T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZIKLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ ŞEVLERE OTURAN YÜZEYSEL TEMELLERİN SAYISAL ANALİZİ

Fatih AKGÜL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR

Mayıs - 2017

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Fatih AKGÜL tarafından yapılan "Kazıklarla Güçlendirilmiş Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Sayısal Analizi" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

	Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan:	Doç.Dr.	M.Salih KESKİN
Üye :	Doç.Dr.	Taha TAŞKIRAN
Üye :	Yrd.Doç.Dr.	H.Süha AKSOY

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 26/05/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

..../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bana zaman ayıran ve çalışmalarıma yön veren danışman hocam Doç.Dr. M.Salih KESKİN'e değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Katkılarından dolayı Doç.Dr. Taha TAŞKIRAN, Doç.Dr. Halil GÖRGÜN ve Yrd.Doç.Dr. H.Süha AKSOY hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında yürütmüş oldumuz projeyi destekleyen Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve her konuda bana destek çıkan sevgili eşim Nilüfer'e ve sevgi kaynağım kızlarım Zehra ve Esma'ya teşekkür ederim.

Beni yetiştiren ve bugüne kadar desteklerini hep yanımda hissettiğim rahmetli anneme, değerli babama ve kardeşlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR ..... **I**

İÇİNDEKİLER ..... **II**

ÖZET ..... **IV**

ABSTRACT ..... **V**

ÇİZELGE LİSTESİ ..... **VI**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VII**

KISALTMA VE SİMGELER ..... **IX**

1. GİRİŞ **1**

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **3**

2.1 Şev Stabilitesi 3

2.1.1 Şev Dengesine Etki Eden Faktörler 3

2.1.2 Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri 4

2.1.3 Stabil Olmayan Şevlerin İyileştirilmesi 10

2.2 Kazıklarla Güçlendirilmiş Şevler 11

2.2.1 Kazıklı Sistem Tasarım Esasları 13

2.2.2 Şev Kazıklarına Etkiyen Yüklerin Hesaplanması 14

2.2.3 Karşı Koyucu Kuvvetlerin Hesaplanması 15

2.2.4 Şevlerde Kazık Davranışı 16

2.3 Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Taşıma Kapasitesi 17

2.4 Teorik Çalışmalar 20

2.5 Deneysel Çalışmalar 29

3. MATERYAL VE METOD **35**

3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi 35

3.2 Geoteknik Mühendisliği ve Sonlu Elemanlar Yöntemi 38

3.3 PLAXIS Programı 39

3.4 Sayısal Analiz 40

3.4.1 Geometrik Model 40
3.4.2 Sınır Koşulları 40
3.4.3 Malzeme Özellikleri 41
3.4.4 Sonlu Elemanlar Ağı 42
3.4.5 Başlangıç Gerilmelerinin Oluşturulması 43
3.4.6 Hesaplamalar 44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 45
4.1 Şev Stabilite Analizleri 46
4.2 Düz Yüzeyli (Şevsiz) Durum İçin Taşıma Kapasitesi Analizleri 49
4.3 Kazıksız Durum Analizleri 50
4.3.1 Temelin Şev Tepesine Olan Mesafesinin (b) Etkisi 51
4.3.2 Şev Açısının (β) Etkisi 52
4.3.3 Zemin Sıkılığının (ϕ) Etkisi 55
4.3.4 Temel Genişliğinin (B) Etkisi 57
4.4 Sonuçların Teorik Yöntemlerle Karşılaştırılması 59
4.5 Kazıklı Durum Analizleri 61
4.5.1 Kazığın Temele Olan Mesafesinin (b) Etkisi 61
4.5.2 Kazık Çapının (D) Etkisi 63
4.5.3 Kazık Boyunun (L) Etkisi 64
4.5.4 Kazığın Şev Tepesine Olan Mesafesinin (d) Etkisi 66
4.5.5 Yeraltı Suyu Seviyesinin (h) Etkisi 67
4.6 Göçme Mekanizması 69
4.6.1 Kazıksız Durum 69
4.6.2 Kazıklı Durum 71
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 75
6. KAYNAKLAR 77
ÖZGEÇMİŞ 81

ÖZET

KAZIKLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ ŞEVLERE OTURAN YÜZEYSEL TEMELLERİN SAYISAL ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih AKGÜL

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

Bu çalışmada, kazıklarla güçlendirilmiş şevlere yakın oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi sayısal olarak analiz edilmiştir. Çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu amaçla bir model oluşturulmuş ve farklı koşullar için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilerek şev, temel ve kazık parametrelerinin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Öncelikle, farklı şev açıları ve sıkılık durumları için şev stabilite analizleri gerçekleştirilerek güvenlik sayıları elde edilmiştir. Daha sonra, temel yüklenmesi halinde kazıksız ve kazıklı şev durumu için şev açısı, sıkılık derecesi, temel genişliği, kazık çapı, kazık boyu, temelin ve kazığın şev tepesine olan mesafesi ve yeraltı su seviyesi parametrelerinin yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Ayrıca, teorik yöntemler ile elde edilemeyen deplasman ve gerilme davranışı PLAXIS programı yardımıyla elde edilmiş ve göçme mekanizmaları incelenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik tasarım parametreleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazıklarla güçlendirilmiş şevler; yüzeysel temel; sonlu elemanlar yöntemi; taşıma kapasitesi; PLAXIS.

ABSTRACT

NUMERICAL ANALYSIS OF SHALLOW FOUNDATIONS ON PILE REINFORCED SLOPES

MSc THESIS

Fatih AKGÜL

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2017

In this study, bearing capacity of strip footings near pile reinforced slopes was numerically analyzed. Analyses were performed by PLAXIS program that uses finite element method. For this purpose, a model has been developed and the effect of the slope, footing and pile parameters on the bearing capacity has been investigated by performing finite element analysis for different conditions. Firstly, slope stability analyzes were performed for different slope angles and relative density of sand to obtain safety factors. Then, in case of loading with strip footing, for unstabilized and pile-stabilized slope condition; the effects of parameters such as slope angle, relative density of sand, footing size, pile diameter, pile height, groundwater level on the bearing capasity behavior of the strip footings were investigated. In addition, displacement and stress behavior, which can not be obtained by theoretical methods, were obtained with PLAXIS program and the failure mechanisms were investigated. Based on the obtained numerical analiysis results, design parameters were suggested for geotechnical engineering applications.

Key Words: pile-reinforced slopes, shallow foundation, finite element method, bearing capacity, PLAXIS.

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 2.1.	Şev hareketinin etkenleri (Kumbasar-Kip, 1984)	4
Çizelge 2.2.	Mevcut analiz yöntemlerinin özeti (Abramson ve diğ, 2002)	7
Çizelge 2.3.	Saran ve ark. (1989) analizine göre taşıma gücü katsayıları	27
Çizelge 3.1.	Model zemin için MC parametreleri	42
Çizelge 4.1.	Farklı şev durumları için güvenlik sayıları	46
Çizelge 4.2.	B ve φ'ye bağlı taşıma kapasitesi değerleri (β=0°)	50
Çizelge 4.3.	b/B'ye bağlı analiz sonuçları (β°=30/Orta Sıkı/B=1m)	51
Çizelge 4.4.	β'ya bağlı analiz sonuçları (Orta Sıkı/B=1m)	53
Çizelge 4.5.	φ'ye bağlı taşıma kapasitesi değerleri (β°=30)	55
Çizelge 4.6.	φ'ye bağlı i_β değerleri (β°=30)	57
Çizelge 4.7.	B'ye bağlı taşıma kapasitesi değerleri (β°=30 - Ortasıkı)	57
Çizelge 4.8.	B'ye bağlı i_β değerleri (β°=30 - Ortasıkı)	59
Çizelge 4.9.	Teorik yöntemler ve PLAXIS'e göre taşıma kapasitesi değerleri	60
Çizelge 4.10.	b/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri	61
Çizelge 4.11.	D'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri	63
Çizelge 4.12.	L/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri	64
Çizelge 4.13.	d/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri	66
Çizelge 4.14.	h/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayıları değeri	68
Çizelge 5.1.	Kazıklı durum için önerilen optimum tasarım parametreleri	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 2.1.	Şev stabilitesi analiz yöntemleri (Gitirana, 2005)	6
Şekil 2.2.	Ağırlık arttırma yöntemi (Keskin ve Laman, 2007)	8
Şekil 2.3.	Mukavemet azaltma yöntemi (Keskin ve Laman, 2007)	9
Şekil 2.4.	Güvenlik sayısının limit denge analizinde belirlenmesi	16
Şekil 2.5.	Heyelan kütlesinin hareketi sonucu kazıkta oluşan kesit tesirleri	17
Şekil 2.6.	Yapı temelleri	18
Şekil 2.7.	Terzaghi tarafından kabul edilen zemin kırılma yüzeyleri	19
Şekil 2.8.	Şev üzerine oturan sürekli temel (Das, 1999)	21
Şekil 2.9.	Şev üzerine oturan sürekli temellerde $N_{\gamma q}$ değerleri (Das, 1999)	22
Şekil 2.10.	Şev yakınına oturan sürekli temel (Das, 1999)	22
Şekil 2.11.	Şev yakınına oturan sürekli temellerde $N_{\gamma q}$ değerleri (Das, 1999)	23
Şekil 2.12.	Temel derinliği ve konumuna göre göçme bölgesi	26
Şekil 2.13.	Teorik $N_{\gamma q}$ değerleri (D_f/ B=0) (Graham ve ark., 1988)	28
Şekil 2.14.	Teorik $N_{\gamma q}$ değerleri (D_f/ B=1) (Graham ve ark., 1988)	28
Şekil 2.15.	Deney düzeneği (Keskin ve Laman, 2013)	30
Şekil 2.16.	Deney düzeneği (Sawwaf, 2005)	31
Şekil 2.17.	Deney düzeneği (Sawwaf, 2009)	32
Şekil 2.18.	Model şev geometrisi (Sawwaf, 2009)	32
Şekil 3.1.	Sürekli bir sistemin sonlu elemanlara ayrılması	36
Şekil 3.2.	Tipik 2 boyutlu sonlu elemanlar	37
Şekil 3.3.	Geometrik modelin oluşturulması	41
Şekil 3.4.	Sınır koşulları ve sonlu elemanlar ağı	43
Şekil 4.1.	Güvenlik sayısı – Şev açısı ilişkisi	47
Şekil 4.2.	Sıkılık – Göçme mekanizması ilişkisi	48

Şekil 4.3. Şev açısı– Göçme mekanizması ilişkisi 49

Şekil 4.4. Farklı sıkılıklarda q_u – B İlişkisi (β=0°) 50

Şekil 4.5. q_u – b/B İlişkisi (β=30°/Orta Sıkı/B=1m) 52

Şekil 4.6. Şev açısına bağlı q_u – b/B ilişkisi 54

Şekil 4.7. Şev açısı - qu ilişkisi 54

Şekil 4.8. Zemin sıkılığına bağlı q_u – b/B ilişkisi 56

Şekil 4.9. Zemin sıkılığı - q_u ilişkisi 56

Şekil 4.10. Temel genişliğine bağlı q_u - b/B ilişkisi 58

Şekil 4.11. b/B' ye bağlı q_u - B ilişkisi 58

Şekil 4.12. Teorik yöntemler ve PLAXIS'e göre taşıma kapasitesi eğrileri 60

Şekil 4.13. Kazıklı ve kazıksız durum için q_u değerleri 62

Şekil 4.14. Kazık çapı - q_u ilişkisi 63

Şekil 4.15. Kazık boyu - G.S. İlişkisi 65

Şekil 4.16. Kazık boyu - q_u İlişkisi 65

Şekil 4.17. d/B - q_u İlişkisi 67

Şekil 4.18. d/B – G.S. İlişkisi 67

Şekil 4.19. Yeraltı suyu - q_u İlişkisi 68

Şekil 4.20. b/B - Göçme mekanizması ilişkisi 71

Şekil 4.21. Farklı durumlar için göçme mekanizmaları 73

KISALTMA VE SİMGELER

b : Temelin şev tepesine uzaklığı
B : Temel genişliği
BCR : Taşıma kapasitesi oranı
c : Kohezyon
C_u : Üniformluk katsayısı
d : Kazığın şev tepesine uzaklığı
D : Kazık çapı
D_{10} : Efektif dane çapı
D_{30} : Granülometre eğrisinde %30'a karşılık gelen dane çapı
D_{60} : Granülometre eğrisinde %60'a karşılık gelen dane çapı
D_f : Temel derinliği
D_r : Sıkılık derecesi
e : Boşluk oranı
E : Elastisite modülü
EA : Eksenel rijitlik
EI : Eğilme rijitliği
E_{50} : Üç eksenli yükleme rijitliği
E_{50}^{ref} : Referans basınç değerindeki üç eksenli yükleme rijitliği
g : Yerçekimi ivmesi
g_{true} : Gerçek gravite
GS : Güvenlik sayısı
h : Yeraltısuyu seviyesi
H : Şev yüksekliği
HS : Hardening soil model
i_β : Taşıma kapasitesi azaltma katsayısı
K_0 : Zemin basıncı katsayısı
K_1, K_2 : Temel şekil katsayıları
L : Kazık boyu
MAF : Mukavemet azaltma faktörü
MC : Mohr-coulomb model
N_i : Dilim tabanındaki kayma kuvveti

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları

N_{cq}, $N_{\gamma q}$: Meyerhof taşıma gücü faktörleri

q : Üniform sürşarj yükü

q_{emin} : Emin taşıma gücü

q_u : Nihai taşıma kapasitesi

$q_{u\ (\beta=0)}$: Şevsiz durum için nihai taşıma kapasitesi

q_{zemn} : Zemin emniyet gerilmesi

R_f : Göçme oranı

R_{inter} : Ara yüzey elemanı için mukavemet azaltma faktörü

s_u : Göçme anındaki oturma miktarı

SEY : Sonlu elemanlar yöntemi

SRF : Oturma azaltma faktörü

α : Kırılma açısı

β : Şev açısı

$\{\delta\}$: Elemanın herhangi bir noktasındaki deplasman bileşenleri

ε : Birim deformasyon

ϕ : Kayma mukavemeti açısı

ϕ' : Efektif kayma mukavemeti açısı

γ : Birim hacim ağırlığı

γ_k : Zeminin kuru birim hacim ağırlığı

γ_s : Dane birim hacim ağırlığı

λ : Kayma mobilizasyon oranı

ν : Poisson oranı

σ : Normal gerilme

τ : Kayma gerilmesi

ψ : Dilatasyon açısı

1. GİRİŞ

Günümüzde yoğun şehirleşmenin neden olduğu büyük kent merkezlerindeki hızlı nüfus artışları yapılaşmaya uygun olmayan alanların da kullanılmasını gerekli kılmıştır. Kullanılabilir alanların sınırlı olmasından dolayı yapı temellerinin şev üzerine veya şev yakınına oturtulması gereken durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bir temelinin şevli zeminde inşa ediliyor olması taşıma kapasitesini azaltabileceği gibi şevin potansiyel göçme riskini de önemli oranda artırabilir. Temelin şeve yakın inşa edilmesi gereken durumlarda, taşıma kapasitesinin arttırılması için uygulanan çözümlerden birisi, mümkün olduğunca temelin şev tepesine olan mesafesini arttırmak suretiyle şev etkisinin azaltılmasıdır. Ancak çoğu zaman bu çözüm ekonomik bir yöntem olmayabilir. Bu gibi durumlarda uygulanabilecek etkili yöntemlerden biri kazıklarla şev stabilitesinin artırılmasıdır.

Literatürde şevlerin kazıklarla güçlendirilmesine yönelik çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte bu çalışmalarda genellikle sadece şev stabilitesi göz önüne alınmış olup kazıkların şevlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesine etkisi henüz yeterince araştırılmamıştır. Bu çalışmada, kazıklarla güçlendirilmiş şevlere yakın oturan yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi analizleri yapılmış olup kazıkların, şevli zeminlere oturan yüzeysel temellerin taşıma gücü ve oturma davranışına etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Çalışmada öncelikle tez konusunu oluşturan başlıklarda genel bilgilere yer verilmiş ve bu alanda önceki deneysel ve teorik çalışmalar özetlenmiştir. Devamında, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılarak farklı koşullar için sayısal analizler gerçekleştirilmiş, şev, temel ve kazık parametrelerinin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır.

Sayısal analiz çalışmasında, önce farklı şev açıları ve sıkılık durumları için şev stabilite analizleri gerçekleştirilerek güvenlik sayıları elde edilmiştir. Daha sonra, temel yüklenmesi halinde kazıksız ve kazıklı şev durumu için şev açısı, zemin sıkılık derecesi, temel genişliği, temelin şev tepesine mesafesi, kazık çapı, kazık boyu, kazığın şev tepesine mesafesi ve yeraltı suyu seviyesi parametrelerinin yüzeysel şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışına etkileri incelenmiştir. Sayısal analizlerden elde edilen taşıma kapasitesi değerleri teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

Bu çerçevede, teorik yöntemler ile elde edilemeyen deplasman ve gerilme davranışı da PLAXIS programı yardımıyla elde edilmiş ve göçme mekanizmaları incelenmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik tasarım parametreleri önerilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, öncelikle şev stabilitesi ve kazıklarla güçlendirilmiş şevler hakkında genel bilgiler verilmiş ve şevlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ile ilgili daha önce yapılmış olan teorik ve deneysel çalışmalar özetlenmiştir.

2.1 Şev Stabilitesi

Geoteknik mühendisliğinde bir zemin kütlesinin yatay bir düzlemle açı yapan yüzeyine şev adı verilmektedir. Mühendislik uygulamaları sonucunda kazı veya dolgu ile oluşturulan şevler "yapay şev" olarak adlandırılırken, doğal yollarla oluşan eğimli yüzeyler "doğal şev" olarak adlandırılır. Doğal şevler için "yamaç" terimi de kullanılmaktadır. Yamaç hareketlerine heyelan, şev hareketlerine ise kayma, göçme veya gelme terimleri kullanılmaktadır.

Şevlerdeki denge problemi, geçmişten günümüze deprem, sel, çığ gibi doğal afetlere benzer olarak ciddi aksamalar meydana getirmiştir. Mühendisliğin gelişmesiyle doğal yamaç ve şevlerdeki stabilite sorunları daha da önem kazanmıştır. Eğimli zeminlerde dayanım ortamın mekanik özelliklerin yanında, iklim ve bitki örtüsü gibi çevre koşullarına da bağlıdır. Uzun bir dönem dengede kalan doğal yamaçlar kazı çalışmaları, drenaj koşullarının değiştirilmesi, bitki örtüsünün bozulması gibi müdahalelerle denge durumunu kaybedebilmektedir.

2.1.1 Şev Dengesine Etki Eden Faktörler

Şev hareketleri sürekli, uzun sürelerde ve çeşitli nedenlere dayalı olarak gerçekleşen zemin hareketi olarak değerlendirilebilir. Bundan dolayı, herhangi bir stabilite problemini tek bir nedene bağlamak doğru olmaz. Şevde denge kaybı, ortamın direnme gücünün, mukavemetinin oluşan kuvvet ve gerilmelerden az olması durumunda meydana gelir.

Geoteknik Mühendisliği öncelikle şev hareketinin zararlı etkilerini hesaplamak, engellemek ve ortadan kaldırmakla ilgilenir. Çoğu durumda kaymaya sebep olan ana etkenler ortadan kaldırılamaz, ancak etkinin hafifletilmesi bir anlamda mümkün olabilmektedir.

Şev kaymaları, kayma gerilmeleri etkisi altındaki zeminlerin göçmesi şeklinde kısaca tanımlanabilir. Hareketin başlangıcı iki aşamada değerlendirilir. Birincisi, artan kayma gerilmelerinin etkisi, ikincisi, azalan kayma mukavemetinin etkisidir. Şev hareketini başlatan nedenler genellikle bu iki başlık altında sıralanabilir. Deprem gibi bir yer hareketinin yarattığı karmaşık etki ise, şev kayma nedeni olarak her iki grubun içinde yer alan etkenler arasında sayılabilir.

Şev hareketinin etkenlerinin neler olduğu Çizelge 2.1'de yer almaktadır. Zemindeki dengenin kaybı, gerilmelerdeki artış kadar, kayma mukavemetindeki azalmalar sonucu da oluşabilir.

Çizelge 2.1. Şev hareketinin etkenleri (Kumbasar-Kip, 1984)

I. Gerilme Artışı	II. Kayma Mukavemetinde Azalma
a) Şev üstündeki yüklerin artışı b) Topuğa yakın bölgeden malzeme kaybı c) Deprem, diğer titreşim ivmeleri d) Boşluk veya çatlak suyu basınçlarının artışı e) Çekme çatlaklarına su dolması f) Giderek kırılma olayı g) Yamaç dışındaki su düzeyinde düşme	a) Aşınma ve yıpranma b) Süreksizlik yüzeylerinde su basıncı c) Kuru ortamda ani ıslanma, yapının bozulması d) Zaman ve hareket sonucu direnç kaybı e) Killi tabakanın şişmesi f) Çatlak ve boşluklarda oluşan buz merceklerinin erimesi g) Çimentolayıcı malzemenin yıkanması

2.1.2 Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri

Doğal ve yapay tüm şevlerin gerek kendi ağırlığı, gerekse uygulanan yüklerin etkisi altında göçmeye karşı stabilitesi, elastik teoriye dayanan limit gerilme yaklaşımı veya limit denge prensibine dayanan metotlarla incelenebilmektedir.

Limit gerilme metotlarında, gerilme yayılışı hesaplanır ve maksimum gerilmeler, zemin mukavemeti ile kıyaslanır. Bu tür analizde zemin kütlesinin, uygulanan gerilmelerin büyüklüğünden bağımsız bir homojen-elastik malzeme olarak idealize edilmesi, tahmini zor hatalar doğurur. Gerilme yayılışının etüdü ve deformasyonların değerinin önemli olduğu durumlarda, sonlu elemanlar yöntemi ile çözüme gidilerek analiz yapılmalıdır (Yıldız, 2005).

Limit denge metotlarında bir kayma yüzeyi kabul edilerek kaymaya çalışan zemin kütlesinin dengesi araştırılır ve bir güvenlik sayısı elde edilir. Kayma olasılığı olan bir seri yüzey arasında en düşük güvenlik sayısını veren kritik kayma yüzeyi elde edilir. Limit denge metotları ile analizde genellikle ya düzlem yada gerçekteki kayma durumunu en iyi yansıtan dairesel yüzeyler alınır (Kumbasar-Kip, 1984).

Şevlerin stabilite analizi için ileri sürülen yöntemler arasında uygulamada ve kullanım alanında bazı farklılıklar bulunsa da, hemen hemen hepsinde ortak özellik, bilinen veya kabul edilen bir kritik kayma yüzeyinde kayma kütlesinin dengesinin araştırılmasıdır.

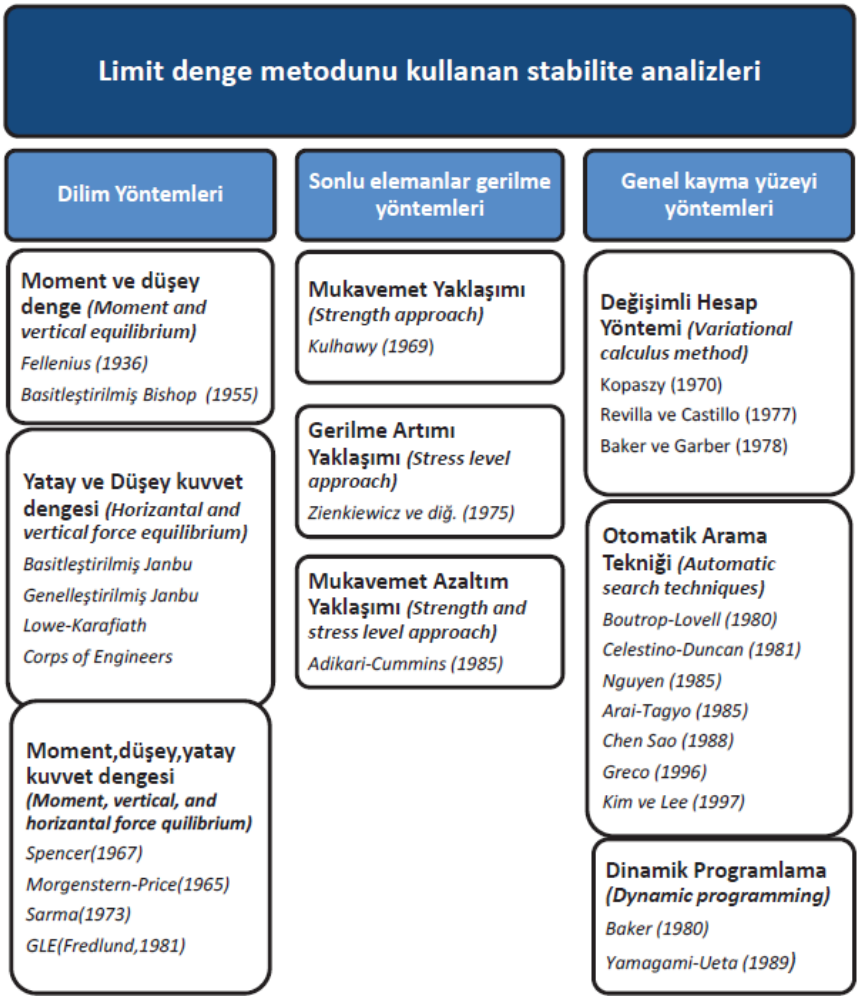
Tüm mühendislik problemlerinde olduğu gibi, şevlerin stabilitesinde de güvenlik sayısı kavramı geçerlidir. Elde edilen güvenlik sayısı, bir şevin stabil olup olmadığının veya ne kadar stabil olduğunun göstergesidir (Özaydın, 1989).

Statik halde stabilite analizi için izlenen yöntem genelde öngörülen göçme yüzeyine göre güvenlik katsayısının hesaplanmasına dayanır. Güvenlik katsayısı şevde göçmeye karşı koyan etkilerin şevi göçmeye zorlayan etkilere oranıdır. Teoride şevin stabil sayılabilmesi için güvenlik katsayısı değerinin l'den büyük olması gerekmektedir (Keskin, 2009).

Limit denge yaklaşımının dayandığı ana fikir, göçme olasılığı bulunan bir yüzey varsaymak ve bu yüzey boyunca göçmeye yol açacak gerilme durumunu bulmaya çalışmaktır. Bu gerilme gerçek gerilme durumu değildir. Bu gerilmenin güvenlik faktörüne bağlı belli bir oranda mobilize olan gerçek gerilmedir. Burada güvenlik faktörü mobilize kayma gerilmeleri ile göçmeye yol açacak kayma gerilmelerinin bir oranı olarak tanımlanır. Tasarımda limit denge analizi güvenlik faktörünü bulmada kullanılır. Bir şev göçtüğünde güvenlik sayısı 1 kabul edilir. Göçme yüzeyi boyunca ortalama kayma direncini bulmak için bu analiz kullanılır (Tekin, 2011).

