

**DERİN KAZI YÜZEYİ DESTEKLENMESİNİN
SONLU ELEMEN MODELLERİYLE ANALİZİ**

Zafer ÇETİN
Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ocak-2012

JÜRİ ve ENSTİTÜ ONAYI

Zafer Çetin’ in “Derin Kazı Yüzeyi Desteklemesinin Sonlu Eleman Modelleriyle Analizi” başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 03.01.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Prof. Dr. Mustafa TUNCAN	
Üye :	Prof. Dr. Ahmet TUNCAN	
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Volkan OKUR	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’ nun
..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DERİN KAZI YÜZEYİ DESTEKLENMESİNİN SONLU ELEMAN MODELLERİYLE ANALİZİ

Zafer ÇETİN

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN
2012, 215 sayfa

Bu çalışmada, farklı kil ve kum zeminlerde gerçekleştirilen serbest kazı ve destekli kazı durumlarında, zeminde meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Kazı destek sistemi olarak çelik palplanj elemanlar, payandalı çelik palplanj elemanlar ve betonarme perde elemanlar seçilmiştir. Model analizleri için sonlu elemanlar yöntemine göre hesaplamaları Plaxis 3D Foundation yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir zemin modeli için, kazı yüzeyinde meydana gelen yanal deformasyonlar ve kazı duvarı arkasında meydana gelen düşey oturmalar incelenmiştir. Ayrıca regresyon analizi yapılarak, yanal deformasyon miktarı ile kazı derinliği arasındaki ilişki ampirik bağıntılarla temsil edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma sonucunda farklı kazı destek sistemlerinin farklı zemin tipleri üzerindeki çeşitli etkileri grafikler kullanılarak sunulmuştur. Sonuçlar, destek sistemlerinden betonarme perde duvar, payandalı çelik palplanj ve palplanj elemanlara nispeten daha stabil olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Derin Kazı, Çelik Palplanj, Payandalı Çelik Palplanj, Betonarme Perde, Yanal ve Düşey Deformasyon

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE ANALYSIS OF FINITE ELEMENT MODELS OF SUPPORTING THE DEEP EXCAVATION SURFACE

Zafer ÇETİN

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program**

**Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN
2012, 215 pages**

In this study, soil deformations due to the deep excavations with support and non-supports were analyzed for different clay and sandy soils. For the excavation support element system, steel sheet pile elements, steel sheet pile with strut elements and reinforced concrete wall elements are chosen. Plaxis 3D Foundation software that performs calculations according to the finite element method was used for model analysis. For each soil model, lateral deformations on excavation surface and vertical settlements on the back wall of the excavation were examined. Also, regression analysis was done, to find out an empirical relationship between horizontal deformation and excavation depth.

At the end of the study; the effects of different excavation support systems for different soil types were presented by using various graphs. The results showed that reinforced concrete wall of support systems creates relatively stable effect than steel sheet pile with struts and steel sheet pile elements.

Keywords: Deep Excavation, Steel Sheet Pile, Steel Sheet Pile with Struts, Reinforced Concrete Wall, Lateral and Vertical Deformation

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde katkılarını esirgemeyen Sn. Prof. Dr. Mustafa TUNCAN ve Sn. Arş. Gör. Mehmet İnanç Onur' a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Zafer ÇETİN

Ocak 2012

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Önceki Çalışmalar.....	1
2. YANAL TOPRAK BASINCI TEORİLERİ	4
2.1. Rankine Yanal Toprak Basıncı Teorisi.....	4
2.1.1. Sükunetteki yanal toprak basıncı.....	4
2.1.2. Rankine aktif toprak basıncı.....	9
2.1.3. Rankine pasif toprak basıncı.....	11
2.2. Coulomb Yanal Toprak Basıncı Teorisi.....	12
2.2.1. Coulomb aktif toprak basıncı.....	13
2.2.2. Coulomb pasif toprak basıncı.....	14
2.3. Destekli Kazı Durumunda Yanal Toprak Basıncı.....	14
3. PLAXIS 2D ve PLAXIS 3D FOUNDATION YAZILIMLARI	
ARASINDAKİ UYUM	17
4. DERİN KAZI PROBLEMLERİNİN PLAXIS 3D FOUNDATION	
YAZILIMI İLE MODELLENMESİ	20
4.1. Desteksiz Maksimum Kazı Derinliğinin Analizi.....	20
4.1.1. Teorik olarak desteksiz maksimum kazı derinliğinin tespiti.....	20
4.1.2. Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak	
desteksiz maksimum kazı derinliğinin tespiti.....	21
4.2. Kazı Derinliği - Yanal Deformasyon Miktarı Analizleri.....	24

4.2.1. Kum zeminlerde parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	29
4.2.1.1. Kum zeminlerde desteksiz kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	29
4.2.1.2. Çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	36
4.2.1.3. Payandalı çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	37
4.2.1.4. Betonarme perde duvar ile desteklenmiş kum zeminlerde kazı durumunda, parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	38
4.2.1.5. Kum zeminlerde kazı destek sistemlerinin karşılaştırılması.....	39
4.2.2. Kil zeminlerde parametre değişiminin yanıl deformasyona etkisi.....	42
4.2.2.1. Kil zeminlerde desteksiz kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	42
4.2.2.2. Çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	46
4.2.2.3. Payandalı çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	47
4.2.2.4. Betonarme perde ile desteklenmiş kil zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi.....	48
4.2.2.5. Kil zeminlerde kazı destek sistemlerinin karşılaştırılması.....	49
5. PLAXIS YAZILIMINDAN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN İSTATİSTİKİ ANALİZLERİ	53
5.1. Regresyon Analizi.....	53

5.2. Plaxis Analiz Sonuçlarının Regresyon Analizleri ile Değerlendirilmesi.....	53
5.2.1. Kum zeminlerde regresyon analizi ile kazı derinliği (m) – yanal deformasyon miktarı (mm) denklemlerinin belirlenmesi.....	54
5.2.2. Kil zeminlerde regresyon analizi ile kazı derinliği (m) – yanal deformasyon miktarı (mm) denklemlerinin belirlenmesi.....	60
6. DESTEKLİ KAZILARDA DÜŞEY OTURMA MİKTARININ MESAFE İLE İLİŞKİSİNİN TESPİTİ	65
6.1. Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazılarda Düşey Oturma Miktarının Mesafe İle İlişkisinin Tespiti.....	65
6.1.1. Çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminde düşey oturma miktarları.....	65
6.1.2. Çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminde düşey oturma miktarları.....	73
6.2. Betonarme Perde ile Desteklenmiş Kazılarda Düşey Oturma Miktarının Mesafe İle İlişkisinin Tespiti.....	77
6.2.1. Betonarme perde ile desteklenmiş kil zeminde düşey oturma miktarları.....	77
6.2.2. Betonarme perde ile desteklenmiş kum zeminde düşey oturma miktarları.....	83
7. ÖRNEK ÇALIŞMALAR: Literatürde İncelenmiş Modellerin Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation ile Analizleri	87
7.1. Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi.....	87
7.1.1. Çalışmaya Ait Bilgiler.....	87
7.1.1.1. Özet.....	87
7.1.1.2. Deneysel Çalışmalar.....	87
7.1.1.3. Sonlu Elemanlar Analizi.....	87
7.1.1.4. Analiz Sonuçları.....	88

7.1.2. Çalışma Verileri Kullanılarak Plaxis 2D Paket Programında	
Yapılan Analiz.....	89
7.1.2.1. İki Boyutlu Modelin Oluşturulması.....	89
7.1.2.2. Analiz Sonuçları.....	90
7.1.3. Çalışma Verileri Kullanılarak Plaxis 3D Foundation Paket	
Programında Yapılan Analiz.....	91
7.1.3.1. Üç Boyutlu Modelin Oluşturulması.....	91
7.1.3.2. Analiz Sonuçları.....	92
7.1.4. Orijinal Çalışma Sonuçları ile Bu Çalışma Baz Alınarak	
Yapılan Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	93
7.2. Zemin Çivisi ile Ankrajlı Destek Sistemlerinin Karşılaştırmalı	
Analizi.....	95
7.2.1. Çalışmaya Ait Bilgiler.....	95
7.2.1.1. Özet.....	95
7.2.1.2. Sonlu Elemanlar Analizi.....	95
7.2.1.3. Analiz Sonuçları.....	97
7.2.2. Çalışma Verileri Kullanılarak Plaxis 2D Paket Programında	
Tekrarlanan Analizler	98
7.2.2.1. İki Boyutlu Modelin Oluşturulması.....	98
7.2.2.2. Analiz Sonuçları.....	99
7.2.3. Orijinal Çalışma Sonuçları ile Bu Çalışma Baz Alınarak	
Yapılan Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	101
7.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Şev Stabilitesi Problemlerinin	
Analizinde Kullanılması.....	104
7.3.1. Özet.....	104
7.3.2. Sonlu Elemanlar Analizi.....	104
7.3.2.1. Homojen Olmayan Üç Farklı Zemin Tabakalı Şev Modeli.....	104
7.3.3. Keskin ve Laman (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile	
bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan analizlerin	
karşılaştırılması.....	109
7.4. Statik ve Dinamik Düşey Yükler Altındaki Kazıklı Temellerin	
Davranışı.....	111

7.4.1. Özet.....	111
7.4.2. Turan (2006) Tarafından Yapılan Ampirik ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları.....	111
7.4.3. Turan (2006) tarafından yapılan çalışma verilerinin baz alınarak Plaxis 2D yazılımı ile tekrarlanan analiz sonuçları.....	112
7.4.4. Turan (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması.....	122
7.5. Taş Kolon ve Geopier Uygulaması ile Zemin İyileştirmesi.....	126
7.5.1. Özet.....	126
7.5.2. Demir (2007) Tarafından Gerçekleştirilen Sonlu Elemanlar Analizleri.....	126
7.5.3. Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma verileri baz alınarak Plaxis 2D yazılımı ile tekrarlanan çalışma.....	130
7.5.4. Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması.....	132
7.6. Donatılı Zemin Duvar Yapılarının Depremde Davranışı.....	135
7.6.1. Çalışma Hakkında Genel Bilgiler.....	135
7.6.1.1. Özet.....	135
7.6.1.2. Sonlu Elemanlar Analizi.....	135
7.6.1.3. Analiz Sonuçları.....	136
7.6.2. Çalışma verileri kullanılarak Plaxis 2D paket programında tekrarlanan analizler.....	138
7.6.3. Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması.....	139
8. SONUÇLAR	142
KAYNAKLAR.....	144
Ek-1 Kullanılan Yazılım: Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation.....	146

Ek-2 Kum Zeminlerde Desteksiz Kazı Durumunda Elde Edilen	167
Sonuçlar.....	
Ek-3 Kum Zeminlerde Çelik Palplanj ile Destekli Kazı Durumunda	
Elde Edilen Sonuçlar.....	180
Ek-4 Kum Zeminlerde Payandalı Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazı	
Durumunda Elde Edilen Sonuçlar.....	183
Ek-5 Kum Zeminlerde Betonarme Perde Duvar ile Desteklenmiş Kazı	
Durumunda Elde Edilen Sonuçlar.....	186
Ek-6 Kil Zeminlerde Desteksiz Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar..	189
Ek-7 Kil Zeminlerde Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazı Durumunda	
Elde Edilen Sonuçlar.....	207
Ek-8 Kil Zeminlerde Payandalı Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazı	
Durumunda Elde Edilen Sonuçlar.....	210
Ek-9 Kil Zeminlerde Betonarme Perde ile Desteklenmiş Kazı	
Durumunda Elde Edilen Sonuçlar.....	213

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
2.1. z derinliğindeki zemin parçasına etki eden düşey ve yatay gerilme.....	4
2.2. Sükunetteki yanal toprak basıncı (Das, 1990).....	5
2.3. Sükunetteki toprak basıncının dayanma duvarına dağılışı (Das,1990).....	6
2.4.Zeminde yer altı suyu bulunması durumunda sükunetteki yanal toprak basıncı diyagramları (Das, 1990).....	7
2.5. Rankine aktif toprak basıncı (Das, 1990).....	9
2.6. Kohezyonlu bir zeminde aktif toprak basıncının dağılımı (Sağlam, 2006).....	10
2.7. Kohezyonlu zeminlerde kaplamasız kazı yapılabilecek maksimum derinlik (Sağlam, 2006).....	11
2.8. Rankine pasif toprak basıncı (Das, 1990).....	11
2.9. Kohezyonsuz zeminde Coulomb aktif kaması (Sağlam, 2006).....	13
2.10. Kohezyonsuz zeminde Coulomb pasif kama teorisi (Sağlam, 2006).....	14
2.11. Kum ve kil zeminlerde destekli kazı durumu için Peck basınç zarfları (Das, 1990).....	15
3.1. Yükleme gerçekleştirildikten sonra oluşan deformasyonların Plaxis 2D ile analizi.....	19
3.2. Yükleme gerçekleştirildikten sonra oluşan deformasyonların Plaxis 3D Foundation ile analizi.....	19
4.1. 1 m kazı durumunda oluşan yanal deformasyonlar.....	21
4.2. 2 m kazı durumunda oluşan yanal deformasyonlar.....	21
4. 3 m kazı durumunda oluşan yanal deformasyonlar.....	22
4.4. 3.20 m kazı durumunda oluşan yanal deformasyonlar.....	22
4.5. 3.40 m kazı durumunda oluşan yanal deformasyonlar.....	22
4.6. 3.5 m kazı durumunda oluşan yanal deformasyonlar.....	23
4.7. 4 m kazı durumunda oluşan yanal deformasyonlar.....	23
4.8. Desteksiz kazı derinliği (m) – yanal deformasyon miktarı (mm) eğrisi....	24
4.9. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş zemin modeli.....	28

4.10. Payandalarla güçlendirilmiş çelik palplanj eleman ile desteklenmiş zemin modeli.....	28
4.11. Betonarme perde eleman ile desteklenmiş zemin modeli.....	29
4.12. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon üzerindeki etkileri.....	30
4.13. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	30
4.14. Yer altı suyunun yüzeyde bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon üzerindeki etkileri.....	31
4.15. Yer altı suyunun yüzeyde bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	31
4.16. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon üzerindeki etkileri.....	32
4.17. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	32
4.18. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon üzerindeki etkileri.....	33
4.19. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	33
4.20. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon üzerindeki etkileri.....	34
4.21. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	34

4.22. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri.....	35
4.23. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	35
4.24. Yer altı suyunun olmadığı durumda çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri.....	36
4.25. Yer altı suyunun olmadığı durumda payandalı çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri.....	37
4.26. Yer altı suyunun olmadığı durumda betonarme perde duvar ile desteklenmiş kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri.....	38
4.27. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok gevşek kum zeminde kazı.....	39
4.28. Yer altı suyunun olmadığı durumda gevşek kum zeminde kazı.....	39
4.29. Yer altı suyunun olmadığı durumda orta sıkı kum zeminde kazı.....	40
4.30. Yer altı suyunun olmadığı durumda sıkı kum zeminde kazı.....	40
4.31. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok sıkı kum zeminde kazı.....	41
4.32. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri.....	42
4.33. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	43
4.34. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri.....	43
4.35. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri.....	44
4.36. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri.....	44

4.37. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliğı oranı üzerindeki etkileri.....	45
4.38. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri.....	45
4.39. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliğı oranı üzerindeki etkileri.....	46
4.40. Yer altı suyunun olmadığı durumda çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri.....	46
4.41. Yer altı suyunun olmadığı durumda payandalı çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri.....	47
4.42. Yer altı suyunun olmadığı durumda betonarme perde duvar ile desteklenmiş kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri.....	48
4.43. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok yumuşak kil zeminde kazı.....	49
4.44. Yer altı suyunun olmadığı durumda yumuşak kil zeminde kazı.....	49
4.45. Yer altı suyunun olmadığı durumda orta katı kil zeminde kazı.....	50
4.46. Yer altı suyunun olmadığı durumda katı kil zeminde kazı.....	50
4.47. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok katı kil zeminde kazı.....	51
4.48. Yer altı suyunun olmadığı durumda sert kil zeminde kazı.....	51
5.1. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde kazı derinliğı-yanıl deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	54
5.2. Yer altı suyunun zemin yüzeyinde bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliğı-yanıl deformasyon miktarı regresyon eğrileri	55
5.3. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliğı-yanıl deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	56
5.4. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliğı-yanıl deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	57

5.5. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	58
5.6. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	59
5.7. Yer altı suyunun olmaması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	61
5.8. Yer altı suyunun -4 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	62
5.9. Yer altı suyunun -6 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	63
5.10. Yer altı suyunun -8 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri.....	64
6.1. Kazı duvarı arkasında gelişebilecek oturma tipleri (Hsieh ve Ou, 1998)..	65
6.2. Analizler sonucunda çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki.....	72
6.3. Analizler sonucunda çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki.....	76
6.4. Analizler sonucunda betonarme perde ile desteklenmiş kil zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki.....	83
6.5. Analizler sonucunda betonarme perde ile desteklenmiş kum zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki.....	86
7.1. ANSYS v.10 kullanılarak oluşturulan modeller (Keskin ve ark., 2008)...	88
7.2. Plaxis 2D paket programı kullanılarak iki boyutlu modelin oluşturulması.....	89
7.3. Doğal durumda toplam düşey gerilme dağılımı (σ_0).....	90
7.4. 10 kPa yükleme neticesinde oluşan toplam düşey gerilme dağılışı (σ_z)...	90
7.5. Plaxis 3D Foundation paket programı kullanılarak üç boyutlu modelin oluşturulması.....	92

7.6. Doğal durumda toplam düşey gerilme dağılımı (σ_0).....	92
7.7. 10 kPa yükleme neticesinde oluşan toplam düşey gerilme dağılışı (σ_z)...	93
7.8. Model-1 için H=10 m kazı derinliğinde zemin çivili iksa modeli (Demirkoç ve ark.).....	96
7.9. Model-1 için H=10 m kazı derinliğinde ankrajlı iksa modeli (Demirkoç ve ark.).....	96
7.10. Zemin çivili iksa sistemi kullanılması durumunda 8 m lik kazı modeli..	98
7.11. Deforme olmuş zemin modeli.....	99
7.12. İksa yapısında oluşan yanıl deformasyon dağılımı.....	99
7.13. İksa yapısında oluşan düşey deplasman dağılımı.....	100
7.14. İksa yapısında oluşan kesme kuvveti dağılımı.....	100
7.15. İksa yapısında oluşan eğilme momenti dağılımı.....	101
7.16. Homojen olmayan üç farklı zemin tabakalı şev modeli (Keskin ve Laman, 2007).....	105
7.17. Deformasyondan önceki sonlu eleman ağı.....	106
7.18. Deformasyon sonrasında sonlu eleman ağı.....	106
7.19. Toplam deplasman vektörleri.....	107
7.20. Toplam deplasman konturları.....	107
7.21. Toplam gerilme konturları.....	108
7.22. Plaxis 2D ile şev stabilite analizi neticesinde elde edilen güvenlik sayısı ($\Sigma M_{sf}=1.3306$).....	108
7.23. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda deforme olmuş ağ.....	114
7.24. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda oluşan düşey yer değıştirme.....	114
7.25. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda oluşan efektif gerilmeler.....	115
7.26. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda oluşan aktif boşluk suyu basıncı.....	115
7.27. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin deforme olmuş ağı.	116
7.28. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin düşey yer değıştirmesi.....	116

7.29. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin efektif gerilmeleri..	117
7.30. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin aktif boşluk suyu basıncı.....	117
7.31. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin en kritik kazığının eğilme momenti.....	118
7.32. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin en kritik kazığının normal kuvveti.....	118
7.33. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin en kritik kazığının kesme kuvveti.....	119
7.34. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın yükleme neticesinde deforme olmuş ağı.....	119
7.35. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın düşey yer değiştirmesi.....	120
7.36. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın efektif gerilmeleri.....	120
7.37. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın aktif boşluk suyu basıncı.....	121
7.38. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın eğilme momenti.....	121
7.39. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın normal kuvveti.....	122
7.40. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın kesme kuvveti.....	122
7.41. 4 m lik kum dolgunun kil tabakaları üzerine oturtulması (Demir, 2007)	128
7.42. 80 cm çapındaki taş kolonlar ile iyileştirilmiş temel zemini (Demir, 2007).....	128
7.43. 80 cm çapında geopier elemanların kil zemine tatbiki (Demir, 2007)....	129
7.44. İyileştirme yapılmamış killi zemin üzerine 4 m yükseklikte kum dolgunun tatbik edilmesi durumu için deforme olmuş model.....	130
7.45. 2 m aralıklarla yerleştirilmiş olan, 80 cm çaplı taş kolonlar ile güçlendirilmiş kum dolgu altında meydana gelen ani oturma.....	131
7.46. Statik durum için yatay deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007).....	136
7.47. Statik durum için düşey deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007).....	137
7.48. Sismik durum için yatay deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)....	137
7.49. Sismik durum için düşey deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)...	137
7.50. Plaxis 2D analizi sonucu statik durum için yatay deplasman dağılımı...	138
7.51. Plaxis 2D analizi sonucu statik durum için düşey deplasman dağılımı...	139
Ek-1. Genel özellikler – Proje Sayfası.....	147

Ek-2. Genel özellikler – Dimensions sayfası.....	148
Ek-3. Ana pencere.....	148
Ek-4. Geometri araç çubuğu.....	149
Ek-5. Hesaplama evresi.....	153
Ek-6. Genel Özellikler – Proje sayfası.....	154
Ek-7. Genel Özellikler – Dimensions sayfası.....	154
Ek-8. Ana pencere.....	155
Ek-9. Araç çubukları.....	156
Ek-10. Pile penceresi.....	157
Ek-11. Borehole penceresi.....	159
Ek-12. Yatay düzlemde yayılı yük bilgisi girişi.....	160
Ek-13. Düşey düzlemde yayılı yük bilgi girişi.....	160
Ek-14. Çizgisel yük bilgi girişi.....	160
Ek-15. Tekil yük bilgi girişi.....	161
Ek-16. Material Sets penceresi.....	161
Ek-17. Kiriş modele ait malzeme özelliklerinin girilmesi.....	162
Ek-18. Duvar modele ait malzeme özelliklerinin girilmesi.....	163
Ek-19. Zemin modele ait malzeme özelliklerinin girilmesi.....	164
Ek-20. Hesap adımlarının tanımlanması (Phases penceresi).....	165
Ek-21. Hesaplama bilgi penceresi.....	166

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
2.1. Zemin cinslerine göre K_0 değerleri (Uzuner, 1998).....	6
3.1. Analizlerde kullanılan kumlu zemin parametleri.....	17
3.2. Analizlerde kullanılan kazık eleman parametleri.....	18
4.1. Kaplamasız kazı derinliği hesaplanacak olan zemin parametreleri.....	20
4.2. Kum zemin modellemelerinde kullanılan zemin malzemelerinin özellikleri.....	26
4.3. Kil zemin modellemelerinde kullanılan zemin malzemelerinin özellikleri.....	27
4.4. Analizlerde kullanılan çelik palplanj elemana ait fiziksel parametreler...	27
4.5. Analizlerde kullanılan payanda elemanlara ait fiziksel parametreler.....	27
4.6. Analizlerde kullanılan betonarme perde elemana ait fiziksel parametreler.....	28
5.1. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	55
5.2. Yer altı suyunun zemin yüzeyinde bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	56
5.3. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	57
5.4. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	58
5.5. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	59
5.6. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	60
5.7. Yer altı suyunun olmaması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	61
5.8. Yer altı suyunun -4 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	62
5.9. Yer altı suyunun -6 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	63

5.10. Yer altı suyunun -8 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi.....	64
6.1. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	66
6.2. Çelik palplanj ile desteklenmiş yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 67	
6.3. Çelik palplanj ile desteklenmiş orta katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 68	
6.4. Çelik palplanj ile desteklenmiş katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	69
6.5. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 70	
6.6. Çelik palplanj ile desteklenmiş sert kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	71
6.7. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	73
6.8. Çelik palplanj ile desteklenmiş gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 74	
6.9. Çelik palplanj ile desteklenmiş orta sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 74	
6.10. Çelik palplanj ile desteklenmiş sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	75
6.11. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 75	
6.12. Betonarme perde ile desteklenmiş çok yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	77
6.13. Betonarme perde ile desteklenmiş yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	78

6.14. Betonarme perde ile desteklenmiş orta katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	79
6.15. Betonarme perde ile desteklenmiş katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 80	
6.16. Betonarme perde ile desteklenmiş çok katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	81
6.17. Betonarme perde ile desteklenmiş sert kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 82	
6.18. Betonarme perde ile desteklenmiş çok gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	84
6.19. Betonarme perde ile desteklenmiş gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	84
6.20. Betonarme perde ile desteklenmiş orta sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	85
6.21. Betonarme perde ile desteklenmiş sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum). 85	
6.22. Betonarme perde ile desteklenmiş çok sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum).....	86
7.1. Deney kumu için model parametreleri (Keskin ve ark., 2008).....	88
7.2. Deneysel, sayısal ve teorik sonuçların karşılaştırılması (Keskin ve ark., 2008).....	89
7.3. Plaxis 2D paket programı kullanılarak derinliğe bağlı ilave düşey gerilme dağılımı.....	91
7.4. Plaxis 3D Foundation paket programı kullanılarak derinliğe bağlı ilave düşey gerilme dağılımı.....	93

7.5. Keskin ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışma ve bu çalışmanın tekrar modellenmesi neticesinde elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	94
7.6. Model zemin parametreleri (Demirkoç ve ark.)	95
7.7. Zemin çivisi destekli iksa sistemleri malzeme özellikleri (Demirkoç ve ark.).....	96
7.8. Zemin çivisi destekli iksa sistemi analiz sonuçları (Demirkoç ve ark.)....	97
7.9. Ankraj destekli iksa sistemi analiz sonuçları (Demirkoç ve ark.).....	97
7.10. Zemin çivisi destekli iksa sistemi (8 m lik kazı derinliği ve 6.5 m zemin çivisi), Model-1 (Mohr-Coulomb) için analiz sonuçları.....	101
7.11. Demirkoç ve ark. Tarafından yapılan çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışma sonuçlarının karşılaştırılması.....	102
7.12. Malzeme özellikleri (Keskin ve Laman, 2007).....	105
7.13. Keskin ve Laman (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma baz alınarak gerçekleştirilen çalışmanın karşılaştırılması.....	110
7.14. Plaxis yazılımında kullanılan zemin parametreleri (Turan, 2006).....	112
7.15. Plaxis yazılımında kullanılan yapısal eleman parametreleri (Turan, 2006).....	112
7.16. Turan (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması.....	123
7.17. Analizlerde kullanılan modellere ait parametreler (Demir, 2007).....	127
7.18. İyileştirilmemiş modele ait ani ve konsolidasyon oturma miktarları (Demir, 2007).....	128
7.19. Farklı çaplarda taş kolonlar ile iyileştirilmiş zemin için dolgu merkezi altında ani ve konsolidasyon oturma miktarları (Demir, 2007).....	129
7.20. Geopier elemanları ile iyileştirilmiş zeminde dolgu merkezi altında ani ve konsolidasyon oturma miktarları (Demir, 2007).....	129
7.21. Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması.....	132
7.22. Nümerik analizde kullanılan zemin parametreleri (Kaya ve Durgunoğlu, 2007).....	135

7.23. Nümerik analizde kullanılan yapısal eleman parametreleri (Kaya ve Durgunoğlu, 2007).....	136
7.24. Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması....	140
Ek-1. Çok gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm).....	167
Ek-2. Çok gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları.....	168
Ek-3. Gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm).....	169
Ek-4. Gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları.....	170
Ek-5. Orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm).....	172
Ek-6. Orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları.....	172
Ek-7. Sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm).....	174
Ek-8. Sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları.....	175
Ek-9. Çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm).....	177
Ek-10. Çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları.....	177
Ek-11. Çok gevşek kum model analizleri neticesinde çelik palplanj eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	180
Ek-12. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	181
Ek-13. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	181

Ek-14. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	182
Ek-15. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	182
Ek-16. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	183
Ek-17. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	183
Ek-18. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	184
Ek-19. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	184
Ek-20. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	185
Ek-21. Çok gevşek kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	186
Ek-22. Gevşek kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	186
Ek-23. Orta sıkı kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	187
Ek-24. Sıkı kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	187

Ek-25. Çok sıkı kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm).....	188
Ek-26. Çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm).....	189
Ek-27. Çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları.....	190
Ek-28. Yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm).....	192
Ek-29. Yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları.....	193
Ek-30. Orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm).....	195
Ek-31. Orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları.....	196
Ek-32. Katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm).....	198
Ek-33. Katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları.....	199
Ek-34. Çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm).....	201
Ek-35. Çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları.....	202
Ek-36. Sert kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm).....	204
Ek-37. Sert kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları.....	205
Ek-38. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm).	207
Ek-39. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm).....	207

Ek-40. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	208
Ek-41. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	208
Ek-42. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	209
Ek-43. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sert kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	209
Ek-44. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	210
Ek-45. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	210
Ek-46. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	211
Ek-47. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	211
Ek-48. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	212
Ek-49. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sert kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	212
Ek-50. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).....	213
Ek-51. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).	213

Ek-52. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş orta katı kil model	
analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).	214
Ek-53. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş katı kil model	
analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).	214
Ek-54. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş çok katı kil model	
analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).	215
Ek-55. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş sert kil model	
analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm).	215

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliğinde üst yapının yüksek dayanımlı taşıyıcı tabakaya oturtulması, temelin çevre koşullarından etkilenmesinin önlenmesi gibi amaçlarla, zeminde kazı işi yapılmaktadır. Bu çalışmalar esnasında, inşa sahası civarında bulunan yapılar olumsuz yönde etkilenebilmekte, statik açıdan güvensiz duruma düşebilmektedir. Güvenilir bir kazı çalışmasının gerçekleştirilebilmesi için, ilgili zemine ait fiziksel parametrelerin tespit edilmesi gerekmektedir. Elde edilen parametreler kullanılarak çeşitli analiz teknikleri yardımıyla optimum sonuçlar üretilebilmektedir.

Serbest halde kendini tutamayan zeminlerde, kazı yüzeylerinin stabilitesinin sağlanabilmesi amacıyla, kazı destek sistemleri projelendirilmektedir. Bu projelendirmeler, kazı yüzeylerine etkiyen yanal toprak basınçlarının belirlenmesi ile başlar. Yanal toprak basınçlarının hesabı için çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konan teoriler kullanılmaktadır. Bu teoriler kullanılarak hesap edilen yüklere maruz kalacak olan elemanlarda meydana gelebilecek olan kesit tesirleri hesaplanarak, kazı destek sistemleri boyutlandırılır. Bu boyutlandırmalar yapıldıktan sonra, çeşitli analiz teknikleri kullanılarak yapılan bilgisayar modellemeleri ile, zemin yapısında ve zemini destekleyen destek yapısında meydana gelecek olan gerilmeler ve şekil değiştirmeler kontrol edilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında, kum ve kil zeminlerin desteksiz ve destek elemanları ile desteklenmiş durumlardaki yanal ve düşey deformasyon miktarında meydana gelen değişimler, kazı derinliği ile ilişkilendirilerek incelenmiştir. Ayrıca, literatürde yer alan çeşitli geoteknik çalışmalarda kullanılan veriler baz alınıp Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation yazılımlarında analizleri tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar orijinal çalışma sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

1.1. Önceki Çalışmalar

Sevencan ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, derin kazı modellemesi yapılan zemine ait elastisite modülü ve içsel sürtünme açısı parametrelerindeki değişimler neticesinde dayanma yapısı ile desteklenen kazı yüzeylerinde meydana

gelebilecek olan deformasyon miktarındaki değişimleri incelemişlerdir. Çalışma neticesinde, içsel sürtünme açısındaki değişime nazaran, elastisite modülü değerindeki değişimin deformasyon miktarı üzerindeki etkisinin daha belirgin ve fazla olduğu tespit edilmiştir.

Sert ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada, zemin parametrelerindeki değişimlerin analiz sonuçları üzerine olan etkisini Plaxis 2D v.9 ile modellemişlerdir. Bu çalışmada, kil malzemelerde kohezyonun ve kum malzemelerde ise içsel sürtünme açısının analiz sonuçları üzerindeki etkisinin en büyük olduğu tespit edilmiştir. Kumun elastisite modülü ve kilin içsel sürtünme açısı değerlerindeki değişimler analiz sonuçlarını pek fazla etkilememiştir.

Schweiger ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, üç kademe payanda ile güçlendirilmiş dayanma yapısı ve tabanında jet grout paneli ile desteklenmiş kazı durumunu Plaxis 2D ve Plaxis 3D ile modellemiş, aynı zamanda analiz sonuçlarını arazi gözlemleri ile karşılaştırmışlardır. Çalışmada, iki boyutlu ve üç boyutlu analiz sonuçlarında elde edilen yanal deformasyon miktarları ile arazi ölçümleri çok yakın olarak elde edilmiştir. Schweiger ve ark. (2009) çalışmalarında, dayanma duvarı ve jet-grout panelinin rijitliğini değişken olarak seçmişler ve elde ettikleri sonuçları da grafikleme yoluyla karşılaştırmışlardır.

Aydın (2010) yaptığı çalışmada, derin kazılar nedeniyle oluşacak olan yanal deformasyon miktarı ve zemin yüzeyinde meydana gelecek olan düşey deformasyon miktarını, literatürdeki ampirik yaklaşımları kullanarak hesaplamış ve elde ettiği sonuçları da arazi gözlemleri ile karşılaştırmıştır.

Tunca ve Berilgen (2011) tarafından yapılan çalışmada, diyafram perde ile desteklenmiş kazı durumunda oluşabilecek düşey ve yatay zemin deformasyonlarının kazı derinliği ve zemin özelliklerine bağlı değişimi Plaxis 2D yazılımı ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan ampirik bağıntılarla karşılaştırılmıştır.

Demirkoç ve ark. tarafından yapılan çalışmada, ankrajlı ve zemin çivili kazı destek sistemlerinin kullanılması durumlarında, farklı zemin modelleri için farklı derinliklerde gerçekleştirilen kazılar sonrasında meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Keskin ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada, kübik bir zemin modeli üzerine düşey statik yükleme yapılmış ve zeminde meydana gelen ilave gerilme artışları teorik, deneysel ve sayısal olarak analiz edilmiştir.

Keskin ve Laman (2007) tarafından yapılan çalışmada şev stabilite analizlerine Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımının uygulanabilirliğini araştırılmıştır. Sonlu elemanlar tekniğiyle elde edilen güvenlik sayısı sonuçları ile literatürdeki limit denge yöntemlerinden elde edilen güvenlik sayısı sonuçları karşılaştırılmıştır.

Turan (2006) tarafından yapılan çalışmada, kazıklı temellerin düşey statik yükler altındaki davranışı ampirik bağıntılar ve Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir.

Demir (2007) tarafından yapılan çalışmada, yumuşak killi zeminler üzerine tatbik edilecek kum dolgu altına taş kolon ve geopier tatbiki neticesinde oturmaların hangi seviyede olacağı ve uygulamanın taşıma gücüne olan etkisi incelenmiştir.

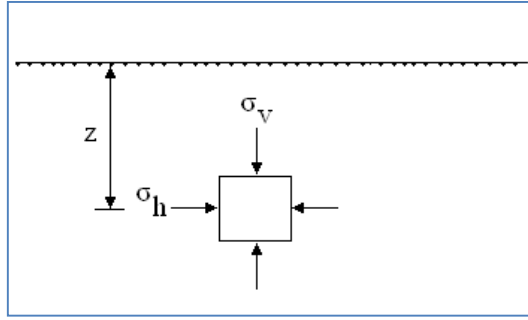
Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından yapılan çalışmada, “Davutpaşa Kavşağı ve Bağlantı Yolları İnşaatı” kapsamında inşaa edilecek olan toprakarme duvarlar için statik durum ve deprem etkisinin var olduğu durum için deformasyon analizi yapılmıştır. Çalışmada Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır.

2. YANAL TOPRAK BASINCI TEORİLERİ

Dayanma yapılarında görülen en önemli stabilite problemi yanal zemin basıncından kaynaklanmaktadır. Bir dayanma yapısına etki eden yanal toprak basıncının belirlenebilmesi için Rankine ve Coulomb teorilerinden faydalanılır.

2.1. Rankine Yanal Toprak Basıncı Teorisi

Rankine teorisine göre, yanal toprak basıncının düşey duvar yüzeyine yatay olarak etki ettiği kabul edilir. Yani, duvar yüzeyi ile zemin arasında bir sürtünmenin olmadığı kabul edilir.



Şekil 2.1. z derinliğindeki zemin parçasına etki eden düşey ve yatay gerilme

Herhangi bir z derinliğinde etki eden yanal toprak basıncı σ_h ile ve düşey toprak basıncı ise σ_v olarak simgelenirse;

$$\sigma_h = \sigma_v * K \quad (2.1)$$

şeklinde formülize edilmektedir. Burada, K yanal toprak basıncı katsayısıdır.

2.1.1. Sükunetteki yanal toprak basıncı

Bu durum elastik denge durumu olarak da bilinir. Dayanma yapısının hareket etmemesi halinde bu basınca sükunetteki yanal toprak basıncı denir ve katsayı K_0 ile sembolize edilir. Bu durumda;

$$\sigma_h = \sigma_v * K_0 \quad (2.2)$$

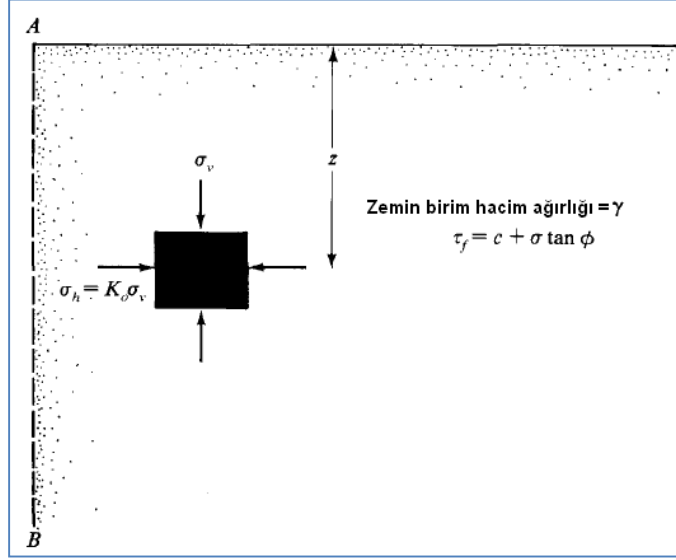
$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (2.3)$$

Burada;

σ_h : Yatay gerilme

σ_v : Düşey gerilme

K_0 : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı



Şekil 2.2. Sükunetteki yanal toprak basıncı (Das, 1990)

Granüler zeminler için sükunetteki toprak basıncı;

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (2.4)$$

Normal konsolide killer için sükunetteki toprak basıncı;

$$K_0 = 0.95 - \sin \phi \quad (2.5)$$

Aşırı konsolide killer için sükunetteki toprak basıncı;

$$K_{0(aşırı\ konsolide)} = K_{0(normal\ konsolide)} * \sqrt{OCR} \quad (2.6)$$

Burada,

ϕ : İçsel sürtünme açısı

OCR: Aşırı konsolidasyon oranıdır.

$$OCR = \frac{\text{Ön konsolidasyon basıncı}}{\text{Günümüzdeki efektif basınç}} \quad (2.7)$$

Normal konsolide killer için Alpan tarafından geliştirilen bir başka bağıntı ise;

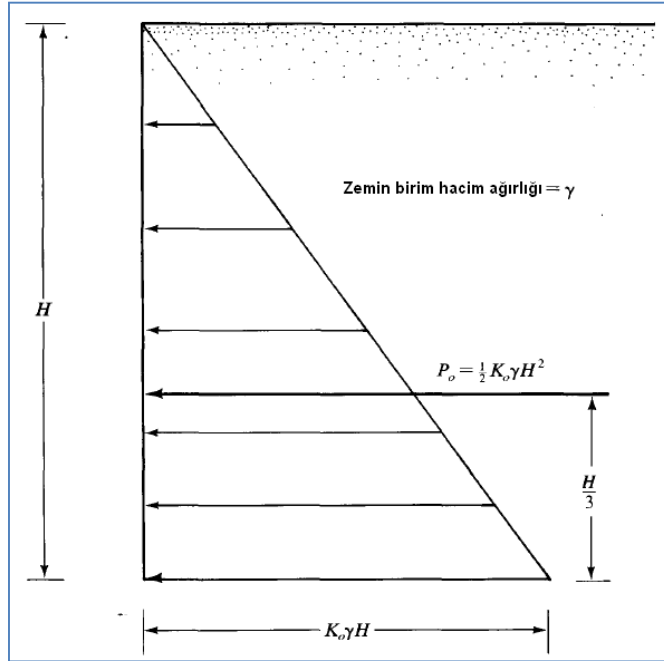
$$K_0 = 0.19 + 0.233 * \log (PI) \quad (2.8)$$

PI: Plastisite indisi

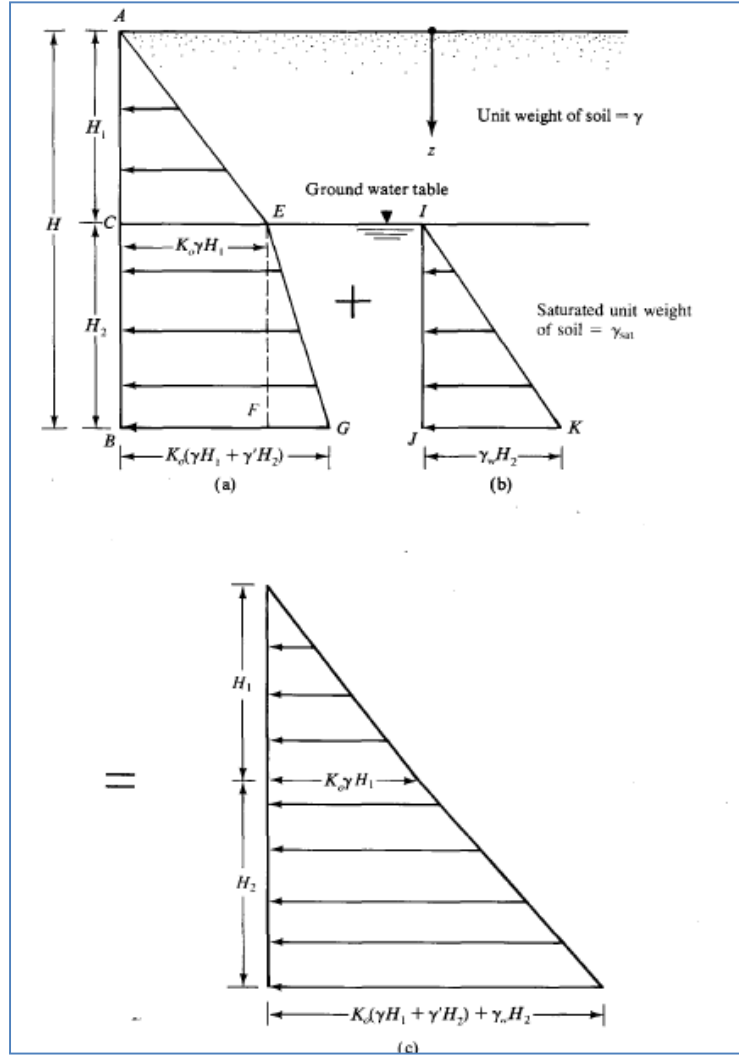
Zemin cinslerine göre tipik K_0 değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2.1. Zemin cinslerine göre K_0 değerleri (Uzuner, 1998)

Zemin Cinsi	K_0
Gevşek Kum	0.4
Sıkı Kum	0.6
Yumuşak Kil	0.6
Sert Kil	0.5



Şekil 2.3. Sükunetteki toprak basıncının dayanma duvarına dağılışı (Das, 1990)



Şekil 2.4. Zeminde yer altı suyu bulunması durumunda sükunetteki yanal toprak basıncı diyagramları (Das, 1990)

$z \leq H_1$ olması durumunda sükunetteki toprak basıncı,

$$\sigma_h = K_0 * \gamma * z \quad (2.9)$$

olacaktır. Bu durumda, σ_h ' in derinlikle değişimi yukarıda gösterilen (a) şeklindeki ACE üçgeni olacaktır.

Eğer $z \geq H_1$ olursa (yer altı su seviyesinin altında olması durumu), duvara etkiyen yanal toprak basıncı,

$$\sigma_v' = \gamma * H_1 + \gamma' * (z - H_1) \quad (2.10)$$

$$\gamma' = \gamma_{doymun} - \gamma_{su} \quad (2.11)$$

sükunetteki efektif yanal basınç ise,

$$\sigma_h' = K_0 * \sigma_v' = K_0 * [\gamma * H_1 + \gamma' * (z - H_1)] \quad (2.12)$$

olacaktır.

σ_h' in derinlikle değişimi (a) şeklinde verilen CEGB olacaktır. Boşluk suyunun duvarda meydana getirdiği basınç ise,

$$u = \gamma_{su} * (z - H_1) \quad (2.13)$$

Boşluk suyu basıncının derinlikle değişimi (b) şeklinde IJK ile gösterilmiştir. Yani, $z \geq H_1$ durumunda herhangi bir derinlikte yanal toprak basıncı,

$$\sigma_h = \sigma_h' + u \quad (2.14)$$

$$\sigma_h = K_0 * [\gamma * H_1 + \gamma' * (z - H_1)] + \gamma_{su} * (z - H_1) \quad (2.15)$$

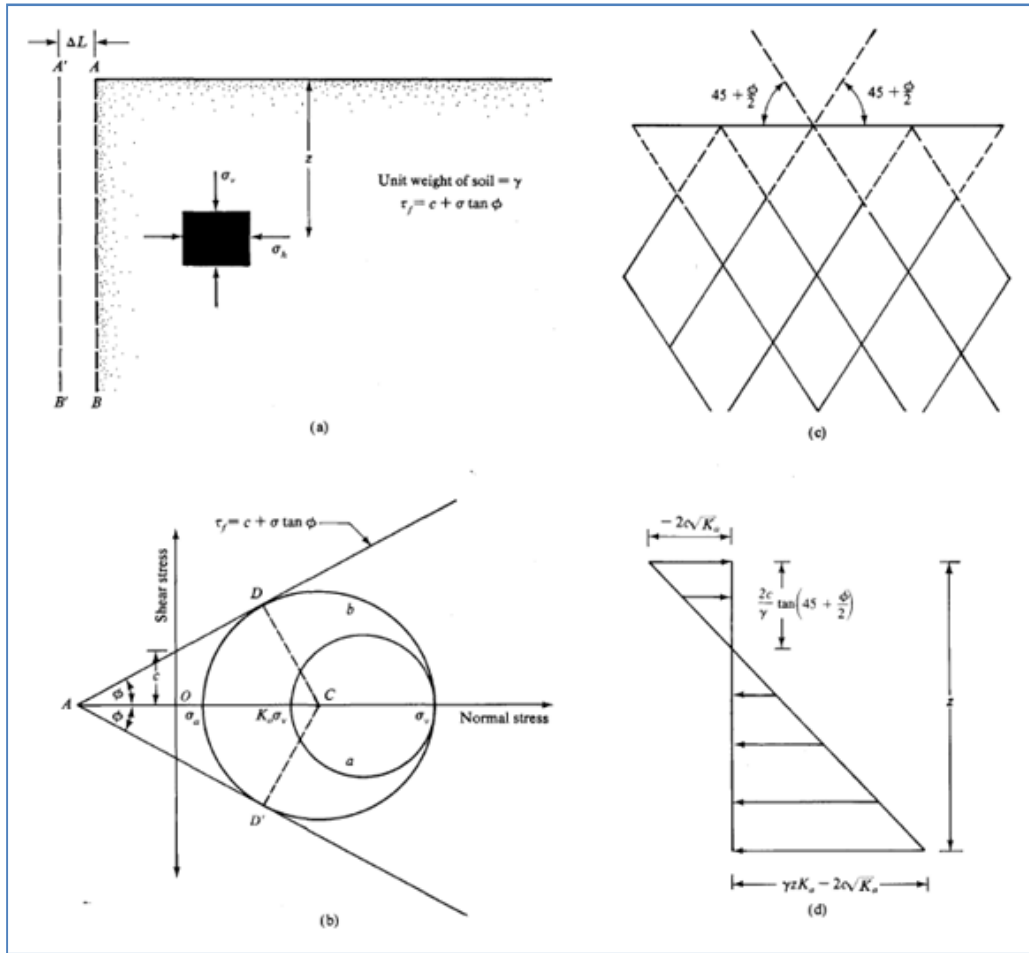
olacaktır.

Duvarın birim genişliğine etki eden kuvvet ise, (a) ve (b) şekilleri ile gösterilen basınç diyagramlarının alanları kullanılarak hesaplanabilir:

$$P_0 = \frac{1}{2} * K_0 * \gamma * H_1^2 + K_0 * \gamma * H_1 * H_2 + \frac{1}{2} * (K_0 * \gamma' + \gamma_{su}) * H_2^2 \quad (2.16)$$

Bu denklemde, ilk terim ACE alanını, ikinci terim CEBF alanını ve üçüncü terim ise EFG ve IJK alanlarını ifade etmektedir.

2.1.2. Rankine aktif toprak basıncı



Şekil 2.5. Rankine aktif toprak basıncı (Das, 1990)

Şekil 2.5' e göre, AB duvarı A'B' yönünde hareket ederse, yatay gerilmede azalma oluşacaktır. Yani zeminde bir genişleme durumu söz konusudur. Sükunet halinde Mohr dairesi (a) halindeyken duvarın hareketiyle birlikte yatay gerilme azalacak ve (b) haline dönüşecektir. (c) şeklinde, yenilme düzlemlerinin zeminde yatayla $\pm (45 + \phi/2)$ derecelik açılar yaptığı görülmektedir. Bu düzlemlere kayma düzlemleri denir.

Aktif toprak basıncı katsayısı;

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.17)$$

Kohezyonlu zeminler için aktif toprak basıncı;

$$\sigma_a = \gamma * z * \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2 * c * \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.18)$$

Kohezyonsuz zeminler için aktif toprak basıncı;

$$\sigma_a = \gamma * z * \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

K_a : Aktif toprak basıncı katsayısı.

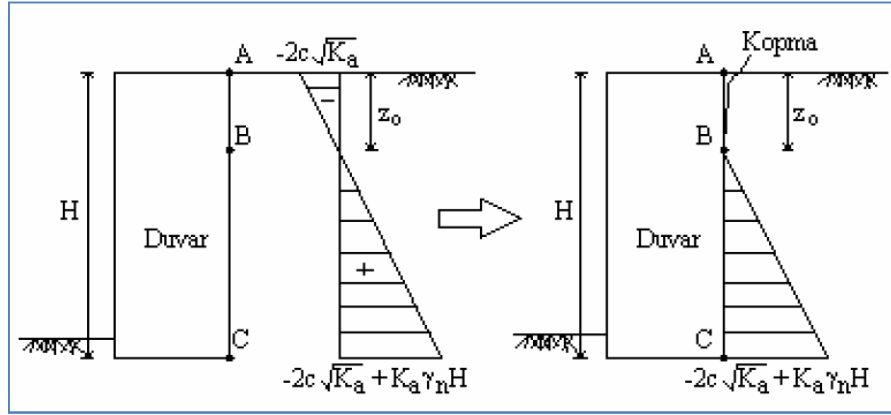
ϕ : İçsel sürtünme açısı.

γ : Zemin birim hacim ağırlığı.

z : Derinlik.

c : Kohezyon.

σ_a : Aktif toprak basıncı.



Şekil 2.6. Kohezyonlu bir zeminde aktif toprak basıncının dağılımı (Sağlam, 2006)

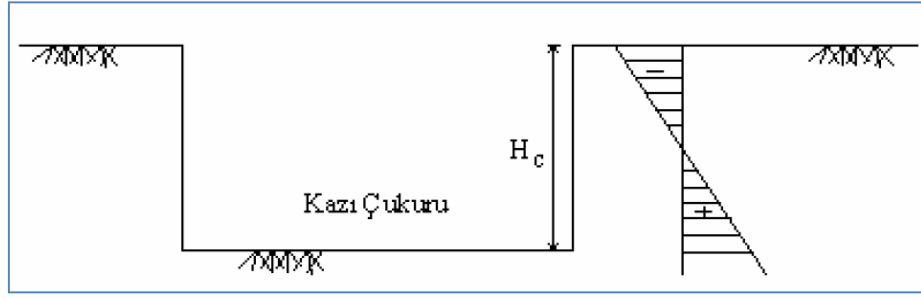
Yukarıdaki şekilde z_0 derinliğine kadar duvara etki eden herhangi bir aktif itkinin söz konusu olmadığı görülmektedir. Bu durumda;

$$\sigma_a = \gamma * z_0 * K_a - 2 * c * \sqrt{K_a} = 0 \quad (2.20)$$

$$\gamma * z_0 * K_a = 2 * c * \sqrt{K_a} \quad (2.21)$$

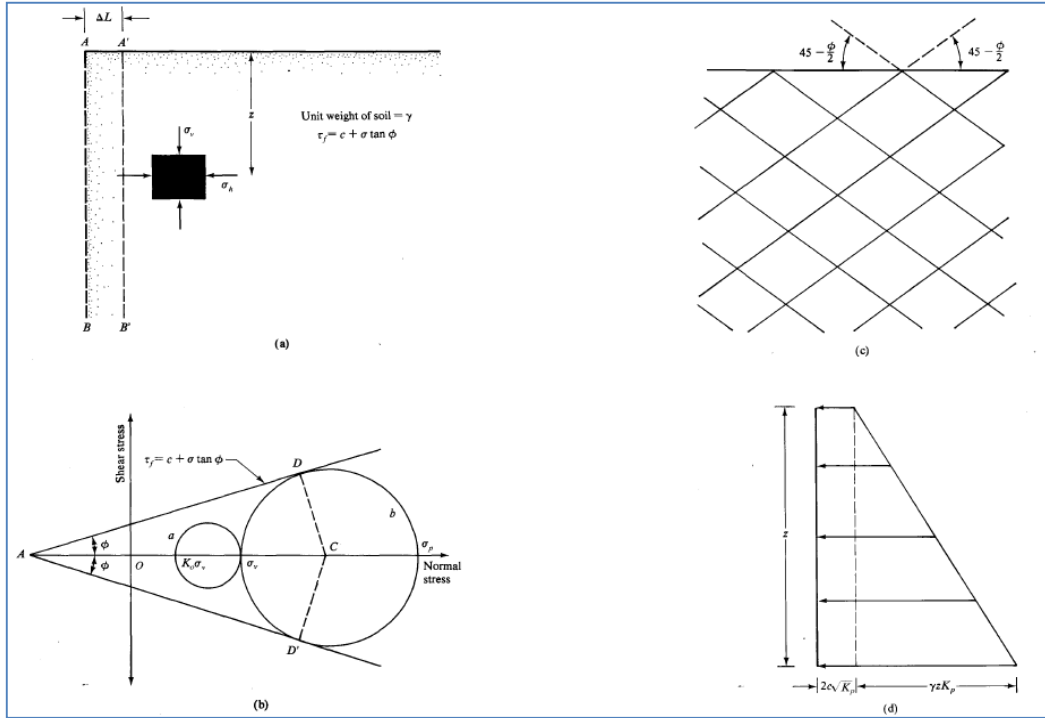
$$z_0 = \frac{2 * c}{\gamma * \sqrt{K_a}} \quad (2.22)$$

olacaktır. Kohezyonlu zeminlerde, $H_c = 2z_0$ derinliğe kadar kaplama yapılmaksızın kazı yapılması mümkün olabilmektedir. Çünkü H_c derinliğinde duvara etkiyen itkinin bileşkesi sıfır olmaktadır. Bu durum aşağıdaki şekilde gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Kohezyonlu zeminlerde kaplamasız kazı yapılabilecek maksimum derinlik (Sağlam, 2006)

2.1.3. Rankine pasif toprak basıncı



Şekil 2.8. Rankine pasif toprak basıncı (Das, 1990)

Eğer, AB duvarı, zemin kütlesi içine doğru hareket ederse, σ_h yatay gerilmesi artış gösterecektir. Zeminde bir sıkışma durumu söz konusudur.

Pasif toprak basıncı katsayısı;

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

Kohezyonlu zeminler için pasif toprak basıncı;

$$\sigma_p = \gamma * z * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) + 2 * c * \tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.24)$$

Kohezyonsuz zeminler için pasif toprak basıncı;

$$\sigma_p = \gamma * z * \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (2.25)$$

şeklinde ifade edilir. Burada;

K_p : Pasif toprak basıncı katsayısı.

ϕ : İçsel sürtünme açısı.

γ : Zemin birim hacim ağırlığı.

Z : Derinlik.

C : Kohezyon.

Σ_p : Pasif toprak basıncı.

2.2. Coulomb Yanal Toprak Basıncı Teorisi

Coulomb (1776), bu teoriyi geliştirirken şu kabulleri yapmıştır:

Zemin izotrop ve homojendir.

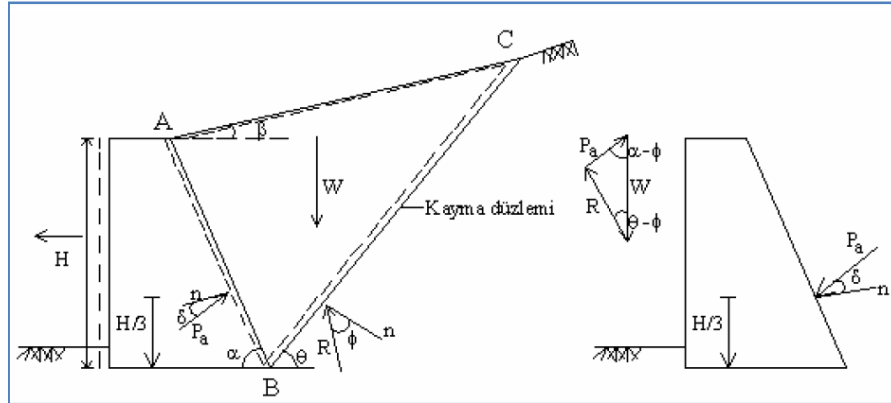
Duvar ile zemin arasında sürtünme vardır.

