

**AŞIRI KONSOLİDE KİLLERDEKİ KAZIK
DAVRANIŞLARININ ARAZİ ÖLÇÜMLERİ VE
NUMERİK ANALİZLERLE KARŞILAŞTIRILMASI**

İlknur AŐLAMİŐ ÇEVİK
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Nisan– 2005

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

İlknur AĞLAMİŞ ÇEVİK'in Aşırı Konsolide Killerdeki Kazık Davranışlarının Arazi Ölçümleri ve Numerik Analizlerle Karşılaştırılması başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi **06.04.2005** 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	: Doç. Dr. Bekir KARASU
Üye	: Yard. Doç. Dr. Yücel GÜNEY
Üye	:
Üye	:

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AŞIRI KONSOLİDE KİLLERDEKİ KAZIK DAVRANIŞLARININ ARAZİ ÖLÇÜMLERİ VE NUMERİK ANALİZLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

İLKNUR AĞLAMIŞ ÇEVİK

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

2005, 130 sayfa

Bu çalışmada, geleneksel kazıklı temellere alternatif olarak ortaya çıkan kazıklı radye temeller incelenmiş ve bu temeller ile ilgili hesap yöntemleri verilmiştir. Bu amaçla, aşırı konsolide killi zeminlere oturan Westend 1 ve Messe-Torhous yapılarına ait kazıklı radye temeller, sonlu elemanlar yöntemi ile iki boyutlu elastoplastik analiz yapabilen PLAXIS programı ile analiz edilmiştir. PLAXIS'den elde edilen sonuçlar, literatürde verilmiş olan arazi sonuçları ile karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, Westend 1 yapısı için elde edilen sonuçlar, literatürden elde edilen 8 farklı analiz yöntemi ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, PLAXIS'den elde edilen sonuçların, arazi ölçüm değerlerine yakın değerler olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Numerik Modelleme, analiz, kazıklı radye temel, oturma, zemin-yapı etkileşimi

ABSTRACT

Master of Science Thesis

COMPARISON OF IN SITU MEASUREMENTS AND NUMERICAL ANALYSES OF PILED RAFTS IN OVERCONSOLIDATED CLAY

İLKNUR AĞLAMIŞ ÇEVİK

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

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa TUNCAN

2005, 130 pages

In this study, piled raft foundations as an alternative of traditional piled foundations are examined and calculation methods about these foundations are given. For this purpose, two piled raft foundations of the buildings Westend 1 and Messe-Torhous, which lies on overconsolidated clay, are solved with PLAXIS, which can carry out two-dimensional elasto-plastic analysis based on finite-elements methods. The results obtained from PLAXIS have been compared with the in situ measurements and good agreement obtained. Additionally, for Westend 1, the results achieved with the finite-element analysis are compared with the results achieved with eight different analysis methods. As a result, it is observed that the results obtained from PLAXIS are very closed to the results measured from in-situ testing

Keywords: Numerical Modelling, analysis, piled raft foundations, settlement, soil-structure interaction

AILEME.....

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasında verdiği desteklerden dolayı baőtta danışman hocam Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a, değerli hocam Prof. Dr. Ahmet TUNCAN'a, tez jürimde görev alan Doç. Dr. Bekir Karasu ve Yard. Doç. Dr. Yücel Güney'e, bana yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Mustafa Tamer AYVAZ'a, çalıőmalarımnda yardımcı olan Elif TURAN'a, eğitimim boyunca beni sürekli destekleyen anneannem Sadike KARATAŐ, dedem Hüseyin KARATAŐ, annem Muradiye AĞLAMİŞ, babam Recep AĞLAMİŞ, kardeşlerim İlkay, Sadike, Emre AĞLAMİŞ ve eőim Mete ÇEVİK'e teşekkür ederim.

İlknur Ağlamış ÇEVİK

Nisan 2005

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1. AMAÇ VE KAPSAM	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Önceki Çalışmalar.....	2
2. KAZIKLI RADYE TEMELLER İÇİN PRATİK TASARIM YÖNTEMLERİ	5
2.1. Alternatif Tasarım Yöntemleri.....	5
2.2. Hesap Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	8
2.3. Basite İndirgenmiş Yöntemler.....	8
2.3.1. Poulos – Davis- Randolp (PDR) (1980).....	8
2.3.2. Burland (1995).....	10
2.4. Sayısal Çözüm Yöntemleri.....	13
2.4.1. Yaylar tarafından taşınan şerit tanımlama yaklaşımında bulunan yöntemler.....	13
2.4.2. Yaylar üzerinde levha yaklaşımını uygulayan yöntemler.....	14
2.5. Sayısal Modelleme Yöntemleri.....	14
2.5.1. Sınır elemanları yöntemleri.....	14
2.5.2. Sonlu elemanlar yöntemleri.....	15
2.5.3. Üç boyutlu sonlu elemanlar analizi.....	16
2.5.4. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler.....	16

3. TEORİK BİR ÖRNEKLE YÖNTEMLERİN	18
KARŞILAŞTIRILMASI.....	
3.1. Yük- Oturma Çözümlerinin Kıyaslanması.....	20
3.2. Kazık Sayılarının Etkisi.....	22
3.3. Değişen Kazık Uzunluğunun Etkisi.....	23
3.4. Radye Temel Kalınlığının Etkisi.....	24
4. PARAMETRİK ÇALIŞMA.....	26
4.1. Kazık-Zemin Etkileşim Oranının Yer Değiştirme ve Yük Dağılımı Üzerindeki Etkisi.....	28
4.2. Radye – Zemin Rijitlik Oranının Yer Değiştirme ve Yük Dağılımı Üzerindeki Etkisi.....	30
4.3. Kazık Aralığı Oranının Yer Değiştirme ve Yük Dağılımı Üzerindeki Etkisi.....	31
5. BAĞIMSIZ OTURMA AZALTICI KAZIKLAR İLE RADYE	
TEMELLER.....	32
5.1. Giriş.....	32
5.2. Kazıklı Radye Temellerin Şu Anki Uygulamaları ve Gelişmeleri..	33
5.3. Radye Temele Yapısal Olarak Bağlı Oturma Altıcı Kazıklarda Karşılaşılan Problemler.....	38
5.4. Oturma Azaltıcı Kazıklar İle Radye Temel Tasarımına Alternatif Bir Yaklaşım.....	39
5.5. Radye Temele Yapısal Olarak Bağlı Kazıklar İle Bağımsız Kazık Davranışlarının Kıyaslanması.....	41
5.5.1. Temel modelinin detayları.....	41
5.5.2. Kazık kapasitesi.....	43
5.5.3. Radye temelin davranışı.....	44
5.5.4. Kazıkların davranışı.....	47

6. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PLAXIS PROGRAMINA GENEL BAKIŞ.....	51
6.1. Programın Genel Özellikleri.....	51
6.1.1. Noktalar.....	51
6.1.2. Çizgiler.....	51
6.1.3. Sonlu eleman ağları.....	52
6.1.4. Elemanlar.....	52
6.1.5. Düğümler.....	52
6.1.6. Gerilme noktaları.....	53
6.2. Girdi (Input).....	53
6.2.1. Noktalar ve çizgiler.....	55
6.2.2. Kirişler.....	56
6.2.3. Kiriş mafsalları.....	56
6.2.4. Geotekstilller.....	57
6.2.5. Ara Yüzeyler.....	57
6.2.6. Ankrajlar.....	57
6.2.7. Tüneller.....	58
6.2.8. Sabitlemeler.....	58
6.2.9. Önceden tanımlanan yer değiştirmeler.....	59
6.2.10. Kuvvetler.....	60
6.2.11. Malzemelerin tanımlanması.....	61
6.2.12. Ağın Oluşturulması.....	65
6.3. Hesaplamalar (Calculations).....	66
6.4. Çıktılar (Output).....	67
6.5. Eğriler (Curves).....	70
7. SAYISAL UYGULAMALAR.....	71
7.1. Uygulama 1.....	71
7.1.1. Messe Torhaus Yapısı,1983-1985.....	71
7.1.2. Messe Torhaus Yapısının PLAXIS Programı ile Modellenmesi ve Analizi.....	77

7.2. Uygulama 2.....	80
7.2.1. Westend 1 Yapısı, Frankfurt, 1990-1993.....	80
7.2.2. Westend 1 Yapısının PLAXIS Programı ile Modellenmesi ve Analizi.....	84
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR.....	92
EKLER.....	97
EK-1 Torhous Yapısına Ait Plaxis Program Çıktıları.....	97
EK-2 Westend Yapısına Ait Plaxis Program Çıktıları.....	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
2.1. Kazıklı radye temellerin tipik yük – oturma değerleri.....	6
2.2. Kazık – radye sisteminin basite indirgenmiş gösterimi.....	12
2.3. Başlangıç analizleri için basitleştirilmiş yük – oturma eğrisi.....	12
2.4. Burland’ın basitleştirilmiş tasarım yöntemi.....	13
2.5. Çeşitli yöntemlerle analiz edilen basit bir örnek	19
2.6. Kazıklı radye temelin FLAC 3D ile analiz modeli.....	20
3.1. Yük-oturma analizi için çeşitli yöntemlerin kıyaslanması.....	21
3.2. Garp ve yaklaşık analiz yöntemlerinin kıyaslanması.....	22
3.3. Kazık sayısının maksimum yük kapasitesine ve oturmaya olan etkisi.....	23
3.4. Kazık uzunluğunun, 9 kazıklı 0.5 m kalınlığındaki radye temel üzerindeki etkisi.....	24
3.5. Radye kalınlığının temel dayanımına etkisi. 10 m uzunluğunda 9 kazıklı radye, Yük=12 MN.....	25
4.1. Kazık – zemin rijitliğinin, kazıklı radye temelin yer değiştirmesi üzerindeki etkisi.....	26
4.2. Radye – zemin rijitlik oranının, kazıklı radye temelin yer değiştirmesi üzerindeki etkisi.....	27
4.3. Kazık aralığının kazıklı radye temelin yer değiştirmesi üzerindeki etkisi.....	28
4.4. A-A kesiti boyunca ara yüzey üzerindeki kesme basınçlarının varyasyonu.....	29
4.5. Kazık – zemin rijitlik oranının kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi üzerindeki etkisi.....	29
4.6. Radye – zemin rijitlik oranının kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi üzerindeki etkisi.....	30
4.7. Kazık aralığı oranının, kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi üzerindeki etkisi.....	31
5.1. Poulos ve Davis (1980) den sonra, kazık- radye temel sistemi.....	35

5.2.	Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için, 35 m uzunluğundaki oturma azaltıcı kazık diziliminin, hesaplanan kazıklı radye temel davranışına etkisi: (a) oturma; (b) eğilme momenti; (c) kesme kuvveti.....	37
5.3.	Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için, kazık diziliminin, hesaplanan eksenel kazık gerilmesi dağılımına etkisi: (a) 5 kazık ile; (b) 7 kazık ile; (c) 9 kazık ile.....	38
5.4.	Yatay yükler için transfer mekanizması: (a) radye temele yapısal olarak bağlı kazıklar; (b) radye temelden yapısal olarak ayrı kazıklar.....	41
5.5.	Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için düşünülen oturma azaltıcı kazıklar ile radyenin modellenmesi: (a) radyeye yapısal olarak bağlı kazıklar; (b) radyeye yapısal olarak bağlı olmayan kazıklar; (c) uygulanan yük.....	43
5.6.	Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için düşünülen oturma azaltıcı kazık diziliminin, radye temelin davranışına olan etkisi: (a) oturma; (b) eğilme momenti; (c) kesme kuvveti.....	46
5.7.	Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için radye ve kazık arasındaki başlık mesafesinin, radye temelin hesaplanan kesme kuvvetine etkisi.....	48
5.8.	Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için radye temas basınçlarının hesaplanan dağılımı: (a) 35 m uzunluğunda kazıklar; (b) 65 m uzunluğunda kazıklar.....	48

5.9.	Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için eksenel kazık gerilmesinin ve ortalama yüzey sürtünmesinin hesaplanan dağılımı:	
	(a) iç kazıklar; (b) dış kazıklar.....	49
6.1.	Genel ayarlar (model ve eleman tipinin seçimi).....	54
6.2.	Genel ayarlar (birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi).....	54
6.3.	Ana Pencere.....	55
6.4.	Geometri araç çubuğu.....	55
6.5.	Çizgiler ve ağlar.....	56
6.6.	Tünel tipi seçimi ve tünele ait açı, ve yarıçap gibi verilerin girdisi.....	58
6.7.	Önceden tanımlanan yer değiştirme menüsü.....	59
6.8.	Nokta ve yayılı yükler için girdi menüleri.....	60
6.9.	Malzeme tanımlama menüsü.....	61
6.10	Zeminler için data girdileri ve model seçimi.....	62
6.11	Mohr-Coulomb modelinin girdileri.....	63
6.12	Ara yüzey girdileri.....	64
6.13	Kiriş özellikleri girdileri.....	65
6.14	Başlangıç koşulları menüsü.....	66
6.15	Hesaplama menüsü ve hesap evreleri.....	67
6.16	Çıktı menüsü ve ağın deforme olmuş hali.....	68
6.17	Eğri oluşturma menüsü.....	70
7.1.	Messe- Torhaus yapısı, Frankfurt: (a) izometrik görünüm; (b) plan; (c) kazıklı radye temeldeki aygıtların yerleşimi.....	73
7.2.	Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için ölçülen yük-oturma eğrileri).....	74
7.3.	Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için gözlenen zamana bağlı yük oturma davranışı ve yük paylaşımı).....	75
7.4.	Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için derinlikle ölçülen oturma dağılımı).....	76

7.5.	Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için derinlikle ölçülen kazık yükü ve yüzey sürtünmesi dağılımı).....	76
7.6.	Messe Torhous yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli.....	78
7.7.	Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması.....	78
7.8.	Westend 1 yapısı, Frankfurt: (a) plan; (b) boy kesit.....	81
7.9.	Westend 1 yapısı kazıklı radye temeli için ölçülen yük-oturma davranışı.....	82
7.10.	Westend 1 yapısı kazıklı radye temeli için gözlenen zamana bağlı yük-oturma davranışı ve yük paylaşımı, Frankfurt.....	83
7.11.	Westend yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli.....	85
7.12.	Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması.....	86
7.13.	Farklı analiz yöntemleri ile arazi ölçümlerinin kıyaslanması.....	88
EK-1.1	Torhous yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli.....	97
EK-1.2	Başlangıç koşulları altındaki zeminin aşırı boşluk basıncı değeri.....	97
EK-1.3	Başlangıç koşulları altındaki zeminin efektif gerilme değeri.....	98
EK-1.4	Başlangıç koşulları altındaki zeminin toplam yerdeğiştirme değeri.....	98
EK-1.5	Zemin seviyesinden 3m kazı yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri.....	99
EK-1.6	Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri.....	99
EK-1.7	Yayıllı yükün etkimesi durumunda oluşan toplam yerdeğiştirme değeri.....	100