Şekil 2.1'de kayma güvenlik sayısının hesabında kullanılan yöntemlerle ilgili yaklaşımlar gruplandırılarak gösterilmiştir. Bu yöntemlerin büyük bir kısmı kayma dairesinin dilimlere ayrılması esasına dayanmaktadır. Bazı yöntemlerde ise hem sonlu elemanlar hem de dilim yöntemi bir arada kullanılmaktadır. Kulhawy (1969) dilim

tabanındaki gerilmeleri sonlu elemanlar analizlerinden hesaplar iken kayma dairesinin güvenliğini dilim yöntemine göre yapmaktadır. Mevcut analiz yöntemleri hakkında özet bilgilerde Çizelge 2.2'de verilmektedir.



Şekil 2.1. Şev stabilitesi analiz yöntemleri (Gitirana, 2005)

Limit denge analizlerinde ortak prensipler şunlardır;

- Bir kayma mekanizması belirlenir ve şevin dairesel veya düzlem kayma yüzeyleri boyunca göçtüğü kabulü yapılır. Üniform olmayan durumlar için kayma yüzeyini bulmaya dönük analizler yapılır.
- Varsayılan kayma gerilmelerine eşdeğer kayma direnci statik olarak hesaplanır.
- Denge için hesaplanmış kayma direnci mevcut kayma mukavemeti ile güvenlik sayısı hesaplanması yoluyla karşılaştırılır.
- En düşük güvenlik sayısı deneme yanılma yoluyla elde edilebilir.

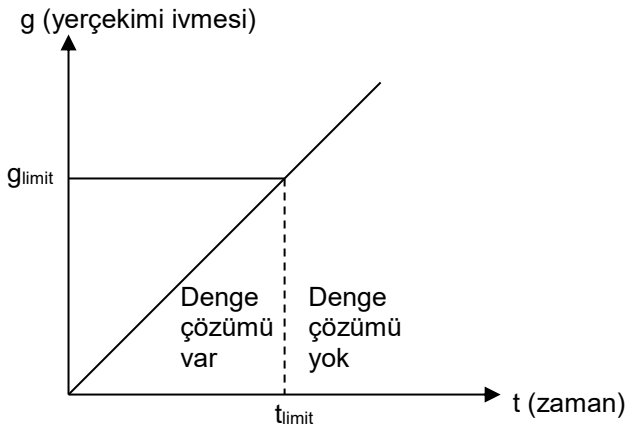
Çizelge 2.2. Mevcut analiz yöntemlerinin özeti (Abramson ve diğ, 2002)

Yöntem adı	Geliştiren	Yöntem Hakkında Açıklama
Dilim Yöntemi	Fellenius (1927, 1936)	Bu yöntem hem kayan kütle için hem de herhangi bir dilim için dilimler arası kuvvetleri ihmal eder ve sadece düşey kuvvet dengesini sağlar.
Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi	Bishop (1955)	Tüm dilimler arası kayma kuvvetlerinin sıfır olduğunu varsayar, bilinmeyen sayısının (n-1) kadar azalmış olur, (4n-1) bilinmeyen kalır, bu durumda sistem aşırı tanımlı olur ve çözülebilir.
Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi	Janbu (1954a, 1954b, 1973)	Janbu dilimler arası kayma kuvvetlerinin sıfır olduğunu varsayar, bilinmeyen sayısını (4n-1)"e kadar azaltır. Moment dengesi sağlanamadığından aşırı tanımlı bir sistem çözümüne gitmek gerekir, Janbu düzeltme katsayısı ile yöntemin hassasiyetini arttırmıştır.
Lowe ve Karafiath Yöntemi	Lowe ve Karafiath (1960)	Lowe ve Karafiath dilimler arası kuvvetlerin etkidiği doğrultuyu sabit kabul ederler, bu doğrultu dilim tabanındaki açı ile zemin yüzeyi açısının ortalamasına eşit olduğunu varsayarlar, bu sadeleştirme (4n-1) bilinmeyen bırakır, moment dengesi sağlanmaz.
Corps of Enginnering Yöntemi	Corps of Engineers (1970)	The Corps of Engineers yaklaşımı dilimler arası kuvvetlerin eğimi zemin yüzeyine paralel olduğunu ya da göçme yüzeyinin sağ bitiş noktası ile sol bitiş noktası arasındaki eğim açılarının ortalaması olduğunu kabul eder. Bu yaklaşım Lowe ve Karafiath (1960)"a benzer bir yaklaşımdır, moment dengesi sağlanmaz.
Spencer yöntemi	Spencer (1967, 1973)	Spencer yöntemi statik dengeyi çok iyi sağlamaktadır. Dilimler arası kuvvetin sabit olduğunu varsayar, eğim bilinmemektedir. (n-1) adet kabul yapılarak, bilinmeyen sayısı (4n-1)"e azaltılır, fakat kuvvetler arası eğim de bir bilinmeyen olarak hesaplara girer ve toplam bilinmeyen sayısı 4n olur, 4n adet bilinen denklem olduğundan sistem statikçe kararlıdır ve çözülebilir.
Bishop Yöntemi	Bishop (1955)	Bishop (n-1) tane dilimler arası kayma kuvveti olduğunu varsayar. Bu kabul nedeniyle 4n-1 adet bilinmeyen kalır ve moment dengesi sağlanamaz. Ancak Bishop hesaplara bir tane daha bilinmeyen eklemiştir, sonsuz sayıda ihtimal arasından dilimler arası bileşke kuvvetin tek bir biçimde oluşabileceğini kabul etmiş ve bilinmeyen sayısını 4n"e çıkararak sistemi statikçe kararlı hale getirmiştir.
Janbu Yöntemi	Janbu (1954a, 1954b, 1973)	Janbu bir itki çizgisinin belirli yeri olduğunu varsayar, böylece bilinmeyenlerin sayısı (4n-1)'e azaltılır. Janbu yöntemi de Bishop yöntemi gibi dilimler arası bileşke kuvvetin etki noktasını bilinmeyen olarak alır..
Sarma Yöntemi	Sarma (1973)	Sarma, dilim yöntemini kullanarak şev kütlesini göçmeye götürecek olan yatay sismik katsayıyı bulmayı hedefler, bu sayede sismik katsayı ile güvenlik katsayısı F arasında bir ilişki geliştirilmiş olmaktadır. Sismik katsayısının sıfır değer statik F değerine eşit olacaktır. Sarmanın kullandığı kuvvet fonksiyonu Morgenstern-Price tarafından önerilen fonksiyonlardır.
Morgenstern-Price Yöntemi	Morgenstern ve Price (1965)	Morgenstern ve Price"ın önerdiği yöntem Spencer yöntemine benzerdir. Ancak, dilimler arası bileşke kuvvetin oranı sabit değildir. Bir fonksiyon yardımıyla değişken olarak kabul edilir, bu değişken değer sayesinde bilinmeyen sayısı 4n olur ve bilinen sayısı da 4n olduğu için sistem çözülebilir.

Klasik şev stabilite analizlerinde, zemin kütlesi içerisindeki gerilmelerin analizinin yaklaşık olması, değişik yükleme koşulları ve geometrilerde hesabı güçleştirmektedir. Bilgisayar kullanımının, tüm alanlarda olduğu gibi geoteknik mühendisliğinde de yaygınlaşması ile analizlerde sonlu elemanlar yöntemi artan bir şekilde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yaklaşımının diğer geleneksel limit denge yöntemlerine göre avantajı, şevin göçme yüzeyinin yeri ve şekli, dilimlerin şiddeti ve yönleri ile ilgili bir kabule ihtiyaç duyulmamasıdır (Keskin, 2009).

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık şev geometrilerinde, farklı zemin özellikleri, farklı sınır ve yükleme koşullarında iki veya üç boyutlu olarak tüm göçme mekanizması tiplerinde uygulanabilen bir yöntemdir. Bu yöntemde şev modellenirken birçok zemin ve malzeme modeli kullanılarak gerçeğe yakın zemin davranışı elde edilebilmekte, oluşan gerilme ve deplasmanlar daha doğru hesaplanabilmektedir. Bunun yanı sıra uzun ve kısa süreli stabilite analizlerinde, yeraltı su seviyesi bulunması, geosentetikler veya kazıklarla şevin güçlendirilmesi gibi durumlarda da bu yöntem kullanılabilmektedir.

Sonlu elemanlar yöntemi ile şev stabilitesi analizlerinde genel olarak iki yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşım ağırlık arttırma yönteminde (Şekil 2.2), yerçekimi ivmesi, g şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar arttırılır. İkinci yaklaşım mukavemet azaltma yönteminde (Şekil 2.3) ise, kayma mukavemeti parametreleri, c ve ϕ şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar azaltılır (Keskin ve Laman, 2007).

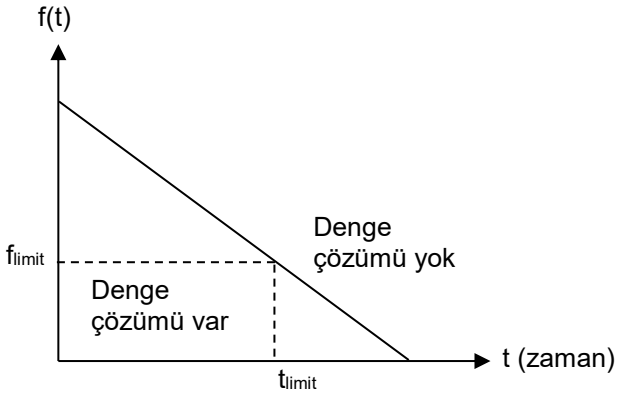


Şekil 2.2 Ağırlık arttırma yöntemi (Keskin ve Laman, 2007)

$$g(t) = g_{base} f(t)$$

$$GS = \frac{g_{limit}}{g_{true}} \tag{2.1}$$

Burada g_{true} gerçek graviteyi göstermektedir.



Şekil 2.3. Mukavemet azaltma yöntemi (Keskin ve Laman, 2007)

$$Y(t) = Y_{base} f(t)$$

$$F_s = \frac{y_{true}}{Y(t_{limit})} = \frac{1}{f(t_{limit})} \tag{2.2}$$

Burada Y_{base} gerçek mukavemet parametrelerini göstermektedir.

Mukavemet azaltma yönteminde,

$$c_f = \frac{c}{MAF} \qquad \phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi}{MAF}\right) \tag{2.3}$$

şeklinde hesaplanırlar.

Denklemdeki MAF mukavemet azaltma faktörüdür. Bu metod mukavemet azaltma faktörü olarak adlandırılmaktadır. Doğru MAF değerinin elde edilebilmesi için, şevde göçmeye neden olacak güvenlik sayısının bulunması gerekmektedir.

Güvenlik sayısı ise,

$$GS = \frac{c}{c_{azalt}} = \frac{\phi}{\phi_{azalt}} \tag{2.4}$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Yapılan sayısal çalışmalar, sonlu elemanlar analizi ve limit denge yöntemi sonuçları ile oldukça yakın değerler verdiği ve sonlu elemanlar yönteminin şev stabilitesi analizlerinde rahatlıkla ve güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizler sonucunda deplasman ve gerilme konturlarının da elde edilebiliyor olması bu problemin daha rahat anlaşılabilmesine katkı sağlamaktadır (Keskin ve Laman, 2007)

2.1.3 Stabil Olmayan Şevlerin İyileştirilmesi

Dengesi bozulmuş doğal ve yapay şevler ile dengede olmasına rağmen hareket etme riski yüksek şevlerde kaydırıcı kuvvetlerin azaltılmasına yönelik alınacak tedbirler; şev yükünün azaltılması, şev eğiminin azaltılması ve şev güçlendirilmesi olarak sayılabilir. Kaymaya karşı koyan kuvvetlerin artırılmasına yönelik alınacak tedbirler ise; drenaj ile kayma mukavemetinin artırılması, dayanma yapıları inşası, zeminin güçlendirilmesi şeklinde sıralanabilir.

Kayma, akma ve çeşitli tür bozulmalarına karşı yeterli güvenliğin sağlanabilmesi için yukarıda belirtilen tedbirler kapsamında yapılabilecek güçlendirme çalışmaları ise; yüzeysel drenajın sağlanması, şev geometrisinin değiştirilmesi, hafif dolgu yapımı, istinad duvarı yapımı, ankraj duvarları yapılması, kazık inşası, zemin iyileştirme çalışmaları ve şevin donatılandırılmasıdır.

Hareket riski bulunan şevlerin kontrolü ve kaymanın önlenmesi için, konsol veya ağırlık türü dayanma duvarları, ankrajlı perdeler ve kazık perdeleri, kazık sıraları öne çıkmaktadır.

Şevlerde konsol veya ağırlık türü dayanma yapıları ile ankrajlı perdeler sadece bir düzlemde inşa edilebilirler ve bu yapılar inşaat sırasında kazı yapılmasını gerektirir. İnşaat sırasında geçici de olsa kazı yapılması, dengede bulunan şevlerin kaymaya karşı

direncinin azalmasına ve denge bozulmasına neden olabilir. Kazıklı sistemlerde ise, derin kazıya ihtiyaç duyulmadığı gibi birden çok sıra halinde uygulanabilirler.

2.2 Kazıklarla Güçlendirilmiş Şevler

Kazıklar, taşıma gücü ve oturma problemleri olan zeminler sebebiyle üst yapıdan gelen düşey ve yatay yükü sağlam tabakalara aktarmanın yanında; yeraltı suyunun varlığı, akarsu, göl, deniz vb. yerlerde yapılaşma sebebiyle temel çevresinde oyulmaları önlemede (köprü ayakları vb.), liman ve rıhtım yapılarında tercih edilebildiği gibi bunun yanı sıra dayanma yapıları ve yüksek yapı temellerinde, rüzgâr deprem gibi yanal kuvvetlerin karşılanması amacıyla, gevşek granüler zeminlerin sıkıştırılarak iyileştirilmesinde, temele çok yakın bir kazı olması ve bu kazının yüzeysel temelleri zayıflatabileceği durumlarda ve şev hareketlerinin kontrolünde tercih edilir. Şev hareketlerini önlemek amacıyla kazık uygulamaları geçmişten günümüze sıklıkla kullanılagelen yöntemlerden biridir.

Kazıklar değişik özellikleri dikkate alınarak farklı kategorilerde sınıflandırılabilirler. Yapımında kullanılan malzemeye göre, ahşap, betonarme, çelik vb., yükleri taşıma şekillerine göre; uç kazığı ve sürtünme kazığı şeklinde sınıflandırılan kazıkları, zemine yerleştirme yöntemine, zeminde sebep oldukları deplasmana ve inşa edildikleri tekniğe göre de sınıflandırmak mümkündür.

Kazıklı yapıların tasarımlarında sistemin izin verilebilir deplasman aralığında uygulanan yükleri karşılamak için yeterli yük kapasitesine sahip olması en önemli konudur. Bir kazığın taşıma gücünü belirleyen başlıca iki önemli unsur kazığın uygulanacağı zeminin ve kazığın yapıldığı malzemenin teknik özellikleridir.

Kazık başına etkiyen, yapısal yükler etkisinde kalmış kazıklar “aktif kazık” olarak adlandırılırken yatay toprak hareketi altında kalan kazıklar ise “pasif kazık” olarak adlandırılır. Şev problemlerinde yanal yük etkisi altında kalan kazıkların dayanımı, etkiyen yatay kuvvetin doğrultusu ve büyüklüğünün bilinmesi ile hesaplanabilmektedir.

Şevlerde kullanılan stabilite kazıkları tipik pasif kazıklardır ve genellikle tek bir sıra halinde kullanılırlar. Kazıklar ve kazıkları çevreleyen zeminin etkileşim davranışı oldukça karmaşıktır, zira sorun üç boyutludur ve zemin ile kazığın şekil değiştirme ve

mukavemet özelliklerine ilişkin pek çok faktörün etkisi altındadır. Heyelan ve şev kaymaları oldukça karmaşık bir olaydır. Bu nedenle önemli noktaların göz ardı edilmemesi için birçok varsayıma dayalı bir analiz yöntemi geliştirmek gerekmektedir. Ancak kazık etkisini tam anlamıyla göz önüne alabilecek bir analiz yöntemi henüz geliştirilememiştir. Bu bakımdan birçok şev hareketi kazık yerleştirilmesinden sonra göçmüş ya da sürekli olarak hareketine devam etmiştir.

Şev kayması ya da akma türü heyelanlarda plastik olarak şekil değiştiren zeminlere kazık yerleştirildiğinde plastik şekil değiştirmeyi önleyici bir etki sergilediği düşünülür. Özellikle sıra halinde yerleştirilen kazıklarla bu etki önemli ölçüde artırılabilir.

Şev kazıklarının dayanımı, etkiyen yatay kuvvetin doğrultusu ve büyüklüğünün bilinmesi ile hesaplanabilmektedir. Bu nedenle plastik olarak şekil değiştiren bir zemine yerleştirilen kazığa etkiyen yatay kuvvetlerin doğru tahmin edilmesi önemlidir. Şev stabilitesi analizlerinde kayma yüzeyinin yeri arazi incelemesi ile önceden belirlenebilir. Şevdeki kazığın taşıma gücünü etkileyen çeşitli faktörler vardır, bunlar; kazıkların şevden ve birbirinden uzaklığı, kazık başı tutululuk şartı, kayma yüzeyi üzerindeki kazık boyu, kazık çapı, kazıkların rijitliği vb. sıralanabilir.

Zemin hareketlerinin önlenmesi ve olası kaymalara karşı şevlerde güvenlik sayısının artırılması amacıyla kazıklı sistemlerin tercih edilme nedenleri için aşağıdaki özellikleri sıralanabilir:

- Kazıklı sistemler zaman kaybına mahal vermeksizin kısa sürede inşa edilebilir.
- Diğer dayanma yapılarında olduğu gibi derin kazı gerektirmezler.
- Kazıklara etkiyen kuvvetler dayanma yapılarına göre daha çabuk mobilize olurlar.
- Kazıklı sistemler derin kaymalarda bile uygulanabilirler.
- Zemin içinde kemerlenme etkisinden yararlanma olanağı verdiği için sürekli perde halinde teşkil edilmeleri gerekmez.
- Kayma yüzeyi boyunca gerektiğinde birden çok sıra halinde uygulanabilirler.
- Yeraltı suyunun drenajına engel olmayacak şekilde tasarlanabilirler.

2.2.1 Kazıklı Sistem Tasarım Esasları

Kazıklı sistemler, genellikle sığ kaymalarda daha başarılı olup derin kaymalarda ise çok büyük kaydırıcı kuvvetlerin kazıklarla karşılanması güç olabilmektedir. Sert zemin ve kayaçlarda daha uygun yumuşak zeminlere göre daha iyi sonuç vermektedir. Kayma yüzeyinin altında sağlam zemine yeterli giriş sağlanamamış ise ya da ankrajla geriye bağlanmamışsa kazıkların yerinden hareket edip yeni kayma yüzeyi oluşmasına neden oldukları gözlenmektedir.

Kazıkların teşkilinde ana prensip belirli bir kayma yüzeyi boyunca kaymaya karşı koyan kuvvetleri artırmaktır. Kazıklı bir sistemin tasarımı aşağıdaki adımları kapsar.

1. Kayma yüzeyi boyunca gerekli güvenliği sağlamak üzere gerek duyulan toplam kesme kuvvetinin belirlenmesi,
2. Her bir kazığın ya da sistemin kayan kütleden, sağlam tabakalara aktarabileceği kuvvetin belirlenmesi,
3. Gerekli kazık, tür, sistem, boyut ve yerleşiminin seçilmesi. (Özçelik, 2007)

Kazıklı perde veya sistemler, henüz oluşmamış şev kaymaları için bir önlem olarak tasarlanacağı zaman laboratuar deneyleri ile elde edilen drenajlı kayma mukavemeti parametreleriyle olası kayma yüzeyini tahmin etmek gerekir. Hareket başlamış ise kayma yüzeyinin yeri arazi incelemeleri yardımıyla belirlenmelidir. Derin şevlerde büyük ölçekte bir kayma durumu varsa, şev stabilitesi için birkaç sıra kazık uygulanabilir. Kazıkların, drenajın iyileştirilmesi, kayma yükünü artıran zeminin kaldırılması gibi önlemlerden sonra inşa edilmesi daha doğrudur.

Hareket halindeki zemin kaymalarında kaydırıcı kuvvet, direnen kuvvete eşit varsayılabilir ve güvenlik sayısı 1(bir) alınabilir. Bununla birlikte zemin kayması hareketi kazıklarla durdurulmak isteniyorsa kaydırıcı ve direnen kuvvetler arası farkın çok daha dikkatle belirlenmesi gerekir. Eğer kayan zemin kütlesinin ağırlığı ve kayma yüzeyinin yeri biliniyorsa kaydırıcı kuvvetler göreceli olarak doğruya yakın şekilde belirlenebilir, ancak direnen kuvvetlerin büyüklüğünü belirlemek kolay değildir. Eğer zemin örnekleri kayma yüzeyinden alınmışsa ve içsel sürtünme açısı ile kohezyon değerleri laboratuarda kesme deneyleri ile belirleniyorsa, sonuçlar deney yöntemi ve aygıta bağlı olarak değişiklik gösterir. Bazı kaya parçaları ve çakıl içeren zeminlere deney yapmak uygun

olmayabilir. Kayma yüzeyi çok daha geniş ise ya da zemin tabakaları çok daha karmaşık ise çok sayıda örnek üzerinde deney yapılsa bile doğru zemin parametrelerini belirlemek çok zor olabilir (Özçelik, 2007).

Şev stabilitesi için uygulanan kazıklı sistem tasarımında kazıkların göçmesinin engellenmesi için yüksek eğilme dayanımlı kazıklar kullanılmaktadır. Ancak bazı problemlerde kazık yakınındaki zeminde göçme olduğu ve kazıkların hareket ettiği gözlenebilmektedir. Bu durumda kazık başlarının ankrajlarla sabitlenmesi önerilebilir. Bir diğer önemli husus, zemin yükünü azaltmak, dayanma yapısı ya da drenaj uygulaması ile aktif kaymayı durdurduktan sonra kazık inşa etmektir. Bunun olanaksız olduğu durumlarda kazık inşası, yer değiştirme hızı en düşük olan yerden ya da kazığa etkiyen kuvvetlerin en küçük olduğu noktadan başlanmalıdır.

2.2.2 Şev Kazıklarına Etkiyen Yüklerin Hesaplanması

Kazıklara gelen yükün büyüklüğüne etki edecek etkenler arasında zemin özelliği, sevin göçmeye karşı güvenliği, kayan kitlenin geometrisi ve kayma hızı, kazık ve zemin arasındaki göreceli yer değiştirme, kazık çap ve uzunluğu, zemin-kazık rijitlikleri oranı, iyileşmeden sonra göz önüne alınan risk ve izin verilebilir zemin yer değiştirmeleri sayılabilir. Bu etkenleri farklı şekilde göz önüne alan farklı kuramsal yaklaşımların sonuçlarının da farklı olması beklenir. Ayrıca yan yana düzenlenen kazıklarda grup geometrisi ve kazık başı tutululuk derecesine bağlı grup etkisi de söz konusudur. Zeminden, kazığa etkiyen gerilme için yaygın kullanılan öneriler Brinch-Hansen (1961), Broms (1964b), De Beer (1977), Viggiani (1981) ve Ito ve Matsui (1975) olarak sayılabilir (Özçelik, 2007).

Kazıkların yeri, aralığı ve diziliş biçimini saptamak oldukça güçtür. Yapılan araştırmalar aralık/çap oranının S/B>3 için tek kazık davranışının beklendiğini göstermektedir. Kazıklar veya kazıklı sistem tarafından alt tabakaya aktarılması istenen kuvvet büyüklüğü, şevin güvenliğinin ne kadar arttırılacağına bağlıdır. Sommer'e (Yıldırım, 2004) göre kaymış bir şevin güvenliğini yüzde birkaç oranında arttırmak dengenin yeniden sağlanması ve hareketin önlenmesi için yeterlidir. Genel maliyet unsuru da göz önüne alınarak uygulanacak sistemle güvenlik sayısının %10 ile %15 artırılmasının hedef alınması uygun olmaktadır.

Henüz kaymamış, olası kayma veya heyelan durumunun söz konusu olduğu şevlerde var olan güvenlik sayısının belirlenmesi ve hangi oranda artırılacağı belirsizlikler taşır. Kazıklar tarafından aktarılan kuvvet ΣT_p yeni durumda istenilen şevin güvenliği ile

$$GS = \frac{\text{Kayma Yüzeyi Boyunca Zemin Direnci} + \Sigma Tp}{\Sigma \text{ Kaymaya Neden Olan Kuvvetler}} \tag{2.5}$$

eşitliğini sağlayacak şekilde hesaplanır.

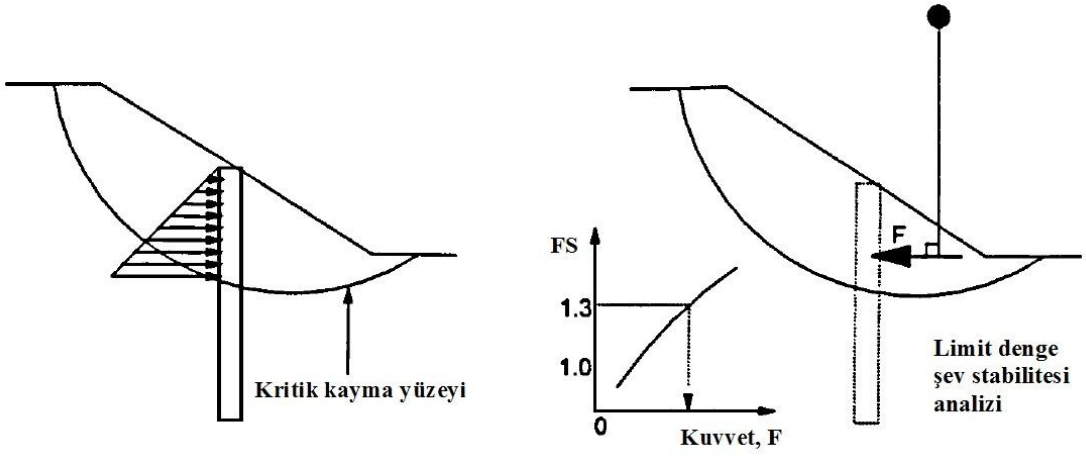
Zemin kaymalarına karşı şevlere yerleştirilen kazıkların kullanımı yaygın olmasına rağmen yapılan çalışmalarda kazıklar ve kazıkları çevreleyen zemin arasında etkileşim tam olarak tanımlanamamıştır.