Sürtünme kuvvetleri kayma düzlemi boyunca üniform dağılmıştır.

Kayma kaması rijit bir kütledir.

Coulomb teorisine göre, duvar arkası pürüzlüdür ve zemin ile duvar arasında bir sürtünme kuvveti mevcuttur.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 2.9. Kohezyonsuz zeminde Coulomb aktif kaması (Sağlam, 2006)

Yukarıdaki şekilde ABC zemin kaması dengede olup, etki eden kuvvetler aşağıda açıklanmıştır.

W: ABC kamasının ağırlığı.

R: Kayma kaması boyunca etkiyen bileşke kuvvet.

P_a : AB düzlemi boyunca etkiyen aktif bileşke kuvveti.

Aktif durumda kama aşağı doğru hareket ettiği için P_a ve R bileşke kuvvetleri hareket yönünün tersi yönde yüzey normalleri n ile sırasıyla δ ve $\emptyset$ açıları yapar.

Burada;

ϕ : Zeminin zeminle olan içsel sürtünme açısı,

δ : Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısıdır. Bu açı, genellikle $\phi/3$ ile $2\phi/3$ arasında bir değer olarak alınmaktadır.

Coulomb aktif kama teorisinde, aktif itki;

$$P_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_a \quad (2.26)$$

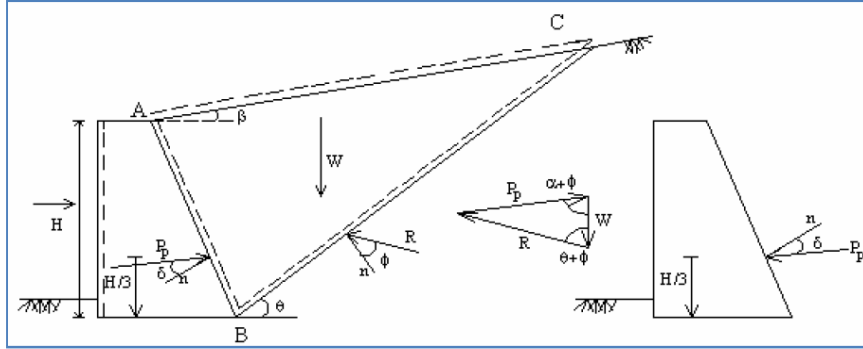
$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha * \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) * \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.27)$$

olarak verilir. Burada;

P_a : Aktif itki kuvvetidir.

A=90°, $\beta=0^\circ$ ve $\delta=0^\circ$ için, bağıntı Rankine aktif toprak basıncı katsayısı formülizasyonu olan, $K_a=\tan^2(45 - \phi/2)$ haline gelecektir.

2.2.2. Coulomb pasif toprak basıncı



Şekil 2.10. Kohezyonsuz zeminde Coulomb pasif kama teorisi (Sağlam, 2006)

Pasif durumda, kama yukarı doğru hareket etmektedir. Bu durumda;

$$P_p = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_p \quad (2.28)$$

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.29)$$

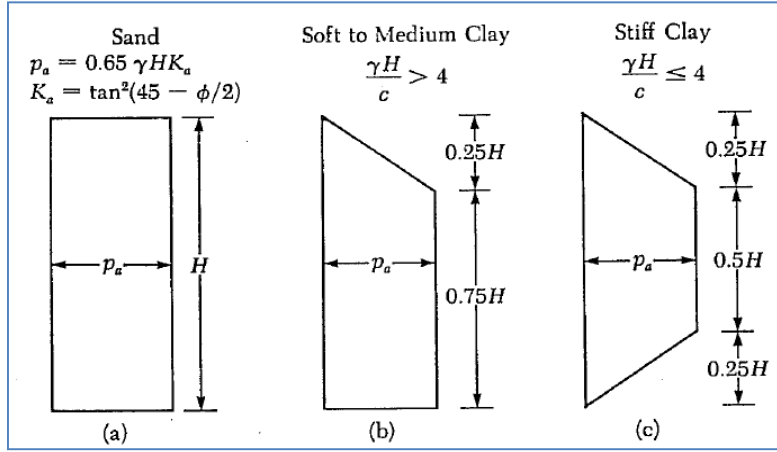
P_p : Pasif itki kuvvetidir.

$A=90^\circ$, $\beta=0^\circ$ ve $\delta=0^\circ$ için, bağıntı Rankine pasif toprak basıncı katsayısı formülizasyonu olan, $K_p=\tan^2(45 + \phi/2)$ haline gelecektir.

2.3. Destekli Kazı Durumunda Yanal Toprak Basıncı

Derin kazılar esnasında kazı düşey yüzeylerinde meydana gelecek olan yenilmeden dolayı, çevre yapıların temellerinde herhangi bir hasara engel olmak amacıyla, geçici olarak destekleme yapılabilir.

Peck (1969) tarafından kum ve kil zeminler için tasarım gerilme zarfları önerilmiştir.



Şekil 2.11. Kum ve kil zeminlerde destekli kazı durumu için Peck basınç zarfları
(Das, 1990)

Şekil 2.11(a) da kuru ya da ıslak kum zeminlerde destekli kazı durumu için yanal toprak basıncı dağılımı verilmiştir.

Kil zeminlerde ise ilk aşamada, $\gamma H/c$ değeri hesaplanır. Eğer bu değer 4 ten küçük ya da eşitse basınç dağılımı 2.11(c) deki gibi kabul edilir. Bu durumda p_a değeri $0.2 \gamma H$ ile $0.4 \gamma H$ arasında değişir; ortalama olarak $0.3 \gamma H$ alınabilir. Eğer $\gamma H/c$ değeri 4 ten büyükse, bu durumda Şekil 2.11(b) deki gibi bir yanal basınç gelişimi olduğu kabul edilir. Bu durumda, p_a değeri $\gamma H[1 - (4c/\gamma H)]$ ya da $0.3 \gamma H$ değerlerinden hangisi büyükse ona eşit kabul edilir.

Bazı durumlarda kazı esnasında kil ve kum zeminlerin ardalanmalı olarak bulunduğu gözlemlenebilir. Bu durumda, Peck (1943) tarafından kohezyon değeri şu şekilde hesaplanır.

$$c_{ort} = \frac{1}{2H} [\gamma_s K_s H_s^2 \tan \phi_s + (H - H_s) n' q_u] \quad (2.30)$$

Burada; H: Toplam kazı derinliği,

γ_s : Kumun birim hacim ağırlığı,

H_s : Kum tabakanın kalınlığı,

K_s : Kum için yanal toprak basıncı katsayısı (~ 1),

ϕ_s : Kumun içsel sürtünme açısı,

q_u : Killer için drenajsız basınç gerilmesi

n' : Yenilme sabiti (0.5 ile 1 arasında değişmektedir. Ortalama olarak 0.75 alınabilir.)

Ortalama birim hacim ağırlık ise şu şekilde hesaplanabilmektedir:

$$\gamma_{ort} = \frac{1}{H} [\gamma_s H_s + (H - H_s) \gamma_c] \quad (2.31)$$

Burada; γ_s : Kil zemine ait doymuş birim hacim ağırlıktır.

Benzer şekilde, kazı esnasında birden fazla farklı kil tabakası ile de karşılaşılabilir. Bu durumda

$$c_{ort} = \frac{1}{H} [c_1 H_1 + c_2 H_2 + \dots + c_n H_n] \quad (2.32)$$

Burada, $c_1, c_2, \dots, c_n$: Her bir tabaka için drenajsız kohezyon

$H_1, H_2, \dots, H_n$: Her bir tabakanın kalınlığı

Ortalama birim hacim ağırlık ise,

$$\gamma_{ort} = \frac{1}{H} [\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 + \dots + \gamma_n H_n] \quad (2.33)$$

3. PLAXIS 2D ve PLAXIS 3D FOUNDATION YAZILIMLARI ARASINDAKİ UYUM

Bu bölümde, perde kazıklar kullanılarak oluşturulmuş dayanma yapısı üzerine düşey yükleme durumu Plaxis 2D ve 3D Foundation yazılımları kullanılarak analiz edilmiş ve elde edilen sonuçların uyumu saptanmaya çalışılmıştır.

Model olarak, Afacan (2007) tarafından yapılan çalışma verilerinden, D=1000 mm çaplı, L=15 m boylu perde kazık elemanlardan oluşan kumlu zemin modeli için 5 m lik kazı durumu seçilmiştir.

Aşağıda analiz edilen modele ait parameteler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Analizlerde kullanılan kumlu zemin parameteleri

Kumlu zemin modeli	Plaxis 2D /3D Foundation
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb
Malzeme Tipi	Drenajlı
γ_k (kN/m ³)	17
γ_d (kN/m ³)	19
E^{rel} (kN/m ²)	15000
E_{oed}^{rel} (kN/m ²)	20190
ν	0.3
G^{rel} (kN/m ²)	5769.231
c (kN/m ²)	2
ϕ (°)	32.5
Ψ	2
R_f	0.7

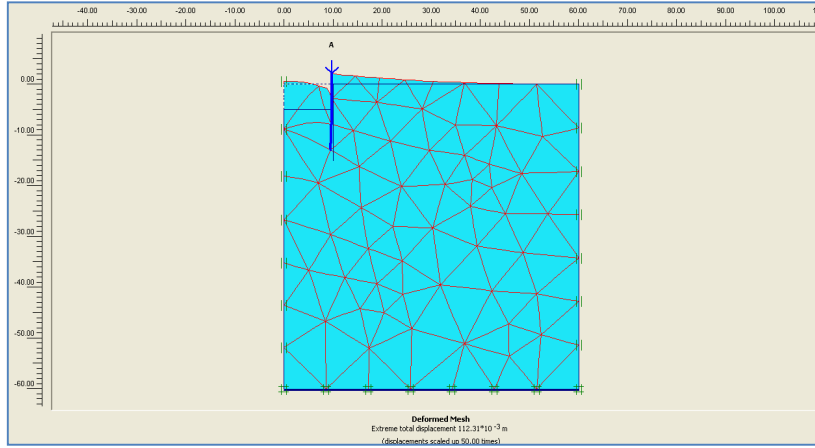
Çizelge 3.2. Analizlerde kullanılan kazık eleman parametreleri

Plaxis 2D	Plaxis 3D Foundation
Elastik	Lineer Elastik
$EA = 2.356E+07 \text{ kN/m}$	Geçirimsiz
$EI = 1.473E+06$	$\gamma_k = 25 \text{ kN/m}^3$
$\nu = 0.2$	$E = 30000000 \text{ kN/m}^2$
	$\nu = 0.2$
	$G^{\text{ref}} = 12500000 \text{ kN/m}^2$
	$E_{\text{oed}} = 33330000 \text{ kN/m}^2$

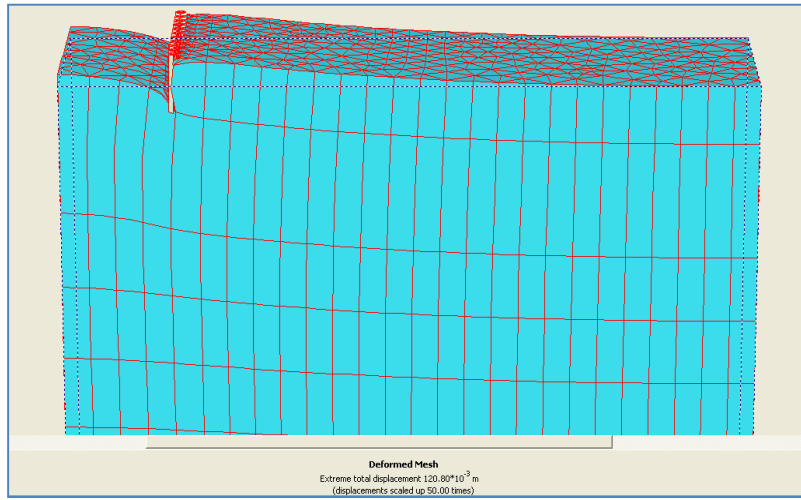
Bu analizde, 1000 mm çaplı, 15 m uzunluklu kazık elemanların tatbik edildiği kumlu zemin modeli Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılarak modellenmiştir. Kazıkların ön kısmında 5 m lik kazı gerçekleştirilmiştir. Analizde, rastgele seçilen $S=1.5D$ durumu için 11 adet kazık üzerine 300 kN değerinde tekil yükleme durumunda oluşan deplasman değerleri tespit edilmiştir.

Analizin ilk adımında zemine kendi ağırlığında yükleme yapılmıştır. Bu sayede zemin ön konsolide hale getirilmiştir ve sonrasında oluşan deformasyonlar sıfırlanmıştır. İkinci adımda zemin parametreleri yerine kazık parametreleri atanarak perde kazıklar oluşturulmuş ve perde kazıkların kendi ağırlığından dolayı zeminde meydana gelen deplasmanlar yine sıfırlanmıştır. Üçüncü adımda kum zeminde perde kazıkların ön kısmında 5 m derinliğinde hafriyat yapılmış ve hafriyat nedeniyle zeminde oluşan deplasmanlar yine sıfırlanmıştır. Son adımda ise her bir kazık üzerine 300 kN büyüklüğünde tekil yüklemeler yapılarak oluşan deplasmanlar hesaplanmıştır.

Aşağıda 300 kN değerinde tekil yükleme yapılan durum için Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation analiz çıktıları gösterilmiştir



Şekil 3.1. Yükleme gerçekleştirildikten sonra oluşan deformasyonların Plaxis 2D ile analizi



Şekil 3.2. Yükleme gerçekleştirildikten sonra oluşan deformasyonların Plaxis 3D Foundation ile analizi

Plaxis 2D analizi sonucunda oluşan düşey deplasman değeri 112.31 mm olarak, Plaxis 3D Foundation analizi sonucunda oluşan düşey deplasman değeri ise 120.80 mm olarak tespit edilmiştir. Bu durum, iki boyutlu ve üç boyutlu analizler arasındaki uyumu açıkça göstermektedir.

Elde edilen düşey oturma değerleri, Afacan (2007) tarafından yapılan çalışmanın sonuçlarıyla da uyum göstermektedir (Plaxis 3D Foundation: 155 mm).

4. DERİN KAZI PROBLEMLERİNİN PLAXIS 3D FOUNDATION YAZILIMI İLE MODELLENMESİ

4.1. Desteksiz Maksimum Kazı Derinliğinin Analizi

4.1.1. Teorik olarak desteksiz maksimum kazı derinliğinin tespiti

Kohezyonlu zeminlerde, $H_c = 2z_0$ derinliğe kadar kaplama yapılmaksızın kazı yapılmasının mümkün olabileceği verilmişti.

$$z_0 = \frac{2 * c}{\gamma * \sqrt{K_a}}$$

Zemin parametreleri aşağıdaki gibi kullanılarak, desteksiz olarak yapılabilecek maksimum kazı derinliği teorik olarak şu şekilde hesaplanır.

Çizelge 4.1. Kaplamasız kazı derinliği hesaplanacak olan zemin parametreleri

Parametre	Değer
Birim hacim ağırlık	17 kN/m ³
Elastisite Modülü	7800 kN/m ²
Kohezyon	10
İçsel sürtünme açısı	20
Poisson Oranı	0.3

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45 - \frac{20}{2} \right) = 0.4903$$

$$z_0 = \frac{2 * 10}{17 * \sqrt{(0.4903)}} = 1.68 \text{ m}$$

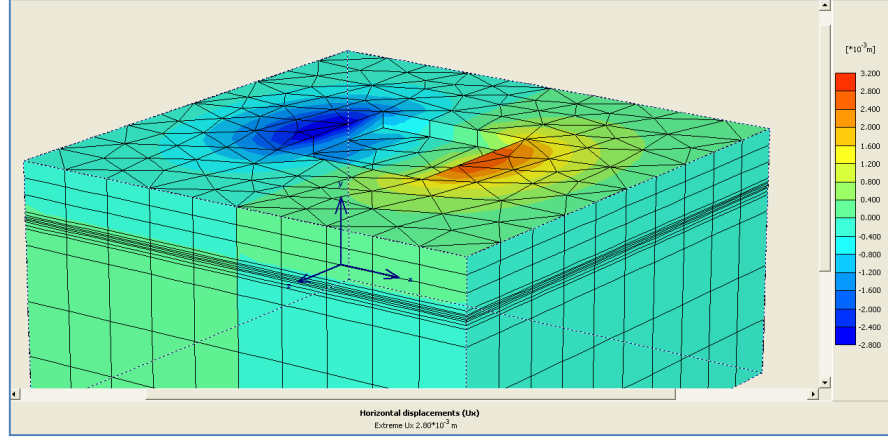
Kritik kazı derinliği;

$$H_c = 2 * z_0 = 2 * 1.68 = 3.36 \text{ m}$$

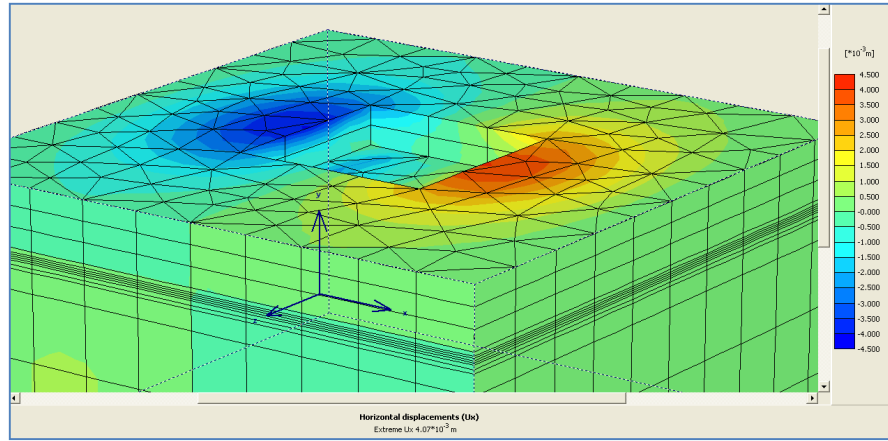
bulunur.

Teorik olarak yapılan bu hesaba göre, 3.36 m den daha derin olarak yapılan kazılarda önemli ölçüde stabilite problemleri oluşacaktır. Bu yüzden bu derinlikten daha derin olan kazıların destekleme sistemleri kullanılarak yapılması gerekmektedir.

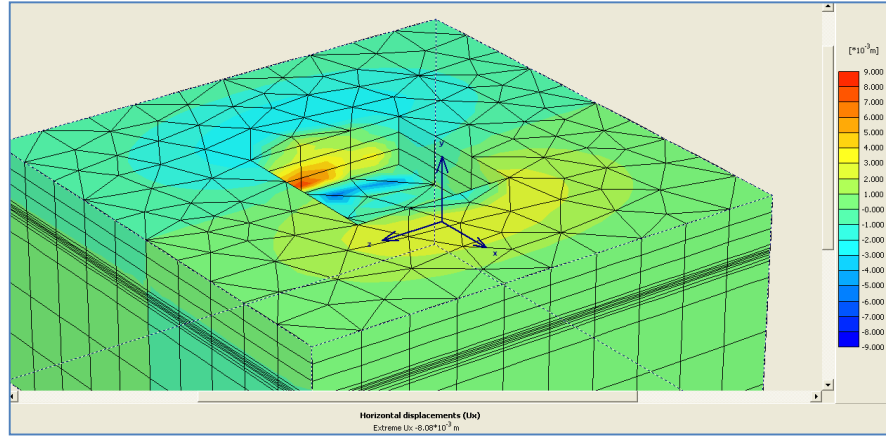
4.1.2. Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak desteksiz maksimum kazı derinliğinin tespiti



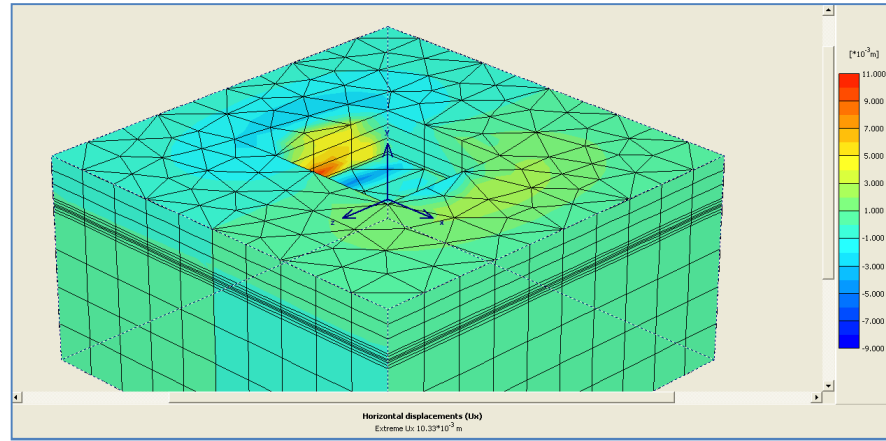
Şekil 4.1. 1 m kazı durumunda oluşan yanıl deformasyonlar



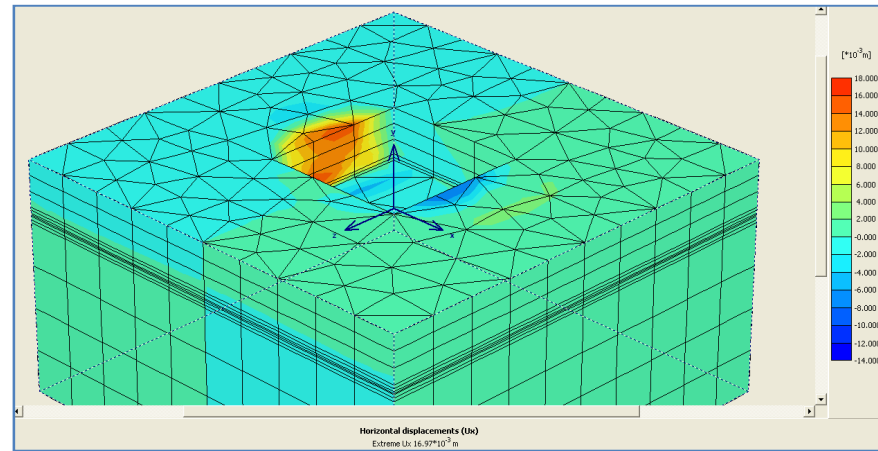
Şekil 4.2. 2 m kazı durumunda oluşan yanıl deformasyonlar



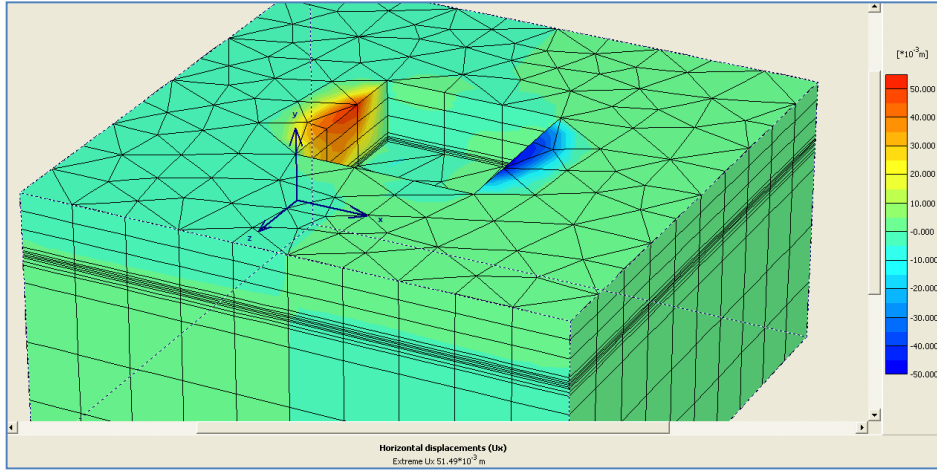
Şekil 4.3. 3 m kazı durumunda oluşan yanıl deformasyonlar



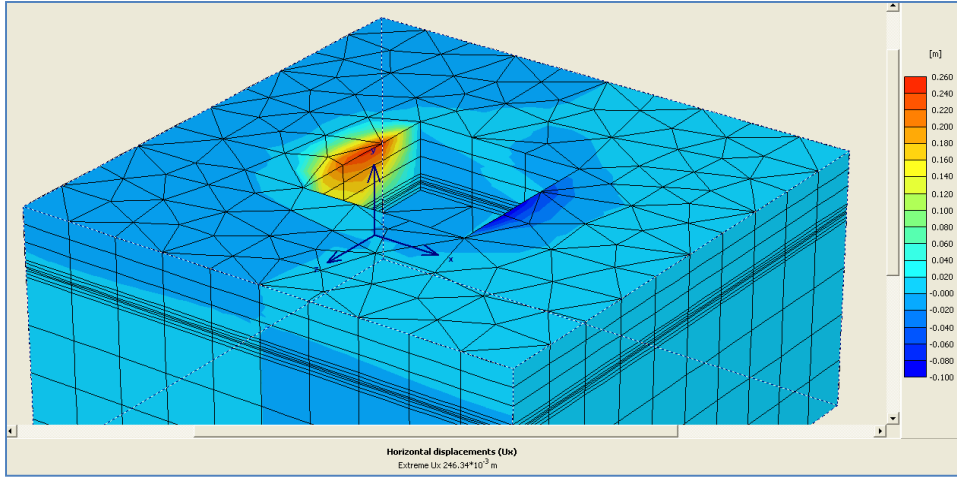
Şekil 4.4. 3.20 m kazı durumunda oluşan yanıl deformasyonlar



Şekil 4.5. 3.40 m kazı durumunda oluşan yanıl deformasyonlar



Şekil 4.6. 3.5 m kazı durumunda oluşan yanıl deformasyonlar



Şekil 4.7. 4 m kazı durumunda oluşan yanıl deformasyonlar



Şekil 4.8. Desteksiz kazı derinliği (m) – yanal deformasyon miktarı (mm) eğrisi

Plaxis 3D Foundation analizleri sonucunda oluşturulan kazı derinliği-yanal deformasyon eğrisinden, maksimum yapılabilecek kazı derinliği 3.40 m civarında bulunmuştur. Bu derinlik değerinden daha derin yapılacak kazılarda stabilite sorunları oldukça büyük olarak karşımıza çıkmaktadır.

Görüldüğü gibi teorik olarak hesaplanan desteksiz maksimum kazı derinliği değeri Plaxis 3D Foundation analiz sonuçlarıyla da uyumludur.

4.2. Kazı Derinliği - Yanal Deformasyon Miktarı Analizleri

Bu bölümde zemin parametrelerindeki ve yer altı su seviyesindeki değişimlere bağlı olarak farklı kazı derinliklerinde meydana gelebilecek olan yanal deformasyonların, zeminin serbest hali ve desteklenmiş halleri için karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır.

Çalışmada sonlu elemanlar yazılımı olarak Plaxis 3D Foundation kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan zemin modelleri kum ve kil zeminler olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Kum zeminler; çok gevşek kum zemin, gevşek kum zemin, orta sıkı kum zemin, sıkı kum zemin ve çok sıkı kum zemin olarak sınıflandırılmıştır. Kil zeminler; çok yumuşak kil zemin, yumuşak kil zemin, orta katı kil zemin, katı kil zemin, çok katı kil zemin ve sert kil zemin olarak sınıflandırılmıştır.

Tüm bu zemin modeller, desteksiz kazı durumu için sırasıyla yer altı suyunun olmadığı, zemin yüzeyinde bulunması, -2 m derinlikte, -4 m derinlikte, -6 m derinlikte ve -8 m derinlikte bulunması durumları için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Destek sistemlerinin kullanılması durumu ise yer altı suyunun olmadığı şartlarda modellenmiştir. Destek sistemi olarak çelik palplanj elemanlar, betonarme perde duvar elemanlar seçilmiş ve ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir.

Yer altı suyunun var olduğu modeller için analizler kazı esnasında kazı çukurunda biriken yer altı suyunun tahliyesi yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bu sayede kazı çukurunda biriken yer altı suyu, kazı yan yüzeyleri üzerinde pasif bir itki oluşturmakta ve stabiliteye katkı sağlamaktadır. Ancak, kazı çukurunda biriken suyun tahliye edilmesi ile birlikte kazı yan yüzeylerindeki stabilite kayıplarında meydana gelecek olan artış göz ardı edilmemelidir.

Analiz sonuçları incelenirse, fiziksel parametrelerde meydana gelen iyileşmenin yanal deformasyon miktarında azalma meydana getirdiği dolayısıyla stabiliteyi artırdığı görülecektir. Kazı derinliği arttıkça, oluşan yanal deformasyon miktarı her bir zemin modeli için artış göstermektedir.

Yer altı su seviyesindeki değişime bağlı olarak yanal deformasyon değişimi incelendiğinde ise, yer altı suyunun var olmadığı durumda meydana gelen yanal deformasyon miktarının en fazla olduğu, yer altı suyunun zemin yüzeyinde olduğu durumda oluşan yanal deformasyon miktarının ise en düşük olduğu görülecektir. Yer altı su seviyesinde meydana gelen düşme ise yanal deformasyon miktarının artmasına neden olmaktadır. Yer altı suyunun yüzeyde olması durumunda, kazı yüzeyinin tamamı yer altı suyu tarafından oluşturulan pasif itki ile desteklenmektedir. Dolayısıyla, yer altı su seviyesindeki azalma ile bu pasif itkinin büyüklüğünde azalma meydana gelmektedir. Yer altı su seviyesindeki düşüşe bağlı olarak yanal deformasyon miktarında meydana gelen artış da bu nedenledir.

Kazı destek sistemleri mukayese edildiğinde ise, çelik palplanj eleman ile desteklenen kazı yüzeylerinin deformasyon miktarının, ele alınan diğer destek sistemlerine nazaran daha fazla olduğu görülmektedir. Palplanj elemanların payandalarla güçlendirilmesi ile birlikte, kazı yüzeylerinde oluşan yanal

deformasyon miktarı daha da düşüş göstermektedir. Betonarme perde duvarın kullanıldığı modeller ise, diğer destek yapılarının kullanıldığı modellere nazaran en az deformasyonun olduğu modeller olarak tespit edilmiştir.

Destekleme sistemi olarak modellenen çelik palplanj, payanda destekli çelik palplanj ve betonarme perde duvar elemanlara ait fiziksel parametreler aşağıda verilmiştir.

Analizlerde kullanılan zemin ve yapısal elemanlara ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kum zemin modellemelerinde kullanılan zemin malzemelerinin özellikleri

Malzeme	Malzeme Modeli	γ_{kuru} (kN/m ³)	γ_{doygun} (kN/m ³)	ν	E (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
Çok gevşek kum	Mohr-Coloumb, drenajlı	11	12	0.20	10350	0.01	26
Gevşek kum	Mohr-Coloumb, drenajlı	14	15	0.23	15000	0.01	28
Orta sıkı kum	Mohr-Coloumb, drenajlı	17	18	0.25	20000	0.01	32
Sıkı kum	Mohr-Coloumb, drenajlı	20	21	0.27	35000	0.01	37
Çok sıkı kum	Mohr-Coloumb, drenajlı	22	23	0.30	50000	0.01	43

Çizelge 4.3. Kil zemin modellemelerinde kullanılan zemin malzemelerinin özellikleri

Malzeme	Malzeme Modeli	γ_{kuru} (kN/m ³)	γ_{doymun} (kN/m ³)	ν	E (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
Çok yumuşak kil	Mohr-Coloumb, drenajsız	10.00	11.50	0.20	2070	10	-
Yumuşak kil	Mohr-Coloumb, drenajsız	11.50	13.00	0.25	4000	20	-
Orta katı kil	Mohr-Coloumb, drenajsız	13.00	14.50	0.30	5180	30	-
Katı kil	Mohr-Coloumb, drenajsız	16.00	17.50	0.35	8500	75	-
Çok katı kil	Mohr-Coloumb, drenajsız	17.00	18.50	0.40	10350	150	-
Sert kil	Mohr-Coloumb, drenajsız	19.00	20.50	0.45	25000	250	-

Çizelge 4.4. Analizlerde kullanılan çelik palplanj elemana ait fiziksel parametreler

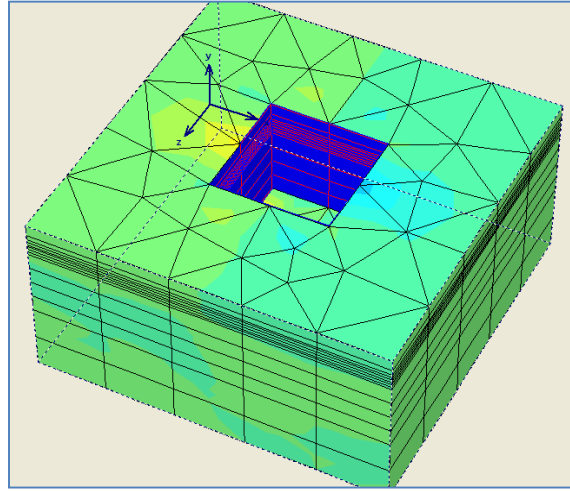
Kalınlık (d)	Birim Hacim Ağırlık (γ)	Elastisite Modülü (E)	Kayma Modülü (G)	Poisson Oranı (ν)
cm	kN/m ³	kN/m ²	kN/m ²	-
10.00	77.00	2E+8	7.692E+7	0.3

Çizelge 4.5. Analizlerde kullanılan payanda elemanlara ait fiziksel parametreler

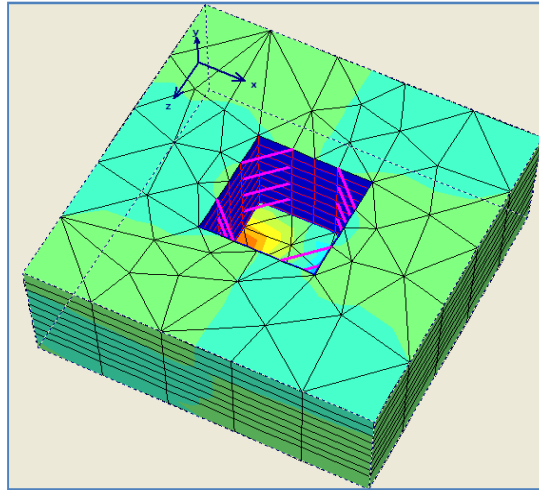
Kesit Alanı (A)	Birim Hacim Ağırlık (γ)	Elastisite Modülü (E)	Atalet Momenti (I)			Poisson Oranı (ν)
m ²	kN/m ³	kN/m ²	m ⁴			-
			I2	I3	I23	
0.027	78.50	2.1E+8	1.37E-3	1.31E-4	0.00	0.10

Çizelge 4.6. Analizlerde kullanılan betonarme perde elemana ait fiziksel parametreler

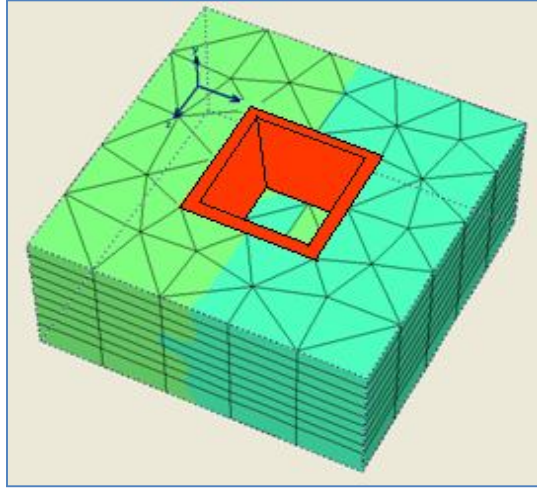
Malzeme Modeli	Kalınlık (d)	Birim Hacim Ağırlık (γ)	Elastisite Modülü (E)	Kayma Modülü (G)	Poisson Oranı (ν)
Lineer Elastik	cm	kN/m^3	kN/m^2	kN/m^2	-
Geçirimsiz	100.00	24.00	3E+7	1.271E+7	0.18



Şekil 4.9. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş zemin modeli



Şekil 4.10. Payandalarla güçlendirilmiş çelik palplanj eleman ile desteklenmiş zemin modeli



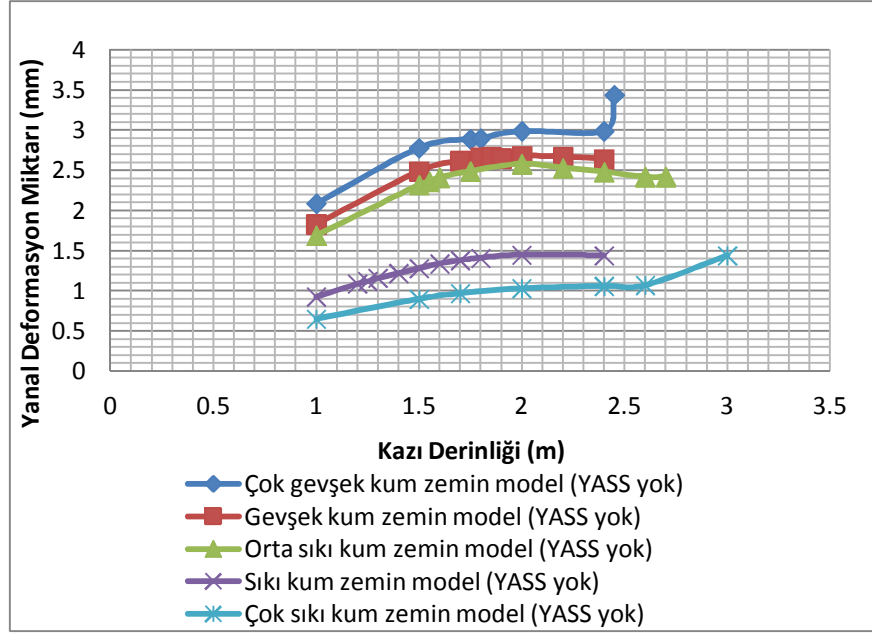
Şekil 4.11. Betonarme perde eleman ile desteklenmiş zemin modeli

4.2.1. Kum zeminlerde parametre değişiminin yanal deformasyon miktarına etkisi

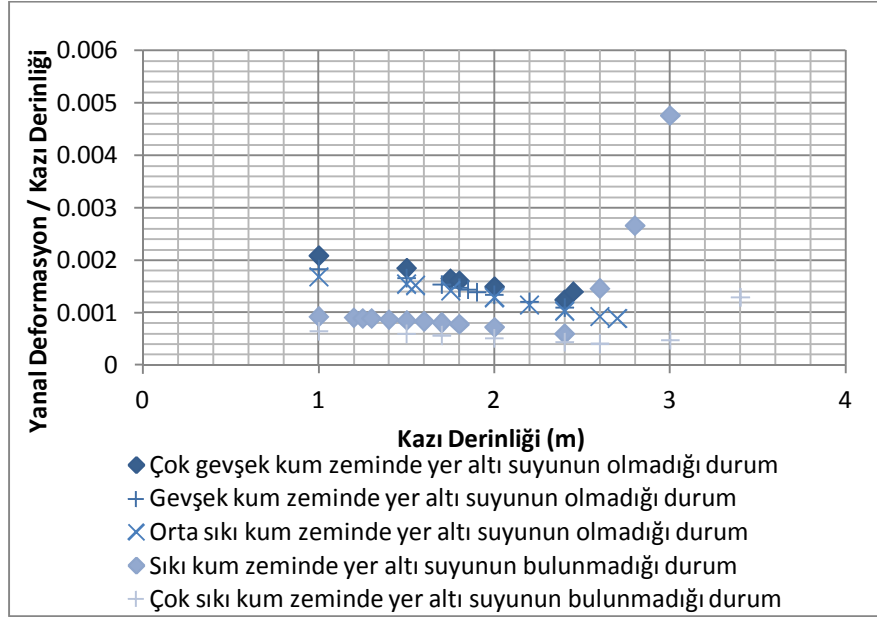
Analizlerde kullanılan kum zemin parametreleri Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

4.2.1.1. Kum zeminlerde desteksiz kazı durumunda parametre değişiminin yanal deformasyon miktarına etkisi

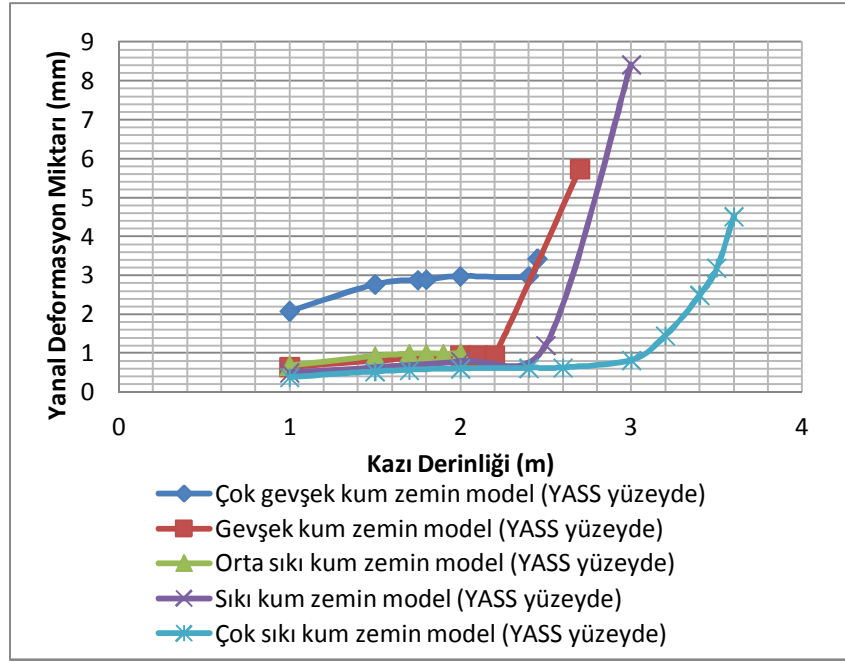
Kum zemin modellerinde kazı yan yüzeylerinde destekleme yapılmadan gerçekleştirilen analizlerde sırasıyla yer altı suyunun bulunmaması, yüzeyde, -2 m derinlikte, -4 m derinlikte, -6 m derinlikte ve -8 m derinlikte bulunması durumları ele alınmıştır.



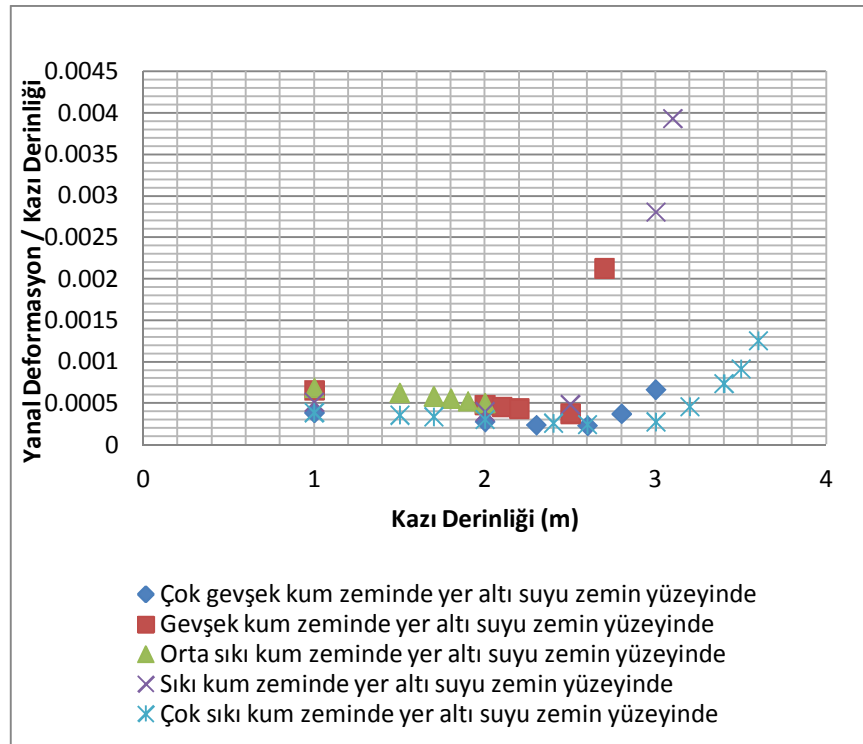
Şekil 4.12. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri



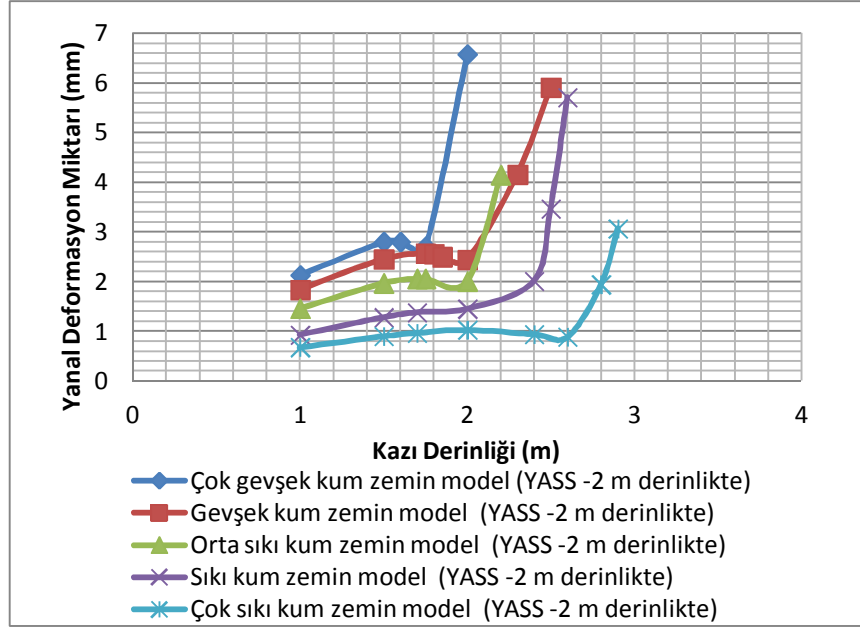
Şekil 4.13. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri



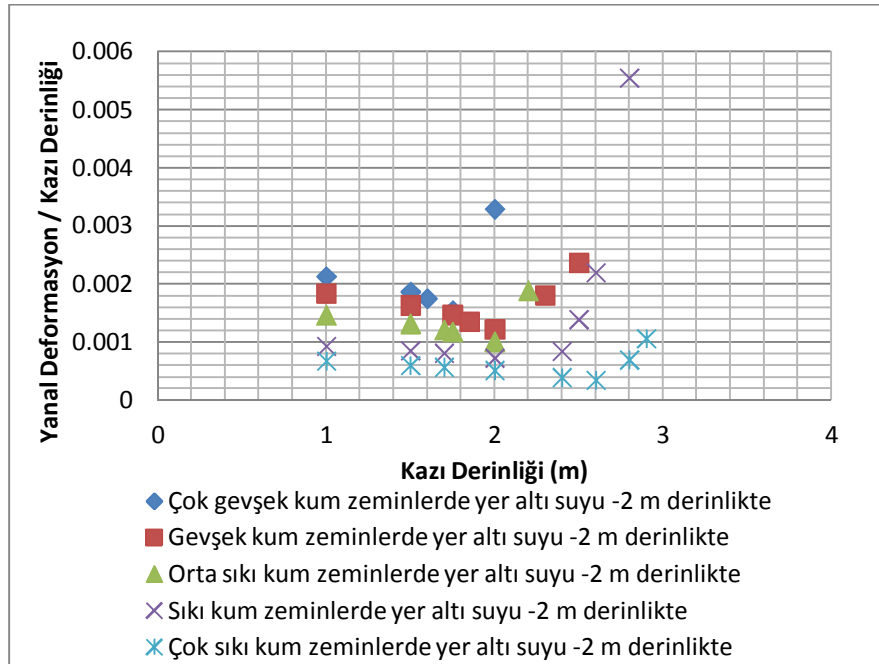
Şekil 4.14. Yer altı suyunun yüzeyde bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri



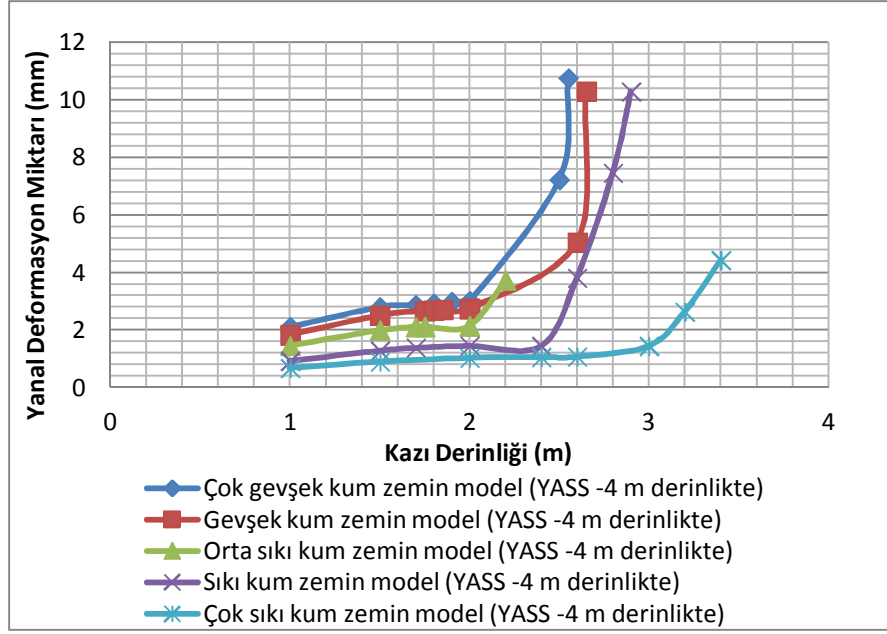
Şekil 4.15. Yer altı suyunun yüzeyde bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri



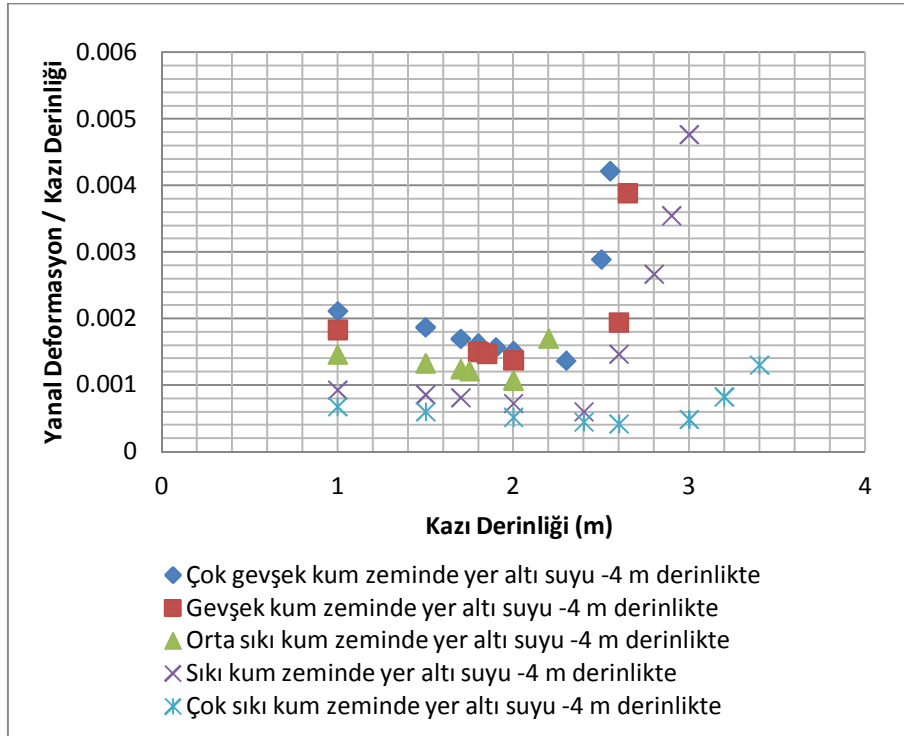
Şekil 4.16. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değışimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri



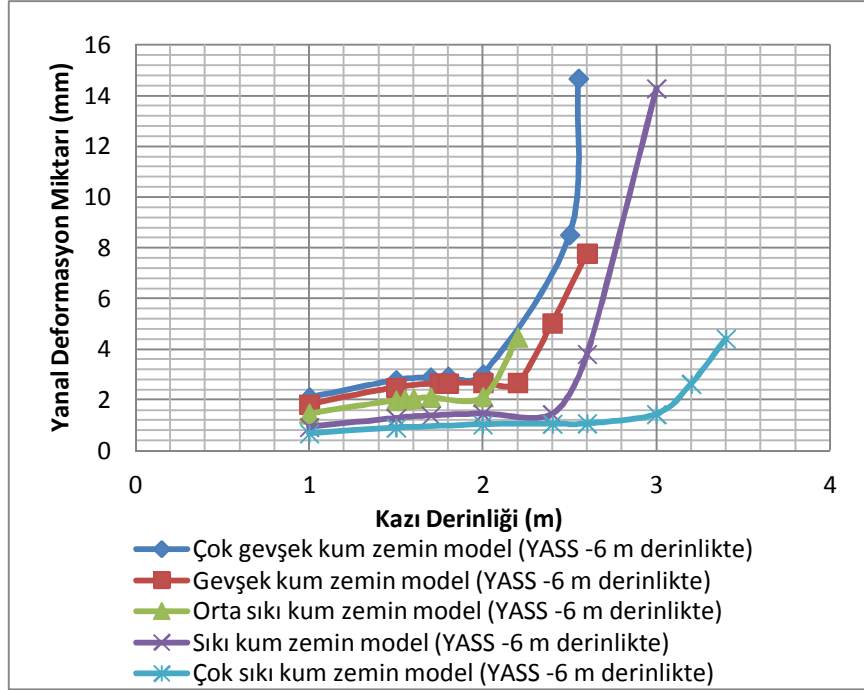
Şekil 4.17. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değışimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri



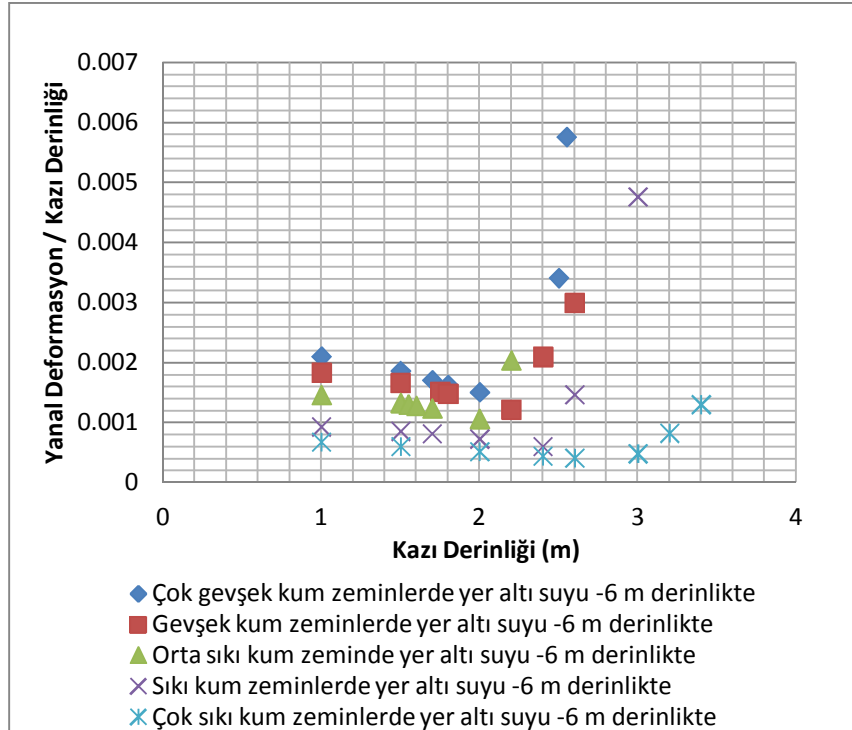
Şekil 4.18. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon üzerindeki etkileri



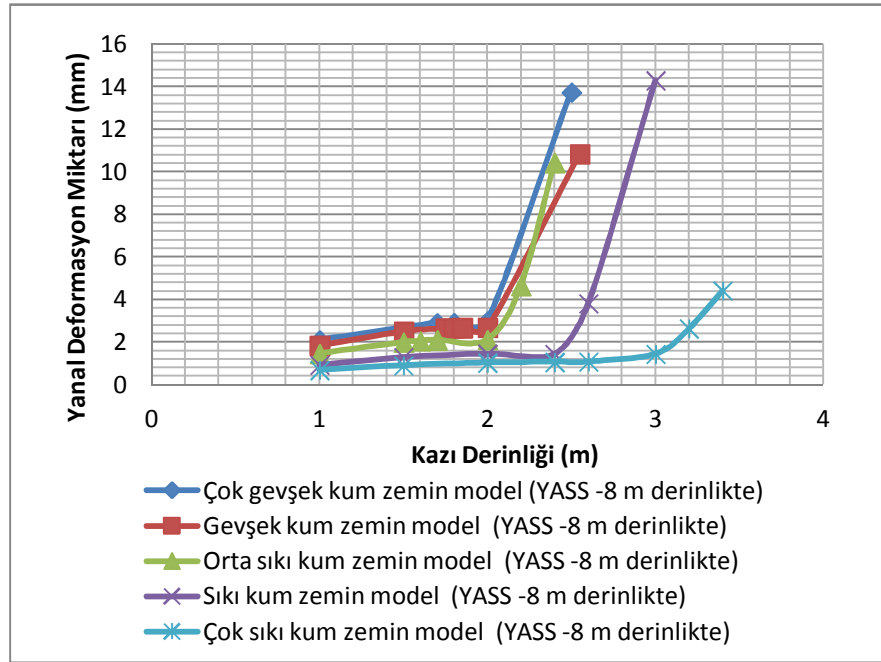
Şekil 4.19. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri



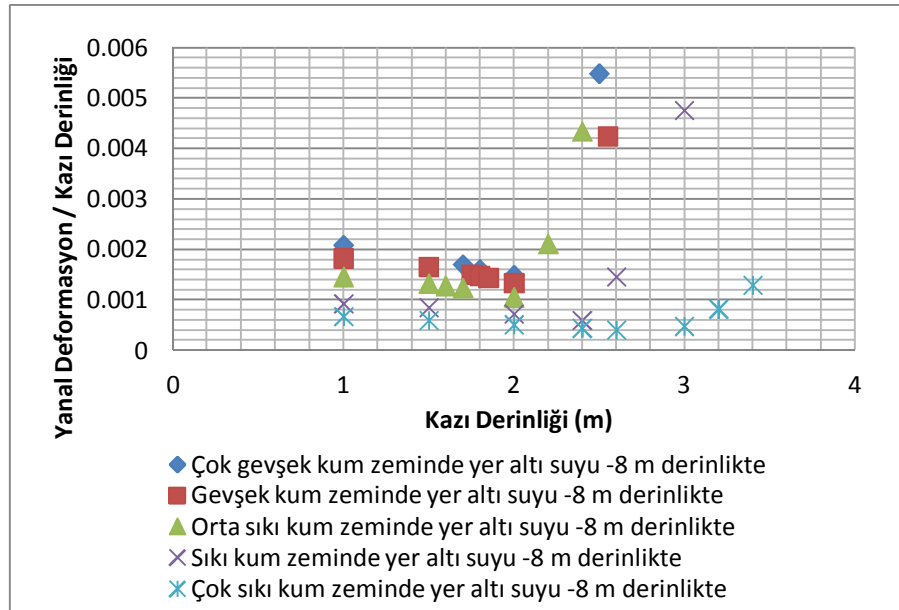
Şekil 4.20. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanar deformasyon üzerindeki etkileri



Şekil 4.21. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanar deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri



Şekil 4.22. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanar deformasyon üzerindeki etkileri

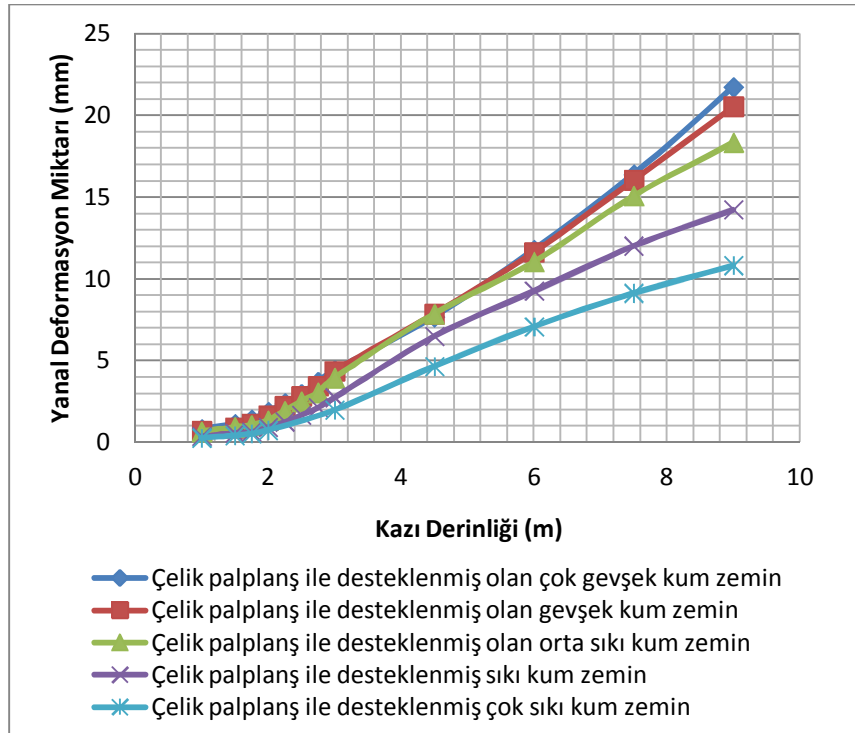


Şekil 4.23. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanar deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri

Grafiklerden de görüldüğü gibi, yer altı suyunun yüzeyde bulunması durumunda, kazı yüzeyinde meydana gelen yanıl deformasyonlarda azalma meydana gelmektedir. Bunun sebebi, bölüm başında da bahsedildiği gibi pasif itkinin oluşumudur.

