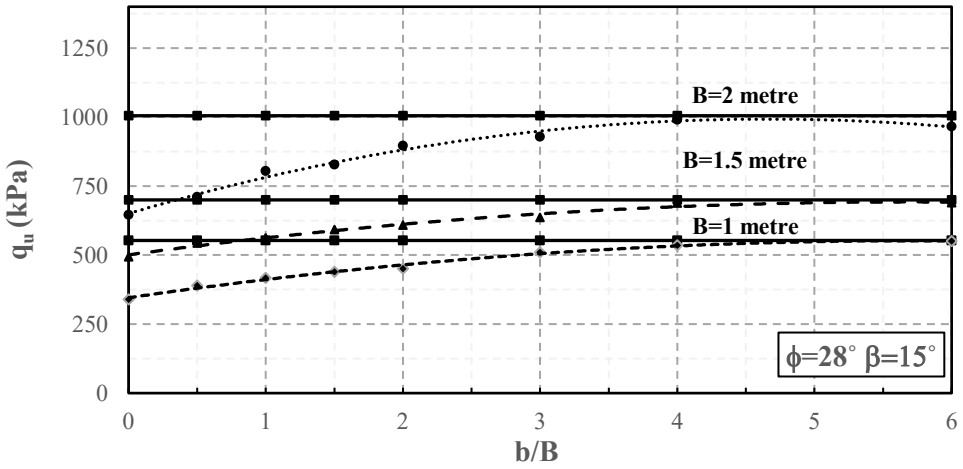

5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

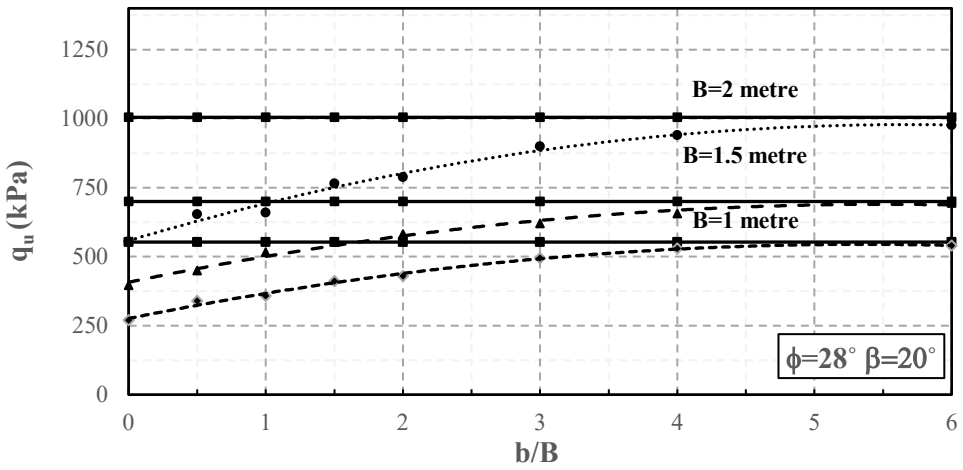

5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

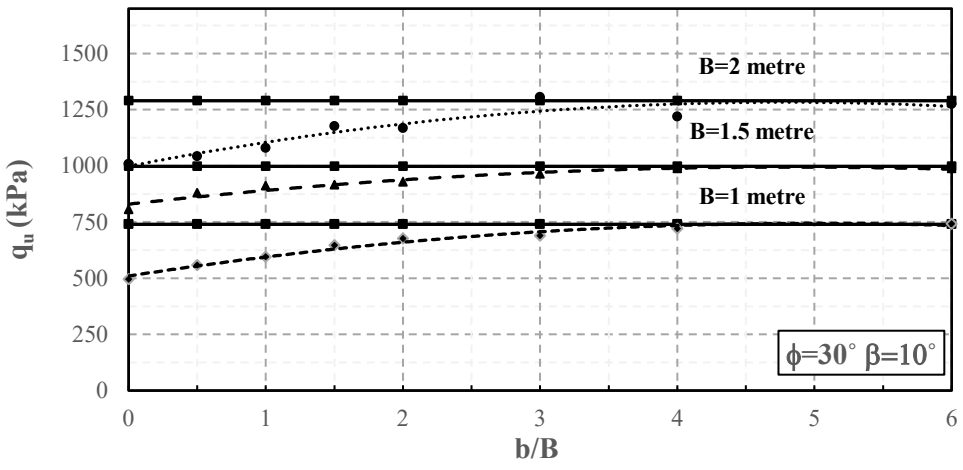


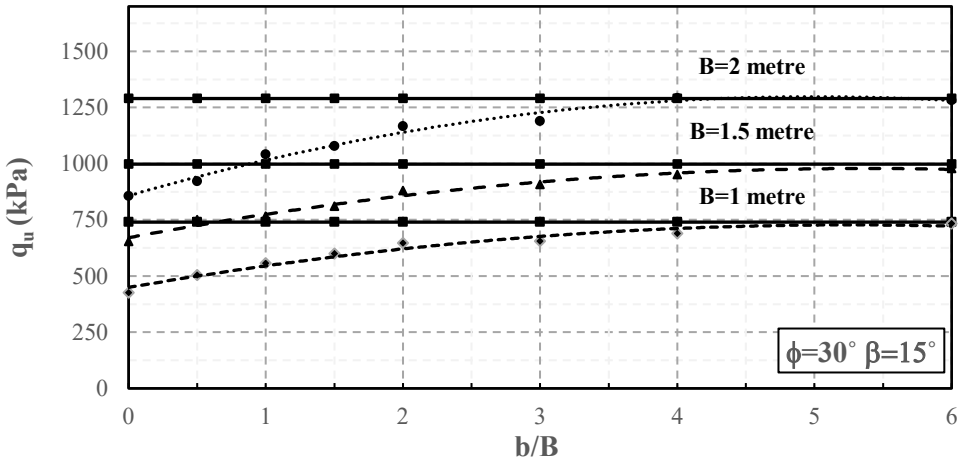
Ek Şekil 11. Farklı β, B ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5)

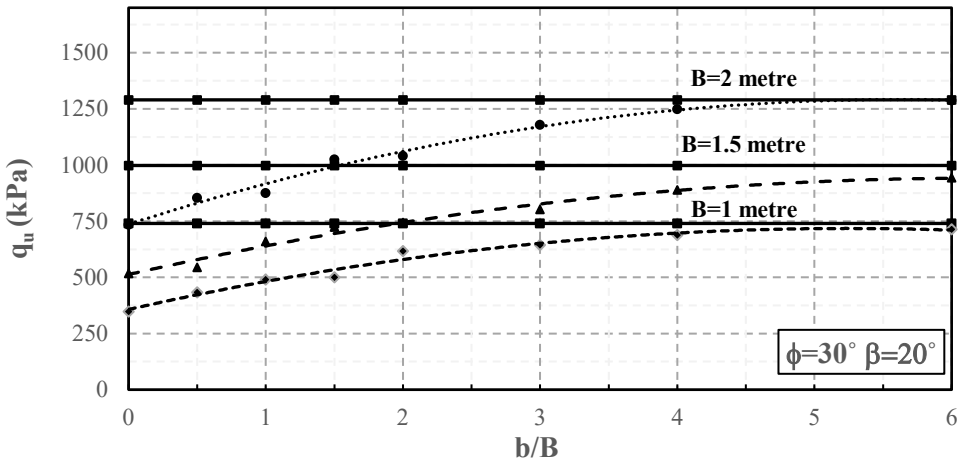


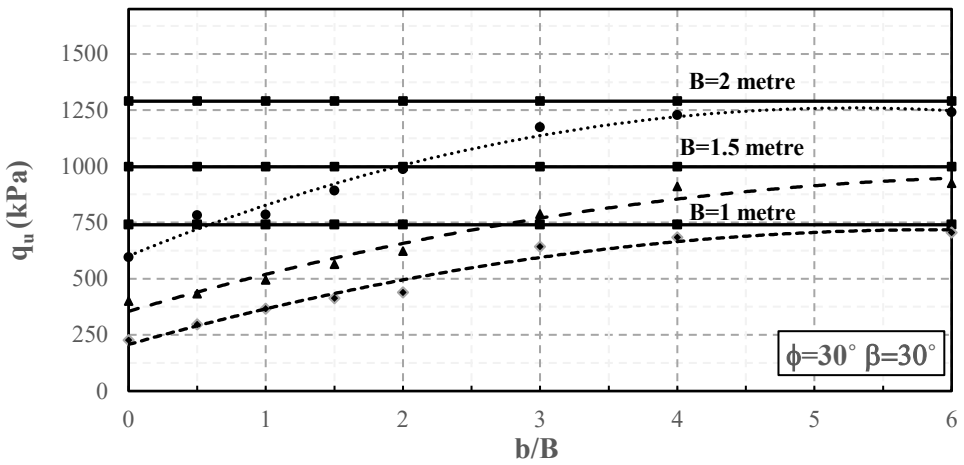

1250
1000
750
500
250
0
0
1
2
3
4
5
6
q_u (kPa)
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=15°

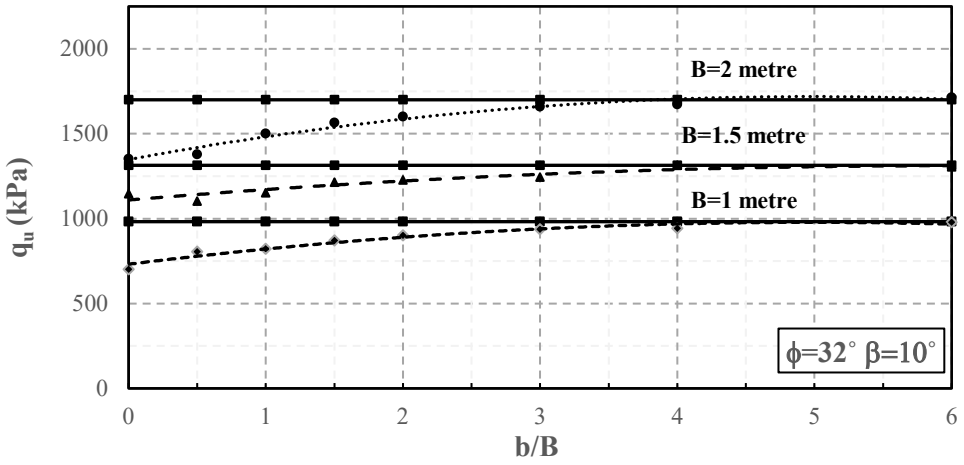

1250
1000
750
500
250
0
0
1
2
3
4
5
6
q_u (kPa)
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=20°

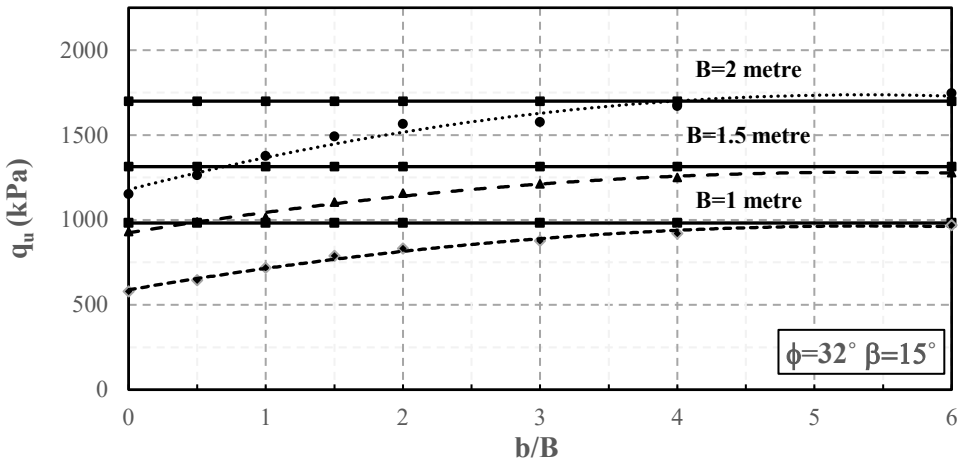

1500
1250
1000
750
500
250
0
0
1
2
3
4
5
6
q_u (kPa)
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=10°

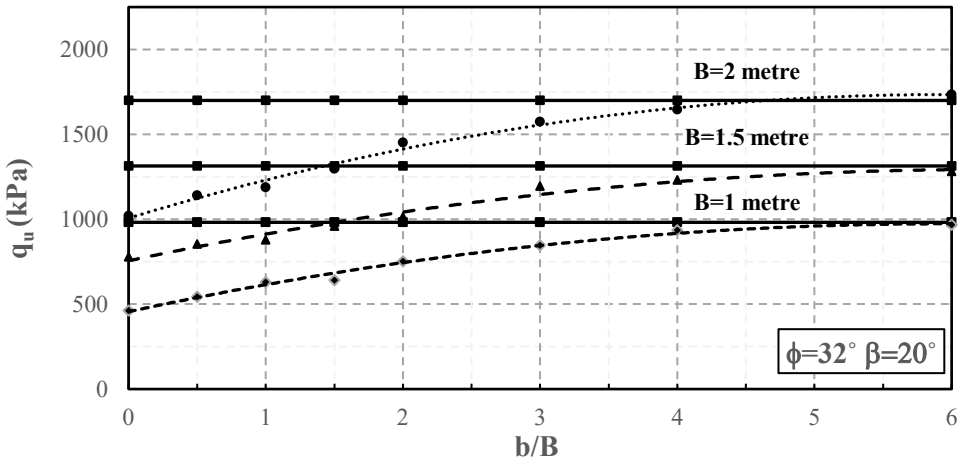

1500
1250
1000
750
500
250
0
0
1
2
3
4
5
6
q_u (kPa)
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=15°

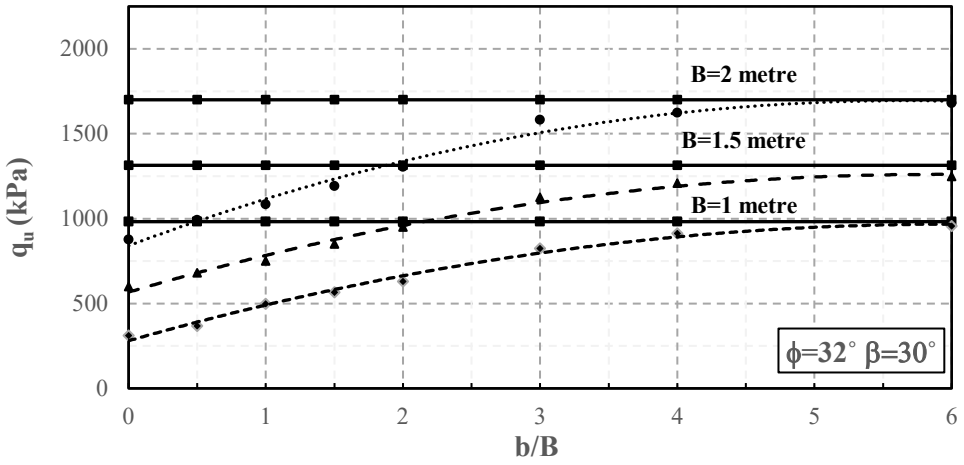

1500
1250
1000
750
500
250
0
0
1
2
3
4
5
6
q_u (kPa)
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=20°

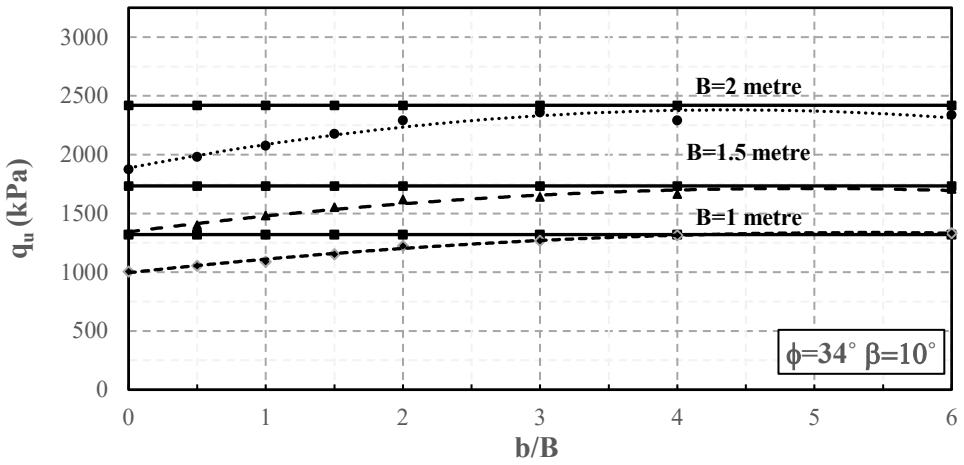

1500
1250
1000
750
500
250
0
0
1
2
3
4
5
6
q_u (kPa)
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=30°

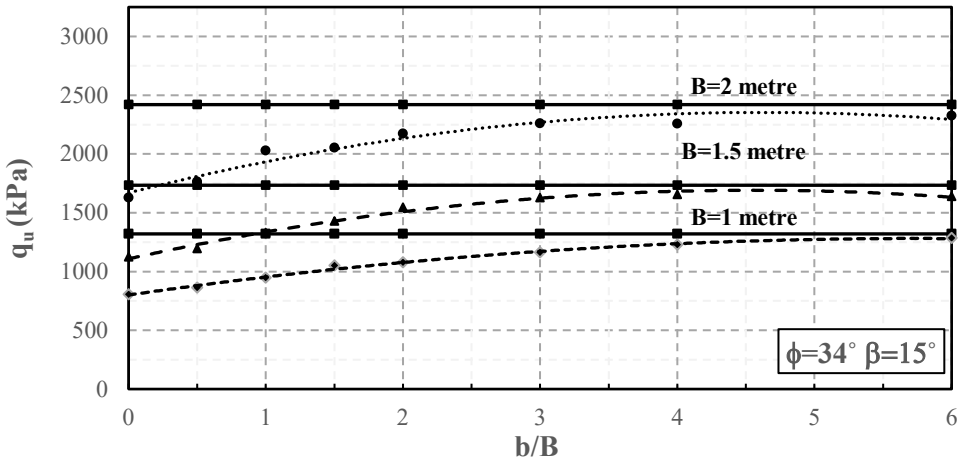

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

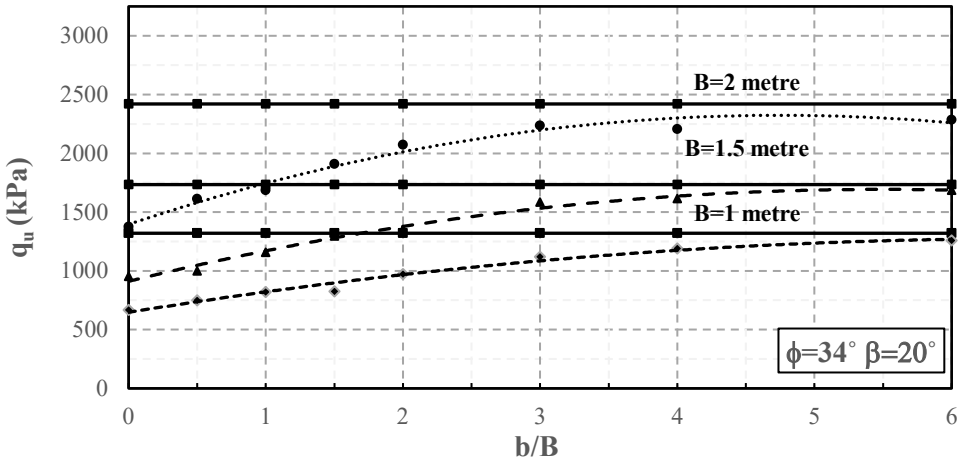

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

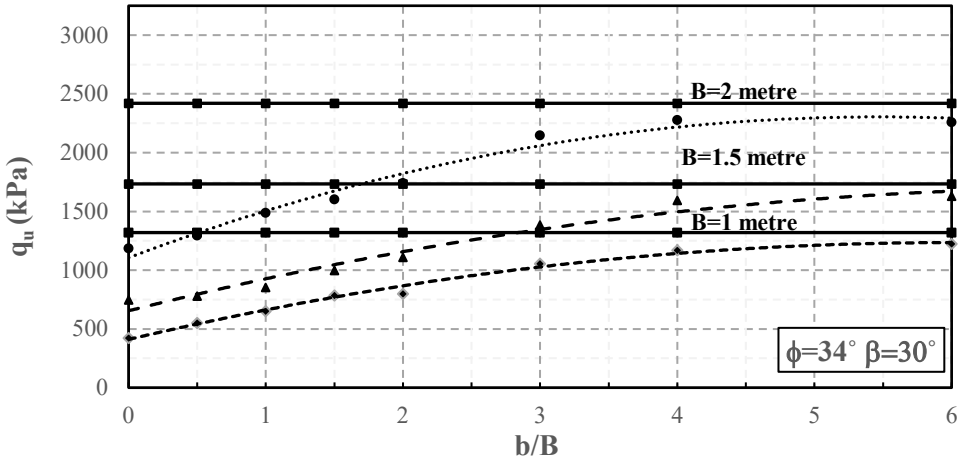

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

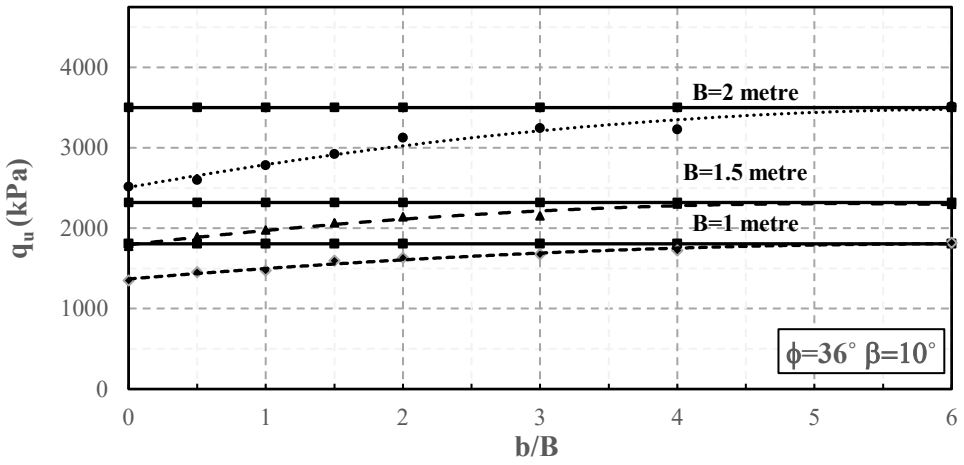

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

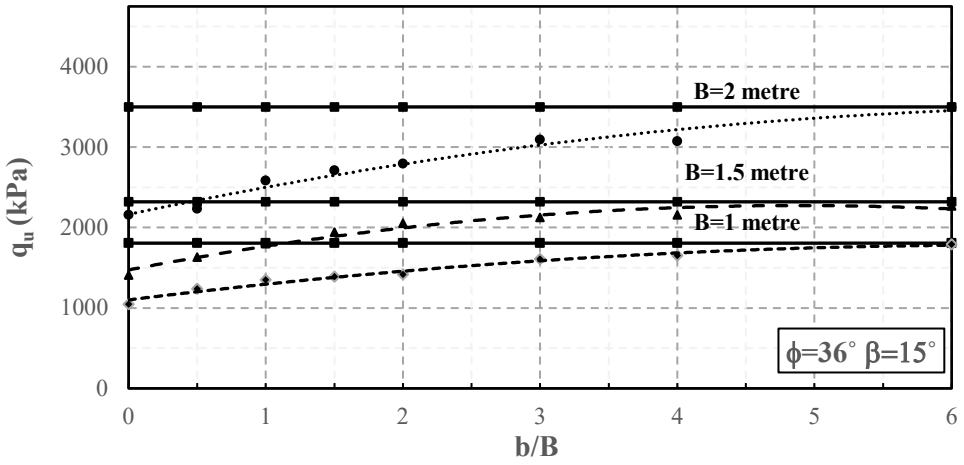

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

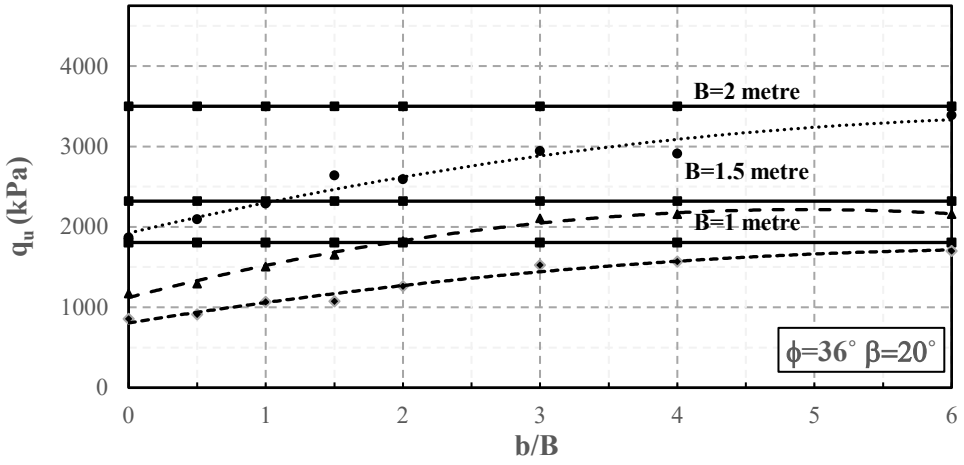

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

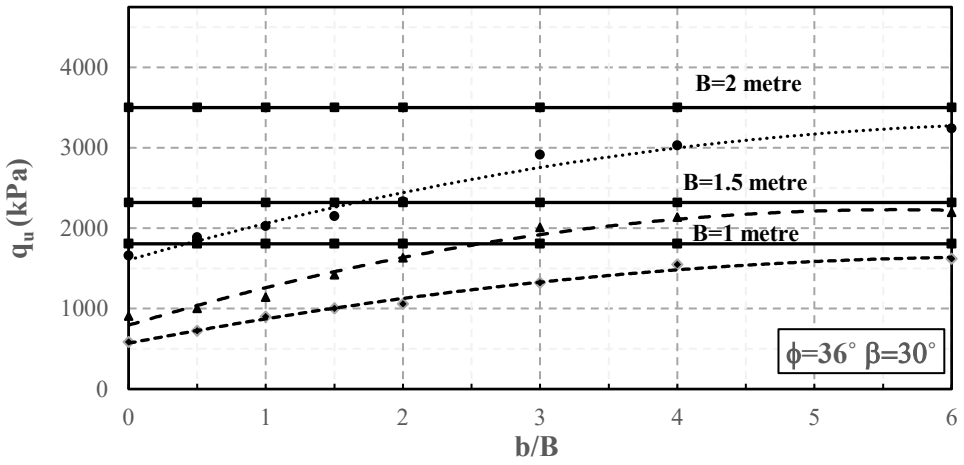

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

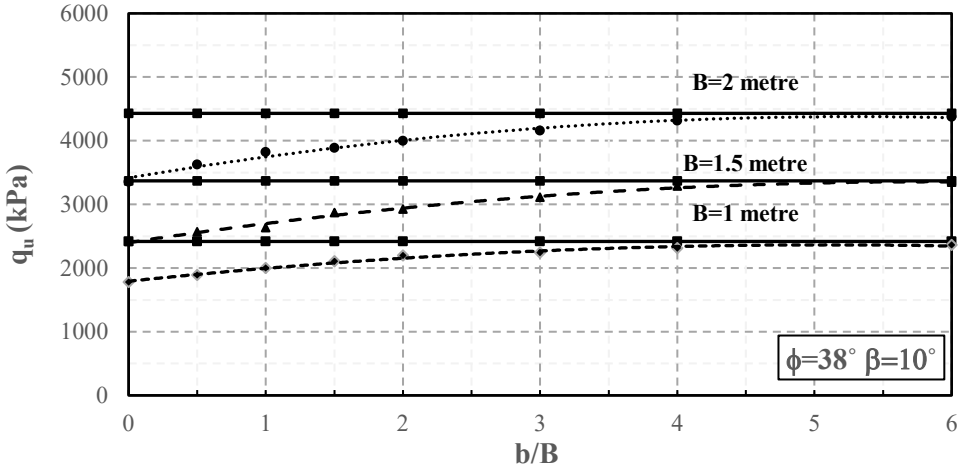

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

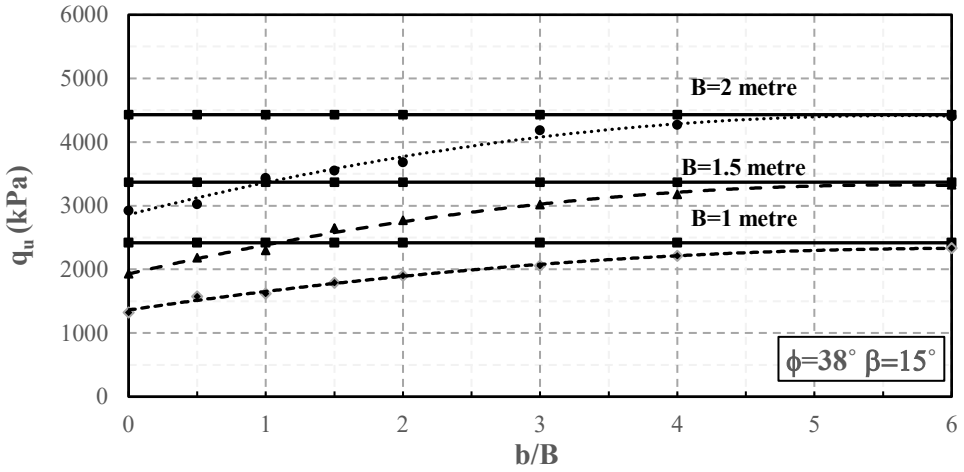

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

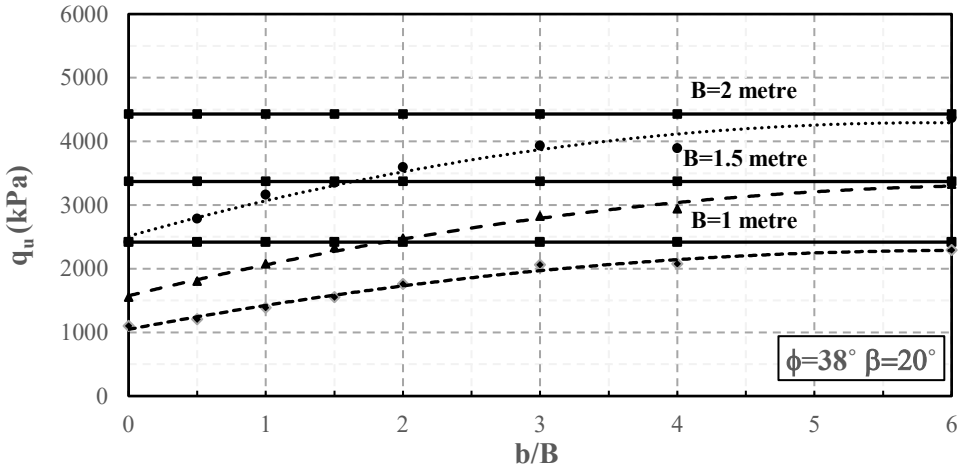

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

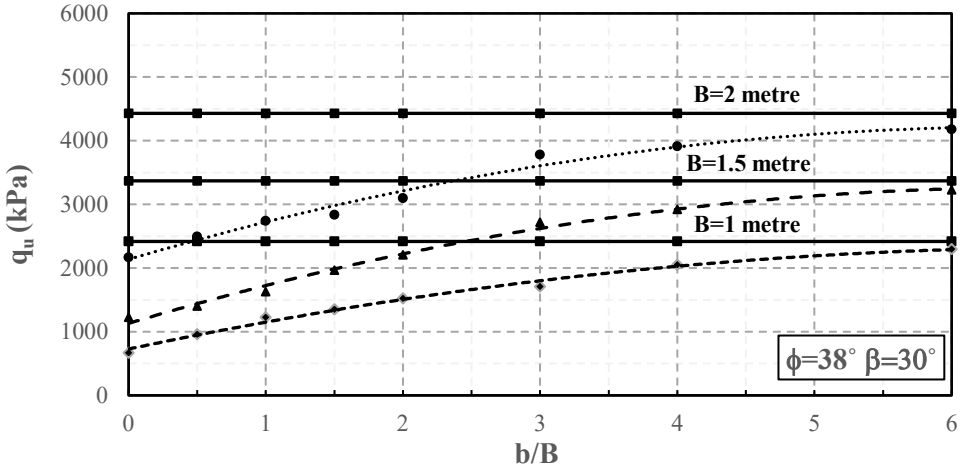

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

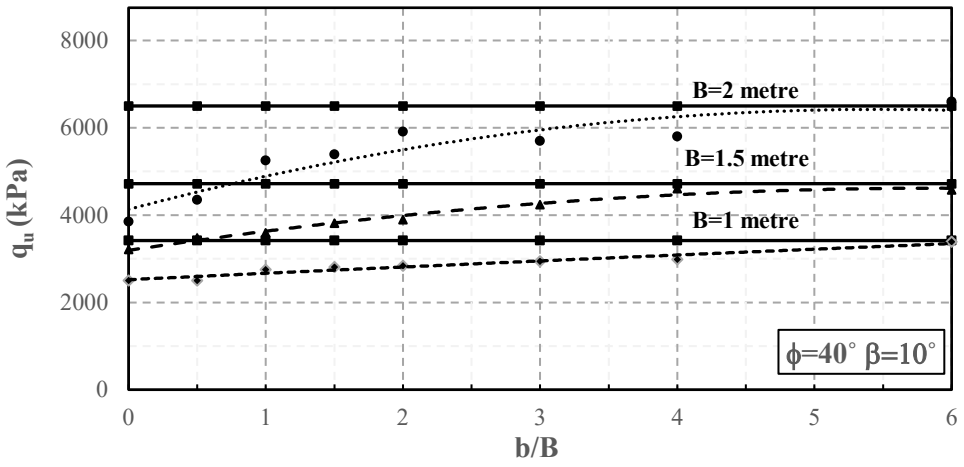

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

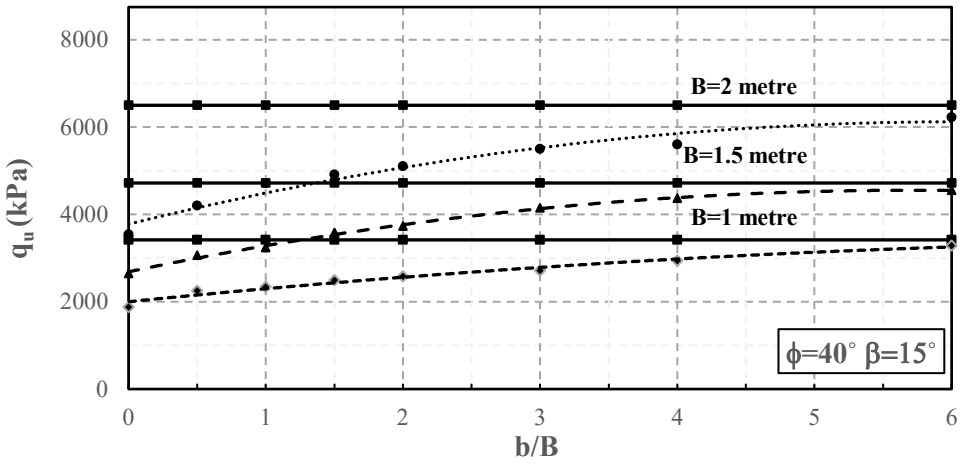

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=10°

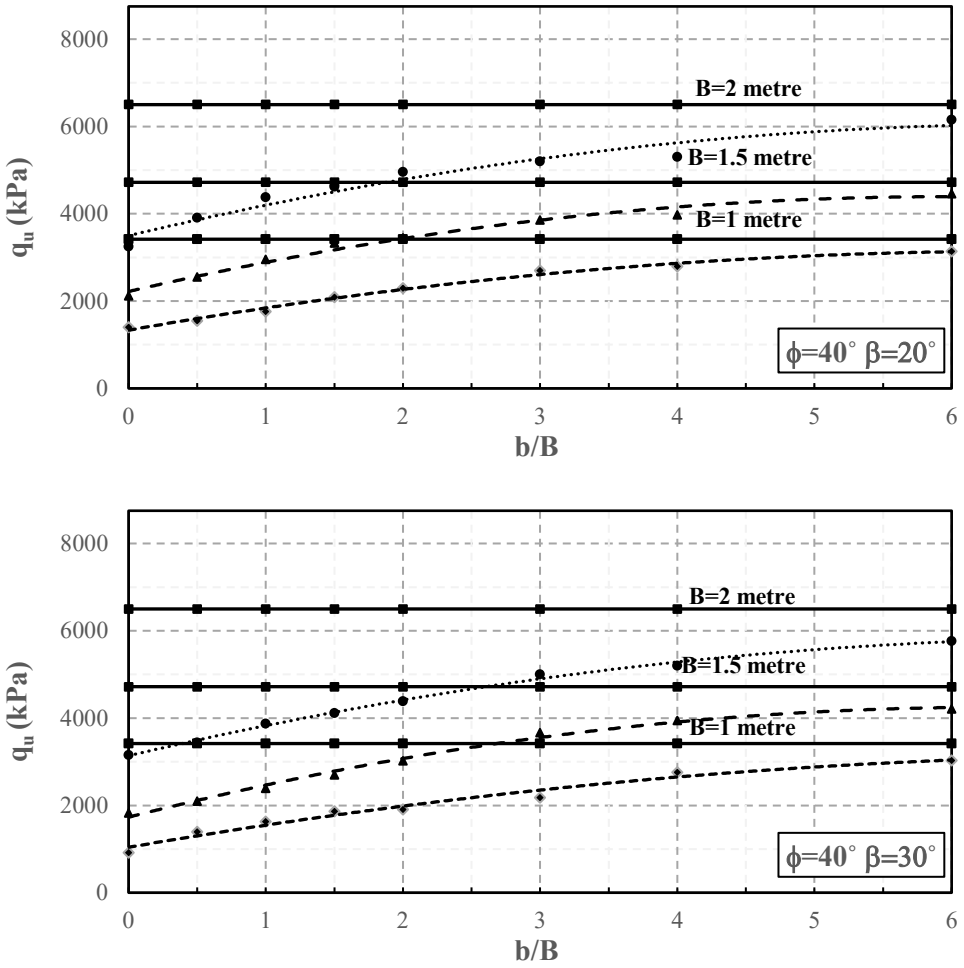

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=15°


6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
0
1
2
3
4
5
6
b/B
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=20°

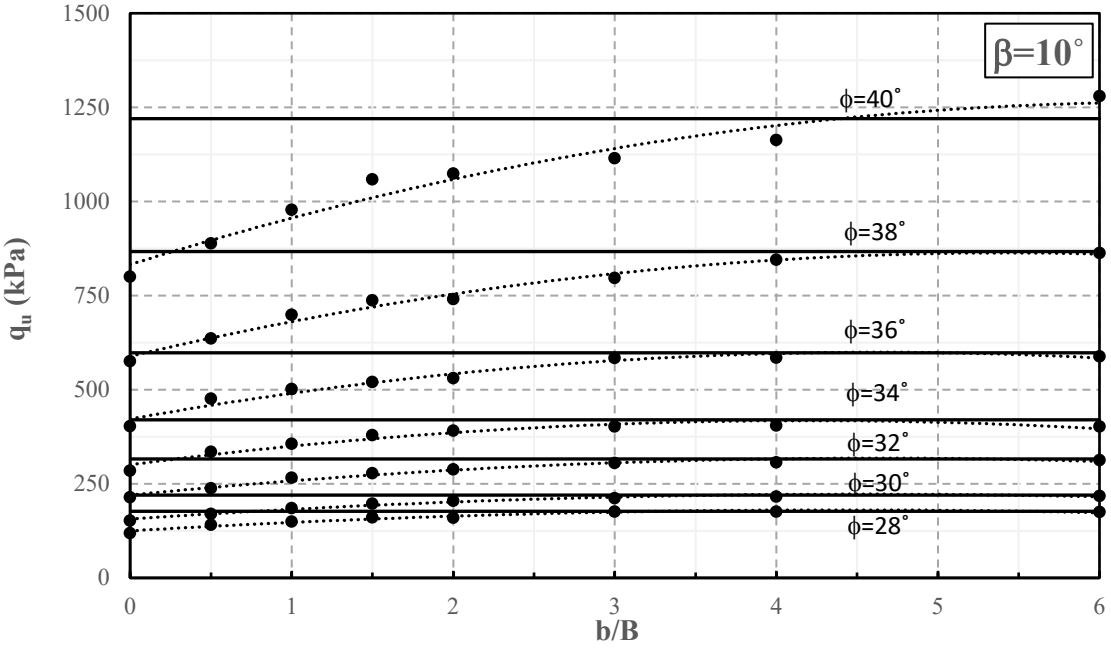

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

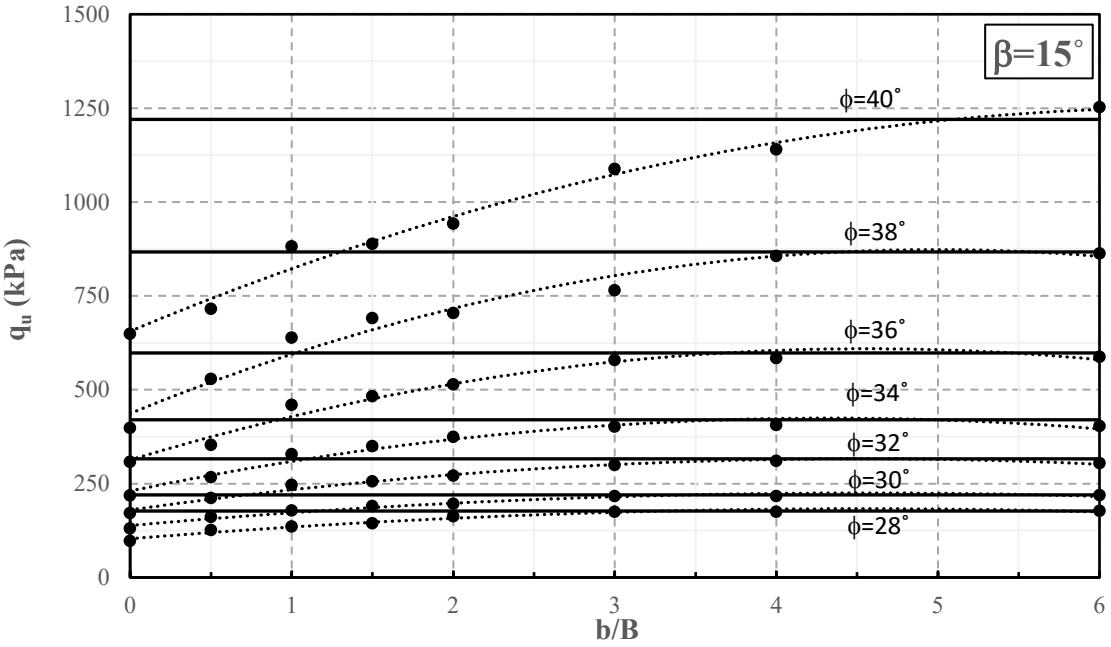

8000
6000
4000
2000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

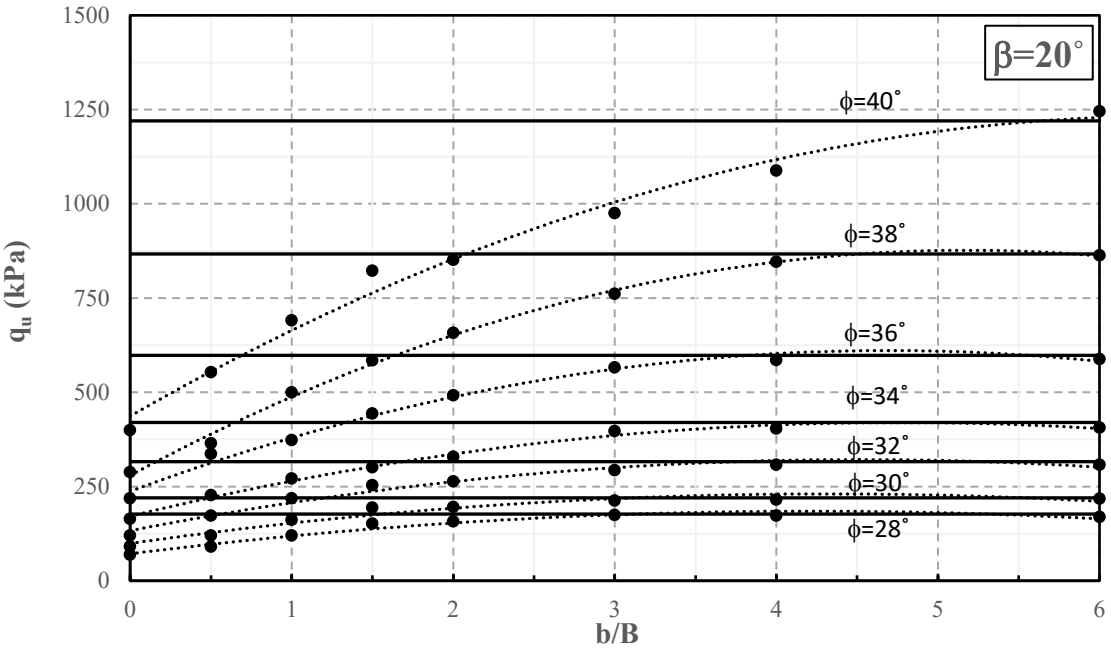

8000
6000
4000
2000
0
q_u (kPa)
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

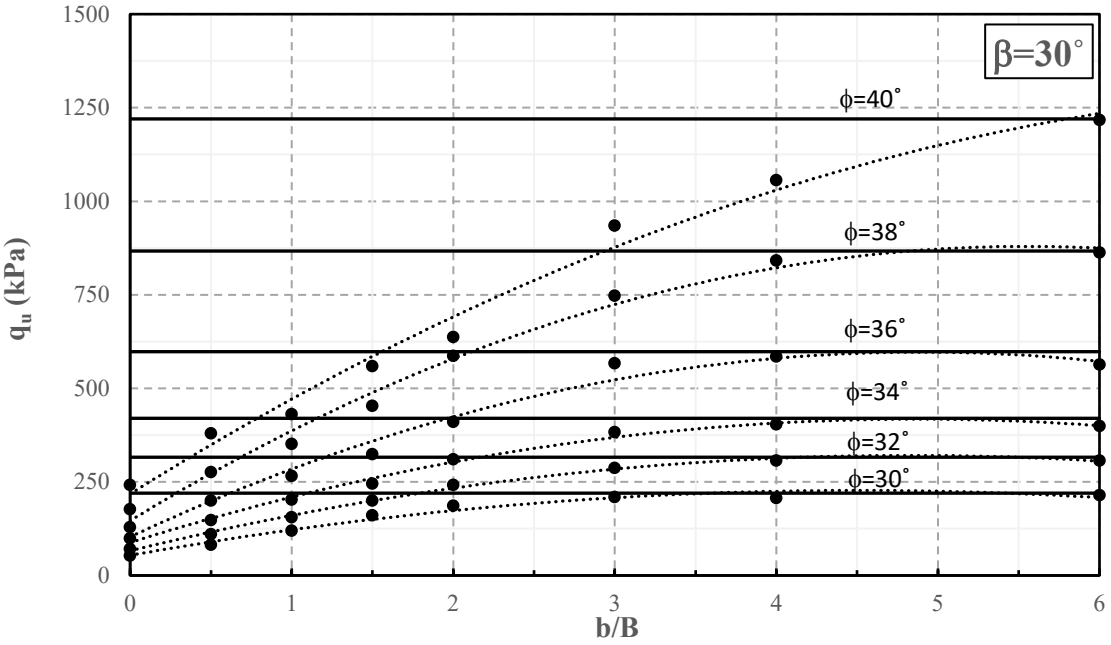


Ek Şekil 12. Farklı β, B ve ϕ için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1)

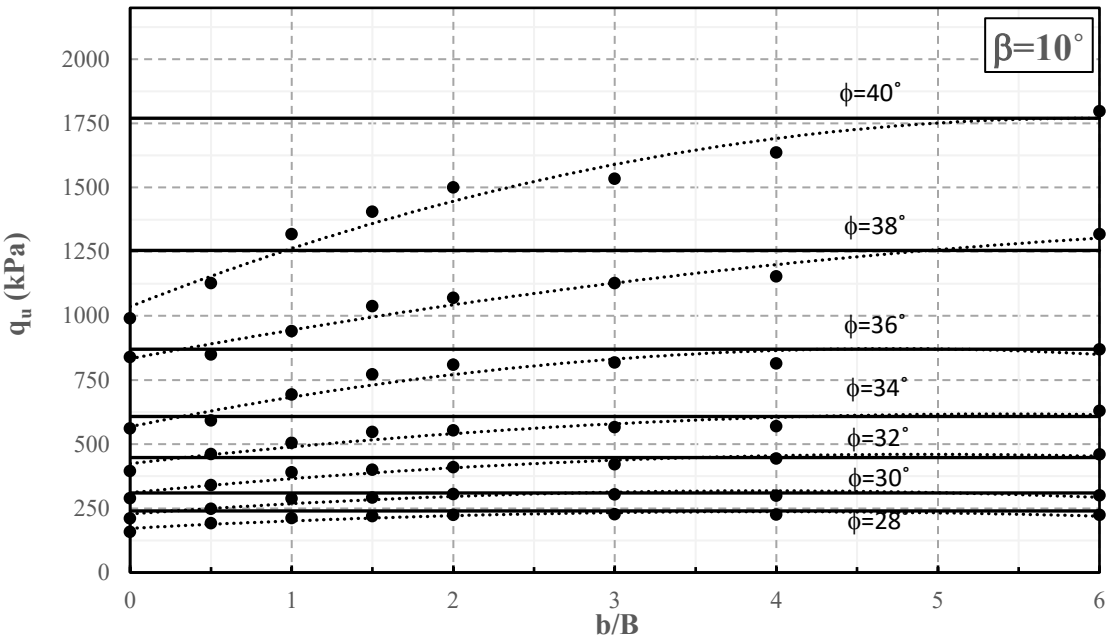


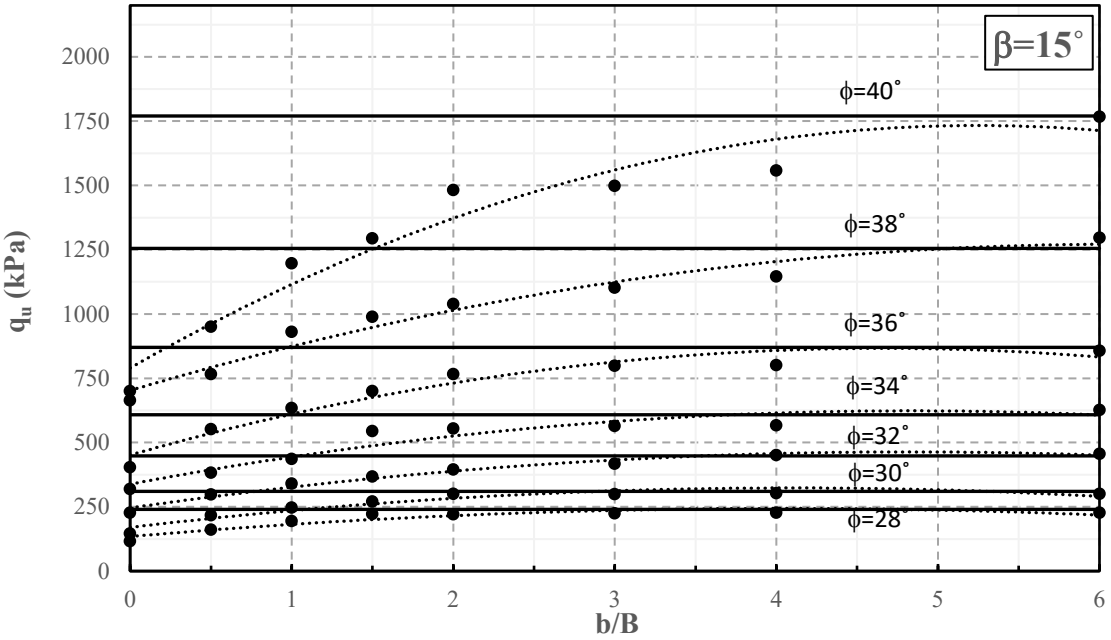

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
250
500
750
1000
1250
1500
0
1
2
3
4
5
6

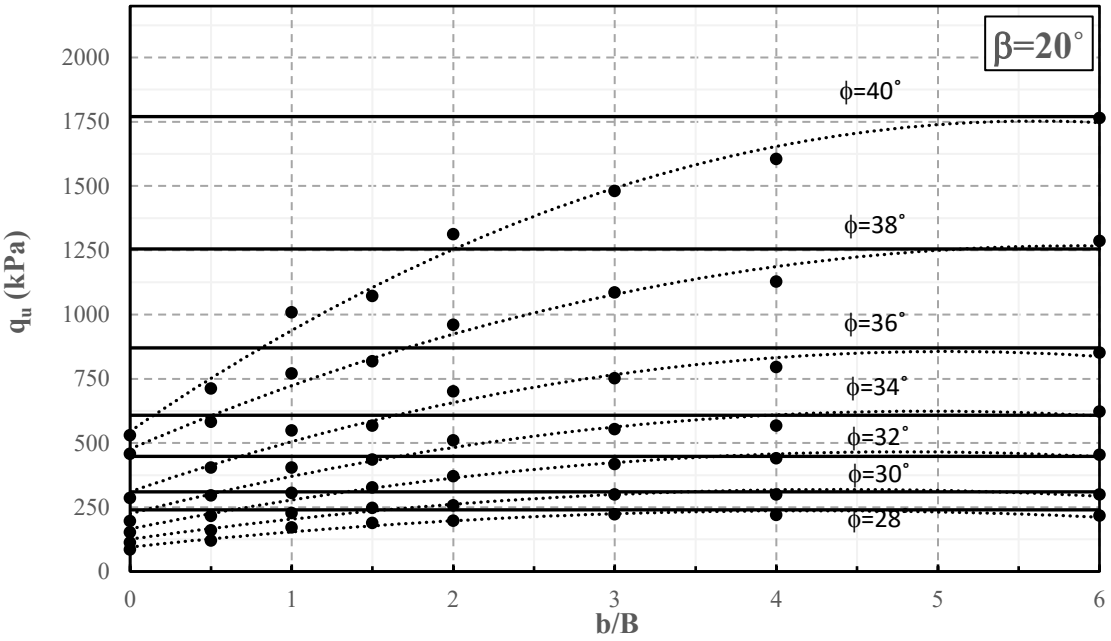

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
250
500
750
1000
1250
1500
0
1
2
3
4
5
6

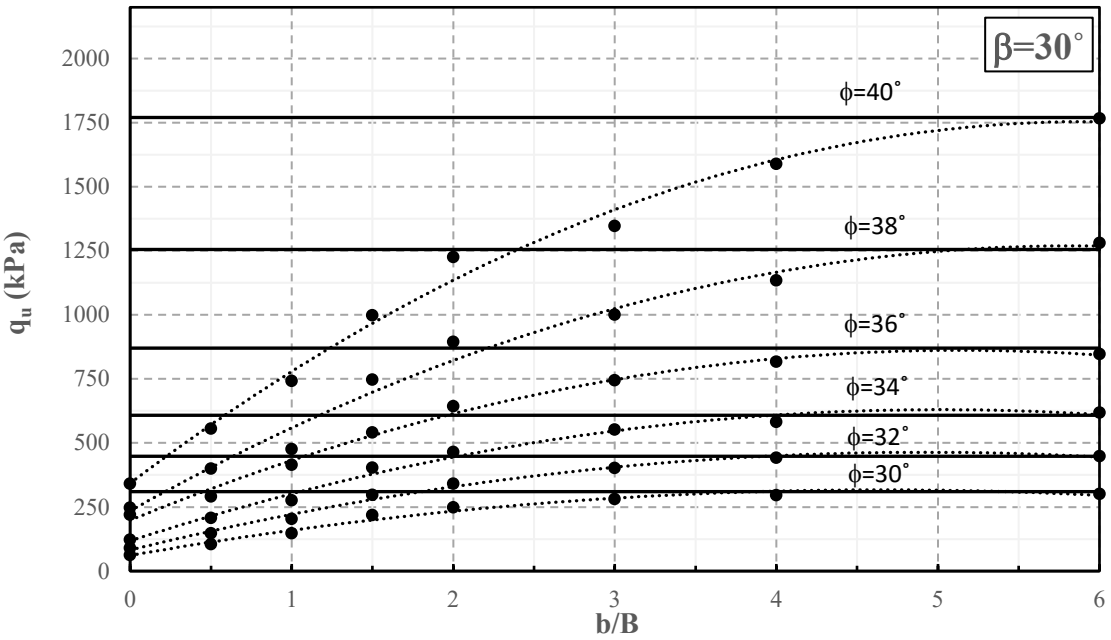


Ek Şekil 13. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 m)

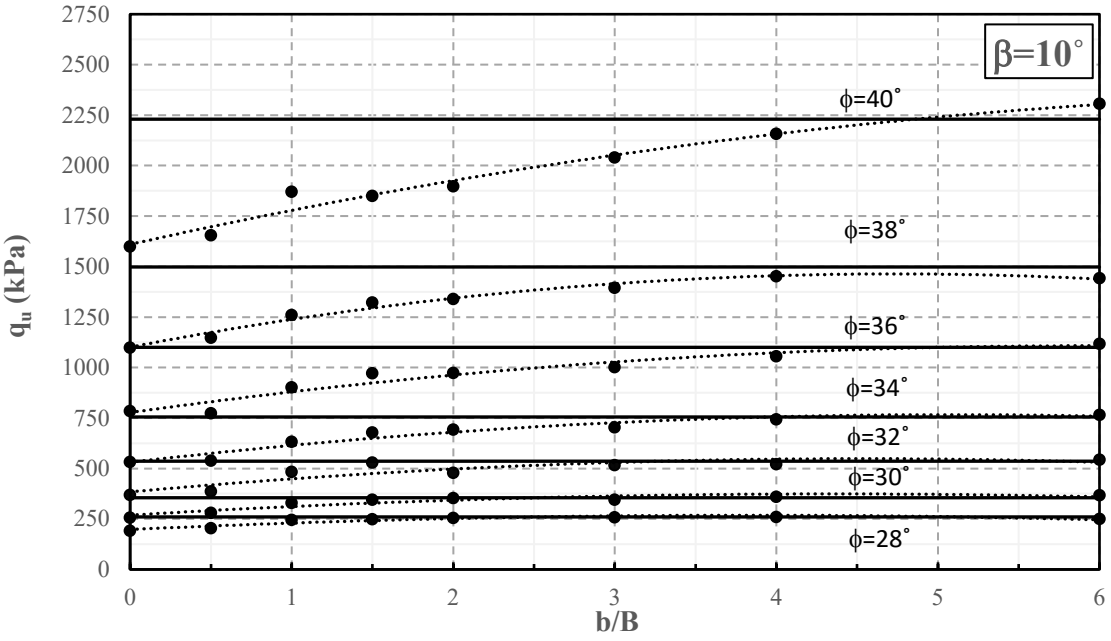


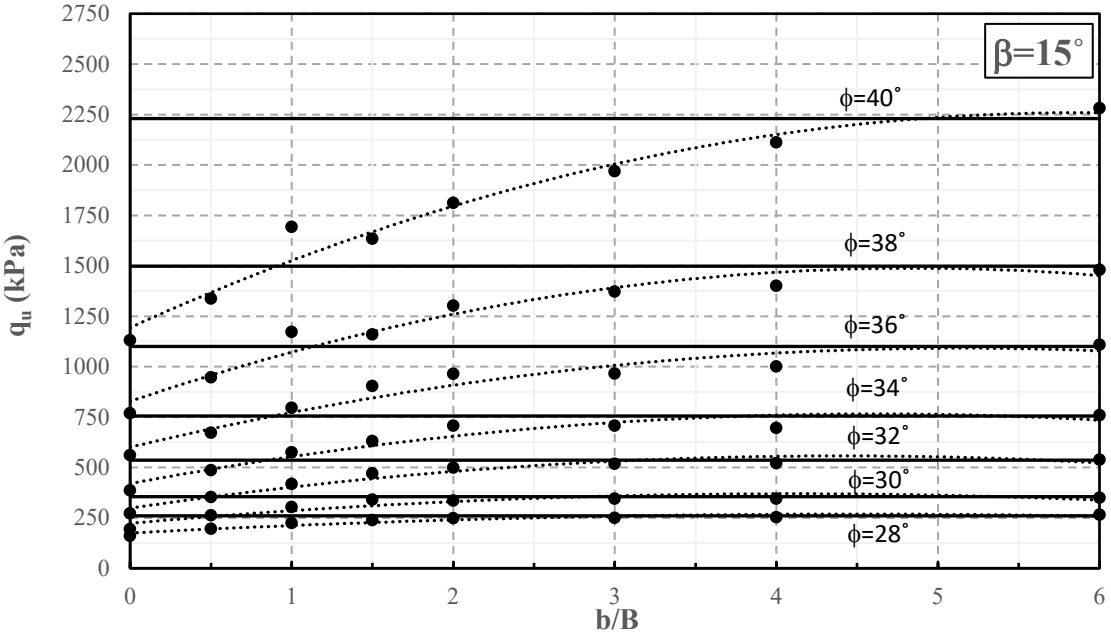

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
250
500
750
1000
1250
1500
1750
2000
0
1
2
3
4
5
6

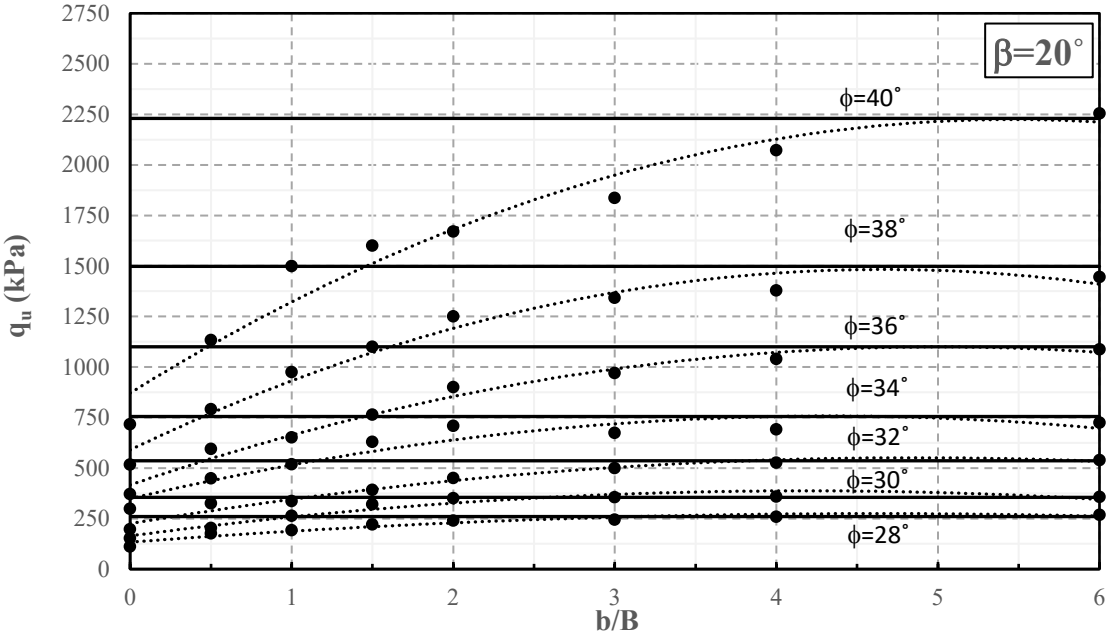

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
250
500
750
1000
1250
1500
1750
2000
0
1
2
3
4
5
6

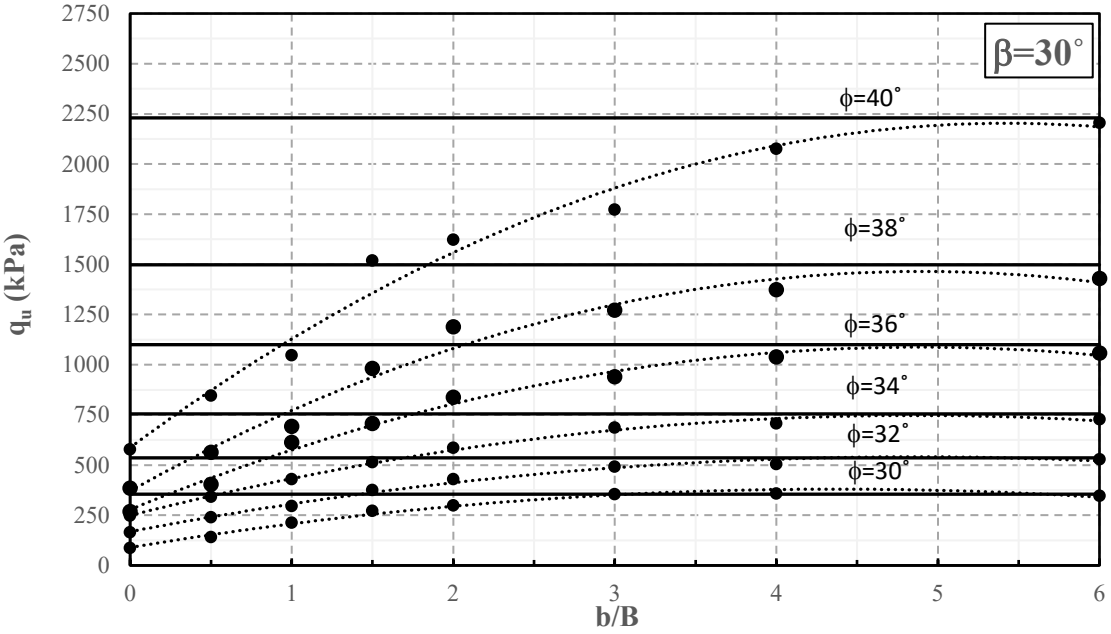


Ek Şekil 14. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 m)

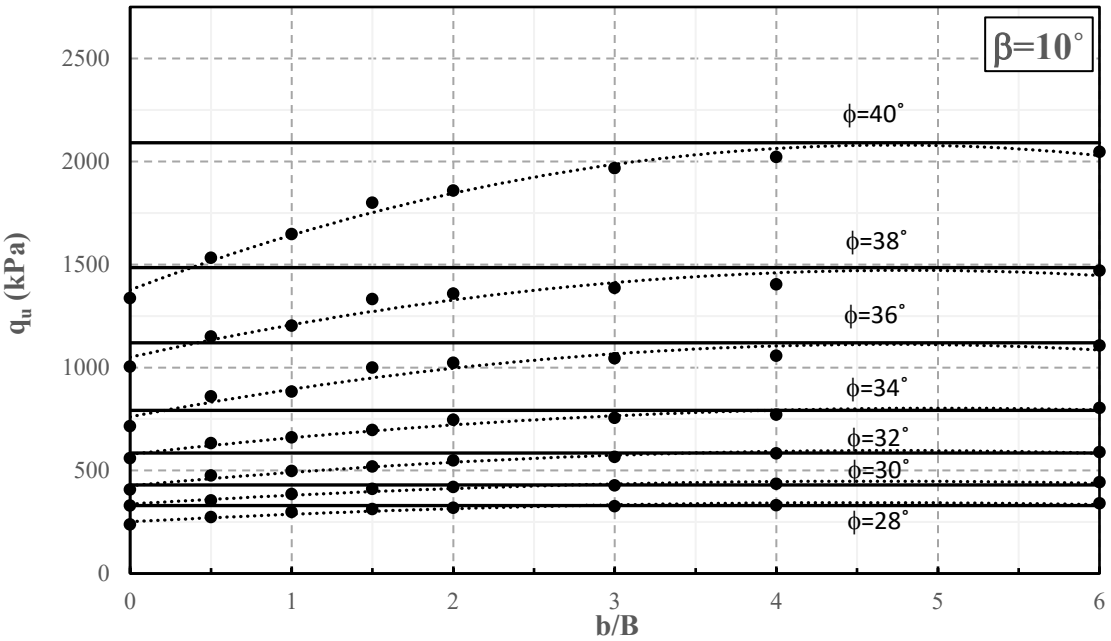


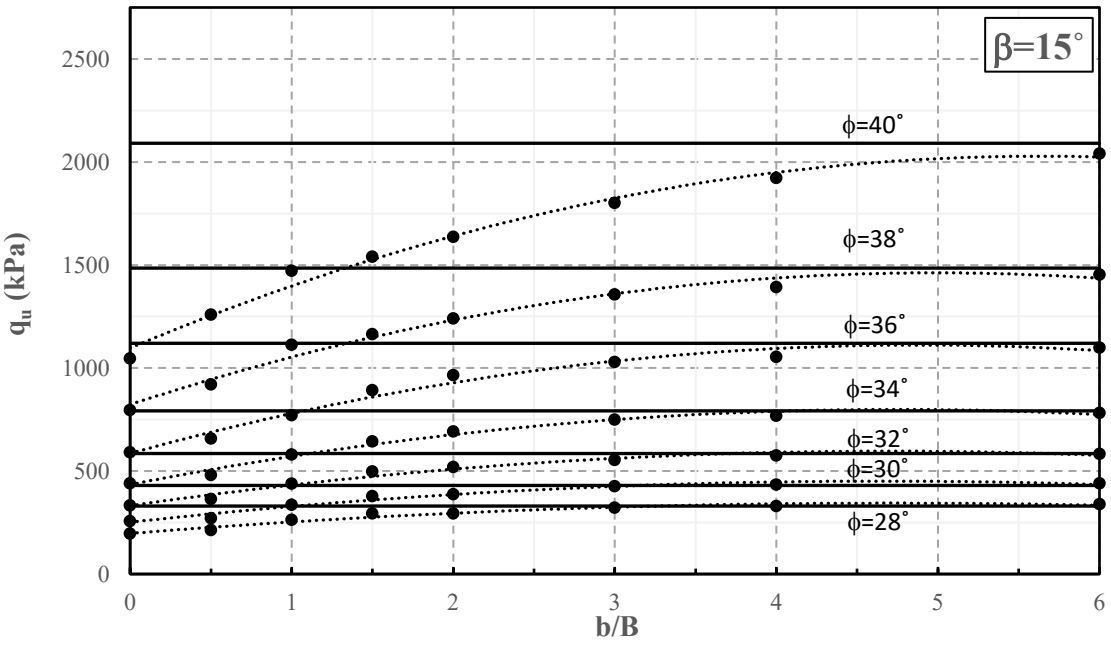

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
250
500
750
1000
1250
1500
1750
2000
2250
2500
2750
0
1
2
3
4
5
6

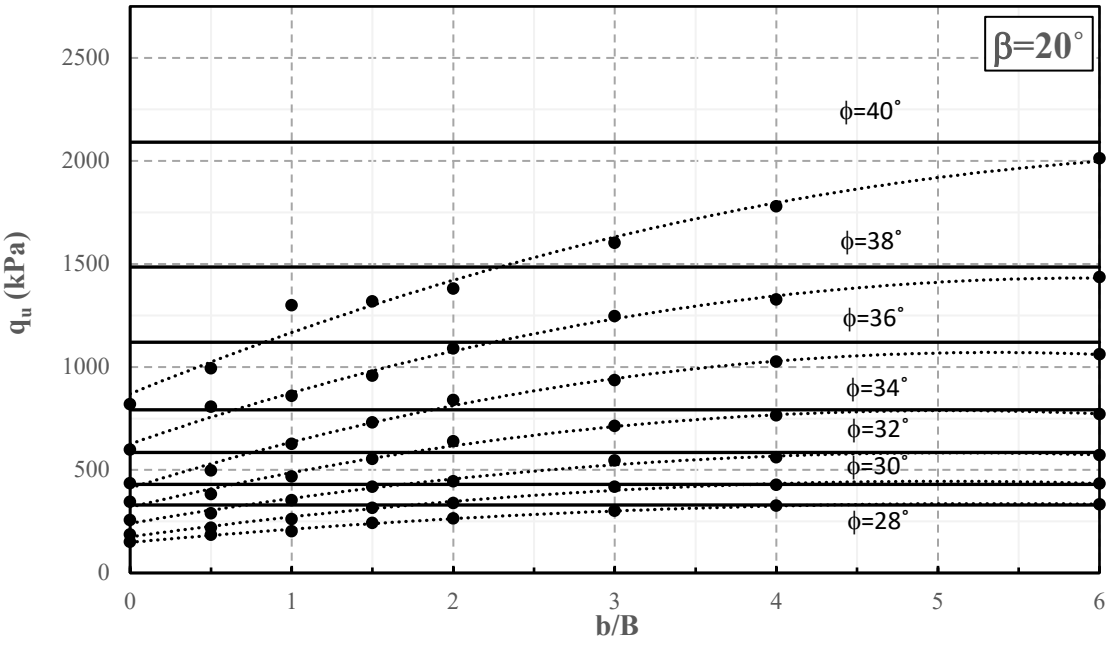

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
250
500
750
1000
1250
1500
1750
2000
2250
2500
2750
0
1
2
3
4
5
6

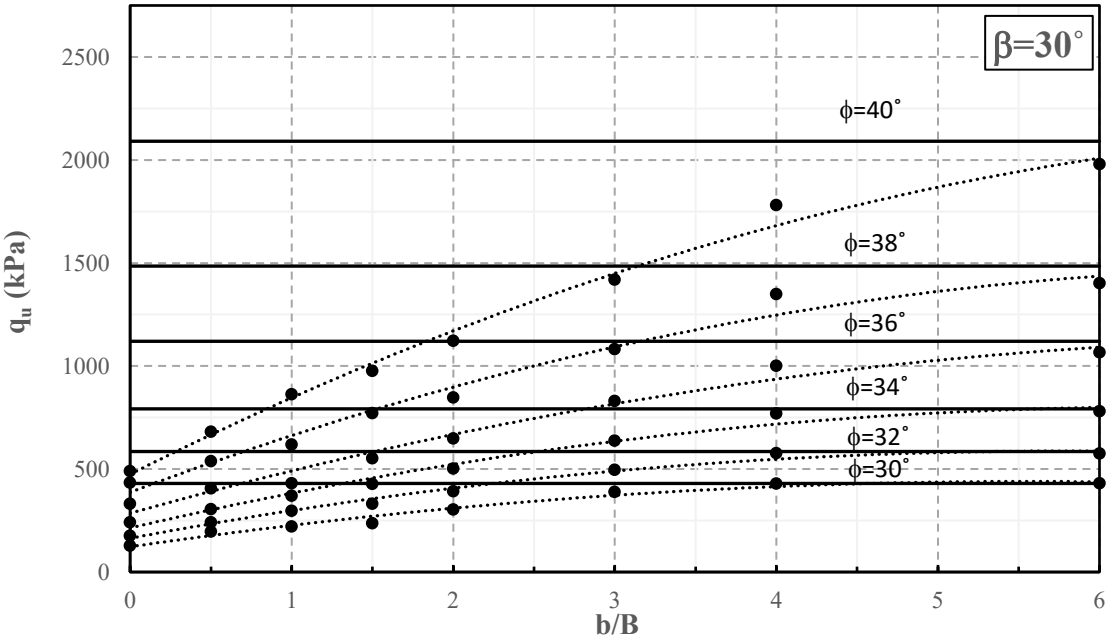


Ek Şekil 15. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 m)

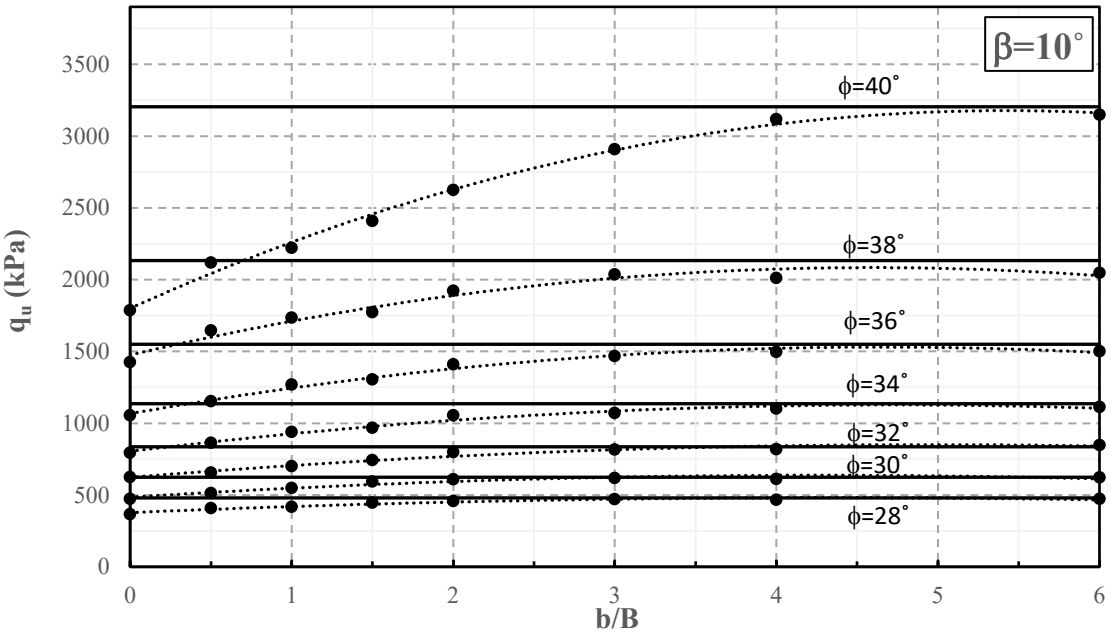


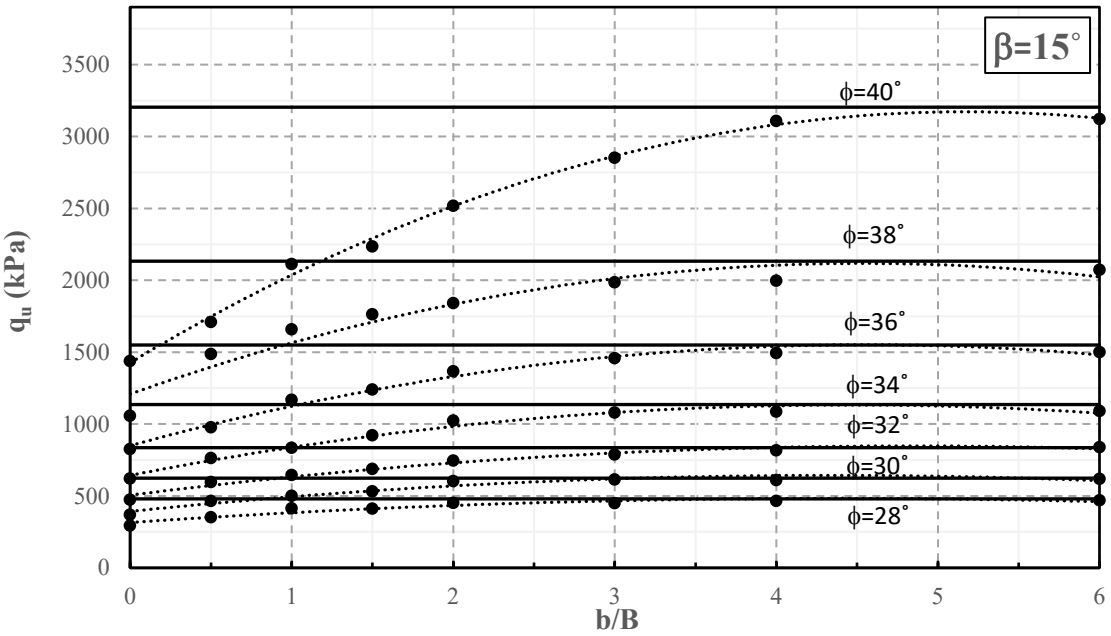

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
0
1
2
3
4
5
6

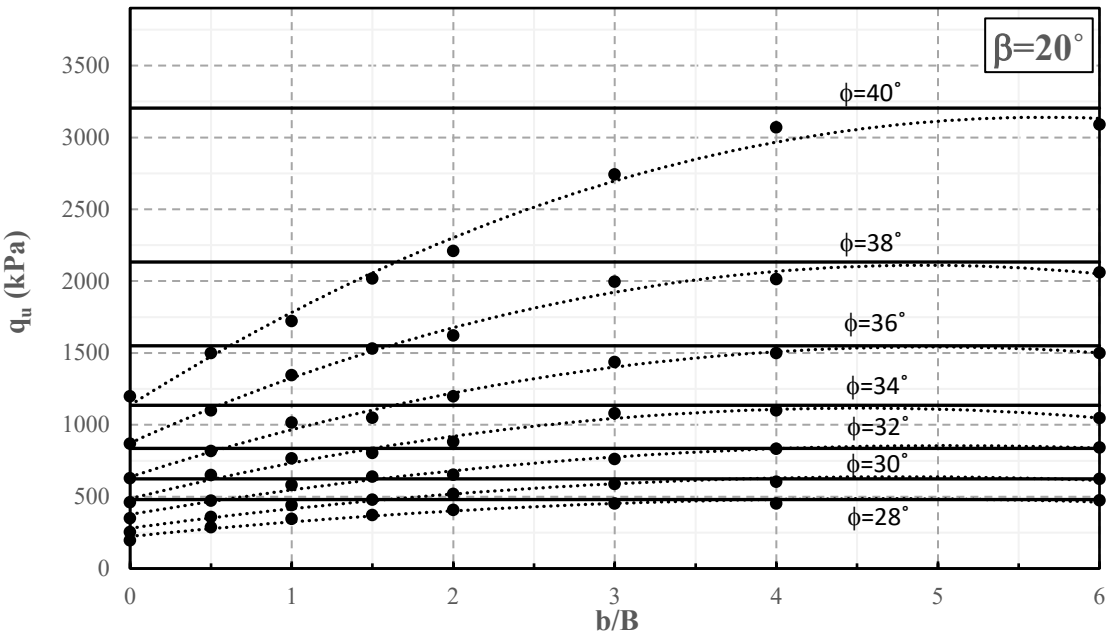

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
0
1
2
3
4
5
6

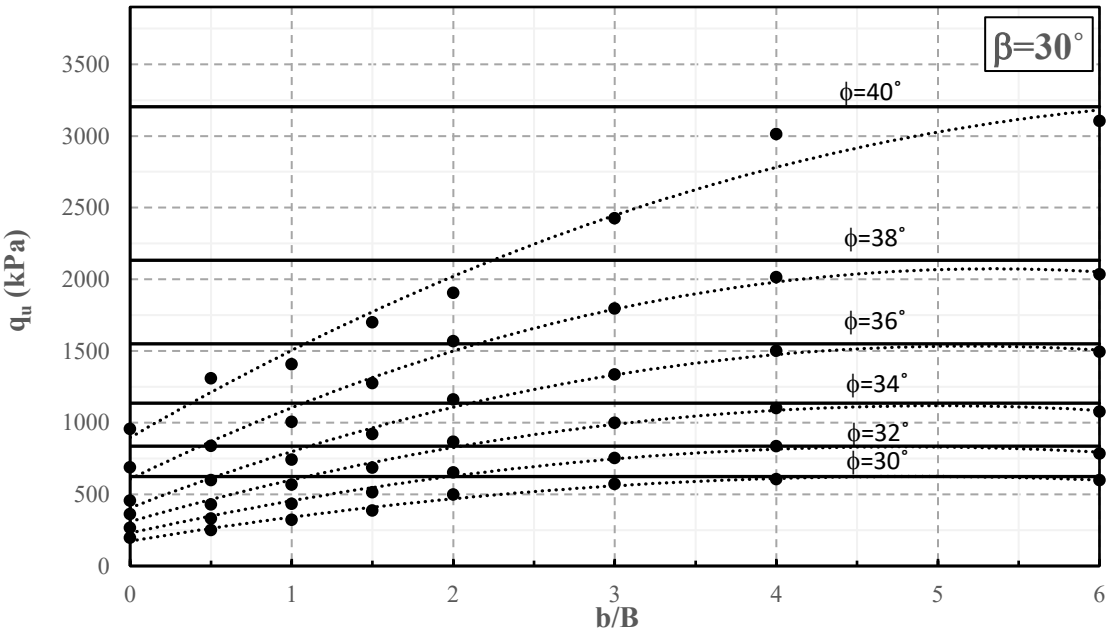


Ek Şekil 16. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 m)