Stabilite analizleri için yatay kuvvetlerin doğru hesaplanması oldukça önemlidir. Zira bu kuvvetler hem kazıkların hem de şevlerin stabilitesine etki ederler. Bu nedenle yatay kuvvetlerin olduğundan fazla hesaplanması güvenli kazık tasarımı, ancak güvenli olmayan şev stabilitesi sonucu doğurabileceği gibi yanal yüklerin olduğundan az hesaplanması da güvenli olmayan kazık tasarımına ancak güvenli şev stabilitesine neden olacaktır.

2.2.3 Karşı Koyucu Kuvvetlerin Hesaplanması

Şev stabilite kazıkları, şevin dengesini sağlamak üzere yeterli büyüklükte bir karşı koyan kuvvet sağlamalıdır. Gereken bu kuvvet, limit denge analizleriyle hesaplanabilmektedir. Arazi ölçümleriyle belirlenen mevcut bir kayma yüzeyi veya stabilite analizinde en düşük güvenlik katsayısının elde edildiği bir potansiyel kayma yüzeyi için, kazık imal edilmesi öngörülen konumda, şev hareketinin aksi yönünde bir noktasal kuvvet etkitilerek kazıkların şevin stabilitesine katkısı belirlenebilmektedir (Şekil 2.4). Bu kuvvet daha sonra, hedeflenen güvenlik katsayısı elde edilene kadar arttırılabilmektedir. Bu noktasal kuvvete karşı, şev hareketinden kaynaklanan aynı büyüklükte, fakat aksi yönde diğer bir noktasal kuvvet etkimekte olup, bu kuvvet, kazığın kayma yüzeyi üzerindeki kısmı boyunca bir üçgen yayılı yüke dönüştürülerek tasarımda kullanılabilmektedir. Böyle bir yük dağılımı için karşı koyucu kuvvetin, göçen zemin kütlesinin 2/3'ü derinliğinde uygulandığı kabul edilmektedir (Aydoğdu, 2011).

Sınır denge halindeki şevlerin stabilitesi için, güvenlik sayısında %10'luk bir artış genellikle yeterli görülmekle birlikte, ileride zeminin kayma mukavemetinde meydana gelebilecek olası azalma ve boşluk suyu basıncındaki artışlar da dikkate alınarak güvenlik sayısının 1,3 değerine yükseltilmesi gerekli görülmektedir.



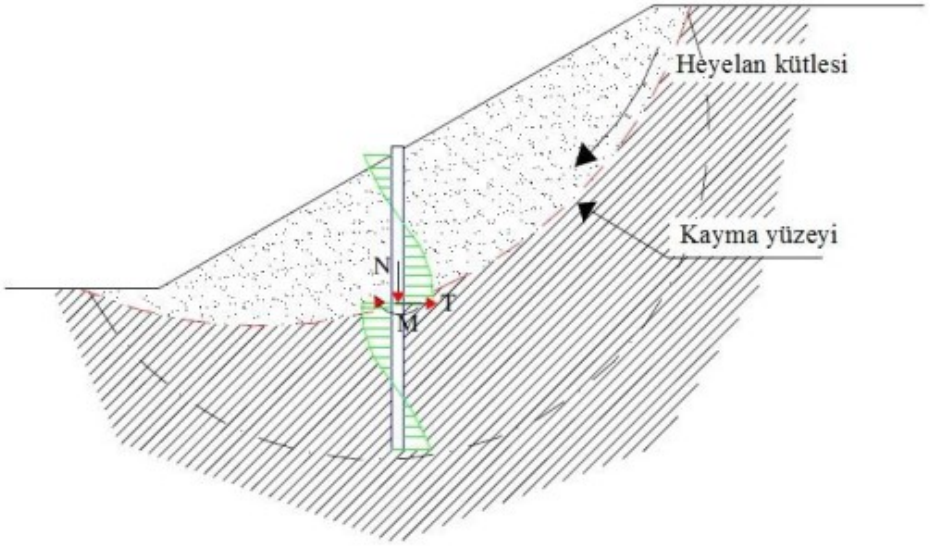
Şekil 2.4. Güvenlik sayısının limit denge analizinde belirlenmesi

2.2.4 Şevlerde Kazık Davranışı

Zemin kütlesinin hareketi, kazık–zemin ara yüzeyinde çekme gerilmeleri meydana getirmekte ve böylelikle kayma yüzeyi derinliğinde, kazıkta Şekil 2.5'de görülen normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momentinden oluşan bir kuvvetler sisteminin harekete geçmesine yol açmaktadır. Şev kazıkları oluşan bu moment ve kuvvetleri güvenli bir şekilde karşılayarak, kayma direncinin teğetsel bileşenini arttırmak suretiyle şev stabilitesine katkıda bulunmaktadır. Kazığa etkiyen kesit tesirlerinin hesaplanabilmesi için öncelikle kazık davranışının doğru belirlenmesi önemlidir.

Şevlerde kullanılacak kazıklar, iki stabilite şartını sağlamak üzere tasarlanmalıdır. Birinci şart kazıkların şev içerisindeki dengesidir. Kazık tabanında etkiyen karşı koyan kuvvetler ve momentler, hareket eden kütleden kaynaklanan devirici kuvvetleri ve momentleri dengeleyebilmelidir. Taşıyabileceği kuvvet ne kadar büyükse, şev deplasmanlarının o kadar küçük olması beklendiği için, daha sıkı bir tabaka içerisindeki kazık tabanının tutuluğu özellikle önemlidir. Kayma yüzeyinin konumu, kazık uçları ile ilişkili olarak stabilizasyon mekanizması ve dolayısıyla, elde edilen kazık hareketleri ve eğilme momentleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Aydoğdu, 2011).

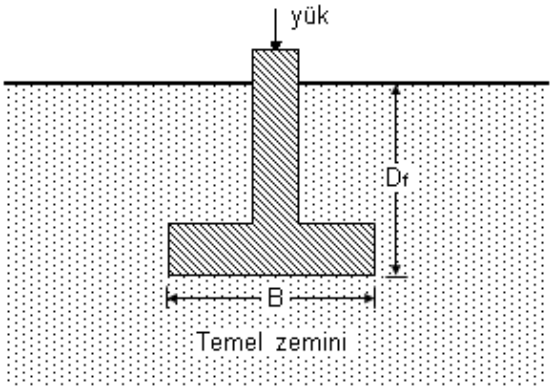
Kazıkların stabilite açısından sağlaması gereken diğer bir şart, kayma bölgesindeki muhtemel bir genişlemenin daha derinine inilebilecek bir boyda imal edilme zorunluluğudur. Eğer göçme bölgesi kazık tabanını da içine alacak şekilde genişlerse, kazıklar artık işlevsiz hale gelecektir. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi, kazık tasarımda şev stabilitesi için yeterli bir güvenlik sayısı sağlanmalı ve dik şevlerde genel göçmeyi engellemek üzere kayma yüzeyinin oldukça altında kalmalıdır. Bununla birlikte, mevcut göçme yüzeylerinin bilindiği ve derin tabanlı genel bir göçmenin öngörülmediği durumlarda göçme yüzeyinin hemen altına kadar uzanan kısa kazıklar kullanmak yoluyla ekonomik tasarım sağlanabilir. Şev stabilitesi için genellikle 1,3–1,5 gibi bir güvenlik sayısı gereklidir ve bu da kazık boyunu belirleyen bir unsurdur.



Şekil 2.5. Heyelan kütlesinin hareketi sonucu kazıkta oluşan kesit tesirleri

2.3 Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Taşıma Kapasitesi

Temeller, yapı yüklerini zemine aktaran yapı elemanlarıdır. Temeller yardımıyla aktarılan yapı yüklerinden etkilenen ve yapı yüklerini taşıyan zemin ortamına ise, temel zemini denir. Yapı temelleri, D_f temel derinliği, B temel genişliği olmak üzere, D_f/B oranına göre temel mühendisliğinde genel olarak iki ana gruba ayrılır. Bunlar, $D_f/B \leq 1$ ise yüzeysel temeller ve $D_f/B > 1$ ise derin temellerdir (Keskin, 2009).



Şekil 2.6. Yapı temelleri

Yüzeysel temellerde zemin cinsine bağlı olarak üç farklı türde göçme oluşmaktadır. Bunlar; genel kayma göçmesi, bölgesel kayma göçmesi ve zımbalama kayma göçmesidir (Keskin, 2009).

- Genel kayma göçmesi, genellikle sıkı kum zeminlerde yada sert killerde görülür, kırılma yüzeyleri belirgindir ve zemin yüzeyine kadar uzanır. Yanlarda kabarma gözlenebilen bu göçme türünde yük-oturma eğrisinden kırılma noktası net olarak belirlenebilir.

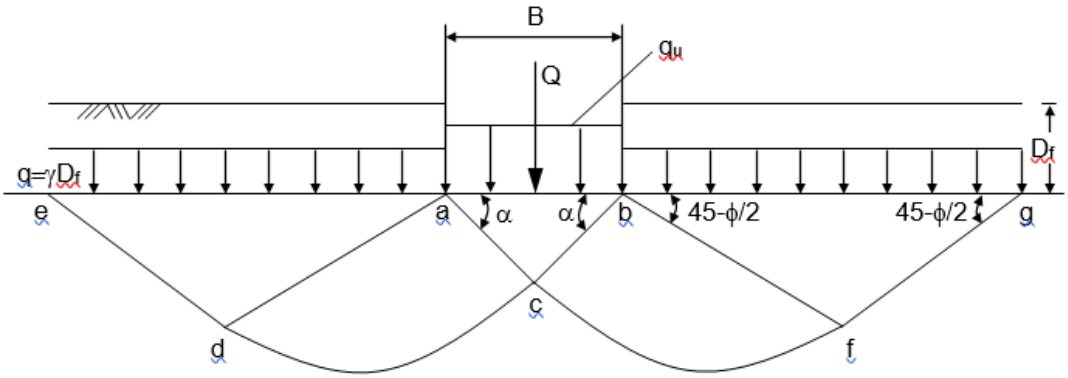
- Bölgesel kayma göçmesi, genellikle orta sıkı kum veya orta sertlikteki kil zeminlerde görülmekte olup kırılma yüzeyleri belirgin değildir. Yük-oturma eğrisinden kırılma noktası net olarak tespit edilememektedir.

- Zımbalama kayma göçmesi, gevşek kumlarda ve yumuşak kil zeminlerde görülür. Yanlarda henüz kabarma veya kırılma yüzeyleri oluşmadan temel de büyük oturma değerleri elde edilir. Yük-oturma eğrisinde kırılma noktası belirgin değildir.

Zeminin taşıma gücünü belirlemek için birçok taşıma gücü teorisi vardır [(Prandtl (1921), Terzaghi (1943), Meyerhof (1951) vb]. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı Terzaghi (1943) tarafından önerilen teoridir. Terzaghi, üniform yüklü şerit temel için geliştirdiği taşıma gücü teorisinde, göçme anında zeminde oluşan kırılma yüzeylerini

Şekil 2.7'de görüldüğü gibi kabul etmiştir (Das, 1999). Terzaghi'ye göre, temel altındaki göçme yüzeyi üç bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar;

- **Elastik bölge** (acb bölgesi)**:** Temelin hemen altında yer alan kama şeklindeki bölgedir. acb üçgeninin ac ve bc kenarları eşit olup, kırılma açısı(α), kayma mukavemeti açısı(ϕ) değerine eşittir.
- **Radyal kayma bölgesi** (bcf ve adc bölgesi)**:** Prandtl radyal kayma bölgesi olarak adlandırılır, kırılma yüzeyi logaritmik spiraldir.
- **Pasif bölge** (bfg ve ade bölgesi)**:** Rankine pasif bölgesi olarak adlandırılır, bu bölgenin kayma yüzeylerinin yatayla yaptığı açı (45-ϕ/2)'dir.



Şekil 2.7. Terzaghi tarafından kabul edilen zemin kırılma yüzeyleri

Temel zemini; homojen, izotrop ve yarı sonsuz kabul edilerek şerit temelin nihai taşıma kapasitesi, q_u için Terzaghi tarafından aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma \qquad (2.6)$$

N_c, N_q, N_γ : Kayma mukavemet açısına bağlı taşıma gücü katsayıları

c : Kohezyon

γ : Zemin birim hacim ağırlığı

Terzaghi taşıma kapasitesi formülünün genel biçimi aşağıda verilmektedir:

$$q_u = K_1 c N_c + \gamma D_f N_q + K_2 \gamma B N\gamma \quad (2.7)$$

K_1, K_2 : Temel şekil katsayıları

Bu ve diğer taşıma gücü formülleri daha çok zemin yüzeyi düz, yatay tabanlı bir temel üzerine etkiyen düşey yükleri dikkate alır. Ancak, temellerin bir şev üzerine veya yakınına inşa edilmesi gerektiği durumlarla da karşılaşılmaktadır. Yaklaşım dolguları üzerine oturan köprü ayakları, elektrik direkleri, yollar ve bazı bina yapıları buna örnek olarak gösterilebilir. Bu gibi durumlarda aşağıdaki tespitler yapılabilir:

- Yanal destekte azalma, taşıma gücü yenilmesini daha olasılıklı hale getirir.
- Temeller, yüzeysel (veya derin) bir heyelanın meydana gelmesi halinde yıkılabilir.
- Yüzeye yakın zeminler yamaç aşağı yavaşça kayıyor olabilir ve bu kayma, temelin yavaşça şev aşağı hareketine neden olabilir. Bu durum özellikle killerde olasıdır (Coduto, 2001).

Bir yapı temelinin şevli bir zemin üzerine inşa edildiği durumlarda, taşıma kapasitesi, düz zemine oranla, şevin eğim açısı, temelin konumu vb. parametrelere göre önemli mertebelerde azalabilmektedir. Şeve yakın oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ile ilgili ilk çalışma Meyerhof (1957) tarafından gerçekleştirilmiştir.

2.4 Teorik Çalışmalar

Şev üzerine veya yakınına oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ile ilgili Meyerhof (1957) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, şev üzerine oturan B genişliğindeki sürekli bir temelin altında oluşan plastik bölge şekilde görülmektedir (Das, 1999). Şekil 2.8'de, abc elastik bölge, acd radyal kayma bölgesi ve ade ise karma kayma bölgesini göstermektedir. ea düzlemindeki σ ve τ sırasıyla, normal ve kayma gerilmeleridir. β ise, şevin yatayla yaptığı açıdır.

Nihai taşıma gücü Meyerhof (1957)'ye göre (2.8) eşitliği ile hesaplanabilir.

$$q_u = cN_{cq} + 0.5\gamma BN_{\gamma q} \tag{2.8}$$

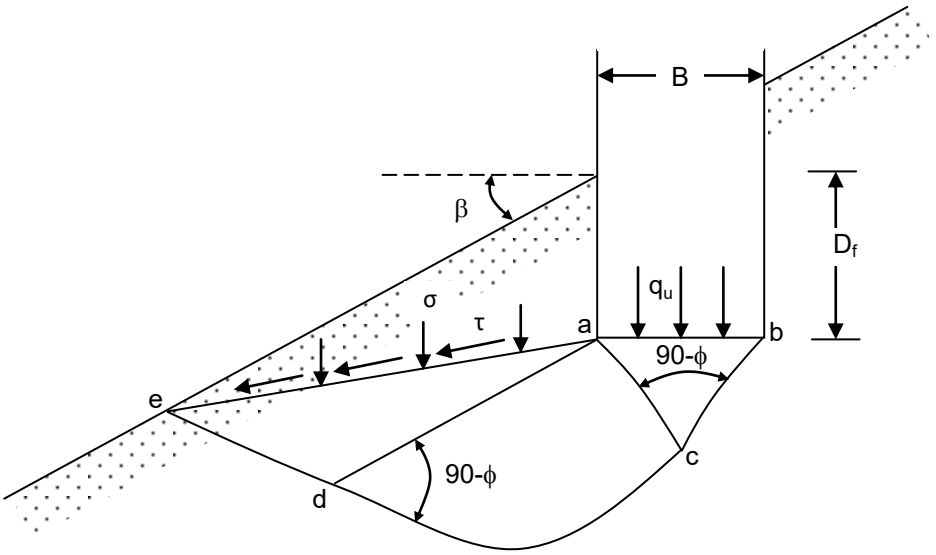
Burada, N_{cq}, $N_{\gamma q}$ Meyerhof taşıma gücü faktörleridir. Bu eşitlik kohezyonlu zeminler (ϕ=0) için,

$$q_u = cN_{cq} \tag{2.9}$$

şeklinde yazılabilir. Benzer şekilde, kohezyonsuz zeminler (c=0) için,

$$q_u = 0.5\gamma BN_{\gamma q} \tag{2.10}$$

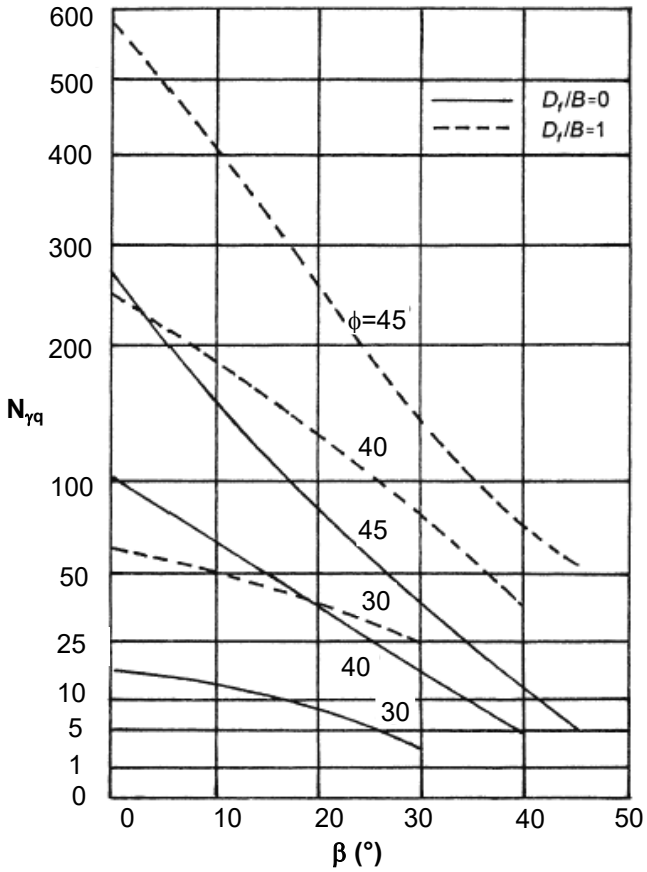
şeklindedir.



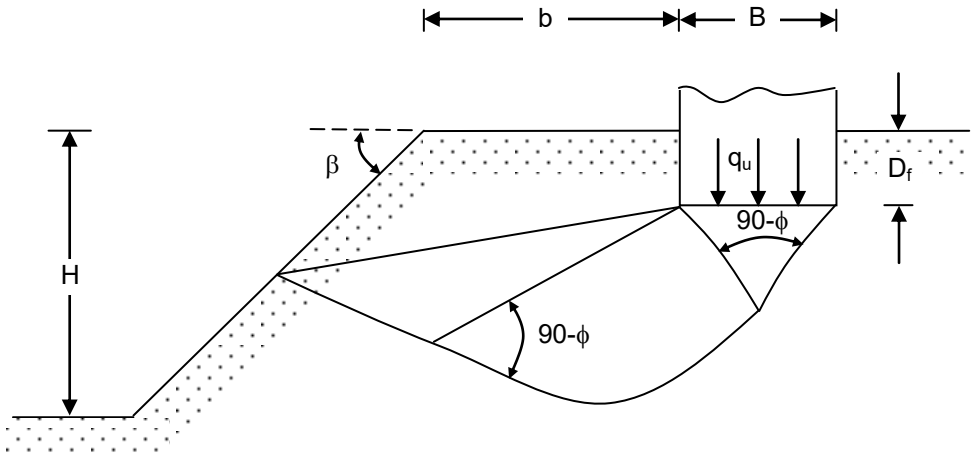
Şekil 2.8. Şev üzerine oturan sürekli temel (Das, 1999)

Şekil 2.9'da, $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörünün, şev açısı β ve içsel sürtünme açısı ϕ değerlerine bağlı olarak Meyerhof (1957) tarafından abaklaştırılmış hali görülmektedir (Das, 1999).

Şekil 2.10'da H yüksekliğinde bir şevin tepesine oturan B genişliğinde sürekli bir temel görülmektedir. Temel, şev tepesinden b kadar uzaklığa yerleştirilmiştir. Temelin nihai taşıma kapasitesi (2.10) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

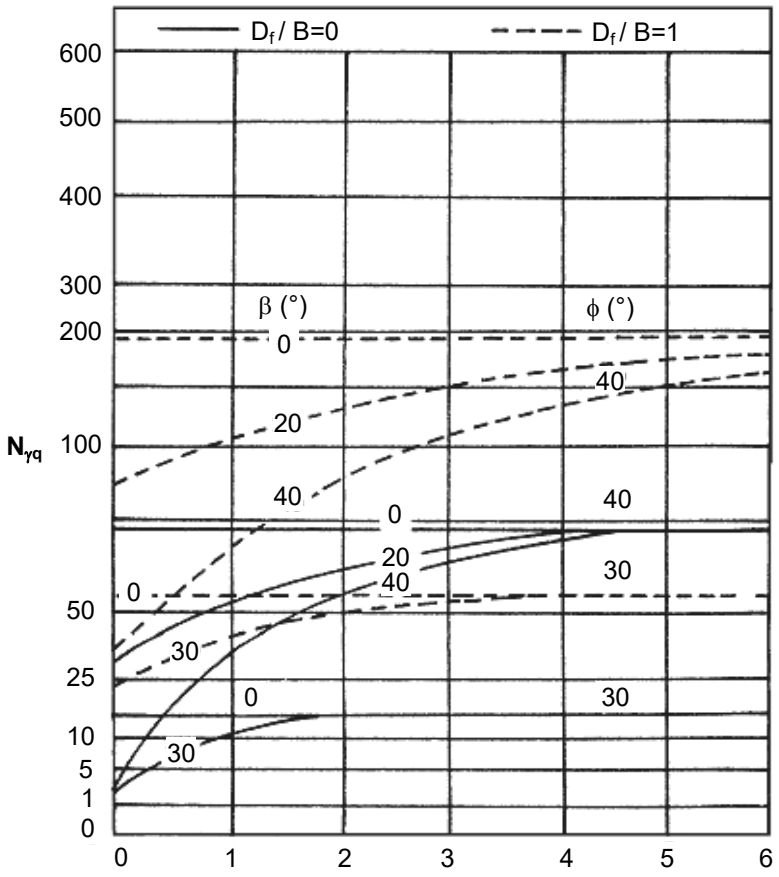


Şekil 2.9. Şev üzerine oturan sürekli temellerde $N_{\gamma q}$ değerleri (Das, 1999)



Şekil 2.10. Şev yakınına oturan sürekli temel (Das, 1999)

Şekil 2.11'de ise, temelin şev tepesinden uzaklığı b ve içsel sürtünme açısı ϕ değerine bağlı olarak $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörünün, Meyerhof (1957) tarafından abaklaştırılmış hali görülmektedir (Das, 1999).



Şekil 2.11. Şev yakınına oturan sürekli temellerde $N_{\gamma q}$ değerleri (Das, 1999)

Hansen (1970), temelin şev sınırına yerleştirilmesi durumunda (b=0), temelin nihai taşıma kapasitesi için

$$q_u = cN_c\lambda_{c\beta} + \gamma D_f N_q \lambda_{q\beta} + 0.5\gamma B N_\gamma \lambda_{\gamma\beta} \tag{2.11}$$

eşitliğini önermiştir. Burada,

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları

$\lambda_{c\beta}$, $\lambda_{q\beta}$, $\lambda_{\gamma\beta}$: Şev katsayılarıdır.

Hansen (1970)'e göre,

$$\lambda_{q\beta} = \lambda_{\gamma\beta} = (1 - \tan\beta)^2 \tag{2.12}$$

$$\lambda_{c\beta} = \frac{N_q \lambda_{q\beta} - 1}{N_q - 1} \quad (\phi>0 \text{ için}) \tag{2.13}$$

$$\lambda_{c\beta} = 1 - \frac{2\beta}{\pi + 2} \quad (\phi=0 \text{ için}) \tag{2.14}$$

şeklindedir.

Vesic (1975), $\phi=0$ olması durumunda, şev ağırlığının ihmal edilmesiyle, N_γ katsayısının negatif bir değer alacağını ve

$$N_\gamma = -2\sin\beta \tag{2.15}$$

eşitliğiyle bulunabileceğini göstermiştir. Buna göre $\phi=0$ durumu için, (2.11) eşitliği, (N_c=5.14, N_q=1 olmak üzere),

$$q_u = c(5.14)\left(1 - \frac{2\beta}{5.14}\right) + \gamma D_f (1 - \tan\beta)^2 - \gamma B \sin\beta (1 - \tan\beta)^2$$

veya

$$q_u = (5.14 - 2\beta)c + \gamma D_f (1 - \tan\beta)^2 - \gamma B \sin\beta (1 - \tan\beta)^2 \tag{2.16}$$

halini alacaktır.

Graham ve ark. (1988), kumlu şevlere oturan sürekli temellerde, $N_{\gamma q}$ taşıma gücü katsayısının elde edilebilmesi için, gerilme karakteristikleri metodunu kullanarak bir çözüm geliştirmişlerdir. Analizlerde kabul edilen temel derinliği (D_f/B) ve temel konumu (b/B) için zemin içerisindeki göçme bölgesi Şekil 2.12'de, gerilme karakteristikleri metoduyla elde edilen $N_{\gamma q}$ değerleri ise, Şekil 2.13 ve 2.14'te görülmektedir.

Saran ve ark. (1989), limit denge ve limit analiz yaklaşımını kullanarak, şeve oturan yüzeysel temellerin nihai taşıma kapasitesini veren bir çözüm elde etmişlerdir. Bu çözüme göre, şerit temelin nihai taşıma kapasitesi,

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma \tag{2.17}$$

eşitliğiyle hesaplanmaktadır. N_c, N_q ve N_γ taşıma gücü katsayılarının sayısal değerleri Çizelge 2.3'te görülmektedir.