4.2.1.2. Çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi

Aşağıda çelik palplanj elemanlar ile desteklenmiş kum zeminlerde yapılan kazılar için elde edilen analiz sonuçları kullanılarak oluşturulan grafikler verilmiştir.

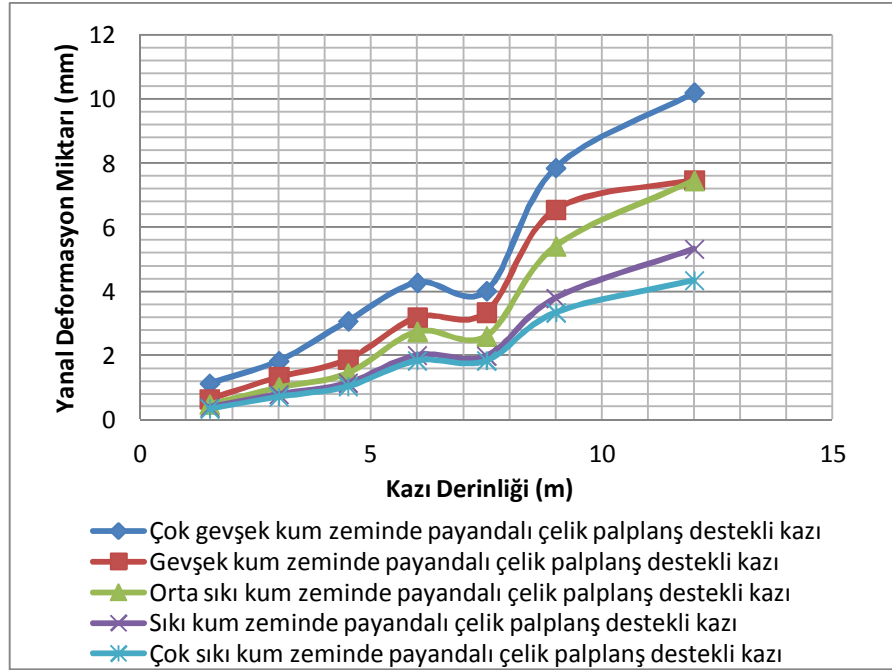


Şekil 4.24. Yer altı suyunun olmadığı durumda çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri

4.2.1.3. Payandalı çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanal deformasyon miktarına etkisi

Payandalar 1.5 m düşey aralıklarla, köşe noktalarda konumlandırılmıştır.

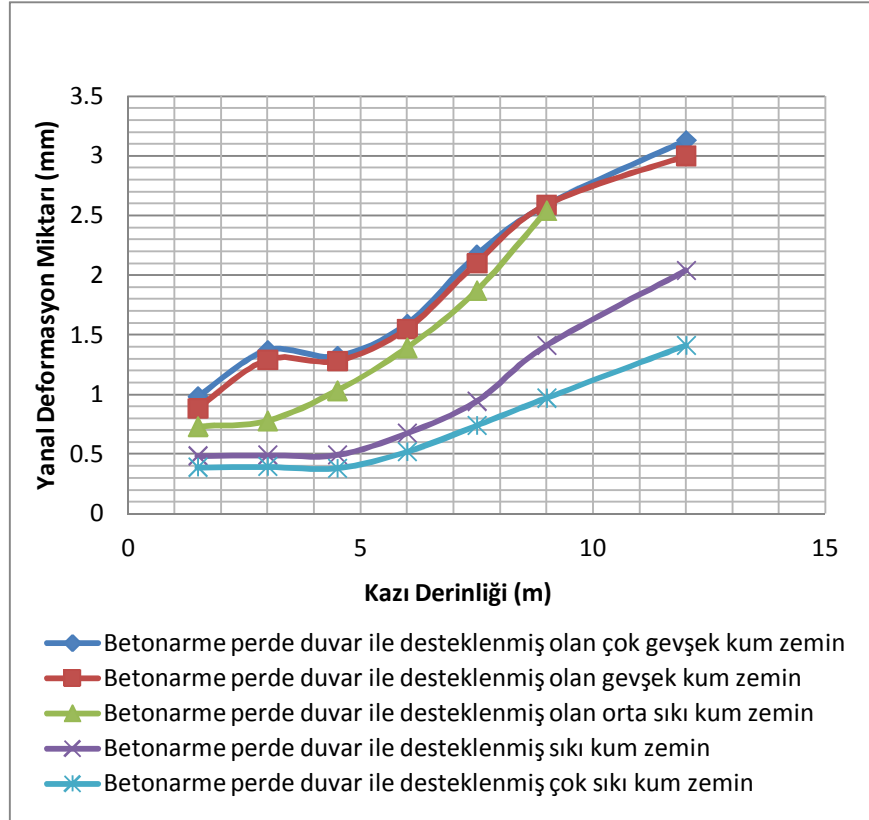
Aşağıda payandalar ile güçlendirilmiş çelik palplanj elemanlar ile desteklenmiş kum zeminlerde yapılan kazılar için elde edilen analiz sonuçları grafiklenmiştir.



Şekil 4.25. Yer altı suyunun olmadığı durumda payandalı çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı üzerindeki etkileri

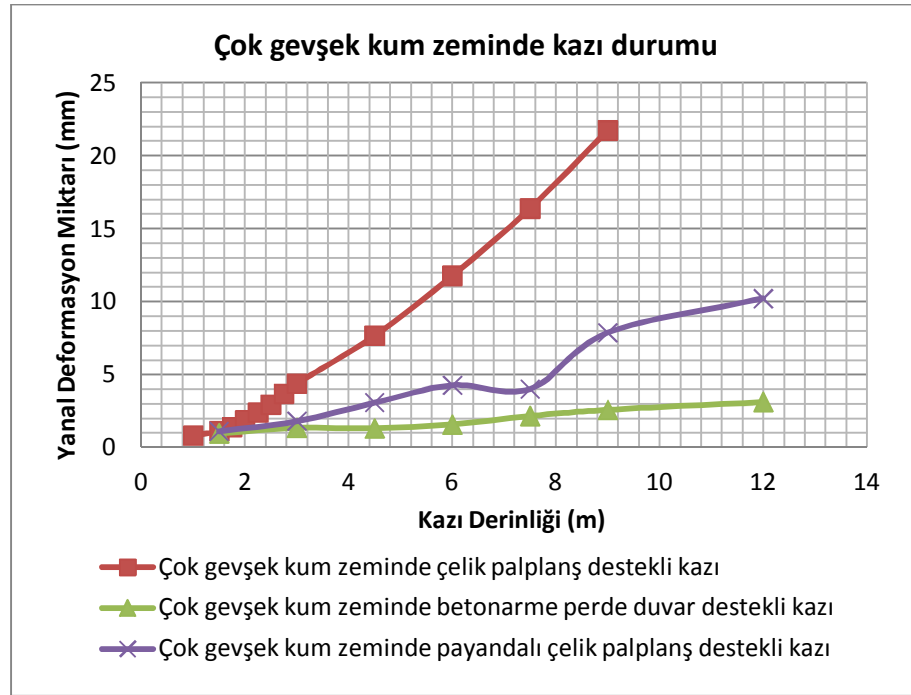
4.2.1.4. Betonarme perde duvar ile desteklenmiş kum zeminlerde kazı durumunda, parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi

Aşağıda betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kum zeminlerde yapılan kazılar için elde edilen analiz sonuçları grafiklenmiştir.

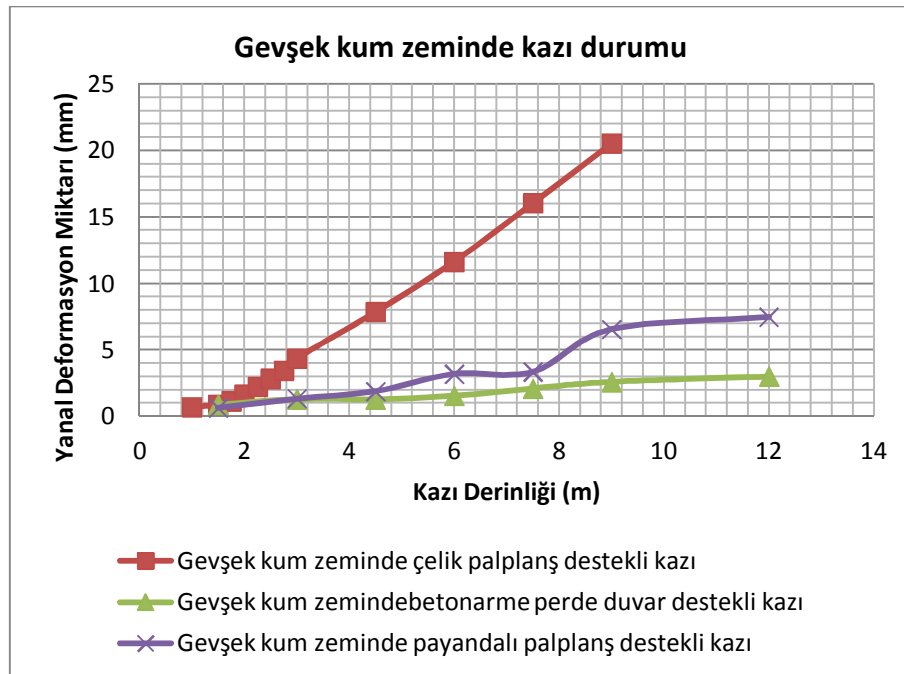


Şekil 4.26. Yer altı suyunun olmadığı durumda betonarme perde duvar ile desteklenmiş kum zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri

4.2.1.5. Kum zeminlerde kazı destek sistemlerinin karşılaştırılması

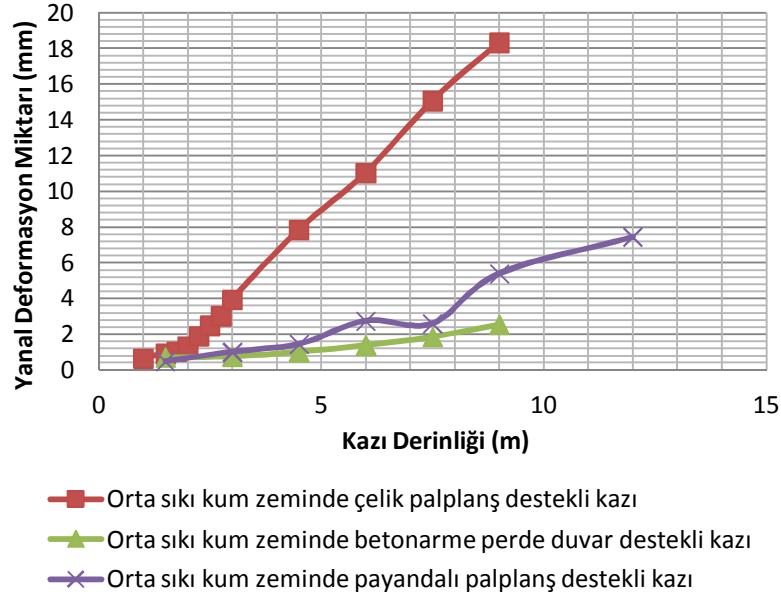


Şekil 4.27. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok gevşek kum zeminde kazı



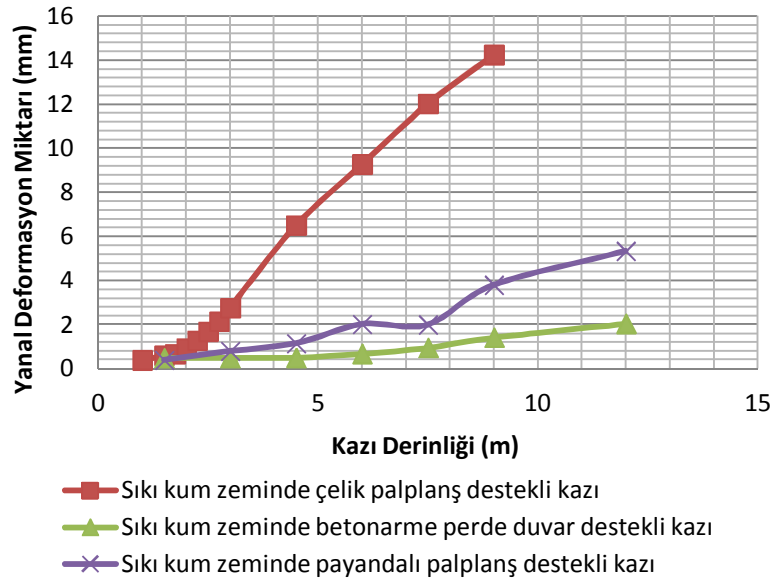
Şekil 4.28. Yer altı suyunun olmadığı durumda gevşek kum zeminde kazı

Orta sıkı kum zeminde kazı durumu

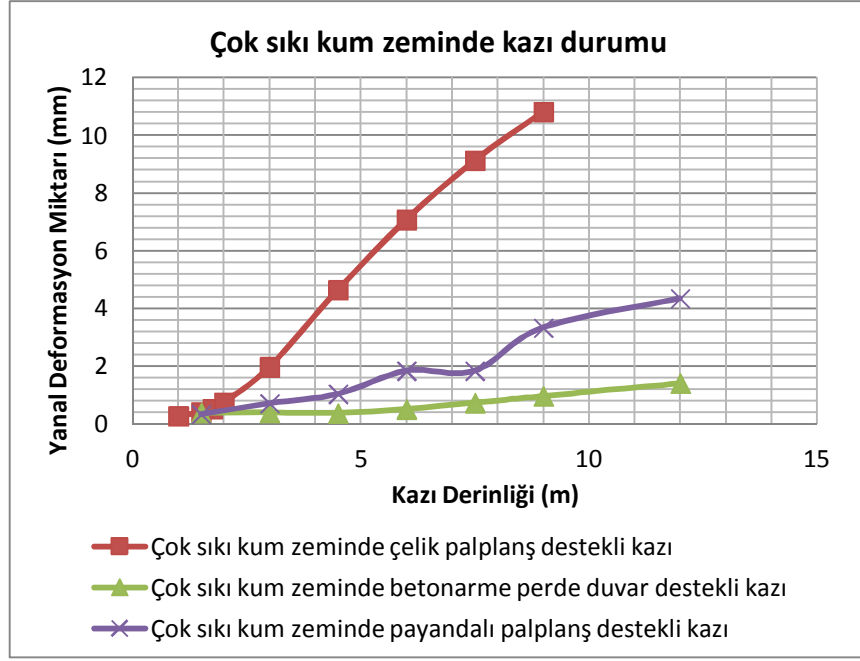


Şekil 4.29. Yer altı suyunun olmadığı durumda orta sıkı kum zeminde kazı

Sıkı kum zeminde kazı durumu



Şekil 4.30. Yer altı suyunun olmadığı durumda sıkı kum zeminde kazı



Şekil 4.31. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok sıkı kum zeminde kazı

Kum zeminlerde palplanjlı destek sistemi kullanıldığında meydana gelen deformasyonlar serbest kazı esnasında oluşan deformasyonlara oranla çok gevşek kum zeminde %43 oranında, gevşek kum zeminde %55 oranında, orta sıkı kum zeminde %56 oranında, sıkı kum zeminde %46 oranında, çok sıkı kum zeminde %45 oranında azalım göstermiştir.

Payandalı palplanj ile desteklenmiş kum modellerde ise oluşan yanıl deformasyonlar, serbest kazı esnasında meydana gelen deformasyonlara oranla, çok gevşek kum zeminde %56 oranında, gevşek kum zeminde %67 oranında, orta sıkı kum zeminde %73 oranında, sıkı kum zeminde %76 oranında, çok sıkı kum zeminde %52 oranında azalım göstermiştir.

Betonarme perde ile desteklenmiş kum modellerde ise oluşan yanıl deformasyonlar, serbest kazı esnasında meydana gelen deformasyonlara oranla, çok gevşek kum zeminde %64 oranında, gevşek kum zeminde %61 oranında, orta sıkı kum zeminde %70 oranında, sıkı kum zeminde %77 oranında, çok sıkı kum zeminde %63 oranında azalım göstermiştir.

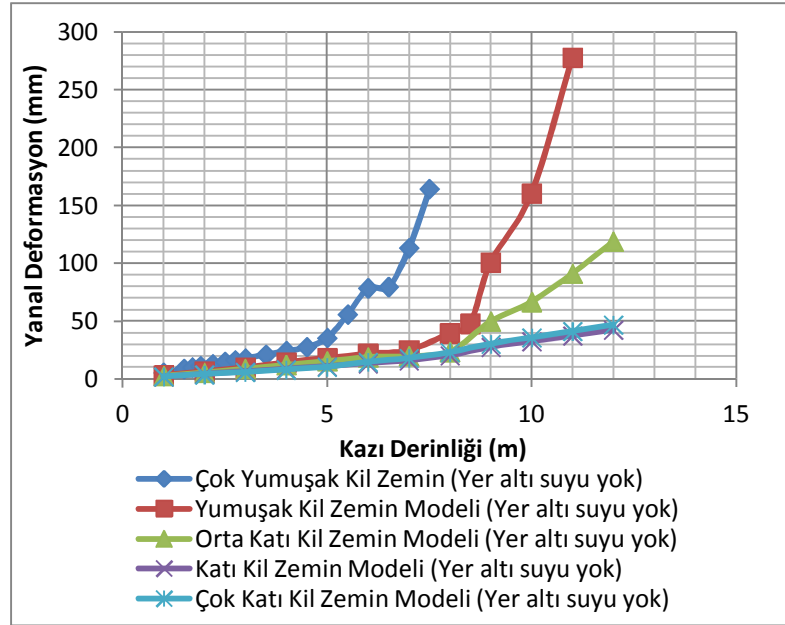
Görüldüğü gibi, çelik palplanj kullanılması durumuna nispeten payandalı çelik palplanj ve betonarme perde kullanılması durumlarında meydana gelen yanıl deformasyon miktarları daha az olmaktadır. Betonarme perde en stabil destek elemanı olarak görülmektedir.

4.2.2. Kil zeminlerde parametre değışiminin yanıl deformasyona etkisi

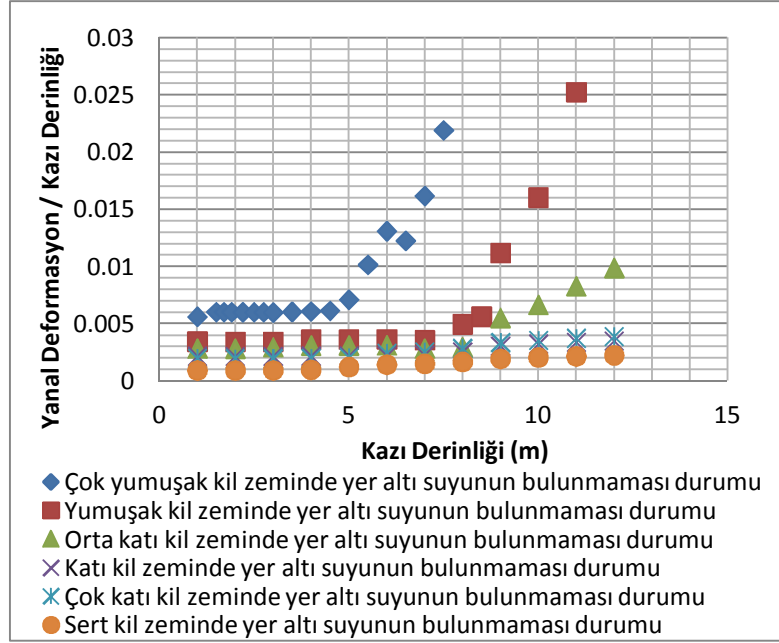
Analizlerde kullanılan kil zemin parametreleri Çizelge 4.3' de verilmiştir.

4.2.2.1. Kil zeminlerde desteksiz kazı durumunda parametre değışiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi

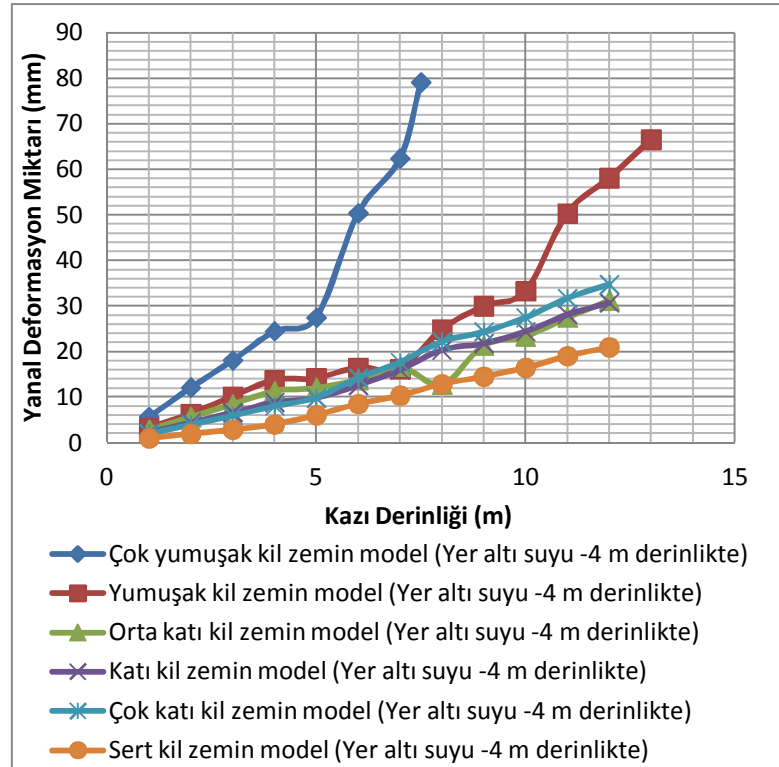
Kil zemin modellerinde kazı yan yüzeylerinde destekleme yapılmadan gerçekleştirilen analizlerde sırasıyla yer altı suyunun bulunmaması, -4 m derinlikte, -6 m derinlikte ve -8 m derinlikte bulunması durumları ele alınmıştır.



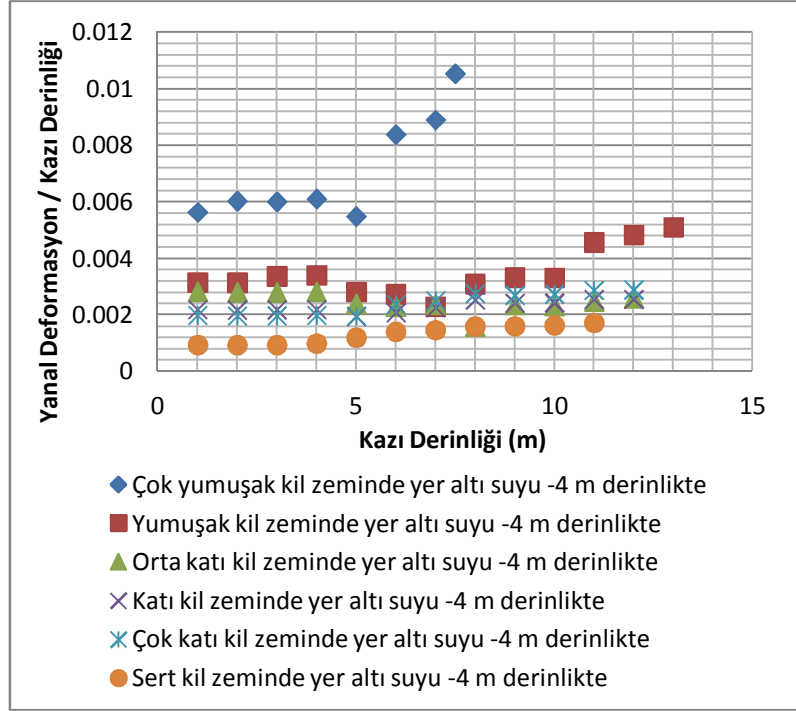
Şekil 4.32. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kil zeminlerde parametre değışimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri



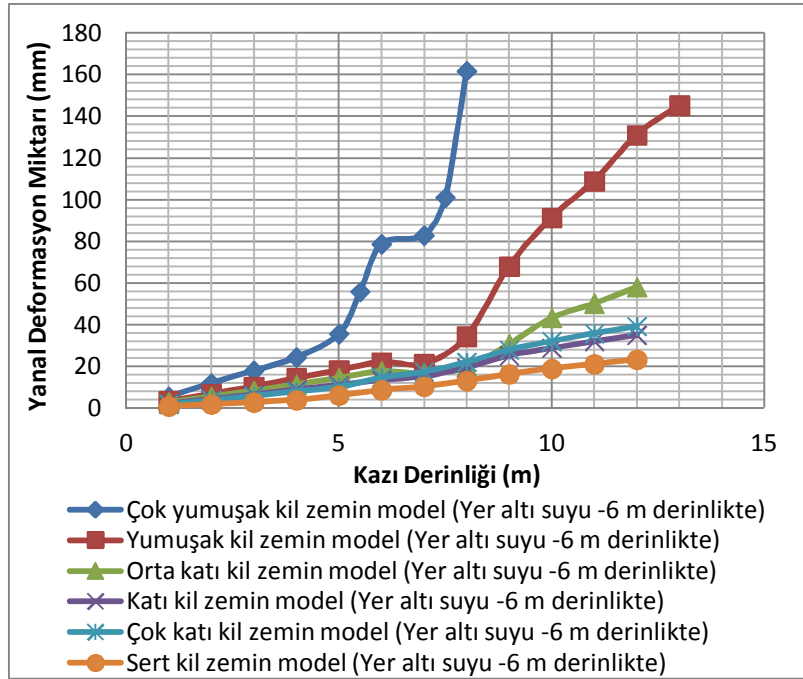
Şekil 4.33. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri



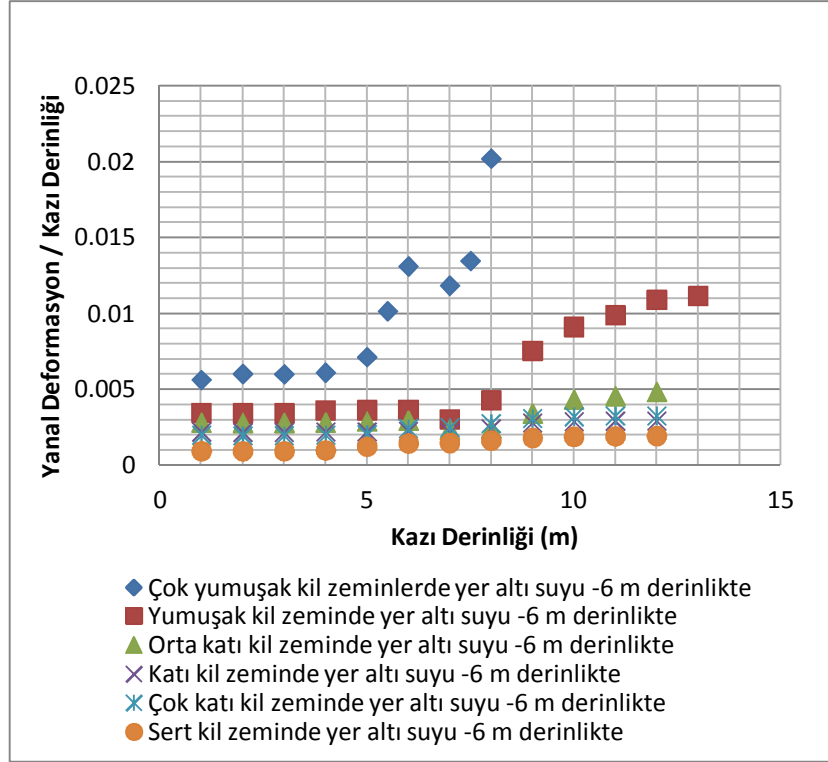
Şekil 4.34. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri



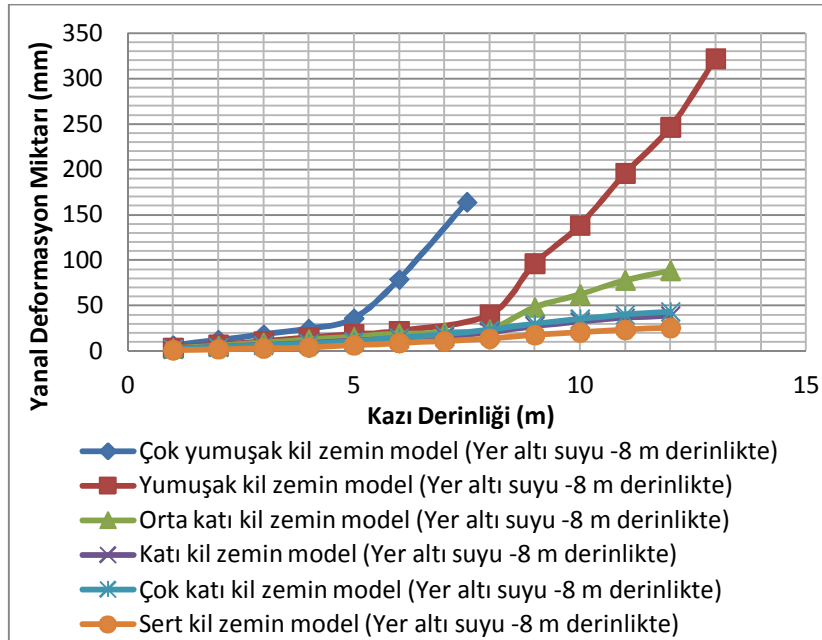
Şekil 4.35. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri



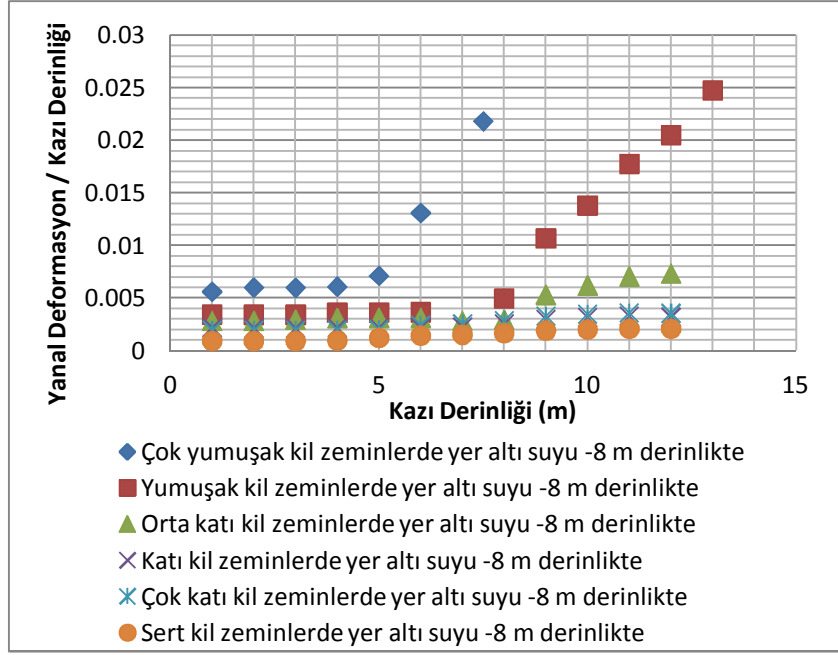
Şekil 4.36. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri



Şekil 4.37. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri

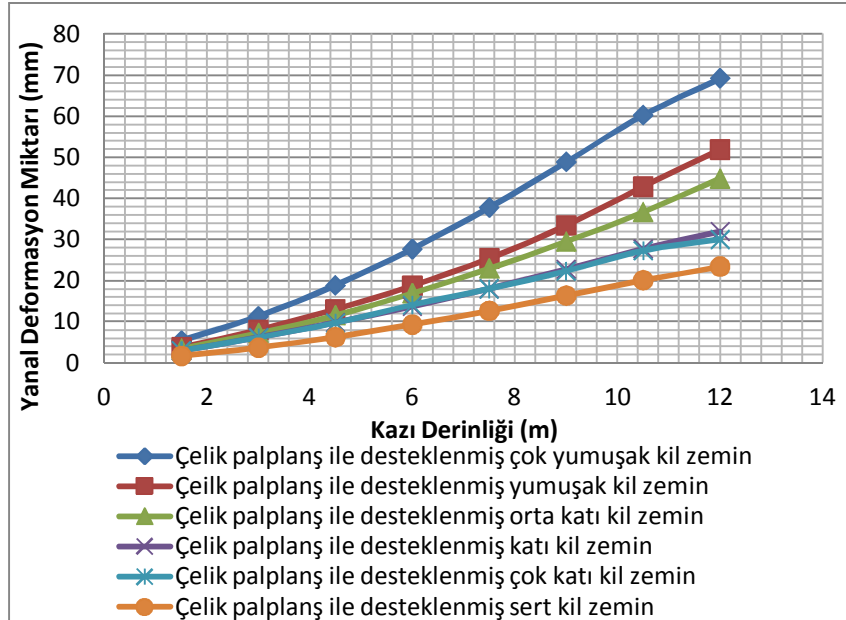


Şekil 4.38. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon üzerindeki etkileri



Şekil 4.39. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı / kazı derinliği oranı üzerindeki etkileri

4.2.2.2. Çelik palplanş ile desteklenmiş kil zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanıl deformasyon miktarına etkisi

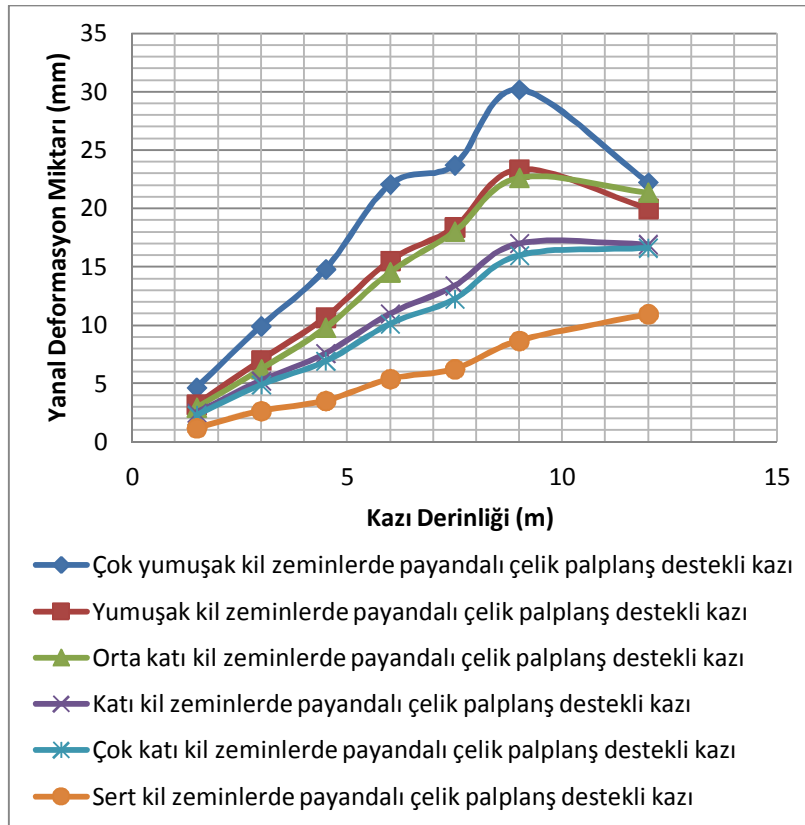


Şekil 4.40. Yer altı suyunun olmadığı durumda çelik palplanş ile desteklenmiş kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanıl deformasyon miktarı üzerindeki etkileri

4.2.2.3. Payandalı elik palplanj ile desteklenmiş kil zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanal deformasyon miktarına etkisi

Payandalar 1.5 m aralılarla, köşe noktalarda konumlandırılmıştır.

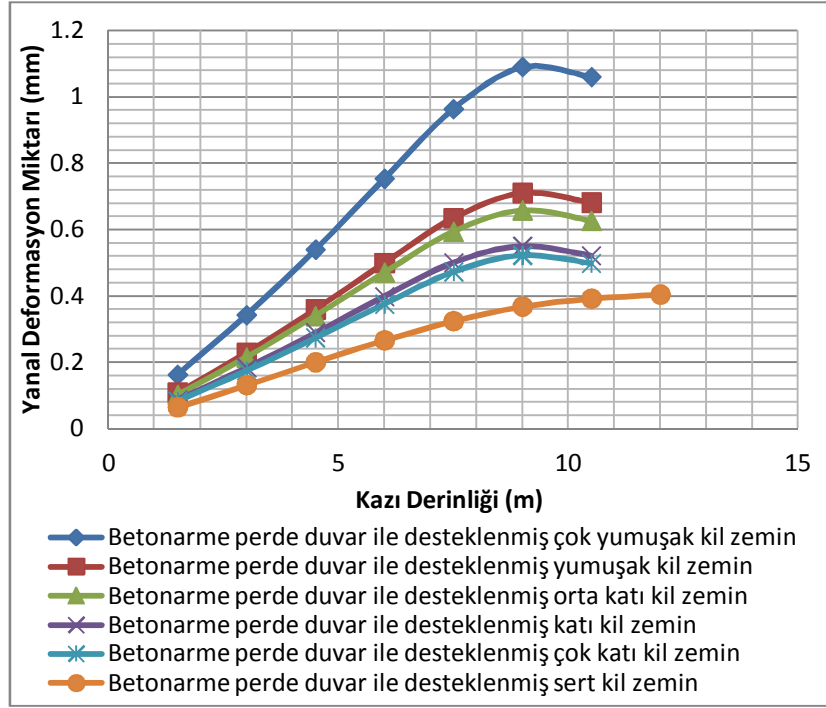
Aşağıda kil zeminlerde payandalar ile gőlendirilmiř elik palplanj destekli kazı analizlerinden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçlar kullanılarak elde edilen grafikler verilmiştir.



şekil 4.41. Yer altı suyunun olmadığı durumda payandalı elik palplanj ile desteklenmiş kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı üzerindeki etkileri

4.2.2.4. Betonarme perde ile desteklenmiş kil zeminlerde kazı durumunda parametre değişiminin yanal deformasyon miktarına etkisi

Aşağıda kil zeminlerde betonarme perde duvar destekli kazı analizlerinden elde edilen sonuçlara ait grafikler verilmiştir.

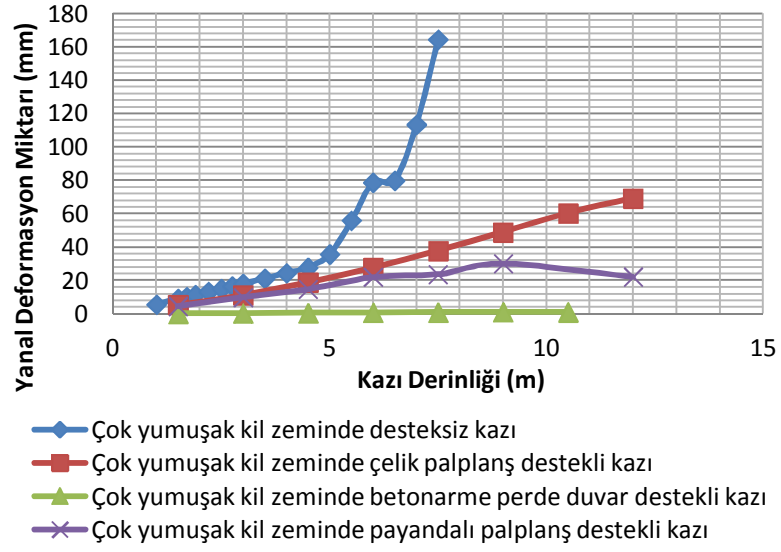


Şekil 4.42. Yer altı suyunun olmadığı durumda betonarme perde duvar ile desteklenmiş kil zeminlerde parametre değişimlerinin yanal deformasyon miktarı üzerindeki etkileri

4.2.2.5. Kil zeminlerde kazı destek sistemlerinin karşılaştırılması

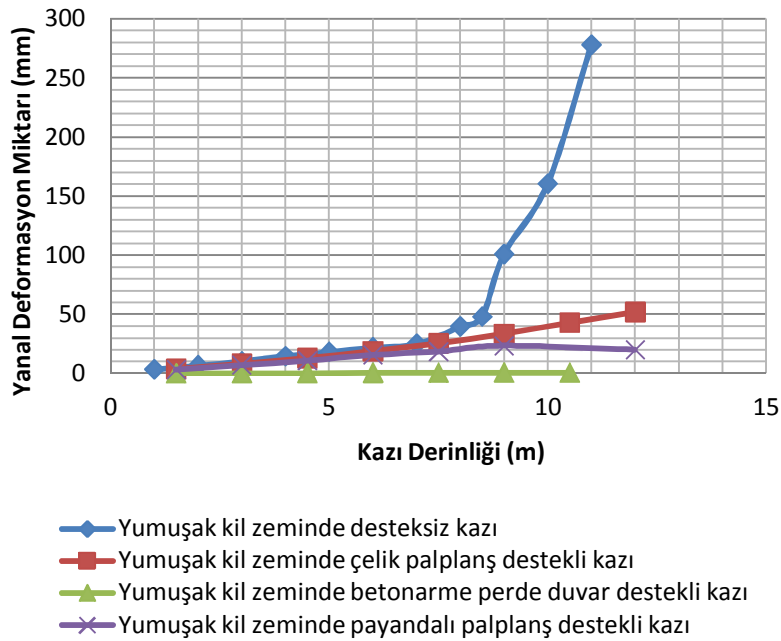
Aşağıda kil zeminlerde serbest kazı ve kazı destek sistemlerinin yanal deformasyon üzerindeki etkisini daha belirgin olarak gösteren grafikler verilmiştir.

Çok yumuşak kil zeminde kazı durumu

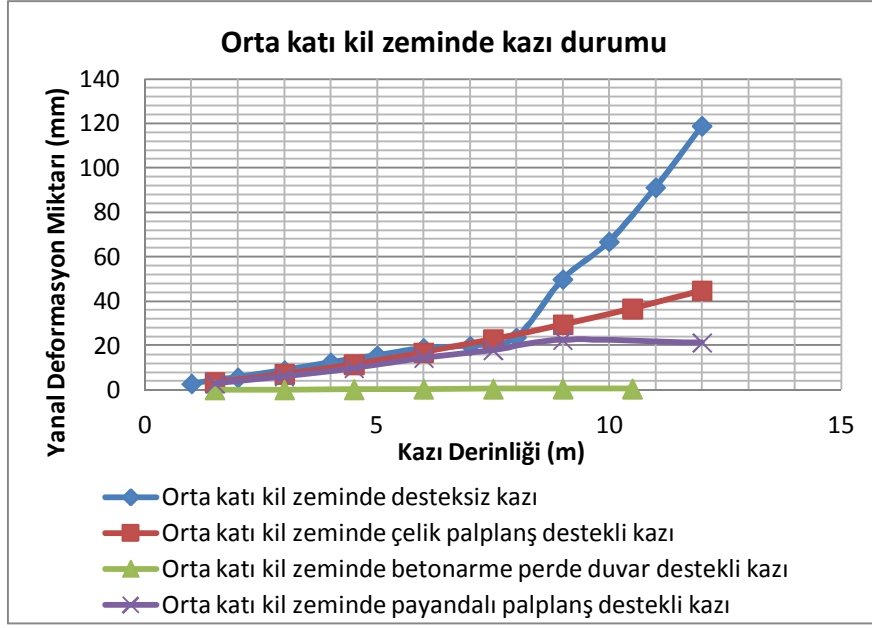


Şekil 4.43. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok yumuşak kil zeminde kazı

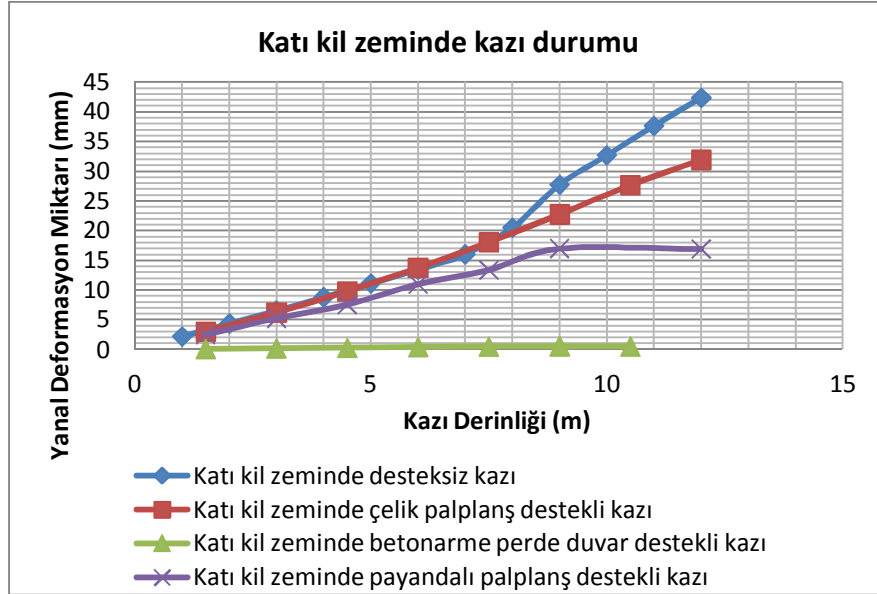
Yumuşak kil zeminde kazı durumu



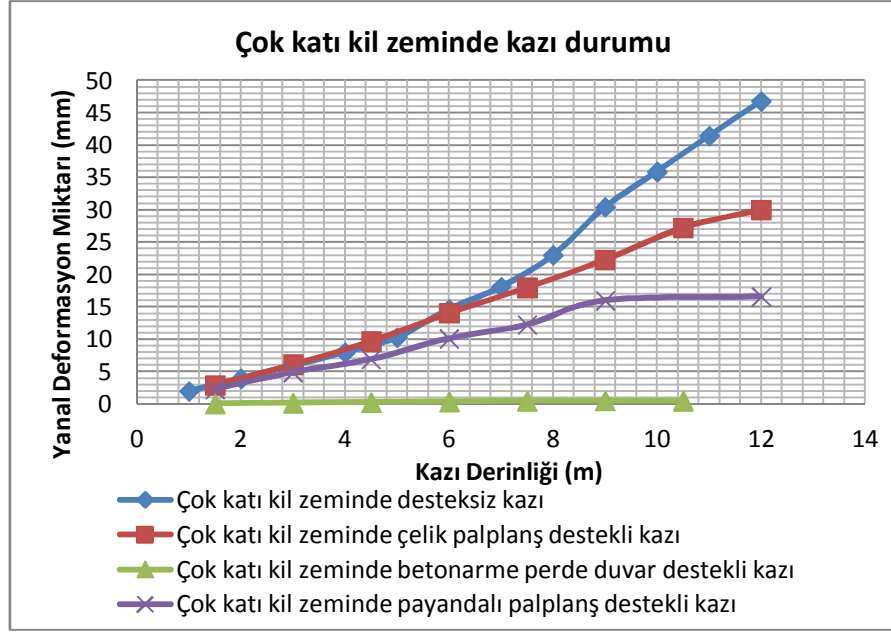
Şekil 4.44. Yer altı suyunun olmadığı durumda yumuşak kil zeminde kazı



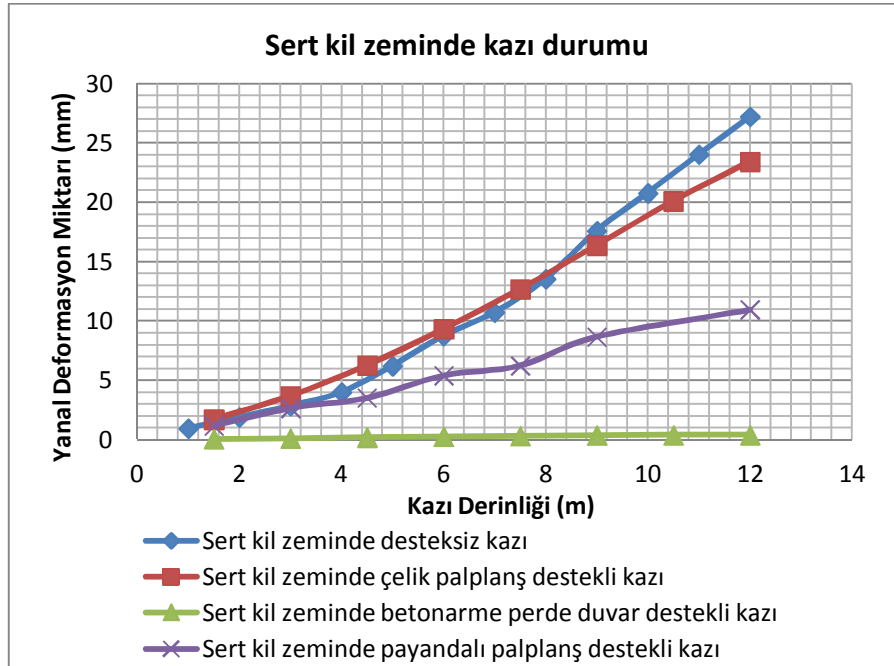
Şekil 4.45. Yer altı suyunun olmadığı durumda orta katı kil zeminde kazı



Şekil 4.46. Yer altı suyunun olmadığı durumda katı kil zeminde kazı



Şekil 4.47. Yer altı suyunun olmadığı durumda çok katı kil zeminde kazı



Şekil 4.48. Yer altı suyunun olmadığı durumda sert kil zeminde kazı

Kil zeminlerde palplanjlı destek sistemi kullanıldığında meydana gelen deformasyonlar serbest kazı esnasında oluşan deformasyonlara oranla çok yumuşak kil zeminde %50 oranında, yumuşak kil zeminde %29 oranında, orta

katı kil zeminde %21 oranında, katı kil zeminde %7 oranında, çok katı kil zeminde %6 oranında, sert kil zeminde ise %6 oranında azalım göstermiştir.

Payandalı palplanj ile desteklenmiş kil modellerde ise oluşan yanıl deformasyonlar, serbest kazı esnasında meydana gelen deformasyonlara oranla, çok yumuşak kil zeminde %60 oranında, yumuşak kil zeminde %42 oranında, orta katı kil zeminde %26 oranında, katı kil zeminde %26 oranında, çok katı kil zeminde %27 oranında, sert kil zeminde ise %25 oranında azalım göstermiştir.

Betonarme perde ile desteklenmiş kil modellerde ise oluşan yanıl deformasyonlar, serbest kazı esnasında meydana gelen deformasyonlara oranla, tüm kil modellerinde ortalama %97 azalım göstermiştir.

İncelenen kazı destek elemanlarından en stabil davrananı betonarme perde olarak görölmektedir. Analiz sonuçlarına göre, betonarme perde eleman yanıl deformasyonları sıfıra yakın bir miktara indirgemıştır.

5. PLAXIS YAZILIMINDAN ELDE EDİLEN SONUÇLARIN İSTATİSTİKİ ANALİZLERİ

5.1. Regresyon Analizi

Regresyon analizinde amaç, bağımlı değişken ile bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılabilmesidir. Bağımlı değişken, bağımsız değişken(ler) tarafından açıklanmaya çalışılır. Regresyon analizinde bağımlı değişken Y ile, bağımsız değişken(ler) ise X ile simgelenir.

Yapılan analizde, tek bağımsız değişken var ise **basit regresyon analizi**, birden fazla bağımsız değişken var ise **çoklu regresyon analizi** söz konusudur. Ayrıca fonksiyon tipine göre de, doğrusal regresyon analizi ve **doğrusal olmayan regresyon analizi** olarak sınıflandırılır.

Parametreler tahmin edilip, en küçük kareler yöntemine göre grafikleme yapıldıktan sonra, bu grafiğin x ve y' nin gözlemlerine ne kadar iyi uyduğunun bilinmesi gerekir. Gözlem noktaları, elde edilen en küçük kareler grafiğine ne kadar yakınsa, bağımsız değişkendeki değişimin, bağımlı değişkenlerle açıklaması o kadar iyi demektir. Bu iyilik derecesi, bağımlı değişkendeki toplam değişimin yüzde kaçının, bağımsız değişken x tarafından açıklanabildiğini gösteren korelasyon katsayısı (R) nın karesi olan belirlilik katsayısı (R^2) tarafından belirlenmektedir. Belirlilik katsayısı 1' e ne kadar yakın ise, elde edilen regresyon grafiği, gözlem noktalarını o derecede iyi temsil edecektir.

5.2. Plaxis Analiz Sonuçlarının Regresyon Analizleri ile Değerlendirilmesi

Bu bölümde, Plaxis 3D Foundation yazılımından elde edilen analiz sonuçlarının, Microsoft Excel kullanılarak grafikleri çizdirilmiş ve regresyon eğrileri oluşturularak regresyon denklemleri ve belirlilik katsayıları belirlenmiştir. Aşağıda, kum ve kil zeminlerde desteksiz kazı durumu için kazı derinliği (m) - yanal deformasyon miktarı (mm) arasındaki ilişkiyi veren regresyon eğrileri, regresyon denklemleri ve belirlilik katsayıları verilmiştir.