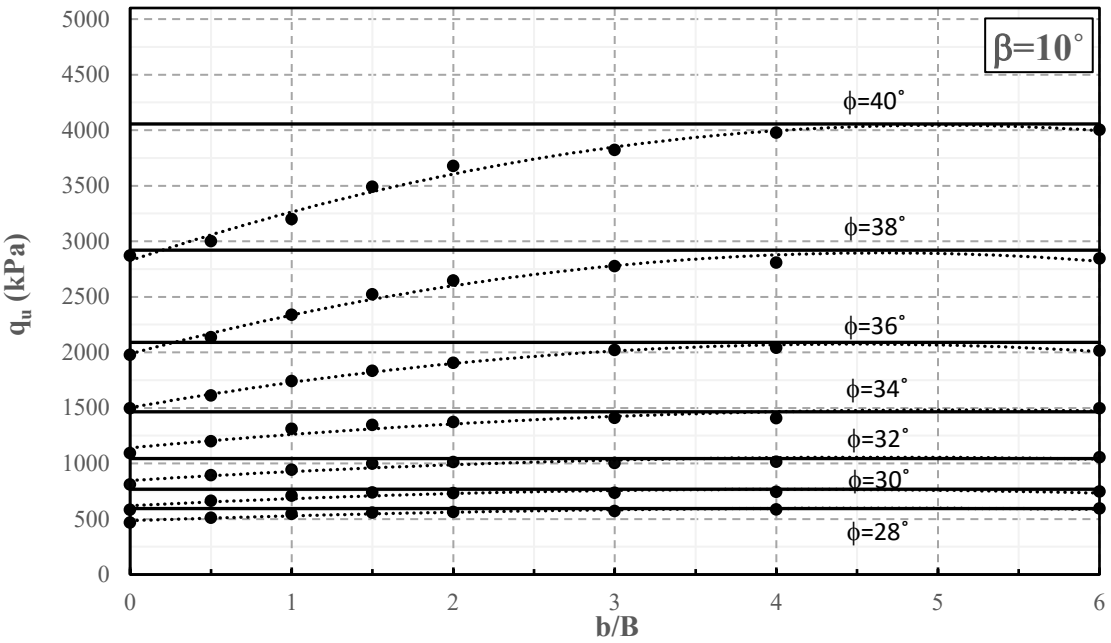


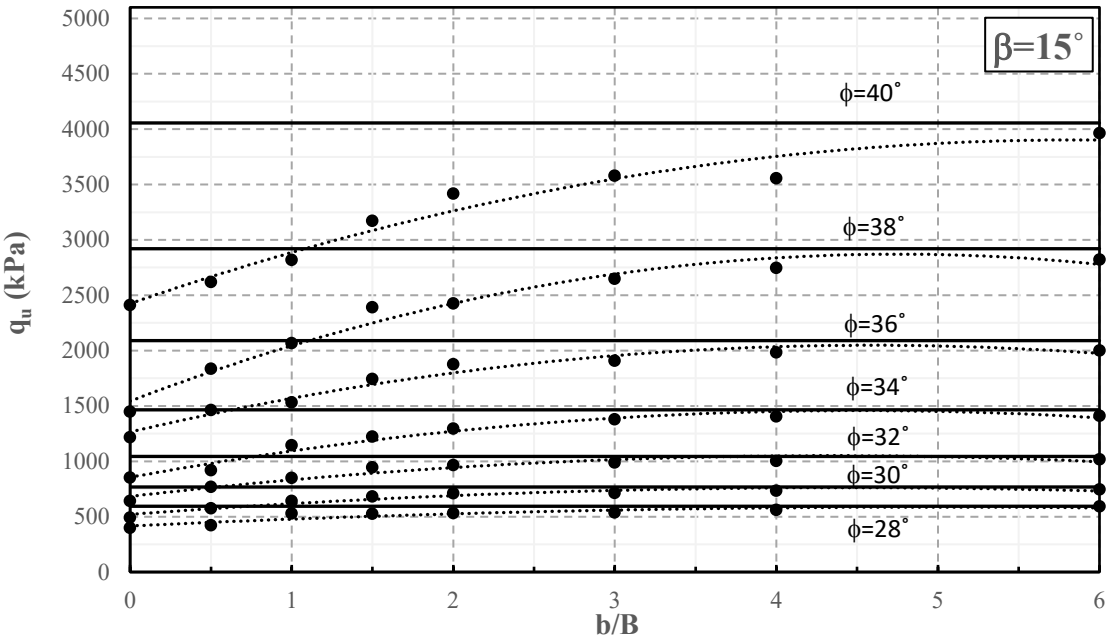

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
0
1
2
3
4
5
6

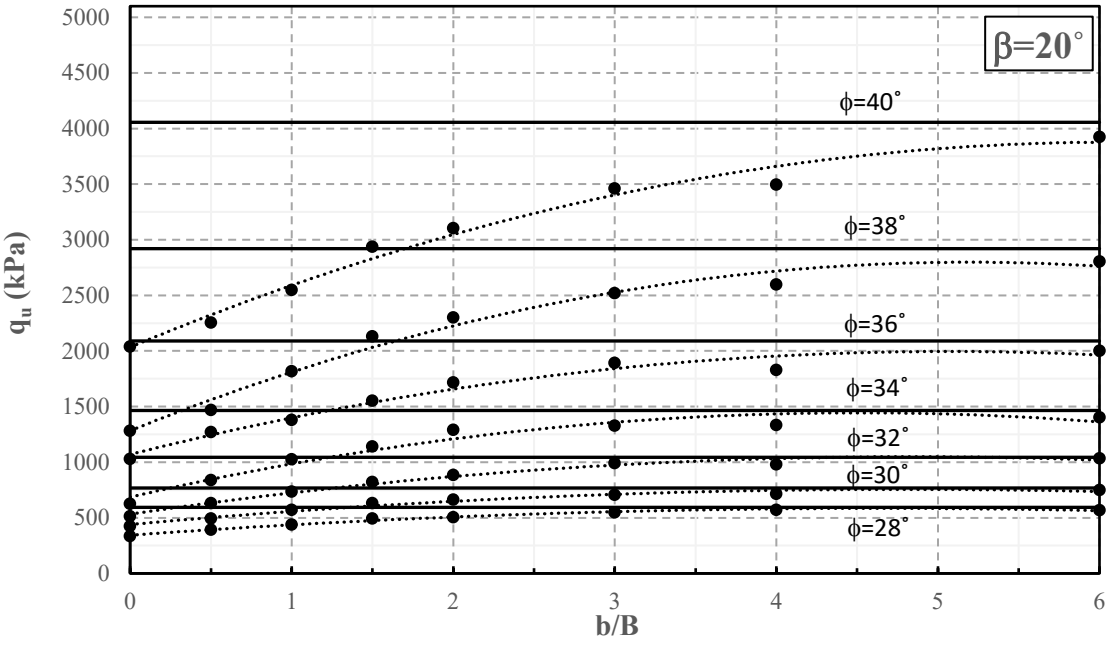

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
0
1
2
3
4
5
6

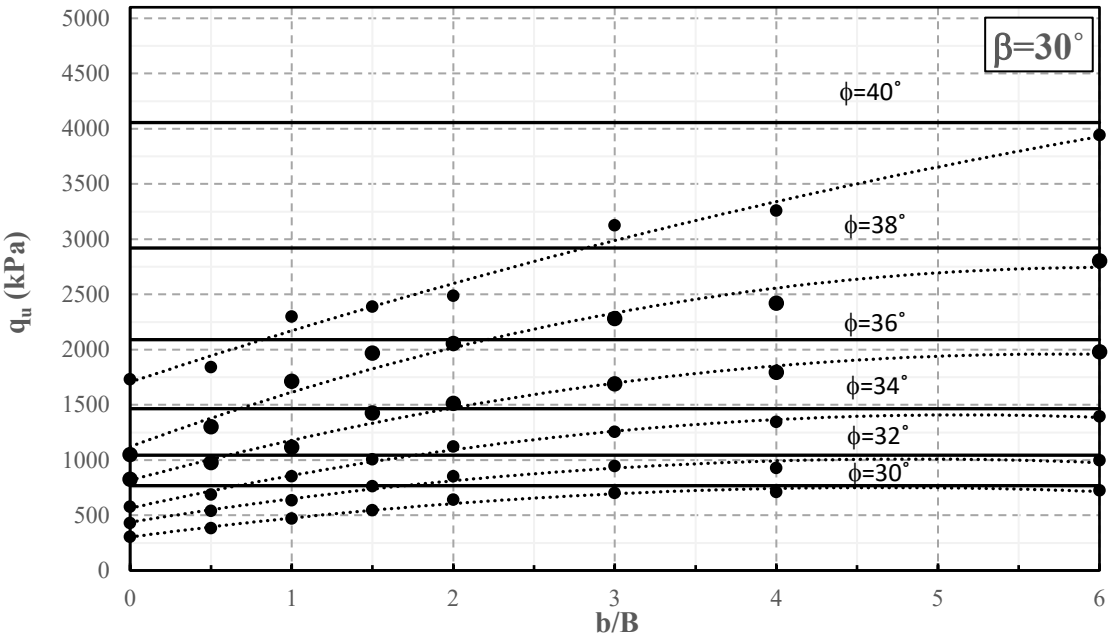


Ek Şekil 17. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 m)

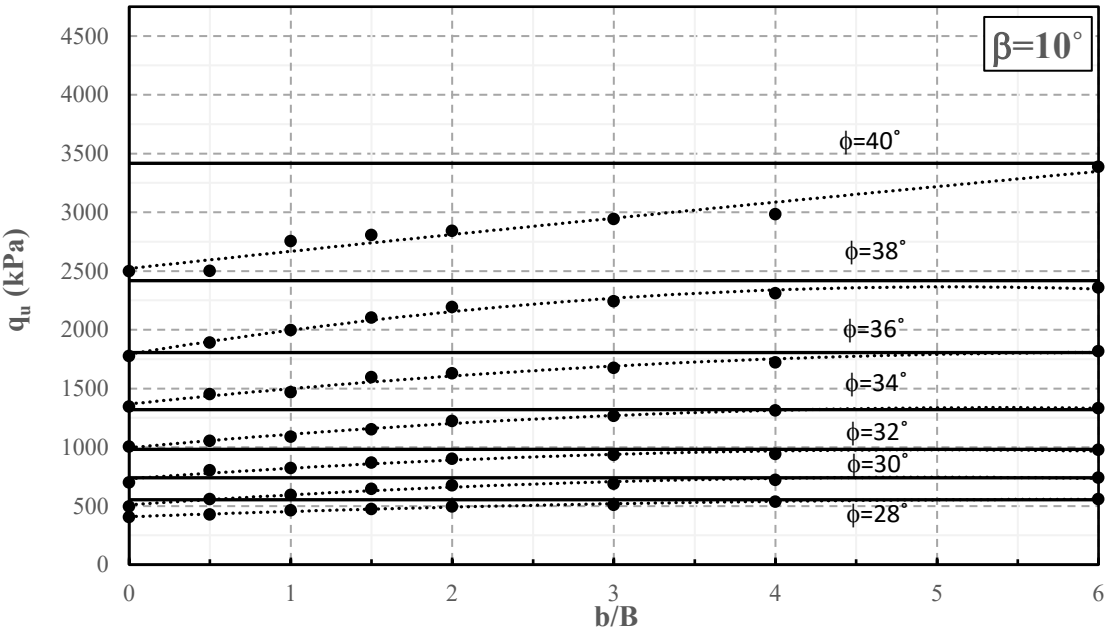


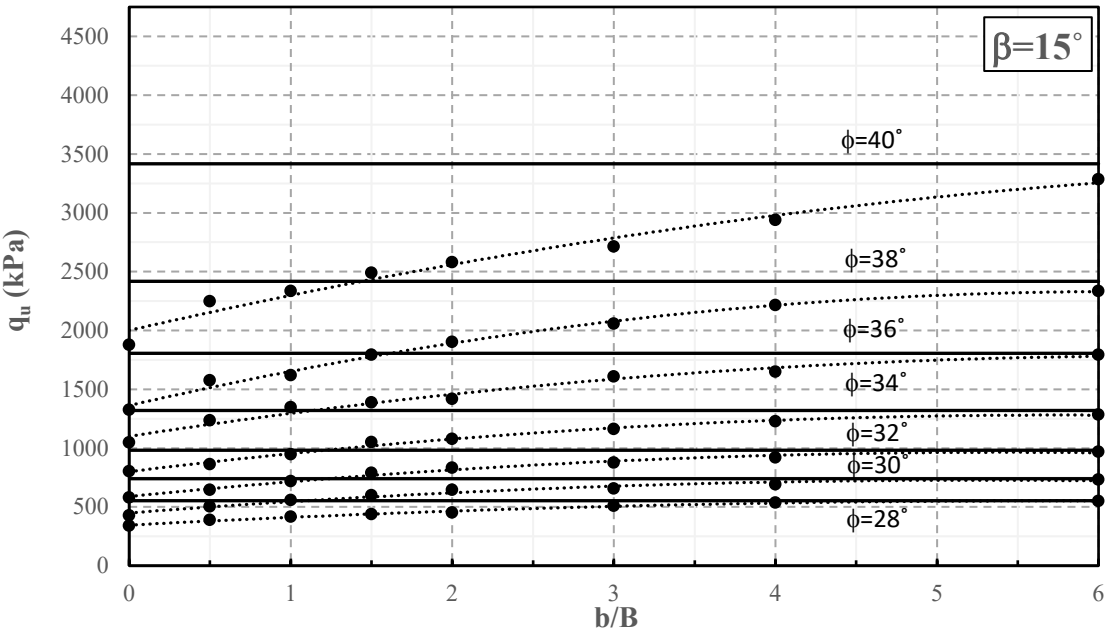

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
0
1
2
3
4
5
6

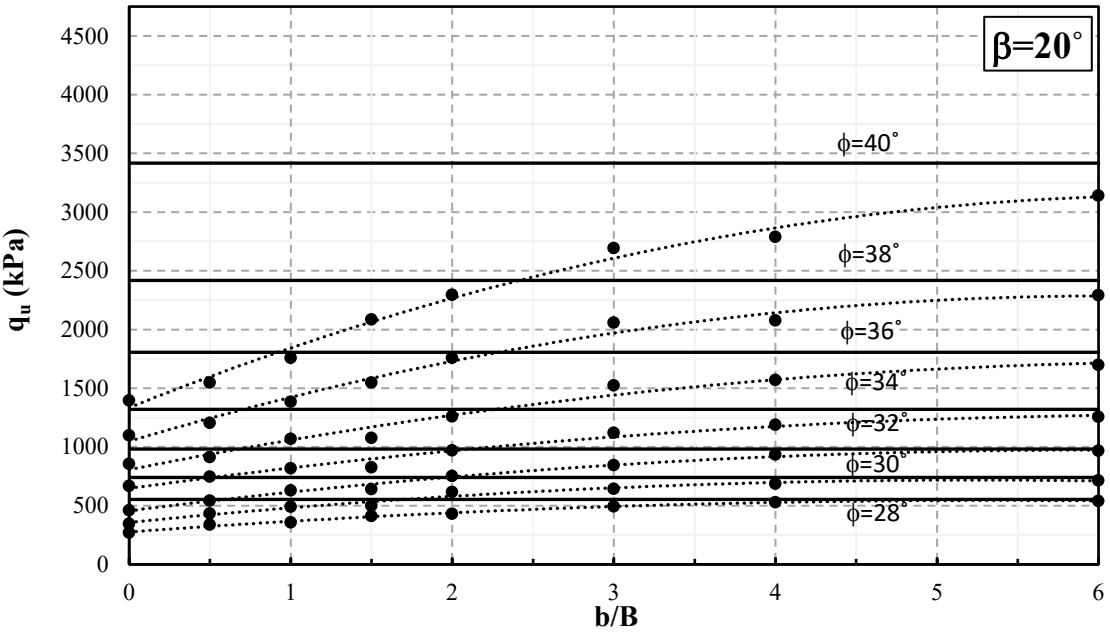

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
5000
0
1
2
3
4
5
6

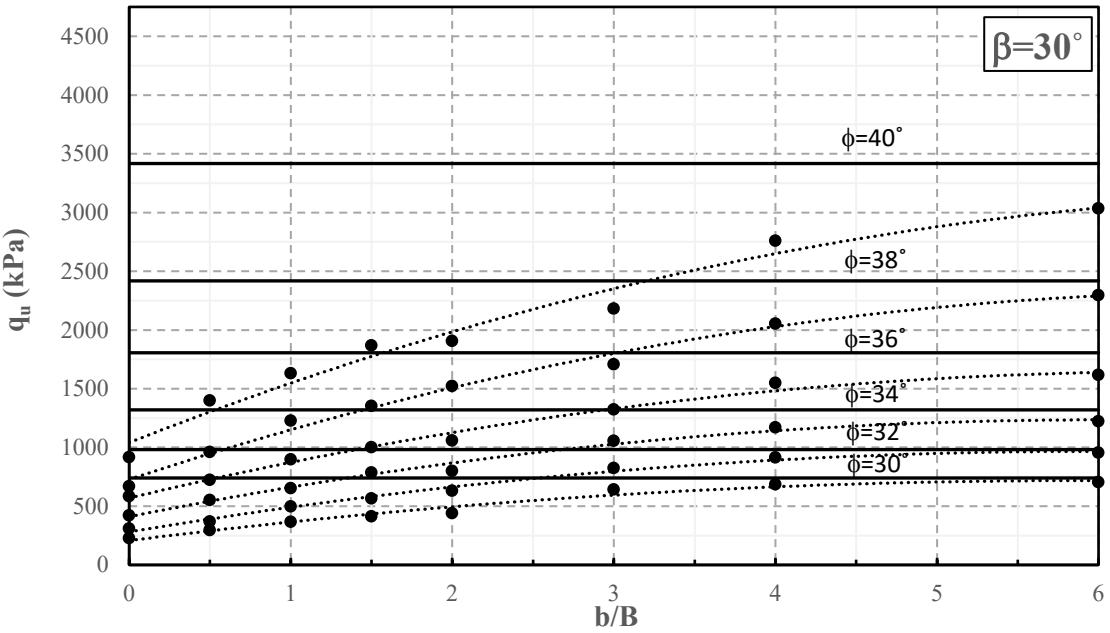


Ek Şekil 18. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 m)

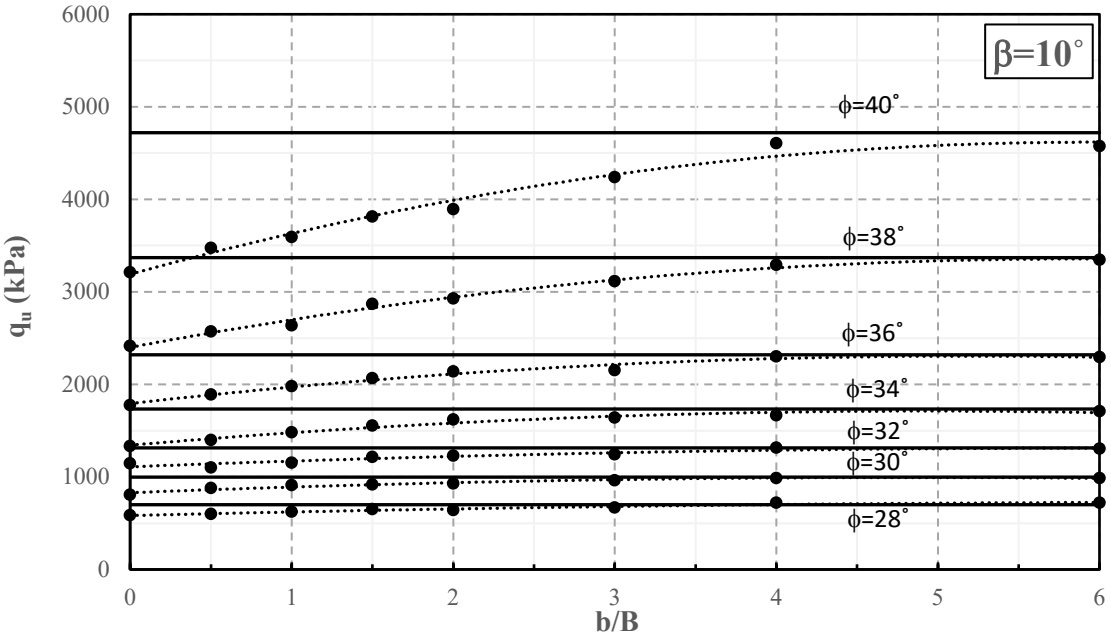


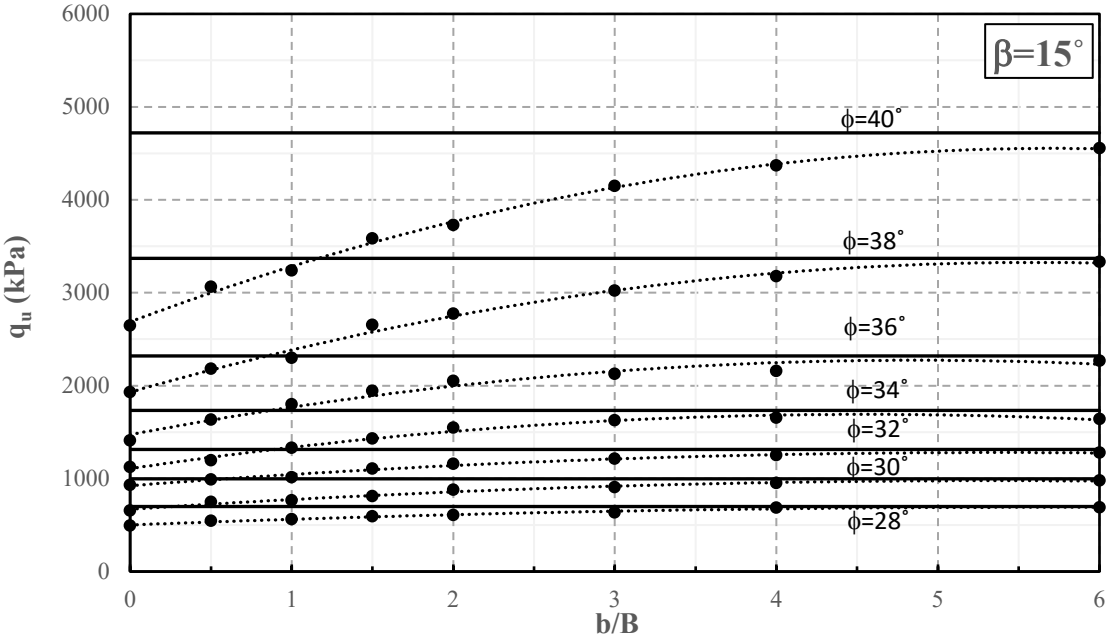

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
0
1
2
3
4
5
6

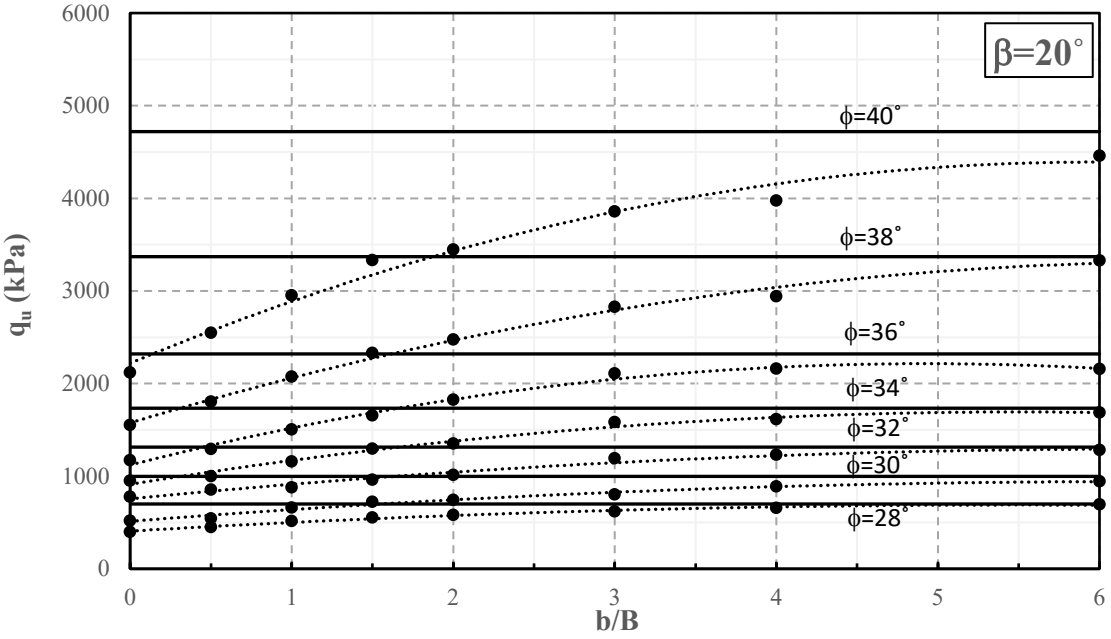

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
4000
4500
0
1
2
3
4
5
6

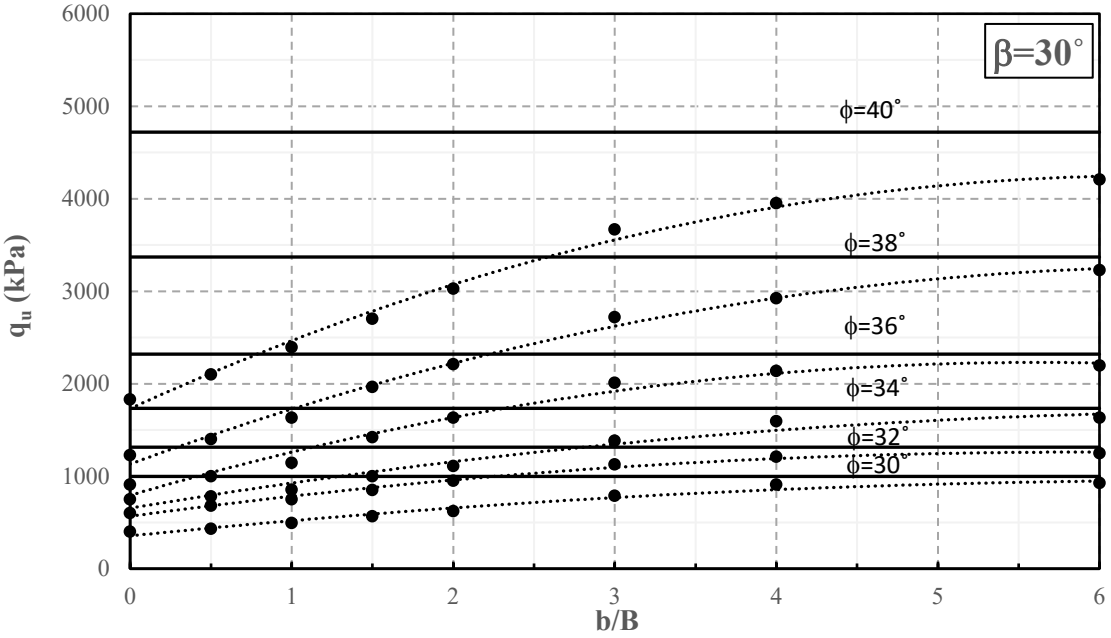


Ek Şekil 19. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 m)

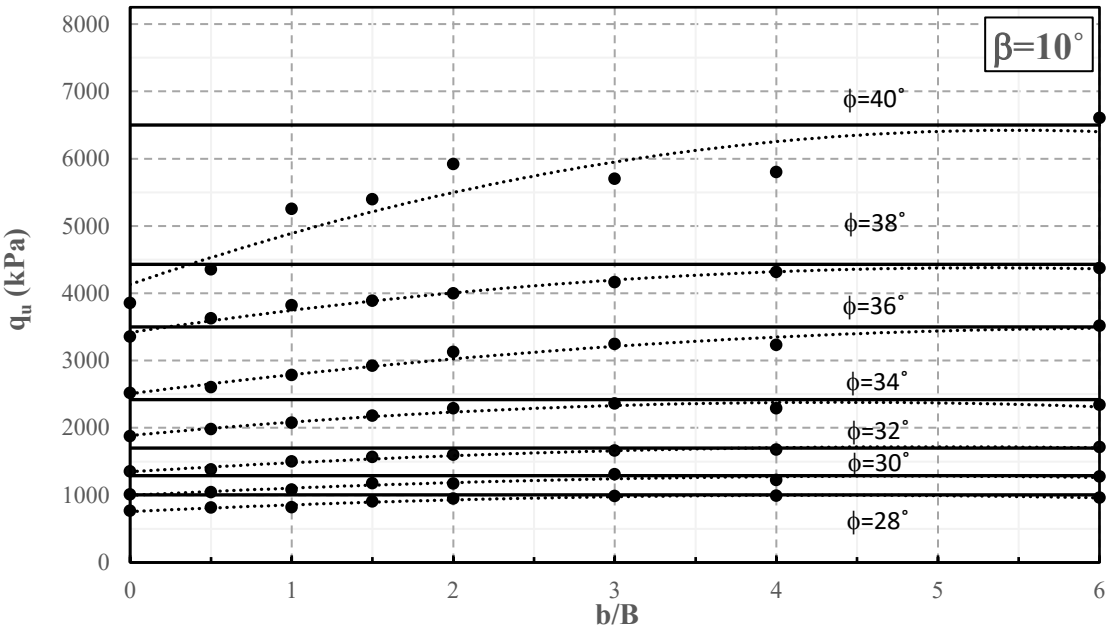


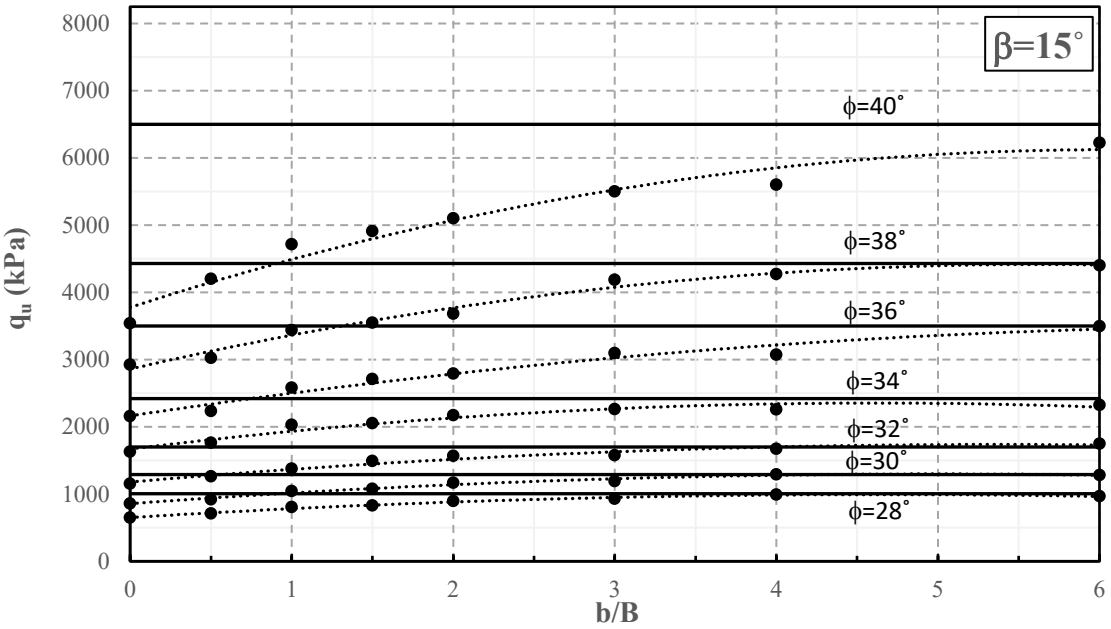

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
0
1
2
3
4
5
6

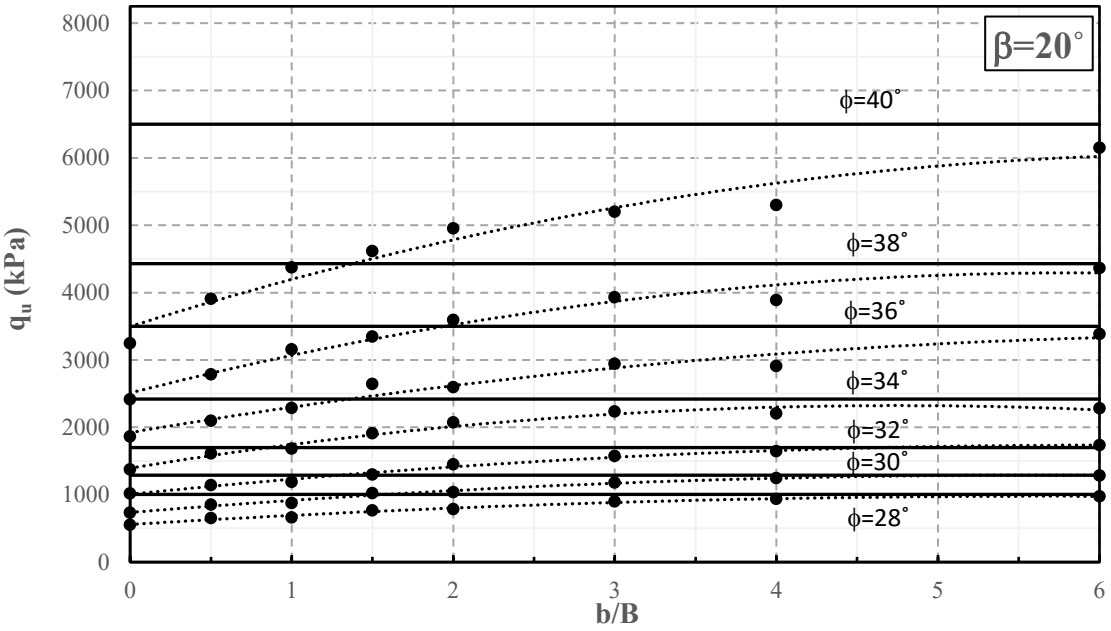

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
0
1
2
3
4
5
6

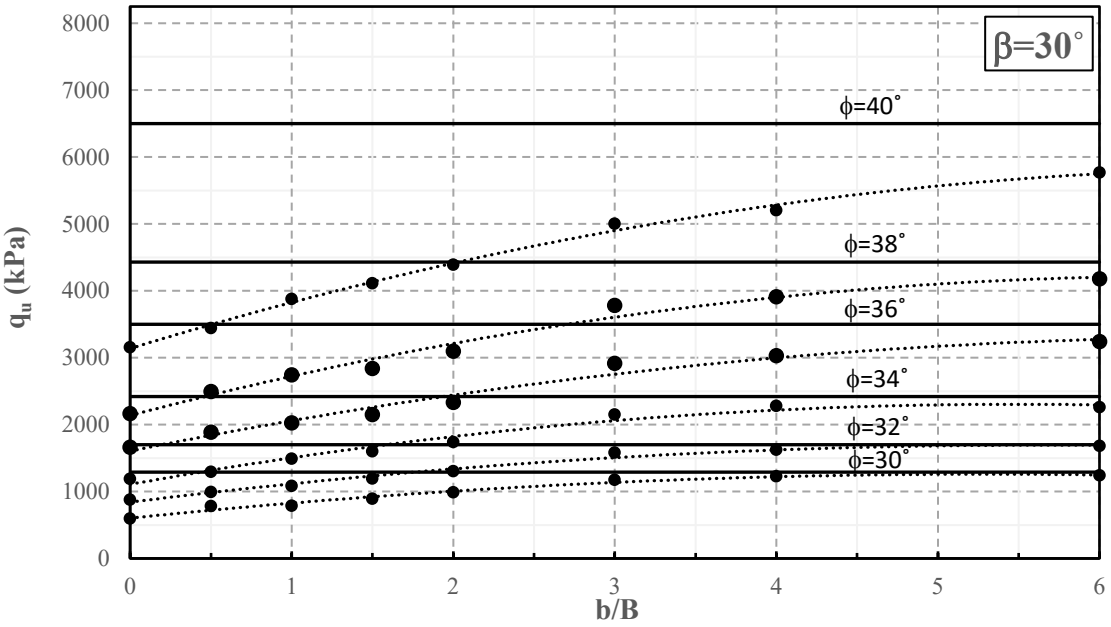


Ek Şekil 20. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 m)

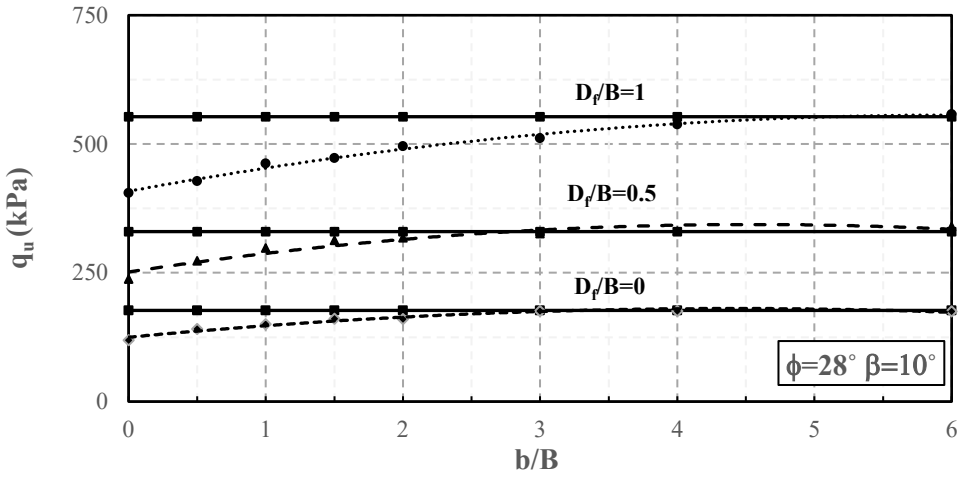


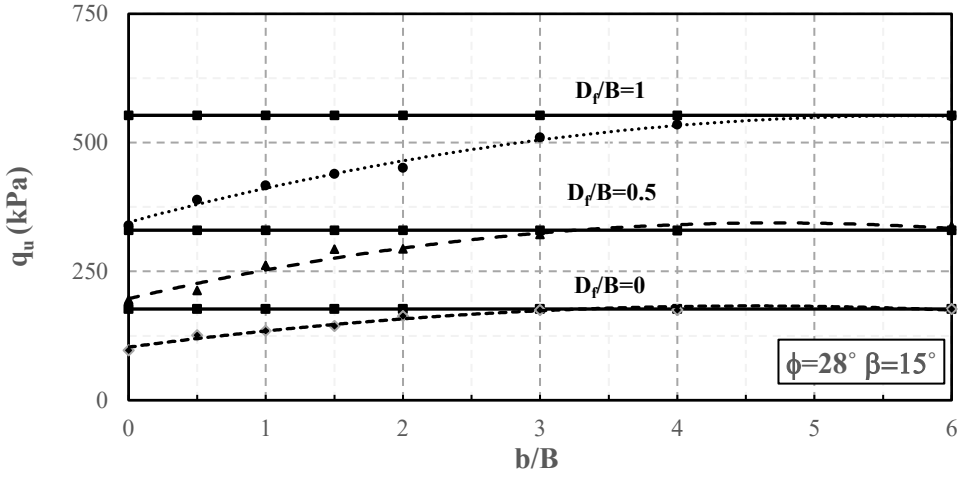

β=15°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
0
1
2
3
4
5
6

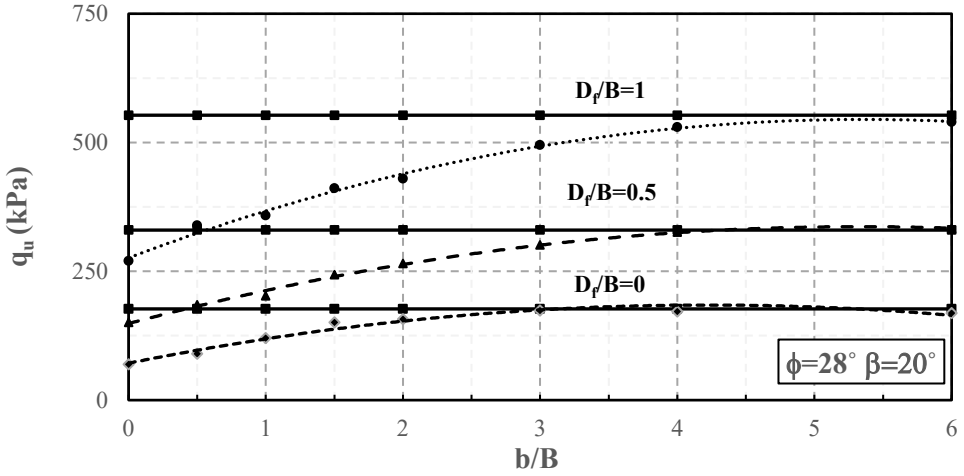

β=20°
ϕ=40°
ϕ=38°
ϕ=36°
ϕ=34°
ϕ=32°
ϕ=30°
ϕ=28°
q_u (kPa)
b/B
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
0
1
2
3
4
5
6

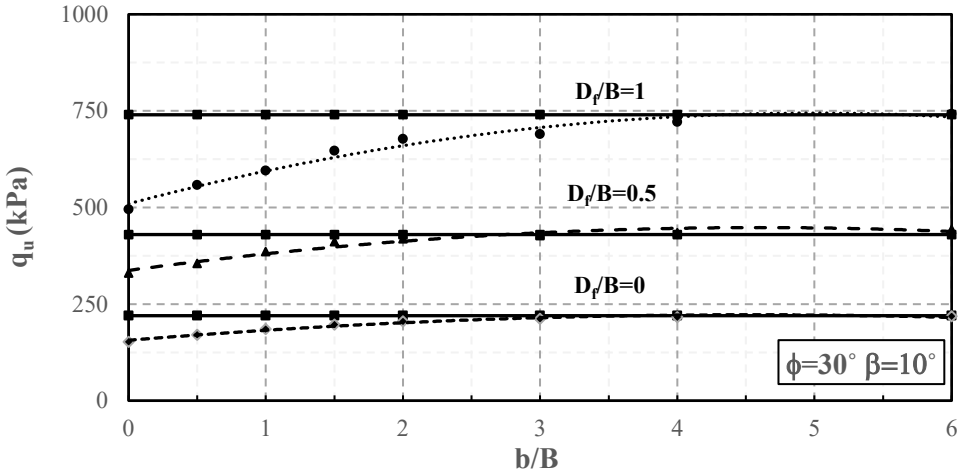


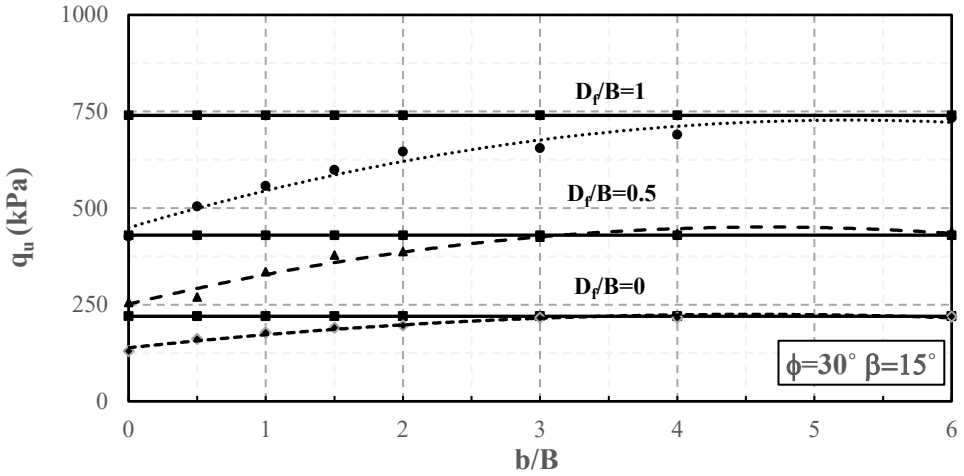
Ek Şekil 21. Farklı ϕ ve β için q_u-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 m)

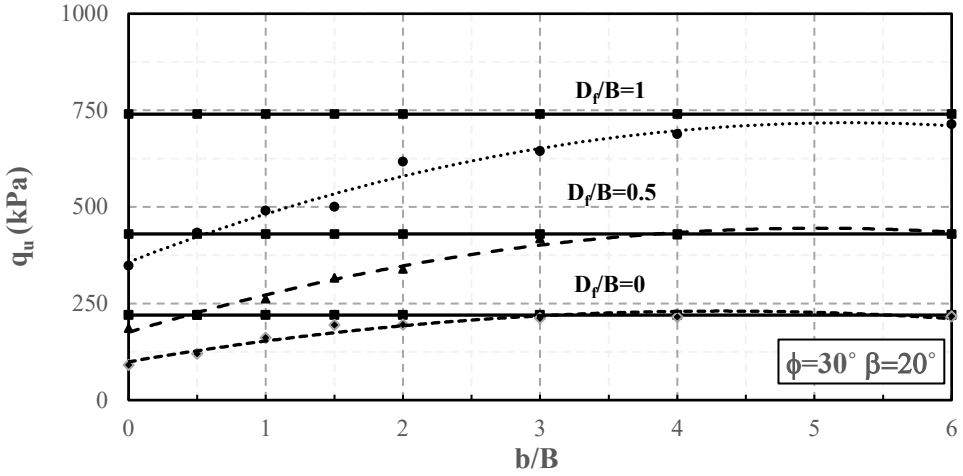


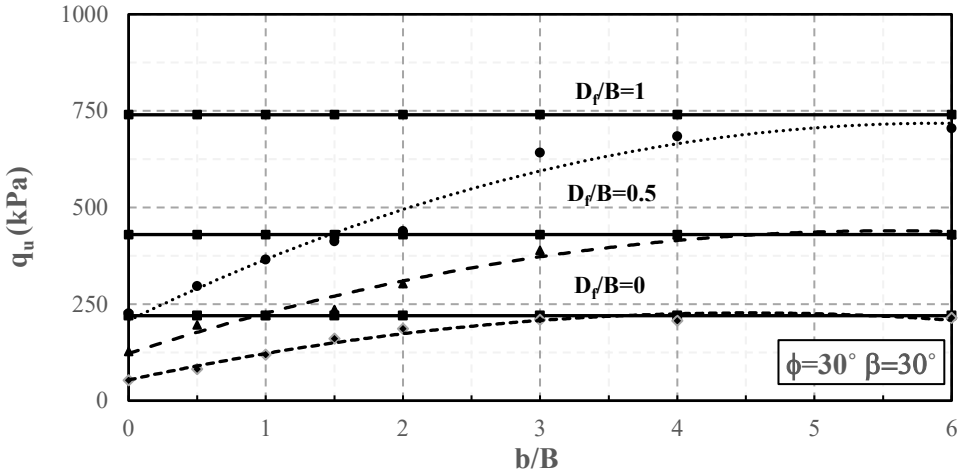


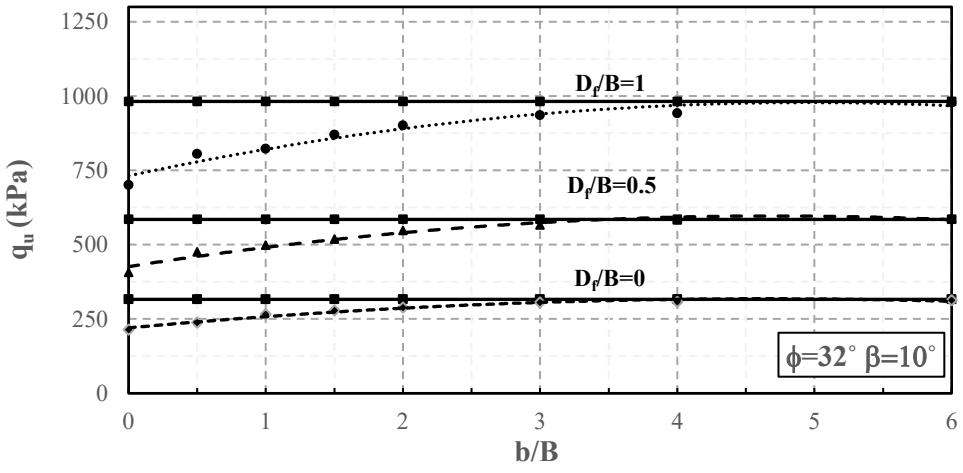

750
500
250
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

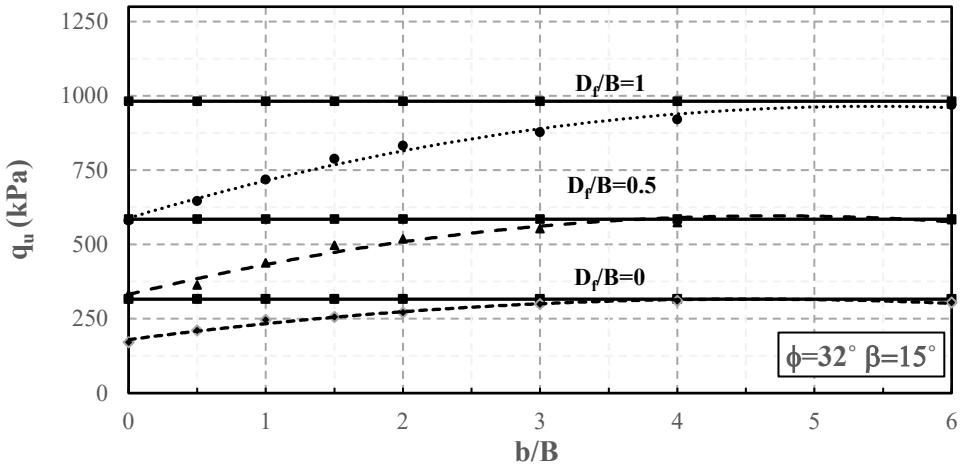

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

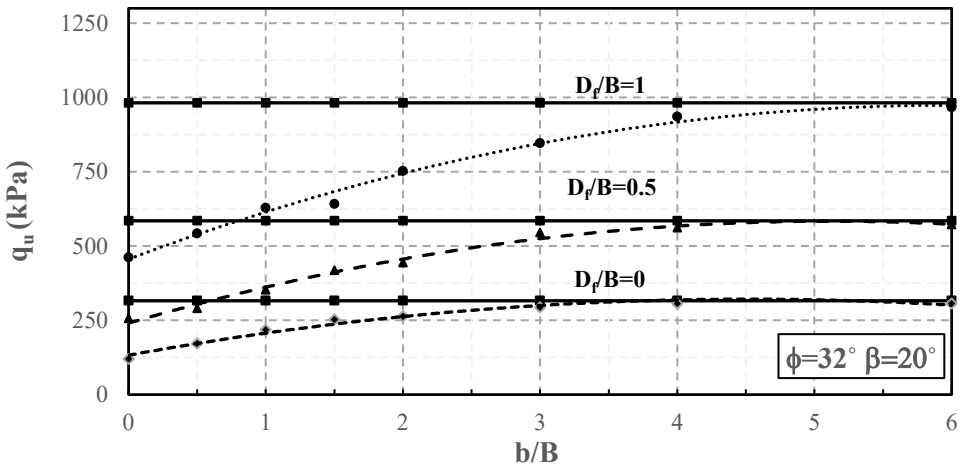

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

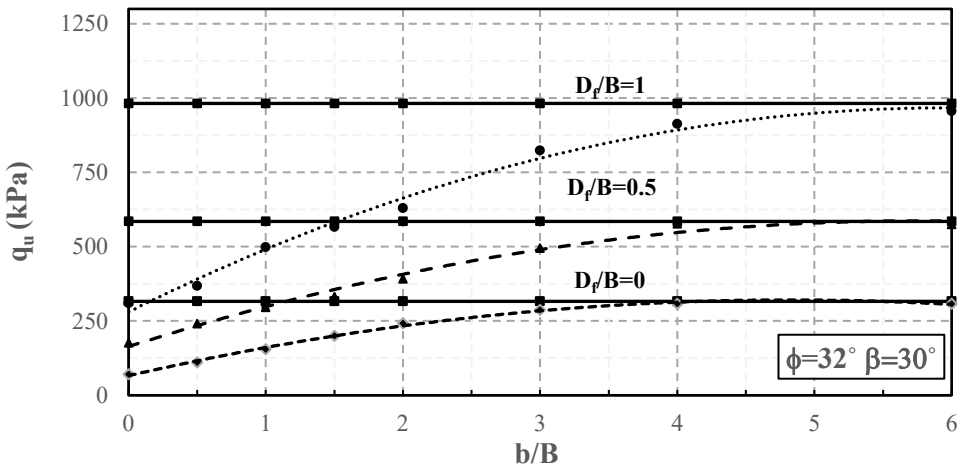

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
D_f/B=1
D_f/B=0.5
D_f/B=0
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

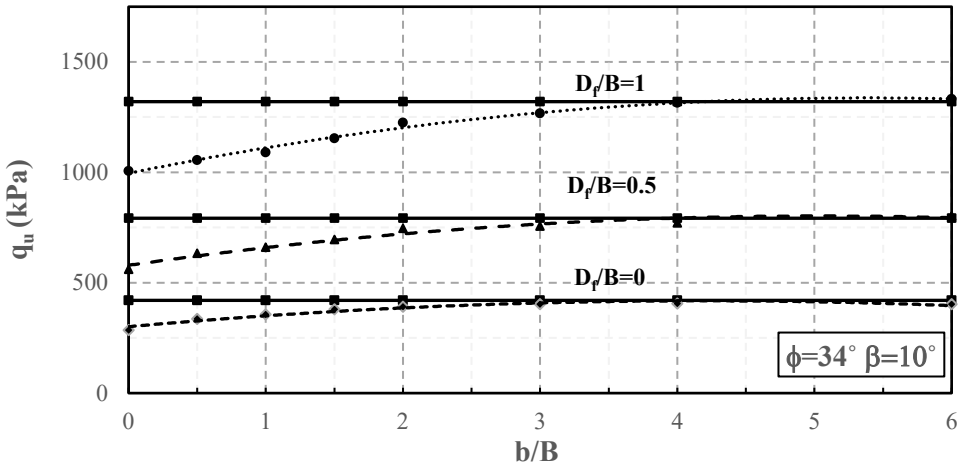

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
D_f/B=1
D_f/B=0.5
D_f/B=0
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

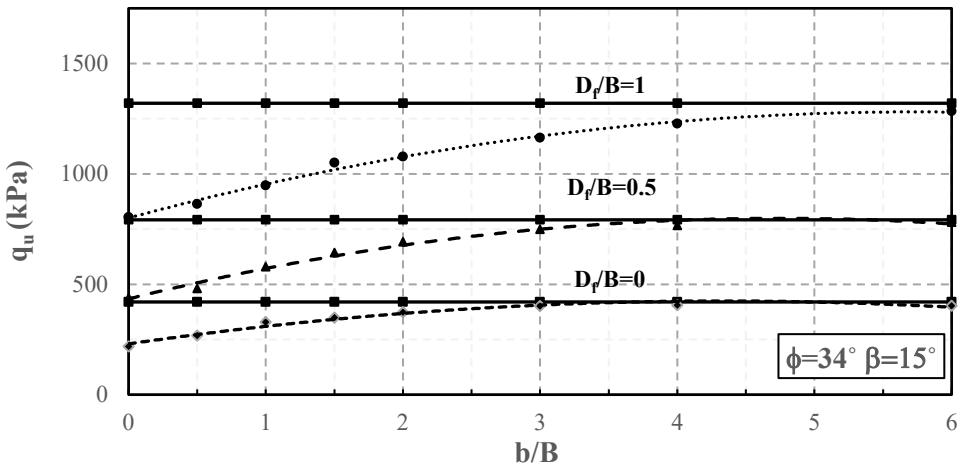

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
D_f/B=1
D_f/B=0.5
D_f/B=0
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

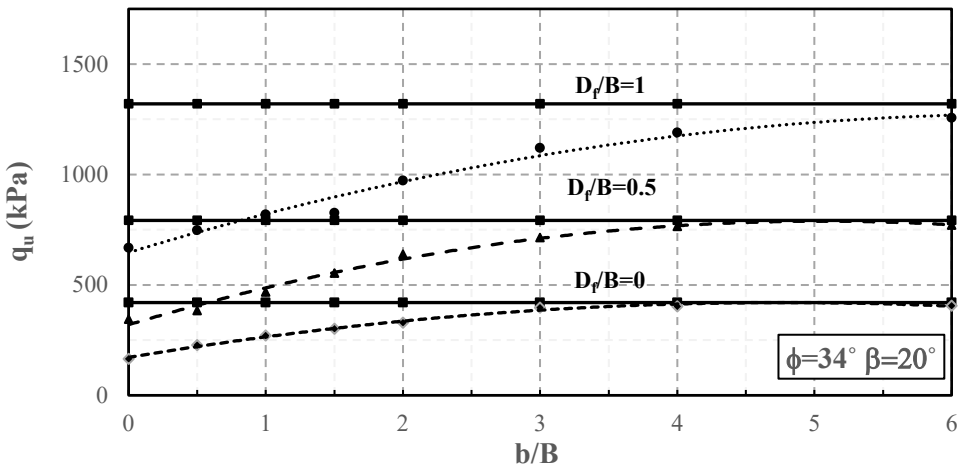

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

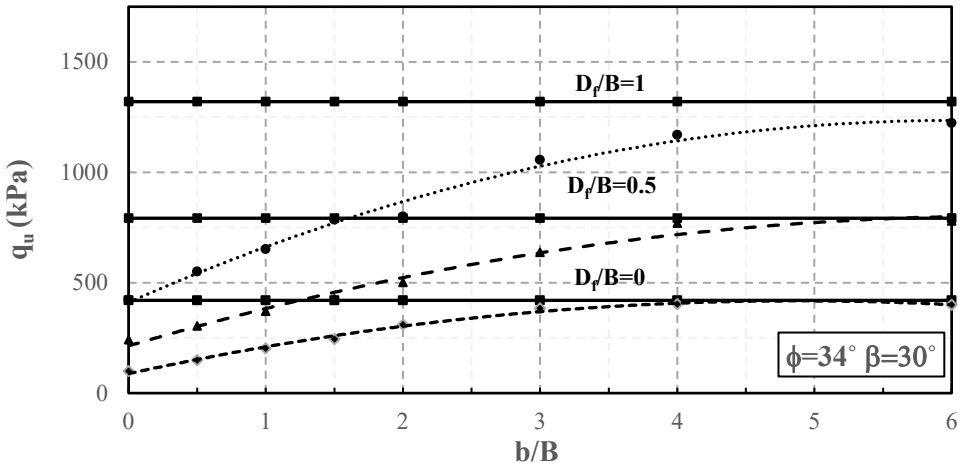

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

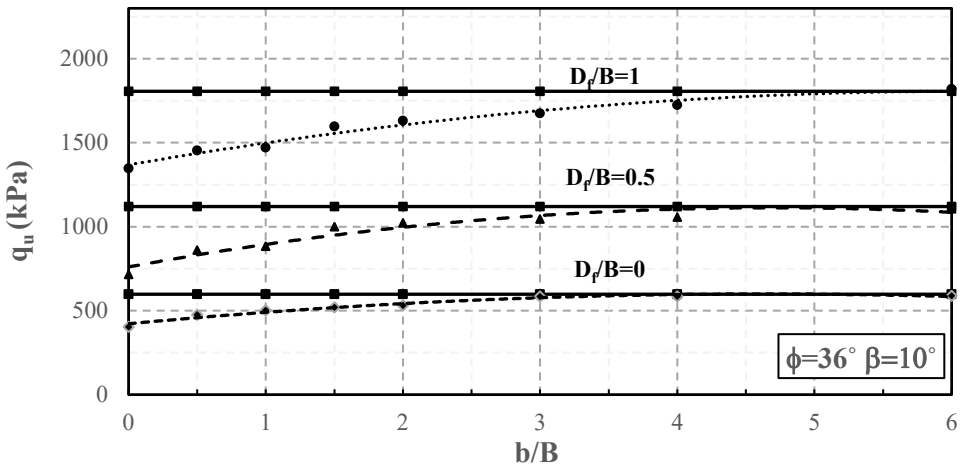

1250
1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

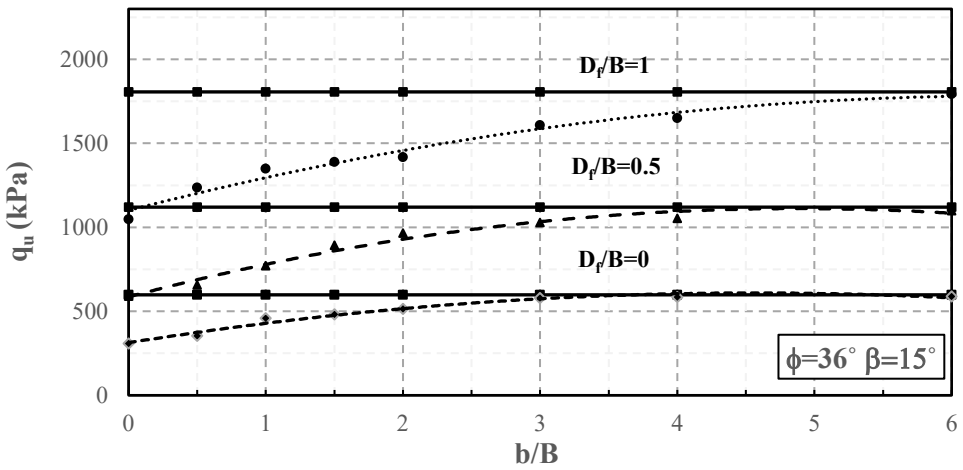

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

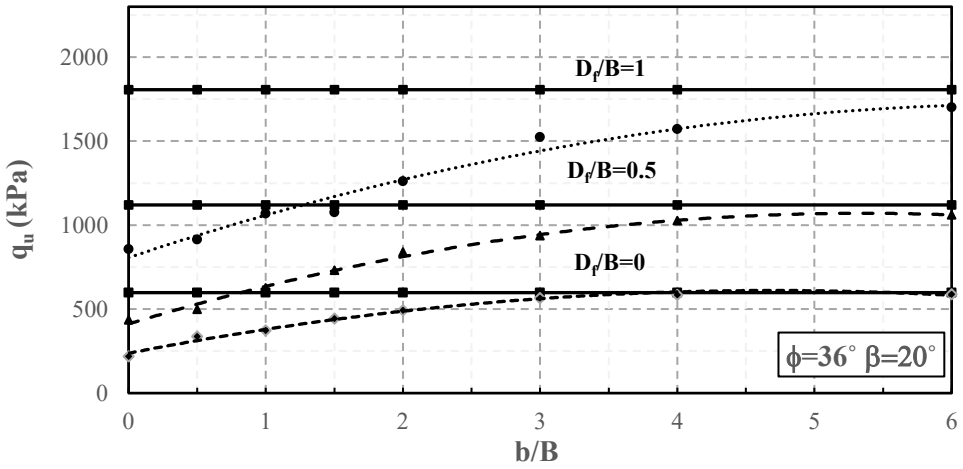

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

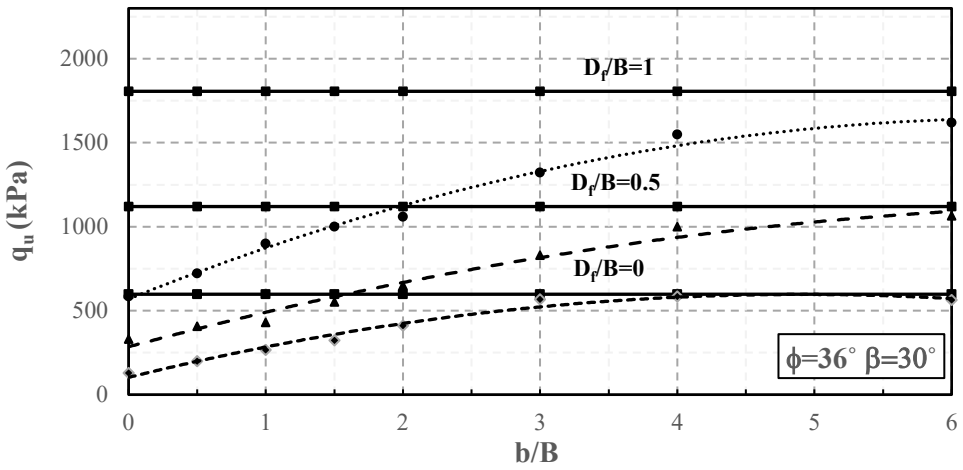

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

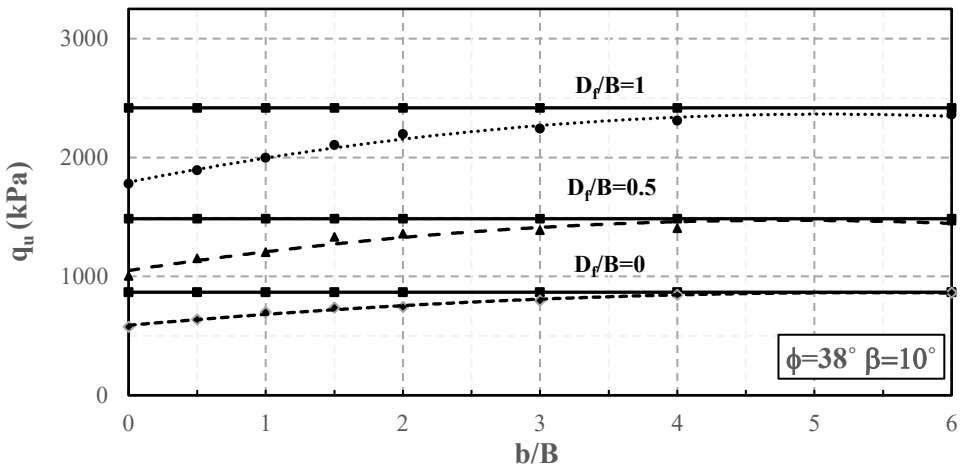

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

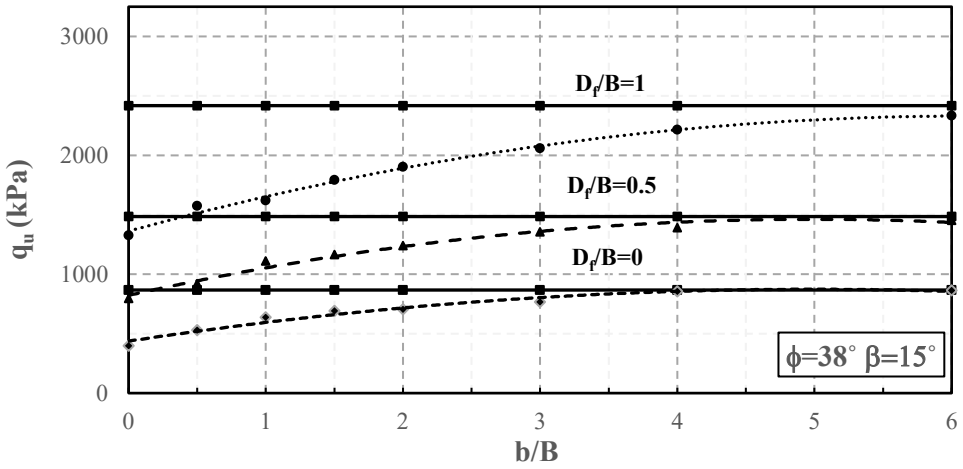

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

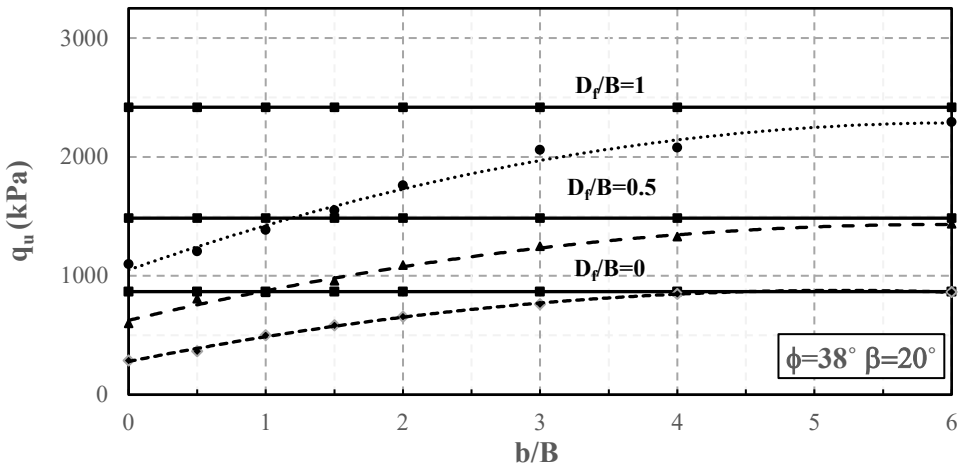

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

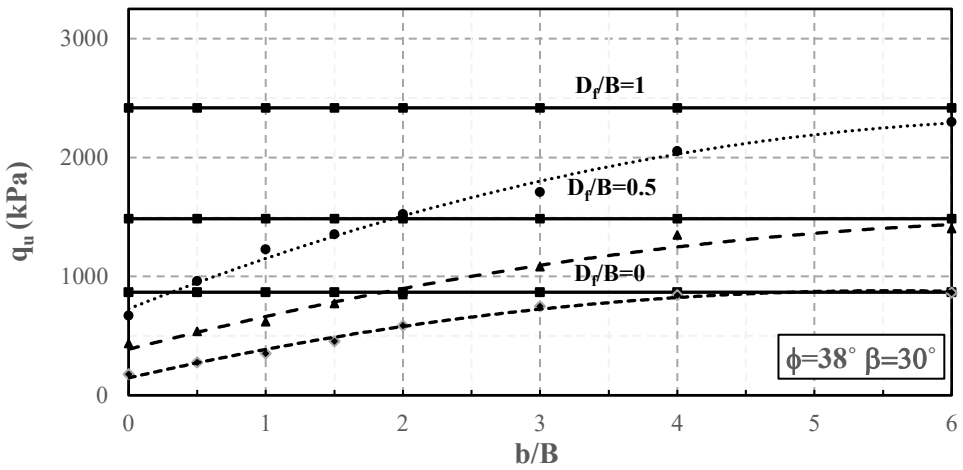

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

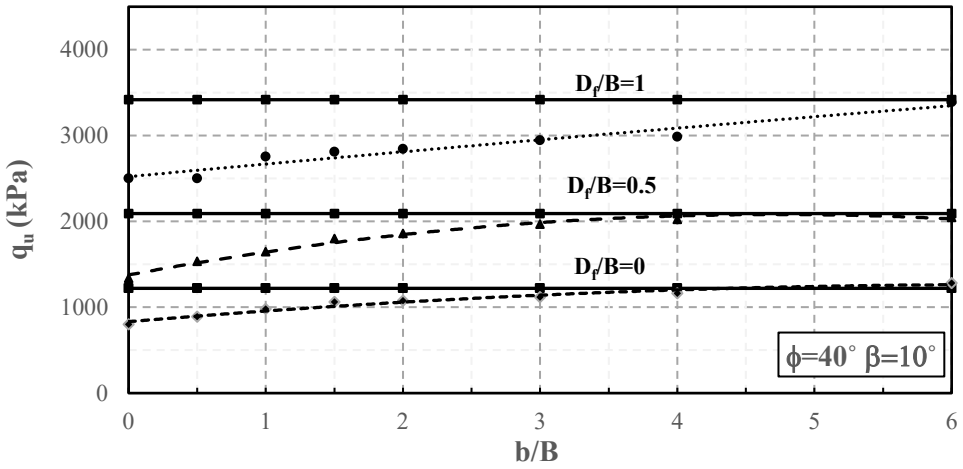

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

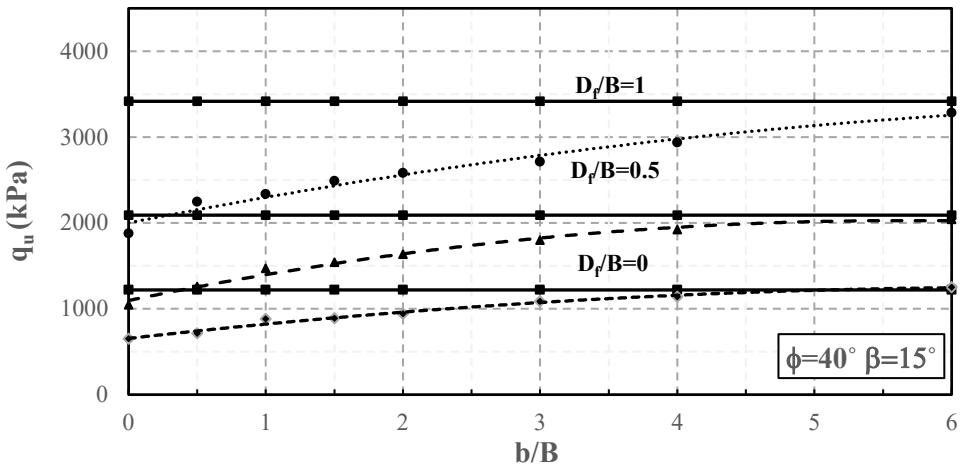

3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

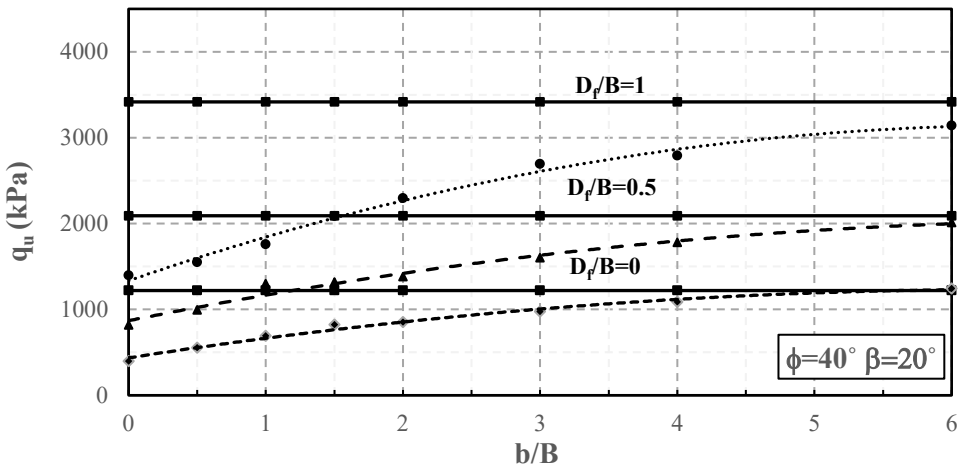

3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

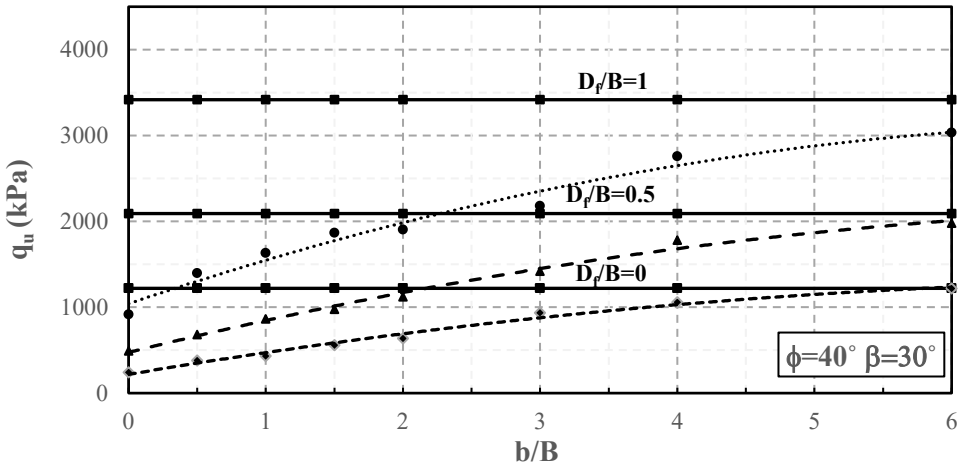

3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

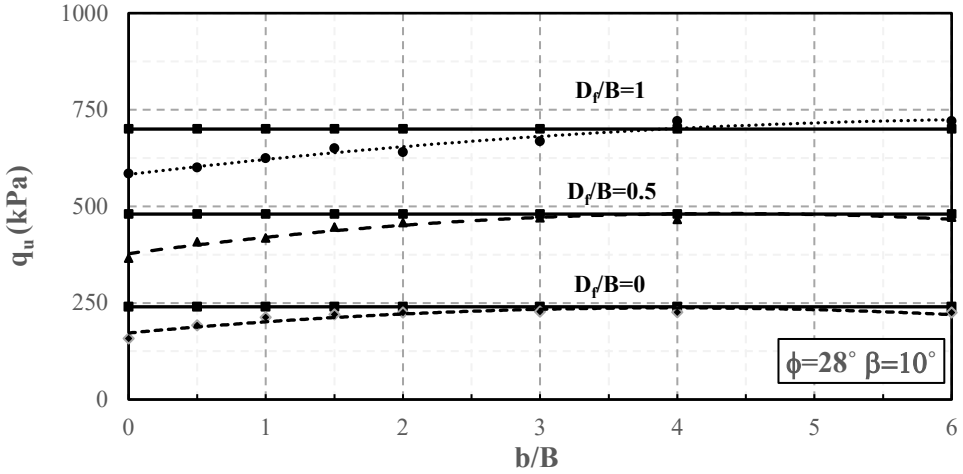

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

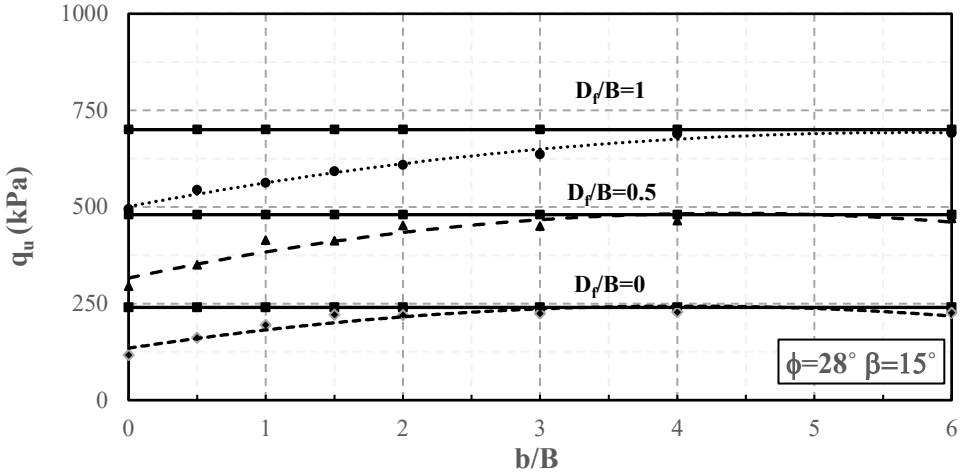

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

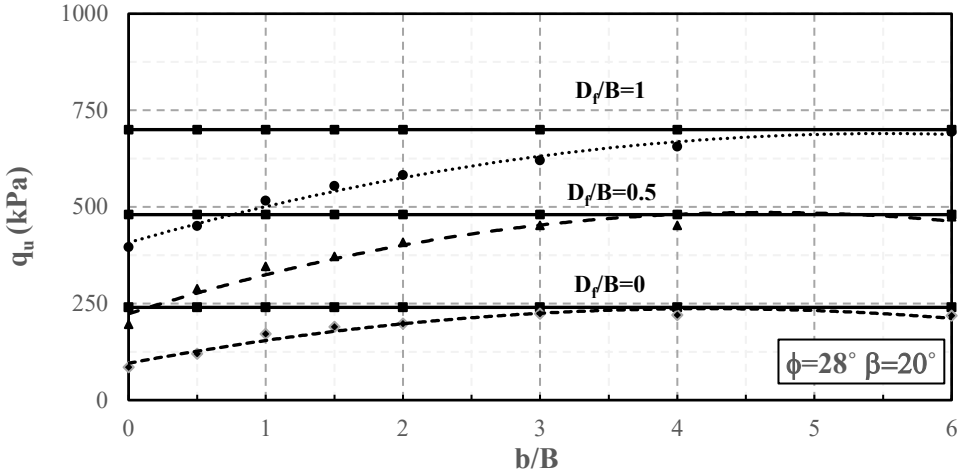

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

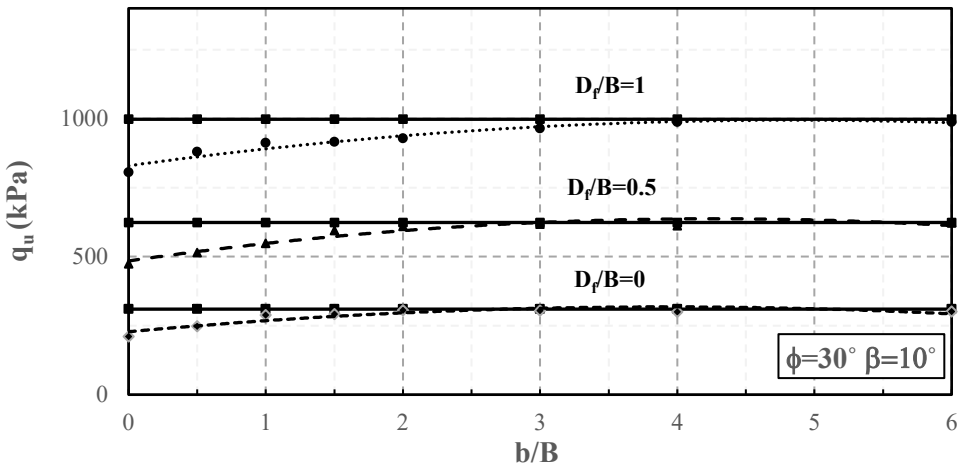


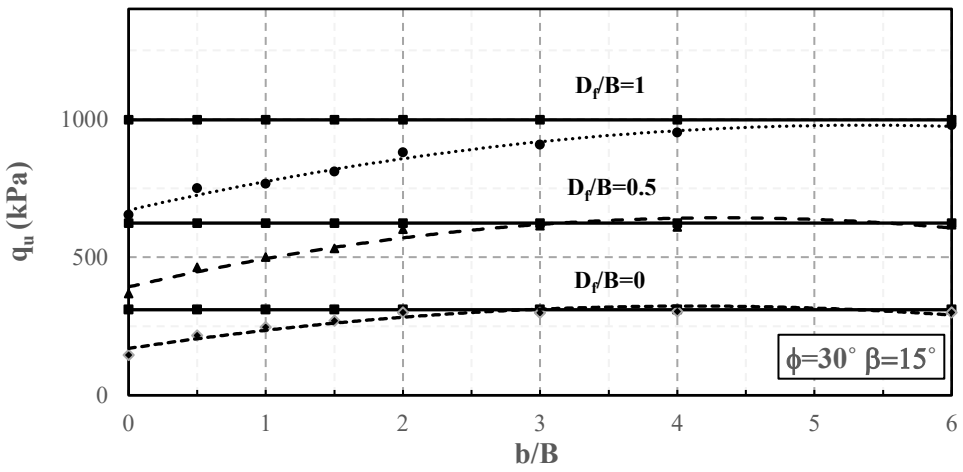
Ek Şekil 22. Farklı β, ϕ ve D_f/B için q_u-b/B grafiği (B=1 m)