Gemperline (1988) tarafından, kumlu şevlere oturan sürekli temellerin taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla santrifüj deney sonuçlarına dayanılarak, Shields ve ark. (1990), $N_{\gamma q}$ taşıma gücü katsayısı için,

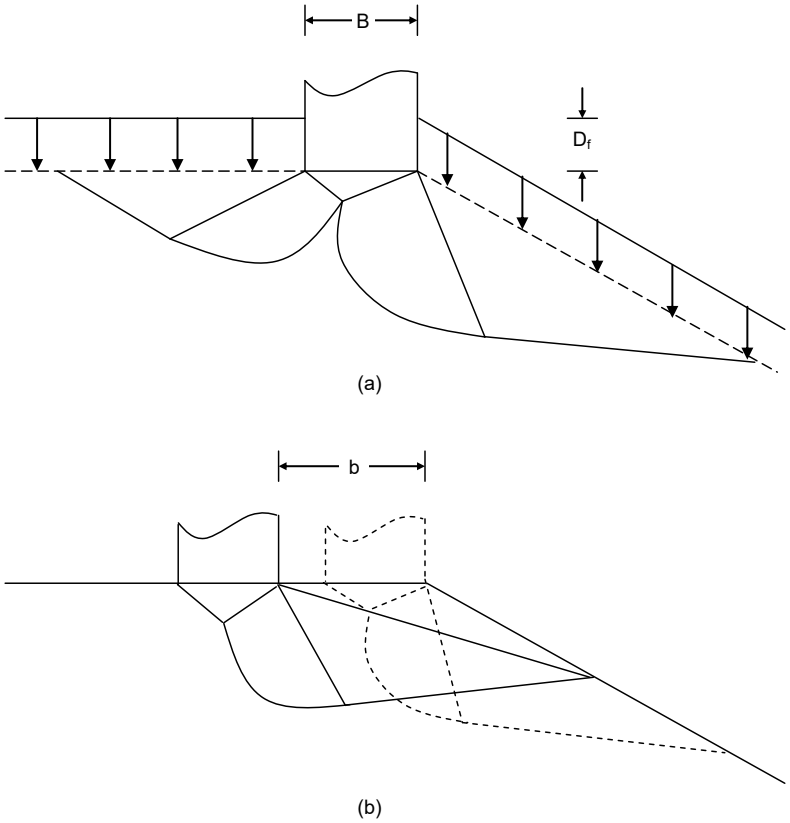
$$\frac{N_{\gamma q}}{N_{\gamma qR}} = \left[1 + 0.65\left(\frac{D_f}{B}\right)\right]\left\{1 - 0.8\ \left[1 - (1 - \tan\beta)^2\right]\left[\frac{2}{2 + \left(\frac{b}{B}\right)^2 \tan\beta}\right]\right\}$$

$$\times\left\{1 - 0.33\left(\frac{D_f}{B}\right)\tan\beta\left[\frac{2}{2 + \left(\frac{b}{B}\right)^2 \tan\beta}\right]\right\} \tag{2.18}$$

eşitliğini önermişlerdir. Burada,

$N_{\gamma qR}$: yatay zemin yüzeyine oturan referans sürekli temel için $N_{\gamma q}$ değeridir.

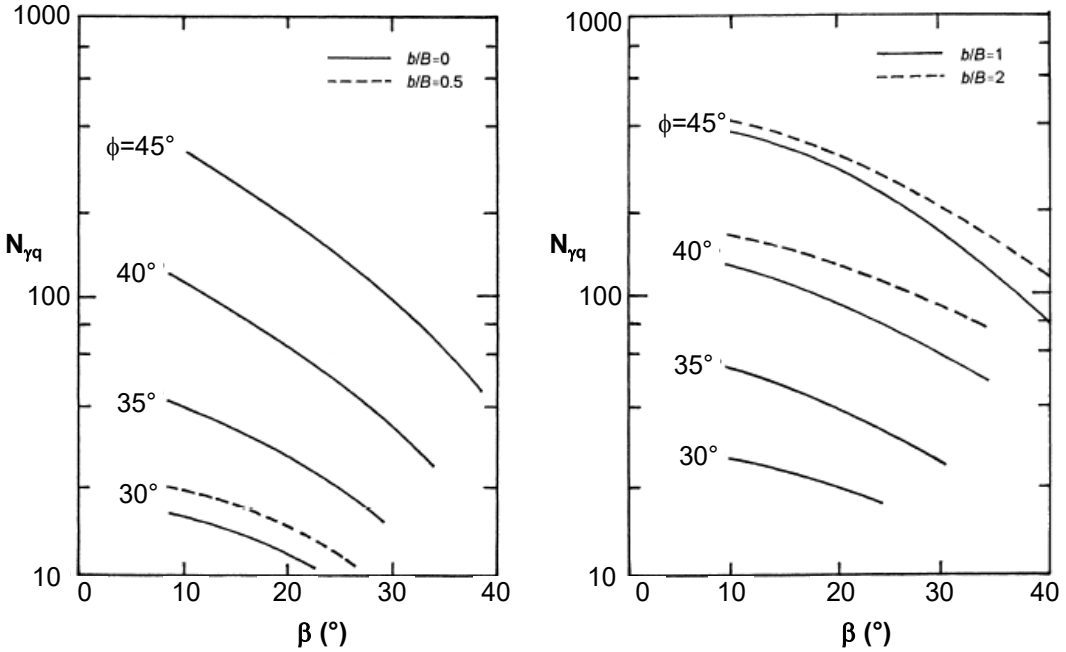
$$N_{\gamma qR} = (10^{0.116\ \phi - 2.386})(10^{0.340 - 0.200 \log B}) \tag{2.19}$$



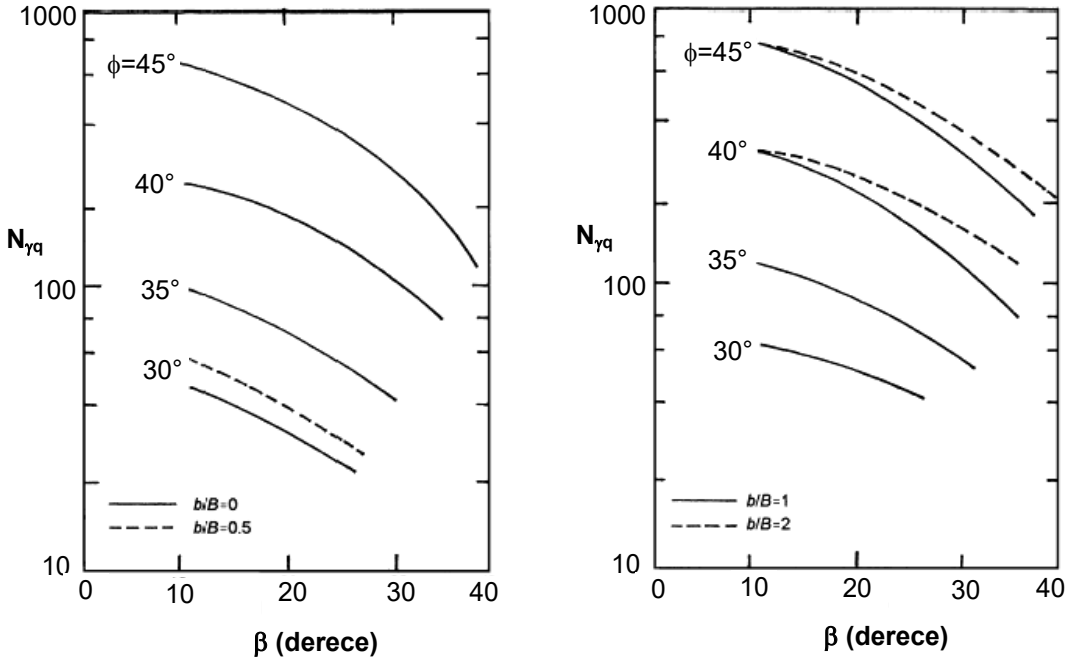
Şekil 2.12. Temel derinliği ve konumuna göre göçme bölgesi
(a) Df /B>0 (b) b/B>0

Çizelge 2.3. Saran ve ark. (1989) analizine göre taşıma gücü katsayıları

	β (°)	$\frac{D_f}{B}$	$\frac{b}{B}$	İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)						
				40	**35**	**30**	**25**	**20**	**15**	**10**
N_γ	30	0	0	25.37	12.41	6.14	3.20	1.26	0.70	0.10
	20			53.48	24.54	11.62	5.61	4.27	1.79	0.45
	10			101.74	43.35	19.65	9.19	4.35	1.96	0.77
	0			165.39	66.59	28.98	13.12	6.05	2.74	1.14
	30	0	1	60.06	34.03	18.95	10.33	5.45	0.00	
	20			85.98	42.49	21.93	11.42	5.89	1.35	
	10			125.32	55.15	25.86	12.26	6.05	2.74	
	0			165.39	66.59	28.89	13.12	6.05	2.74	
	30	1	0	91.87	49.43	26.39				
	25			115.65	59.12	28.80				
	20			143.77	66.00	28.89				
	≤15			165.39	66.59	28.89				
	30	1	1	131.34	64.37	28.89				
	25			151.37	66.59	28.89				
	≤20			166.39	66.59	28.89				
N_q	30	1	0	12.13	16.42	8.98	7.04	5.00	3.60	
	20			12.67	19.48	16.80	12.70	7.40	4.40	
	≤10			81.30	41.40	22.50	12.70	7.40	4.40	
	30	1	1	28.31	24.14	22.50				
	20			42.25	41.40	22.50				
	≤10			81.30	41.40	22.50				
N_c	50	0	0	21.68	16.52	12.60	10.00	8.60	7.10	5.50
	40			31.80	22.44	16.64	12.80	10.04	8.00	6.25
	30			44.80	28.72	22.00	16.20	12.20	8.60	6.70
	20			63.20	41.20	28.32	20.60	15.00	11.30	8.76
	≤10			88.96	55.36	36.50	24.72	17.36	12.61	9.44
	50	0	1	38.80	30.40	24.20	19.70	16.42		
	40			48.00	35.40	27.42	21.52	17.28		
	30			59.64	41.07	30.92	23.60	17.36		
	20			75.12	50.00	35.16	27.72	17.36		
	≤10			95.20	57.25	36.69	24.72	17.36		
	50	1	0	35.97	28.11	22.38	18.38	15.66	10.00	
	40			51.16	37.95	29.42	22.75	17.32	12.16	
	30			70.59	50.37	36.20	24.72	17.36	12.16	
	20			93.79	57.20	36.20	24.72	17.36	12.16	
	≤10			95.20	57.20	36.20	24.72	17.36	12.16	
	50	1	1	53.65	42.47	35.00	24.72			
	40			67.98	51.61	36.69	24.72			
	30			85.38	57.25	36.69	24.72			
	≤20			95.20	57.25	36.69	24.72			



Şekil 2.13. Teorik $N_{\gamma q}$ değerleri (D_f/ B=0) (Graham ve ark., 1988)



Şekil 2.14. Teorik $N_{\gamma q}$ değerleri (D_f/ B=1) (Graham ve ark., 1988)

2.5 Deneysel Çalışmalar

Şeve yakın oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ile ilgili deneysel çalışmalar oldukça sınırlı sayıda olup, Shields ve ark. (1977) tarafından, gerçekleştirilen deneysel çalışma ilk çalışmalardan biri olarak kabul edilmektedir. Çalışmada, deneyler 15m uzunluğunda, 2m genişliğinde ve 2.2m yüksekliğinde bir kasa içerisinde, 2yatay:1düşey eğimli kumlu bir şev üzerinde ve iki farklı sıkılıkta gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, şev tepesine yerleştirilen 0.3m genişlikte ve 2m uzunluktaki şerit temel şevli zeminde göçme oluşuncaya kadar yüklenmiştir. Elde edilen nihai taşıma kapasitesi, q_u, değerleri kaydedilmiş ve taşıma gücü faktörü değerleri, Meyerhof (1957) denklemine göre hesaplanmıştır. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, Meyerhof (1957) sonuçlarının, deneysel sonuçlardan daha büyük değerler vermesine rağmen, yüzeye yakın derinliklerde deneysel sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmüştür.

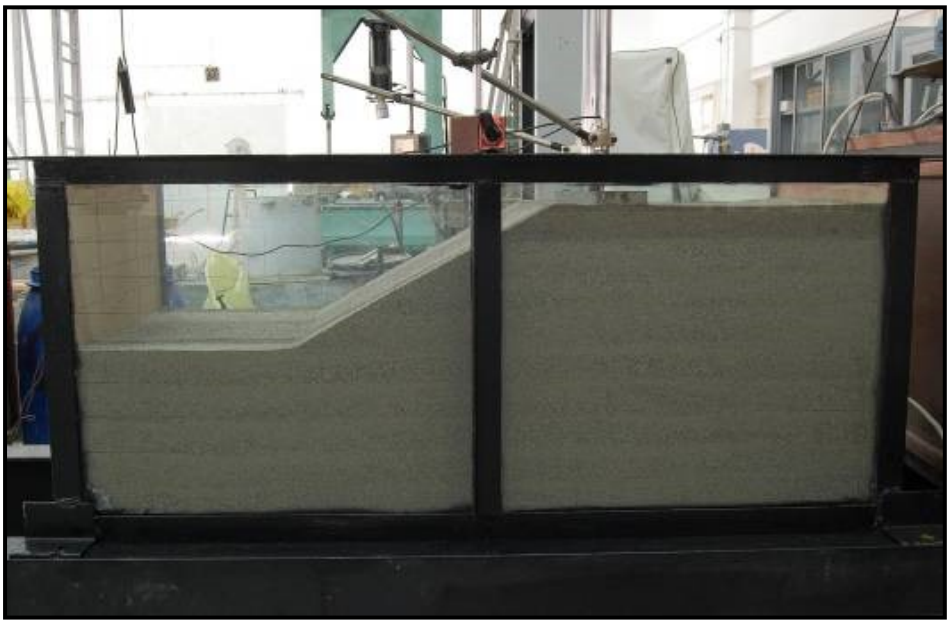
Gemperline (1988) tarafından kumlu bir şeve oturan temelin nihai taşıma kapasitesini araştırmak amacıyla santrifüj düzeneği kullanılarak deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneyler, 2yatay:1düşey ve 1.5yatay:1düşey şev eğimlerinde, farklı sıkılıklarda, değişik D_f/B (temel derinliği/temel genişliği) ve B/L (temel genişliği/temel uzunluğu) değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, deneysel sonuçlara dayanılarak ampirik bir formül geliştirilmiştir.

Garnier ve ark. (1994), şeve oturan şerit temelde, şev etkisinden dolayı taşıma kapasitesinde meydana gelen azalmayı belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada, 1yatay:1.5düşey, 1yatay:2düşey ve 1yatay:3düşey olmak üzere üç farklı şev eğiminde, kayma mukavemeti açısı ϕ=40.5° olan bir kum zemine oturan şerit temelin taşıma kapasitesi, model deneyler yapılarak incelenmiştir. Deneylerde kullanılan model temelin genişliği 0.9m'dir. Çalışmada, şerit temelin, şev tepesine değişik mesafelerde yerleştirilmesi durumunda taşıma kapasitesi davranışı incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, şerit temelin şev tepesine olan uzaklığının, b, temel genişliğine, B, oranının (b/B) 6'dan büyük olması durumunda, taşıma kapasitesi üzerinde şev etkisinin olmadığı, ayrıca şev açısının artmasıyla taşıma kapasitesinin azaldığı görülmüştür.

Şevli zeminlere oturan temellerin taşıma gücünün geosentetik malzemelerle güçlendirilmesi ile ilgili de birtakım çalışmalar yapılmıştır (Selvedurai ve Granendran,

1989; Huang ve Tatsuoka, 1994; Keskin vd., 2007; Laman vd., 2007; Sawwaf, 2007; Alamshahi ve Hataf , 2009).

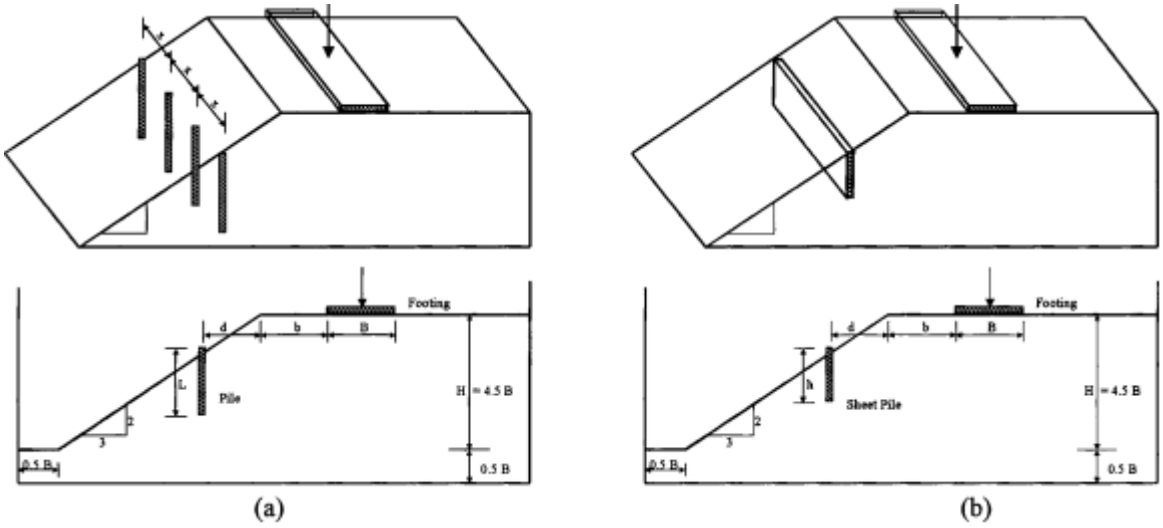
Keskin ve Laman (2013), kum şev yakınına oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, temelin şev tepesine olan uzaklığı, şev açısı, kumun sıkılık derecesi ve temel genişliği parametrelerinin şerit temelin taşıma kapasitesi davranışına olan etkisi model deneylerle araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar, iç ölçüleri 1140mm × 475mm × 500mm (uzunluk × genişlik × yükseklik) olan dikdörtgen kesitli kasa içerisinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.15). Deneysel çalışmada, şerit temel tipi esas alınmış ve model temel olarak, 465mm uzunluğunda, 20mm kalınlığında ve 70mm ile 50mm genişliklerinde rijit çelik plakalar kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, temelin şev tepesine, temel genişliğinin 3 katı kadar uzaklığa yerleştirilmesi durumunda taşıma kapasitesi, şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık % 70'ine karşılık geldiği, temelin şev tepesine olan uzaklığın, temel genişliğinin 5 katı olması durumunda ise şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin % 95'ine ulaştığı ve şev etkisinin büyük oranda ortadan kalktığı belirlenmiştir.



Şekil 2.15. Deney düzeneği (Keskin ve Laman, 2013)

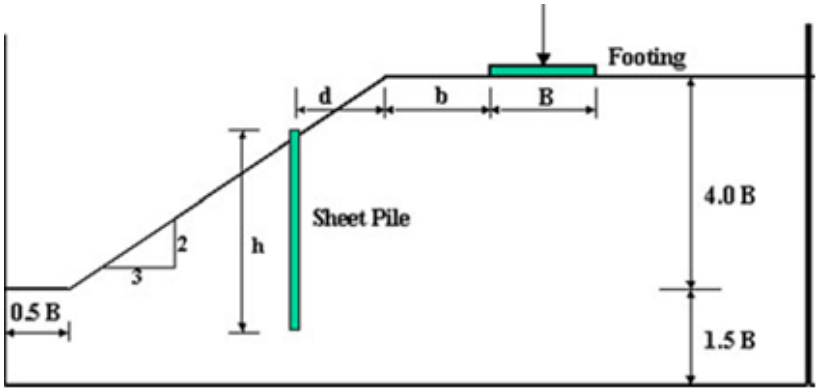
Kazıklarla güçlendirilmiş şevler konusunda önceki çalışmaların birçoğunda, sadece şev stabilitesi göz önüne alınmış, şev yakınına oturan temellerin taşıma kapasitesi ile ilgili sınırlı sayıda çalışmanın gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu konuda El Sawwaf tarafından 2005 ve 2009 yıllarında kazık grupları ve kazık perdesi ile güçlendirilmiş şevlere oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi ile ilgili deneysel ve nümerik birtakım çalışmalar gerçekleştirmiştir.

El Sawwaf (2005) tarafından yapılan deneysel çalışmada tekil kazık sırası ve kazık perdesi ile güçlendirilmiş şevli yüzeye sahip orta sıkı kum bir zeminde şerit temelin davranışını incelemiş ve her iki durum için elde edilen taşıma kapasitesi değerleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada, kazık çapı, kazıklar arası mesafesi, kazık sırasının konumu, kazık perdesinin yüksekliği ve şerit temelin şev tepesine göre konumu gibi parametrelerin temelin taşıma kapasitesine olan etkileri incelenmiştir (Şekil 2.16). Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kazık perdesi ya da kazık sırası kullanımının yüzeysel temelin taşıma kapasitesinde önemli bir artış sağladığı görülmüştür. Taşıma kapasitesinin, kazıklar arası mesafenin azalmasına ve kazık uzunluğunun artmasına bağlı olarak önemli miktarda arttığı, kazık çapındaki artışın ise taşıma kapasitesine etkisinin görece olarak daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, kazık perdesi kullanımının tekil kazık sırası ile yapılan güçlendirmeye oranla daha etkili sonuç verdiği görülmüştür.

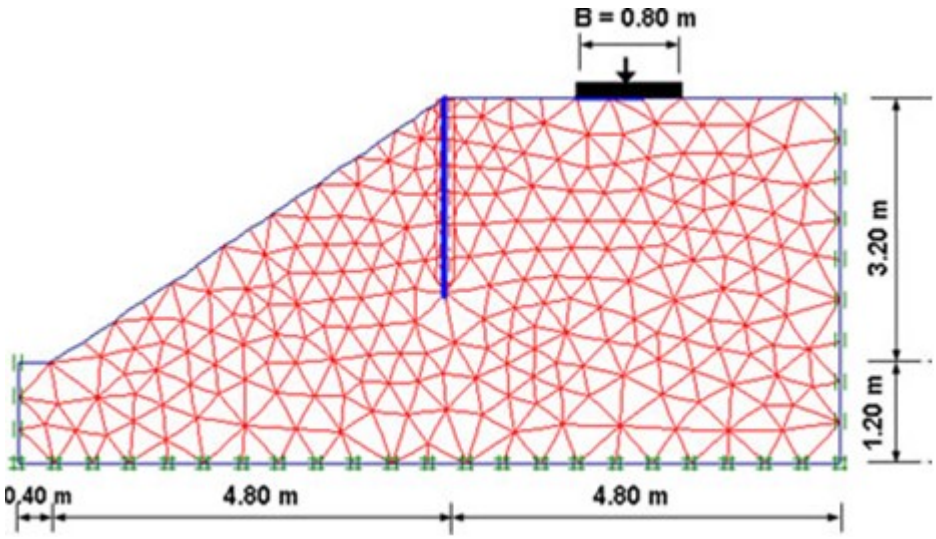


Şekil 2.16. Deney düzeneği (Sawwaf, 2005)

El Sawwaf (2009) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise, kazık perdesi ile güçlendirilmiş bir şevde şerit temelin taşıma kapasitesi ve oturma davranışı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir (Şekil 2.17 ve Şekil 2.18). Kazık perdesine ait yükseklik, rijitlik, konum gibi parametrelerin etkilerinin değerlendirildiği bu çalışmada farklı sıkılıkta kum zeminler kullanılmıştır. Ayrıca, deneysel çalışmadaki modelin prototipi üzerinde sonlu elemanlar yöntemi ile sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, şevde kazık perdesi kullanımının, şevin stabilitesini ve şerit temelin taşıma gücünü arttırdığını göstermiştir.



Şekil 2.17. Deney düzeneği (Sawwaf, 2009)



Şekil 2.18. Model şev geometrisi (Sawwaf, 2009)

Çalışmanın sonuçları, şevde kazık perdesi ile güçlendirme uygulamasının şerit temelin taşıma kapasitesinde önemli bir artış sağladığını göstermiştir. En iyi etkinin kazık perdesinin konumu ve rijitliği ile sağlanabileceği bildirilmiştir. Kazık perdesinin

yüksekliği, yani gömülü derinliğinin artmasına bağlı olarak şevde stabilitenin ve temelin taşıma kapasitesinin arttığı görülmüş ve optimum kazık boyunun, temel genişliğinin en az 3 katı olması gerektiği önerilmiştir.

Kazık perdesinin şev tepesine yakın olduğu durumlarda iyileştirme etkisinin daha fazla olduğu ve şev tepesinden temel genişliğinin 2.5 katı kadar uzaklaşınca bu etkinin ihmal edilebilecek düzeye düştüğü bildirilmiştir. Davranış ve değerler incelendiğinde deneysel ve nümerik çalışma arasında genel bir uyum gözlendiği ancak taşıma kapasitesi artış oranlarının deneysel analizlerde sonlu elemanlara göre daha yüksek değerler verdiği görülmüştür.

3. MATERYAL VE METOD

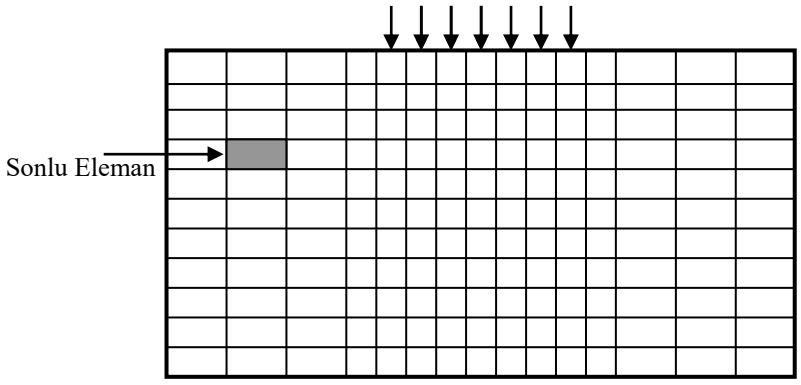
Bu bölümde, sonlu elemanlar yöntemi ve geoteknik mühendisliği alanında kullanımı hakkında bilgiler sunulmuştur. Bu yöntemle çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kısaca tanıtılmış ve çalışmada kullanılan geometrik model ile malzeme özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

3.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Zemin davranışı geliştirilen çeşitli teorik ve ampirik yöntemlerle incelenebilmektedir. Bu yöntemlerin birçoğunda zeminin karmaşık yapısı ve farklı etkenlere bağlı davranış özellikleri nedeniyle, lineer-elastik ve homojen bir ortam gibi düşünülerek basitleştirici bazı kabuller ile çözüme gidilmektedir. Bu durum, pratikte genellikle yaklaşık sonuçlar verse de gerçekte zeminlerin heterojen yapısı, anizotropi, lineer olmayan, zamana ve ortama bağlı davranış gibi faktörler kesin çözümlere ulaşılmasını zorlaştırmaktadır.

Bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme, diğer mühendislik problemlerinde olduğu gibi, geoteknik problemlerin sayısal yöntemlerle kısa sürede çözümünü olanaklı hale getirmiştir. Bu yöntemlerde, diferansiyel denklemlerle ifade edilen sürekli fiziki sitemlerin davranışı sayısal yöntemlerle analiz edilmektedir. Geliştirilen bu sayısal yöntemlerden en etkili ve sistematik olanı Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) olarak ortaya çıkmaktadır (Keskin, 2009).