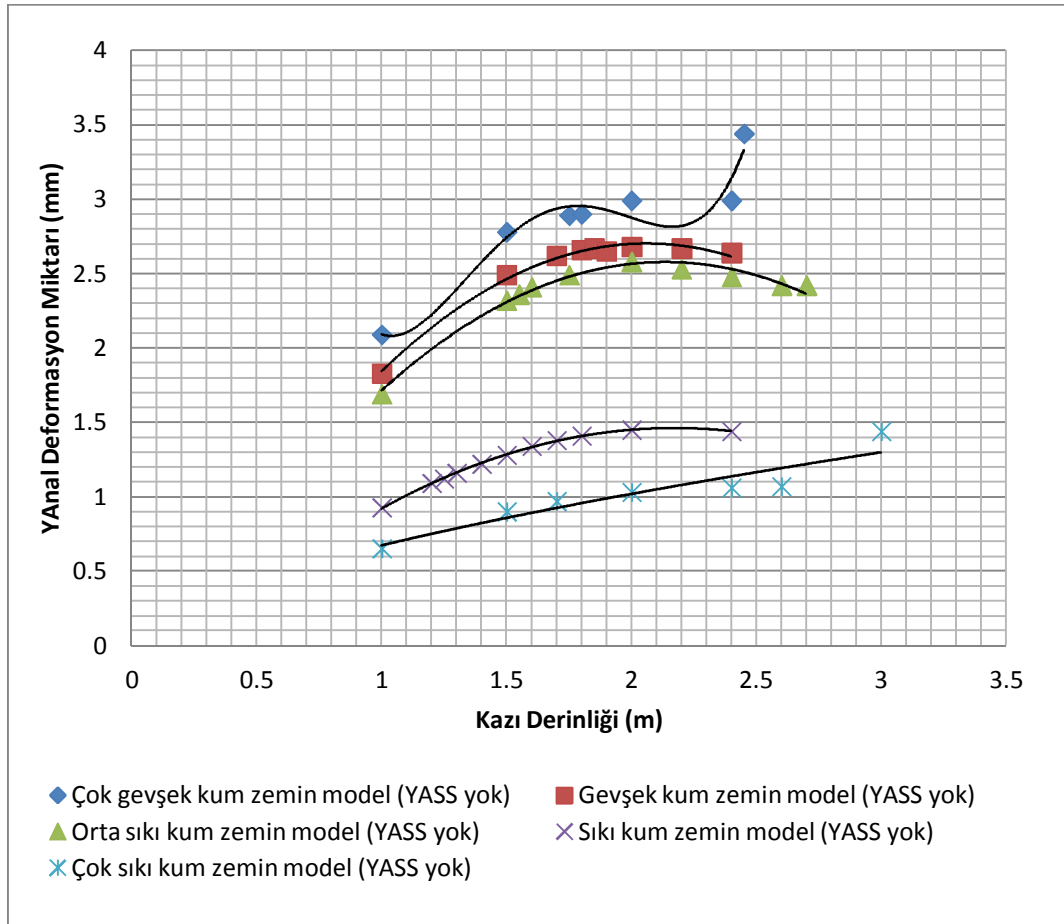
Burada,

δ_h : Yanal deformasyon miktarı (mm) nı,

H_e : Kazı derinliği (m) ni temsil etmektedir.

5.2.1. Kum zeminlerde regresyon analizi ile kazı derinliği (m) – yanal deformasyon miktarı (mm) denklemlerinin belirlenmesi

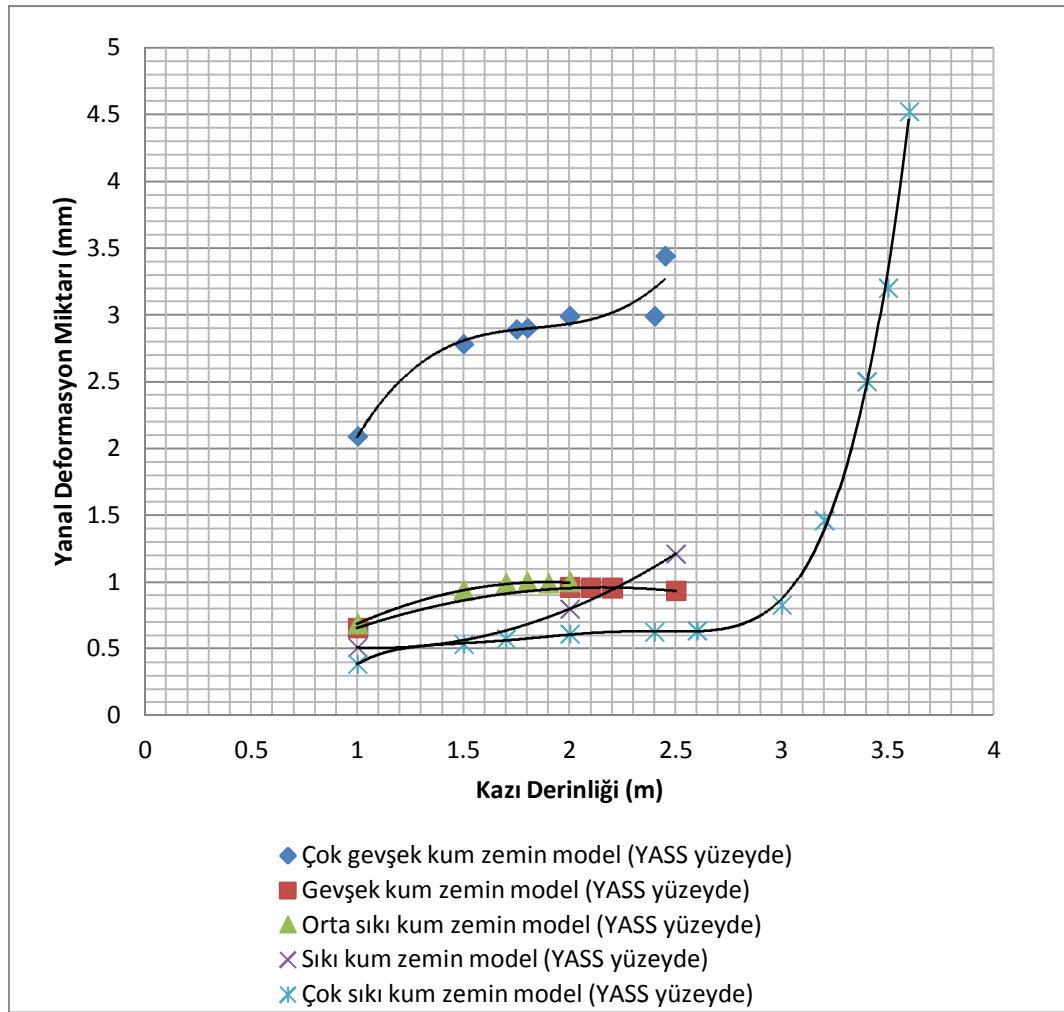
Aşağıda, çok gevşek kum, gevşek kum, orta sıkı kum, sıkı kum ve çok sıkı kum zeminler için elde edilen regresyon eğrileri ve bu eğrilere ait regresyon denklemleri ve belirlilik katsayıları verilmiştir.



Şekil 5.1. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.1. Yer altı suyu bulunmadığı durumda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi

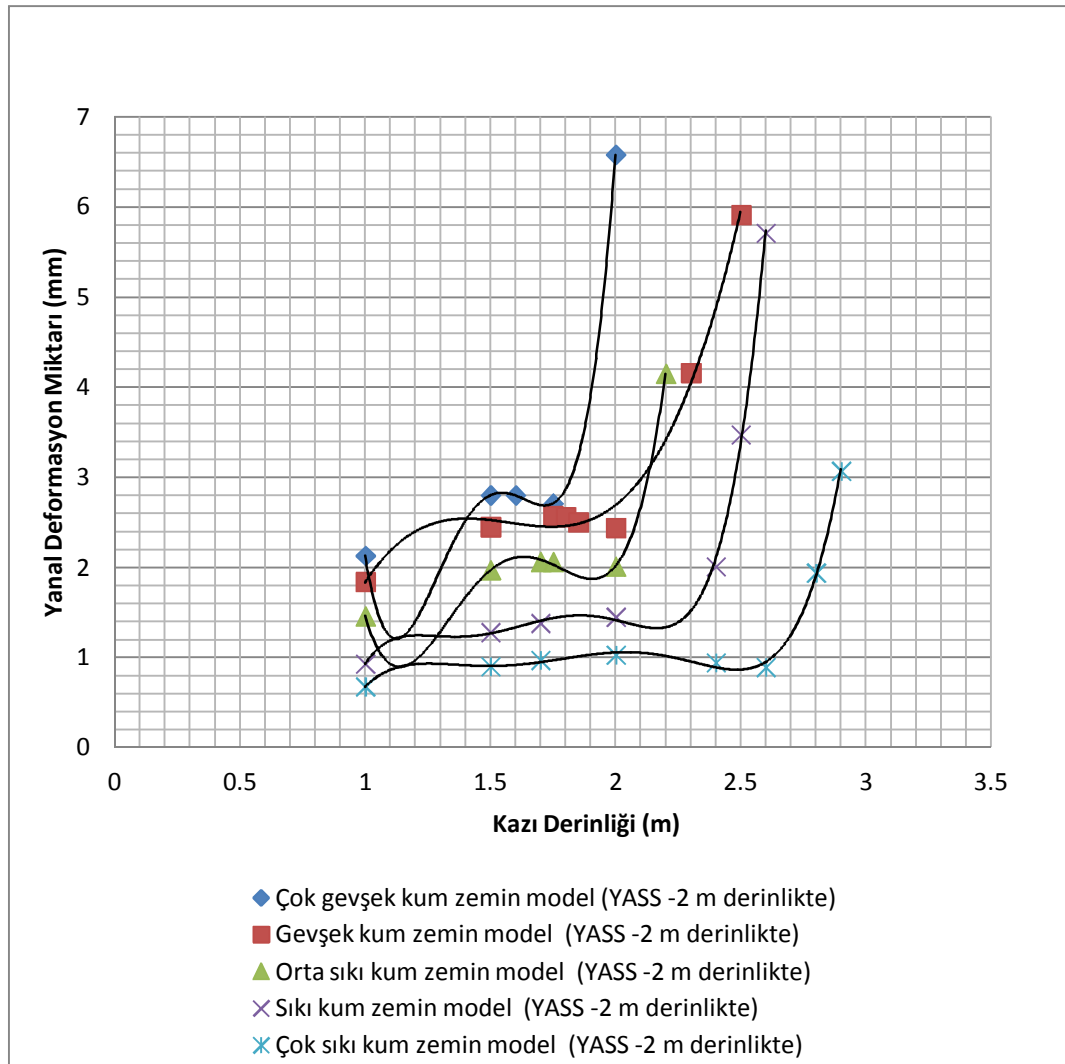
Zemin Cinsi	Elde Edilen Regresyon Denklemi	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok gevşek kum	$\delta_h = 4.183H_e^4 - 27.83H_e^3 + 66.71H_e^2 - 67.27H_e + 26.29$	0.943
Gevşek kum	$\delta_h = -0.763H_e^2 + 3.147H_e - 0.542$	0.993
Orta sıkı kum	$\delta_h = -0.670H_e^2 + 2.863H_e - 0.480$	0.982
Sıkı kum	$\delta_h = -0.394H_e^2 + 1.712H_e - 0.398$	0.999
Çok sıkı kum	$\delta_h = 0.672H_e^{0.598}$	0.902



Şekil 5.2. Yer altı suyunun zemin yüzeyinde bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.2. Yer altı suyunun zemin yüzeyinde bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi

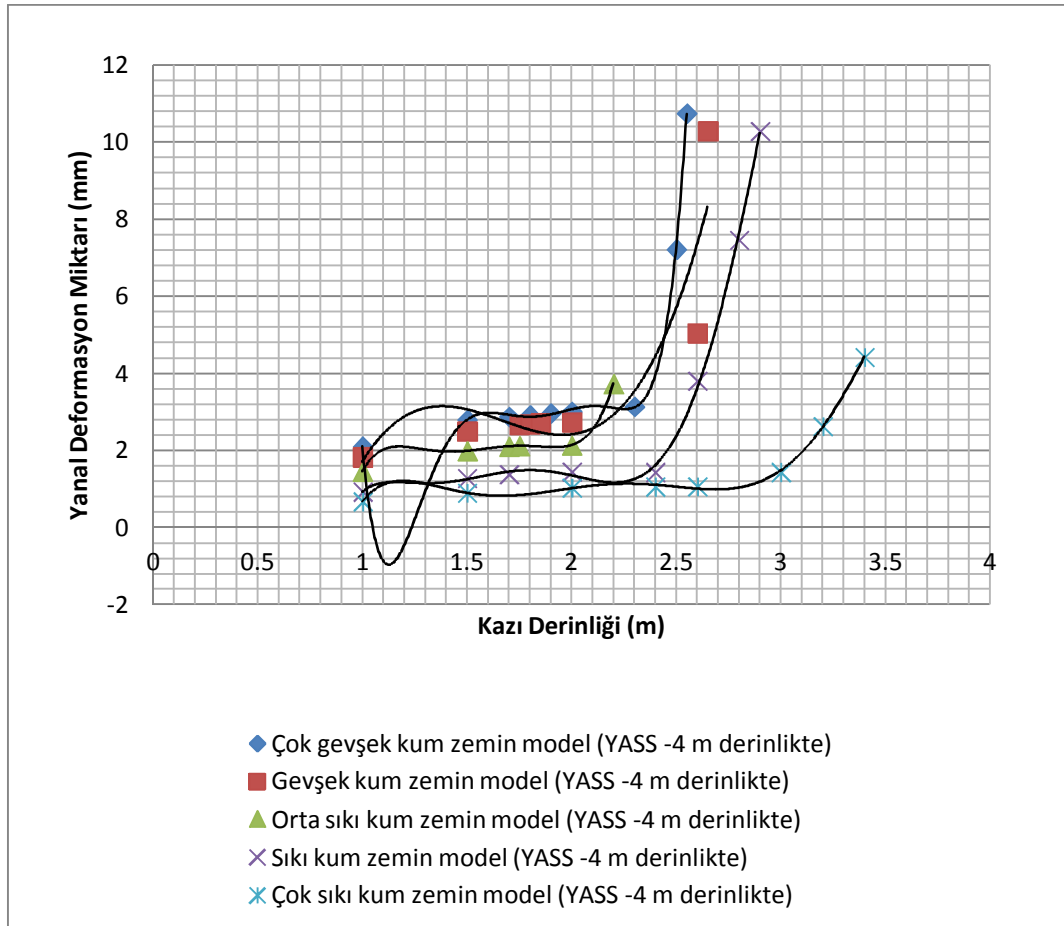
Zemin Cinsi	Elde Edilen Regresyon Denklemi	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok gevşek kum	$\delta_h = 1.177H_e^3 - 6.485H_e^2 + 12.06H_e - 4.674$	0.920
Gevşek kum	$\delta_h = -0.226H_e^2 + 0.977H_e - 0.095$	0.999
Orta sıkı kum	$\delta_h = -0.388H_e^2 + 1.474H_e - 0.399$	0.998
Sıkı kum	$\delta_h = 0.357H_e^2 - 0.784H_e + 0.936$	1
Çok sıkı kum	$\delta_h = 0.402H_e^5 - 3.878H_e^4 + 14.65H_e^3 - 27.12H_e^2 + 24.72H_e - 8.396$	0.998



Şekil 5.3. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.3. Yer altı suyunun -2 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi

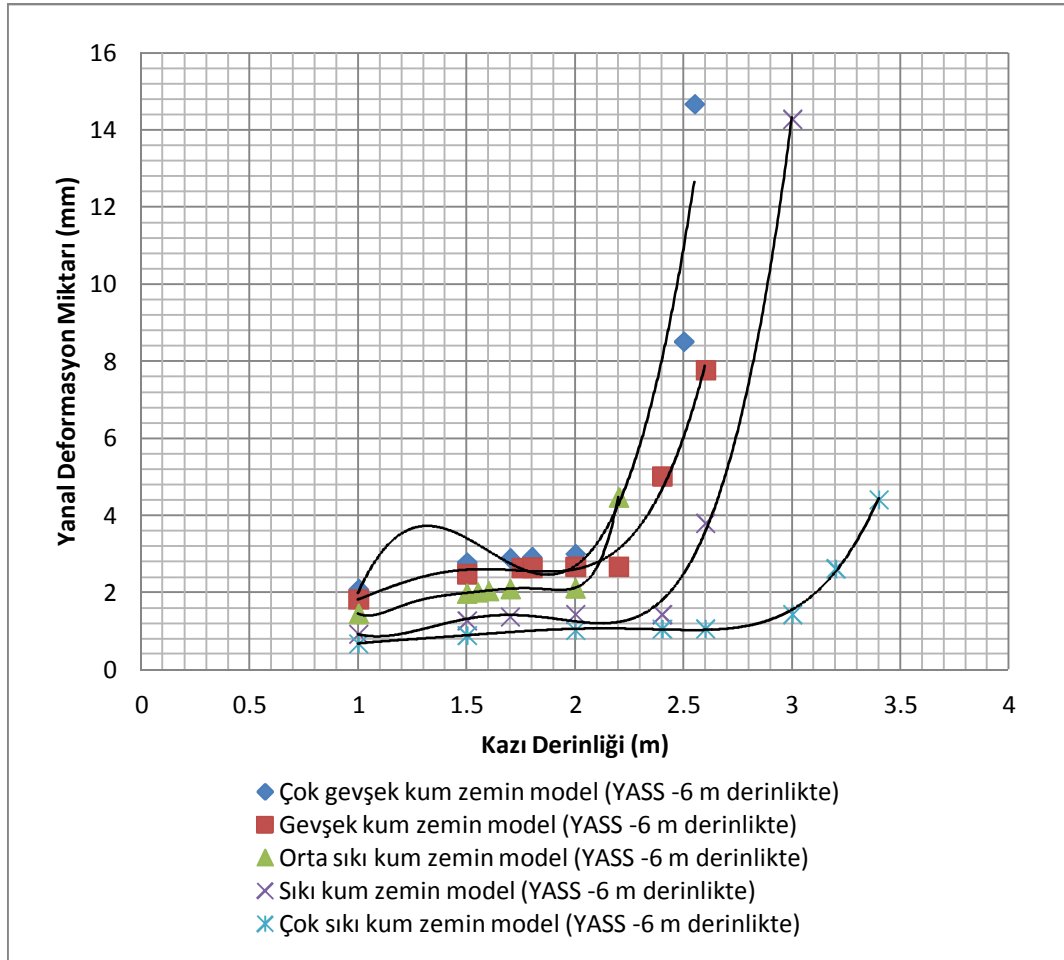
Zemin Cinsi	Elde Edilen Regresyon Denklemi	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok gevşek kum	$\delta_h = 85.42H_e^4 - 499.9H_e^3 + 1081H_e^2 - 1021H_e + 356.7$	1
Gevşek kum	$\delta_h = 0.137H_e^4 + 3.864H_e^3 - 20.33H_e^2 + 32.75H_e - 14.58$	0.991
Orta sıkı kum	$\delta_h = 28.96H_e^4 - 180.7H_e^3 + 414H_e^2 - 411H_e + 150.1$	0.999
Sıkı kum	$\delta_h = 11.10H_e^5 - 91.54H_e^4 + 296.5H_e^3 - 471.6H_e^2 + 368.5H_e - 112.0$	0.998
Çok sıkı kum	$\delta_h = 0.414H_e^6 - 1.335H_e^5 - 8.730H_e^4 + 55.34H_e^3 - 116.5H_e^2 + 109H_e - 37.42$	0.998



Şekil 5.4. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.4. Yer altı suyunun -4 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi

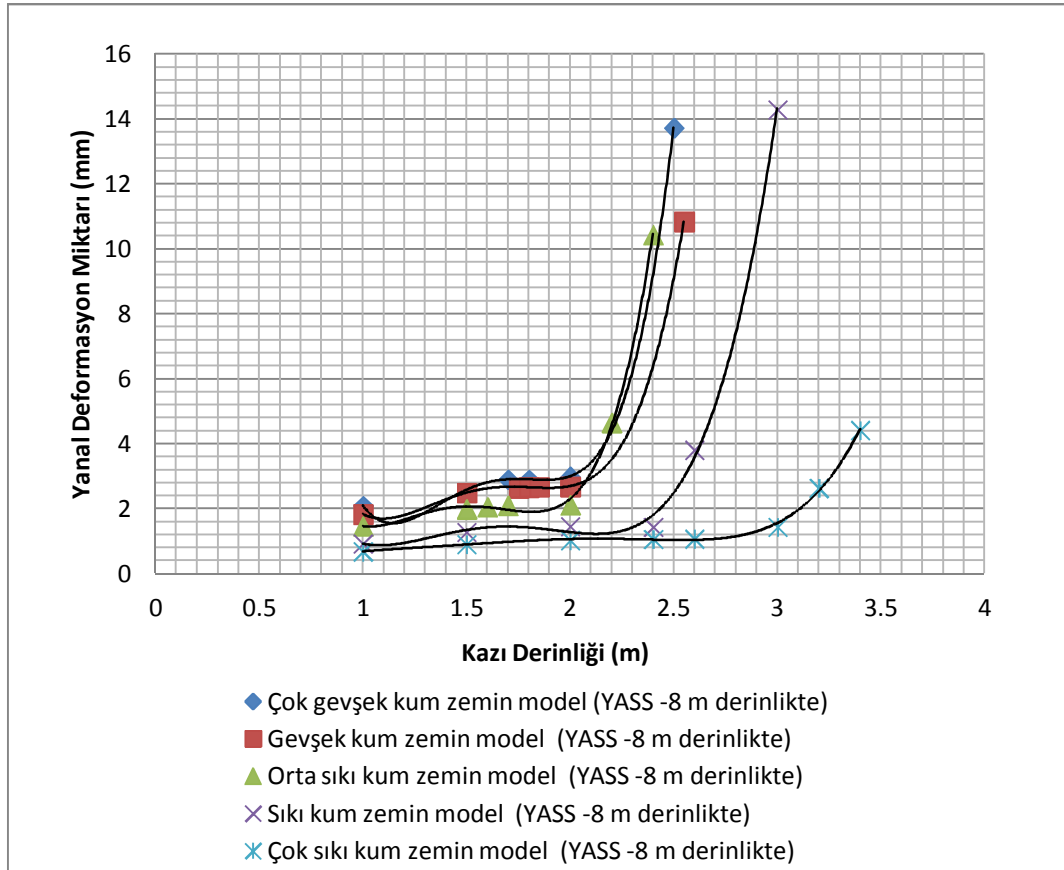
Zemin Cinsi	Elde Edilen Regresyon Denklemi	Belirlilik Katsayısı, R ²
Çok gevşek kum	$\delta_h = 112.6H_e^6 - 1203H_e^5 + 5293H_e^4 - 12245H_e^3 + 15685H_e^2 - 10527H_e + 2885$	0.999
Gevşek kum	$\delta_h = 7.893H_e^3 - 39.52H_e^2 + 64.02H_e - 30.67$	0.822
Orta sıkı kum	$\delta_h = 36.68H_e^5 - 288H_e^4 + 894.1H_e^3 - 1371H_e^2 + 1038H_e - 308.5$	1
Sıkı kum	$\delta_h = -7.029H_e^6 + 81.63H_e^5 - 380.7H_e^4 + 915.5H_e^3 - 1199H_e^2 + 813.4H_e - 222.5$	0.998
Çok sıkı kum	$\delta_h = -1.456H_e^6 + 20.28H_e^5 - 113.3H_e^4 + 325.3H_e^3 - 505.2H_e^2 + 401.9H_e - 126.8$	0.999



Şekil 5.5. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.5. Yer altı suyunun -6 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi

Zemin Cinsi	Elde Edilen Regresyon Denklemi	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok gevşek kum	$\delta_h = 14.80H_e^3 - 70.90H_e^2 + 109.8H_e - 51.71$	0.92
Gevşek kum	$\delta_h = 3.905H_e^4 - 21.79H_e^3 + 42.85H_e^2 - 33.79H_e + 10.65$	0.986
Orta sıkı kum	$\delta_h = 61.26H_e^6 - 561.2H_e^5 + 2123H_e^4 - 4245H_e^3 + 4727H_e^2 - 2776H_e + 672.4$	1
Sıkı kum	$\delta_h = 5.058H_e^4 - 33.08H_e^3 + 78.40H_e^2 - 79.17H_e + 29.71$	0.998
Çok sıkı kum	$\delta_h = 0.438H_e^5 - 3.782H_e^4 + 12.57H_e^3 - 20.28H_e^2 + 16.35H_e - 4.619$	0.997



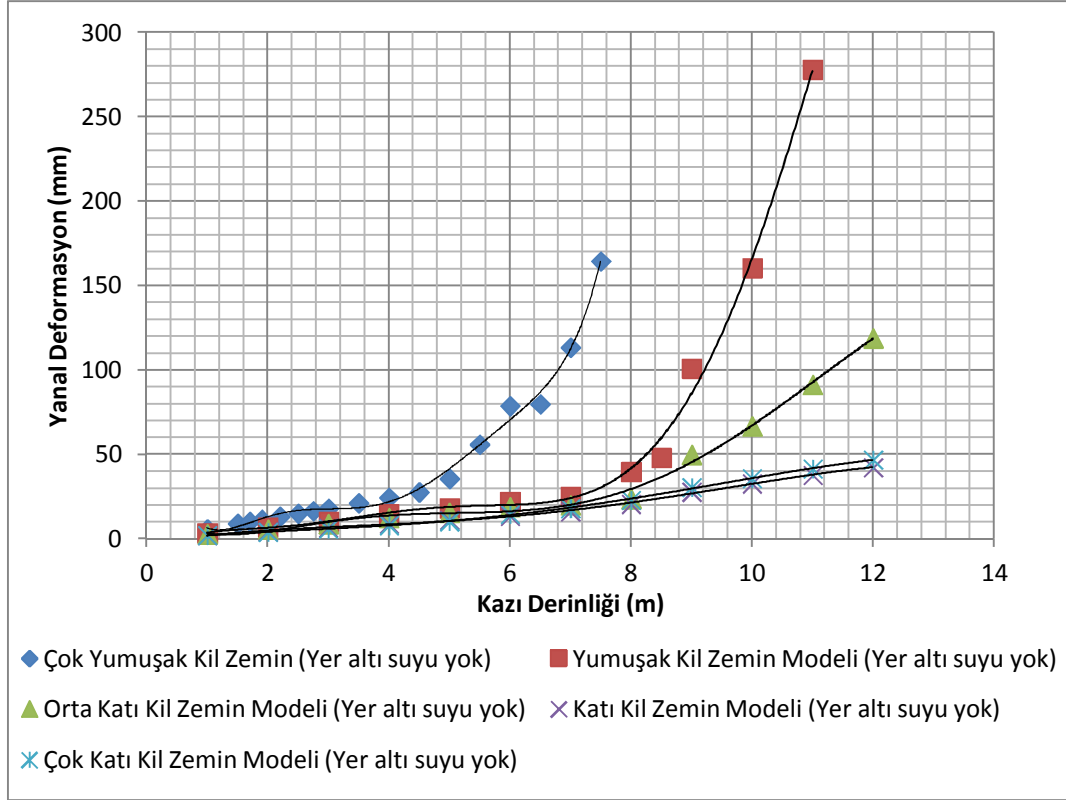
Şekil 5.6. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.6. Yer altı suyunun -8 m derinlikte bulunması durumunda kum zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi

Zemin Cinsi	Elde Edilen Regresyon Denklemi	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok gevşek kum	$\delta_h = 21.82H_e^4 - 138.8H_e^3 + 324.8H_e^2 - 328.6H_e + 123.0$	1
Gevşek kum	$\delta_h = 12.41H_e^4 - 78.10H_e^3 + 179.8H_e^2 - 178.1H_e + 65.83$	1
Orta sıkı kum	$\delta_h = 15.17H_e^4 - 88.33H_e^3 + 188H_e^2 - 172.6H_e + 59.19$	0.998
Sıkı kum	$\delta_h = 5.082H_e^4 - 33.24H_e^3 + 78.74H_e^2 - 79.39H_e + 29.73$	0.998
Çok sıkı kum	$\delta_h = 0.438H_e^5 - 3.782H_e^4 + 12.57H_e^3 - 20.28H_e^2 + 16.35H_e - 4.619$	0.997

5.2.2. Kil zeminlerde regresyon analizi ile kazı derinliği (m) – yanal deformasyon miktarı (mm) denklemlerinin belirlenmesi

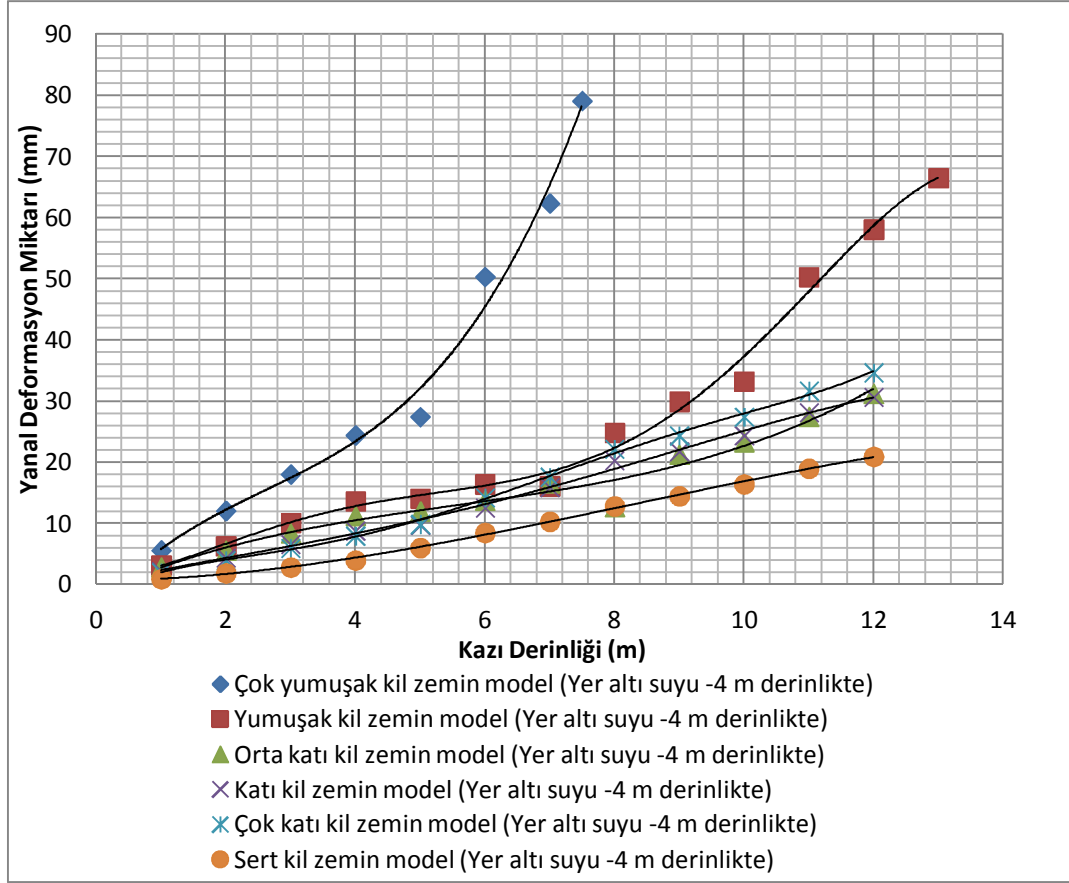
Aşağıda, çok yumuşak kil, yumuşak kil, orta katı kil, katı kil, çok katı kil ve sert kil zeminler için elde edilen regresyon eğrileri ve bu eğrilere ait regresyon denklemleri ve belirlilik katsayıları verilmiştir.



Şekil 5.7. Yer altı suyunun olmaması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.7. Yer altı suyunun olmaması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı ilişkisi

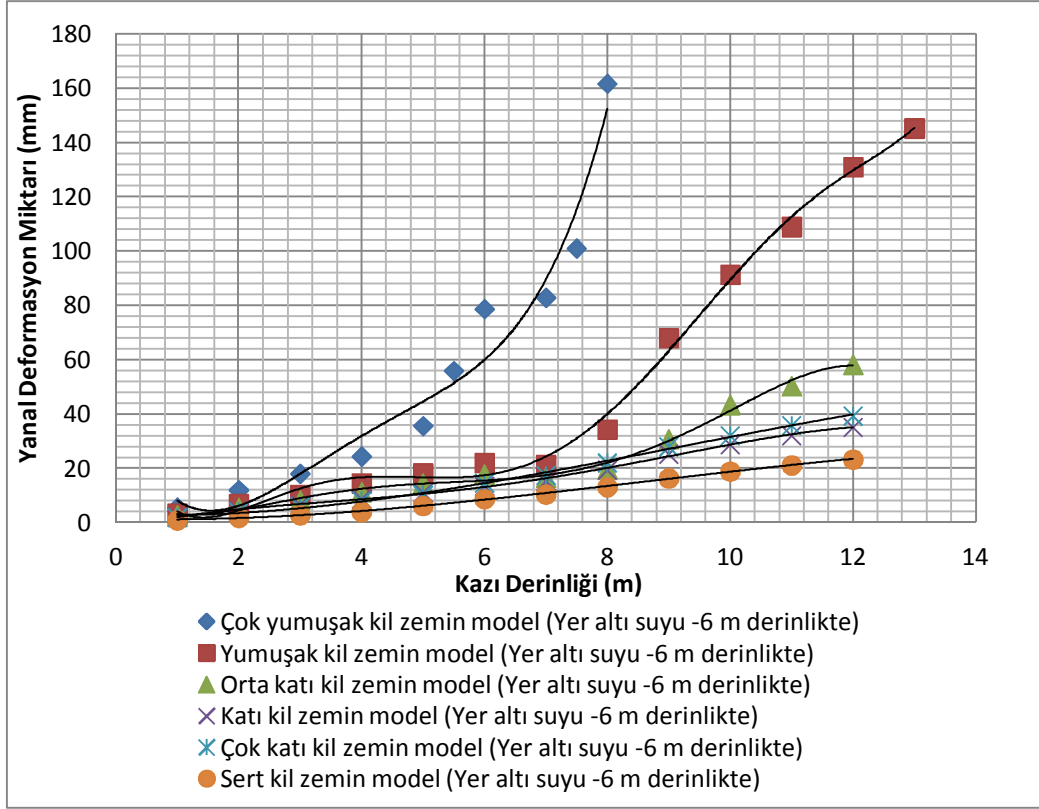
Zemin Cinsi	Elde Edilen Regresyon Denklemi	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok yumuşak kil	$\delta_h = 0.093H_c^6 - 2.273H_c^5 + 21.56H_c^4 - 100.4H_c^3 + 239.1H_c^2 - 266.4H_c + 114.7$	0.994
Yumuşak kil	$\delta_h = -0.004H_c^6 + 0.142H_c^5 - 1.680H_c^4 + 9.159H_c^3 - 24.02H_c^2 + 31.94H_c - 11.93$	0.994
Orta katı kil	$\delta_h = 0.0007H_c^6 - 0.035H_c^5 + 0.649H_c^4 - 5.469H_c^3 + 21.70H_c^2 - 34.38H_c + 20.75$	0.995
Katı kil	$\delta_h = -0.008H_c^4 + 0.216H_c^3 - 1.634H_c^2 + 6.524H_c - 3.207$	0.998
Çok katı kil	$\delta_h = -0.006H_c^4 + 0.157H_c^3 - 0.956H_c^2 + 4.019H_c - 1.282$	0.999



Şekil 5.8. Yer altı suyunun -4 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.8. Yer altı suyunun -4 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği yanıl deformasyon miktarı ilişkisi

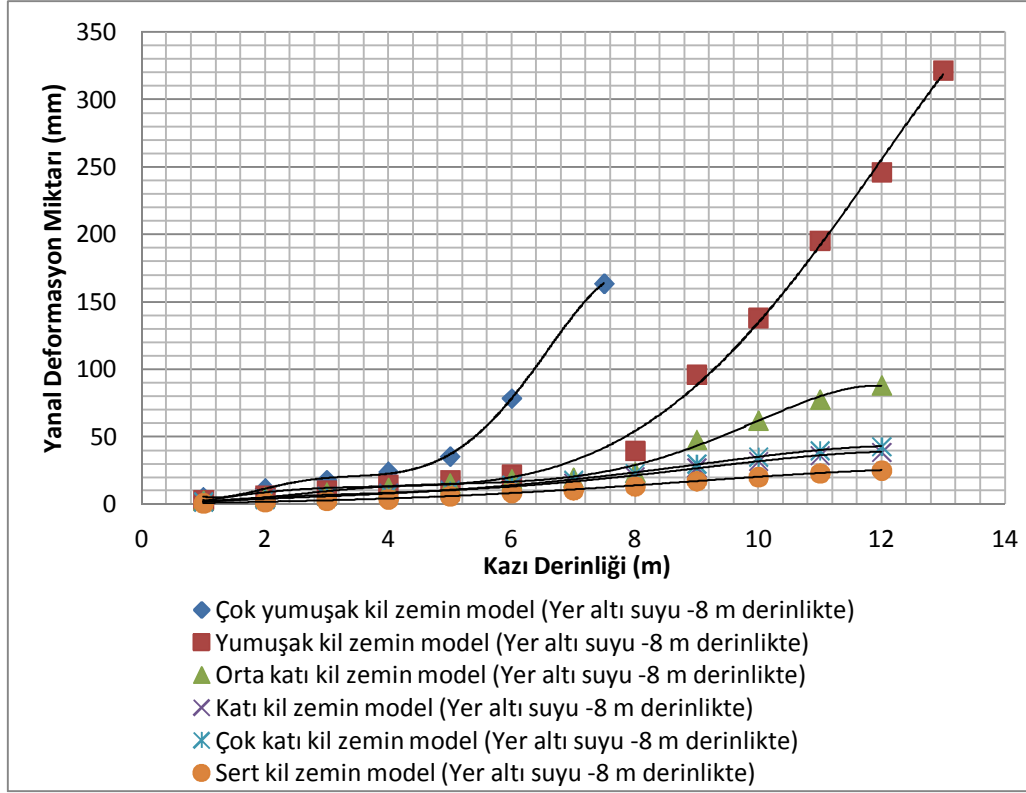
Zemin Cinsi	Elde Edilen Ampirik Bağıntı	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok yumuşak kil	$\delta_h = 0.325H_e^3 - 2.563H_e^2 + 11.85H_e - 3.864$	0.988
Yumuşak kil	$\delta_h = -0.002H_e^5 + 0.069H_e^4 - 0.685H_e^3 + 2.537H_e^2 - 0.201H_e + 1.328$	0.992
Orta katı kil	$\delta_h = -0.002H_e^5 + 0.070H_e^4 - 0.755H_e^3 + 3.226H_e^2 - 2.784H_e + 3.115$	0.973
Katı kil	$\delta_h = -0.002H_e^4 + 0.044H_e^3 - 0.237H_e^2 + 2.429H_e + 0.095$	0.995
Çok katı kil	$\delta_h = 0.02H_e^3 + 0.429H_e^2 + 0.19H_e + 1.654$	0.997
Sert kil	$\delta_h = -0.010H_e^3 + 0.261H_e^2 + 0.058H_e + 0.639$	0.998



Şekil 5.9. Yer altı suyunun -6 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

Çizelge 5.9. Yer altı suyunun -6 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği yanal deformasyon miktarı ilişkisi

Zemin Cinsi	Elde Edilen Ampirik Bağntı	Belirlilik Katsayısı, R^2
Çok yumuşak kil	$\delta_h = 0.315H_e^4 - 5.024H_e^3 + 29H_e^2 - 58.44H_e + 42.15$	0.959
Yumuşak kil	$\delta_h = 0.002H_e^6 - 0.103H_e^5 + 1.704H_e^4 - 13.08H_e^3 + 48.43H_e^2 - 75.90H_e + 43.07$	0.996
Orta katı kil	$\delta_h = -0.006H_e^5 + 0.196H_e^4 - 2.081H_e^3 + 9.392H_e^2 - 14.65H_e + 10.22$	0.993
Katı kil	$\delta_h = -0.006H_e^3 + 0.253H_e^2 + 0.699H_e + 1.797$	0.994
Çok katı kil	$\delta_h = -0.005H_e^4 + 0.119H_e^3 - 0.65H_e^2 + 3.191H_e - 0.664$	0.999
Sert kil	$\delta_h = -0.014H_e^3 + 0.365H_e^2 - 0.492H_e + 1.278$	0.999



Şekil 5.10. Yer altı suyunun -8 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği-yanal deformasyon miktarı regresyon eğrileri

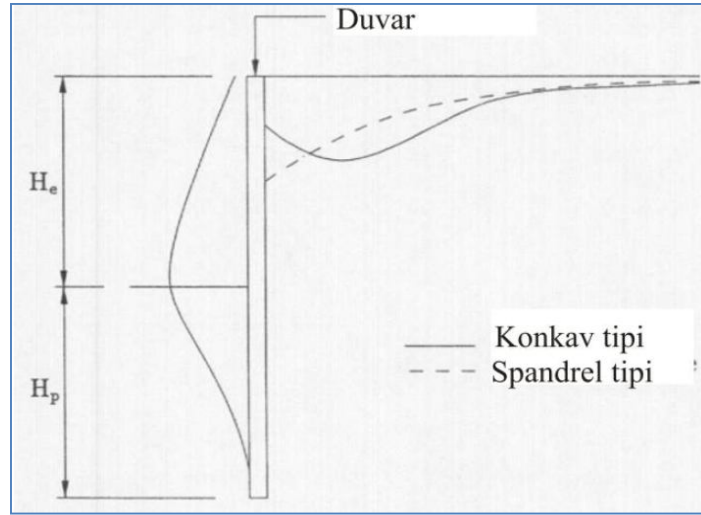
Çizelge 5.10. Yer altı suyunun -8 m derinlikte olması durumunda kil zeminlerde kazı derinliği yanal deformasyon miktarı ilişkisi

Zemin Cinsi	Elde Edilen Ampirik Bağntı	Belirlilik Katsayısı, R ²
Çok yumuşak kil	$\delta_h = -0.19H_e^5 + 3.808H_e^4 - 26.86H_e^3 + 84.19H_e^2 - 110H_e + 54.79$	0.999
Yumuşak kil	$\delta_h = -0.004H_e^5 + 0.122H_e^4 - 0.721H_e^3 + 0.055H_e^2 + 9.721H_e - 6.890$	0.996
Orta katı kil	$\delta_h = -0.009H_e^5 + 0.278H_e^4 - 2.813H_e^3 + 12.14H_e^2 - 18.64H_e + 12.05$	0.993
Katı kil	$\delta_h = -0.001H_e^5 + 0.036H_e^4 - 0.299H_e^3 + 0.981H_e^2 + 0.943H_e + 0.485$	0.999
Çok katı kil	$\delta_h = -0.008H_e^4 + 0.196H_e^3 - 1.219H_e^2 + 4.690H_e - 1.779$	0.999
Sert kil	$\delta_h = -0.002H_e^4 + 0.055H_e^3 - 0.187H_e^2 + 1.117H_e - 0.040$	0.999

6. DESTEKLİ KAZILARDA DÜŞEY OTURMA MİKTARININ MESAFE İLE İLİŞKİSİNİN TESPİTİ

Derin kazılardan kaynaklanan oturma profili genellikle iki tiptedir. Bunlardan ilki spandrel oturma tipi, ikincisi ise konkav oturma tipidir. Spandrel oturma tipinde, maksimum zemin oturması duvara çok yakın bir konumdadır, oturma profili dış bükeydir. Konkav oturma tipinde ise, maksimum zemin oturması duvardan belli bir uzaklıkta meydana gelir, oturma profili iç bükeydir.

Bu bölümde çelik palplanj ve betonarme perde elemanlarla desteklenmiş kazı durumlarında, kazı destek duvarı arkasındaki zeminde meydana gelen düşey deformasyon miktarının mesafe ile değişimi incelenmiştir.



Şekil 6.1. Kazı duvarı arkasında gelişebilecek oturma tipleri (Hsieh ve Ou, 1998)

6.1. Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazılarda Düşey Oturma Miktarının Mesafe İle İlişkisinin Tespiti

6.1.1. Çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminde düşey oturma miktarları

Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler neticesinde, kil zeminlerde çelik palplanj arkasında

meydana gelen düşey zemin oturmaları duvara olan mesafeye bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.1. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Çok Yumuşak Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	0	1.5	0.05
	2	2.5	0.083333333
	3	3	0.1
	4	3.5	0.116666667
	7	6	0.2
	8	5	0.166666667
Kazı Derinliği: 6 m	0	3	0.05
	2	6	0.1
	3	7	0.116666667
	4	9	0.15
	7	12	0.2
	8	14	0.233333333
Kazı Derinliği: 9 m	0	3.5	0.038888889
	2	7	0.077777778
	3	10	0.111111111
	4	12	0.133333333
	7	18	0.2
	8	21	0.233333333
Kazı Derinliği: 12 m	0	4	0.033333333
	2	12	0.1
	3	16	0.133333333
	4	20	0.166666667
	7	24	0.2
	8	28	0.233333333

Çizelge 6.2. Çelik palplanj ile desteklenmiş yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Yumuşak Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	0	1	0.033333333
	2	2	0.066666667
	3	2.5	0.083333333
	4	3	0.1
	7	3.5	0.116666667
	8	4	0.133333333
	10	4	0.133333333
Kazı Derinliği: 6 m	0	2	0.033333333
	2	3	0.05
	3	4	0.066666667
	4	5	0.083333333
	7	6	0.1
	8	7	0.116666667
	10	8	0.133333333
Kazı Derinliği: 9 m	0	3	0.033333333
	2	4	0.044444444
	3	6	0.066666667
	4	8	0.088888889
	7	10	0.111111111
	8	12	0.133333333
	10	14	0.155555556
Kazı Derinliği: 12 m	0	2.5	0.020833333
	2	7.5	0.0625
	3	10	0.083333333
	4	12.5	0.104166667
	7	16.5	0.1375
	8	18.5	0.154166667
	10	20	0.166666667

Çizelge 6.3. Çelik palplanj ile desteklenmiş orta katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Orta Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	0	1	0.033333333
	2	2	0.066666667
	3	2.5	0.083333333
	4	3	0.1
	7	3.5	0.116666667
	8	4	0.133333333
	10	4	0.133333333
Kazı Derinliği: 6 m	0	1.5	0.025
	2	2.5	0.041666667
	3	3	0.05
	4	4.5	0.075
	7	6	0.1
	8	6.5	0.108333333
	10	7.5	0.125
Kazı Derinliği: 9 m	0	2	0.022222222
	2	4	0.044444444
	3	5	0.055555556
	4	6	0.066666667
	7	9	0.1
	8	10	0.111111111
	10	11	0.122222222
Kazı Derinliği: 12 m	0	2	0.016666667
	2	6	0.05
	3	9	0.075
	4	10	0.083333333
	7	13	0.108333333
	8	14	0.116666667
	10	15	0.125

Çizelge 6.4. Çelik palplanj ile desteklenmiş katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	0	0.5	0.016666667
	2	1	0.033333333
	3	2	0.066666667
	4	2.25	0.075
	7	2.5	0.083333333
	8	2.75	0.091666667
	10	3	0.1
Kazı Derinliği: 6 m	0	1	0.016666667
	2	2	0.033333333
	3	3	0.05
	4	4	0.066666667
	7	5	0.083333333
	8	5.5	0.091666667
	10	6	0.1
Kazı Derinliği: 9 m	0	1	0.011111111
	2	4	0.044444444
	3	5	0.055555556
	4	6	0.066666667
	7	7	0.077777778
	8	9	0.1
	10	10	0.111111111
Kazı Derinliği: 12 m	0	2	0.016666667
	2	5	0.041666667
	3	7	0.058333333
	4	8	0.066666667
	7	9	0.075
	8	11	0.091666667
	10	12	0.1

Çizelge 6.5. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Çok Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	0	1	0.033333333
	2	1.5	0.05
	3	2	0.066666667
	4	2.25	0.075
	7	2.5	0.083333333
	8	2.75	0.091666667
	10	3	0.1
Kazı Derinliği: 6 m	0	1	0.016666667
	2	3	0.05
	3	4	0.066666667
	4	4.5	0.075
	7	5	0.083333333
	8	5.5	0.091666667
	10	6	0.1
Kazı Derinliği: 9 m	0	1.5	0.016666667
	2	4	0.044444444
	3	6	0.066666667
	4	7	0.077777778
	7	8	0.088888889
	8	9	0.1
	10	10	0.111111111
Kazı Derinliği: 12 m	0	2	0.016666667
	2	5	0.041666667
	3	7	0.058333333
	4	7.5	0.0625
	7	9	0.075
	8	11	0.091666667
	10	12	0.1

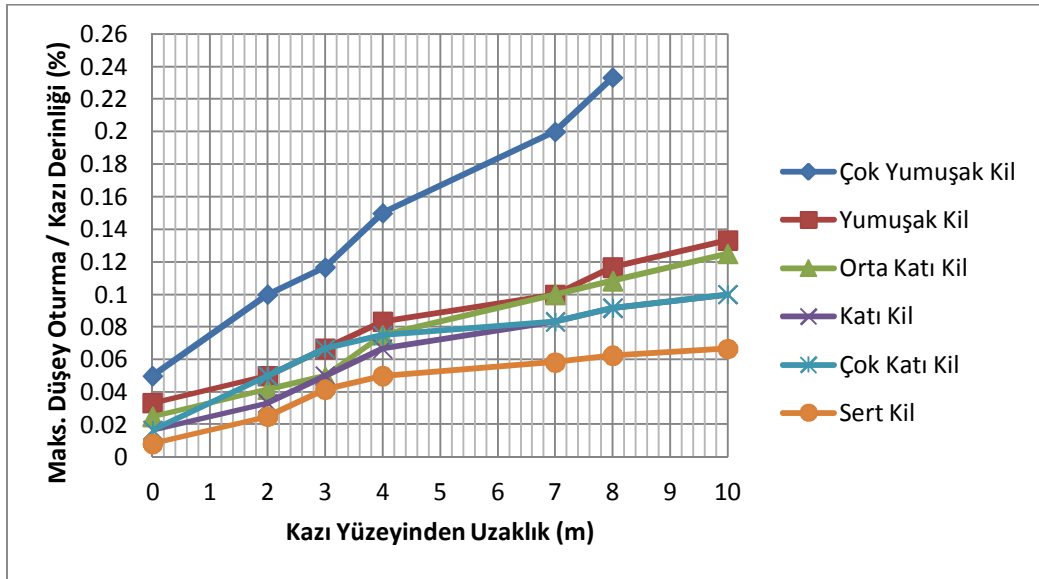
Çizelge 6.6. Çelik palplanj ile desteklenmiş sert kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Sert Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	0	0.5	0.016666667
	2	1	0.033333333
	3	1.25	0.041666667
	4	1.3	0.043333333
	7	1.5	0.05
	8	1.5	0.05
	10	1.5	0.05
Kazı Derinliği: 6 m	0	0.5	0.008333333
	2	1.5	0.025
	3	2.5	0.041666667
	4	3	0.05
	7	3.5	0.058333333
	8	3.75	0.0625
	10	4	0.066666667
Kazı Derinliği: 9 m	0	0.75	0.008333333
	2	3	0.033333333
	3	4.5	0.05
	4	5	0.055555556
	7	5.5	0.061111111
	8	6	0.066666667
	10	6	0.066666667
Kazı Derinliği: 12 m	0	1	0.008333333
	2	3.5	0.029166667
	3	5	0.041666667
	4	5.5	0.045833333
	7	7	0.058333333
	8	7.5	0.0625
	10	8	0.066666667

Yukarıda verilmiş olan çizelgelerden de anlaşılabileceği gibi, her bir modelin Düşey Oturma / Kazı Derinliği (%) oranı, kazı destek duvarından uzaklaştıkça değişim göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre söz konusu değişim, kil zeminler için kazı destek duvarından uzaklaştıkça artış göstermektedir. Bu durum konkav tip oturmayı işaret etmektedir. Bu tipte oturma profili için, destek duvarından uzaklaşıldıkça önce artan oturma değerleri, belirli bir konumda maksimum değerine ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başlayacaktır.

Ayrıca aynı zemin profili için, ayrı kazı derinliklerinde elde edilen Düşey oturma/Kazı derinliği (%) değerleri hemen hemen eşit olarak elde edilmiştir. Bu durum söz konusu oran üzerinde kazı derinliğinin çok fazla etkisinin olmadığını göstermektedir.

Aşağıda kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği oranı (%) arasındaki ilişki zemin tipine bağlı olarak grafiklenmiştir. Kazı derinliğinin söz konusu oran üzerinde önemli ölçüde bir etkisi olmamaktadır, bu yüzden her bir kazı derinliğindeki ilişki ayrı ayrı verilmemiştir.



Şekil 6.2. Analizler sonucunda çelik palplanj ile desteklenmiş kil zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki

6.1.2. Çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminde düşey oturma miktarları

Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler neticesinde, kum zeminlerde kazı destek duvarı arkasında meydana gelen düşey zemin oturmaları duvara olan mesafeye bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

Kazı derinliğinin düşey oturma /kazı derinliği oranı - uzaklık grafiklerinde önemli bir etkisinin görülmemesinden dolayı, aşağıda yalnızca 9 m derinlikte kazı durumu için ilgili değerler tablolandırılmıştır.

Çizelge 6.7. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Çok Gevşek Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	0	13	0.144444444
	2	12	0.133333333
	2.5	11	0.122222222
	3	10	0.111111111
	5	7.5	0.083333333
	8	4	0.044444444
	10	3.5	0.038888889

Çizelge 6.8. Çelik palplanj ile desteklenmiş gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Gevşek Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	0	12	0.13333333
	2	11	0.12222222
	2.5	10	0.11111111
	3	9	0.1
	5	6	0.06666667
	8	3	0.03333333
	10	2	0.02222222

Çizelge 6.9. Çelik palplanj ile desteklenmiş orta sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Orta Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	0	11	0.12222222
	2	10	0.11111111
	2.5	9	0.1
	3	8	0.08888889
	5	6	0.06666667
	8	2	0.02222222
	10	1	0.01111111

Çizelge 6.10. Çelik palplanj ile desteklenmiş sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

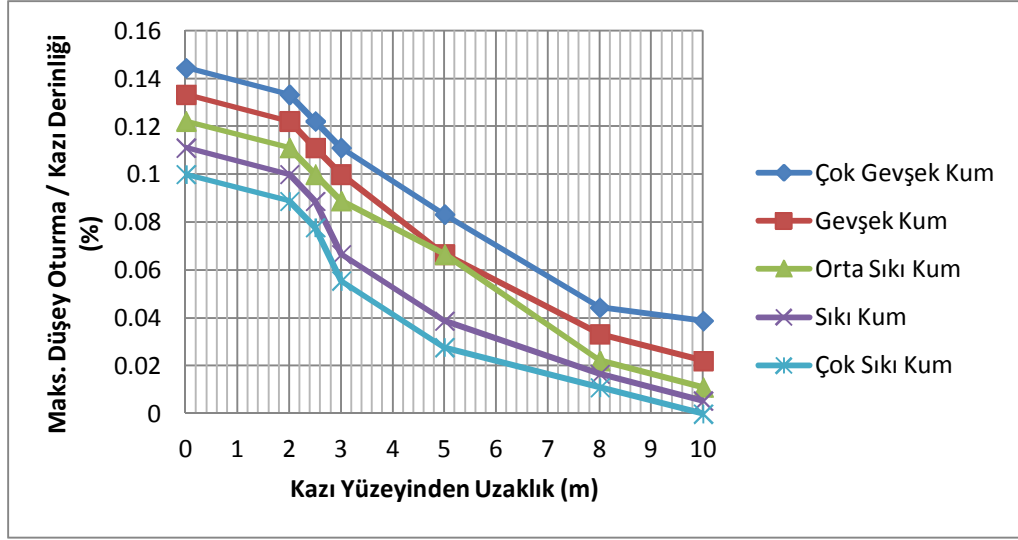
Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	0	10	0.111111111
	2	9	0.1
	2.5	8	0.088888889
	3	6	0.066666667
	5	3.5	0.038888889
	8	1.5	0.016666667
	10	0.5	0.005555556

Çizelge 6.11. Çelik palplanj ile desteklenmiş çok sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Çok Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	0	9	0.1
	2	8	0.088888889
	2.5	7	0.077777778
	3	5	0.055555556
	5	2.5	0.027777778
	8	1	0.011111111
	10	0	0

Yukarıda verilmiş olan çizelgelerden de anlaşılabileceği gibi, analizler sonucunda kum zeminler için düşey oturma/kazı derinliği (%) değerleri, kazı destek yüzeyinden uzaklaştıkça azalım göstermektedir. Bu durum, spandrel tipte oturmaya işaret etmektedir.

Aşağıda kum zeminler için elde edilen sonuçlar kullanılarak oluşturulmuş olan grafik verilmiştir.