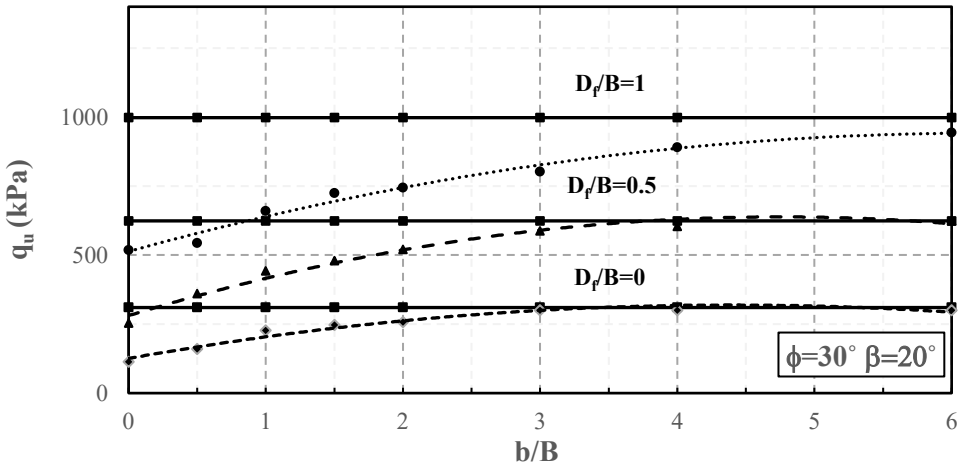


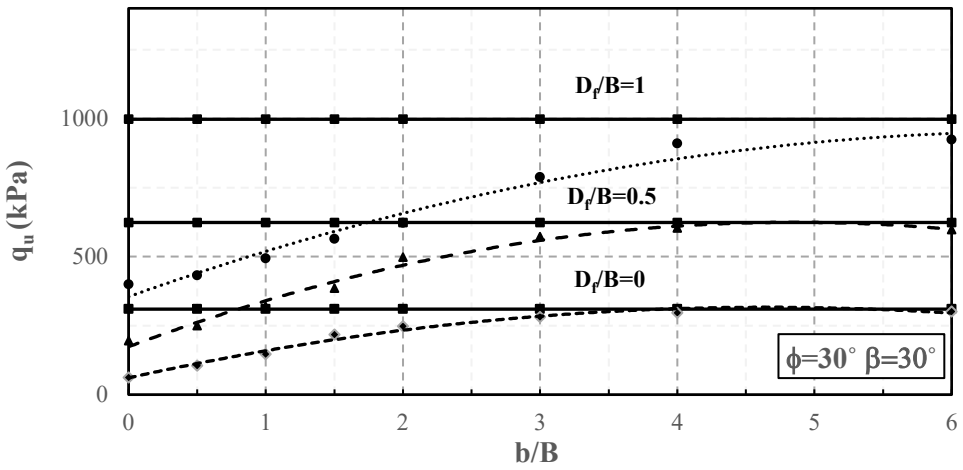


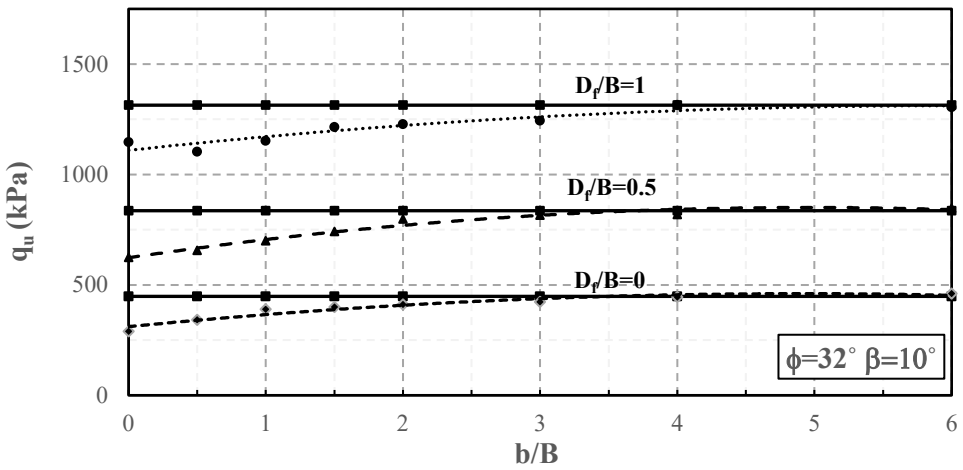

1000
750
500
250
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

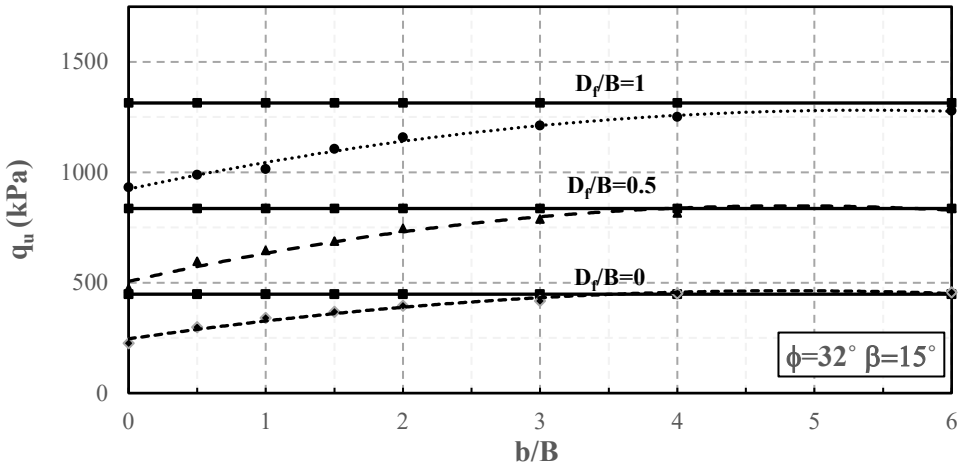

1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

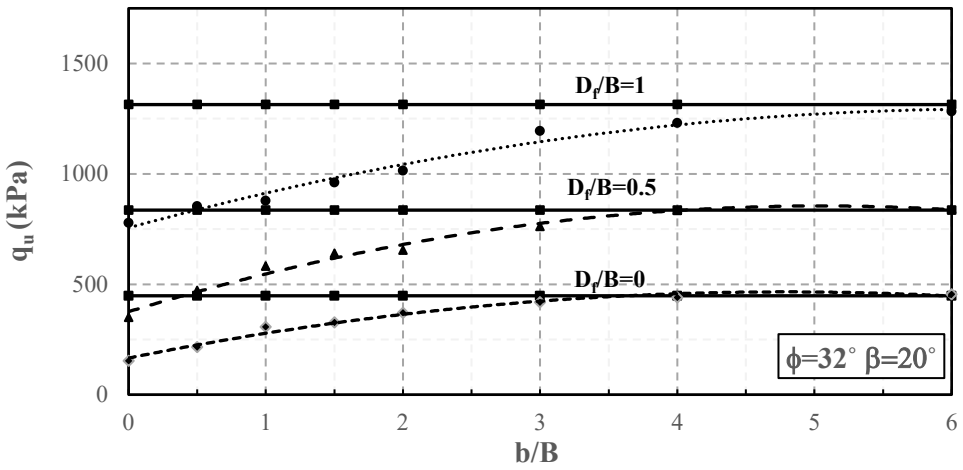

1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

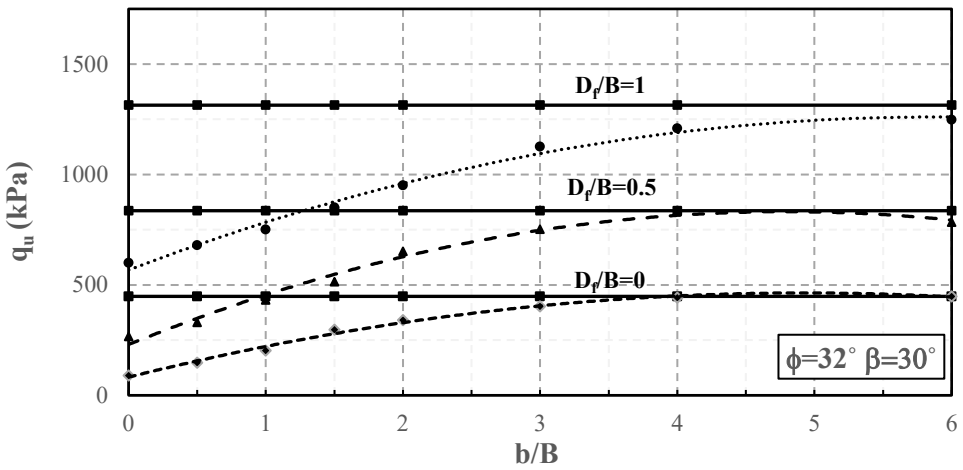

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=20°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
0
1
2
3
4
5
6

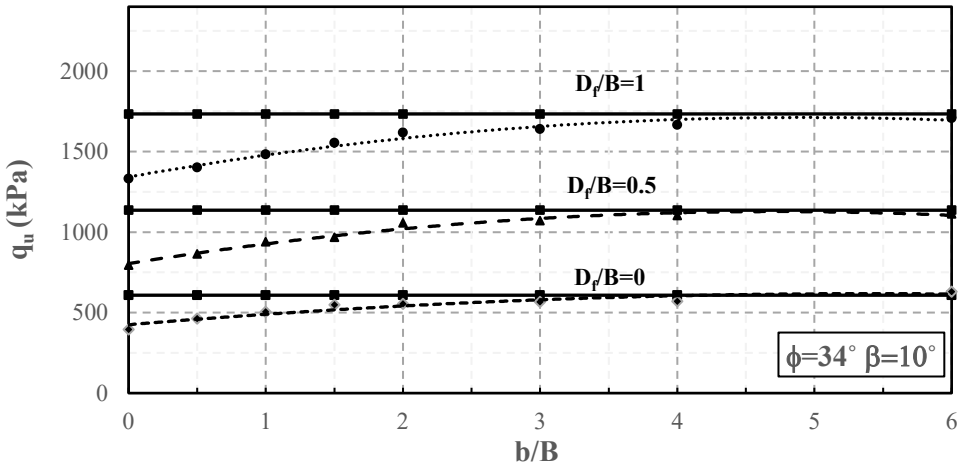

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=30°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
0
1
2
3
4
5
6

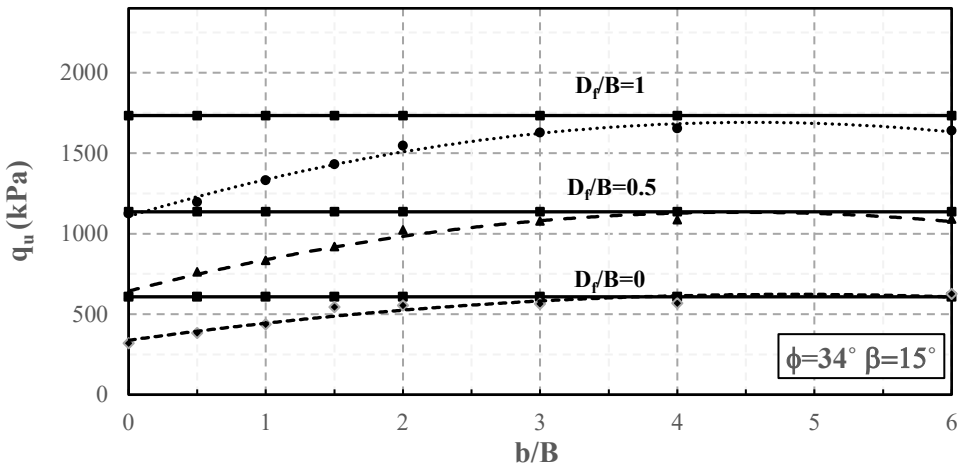

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=10°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
0
1
2
3
4
5
6

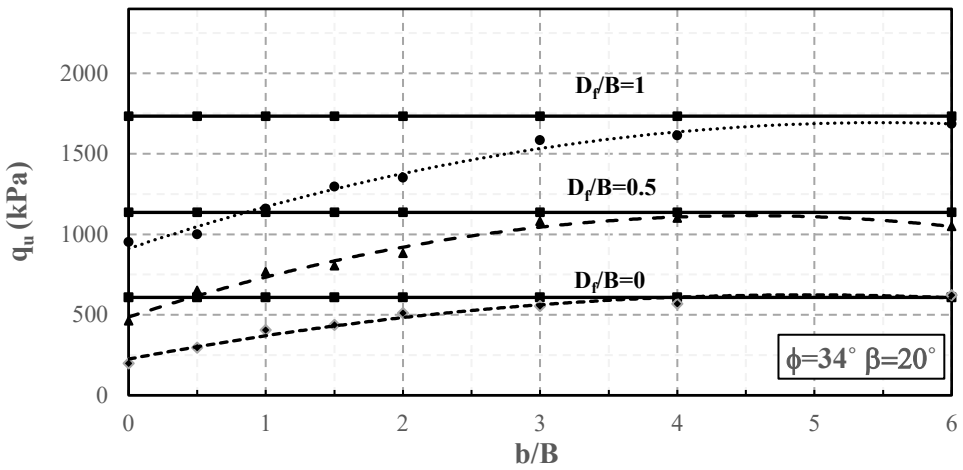

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

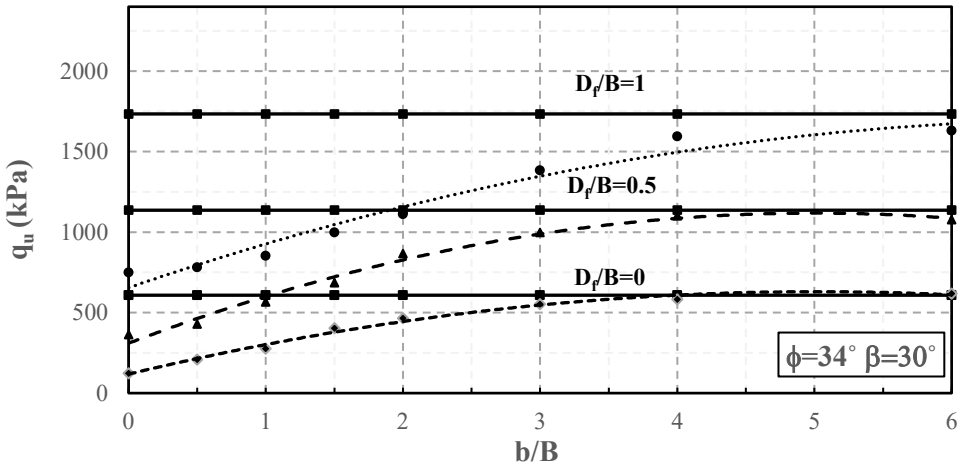

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

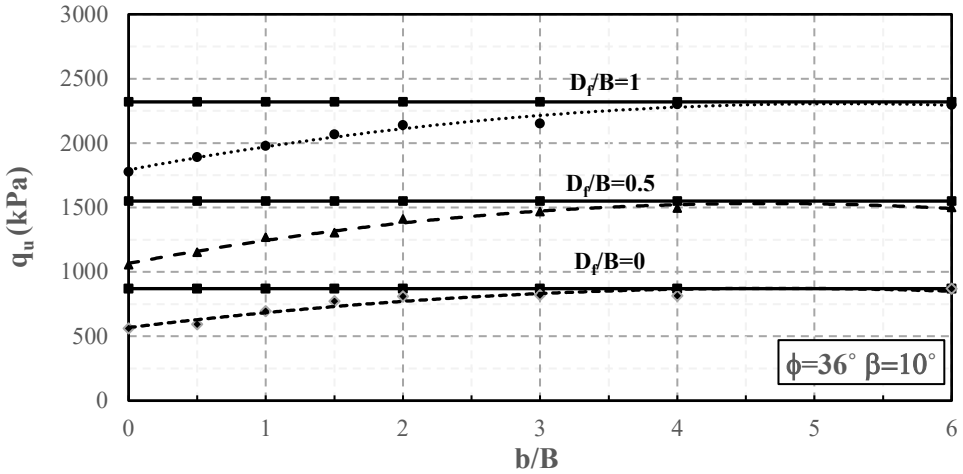

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

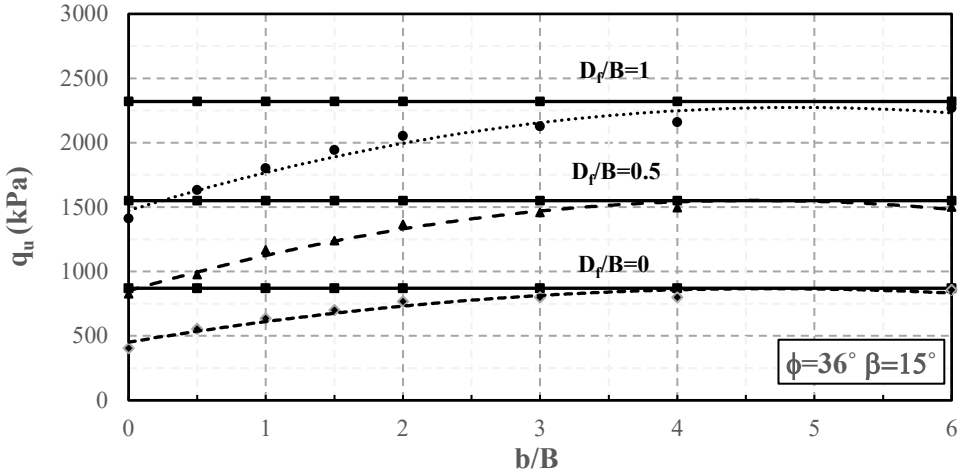

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

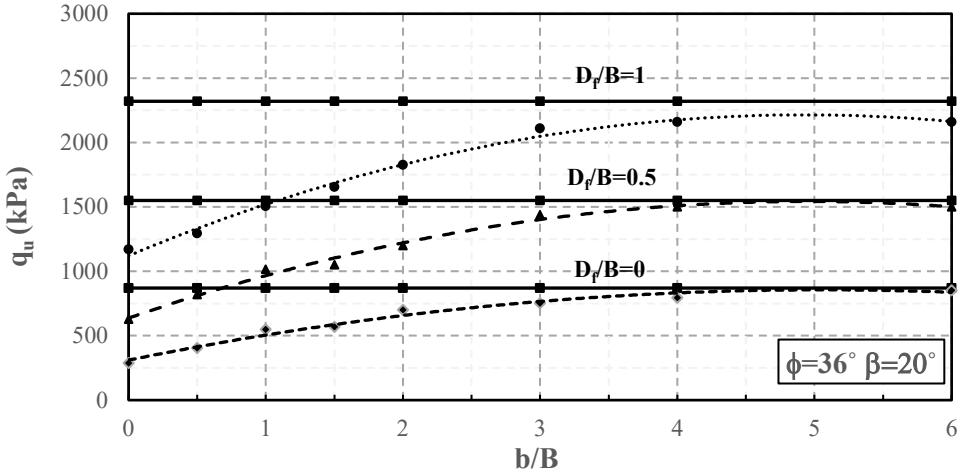

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

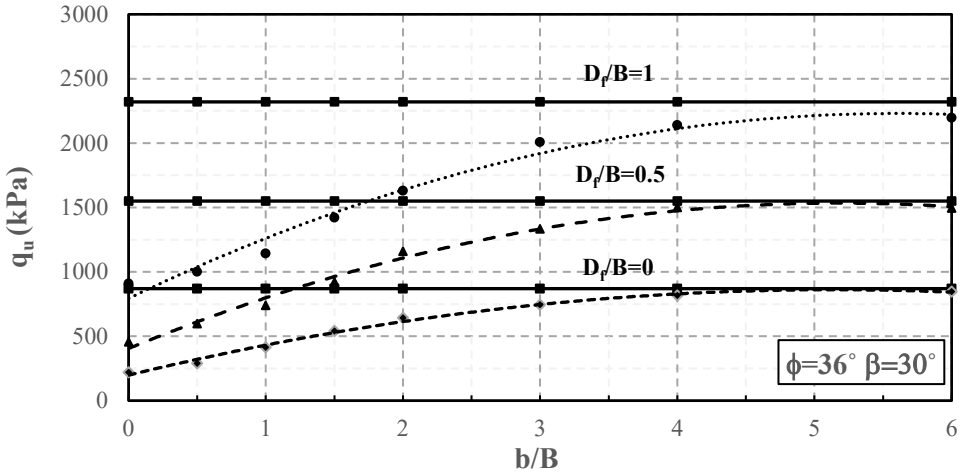

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

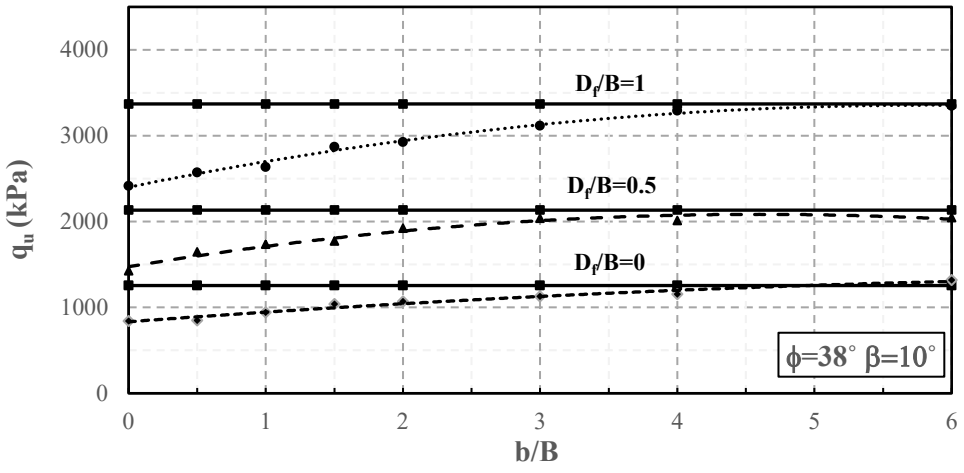

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=34^\circ$ $\beta=30^\circ$
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
0
1
2
3
4
5
6

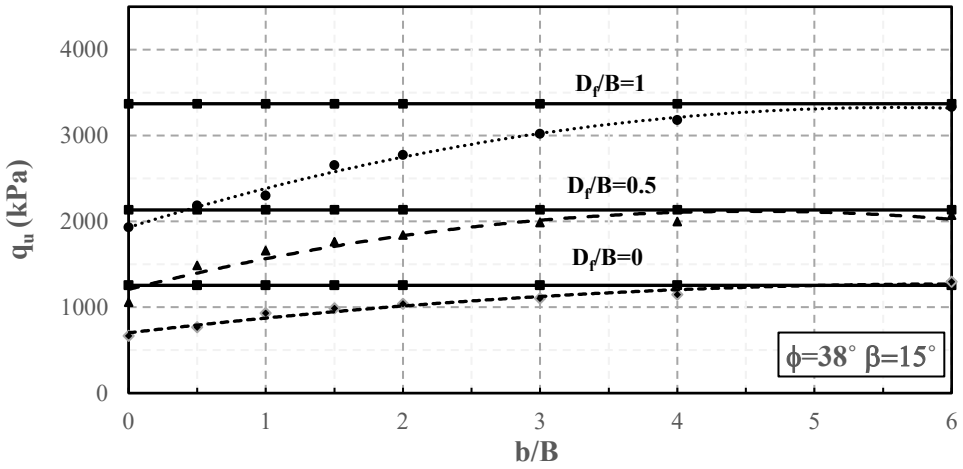

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=10^\circ$
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
0
1
2
3
4
5
6

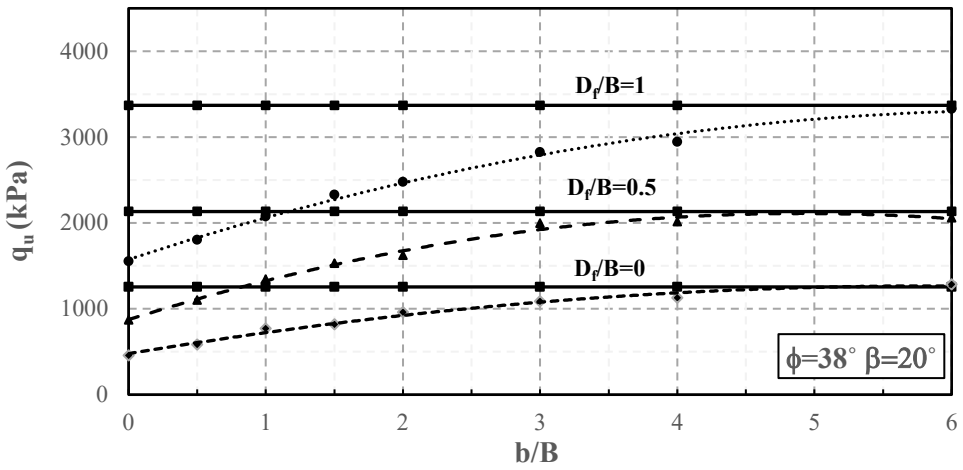

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=15^\circ$
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
0
1
2
3
4
5
6

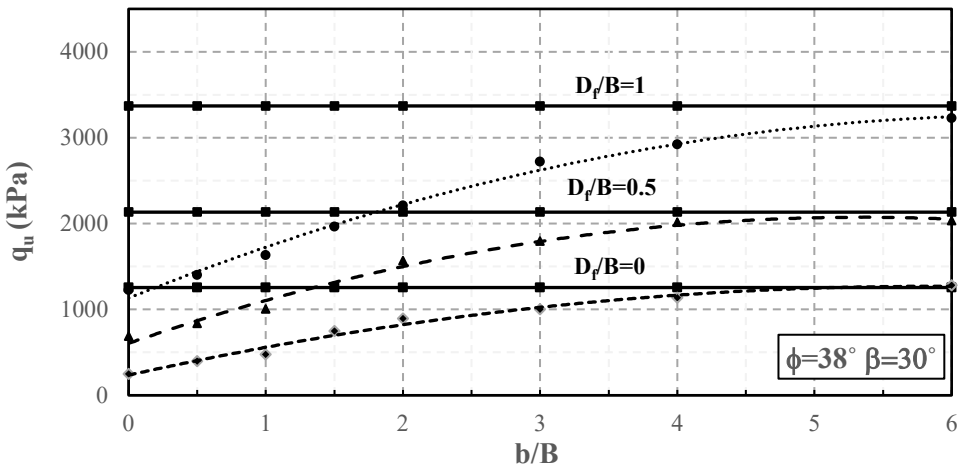

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

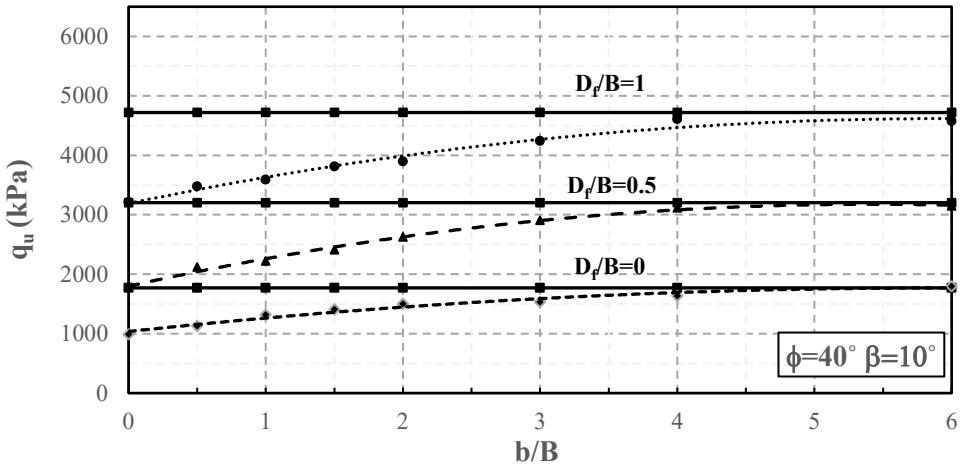

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

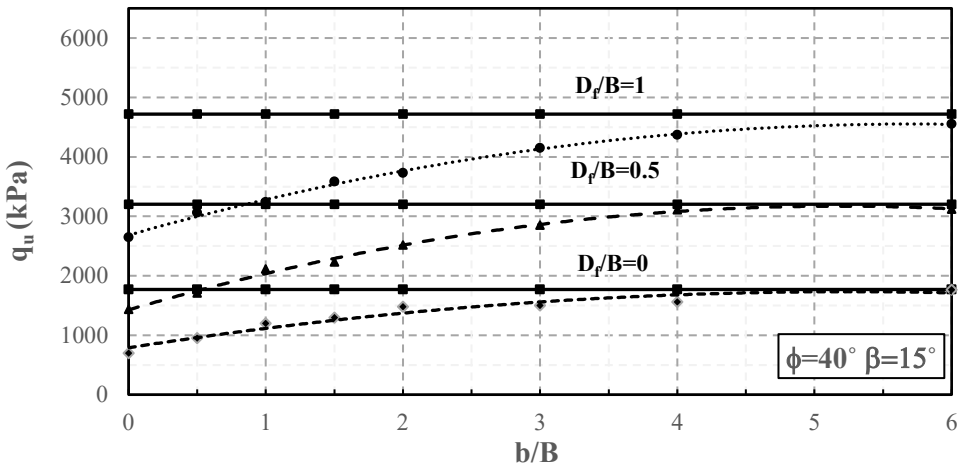

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

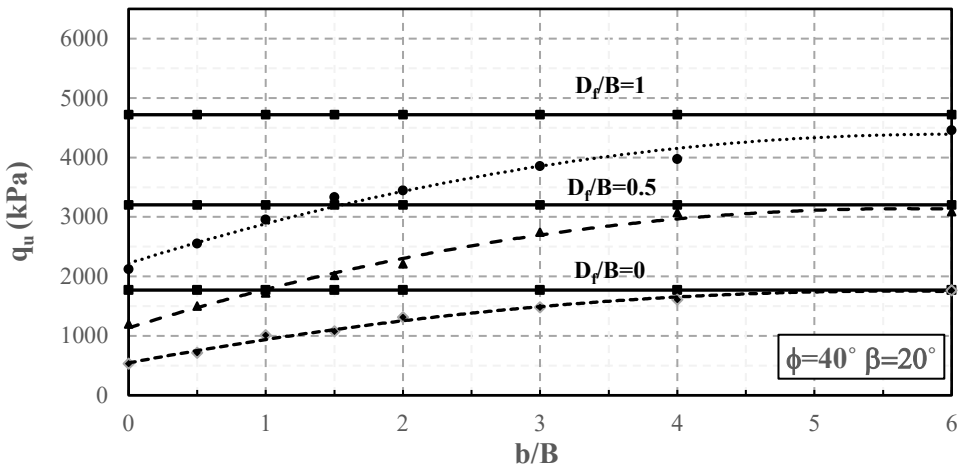

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

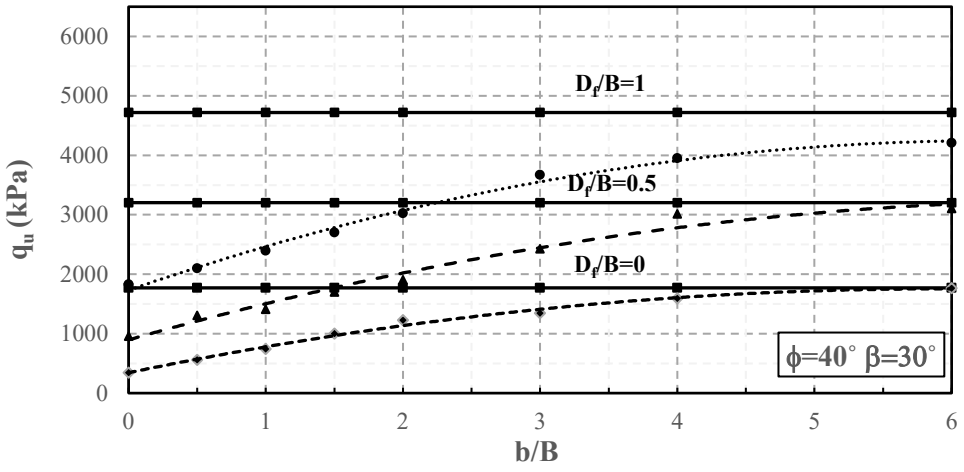

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

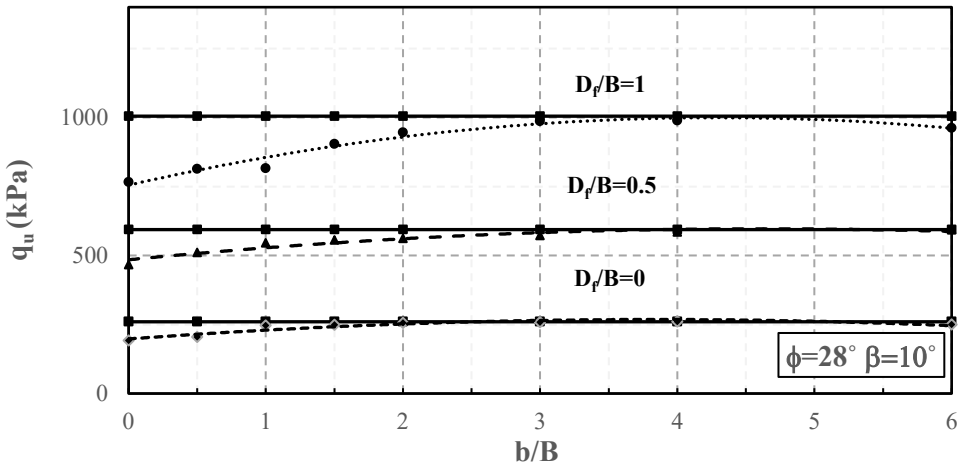

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

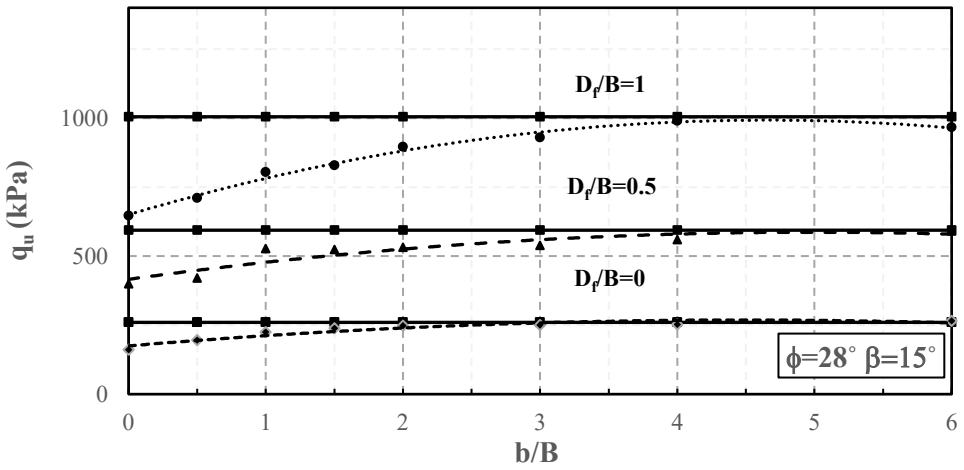

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

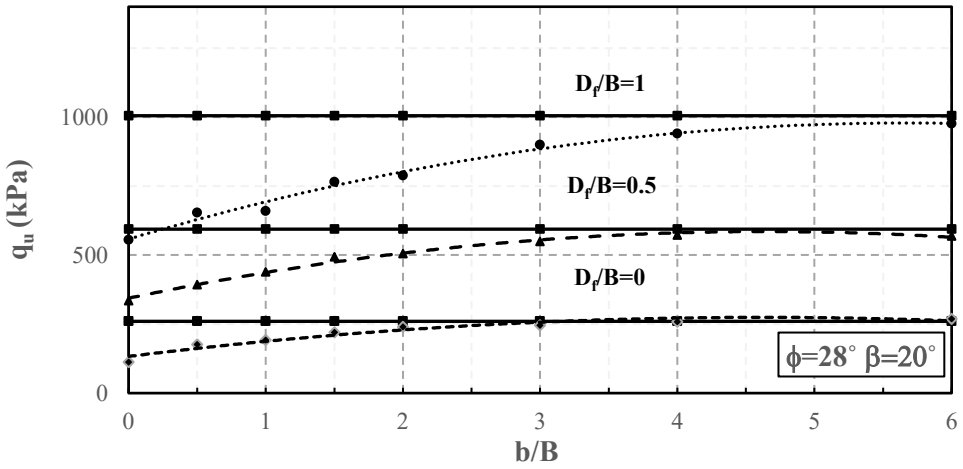

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

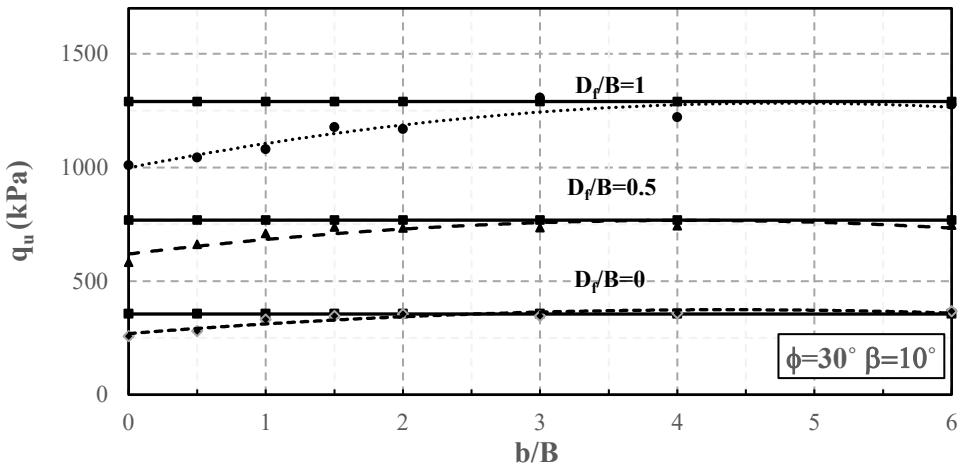


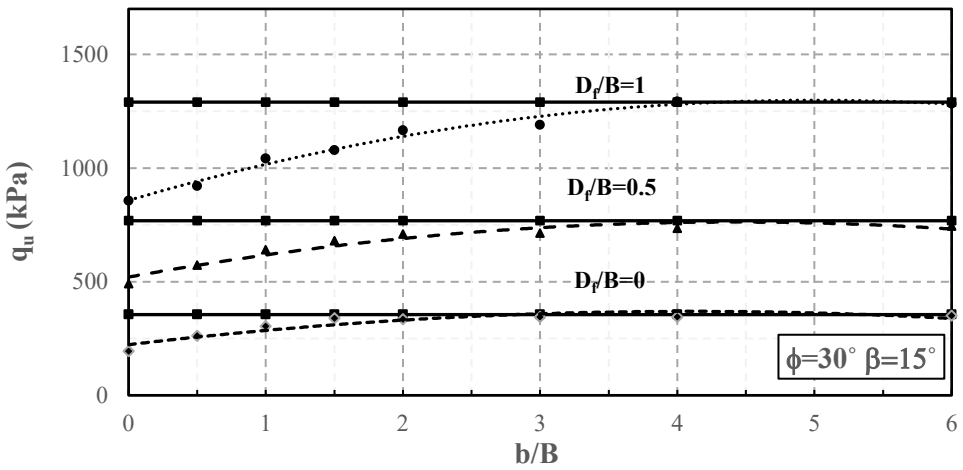
Ek Şekil 23. Farklı β, ϕ ve D_f/B için q_u-b/B grafiği (B=1.5 m)

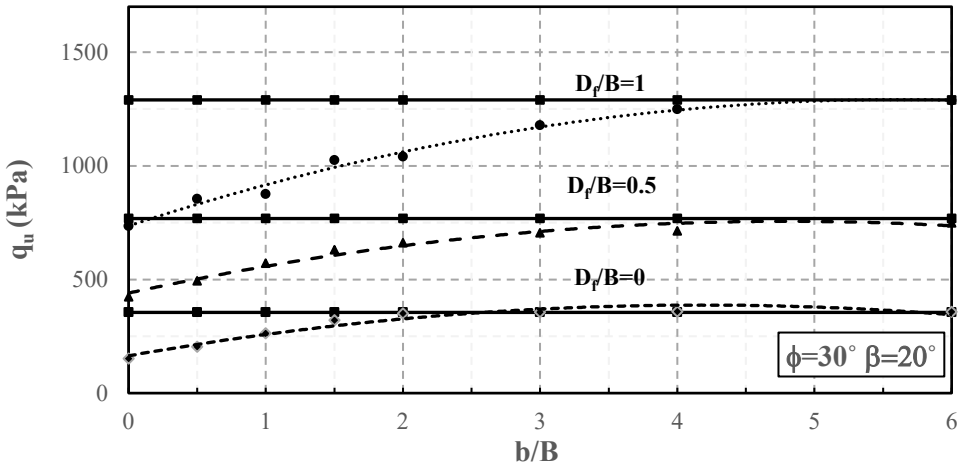


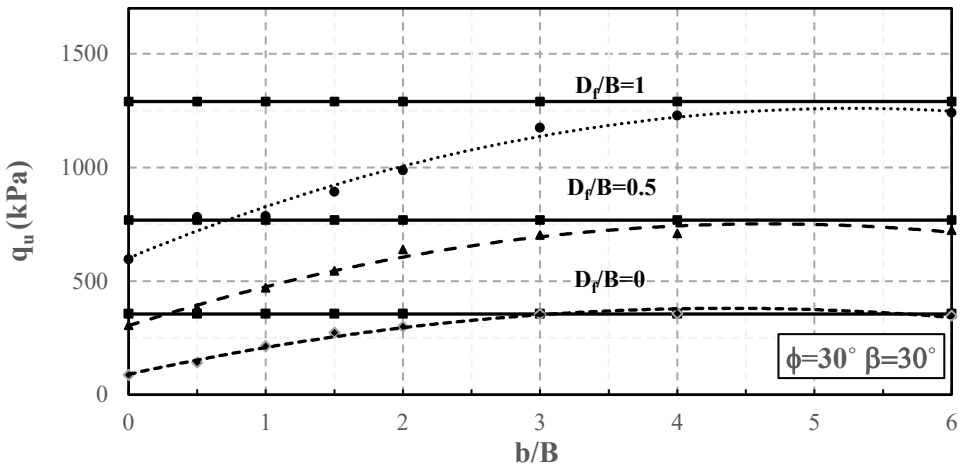


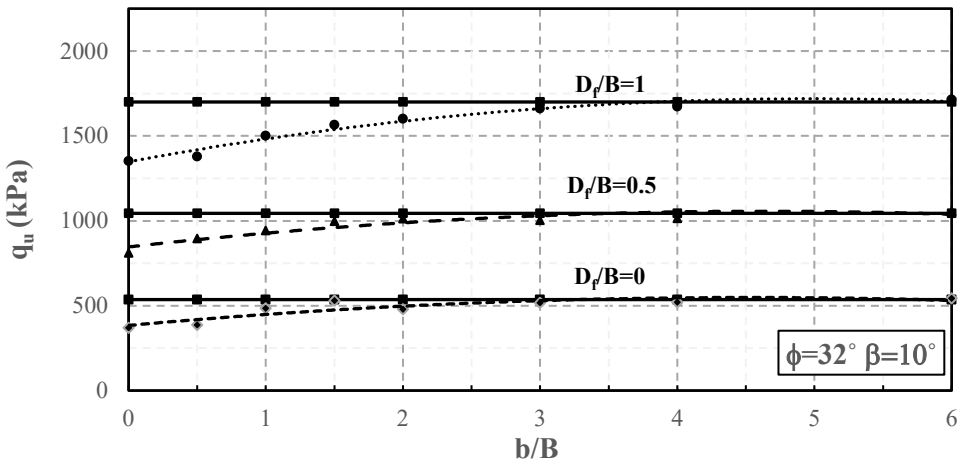

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=28° β=20°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
0
1
2
3
4
5
6

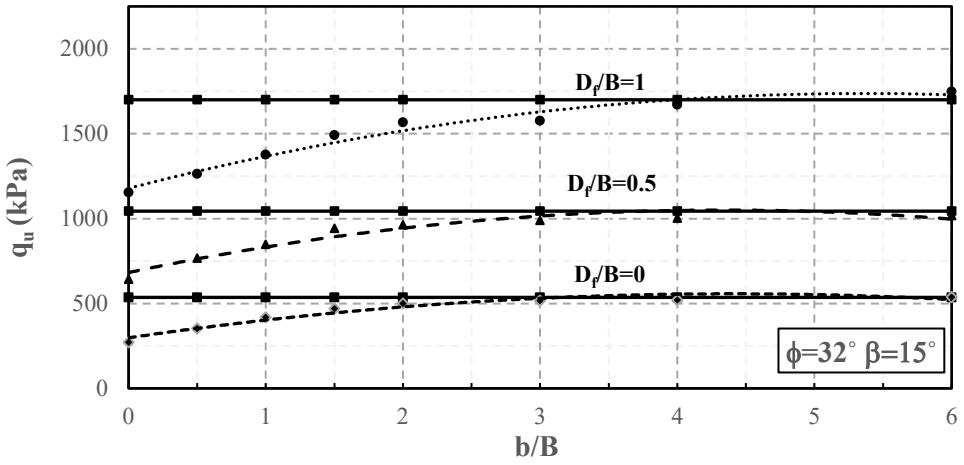

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=10°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
0
1
2
3
4
5
6

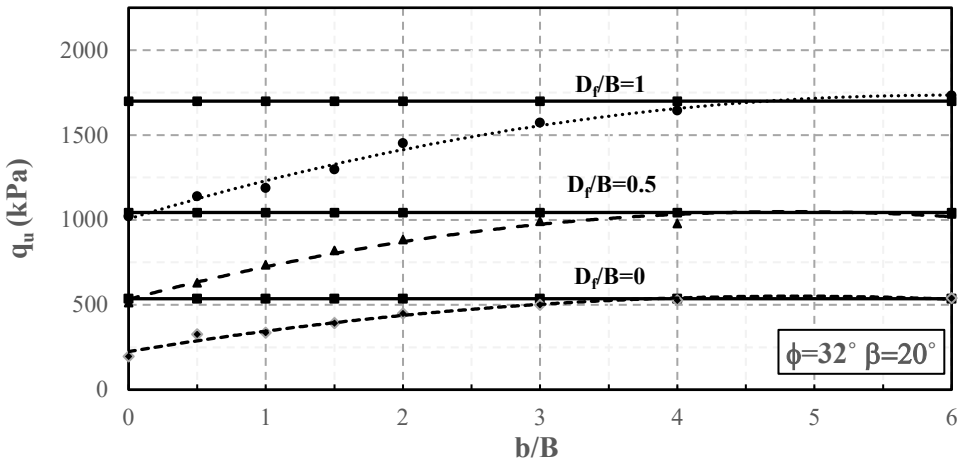

$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=15°
q_u (kPa)
b/B
0
500
1000
1500
0
1
2
3
4
5
6

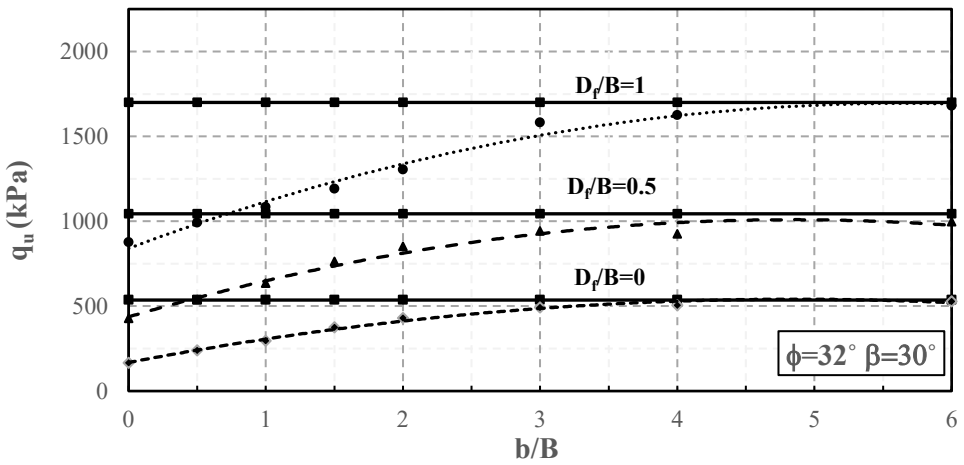

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

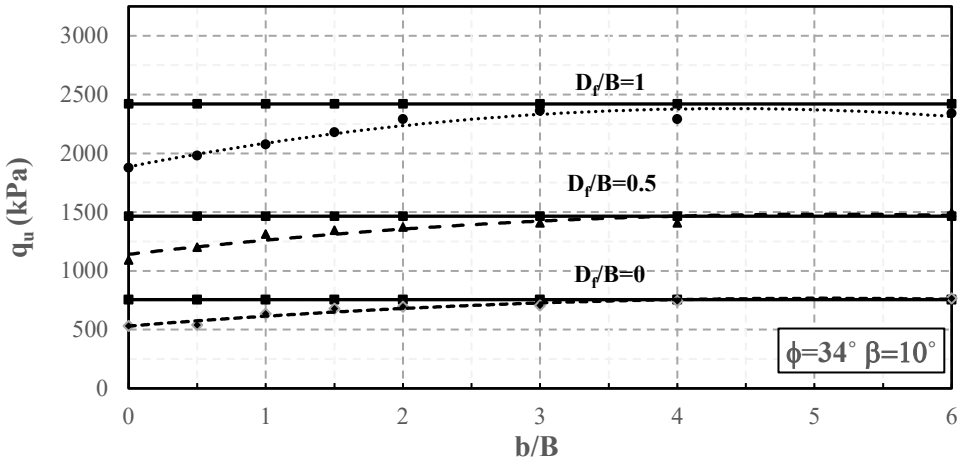

1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

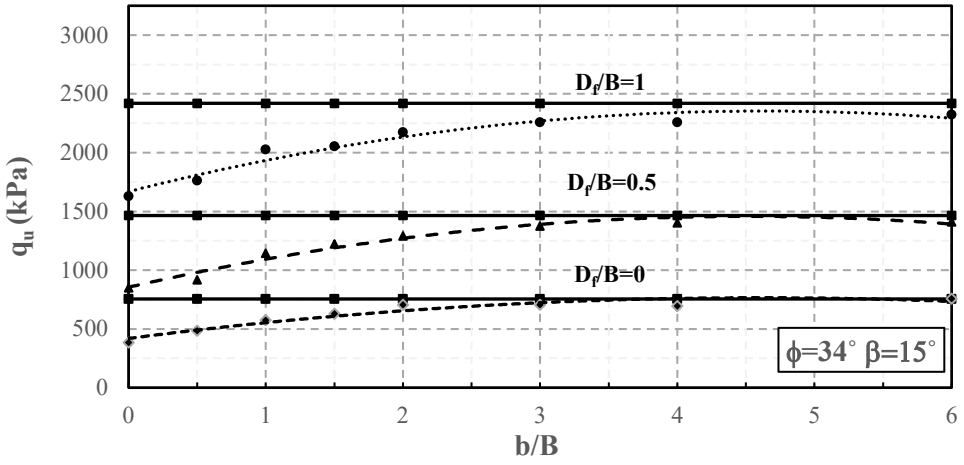

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

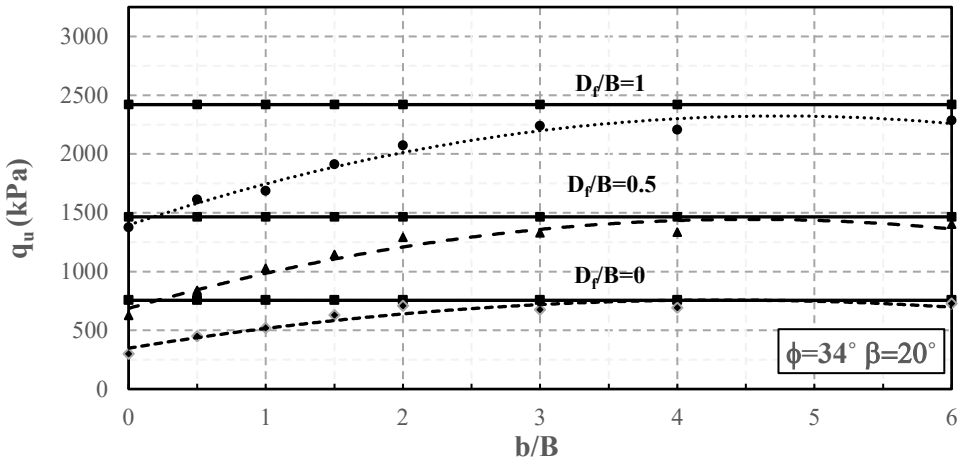

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

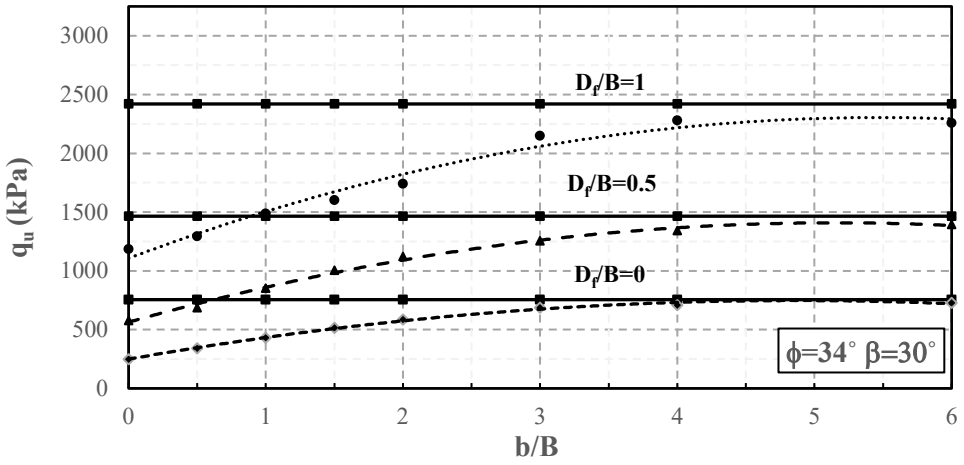

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

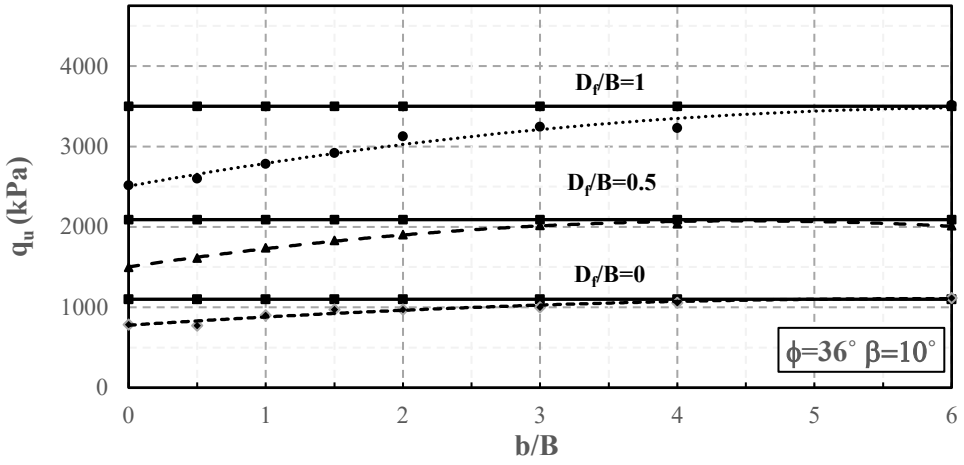

2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

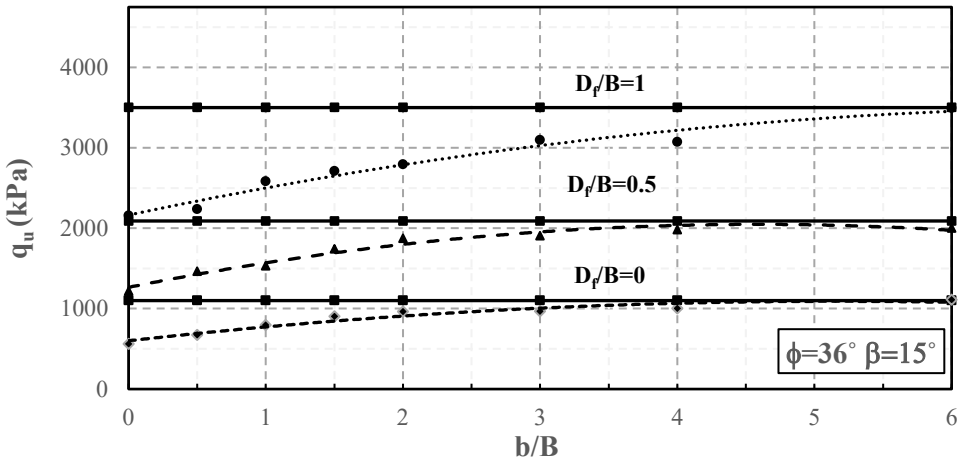

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

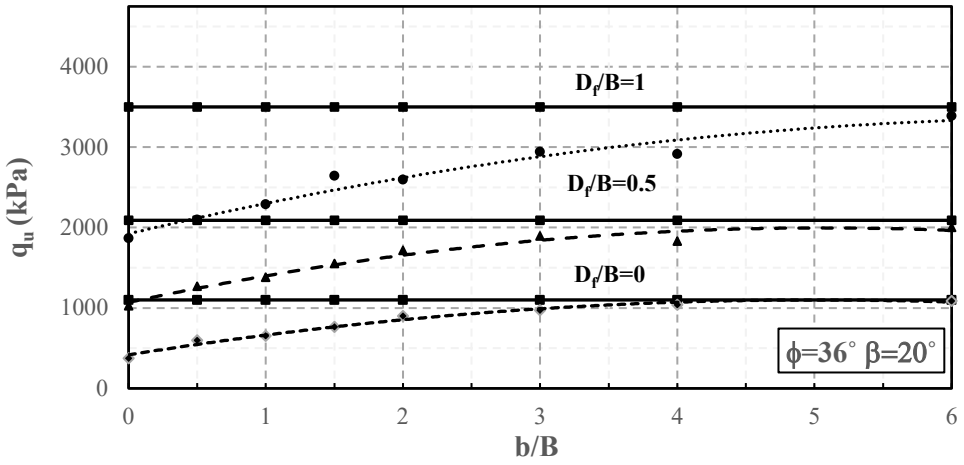

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

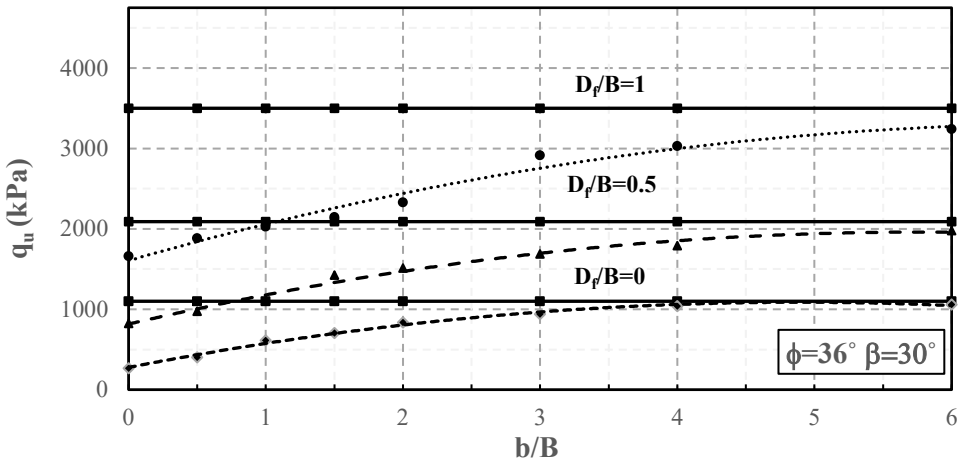

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

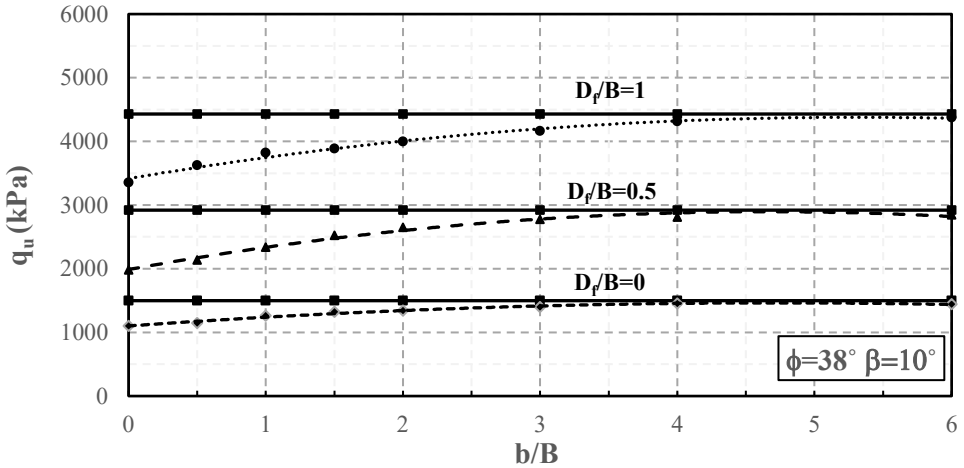

3000
2500
2000
1500
1000
500
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

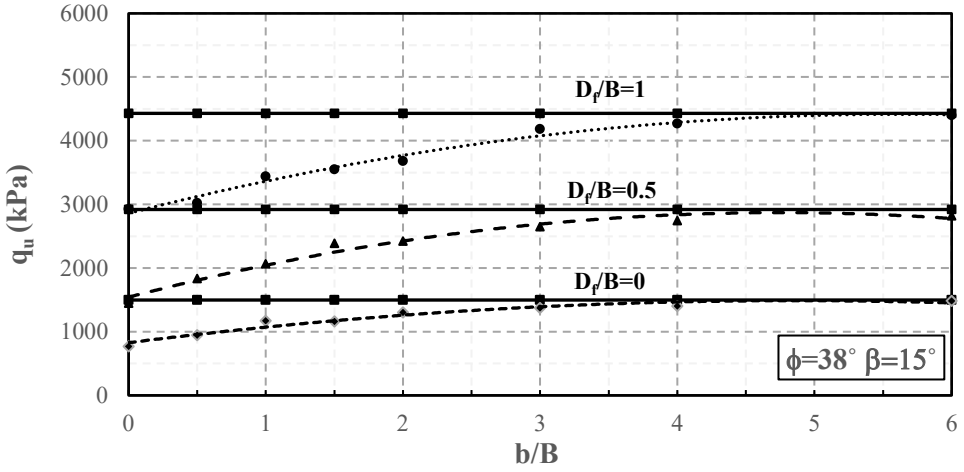

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

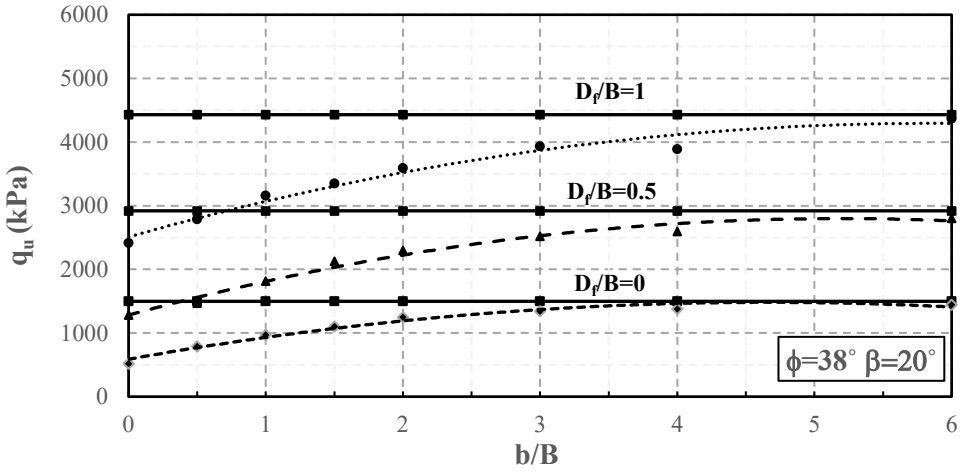

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

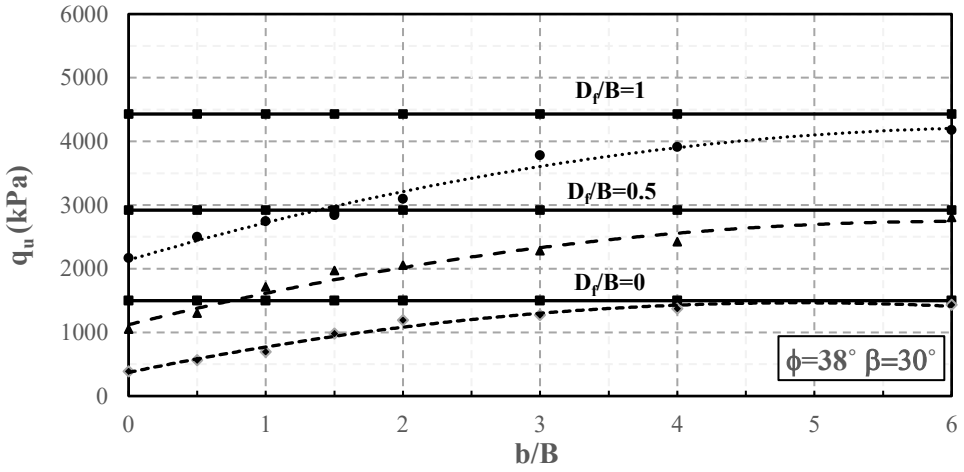

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

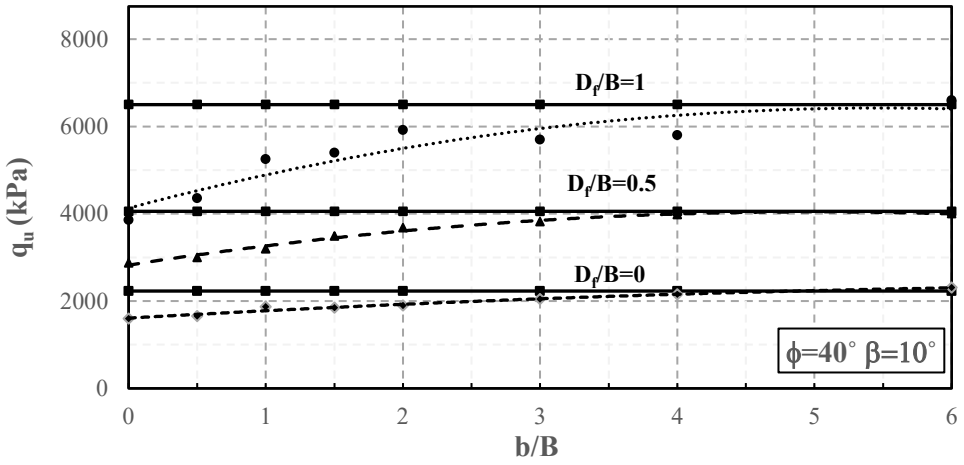

4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

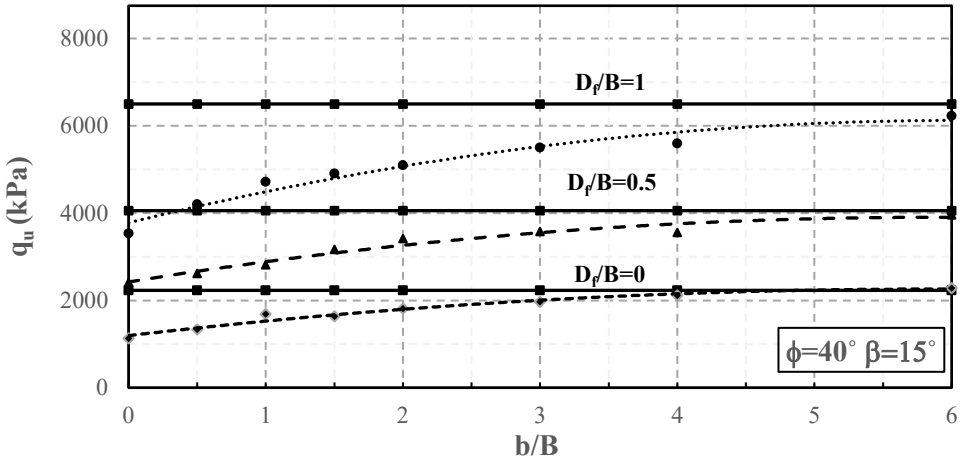

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

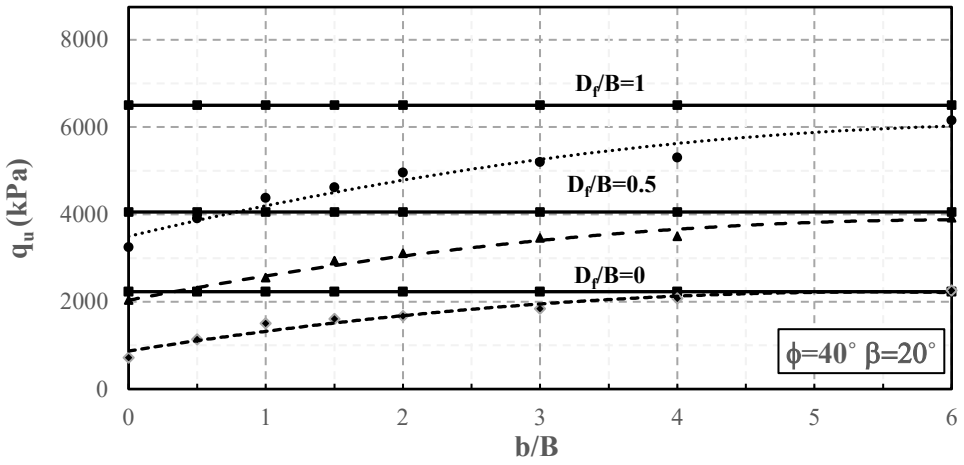

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

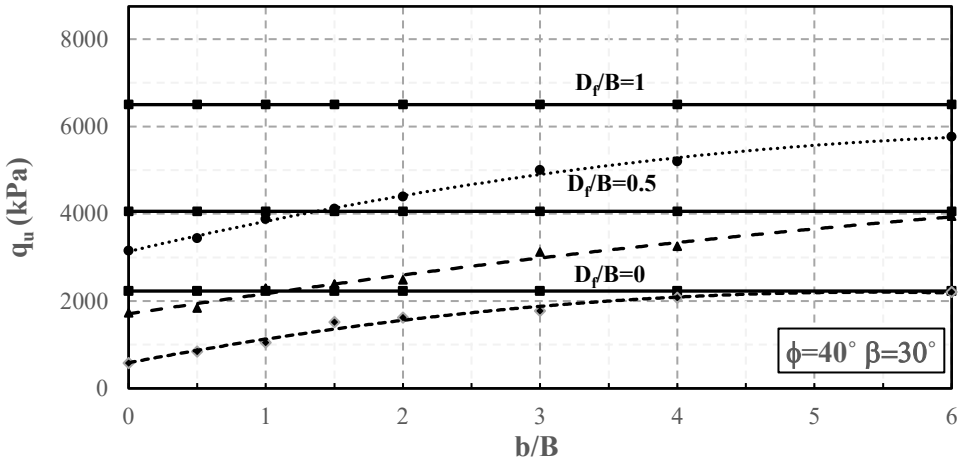

6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


6000
5000
4000
3000
2000
1000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

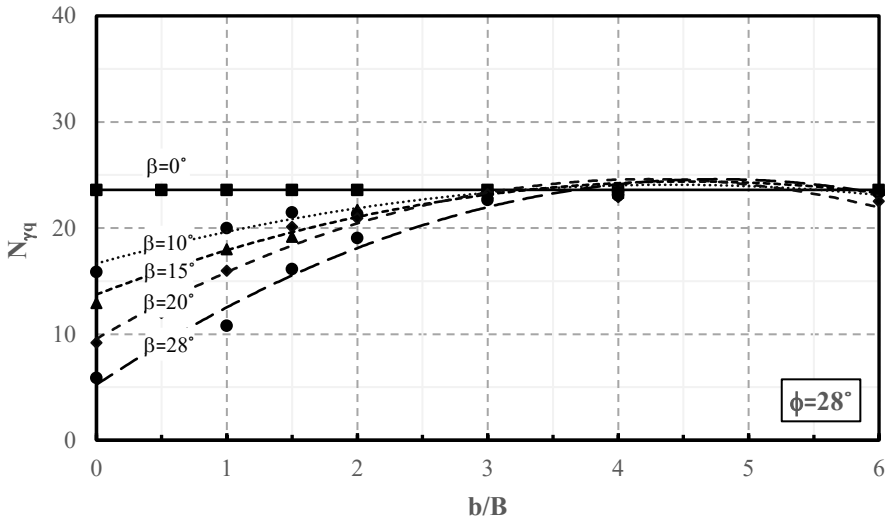

8000
6000
4000
2000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

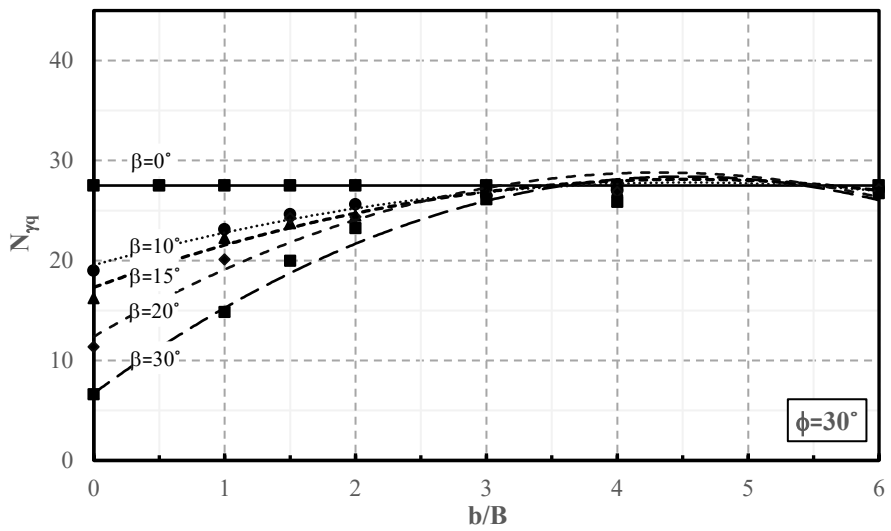

8000
6000
4000
2000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

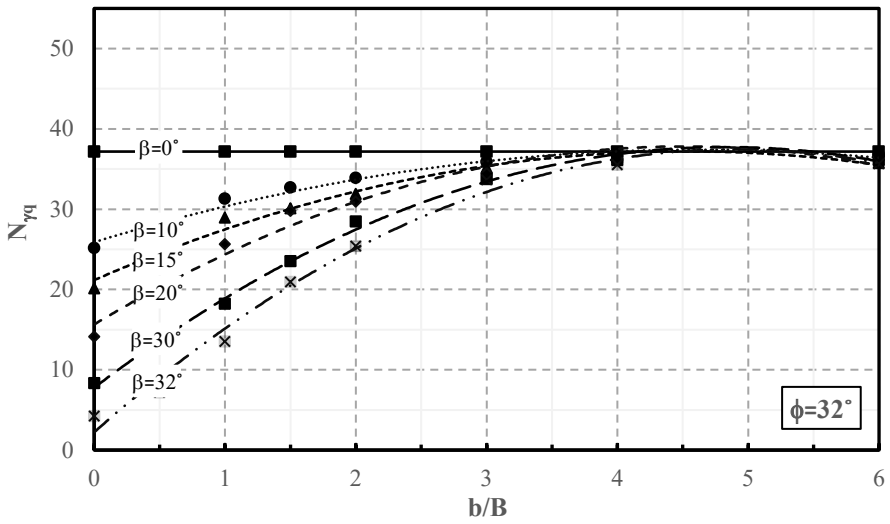

8000
6000
4000
2000
0
q_u (kPa)
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