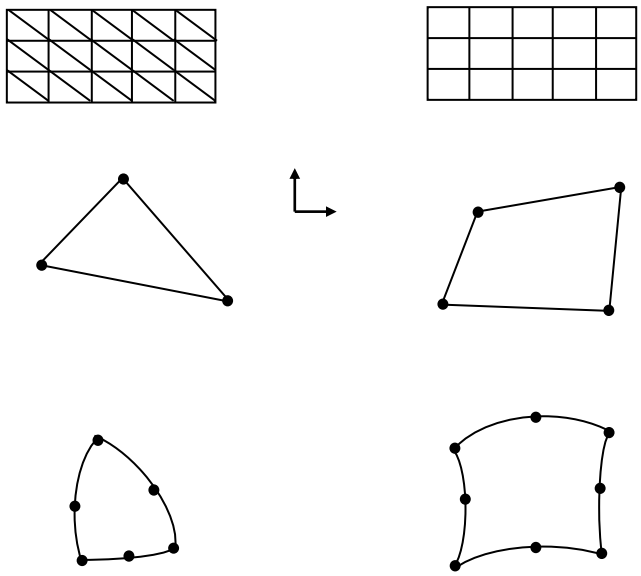
Sonlu elemanlar yöntemi, matematiksel ifadelerle tanımlanan sürekli sistemlerin genel çözüm yöntemi olarak tarif edilmektedir. Sürekli bir sistem, kendi içinde sonlu sayıda bileşen veya elemanlardan ve bu elemanları birleştiren düğüm noktalarından oluşan ayrık bir sistem olarak modellenebilmektedir (Şekil 3.1). Yani sistem sonlu elemanlara bölünerek, denklemler bir eleman için yazılmakta ve integre edilerek sistem denklemleri elde edilmektedir. Sonuç olarak sürekli bir ortam için göz önüne alınan diferansiyel denklem lineer bir denklem takımına indirgenmektedir.



Şekil 3.1. Sürekli bir sistemin sonlu elemanlara ayrılması

Sonlu elemanlar yönteminde, öncelikle çözüm bölgesi, eleman adı verilen alt bölgelere ayrıklaştırılmakta ve bu elemanlarla oluşturulan sistem eşdeğer sonlu elemanlar ağına dönüştürülmektedir. Elemanlar bir, iki veya üç boyutlu seçilebilmektedir. Eleman tipi seçilirken, gerekli serbestlik derecesi dikkate alınarak eğri yüzeyler için eğrisel elemanlar seçilmektedir. İki boyutlu çözümlerde, sonlu elemanlar genellikle üçgen veya dörtgen şeklinde oluşturulur (Şekil 3.2). Bu elemanlar "node" adı verilen düğüm noktaları yardımıyla birbiriyle ilişkilendirilmektedir. Düz yüzeyli elemanlarda düğüm noktaları genellikle eleman köşelerine yerleştirilmekteyken eğrisel yüzeylere sahip elemanlarda ise her yüzeyin orta noktalarına da düğümler eklenebilmektedir.

Oluşturulan ağ modelindeki her eleman kendisine komşu olan diğer elemanlara gerçekte sonsuz sayıda nokta ile bağlı olmasına rağmen sonlu elemanlar yönteminde sadece düğüm noktaları vasıtasıyla bağlı olduğu varsayılır ve deplasman koşulu sadece bu noktalarda incelenmektedir.



Şekil 3.2. Tipik 2 boyutlu sonlu elemanlar

Sonraki adımda, bilinmeyenlerin ortamda dağılımını veren bir şekil fonksiyonu seçilmekte ve böylelikle eleman düğüm noktalarıyla, bilinmeyen büyüklüğün (deplasman vb.) dağılım şeklini tanımlamak üzere matematiksel bir fonksiyon yazılabilmektedir. Geoteknik mühendisliğinde problemlerin çoğu, deplasman yöntemiyle analiz edilmekte ve şekil fonksiyonu belirlenirken, polinomlar veya seriler kullanılmaktadır:

$$\{\delta\} = [N]\ \{d\}_e \tag{3.1}$$

Bu formülde, $\{\delta\}$ elemanın herhangi bir noktasındaki deplasman bileşenlerini, [N] şekil fonksiyonunu, $\{d\}_e$ ise, elemanın düğüm noktasındaki deplasmanlarını ifade etmektedir. Elemandaki şekil değiştirmeler, düğüm noktası deplasmanları cinsinden,

$$\{\varepsilon\} = [B]\ \{d\}_e \tag{3.2}$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada [B], eleman şekil değiştirme matrisidir. Gerilmeler ise, elastisite matrisi [D] kullanılıp, şekil değiştirmelerle ilişkilendirilerek,

$$\{\sigma\} = [D]\ \{\varepsilon\} \tag{3.3}$$

şeklinde yazılabilir.

Devamında uygun bir varyasyon (enerjinin minimum olması prensibi vb.) kullanılarak her bir düğüm noktasındaki değerler için bir denklem takımı elde edilir:

$$\{f\} = [k]\ \{d\}_e \tag{3.4}$$

Denklemde,

{f} : eleman yük vektörü

[k] : eleman rijitlik matrisidir.

Her sonlu eleman için ayrı ayrı bulunan (3.4) denklemleri uygun şekilde birleştirilerek bütün sisteme ait matematiksel denklem takımı elde edilir.

$$\{F\} = [K]\ \{d\} \tag{3.5}$$

Burada,

{F} : sistem yük vektörü

[K] : sistem rijitlik matrisi

{d} : sistem deplasman vektörü değerlerini göstermektedir. Bu sisteme sınır koşulları dahil edilerek, indirgenmiş sistem elde edilmeye çalışılır.

3.2 Geoteknik Mühendisliği ve Sonlu Elemanlar Yöntemi

Lineer-elastik ortama kolaylıkla uygulanabilmekte olan bu yöntemin geoteknik mühendisliği problemlerinde uygulanması bazı sınırlandırmalar gerektirmektedir. Yöntemde malzeme davranışı, toplam gerilme ve şekil değiştirme arasındaki değişimlerle ilişkilendirilerek formülize edilirken, geoteknik problemlerinde toplam gerilme tensörü, efektif gerilmeler ve boşluk suyu basınçlarına ayrılmakta ve malzeme davranışı genellikle efektif gerilmeler cinsinden ifade edilmektedir. Geoteknik problemlerin birçoğunda yapı ile zemin etkileşim içerisinde olduğundan, bu

problemlerin analizinde, yapı ile zemin arasında ara yüzey (interface) kullanılması fayda sağlamaktadır. Ayrıca, lineer-elastik teoriden farklı olarak, doğru bir çözüm elde etmek için daha geniş bir aralıkta sınır koşullarına ihtiyaç duyulmaktadır. Sonuç olarak, sonlu elemanlar yönteminin geoteknik mühendisliğinde gerçekçi bir biçimde uygulanabilmesi için bazı değişiklikler yapmak zorunlu olmaktadır (Potts ve Zdravković, 1999).

Geoteknik mühendisliği uygulamalarında, sonlu elemanlar analizi, gerçek durumumu doğru modelleyebilmek amacıyla adım adım (aşamalı yükleme, aşamalı kazı vb.) yapılmaktadır. Analizin adımlar halinde gerçekleştirilebilmesi şu açıdan gereklidir:

- Analizlerde dolgu yerleştirilmesi veya kaldırılması durumunda, geometri her bir adımda değişmekte olduğundan geometrideki değişim sonlu elemanlar ağına eleman ekleyerek veya kaldırarak modellenebilmektedir.

- Analizlerde zemin kütlesi içinde gerilmelerin değişimi sonucu her bir yükleme kademesinde zemin özellikleri değişmektedir.

Geoteknik mühendisliği problemlerinde sonlu elemanlar analizleri sonucunda gerilmeler, yanal ve düşey hareketler, boşluk suyu basınçları ve zemin suyu akışı vb. parametreler belirlenmektedir. Zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışı non-lineer olduğundan analizlerde bu davranışın modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapımdan önceki başlangıç gerilme durumu, zeminin non-lineer gerilme şekil değiştirme ve mukavemet özellikleri ile yükleme aşamaları arasındaki bekleme süreleri analizlerde gerçek duruma yakın olarak belirlenmelidir (Kılıç, 2000).

3.3 PLAXIS Programı

PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), değişik geoteknik problemleri için, sonlu elemanlar yöntemiyle, deformasyon ve stabilite analizleri gerçekleştirebilen bir bilgisayar programıdır. Program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan, zemin-yapı etkileşimi, gerilme–şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilmekte ve pratikte uygulanabilir sonuçlar vermektedir.

Çalışmada, PLAXIS 8.2 versiyonu kullanılmıştır. Versiyon, geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmiştir. Problemler 2 boyutlu olarak eksenel simetrik veya düzlem şekil değiştirme geometri koşullarında statik ve dinamik olarak analiz edilmektedir. Programda, malzemenin gerilme-deformasyon davranışı lineer olmayan çözüm teknikleri ile modellenmektedir. PLAXIS, çok yönlü ve karmaşık bir yapı arz eden geoteknik uygulamaların analizi için önemli özelliklerle donatılmış bir programdır.

3.4 Sayısal Analiz

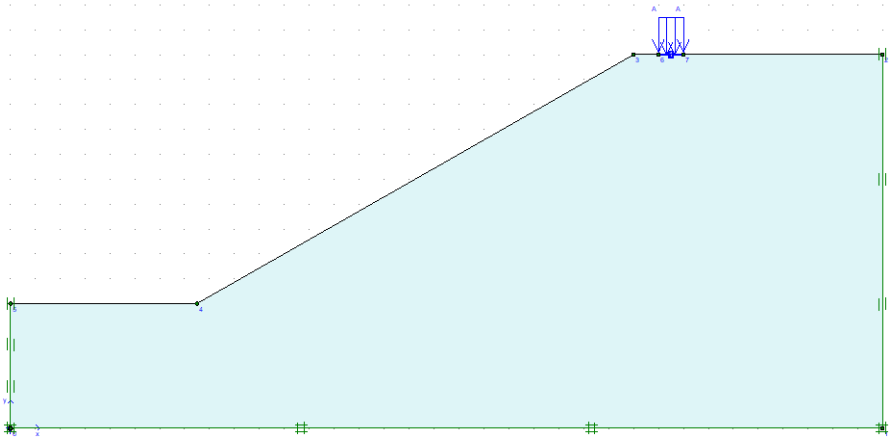
PLAXIS programı yardımıyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilecek olan analizler için öncelikle kazıksız şev durumu ve kazıklı şev durumu programda modellenmiş, sınır koşulları belirlenmiş ve malzeme özellikleri seçilmiştir.

3.4.1 Geometrik Model

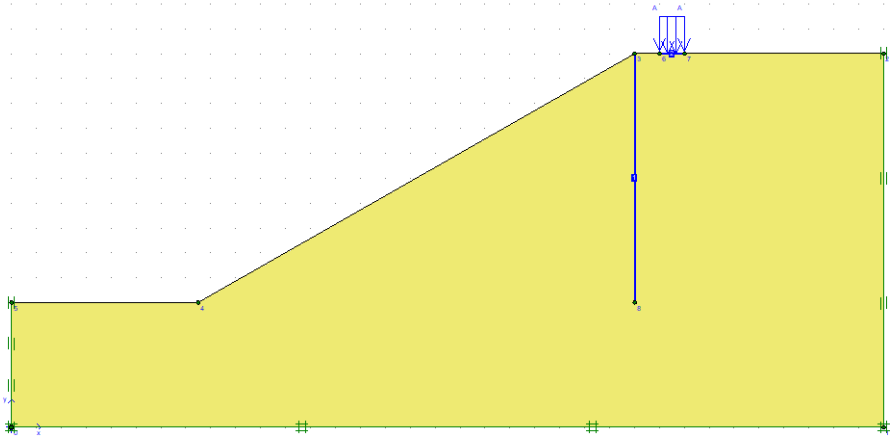
PLAXIS bilgisayar programında geometrik model, iki boyutlu ve şev özelliklerini yansıtacak biçimde, düzlem şekil değiştirme koşullarında oluşturulmuştur. Belirlenen modelde zemin ortamı, hassas sonuçlar elde edebilmek için 15 düğüm noktalı üçgen eleman seçilmiştir. Gerçek arazi ölçülerine uygun çözüm yapabilmek için geometrik modelin genişliği 35 m ve yüksekliği 15 m olarak belirlenmiştir. Farklı şev açıları için analiz yapılması gerektiğinde geometride şev tepesi sabit tutulmuş, şev topuğu düğüm noktası değiştirilmiştir. Şekil 3.3'de, oluşturulan model geometrisi yer almaktadır.

3.4.2 Sınır Koşulları

Sınır koşulları olarak, PLAXIS'te mevcut standart sınır koşulları uygulanmıştır. Standart sınır koşullarına göre, geometrik modelin tabanında düşey ve yatay deplasmanlar engellenmekte (u_x=0, u_y=0) olup, geometrik modelin düşey kenarlarında ise, yatayda hareket engellenmekteyken düşey harekete izin verilmektedir (u_x=0, u_y=serbest). Bu sınır koşulları geoteknik problemlerin birçoğunda bu şekilde kabul edilmektedir.



(a) Kazıksız durum



(b) Kazıklı durum

Şekil 3.3. Geometrik modelin oluşturulması

3.4.3 Malzeme Özellikleri

3.4.3.1 Model Zemin

Analizler için Mohr-Coulomb (MC) modeli seçilmiştir. MC elasto-plastik zemin modelidir. Programda, giriş verileri olarak, elastisite modülü (E), Poisson oranı (ν), kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) girilmesi gerekmektedir. Bu modelde, hesaplamaların hızlı ve kısa zamanda yapılabilmektedir.

Analizlerde kullanılan kum zeminlerin MC model parametreleri Çizelge 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Model zemin için MC parametreleri

Zemin Parametreleri	Simge	Birim	Gevşek Kum	Orta Sıkı	Sıkı Kum
Birim hacim ağırlığı	γ_n	kN/m³	16.5	17	17.5
Yükleme Rijitliği	E	kN/m²	20000	28000	40000
Kohezyon	c	kN/m²	0.10	0.10	0.10
Kayma mukavemeti açısı	ϕ	(°)	40.6	41.8	43.5
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	10.6	11.8	13.5
Poisson oranı	ν	-	0.25	0.25	0.25

3.4.3.2 Model Temel

Analizlerde kullanılan yüzeysel temel, kiriş eleman ile modellenmiştir. Kiriş elemanın malzeme özellikleri, EI=4.16x10^6 kNm²/m ve EA=2x10^8 kN/m'dir. Kiriş eleman üniform olarak yüklenmiş, yüksekliği t=0.5 m ve genişlikleri B=1 m - 1.25 m - 1.5 m olarak analiz edilmiştir.

3.4.3.3 Model Kazık

Analizlerde betonarme kazık/kazık perdesi kiriş elemanlar ile modellenmiştir. Kullanılan 1m en kesitli kiriş elemanın malzeme özellikleri, EI=1.67x10^6 kNm²/m ve EA=2x10^8 kN/m'dir. Kazığın farklı kesit ve boyları için analizler gerçekleştirilmiştir.

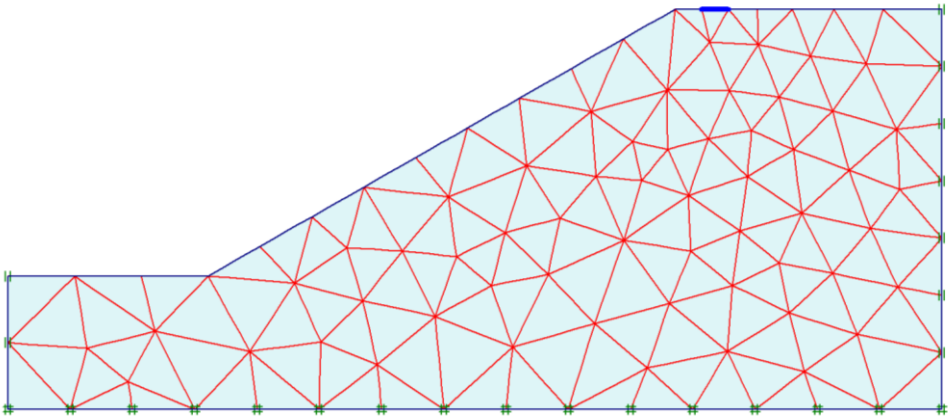
3.4.3.4 Ara Yüzey Elemanlar

Kazık ile zemin arasındaki etkileşimi modellemek için ara yüzey elemanları bazı analizde kullanılmıştır. Ara yüzey elemanı için mukavemet azaltma faktörü, R_{inter}=0.80 olarak seçilmiştir.

3.4.4 Sonlu Elemanlar Ağı

PLAXIS'de sonlu elemanlara ayırma işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmekte olup istenilen bölgelerde ağ sıkılaştırılması yapılabilmektedir. Keskin (2009) tarafından

gerçekleştirilen çalışmada, çok kaba mesh kullanılması durumunda q_u değeri, çok ince mesh kullanılması durumuna göre yaklaşık %40 daha büyük çıkmakta olduğu ve mesh etkisinin, orta, ince ve çok ince mesh durumlarında oldukça azaldığı tespit edilmiştir. Bu bağlamda taşıma gücü üzerindeki etki ve ortalama çözüm süresi dikkate alınarak sonlu elemanlar ağı orta (medium) mesh seçeneğiyle oluşturulmuştur. Şekil 3.4'de kullanılan geometride sınır koşulları ve sonlu elemanlar ağı görülmektedir.



Şekil 3.4. Sınır koşulları ve sonlu elemanlar ağı

3.4.5 Başlangıç Gerilmelerinin Oluşturulması

Geoteknik mühendisliğinde birçok problemde başlangıç gerilmelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Zemin ağırlığından dolayı oluşan bu gerilmeler, örselenmemiş zeminin denge durumunu yansıtmaktadır. PLAXIS programında, başlangıç gerilmelerinin analizi K_0 prosedürü ve ağırlık yüklemesi (gravity loading) yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir.

Başlangıç gerilmelerinin analizinde K_0 yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, zeminin kendi ağırlığından dolayı meydana gelen düşey gerilmeler oluşturulmakta, yatay gerilmeler ise zemin basınç katsayısı K_0 değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. K_0, yatay ve düşey gerilmelerin oranı olarak tanımlanmaktadır;

$$K_0 = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \tag{3.6}$$

K_0 değeri, normal konsolide zeminlerde, Jacky tarafından önerilen içsel sürtünme açısına bağlı ampirik bir bağıntıyla hesaplanabilmektedir;

$$K_0 = 1 - \sin\phi \tag{3.7}$$

3.4.6 Hesaplamalar

Yapılan analizlerde şevde güvenlik sayısı değerleri ve temelin taşıma gücü değerleri farklı durumlar için incelenmiştir. İki aşamalı olarak gerçekleştirilen çözümlerde, ilk aşamada zemin ağırlığından dolayı başlangıç gerilmeleri oluşturulmuş, ikinci aşamada ise varsa temel, yük ve kazık aktif hale getirilerek plastik çözüm yapılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, kazıklarla güçlendirilmiş şevlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi ile oturma davranışını incelemek amacıyla sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan PLAXIS bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilen iki boyutlu analizlerin sonuçları değerlendirilmektedir.

Sayısal analizlerde, önce şev stabilite tahkiki yapılmış ve devamında kazık kullanılmadan oluşturulan modelde, temelin boyutu, konumu, şev açıları, zeminin sıkılığı parametrelerinin yüzeysel temelin taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Sonrasında geometrik model için kazık kullanılması durumunda kazığın boyu, konumu, kesiti ve yeraltı suyu seviyesi parametreleri değiştirilerek taşıma kapasitesi ve güvenlik sayılarındaki değişimler incelenmiştir.

Bu tür analizlerde, yük – oturma eğrisinden belirgin bir göçme yükü elde edilemediği durumlarda nihai taşıma kapasitesi (q_u), değerini doğru belirlemekte zor olabilmektedir. Bu bağlamda konu ile ilgili literatür incelendiğinde q_u değerinin belirlenmesi için dört ayrı yöntemin kullanıldığı görülmektedir (Lutenegger ve Adams, 1998). Bu yöntemler;

1. Sınırlandırılmış bir oturma değerine karşılık gelen yük değerinin seçilmesi (Briaud ve Jeanjean, 1994). (0.1B Yöntemi) (B=temel genişliği)
2. Oturma değerlerinde belirgin bir değişimin meydana geldiği noktaya karşılık gelen yük değerinin seçilmesi (Trautmann ve Kulhawy, 1988). (Teğet Kesiştirme Yöntemi)
3. Yük – oturma değerlerinde düzeltme yapılarak kesişim noktasına karşılık gelen yük değerinin seçilmesi (DeBeer, 1970). (Log-Log Yöntemi)
4. Yük – oturma eğrisine uygun bir model seçilerek tahmini bir asimptot değere karşılık gelen yük değerinin seçilmesi (Hiperbolik Yöntem) (Keskin, 2009).

Bu yöntemlerin her biri farklı taşıma kapasitesi değerleri verebilmektedir. Bu nedenle, taşıma kapasitesi değerlerini bulmak için bir yöntemin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, kazıksız ve kazıklı durum analizlerinde, yük – oturma eğrisinden belirgin bir göçme yükünün elde edilemediği durumlarda, diğer yöntemlere göre daha gerçekçi değerler veren 0.1B yöntemi kullanılmıştır.

4.1 Şev Stabilite Analizleri

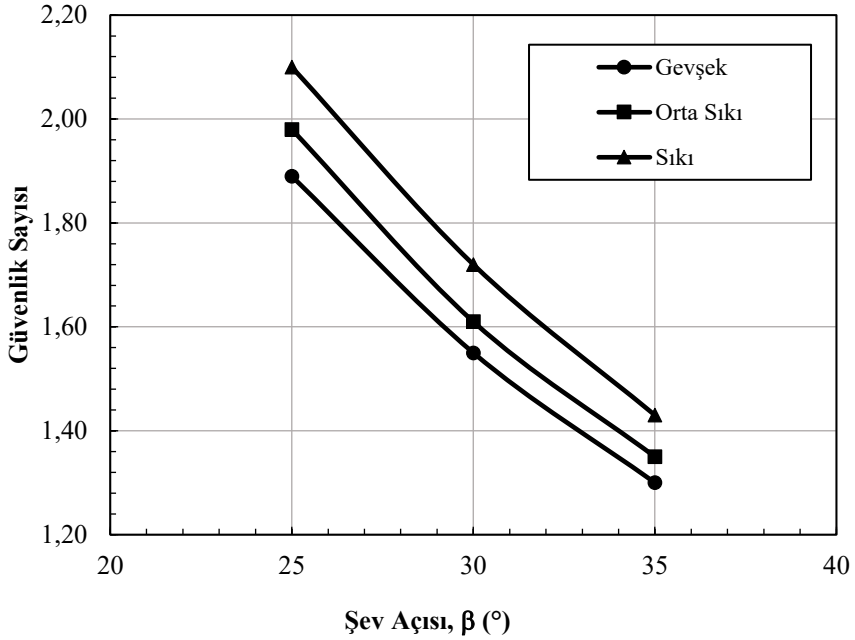
Yapılan analizlerde kullanılan şev modelinin, temel yüklenmeden, farklı şev açıları (β=25°, 30°, 35°) ve kum sıkılıkları değerleri için (ϕ=40.6°, ϕ=41.8°, ϕ=43.5°) güvenlik sayıları program yardımıyla hesaplanmıştır. Kullanılan programda şev stabilite analizleri mukavemet azaltma yöntemi (phi-c reduction) ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1'de farklı şev açıları (β=25°, 30°, 35°) ve zemin sıkılık değerleri (ϕ=40.6°, ϕ=41.8°, ϕ=43.5°) için elde edilen güvenlik sayıları görülmektedir.

Çizelge 4.1. Farklı şev durumları için güvenlik sayıları

Şev açısı, β (°)	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
25	1.89	1.98	2.10
30	1.55	1.61	1.72
35	1.30	1.35	1.43

Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, şev açısının artmasına bağlı olarak güvenlik sayılarının azaldığı, kumun sıkılık derecesinin artmasına bağlı olarak ise arttığı görülmektedir.

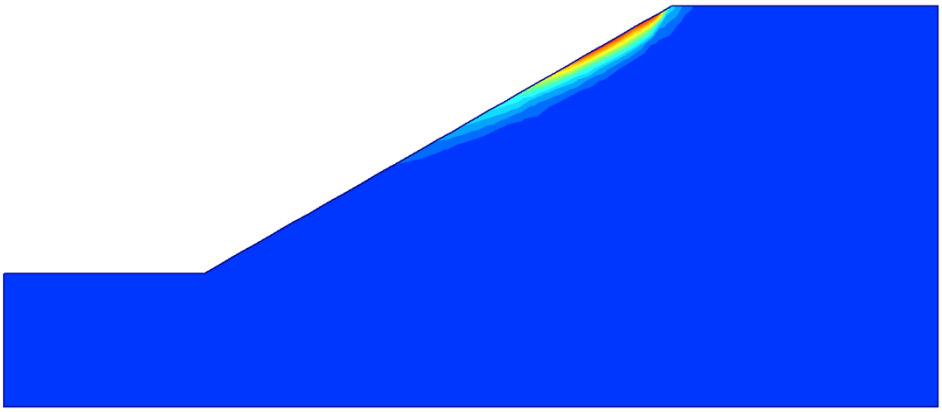
Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1'den, şev açılarındaki yaklaşık %20'lik bir artışa karşılık güvenlik sayısı değerlerinin de benzer oranda azaldığı görülmektedir. İçsel sürtünme açılarındaki %3 ve %4 artışa karşılık ise, güvenlik sayısı değerlerinin ortalama %6 arttığı görülmüştür.



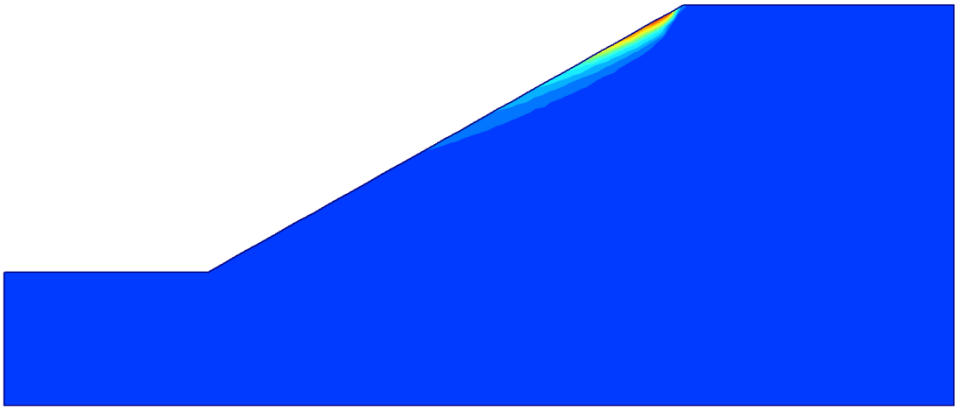
Şekil 4.1. Güvenlik sayısı – Şev açısı ilişkisi

Sıkılığın artmasına bağlı olarak oluşan göçme mekanizmaları Şekil 4.2'de, şev açısının artmasına bağlı olarak, oluşan göçme mekanizmaları ise Şekil 4.3'de görülmektedir.