Şekil 6.3. Analizler sonucunda çelik palplanj ile desteklenmiş kum zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki

6.2. Betonarme Perde ile Desteklenmiş Kazılarda Düşey Oturma Miktarının Mesafe İle İlişkisinin Tespiti

6.2.1. Betonarme perde ile desteklenmiş kil zeminde düşey oturma miktarları

Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler neticesinde, kil zeminlerde betonarme perde arkasında meydana gelen düşey zemin oturmaları duvara olan mesafeye bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.12. Betonarme perde ile desteklenmiş çok yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Çok Yumuşak Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	1	0	0
	4	0.024	0.0008
	6.5	0.033	0.0011
	8	0.036	0.0012
	10	0.035	0.001166667
Kazı Derinliği: 6 m	1	0	0
	4	0.032	0.000533333
	6.5	0.055	0.000916667
	8	0.065	0.001083333
	10	0.067	0.001116667
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.035	0.000388889
	6.5	0.067	0.000744444
	8	0.081	0.0009
	10	0.084	0.000933333
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.038	0.000316667
	6.5	0.071	0.000591667
	8	0.085	0.000708333
	10	0.088	0.000733333

Çizelge 6.13. Betonarme perde ile desteklenmiş yumuşak kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Yumuşak Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	1	0	0
	4	0.026	0.000866667
	6.5	0.035	0.001166667
	8	0.041	0.001366667
	10	0.04	0.001333333
Kazı Derinliği: 6 m	1	0	0
	4	0.034	0.000566667
	6.5	0.057	0.00095
	8	0.066	0.0011
	10	0.067	0.001116667
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.035	0.000388889
	6.5	0.065	0.000722222
	8	0.077	0.000855556
	10	0.079	0.000877778
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.36	0.003
	6.5	0.064	0.000533333
	8	0.075	0.000625
	10	0.077	0.000641667

Çizelge 6.14. Betonarme perde ile desteklenmiş orta katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Orta Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	1	0	0
	4	0.027	0.0009
	6.5	0.037	0.001233333
	8	0.044	0.001466667
	10	0.042	0.0014
Kazı Derinliği: 6 m	1	0	0
	4	0.038	0.000633333
	6.5	0.062	0.001033333
	8	0.072	0.0012
	10	0.072	0.0012
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.04	0.000444444
	6.5	0.068	0.000755556
	8	0.08	0.000888889
	10	0.081	0.0009
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.039	0.000325
	6.5	0.064	0.000533333
	8	0.073	0.000608333
	10	0.074	0.000616667

Çizelge 6.15. Betonarme perde ile desteklenmiş katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	1	0	0
	4	0.032	0.001066667
	6.5	0.044	0.001466667
	8	0.052	0.001733333
	10	0.05	0.001666667
Kazı Derinliği: 6 m	1	0	0
	4	0.047	0.000783333
	6.5	0.074	0.001233333
	8	0.087	0.00145
	10	0.086	0.001433333
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.051	0.000566667
	6.5	0.084	0.000933333
	8	0.099	0.0011
	10	0.099	0.0011
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.05	0.000416667
	6.5	0.078	0.00065
	8	0.091	0.000758333
	10	0.09	0.00075

Çizelge 6.16. Betonarme perde ile desteklenmiş çok katı kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Çok Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	1	0	0
	4	0.036	0.0012
	6.5	0.047	0.001566667
	8	0.056	0.001866667
	10	0.054	0.0018
Kazı Derinliği: 6 m	1	0	0
	4	0.055	0.000916667
	6.5	0.082	0.001366667
	8	0.096	0.0016
	10	0.095	0.001583333
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.063	0.0007
	6.5	0.099	0.0011
	8	0.116	0.001288889
	10	0.115	0.001277778
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.064	0.000533333
	6.5	0.099	0.000825
	8	0.115	0.000958333
	10	0.114	0.00095

Çizelge 6.17. Betonarme perde ile desteklenmiş sert kil zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

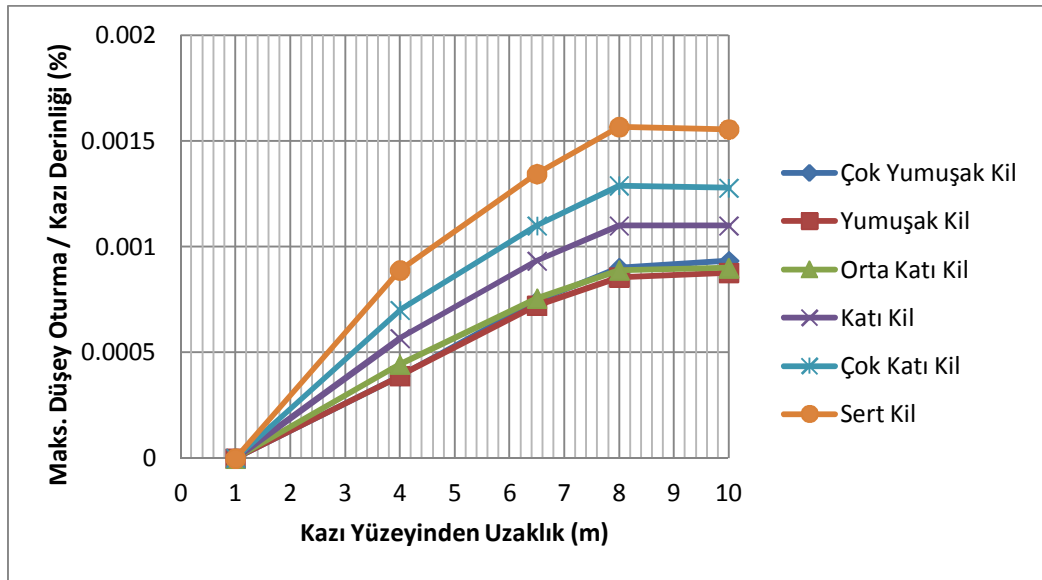
Sert Kil Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 3 m	1	0	0
	4	0.04	0.001333333
	6.5	0.052	0.001733333
	8	0.061	0.002033333
	10	0.059	0.001966667
Kazı Derinliği: 6 m	1	0	0
	4	0.066	0.0011
	6.5	0.095	0.001583333
	8	0.111	0.00185
	10	0.109	0.001816667
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.08	0.000888889
	6.5	0.121	0.001344444
	8	0.141	0.001566667
	10	0.14	0.001555556
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.086	0.000716667
	6.5	0.131	0.001091667
	8	0.151	0.001258333
	10	0.149	0.001241667

Yukarıda verilmiş olan çizelgelerden de anlaşılabileceği gibi, her bir modelin Düşey Oturma / Kazı Derinliği (%) oranı, kazı destek duvarından uzaklaştıkça değişim göstermektedir. Analiz sonuçlarına göre söz konusu değişim, kil zeminler için kazı destek duvarından uzaklaştıkça artış göstermektedir. Bu durum konkav tip oturmayı işaret etmektedir. Bu tipte oturma profili için, destek duvarından uzaklaşıldıkça önce artan oturma değerleri, belirli bir konumda maksimum değerine ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başlayacaktır.

Ayrıca aynı zemin profili için, ayrı kazı derinliklerinde elde edilen Düşey oturma/Kazı derinliği (%) değerleri hemen hemen eşit olarak elde edilmiştir. Bu

durum söz konusu oran üzerinde kazı derinliğinin çok fazla etkisinin olmadığını göstermektedir.

Aşağıda kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği oranı (%) arasındaki ilişki zemin tipine bağlı olarak grafiklenmiştir. Kazı derinliğinin söz konusu oran üzerinde önemli ölçüde bir etkisi olmamaktadır, bu yüzden her bir kazı derinliğindeki ilişki ayrı ayrı verilmemiştir.



Şekil 6.4. Analizler sonucunda betonarme perde ile desteklenmiş kil zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki

6.2.2. Betonarme perde ile desteklenmiş kum zeminde düşey oturma miktarları

Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen analizler neticesinde, kum zeminlerde kazı destek duvarı arkasında meydana gelen düşey zemin oturmaları duvara olan mesafeye bağlı olarak aşağıda verilmiştir.

Çizelge 6.18. Betonarme perde ile desteklenmiş çok gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Çok Gevşek Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.015	0.000166667
	6.5	0.02	0.000222222
	8	0.022	0.000244444
	10	0.023	0.000255556
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.025	0.000208333
	6.5	0.035	0.000291667
	8	0.038	0.000316667
	10	0.04	0.000333333

Çizelge 6.19. Betonarme perde ile desteklenmiş gevşek kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Gevşek Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0.012	0.000133333
	6.5	0.017	0.000188889
	8	0.016	0.000177778
	10	0.016	0.000177778
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0.019	0.000158333
	6.5	0.031	0.000258333
	8	0.033	0.000275
	10	0.034	0.000283333

Çizelge 6.20. Betonarme perde ile desteklenmiş orta sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Orta Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0	0
	6.5	0	0
	8	0	0
	10	0	0
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0	0
	6.5	0.011	9.16667E-05
	8	0.013	0.000108333
	10	0.013	0.000108333

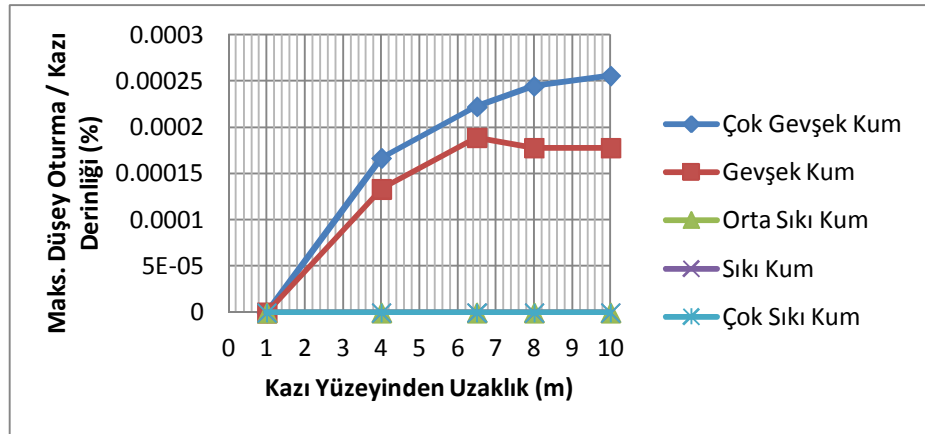
Çizelge 6.21. Betonarme perde ile desteklenmiş sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0	0
	6.5	0	0
	8	0	0
	10	0	0
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0	0
	6.5	0	0
	8	0	0
	10	0	0

Çizelge 6.22. Betonarme perde ile desteklenmiş çok sıkı kum zeminde kazı durumunda elde edilen düşey oturma değerleri (Yer altı suyunun olmadığı durum)

Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Duvarından Uzaklık (m)	Düşey Oturma (mm)	Düşey Oturma/Kazı Derinliği (%)
Kazı Derinliği: 9 m	1	0	0
	4	0	0
	6.5	0	0
	8	0	0
	10	0	0
Kazı Derinliği: 12 m	1	0	0
	4	0	0
	6.5	0	0
	8	0	0
	10	0	0

Analiz sonuçlarına göre, betonarme perde ile desteklenmiş kum zemin kazılarında, destek sistemi arkasında oluşan düşey zemin oturma miktarları çok düşük olmaktadır. Aşağıda kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği oranı (%) arasındaki ilişki zemin tipine bağlı olarak grafiklenmiştir. Kazı derinliğinin söz konusu oran üzerinde önemli ölçüde bir etkisi olmamaktadır, bu yüzden her bir kazı derinliğindeki ilişki ayrı ayrı verilmemiştir.



Şekil 6.5. Analizler sonucunda betonarme perde ile desteklenmiş kum zeminler için elde edilen kazı duvarından uzaklık (m) ile düşey oturma/kazı derinliği (%) arasındaki ilişki

7. ÖRNEK ÇALIŞMALAR: Literatürde İncelenmiş Modellerin Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation ile Analizleri

7.1. Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi

7.1.1. Çalışmaya Ait Bilgiler

7.1.1.1. Özet

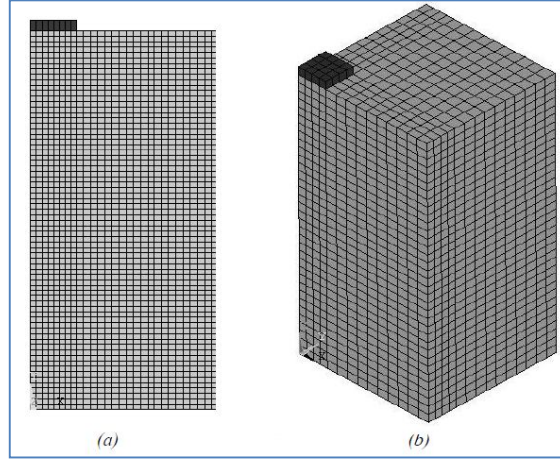
Keskin ve ark. (2008) tarafından yapılan bu çalışmada kumlu zeminlere oturan üniform olarak yüklenmiş kare temeller altında ilave düşey gerilmenin dağılımı teorik, deneysel ve sayısal yöntemlerle incelenmiştir.

7.1.1.2. Deneysel Çalışmalar

70*70*70 cm boyutlarındaki kübik kasa içerisinde oluşturulan model üzerine 13*13*2 cm boyutlarındaki temel plakası konmuş ve bu plaka üzerine 10 kN/m² değerine kadar kademeli olarak yükleme gerçekleştirilmiştir. Zemin malzemesinin sınıfı kötü derecelenmiş (SP) ince ve temiz kum olup, kuru birim hacim ağırlığı $\gamma_k=17.1$ kN/m³, rölatif sıkılığı $D_r=0.65$ ’ tir. Her yükleme kademesi için 1.0*B, 1.5*B, 2.0*B derinliklerinde oluşan ilave düşey gerilme değerleri kaydedilmiştir (B: Temel genişliği).

7.1.1.3. Sonlu Elemanlar Analizi

Keskin ve ark. (2008) tarafından yapılan bu çalışmada, ANSYS v.10 sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde yüklü alan 15*15 cm olarak alınmıştır.



Şekil 7.1. ANSYS v.10 kullanılarak oluşturulan modeller: (a) İki boyutlu model, (b) Üç boyutlu model (Keskin ve ark., 2008)

Keskin ve ark. (2008) tarafından ANSYS v.10 modellemesinde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 7.1’ de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Deney kumu için model parametreleri (Keskin ve ark., 2008)

Parametre	Simge	Birim	Değer
Elastisite Modülü	E	kN/m ²	28000
Kohezyon	c	kN/m ²	0
Kayma Mukavemeti Açısı	ϕ	°	41
Dilatasyon Açısı	ψ	°	11
Poisson Oranı	μ	-	0.20

7.1.1.4. Analiz Sonuçları

Keskin ve ark. (2008) tarafından elde edilen çalışma sonuçları Çizelge 7.2’ de verilmiştir.

Çizelge 7.2. Deneysel, sayısal ve teorik sonuçların karşılaştırılması (Keskin ve ark., 2008)

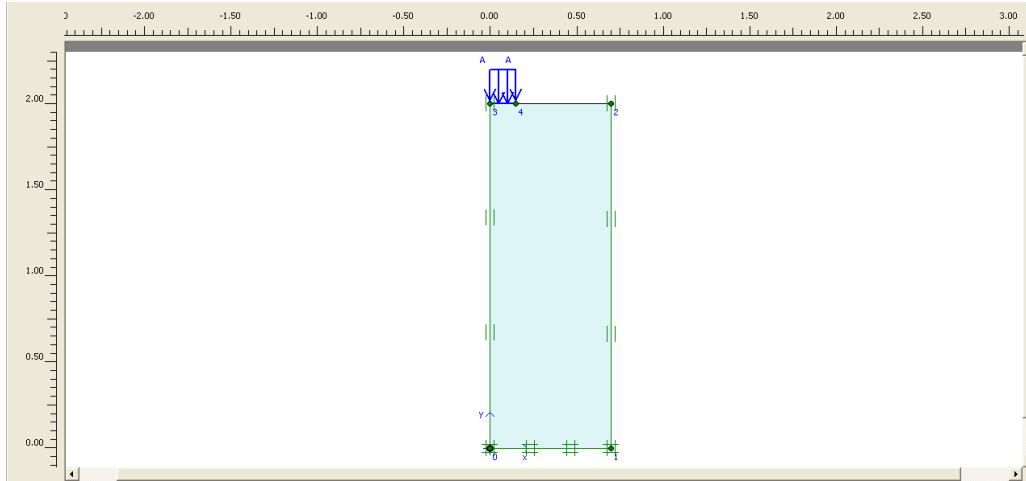
İlave Düşey Gerilmeler, $\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)				
Derinlik	Deneyssel	Lineer-Elastik	Drucker-Prager	Boussinesq
1.0B	3.715	3.469	3.629	3.360
1.5B	2.067	1.928	1.971	1.770
2.0B	1.348	1.203	1.164	1.106

7.1.2. Çalışma Verileri Kullanılarak Plaxis 2D Paket Programında Yapılan Analiz

7.1.2.1. İki Boyutlu Modelin Oluşturulması

0.7*2 m boyutlarında oluşturulan zemin modeli üzerine 0.15 m yatay uzunluk boyunca 10 kN/m² yük modellemesi yapılmış, zemin modeli olarak Mohr Coulomb modeli seçilerek sonlu eleman ağı oluşturulmuştur.

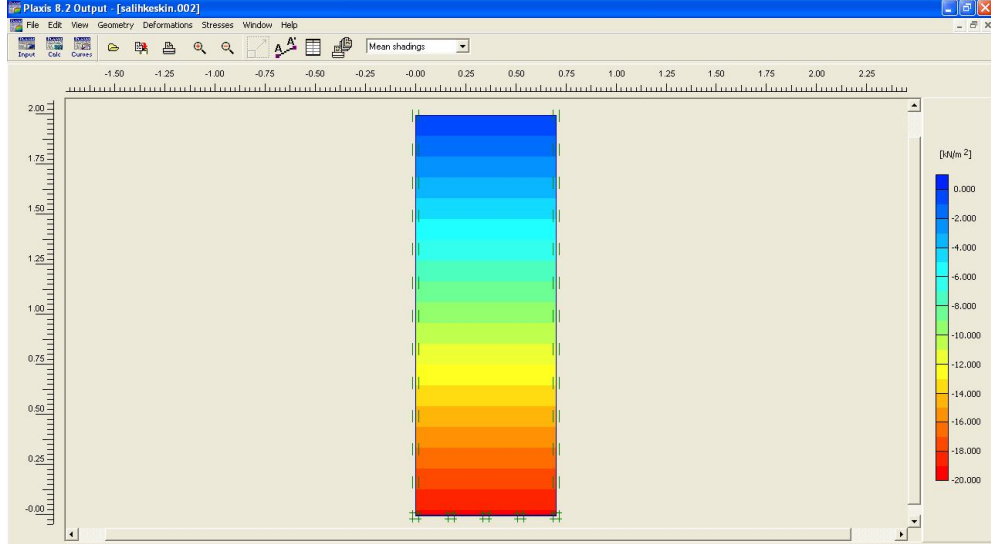
Analiz iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Başlangıç aşamasında yalnızca zeminin doğal durumu göz önünde bulundurulmuş, ikinci aşamada ise yük aktif hale getirilerek analiz gerçekleştirilmiştir.



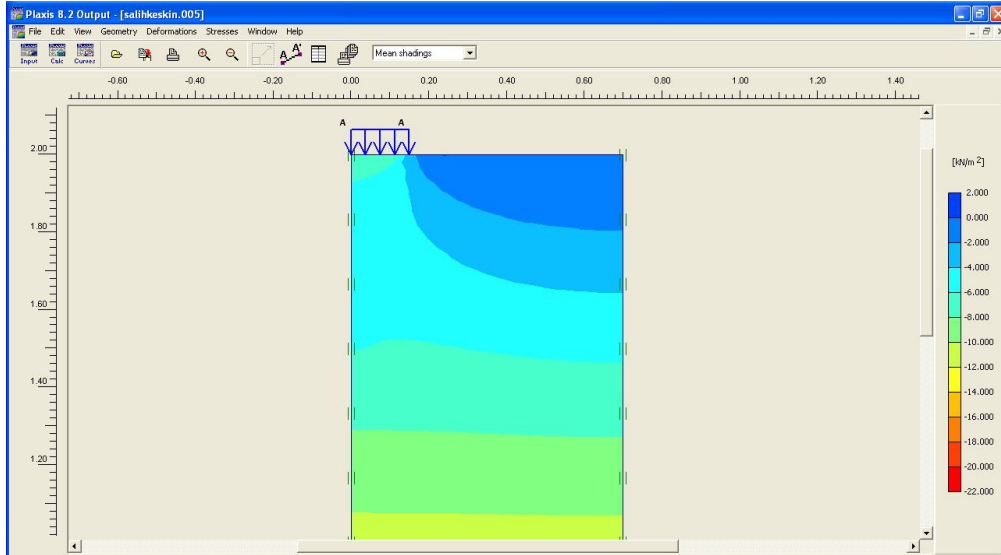
Şekil 7.2. Plaxis 2D paket programı kullanılarak iki boyutlu modelin oluşturulması

7.1.2.2. Analiz Sonuçları

Aşağıda yapılan analiz için başlangıç aşaması ve diğer aşamaya ait output çıktıları gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Doğal durumda toplam düşey gerilme dağılımı (σ_0)



Şekil 7.4. 10 kPa yükleme neticesinde oluşan toplam düşey gerilme dağılışı (σ_z)

Bu çıktıları incelenerek, yükleme neticesinde oluşan ilave düşey gerilmelerin 1.0*B, 1.5*B ve 2.0*B derinliklerindeki değerleri ($\Delta\sigma = \sigma_z - \sigma_0$) belirlenmiştir. Bu değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.3. Plaxis 2D paket programı kullanılarak derinliğe bağlı ilave düşey gerilme dağılımı

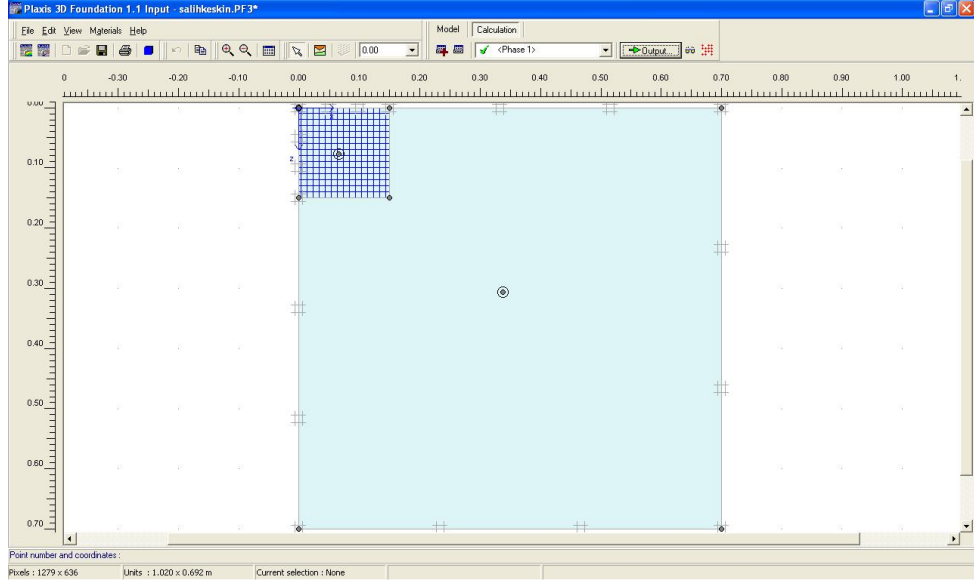
Derinlik (z)	$\Delta\sigma$ (kN/m ²)
1.0*B	3.00
1.5*B	2.20
2.0*B	1.75

7.1.3. Çalışma Verileri Kullanılarak Plaxis 3D Foundation Paket Programında Yapılan Analiz

7.1.3.1. Üç Boyutlu Modelin Oluşturulması

0.7*0.7*2 m boyutlarında oluşturulan zemin modeli üzerine 0.15*0.15 m alanında 10 kN/m² yük modellemesi yapılmış ve sonlu eleman ağı oluşturularak analize başlanmıştır. Zemin modeli olarak Mohr Coulomb modellemesi yapılmıştır.

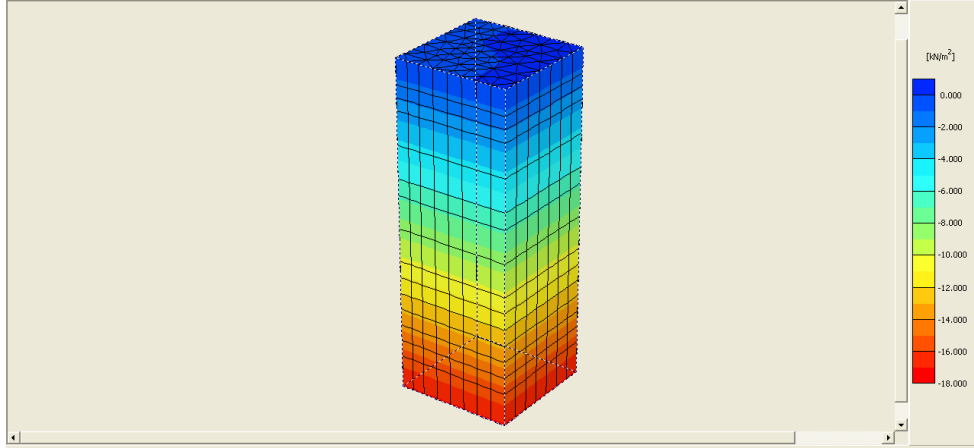
Analiz iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Başlangıç aşamasında yalnızca zeminin doğal durumu göz önünde bulundurulmuş, ikinci aşamada ise yük aktif hale getirilerek analiz gerçekleştirilmiştir.



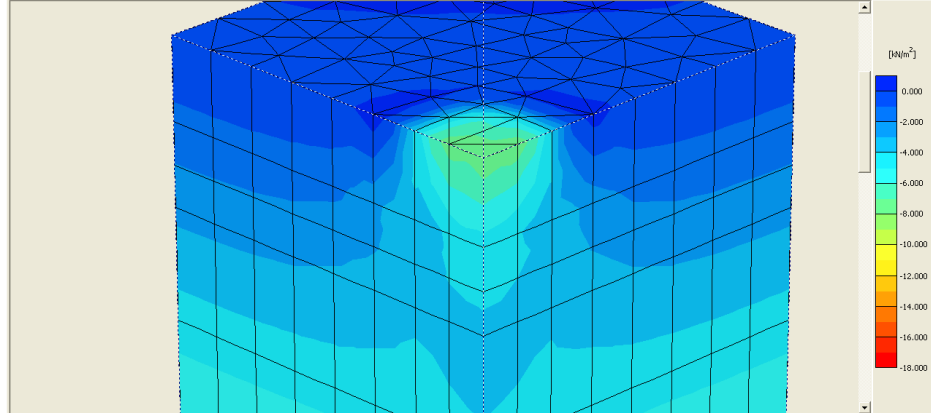
Şekil 7.5. Plaxis 3D Foundation paket programı kullanılarak üç boyutlu modelin oluşturulması

7.1.3.2. Analiz Sonuçları

Aşağıda yapılan analiz için başlangıç aşaması ve diğer aşamaya ait output çıktıları gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Doğal durumda toplam düşey gerilme dağılımı (σ_0)



Şekil 7.7. 10 kPa yükleme neticesinde oluşan toplam düşey gerilme dağılışı (σ_z)

Bu çıktılar incelenerek, yükleme neticesinde oluşan ilave düşey gerilmelerin $1.0*B$, $1.5*B$ ve $2.0*B$ derinliklerindeki değerleri ($\Delta\sigma = \sigma_z - \sigma_0$) belirlenmiştir. Bu değerler aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 7.4. Plaxis 3D Foundation paket programı kullanılarak derinliğe bağlı ilave düşey gerilme dağılımı

Derinlik (z)	$\Delta\sigma$ (kN/m ²)
1.0*B	4.00
1.5*B	2.50
2.0*B	1.00

7.1.4. Orijinal Çalışma Sonuçları ile Bu Çalışma Baz Alınarak Yapılan Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

Keskin ve ark. (2008) tarafından gerçekleştirilen çalışma sonuçları ile bu çalışmanın Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation yazılımlarında tekrarlanması neticesinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her iki çalışmaya ait sonuçların yaklaşık olarak uyum gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 7.5' te çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.5. Keskin ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışma ve bu çalışmanın tekrar modellenmesi neticesinde elde edilen sonuçların karşılaştırılması

	Keskin ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Kullanılan Analiz Yazılımı	ANSYS v.10	PLAXIS 2D, PLAXIS 3D
Analiz Yöntemleri	Laboratuvar deneyi Lineer Elastik Drucker-Prager Boussinesq	Mohr-Coulomb
Analizde Kullanılan Parametreler	$\gamma_k=17.1 \text{ kN/m}^3$ $D_r=0.65$ $E=28000 \text{ kN/m}^2$ $c=0 \text{ kN/m}^2$ $\phi=41^\circ$ $\Psi=11^\circ$ $\mu=0.20$	Malzeme Tipi: Drenajlı $\gamma_k=17.1 \text{ kN/m}^3$ $E=28000 \text{ kN/m}^2$ $c=0.01 \text{ kN/m}^2$ $\phi=41^\circ$ $\Psi=11^\circ$ $\mu=0.20$
Yükleme Değeri	10 kN/m^2	10 kN/m^2
Yük Etki Alanı	15 cm x 15 cm	15 cm x 15 cm
Yer altı Su Seviyesi	-	-
Analiz Aşamaları		Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu Birinci aşama: Yüklemenin aktif hale getirilmesi
Analizin Gerçekleştirildiği Derinlikler	1.0 B 1.5 B 2.0 B	1.0 B 1.5 B 2.0 B
Analiz Sonuçları (İlave Düşey Gerilmeler)	Laboratuvar Analizi: 1.0B derinlikte: 3.715 kN/m^2 1.5B derinlikte: 2.067 kN/m^2 2.0B derinlikte: 1.348 kN/m^2 Lineer Elastik Analiz: 1.0B derinlikte: 3.469 kN/m^2 1.5B derinlikte: 1.928 kN/m^2 2.0B derinlikte: 1.203 kN/m^2 Drucker-Prager Analizi: 1.0B derinlikte: 3.629 kN/m^2 1.5B derinlikte: 1.971 kN/m^2 2.0B derinlikte: 1.164 kN/m^2 Boussinesq Analizi: 1.0B derinlikte: 3.360 kN/m^2 1.5B derinlikte: 1.770 kN/m^2 2.0B derinlikte: 1.106 kN/m^2	Plaxis 2D Analizi: 1.0B derinlikte: 3.00 kN/m^2 1.5B derinlikte: 2.20 kN/m^2 2.0B derinlikte: 1.75 kN/m^2 Plaxis 3D Analizi: 1.0B derinlikte: 4.00 kN/m^2 1.5B derinlikte: 2.50 kN/m^2 2.0B derinlikte: 1.00 kN/m^2

7.2. Zemin Çivisi ile Ankrajlı Destek Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi

7.2.1. Çalışmaya Ait Bilgiler

7.2.1.1. Özet

Demirkoç ve ark., bu çalışmada dört farklı homojen özellikteki zemin türü için 8 m, 10 m, 12 m ve 15 m'lik kazı durumlarında ve her kazı durumu için de ankrajlı ve zemin çivili modeller kullanarak analiz yapmışlardır. Bu şekilde iki farklı iksa sisteminin benzer zemin koşullarındaki davranışlarını karşılaştırmışlardır. Analizlerde Plaxis 8.5 sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır.

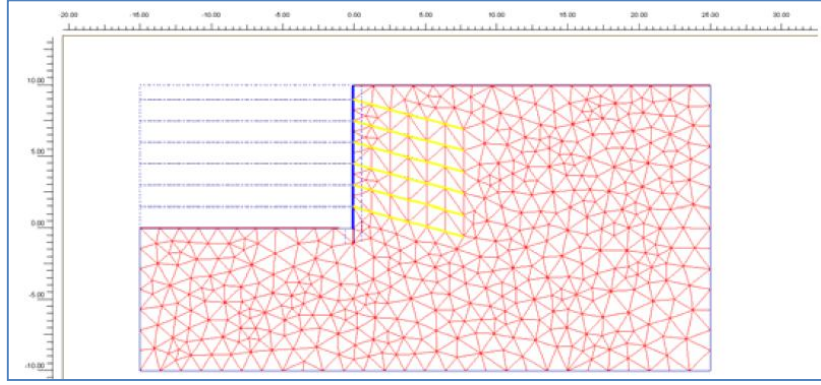
7.2.1.2. Sonlu Elemanlar Analizi

Demirkoç ve ark. tarafından yapılan bu çalışmada dört farklı zemin modeli için dört farklı kazı derinliklerinde ankrajlı ve zemin çivili sistemler analiz edilmiştir. Her bir analiz, hem Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılarak, hem de Hardening Soil zemin modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toplam 64 adet analiz yapılmıştır. Analizlerde kullanılan zemin modellerine ait fiziksel parametreler aşağıda verilmiştir.

Çizelge 7.6. Model zemin parametreleri (Demirkoç ve ark.)

Model	Zemin	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	E'_{50} (kPa)	ν'
Model 1	Katı kil	19	21	30	10	23000	0.45
Model 2	Orta katı kil	17	19	28	1	6300	0.35
Model 3	Sıkı kum	18	21	40	1	90000	0.37
Model 4	Orta sıkı kum	14	19	32	5	63000	0.35

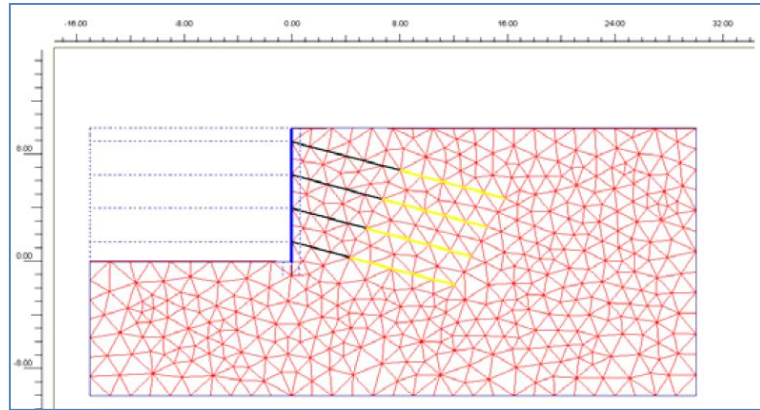
Zemin çivisi destekli kazı analizlerinde yatay ve düşey çivi aralıkları 1.5 m olarak seçilmiştir. Çiviler zemine 15° lik açılarla yerleştirilmiştir.



Şekil 7.8. Model-1 için H=10 m kazı derinliğinde zemin çivili iksa modeli (Demirkoç ve ark.)

Çizelge 7.7. Zemin çivisi destekli iksa sistemleri malzeme özellikleri (Demirkoç ve ark.)

Malzeme	d (m)	E (kPa)	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)	w (kN/m/m)	v
Perde Duvar	0.20	30,000,000	6,000,000	20,000	Model 1 ve 3= 2.80 Model 2 ve 4= 3.00	0.15
Çivi	0.10	30,000,000	235,500	-	-	-



Şekil 7.9. Model-1 için H=10 m kazı derinliğinde ankrajlı iksa modeli (Demirkoç ve ark.)

Ankraj destekli kazı analizlerinde her bir ankraj çubuğu yatayla 15° lik açı yapacak şekilde konumlandırılmışlardır.

7.2.1.3. Analiz Sonuçları

Demirkoç ve ark. tarafından yapılan analiz sonuçları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 7.8. Zemin çivisi destekli iksa sistemi analiz sonuçları (Demirkoç ve ark.)

H=8 m'lik kazı			MC Modeli			HS Modeli				
Model No:	Çivi Boyu (m)	Çivi Sayısı	Max. Ux (m)	Max. Uy (m)	Max. V (kN/m)	Max. M (kNm/m)	Max. Ux (m)	Max. Uy (m)	Max. V (kN/m)	Max. M (kNm/m)
Model 1	6.50	5.00	26.85x10 ⁻³	10.14x10 ⁻³	21.27	9.04	15.76x10 ⁻³	6.59x10 ⁻³	39.69	13.59
Model 2	8.00	5.00	72.44x10 ⁻³	10.51x10 ⁻³	49.59	22.97	71.34x10 ⁻³	50.68x10 ⁻³	64.19	41.45
Model 3	8.00	5.00	3.84x10 ⁻³	38.96x10 ⁻⁵	17.69	6.87	2.73x10 ⁻³	97.50x10 ⁻⁵	22.07	8.30
Model 4	8.00	5.00	4.25x10 ⁻³	1.62x10 ⁻³	22.63	8.46	3.88x10 ⁻³	1.79x10 ⁻³	24.11	7.22
H=10 m'lik kazı										
Model 1	8.00	6.00	36.22x10 ⁻³	18.29x10 ⁻³	33.07	10.15	22.70x10 ⁻³	11.49x10 ⁻³	49.98	14.78
Model 2	10.00	6.00	17.01x10 ⁻²	79.23x10 ⁻³	81.14	68.17	12.53x10 ⁻²	93.49x10 ⁻³	107.46	90.42
Model 3	10.00	6.00	6.84x10 ⁻³	2.01x10 ⁻³	24.33	8.82	4.40x10 ⁻³	2.64x10 ⁻³	35.56	8.91
Model 4	10.00	6.00	6.71x10 ⁻³	1.34x10 ⁻³	25.96	10.62	5.89x10 ⁻³	2.51x10 ⁻³	26.12	7.52
H=12 m'lik kazı										
Model 1	11.00	8.00	48.33x10 ⁻³	19.45x10 ⁻³	36.61	19.57	27.04x10 ⁻³	15.29x10 ⁻³	60.04	20.07
Model 2	12.00	8.00	23.16x10 ⁻²	11.96x10 ⁻²	94.50	86.52	16.15x10 ⁻²	13.28x10 ⁻²	103.00	90.66
Model 3	11.00	8.00	12.01x10 ⁻³	4.71x10 ⁻³	27.63	8.66	6.15x10 ⁻³	2.84x10 ⁻³	36.26	11.36
Model 4	12.00	8.00	9.62x10 ⁻³	97.29x10 ⁻⁵	26.29	13.52	8.39x10 ⁻³	4.79x10 ⁻³	42.04	9.32
H=15 m'lik kazı										
Model 1	13.00	9.00	77.28x10 ⁻³	34.42x10 ⁻³	53.31	12.56	40.58x10 ⁻³	23.45x10 ⁻³	74.70	16.00
Model 2	15.00	9.00	30.48x10 ⁻²	13.06x10 ⁻²	131.58	110.94	80.64x10 ⁻³	67.12x10 ⁻³	133.53	111.74
Model 3	12.00	9.00	19.62x10 ⁻³	7.40x10 ⁻³	37.64	12.46	11.93x10 ⁻³	7.45x10 ⁻³	53.05	19.39
Model 4	15.00	9.00	21.97x10 ⁻³	11.11x10 ⁻³	48.1	20.51	14.51x10 ⁻³	10.45x10 ⁻³	51.29	23.78

Çizelge 7.9. Ankraj destekli iksa sistemi analiz sonuçları (Demirkoç ve ark.)

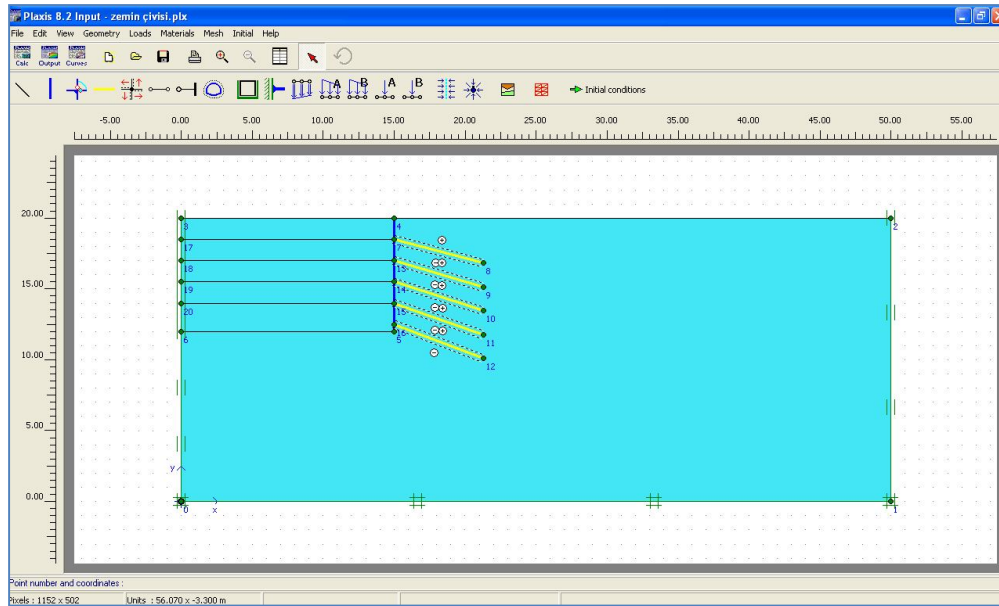
H=8 m'lik kazı		MC Modeli				HS Modeli			
Model No:	Yatay Aralık (m)	Max. Ux (m)	Max. Uy (m)	Max. V (kN/m)	Max. M (kNm/m)	Max. Ux (m)	Max. Uy (m)	Max. V (kN/m)	Max. M (kNm/m)
Model 1	1.60	13.85x10 ⁻³	4.79x10 ⁻³	153.08	128.62	27.76x10 ⁻³	6.79x10 ⁻³	184.77	173.40
Model 2	1.60	32.19x10 ⁻³	16.90x10 ⁻³	127.17	78.15	107.22x10 ⁻³	25.34x10 ⁻³	183.85	162.83
Model 3	3.80	3.25x10 ⁻³	1.06x10 ⁻³	252.48	192.61	8.97x10 ⁻³	82.53x10 ⁻³	174.87	110.22
Model 4	2.00	1.91x10 ⁻³	533.2x10 ⁻⁶	149.40	114.55	15.87x10 ⁻³	1.11x10 ⁻³	181.26	126.10
H=10 m'lik kazı		MC Modeli				HS Modeli			
Model 1	1.50	25.62x10 ⁻³	12.27x10 ⁻³	176.78	149.26	59.31x10 ⁻³	25.60x10 ⁻³	182.15	162.50
Model 2	1.50	50.87x10 ⁻³	26.63x10 ⁻³	163.26	98.32	79.31x10 ⁻³	38.59x10 ⁻³	179.73	222.13
Model 3	2.40	8.25x10 ⁻³	3.36x10 ⁻³	257.81	200.01	9.88x10 ⁻³	8.26x10 ⁻³	270.12	220.15
Model 4	2.00	2.88x10 ⁻³	913.2x10 ⁻⁶	182.50	132.04	25.41x10 ⁻³	1.26x10 ⁻³	171.78	138.91
H=12 m'lik kazı		MC Modeli				HS Modeli			
Model 1	1.60	30.97x10 ⁻³	17.90x10 ⁻³	234.21	141.38	32.30x10 ⁻³	17.78x10 ⁻³	239.14	167.54
Model 2	1.60	77.70x10 ⁻³	42.70x10 ⁻³	181.16	100.29	82.24x10 ⁻³	62.25x10 ⁻³	200.80	282.48
Model 3	3.50	2.60x10 ⁻³	3.40x10 ⁻³	301.73	186.23	15.41x10 ⁻³	3.49x10 ⁻³	238.38	140.01
Model 4	2.10	1.59x10 ⁻³	3.00x10 ⁻³	263.95	165.63	24.62x10 ⁻³	3.26x10 ⁻³	265.78	204.34
H=15 m'lik kazı		MC Modeli				HS Modeli			
Model 1	1.60	45.50x10 ⁻³	25.08x10 ⁻³	291.45	161.40	48.70x10 ⁻³	26.45x10 ⁻³	241.01	175.69
Model 2	1.50	168.33x10 ⁻³	93.91x10 ⁻³	149.51	137.33	168.14x10 ⁻³	92.07x10 ⁻³	220.45	332.63
Model 3	3.00	6.70x10 ⁻³	4.40x10 ⁻³	419.21	277.98	14.48x10 ⁻³	2.74x10 ⁻³	251.01	142.79
Model 4	2.10	11.40x10 ⁻³	4.18x10 ⁻³	112.19	46.57	20.78x10 ⁻³	5.40x10 ⁻³	251.16	151.46

7.2.2. Çalışma Verileri Kullanılarak Plaxis 2D Paket Programında Tekrarlanan Analizler

Demirkoç ve ark. tarafından yapılan çalışma verilerinden, Model-1 için zemin çivili iksalı destek sistemiyle 8 m lik kazı durumu Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılarak analiz edilmiştir.

7.2.2.1. İki Boyutlu Modelin Oluşturulması

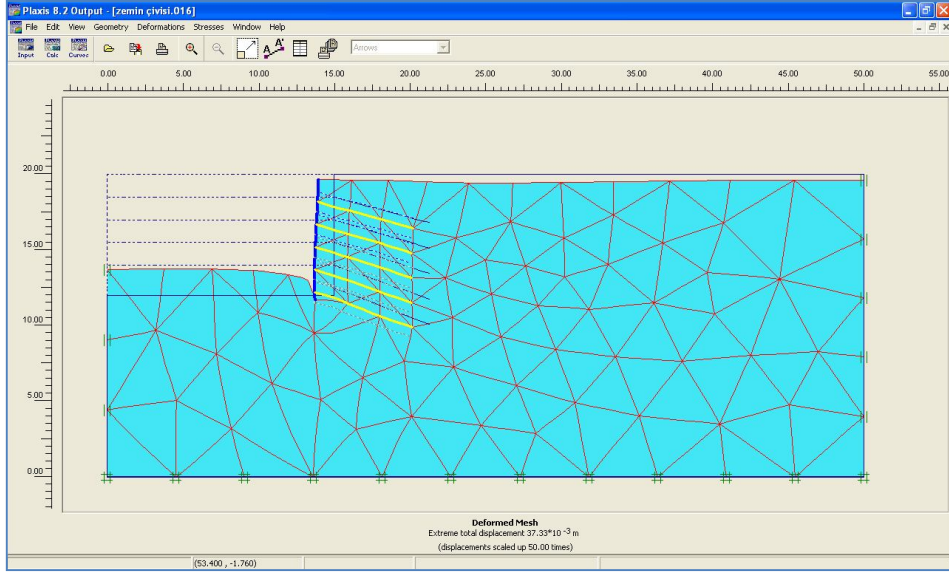
Yapılan bu analizde, 1.5 m düşey mesafe ile ve yatayla 15° lik açı ile yerleştirilmiş beş adet zemin çivisinden oluşan iksa sisteminin kullanılması ve 8 m derinliğinde kazı yapılması durumu göz önüne alınmıştır. Bu analizde Model-1 Mohr-Coulomb zemin modeli kullanılarak modellenmiştir.



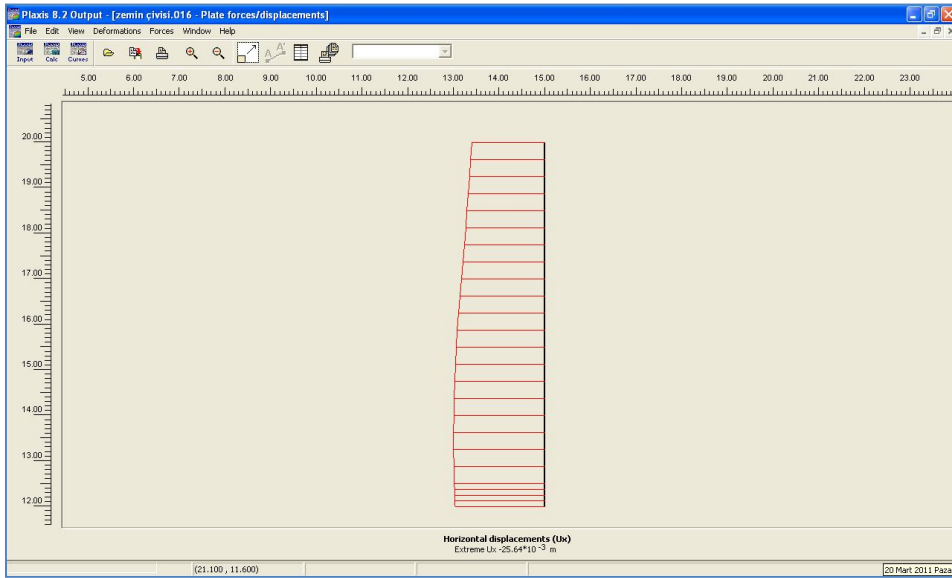
Şekil 7.10: Zemin çivili iksa sistemi kullanılması durumunda 8 m lik kazı modeli

7.2.2.2. Analiz Sonuçları

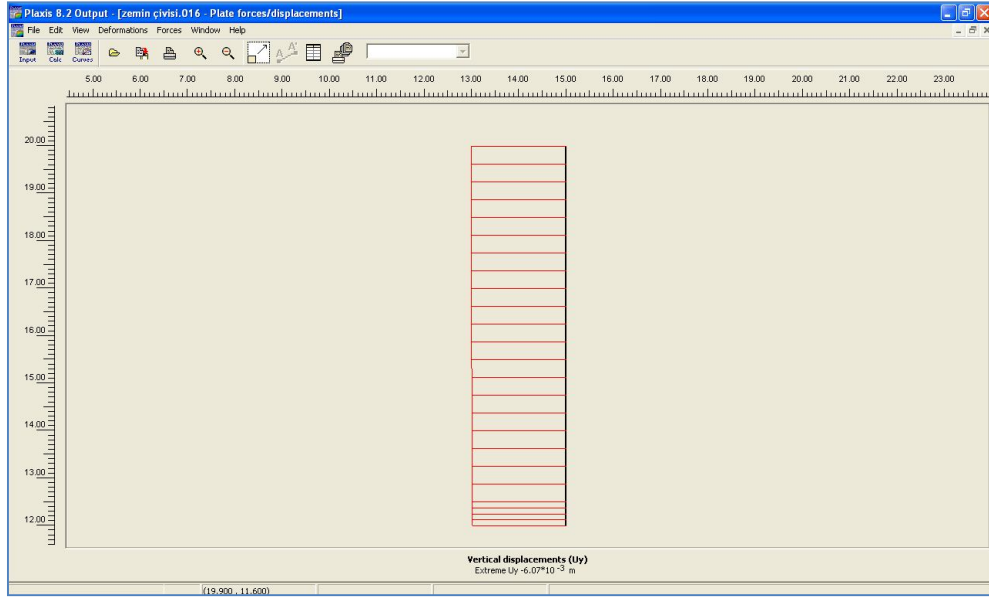
Şekil 7.11’ de analiz sonucunda elde edilen deforme olmuş zemin modeli verilmiştir. Bunun akabinde, iksa yapısında meydana gelen yanıl deformasyon, düşey deformasyon, kesme kuvveti ve eğilme momenti dağılımları verilmiştir.



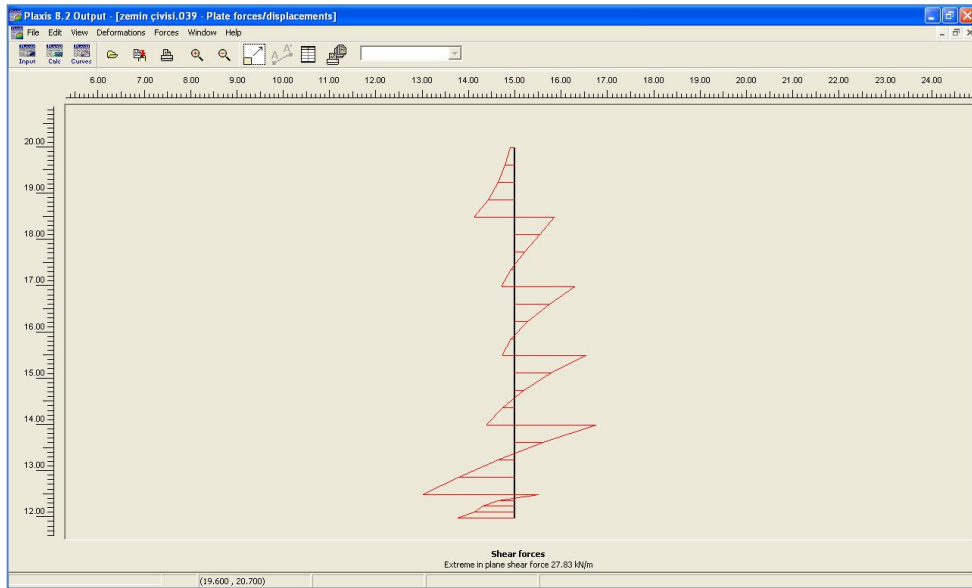
Şekil 7.11. Deforme olmuş zemin modeli



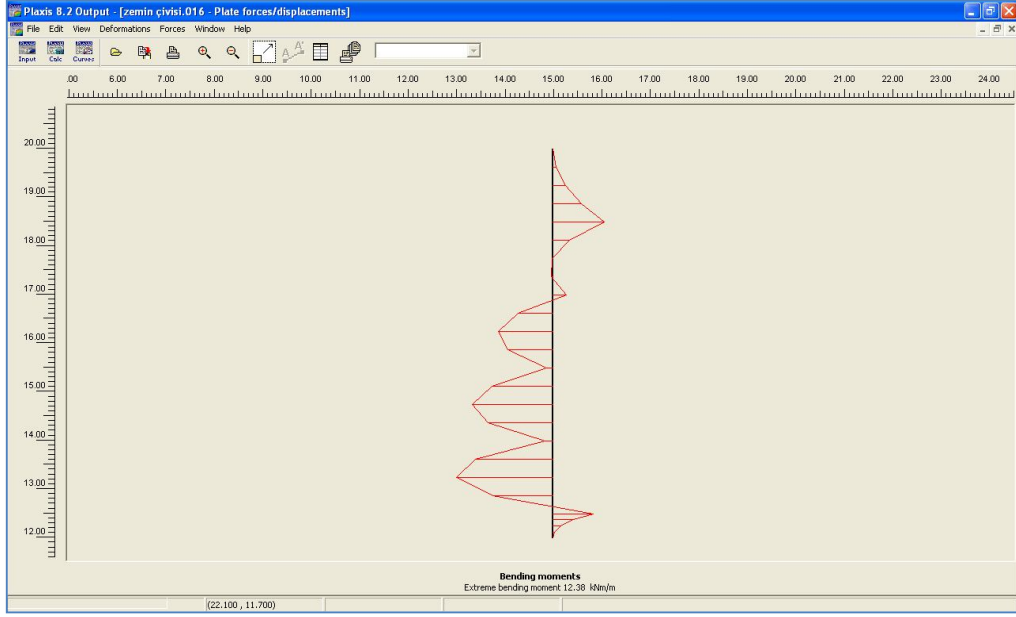
Şekil 7.12. İksa yapısında oluşan yanıl deformasyon dağılımı



Şekil 7.13. İksa yapısında oluşan düşey deplasman dağılımı



Şekil 7.14. İksa yapısında oluşan kesme kuvveti dağılımı



Şekil 7.15. İksa yapısında oluşan eğilme momenti dağılımı

Analiz sonuçları Çizelge 7.10’ da verilmiştir.

Çizelge 7.10. Zemin çivisi destekli iksa sistemi (8 m lik kazı derinliği ve 6.5 m zemin çivisi), Model-1 (Mohr-Coulomb) için analiz sonuçları

Maksimum yatay deplasman	Maksimum düşey deplasman	Maksimum Kesme Kuvveti	Maksimum Moment
Ux (mm)	Uy (mm)	kN/m	kNm/m
25.64	6.07	27.83	12.38

7.2.3. Orijinal Çalışma Sonuçları ile Bu Çalışma Baz Alınarak Yapılan Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

Demirkoç ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışma sonuçları ile tekrarlanan çalışma sonuçları incelendiğinde, her iki çalışmaya ait sonuçların yaklaşık olarak uyum gösterdiği görülmektedir. Çizelge 7.11’ de iki çalışmanın karşılaştırması yapılmıştır.

Çizelge 7.11. Demirkoç ve ark. Tarafından yapılan çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

	Demirkoç ve ark. tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Kullanılan Analiz Yazılımı	PLAXIS 2D	PLAXIS 2D
Analiz Yöntemleri	Mohr-Coulomb Hardening Soil	Mohr-Coulomb
Analizde Kullanılan Parametreler	Katı Kil: $\gamma_k=19 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=21 \text{ kN/m}^3$ $E=23000 \text{ kN/m}^2$ $c=10 \text{ kN/m}^2$ $\phi=30^\circ$ $\mu=0.45$ Orta Katı Kil: $\gamma_k=17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=19 \text{ kN/m}^3$ $E=6300 \text{ kN/m}^2$ $c=1 \text{ kN/m}^2$ $\phi=28^\circ$ $\mu=0.35$ Sıkı Kum: $\gamma_k=18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=21 \text{ kN/m}^3$ $E=90000 \text{ kN/m}^2$ $c=1 \text{ kN/m}^2$ $\phi=40^\circ$ $\mu=0.37$ Orta Sıkı Kum: $\gamma_k=14 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=39 \text{ kN/m}^3$ $E=63000 \text{ kN/m}^2$ $c=5 \text{ kN/m}^2$ $\phi=32^\circ$ $\mu=0.35$ Perde Duvar: $d=0.20 \text{ m}$ $E=30000000 \text{ kPa}$ $EA=6000000 \text{ kN/m}$ $EI=20000 \text{ kNm}^2/\text{m}$ $w=2.80 \text{ kN/m/m}$ (Model-1 ve 3) $w=3.00 \text{ kN/m/m}$ (Model-2 ve 4) $\mu=0.15$ Çivi: $d=0.10 \text{ m}$ $E=30000000 \text{ kPa}$ $EA=235500 \text{ kN/m}$	Katı Kil: Malzeme Tipi: Drenajlı $\gamma_k=19 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=19 \text{ kN/m}^3$ $E=23000 \text{ kN/m}^2$ $c=10 \text{ kN/m}^2$ $\phi=30^\circ$ $\mu=0.45$ Perde Duvar: Malzeme Tipi: Elastik $EA=6000000 \text{ kN/m}$ $EI=20000 \text{ kNm}^2/\text{m}$ $d=0.20 \text{ m}$ $w=2.80 \text{ kN/m/m}$ $\mu=0.15$ Boy: 5 m Çivi: Malzeme Tipi: Elastik $EA=235500 \text{ kN/m}$ Düşey Aralık: 1.5 m Yatayla olan açı: 15° Uzunluk: 6.5 m 5 adet

Çizelge 7.11. (Devam) Demirkoç ve ark. Tarafından yapılan çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışma sonuçlarının karşılaştırılması

	Demirkoç ve ark. tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Kazı Aşamaları	1. aşama: 1.5 m 2. aşama: 3.0 m 3. aşama: 4.5 m 4. aşama: 6.0 m 5. aşama: 8.0 m	1. aşama: 1.5 m 2. aşama: 3.0 m 3. aşama: 4.5 m 4. aşama: 6.0 m 5. aşama: 8.0 m
Yer altı Su Seviyesi	-	-
Analiz Aşamaları		Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu Birinci aşama: Perde duvarın oluşturulması İkinci aşama: 1.5 m kazı ve birinci sıradaki zemin çivisinin oluşturulması Üçüncü aşama: 3.0 m kazı ve ikinci sıra zemin çivisinin oluşturulması Dördüncü aşama: 4.5 m kazı ve üçüncü sıra zemin çivisinin oluşturulması Beşinci aşama: 6 m kazı ve dördüncü sıra zemin çivisinin oluşturulması Altıncı aşama: 8 m kazı ve beşinci sıra zemin çivisinin oluşturulması
Analiz Sonuçları (H=8m Mohr-Coulomb Model-1 Zemin çivisi)	Maksimum yatay deplasman U _x =26.85 mm Maksimum düşey deplasman U _y =10.14 mm Maksimum Kesme Kuvveti 21.27 kN/m Maksimum Moment 9.04 kNm/m	Maksimum yatay deplasman U _x =25.64 mm Maksimum düşey deplasman U _y =6.07 mm Maksimum Kesme Kuvveti 27.83 kN/m Maksimum Moment 12.38 kNm/m

7.3. Sonlu Elemanlar Yönteminin Şev Stabilitesi Problemlerinin Analizinde Kullanılması

7.3.1. Özet

Keskin ve Laman (2007), bu çalışmasında şev stabilite analizlerine Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Sonlu elemanlar tekniğiyle elde edilen güvenlik sayısı sonuçları ile literatürdeki limit denge yöntemlerinden elde edilen güvenlik sayısı sonuçları karşılaştırılmıştır.