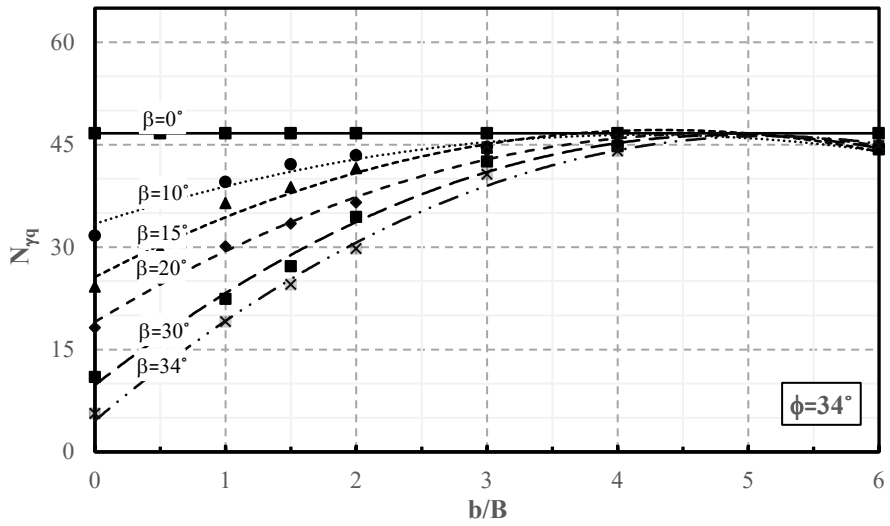


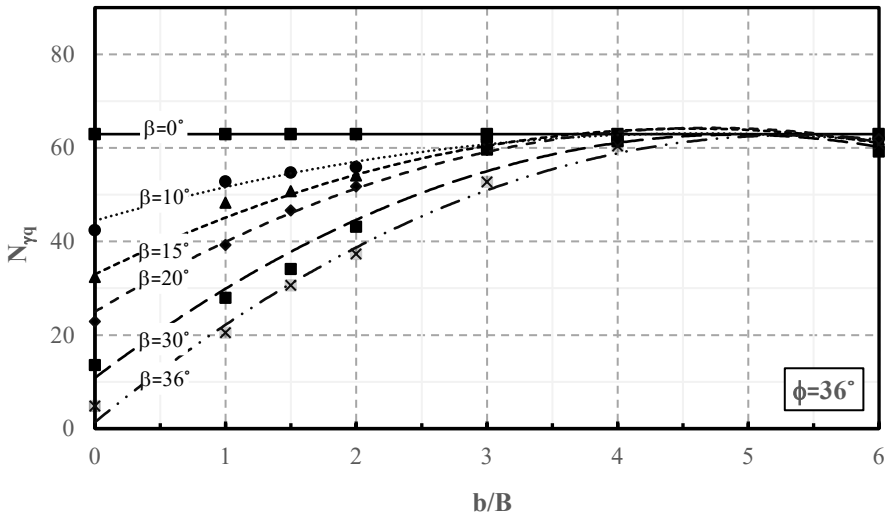
Ek Şekil 24. Farklı β, ϕ ve D_f/B için q_u-b/B grafiği (B=2 m)

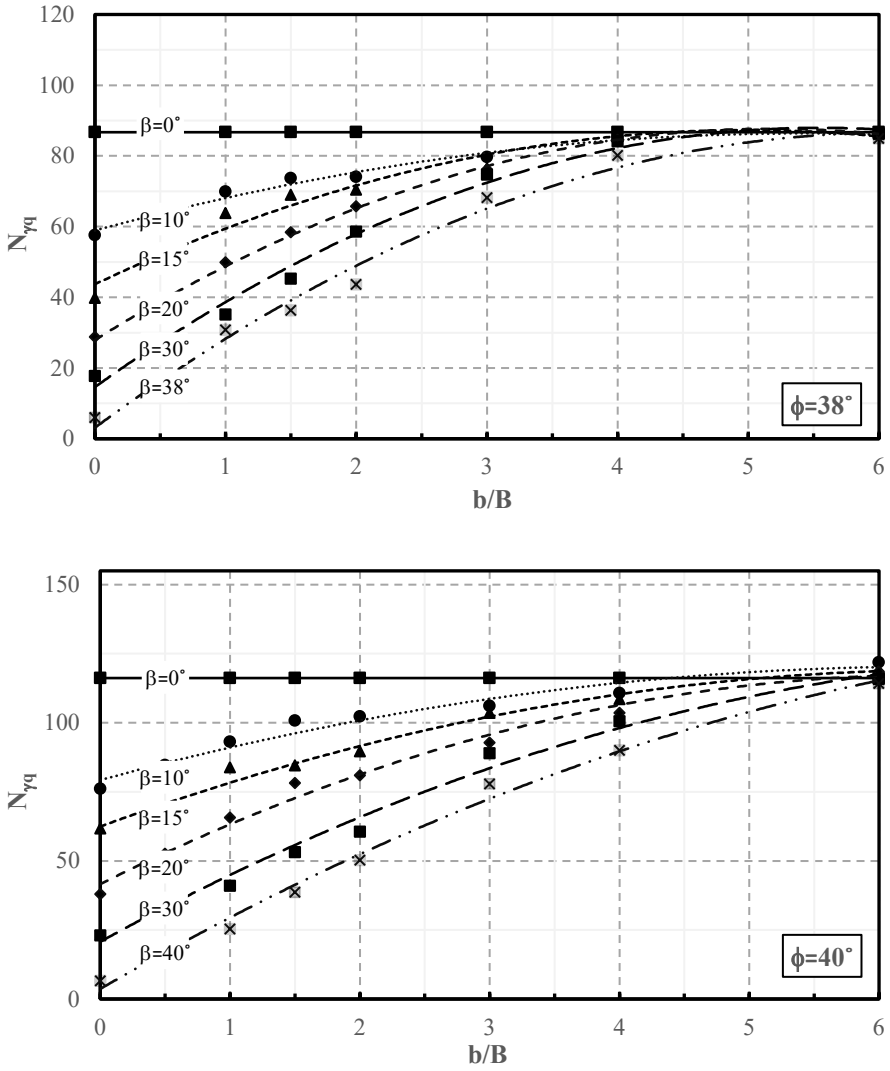




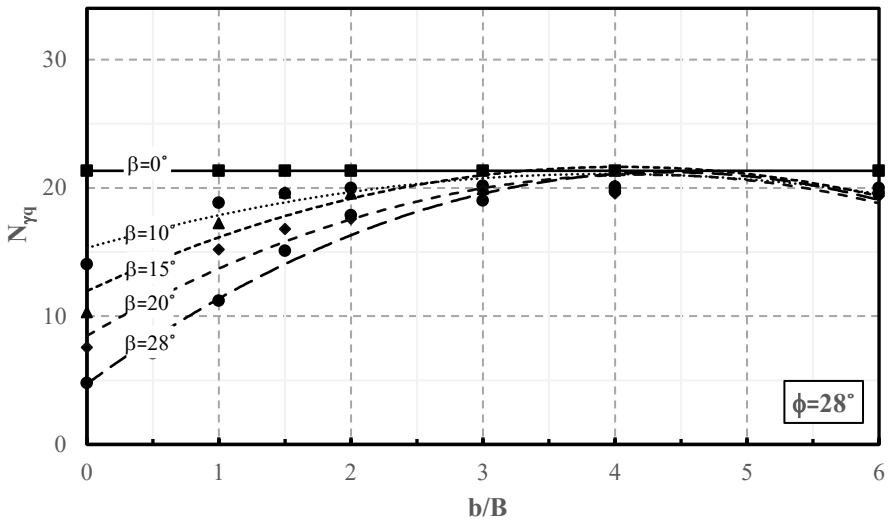

50
40
30
20
10
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

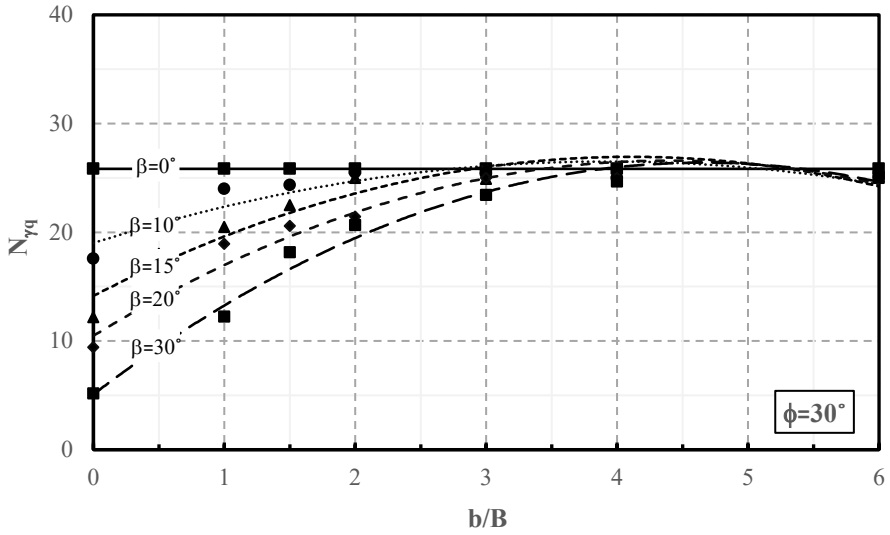

60
45
30
15
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

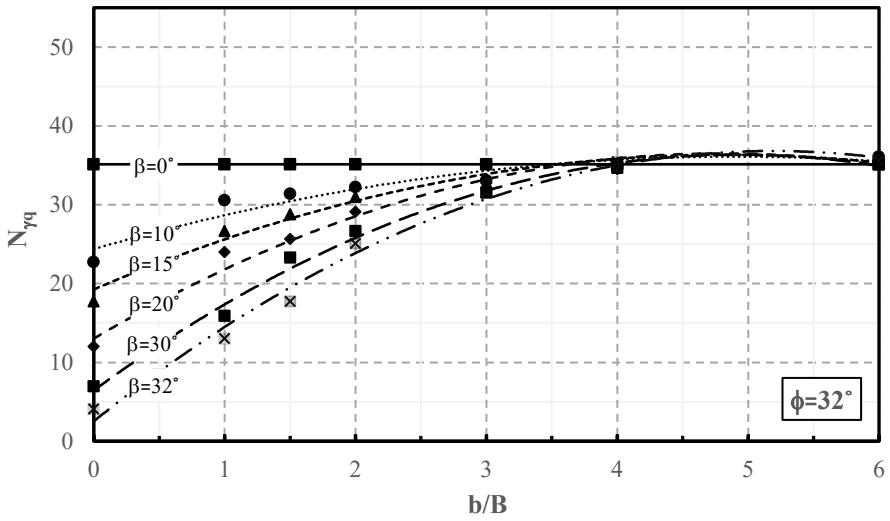

80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

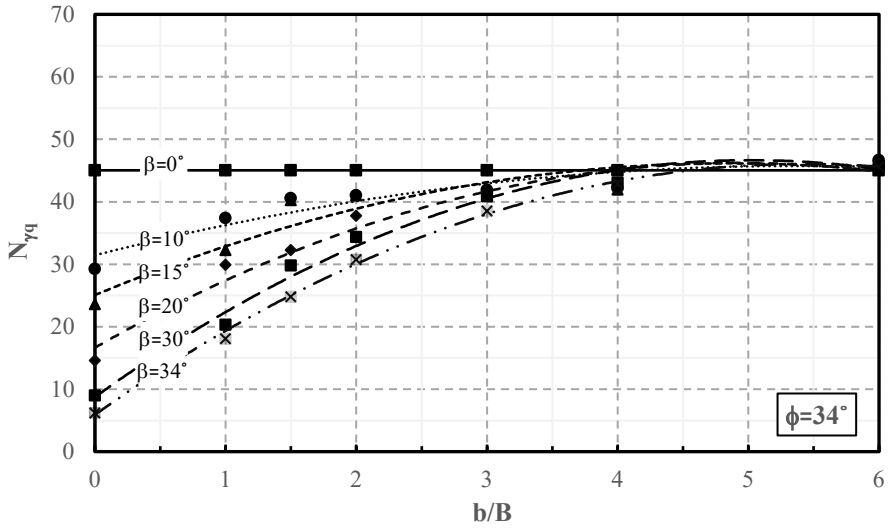


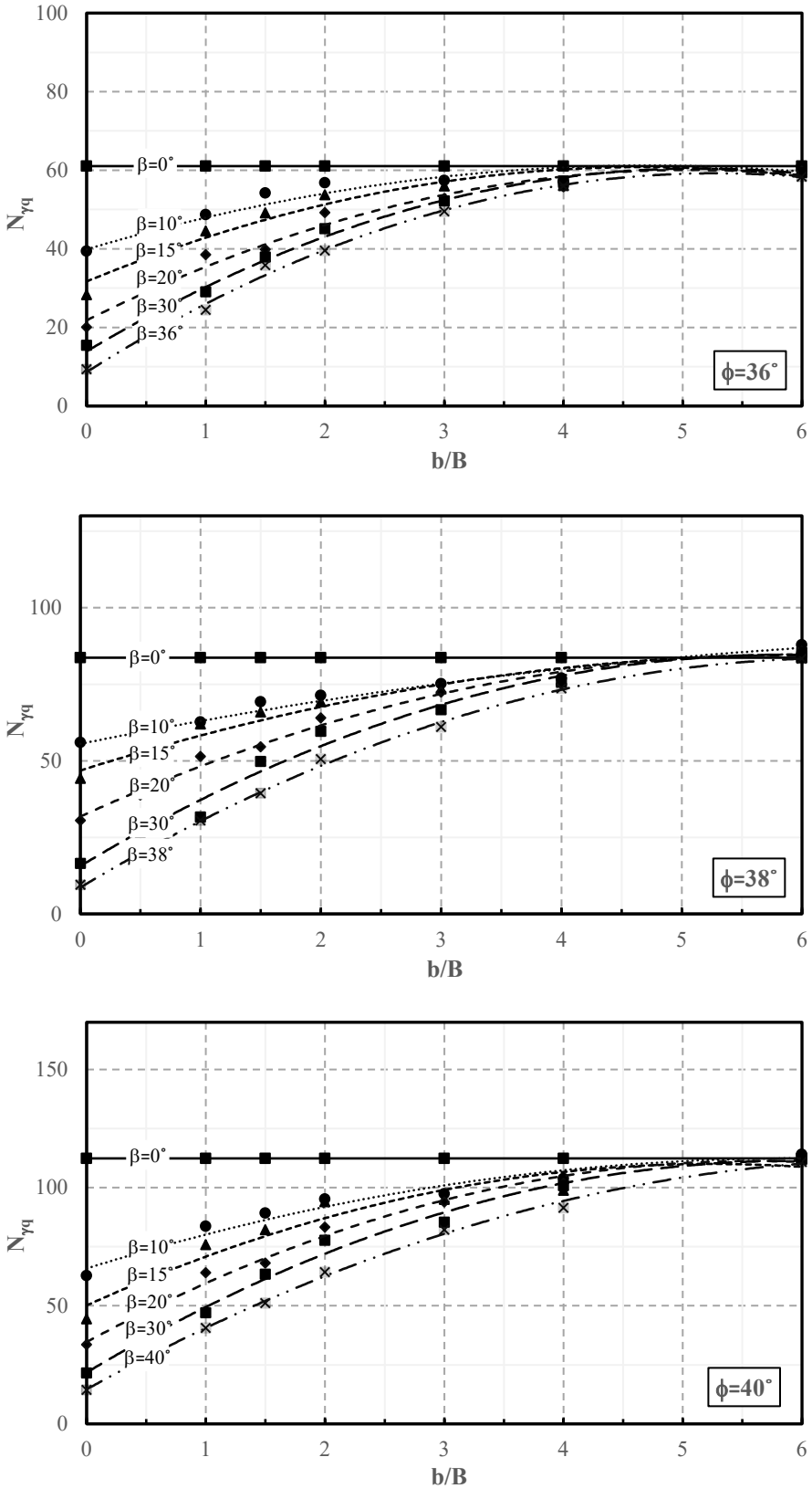
Ek Şekil 25. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 m)



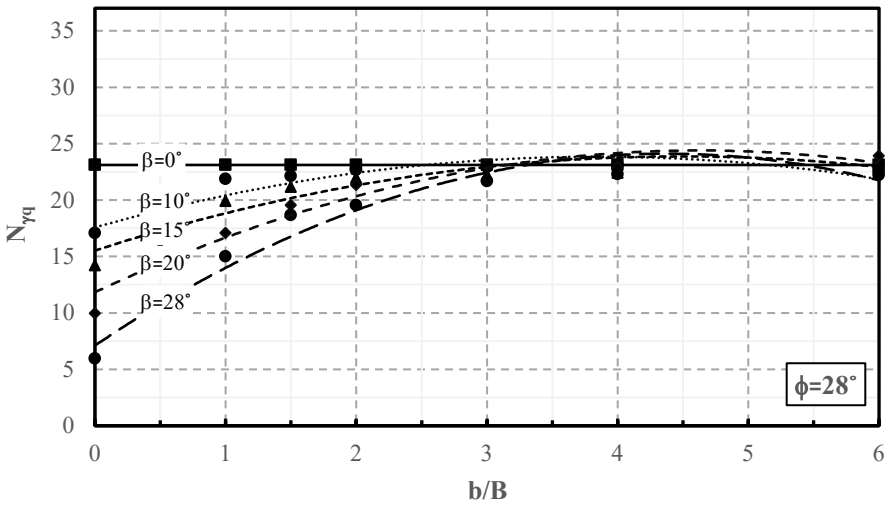

40
30
20
10
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
ϕ=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

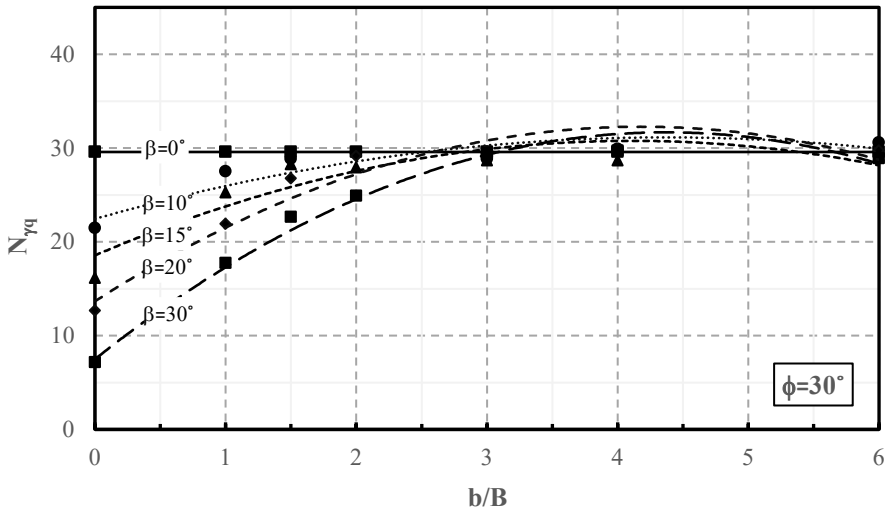

50
40
30
20
10
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=32°
ϕ=32°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

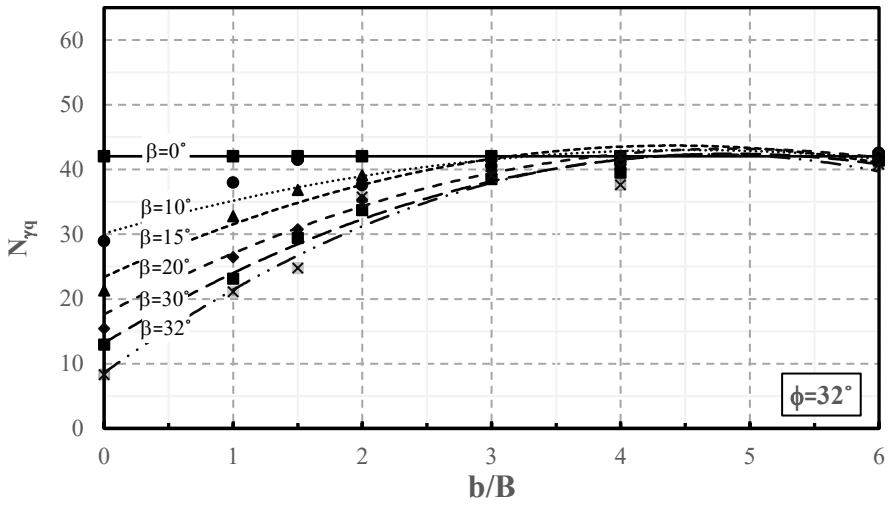

70
60
50
40
30
20
10
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=34°
ϕ=34°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

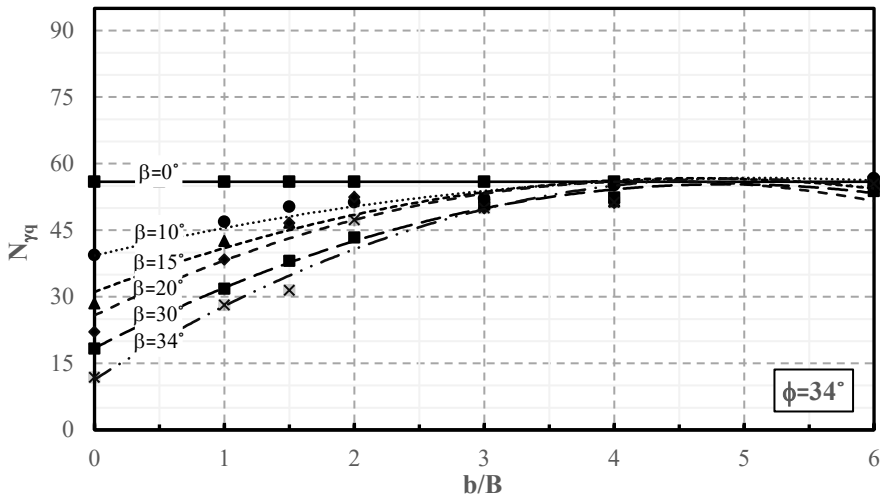


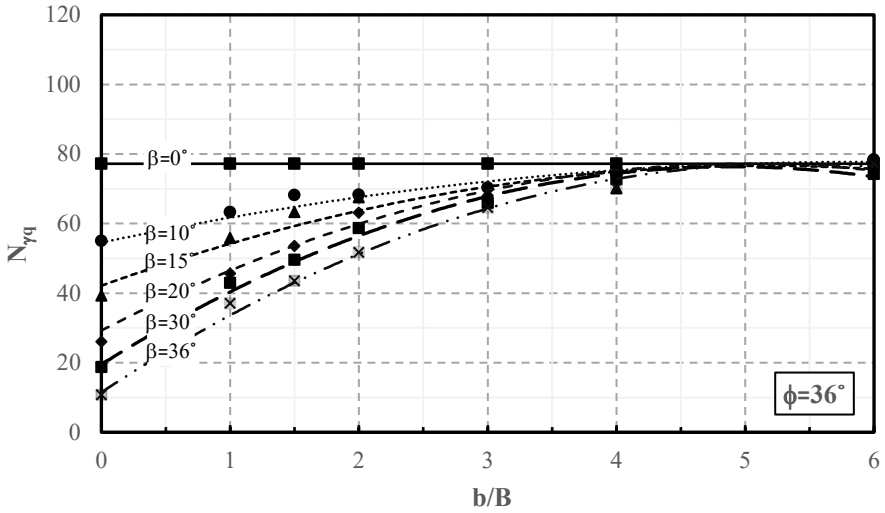
Ek Şekil 26. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 m)

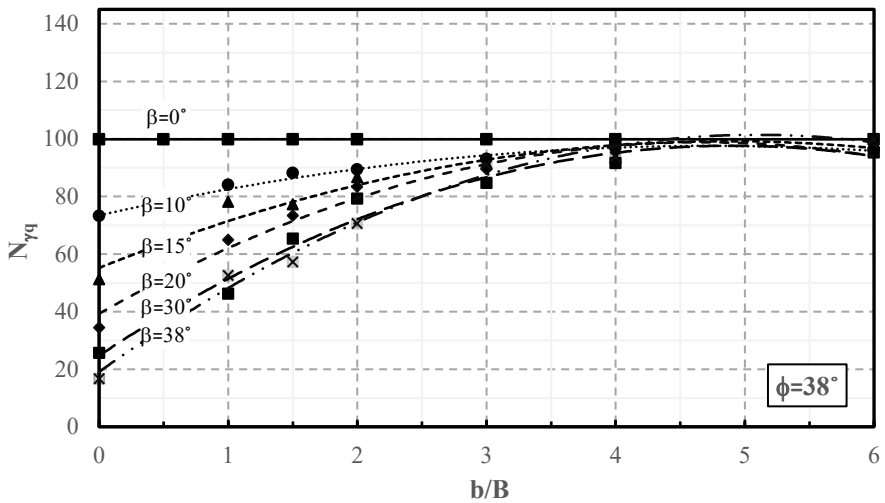

35
30
25
20
15
10
5
0
0
1
2
3
4
5
6
$N_{\gamma q}$
b/B
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=28°
ϕ=28°

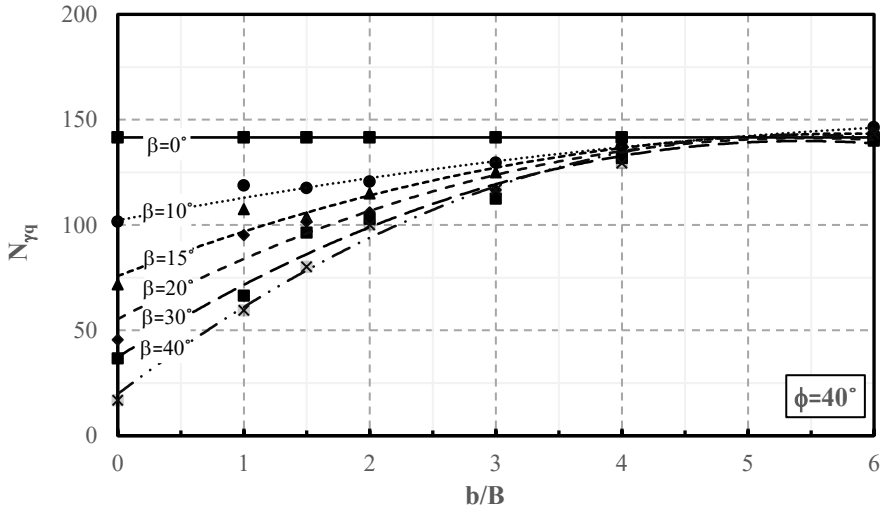

40
30
20
10
0
0
1
2
3
4
5
6
$N_{\gamma q}$
b/B
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
ϕ=30°


60
50
40
30
20
10
0
0
1
2
3
4
5
6
$N_{\gamma q}$
b/B
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=32°
ϕ=32°

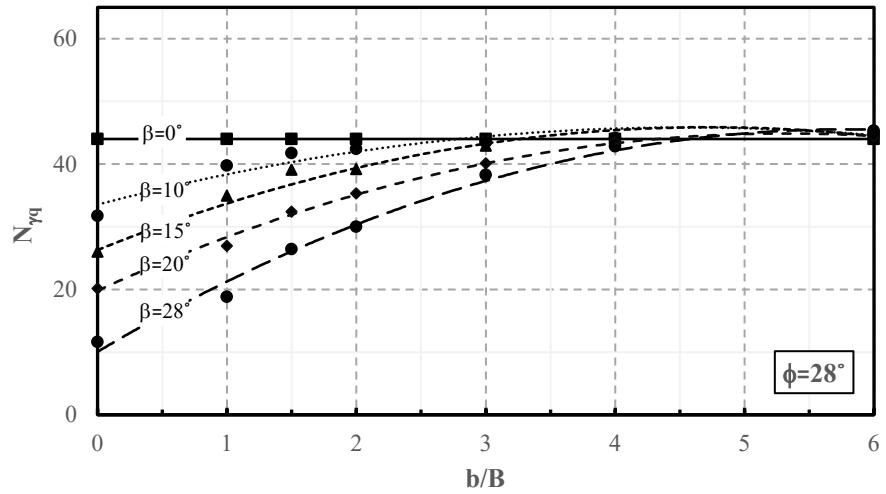

90
75
60
45
30
15
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=34°
ϕ=34°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

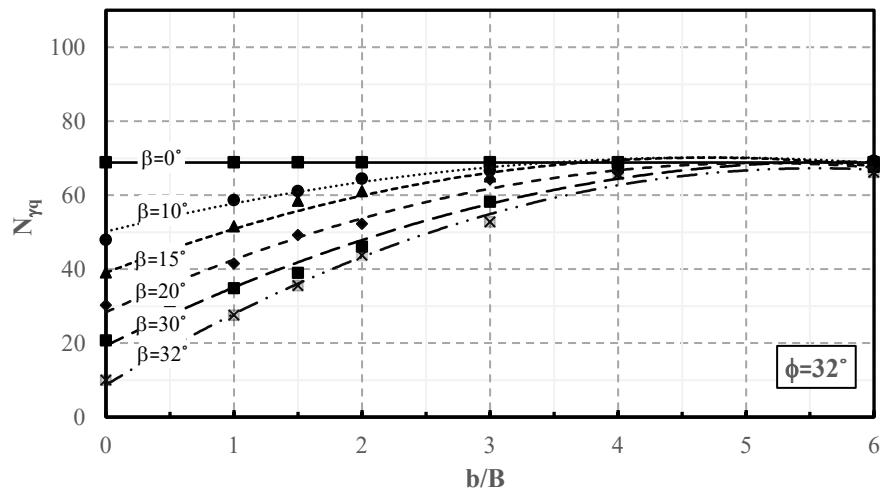

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=36°
ϕ=36°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

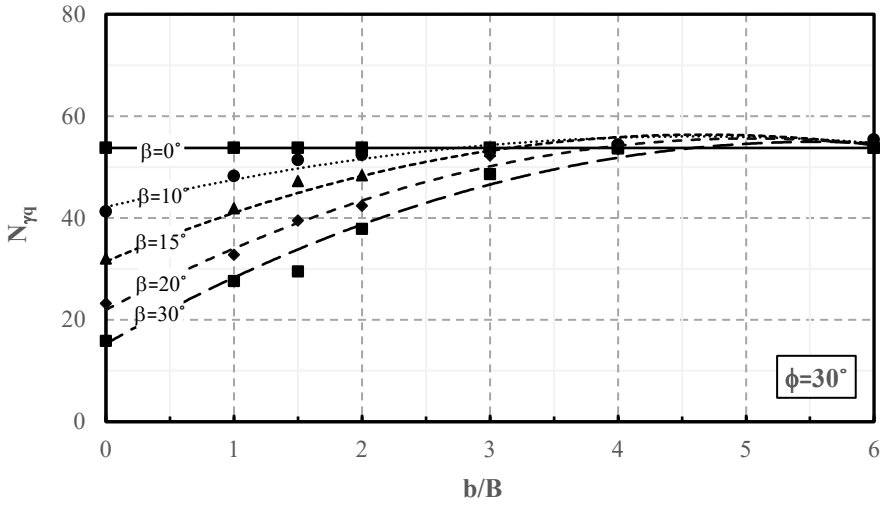

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=38°
ϕ=38°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

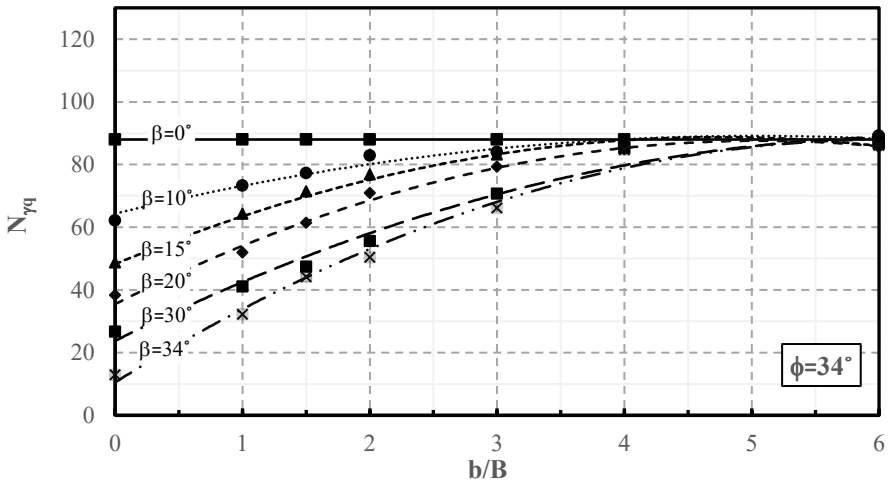


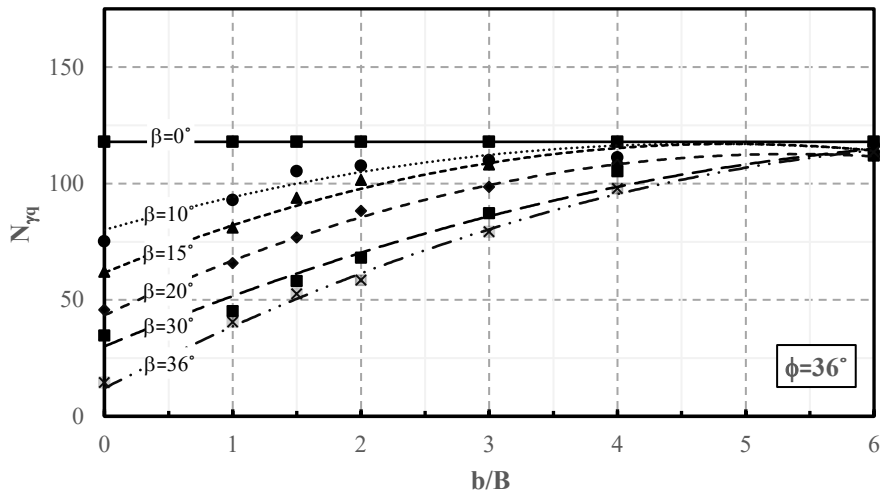
Ek Şekil 27. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 m)

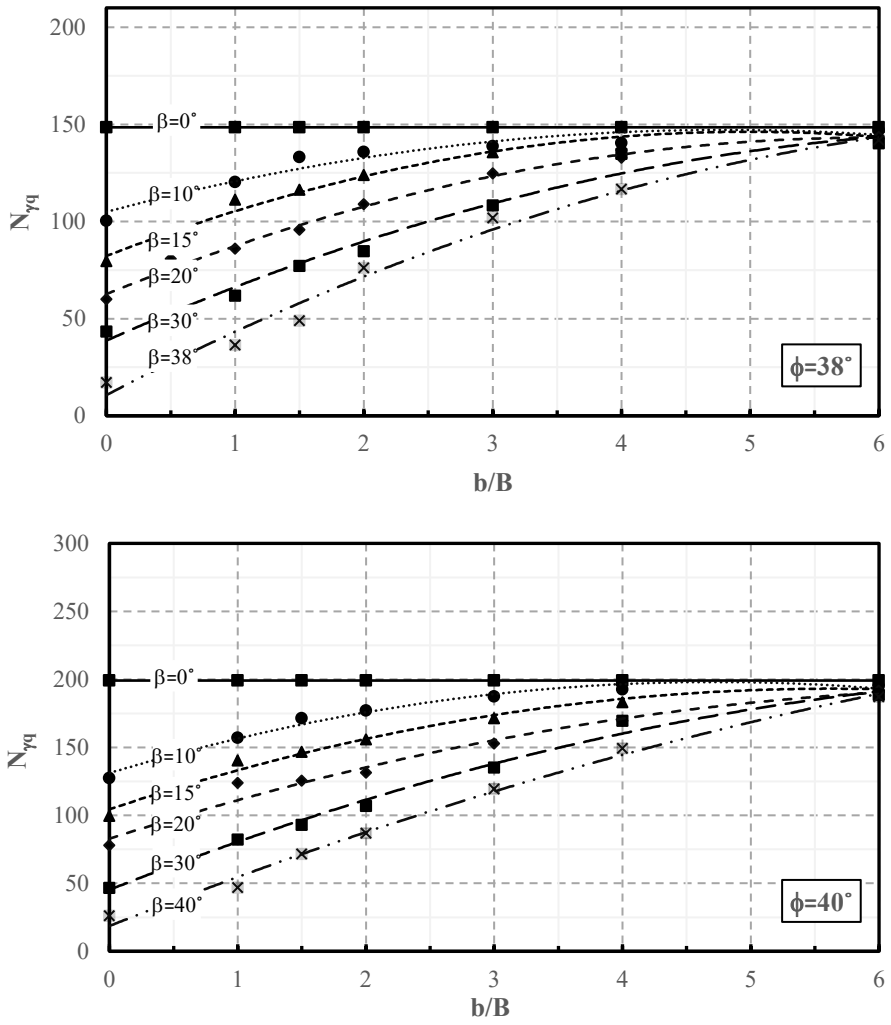




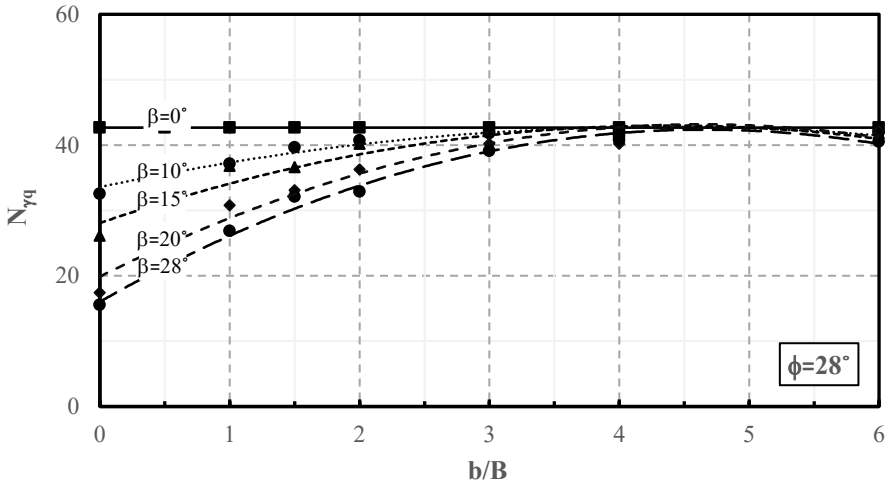

80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

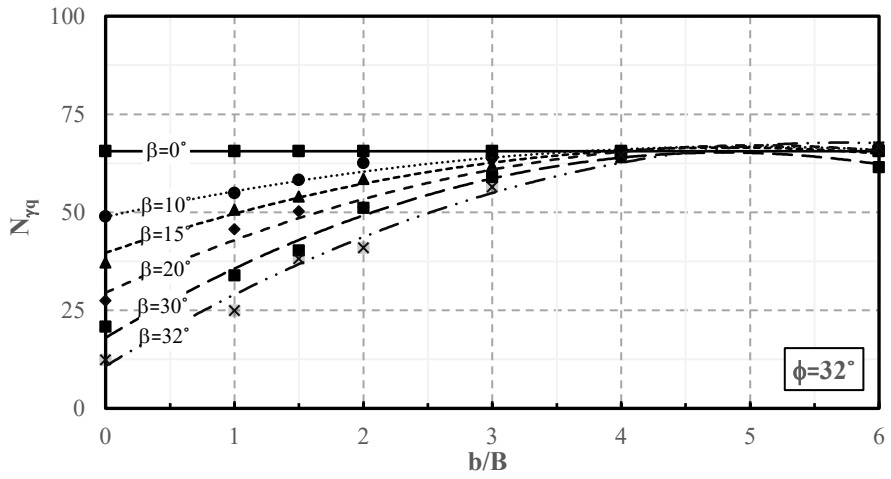

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

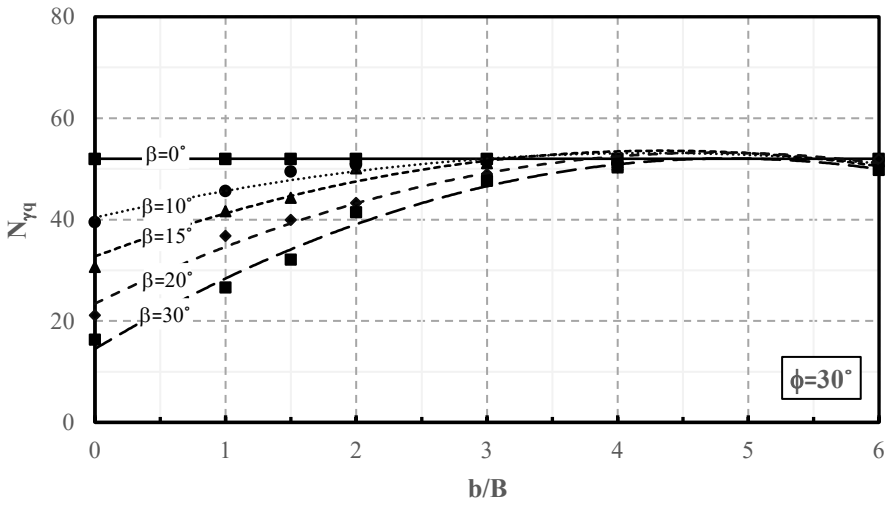

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

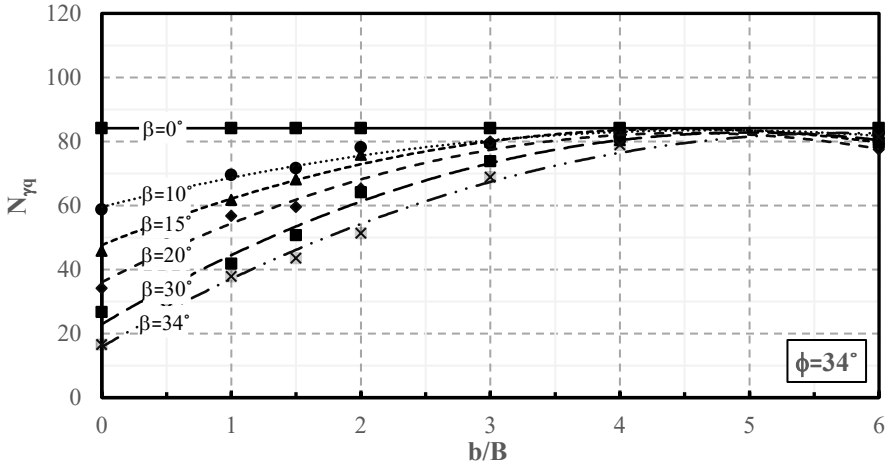


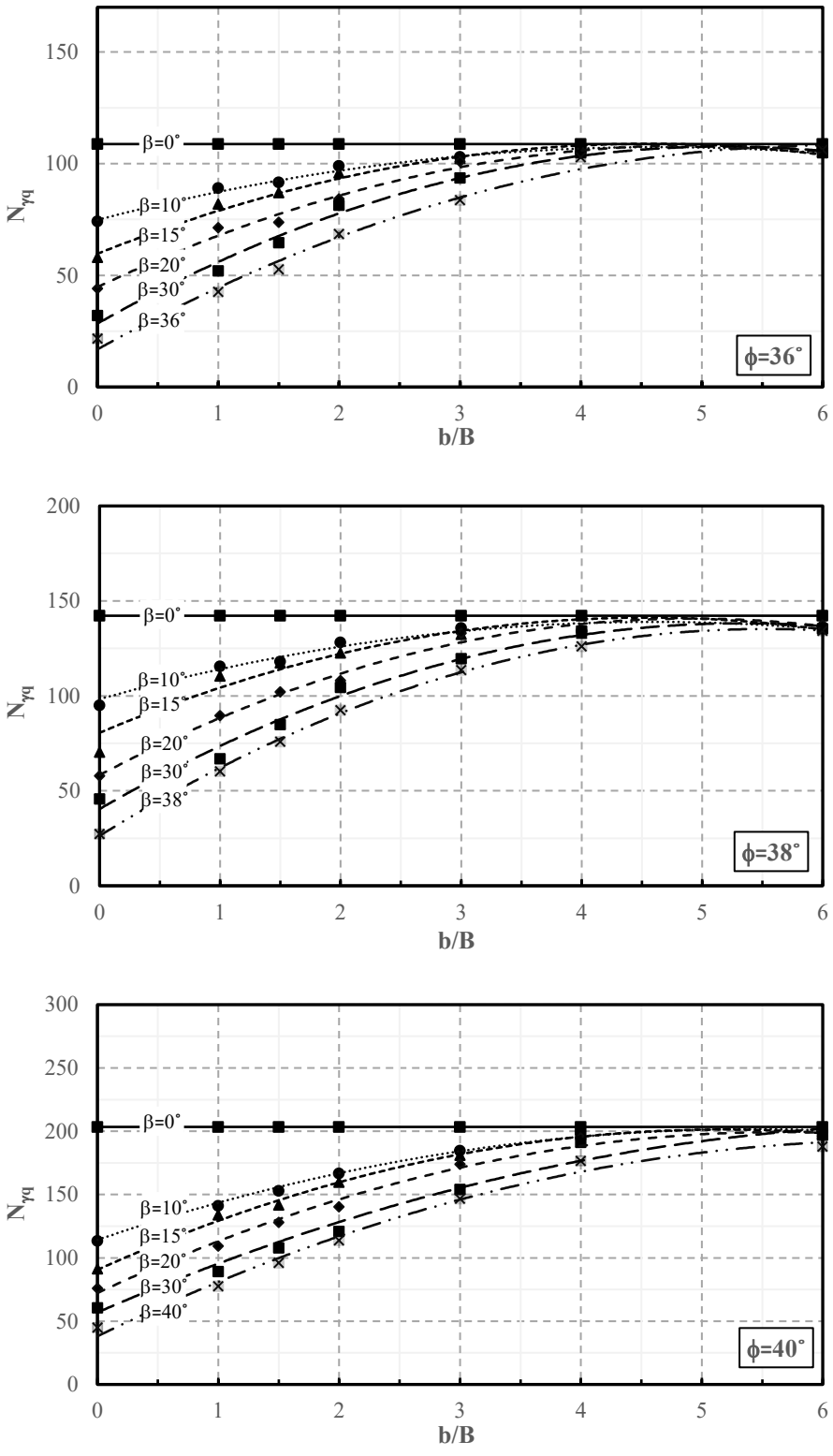
Ek Şekil 28. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 m)



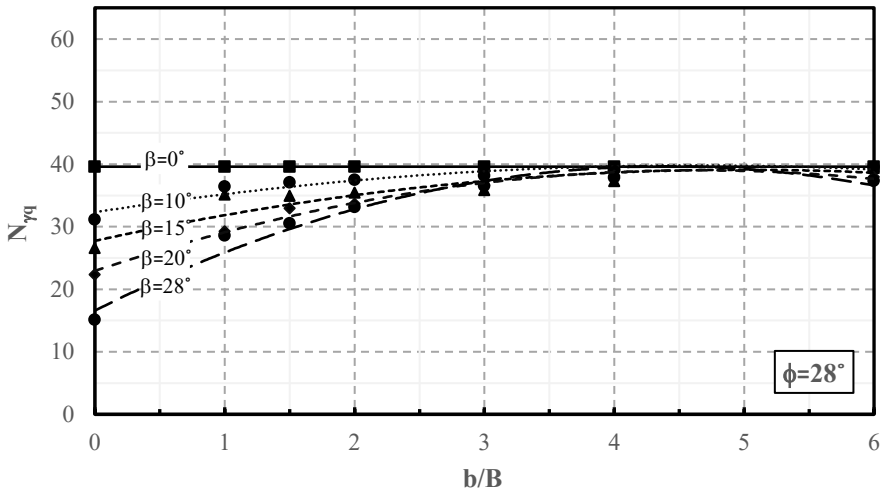

100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

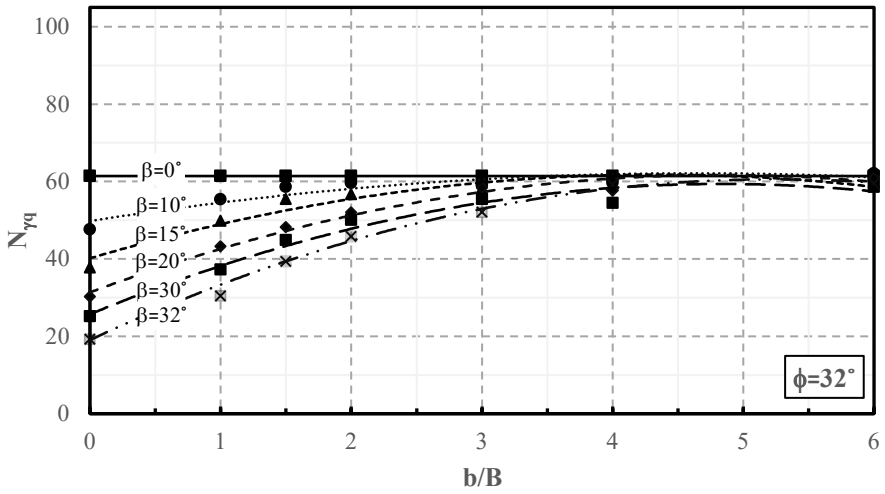

80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

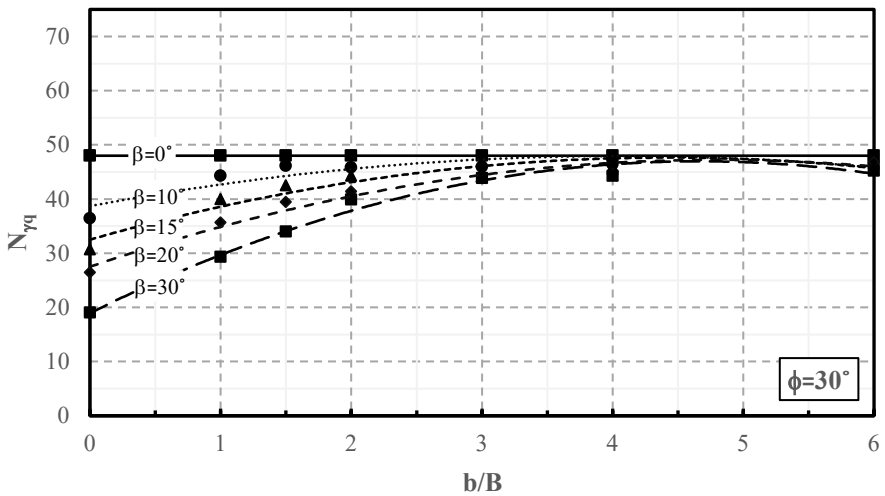

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

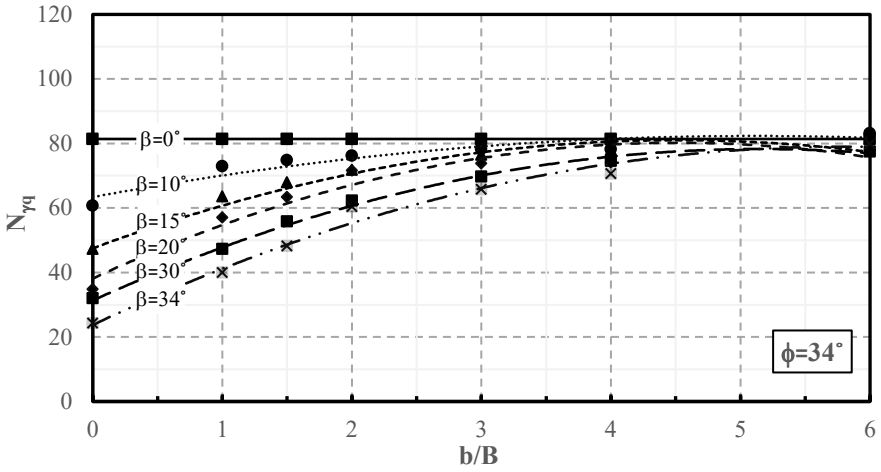


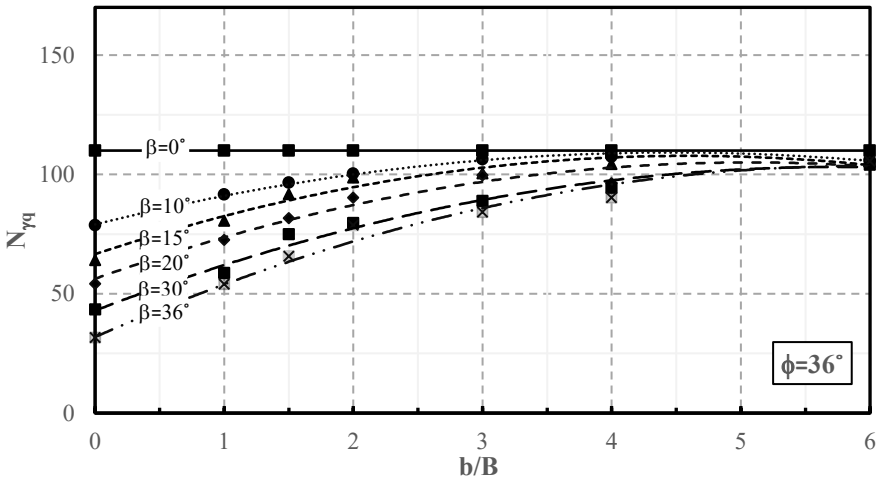
Ek Şekil 29. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 m)

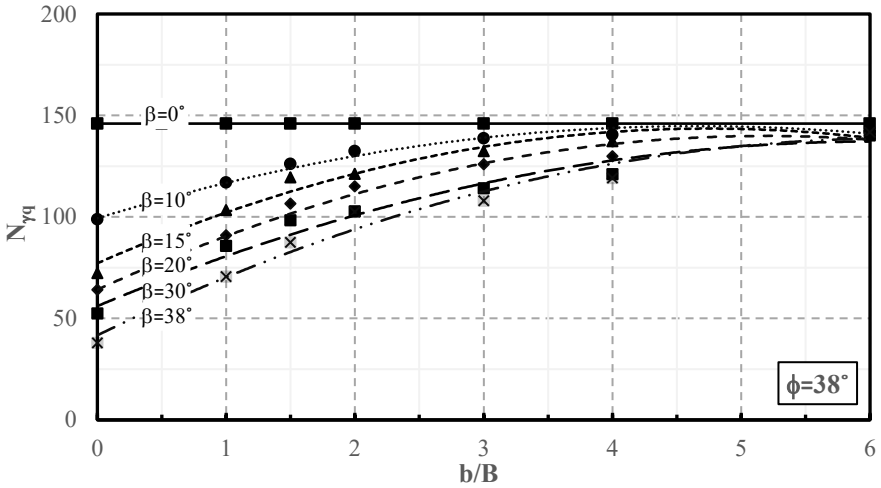

60
50
40
30
20
10
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=28˚
ϕ=28˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

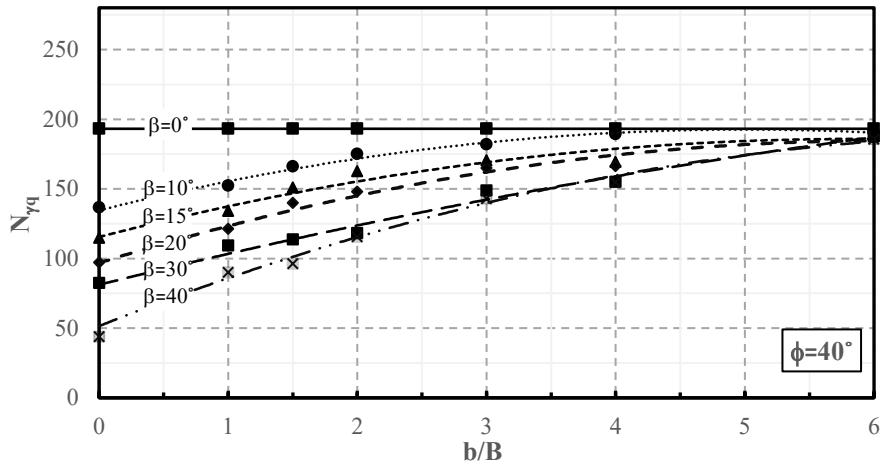

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B


70
60
50
40
30
20
10
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

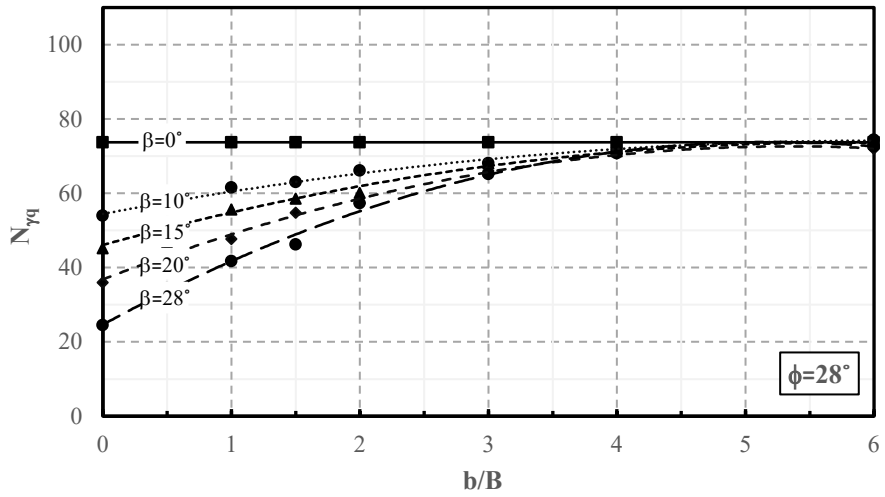

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

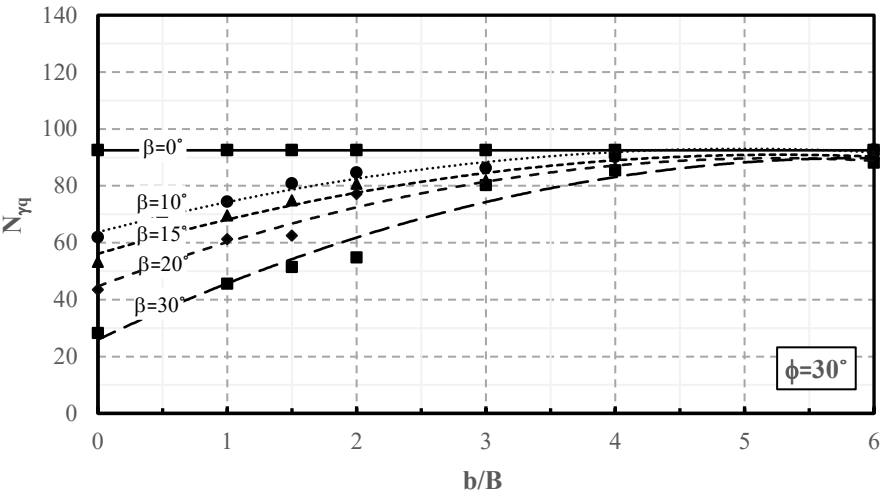

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

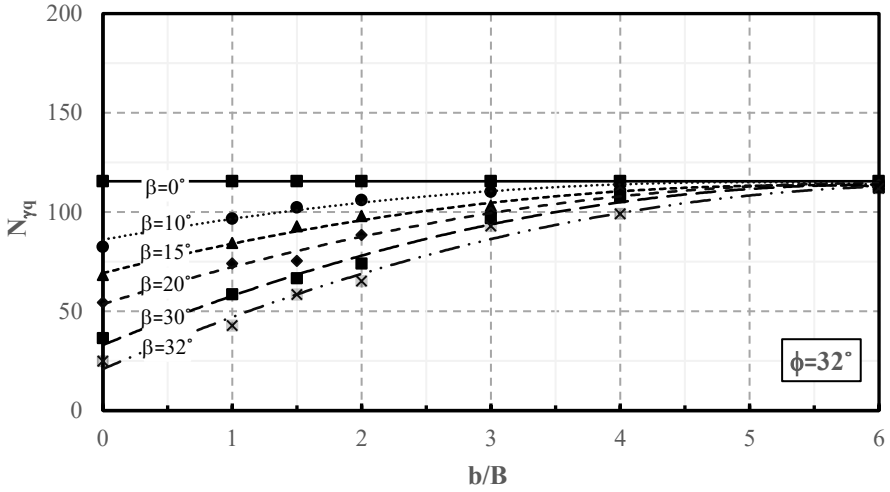

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=38˚
ϕ=38˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

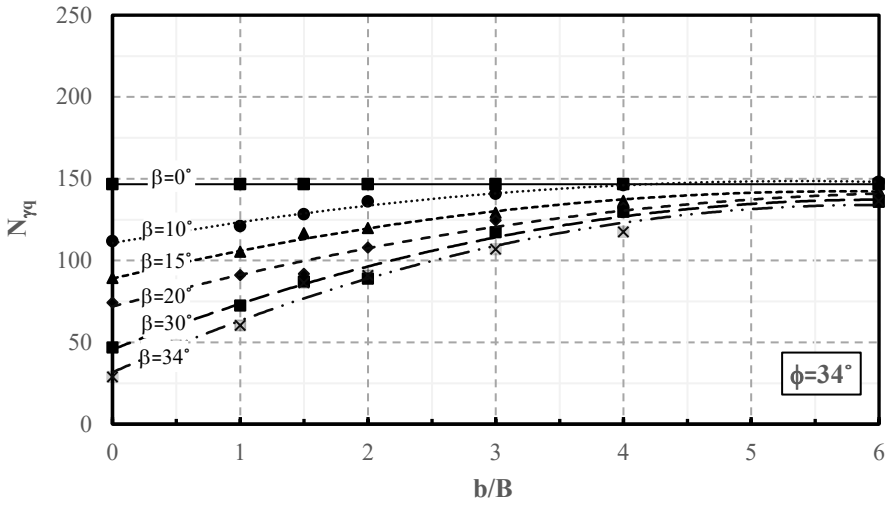


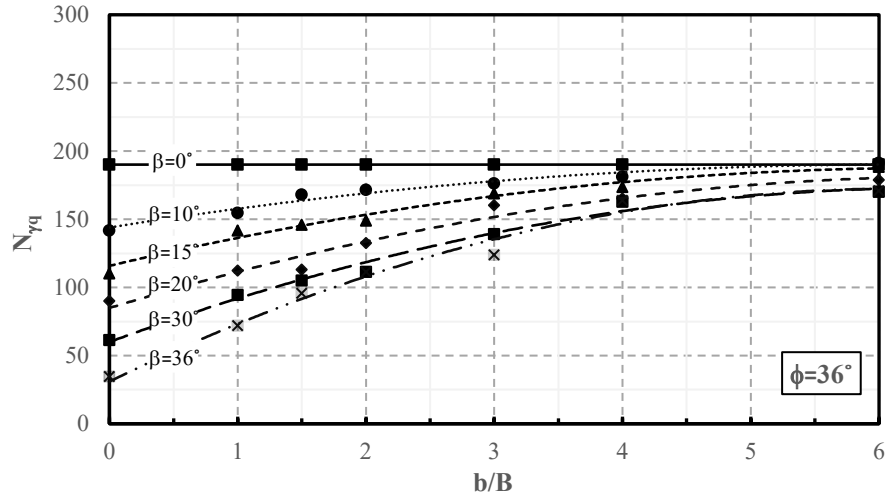
Ek Şekil 30. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 m)

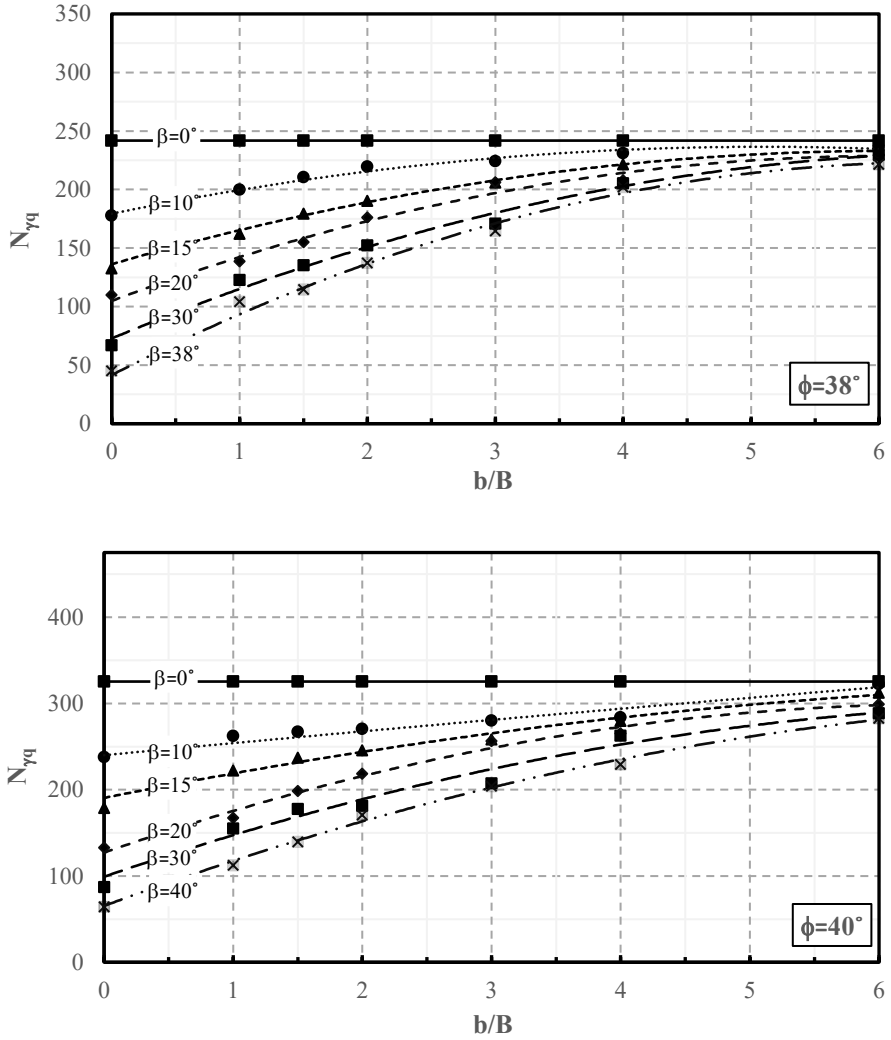




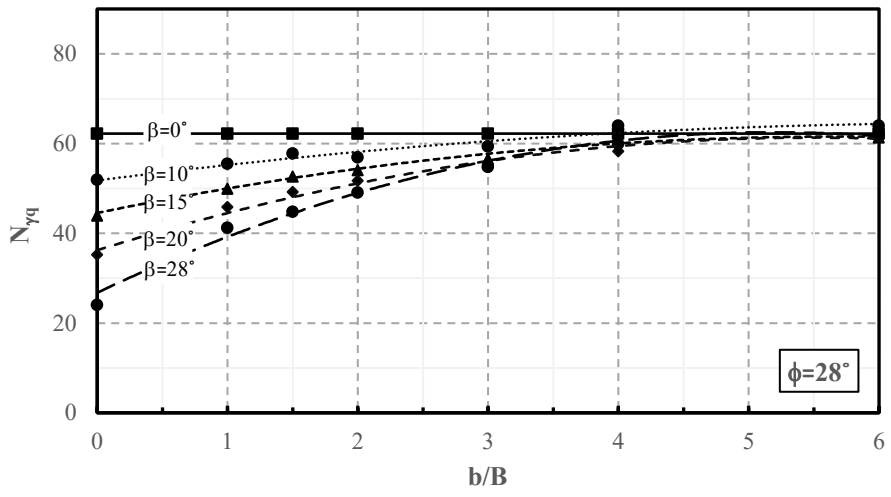

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=32°
ϕ=32°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

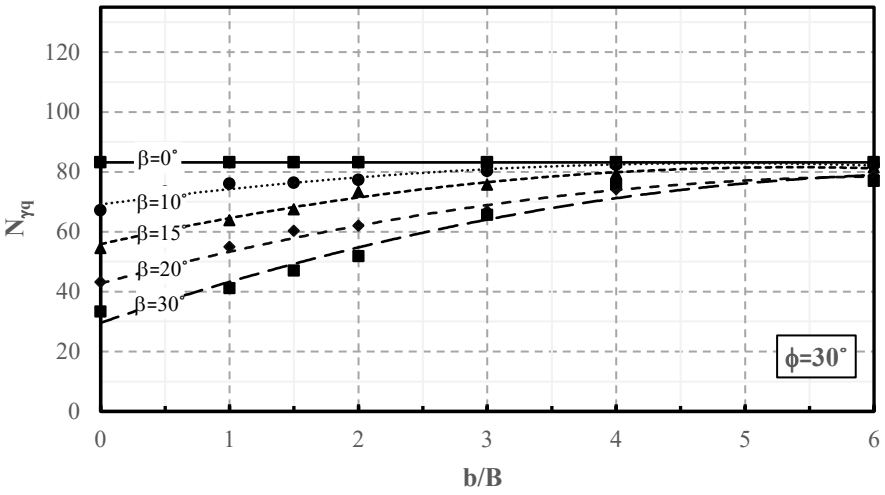

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=34°
ϕ=34°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

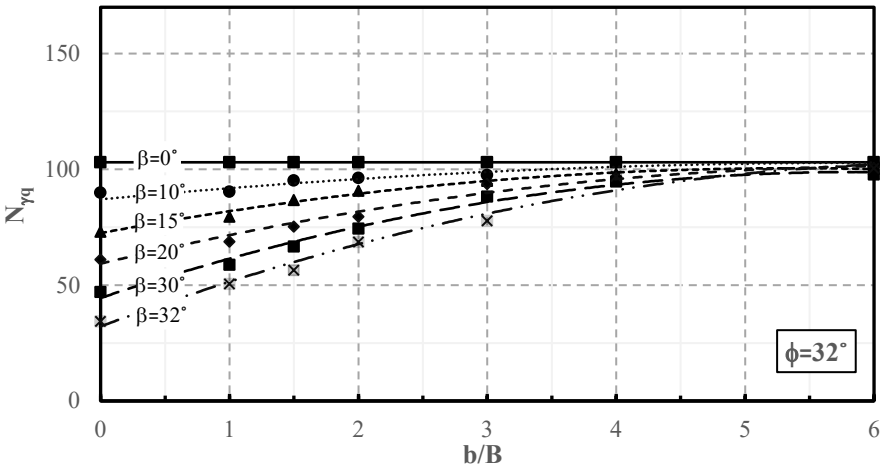

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0°
β=10°
β=15°
β=20°
β=30°
β=36°
ϕ=36°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

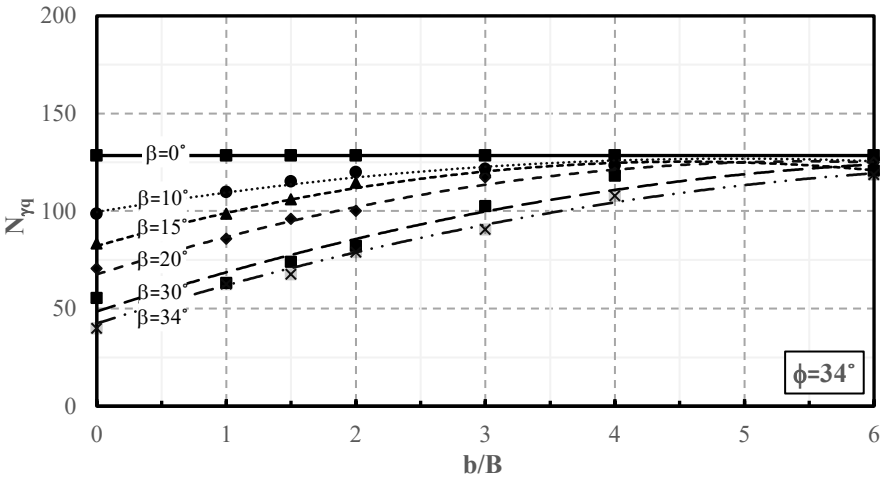


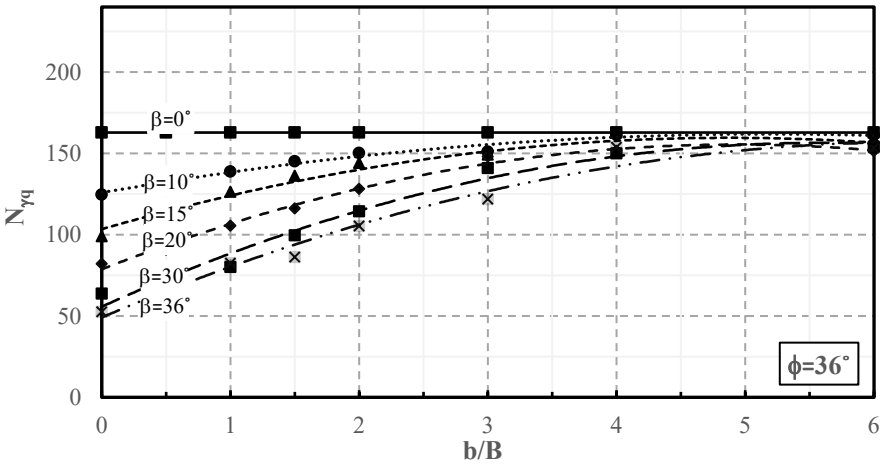
Ek Şekil 31. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 m)

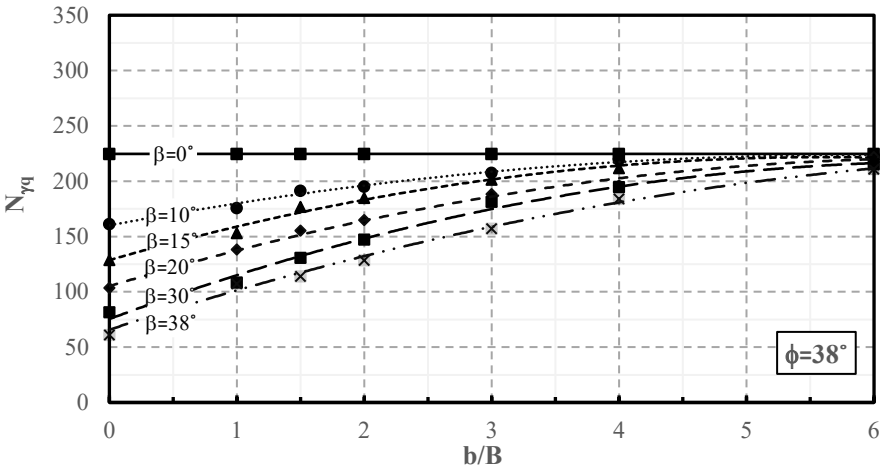


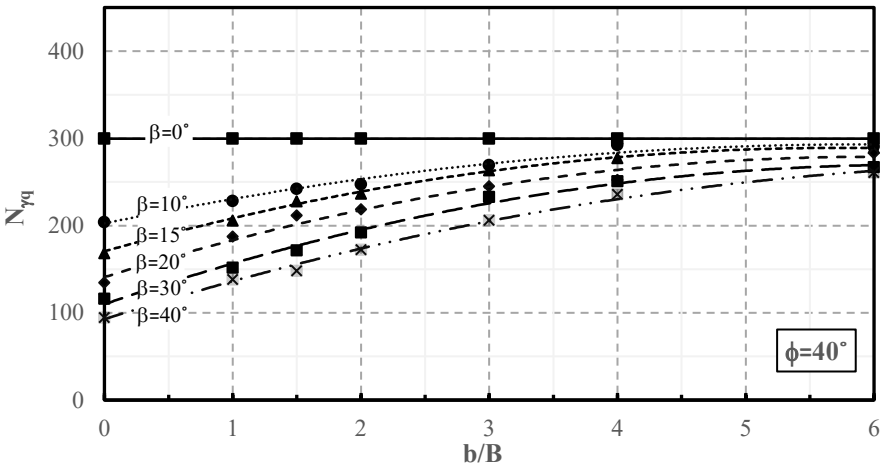

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B


150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

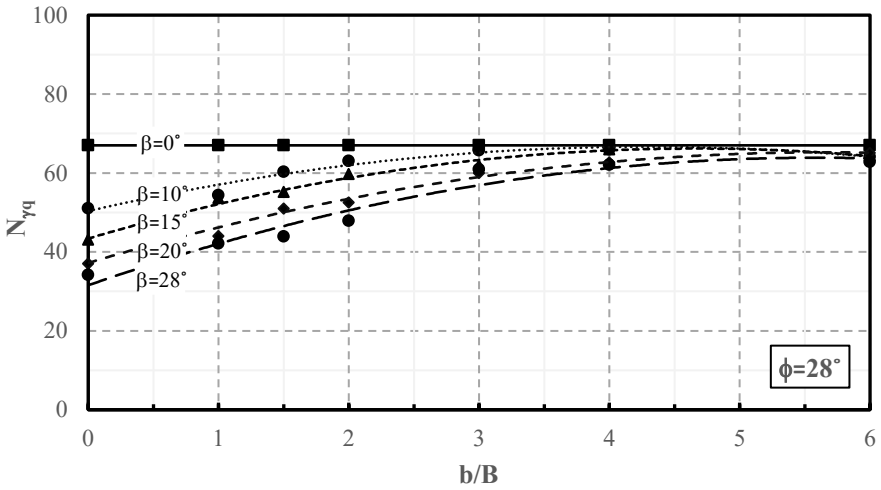

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

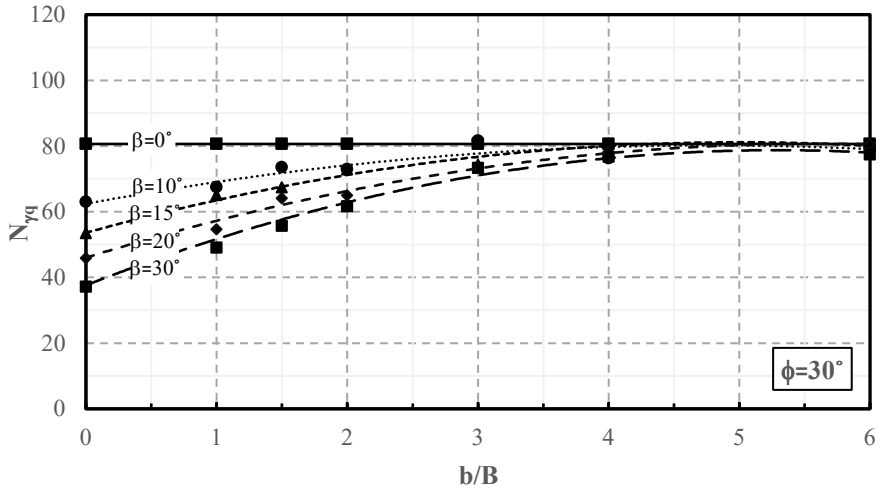


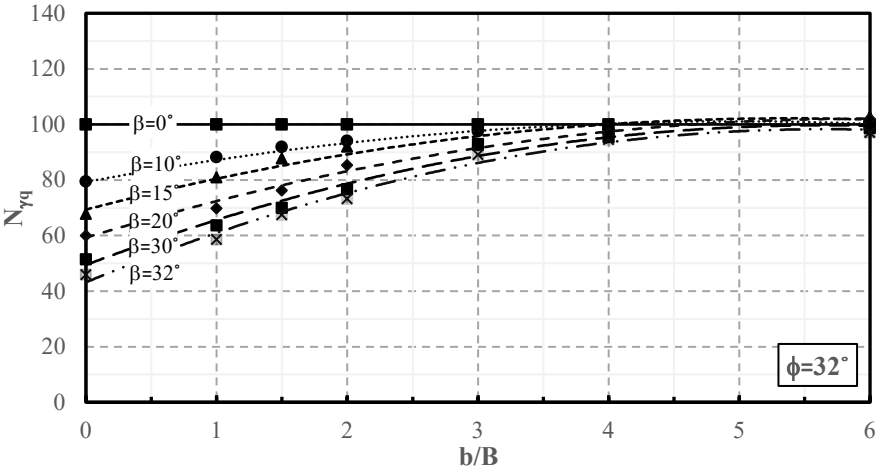


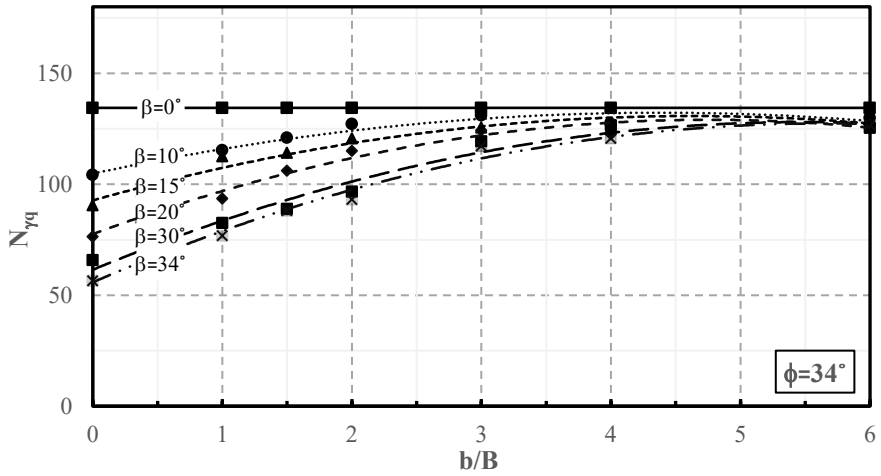


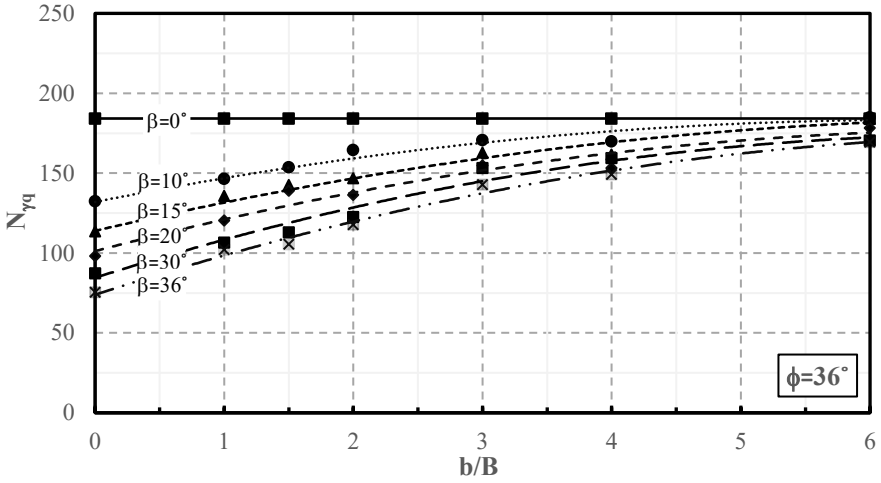
Ek Şekil 32. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 m)