EK-1.8	Zemin seviyesinden 3 m kazı yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	100
EK-1.9	Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	101
EK-1.10	Radye imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	101
EK-1.11	Yayıllı yükün etkimesi durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	102
EK-1.12	Zemin seviyesinden 3 m kazı yapılması durumunda oluşan boşluk basıncı değeri.....	102
EK-1.13	Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan boşluk basıncı değeri.....	103
EK-1.14	Radye imalatının yapılması durumunda oluşan boşluk basıncı değeri.....	103
EK-1.15.	Yayıllı yükün etkimesi durumunda oluşan boşluk basıncı değeri.....	104
EK-1.16.	Kazıkların yaptığı yerdeğiştirme değeri.....	105
EK-1.17.	Kazıklara ait aksenal kuvvet değeri.....	105
EK-1.18.	Kazıklara ait kesme kuvveti değeri.....	106
EK-1.19.	Kazıklara ait eğilme momenti değeri.....	106
EK-1.20.	Radye temele ait yerdeğiştirme değeri.....	107
EK-1.21.	Radye temele ait aksenal kuvvet değeri.....	107
EK-1.22.	Radye temele ait kesme kuvveti değeri.....	108
EK-1.23.	Radye temele ait eğilme momenti değeri.....	108
EK-1.24.	Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması.....	109
EK-1.25.	Hesap aşamaları- yerdeğiştirme eğrisi.....	109
EK-1.26.	Gerilme-şekil değeri için seçilen noktalar.....	110
EK-1.27.	F noktasına ait gerilme- yerdeğiştirme eğrisi.....	111
EK-1.28.	H noktasına ait gerilme- yerdeğiştirme eğrisi.....	111
EK-1.29.	Yük-yerdeğiştirme eğrileri için seçilen noktalar.....	112
EK-1.30.	A noktasına ait boşluk basıncı- yer değeri için seçilen noktalar.....	113
EK-1.31.	B noktasına ait boşluk basıncı- yer değeri için seçilen noktalar.....	113

EK-2.1.	Westend yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli.....	114
EK-2.2.	Başlangıç koşulları altındaki zeminin aşırı boşluk basıncı değeri.....	114
EK-2.3.	Başlangıç koşulları altındaki zeminin efektif gerilme değeri.....	115
EK-2.4.	Başlangıç koşulları altındaki zeminin toplam yerdeğiştirme değeri.....	115
EK-2.5.	Zemin seviyesinden 14.5 m kazı yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri.....	116
EK-2.6.	Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri.....	116
EK-2.7.	Radye imalatının yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri.....	117
EK-2.8.	Yayıllı yükün etkimesi durumunda oluşan toplam yerdeğiştirme değeri.....	117
EK-2.9.	Zemin seviyesinden 14.5 m kazı yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	118
EK-2.10.	Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	118
EK-2.11.	Radye imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	119
EK-2.12.	Yayıllı yükün etkimesi durumunda oluşan efektif gerilme değeri.....	119
EK-2.13.	Zemin seviyesinden 14.5 m kazı yapılmasında oluşan aktif boşluk basıncı değeri.....	120
EK-2.14.	Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan aktif boşluk basıncı değeri.....	120
EK-2.15.	Radye imalatının yapılması durumunda oluşan aktif boşluk basıncı değeri.....	121
EK-2.16.	Yayıllı yükün etkimesi halinde oluşan aktif boşluk	

	basıncı değeri.....	121
EK-2.17.	Kazıkların yaptığı yerdeğiştirme değeri.....	122
EK-2.18.	Kazıklara ait eksenel kuvvet değeri.....	122
EK-2.19.	Kazıklara ait kesme kuvveti değeri.....	123
EK-2.20.	Kazıklara ait eğilme momenti değeri.....	123
EK-2.21.	Radye temeale ait yer değiştirme değeri.....	124
EK-2.22.	Radye temeale ait eksenel kuvvet değeri.....	124
EK-2.23.	Radye temeale ait kesme kuvveti değeri.....	125
EK-2.24.	Radye temeale ait eğilme momenti değeri:	125
EK-2.25.	Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması.....	126
EK-2.26.	Hesap aşamaları-yerdeğiştirme eğrisi.....	126
EK-2.27.	Gerilme- şekil değiştirme eğrileri için seçilen noktalar.....	127
EK-2.28.	D noktasına ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi.....	128
EK-2.29.	E noktasına ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi.....	128
EK-2.30.	Yük-yerdeğiştirme eğrileri için seçilen noktalar.....	129
EK-2.31.	A noktasına ait boşluk basıncı-yerdeğiştirme eğrisi.....	130
EK-2.32.	B noktasına ait boşluk basıncı-yerdeğiştirme değeri.....	130

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
5.1. Eurocode 7'den sonra, kazıklar için kısmi güvenlik sayıları.....	35
5.2. Yük ve malzeme özellikleri için kısmi güvenlik sayıları	39
7.1. Messe-Torhous yapısına ait sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme özellikleri.....	77
7.2. Torhous yapısına ait sonlu elemanlar analizinde,yapım aşamaları.....	79
7.3. Messe-Torhous yapısına ait sonlu eleman analizi ve arazi sonuçları.....	79
7.4. Westend 1 yapısına ait sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme özellikleri.....	84
7.5. Westend yapısına ait sonlu elemanlar analizinde, yapım aşamaları.....	86
7.6. Westend 1 yapısına ait sonlu eleman analizi ve arazi sonuçları.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

K_{pr}	: Kazıklı radye temelin rijitliği
K_p	: Kazık grubunun rijitliği
K_r	: Sadece radyenin rijitliği
α_{cp}	: Radye – kazık etkileşim faktörü
P_r	: Radye tarafından taşınan yük
P_t	: Toplam uygulanan yük
r_c	: Kazık başlığının ortalama yarıçapı
r_o	: Kazık yarıçapı
L	: Kazık uzunluğu
E_r	: Radyenin elastisite modülü
E_s	: Zeminin elastisite modülü
E_{sl}	: Kazık ucu seviyesindeki zeminin elastisite modülü
E_{sb}	: Kazık ucu altındaki taşıyıcı zeminin elastisite modülü
E_{sav}	: Kazık gövdesi boyunca zeminin ortalama elastisite modülü
S_{pr}	: Kazıklı radye temelin oturması
S_r	: Toplam yüke maruz kazıksız radyenin oturması
S_{sf}	: Radyenin oturması
u_x	: Yatay yer değiştirme
u_y	: Düşey yer değiştirme
I_{uxx}	: Normalize edilmiş yatay yer değiştirme
I_{uzz}	: Normalize edilmiş düşey yer değiştirme
q_x	: Üniform yatay yük
q_z	: Üniform düşey yük
L/D	: Kazık narinlik oranı
S/D	: Kazık aralığı oranı,
Q_a	: Kazık üzerindeki müsaade edilebilir yük
Q_u	: Kazığın maksimum geoteknik kapasitesi
Q_s	: Kazığın yüzey sürtünme direnci
Q_b	: Kazığın uç direnci
F_s	: Güvenlik sayısı