7.3.2. Sonlu Elemanlar Analizi

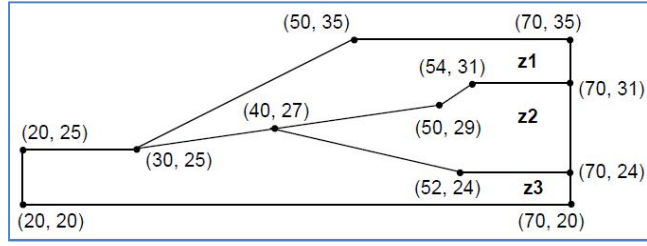
Keskin ve Laman tarafından yapılan incelemeler sonucunda, bu analiz için en uygun model 15 düğümlü üçgen eleman ve “Medium” sonlu eleman ağı olarak seçilmiştir. Analizler homojen tek tabakalı şev ve homojen olmayan üç farklı tabakalı şev olarak iki farklı model üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her iki modelde de elde edilen sonuçlar ile literatürdeki teorik yaklaşımlardan elde edilen sonuçlar arasında yüksek derecede uyum olduğu tespit edilmiştir.

Bu bölümde Keskin ve Laman (2007) tarafından yapılan çalışma verilerinden, homojen olmayan üç farklı zemin tabakasından oluşan model göz önüne alınarak Plaxis 2D paket programında analiz yaptırılmıştır.

7.3.2.1. Homojen Olmayan Üç Farklı Zemin Tabakalı Şev Modeli

a. Keskin ve Laman (2007) tarafından yapılan analize ait bilgiler

Şekil 7.16’ de analizde kullanılan model geometrisi ve Çizelge 7.12’ de malzeme özellikleri verilmiştir (Keskin ve Laman, 2007).



Şekil 7.16. Homojen olmayan üç farklı zemin tabakalı şev modeli (Keskin ve Laman, 2007)

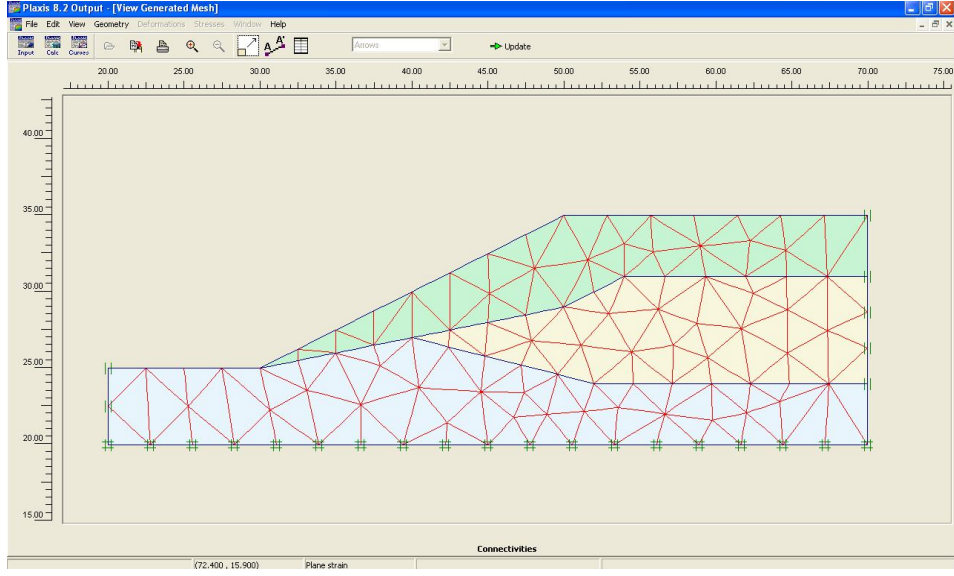
Çizelge 7.12. Malzeme özellikleri (Keskin ve Laman, 2007)

	c (kN/m ²)	ϕ (derece)	γ (kN/m ³)
Zemin 1 (z1)	0.0	38.0	19.5
Zemin 2 (z2)	5.3	23.0	19.5
Zemin 3 (z3)	7.2	20.0	19.5

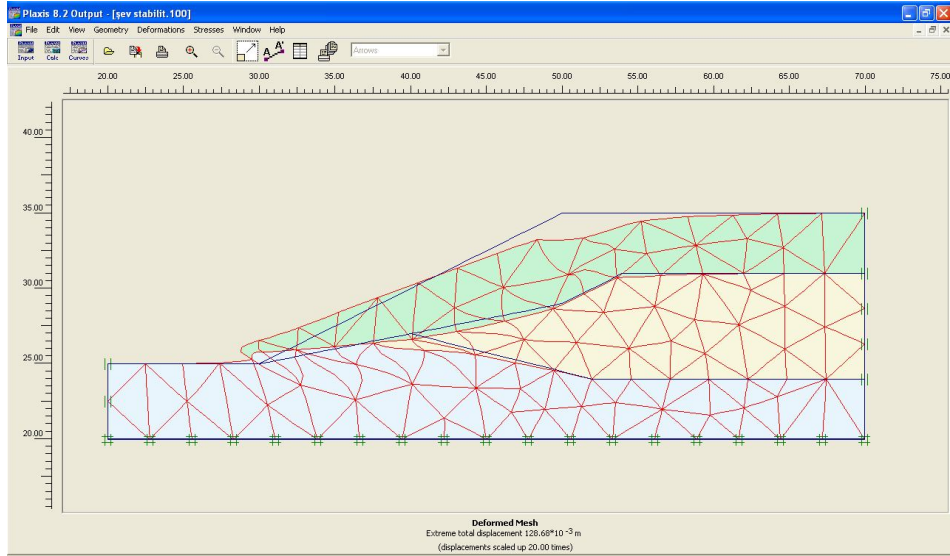
Keskin ve Laman (2007) bu modele ait stabilite güvenlik sayısını Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı ile 1.37 olarak tespit etmişlerdir.

b. Keskin ve Laman (2007) tarafından yapılan çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan analize ait bilgiler

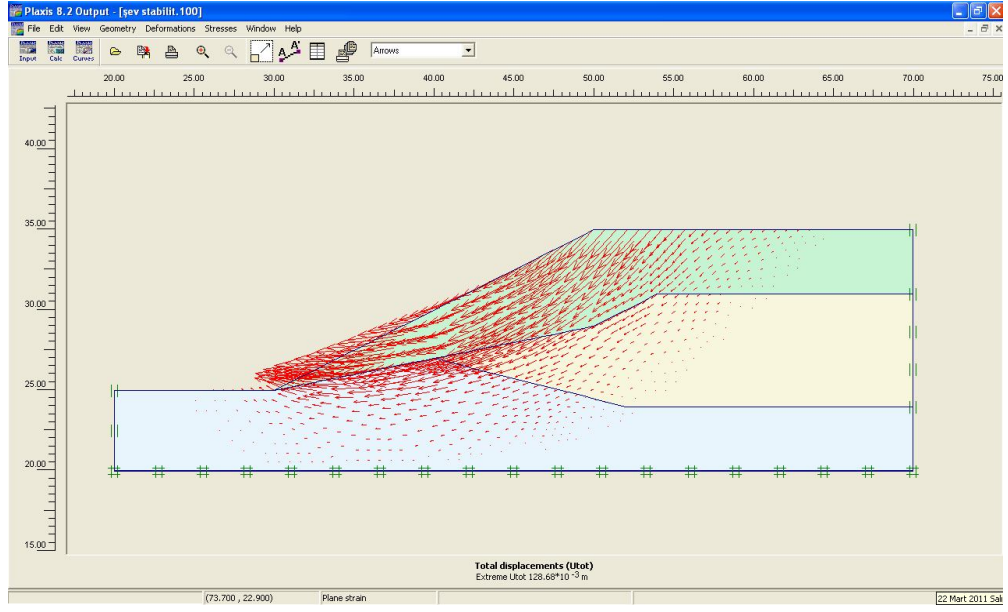
Analiz, Plaxis 2D paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz metodu olarak “phi/c reduction” mukavemet azaltma yöntemi kullanılmıştır. Aşağıda, analiz sonucunda elde edilen output çıktıları verilmiştir.



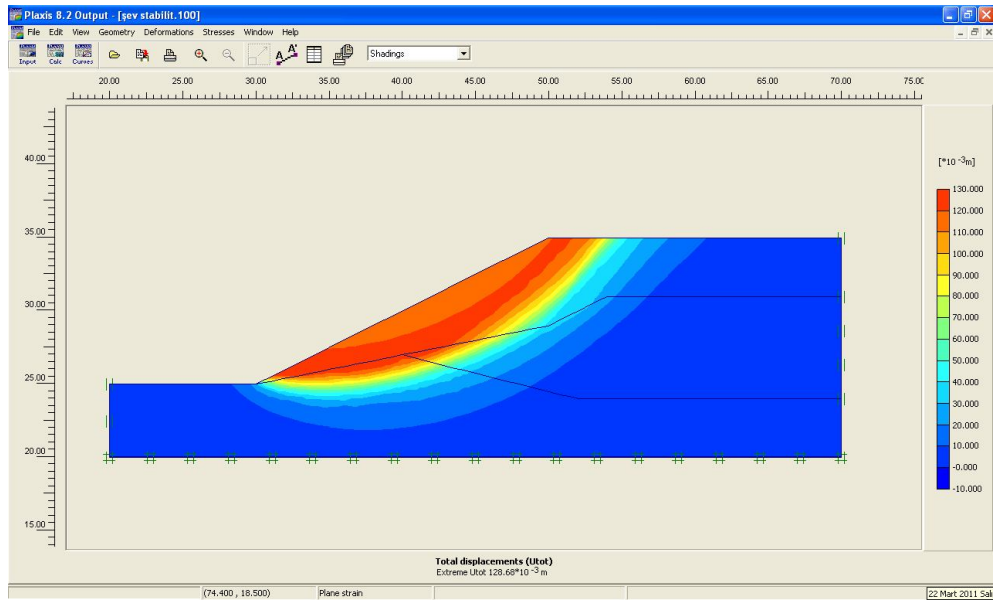
Şekil 7.17. Deformasyondan önceki sonlu eleman ağı



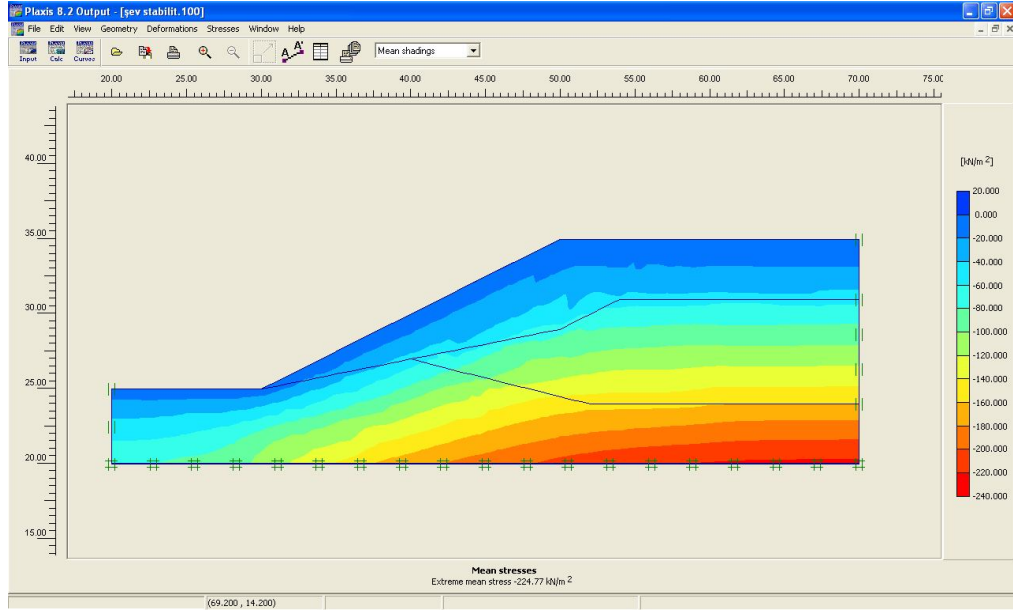
Şekil 7.18. Deformasyon sonrasında sonlu eleman ağı



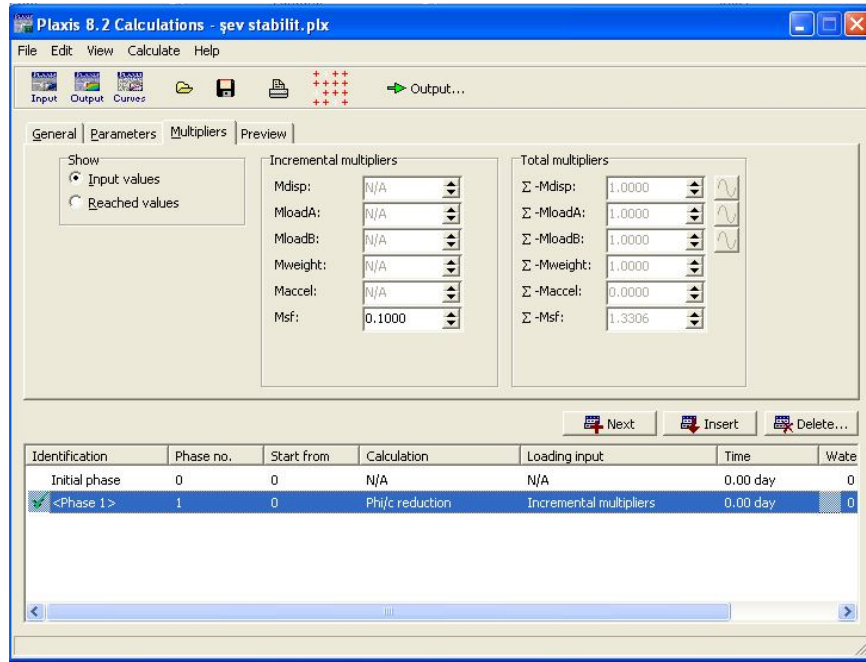
Şekil 7.19. Toplam deplasman vektörleri



Şekil 7.20. Toplam deplasman konturları



Şekil 7.21. Toplam gerilme konturları



Şekil 7.22. Plaxis 2D ile şev stabilite analizi neticesinde elde edilen güvenlik sayısı ($\Sigma Msf=1.3306$)

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi, Keskin ve Laman (2007) tarafından yapılan çalışma verileri kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda şev stabilite

güvenlik sayısı $\Sigma M_{sf}=1.3306$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer 1.00 den büyük olduğuna göre, şev dengededir.

7.3.3. Keskin ve Laman (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan analizlerin karşılaştırılması

Keskin ve Laman (2007) analiz sonucunda kaymaya karşı güvenlik kaatsayısını 1.37 olarak elde etmiştir. Bu çalışma baz alınarak gerçekleştirilen analiz sonucu, Keskin ve Laman (2007) tarafından yapılan çalışma sonucu ile uyum göstermektedir.

Çizelge 7.13’ de her iki çalışmanın karşılaştırması yapılmıştır.

Çizelge 7.13. Keskin ve Laman (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma baz alınarak gerçekleştirilen çalışmanın karşılaştırılması

	Keskin ve Laman (2007) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Kullanılan Analiz Yöntemleri	Janbu, Bishop, Spencer, Plaxis 2D	Plaxis 2D
Analiz Yöntemi	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Analizde Kullanılan Parametreler	Zemin-1: $\gamma=19.5 \text{ kN/m}^3$ $c=0 \text{ kN/m}^2$ $\phi=38^\circ$ $E=100000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$ Zemin-2: $\gamma=19.5 \text{ kN/m}^3$ $c=5.3 \text{ kN/m}^2$ $\phi=23^\circ$ $E=100000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$ Zemin-3: $\gamma=19.5 \text{ kN/m}^3$ $c=7.2 \text{ kN/m}^2$ $\phi=20^\circ$ $E=100000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$	Zemin-1: Drenajlı $\gamma_k=19.5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=19.5 \text{ kN/m}^3$ $c=0.001 \text{ kN/m}^2$ $\phi=38^\circ$ $E=100000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$ Zemin-2: Drenajlı $\gamma_k=19.5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=19.5 \text{ kN/m}^3$ $c=5.3 \text{ kN/m}^2$ $\phi=23^\circ$ $E=100000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$ Zemin-3: Drenajlı $\gamma_k=19.5 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=19.5 \text{ kN/m}^3$ $c=7.2 \text{ kN/m}^2$ $\phi=20^\circ$ $E=100000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$
Düğüm Sayısı	6 düğüm, 15 düğüm	15 düğüm
Sonlu Eleman Ağı Boyutu	Çok kaba (Very coarse) Kaba (Coarse) Orta (Medium) İnce (Fine) Çok İnce (Very Fine)	Orta (Medium)
Yer altı Su Seviyesi	-	-
Analiz edilen modeller	1. Referans şevi 2. Homojen tek tabakalı şev 3. Homojen olmayan 3 farklı tabakalı şev	Homojen olmayan 3 farklı tabakalı şev
Analiz Aşamaları		Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu Birinci aşama: Phi/c reduction mukavemet azaltma metodu
Analiz Sonuçları	Kaymaya karşı güvenlik faktörü: $\Sigma M_{sf}=1.37$	Kaymaya karşı güvenlik faktörü: $\Sigma M_{sf}=1.3306$

7.4. Statik ve Dinamik Düşey Yükler Altındaki Kazıklı Temellerin Davranışı

7.4.1. Özet

Turan (2006) tarafından yapılan bu çalışmada, kazıklı temellerin düşey statik yükler altındaki davranışı ampirik bağıntılar ve Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Turan yaptığı teorik analizler neticesinde, kumlu ve killi zeminlerde 1.00 m çaplı kazıkların grup taşıma kapasitelerinin 0.60 m ve 0.80 m çaplı kazıklarinkine oranla daha düşük olduğunu, fakat en düşük oturmayı verdiklerini tespit etmiştir.

7.4.2. Turan (2006) Tarafından Yapılan Ampirik ve Sonlu Elemanlar Analiz Sonuçları

Ampirik analizler neticesinde, oturma değeri kum zemin için yaklaşık 1 mm, kil zemin için ise yaklaşık 12 mm olarak hesaplanmıştır. Plaxis paket programında yapılan analizler neticesinde ise, oturma değeri kum zeminler için 118.13 mm ve kil zeminler için 117.91 mm olarak elde edilmiştir. Ampirik sonuçlar ile sonlu eleman sonuçları arasındaki bu fark Turan (2006)' a göre şu şekilde açıklanmaktadır. Plaxis 2D paket programında akslar bir metrelik şeritler olarak çözülmektedir. Yani radye temel üzerine gelen yük sadece bir doğrultuda taşınıyormuş gibi analiz yapılmaktadır. Bu durumda radye temelin rijitliği azalmaktadır. Bu yüzden Plaxis 2D yazılımından elde edilen oturma değerleri ile ampirik bağıntılarla hesaplanan oturma değerleri arasında bu fark meydana gelmektedir.

Aşağıdaki çizelgede Turan (2006) tarafından yapılan çalışmada kullanılan zemin, kazık ve radye temel parametreleri verilmiştir.

Çizelge 7.14. Plaxis yazılımında kullanılan zemin parametreleri (Turan, 2006)

Malzeme	Dolgu	Kumlu Zemin	Killi Zemin
Malzeme Modeli	MC	MC	MC
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
γ_{unsat} (kN/m ³)	16	16	16,5
γ_{sat} (kN/m ³)	18,5	17	18,5
Permeabilite, k_x, k_y (m/gün)	0,1	1	0,01
E_{ref} (kN/m ²)	1000	20000	15000
ν	0,3	0,3	0,3
c_{ref} (kN/m ²)	3	14,715	63,765
ϕ (°)	5	15	5

Çizelge 7.15. Plaxis yazılımında kullanılan yapısal eleman parametreleri (Turan, 2006)

Malzeme	Kazık (0,60 m)	Kazık (0,80 m)	Kazık (1,00 m)	Radye (0,80 m)
Malzeme Modeli	Elastik	Elastik	Elastik	Elastik
EA (kN/m)	$1,08 \times 10^7$	$1,92 \times 10^7$	$3,00 \times 10^7$	$6,48 \times 10^8$
EI (kN/m ² /m)	$3,24 \times 10^5$	$1,02 \times 10^6$	$2,50 \times 10^6$	$3,47 \times 10^7$
d (m)	0,60	0,80	1,00	-
w (kN/m/m)	4,80-kum 3,90-kil	6,40-kum 5,20-kil	8,00-kum 6,50-kil	25
ν	0,2	0,2	0,2	0,2

7.4.3. Turan (2006) tarafından yapılan çalışma verilerinin baz alınarak Plaxis 2D yazılımı ile tekrarlanan analiz sonuçları

Turan (2006) tarafından yapılan çalışmada kullanılan parametrelere bağlı kalınarak, Plaxis 2D yazılımında kum zemin üzerine inşaa edilen kazıksız durumda radye temel modeli ve kazık inşaa durumu için 1 m çaplı kazık elemanların grup halinde ve tekil halde kullanılması durumları analiz edilmiştir. Radye temel parametreleri de Turan (2006) tarafından verildiği gibi kullanılmıştır. Grup kazık analizinde, kazıklar arası mesafe 2.5 m ve kazık boyu 15 m olarak alınmıştır. Tekil kazık analizinde ise yine 1 m çapa ve 15 m boya sahip kazık modellenerek yükleme gerçekleştirilmiştir.

Kum zemin üzerine oturtulmuş radye temelin taşıyabileceği nihai yük değeri aşağıda hesaplanmıştır.

$$q_u = c * N_c * F_{cs} * F_{cd} * F_{ci} + q * N_q * F_{qs} * F_{qd} * F_{qi} + \frac{1}{2} * \gamma * B * N_\gamma * F_{\gamma s} * F_{\gamma d} * F_{\gamma i}$$

Vesic' e göre; $\phi = 15^\circ$ için; $N_c = 10.98$, $N_\gamma = 2.65$, $N_q = 3.94$

Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımında 1 m genişlik için analiz yapıldığından $B=1$ m olarak alınacaktır. Radye temel zemin yüzeyinde modellendiğinden $D_f=0$ olarak alınacaktır. Zemin yüzeyi eğimsiz olduğundan $\beta=0^\circ$ olarak alınmıştır.

$$F_{cs} = 1 + \frac{B}{L} * \left(\frac{N_q}{N_c} \right) = 1 + \frac{1}{27.5} * \left(\frac{3.94}{10.98} \right) = 1.013$$

$$F_{cd} = 1 + 0.4 * \frac{D_f}{B} = 1 + 0.4 * \frac{0}{1} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\beta}{90} \right)^2 = 1$$

$$F_{ys} = 1 - 0.4 * \frac{B}{L} = 1 - 0.4 * \frac{1}{27.5} = 0.985$$

$$F_{yd} = 1$$

$$F_{yi} = \left(1 - \frac{\beta}{\phi} \right)^2 = 1$$

$$q_u = 14.715 * 10.98 * 1.013 * 1 * 1 + 0 + \frac{1}{2} * (17 - 9.81) * 1 * 2.65 * 0.985 * 1 * 1$$

$$q_u = 173.055 \text{ kN/m}^2 \text{ (Radye temel tarafından taşınabilecek nihai gerilme değeri)}$$

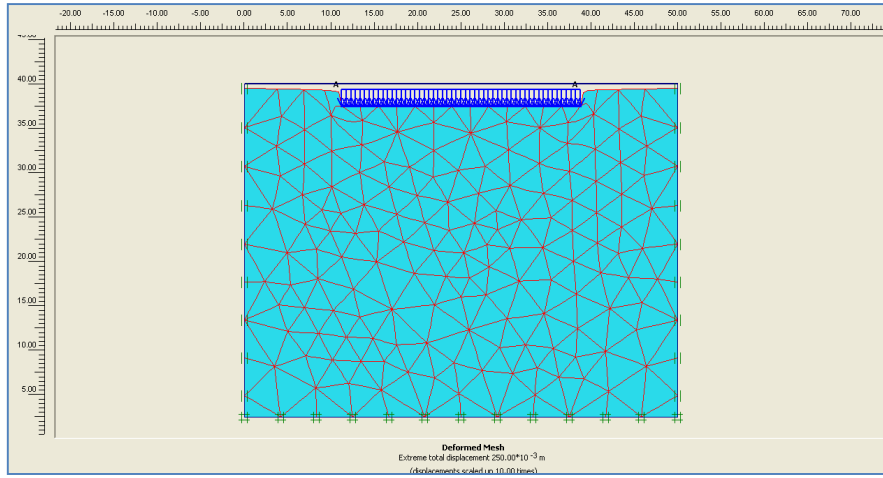
Kum zemin üzerine oturtulmuş radye temelin nihai taşıma kapasitesi değerinde yüklenmesi neticesinde oluşacak maksimum oturma değeri 250 mm olarak elde edilmiştir. Bu analiz Turan (2006) tarafından gerçekleştirilmemiştir.

Grup kazıklar üzerine oturtulmuş radye temele etki eden yayılı nihai yük değeri, analizde kullanılan model için 93.61 kN/m olarak tanımlanarak analiz yapılmıştır (Turan (2006)' ın çalışmasında kum zeminlerde müsaade edilebilir grup kazık taşıma kapasitesi 23.402 kN/m, güvenlik sayısı ise 4 olarak verilmiştir.). Yapılan analiz neticesinde kum zeminde 1 m çaplı kazık elemanlardan oluşan grup kazık sisteminin maksimum oturması 114.57 mm olarak elde edilmiştir. Kum zemine tatbik edilmiş kazık grubunda en kritik kazığın maksimum eğilme momenti -531.65 kNm/m, maksimum eksenel normal kuvveti -521.02 kN/m, maksimum kesme kuvveti ise -195.29 kN/m olarak tespit edilmiştir. Kazık grubunun analizi neticesinde elde edilen sonuçlar, Turan (2006) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile yaklaşık olarak uyum göstermektedir.

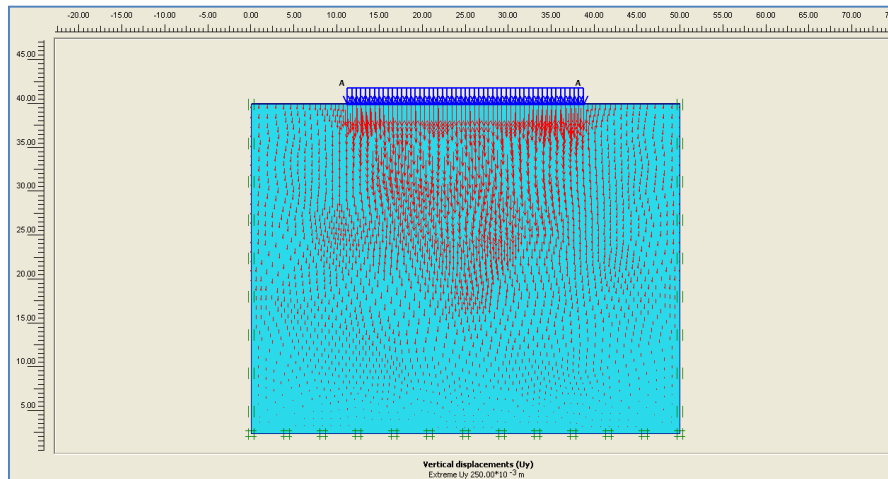
Aynı zamanda kum zemine tatbik edilmiş olan tekil kazığın 1176.92 kN nihai yük değerinde (Turan (2006) çalışmasında 1 m çapındaki tekil kazığın kum zemine tatbik edilmesi durumunda müsaade edilebilecek taşıma kapasitesini

294.23 kN ve güvenlik sayısını da 4 olarak vermiştir.) yüklenmesi durumu da analiz edilmiş, tekil kazığın maksimum oturma değeri 376.42 mm olarak hesaplanmıştır. Kum zemine tatbik edilmiş tekil kazığın maksimum eğilme momenti -34.19 kNm/m, maksimum eksenel normal kuvveti -1180 kN/m, maksimum kesme kuvveti ise -24.74 kN/m olarak tespit edilmiştir. Turan (2006)'ın çalışmasında tekil kazık yükleme analizi yapılmamıştır.

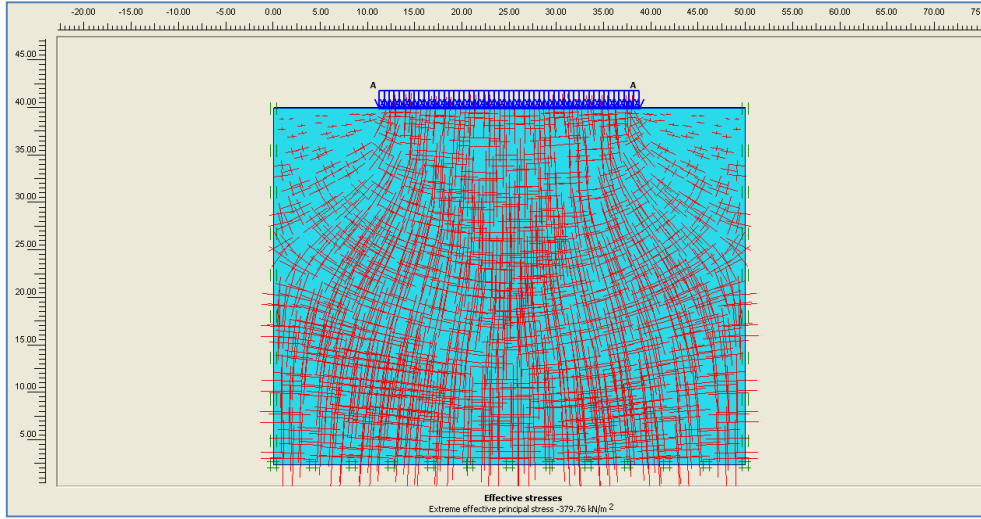
Aşağıda analiz sonuçları verilmiştir.



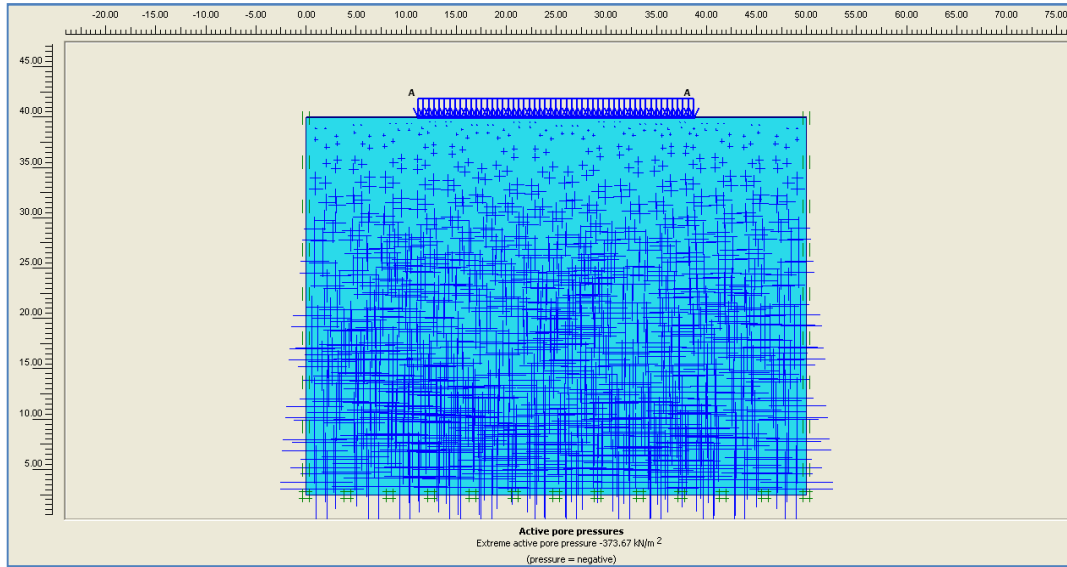
Şekil 7.23. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda deforme olmuş ağ



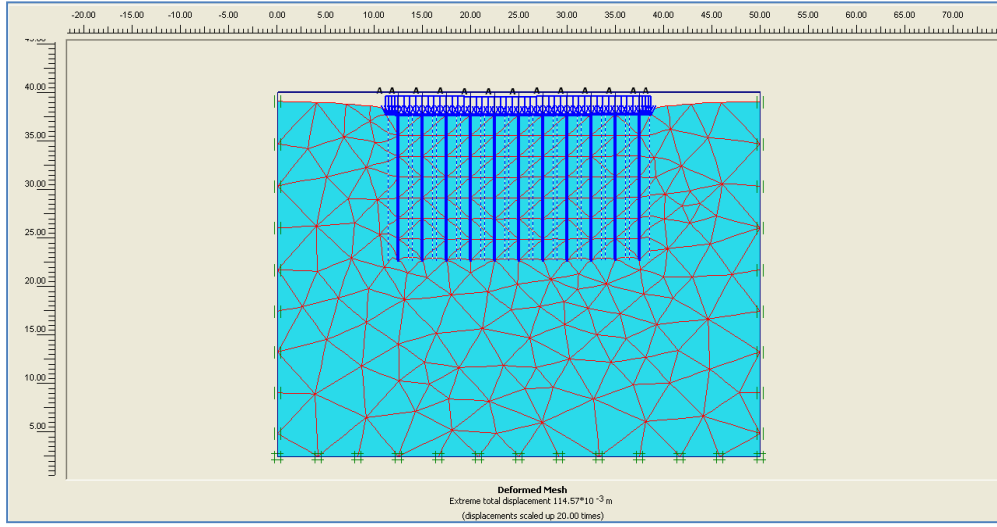
Şekil 7.24. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda oluşan düşey yer değiştirme



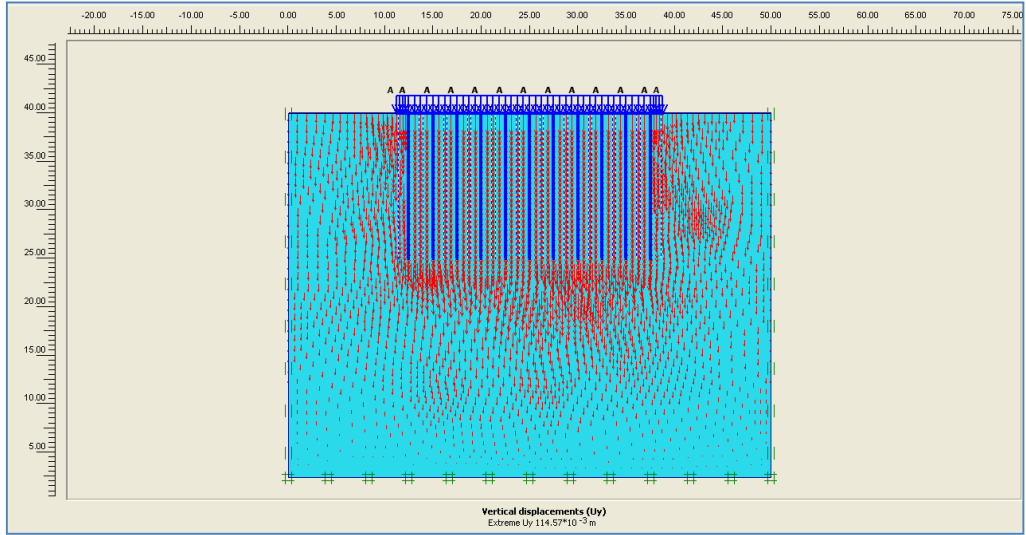
Şekil 7.25. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda oluşan efektif gerilmeler



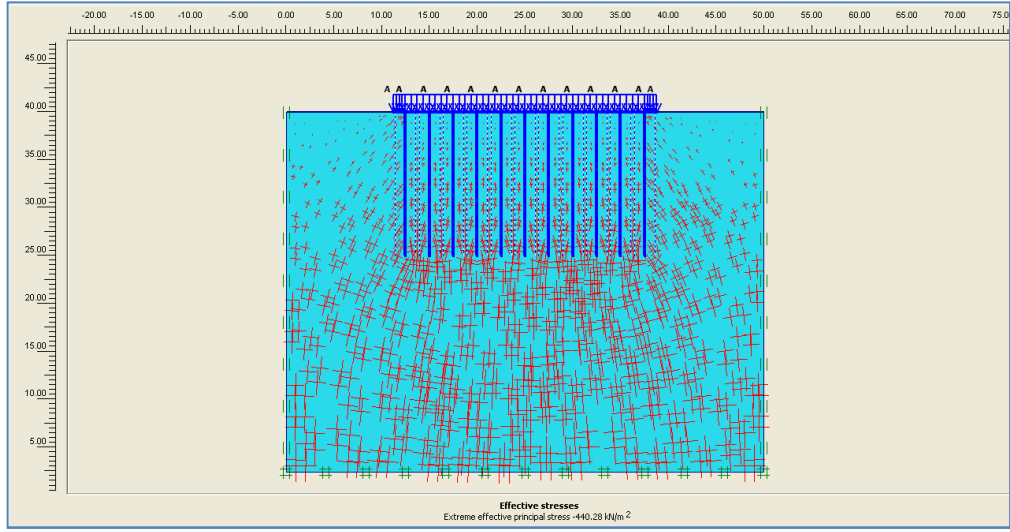
Şekil 7.26. Kumlu zeminde radye temel üzerine nihai yükün uygulanması sonucunda oluşan aktif boşluk suyu basıncı



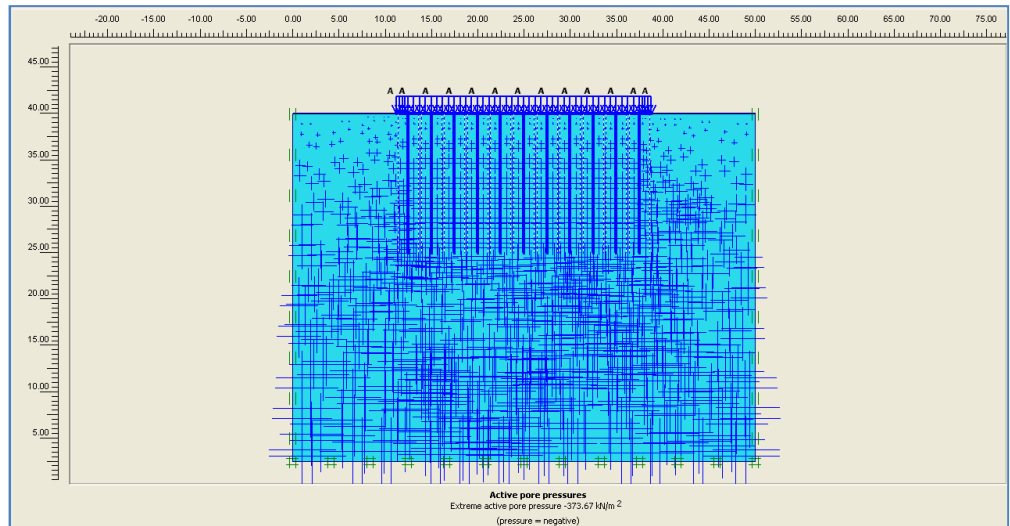
Şekil 7.27. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin deforme olmuş ağı



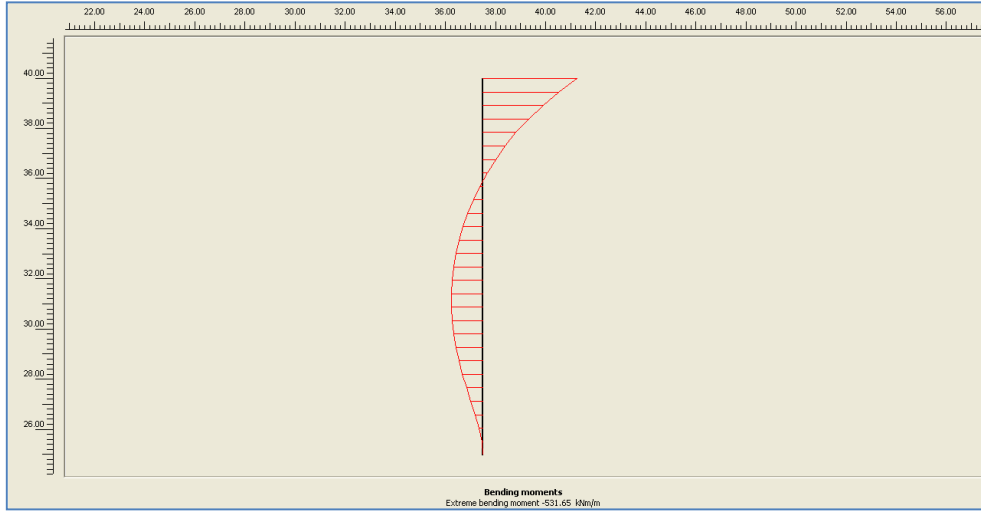
Şekil 7.28. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin düşey yer değiştirmesi



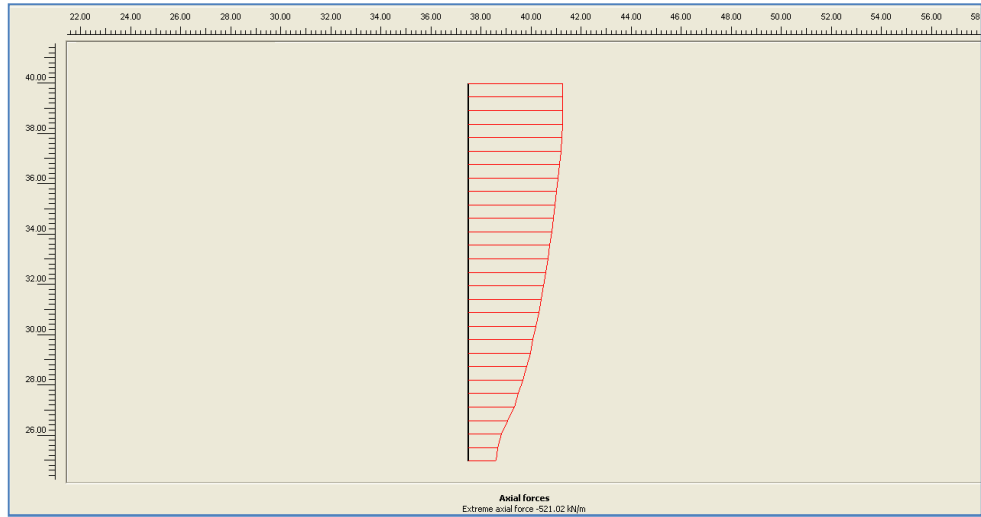
Şekil 7.29. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin efektif gerilmeleri



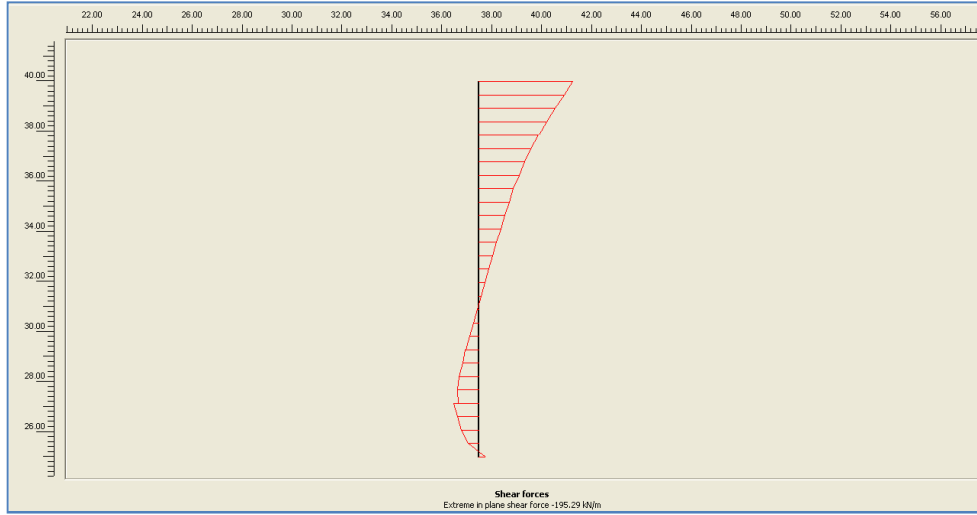
Şekil 7.30. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin aktif boşluk suyu basıncı



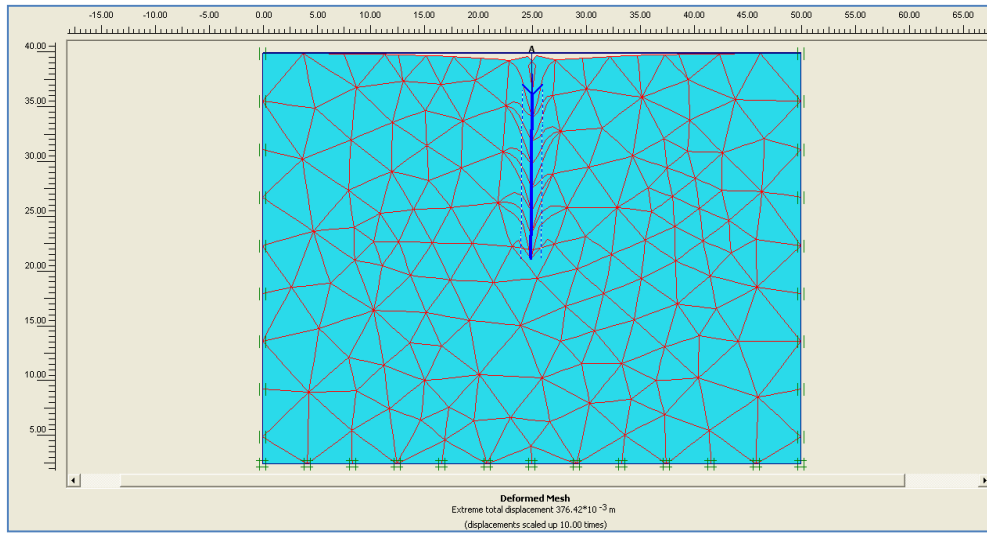
Şekil 7.31. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin en kritik kazığının eğilme momenti



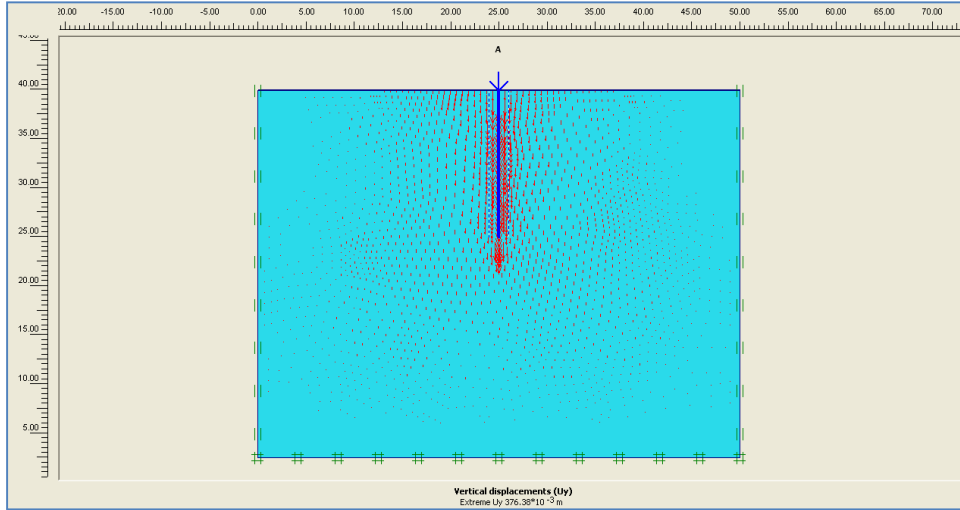
Şekil 7.32. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin en kritik kazığının normal kuvveti



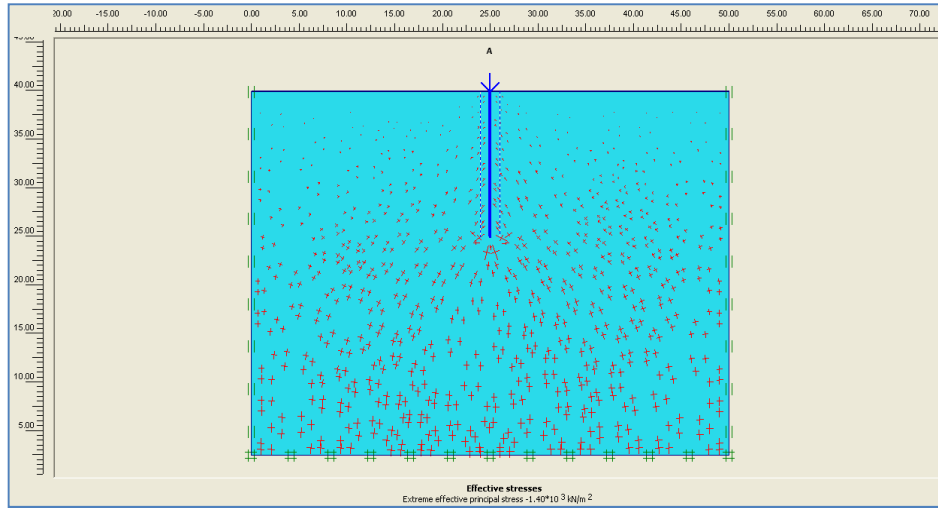
Şekil 7.33. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı grup kazık sisteminin en kritik kazığının kesme kuvveti



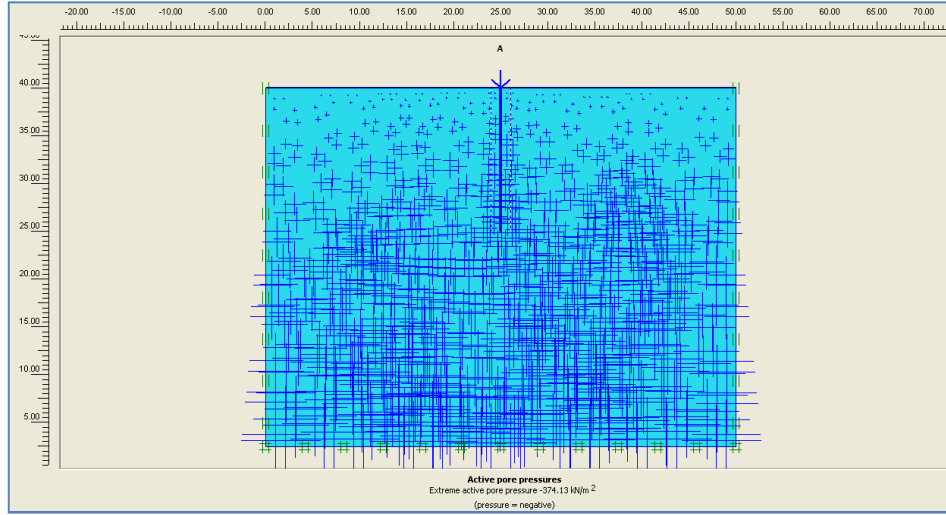
Şekil 7.34. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın yükleme neticesinde deforme olmuş ağı



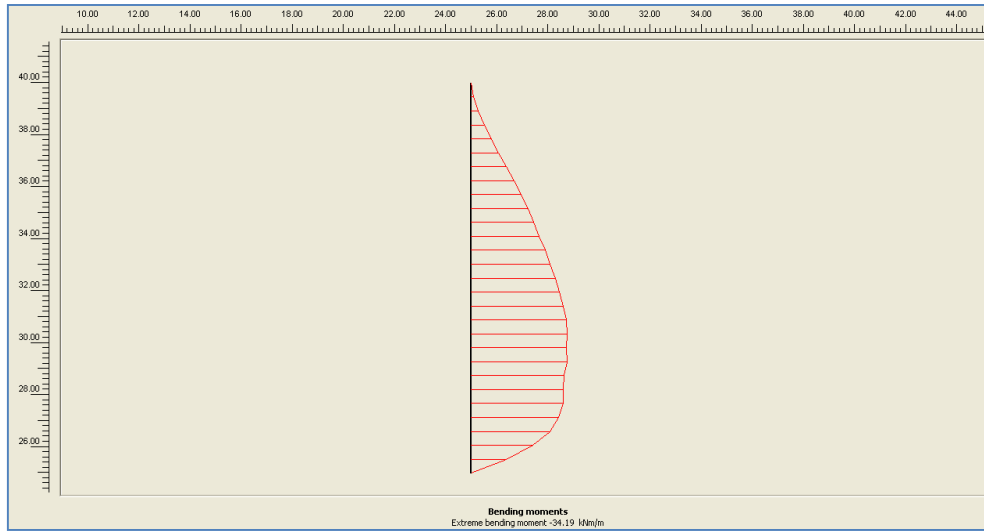
Şekil 7.35. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın düşey yer değiştirmesi



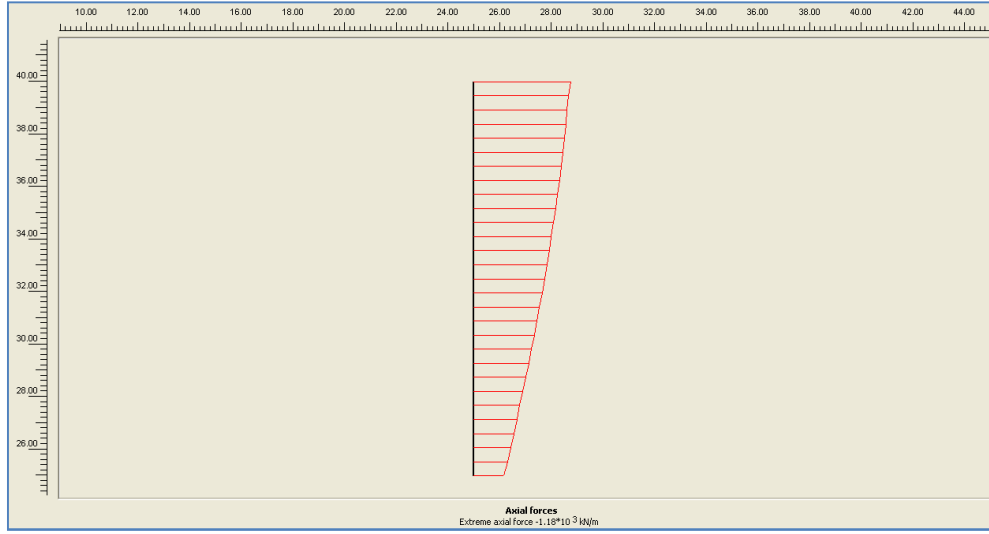
Şekil 7.36. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın efektif gerilmeleri



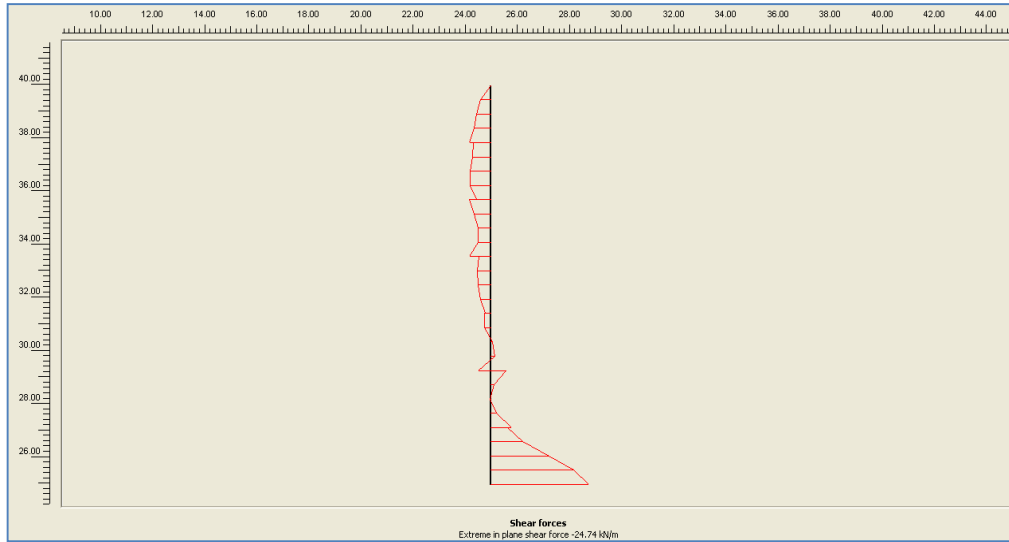
Şekil 7.37. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın aktif boşluk suyu basıncı



Şekil 7.38. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın eğilme momenti



Şekil 7.39. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın normal kuvveti



Şekil 7.40. Kumlu zeminde 1.00 m çaplı tekil kazığın kesme kuvveti

7.4.4. Turan (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

Grup kazık analizi neticesinde elde edilen sonuçlar, Turan (2006) tarafından yapılan çalışma sonuçları ile yaklaşık olarak uyum göstermektedir. Kazık

elemanların kullanılmadığı durumda oluşacak deplasmanın analizi ve tekil kazık kullanıldığı durumdaki analiz Turan (2006) tarafından gerçekleştirilmemiştir.