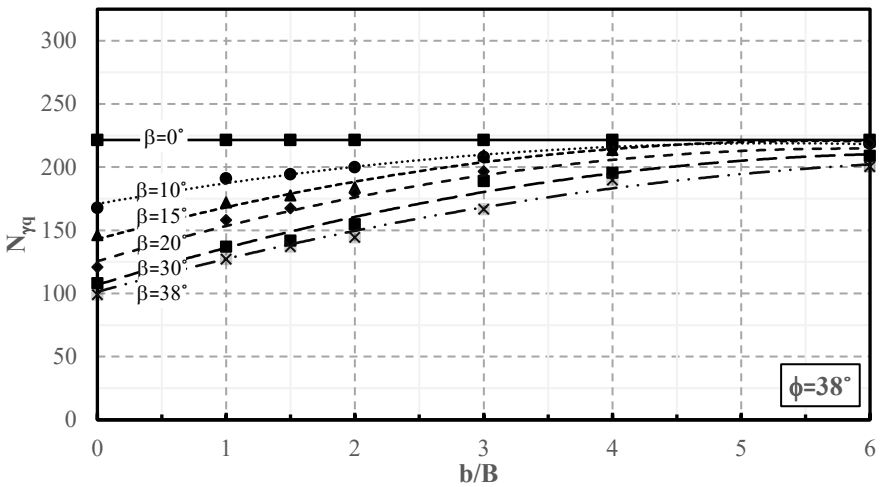

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=28˚
ϕ=28˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

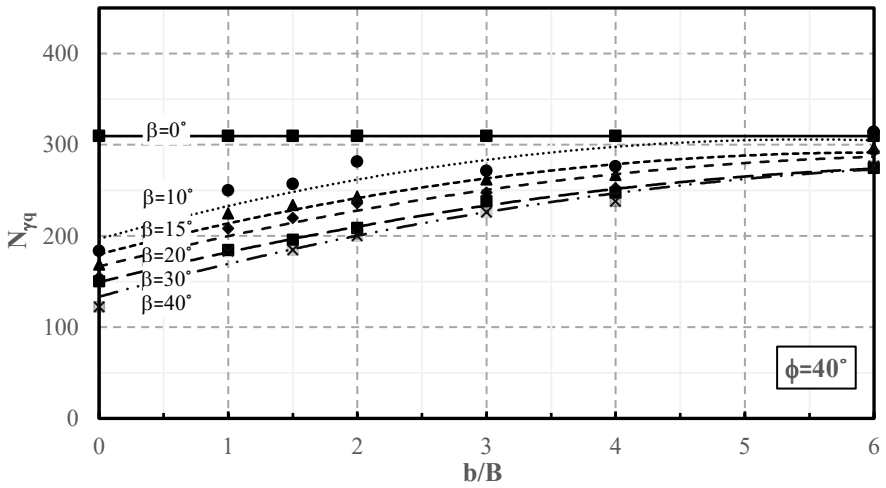

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
ϕ=30˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B


140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=32˚
ϕ=32˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

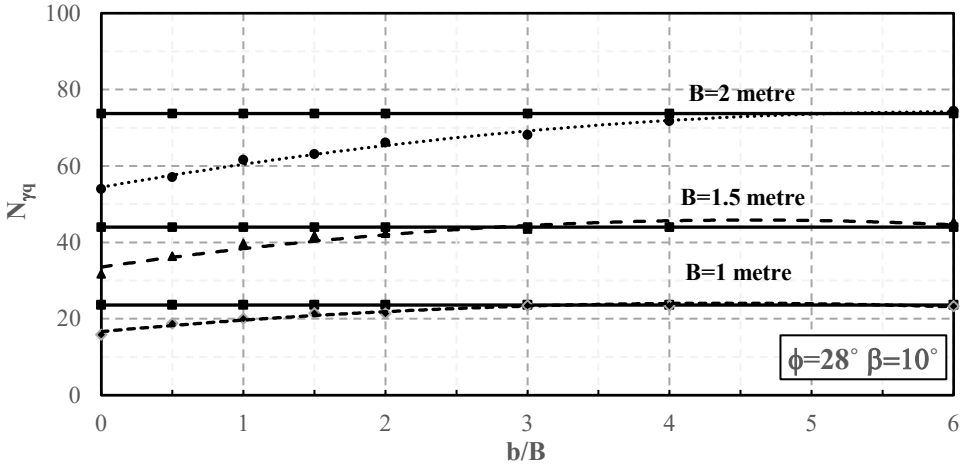

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=34˚
ϕ=34˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

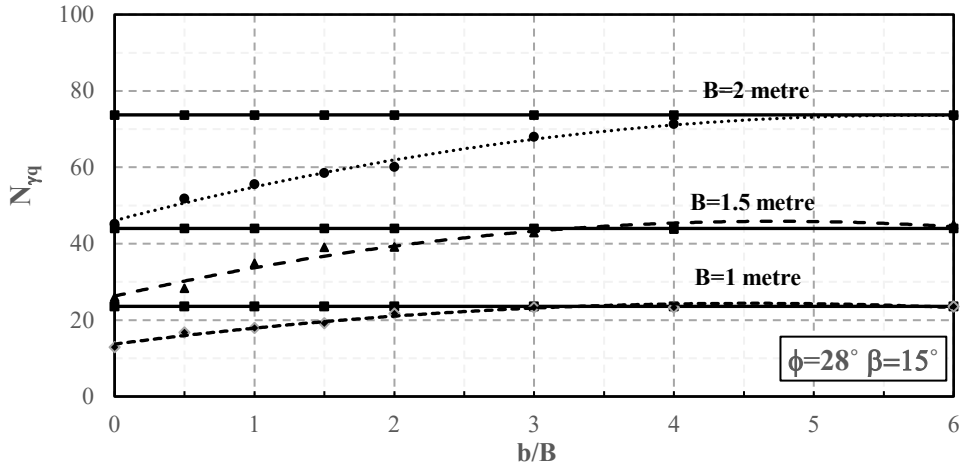

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=36˚
ϕ=36˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

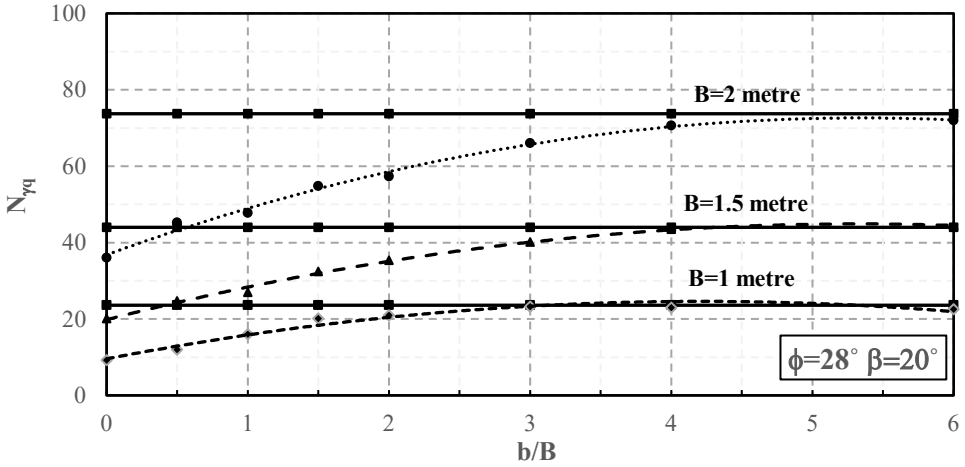

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
β=0˚
β=10˚
β=15˚
β=20˚
β=30˚
β=38˚
ϕ=38˚
0
1
2
3
4
5
6
b/B

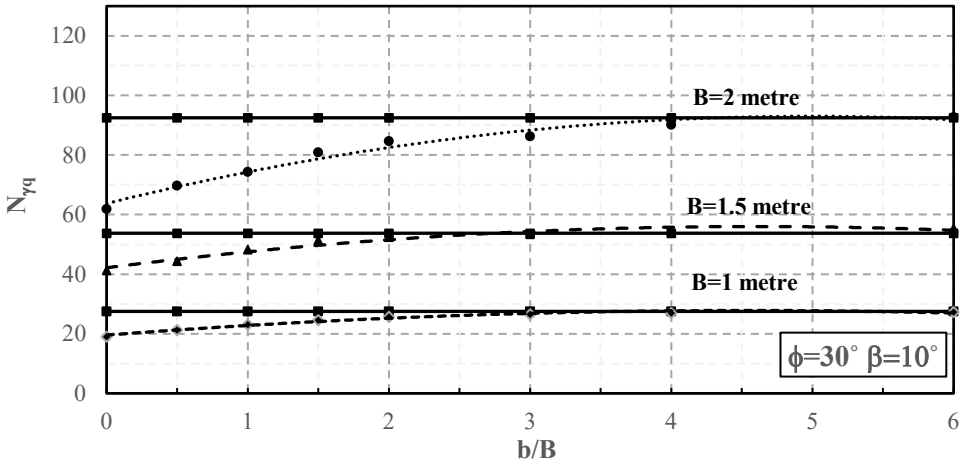


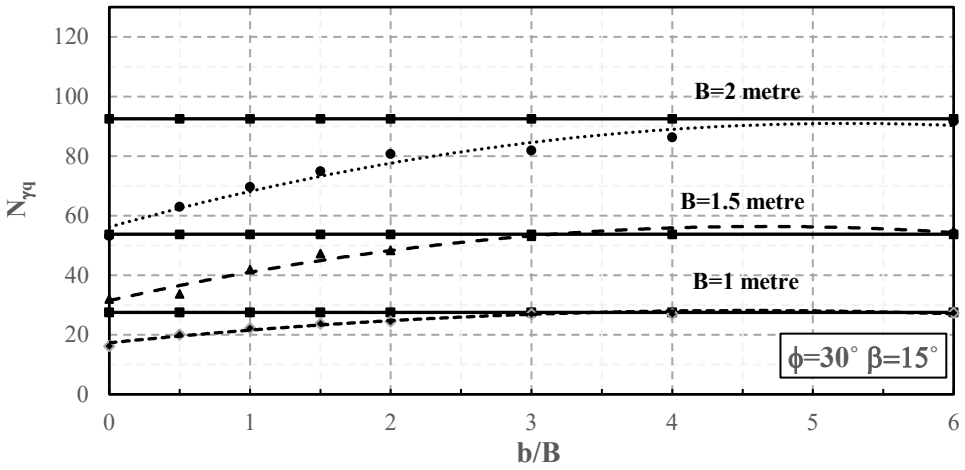
Ek Şekil 33. Farklı β ve ϕ için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 m)

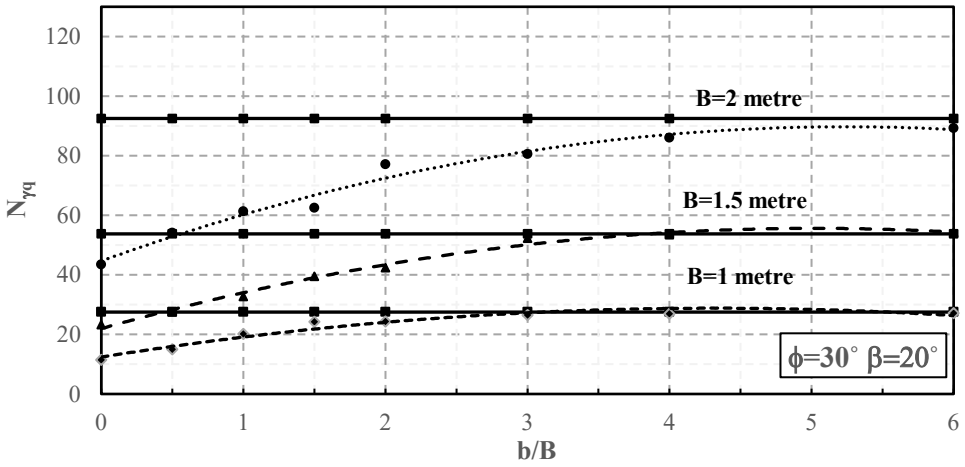


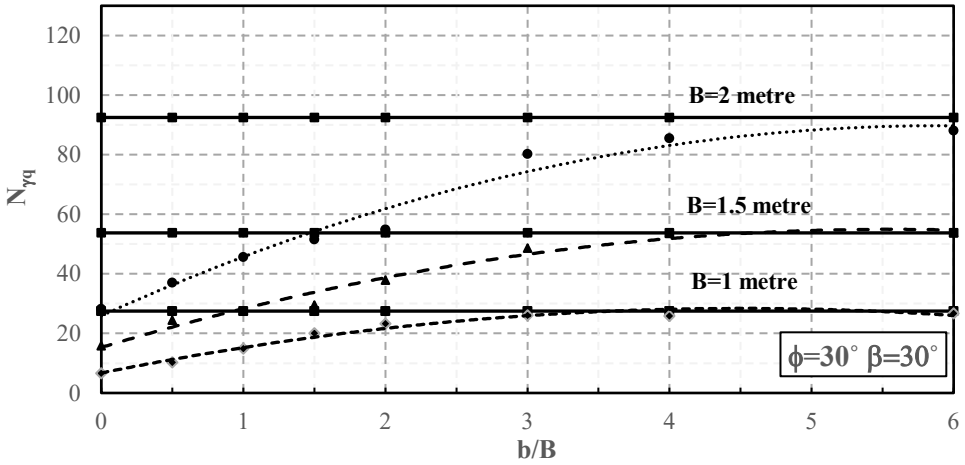


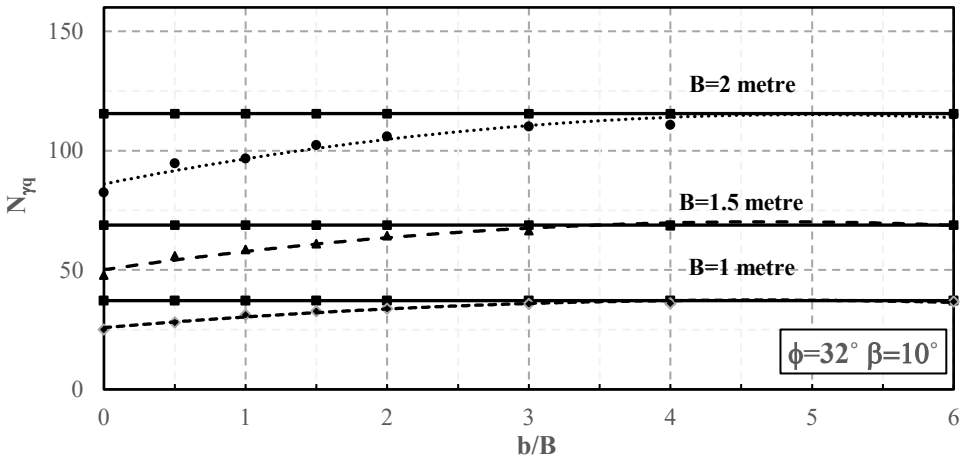

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

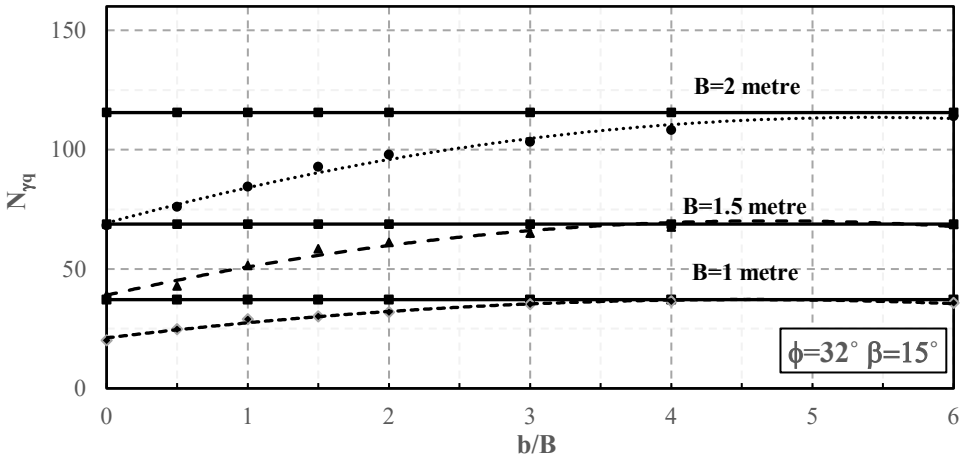

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

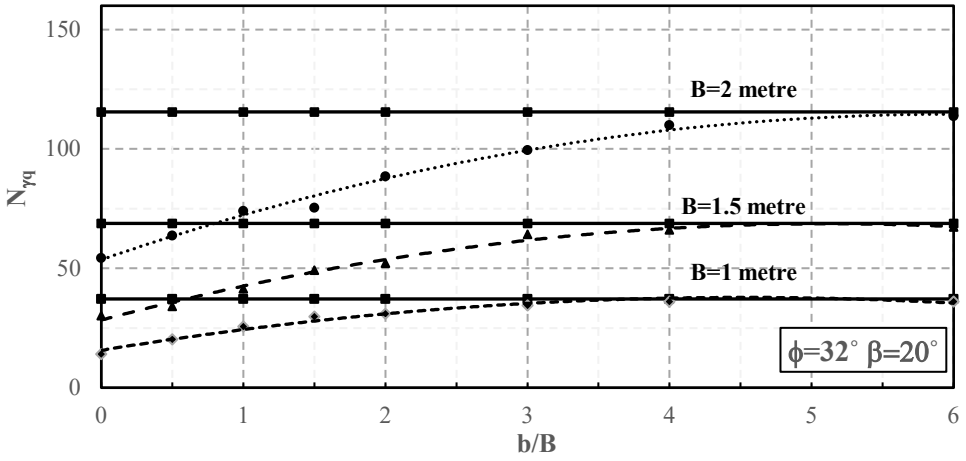

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

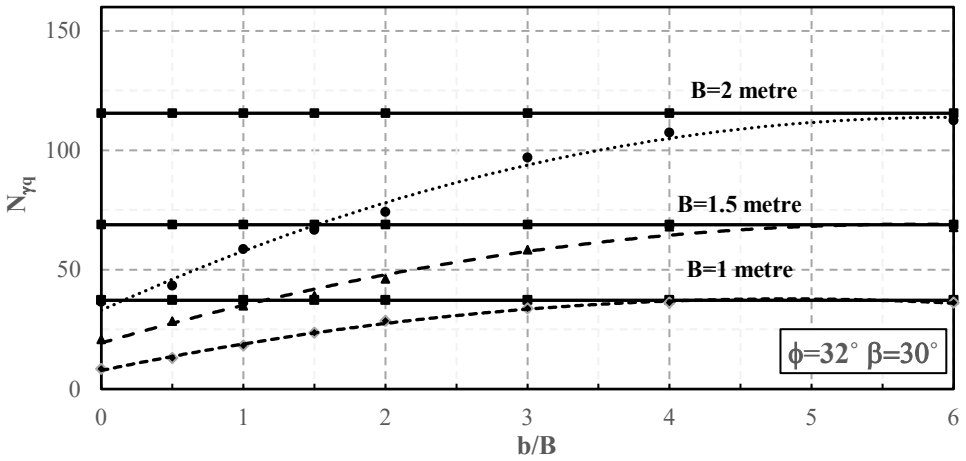

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

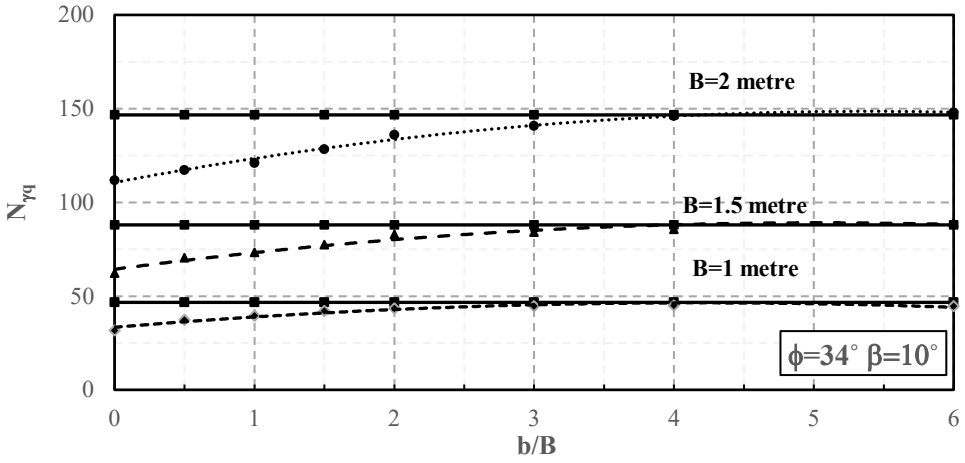

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

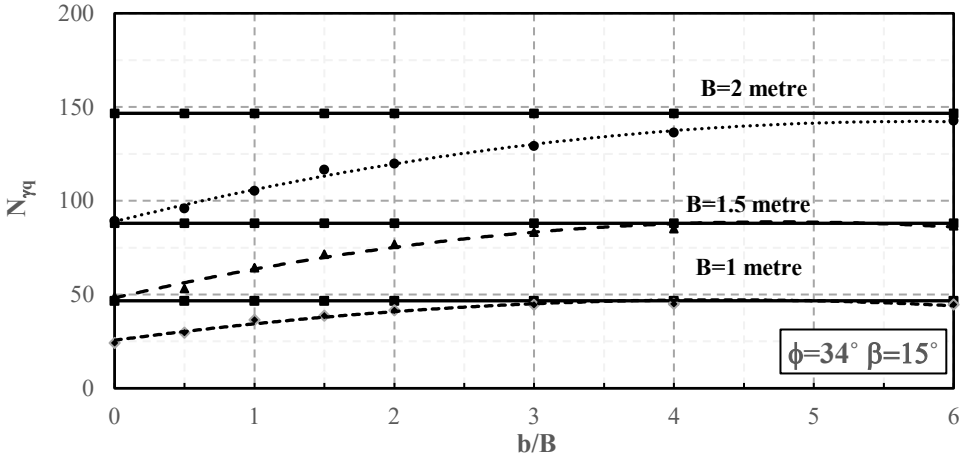

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

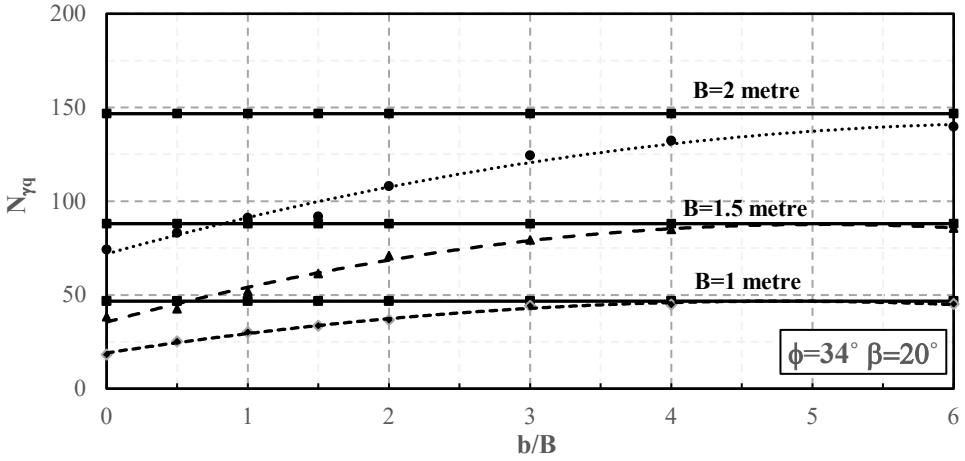

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

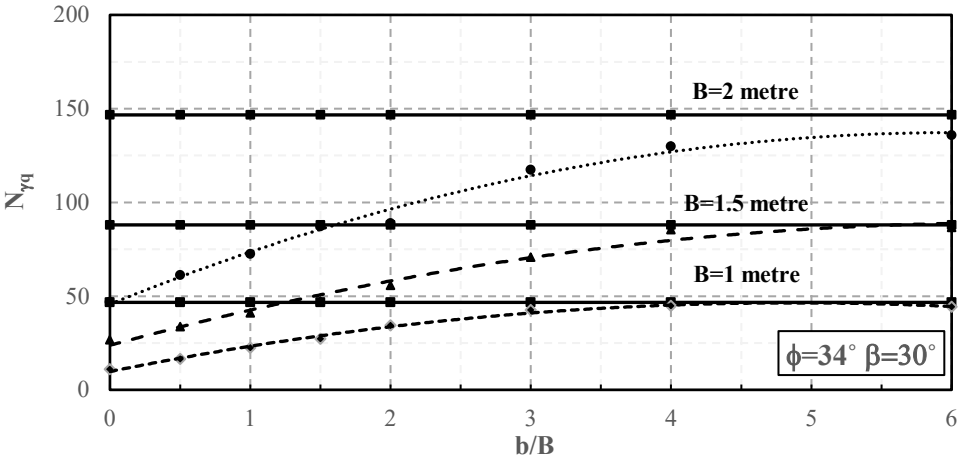

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

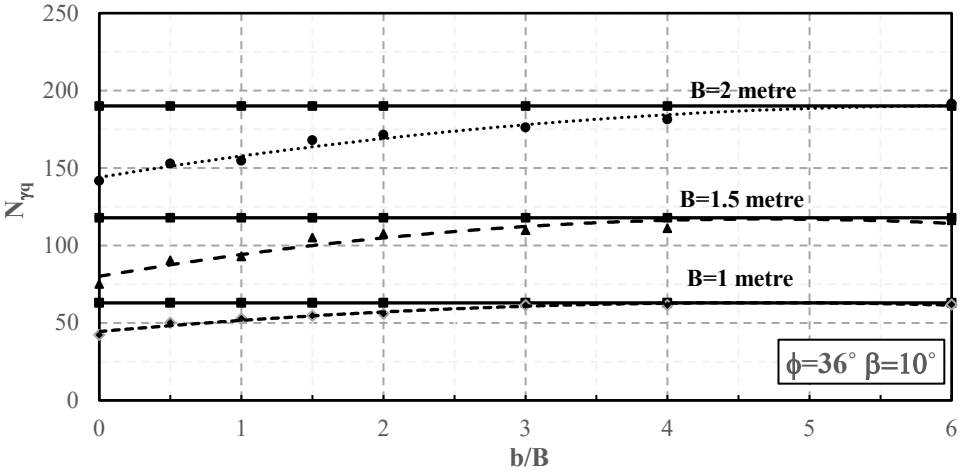

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

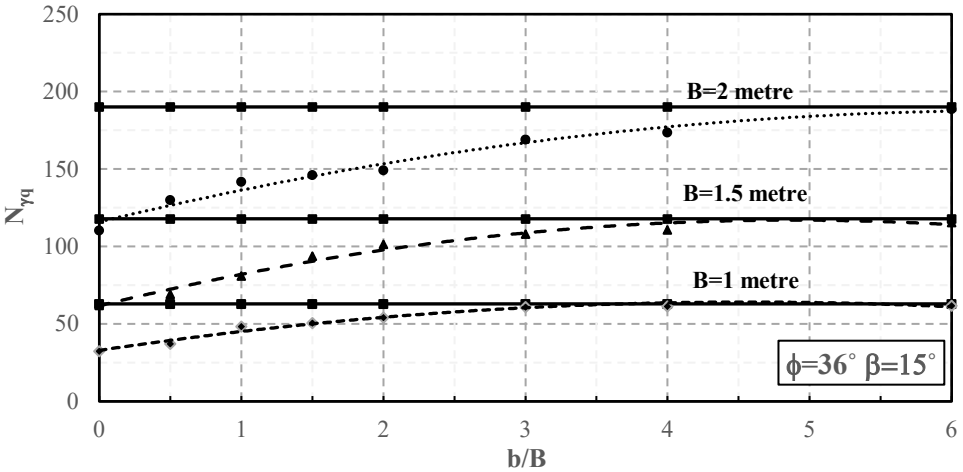

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

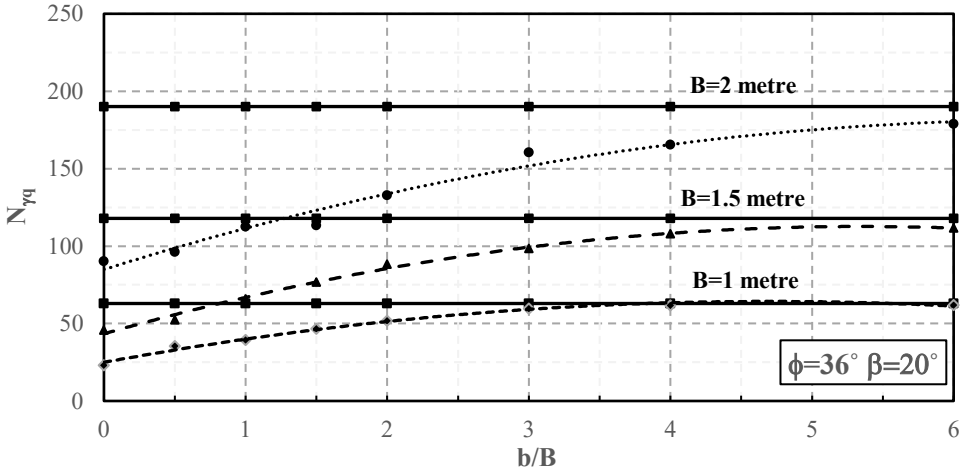

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

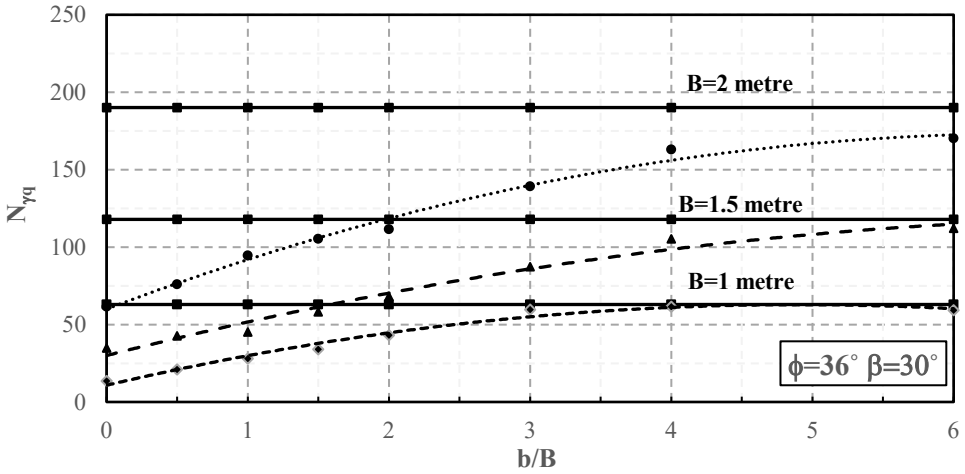

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

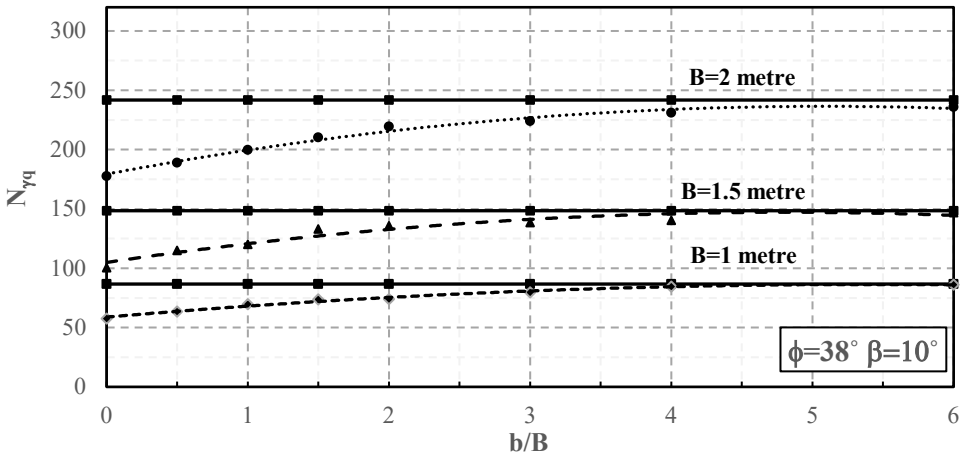

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

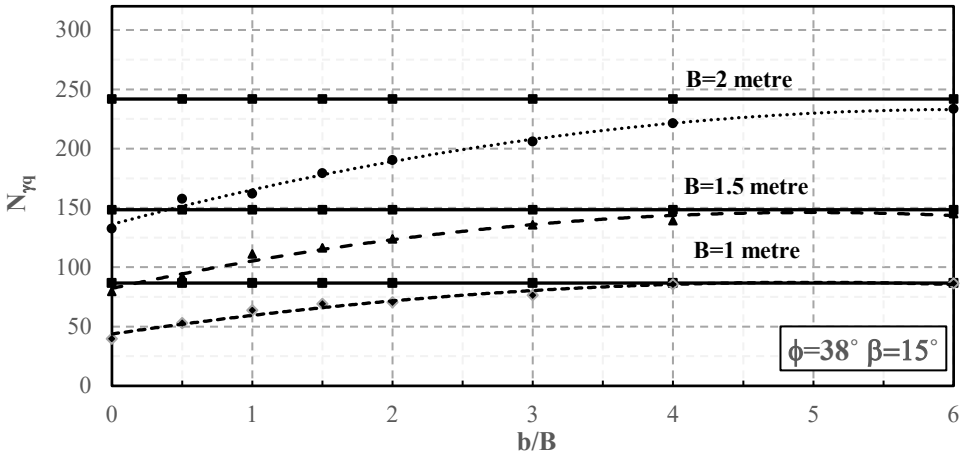

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

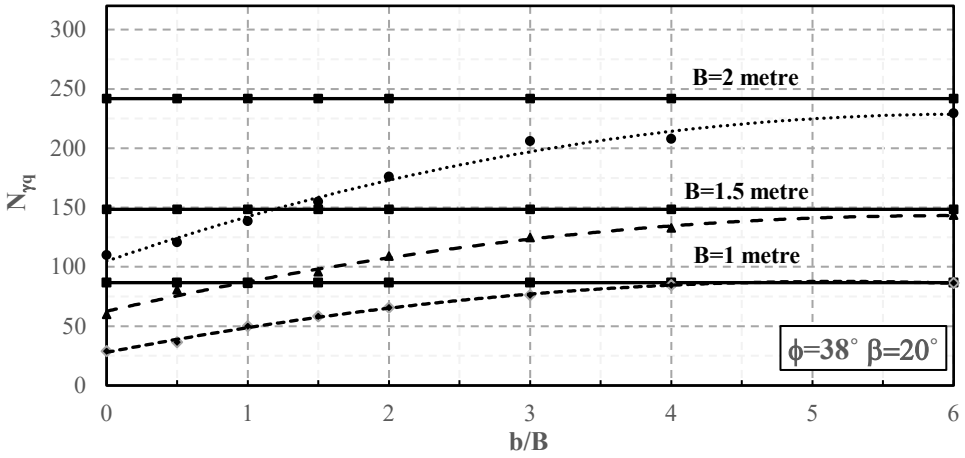

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

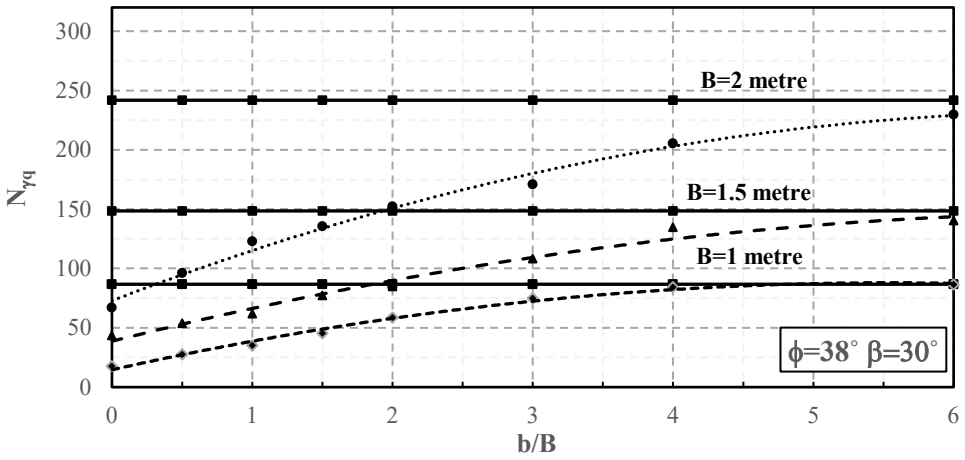

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

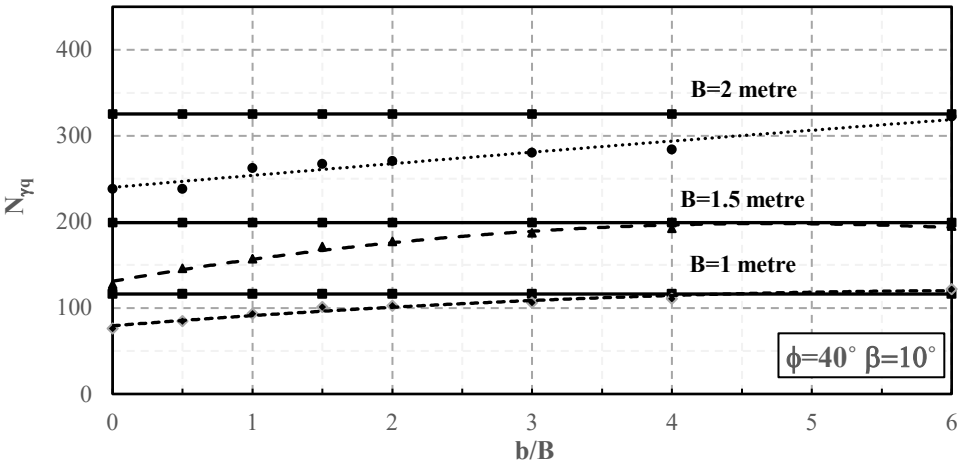

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

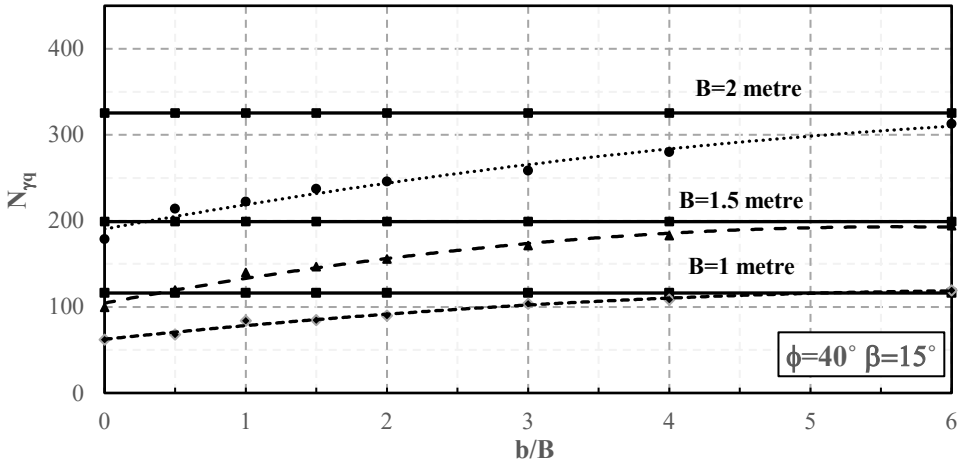

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

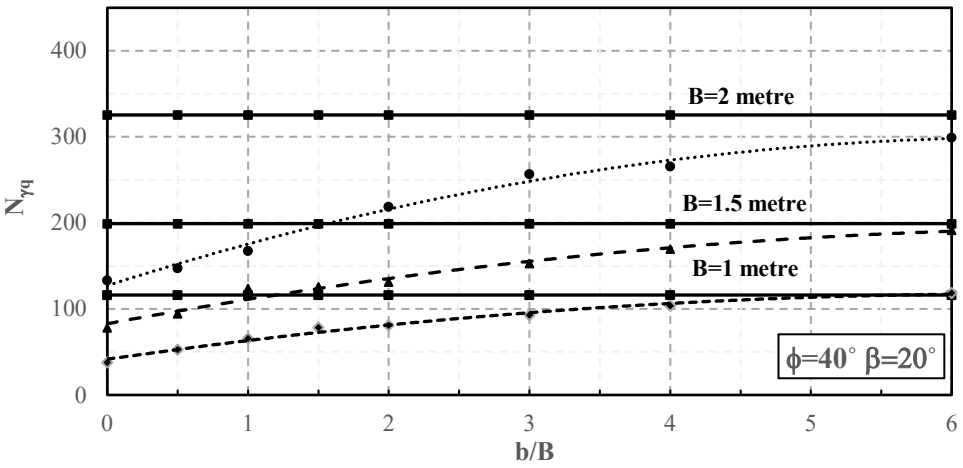

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

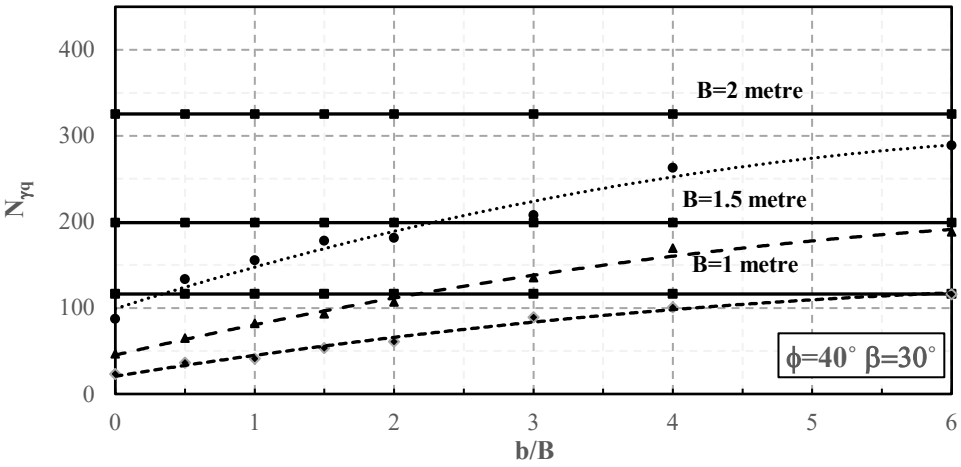

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

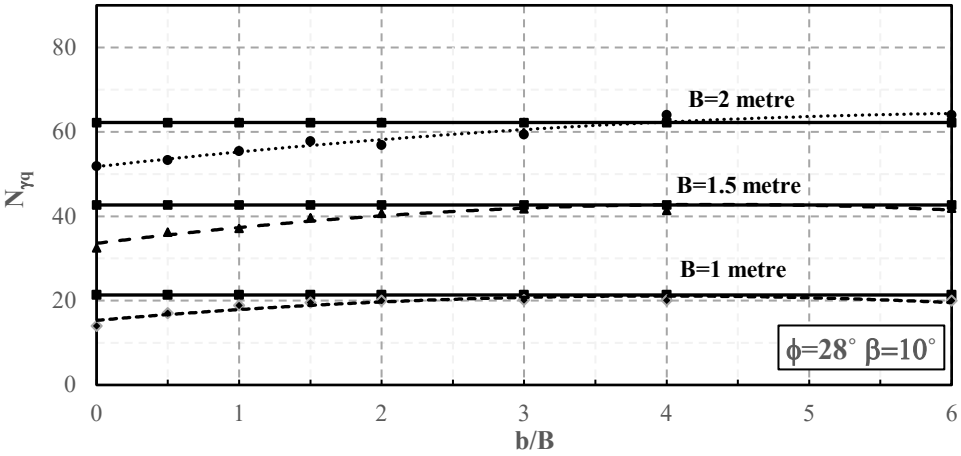

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

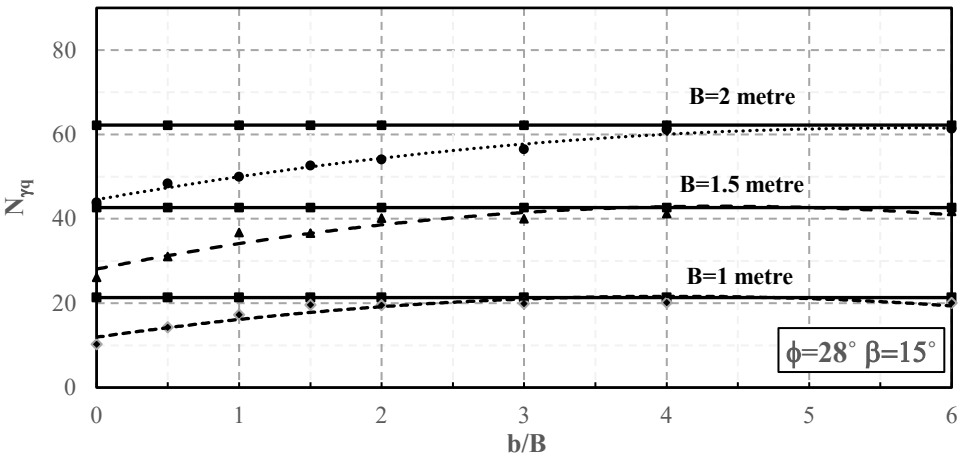

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

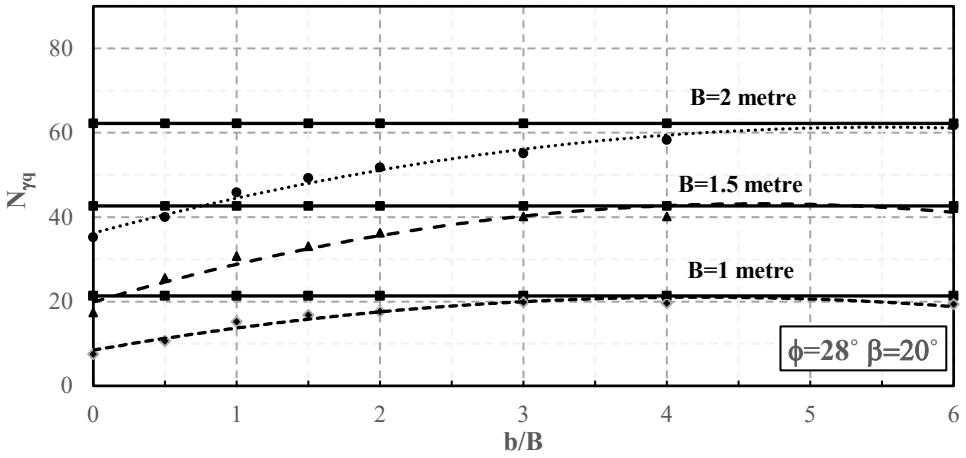

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

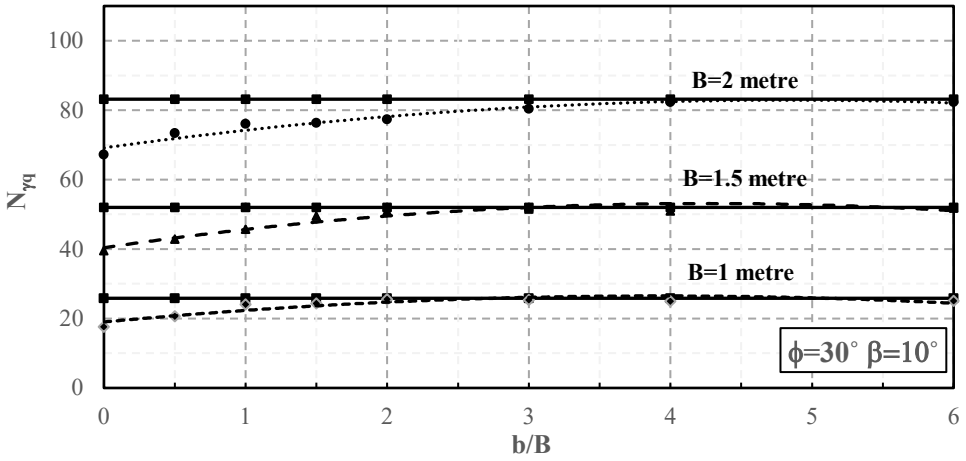


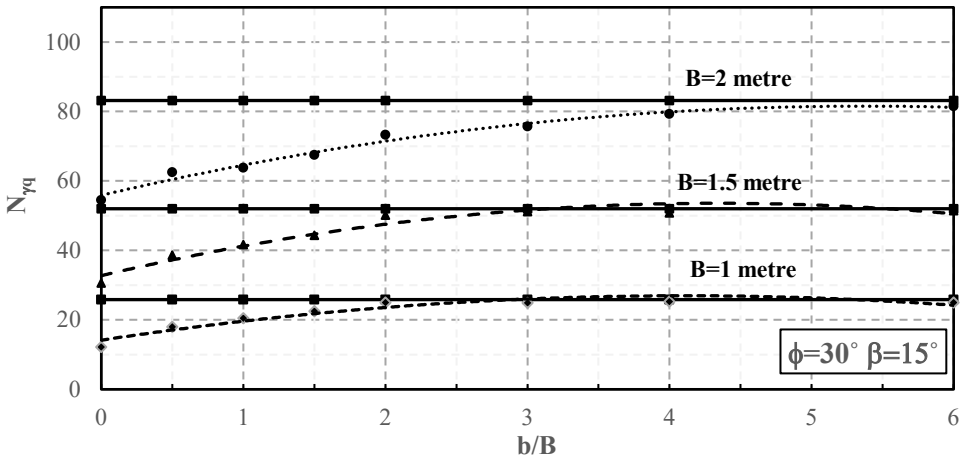
Ek Şekil 34. Farklı β, ϕ ve B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0)

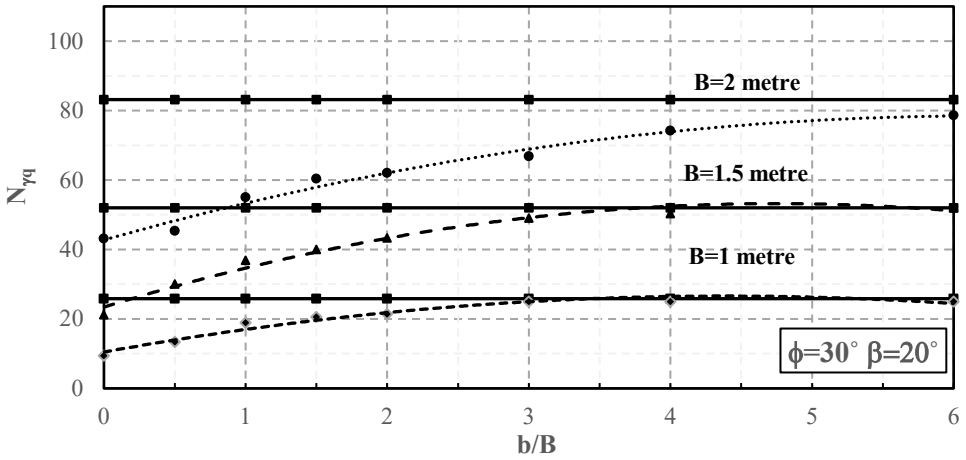


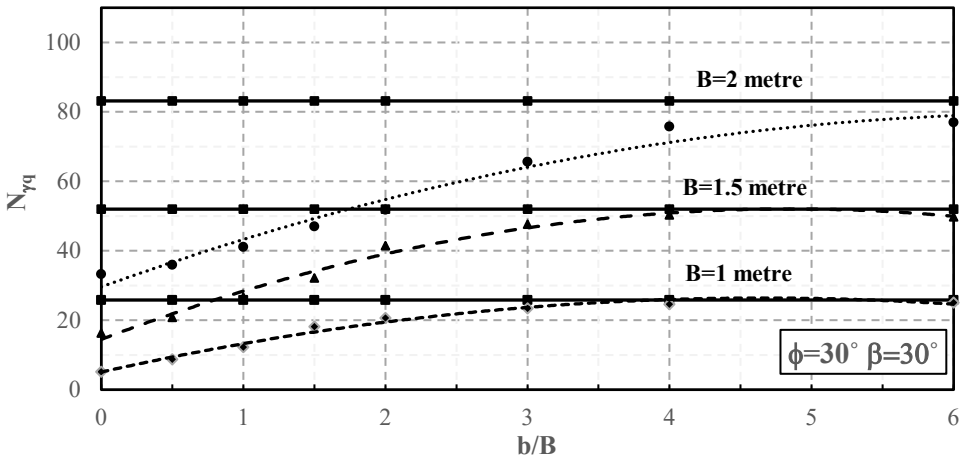


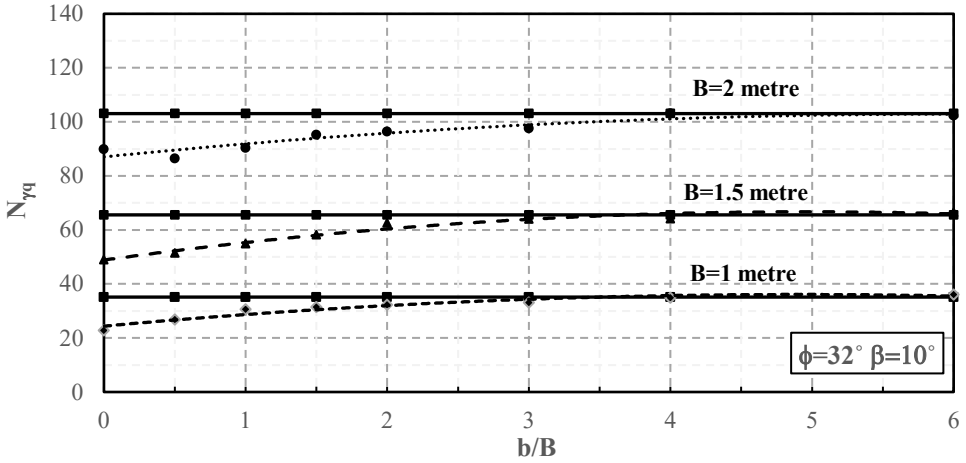

80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

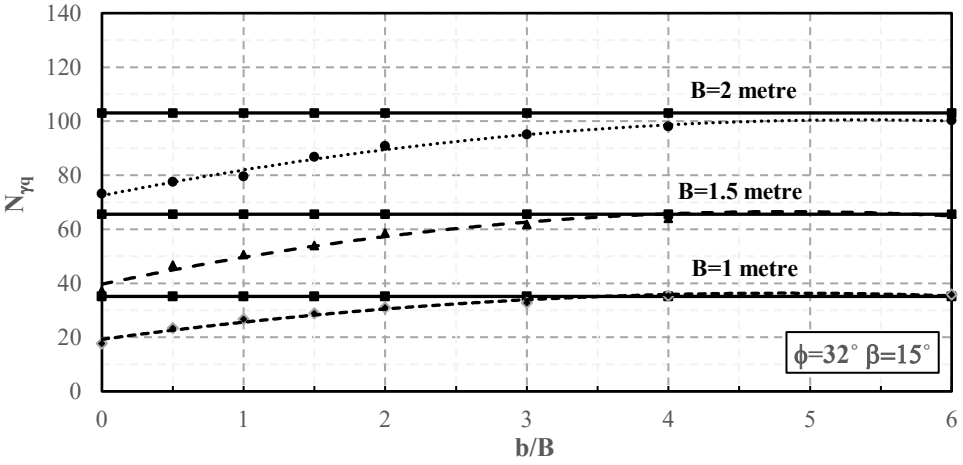

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

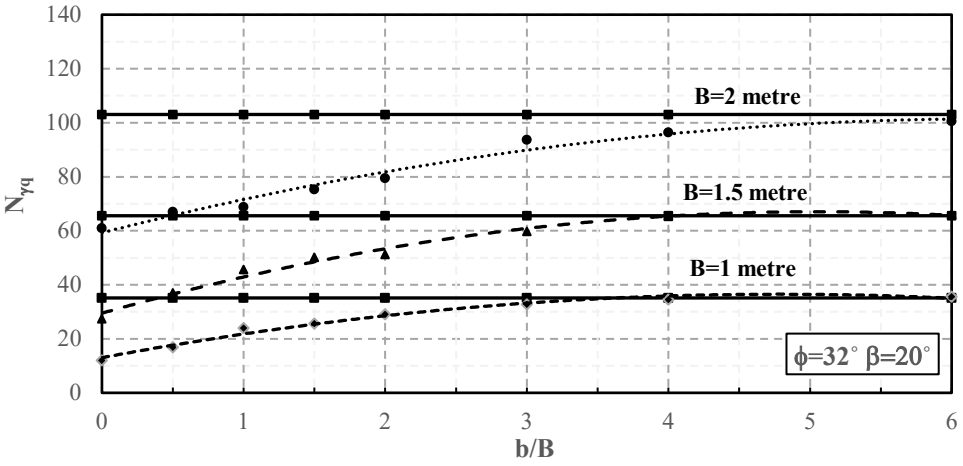

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

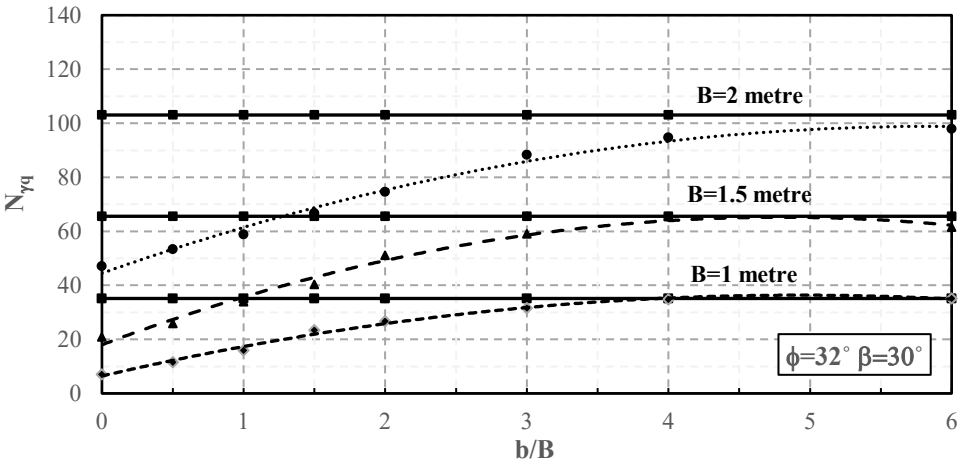

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

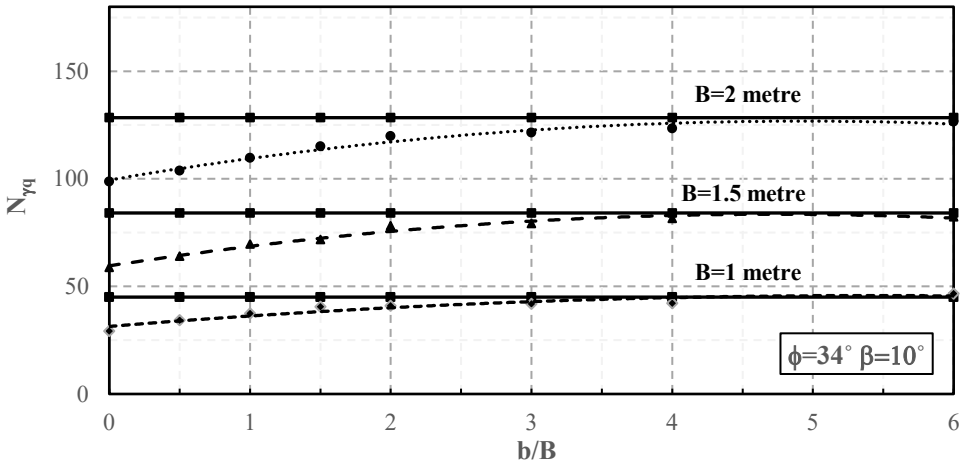

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

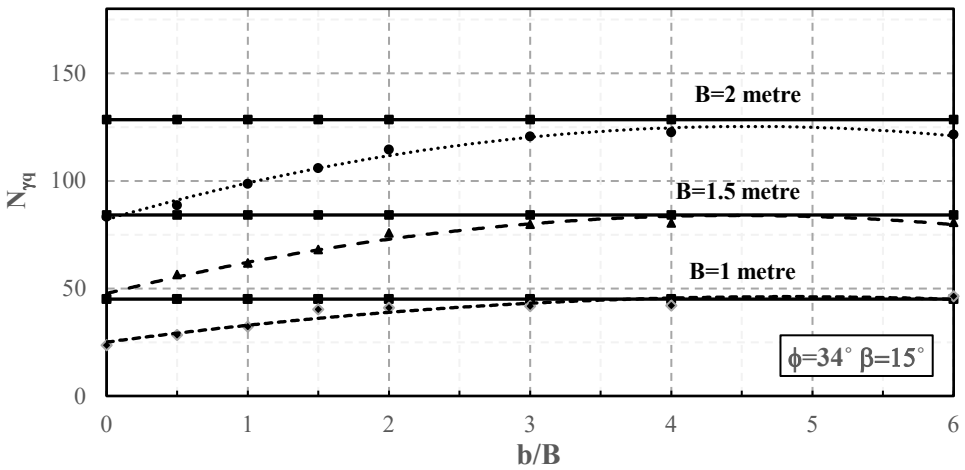

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

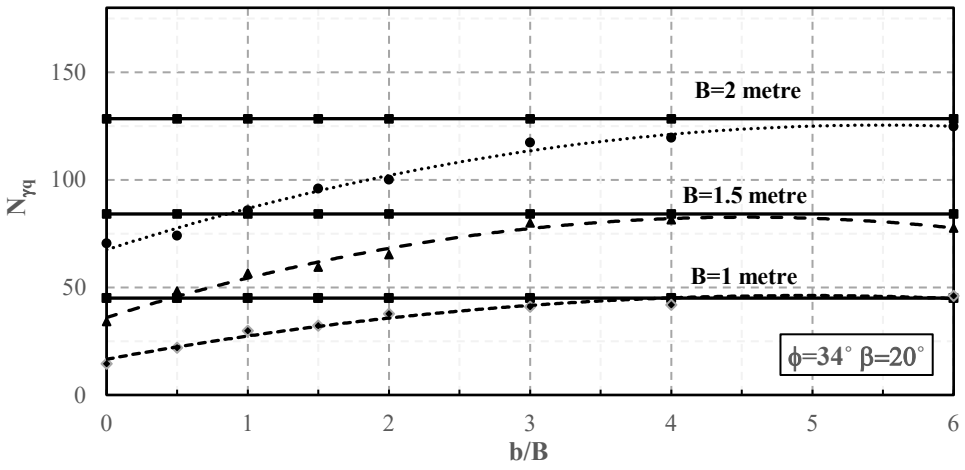

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

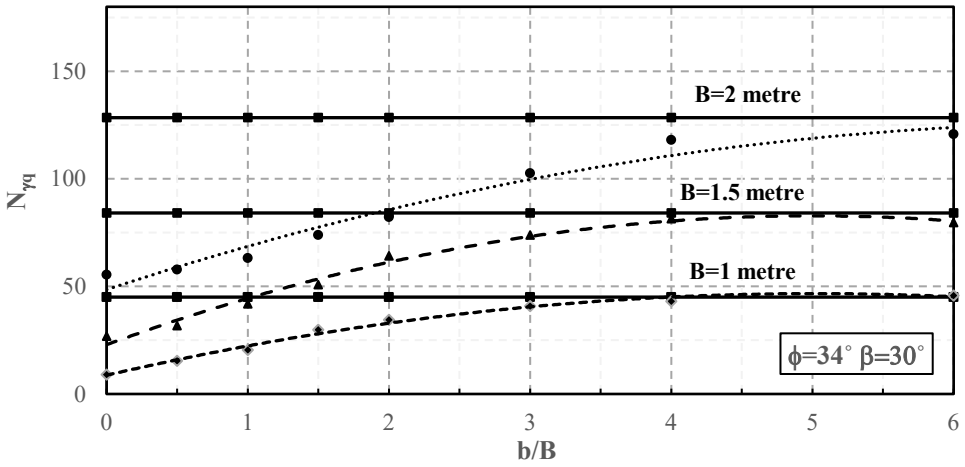

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

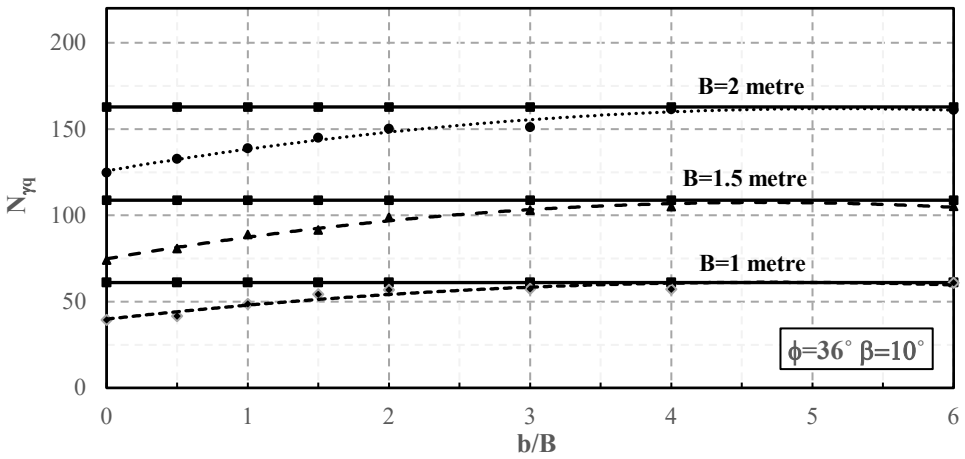

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

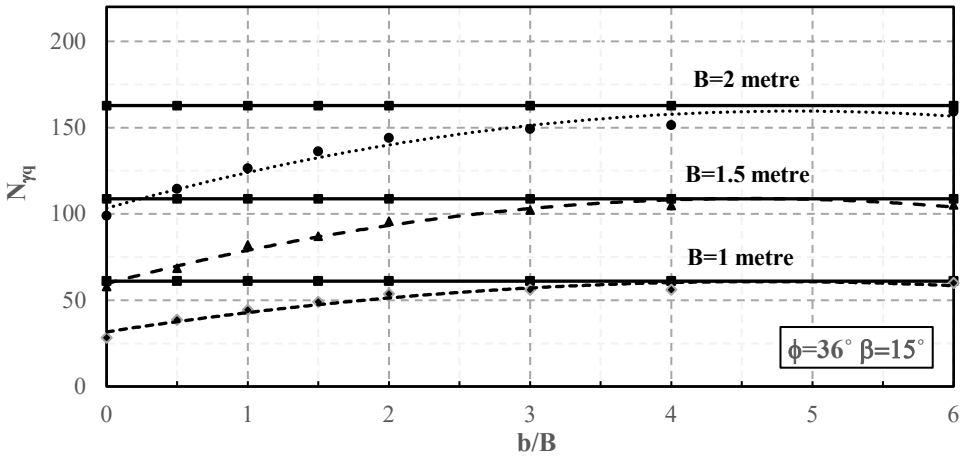

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

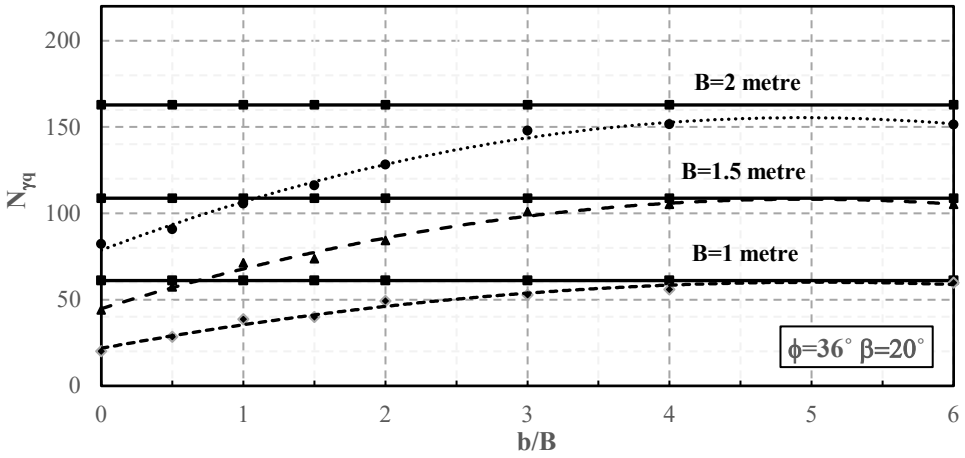

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

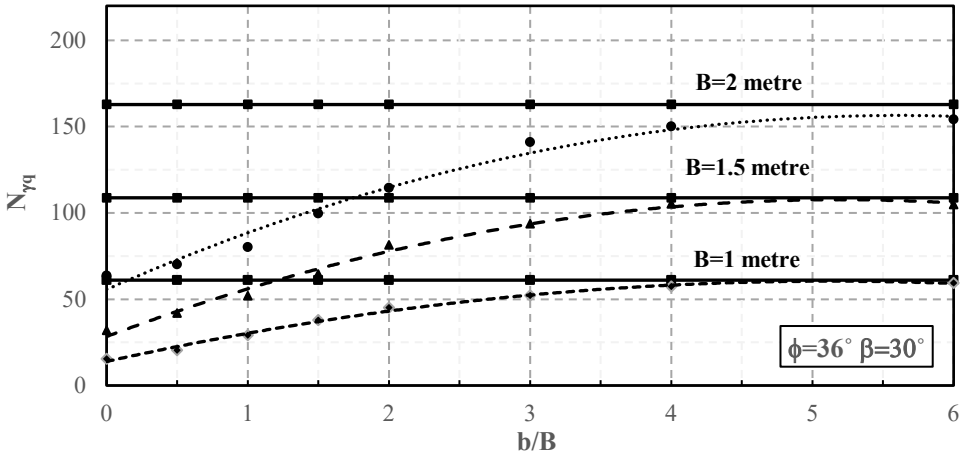

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

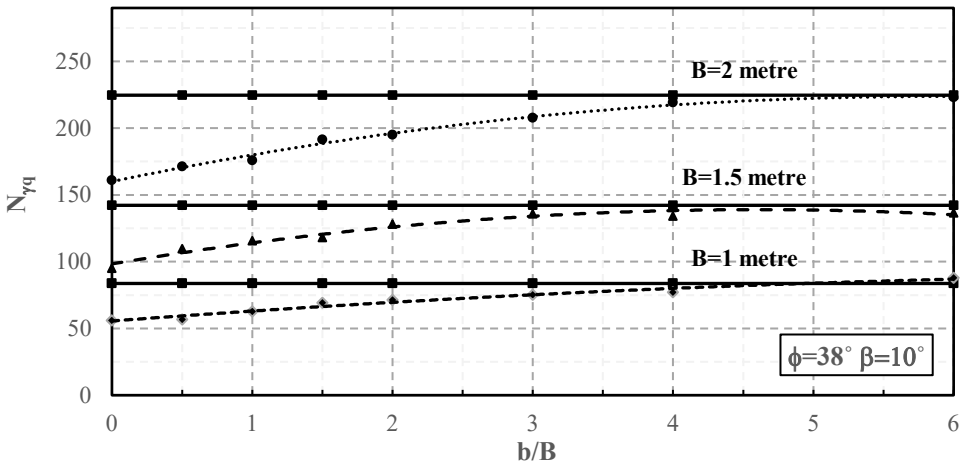

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

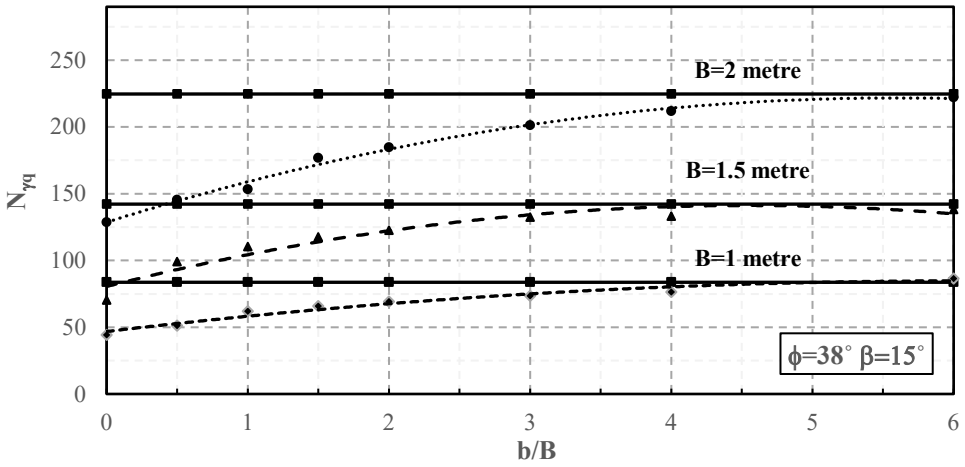

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

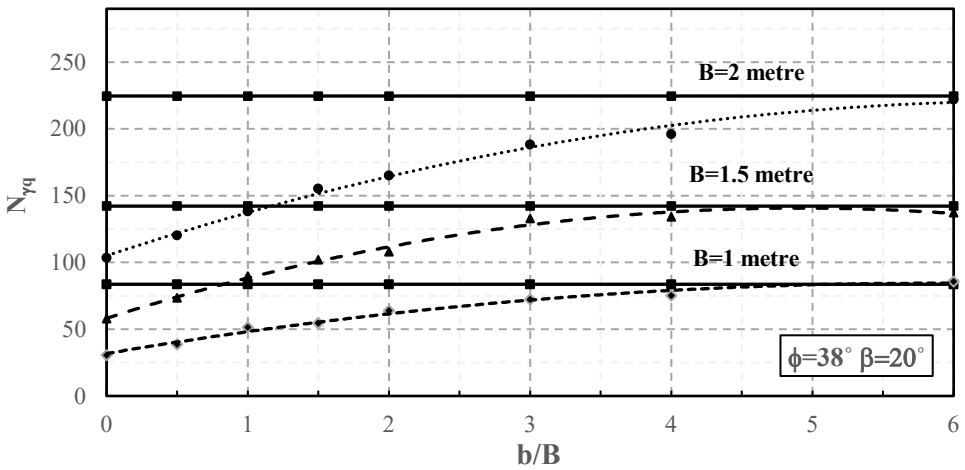

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

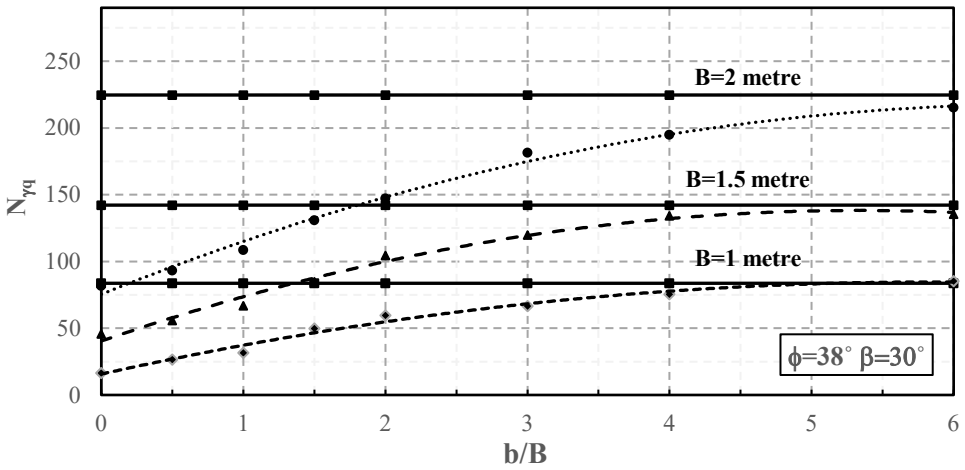

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

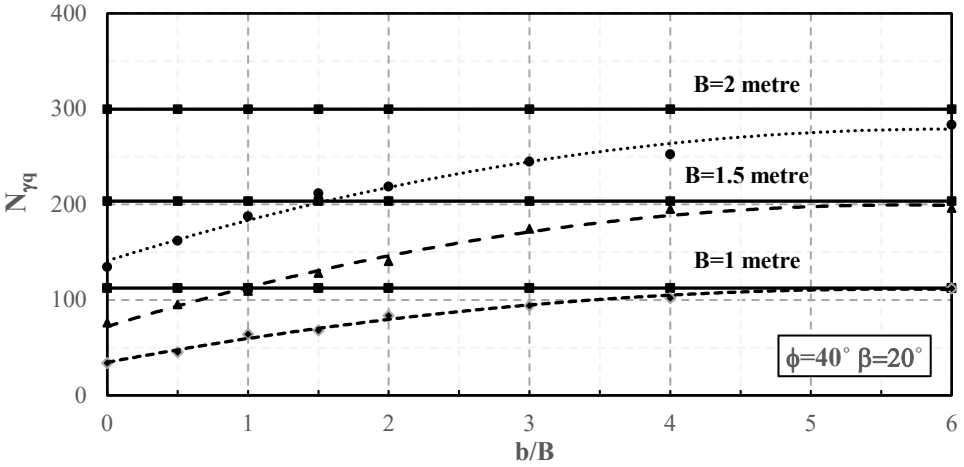

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

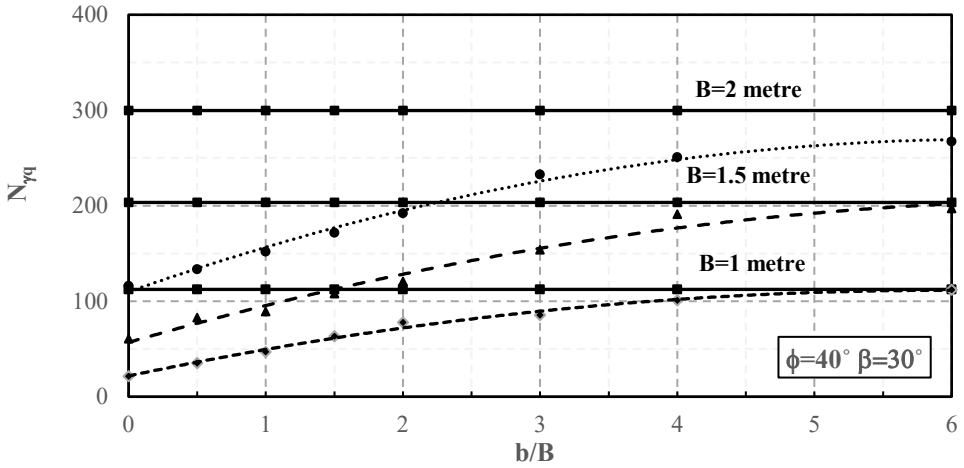

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

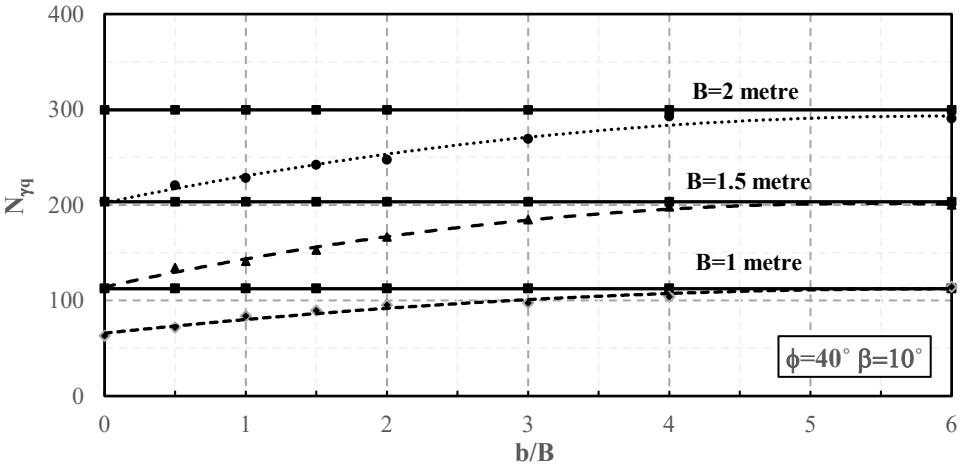

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

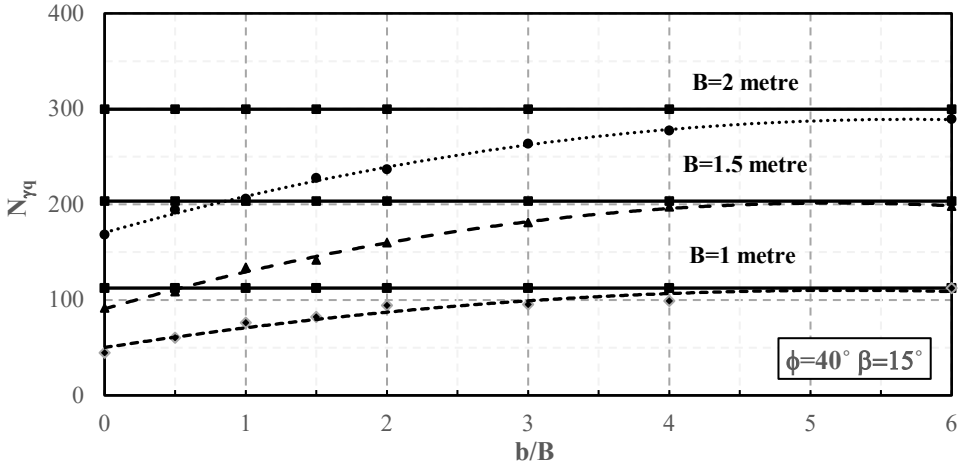

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

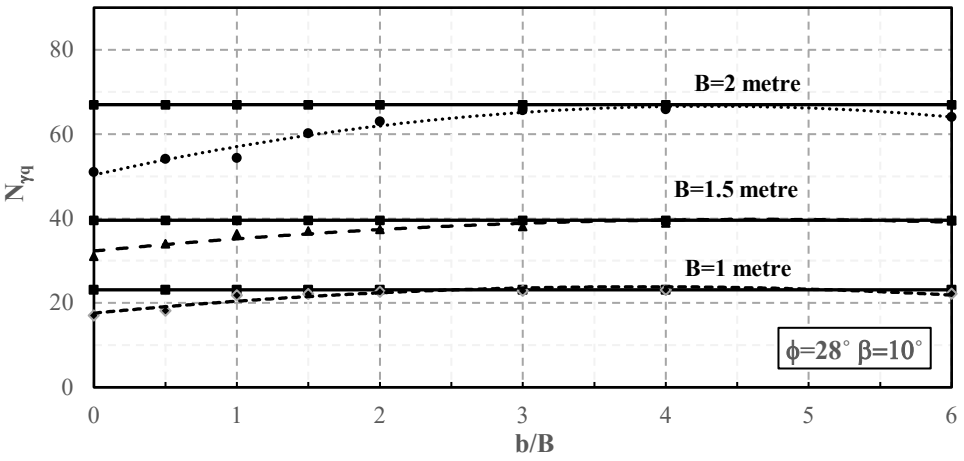

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

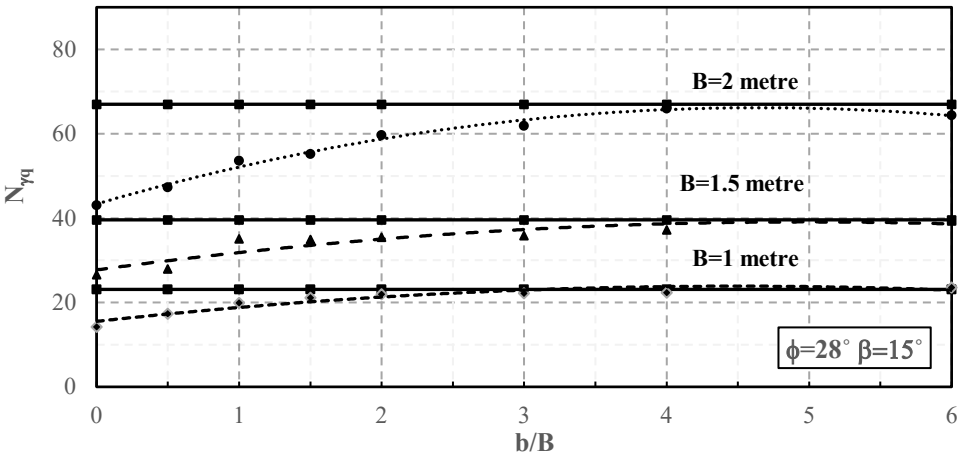

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

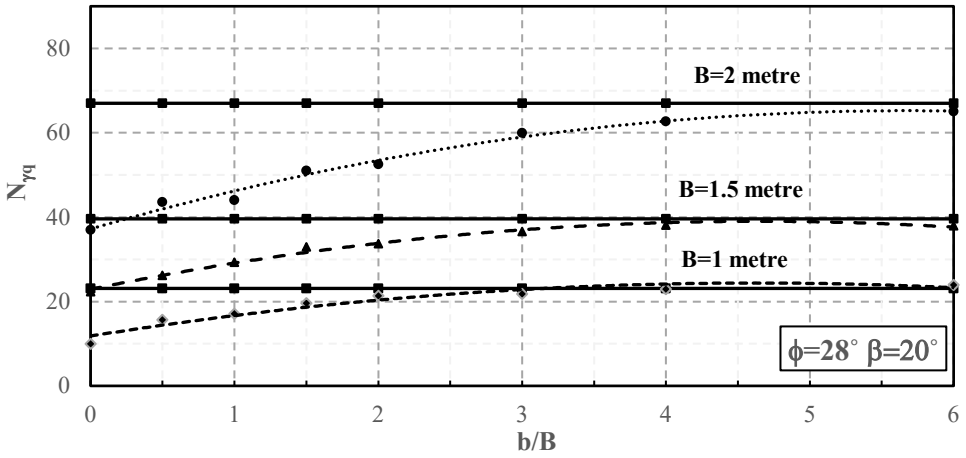

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

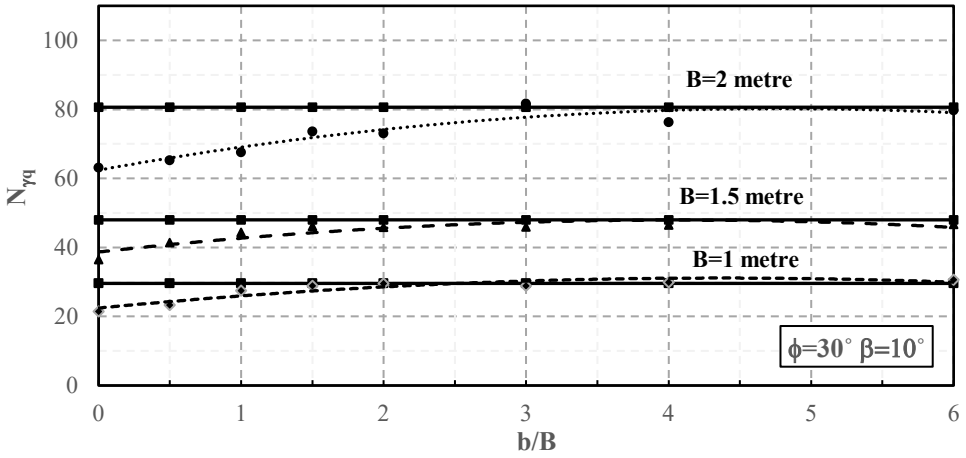


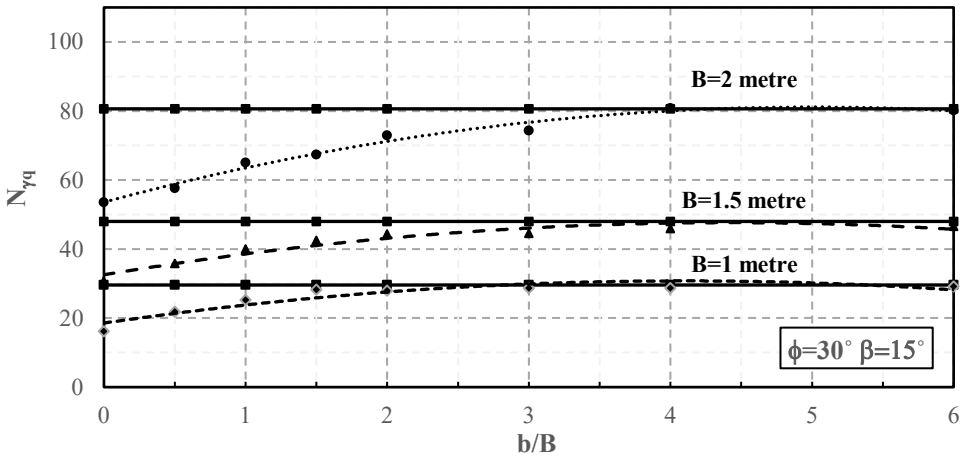
Ek Şekil 35. Farklı β, ϕ ve B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5)