R_{bd}	: Kazıkların uç direnci tasarımı
R_{sd}	: Kazıkların yüzey sürtünme direnci tasarımı
R_{bk}	: Kazık uç direnci özelliği
R_{sk}	: Kazıkların yüzey sürtünme direnci özelliği
γ_b, γ_s	: Kısmi güvenlik sayıları
γ_f	: Yük faktörü
p	: Temas basıncı
q	: Ortalama uygulanan yük yoğunluğu
R_{raft}	: Radye temel tarafından taşınan yük
R_{pile}	: Kazık tarafından taşınan yük olarak
t_r	: Radye kalınlığı
B_r	: Radyenin plandaki genişliği
L_r	: Radyenin plandaki uzunluğu.
n	: Kazık sayısı
S	: Kazık aralığı
ν	: Poisson oranı
ν_s	: Zeminin poisson oranı
ν_r	: Radyenin poisson oranı
YASS	: Yer altı su seviyesi
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
c	: Kohezyon

Alt ve Üst İndisler

p	: kazık
r	: radye
s	: zemin
d	: farklı oturma
x	: x eksenini boyunca mevcut eksen koordinatı
z	: z eksenini boyunca mevcut eksen koordinatı
f	: faktör
k	: özellik

1. AMAÇ VE KAPSAM

1.1. Giriş

Radye temeller, mevcut koşullar altında üst yapı yükünü zemine aktarmak amacıyla ilk düşünülen yüzeysel temel sistemleridir. Ancak radye temelin taşıma kapasitesi yeterli değilse, kazıklı temeller gibi derin temel uygulamasına gidilir. İlk durumda, yapı yükünün zemine radye temel tarafından aktarıldığı kabul edilerek hesap yapılır. Diğer durumda ise, radye temelin taşıma kapasitesi ihmal edilerek, yapı yüklerinin tamamının kazıklar tarafından zemine aktarıldığı kabul edilir. Son yıllarda, inşaat mühendisleri tarafından, yüzeysel temeller ile derin temeller arasındaki diğer bir alternatif temel sistem olan kazıklı radye temel yada oturma azaltıcı kazık temeller tanımlanmaktadır.

Kazıklı radye temel kavramı ilk olarak Davis ve Poulos tarafından 1972 yılında önerilmiştir. O zamandan beri, kazıklı radye temeller Burland ve ark. (1977), Cooke (1986), Randolph (1994), Ta ve Small (1996), Kim ve ark. (2001) ve Poulos (2001), Fa- Yun Liang ve ark.(2003), Oliver Reul ve Mark F.Randolph (2004) tarafından incelenmiştir. Şu anda kazıklı radye temel kavramı Avrupa ve Asya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kavramda, kazıklar gelen yükü taşımaktan çok oturmaları azaltmak amacı ile etkilidirler. Kazıklı radye temeller, oturmaları kabul edilebilir değerlere çekerek temel sisteminin performansını ekonomik iyileştirmeye götürür.

Kazıklı radye temellerin en uygun kullanımı, radye temelin taşıma kapasitesinin yeterli olduğu fakat oturmaların sınır değerleri aştığı durumlardır. Bunun tersine, kazıklı radyeler için istenmeyen durumlar da yüzeye yakın yumuşak kil ve gevşek kum içeren zemin profilleridir.

İdeal şartlar altında uniform yüklü, kalın elastik kil tabakası üzerine oturan kazıklı radye temelde; kazıklar tarafından iletilen yükler, her bir bağımsız kazığın yük-oturma değerlerine ve radye temelin rijitliğine bağlıdır. Sürtünme kazıkları üzerindeki oldukça rijit kazıklar için, dışardaki kazıklar içerdeki kazıklara göre daha fazla yük taşırlar. Farklı şartlarda, grup içindeki kazık yapılması, zeminin deformasyon özelliklerini değiştirebilir. Örneğin, granüler

zemin şartlarında, rölatif sıklıktaki değişim içerdeki kazıkların dıőarındaki kazıklara göre daha fazla yük taőımasına yol açar.

Kazıklı radye temellerin detaylı analizi, problemin üç-boyutlu olmasından dolayı basit bir radye temel analizinden çok daha zordur. Bu durum, farklı varsayımlar ve sınırlamalara dayanan çeşitli sayısal analiz yöntemlerinin geliőmesine sebep olmuőtur. Analiz, radye temelin köşe altındaki ve kazık gövdesi boyunca zeminin okmesi gibi lokal ve lineer olmayan etkiler dışında çoğunlukla elastiktir. Zemin modeli, gerilme-şekil değiştirme iliőkilerine bağlı olarak lineer olmayan malzeme özelliklerine dayanır. Zeminin radye temeli destekleyebildiği durumlarda, eğer kazıklar sadece radye temelin oturmalarını azaltmak için tanımlanmıőlarsa, bu lineer olmayan etkiler ortaya çıkar.

Radye temel altında kazık kullanılmasının en önemli nedeni, incelenen yapının kabul edilebilir oturma değerini aőmamasıdır. Yapılacak temel sisteminde mühendislik kuralları çerçevesinde ekonomik çözüm elde edebilmek için: (1) mevcut yükü karşılayabilecek minimum kazık sayısının, (2) optimum kazık yerleőiminin, (3) optimum radye kalınlığı ve kazık boyutlarının belirlenmesi gerekir. Bu sayede, temel sistemi için yapılan harcamalarda, önemli ölçüde ekonomi sağlanacağı açıktır.

Bu tezin amacı doğrultusunda, Messe Torhous ve Westend 1 yapılarına ait kazıklı radye temeller sonlu elemanlar yöntemi ile iki boyutlu elosto-plastik analiz yapabilen PLAXIS programı ile ozlmőtur. Elde edilen sonuçlar, literatürde verilmiş olan arazi sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirleri ile uyum sağladığı grlmőtur. Ayrıca, Westend 1 yapısı için elde edilen sonuçlar, literatürde verilmiş olan 8 farklı analiz yöntemi ile kıyaslanmıőtur.

1.2. nceki alıőmalar

Kazıklı radye temellere ait tasarım yöntemleri 19. yüzyıldan bu yana çeşitli araőtırmacılar tarafından incelenmektedir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda ele alınmıőtur.

Oliver Reul ve Mark F.Randolph (2004), nonuniform düşey yüklemeye maruz kazıklı radye temeller için tasarım yöntemleri geliőtirmeye çalıőmıőlardır.

259 farklı kazıklı radye temel konfigürasyonunu üç boyutlu elastoplastik sonlu eleman analizi ile çözmüşlerdir. Kazık pozisyonları, kazık sayısı, kazık uzunluğu, radye-zemin rijitlik oranı, radye üzerindeki yük dağılımı gibi parametreleri değiştirerek; nonuniform düşey yüklemeye maruz kazıklı radye temellerin optimum çözümünü tartışmışlardır.