Çizelge 7.16. Turan (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Turan (2006) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Kullanılan Analiz Yöntemleri	Plaxis 2D	Plaxis 2D
Analizde Kullanılan Parametreler	Dolgu Zemin: Mohr-Coulomb, Drenajlı $\gamma_k=16 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d=18.5 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y=0.1 \text{ m/gün}$ $c=3 \text{ kN/m}^2$, $\phi=5^\circ$ $E=1000 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.3$ Kumlu Zemin: Mohr-Coulomb, Drenajlı $\gamma_k=16 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d=17 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y=1 \text{ m/gün}$ $c=14.715 \text{ kN/m}^2$, $\phi=15^\circ$ $E=20000 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.3$ Killi Zemin: Mohr-Coulomb, Drenajlı $\gamma_k=16.5 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d=18.5 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y=0.01 \text{ m/gün}$ $c=63.765 \text{ kN/m}^2$, $\phi=5^\circ$ $E=15000 \text{ kN/m}^2$, $\nu=0.3$ Kazık (1.00 m) Elastik $EA=3.00E+7 \text{ kN/m}$ $EI=2.50E+6 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ $d=1.00 \text{ m}$ $w=8.00\text{kN/m/m}$ (Kum) $w=6.50\text{kN/m/m}$ (Kil) $\nu=0.2$ Radye Temel (0.80 m) Elastik $EA=6.48E+8 \text{ kN/m}$ $EI=3.47E+7 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ $w=25\text{kN/m/m}$ $\nu=0.2$	Dolgu Zemin: Mohr-Coulomb Drenajlı $\gamma_k=16 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=18.5 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y=0.1 \text{ m/gün}$ $c=3 \text{ kN/m}^2$ $\phi=5^\circ$ $E=1000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$ Kumlu Zemin: Mohr-Coulomb Drenajlı $\gamma_k=16 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d=17 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y=1 \text{ m/gün}$ $c=14.715 \text{ kN/m}^2$ $\phi=15^\circ$ $E=20000 \text{ kN/m}^2$ $\nu=0.3$ Kazık (1.00 m) Elastik $EA=3.00E+7 \text{ kN/m}$ $EI=2.50E+6 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ $d=1.00 \text{ m}$ $w=8.00\text{kN/m/m}$ (Kum) $\nu=0.2$ Radye Temel (0.80 m) Elastik $EA=6.48E+8 \text{ kN/m}$ $EI=3.47E+7 \text{ kN/m}^2/\text{m}$ $w=25\text{kN/m/m}$ $\nu=0.2$

Çizelge 7.16. (Devam) Turan (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Turan (2006) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Sonlu Eleman Ağı Boyutu		Orta (Medium)
Yer altı Su Seviyesi	Zemin yüzeyinde (0 m)	Zemin yüzeyinde (0 m)
Analiz edilen modeller	Kumlu zemin Kazıklar: D=0.6 m (Ara mesafe: 1.5m, Boy: 15m) D=0.8 m (Ara mesafe: 2 m, Boy: 15m) D=1.0 m (Ara mesafe: 2.5 m, Boy: 15m) Killi zemin Kazıklar: D=0.6 m (Ara mesafe: 1.5m, Boy: 15m) D=0.8 m (Ara mesafe: 2 m, Boy: 15m) D=1.0 m (Ara mesafe: 2.5 m, Boy: 15m)	Kazıksız Radye Temel Modeli Kumlu zemin Radye temel uzunluğu: 27.5 m Yükleme: 173.055 kN/ m² Kazık Grubu Modeli Kumlu zemin Kazık çapları: 1 m Kazıklar arası mesafe: 2.5 m Kazık boyları: 15 m Yükleme: 93.61 kN/m Tekil Kazık Modeli Kumlu zemin Kazık çapı: 1 m Kazık boyu: 15 m Yükleme: 1176.92 kN
Analiz Aşamaları		Kazıksız Radye Temel Modeli Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu Birinci aşama: Radye temelin oluşturulması İkinci aşama: 173.055 kN/ m² değerinde yüklemenin gerçekleştirilmesi Kazık Grubu Modeli Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu Birinci aşama: Kazıklar ve radye temelin oluşturulması İkinci aşama: 93.61 kN/m değerinde yüklemenin gerçekleştirilmesi Tekil Kazık Modeli Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu Birinci aşama: Tekil kazığın oluşturulması İkinci aşama: 1176.92 kN değerinde yüklemenin gerçekleştirilmesi

Çizelge 7.16. (Devam) Turan (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Turan (2006) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Analiz Sonuçları	Kazık Grubu Modeli Maksimum oturma miktarı: Kum zeminler için 118.13 mm Kil zeminler için 117.91 mm	Kazıksız Radye Temel Modeli (Kum zemin için) Maksimum oturma miktarı: 250.00 mm Kazık Grubu Modeli (Kum zemin için) Maksimum oturma miktarı: 114.57 mm Maksimum eğilme momenti: -531.65 kNm/m Maksimum eksenel normal kuvvet -521.02 kN/m Maksimum kesme kuvveti -195.29 kN/m Tekil Kazık Modeli (Kum zemin için) Maksimum oturma miktarı: 376.42 mm Maksimum eğilme momenti: -34.19 kNm/m Maksimum eksenel normal kuvvet -1180 kN/m Maksimum kesme kuvveti -24.74 kN/m

7.5. Taş Kolon ve Geopier Uygulaması ile Zemin İyileştirmesi

7.5.1. Özet

Demir (2007) bu çalışmasında, yumuşak killi zeminler üzerine tatbik edilecek kum dolgu altına taş kolon ve geopier tatbiki neticesinde oturmaların hangi seviyede olacağını ve uygulamanın taşıma gücüne olan etkisini incelemiştir. Çalışmada Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Demir (2007) çalışmasında, iyileştirme yapılmadan dolgu yapılması durumunu, taş kolon iyileştirmesi yapılarak dolgu uygulanması durumunu ve geopier iyileştirmesi yapıldıktan sonra dolgu uygulanması durumunu ayrı ayrı analiz etmiştir. Taş kolon ve geopier aralıkları 200 cm, çapları ise 80 cm, 90 cm ve 100 cm alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

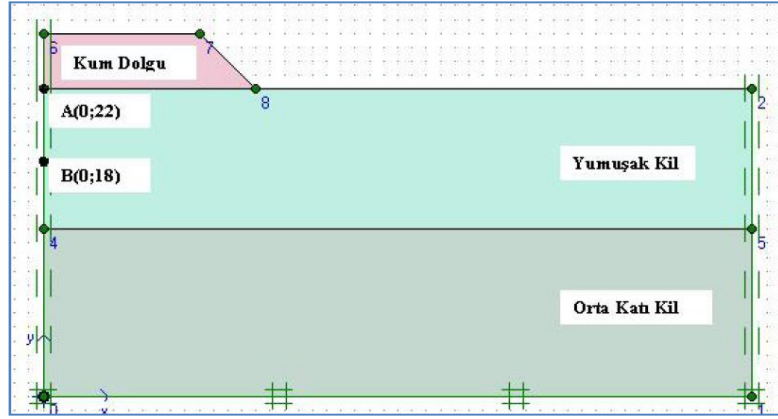
7.5.2. Demir (2007) Tarafından Gerçekleştirilen Sonlu Elemanlar Analizleri

Demir (2007)' in analizlerinde kullandığı modele ait parametreler Çizelge 7.17' de verilmiştir.

Çizelge 7.17. Analizlerde kullanılan modellere ait parametreler (Demir, 2007)

Parametreler	Yumuşak Kil Zemin	Orta Katı Kil Zemin	Kum Dolgu	Taş Kolon	Geopier Kolon
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Lineer Elastik	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
Drenaj Durumu	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlığı, γ_k (kN/m ³)	16	17	16	21	21
Suya Doygun Birim Hacim Ağırlığı, γ_d (kN/m ³)	19	20	20	23	23
Yatay Permeabilite, k_x (m/gün)	0,0001	0,0001	10	100	100
Düşey Permeabilite, k_y (m/gün)	0,0001	0,0001	10	100	100
Elastisite Modülü, E (kN/m ²)	3500	10000	20000	75000	100000
Kohezyon, c (kN/m ²)	2	10	1	0.5	4
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	24	28	38	40	47
Poisson Oranı	0.33	0.33	0.25	0.25	0.25
Drenajsız Durumda Elastisite Modülü, E_u (kN/m ²)	4000	11280	-	-	-
Drenajsız Kesme Dayanımı, s_u (kN/m ²)	30	60	-	-	-
Drenajsız Durumda Poisson Oranı	0.495	0.495	-	-	-
Genleşme Açısı, ψ (°)	-	-	-	6	12

Demir (2007) ilk olarak, iyileştirme yapılmamış killi zemin üzerine tatbik edilen kum dolgu durumunu modellemiştir. İlk aşamada kum dolgunun kil zemin üzerine tatbik edilmesi modellenmiş, ikinci aşamada ise zemin modelinin iki boyutlu konsolidasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda iyileştirme yapılmamış model ve bu modele ait analiz sonuçları gösterilmiştir.

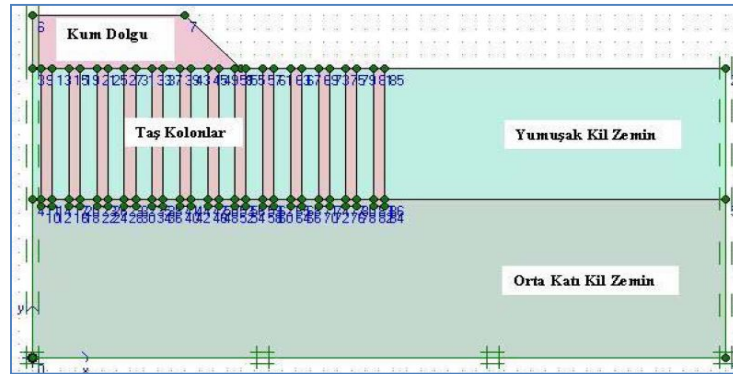


Şekil 7.41. 4 m lik kum dolgunun kil tabakaları üzerine oturtulması (Demir, 2007)

Çizelge 7.18. İyileştirilmemiş modele ait ani ve konsolidasyon oturma miktarları (Demir, 2007)

Ani Oturma (cm)	10.8
Konsolidasyon Oturması (cm)	10.5
Toplam Oturma (cm)	21.3

Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen ikinci analizde ise, model farklı çapta taş kolonlar ile iyileştirilmiş olarak analiz edilmiştir. Yine ilk aşamada taş kolonlar ve dolgu tatbik edilmiş, ikinci aşamada ise konsolidasyon analizi yapılmıştır. Aşağıda taş kolonlar ile iyileştirilmiş zemin modeli ve analiz sonuçları verilmiştir.

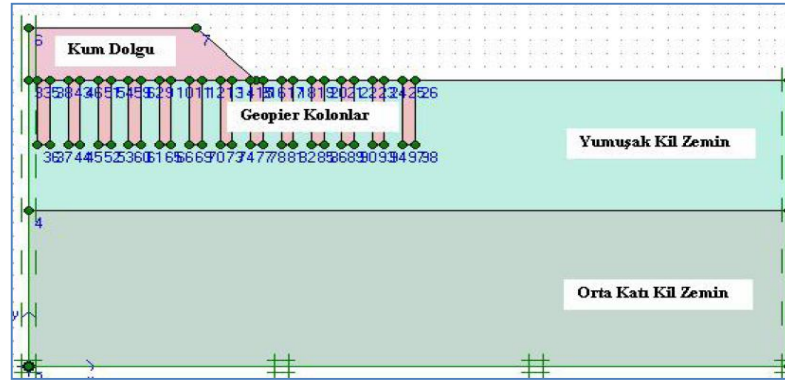


Şekil 7.42. 80 cm çapındaki taş kolonlar ile iyileştirilmiş temel zemini (Demir, 2007)

Çizelge 7.19. Farklı çaplarda taş kolonlar ile iyileştirilmiş zemin için dolgu merkezi altında ani ve konsolidasyon oturma miktarları (Demir, 2007)

	$\phi 80$	$\phi 90$	$\phi 100$
Ani Oturma (cm)	5.7	5.5	5.4
Konsolidasyon Oturması (cm)	3.4	3.2	3.1
Toplam Oturma (cm)	9.1	8.7	8.5

Demir (2007) üçüncü analizini ise, modeli farklı çapta geopier kolonlar ile iyileştirerek gerçekleştirmiştir. İlk aşamada geopier kolonlar ve dolgu tatbik edilmiş, ikinci aşamada ise konsolidasyon analizi gerçekleştirilmiştir. Aşağıda geopier kolonlar ile iyileştirme durumu için tanımlanan model ve analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 7.43. 80 cm çapında geopier elemanların kil zemine tatbiki (Demir, 2007)

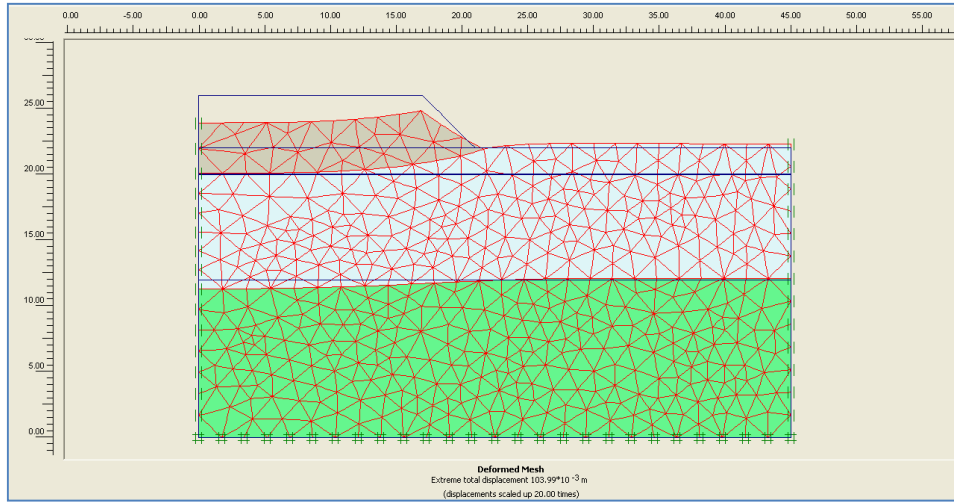
Çizelge 7.20. Geopier elemanları ile iyileştirilmiş zeminde dolgu merkezi altında ani ve konsolidasyon oturma miktarları (Demir, 2007)

	$\phi 80$	$\phi 90$	$\phi 100$
Ani Oturma (cm)	7.2	7.0	6.8
Konsolidasyon Oturması (cm)	6.8	6.7	6.6
Toplam Oturma (cm)	14	13.7	13.4

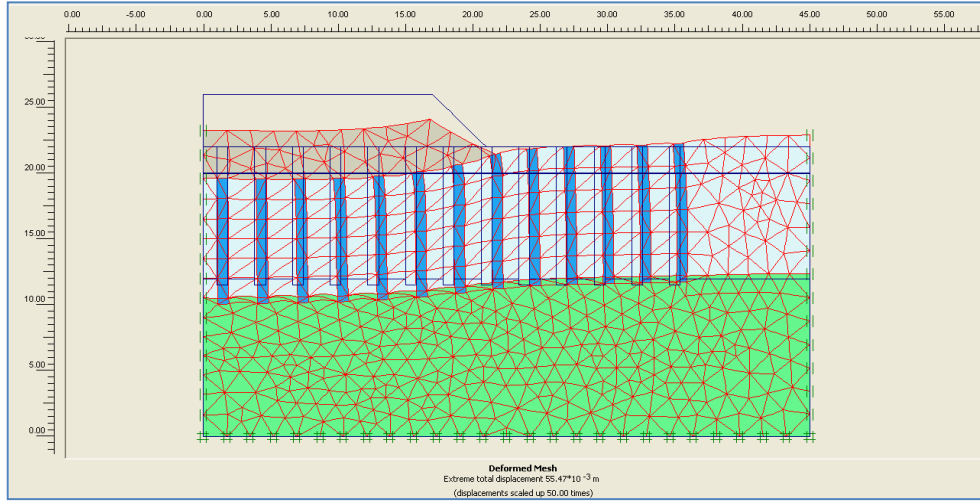
7.5.3. Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma verileri baz alınarak Plaxis 2D yazılımı ile tekrarlanan çalışma

Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen analizlerden iyileştirme yapılmamış zemin üzerine dolgu inşaatı durumu ve 2 m aralıklarla 80 cm çaplı taş kolonların tatbik edilmesi ile iyileştirilen zemin üzerine dolgu inşaatı durumu Plaxis 2D yazılımı ile analiz edilmiştir. Analizde, Demir (2007)' in çalışmasında kullandığı veriler kullanılmıştır.

Analizlerde, verilen değerler kullanılarak oluşturulan rijitlik matrisinin tekile çok yakın olmasından dolayı konsolidasyon hesabı yazılım tarafından gerçekleştirilememiştir. İyileştirilmemiş zemin üzerine kum dolgunun tatbiki ile meydana gelen ani oturma değeri 10.4 cm; 80 cm lik taş kolonların 2 m aralıklarla yerleştirilmesi sonrasında dolgu tatbiki neticesinde meydana gelen ani oturma değeri ise 5.547 cm olarak elde edilmiştir. Aşağıda analizler neticesinde elde edilen deforme olmuş zemin modelleri görülmektedir.



Şekil 7.44. İyileştirme yapılmamış killi zemin üzerine 4 m yükseklikte kum dolgunun tatbik edilmesi durumu için deforme olmuş model



Şekil 7.45. 2 m aralıklarla yerleştirilmiş olan, 80 cm çaplı taş kolonlar ile güçlendirilmiş kum dolgu altında meydana gelen ani oturma

7.5.4. Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

Elde edilen ani oturma değerleri Demir (2007)' in elde ettiği sonuçlar ile uyum göstermektedir. Çizelge 7.21' de iki analiz karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.21. Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Demir (2007) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Kullanılan Analiz Yöntemleri	Plaxis 2D	Plaxis 2D
Analizde Kullanılan Parametreler	Yumuşak Kil Zemin: Mohr-Coulomb, Drenajsız $\gamma_k = 16 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 19 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 0.0001 \text{ m/gün}$ $c = 2 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 24^\circ$ $E = 3500 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.33$ $E_{\text{drenajsız}} = 4000 \text{ kN/m}^2$ $S_{\text{drenajsız}} = 30 \text{ kN/m}^2$ $V_{\text{drenajsız}} = 0.495$ Orta Katı Kil Zemin: Mohr-Coulomb, Drenajsız $\gamma_k = 17 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 0.0001 \text{ m/gün}$ $c = 10 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 28^\circ$ $E = 10000 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.33$ $E_{\text{drenajsız}} = 11280 \text{ kN/m}^2$ $S_{\text{drenajsız}} = 60 \text{ kN/m}^2$ $V_{\text{drenajsız}} = 0.495$ Kum Dolgu: Lineer Elastik, Drenajlı $\gamma_k = 16 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 10 \text{ m/gün}$ $c = 1 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 38^\circ$ $E = 20000 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.25$ Taş Kolon Mohr-Coulomb, Drenajlı $\gamma_k = 21 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 23 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 100 \text{ m/gün}$ $c = 0.5 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 40^\circ$ $E = 75000 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.25$, $\Psi = 6^\circ$ Geopier Kolon Mohr-Coulomb, Drenajlı $\gamma_k = 21 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 23 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 100 \text{ m/gün}$ $c = 4 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 47^\circ$ $E = 100000 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.25$ $\Psi = 12^\circ$	Yumuşak Kil Zemin: Mohr-Coulomb, Drenajsız $\gamma_k = 16 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 19 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 0.0001 \text{ m/gün}$ $c = 2 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 24^\circ$ $E = 4000 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.495$ Orta Katı Kil Zemin: Mohr-Coulomb, Drenajsız $\gamma_k = 17 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 0.0001 \text{ m/gün}$ $c = 10 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 28^\circ$ $E = 11280 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.495$ Kum Dolgu: Lineer Elastik, Drenajlı $\gamma_k = 16 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 10 \text{ m/gün}$ $E = 20000 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.25$ Taş Kolon Mohr-Coulomb, Drenajlı $\gamma_k = 21 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d = 23 \text{ kN/m}^3$ $k_x, k_y = 100 \text{ m/gün}$ $c = 0.5 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 40^\circ$ $E = 75000 \text{ kN/m}^2$, $\nu = 0.25$, $\Psi = 6^\circ$

Çizelge 7.21. (Devam) Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Demir (2007) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Sonlu Eleman Ağı Boyutu		Çok İnce (Very Fine)
Yer altı Su Seviyesi	-2 m	-2 m
Analiz edilen modeller	1. Kil zemin üzerine tatbik edilmiş kum dolgu a. Ani oturma analizi b. Konsolidasyon oturması analizi 2. Taş kolonlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine tatbik edilmiş kum dolgu a. Ani oturma analizi b. Konsolidasyon oturması analizi (Taş kolonlar 80 cm, 90 cm, 100 cm çaplarında ve 10.5 m uzunluğunda, 2' şer m aralıklarla modellenmiştir.) 3. Geopier kolon elemanlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine tatbik edilen kum dolgu a. Ani oturma analizi b. Konsolidasyon oturması analizi (Geopier kolonlar 80 cm, 90 cm, 100 cm çaplarında ve 10.5 m uzunluğunda, 2' şer m aralıklarla modellenmiştir.)	1. Kil üzerine tatbik edilen kum dolgu a. Ani oturma analizi 2. Taş kolonlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine tatbik edilmiş kum dolgu a. Ani oturma analizi (80 cm çapında, 10.5 m uzunluğunda taş kolonlar 2' şer m aralıklarla tatbik edilmiştir.)
Analiz Aşamaları	1. Kil zemin üzerine kum dolgu a. Birinci aşama: Kum dolgunun zemine tatbiki b. İkinci aşama: Konsolidasyon analizi 2. Taş kolonlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine kum dolgu a. Birinci aşama: Taş kolonların ve kum dolgunun zemine tatbiki b. İkinci aşama: Konsolidasyon analizi 3. Geopier kolon elemanlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine kum dolgu a. Birinci aşama: Geopier kolonların ve kum dolgunun zemine tatbiki b. İkinci aşama: Konsolidasyon analizi	1. Kil zemin üzerine kum dolgu a. Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu b. Birinci aşama: Dolgunun aktif hale getirilmesi 2. Taş kolonlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine tatbik edilmiş kum dolgu a. Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu b. Birinci aşama: Taş kolonların ve kum dolgunun zemine tatbiki

Çizelge 7.21. (Devam) Demir (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile bu çalışma baz alınarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Demir (2007) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Analiz Sonuçları	1. İyileştirilmemiş kil zemin üzerine kum dolgu tatbiki durumu Ani oturma: 10.8 cm Konsolidasyon oturması: 10.5 cm Toplam oturma: 21.3 cm 2. Taş kolonlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine kum dolgu tatbiki durumu a. Ø80 taş kolon durumu: Ani oturma: 5.7 cm Konsolidasyon oturması: 3.4 cm Toplam oturma: 9.1 cm b. Ø90 taş kolon durumu: Ani oturma: 5.5 cm Konsolidasyon oturması: 3.2 cm Toplam oturma: 8.7 cm c. Ø100 taş kolon durumu: Ani oturma: 5.4 cm Konsolidasyon oturması: 3.1 cm Toplam oturma: 8.5 cm 3. Geopier kolonlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine kum dolgu tatbiki durumu a. Ø80 geopier kolon durumu: Ani oturma: 7.2 cm Konsolidasyon oturması: 6.8 cm Toplam oturma: 14.0 cm b. Ø90 geopier kolon durumu: Ani oturma: 7.0 cm Konsolidasyon oturması: 6.7 cm Toplam oturma: 13.7 cm c. Ø100 geopier kolon durumu: Ani oturma: 6.8 cm Konsolidasyon oturması: 6.6 cm Toplam oturma: 13.4 cm	1. İyileştirilmemiş zemin üzerine kum dolgu tatbiki durumu Ani oturma: 10.4 cm 2. Taş kolonlarla iyileştirilmiş kil zemin üzerine kum dolgu tatbiki durumu (Ø80 taş kolon durumu) Ani oturma: 5.547 cm

7.6. Donatılı Zemin Duvar Yapılarının Depremde Davranışı

7.6.1. Çalışma Hakkında Genel Bilgiler

7.6.1.1. Özet

Kaya ve Durgunoğlu (2007) bu çalışmasında, “Davutpaşa Kavşağı ve Bağlantı Yolları İnşaatı” kapsamında inşaa edilecek olan toprakarme duvarlar için statik durum ve deprem etkisinin var olduğu durum için deformasyon analizi yapmıştır. Çalışmada Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır.

7.6.1.2. Sonlu Elemanlar Analizi

Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından, Valdez yazılımı kullanılarak şerit uzunluğu ve donatı yoğunluğu değerleri belirlendikten sonra, Plaxis 2D yazılımı kullanılarak yatay ve düşey deplasman değerleri statik durum için ve deprem yükleri altındaki durum için analiz edilmiştir. Çizelge 7.22 ve Çizelge 7.23’ te Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından gerçekleştirilen analizde kullanılan parametreler verilmiştir.

Çizelge 7.22. Nümerik analizde kullanılan zemin parametreleri (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)

Zemin Tipi	Sürtünme Açısı (ϕ)	Elastik Modül, E (MPa)	Poisson Oranı
Az düşük plastisiteli killi, ince sıkı kum	30	80	0.3
Yer yer kil arabantılı, az çatlaklı kumtaşı	30	50	0.3
Donatılı zemin özel dolgusu	36	60	0.35

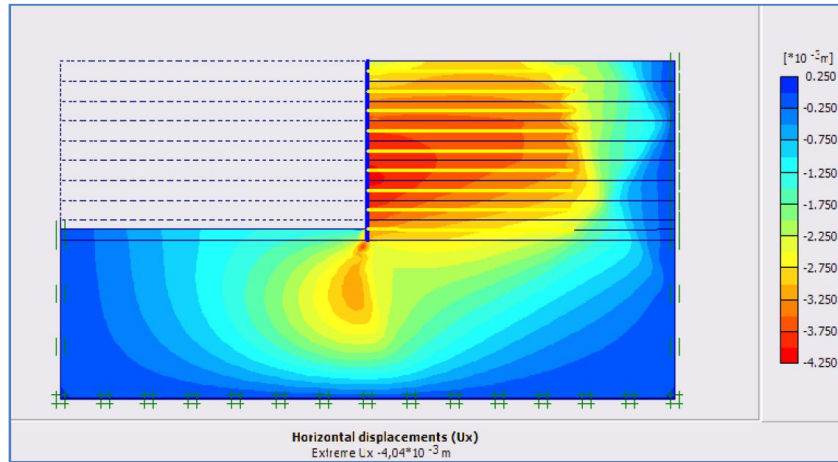
Çizelge 7.23. Nümerik analizde kullanılan yapısal eleman parametreleri (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)

Yapısal Eleman	Elastik Modül, E (GPa)	Kesit Alanı (m ²)	Atalet Momenti (m ⁴)
Yüzey Panelleri	32.7	0.18	4.86E-04
Çelik Şeritler	210	1.60E-04	-

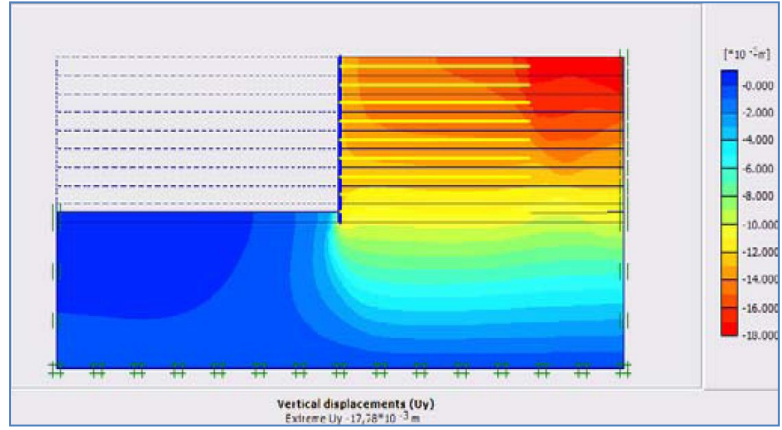
Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından yapılan dinamik analizde, 1. derece deprem bölgesi şartları dikkate alınarak maksimum yatay yer itkisi $a_0/g=0.4$ olarak alınmıştır.

7.6.1.3. Analiz Sonuçları

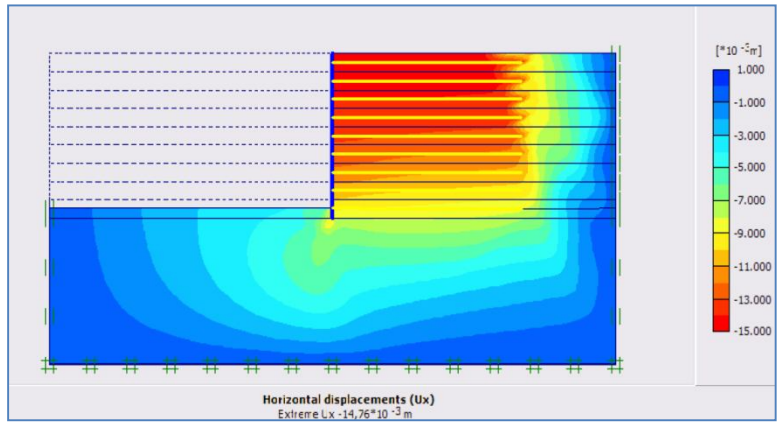
Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından yapılan statik analiz sonucunda belirlenen yatay deplasman değeri 0.40 cm, düşey deplasman değeri ise 1.78 cm olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte deprem yükü de ilave edilince, bu deplasman değerleri yatayda 1.48 cm, düşeyde ise 3.36 cm olarak elde edilmiştir. Aşağıda Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından gerçekleştirilen analizlerin output çıktıları verilmiştir.



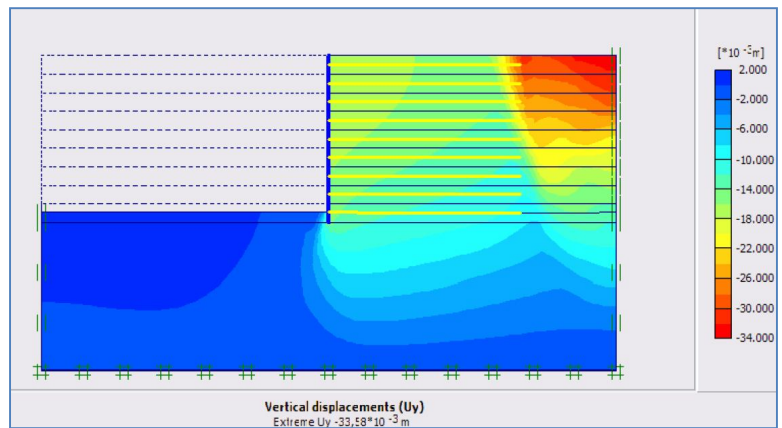
Şekil 7.46: Statik durum için yatay deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)



Şekil 7.47. Statik durum için düşey deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)



Şekil 7.48. Sismik durum için yatay deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)

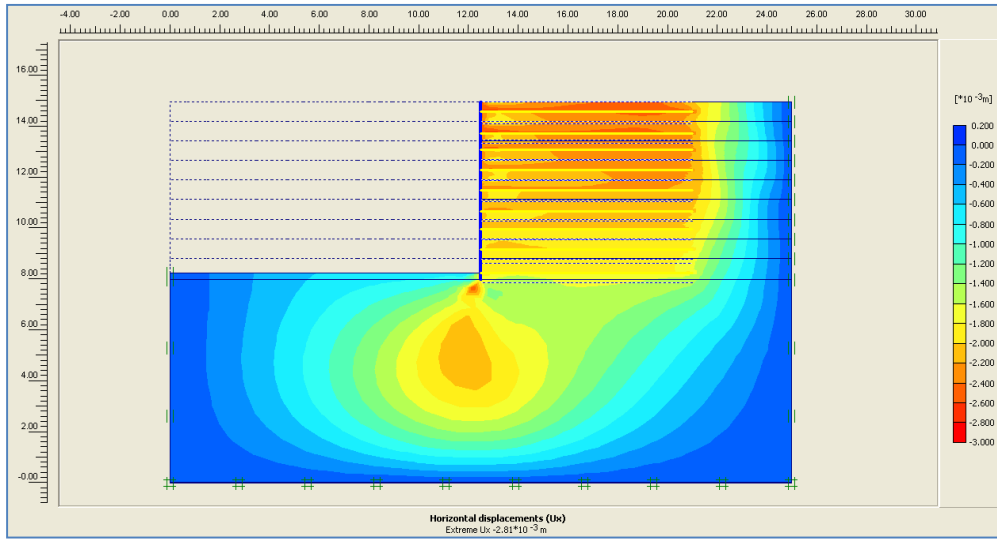


Şekil 7.49. Sismik durum için düşey deplasmanlar (Kaya ve Durgunoğlu, 2007)

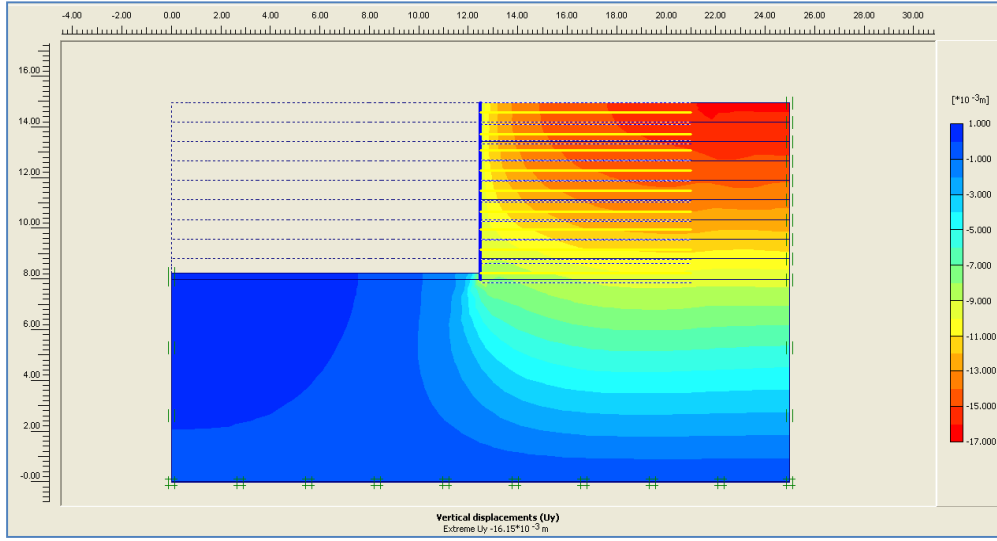
7.6.2. Çalışma verileri kullanılarak Plaxis 2D paket programında tekrarlanan analizler

Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından yapılan çalışmada kullanılan parametrelere bağlı kalınarak statik durum için analiz yapılmıştır. Statik analiz toplam 9 aşamada gerçekleştirilmiştir. Her bir analiz aşamasında bir sıra donatı yerleşimi yapıldıktan sonra donatılı zemin özel dolgusu serimi yapılmıştır. Statik analiz sonucunda elde edilen yatay deplasman değeri 0.281 cm, düşey deplasman değeri ise 1.615 cm' dir.

Şekil 7.50 ve Şekil 7.51' de statik durum için analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 7.50. Plaxis 2D analizi sonucu statik durum için yatay deplasman dağılımı



Şekil 7.51. Plaxis 2D analizi sonucu statik durum için düşey deplasman dağılımı

7.6.3. Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

Statik durum için elde edilen $\delta_x=0.281$ cm ve $\delta_y=1.615$ cm' lik deplasman değerleri Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından elde edilen deplasman değerleri ile uyum sağlamaktadır.

Sismik durum parametreleri Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından net olarak verilmediği için sismik analiz gerçekleştirilememiştir.

Çizelge 7.24' de iki çalışma karşılaştırılmıştır.

Çizelge 7.24. Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Kaya vd. (2007) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Kullanılan Analiz Yöntemleri	Valdez, Plaxis 2D	Plaxis 2D
Analizde Kullanılan Parametreler	Az düşük plastisiteli killi, ince sıkı kum: $\phi = 30^\circ$ $E = 80 \text{ MPa}$ $\nu = 0.3$ Yer yer kil arabanlı, az çatlaklı kumtaşı: $\phi = 30^\circ$ $E = 50 \text{ MPa}$ $\nu = 0.3$ Donatılı Zemin Özel Dölgüsü: $\phi = 36^\circ$ $E = 60 \text{ MPa}$ $\nu = 0.35$ Yüzey Panelleri: $E = 32.7 \text{ GPa}$ $A = 0.18 \text{ m}^2$ $I = 4.86 \text{E-}04 \text{ m}^4$ Çelik Şeritler: $E = 210 \text{ GPa}$ $A = 1.60 \text{E-}04 \text{ m}^2$	Az düşük plastisiteli killi, ince sıkı kum: Mohr-Coulomb Drenajlı $\gamma_k = 16 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d = 17 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 30^\circ$ $E = 80 \text{ MPa}$ $\nu = 0.3$ $c = 1 \text{ kN/m}^2$ Yer yer kil arabanlı, az çatlaklı kumtaşı: Mohr-Coulomb Drenajlı $\gamma_k = 17 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 30^\circ$ $E = 50 \text{ MPa}$ $\nu = 0.3$ $c = 1 \text{ kN/m}^2$ Donatılı Zemin Özel Dölgüsü: Mohr-Coulomb Drenajlı $\gamma_k = 18 \text{ kN/m}^3$ $\gamma_d = 19 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 36^\circ$ $E = 60 \text{ MPa}$ $\nu = 0.35$ $c = 1 \text{ kN/m}^2$ Yüzey Panelleri: Elastik $EA = 5.89 \text{E+}09 \text{ kN/m}$ $EI = 1.590 \text{E+}07 \text{ kNm}^2/\text{m}$ $d = 0.18 \text{ m}$ Çelik Şeritler: Elastik $EA = 3.360 \text{E+}07 \text{ kN/m}$
Sonlu Eleman Ağı Boyutu		Coarse (Kaba)
Yer altı Su Seviyesi	-	-

Çizelge 7.24. (Devam) Kaya ve Durgunoğlu (2007) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve bu çalışma verileri kullanılarak tekrarlanan çalışmanın karşılaştırılması

	Kaya vd. (2007) tarafından yapılan çalışma	Tekrarlanan çalışma
Analiz Aşamaları		Başlangıç aşaması: Zeminin doğal durumu Birinci aşama: Birinci sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki İkinci aşama: İkinci sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki Üçüncü aşama: Üçüncü sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki Dördüncü aşama: Dördüncü sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki Beşinci aşama: Beşinci sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki Altıncı aşama: Altıncı sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki Yedinci aşama: Yedinci sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki Sekizinci aşama: Sekizinci sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki Dokuzuncu aşama: Dokuzuncu sıra donatının yerleştirilmesi ve donatılı zemin özel dolgusunun tatbiki
Analiz Sonuçları	Statik analiz: Yatay deplasman: 0.40 cm Düşey deplasman: 1.78 cm Sismik analiz: Yatay deplasman: 1.48 cm Düşey deplasman: 3.36 cm	Statik analiz: Yatay deplasman: 0.281 cm Düşey deplasman: 1.615 cm Dinamik analiz parametreleri tam olarak verilmediği için dinamik analiz gerçekleştirilememiştir.

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kil ve kum zeminlerde kazı yapılması durumunda zeminde oluşabilecek yanal ve düşey deformasyonlar sonlu elemanlar metodunu kullanarak analiz gerçekleştiren Plaxis 3D Foundation yazılımı ile incelenmiştir. Bu yazılımın literatürdeki bağıntılar ile uyumlu sonuçlar verebildiğinin tespitini sağlamak amacıyla, seçilen bir zemin modeli için kritik kazı derinliği değeri tespit edilmiş ve literatürde verilen ampirik bağıntı ile uyumlu bir sonuç elde edildiği görülmüştür.

İlk aşamada her bir zemin modelinde serbest kazı durumu incelenmiştir. Bunun akabinde, bu zemin modellerinin çelik palplanj elemanlarla, payandalı çelik palplanj elemanlarla ve betonarme perde elemanlarla desteklenmesi durumlarında meydana gelen değişimler analiz edilmiştir.

Kil ve kum zeminlerde kazı destek sistemleri kullanıldığı durumdaki yanal deformasyon miktarının, desteksiz kazı esnasında meydana gelen yanal deformasyonlara oranla azalımı yüzde olarak incelenmiştir. Bu azalım oranının çelik palplanj elemanlarda en az olduğu, betonarme perde elemanlarda ise en fazla olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen yanal deformasyon miktarları için regresyon analizleri yapılmış ve her bir zemin modeli için matematiksel bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntılar, zemin modelleri oluşturulurken kullanılan fiziksel parametreler için geçerli olup, zemin fiziksel özelliklerinin değişmesi durumunda tekrar elde edilmesi gerekmektedir.

Destekli kazı modellerinde kazı duvarı arkasındaki düşey zemin oturmalarının değişimi incelendiğinde, betonarme perde duvar arkasında meydana gelen değişimlerin çelik palplanj arkasındaki değişimlere nazaran çok küçük kaldığı tespit edilmiştir.

Kil zeminlerde destek arkasında meydana gelen düşey oturma tipi konkav, kum zeminlerde ise spandrel olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca, bu yüksek lisans tez çalışması kapsamında literatürde yer almış çeşitli geoteknik çalışmalar incelendikten sonra Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation sonlu elemanlar yazılımları kullanılarak bu çalışmaların tekrar

analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçların orijinal çalışma sonuçları ile uyumu araştırılmıştır. Bu yöntem, tez çalışması kapsamında kullanılan bu yazılımlardan elde edilen sonuçların oto-kontrol yöntemi olarak kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- Afacan, K.B. (2007), *Perde Kazıkların Düşey Taşıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemiyle İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alkaya, D., Çobanoğlu, İ. “Derin kazılar ve destekleme yapıları”, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Aydın, S. B. (2010), *Derin kazılarda zeminde oluşacak deformasyonların ampirik yaklaşımlarla incelenmesi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Bayar, B. (2003), *Regresyon analizi*, Osmangazi Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Eskişehir.
- Das, Braja M. (1990), *Principles of geotechnical engineering (second edition)*, United States of America.
- Demir, H. (2007), *Taş kolon ve geopier uygulaması ile zemin iyileştirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirkoç, A., Özaydın, K., Kılıç, H. (2007), “Zemin çivisi ile ankrajlı destek sistemlerinin karşılaştırmalı analizi”. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 1. Özel Konulu “Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi” Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 99-106.
- Kaya, T., Özbatır, M., Durgunoğlu, H.T. (2007), “Donatılı zemin duvar yapılarının depremde davranışı”. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 1. Özel Konulu “Teori ve Uygulamada Zemin-Yapı Etkileşimi” Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 173-180.
- Keskin, M.S., Laman, M., Baran, T. (2008), “Kuma oturan kare temeller altında oluşan düşey gerilmelerin deneysel tespiti ve sayısal analizi”, *İMO Teknik Dergi*, 4521-4538, Yazı 299.
- Keskin, M.S., Laman, M. (2007), “Sonlu elemanlar yönteminin şev stabilitesi problemlerinin analizinde kullanılması”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **22**,1.

- Brinkgreve, R. B. J., Broere, W. (2004), *Plaxis 3D Foundation reference manual, version 1*, Delft University of Technology & PLAXIS bv, The Netherlands
- Brinkgreve, R. B. J., Broere, W. (2004), *Plaxis 3D Foundation tutorial manual, version 1*, Delft University of Technology & PLAXIS bv, The Netherlands
- Sağlam, A. (2006), *Derin kazılarda görülen stabilite problemleri ve ilgili çözüm kriterlerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Schweiger, H. F., Scharinger, F., Lüftenegger, R. (2009), “3D finite element analysis of a deep excavation and comparison with in situ measurements”, *2009 Taylor & Francis Group*, London, U.K., ISBN978-0-415-48475-6.
- Sert, S., Önalp, A., Arel, E. (2010), “Sayısal çözümlerde zemin özelliklerindeki değişimin sonuçlara etkisi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Sevencan, O., Özaydın, K., Kılıç, H. (2010), “Derin kazılarda zemin deformasyonun nümerik analizi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi*, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.
- Tunca, M., Berilgen, M. (2011), “Derin kazılardan kaynaklanan zemin oturmalarının sayısal analizlerle incelenmesi”. *4. Geoteknik Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Çukurova Üniversitesi, Adana , 419-428.
- Turan, E. (2006), *Statik ve dinamik düşey yükler altındaki kazıklı temellerin davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Yüksel Proje (2007), *T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Geoteknik tasarım esasları*, Ankara.

Ek-1 Kullanılan Yazılım: Plaxis 2D ve Plaxis 3D Foundation

Model, tabiatta bulunan bir cismin, basit geometrik şekillerden yararlanılarak, başlangıç ve sınır şartlarının da tanımlanması kaydıyla bir takım kabuller yapılarak, en kolay yolla çözümlenebilecek hale getirilmiş şeklidir. Kısaca model, karmaşık olanın basite indirgenmiş halidir. Modelleme ise; gerçek hayat problemlerinin sadeleştirilmesi, soyutlanması ya da bir matematiksel forma dönüştürülmesidir. *“Matematik modelleme, gerçek dünya durumlarının, beklentilerin bir kısmını temsil etmek üzere seçilen bir veya birden fazla matematiksel oluşumun ve aralarındaki ilişkilerin birleşimidir.”* (Niss, 1988)

Matematiksel modelleme çeşitleri: deneysel modelleme, teorik modelleme, simülasyon modelleme ve boyutsal analiz modelleme şeklinde dört kısma ayrılır.

Bunlardan deneysel modelleme, gözlenebilen verilere dayalı olarak oluşturulan grafiklerin matematiksel olarak ifade edilmesidir. Örneğin, dünyadaki sıcaklık artışının grafik ile gösterimi deneysel bir modellemedir.

Matematiksel modelin formüle edilmesinde, verilerden çok teoriye dayanan farklı problem çözme süreci gerektiren modellemeye teorik modelleme denir. Bir bölgedeki nüfusun su ihtiyacının belirlenmesi bir teorik modelleme örneğidir.

Genellikle matematiksel modeller ifade edilirken cebirsel semboller kullanılır. Bazı problemlerde çözümler, analitik olarak modellenemezler. Bu tür modellemelere simülasyon modeli adı verilir. Örneğin; türev kavramının bilgisayarda fiziksel anlamını verecek bir animasyon bir simülasyon modelidir.

Fiziğin temel özelliklerine dayalı oluşturulan modele ise boyutsal analiz modeli denir. Bu tür modelleme, bilim ve teknolojiye ilişkiyi biçimlendirmede kullanılır. Örneğin; boyutu kullanarak hız ve alan arasındaki ilişkiyi temsil eden matematiksel ifadeyi bulma bir boyutsal analiz modelidir.

Mühendislik problemlerinin modellenmesi için en çok kullanılan yöntemler sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi yöntemlerdir. Bu yöntemleri kullanarak analiz yapabilen pek çok bilgisayar yazılımı çeşitli mühendislik dalları tarafından kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, analizler Plaxis sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

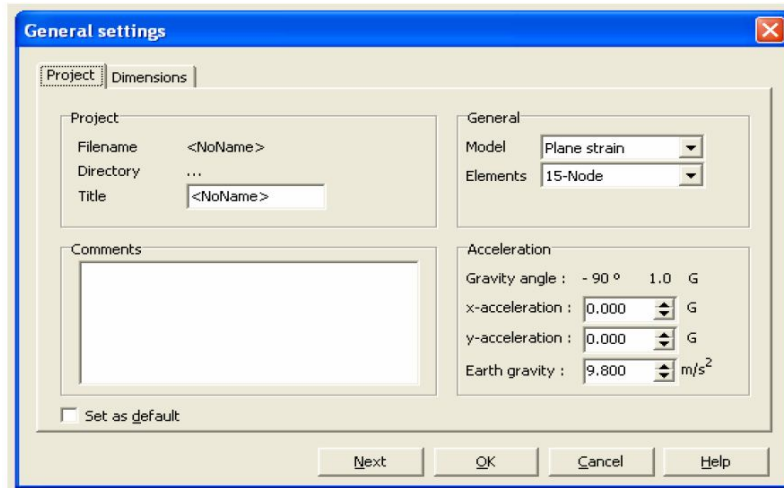
E-1. Plaxis Paket Programının Geoteknik Modellemede Kullanımı

Plaxis sonlu elemanlar yazılımı ilk olarak 1987’ de Delft Teknik Üniversitesi’ nin çalışmaları ile üretilmiştir. Plaxis, geoteknik mühendisliği projelerinde özellikle deformasyon ve stabilite analizleri için tasarlanmış bir sonlu elemanlar yazılımıdır.

E-1.1. Plaxis 2D paket programı

E-1.1.1. Genel bilgiler

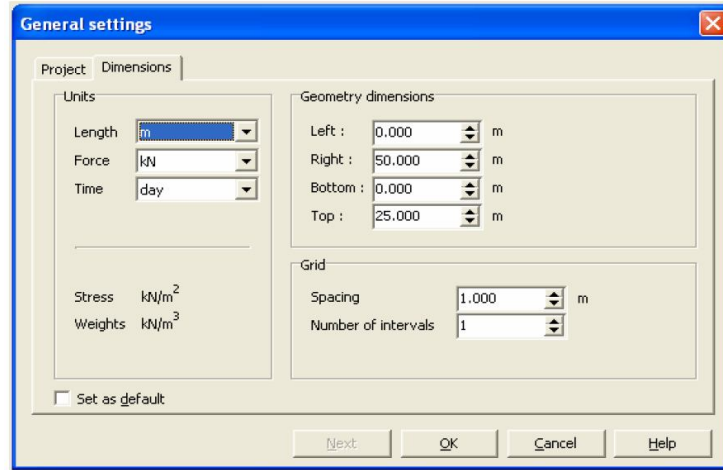
Yeni bir proje oluşturmak için öncelikle genel özellikler “General Settings” penceresinde gerekli tanımlamaları yapmak gerekmektedir.



Şekil Ek-1. Genel özellikler – Proje Sayfası

İlk olarak, “*Project*” sayfasında proje adının girilmesi, çözüm modelinin seçilmesi ve düğüm sayısının seçilmesi gerekmektedir. Bu sayfada yerçekimi ivmesi 9.8 m/s^2 olarak tanımlanmıştır.

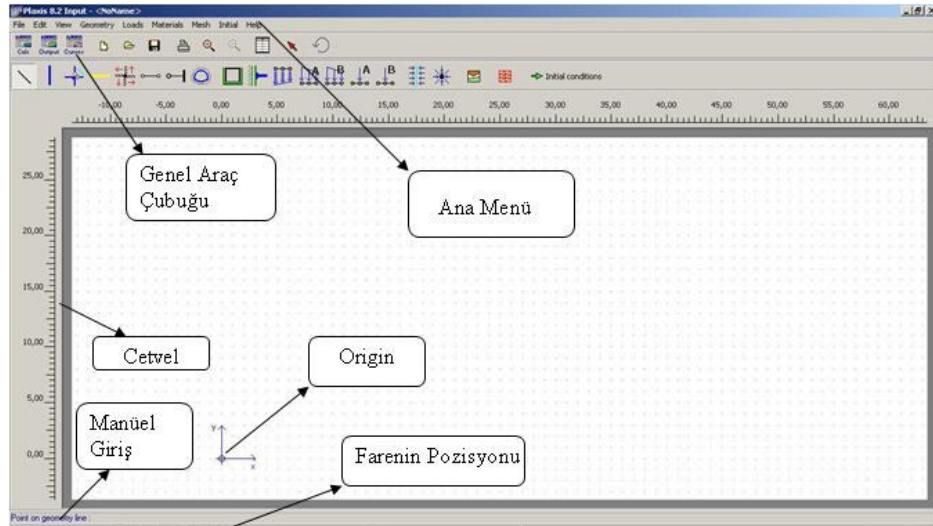
Bir sonraki adımda, kullanılacak olan birimlerin tanımlaması ve çizim alanı ölçülerinin ve grid aralıklarının belirlenmesi işlemi “*Dimensions*” sayfası üzerinde yapılır.



Şekil Ek-2. Genel özellikler – Dimensions sayfası

E-1.1.2. Geometri modelini oluşturma

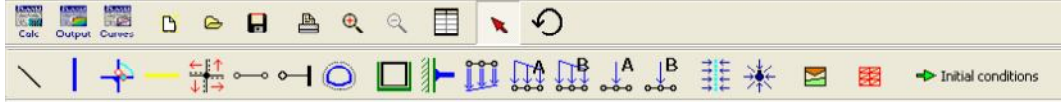
Proje genel özellikleri tanımlandıktan sonra ana pencere açılacaktır.



Şekil Ek-3. Ana pencere

Genel araç çubuğunda kaydetme, yazdırma, yakınlaşma gibi genel uygulamalar için butonlar mevcuttur. Aynı zamanda PLAXIS 2D paketinin Calculations Output, Curves gibi diğer programlarını başlatacak butonlara sahiptir.

Geometri araç çubuğu geometri modelini oluşturma işlemine yarayan butonlara sahiptir. Butonlar araç çubuğunda soldan sağa takip edildiklerinde geometri modeli tamamlanacak şekilde düzenlenmiştir.



Şekil Ek-4. Geometri araç çubuğu

a. Geometry Line

“*Geometri Line*” kısa yol tuşu () sistemin geometrisini oluşturmak için kullanılır. “*Geometri Line*” kısa yol tuşu ile model oluşturulurken koordinatlar fazla küsürlü değilse direkt olarak koordinat noktaları “Mouse” ile yakalanabilir. Fakat daha hassas olarak nokta seçimi için “*koordinat tablosu*” kısayol tuşu () kullanılmaktadır.

b. Beam

“*Beam*” (kiriş) kısayol tuşu () sistem içerisinde kiriş oluşturmak için kullanılır. Bu ikon kullanılarak kazı kenarlarına kirişler yerleştirilebilir.

c. Beam Hinge

“*Beam Hinge*” (kiriş mafsalı) kısayol tuşu () kiriş uçlarında mafsal oluşturmak için kullanılır. Bu tuşu kullanmak için en az iki adet kirişin uç uca gelmesi gerekmektedir. Bu tuş tıklandıktan sonra hangi kirişin ucunda mafsal oluşması isteniyorsa o kirişin ucuna tıklanmalıdır.

d. Geogrid

Sistem içinde geotekstil malzeme oluşturmak için “*geogrid*” kısayol tuşu () kullanılır.

e. Interface

Zemin ile yapısal eleman arasında arayüzey oluşturmak için “*interface*” kısayol tuşu () kullanılır.

f. Node-To-Node Anchor

“Node-To-Anchor”(düğüm noktasına tutturucu) kısayol tuşu () sistem içerisindeki elemanlar arasında , düğüm noktasından düğüm noktasına bir bağlama (tutturma) yapar.

g. Fixed End Anchor

“*Fixed end anchor*” (sonu sabitlenmiş tutturucu) kısayol tuşu () ile sistem içerisindeki elemanların sonu sabitlendirilmiş olarak tutturulması için kullanılır.

h. Tunnel

“*Tunnel*” kısayol tuşu () tünel dizaynı için kullanılır.

i. Standart Fixities

“Standart fixities” (standart sınır şartları) () kısayol tuşu sistemin sınır şartlarını tanımlamak için kullanılır.

j. Prescribed Displacements

“*Prescribed Displacements*” (tanımlanan deplasman) kısayol tuşu () ile sistemin tanımlanan deplasman değerine göre çözüm yapılması sağlanır.

k. Moment Fixity (Beams)

“*Moment fixity*” (kirişler için moment sınır şartları) kısayol tuşu () kirişlerin moment sınır şartlarını tanımlamak için kullanılır. Bu kısayolu uygulamaya geçirmek için en az iki kirişin uç uca gelmesi gerekmektedir.

l. Distributed Load-Load System A

Bu kısayol tuşu () sisteme yük uygulamak için kullanılır.

m. Distributed Load-Load System B

Bu kısayol tuşu () sisteme yük uygulamak için kullanılır.

n. Point Force- Load System A

Bu kısayol tuşu () sisteme noktasal yük uygulanması için kullanılır.

o. Point Force- Load System B

Bu kısayol tuşu () sisteme noktasal yük uygulanması için kullanılır.

E-1.1.3. Malzeme özelliklerinin tanımlanması

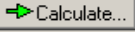
Modele ait malzeme özelliklerinin tanımlanması için Material Sets kısayol tuşu () kullanılır. Oluşturulan zemin modeline ait parametreleri tanımlamak için Edit butonuna tıklamak yeterli olacaktır.

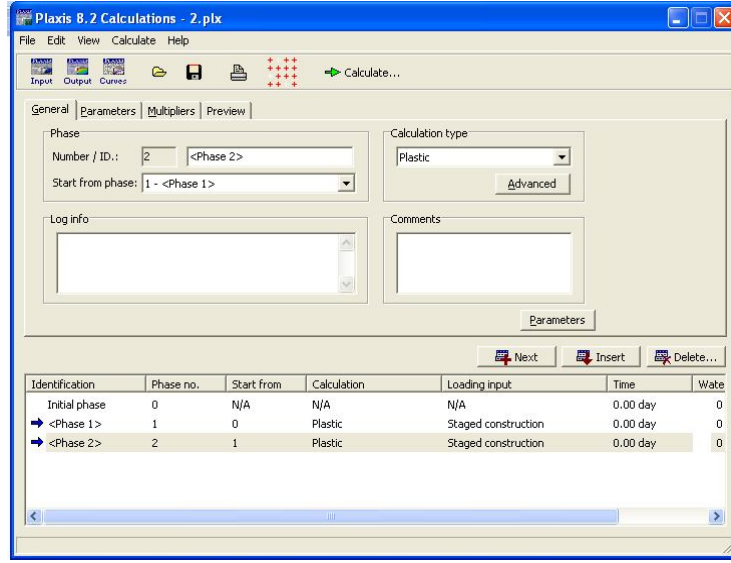
E-1.1.4. Sonlu eleman ağının oluşturulması

“Generate Mesh” kısayol tuşu () modellenen sistemde sonlu eleman ağının oluşturulmasını sağlar. Oluşturulan ağ görüldükten sonra “update” tuşuna tıklanarak ağ bilgileri kayda alınır ve programın hafızasında kalır.

E-1.1.5. Hesaplama

Sonlu eleman ağının oluşturulması ile birlikte geometri modelleme işlemi tamamlanır ve bu aşamadan sonra modelin çözümüne başlanabilir. Calculation butonuna tıklandıktan sonra hesaplama aşamaları tanımlanmalıdır. Bunun için Phases () butonuna tıklanır ve açılan pencerede hesap aşamaları tanımlanır. Her bir aşamada model üzerinde oluşturulacak değişiklikler fare ile tıklanarak seçilir.