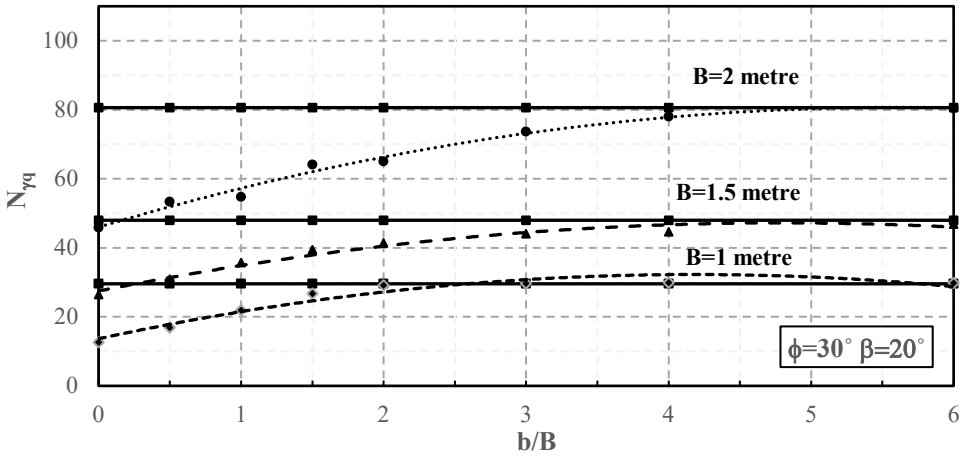


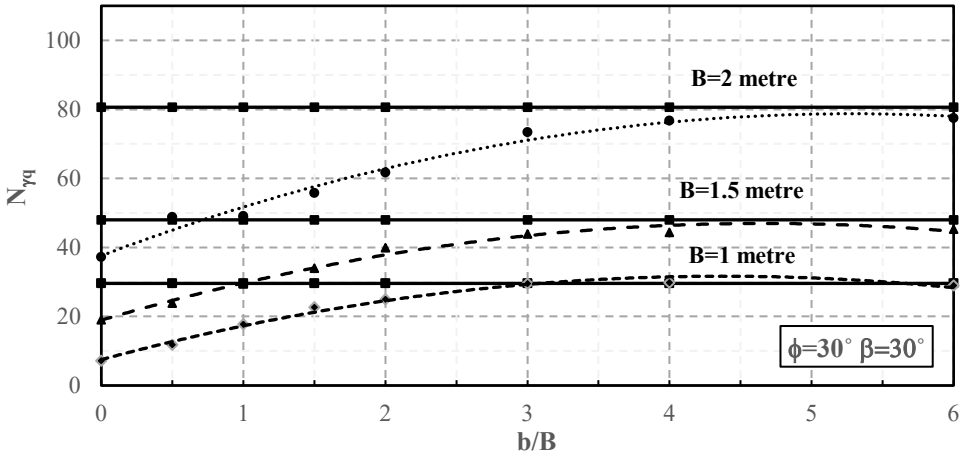


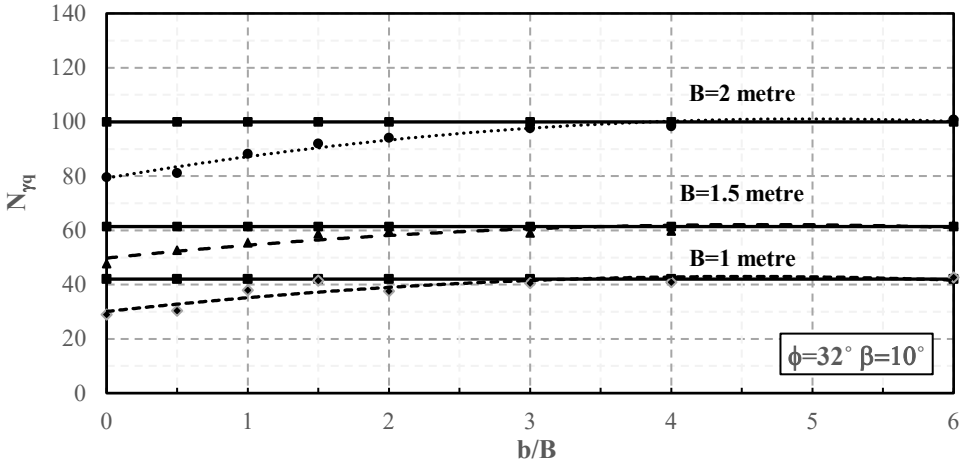

80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

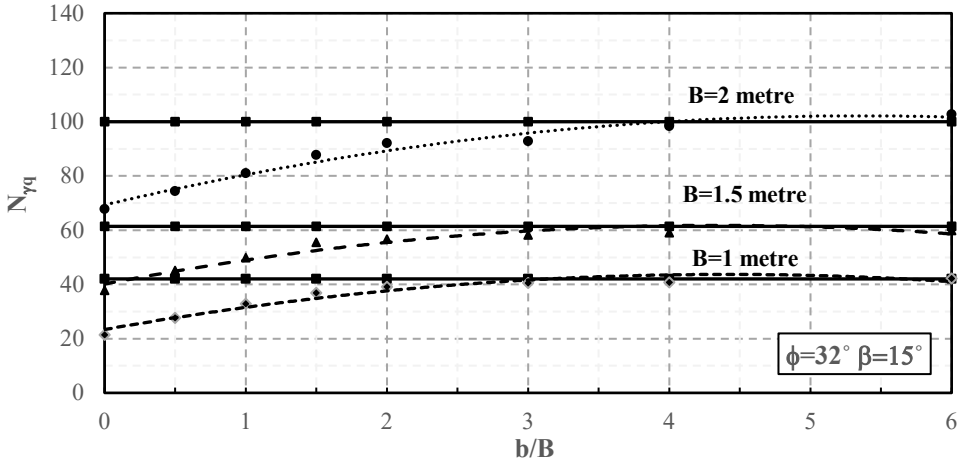

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

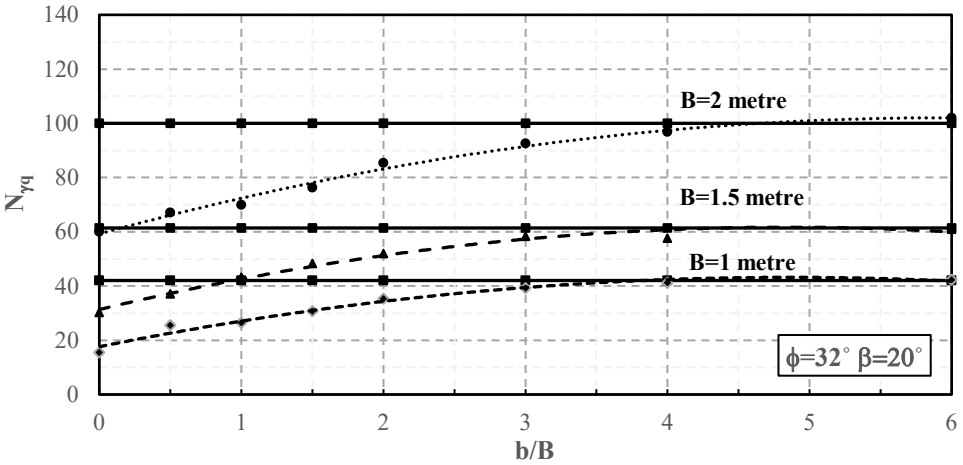

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

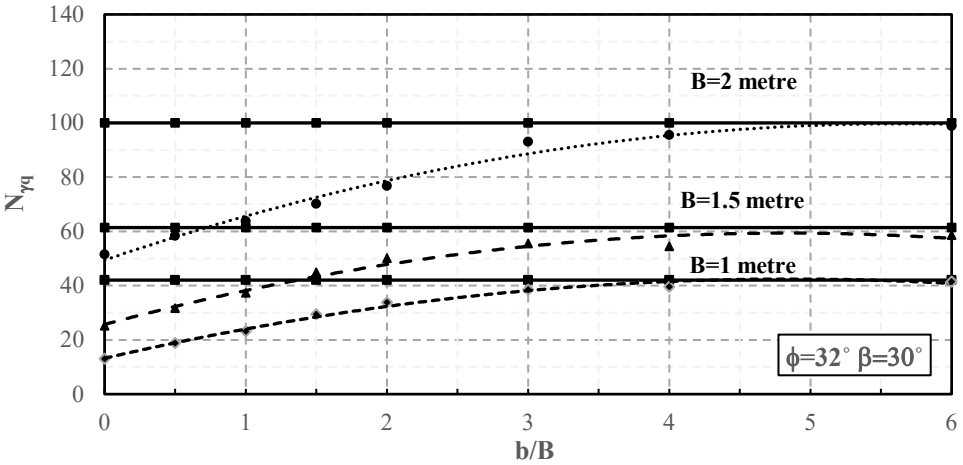

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

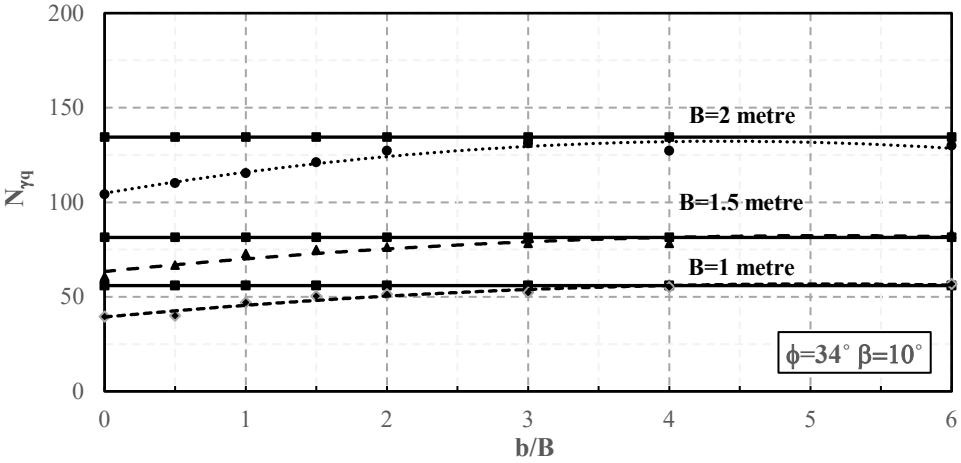

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

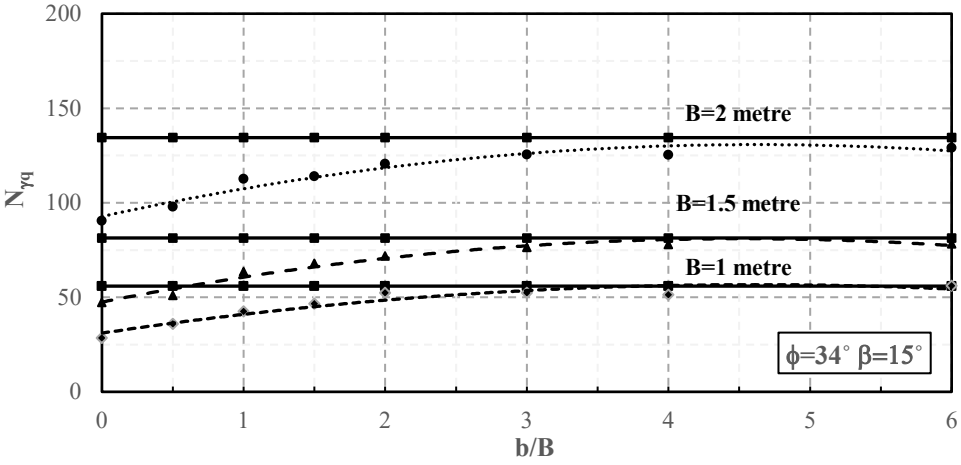

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

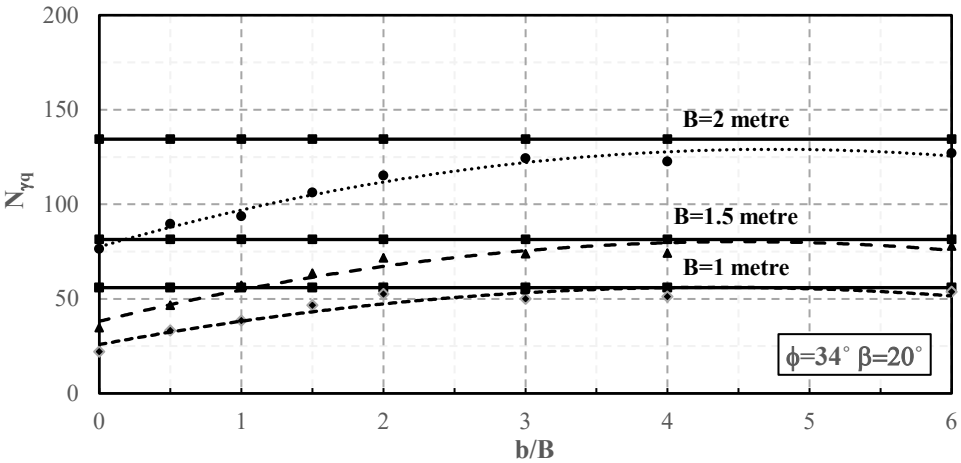

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

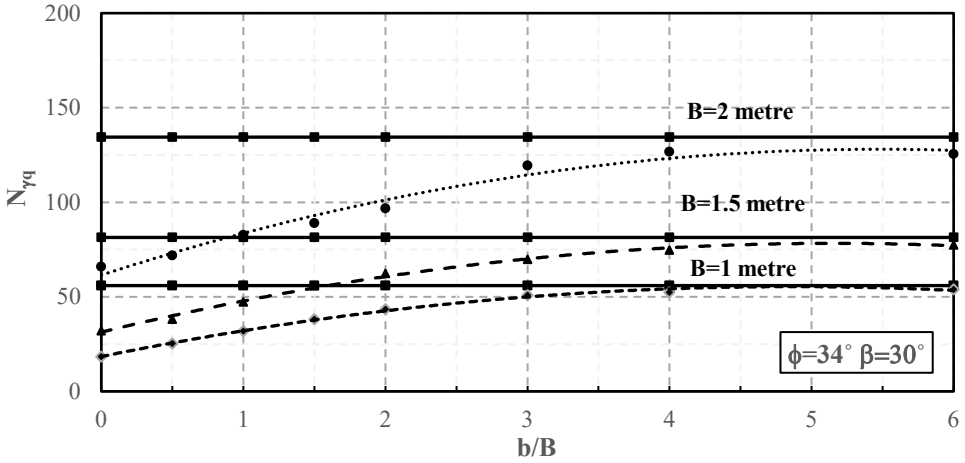

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

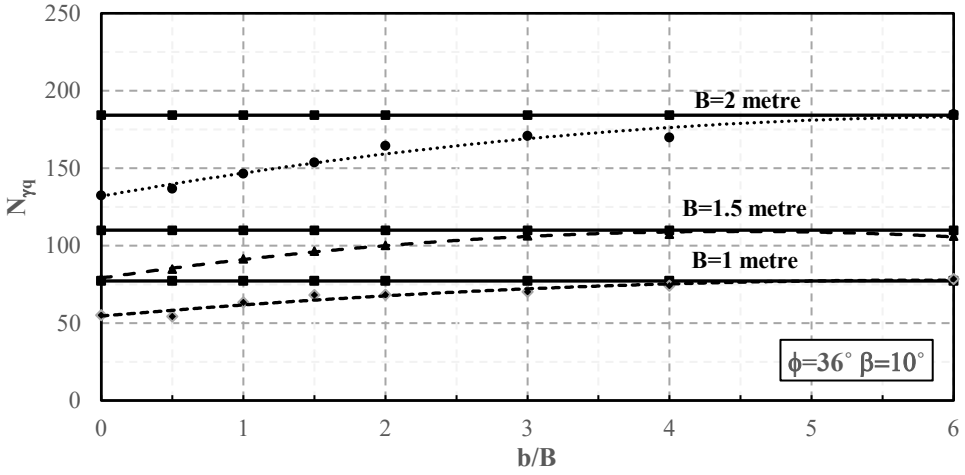

140
120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

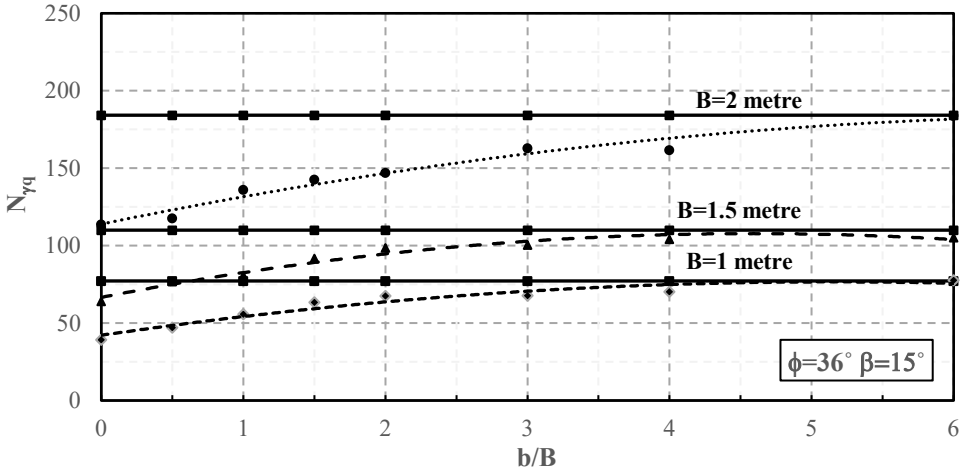

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

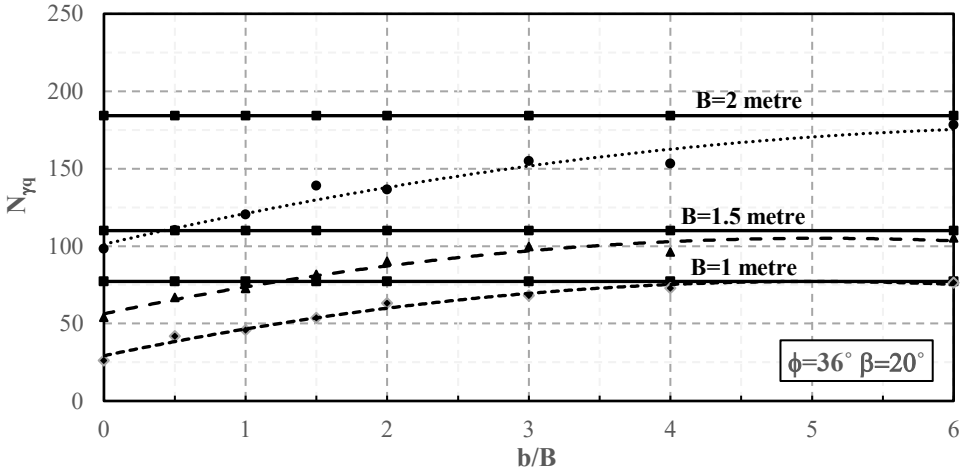

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

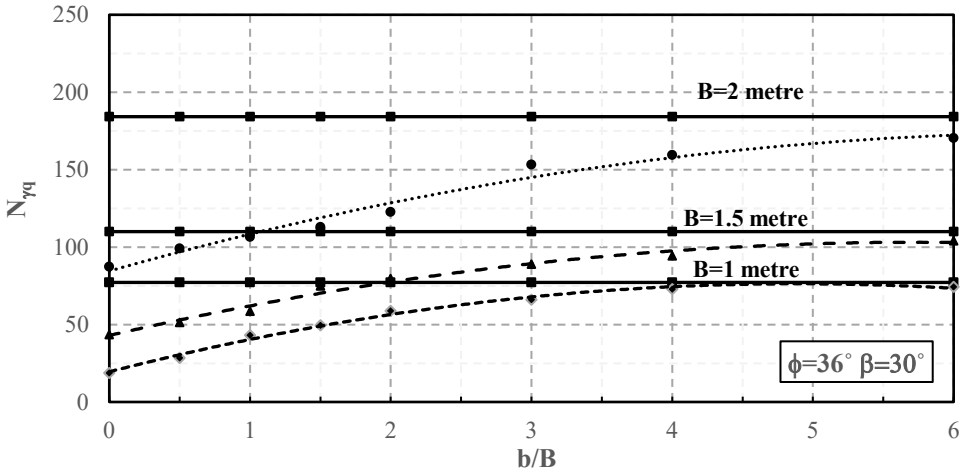

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

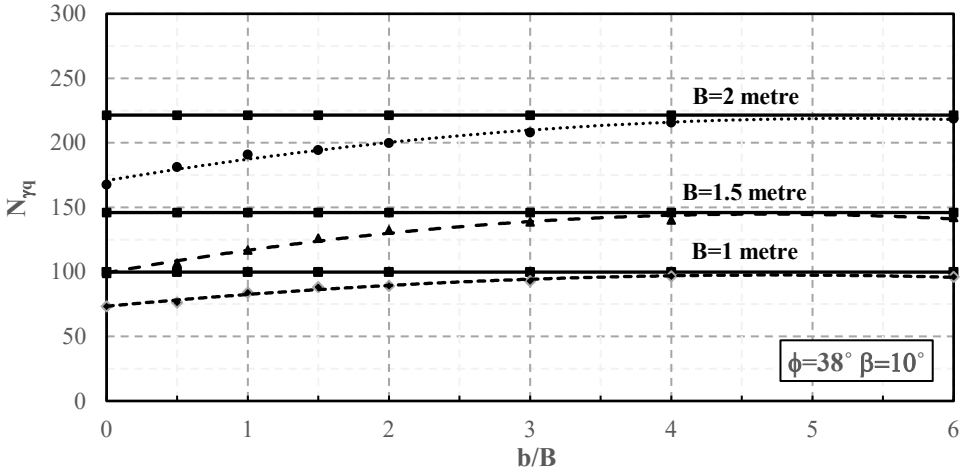

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

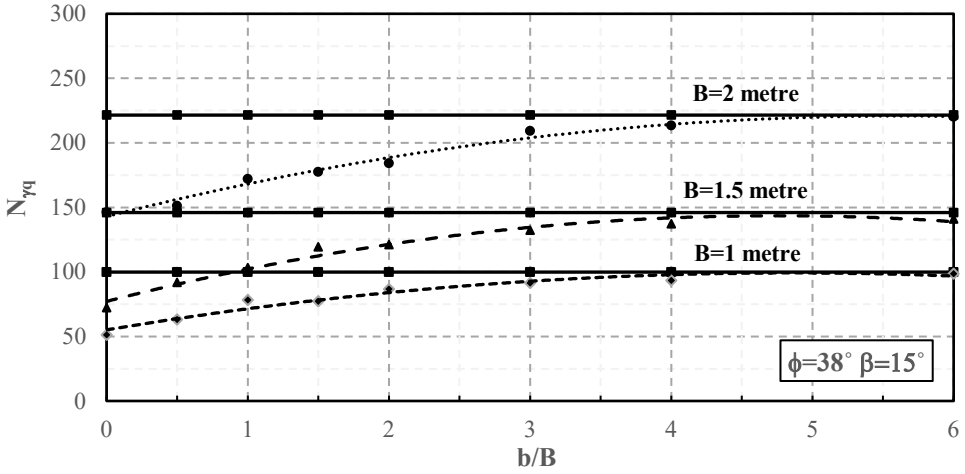

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

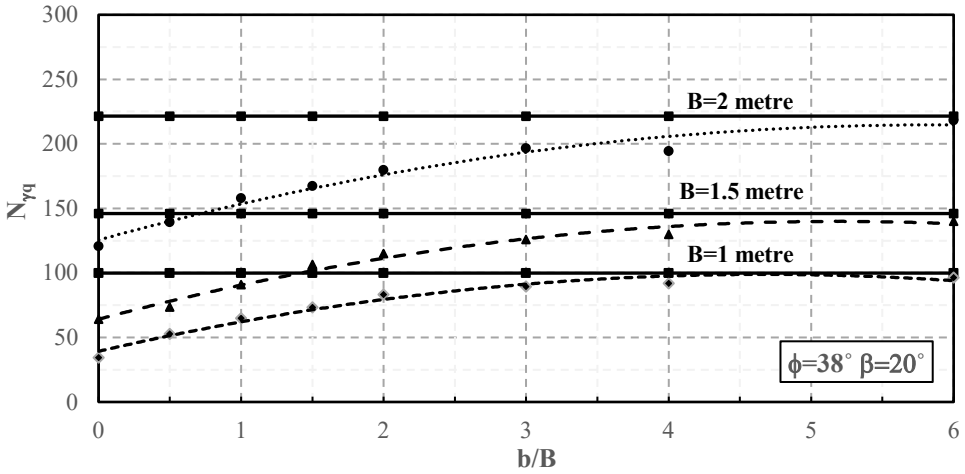

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

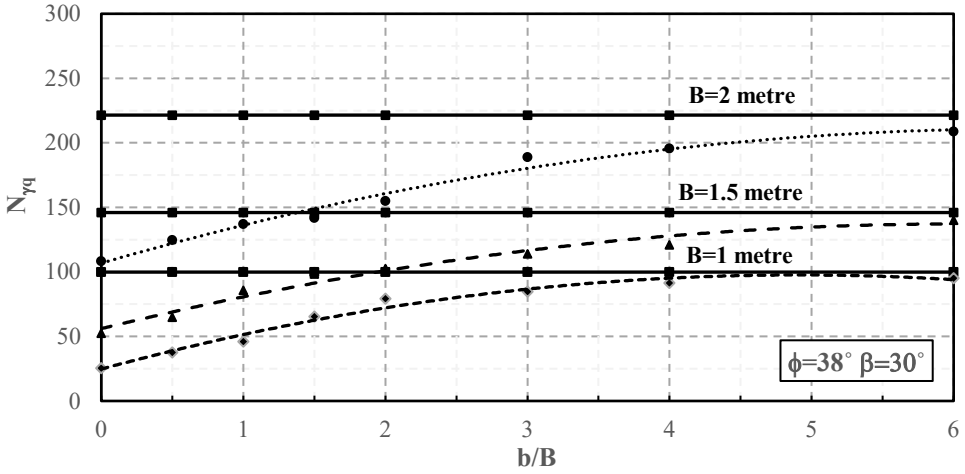

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

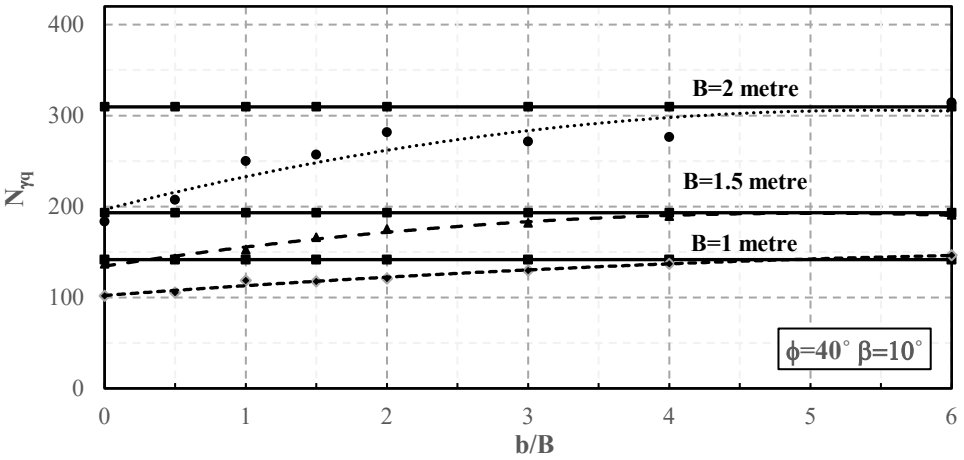

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

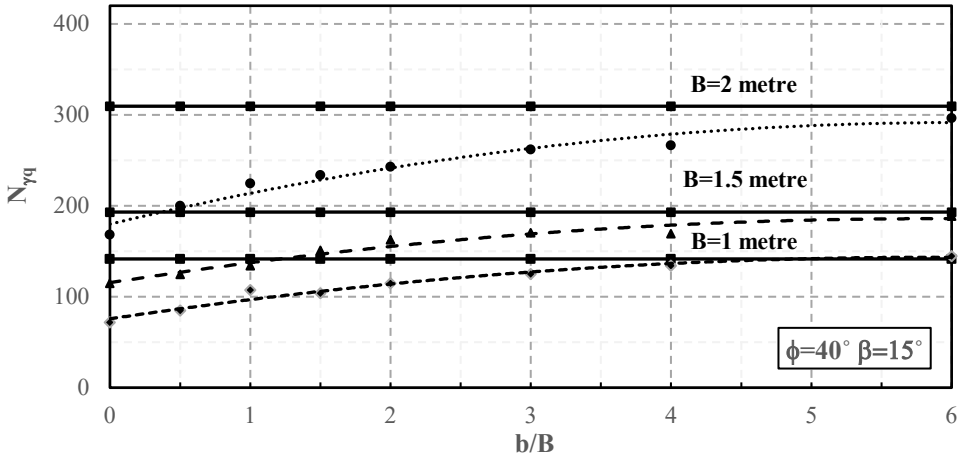

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

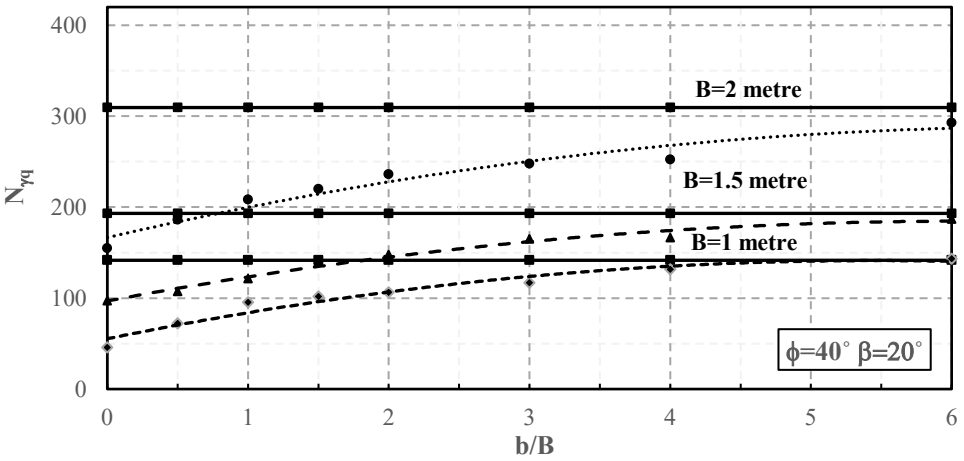

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

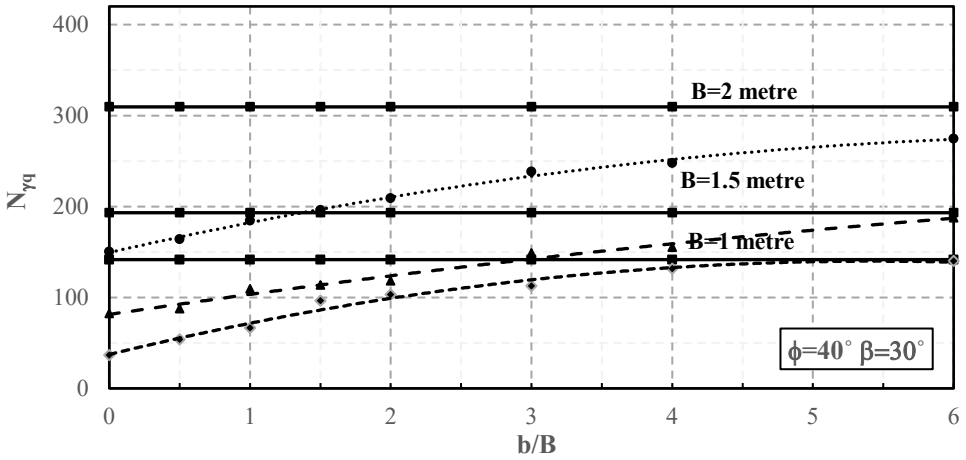

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

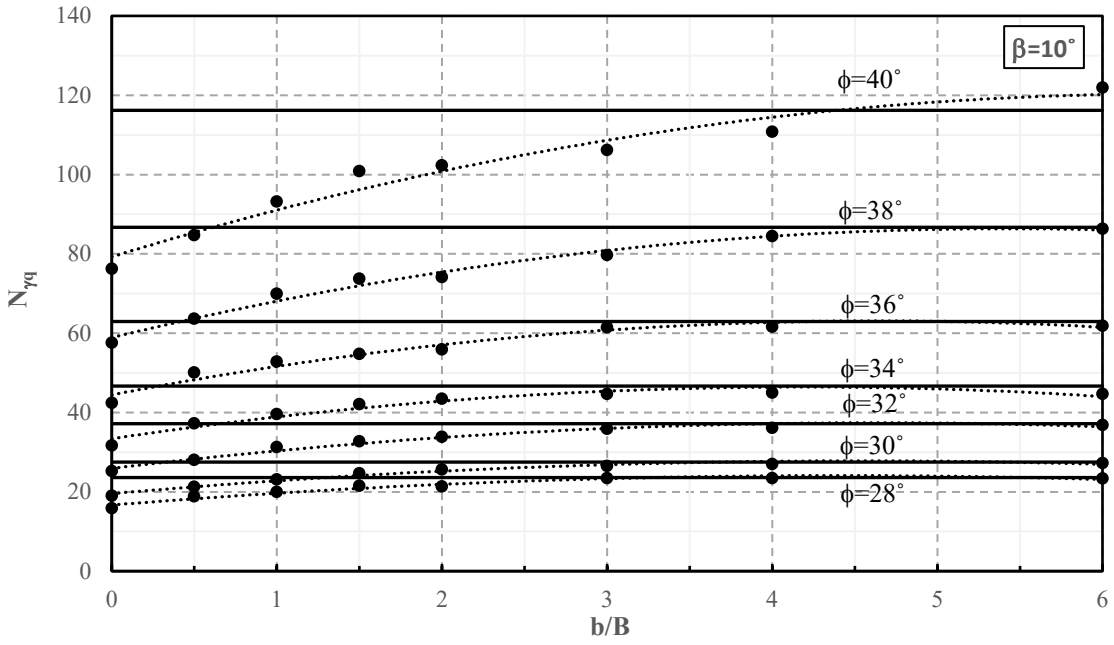

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

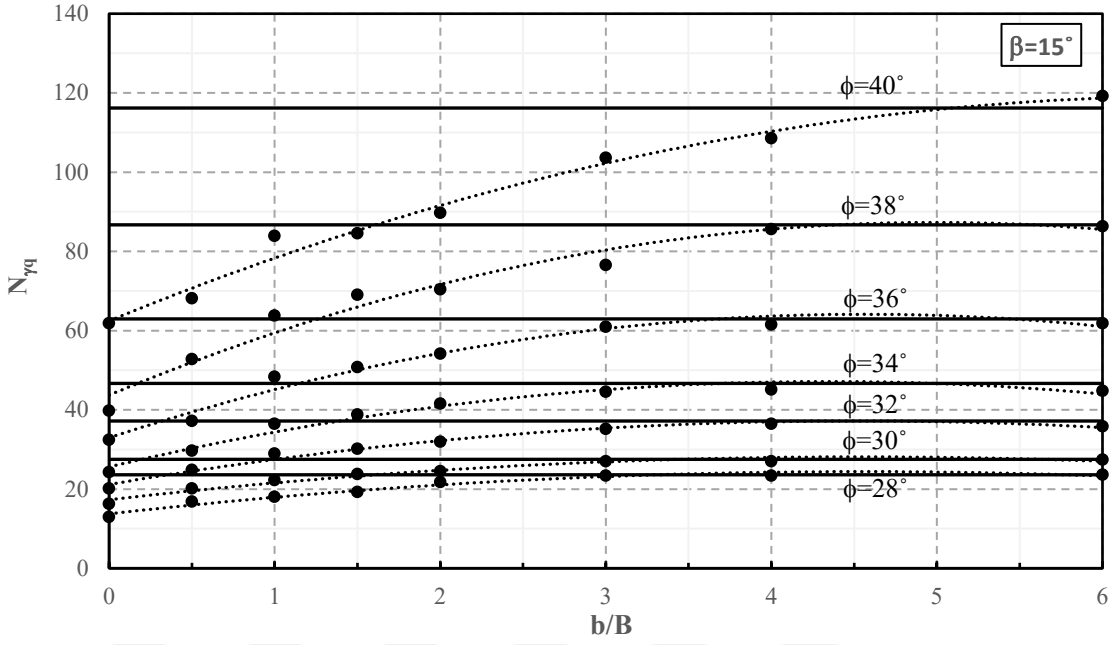

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

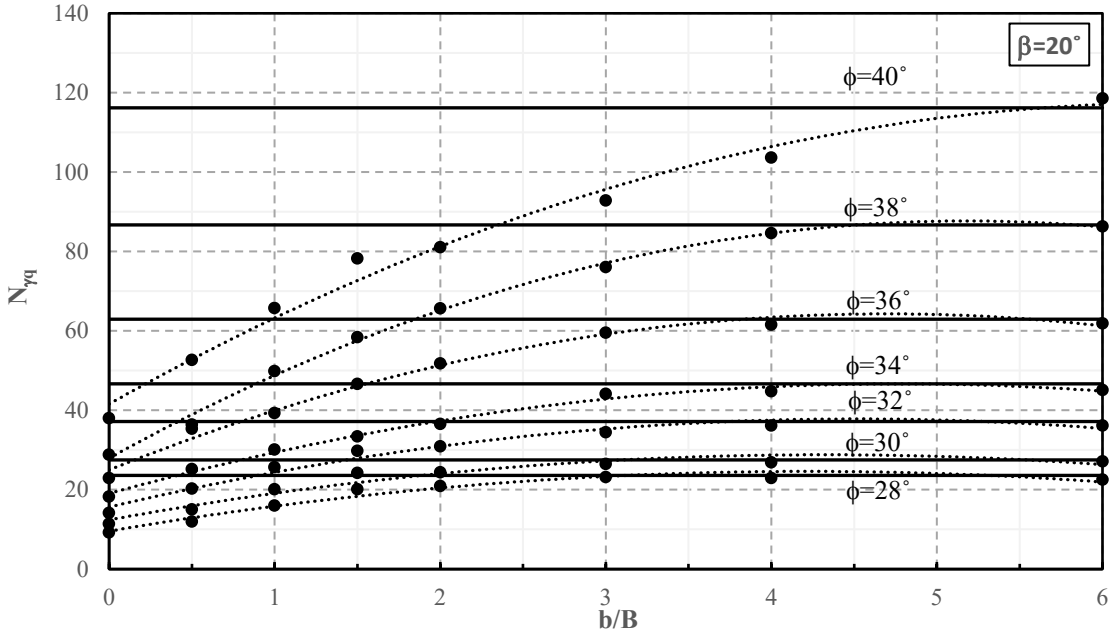

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
B=2 metre
B=1.5 metre
B=1 metre
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

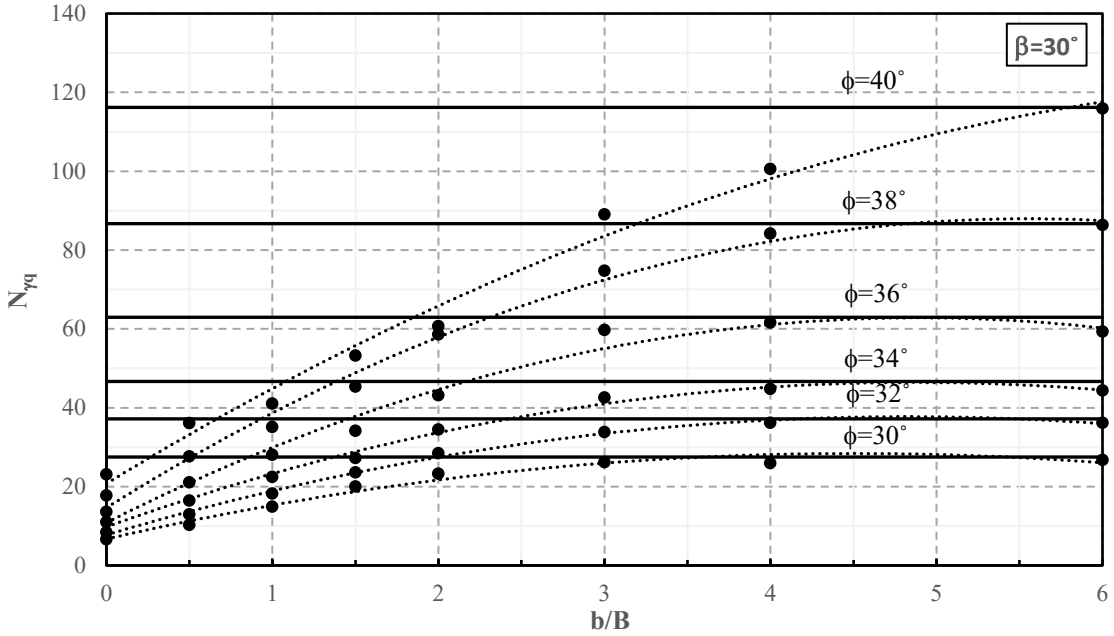


Ek Şekil 36. Farklı β, ϕ ve B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1)

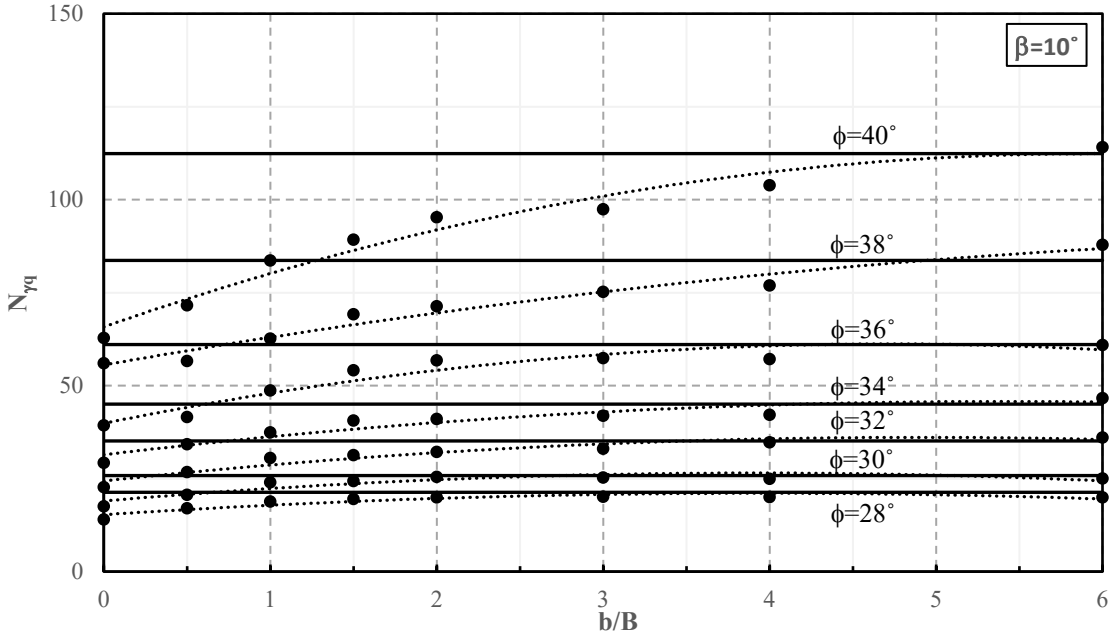


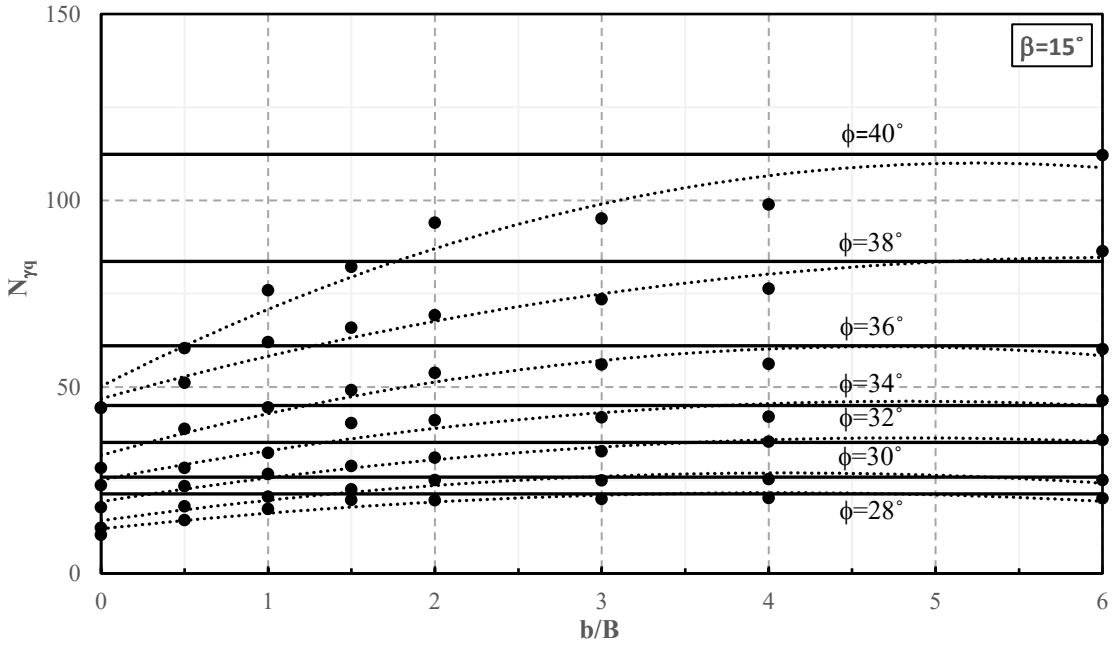

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
20
40
60
80
100
120
140
0
1
2
3
4
5
6

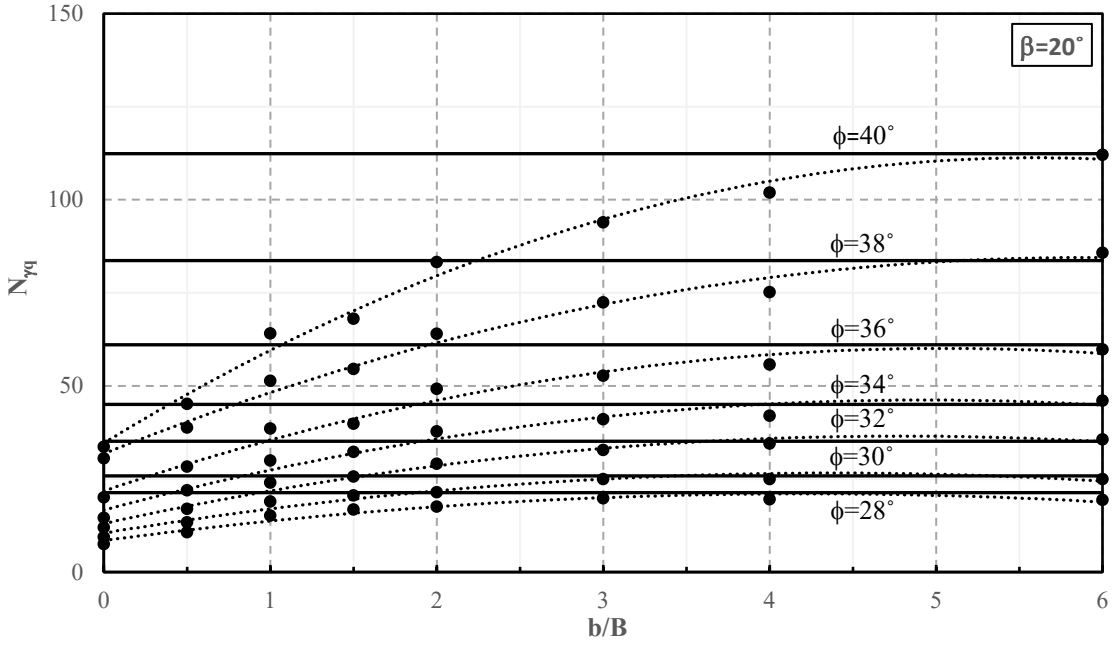

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
20
40
60
80
100
120
140
0
1
2
3
4
5
6

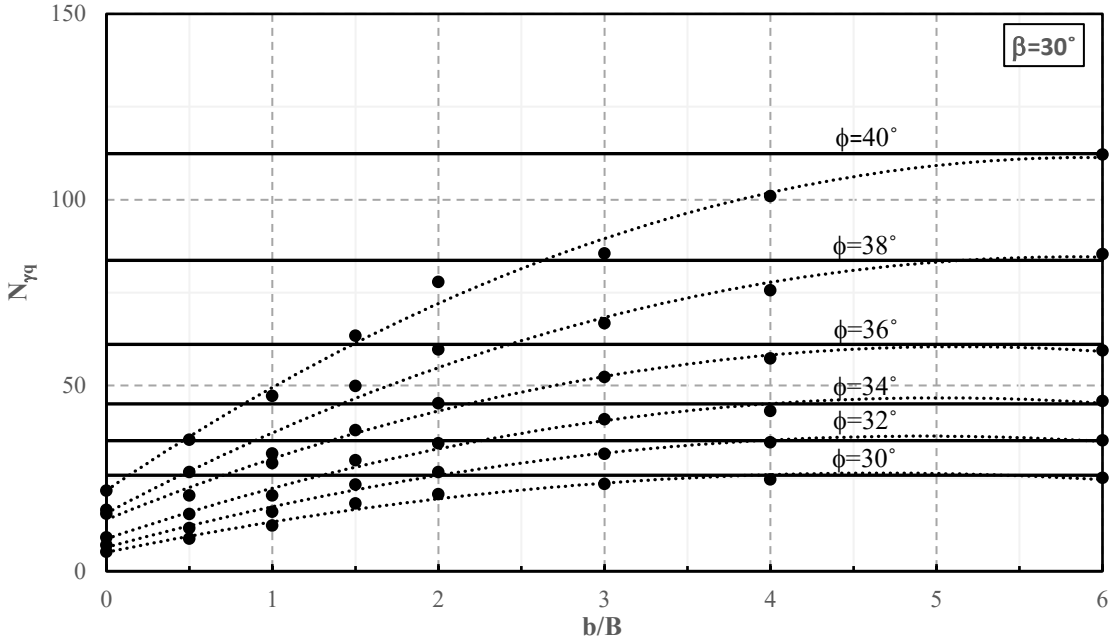


Ek Şekil 37. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1 m)

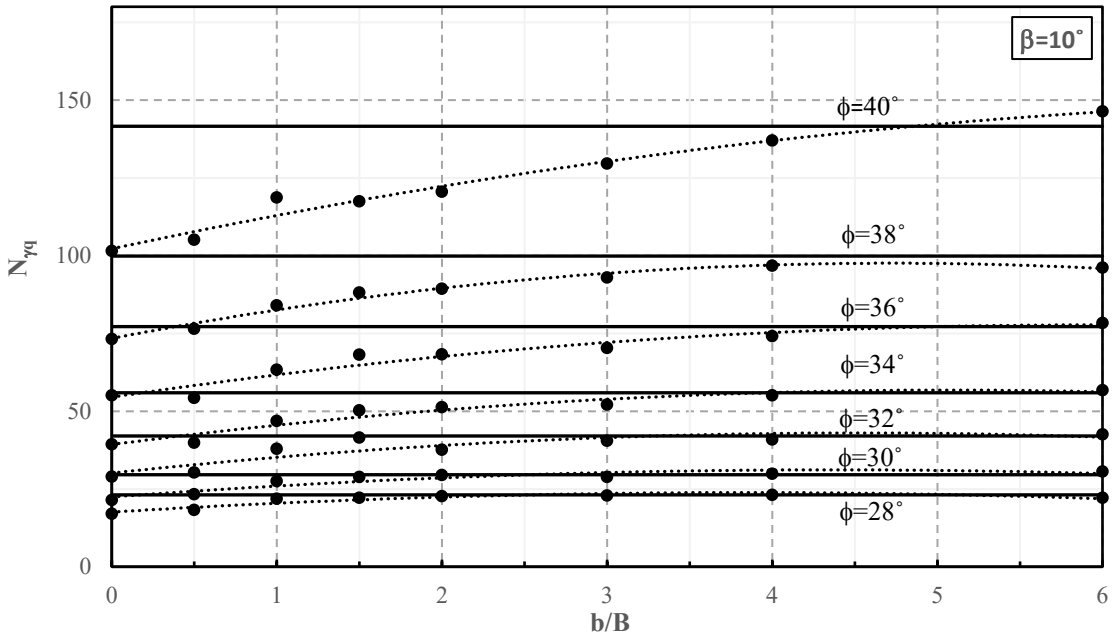


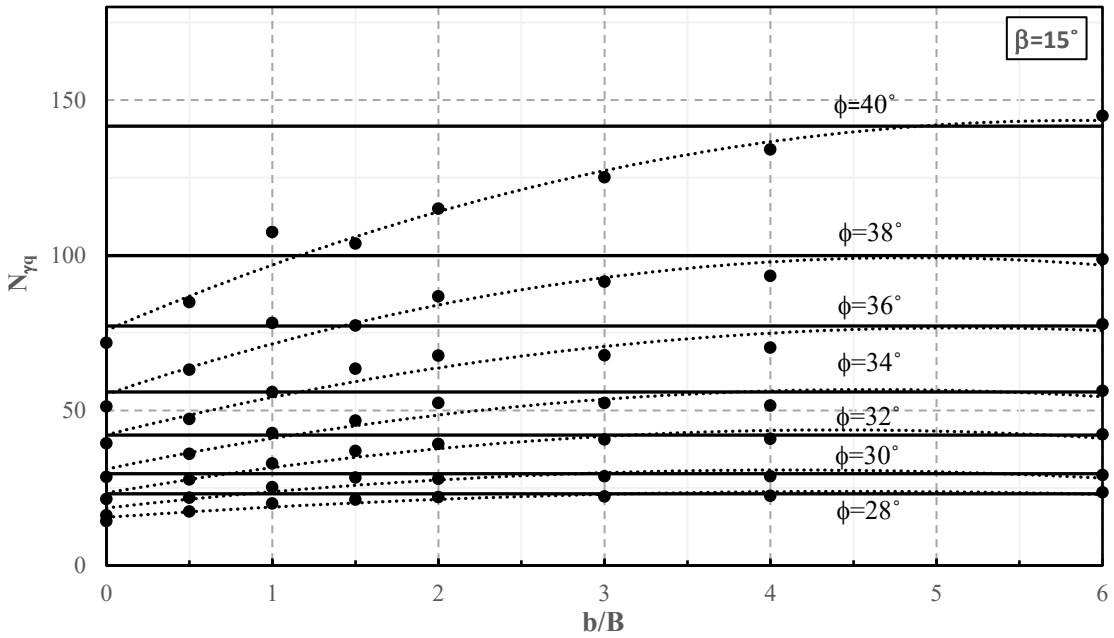

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
0
1
2
3
4
5
6

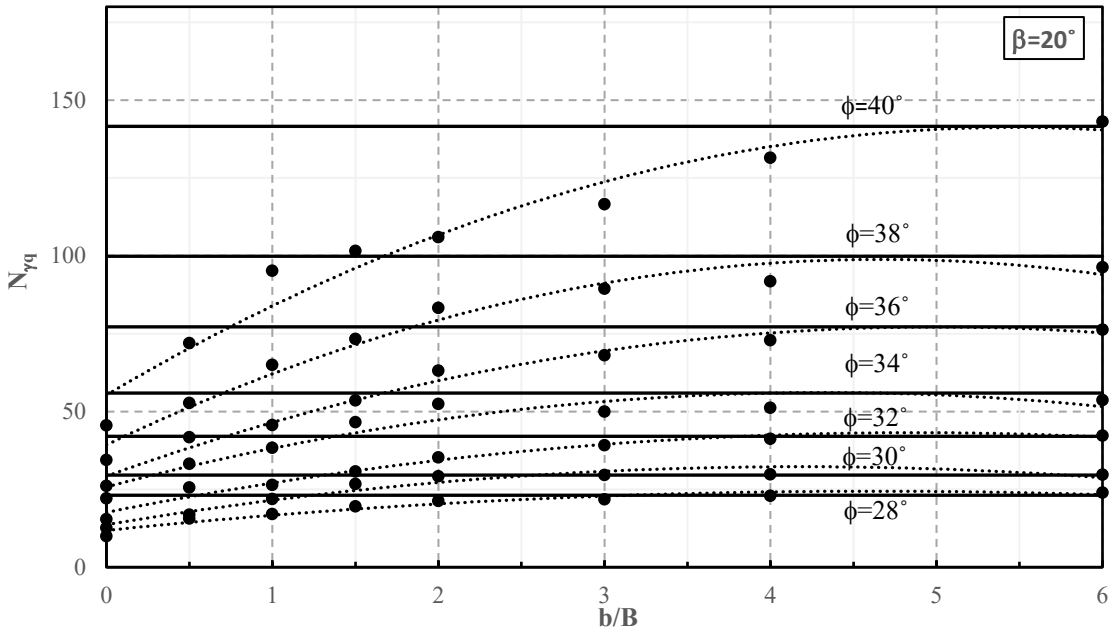

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
0
1
2
3
4
5
6

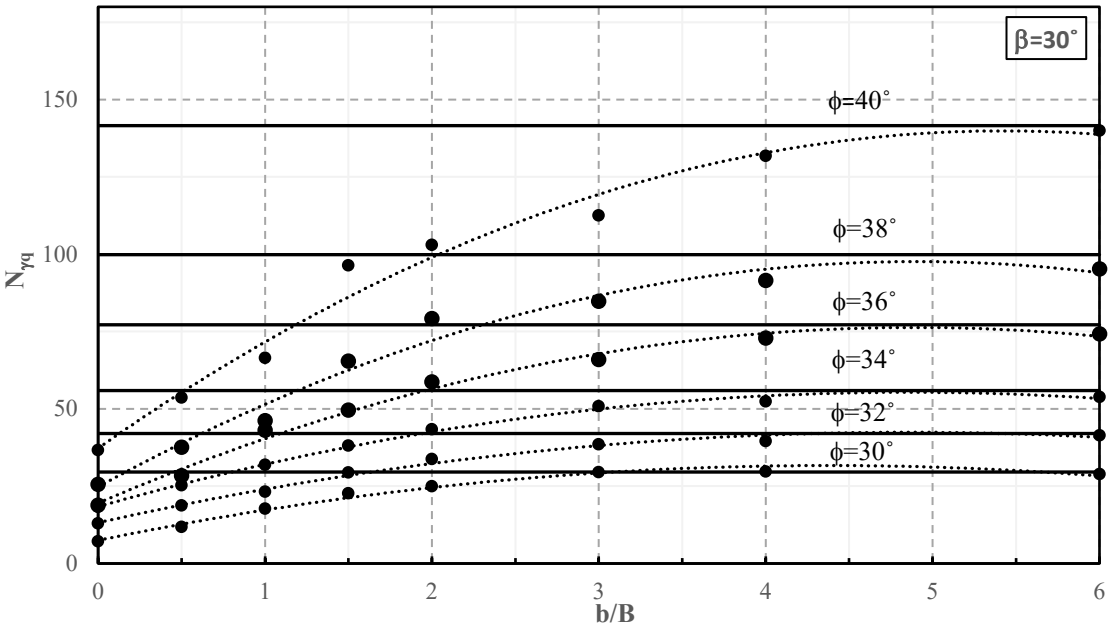


Ek Şekil 38. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=1.5 m)

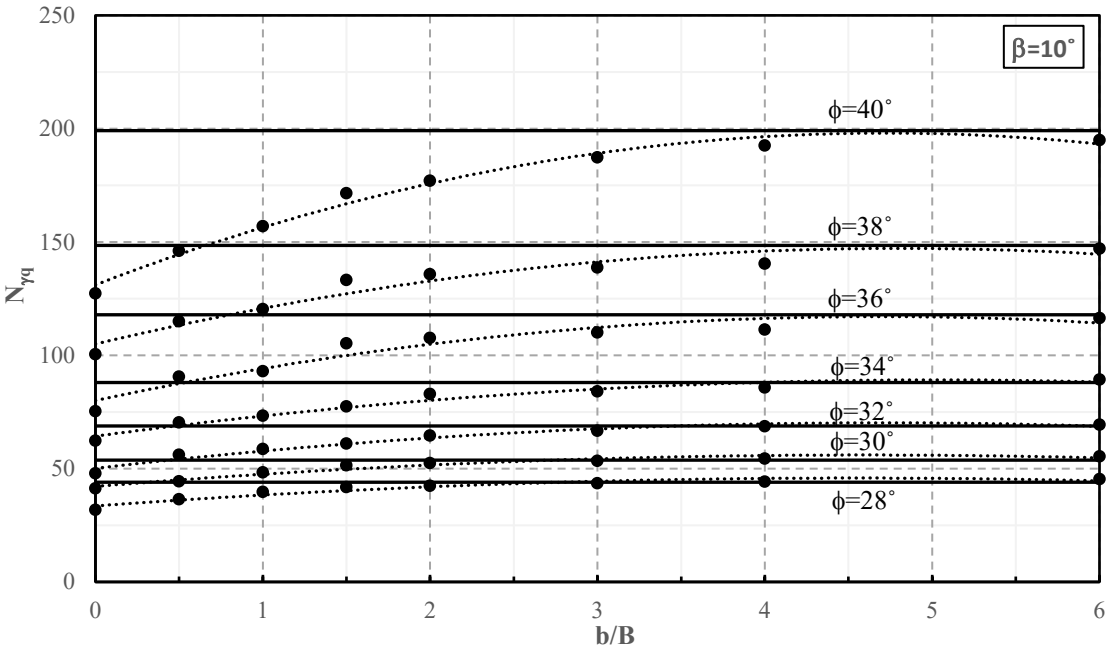


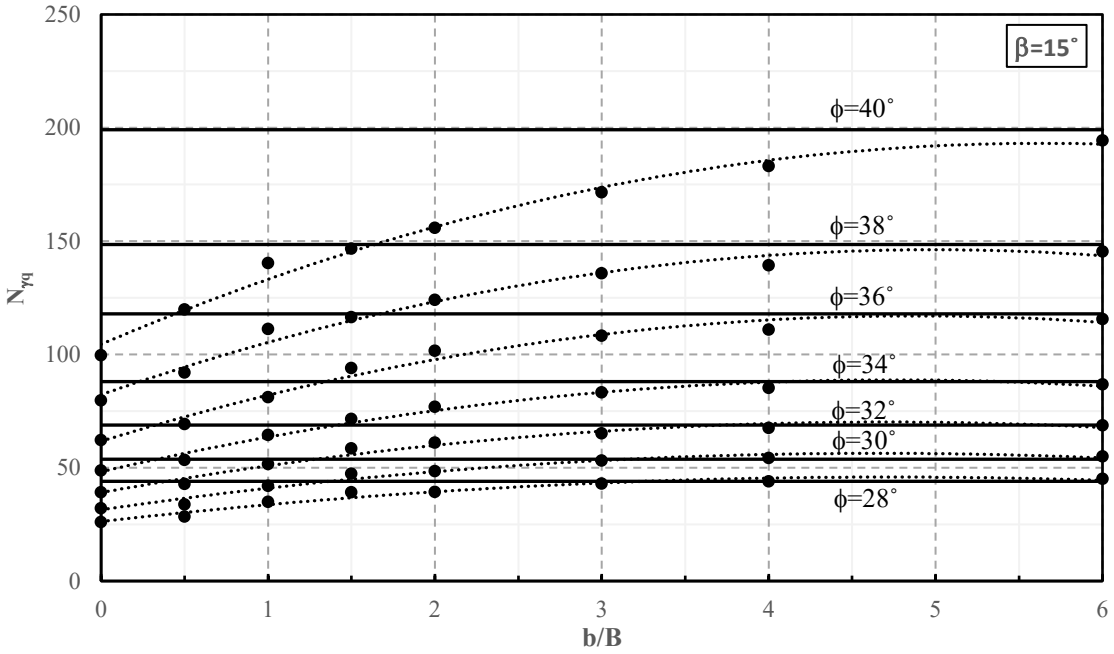

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
0
1
2
3
4
5
6

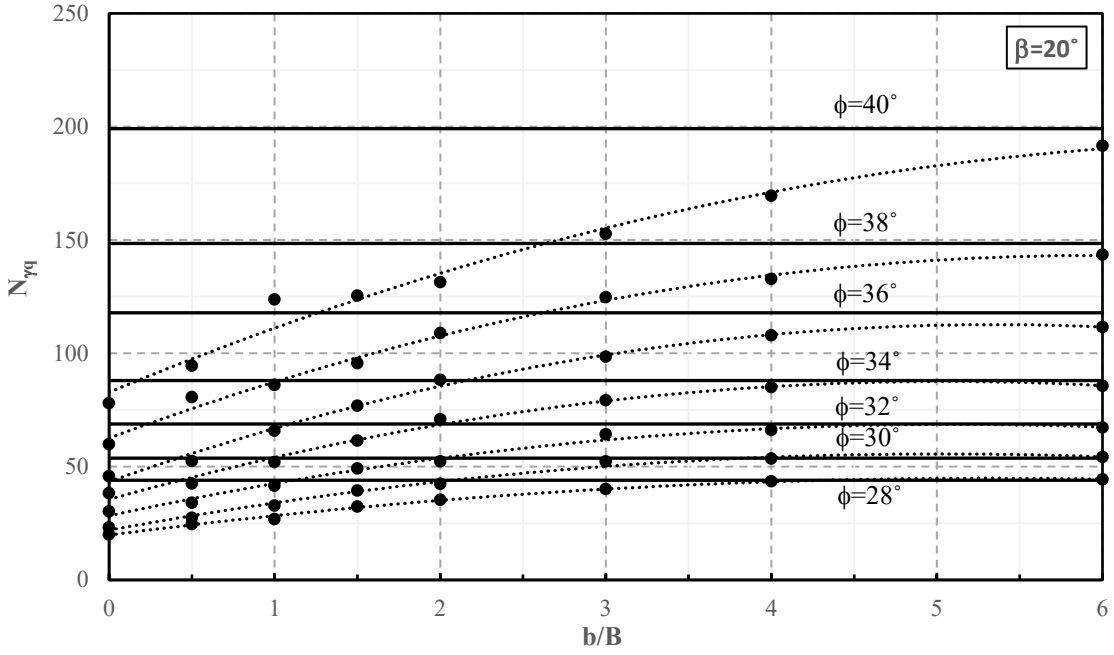

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
0
1
2
3
4
5
6

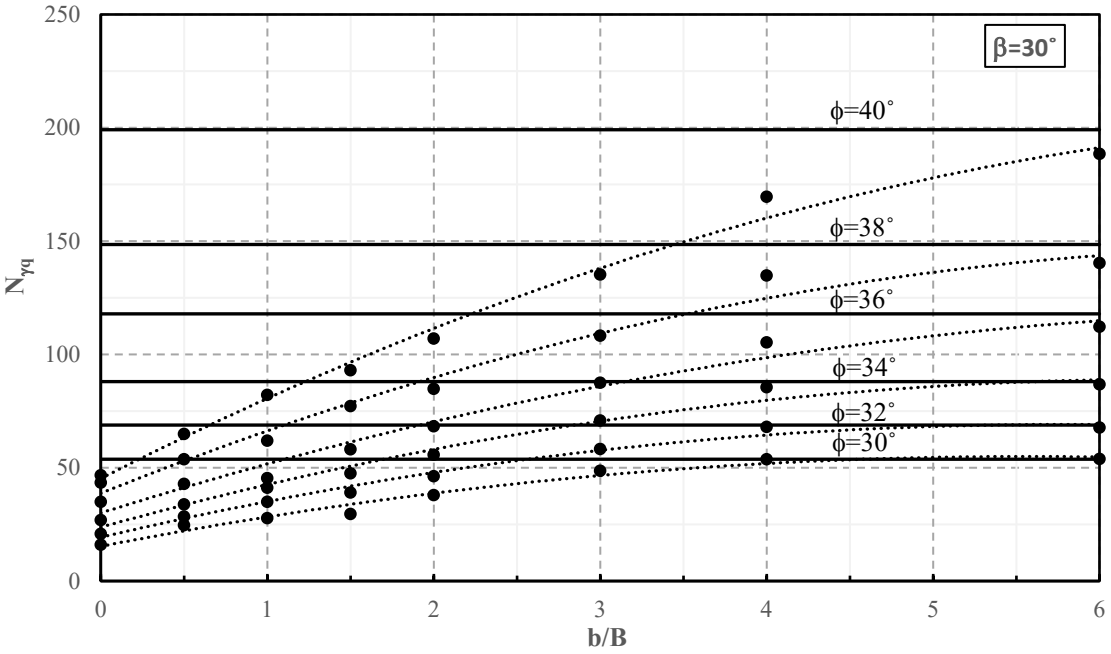


Ek Şekil 39. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0, B=2 m)