Oliver Reul ve Mark F.Randolph (2003), aşırı konsolide kil üzerine oturan Westend 1, Messeturm ve Torhaus yapılarını 3 boyutlu elastoplastik sonlu eleman analizi ile çözmüşlerdir. Ve bu analizlerden elde edilen çözümleri, bu yapıların yapım aşamasındaki arazi ölçümleri ile kıyaslamışlardır. Sonlu eleman analizinden elde edilen sonuçlarda; kazıklar tarafından taşınan toplam yük oranı, arazi ölçümlerinden daha büyük çıkmasına rağmen; toplam oturma, farklı oturma ve kazıklar tarafından taşınan yük sonuçları uyumlu sonuçlar vermiştir.

S. Valliappan, V. Tandjira ve N. Khalili (1999), radye- kazık temel sisteminin optimum tasarımı için, sonlu elemanlar yöntemi ile doğrusal olmayan optimizasyon işlemini birlikte kullanmışlardır. Maksimum ve farklı oturmaları sabit tutularak; radye kalınlığı, kazık sayısı ve uzunluğunu değiştirerek radye-kazık temel sistemi için en ekonomik tasarımı incelemişlerdir.

Kyung Nam Kim ve ark. (2001), kazıklı radye temellerin farklı oturmasını en aza indirmek için, optimum kazık yerleşimini incelemişlerdir. Radye temeli, Mindlin teorisine dayanarak düzlem gibi zemini Winkler yayları ile ve kazıkların rijitliğini de Randolph ve Wroth (1979) tarafından tanımlanan yaklaşık analitik metot ile tanımlamışlardır. Bu yöntemin etkinliğini üç farklı sayısal analiz ile göstermişlerdir.

K. Horikoshi ve M. F. Randolph (1998); farklı oturmaları minimuma indirmek için, oldukça esnek radye temelin merkezine kazık yerleştirerek yeni bir tasarım kavramını incelemişlerdir. Bu parametrik çalışmada, Clancy (1993) tarafından geliştirilen “hyPR” yöntemini kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda, merkezi kazık desteğinin farklı oturmaları azaltmada oldukça etkili olduğunu ortaya çıkarmışlardır.

Fa- Yun Liang ve ark.(2003), kazıklı radye temel kavramını geliştirerek kompozit kazıklı radye temel adı verilen yeni bir temel tipini incelemişlerdir. Bu kompozit kazıklı radye temel sisteminde; esnek malzemeden yapılmış kısa

kazıkları, yüzeydeki yumuşak zemini sağlamlaştırmak için, oldukça rijit malzemedен yapılmış uzun kazıkları oturmaları azaltmak için, radye temelin altındaki yastık tabakasını da kazıkların gerilme oranını zemine yaymak için uygulamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda; kompozit kazıklı radye temeli, Çin’de bazı yapılarda başarı ile uygulamışlardır.

2. KAZIKLI RADYE TEMELLER İÇİN PRATİK TASARIM YÖNTEMLERİ

2.1. Alternatif Tasarım Yöntemleri

Randolph (1994) kazıklı radye temeller ile ilgili olarak üç farklı tasarım yöntemini açıklamıştır.

1. “Klasik hesap yöntemi” , yükün büyük bir kısmının kazık grubu tarafından taşındığı düşünülerek tasarlanan hesap yöntemidir.
2. “Kazıkların sünmesi”, genellikle maksimum yük kapasitesinin %70- %80’inde, kazıklarda belirgin bir sünmenin başlaması ile çalışma yükü altında harekete geçen kazıklar olarak tasarlanan hesap yöntemidir. Gerekli kazıklar, radye ile zemin arasındaki net temas basınçlarını azaltmak için sisteme eklenmişlerdir.
3. “Farklı oturumların kontrolü” toplam oturumları azaltmaktan çok farklı oturumları azaltmak için kazıkların stratejik olarak yerleştirilmesi yöntemidir.

Ayrıca, sünen kazıların daha uç bir versiyonu vardır. Bu yöntemde , kazıkların maksimum yük kapasitesinden yararlanıldığı ve kazıkların %100 yük kapasitesinde çalıştıkları belirtilmiştir. Bu durum kazıkların, temel sistemi içinde maksimum yük kapasitesini artırdıkları gibi her şeyden önce ‘oturma azaltıcı’ olarak kullanılmalrını sağlayan bir kavram ortaya çıkarmaktadır.

De Sanctis ve ark. (2001) ve Viggiani (2001) kazıklı radye temelleri iki sınıfa ayırmışlardır.

1. “Küçük” kazıklı radye temeller; burada sisteme kazık ilave etmenin ana amacı güvenlik sayısını artırmaktır. (genellikle radye genişlikleri 5m ile 15 arasındadır.)
2. “Büyük” kazıklı radye temeller; uygulanan yükü belirli güvenlik sınırları içinde taşıma kapasitesine sahip ancak oturumları ve farklı oturumları azaltmak için kazıklara ihtiyaç duyulan sistemdir. Bu gibi durumlarda, radye temelin genişliği kazıkların uzunluğundan oldukça fazla olmaktadır.

Şekil 2.1, yukarıda tanımlanan ilk iki stratejiye göre tasarlanan kazıklı radye temellerin yük-oturma davranışını göstermektedir. 0 eğrisi, tasarım yükü altında oturmaların aşırı olduğu sadece radye temelin davranışını göstermektedir. 1 eğrisi, klasik hesap yöntemini ifade etmektedir. Kazık- radye temel sistem davranışı kazık grubu tarafından idare edilmektedir ve tasarım yükü altında oldukça lineer davranış gösterebilmektedir. 2 eğrisi, düşük güvenlik sayısı ile çalışan kazıkların sünmesini göstermektedir. Ancak daha az kazık olduğu için radye temel 1 eğrisine göre daha fazla yük taşımaktadır. 3 eğrisi, kazıklar oturma azaltıcı olarak tanımlanmıştır ve tasarım yükü altında kazıklar tam kapasite ile çalışmaktadırlar.

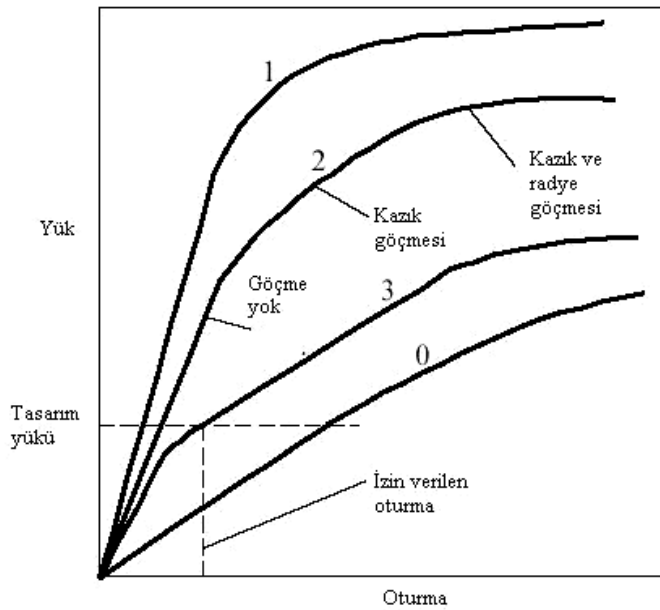
Sonuç olarak, yük- oturma tasarım yükü altında non-lineer olabilir fakat yine de, tüm temel sisteminin belli bir güvenlik payı ve oturma kriteri vardır. Bu nedenle, 3 eğrisinde gösterilen tasarım kabul edilebilirdir ve 1 eğrisi ve 2 eğrisinde gösterilen tasarımlardan daha ekonomiktir.