Calculate butonuna () tıklanarak hesaplama işlemi başlatılır.

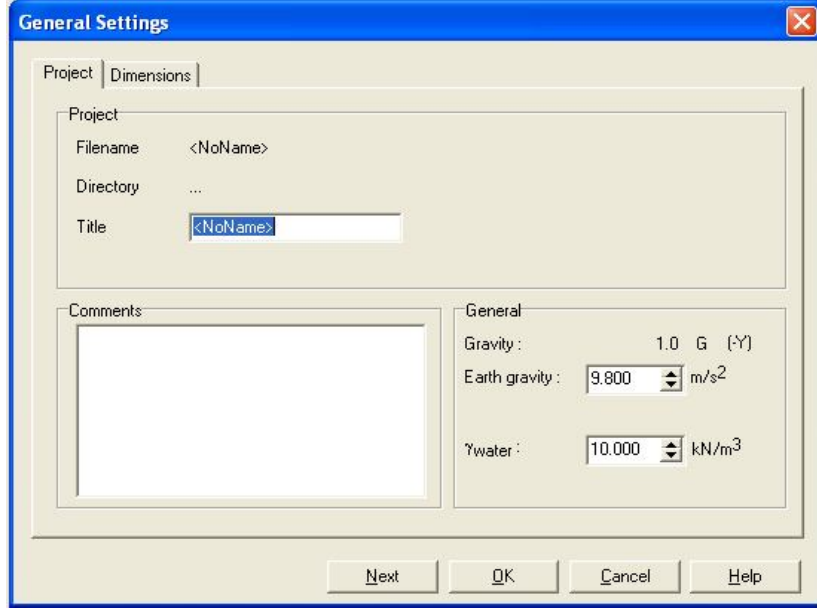


Şekil Ek-5. Hesaplama evresi

E-1.2. Plaxis 3D Foundation Paket Programı

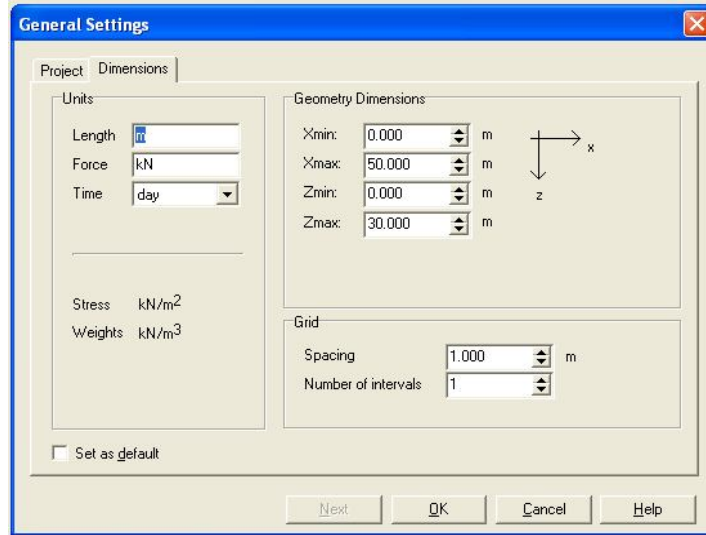
E-1.2.1. Genel bilgiler

Yeni bir proje tanımlanacaksa şekilde gösterilen genel özellikler '*General settings*' penceresi açılacaktır. Bu pencere iki sayfadan oluşur. Birinci sayfada geçerli proje için çeşitli özellikler verilmelidir. Kullanıcı tarafından gerekli görülen açıklamalar '*Comments*' kutusuna detaylı bir şekilde girilebilir.



Şekil Ek-6. Genel Özellikler – Proje sayfası

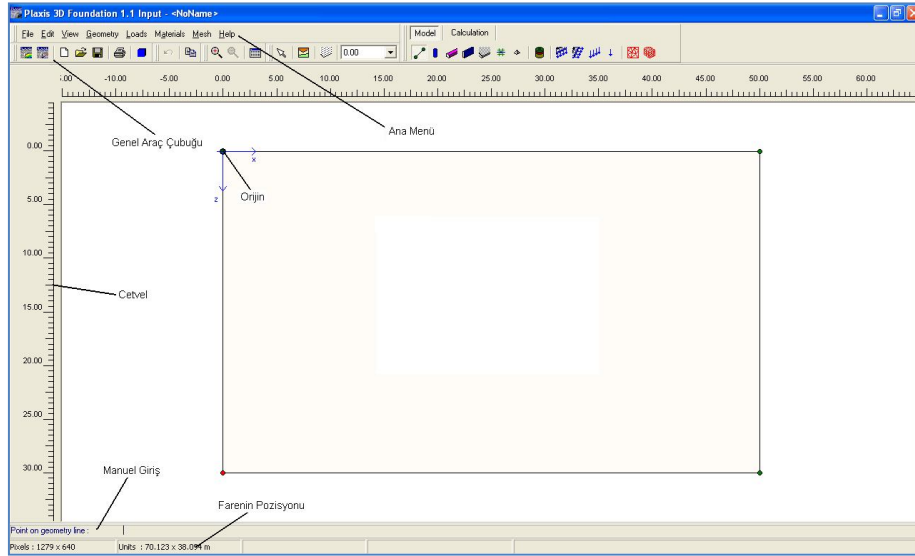
Yerçekimi, 9.8 m/s^2 olarak negatif y ekseninde tanımlanmıştır. Suyun birim hacim ağırlığı ise, 10 kN/m^3 olarak tanımlanmıştır. “Dimensions” sayfasında uzunluk, kuvvet ve zaman birimlerinin yanısıra çizim bölgesinin minimum ve maksimum boyutları girilir.



Şekil Ek-7. Genel Özellikler – Dimensions sayfası

E-1.2.2. Geometri modelini oluşturma

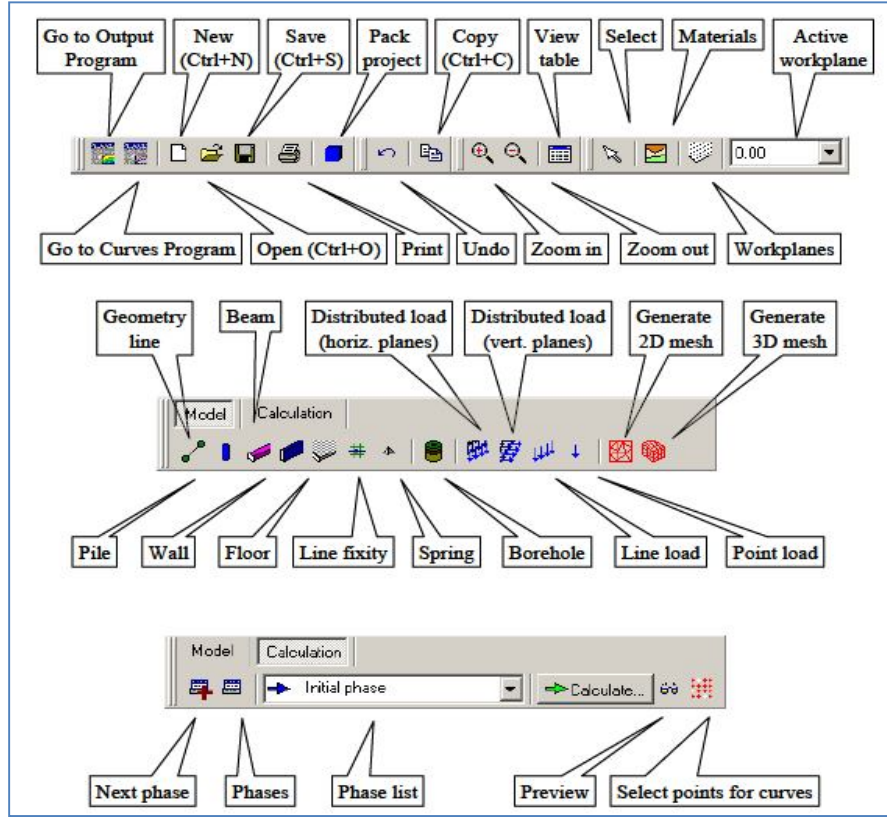
Genel özellikler girildiğinde ve <OK> butonunu tıklandığında ana pencere açılacaktır. Bu ana pencere Şekil Ek-3'te gösterilmiştir. Ana pencerenin önemli bir kısmı kısaca belirtilmiş ve burada tanıtılmıştır.



Şekil Ek-8. Ana pencere

Ana menü araç çubuğundaki bütün seçenekleri ve bazı sık kullanılmayan ek seçenekleri içerir.

Genel araç çubuğunda kaydetme, yazdırma, yakınlaşma gibi genel uygulamalar için butonlar mevcuttur. Aynı zamanda PLAXIS 3D FOUNDATION paketinin Output, Curves gibi diğer programlarını başlatacak butonlara sahiptir. Geometri araç çubuğu geometri modelini oluşturma işlemine yarayan butonlara sahiptir. Butonlar araç çubuğunda soldan sağa takip edildiklerinde geometri modeli tamamlanacak şekilde düzenlenmiştir.



Şekil Ek-9. Araç çubukları

Sol ve üst çizim bölgesinde, cetveller geometri boyutunun direkt olarak görüntülenmesini sağlayan fiziksel koordinatları belirtirler.

Çizim bölgesi geometri modelinin oluşturulduğu çizim sayfasıdır. Çizim bölgesi aynı zamanda bir çizim programı olarak da kullanılabilir. Çizim alanında noktalardan oluşan grid, çizimi kolaylaştırmak için düzenli aralıklarla ayarlanmıştır.

Fare ile çizim istenilen hassasiyeti vermiyor ise *Manual input* bölümünden geometri girişi yapılabilir. X ve y koordinatlarının değerleri aralarında bir boşluk bırakılarak girilebilir. Seçilen noktaya yeni bir koordinat girmek için de Manuel input kullanılır.

a. Work Planes

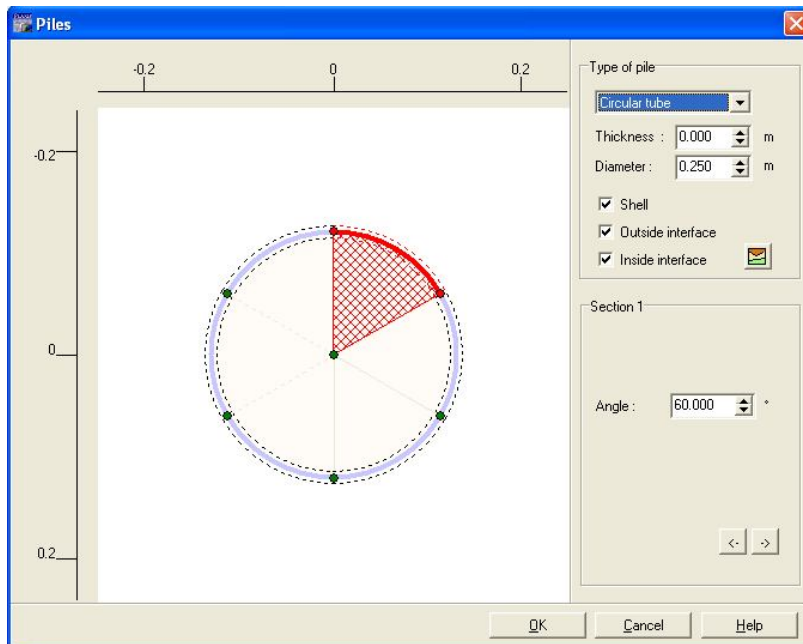
Work planes kısayol tuşu (), düşey düzlem üzerinde (y eksen) belli seviyelerde, yatay düzlemler (x-z düzlemleri) oluşturmak için kullanılmaktadır. Work planes, farklı yapılar ve kazı seviyeleri oluşturmak için kullanılır. Work planes, zemin tabakaları oluşturmak için kullanılmamalıdır. Yeni bir projeye başlandığında, otomatik olarak y=0 seviyesinde work plane düzlemi oluşturulur.

b. Geometry Line

Geometri Line kısayol tuşu () sistemin geometrisini oluşturmak için kullanılır.

c. Pile

Zemin modeli içerisinde kazık eleman oluşturmak için pile kısayol tuşu () kullanılır.



Şekil Ek-10. Pile penceresi

d. Beam

Model içerisinde ince kirişler oluşturmak için Beam kısayol tuşu () kullanılmaktadır. Bu ikon çalıştırılarak, istenen yüzeylere, kirişler yerleştirilebilmektedir. Kirişe ait fiziksel özellikler tanımlandıktan sonra, oluşturulan kiriş modeli üzerine sürüklenip bırakılır.

e. Wall

Wall kısayol tuşu (), model içerisinde ince düşey duvar yapıları oluşturmak için kullanılmaktadır. Duvarlar, aktif çalışma düzlemi ile bir sonraki düzlem arasında oluşturulur. Yani duvarın üst yüzeyi aktif olan work plane combo box kutusunda belirtilen seviye, alt yüzeyi ise bir sonraki work plane seviyesi olacaktır.

f. Floor

İnce yatay yapılar oluşturmak için Floor kısayol tuşu () kullanılmaktadır. Elemanlar, aktif çalışma düzleminin tabanında oluşturulur.

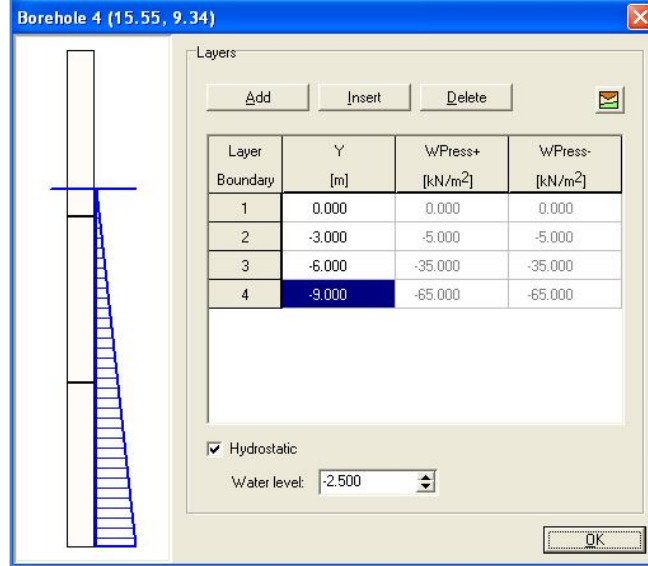
g. Line Fixity

Model sınırlarını oluşturmak için bu kısayol tuşu () kullanılır.

h. Borehole

Borehole kısayol tuşu (), zemin tabakalarını ve yeryüzü seviyesini, yer altı su seviyesini belirlemek için kullanılır. Zemin tabakalaşması ve yeryüzü seviyesi yatay değilse, farklı noktalarda tanımlanacak sondaj logları ile istenen model oluşturulabilmektedir. Aynı zamanda borehole penceresi boşluk suyu

basıncının tespit edilebilmesi açısından yer altı su seviyesinin tanımlandığı penceredir.



Şekil Ek-11. Borehole penceresi

i. Load

Yatay bir düzlem üzerinde yayılı yük tanımlamak için Distributed Load (Horizontal Planes) kısayol tuşu (), düşey düzleme etki eden yayılı yükü tanımlamak için Distributed Load (Vertical Planes) kısayol tuşu () kullanılır. Çizgisel yük tanımlamak için Line Load kısayol tuşu (), tekil yük tanımlamak için ise Point Load kısayol tuşu () kullanılır.

Distributed Load (horiz. plane)

X-Value : 0.000 kN/m²

Y-Value : -1.000 kN/m²

Z-Value : 0.000 kN/m²

OK Cancel Help

Şekil Ek-12. Yatay düzlemde yayılı yük bilgisi girişi

Distributed Load (vert. plane)

Workplane at 0.00

Geometry point 27

X-Value : -1.000 kN/m²

Y-Value : 0.000 kN/m²

Z-Value : -0.010 kN/m²

Geometry point 28

X-Value : -1.000 kN/m²

Y-Value : 0.000 kN/m²

Z-Value : -0.010 kN/m²

Workplane at -3.00

Geometry point 27

X-Value : -1.000 kN/m²

Y-Value : 0.000 kN/m²

Z-Value : -0.010 kN/m²

Geometry point 28

X-Value : -1.000 kN/m²

Y-Value : 0.000 kN/m²

Z-Value : -0.010 kN/m²

OK Cancel Help

Şekil Ek-13. Düşey düzlemde yayılı yük bilgi girişi

Line Load

Geometry point 35

X-Value : 10.000 kN/m

Y-Value : 0.000 kN/m

Z-Value : 15.000 kN/m

Geometry point 36

X-Value : 10.000 kN/m

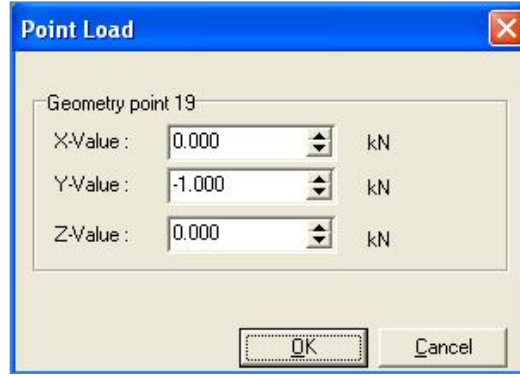
Y-Value : 0.000 kN/m

Z-Value : 15 kN/m

Perpendicular

OK Cancel Help

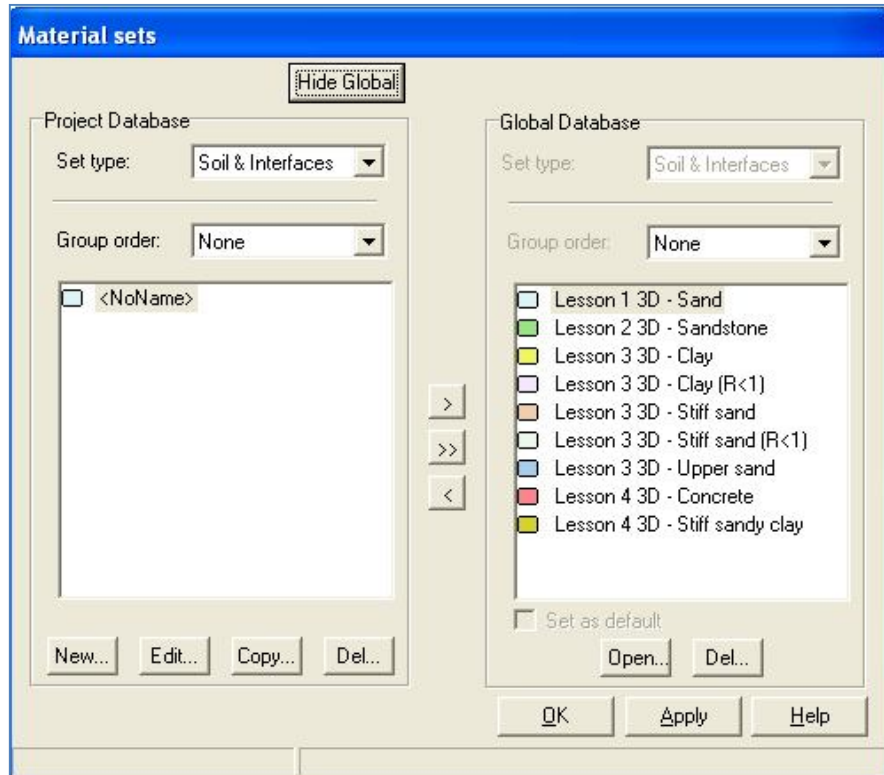
Şekil Ek-14. Çizgisel yük bilgi girişi



Şekil Ek-15. Tekil yük bilgi girişi

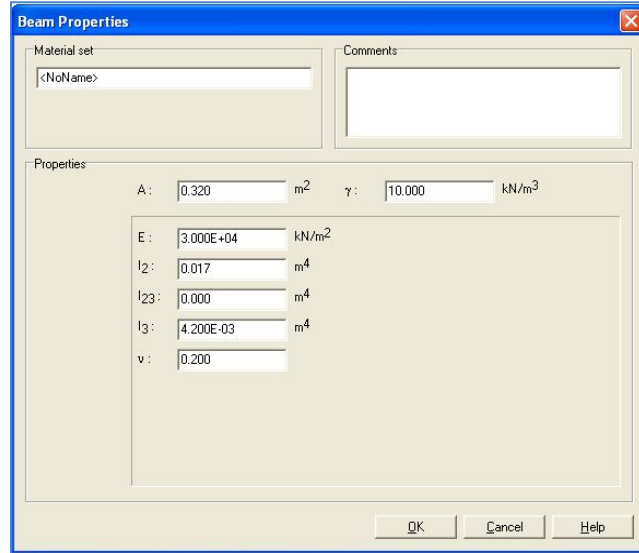
E-1.2.3. Malzeme özelliklerinin tanımlanması

Modele ait malzeme özelliklerinin tanımlanması için Material Sets kısayol tuşu () kullanılır. Oluşturulan zemin modeline ait parametreleri tanımlamak için Edit butonuna tıklamak yeterli olacaktır.



Şekil Ek-16. Material Sets penceresi

Kirişlere ait malzeme özelliklerini tanımlayabilmek için kullanılan pencere aşağıda gösterilmiştir.



Property	Value	Unit
A	0.320	m ²
γ	10.000	kN/m ³
E	3.000E+04	kN/m ²
I ₂	0.017	m ⁴
I ₂₃	0.000	m ⁴
I ₃	4.200E-03	m ⁴
ν	0.200	

Şekil Ek-17. Kiriş modele ait malzeme özelliklerinin girilmesi

Duvar modelleri için malzeme özelliklerinin girildiği pencere aşağıda gösterilmiştir.

Şekil Ek-18. Duvar modele ait malzeme özelliklerinin girilmesi

Zemin modelleri için malzeme özelliklerinin girildiği pencere aşağıda gösterilmiştir.

Şekil Ek-19. Zemin modele ait malzeme özelliklerinin girilmesi

E-1.2.4. Sonlu eleman ağının oluşturulması

Plaxis 3D Foundation paket programında, tanımlanan zemin modelinin analizi için iki boyutlu sonlu eleman ağını takiben, üç boyutlu sonlu eleman ağı da oluşturulmalıdır.

İki boyutlu sonlu eleman ağının oluşturulması için 2D Mesh Generation kısayol tuşu (), üç boyutlu sonlu eleman ağının oluşturulması için ise 3D Mesh Generation kısayol tuşu () kullanılır.

E-1.2.5. Hesaplama

Üç boyutlu sonlu eleman ağının oluşturulması ile birlikte geometri modelleme işlemi tamamlanır ve bu aşamadan sonra modelin çözümüne başlanabilir. Calculation butonuna tıklandıktan sonra hesaplama aşamaları tanımlanmalıdır. Bunun için Phases () butonuna tıklanır ve açılan pencerede

hesap aşamaları tanımlanır. Her bir aşamada model üzerinde oluşturulacak değişiklikler fare ile tıklanarak seçilir.

Şekil Ek-20. Hesap adımlarının tanımlanması (Phases penceresi)

Calculate butonuna ( Calculate...) tıklanarak hesaplama işlemi başlatılır.

Plaxis 3D Foundation 3D Plastic Calculation - XXSNFXX - Initial phase

Total multipliers at the end of previous loading step			
Σ -Mstage:	0.000	PMax:	0.000
Σ -MloadA:	1.000	Σ -Marea:	1.000
Σ -MloadB:	1.000	Force-X:	0.000
Σ -Mweight:	1.000	Force-Y:	0.000
Σ -Msf:	1.000	Force-Z:	0.000
		Stiffness:	1.000
		Time:	0.000

Calculation progress

Node A

Iteration process of current step			
Current step:	1	Max. steps:	250
Iteration:	0	Max. iterations:	50
Global error:	0.000	Tolerance:	0.010

Element	864
Decomposition:	80 %
Calc. time:	4 s

Plastic points in current step			
Plastic stress points:	0	Inaccurate:	0
Plastic interface points:	0	Inaccurate:	0
Tension points:	0	Cap/Hard points:	0
		Tolerated:	0
		Tolerated:	0
		Apex points:	0

Forming preconditioner

Cancel

Şekil Ek-21. Hesaplama bilgi penceresi

Analiz sonuçları Output () ve Curves () programları çalıştırılarak incelenebilir.

Ek-2 Kum Zeminlerde Desteksiz Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-1. Çok gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)					
	Yer altı suyu yok	Yer altı suyu yüzeyde	Yer altı su seviyesi: -2 m	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	2.09	0.385	2.13	2.11	2.10	2.09
1.5	2.78		2.80	2.80	2.79	
1.6			2.80			
1.7				2.88	2.90	2.90
1.75	2.89		2.71			
1.8	2.90			2.92	2.93	2.90
1.9				2.97		
2	2.99	0.550	6.58	3.01	3.01	2.99
2.3		0.543		3.14		
2.4	2.99					
2.45	3.44					
2.5				7.22	8.52	13.73
2.55				10.75	14.68	
2.6		0.591				
2.8		1.04				
3.0		1.99				

Çizelge Ek-2. Çok gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok gevşek kum	Kazı derinliği (m)	Yanal def. (mm)	Yanal Def./Kazı Derinliği
Yer altı suyu yok	1	2.09	0.00209
	1.5	2.78	0.001853333
	1.75	2.89	0.001651429
	1.8	2.9	0.001611111
	2	2.99	0.001495
	2.4	2.99	0.001245833
	2.45	3.44	0.001404082
Yer altı suyu yüzeyde	1	0.385	0.000385
	2	0.55	0.000275
	2.3	0.543	0.000236087
	2.6	0.591	0.000227308
	2.8	1.04	0.000371429
	3	1.99	0.000663333
Yer altı suyu -2 m derinlikte	1	2.13	0.00213
	1.5	2.8	0.001866667
	1.6	2.8	0.00175
	1.75	2.71	0.001548571
	2	6.58	0.00329
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	2.11	0.00211
	1.5	2.8	0.001866667
	1.7	2.88	0.001694118
	1.8	2.92	0.001622222
	1.9	2.97	0.001563158
	2	3.01	0.001505
	2.3	3.14	0.001365217
	2.5	7.22	0.002888
	2.55	10.75	0.004215686

Çizelge Ek-2. (Devam) Çok gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok gevşek kum	Kazı derinliği (m)	Yanal def. (mm)	Yanal Def./Kazı Derinliği
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	2.1	0.0021
	1.5	2.79	0.00186
	1.7	2.9	0.001705882
	1.8	2.93	0.001627778
	2	3.01	0.001505
	2.5	8.52	0.003408
	2.55	14.68	0.005756863
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	2.09	0.00209
	1.7	2.9	0.001705882
	1.8	2.9	0.001611111
	2	2.99	0.001495
	2.5	13.73	0.005492

Çizelge Ek-3. Gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)					
	Yer altı suyu yok	Yer altı suyu yüzeyde	Yer altı su seviyesi: -2 m	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	1.83	0.656	1.84	1.83	1.83	1.83
1.5	2.49		2.45	2.50	2.49	2.49
1.7	2.62					
1.75			2.57	2.67	2.65	2.64
1.8	2.66		2.56	2.69	2.66	2.66
1.85	2.67		2.50	2.71		2.67
1.9	2.65					
2	2.68	0.960	2.44	2.74	2.68	2.68

Çizelge Ek-3. (Devam) Gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)					
	Yer altı suyu yok	Yer altı suyu yüzeyde	Yer altı su seviyesi: -2 m	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
2.1		0.956				
2.2	2.67	0.955			2.68	
2.3			4.16			
2.4	2.64				5.03	
2.5		0.935	5.91			
2.55						10.84
2.6				5.05	7.78	
2.65				10.29		
2.7		5.74				

Çizelge Ek-4. Gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Gevşek kum	Kazı derinliği (m)	Yanal def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu yok	1	1.83	0.00183
	1.5	2.49	0.00166
	1.7	2.62	0.001541176
	1.8	2.66	0.001477778
	1.85	2.67	0.001443243
	1.9	2.65	0.001394737
	2	2.68	0.00134
	2.2	2.67	0.001213636
	2.4	2.64	0.0011
Yer altı suyu yüzeyde	1	0.656	0.000656
	2	0.96	0.00048
	2.1	0.956	0.000455238
	2.2	0.955	0.000434091
	2.5	0.935	0.000374
	2.7	5.74	0.002125926

Çizelge Ek-4. (Devam) Gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Gevşek kum	Kazı derinliği (m)	Yanal def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu -2 m derinlikte	1	1.84	0.00184
	1.5	2.45	0.001633333
	1.75	2.57	0.001468571
	1.85	2.5	0.001351351
	2	2.44	0.00122
	2.3	4.16	0.001808696
	2.5	5.91	0.002364
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	1.83	0.00183
	1.8	2.69	0.001494444
	1.85	2.71	0.001464865
	2	2.74	0.00137
	2.6	5.05	0.001942308
	2.65	10.29	0.003883019
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	1.83	0.00183
	1.5	2.49	0.00166
	1.75	2.65	0.001514286
	1.8	2.66	0.001477778
	2.2	2.68	0.001218182
	2.4	5.03	0.002095833
	2.6	7.78	0.002992308
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	1.83	0.00183
	1.5	2.49	0.00166
	1.75	2.64	0.001508571
	1.8	2.66	0.001477778
	1.85	2.67	0.001443243
	2	2.68	0.00134
	2.55	10.84	0.00425098

Çizelge Ek-5. Orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)					
	Yer altı suyu yok	Yer altı suyu yüzeyde	Yer altı su seviyesi: -2 m	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	1.69	0.687	1.46	1.46	1.46	1.46
1.5	2.32	0.936	1.97	1.99	1.99	1.99
1.55	2.36				2.02	
1.6	2.41				2.05	2.05
1.7		0.989	2.06	2.11	2.10	2.10
1.75	2.49		2.06	2.12		
1.8		1				
1.9		0.99				
2	2.58	1	2.01	2.14	2.12	2.11
2.2	2.53		4.15	3.73	4.48	4.65
2.4	2.48					10.43
2.6	2.42					
2.7	2.42					

Çizelge Ek-6. Orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Orta sıkı kum	Kazı Derinliği (m)	Yanal def. (mm)	Yanal def./Kazı derinliği
Yer altı suyu yok	1	1.69	0.00169
	1.5	2.32	0.001546667
	1.55	2.36	0.001522581
	1.75	2.49	0.001422857
	2	2.58	0.00129
	2.2	2.53	0.00115
	2.4	2.48	0.001033333
	2.6	2.42	0.000930769
	2.7	2.42	0.000896296

Çizelge Ek-6. (Devam) Orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Orta sıkı kum	Kazı Derinliği (m)	Yanal def. (mm)	Yanal def./Kazı derinliği
Yer altı suyu yüzeyde	1	0.687	0.000687
	1.5	0.936	0.000624
	1.7	0.989	0.000581765
	1.8	1	0.000555556
	1.9	0.99	0.000521053
	2	1	0.0005
Yer altı suyu -2 m derinlikte	1	1.46	0.00146
	1.5	1.97	0.001313333
	1.7	2.06	0.001211765
	1.75	2.06	0.001177143
	2	2.01	0.001005
	2.2	4.15	0.001886364
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	1.46	0.00146
	1.5	1.99	0.001326667
	1.7	2.11	0.001241176
	1.75	2.12	0.001211429
	2	2.14	0.00107
	2.2	3.73	0.001695455
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	1.46	0.00146
	1.5	1.99	0.001326667
	1.55	2.02	0.001303226
	1.6	2.05	0.00128125
	1.7	2.1	0.001235294
	2	2.12	0.00106
	2.2	4.48	0.002036364
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	1.46	0.00146
	1.5	1.99	0.001326667
	1.6	2.05	0.00128125
	1.7	2.1	0.001235294
	2	2.11	0.001055
	2.2	4.65	0.002113636
	2.4	10.43	0.004345833

Çizelge Ek-7. Sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliğı (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)					
	Yer altı suyu yok	Yer altı suyu yüzeyde	Yer altı su seviyesi: -2 m	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	0.927	0.510	0.927	0.927	0.927	0.927
1.2	1.09					
1.25	1.12					
1.30	1.16					
1.4	1.22					
1.5	1.28		1.28	1.28	1.28	1.28
1.6	1.34					
1.7	1.38		1.38	1.38	1.38	
1.8	1.41					
2	1.45	0.798	1.45	1.45	1.45	1.45
2.4	1.44		2.01	1.44	1.44	1.44
2.5		1.21	3.47			
2.6	3.81		5.71	3.81	3.81	3.81
2.8	7.46		15.53	7.46		
2.9				10.28		
3	14.29	8.42		14.29	14.29	14.29
3.1		12.19				

Çizelge Ek-8. Sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları

Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Derinliğı (m)	Yanal def. (mm)	Yanal def./Kazı derinliğı
Yer altı suyu yok	1	0.927	0.000927
	1.2	1.09	0.000908333
	1.25	1.12	0.000896
	1.3	1.16	0.000892308
	1.4	1.22	0.000871429
	1.5	1.28	0.000853333
	1.6	1.34	0.0008375
	1.7	1.38	0.000811765
	1.8	1.41	0.000783333
	2	1.45	0.000725
	2.4	1.44	0.0006
	2.6	3.81	0.001465385
	2.8	7.46	0.002664286
	3	14.29	0.004763333
Yer altı suyu yüzeyde	1	0.51	0.00051
	2	0.798	0.000399
	2.5	1.21	0.000484
	3	8.42	0.002806667
	3.1	12.19	0.003932258
Yer altı suyu -2 m derinlikte	1	0.927	0.000927
	1.5	1.28	0.000853333
	1.7	1.38	0.000811765
	2	1.45	0.000725
	2.4	2.01	0.0008375
	2.5	3.47	0.001388
	2.6	5.71	0.002196154
	2.8	15.53	0.005546429

Çizelge Ek-8. (Devam) Sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Derinliği (m)	Yanal def. (mm)	Yanal def./Kazı derinliği
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	0.927	0.000927
	1.5	1.28	0.000853333
	1.7	1.38	0.000811765
	2	1.45	0.000725
	2.4	1.44	0.0006
	2.6	3.81	0.001465385
	2.8	7.46	0.002664286
	2.9	10.28	0.003544828
	3	14.29	0.004763333
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	0.927	0.000927
	1.5	1.28	0.000853333
	1.7	1.38	0.000811765
	2	1.45	0.000725
	2.4	1.44	0.0006
	2.6	3.81	0.001465385
	3	14.29	0.004763333
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	0.927	0.000927
	1.5	1.28	0.000853333
	2	1.45	0.000725
	2.4	1.44	0.0006
	2.6	3.81	0.001465385
	3	14.29	0.004763333

Çizelge Ek-9. Çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)					
	Yer altı suyu yok	Yer altı suyu yüzeyde	Yer altı su seviyesi: -2 m	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	0.653	0.386	0.677	0.677	0.677	0.677
1.5	0.900	0.532	0.900	0.900	0.900	0.900
1.7	0.969	0.573	0.969			
2	1.03	0.611	1.03	1.03	1.03	1.03
2.4	1.06	0.625	0.942	1.06	1.06	1.06
2.6	1.07	0.635	0.891	1.07	1.07	1.07
2.8			1.94			
2.9			3.07			
3	1.44	0.826		1.44	1.44	1.44
3.2		1.46		2.63	2.63	2.63
3.4	4.42	2.50		4.42	4.42	4.42
3.5		3.20				
3.6		4.52				

Çizelge Ek-10. Çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal def./Kazı derinliği
Yer altı suyu yok	1	0.653	0.000653
	1.5	0.9	0.0006
	1.7	0.969	0.00057
	2	1.03	0.000515
	2.4	1.06	0.000441667
	2.6	1.07	0.000411538
	3	1.44	0.00048
	3.4	4.42	0.0013

Çizelge Ek-10. (Devam) Çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal def./Kazı derinliği
Yer altı suyu yüzeyde	1	0.386	0.000386
	1.5	0.532	0.000354667
	1.7	0.573	0.000337059
	2	0.611	0.0003055
	2.4	0.625	0.000260417
	2.6	0.635	0.000244231
	3	0.826	0.000275333
	3.2	1.46	0.00045625
	3.4	2.5	0.000735294
	3.5	3.2	0.000914286
	3.6	4.52	0.001255556
Yer altı suyu -2 m derinlikte	1	0.677	0.000677
	1.5	0.9	0.0006
	1.7	0.969	0.00057
	2	1.03	0.000515
	2.4	0.942	0.0003925
	2.6	0.891	0.000342692
	2.8	1.94	0.000692857
	2.9	3.07	0.001058621
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	0.677	0.000677
	1.5	0.9	0.0006
	2	1.03	0.000515
	2.4	1.06	0.000441667
	2.6	1.07	0.000411538
	3	1.44	0.00048
	3.2	2.63	0.000821875
	3.4	4.42	0.0013

Çizelge Ek-10. (Devam) Çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok Sıkı Kum Zemin Modeli	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal def./Kazı derinliği
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	0.677	0.000677
	1.5	0.9	0.0006
	2	1.03	0.000515
	2.4	1.06	0.000441667
	2.6	1.07	0.000411538
	3	1.44	0.00048
	3.2	2.63	0.000821875
	3.4	4.42	0.0013
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	0.677	0.000677
	1.5	0.9	0.0006
	2	1.03	0.000515
	2.4	1.06	0.000441667
	2.6	1.07	0.000411538
	3	1.44	0.00048
	3.2	2.63	0.000821875
	3.4	4.42	0.0013

Ek-3 Kum Zeminlerde Çelik Palplanj ile Destekli Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-11.Çok gevşek kum model analizleri neticesinde çelik palplanj eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1	0.820
1.5	1.13
1.75	1.41
2	1.87
2.25	2.40
2.5	2.95
2.75	3.69
3.00	4.39
4.50	7.67
6.00	11.77
7.50	16.38
9.00	21.72

Çizelge Ek-12. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.00	0.705
1.50	0.891
1.75	1.15
2.00	1.63
2.25	2.22
2.50	2.83
2.75	3.45
3.00	4.36
4.50	7.86
6.00	11.63
7.50	16.04
9.00	20.54

Çizelge Ek-13. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.00	0.660
1.50	0.926
1.75	1.05
2.00	1.34
2.25	1.91
2.50	2.50
2.75	3.04
3.00	3.94
4.50	7.85
6.00	11.04
7.50	15.07
9.00	18.33

Çizelge Ek-14. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.00	0.382
1.50	0.590
1.75	0.666
2.00	0.919
2.25	1.27
2.50	1.68
2.75	2.14
3.00	2.75
4.50	6.50
6.00	9.27
7.50	12.02
9.00	14.24

Çizelge Ek-15. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.00	0.281
1.50	0.426
1.75	0.531
2.00	0.751
3.00	1.98
4.50	4.65
6.00	7.08
7.50	9.13
9.00	10.82

Ek-4 Kum Zeminlerde Payandalı Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-16. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	1.13
3.00	1.83
4.50	3.08
6.00	4.28
7.50	4.02
9.00	7.86
12.00	10.21

Çizelge Ek-17. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş gevşek kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.642
3.00	1.33
4.50	1.88
6.00	3.19
7.50	3.35
9.00	6.55
12.00	7.48

Çizelge Ek-18. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.481
3.00	1.01
4.50	1.45
6.00	2.75
7.50	2.61
9.00	5.41
12.00	7.46

Çizelge Ek-19. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.385
3.00	0.784
4.50	1.14
6.00	2.01
7.50	1.99
9.00	3.79
12.00	5.33

Çizelge Ek-20. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok sıkı kum model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.340
3.00	0.712
4.50	1.04
6.00	1.84
7.50	1.84
9.00	3.34
12.00	4.35

Ek-5 Kum Zeminlerde Betonarme Perde Duvar ile Desteklenmiş Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-21. Çok gevşek kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.982
3.00	1.37
4.50	1.32
6.00	1.59
7.50	2.17
9.00	2.59
12.00	3.13

Çizelge Ek-22. Gevşek kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.883
3.00	1.29
4.50	1.28
6.00	1.55
7.50	2.10
9.00	2.59
12.00	3.00

Çizelge Ek-23. Orta sıkı kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.730
3.00	0.778
4.50	1.03
6.00	1.39
7.50	1.87
9.00	2.54

Çizelge Ek-24. Sıkı kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.486
3.00	0.492
4.50	0.493
6.00	0.675
7.50	0.943
9.00	1.41
12.00	2.04

Çizelge Ek-25. Çok sıkı kum model analizleri neticesinde betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş kazı durumunda elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.390
3.00	0.396
4.50	0.382
6.00	0.520
7.50	0.740
9.00	0.969
12.00	1.41

Ek-6 Kil Zeminlerde Desteksiz Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-26. Çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon Miktarları (mm)			
	Yer altı suyu yok	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	5.64	5.64	5.64	5.64
1.5	9.07			
1.7	10.28			
1.9	11.48			
2		12.08	12.08	12.08
2.2	13.28			
2.5	15.08			
2.75	16.57			
3	18.05	18.04	18.05	18.05
3.5	21.22			
4	24.45	24.45	24.45	24.45
4.5	27.75			
5	35.70	27.45	35.70	35.70
5.5	55.96		55.97	
6	78.73	50.35	78.73	78.73
6.5	79.86			
7	113.42	62.35	82.94	
7.5	164.49	79.10	101.10	163.82
8			161.75	

Çizelge Ek-27. Çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok Yumuşak Kil	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu yok	1	5.64	0.00564
	1.5	9.07	0.006046667
	1.7	10.28	0.006047059
	1.9	11.48	0.006042105
	2.2	13.28	0.006036364
	2.5	15.08	0.006032
	2.75	16.57	0.006025455
	3	18.05	0.006016667
	3.5	21.22	0.006062857
	4	24.45	0.0061125
	4.5	27.75	0.006166667
	5	35.7	0.00714
	5.5	55.96	0.010174545
	6	78.73	0.013121667
	6.5	79.86	0.012286154
	7	113.42	0.016202857
	7.5	164.49	0.021932
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	5.64	0.00564
	2	12.08	0.00604
	3	18.04	0.006013333
	4	24.45	0.0061125
	5	27.45	0.00549
	6	50.35	0.008391667
	7	62.35	0.008907143
	7.5	79.1	0.010546667

Çizelge Ek-27. (Devam) Çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok Yumuşak Kil	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	5.64	0.00564
	2	12.08	0.00604
	3	18.05	0.006016667
	4	24.45	0.0061125
	5	35.7	0.00714
	5.5	55.97	0.010176364
	6	78.73	0.013121667
	7	82.94	0.011848571
	7.5	101.1	0.01348
	8	161.75	0.02021875
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	5.64	0.00564
	2	12.08	0.00604
	3	18.05	0.006016667
	4	24.45	0.0061125
	5	35.7	0.00714
	6	78.73	0.013121667
	7.5	163.82	0.021842667

Çizelge Ek-28. Yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)			
	Yer altı suyu yok	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	3.47	3.16	3.47	3.47
2	6.89	6.30	6.89	6.89
3	10.33	10.13	10.33	10.33
4	14.60	13.65	14.56	14.56
5	18.28	14.10	18.28	18.28
6	22.08	16.44	22.08	22.08
7	25.15	16.13	21.35	
8	39.80	24.84	34.40	39.80
8.5	48.06			
9	100.90	29.95	68.02	96.27
10	160.50	33.24	91.38	138.36
11	277.99	50.31	108.95	195.61
12		58.08	131.02	246.42
13		66.49	145.27	321.90

Çizelge Ek-29. Yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Yumuşak Kil	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu yok	1	3.47	0.00347
	2	6.89	0.003445
	3	10.33	0.003443333
	4	14.6	0.00365
	5	18.28	0.003656
	6	22.08	0.00368
	7	25.15	0.003592857
	8	39.8	0.004975
	8.5	48.06	0.005654118
	9	100.9	0.011211111
	10	160.5	0.01605
	11	277.99	0.025271818
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	3.16	0.00316
	2	6.3	0.00315
	3	10.13	0.003376667
	4	13.65	0.0034125
	5	14.1	0.00282
	6	16.44	0.00274
	7	16.13	0.002304286
	8	24.84	0.003105
	9	29.95	0.003327778
	10	33.24	0.003324
	11	50.31	0.004573636
	12	58.08	0.00484
	13	66.49	0.005114615

Çizelge Ek-29. (Devam) Yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları

Yumuşak Kil	Kazı Derinliğı (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliğı
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	3.47	0.00347
	2	6.89	0.003445
	3	10.33	0.003443333
	4	14.56	0.00364
	5	18.28	0.003656
	6	22.08	0.00368
	7	21.35	0.00305
	8	34.4	0.0043
	9	68.02	0.007557778
	10	91.38	0.009138
	11	108.95	0.009904545
	12	131.02	0.010918333
	13	145.27	0.011174615
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	3.47	0.00347
	2	6.89	0.003445
	3	10.33	0.003443333
	4	14.56	0.00364
	5	18.28	0.003656
	6	22.08	0.00368
	8	39.8	0.004975
	9	96.27	0.010696667
	10	138.36	0.013836
	11	195.61	0.017782727
	12	246.42	0.020535
	13	321.9	0.024761538

Çizelge Ek-30. Orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)			
	Yer altı suyu yok	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	2.86	2.83	2.83	2.86
2	5.71	5.62	5.62	5.71
3	8.91	8.44	8.44	8.91
4	12.49	11.31	11.36	12.49
5	15.67	12.01	14.54	15.67
6	18.89	13.77	17.81	18.88
7	20.01	16.64	16.63	20.02
8	23.73	12.73	19.66	23.73
9	49.88	21.28	30.86	48.03
10	66.85	23.34	43.46	62.30
11	91.31	27.46	50.33	77.96
12	118.89	31.22	58.25	88.47

Çizelge Ek-31. Orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları

Orta Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu yok	1	2.86	0.00286
	2	5.71	0.002855
	3	8.91	0.00297
	4	12.49	0.0031225
	5	15.67	0.003134
	6	18.89	0.003148333
	7	20.01	0.002858571
	8	23.73	0.00296625
	9	49.88	0.005542222
	10	66.85	0.006685
	11	91.31	0.008300909
	12	118.89	0.0099075
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	2.83	0.00283
	2	5.62	0.00281
	3	8.44	0.002813333
	4	11.31	0.0028275
	5	12.01	0.002402
	6	13.77	0.002295
	7	16.64	0.002377143
	8	12.73	0.00159125
	9	21.28	0.002364444
	10	23.34	0.002334
	11	27.46	0.002496364
	12	31.22	0.002601667

Çizelge Ek-31. (Devam) Orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Orta Katı Kil Zemin Modeli	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	2.83	0.00283
	2	5.62	0.00281
	3	8.44	0.002813333
	4	11.36	0.00284
	5	14.54	0.002908
	6	17.81	0.002968333
	7	16.63	0.002375714
	8	19.66	0.0024575
	9	30.86	0.003428889
	10	43.46	0.004346
	11	50.33	0.004575455
	12	58.25	0.004854167
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	2.86	0.00286
	2	5.71	0.002855
	3	8.91	0.00297
	4	12.49	0.0031225
	5	15.67	0.003134
	6	18.88	0.003146667
	7	20.02	0.00286
	8	23.73	0.00296625
	9	48.03	0.005336667
	10	62.3	0.00623
	11	77.96	0.007087273
	12	88.47	0.0073725

Çizelge Ek-32. Katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)			
	Yer altı suyu yok	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	2.20	2.20	2.20	2.20
2	4.37	4.37	4.37	4.37
3	6.57	6.57	6.57	6.57
4	8.82	8.82	8.82	8.82
5	11.13	9.73	11.13	11.13
6	13.48	12.57	13.48	13.48
7	16.04	15.91	15.28	16.04
8	20.52	20.32	19.47	20.52
9	27.74	21.77	25.36	27.21
10	32.68	24.37	28.83	32.10
11	37.65	28.14	32.13	36.34
12	42.37	30.66	35.14	38.76

Çizelge Ek-33. Katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları

Katı Kil	Kazı Derinliğı (m)	Yanal Def.(mm)	Yanal Def/Kazı Derinliğı
Yer altı suyu yok	1	2.2	0.0022
	2	4.37	0.002185
	3	6.57	0.00219
	4	8.82	0.002205
	5	11.13	0.002226
	6	13.48	0.002246667
	7	16.04	0.002291429
	8	20.52	0.002565
	9	27.74	0.003082222
	10	32.68	0.003268
	11	37.65	0.003422727
	12	42.37	0.003530833
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	2.2	0.0022
	2	4.37	0.002185
	3	6.57	0.00219
	4	8.82	0.002205
	5	9.73	0.001946
	6	12.57	0.002095
	7	15.91	0.002272857
	8	20.32	0.00254
	9	21.77	0.002418889
	10	24.37	0.002437
	11	28.14	0.002558182
	12	30.66	0.002555

Çizelge Ek-33. (Devam) Katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları

Katı Kil	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def.(mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	2.2	0.0022
	2	4.37	0.002185
	3	6.57	0.00219
	4	8.82	0.002205
	5	11.13	0.002226
	6	13.48	0.002246667
	7	15.28	0.002182857
	8	19.47	0.00243375
	9	25.36	0.002817778
	10	28.83	0.002883
	11	32.13	0.002920909
	12	35.14	0.002928333
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	2.2	0.0022
	2	4.37	0.002185
	3	6.57	0.00219
	4	8.82	0.002205
	5	11.13	0.002226
	6	13.48	0.002246667
	7	16.04	0.002291429
	8	20.52	0.002565
	9	27.21	0.003023333
	10	32.1	0.00321
	11	36.34	0.003303636
	12	38.76	0.00323

Çizelge Ek-34. Çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)			
	Yer altı suyu yok	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	1.99	1.99	1.99	1.99
2	3.95	3.95	3.95	3.95
3	5.94	5.94	5.94	5.94
4	8.00	8.00	8.00	8.00
5	10.30	9.89	10.30	10.30
6	14.65	14.26	14.65	14.65
7	18.11	17.62	17.46	18.11
8	23.01	22.17	22.09	23.01
9	30.43	24.35	28.02	29.99
10	35.89	27.41	32.13	35.22
11	41.44	31.67	35.86	39.93
12	46.79	34.68	39.33	43.08

Çizelge Ek-35. Çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanal deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok Katı Kil	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu yok	1	1.99	0.00199
	2	3.95	0.001975
	3	5.94	0.00198
	4	8	0.002
	5	10.3	0.00206
	6	14.65	0.002441667
	7	18.11	0.002587143
	8	23.01	0.00287625
	9	30.43	0.003381111
	10	35.89	0.003589
	11	41.44	0.003767273
	12	46.79	0.003899167
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	1.99	0.00199
	2	3.95	0.001975
	3	5.94	0.00198
	4	8	0.002
	5	9.89	0.001978
	6	14.26	0.002376667
	7	17.62	0.002517143
	8	22.17	0.00277125
	9	24.35	0.002705556
	10	27.41	0.002741
	11	31.67	0.002879091
	12	34.68	0.00289

Çizelge Ek-35. (Devam) Çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Çok Katı Kil	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	1.99	0.00199
	2	3.95	0.001975
	3	5.94	0.00198
	4	8	0.002
	5	10.3	0.00206
	6	14.65	0.002441667
	7	17.46	0.002494286
	8	22.09	0.00276125
	9	28.02	0.003113333
	10	32.13	0.003213
	11	35.86	0.00326
	12	39.33	0.0032775
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	1.99	0.00199
	2	3.95	0.001975
	3	5.94	0.00198
	4	8	0.002
	5	10.3	0.00206
	6	14.65	0.002441667
	7	18.11	0.002587143
	8	23.01	0.00287625
	9	29.99	0.003332222
	10	35.22	0.003522
	11	39.93	0.00363
	12	43.08	0.00359

Çizelge Ek-36. Sert kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliğı (m)	Yanal deformasyon miktarları (mm)			
	Yer altı suyu yok	Yer altı su seviyesi: -4 m	Yer altı su seviyesi: -6 m	Yer altı su seviyesi: -8 m
1	0.949	0.949	0.949	0.949
2	1.89	1.89	1.89	1.89
3	2.84	2.84	2.84	2.84
4	3.99	3.99	3.99	3.99
5	6.22	6.04	6.22	6.22
6	8.74	8.49	8.74	8.74
7	10.72	10.32	10.44	10.72
8	13.54	12.84	13.14	13.54
9	17.60	14.48	16.37	17.42
10	20.78	16.43	18.92	20.40
11	24.03	19.00	21.20	23.18
12	27.21	20.94	23.35	25.29

Çizelge Ek-37. Sert kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliğı oranları

Sert Kil Zemin Modeli	Kazı Derinliğı (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliğı
Yer altı suyu yok	1	0.949	0.000949
	2	1.89	0.000945
	3	2.84	0.000946667
	4	3.99	0.0009975
	5	6.22	0.001244
	6	8.74	0.001456667
	7	10.72	0.001531429
	8	13.54	0.0016925
	9	17.6	0.001955556
	10	20.78	0.002078
	11	24.03	0.002184545
	12	27.21	0.0022675
Yer altı suyu -4 m derinlikte	1	0.949	0.000949
	2	1.89	0.000945
	3	2.84	0.000946667
	4	3.99	0.0009975
	5	6.04	0.001208
	6	8.49	0.001415
	7	10.32	0.001474286
	8	12.84	0.001605
	9	14.48	0.001608889
	10	16.43	0.001643
	11	19	0.001727273
	12	20.94	0.001745

Çizelge Ek-37. (Devam) Sert kil model analizleri neticesinde elde edilen desteksiz kazı durumunda yanıl deformasyon/kazı derinliği oranları

Sert Kil Zemin Modeli	Kazı Derinliği (m)	Yanal Def. (mm)	Yanal Def/Kazı Derinliği
Yer altı suyu -6 m derinlikte	1	0.949	0.000949
	2	1.89	0.000945
	3	2.84	0.000946667
	4	3.99	0.0009975
	5	6.22	0.001244
	6	8.74	0.001456667
	7	10.44	0.001491429
	8	13.14	0.0016425
	9	16.37	0.001818889
	10	18.92	0.001892
	11	21.2	0.001927273
	12	23.35	0.001945833
Yer altı suyu -8 m derinlikte	1	0.949	0.000949
	2	1.89	0.000945
	3	2.84	0.000946667
	4	3.99	0.0009975
	5	6.22	0.001244
	6	8.74	0.001456667
	7	10.72	0.001531429
	8	13.54	0.0016925
	9	17.42	0.001935556
	10	20.4	0.00204
	11	23.18	0.002107273
	12	25.29	0.0021075

Ek-7 Kil Zeminlerde Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-38. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	5.43
3.00	11.30
4.50	18.85
6.00	27.69
7.50	37.76
9.00	48.89
10.50	60.26
12.00	69.22

Çizelge Ek-39. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	3.76
3.00	8.01
4.50	13.00
6.00	18.75
7.50	25.41
9.00	33.45
10.50	42.86
12.00	51.87

Çizelge Ek-40. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	3.53
3.00	7.25
4.50	11.59
6.00	16.97
7.50	22.95
9.00	29.50
10.50	36.69
12.00	44.82

Çizelge Ek-41. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	3.02
3.00	6.24
4.50	9.81
6.00	13.73
7.50	18.04
9.00	22.75
10.50	27.68
12.00	31.90

Çizelge Ek-42. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	2.93
3.00	6.12
4.50	9.69
6.00	14.06
7.50	18.00
9.00	22.30
10.50	27.25
12.00	30.00

Çizelge Ek-43. Çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sert kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	1.71
3.00	3.69
4.50	6.27
6.00	9.32
7.50	12.67
9.00	16.37
10.50	20.10
12.00	23.43

Ek-8 Kil Zeminlerde Payandalı Çelik Palplanj ile Desteklenmiş Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-44. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	4.66
3.00	9.92
4.50	14.81
6.00	22.08
7.50	23.73
9.00	30.18
12.00	22.25

Çizelge Ek-45. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	3.21
3.00	7.00
4.50	10.67
6.00	15.53
7.50	18.39
9.00	23.35
12.00	19.99

Çizelge Ek-46. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	2.97
3.00	6.26
4.50	9.80
6.00	14.56
7.50	18.04
9.00	22.65
12.00	21.37

Çizelge Ek-47. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	2.50
3.00	5.25
4.50	7.59
6.00	11.00
7.50	13.38
9.00	17.01
12.00	16.94

Çizelge Ek-48. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	2.30
3.00	4.91
4.50	6.92
6.00	10.13
7.50	12.24
9.00	15.98
12.00	16.62

Çizelge Ek-49. Payanda destekli çelik palplanj eleman ile desteklenmiş sert kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	1.19
3.00	2.66
4.50	3.53
6.00	5.41
7.50	6.25
9.00	8.68
12.00	10.96

Ek-9 Kil Zeminlerde Betonarme Perde ile Desteklenmiş Kazı Durumunda Elde Edilen Sonuçlar

Çizelge Ek-50. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş çok yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.162
3.00	0.342
4.50	0.539
6.00	0.753
7.50	0.963
9.00	1.09
10.50	1.06

Çizelge Ek-51. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş yumuşak kil model analizleri neticesinde elde edilen yanıl deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.108
3.00	0.228
4.50	0.359
6.00	0.499
7.50	0.634
9.00	0.710
10.50	0.681

Çizelge Ek-52. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş orta katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.101
3.00	0.214
4.50	0.339
6.00	0.470
7.50	0.593
9.00	0.658
10.50	0.626

Çizelge Ek-53. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.087
3.00	0.183
4.50	0.289
6.00	0.398
7.50	0.500
9.00	0.550
10.50	0.521

Çizelge Ek-54. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş çok katı kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.083
3.00	0.174
4.50	0.273
6.00	0.375
7.50	0.472
9.00	0.522
10.50	0.498

Çizelge Ek-55. Betonarme perde duvar eleman ile desteklenmiş sert kil model analizleri neticesinde elde edilen yanal deformasyon miktarları (mm)

Kazı derinliği (m)	Yanal Deformasyon (mm)
	Yer altı suyu yok
1.50	0.064
3.00	0.131
4.50	0.200
6.00	0.266
7.50	0.324
9.00	0.368
10.50	0.392
12.00	0.404