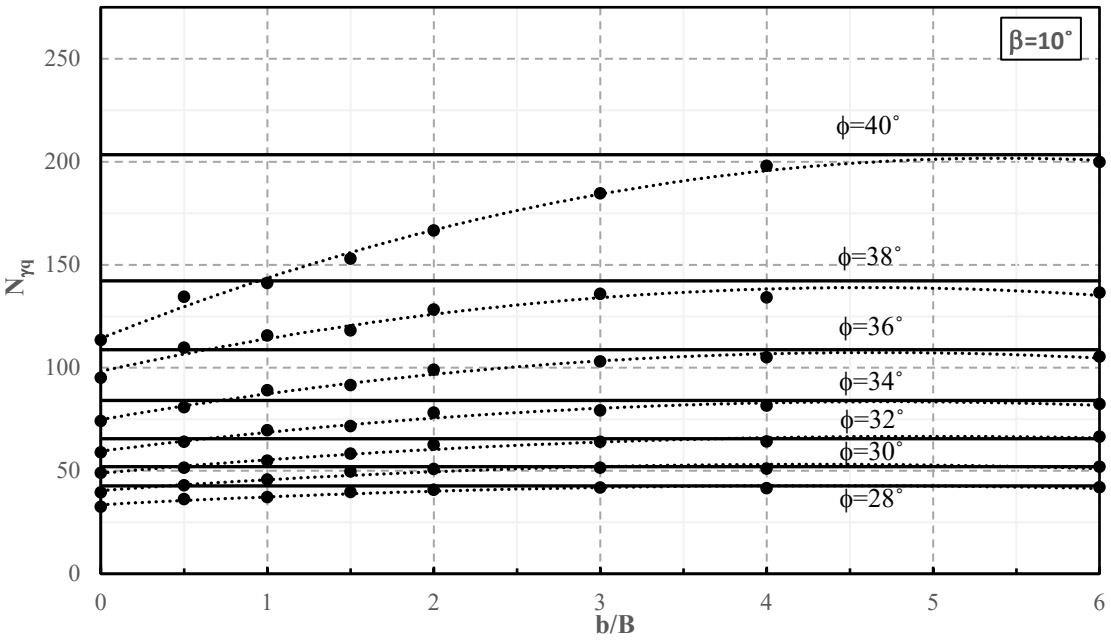


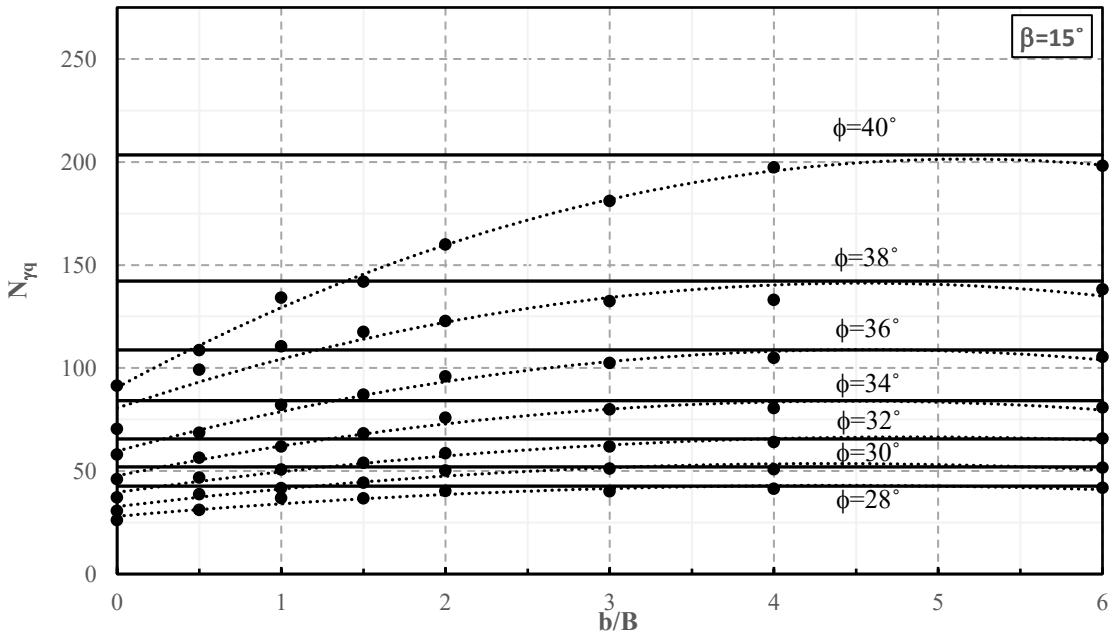

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
200
250
0
1
2
3
4
5
6

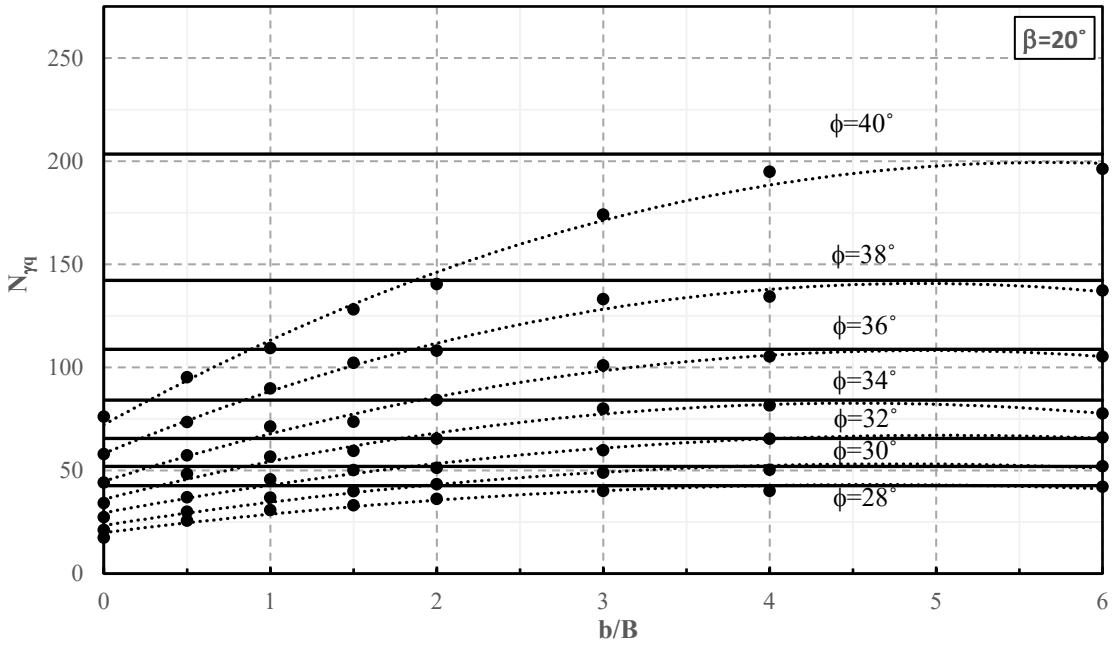

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
200
250
0
1
2
3
4
5
6

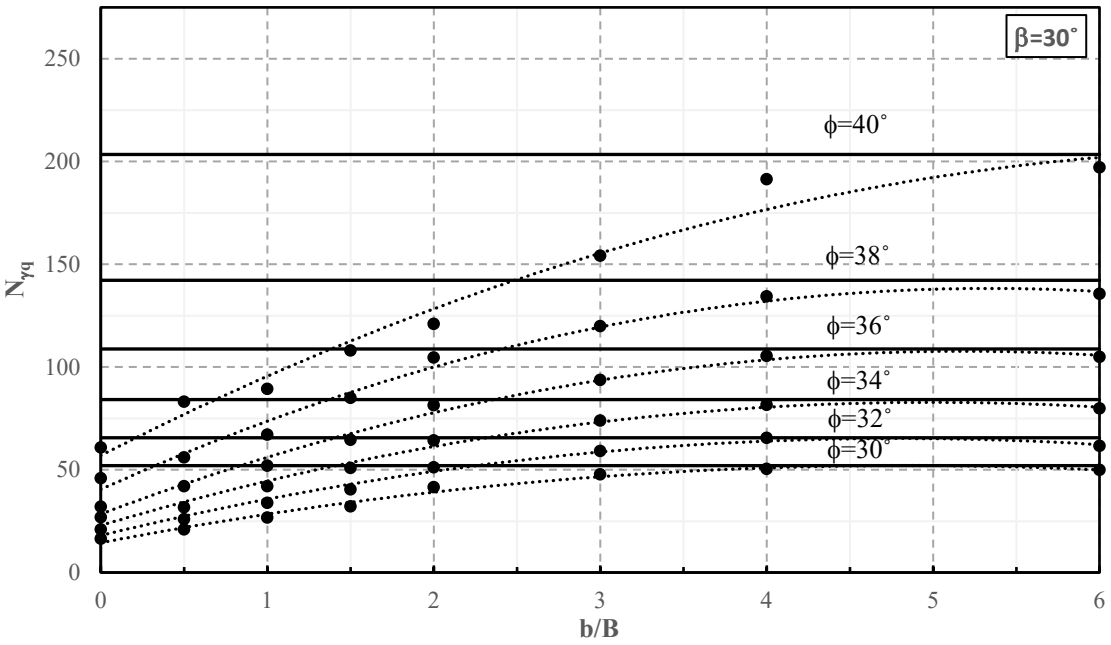


Ek Şekil 40. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1 m)

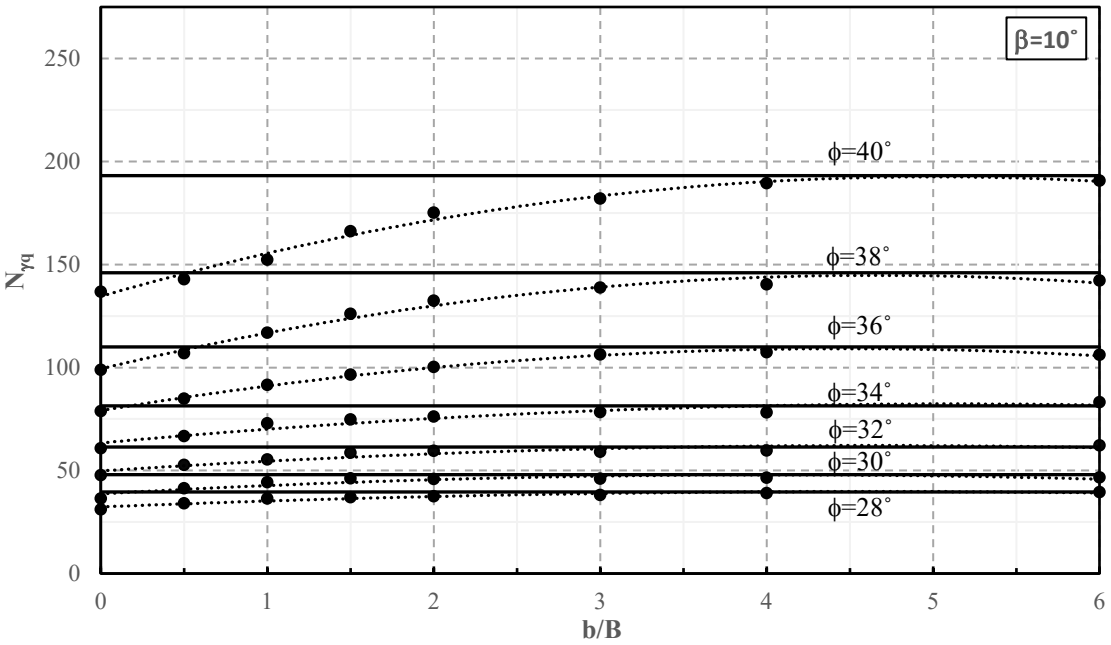


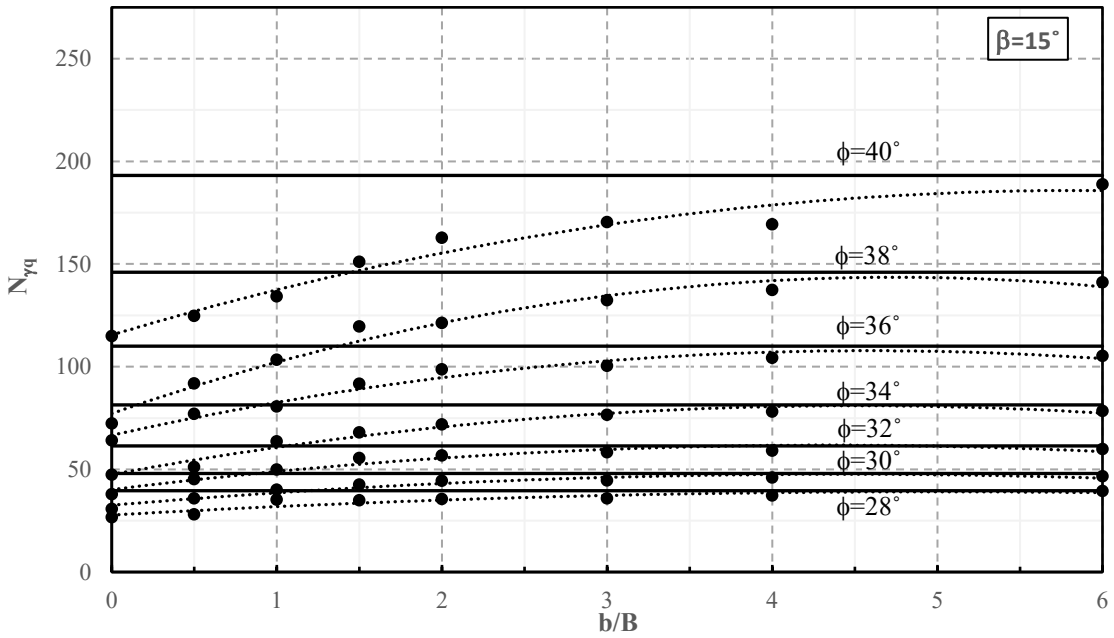

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
200
250
0
1
2
3
4
5
6

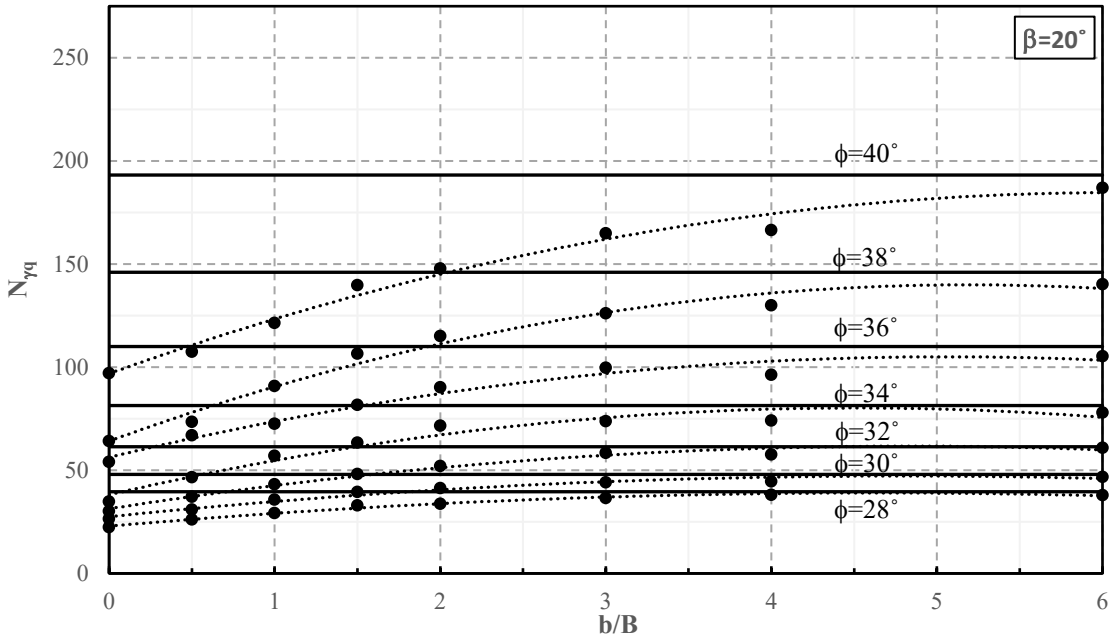

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
200
250
0
1
2
3
4
5
6

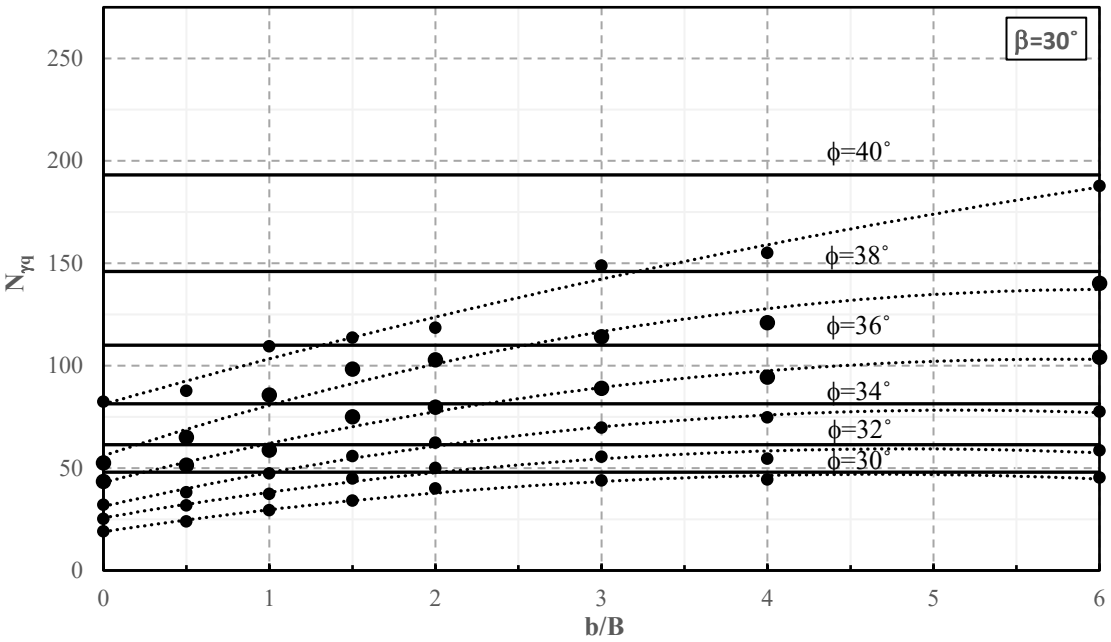


Ek Şekil 41. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=1.5 m)

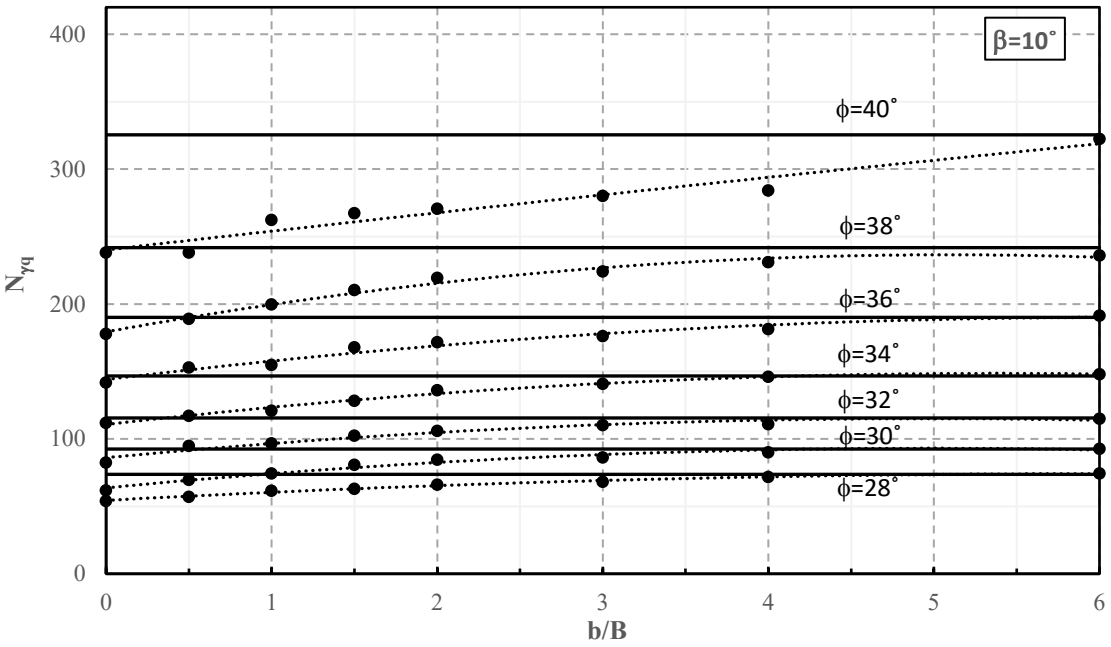


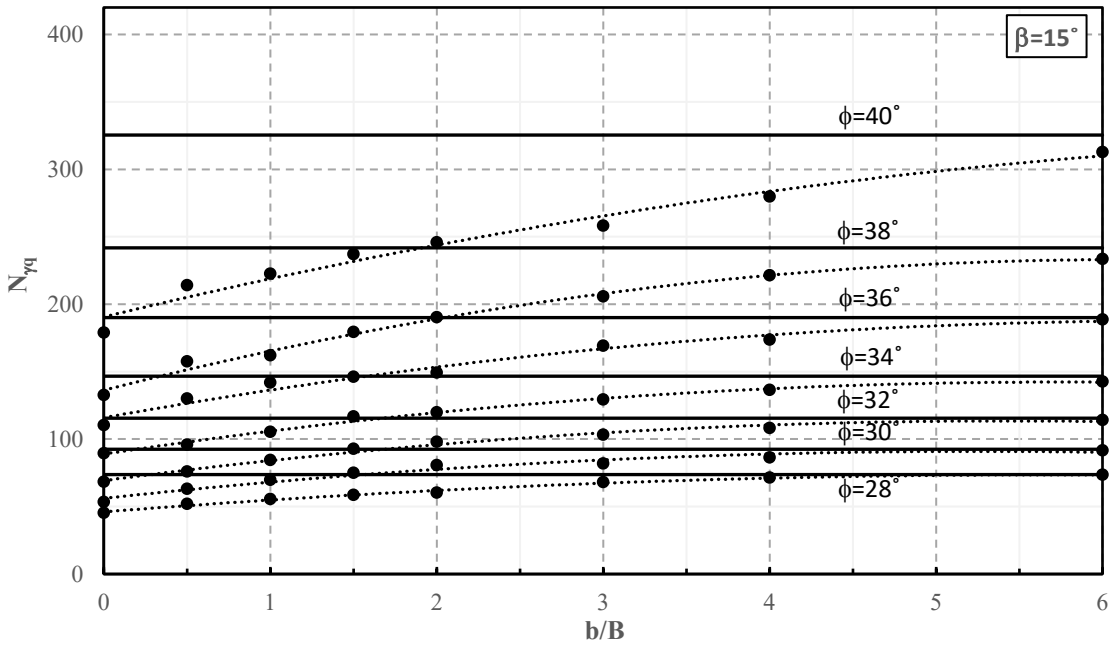

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
200
250
0
1
2
3
4
5
6

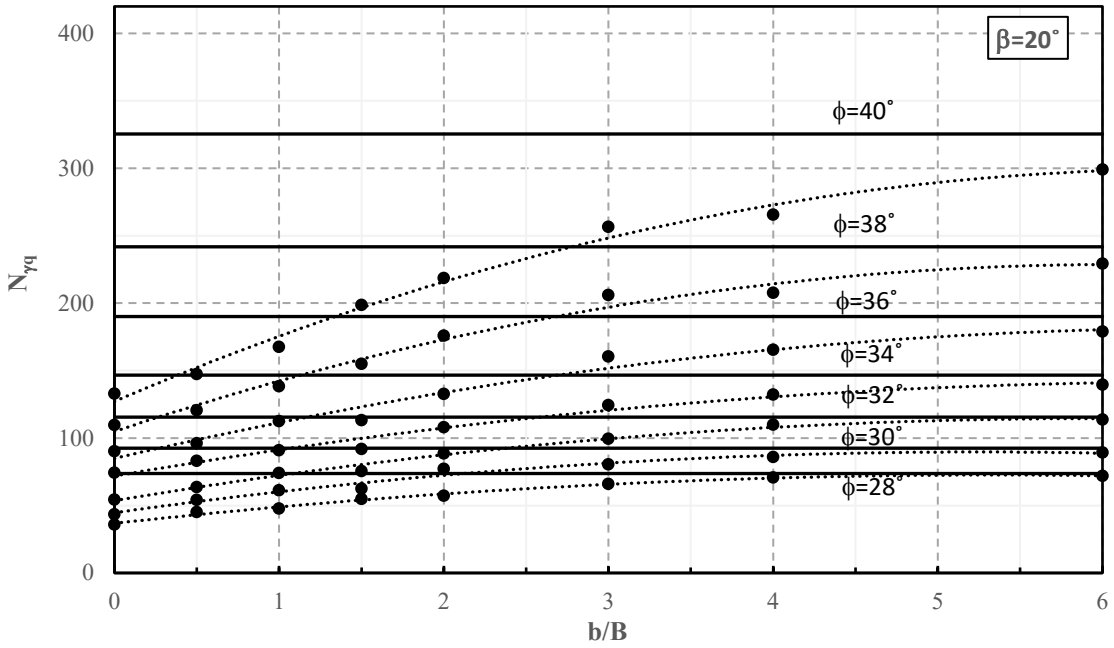

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
200
250
0
1
2
3
4
5
6

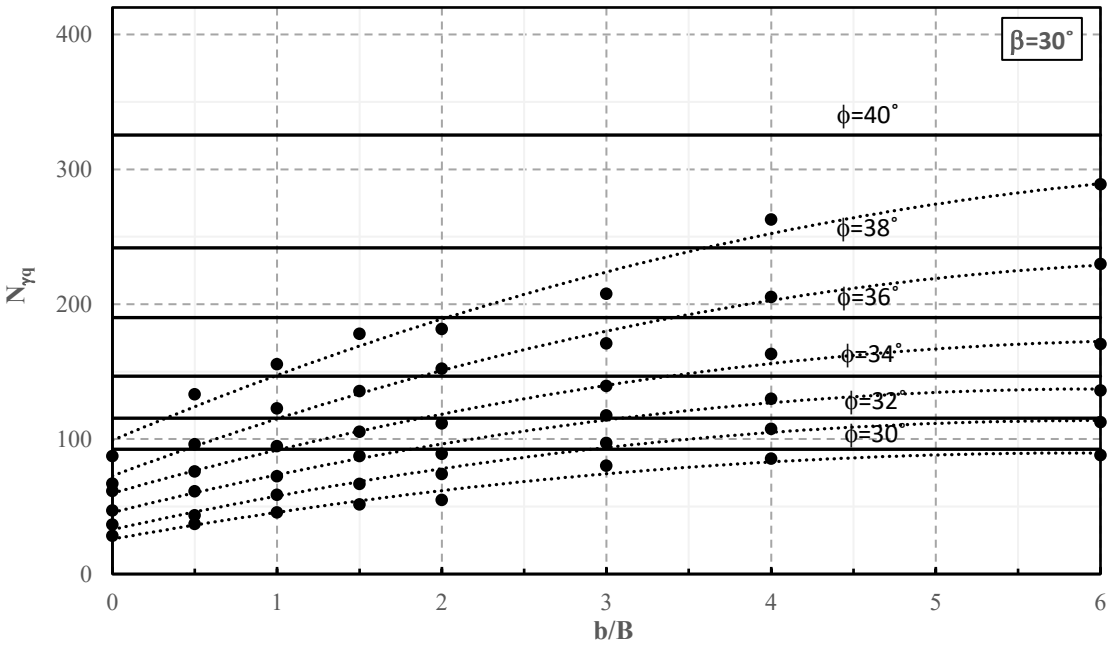


Ek Şekil 42. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=0.5, B=2 m)

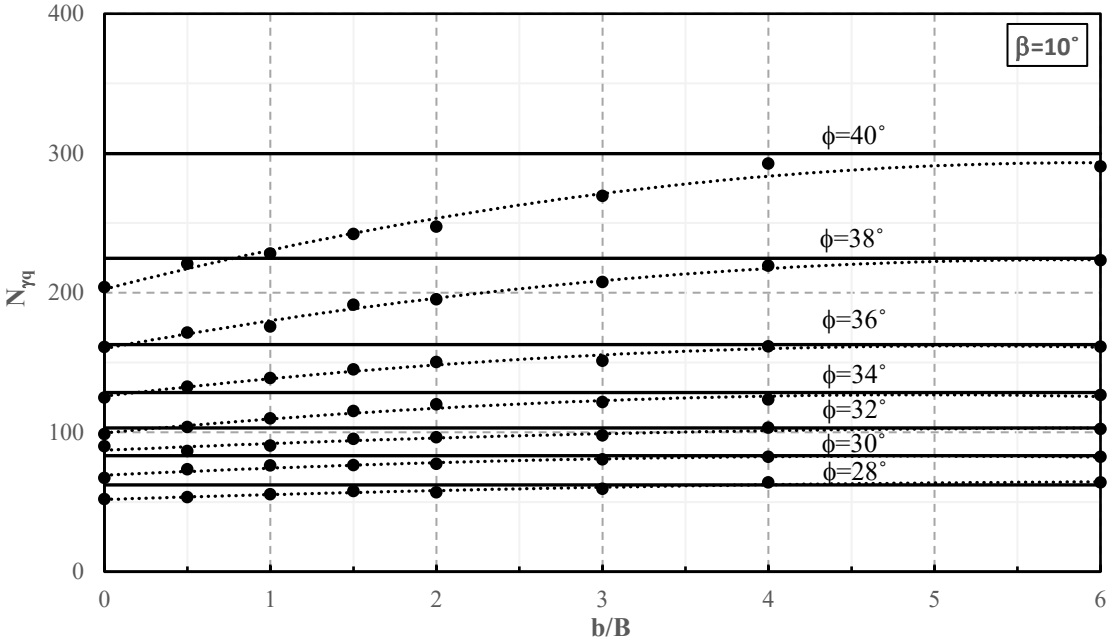


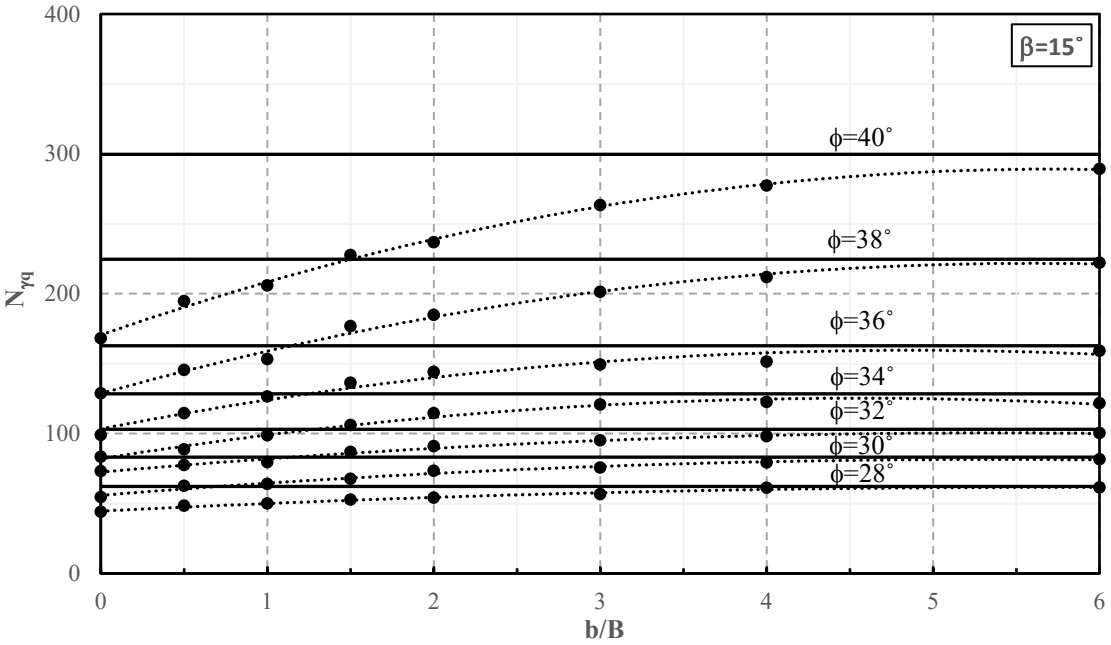

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
100
200
300
400
0
1
2
3
4
5
6

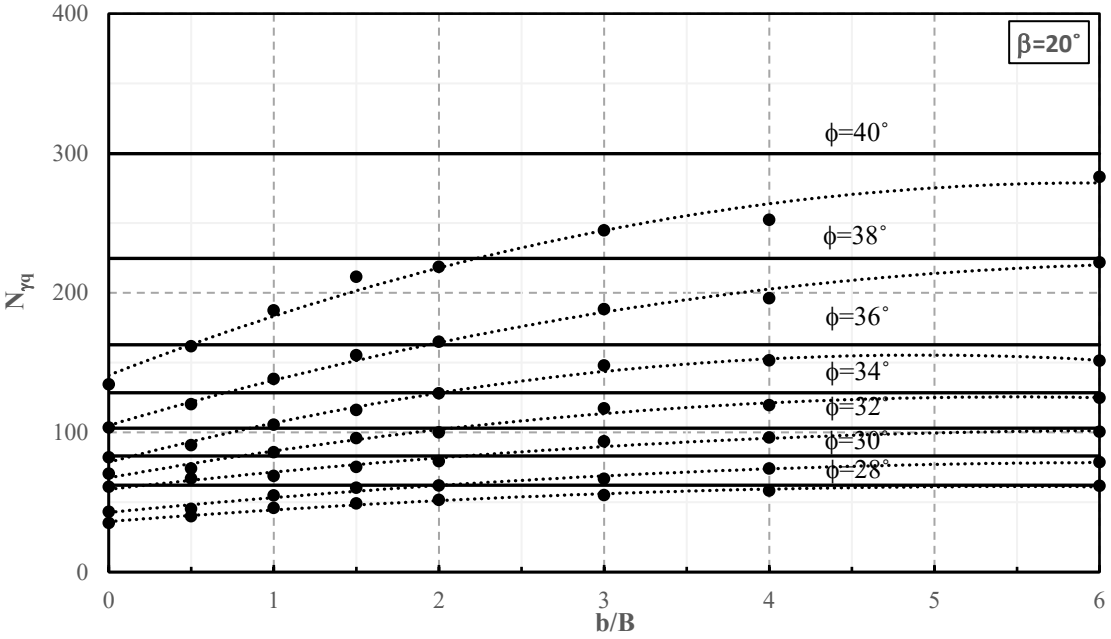

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
100
200
300
400
0
1
2
3
4
5
6

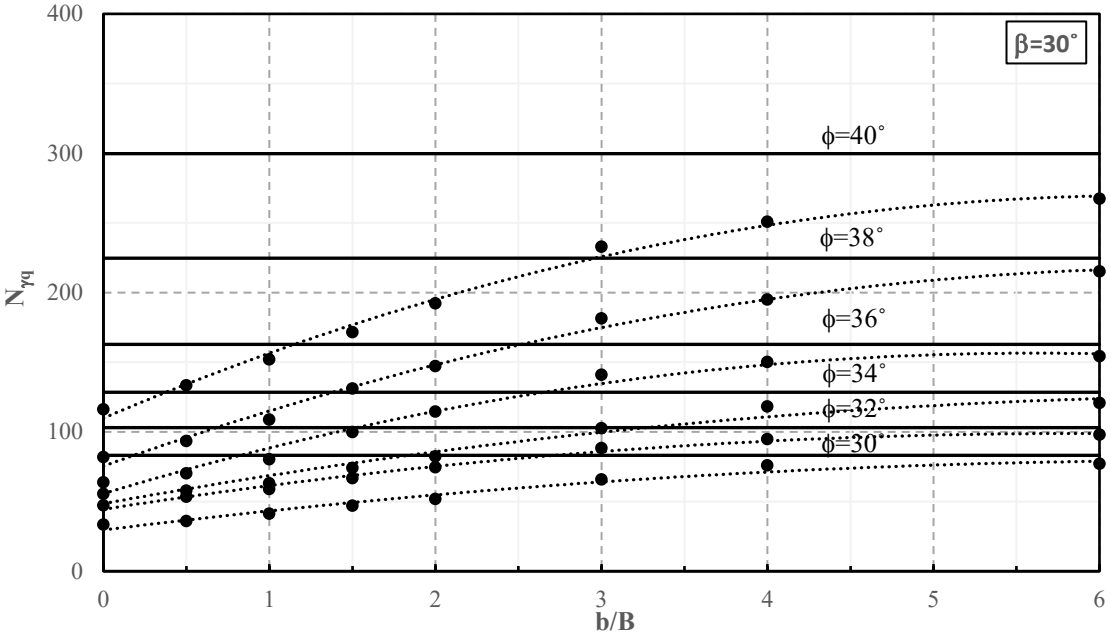


Ek Şekil 43. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1 m)

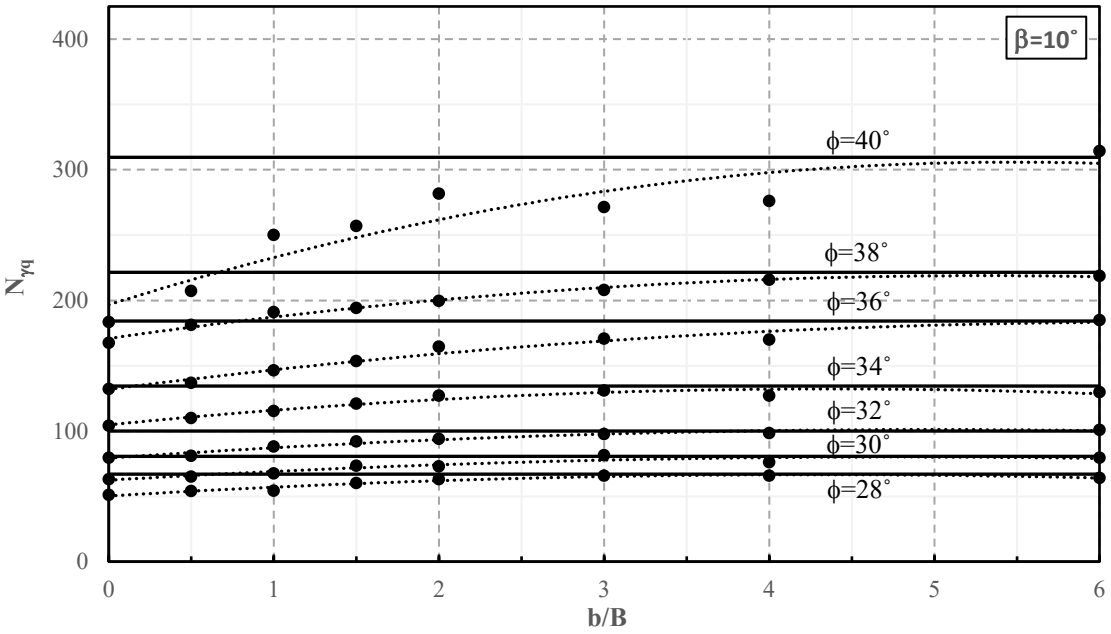


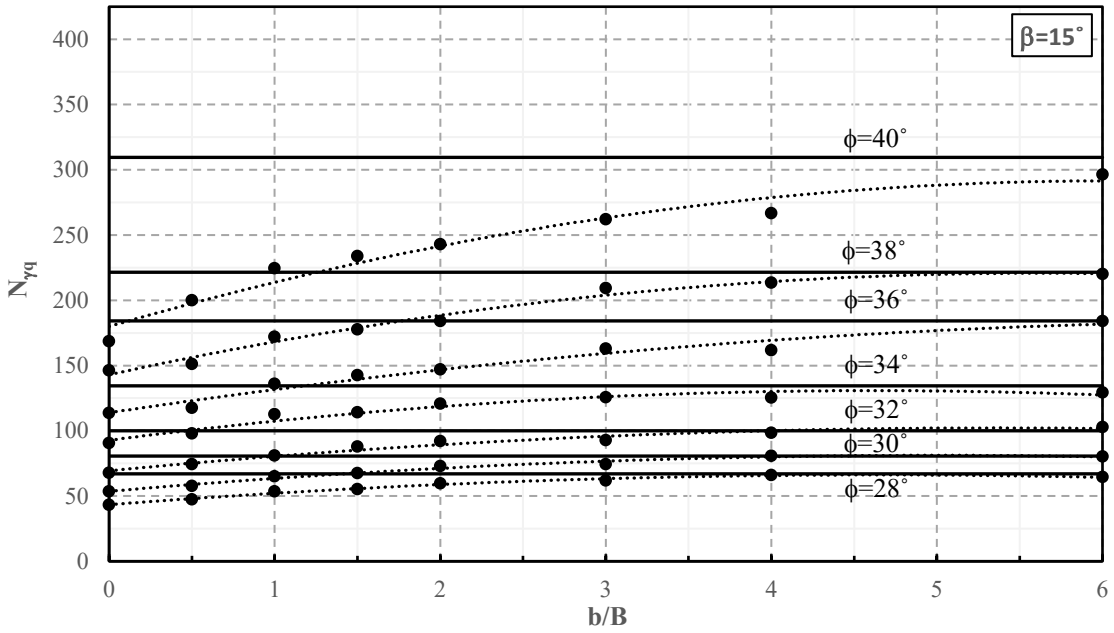

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
100
200
300
400
0
1
2
3
4
5
6

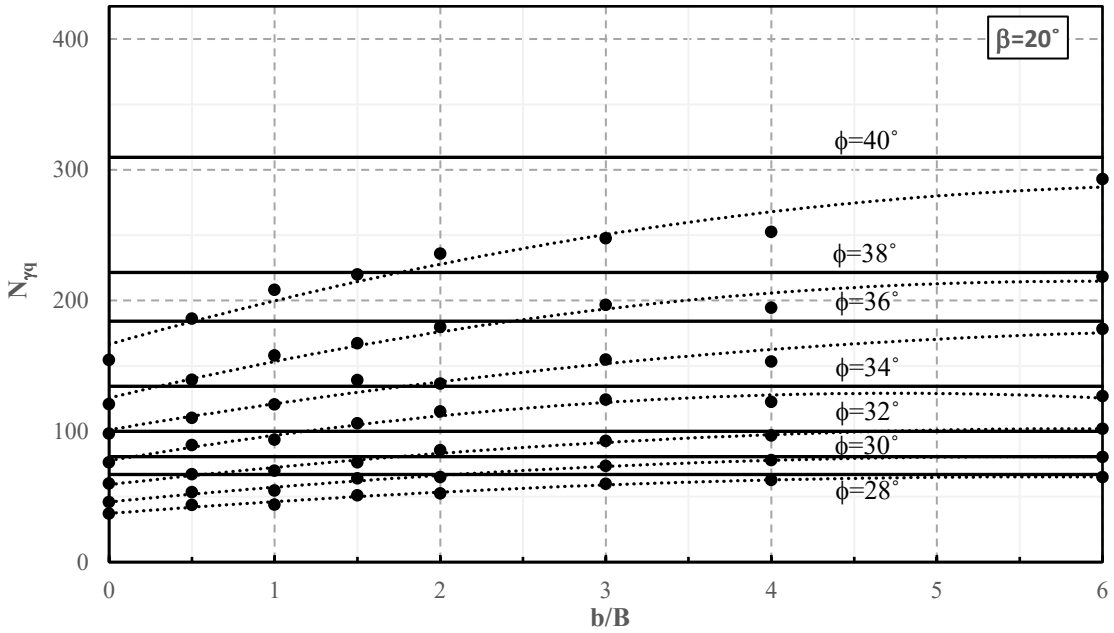

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
100
200
300
400
0
1
2
3
4
5
6

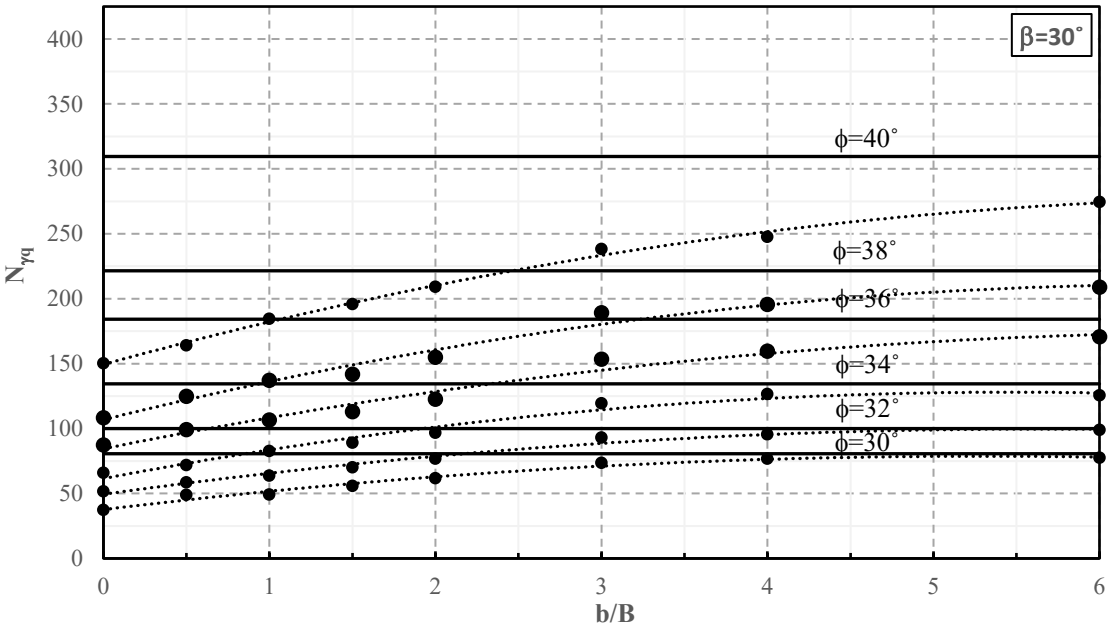


Ek Şekil 44. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=1.5 m)

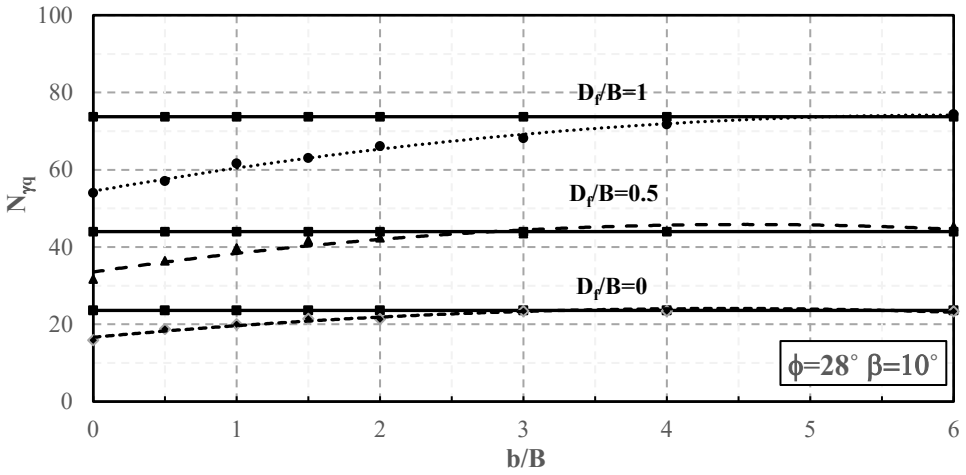


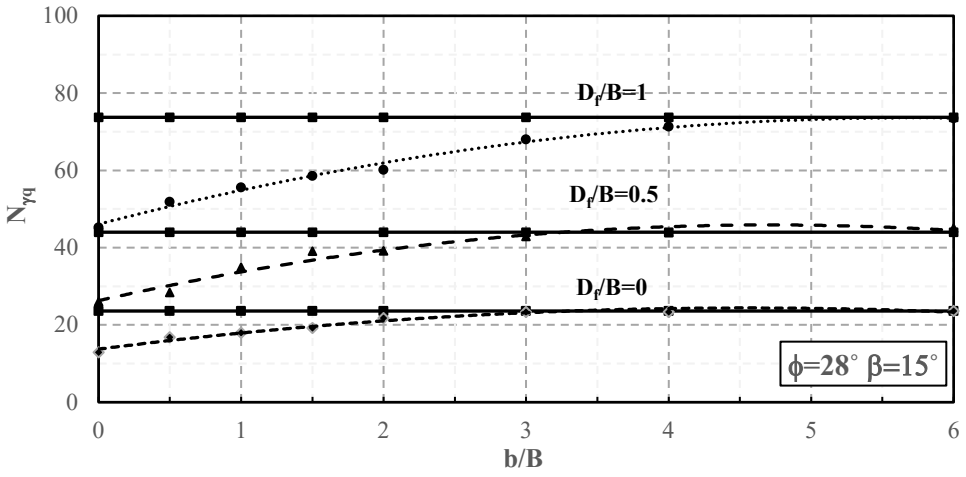

β=15˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
50
100
150
200
250
300
350
400
0
1
2
3
4
5
6

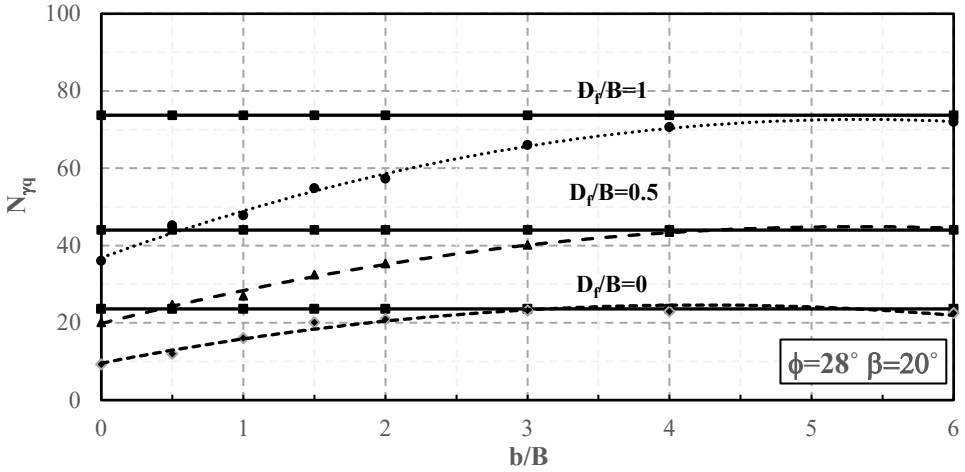

β=20˚
ϕ=40˚
ϕ=38˚
ϕ=36˚
ϕ=34˚
ϕ=32˚
ϕ=30˚
ϕ=28˚
$N_{\gamma q}$
b/B
0
100
200
300
400
0
1
2
3
4
5
6

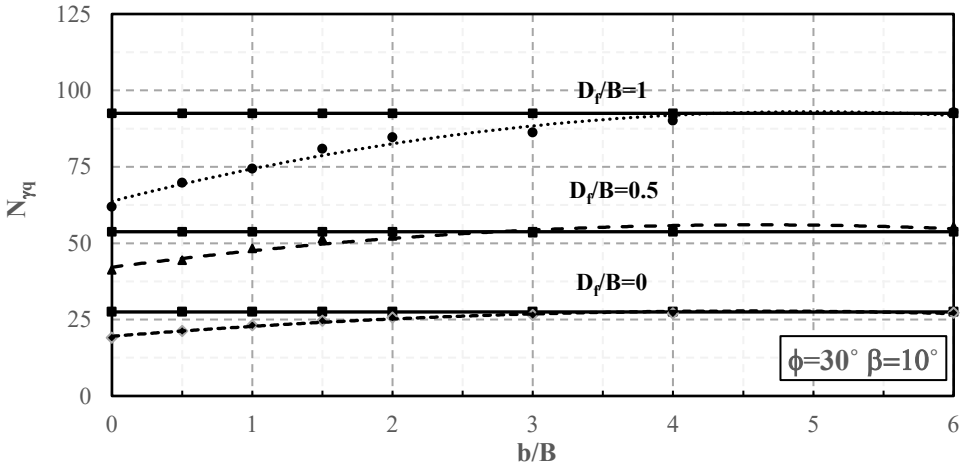


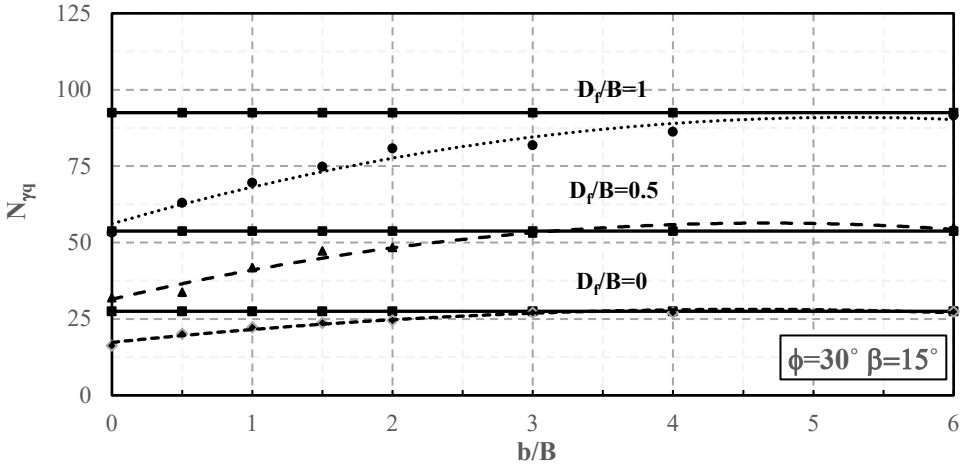
Ek Şekil 45. Farklı ϕ ve β için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (D_f/B=1, B=2 m)

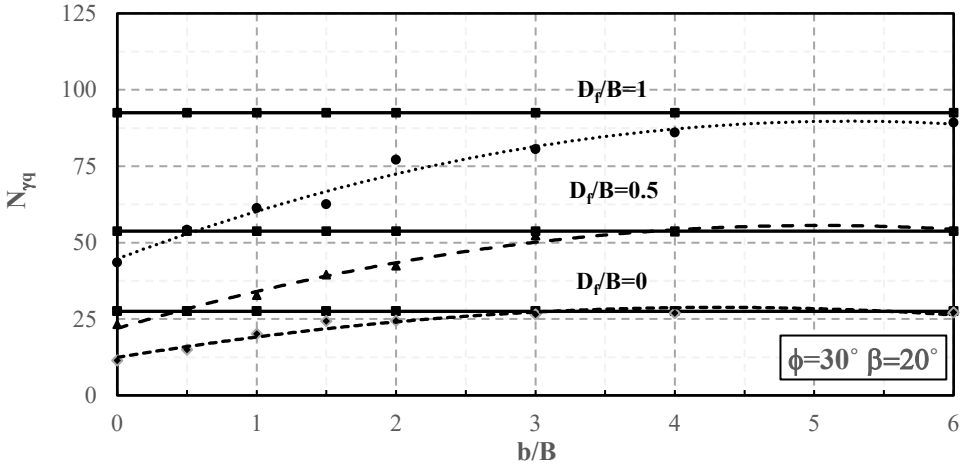


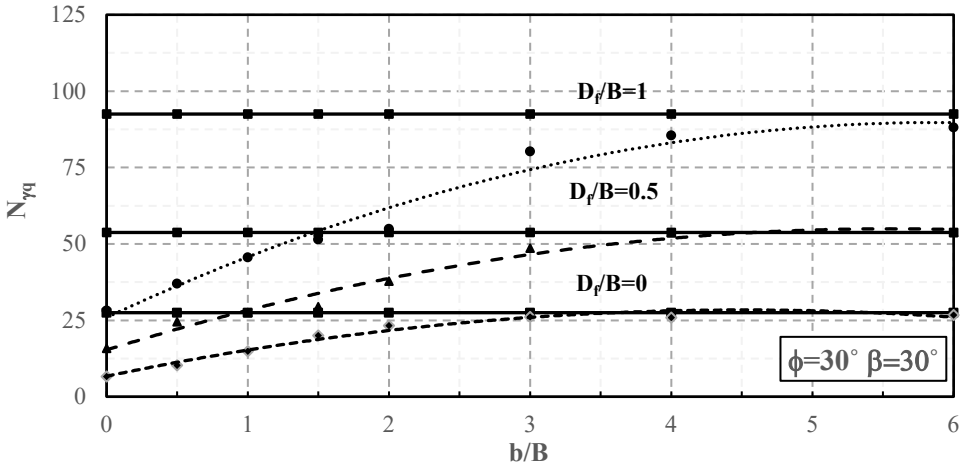


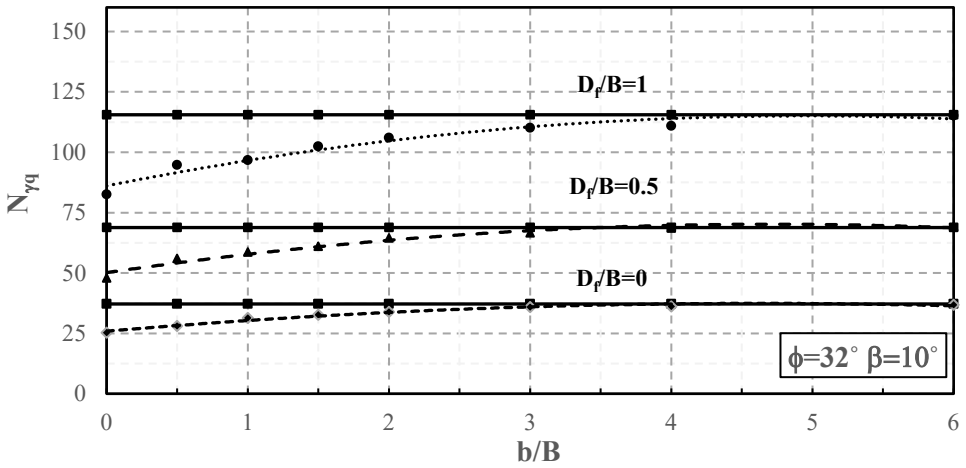

100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=28^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

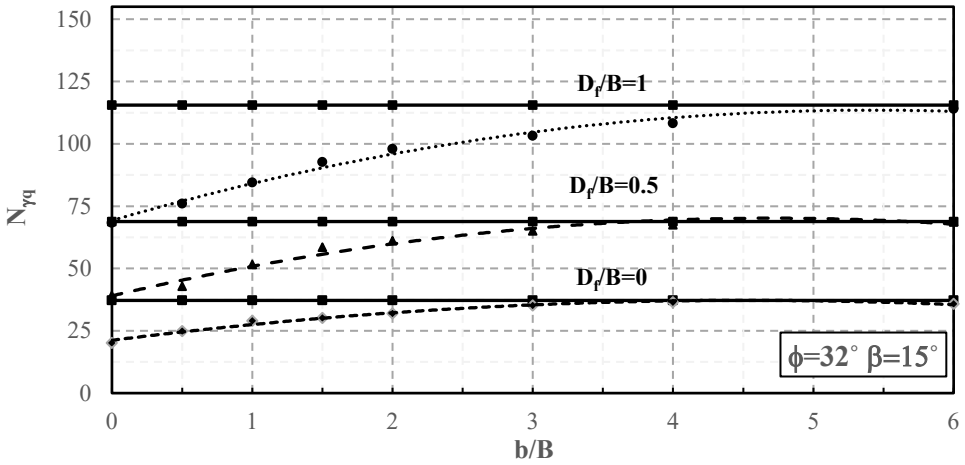

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=30^\circ$ $\beta=10^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

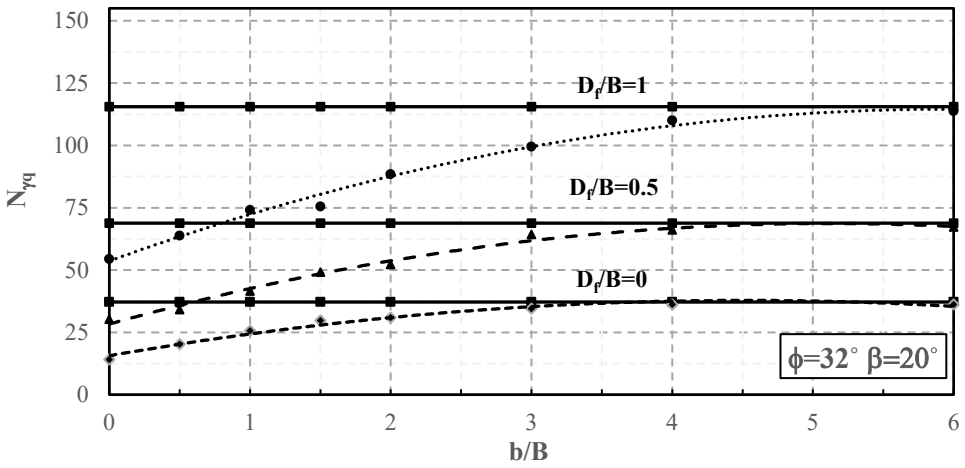

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=30^\circ$ $\beta=15^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

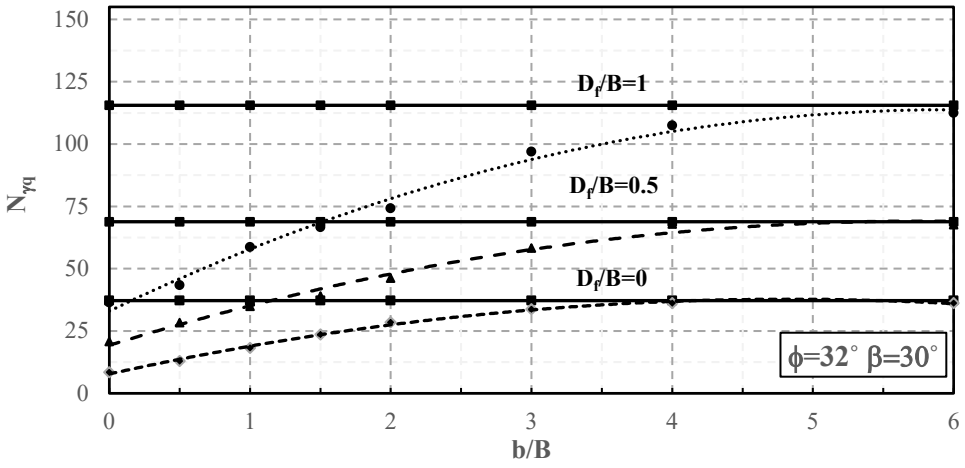

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

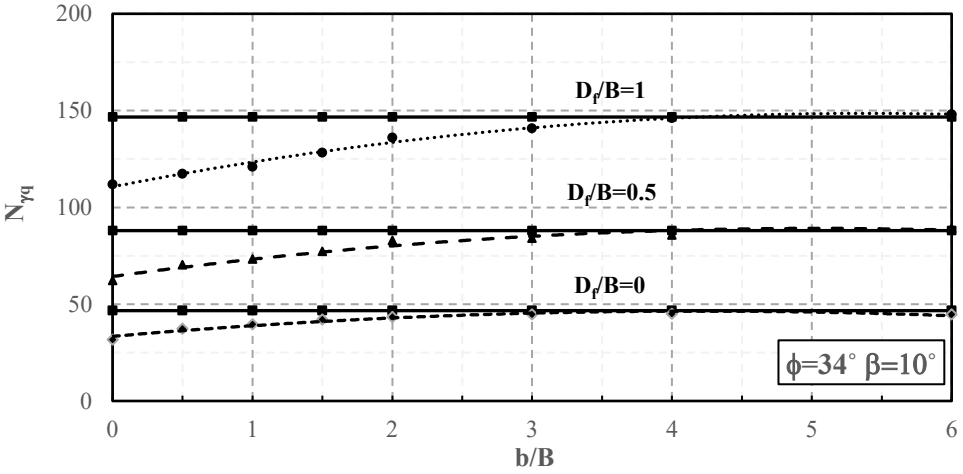

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

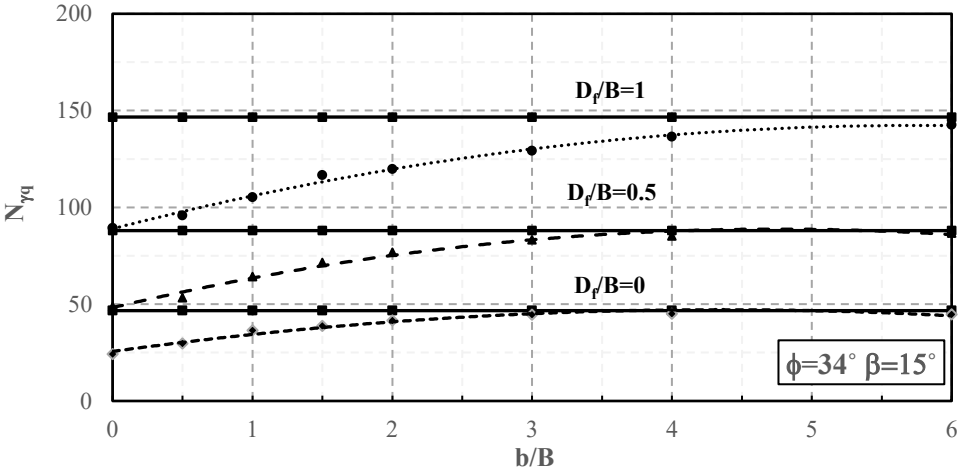

150
125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

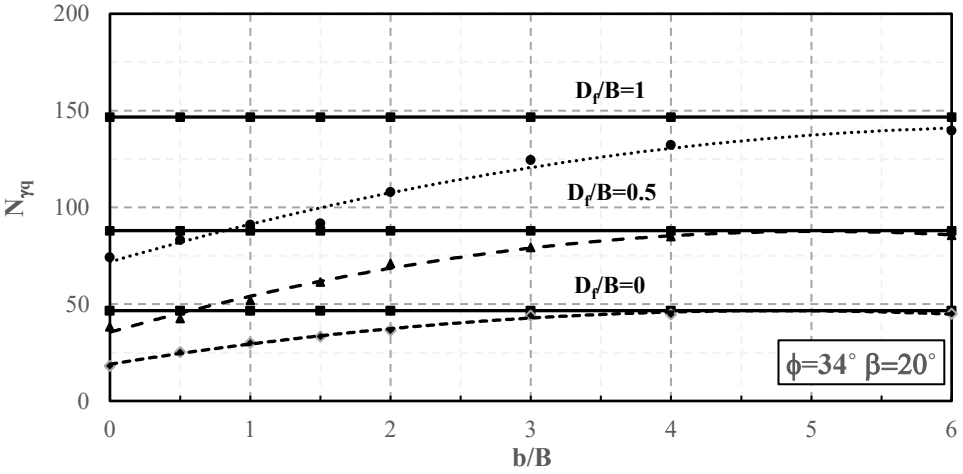

150
125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=32^\circ$ $\beta=15^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

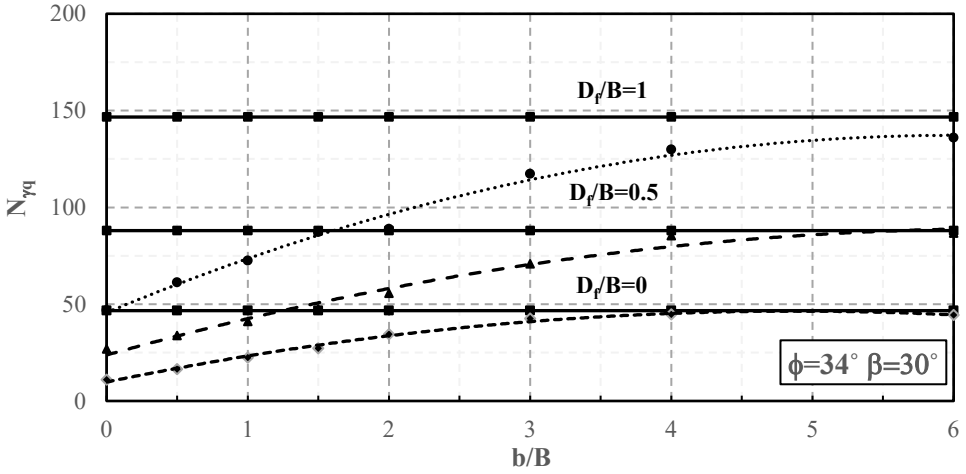

150
125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=32^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

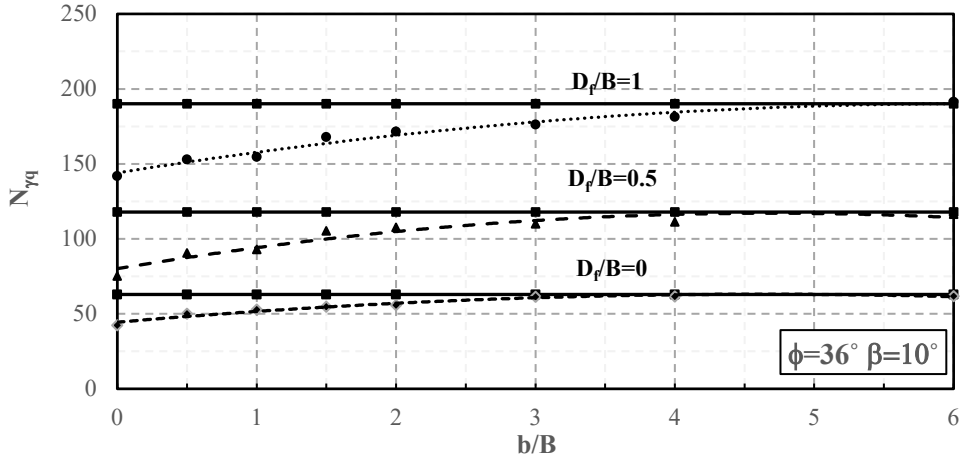

150
125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=32^\circ$ $\beta=30^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

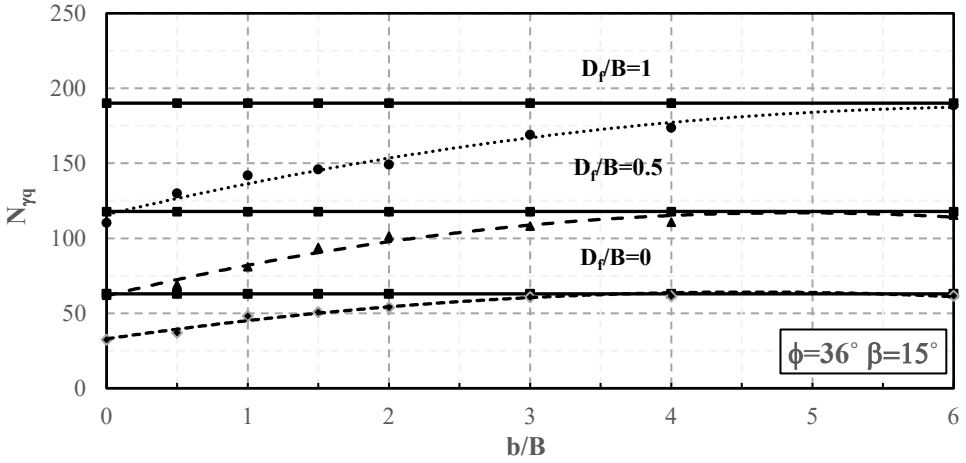

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

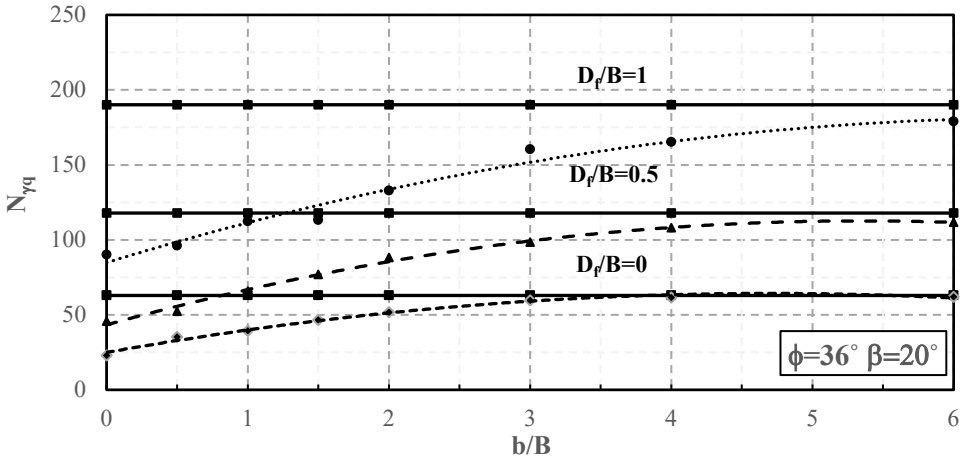

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

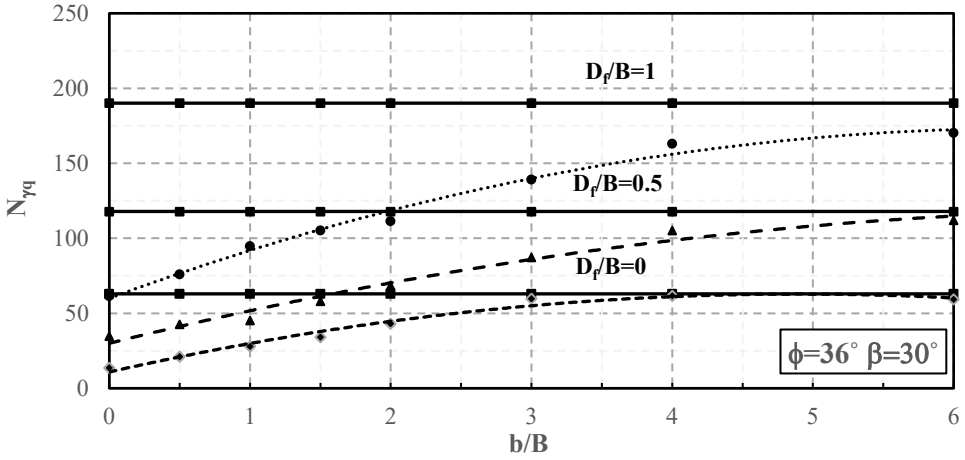

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

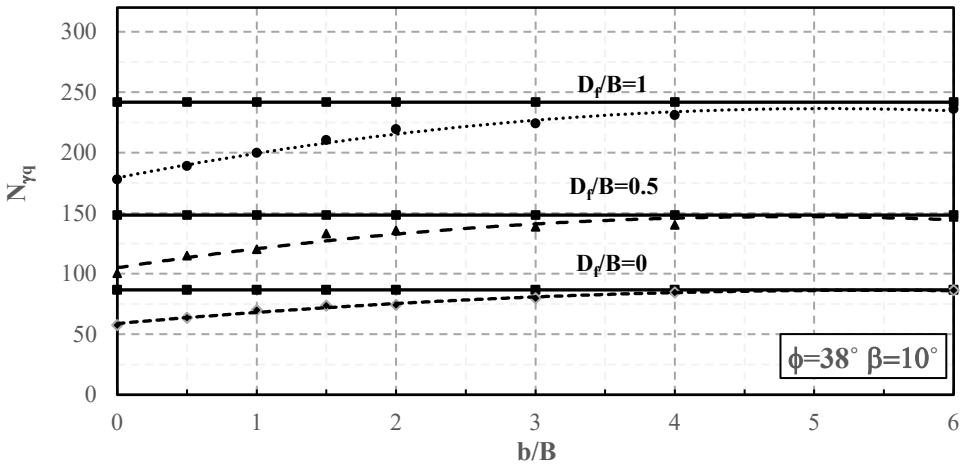

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

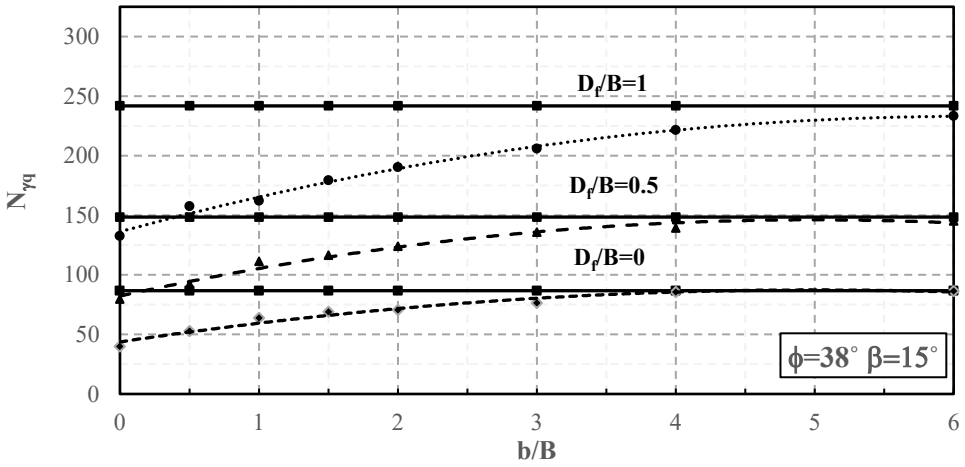

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

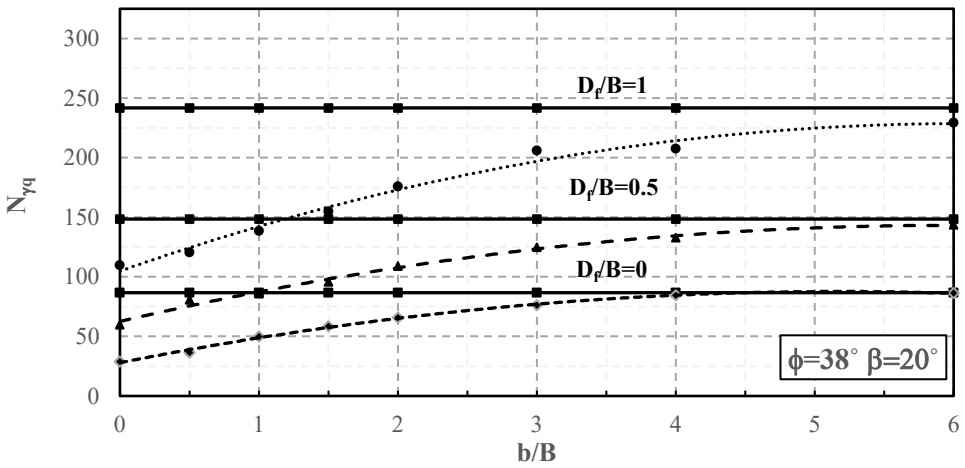

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

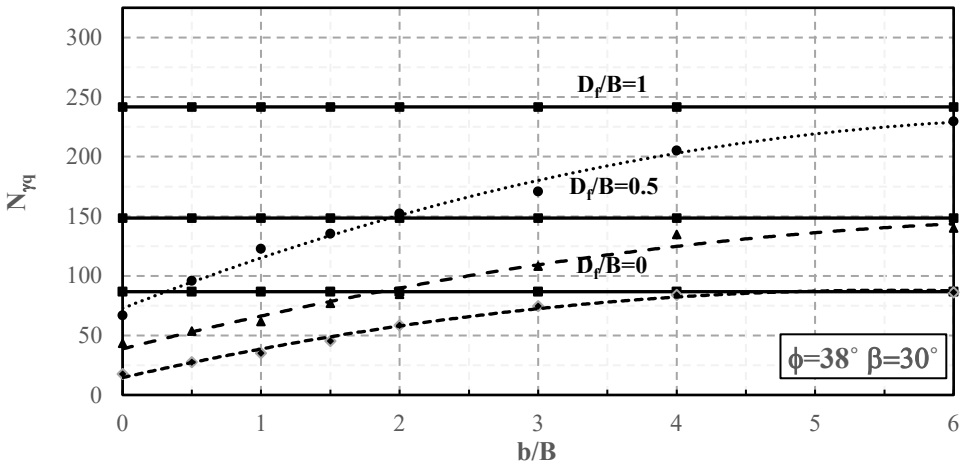

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

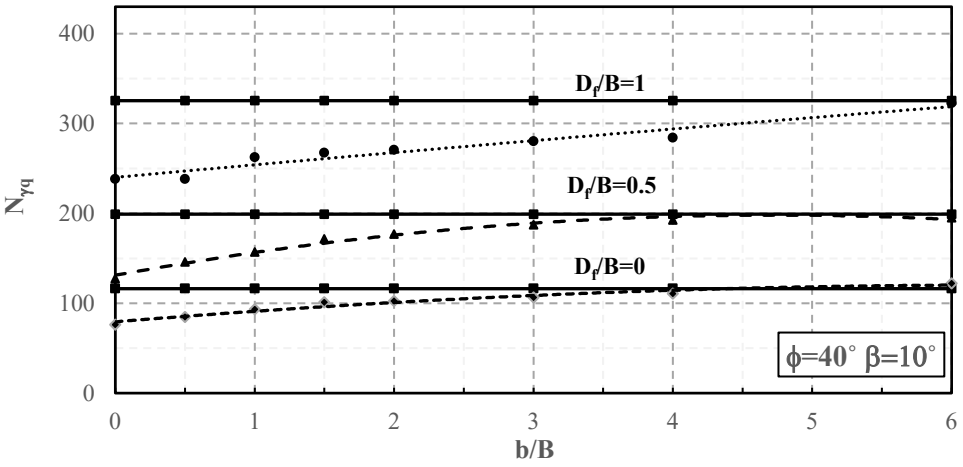

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

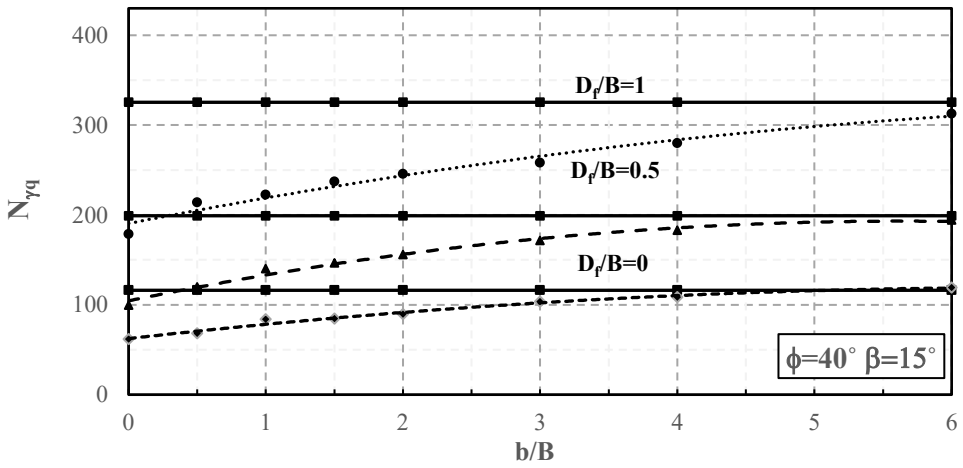

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

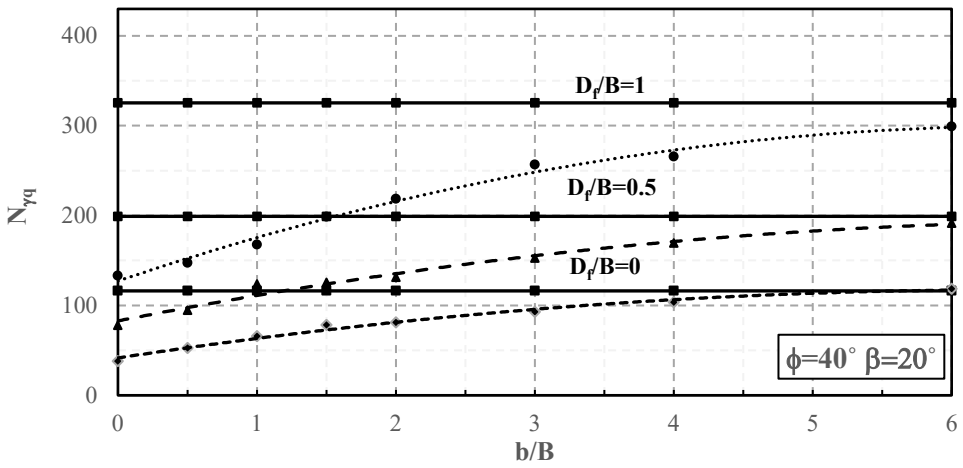

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

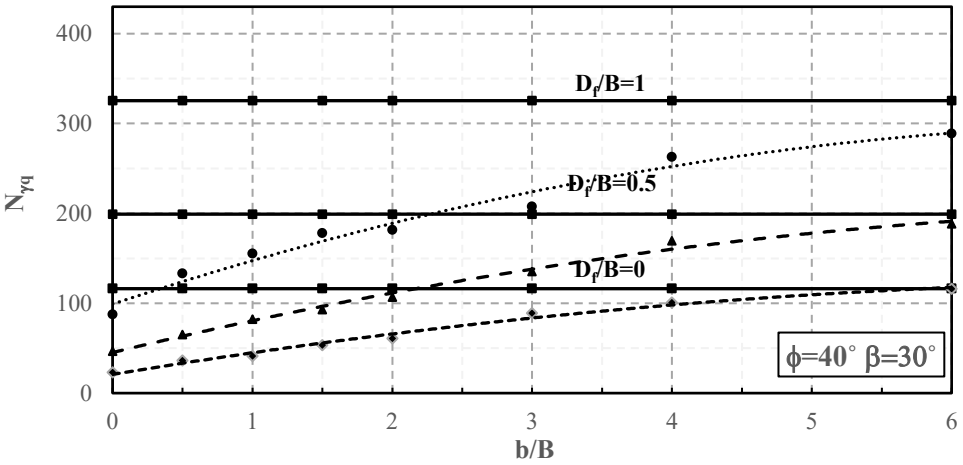

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

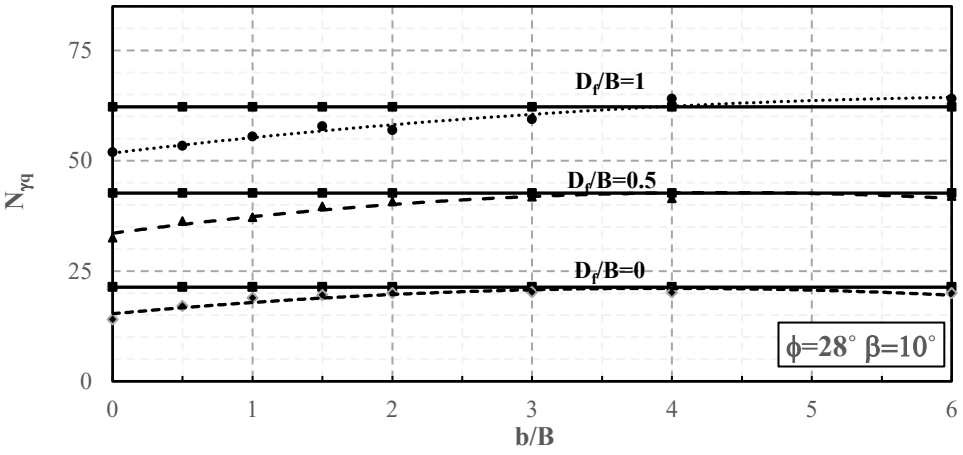

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

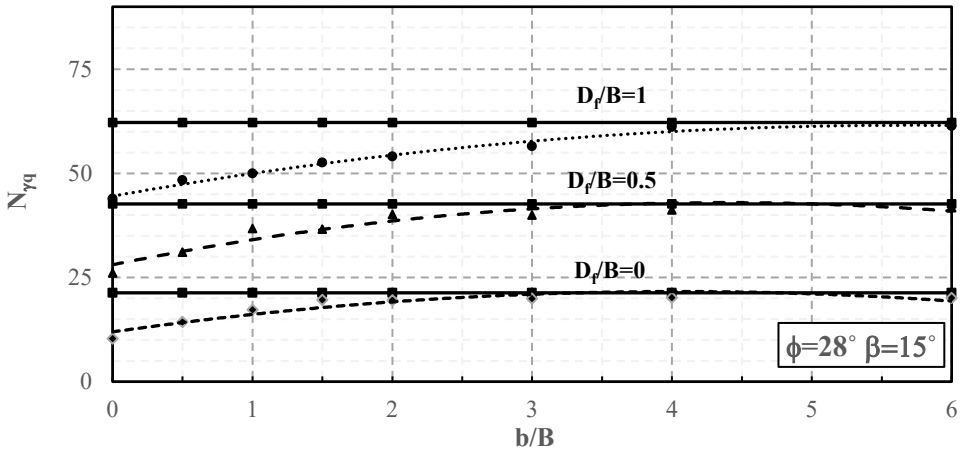

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

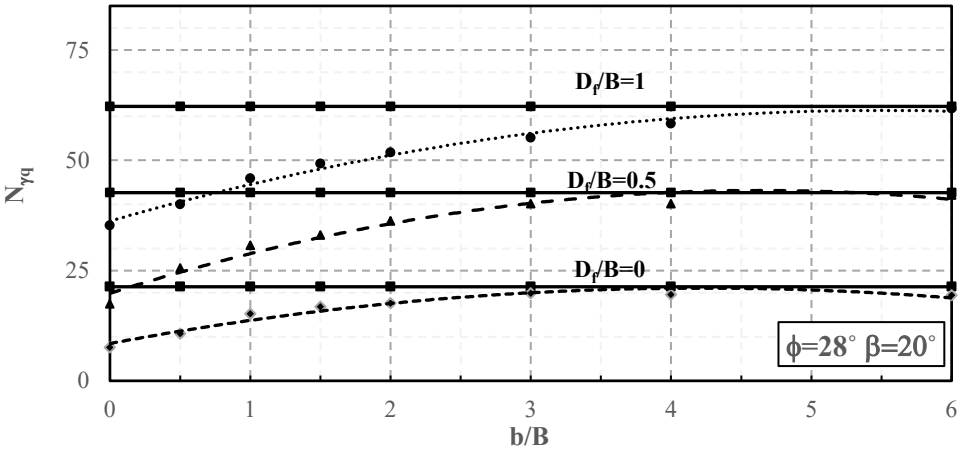

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

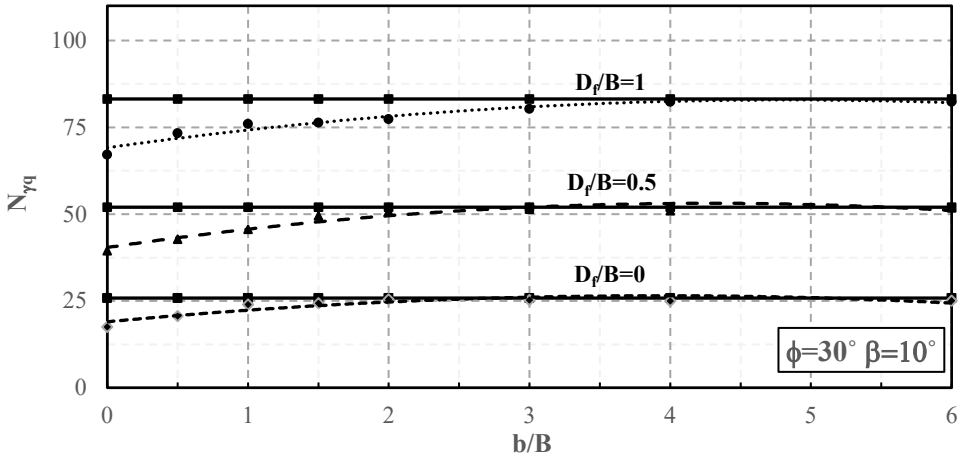


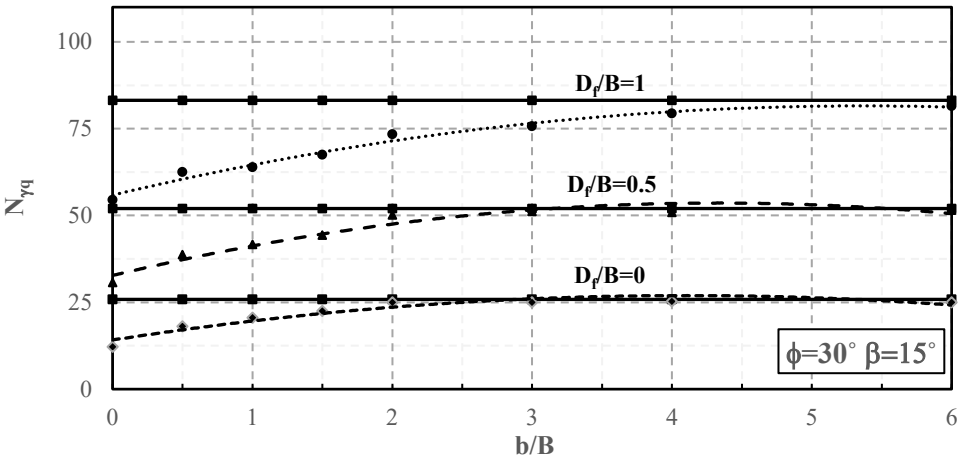
Ek Şekil 46. Farklı β, ϕ ve D_f/B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (B=1 m)