0 eğrisi – sadece radye (aşırı oturma)

1 eğrisi – klasik hesap yöntemi ile boyutlandırılmış kazıklı radye

2 eğrisi – daha küçük güvenlik sayısı ile boyutlandırılmış kazıklı radye

3 eğrisi – kazıkların tam kapasitesinden yararlanan kazıklı radye



Şekil 2.1. Kazıklı radye temellerin tipik yük – oturma değerleri

Kazıklı radye temellerin en etkili uygulama şekli, radye temelin yeterli yük taşıma kapasitesini sağlıyor olması ancak; sadece radye temelin oturma ve/veya farklı oturma değerlerinin müsaade edilebilir sınır şartlarını aştığı durumlardır. Poulos (1991)'e göre, kazıklı radye temel kullanımının en uygun olduğu durumlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- a) oldukça sert kil içeren zemin profilleri
- b) oldukça sıkı kum içeren zemin profilleri
- c) kazıkların yer aldığı temel derinliğinde, yumuşak veya gevşek tabakaların bulunmadığı zemin profili

Yukarıdaki durumlarda, sistemde kazıklar ana taşıyıcı eleman olmaktan ziyade yardımcı eleman olarak davranarak, radye temel yeterli yük taşıma kapasitesi ve rijitliği sağlamaktadır.

Bu sistemlerin kullanılmasının uygun olmayacağı durumlar ise:

- a) yüzeye yakın yumuşak kil içeren zemin profilleri
- b) yüzeye yakın gevşek kum içeren zemin profilleri
- c) dış etkiler dolayısı ile konsolidasyon ve şişme oluşabilecek zemin tabakalarının bulunduğu zemin profili

Yukarıdaki ilk iki durumda, radye temel tek başına yeterli yük kapasitesi ve rijitliği sağlayamayabilir ancak, son durumda zeminde oluşacak hareketlerden dolayı kazıklarda önemli ölçüde yük artışları meydana gelebilmektedir.

Kazıklı radye temellerin analizinde, dış etkilerden dolayı oluşabilecek zemin hareketlerinden (şişme, büzülme, konsolidasyon gibi) dolayı sistemin davranışında görülebilecek değişiklikler, kullanılan analiz yöntemlerinde çok az dikkate alınmıştır yada hemen hemen hiç dikkate alınmamıştır. Halbuki kazıklar ve radye arasındaki yük dağılımı ve oturmalar, bu zemin hareketlerinden büyük ölçüde etkilenmektedir. Poulos (1993), şişme veya büzülme sebebi ile zeminin yaptığı hareketlerin sebep olduğu efektif gerilmedeki veya emme basıncındaki değişikliklerin kazıklar – radye – zemin etkileşimi üzerinde meydana getirdiği etkiyi sınırlı elemanlar metodu kullanarak incelemiş ve ulaştığı sonuçları aşağıdaki şekilde özetlemiştir:

- a) konsolidasyona maruz kalan zeminlerde, negatif çevre sürtünmesinden dolayı kazıklarda basınç gerilmesi artışı meydana gelir ve radyenin ağırlığı da kazıklar tarafından taşınmaya başlar.
- b) Şişen zeminlerde ise, zeminin hareketinden ve radye altında oluşan gerilmelerden dolayı kazıklarda çekme gerilmesinde artış meydana gelir.

Her iki durumda da, kazıklı radye temelde oluşacak hareket serbest kazık grubuna göre daha fazla olmaktadır. Bu sebeple, dış etkilerden dolayı düşey zemin hareketlerinin oluşabileceği durumlarda kazıklı radye sistemlerin kullanılmasından kaçınılması daha uygun bir çözüm olacaktır.

2.2. Hesap Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Analiz yöntemlerinin sınıflandırılmasında üç ana sınıf ele alınmaktadır.

1. Basite indirgenmiş hesap yöntemleri
2. Sayısal Çözüm Yöntemleri
3. Sayısal Modelleme Yöntemleri

2.3. Basite İndirgenmiş Yöntemler

2.3.1. Poulos – Davis- Randolp (PDR) (1980)

Kazıklı radye temellerin düşey taşıma kapasitesini hesaplamak için basit yöntemler kullanılıyor ise, maksimum yük kapasitesi genellikle aşağıdaki iki değerden küçük olanıdır.

- Radye ve tüm kazıkların maksimum taşıma kapasitelerinin toplamı.
- Kazıkları ve radyeyi kapsayan blok ile kazık çevresinin dışında kalan radyenin maksimum taşıma kapasitesinin toplamı.

Yük- oturma davranışını belirlemek için, Poulos ve Davis (1980) tarafından tanımlanan yaklaşıma uygulanabilir. Ancak, bu yöntemin daha faydalı uzantısı Randolph (1994) tarafından özetlenen radye ve kazık arasındaki yük paylaşımını hesaplayan basit yöntem kullanılarak yapılabilir. Randolph tarafından düşünülen

kazık problemi Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Onun yöntemi kullanılarak, kazıklı radye temelin rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$K_{pr} = (K_p + K_r (1-\alpha_{cp})) / (1- \alpha_{cp} 2 K_r / K_p) \quad (2.1)$$

K_{pr} = Kazıklı radye temelin rijitliği

K_p = Kazık grubunun rijitliği

K_r = Sadece radyenin rijitliği

α_{cp} = Radye – kazık etkileşim faktörü

Radyenin rijitliği, K_r , elastik teoriye göre örneğin Fraser and Wardle (1976) yada Mayne ve Poulos (1999) çözümleri kullanılarak hesaplanabilir. Sonraki aşamalarda , tek bir kazığın rijitliği elastik teoriye göre hesaplanır ve daha sonra grup rijitlik etki faktörü ile çarpılır.

Radye tarafından taşınan yükün toplam yüke oranı;

$$P_r / P_t = K_r (1- \alpha_{cp}) / (K_p + K_r (1- \alpha_{cp})) = X \quad (2.2)$$

P_r = Radye tarafından taşınan yük

P_t = Toplam uygulanan yük

Radye – kazık etkileşim faktörü α_{cp} aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\alpha_{cp} = 1 - \ln (r_c / r_0) / \zeta \quad (2.3)$$

r_c = kazık başlığının ortalama yarıçapı

r_0 = kazık yarıçapı

$\zeta = \ln (r_c / r_0)$

$r_c = \{0.25+\xi [2.5 \rho (1-\nu) - 0.25] \times L$

$\xi = E_{sl} / E_{sb}$

$\rho = E_{sav} / E_{sl}$

$\nu =$ Zeminin poisson oranı

L = kazık uzunluğu

E_{s1} = kazık ucu seviyesindeki zeminin elastisite modülü

E_{sb} = kazık ucu altındaki taşıyıcı zeminin elastisite modülü

E_{sav} = kazık gövdesi boyunca zeminin ortalama elastisite modülü

Yukarıdaki denklemler, Şekil 2.3'de gösterilen üç boyutlu yük – oturma eğrisini geliştirmek için kullanılabilir. İlk olarak, kazıklı radyenin rijitliği, düşünülen kazık sayısı için denklem (1)'den hesaplanır. Bu rijitlik, kazık kapasitesi tamamen aktif hale gelinceye kadar etkili kalacaktır. Kazık yükü mobilizasyonunun aynı anda meydana geldiğini varsayılarak basite indirgenirse, toplam uygulanan yük, P_1 , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_1 = P_{up} / (1-X) \quad (2.4)$$