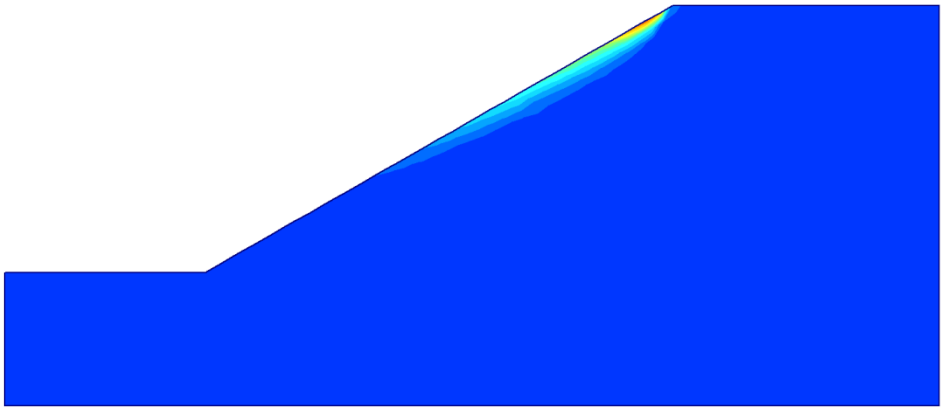
Şekil 4.2'den, sıkılık değerinin artmasıyla deplasmanların azaldığı ve gevşek durumda göçme dairesinin daha belirgin olduğu görülmektedir. Şekil 4.3'den ise, şev açısının artmasıyla deplasmanların arttığı ve şev dikleştikçe göçme dairesinin daha belirgin olduğu görülmektedir.



(a) Gevşek durum (β=30°)

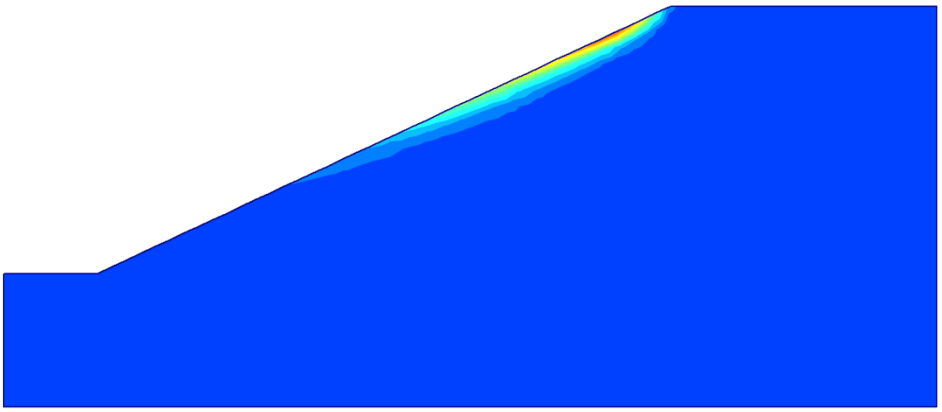


(b) Orta sıkı durum (β=30°)

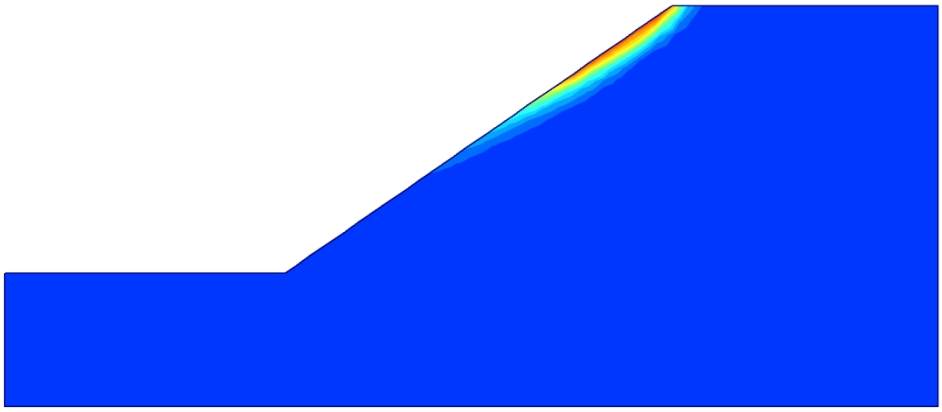


(c) Sıkı durum (β=30°)

Şekil 4.2. Sıkılık – Göçme mekanizması ilişkisi



(a) β=25° (Sıkı Durum)



(b) β=35° (Sıkı Durum)

Şekil 4.3. Şev açısı– Göçme mekanizması ilişkisi

4.2 Düz Yüzeyli (Şevsiz) Durum İçin Taşıma Kapasitesi Analizleri

Şev etkisini doğru değerlendirebilmek amacıyla, farklı sıkılık değerleri ve farklı temel genişliklerinde, öncelikle temelin düz yüzeyli (şevsiz) zemine oturduğu durum (β=0°) için analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen taşıma kapasitesi değerleri, Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4'de görülmektedir.

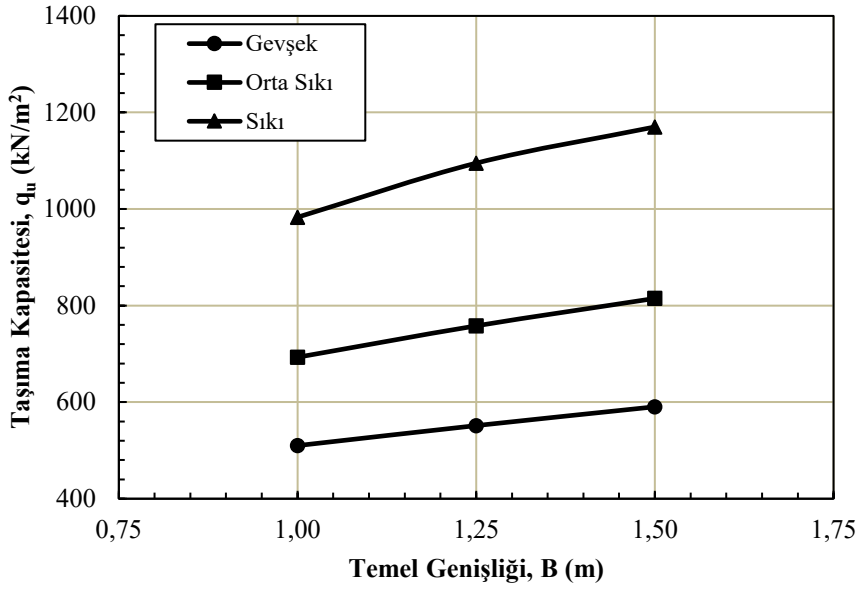
Sonuçlar incelendiğinde düz zemin yüzeyine oturan şerit temelin taşıma kapasitesinin temel genişliğinin(B) ve kumun sıkılığının(φ) artmasına bağlı olarak arttığı görülmektedir.

Temel genişliğinin yaklaşık %25 artışına karşılık, taşıma kapasitesi değerleri her üç sıkılık durumunda da ortalama %8 artmaktadır. İçsel sürtünme açılarındaki %3 ve

%4 artışa karşılık ise, taşıma kapasitesi değerlerinin her üç temel genişliğinde de yaklaşık ortalama %36 arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.2. B ve φ'ye bağlı taşıma kapasitesi değerleri (β=0°)

B (m)	Taşıma Kapasitesi (kN/m²)		
	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı
1.00	510	693	983
1.25	551	758	1095
1.50	590	815	1170



Şekil 4.4. Farklı sıkılıklarda q_u – B İlişkisi (β=0°)

4.3 Kazıksız Durum Analizleri

Bu bölümde, kum şeve oturan yüzeysel şerit temelin taşıma kapasitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Kazıksız durum için oluşturulan modelde, temel genişliği, B, şev açısı, β, zeminin sıkılığı, ϕ ve temelin şev tepesine olan uzaklığı, b parametrelerinin, şerit temelin taşıma kapasitesi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Sonuçlar literatürdeki teorik yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

4.3.1 Temelin Şev Tepesine Olan Mesafesinin (b) Etkisi

Yüzeysel temelin şev tepesine olan uzaklığının (b) taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla, temel, şev tepesinden farklı mesafelere yerleştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, temel genişliği B=1 m, şev açısı β=30° ve orta sıkı kum (φ=41.8°) malzeme seçilmiştir.

Analizler sonucunda elde edilen yük-oturma eğrilerinden nihai taşıma kapasitesi (q_u) belirlenmiştir. Şevden dolayı taşıma kapasitesinde meydana gelen azalmayı ifade etmek amacıyla, taşıma kapasitesi azaltma katsayısı (i_β) terimi kullanılmıştır:

$$i_\beta = \frac{q_u}{q_{u(\beta=0)}} \tag{4.1}$$

Burada, $q_{u\,(\beta=0)}$, şevsiz durum için nihai taşıma kapasitesini göstermektedir.

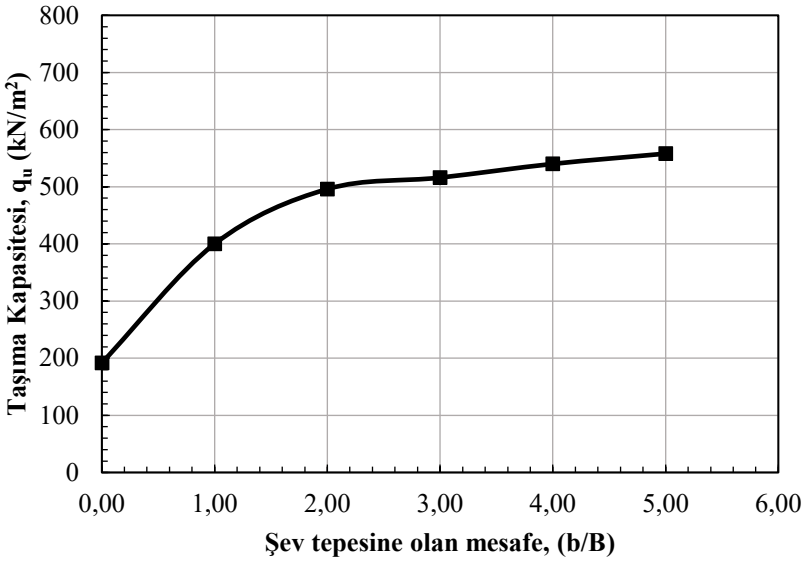
Temelin şev tepesine olan mesafesine (b/B) bağlı, taşıma kapasitesi (q_u) ve taşıma kapasitesi azaltma katsayısı (i_β) değerleri Çizelge 4.3' te ve buna ilişkin taşıma kapasitesi eğrisi Şekil 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. b/B'ye bağlı analiz sonuçları (β°=30/Orta Sıkı/B=1m)

b/B	q_u (kN/m^2)	i_β
0	286	0.41
1	435	0.63
2	522	0.75
3	540	0.78
4	554	0.80
5	558	0.81
Şevsiz	693	1.00

Taşıma kapasitesindeki en büyük artış b/B=0 ile b/B=1 arasında oluşmakta (%52), b/B=3 olması durumunda taşıma kapasitesi, şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %78'ine karşılık gelmektedir. Taşıma kapasitesindeki artış b/B=4 ile b/B=5 arasında azalma göstermekte (%1), b/B=5 değerinde şevsiz durumdaki taşıma

kapasitesi değerinin yaklaşık %81'ine ulaşmakta ve şev etkisi büyük oranda ortadan kalkmaktadır.



Şekil 4.5. qu – b/B İlişkisi (β=30°/Orta Sıkı/B=1m)

Temelin şev tepesine olan mesafesi, b, 0B ile 5B arasında seçilerek yapılan analizlerde, b/B oranı arttıkça, yani şev tepesinden uzaklaşıldıkça, şevli zeminin taşıma kapasitesi de artmaktadır. Şev tepesinden uzaklaştıkça, temelin taşıma kapasitesi değerinin artmasının nedeni, şevden dolayı kaybolan yanal desteğin tekrar devreye girmesidir. Temel, şev tepesinden yeterince uzak bir noktaya yerleştirildiğinde, şevli kısımla temel zemini arasında kalan zeminin, göçme kamasına doğru meydana gelen pasif dirençlerin katkısıyla taşıma kapasitesi artmaktadır.

4.3.2 Şev Açısının (β) Etkisi

Şev açısının yüzeysel temelin taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla β=25°, β=30° ve β=35° durumuna göre analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerde, orta sıkı kum (ϕ=41.8°) malzeme kullanılmış ve model temelin genişliği B=1m alınarak şev tepesine farklı mesafelerde yerleştirilmiştir.

β=25° ve β=35° için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te gösterilmektedir. Taşıma kapasitesi (q_u) eğrileri Şekil 4.6'da, b/B ye bağlı olarak verilmektedir.

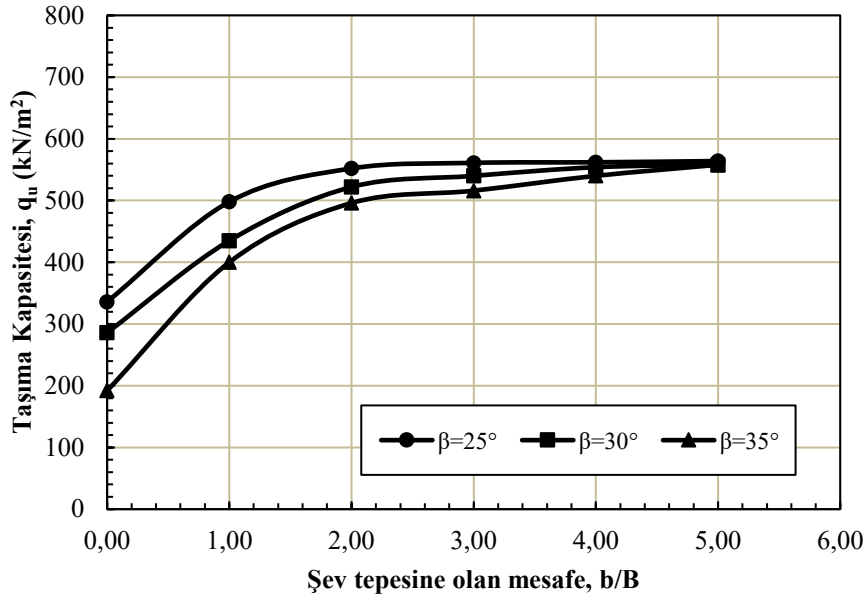
Çizelge 4.4. β'ya bağlı analiz sonuçları (Orta Sıkı/B=1m)

b/B	β°=25		β°=35	
	q_u (kN/m^2)	i_β	q_u (kN/m^2)	i_β
0	336	0.48	192	0.28
1	498	0.72	400	0.58
2	552	0.80	496	0.72
3	561	0.81	516	0.74
4	562	0.81	540	0.78
5	564	0.81	558	0.81
şevsiz	693	1.00	693	1.00

β=25° olması durumunda, taşıma kapasitesindeki en büyük artış b/B=0 ile b/B=1 arasında oluşmakta (%48), b/B=2 olması durumunda taşıma kapasitesi, şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %80'ine karşılık gelmektedir. Taşıma kapasitesindeki artış b/B=2 ile b/B=5 arasında yaklaşık sabit kalmakta ve şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin %81'ine ulaşmaktadır.

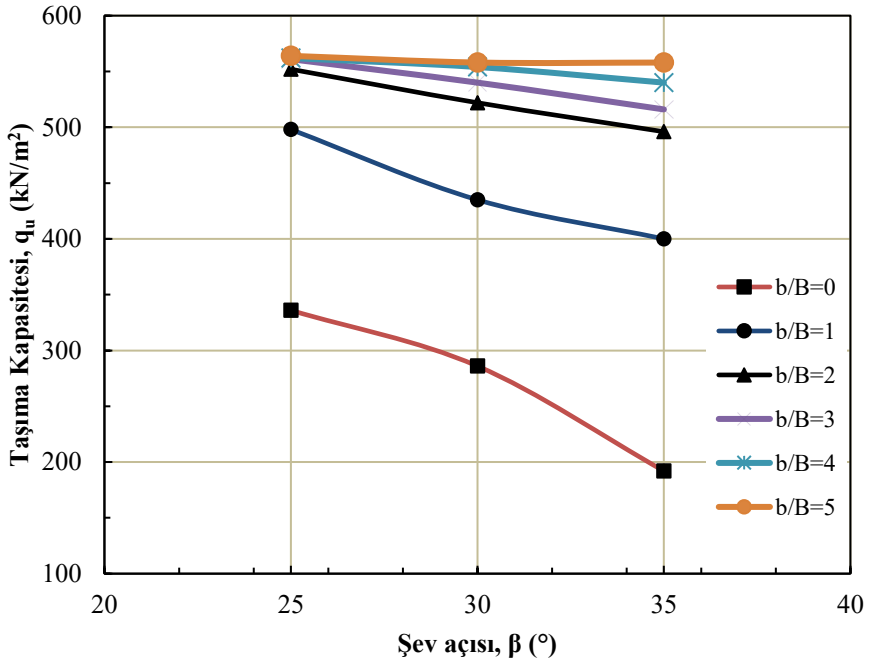
β=35° olması durumunda, taşıma kapasitesindeki en büyük artış b/B=0 ile b/B=1 arasında oluşmakta (%100), b/B=3 olması durumunda taşıma kapasitesi, şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %74'üne karşılık gelmektedir. Taşıma kapasitesindeki artış b/B=4 ile b/B=5 arasında azalma göstermekte (%3), b/B=5 değerinde şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin %81'ine ulaşmakta ve şev etkisi büyük oranda kalkmaktadır.

Analiz edilen tüm şev açılarında, benzer şekilde, b/B=0 ile b/B=1 arasında taşıma kapasitesinde en büyük artış meydana gelmektedir. Şev açısı dikleştikçe taşıma kapasitesinde azalış olduğu görülmektedir. b/B=1 için β=30° durumuna göre, β=25° de taşıma kapasitesi %15 artarken, β=35° de taşıma kapasitesi %8 azalmaktadır. b/B=3 değerinden sonra şev açısı etkisi azalmakta ve b/B=5 değerinde etki büyük ölçüde ortadan kalkmaktadır.



Şekil 4.6. Şev açısına bağlı q_u – b/B ilişkisi

Şekil 4.7'de taşıma kapasitesi (q_u) – şev açısı (β) ilişkisi temelin şev tepesine farklı mesafeleri için gösterilmektedir. Şekil 4.7'den, tüm açı değerlerinde, temel şev tepesinden uzaklaştıkça, taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı, ve daha dik açılarda daha düşük taşıma kapasitesi değerlerinin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 4.7. Şev açısı - qu ilişkisi

4.3.3 Zemin Sıkılığının (ϕ) Etkisi

Kumun sıkılığının taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini araştırmak için, üç farklı sıkılık değerindeki (ϕ=40.6°, ϕ=41.8°, ϕ=43.5°) kum malzeme ile taşıma kapasitesi analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan gevşek, orta sıkı ve sıkı kum malzemenin özellikleri Bölüm 3.4.3'te yer alan Çizelge 3.1'de verilmiştir.

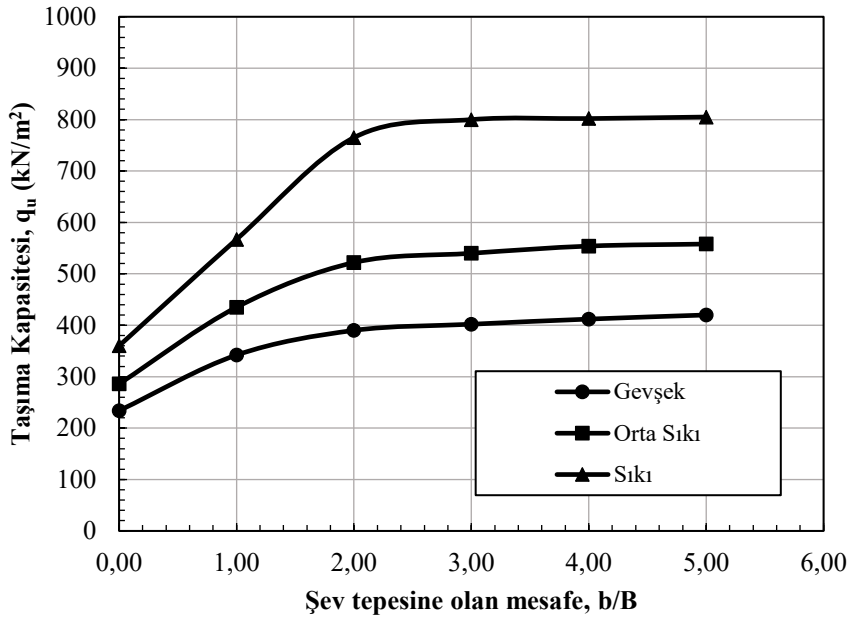
Şevli kum zeminlere oturan yüzeysel temellerde zemin sıkılık durumunun taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini araştırıldığı analizlerde temelin şev tepesine farklı mesafeleri için değerler bulunmuştur. Analizlerde, şev açısı, β=30° ve temel genişliği, B=1 m olarak sabit tutulmuştur.

Gevşek, orta sıkı ve sıkı kum durumları için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te özetlenmiştir. Taşıma kapasitesi eğrileri Şekil 4.8'de ve Şekil 4.9'da, φ'ye bağlı olarak çizilmiştir. Çizelge ve şekillerden, zeminin sıkılık durumunun taşıma kapasitesinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. b/B=1 değerinde orta sıkı zemin durumuna göre, gevşek zemin durumunda taşıma kapasitesinde %21 azalış olmaktayken, sıkı zemin durumunda taşıma kapasitesinin %30 dolaylarında arttığı görülmektedir.

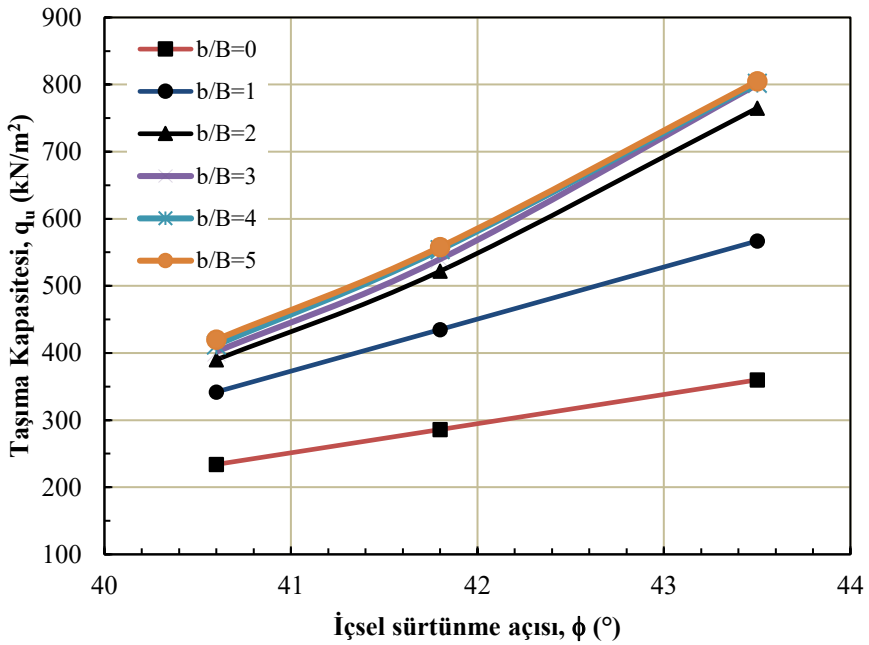
Çizelge 4.5. ϕ'ye bağlı taşıma kapasitesi değerleri (β°=30)

	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)		
b/B	**Gevşek**	**Orta Sıkı**	**Sıkı**
0	234	286	360
1	342	435	567
2	390	522	765
3	402	540	800
4	412	554	802
5	420	558	805
Şevsiz	510	690	983

Şekil 4.8 incelendiğinde, gevşek kum, orta sıkı ve sıkı kum durumlarında temel konumu açısından benzer bir eğilim olduğu görülmektedir. b/B=0 ile b/B=2 arasında taşıma kapasitesinde büyük bir artış meydana gelmekte olup b/B=2 den sonra taşıma kapasitesinde önemli bir artış olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Zemin sıkılığına bağlı q_u – b/B ilişkisi



Şekil 4.9. Zemin sıkılığı - qu ilişkisi

Çizelge 4.6'da yer alan taşıma kapasitesi azaltma katsayıları (i_β) incelendiğinde, b/B=1 durumunda gevşek zeminde taşıma kapasitesi, şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %67'sine karşılık gelmekteyken, sıkı zeminde %58'ine karşılık gelmektedir. Her üç zemin durumunda da b/B=4 ve b/B=5 te şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %81'ine ulaşılmaktadır.

Çizelge 4.6. ϕ'ye bağlı i_β değerleri (β°=30)

	Taşıma Kapasitesi Azaltma Katsayısı, i_β		
b/B	**Gevşek**	**Orta Sıkı**	**Sıkı**
0	0.46	0.41	0.37
1	0.67	0.63	0.58
2	0.76	0.76	0.78
3	0.79	0.78	0.81
4	0.81	0.80	0.82
5	0.82	0.81	0.82
Şevsiz	1.00	1.00	1.00

4.3.4 Temel Genişliğinin (B) Etkisi

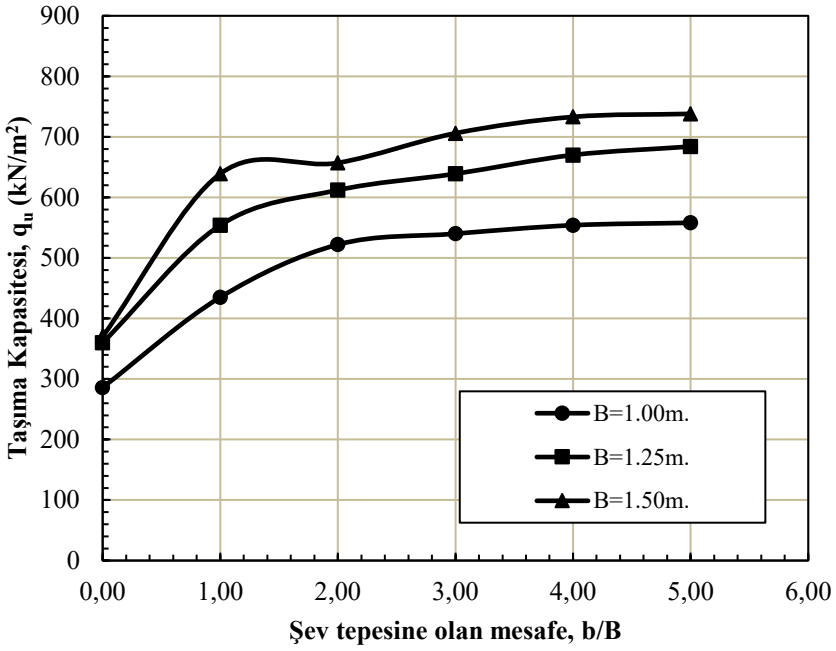
Temel genişliğinin şevli kum zemine oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesine etkisini araştırmak amacıyla B=1 m, 1.25 m ve 1.50 m genişliklerinde temeller kullanılarak analizler yapılmıştır. Analizlerde şev açısı β=30° sabit tutularak model temelin şev tepesine farklı mesafelerine göre ve farklı zemin sıkılıkları için sonuçlar elde edilmiştir.