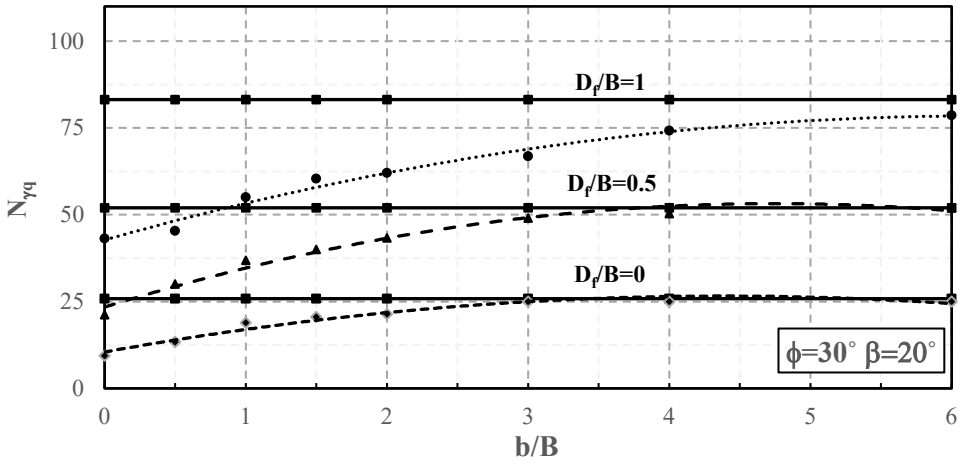


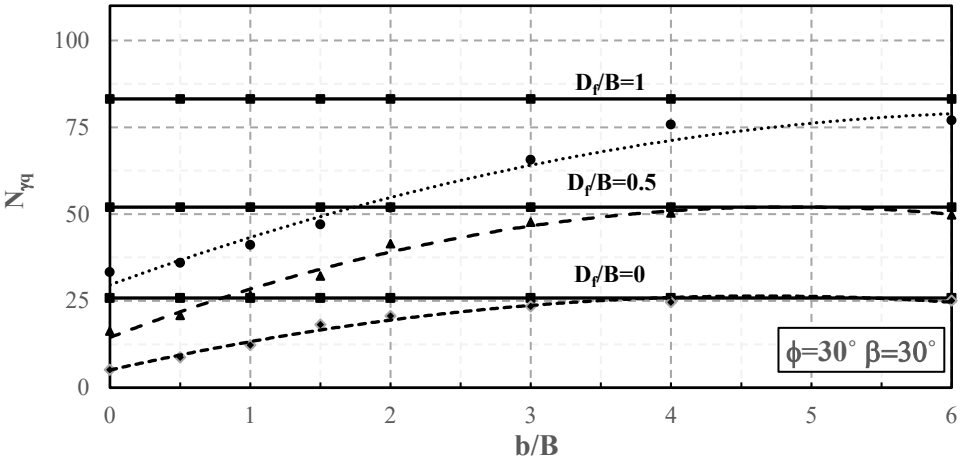


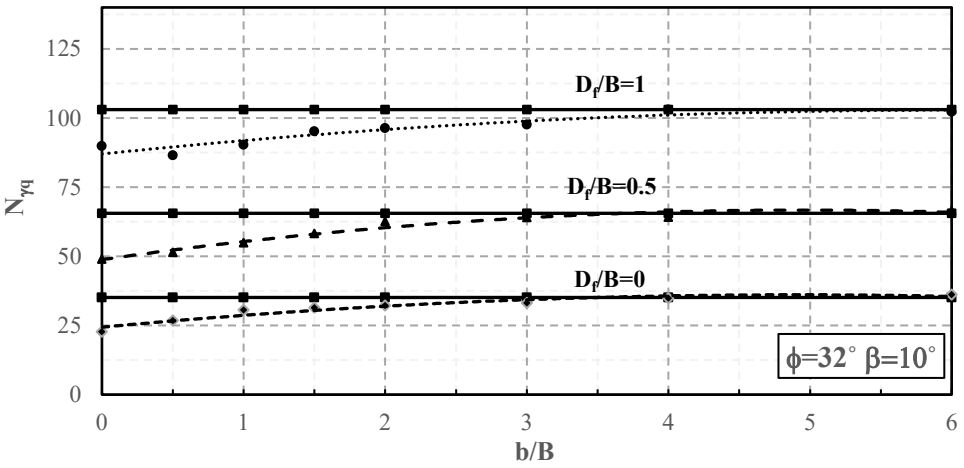

75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=28° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

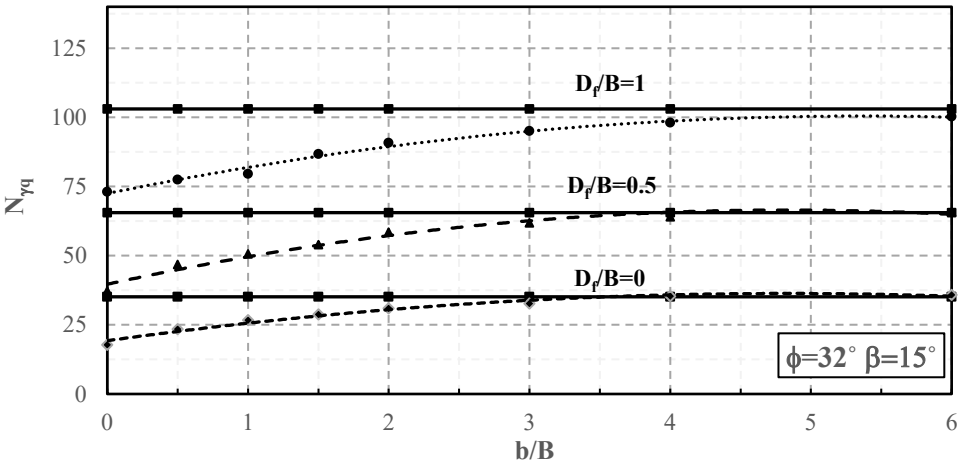

100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

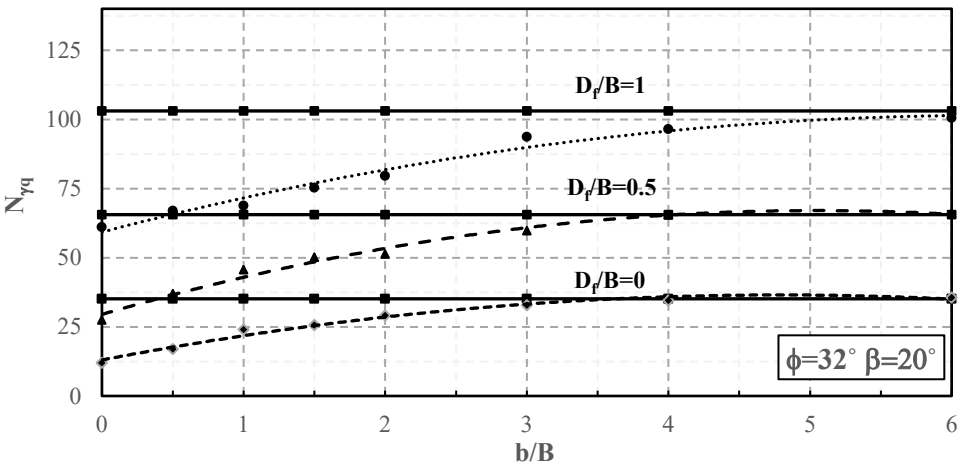

100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

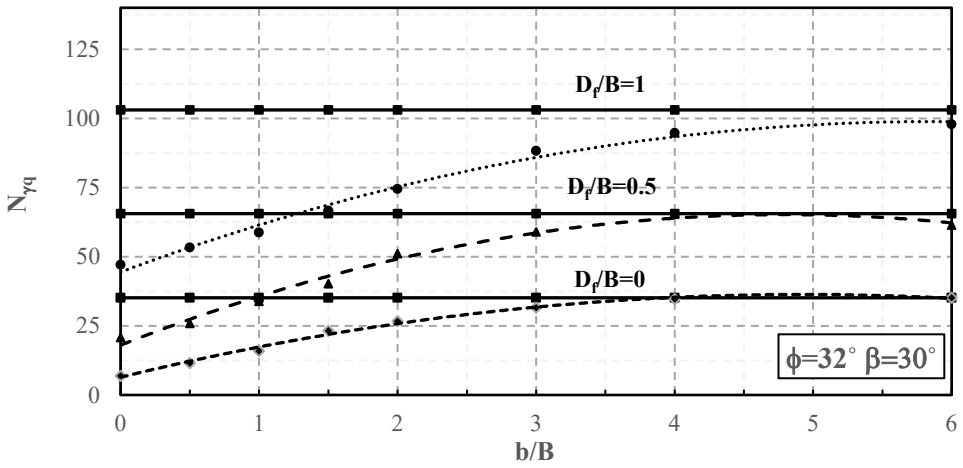

100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=30^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

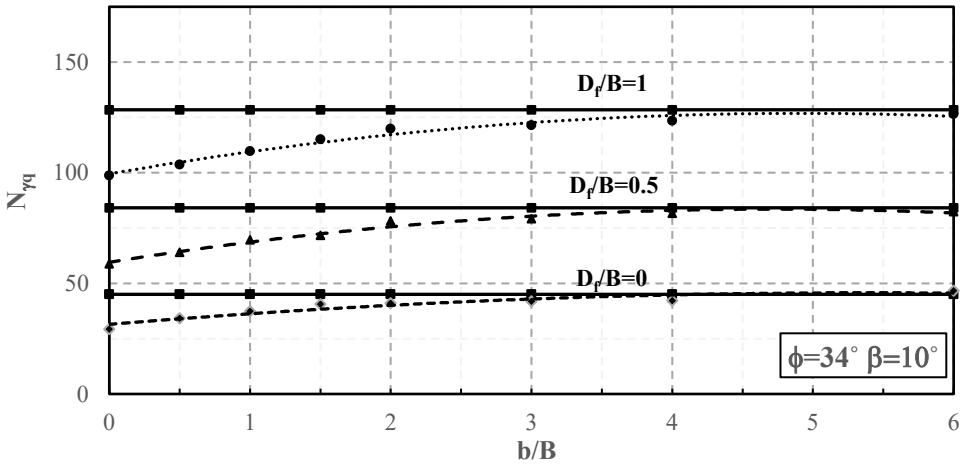

100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=30^\circ$ $\beta=30^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

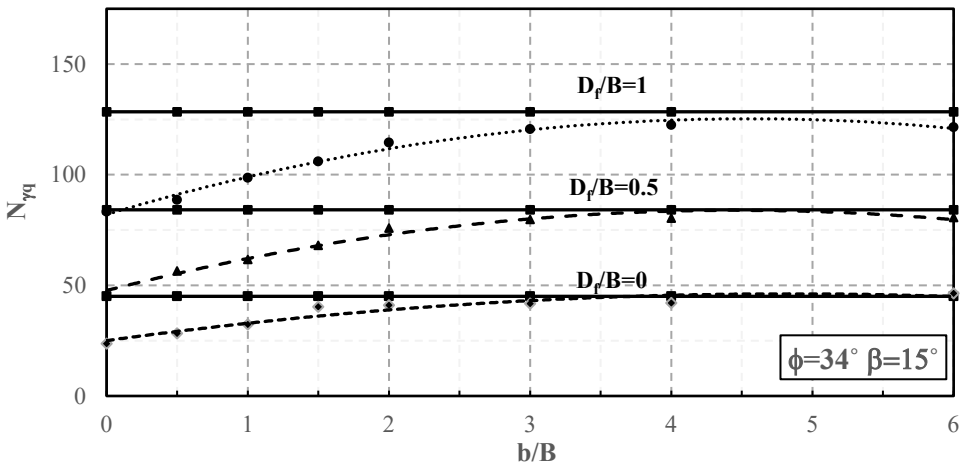

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=32^\circ$ $\beta=10^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

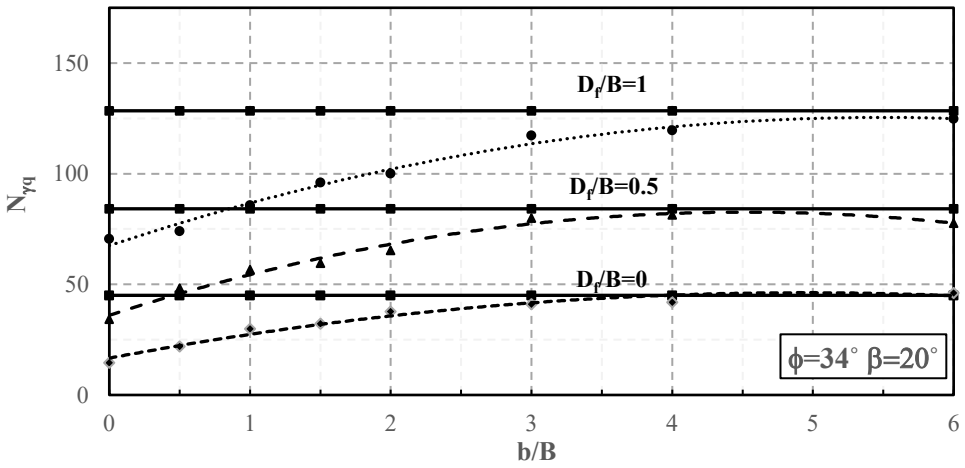

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

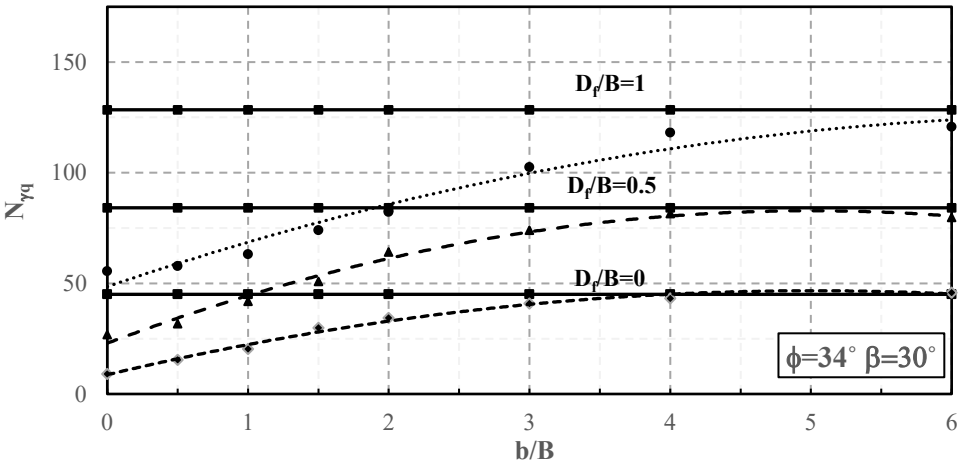

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

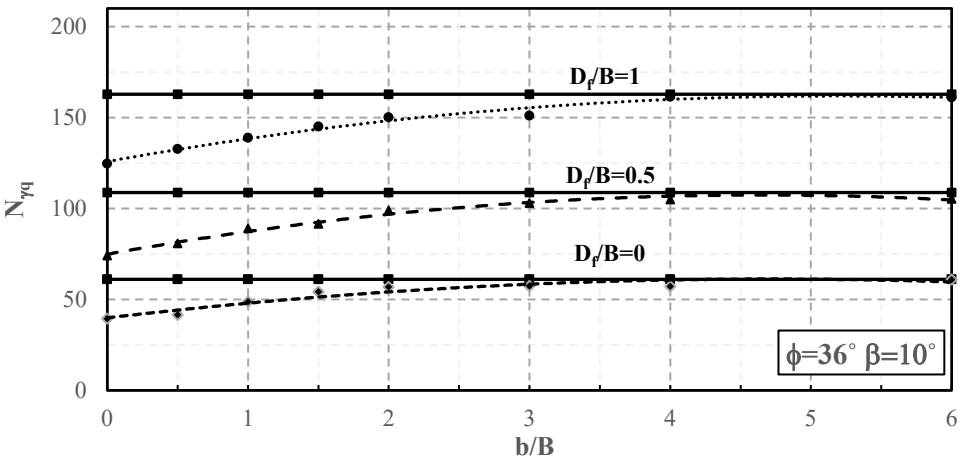

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

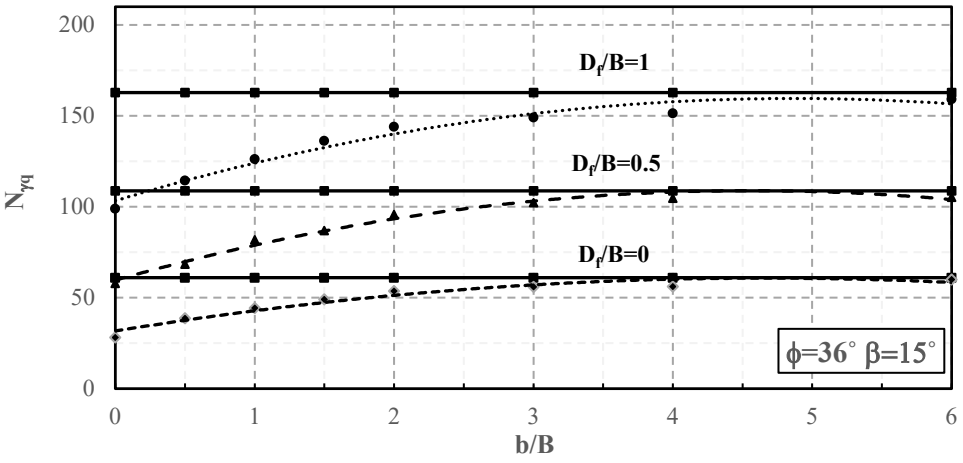

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

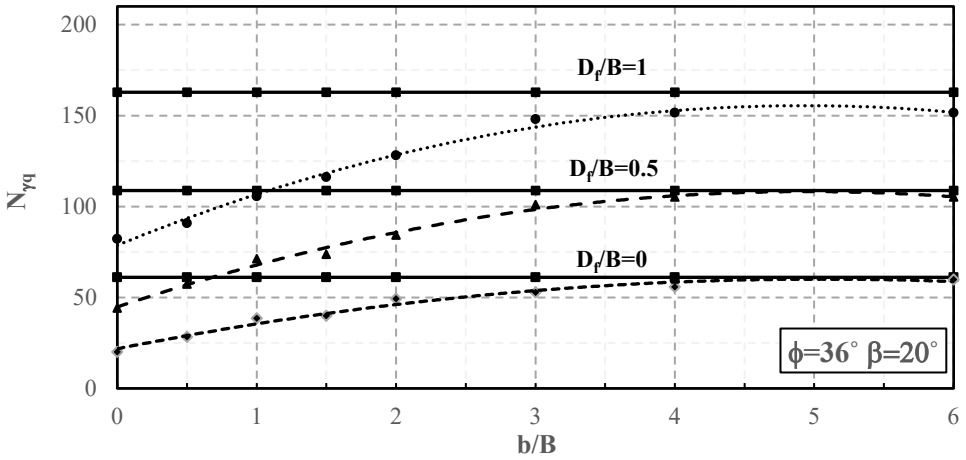

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

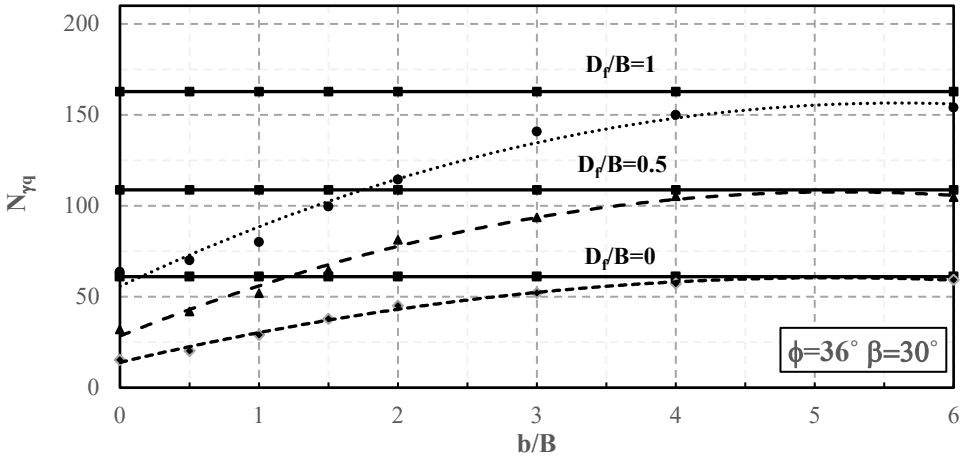

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

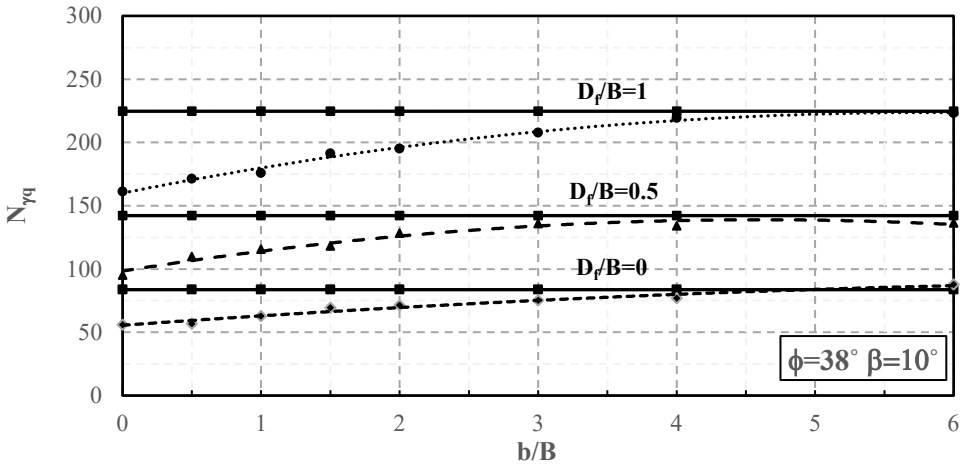

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=34^\circ$ $\beta=30^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

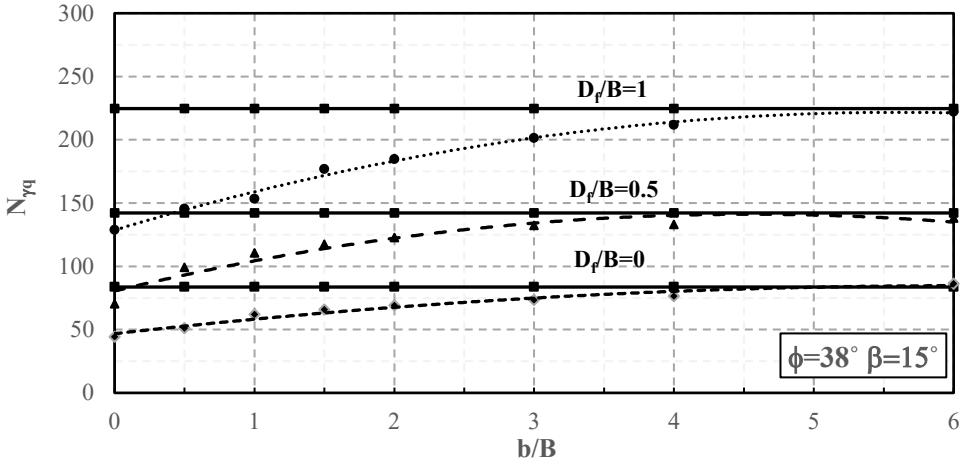

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=10^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

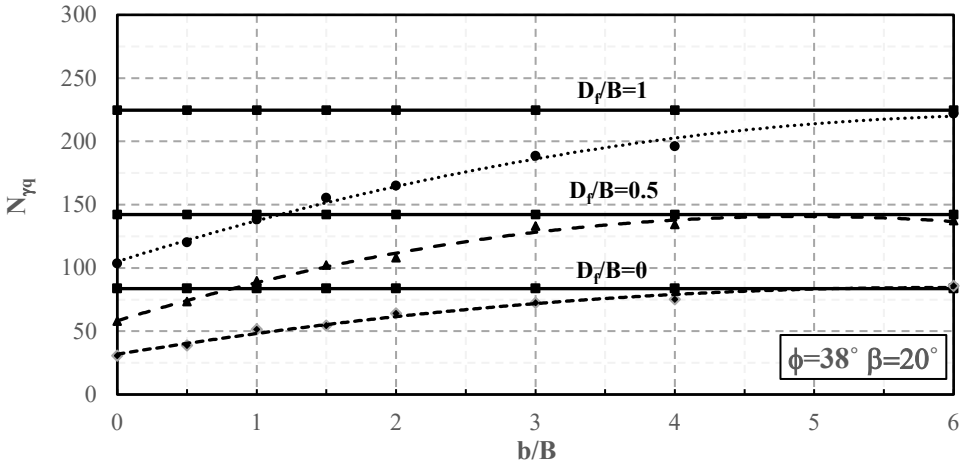

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=15^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

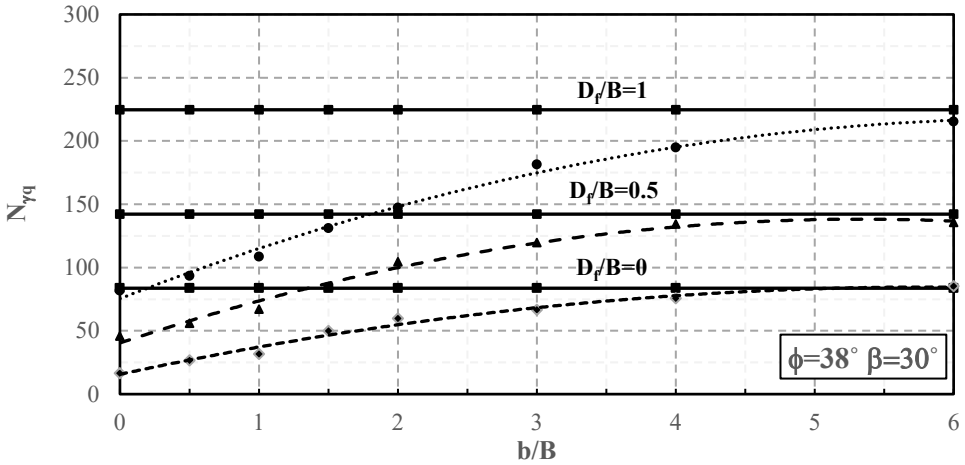

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

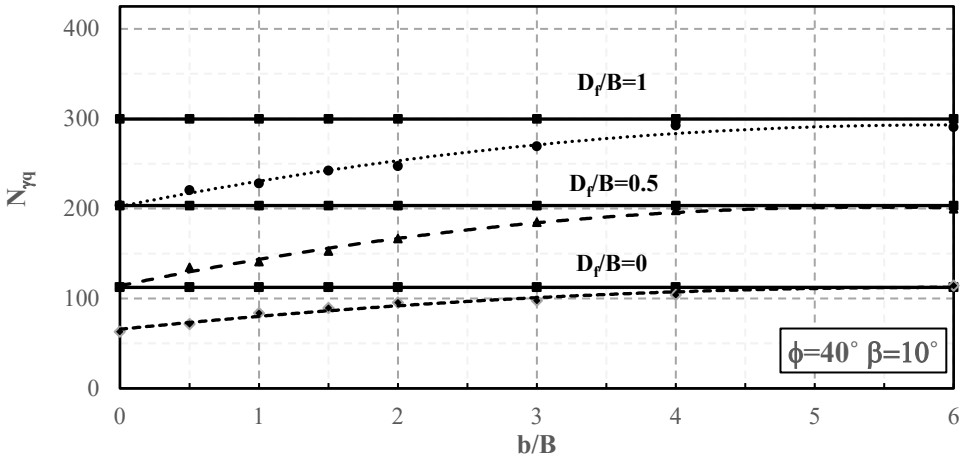

200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=30^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

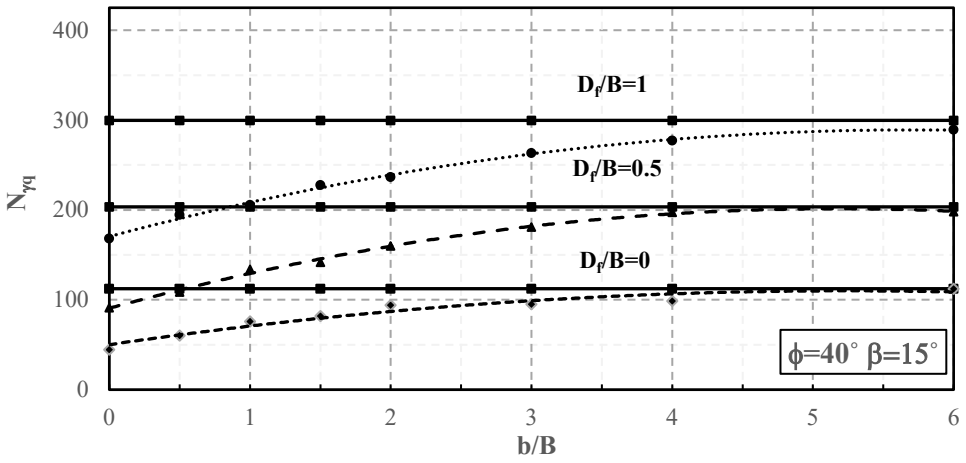

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=38^\circ$ $\beta=10^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

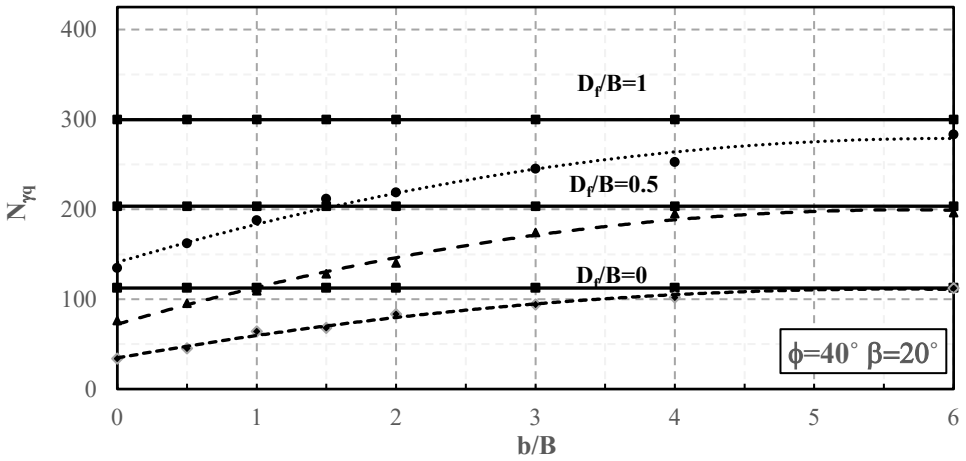

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

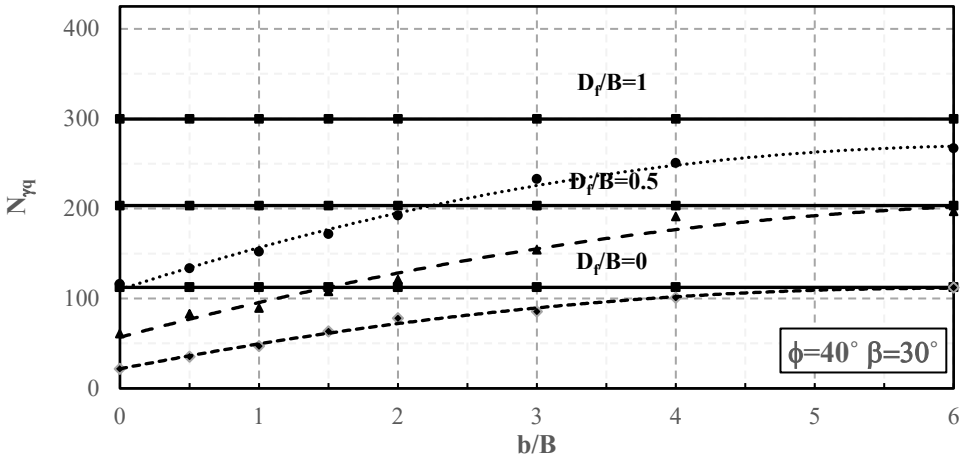

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

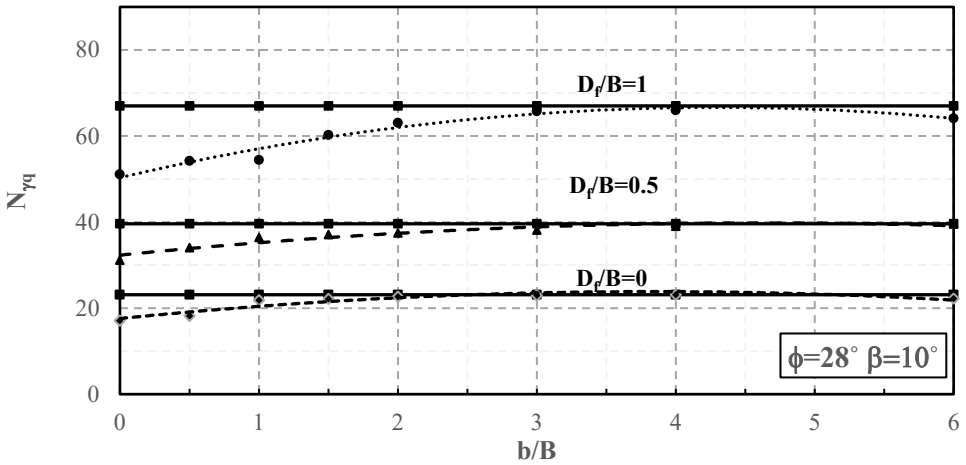

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

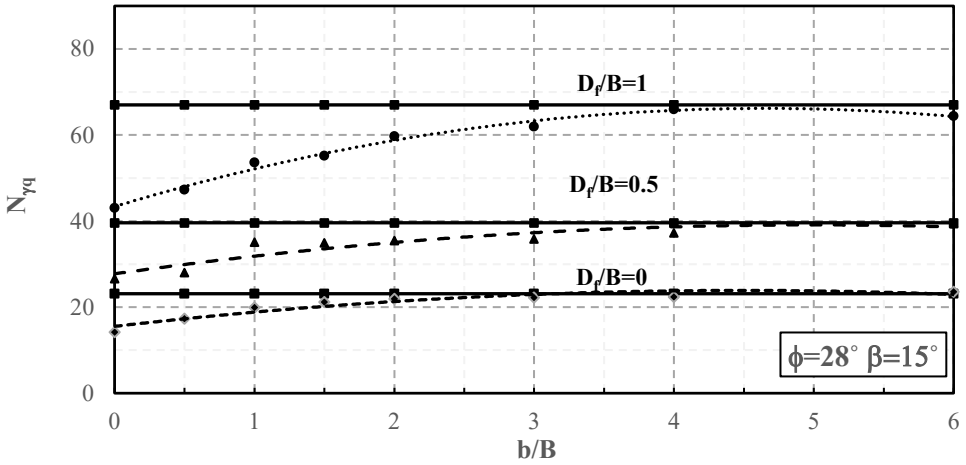

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

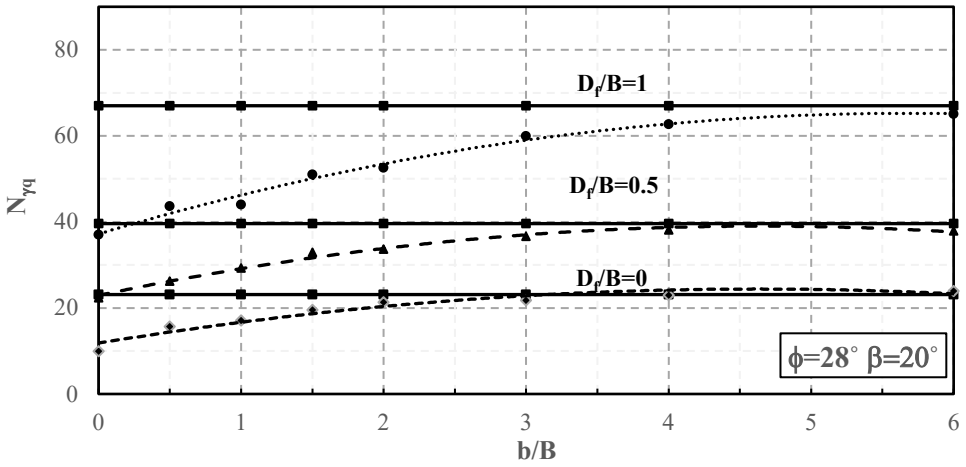

400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=40° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

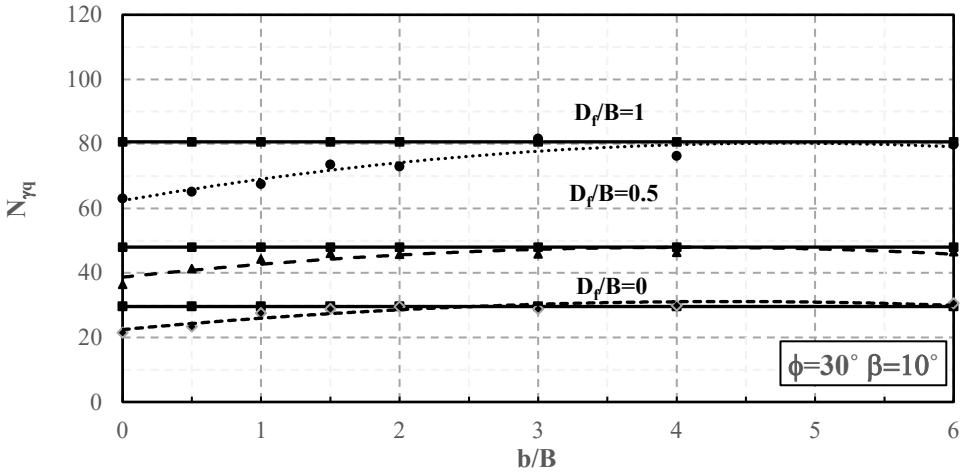


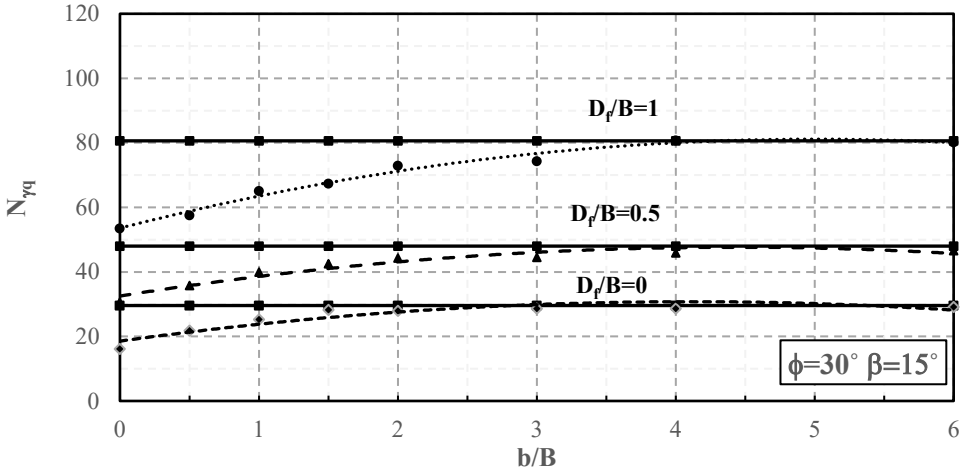
Ek Şekil 47. Farklı β, ϕ ve D_f/B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (B=1.5 m)

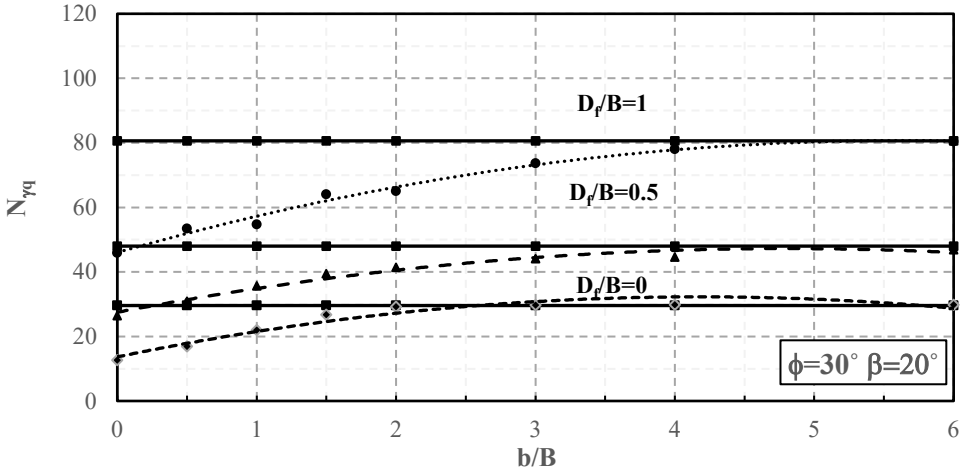


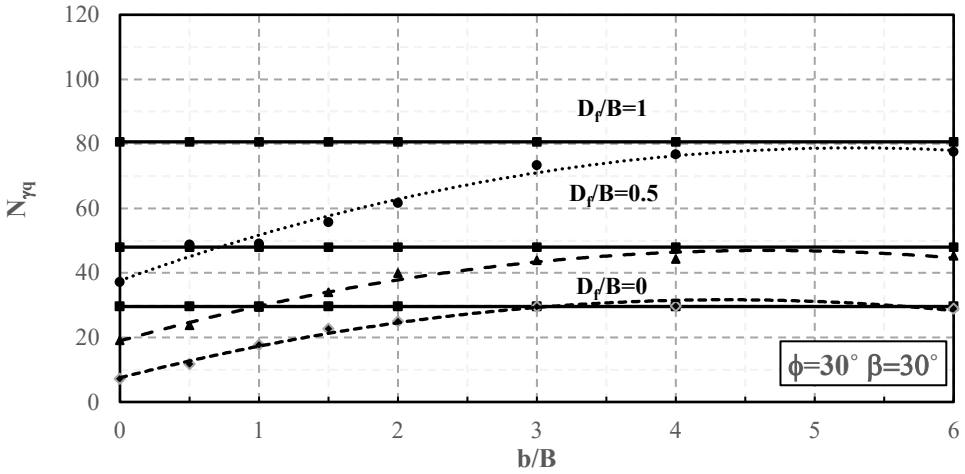


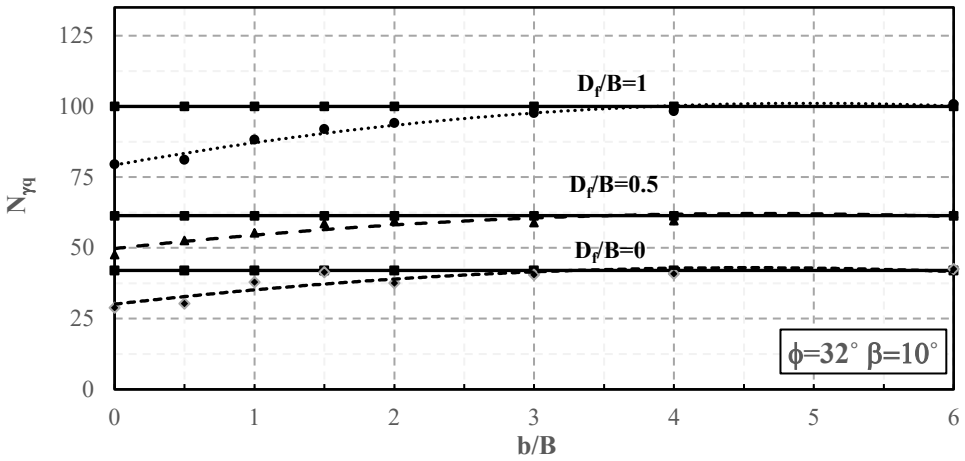

80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=28^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

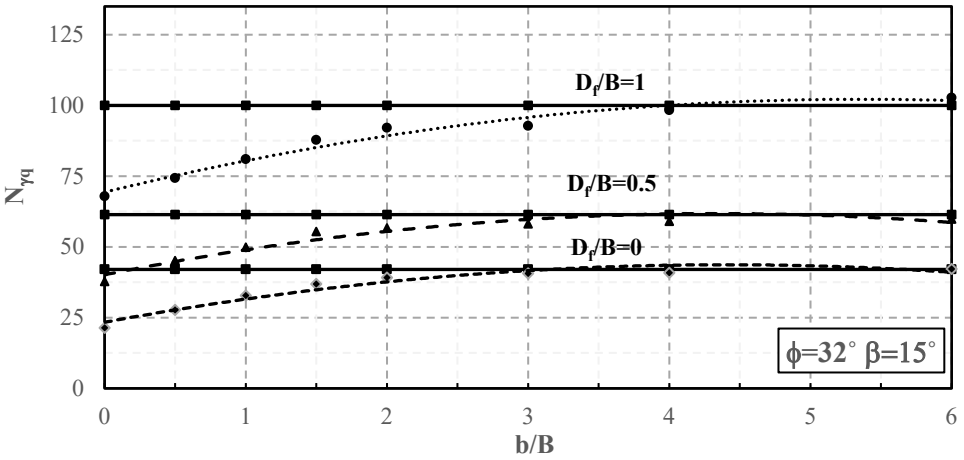

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=30^\circ$ $\beta=10^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

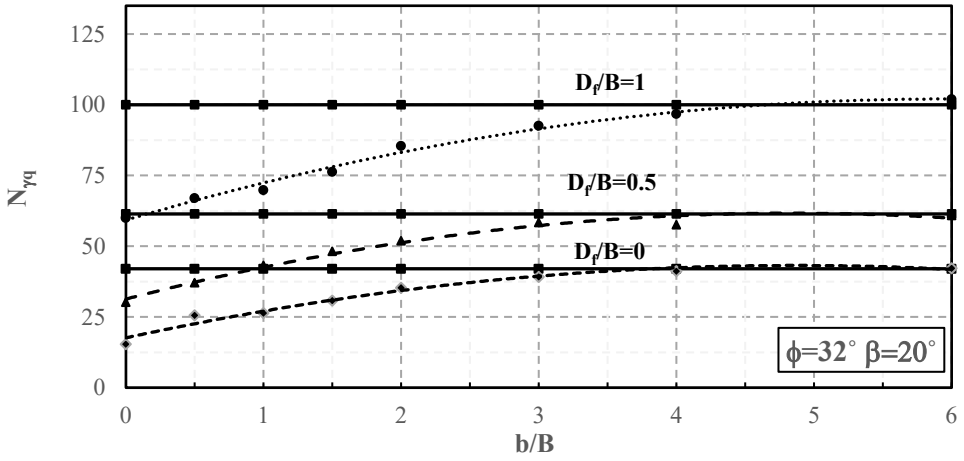

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=30^\circ$ $\beta=15^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

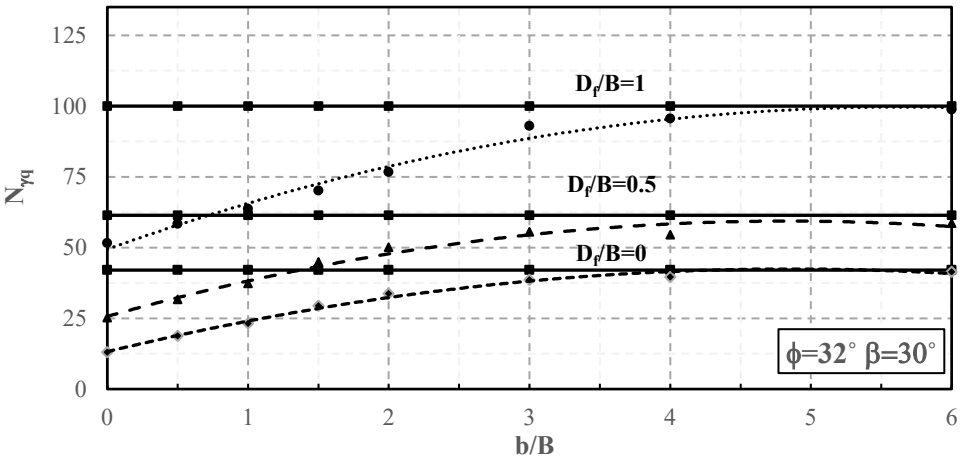

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

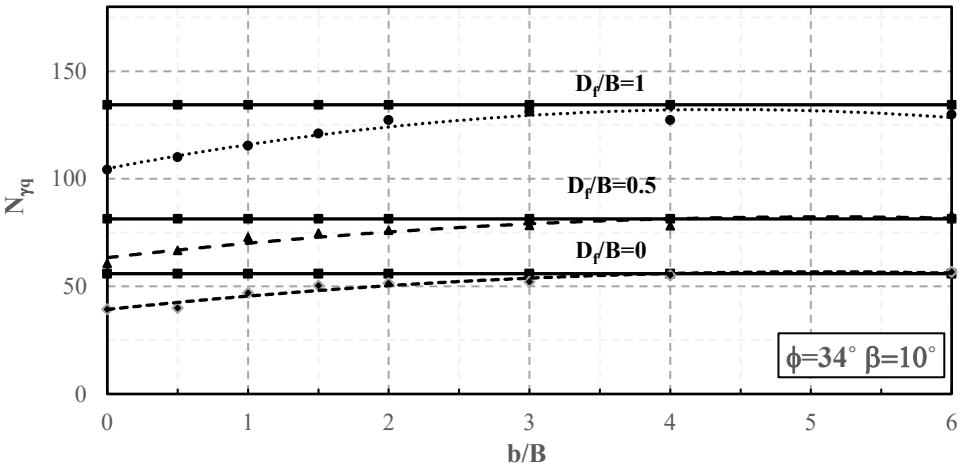

120
100
80
60
40
20
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=30° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

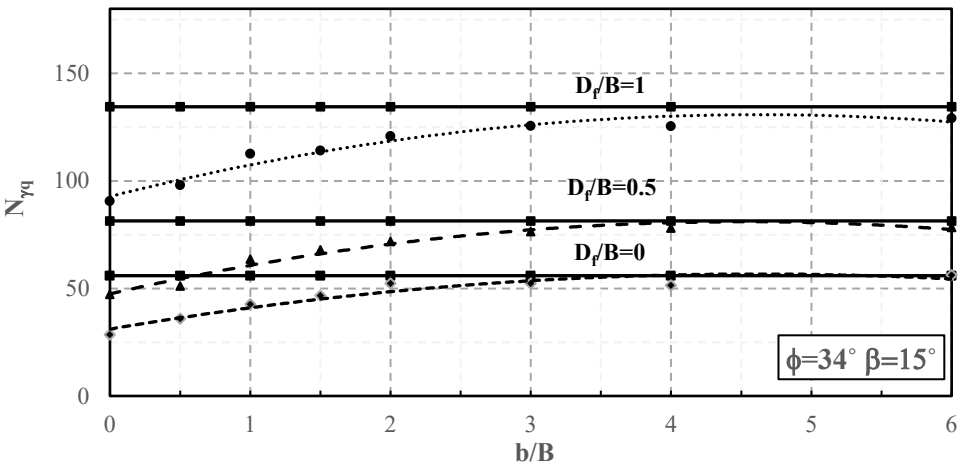

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=32° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

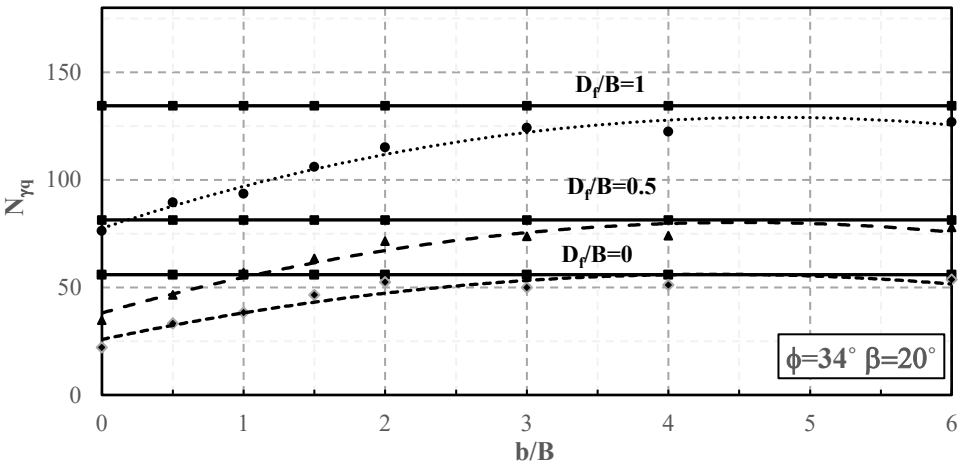

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=32^\circ$ $\beta=15^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

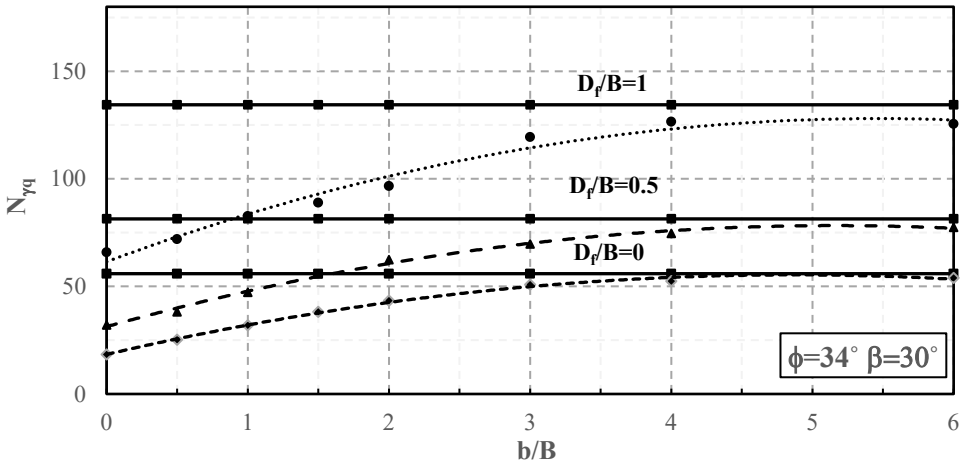

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=32^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

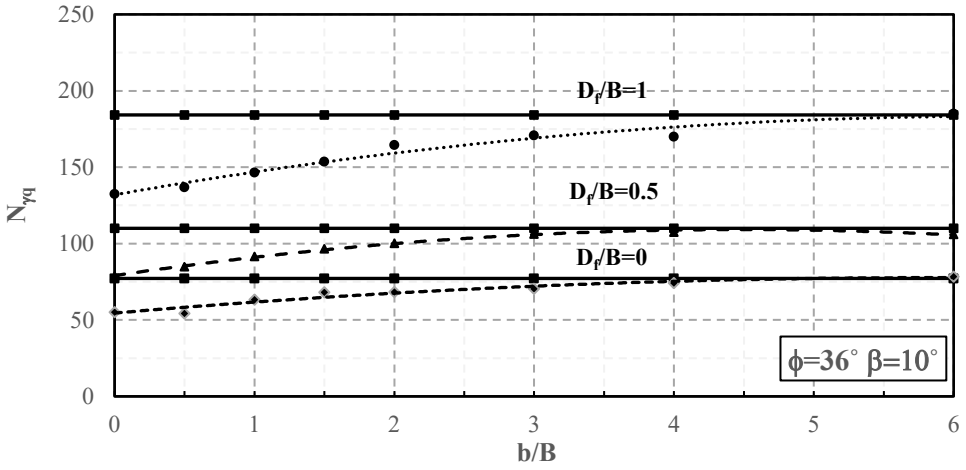

125
100
75
50
25
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=32^\circ$ $\beta=30^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

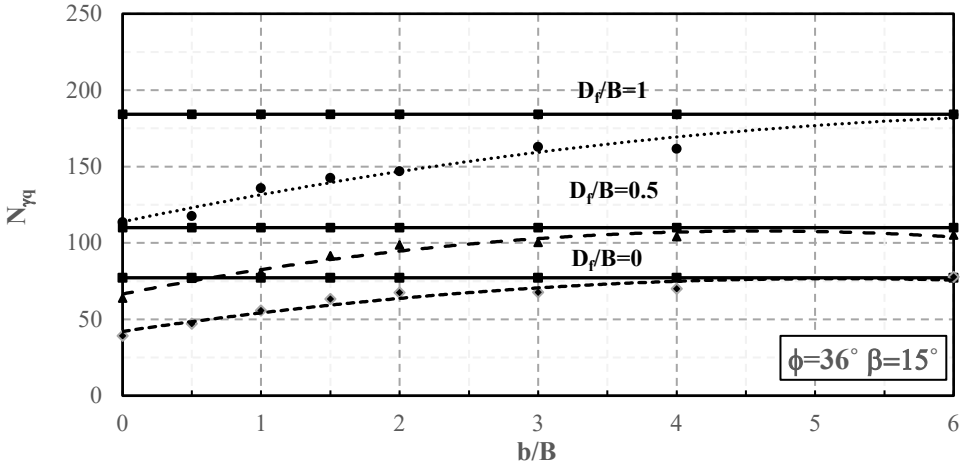

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

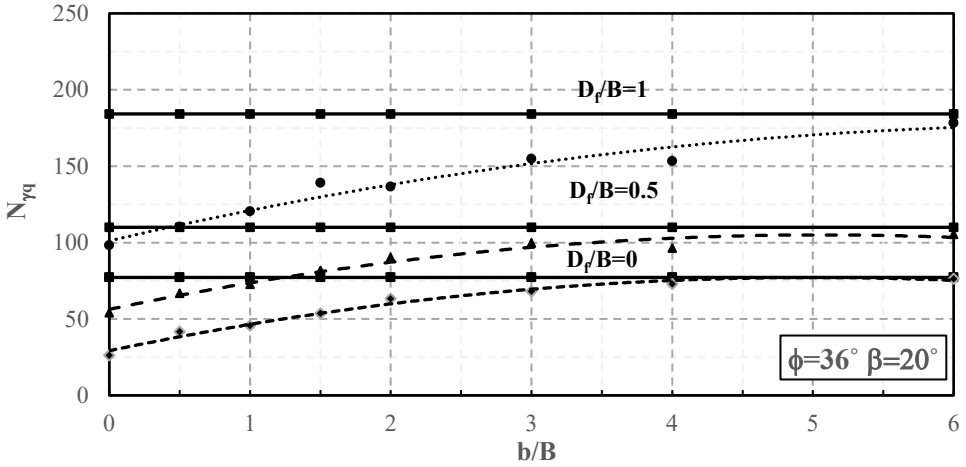

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

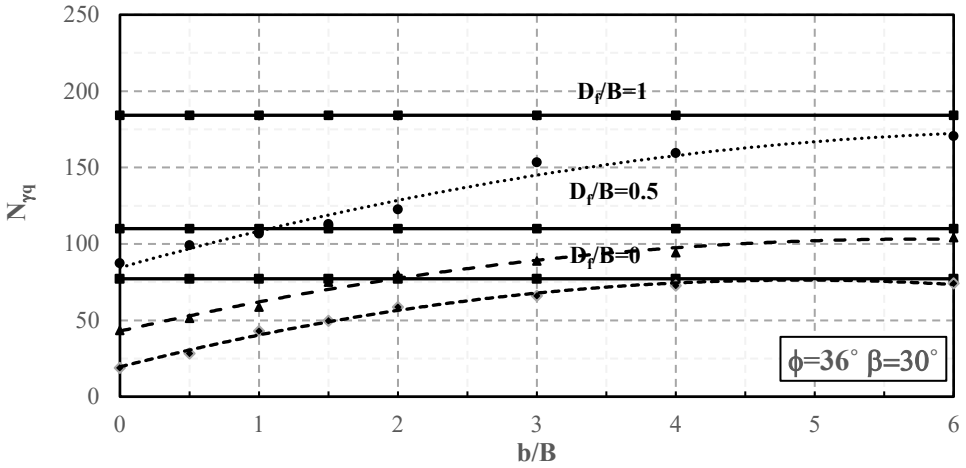

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

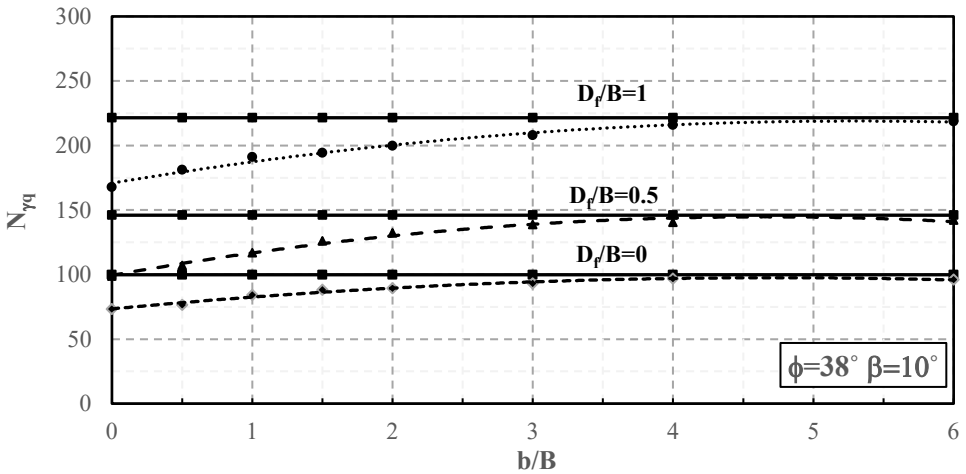

150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=34° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

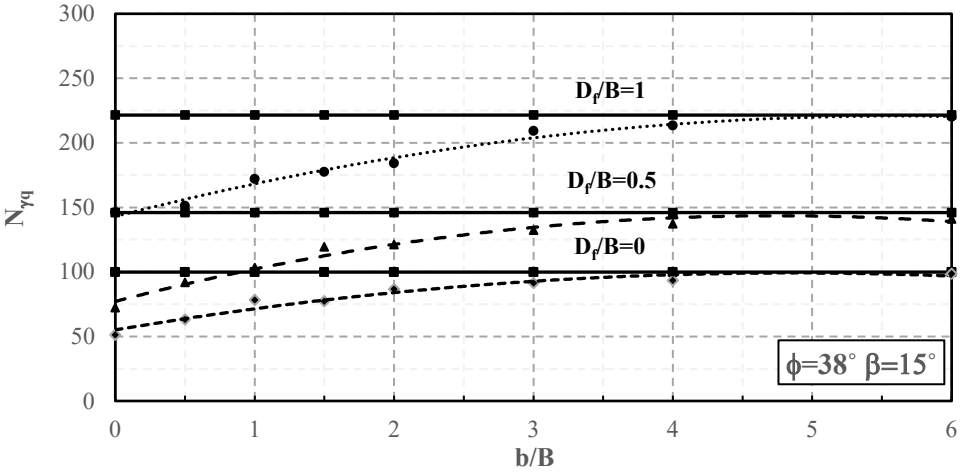

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=10°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

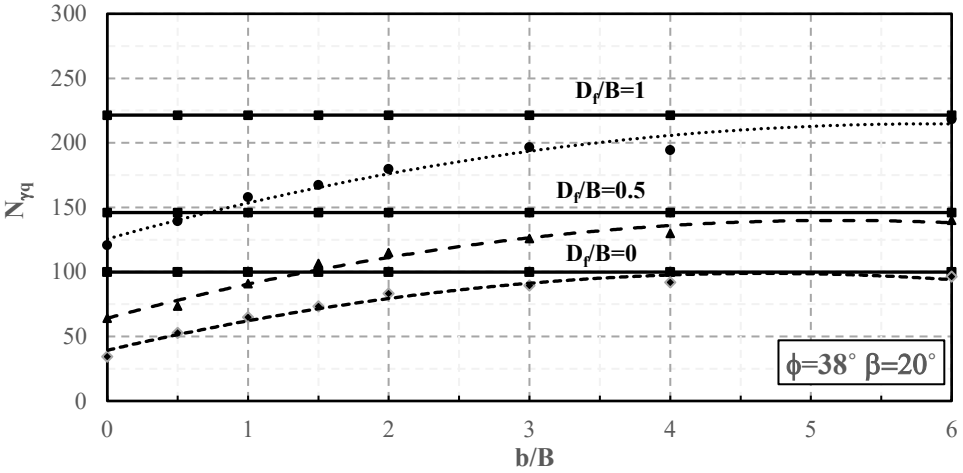

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=36° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

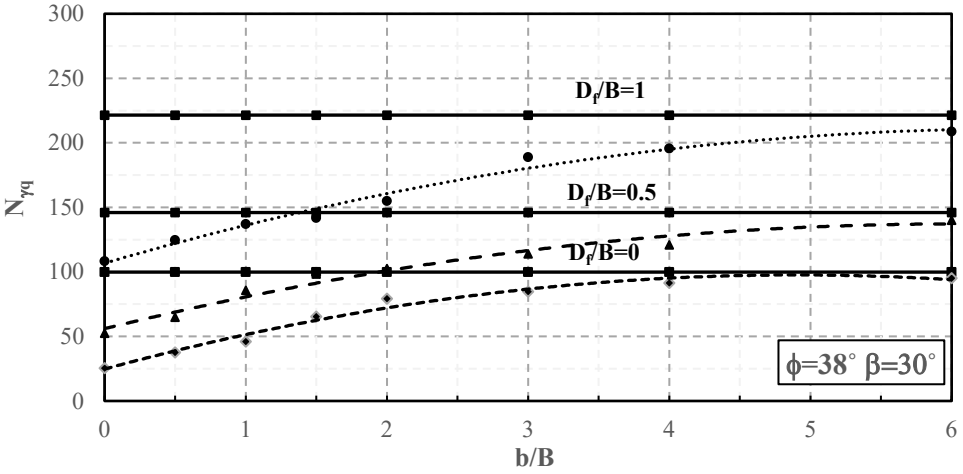

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

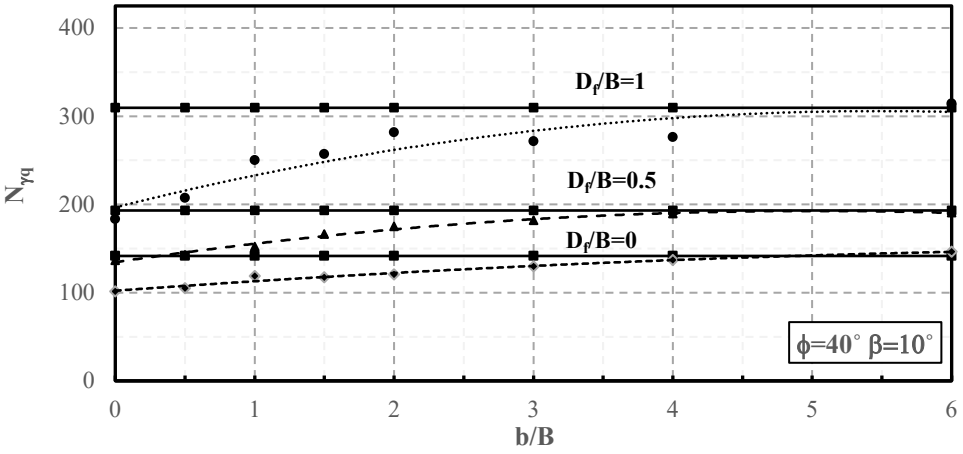

250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=36^\circ$ $\beta=30^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

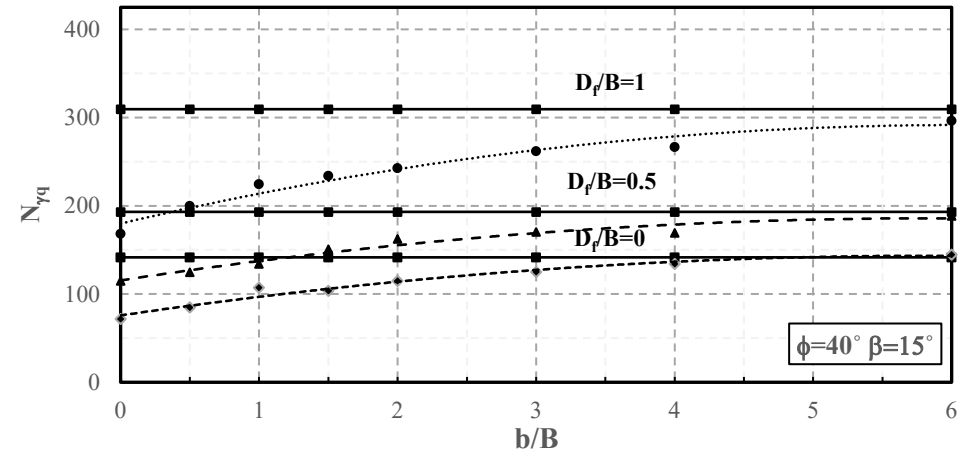

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=38^\circ$ $\beta=10^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B

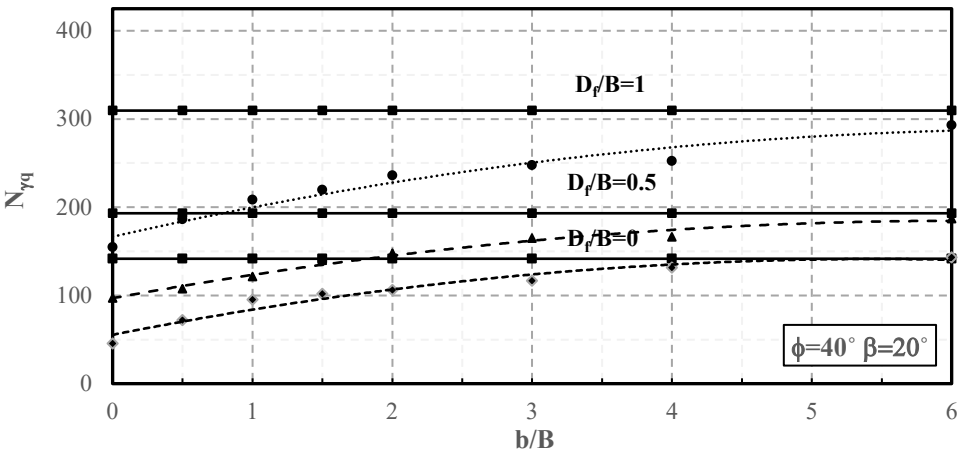

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=15°
0
1
2
3
4
5
6
b/B

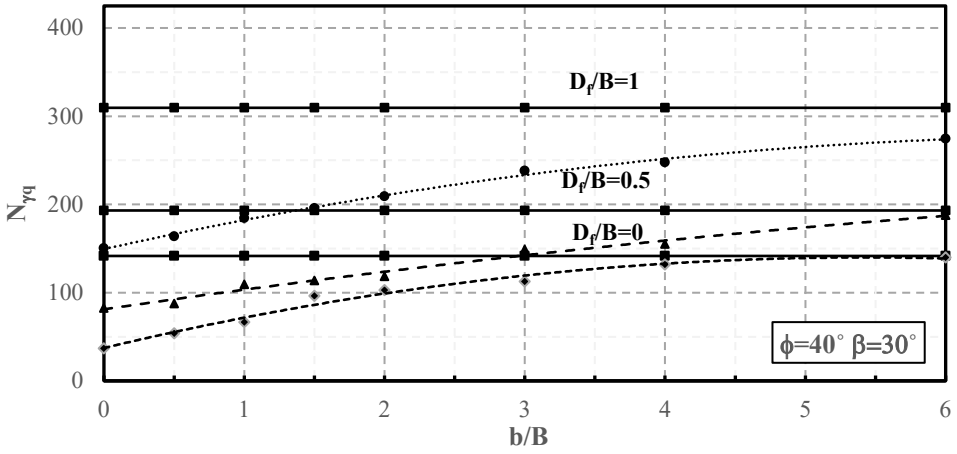

300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=20°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


300
250
200
150
100
50
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
ϕ=38° β=30°
0
1
2
3
4
5
6
b/B


400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=40^\circ$ $\beta=10^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B


400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=40^\circ$ $\beta=15^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B


400
300
200
100
0
$N_{\gamma q}$
$D_f/B=1$
$D_f/B=0.5$
$D_f/B=0$
$\phi=40^\circ$ $\beta=20^\circ$
0
1
2
3
4
5
6
b/B



Ek Şekil 48. Farklı β, ϕ ve D_f/B için $N_{\gamma q}$-b/B grafiği (B=2 m)

ÖZGEÇMİŞ

Burak AKÇAY, ilköğrenimini Hilalkent 125.Yıl İlköğretim Okulu'nu bitirdikten sonra lise eğitimini 2016 yılında Tevfik İleri Anadolu (TİAL) Lisesi'nde tamamladı. 2016-2017 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2020 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2021 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. İyi derece İngilizce bilmektedir.