P_{up} = grup içindeki kazıkların maksimum yük kapasitesi

X = kazıklar tarafından taşınan yük oranı (Denklem 2.2)

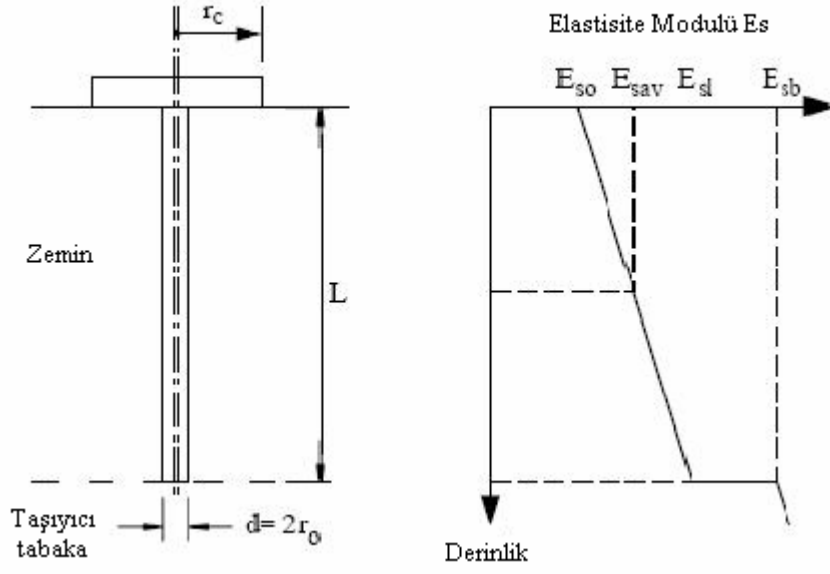
Şekil 2.3'deki A noktasından sonra, temel sisteminin rijitliği sadece radyendir.

Ve bu, kazıklı radye temel sisteminin maksimum yük kapasitesine ulaşana kadar devam eder (Şekil 2.3, B noktası). O aşamada yük – oturma eğrisi yatay olur.

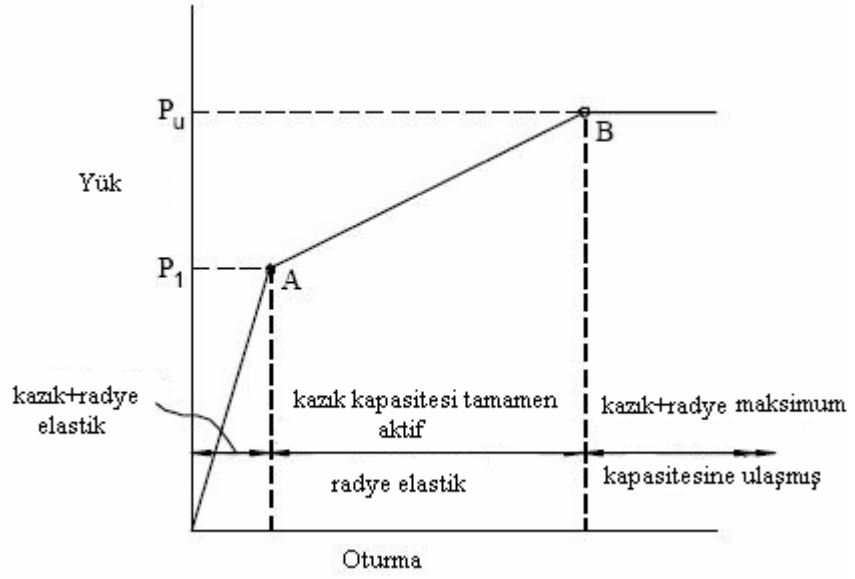
2.3.2. Burland (1995)

Kazıklar oturma azaltıcı olarak tasarlamak ve tasarım yükü altında geoteknik kapasitelerinin tamamını geliştirmek için; Burland (1995), aşağıdaki basitleştirilmiş tasarım işlemlerini geliştirmiştir.

- Kazıklar olmadan radye temel için toplam yük – oturma ilişkisinin belirlenmesi (Şekil 2.4)
- Güvenlik sayısını içeren müsaade edilebilir oturma S_d değerinin belirlenmesi
- P_1 , S_d 'ye bağlı olarak radye temel tarafından taşınan yüküdür.



Şekil 2.2. Kazık – radye sisteminin basite indirgenmiş gösterimi



Şekil 2.3. Başlangıç analizleri için basitleştirilmiş yük – oturma eğrisi

- Aşırı yük P_0-P_1 'in oturma azaltıcı kazıklar ile taşındığı varsayılır. Bu kazıkların çevre dayanımı tamamen aktif hale gelecektir ve böylece herhangi bir güvenlik sayısı uygulanmayacaktır. Ancak; Burland yaklaşık
- 0.9 olan “mobilizasyon katsayısını” maksimum çevre kapasitesine, P_{su} uygulanmasını önermektedir.
- Eğer kazıklar kolonların altına yerleştirilmişlerse, kazıklı radye azaltılmış kolon yüklerinin etkidiği radye gibi analiz edilebilir. Bu kolonlarda azaltılmış yük, Q_r

$$Q_r = Q - 0.9 P_{su} \quad (2.5)$$

- Radye içindeki eğilme momentleri, kazıklı radye temeli azaltılmış yüklere maruz radye gibi analiz ederek elde edilebilecektir.
- Kazıklı radye temelin oturmasını hesaplayan yöntem, Burland tarafından belirgin olarak ortaya konmamıştır; ancak Randolph (1994)'un yaklaşık yönteminin uygulanabileceği belirtilmiştir.