Farklı temel genişlikleri için elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7'de özetlenmiştir.

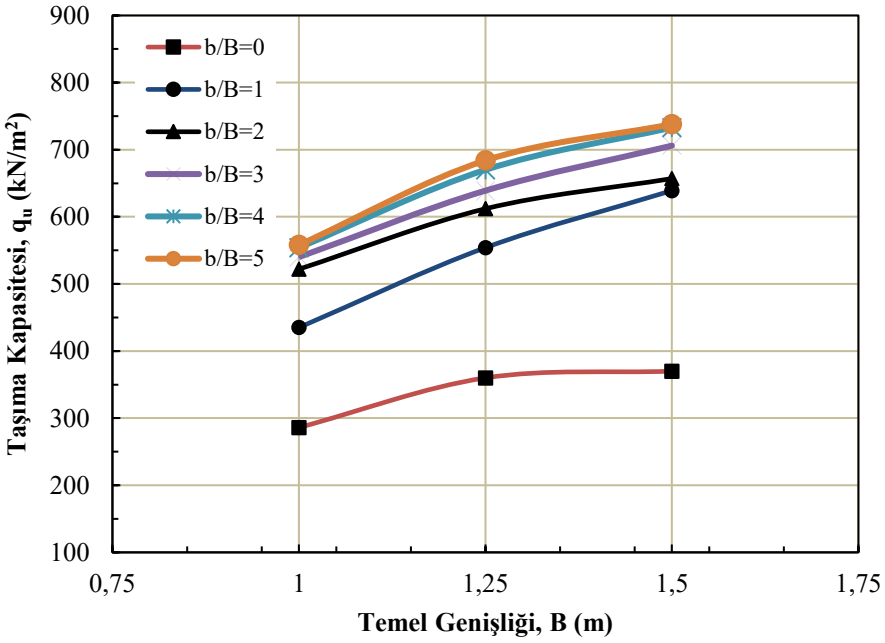
Çizelge 4.7. B'ye bağlı taşıma kapasitesi değerleri (β°=30 - Ortasıkı)

	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)		
b/B	**B=1.00m**	**B=1.25m**	**B=1.50m**
0	286	360	370
1	435	554	639
2	522	612	657
3	540	639	706
4	554	670	733
5	558	684	738
şevsiz	693	758	815

Taşıma kapasitesi(q_u) - temelin konumu (b/B) eğrileri Şekil 4.10'da ve taşıma kapasitesi(q_u) - temelin genişliği(B) eğrileri Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.10. Temel genişliğine bağlı q_u - b/B ilişkisi



Şekil 4.11. b/B' ye bağlı q_u - B ilişkisi

Çizelge 4.7 ve Şekil 4.10'dan, her üç temel genişliğinde de, şev tepesinden uzaklaştıkça taşıma kapasitesi değerlerinin arttığı, artış miktarının b/B=2 mesafesinden sonra azaldığı görülmektedir. b/B=5 mesafesinde ise, şevsiz duruma oldukça yakın değerler elde edildiği görülmektedir.

Şekil 4.11'den temel genişliğinin, şev yakınına oturan şerit temelin taşıma kapasitesini önemli miktarda etkilediği görülmektedir. Buna göre, b/B=1 mesafesinde, temel genişliğinin B=1 m'den B=1.25 m'ye arttırılması durumunda, taşıma kapasitesinde yaklaşık %27'lik bir artış meydana gelirken temel genişliğinin B=1.25 m'den B=1.50 m'ye arttırılması durumunda taşıma kapasitesinde yaklaşık %15'lik bir artış meydana gelmektedir. Şev tepesine olan mesafenin artmasına bağlı olarak temel genişliğinin artmasıyla birlikte taşıma kapasitesi değerleri de artmaktadır.

Çizelge 4.8. B'ye bağlı i_β değerleri ($\beta°$=30 - Ortasıkı)

	Taşıma Kapasitesi Azaltma Katsayısı, i_β		
b/B	**B=1.00 m**	**B=1.25 m**	**B=1.50 m**
0	0.41	0.47	0.45
1	0.63	0.73	0.78
2	0.75	0.81	0.81
3	0.78	0.84	0.87
4	0.80	0.88	0.90
5	0.81	0.90	0.91
Şevsiz	1.00	1.00	1.00

Çizelge 4.8'de yer alan taşıma kapasitesi azaltma katsayıları (i_β) incelendiğinde, b/B=1 durumunda B=1 m için taşıma kapasitesi, şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %63'üne karşılık gelmekteyken, B=1.5 m için %78'ine karşılık gelmektedir. b/B=5 durumunda B=1.5 m için şevsiz durumdaki taşıma kapasitesi değerinin yaklaşık %91'ine ulaşılmaktadır.

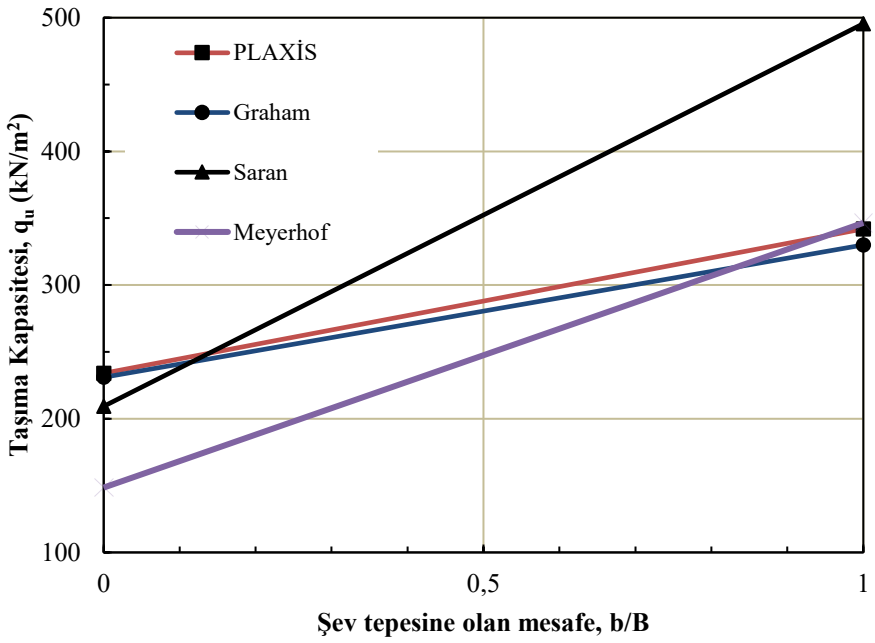
4.4 Sonuçların Teorik Yöntemlerle Karşılaştırılması

Sayısal analiz sonuçları literatürde yer alan teorik yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Kumlu şevlere yakın oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesinin hesaplanmasına yönelik taşıma gücü formülü kullanılarak, Meyerhof (1957), Graham ve ark. (1988), Saran ve ark. (1989) tarafından geliştirilen abaklar yardımıyla, şev açısı, β ve içsel sürtünme açısı, ϕ değerlerine bağlı $N_{\gamma q}$ taşıma gücü faktörleri bulunmuş ve nihai taşıma gücü değerleri üç farklı yönteme göre

hesaplanmıştır. Elde edilen değerler sayısal analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.9'da ve Şekil 4.12'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.9. Teorik yöntemler ve PLAXIS'e göre taşıma kapasitesi değerleri

b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)			
	PLAXIS Yöntemi	**Graham Yöntemi**	**Saran Yöntemi**	**Meyerhof Yöntemi**
0	234	231	209.3	148.5
1	342	330	495.5	346.5



Şekil 4.12. Teorik yöntemler ve PLAXIS'e göre taşıma kapasitesi eğrileri

Abaklardan, β=30°, ϕ=40° ve D_f/B=0 için b/B=0 ve b/B=1 durumlarına karşılık gelen $N_{\gamma q}$ değerleri okunmuş ve bu şekilde taşıma gücü değerleri ayrı ayrı hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmadan teorik ve sayısal yöntemlerle elde edilen taşıma gücü eğrilerinin genel anlamda birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 1). b/B=0 için PLAXIS sonuçları ile Graham yöntemi arasında %1 gibi küçük bir fark oluşurken, Saran yöntemi ile %11, Meyerhof yöntemi ile %27 fark oluşmuştur.

b/B=1 için PLAXIS sonuçları ile Meyerhof yöntemi arasında %1, Graham yöntemi arasında %4 gibi küçük farklar oluşurken, Saran yöntemi ile %31 fark oluşmuştur.

Sonuçlar değerlendirildiğinde, özellikle aynı parametreler için PLAXIS programı ile hesaplanan değerlerin, Graham ve ark. tarafından önerilen yöntemle elde edilen sonuçlarla daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

4.5 Kazıklı Durum Analizleri

Bu bölümdeki analizlerde, kum şevlere oturan yüzeysel şerit bir temelde, şevin kazıklarla güçlendirilmesi durumunda taşıma kapasitesi ve şevin güvenlik sayısı değerlerindeki değişim incelenmiştir. Kazıklı durum için gerçekleştirilen analizlerde, kazığın temele olan mesafesi, kazığın şev tepesine olan mesafesi, d, kesiti, D, boyu, L ve yeraltı suyu seviyesi, h, parametrelerin taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısına etkisi araştırılmıştır.

4.5.1 Kazığın Temele Olan Mesafesinin (b) Etkisi

Analizlerde L=10B boyunda ve D=1 m çapında betonarme kazık perdesi, şev tepesine temele farklı mesafelerde yerleştirilerek, güçlendirmenin taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısına etkisi incelenmiştir. Analizlerde, şev açısı, β=30°, içsel sürtünme açısı, ϕ=41.8° (orta sıkı) ve temel genişliği, B=1 m olarak sabit alınmıştır. Elde edilen taşıma kapasitesi değerleri kazıksız durumla karşılaştırmalı olarak Çizelge 4.10'da ve Şekil 4.13'te görülmektedir.

Çizelge 4.10. b/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri

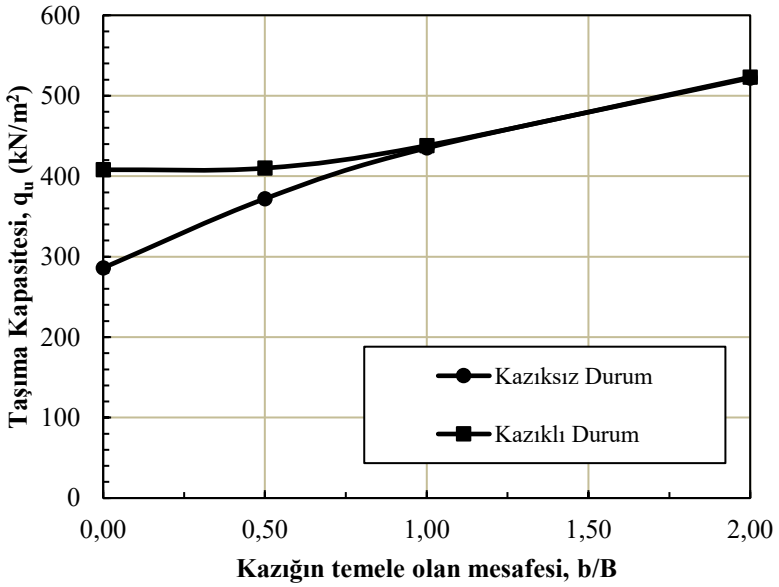
b/B	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)		Güvenlik Sayısı, GS	
	Kazıksız Durum	Kazıklı Durum	Kazıksız Durum	Kazıklı Durum
0	286	408	1	1.47
0.5	372	410	1	1.35
1	435	438	1	1.35
2	522	523	1	1.32

Değerler incelendiğinde, kazık sırasının, temele b/B=0 ve b/B=0.5 mesafelerinde yerleştirilmesi durumunda taşıma kapasitesi değerlerinin kazıksız duruma göre sırasıyla

%43 ve %10 arttığı, b/B=1 ve b/B=2 alınması durumunda ise artış miktarının oldukça azalarak %1 seviyesine düştüğü görülmektedir. Buna göre, kazık sırasının şev tepesine oturan yüzeysel temelin taşıma kapasitesi açısından en etkili olduğu mesafenin, b/B=0 olması durumunda oluştuğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.10 ve Şekil 4.13 incelendiğinde, kazık sırasının temele, b/B=0 mesafesinde yerleştirilmesi durumunda şevdeki güvenlik sayısı değerinin kazıksız duruma göre %47, diğer mesafelerde ise yaklaşık %35 arttığı ve artış miktarının yaklaşık sabit kaldığı belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre, kazık sırasının temelden uzak mesafelerde şevin güvenlik sayısında iyileşme sağlasa da yüzeysel temelin taşıma kapasitesinde kazıksız duruma göre kayda değer bir artış sağlamadığı anlaşılmaktadır. Taşıma kapasitesi açısından kazıkların en etkili olduğu mesafe b/B=0 dır.



Şekil 4.13. Kazıklı ve kazıksız durum için q_u değerleri

Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre, kazık sırasının temele mesafesinin b/B=0 olması durumunda hem taşıma kapasitesi hem de güvenlik sayısındaki artışın en yüksek seviyede olduğu görülmüştür. Kazıkların temelden daha uzak mesafelerde şevin güvenlik sayısında iyileşme sağlasa da yüzeysel temelin taşıma kapasitesinde kazıksız duruma göre kayda değer bir artış sağlamadığı anlaşılmıştır.

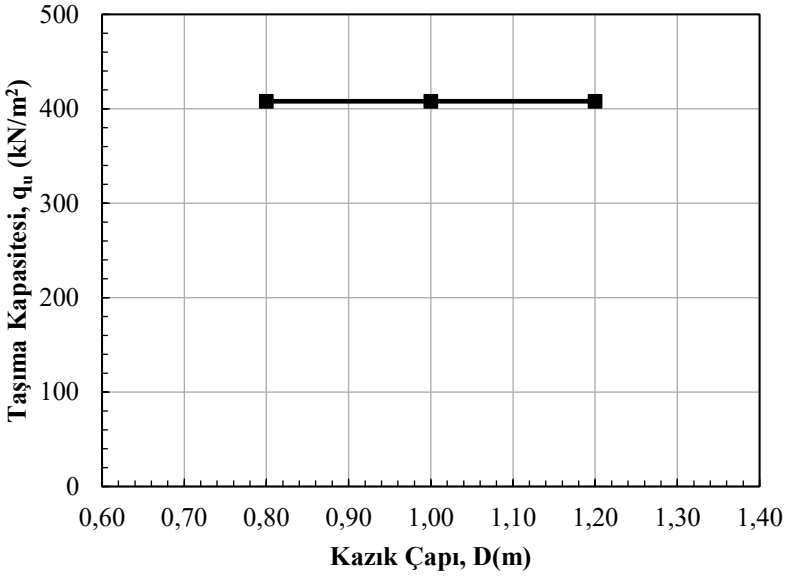
Buna göre, temelin kazık sırasına yakın mesafede olması durumunda kazık etkisinin daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır.

4.5.2 Kazık Çapının (D) Etkisi

Kazık çapının taşıma kapasitesine etkisinin tespit edilmesi amacıyla, farklı çaplarda kazıklar kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, L=10B boyunda betonarme kazık sırası, d/B=0 ve temel b/B=0 konumundayken kazık çapının etkisi incelenmiştir. Diğer parametreler, şev açısı, β=30°, içsel sürtünme açısı, ϕ=41.8° (orta sıkı) ve temel genişliği, B=1 m olarak sabit alınmıştır. Farklı kazık çapları için elde edilen değerler Çizelge 4.11 ve Şekil 4.14 görülmektedir.

Çizelge 4.11. D'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri

D(m)	Kazık Çapı Etkisi	
	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m2)	**Güvenlik Sayısı, GS**
0.8	408	1.47
1.0	408	1.47
1.2	408	1.47



Şekil 4.14. Kazık çapı - q_u ilişkisi

Sonuçlar incelendiğinde, kazık çapının %20 oranında azaltılması veya artırılmasının taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısına etkisi olmadığı anlaşılmaktadır.

Yapılan analizlerde, kazık çapına bağlı olarak taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısında artış görülmemesinin, PLAXIS'de kazık çapının, kazık rijitliğinin değiştirilerek elde ediliyor olmasından ve kazık malzemesinin incelenen çaplarda zemine göre oldukça rijit kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

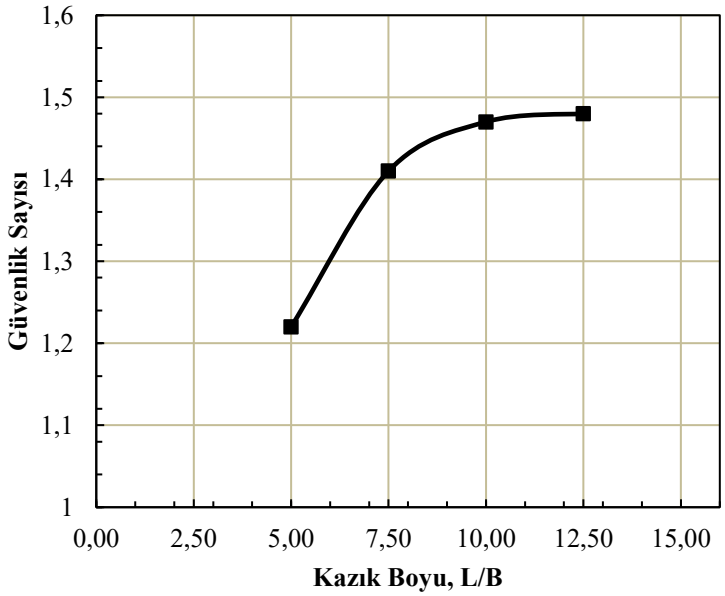
4.5.3 Kazık Boyunun (L) Etkisi

Kazık boyunun taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla farklı boylarda kazıklar kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, D=1m çapındaki kazıklar d/B=0 ve temel b/B=0 mesafesine yerleştirilerek kazık boyunun etkisi incelenmiştir. Diğer parametreler, şev açısı, β=30°, içsel sürtünme açısı, ϕ=41.8° (orta sıkı) ve temel genişliği, B=1 m olarak sabit alınmıştır. Farklı kazık boyları için elde edilen değerler Çizelge 4.12, Şekil 4.15 ve 4.16'da görülmektedir.

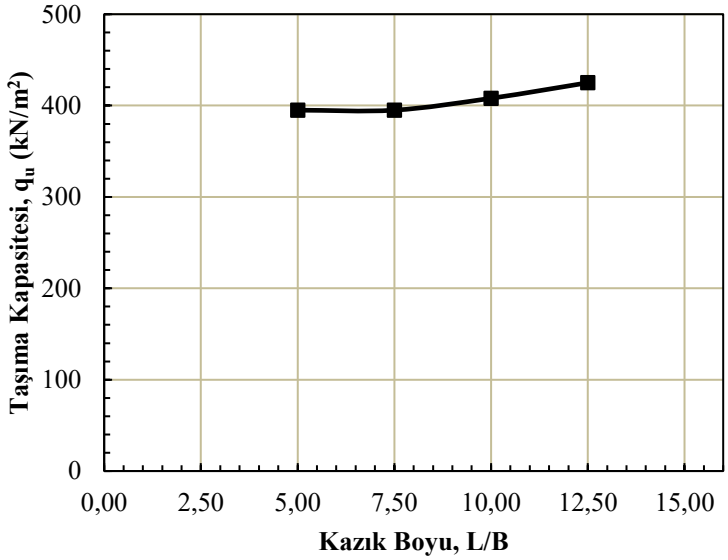
Çizelge 4.12. L/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri

L/B	Kazık Boyu Etkisi	
	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)	**Güvenlik Sayısı, GS**
kazıksız durum	286	1.00
5.0	395	1.22
7.5	395	1.41
10.0	408	1.47
12.5	425	1.48

Sonuçlar değerlendirildiğinde, L=5B ve L=7.5B'de taşıma kapasitesi değerinde kazıksız duruma göre %38 artış olduğu, L=10B'de taşıma kapasitesinde kazıksız duruma göre %43, L=12.5B'de ise %48 artış olduğu görülmektedir. Güvenlik sayıları incelendiğinde, L=5B'de kazıksız duruma göre güvenlik sayısı değerinin %22, L=7.5B'de %40, L=10B'de %47 ve L=12.5B'de ise %48 artış olduğu görülmektedir.



Şekil 4.15. Kazık boyu - G.S. İlişkisi



Şekil 4.16. Kazık boyu - q_u İlişkisi

Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da, taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısında kazık boyuna bağlı artış eğilimi olduğu görülmektedir. L=10B değerinde en yüksek güvenlik sayısına ulaşıldığı, L=12.5B durumunda ise L=10B durumuna göre taşıma kapasitesinde yaklaşık %4'lük bir artış olsa da, güvenlik sayısı değerinin yaklaşık sabit kaldığı görülmektedir. Sonuç olarak, hem taşıma gücü değerindeki artış hem de güvenlik sayısı değerlerindeki değişim göz önünde bulundurularak kazık boyu için en uygun değerin L=10B olduğu değerlendirilmiştir.

4.5.4 Kazığın Şev Tepesine Olan Mesafesinin (d) Etkisi

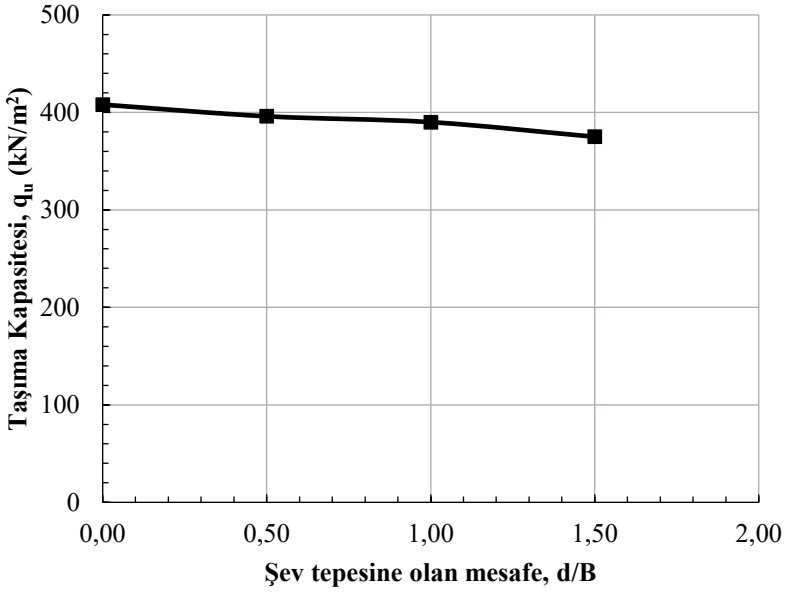
Kazığın şev tepesine uzaklığının şev tepesine oturan yüzeysel temelin taşıma kapasitesi üzerindeki etkisini araştırmak ve en uygun mesafeyi belirlemek amacıyla, kazık sırası şev üzerinde şev tepesinden farklı mesafelere yerleştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, D=1m çapında ve L=10B boyunda kazıklar kullanılmış, diğer parametreler, şev açısı, β=30°, içsel sürtünme açısı, ϕ=41.8° (orta sıkı) ve temel genişliği, B=1 m olarak sabit alınmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.13'de yer almaktadır. Şekil 4.17'de taşıma kapasitesi grafiği, Şekil 4.18'de güvenlik sayısı grafiği gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. d/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerleri

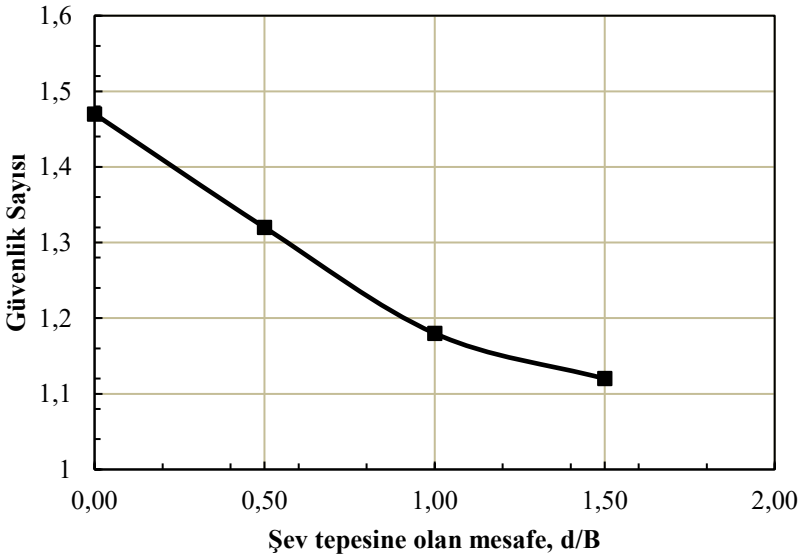
d/B	Kazık Konumu Etkisi	
	Taşıma Kapasitesi, q_u (kN/m^2)	**Güvenlik Sayısı, GS**
0.0	408	1.47
0.5	396	1.32
1.0	390	1.18
1.5	375	1.12

Sonuçlar incelendiğinde, kazıkların d/B=0.5 durumunda, d/B=0 durumuna göre, temelin taşıma kapasitesinde %3, şevin güvenlik sayısında %10 azalma olduğu görülmektedir. d/B=1.5 konumunda ise, taşıma kapasitesi %8 azalırken, güvenlik sayısı değeri de %24 azalmaktadır.

Çizelge 4.13, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'deki sonuçlar değerlendirildiğinde, kazık şev tepesinden şev yüzeyine doğru uzaklaştıkça, güçlendirme etkisinin azalmakta olduğu dolayısıyla taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu nedenle tasarımda en iyi taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerini elde edebilmek için kazıkların d/B=0 konumuna yerleştirilmeleri önerilmektedir.



Şekil 4.17. d/B - q_u İlişkisi



Şekil 4.18. d/B – G.S. İlişkisi

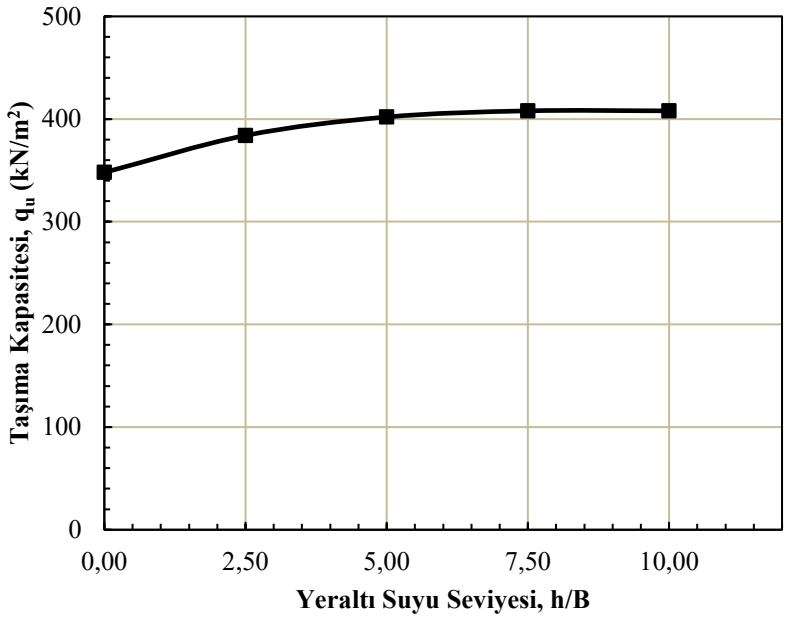
4.5.5 Yeraltı Suyu Seviyesinin (h) Etkisi

Yeraltı suyu seviyesinin kazıklı şeve oturan yüzeysel bir temelin taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla farklı seviyelerde su bulunması durumları için analizler yapılmıştır. Bu analizlerde, L=10B boyundaki kazıklar şev tepesine yerleştirilmiş, diğer parametreler, şev açısı, β=30°, içsel sürtünme açısı, ϕ=41.8° (orta sıkı) ve temel genişliği, B=1 m olarak sabit tutularak, yer altı suyu

seviyesinin (h) zeminden farklı derinlerde bulunması durumu için taşıma gücü ve güvenlik sayısı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.14 ve Şekil 4.19'da görülmektedir.

Çizelge 4.14. h/B'ye bağlı taşıma kapasitesi ve güvenlik sayıları değeri

	Yeraltı Suyu Etkisi	
h/B	**Taşıma Kapasitesi, qu (kN/m2)**	**Güvenlik Sayısı**
0	348	1.26
2.5	384	1.31
5	402	1.36
7.5	408	1.45
10	408	1.47



Şekil 4.19. Yeraltı suyu - q_u İlişkisi

Sonuçlar incelendiğinde yeraltı suyunun zeminden h/B=7.5 veya daha derinde bulunması durumunda taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerinde önemli bir değişiklik olmadığı, h/B=2.5 durumunda taşıma taşıma kapasitesinin yaklaşık %6, güvenlik sayısının %11 azaldığı, h/B=0 durumunda ise taşıma kapasitesinin %15, güvenlik sayısının %14 azaldığı görülmektedir.

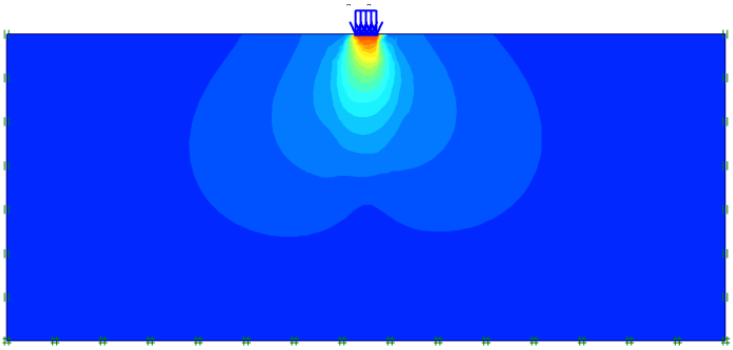
4.6 Göçme Mekanizması

4.6.1 Kazıksız Durum

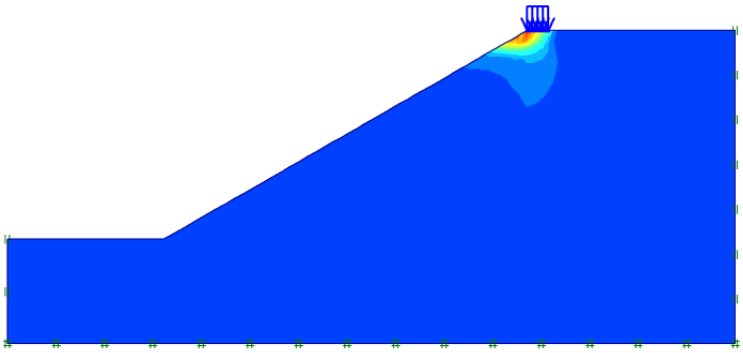
Kum şevlerin yakınına oturan yüzeysel bir temelin göçme davranışının değerlendirilmesi amacıyla, sayısal analizler sonucunda farklı durumlar için elde edilen göçme mekanizmaları incelenmiştir.

Şekil 4.20a'da orta sıkı kum zeminde düz yüzeyli zemine oturan B=1m genişliğindeki yüzeysel temel için gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen göçme mekanizması görülmektedir.

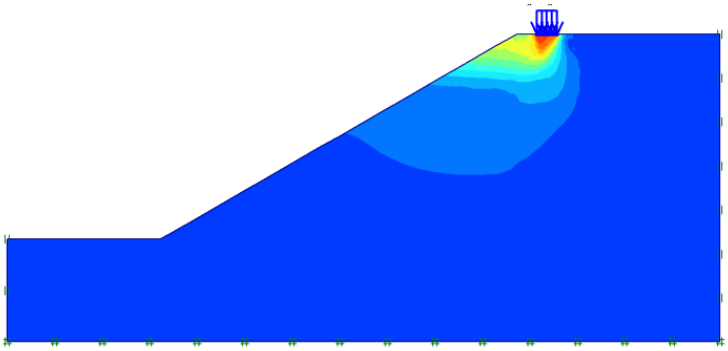
Şekil 4.20b-c-d-e-f-g'de ise orta sıkı kum malzeme modelinde β=30° açıya sahip şevli zemine sırasıyla b/B=0-1-2-3-4-5 mesafelerinde oturan B=1m genişliğindeki yüzeysel bir temel için elde edilen göçme mekanizmaları yer almaktadır.



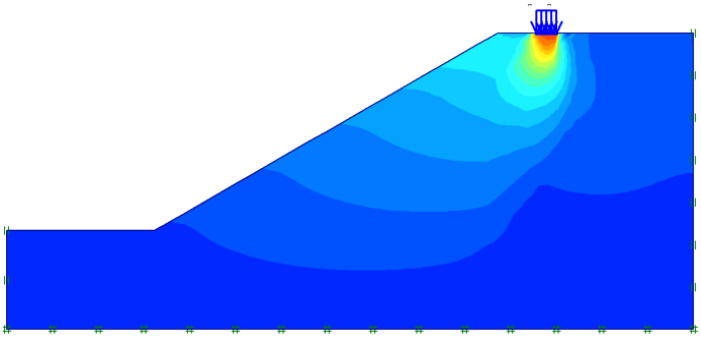
(a) Düz zemin (β=0°, B=1m, ϕ=41.8°)



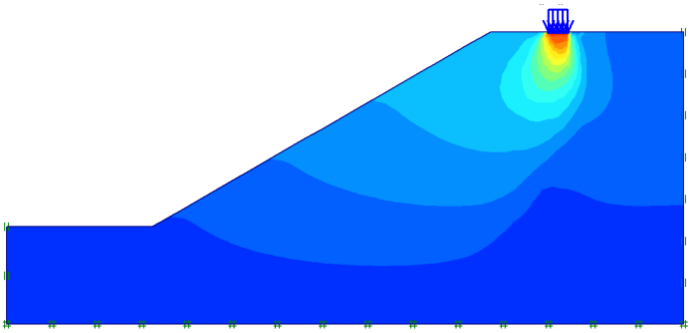
(b) b/B=0 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



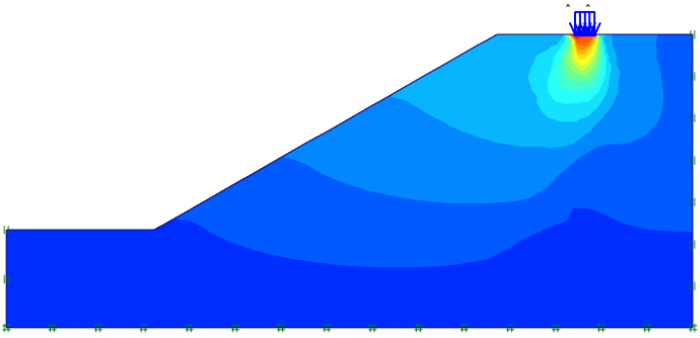
(c) b/B=1 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



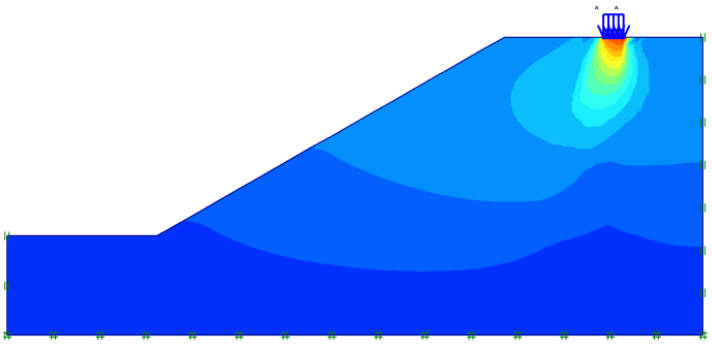
(d) b/B=2 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(e) b/B=3 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(f) b/B=4 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(g) b/B=5 (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)

Şekil 4.20. b/B - Göçme mekanizması ilişkisi

Göçme mekanizmaları incelendiğinde, düz yüzeyli zemin durumunda temelin hemen altında simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli zemin durumda şev tepesine yakın mesafelerde deplasman dağılımının asimetrik ve şev yüzeyinde oluştuğu görülmektedir. Temel, şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması da şev yüzeyinden uzaklaşmakta olduğu ve düz yüzeyli zemin durumuyla benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır.

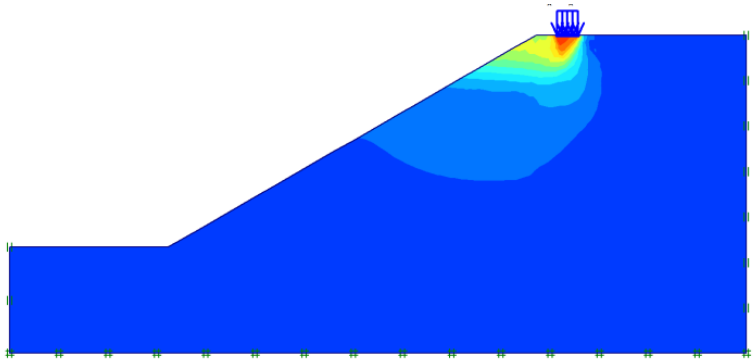
4.6.2 Kazıklı Durum

Şekil 4.21a'de kazıksız durum için, orta sıkı kum malzeme modelinde, β=30° açıya sahip şevli zemine oturan B=1m genişliğinde yüzeysel temel için elde edilen göçme mekanizması görülmektedir.

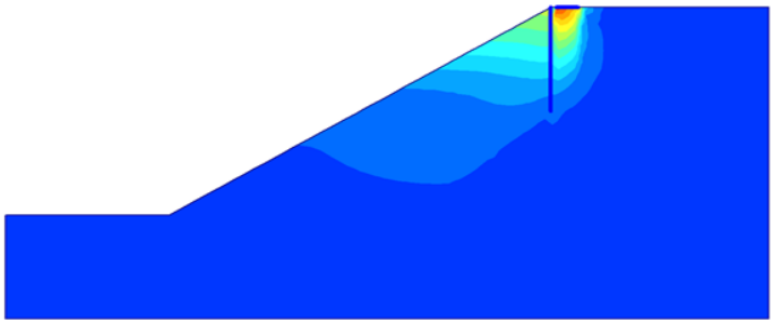
Şekil 4.21b ve c'de, D=1m çapında, L=5B ve L=10B boyundaki kazıkların şev tepesine yerleştirilmesi durumunda elde edilen göçme mekanizması görülmektedir.

Şekil 4.21d'de, D=1m çapında, L=10B boyundaki kazıkların şev tepesine d/B=1 mesafesinde yerleştirilmesi durumunda elde edilen göçme mekanizması yer almaktadır.

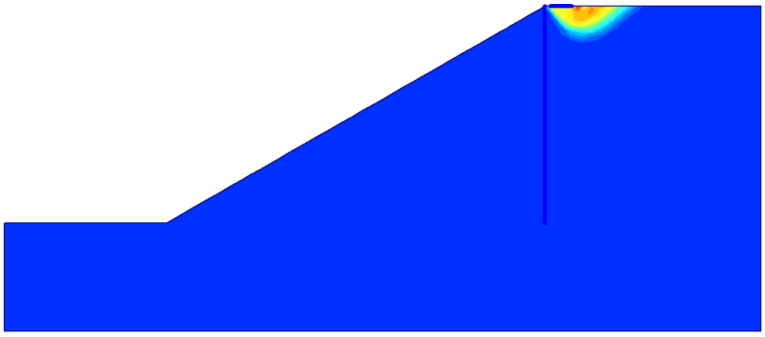
Şekil 4.21e'de ise, kazıklı durumda zeminden h/B=5 derinliğinde yeraltı suyu bulunması durumu için gerçekleştirilen analizden elde edilen göçme mekanizması görülmektedir.



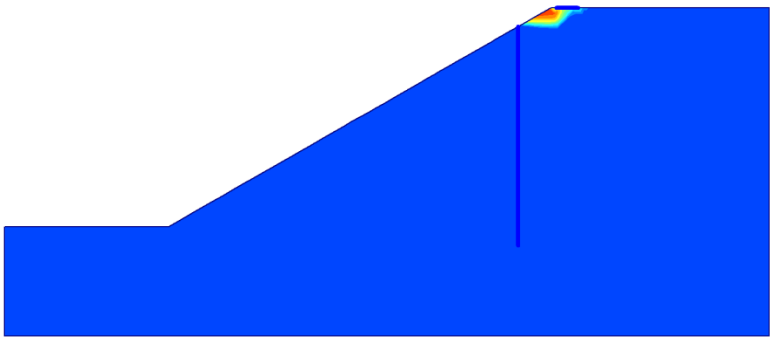
(a) Kazıksız Durum (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



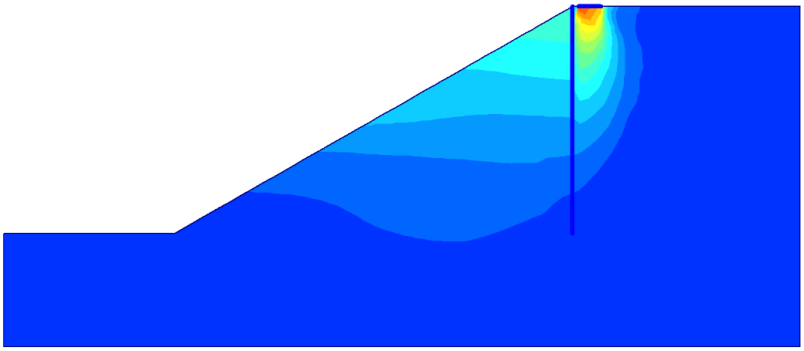
(b) L=5B (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(c) L=10B (β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(d) d/B=1 (L=10B, β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)



(e) h/B=5 (L=10B, β=30°, B=1m, ϕ=41.8°)

Şekil 4.21. Farklı durumlar için göçme mekanizmaları

Şekil 4.21 'de verilen göçme mekanizmaları incelendiğinde, kazık boyunun L=5B olması durumunda kazıkların göçme dairesi içerisinde kaldığı ve şev yüzeyine doğru deplasmanların oluştuğu, L=10B olması durumunda ise şev yüzeyinde göçme dairesinin oluşmadığı ve şevin yeterli stabiliteye sahip olmasından dolayı göçme mekanizmasının sadece temel yükünden dolayı şevden uzakta oluştuğu görülmektedir. Kazıkların şev tepesinden d/B=1 mesafesinde olması durumunda, göçme mekanizmasının tekrar şev yüzeyine doğru kayarak kazık ile temel arasında oluştuğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.21e 'den h/B=5 derinlikte yeraltı suyu bulunması durumunda göçme mekanizmasının şevi etkilediği değerlendirilmektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kazıklarla güçlendirilmiş şevlere oturan yüzeysel temellerin taşıma kapasitesi davranışı sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, PLAXIS bilgisayar programı yardımıyla oluşturulan model üzerinde kazıklı ve kazıksız şev durumunun farklı koşulları için sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmaktadır:

1. Ele alınan şev geometrisi için yapılan güvenlik sayısı analizlerine göre, güvenlik sayısı şev açısının artmasına bağlı olarak azalmakta ve kumun sıkılık derecesinin artmasına bağlı olarak artmaktadır.
2. Taşıma kapasitesi analizlerine göre, şev açısı arttıkça yüzeysel temelin taşıma kapasitesi değerleri azalmakta, kumun sıkılığının artmasına ve temelin şev tepesinden uzaklaşmasına bağlı olarak taşıma kapasitesi değerleri artmaktadır. Temelin şev tepesine olan mesafesinin 3B olması durumunda taşıma kapasitesi değerlerinde artış miktarı oldukça azalmakta ve mesafenin 5B olması durumunda taşıma kapasitesi, düz yüzeyli zemin durumunda elde edilen değerlere yakın sonuçlar vermektedir.
3. Temel genişliğinin artmasına bağlı olarak taşıma kapasitesi de artmaktadır. Temel genişliği %25 arttırıldığında, taşıma kapasitesi değerleri yaklaşık %20 artarken, genişliğin daha fazla arttırılması durumunda taşıma kapasitesi değerlerindeki artış oranı nispeten azalmaktadır.
4. Şevin kazıklarla güçlendirilmesi durumunda, kazık sırasının şev tepesinde ve temele yakın konumlandığı durumlarda en iyi etki elde edilmektedir. Taşıma kapasitesi değeri kazıksız duruma göre yaklaşık %43 artarken, güvenlik sayısı da %47 artmaktadır.
5. Kazık çapının %20 oranında azaltılması veya artırılmasının taşıma kapasitesine etkisi olmazken, kazık boyunun 5B den 10B ye artırılması durumunda taşıma kapasitesi yaklaşık %3 ve güvenlik sayısı da %20 artmaktadır.
6. Kazığın şev tepesinden B mesafe kadar şev içerisine yerleştirilmesi durumunda yüzeysel temelin taşıma kapasitesi yaklaşık %4 azalırken şev güvenlik sayısı da %20 azalmaktadır.

7. Yeraltı suyunun zeminden 7.5B veya daha derinde bulunması durumunda taşıma kapasitesi ve güvenlik sayısı değerine önemli bir etki olmazken, zemine yakın su seviyeleri için bu değerler azalmaktadır.
8. Göçme mekanizmaları değerlendirildiğinde, düz yüzeyli zemin durumunda temelin hemen altında yaklaşık simetrik bir deplasman dağılımı oluşurken, şevli zemin durumda deplasman dağılımı asimetrik ve şev yüzeyinde oluşmakta olup şev tepesinden uzaklaştıkça göçme mekanizması üzerindeki şev etkisi de azalmaktadır.
9. Kazıklarla güçlendirilmiş şevde, kazık boyunun 5B olması durumunda kazıklar göçme dairesi içerisinde kalmakta ve şev yüzeyine doğru göçme mekanizması oluşmaktayken, 10B olması durumunda ise şev yüzeyinde göçme dairesi oluşmamakta ve deplasman dağılımı şevden uzaklaşmaktadır. Kazık şev tepesinden B kadar şev içerisine doğru uzaklaştırıldığında göçme mekanizması kazık ile yüzeysel temel arasında oluşmaktadır.

Aşağıdaki çizelgede, çalışma sonuçlarından elde edilen optimum kazık tasarım parametreleri sunulmaktadır. Optimum parametrelerin kullanılması durumunda şerit temelin taşıma kapasitesi, kazıksız duruma göre % 43, şevin güvenlik sayısı ise % 47 artmaktadır.

Çizelge 5.1. Kazıklı durum için önerilen optimum tasarım parametreleri

$(b/B)_{opt}$	$(L/B)_{opt}$	$(D)_{opt}$	$(d/B)_{opt}$
0	10	1m	0

Gelecekteki çalışmalar için öneriler:

- Sayısal analizlerde 3 boyutlu bilgisayar programları kullanılarak daha kapsamlı çalışmalar gerçekleştirilebilir.
- Kil zeminlerde ve tabakalı zemin yapıları için benzer çalışmalar yapılabilir.
- Kazıklı ve kazıksız durum için deprem davranışı incelenebilir.

6. KAYNAKLAR

Aydoğdu, O., 2011. Şevlerin İyileştirilmesinde Kullanılan Kazıkların Davranışları. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 163.

Bell, J.M., 1968. General Slope Stability Analysis. ***Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division***, ASCE, 94(SM6):1253-1270.

Canik, B., 2006. Şev Stabilitesinde Kullanılan Kazıkların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya. 174.

Coduto, P.D., 2001. Foundation Design: Principal and Practices (Second Edition), Prentice Hall, New Jersey. 883.

Das, B.M., 1999. Shallow Foundation: Bearing Capacity and Settlement. CRC Press., USA. 365.

Duncan, M. and Chang, C.Y., 1970. Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils. ***Journal of Soil Mechanics and Foundations***, 96(SM5):1629-1653.

Ghazavi, M. and Haghbin, M., 2013. Bearing Capacity Of Footings On Pile-Stabilized Slopes. IJST, 37 (2):257-269.

Hataf, N. and Rahimi, M., 2006. Experimental Investigation of Bearing Capacity of Sand Reinforced with Randomly Distributed Tire Shreds. ***Journal of Construction and Building Materials***, Vol. 20:910-916.

Huang, C.C. and Tatsuoka, F., 1994. Stability Analysis for Footings on Reinforced Sand Slopes. ***Soils and Foundations***, 34(3):21-37.

Huang, C.C., Tatsuoka, F. and Sato, Y., 1994. Failure Mechanisms of Reinforced Sand Slopes Loaded with a Footing. ***Soils and Foundations***, 34(2):27-40.

Keskin, M.S. 2009. Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 369.

Keskin, M.S. ve Laman, M., 2007. Sonlu Elemanlar Yönteminin Şev Stabilitesi Problemlerinin Analizinde Kullanılması. ***Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi***, 22(1):101-114.

Keskin, M.S., 2004. Zeminlerde Oluşan İlave Düşey Gerilmelerin Değişik Yöntemlerle İrdelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 225.

Keskin, M.S., Bildik, S. ve Laman, M., 2008. Donatılı Şevlerin Stabilitesinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ulusal Kongresi, ZM.12, 16-17 Ekim, Selçuk Üniversitesi, Konya. 339-350.

Laman, M., Yıldız, L., Keskin, M.S. ve Uncuoğlu, E., 2007. Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi. ***İMO Teknik Dergi***, 277:4197-4217.

Meyerhof, G.G., 1951. The Ultimate Bearing Capacity of Foundations, ***Geotechnique***, 2:301–332.

Meyerhof, G.G., 1957. The Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Slopes. in Proc., IV Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., London, England. 1:384.

Özçelik, Ç., 2007. Şevlerde Yanal Yüklü Kazıkların Laboratuar Koşullarında Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. 159.

PLAXIS, 2002. User Manual. 2D version8, (Edited by Brinkgreeve, R.J.B.), Delft University of Technology&PLAXIS b.v., The Netherlands.

Potts, D.M. and Zdravković, L.T., 1999. Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory. Thomas Telford, London. UK.

Poulos, H.G., and Davıs, E.H., 1974. Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics. Series in Soil Engineering, John Wiley and Sons, Inc., New York. 411.

Prandtl, L., 1921. Uber die Eindringungsfestigkeit Plastisher Baustoffe und die Festigkeit von Schneiden, Z. Ang. Math. Mech., 1(1):15. (as referred by Das, 1999)

Saran, S., Sud, V.K. and Handa, S.C., 1989. Bearing Capacity of Footings Adjacent to Slopes. ***J. Geotech. Eng.***, ASCE, 115(4):553-573.

Sawwaf, M.E., 2010. Experimental and Numerical Study of Strip Footing Supported on Stabilized Sand Slope. ***Geotech. Geol. Eng.***, 28:311–323.

Sawwaf, M.E., 2005. Strip Footing Behavior on Pile and Sheet Pile-Stabilized Sand Slope. ***Geotech. and Geoen. Eng.,*** 131:705–715.

Selvadurai, A.P.S. and Gnanendran, C.T., 1989. An Experimental Study of a Footing Located on a Sloped Fill: Influence of a Soil Reinforcement Layer. ***Canadian Geotechnical Journal***, 26 (3):467–473.

Tekin, A., 2011. Sonlu Elemanlar ve Limit Denge Yöntemleri ile Şev Stabilitesi Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 140.

Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York. 510.

Türker, E., 2013. Donatılı Kumda Şeve Yakın Oturan Eksantrik Yüklü Model Şerit Temelin Davranışları. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 183.

Vesic, A.S., 1975. Bearing Capacity of Shallow Foundations. in Foundation Engineering Hand-Book, Winterkorn, H.F., and Fang, H.Y., Eds., Van Nostrant Reinhold Co., 121-147.

Yıldız, A., 2002. Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 213.

Yıldız, L., 2005. Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. 154.

.

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Konya'da doğdum. Orta ve lise öğrenimimi Şanlıurfa'da tamamladım. 2003 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde başladığım lisans eğitimimi 2008 yılında tamamladım. 2009-2011 yılları arasında özel sektörde şantiye mühendisliği ve Esenler Belediyesinde yapı kontrol mühendisliği yaptım. 2011 yılında uzman olarak göreve başladığım Dicle Kalkınma Ajansında, İzleme ve Değerlendirme Birimi başkanı olarak çalışmaya devam etmekteyim. 2014 yılında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Geoteknik Programı'nda başladığım yüksek lisans eğitimimi tamamlamış bulunmaktayım. Evli ve iki çocuk babasıyım.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Fatih AKGÜL
ÖĞRENCİ NO	13806007
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2016-17
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Kazıklarla Güçlendirilmiş Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Sayısal Analizi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	92
BENZERLİK ORANI	%18
RAPORLAMA TARİHİ	26/05/2016

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 92 sayfalık kısmına ilişkin, 26/05/2016 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 18 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
- ☒ Kaynakça hariç
- ☐ Alıntılar hariç/dâhil
- ☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Fatih AKGÜL

26/05/2016
Doç.Dr. M.Salih KESKİN
Tez Danışmanı

26/05/2016
Doç. Dr. Halil GÖRGÜN
Anabilim Dalı Başkanı