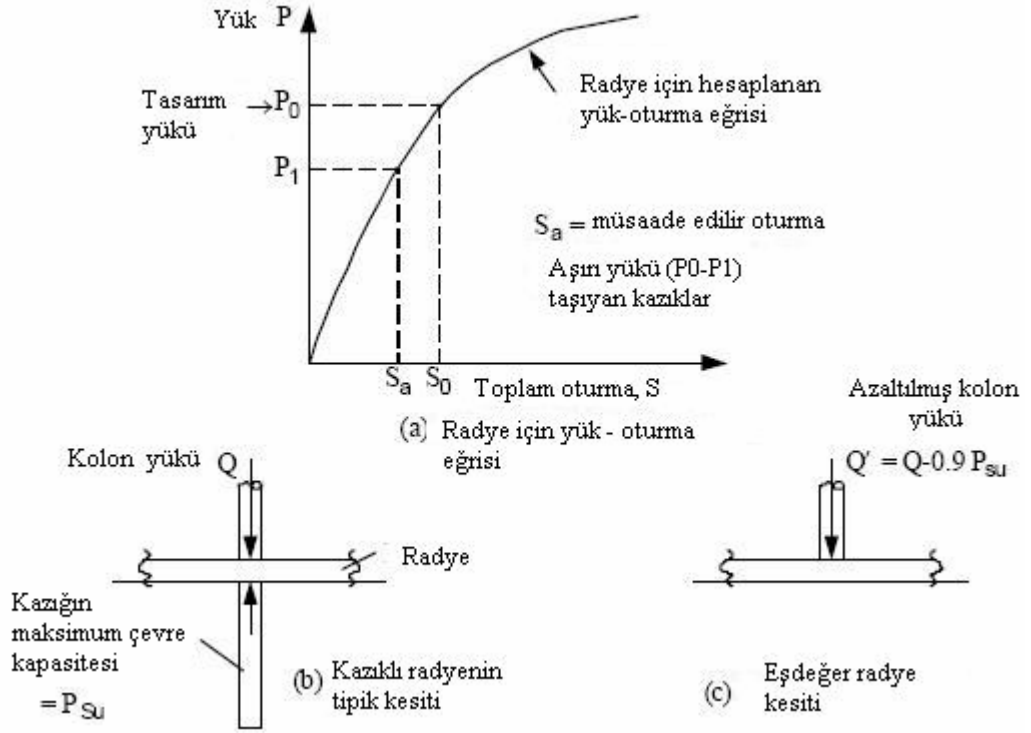
$$S_{pr} = S_r \times K_r / K_{pr} \quad (2.6)$$

S_{pr} = kazıklı radye temelin oturması

S_r = toplam yüke maruz kazıksız radyenin oturması

K_r = radyenin rijitliği

K_{pr} = kazıklı radye temelin rijitliği



Şekil 2.4. Burland'ın basitleştirilmiş tasarım yöntemi

2.4. Sayısal Çözüm Yöntemleri

2.4.1. Yaylar tarafından taşınan şerit yaklaşımı için geliştirilen yöntemler

Bu sınıfa giren tipik bir örnek, Poulos (1991) tarafından sunulan, radye temel kesitinin şerit olarak ve onu destekleyen kazıkların da yay olarak tanımlandığı bir yöntemdir. Yaklaşık hesap; kazık-radye, radye-kazık, radye-radye, kazık-kazık olan her dört etkileşim için yapıldı. Bu metodun çok yönlü bir hesap yöntemi olduğu ve daha detaylı analizler ile kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir. Ancak; özellikle radye temel içindeki burulma momentlerini hesaba katamadığı ve ayrıca iki yönde tanımlanan şerit analiz edildiğinde istenen noktalardaki oturma sonuçlarının iki yönde de aynı sonuçları vermediği yönünde belirli sınırlamaları içermektedir.

Brown ve Wiesner (1975), kazıklı şerit temeller için sınır elemanları yöntemini geliştirmişler ve kazıklı radye temellere ne gibi çözümlerin uygulanabileceğini öne sürmüşlerdir.

2.4.2. Yaylar üzerinde levha yaklaşımını uygulayan yöntemler

Bu tip analiz yönteminde, kazıklar plakayı destekleyen yaylar olarak modellenirken, radye temel elastik bir levha olarak tanımlanmıştır. Hongladaromp ve diğerleri (1973), bu yaklaşımla yapılan ilk çalışmalarda etkileşimlerin bir kısmını ihmal etmiş ve Brown ve diğerleri (1975) tarafından bu yöntemlerin daha kesin yöntemlerle karşılaştırıldığı çalışmalarda da çok büyük rijitlik değerleri vermiştir. Poulos (1994) levha için sonlu farklar metodunu geliştirmiş ve elastik çözümlerin yaklaşık hesaplarında çeşitli etkileşimleri dikkate almıştır.

Clancy ve Randolph (1993), sonlu elemanlar yöntemi ile kazık ve radye temeli modellemiştir. Metot, temelin elastik davranışının analizini kısıtlı olarak yapmasına rağmen; dört etki bileşeni hesaba katılmıştır. Buna benzer bir analiz metodu Franke ve ark. (1994) tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada non-lineer kazık davranışı hiperbolik gövde ve taban davranış özellikleri yolu ile değerlendirilmiştir. Yamashita ve ark. (1993), zemin ve kazıkları yay olarak tanımlarken, radye temeli analiz etmek için sonlu elemanları kullanmanın daha uygun bir yöntem olacağını belirtmiştir. Özetle, çeşitli etkileşimler hesaplarda detaylı olarak yer almamıştır.

2.5. Sayısal Modelleme Yöntemleri

2.5.1. Sınır elemanları yöntemi

Bu tip hesap yönteminde, temel sistemi içindeki radye temel ve her bir kazığın bağımsız çalıştığı varsayılmıştır. Bu analizlerin ilk örneklerinden biri Butterfield ve Banarjee (1971) tarafından verilmiştir. Bu örnekte, zemin yüzeyine oturan rijit başlık ile elastik zemin kütlesi içindeki kazık grubu incelenmiştir. Kuwabara (1989), homojen elastik zemindeki kazıklı radye temeller için bir

yöntem tanımlamıştır. Buna göre; radye temel rijit kabul edilmiş ve kazıkların sıkışabilirlikleri hesaba katılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, elastik sonuçlar altında, radye temelin, normal kazık aralıkları ile yükün çok küçük bir kısmını taşıdığı görülmüştür.

Poulos (1993), Kuwabara'nın hesaplarını geliştirerek serbest alan zemin etkilerine, radye ve zemin arasındaki sınırlandırıcı temas basınçlarını ve bunların yanı sıra kazıklarda nihai basınç ya da çekme gerilmelerinin oluşmasını hesaba katmıştır. Ancak, bu kategorideki birçok yöntem gibi, bu yöntemde de rijit radye kabulünden kaynaklanan sınırlandırmalar yerini almıştır.

2.5.2. Sonlu elemanlar yöntemleri

Sonlu eleman yöntemleri, genellikle kazık grubu veya kazıklı radye temeli ya bir düzlemsel birim deformasyon problemi (Desai 1974) ya da aksel-simetrik problem (Hooper 1973, Naylor ve Hooper 1974) olarak ortaya koymuşlardır. Her iki durumda da radye temel ve zemini bağımsız kılmak için sonlu elemanlar kullanılmaktadır ve böylece, non-lineer zemin ve radye davranışlarını hesaba katmak kolay olmaktadır. Ayrıca zeminin iki fazlı davranışı da hesaba katılabilmektedir. Böylece konsolidasyona bağlı oturma ve kazık yük dağılımının zamana bağlı özellikleri de hesaplanmış olabilecektir.

Hooper (1973), Londra'daki bir bina için, aksel-simetrik kabulün gözlemlerle benzer sonuçlar verdiğini göstermiştir. Basite indirgenmiş bir yaklaşımın esas sorununun ancak düzgün yükleme tiplerini analiz etmesi ve radye temel içinde oluşan burulma momentlerini elde etmenin mümkün olmadığı ortaya konulmuştur.

Tam bir sonlu eleman analizi olmamasına rağmen; Hewitt ve Gue (1994), karstik kireçtaşı içeren bir zemin profilinde kazıklı radye temel analizi yapmışlardır. Analiz, kesin bir sonlu farklar kodu kullanan ve piyasada kullanılan FLAC (İtasca 1991) adlı bir program ile yapılmıştır. Temel, bir düzlem deformasyon problemi olarak modellenmiş ve bu analiz, yaklaşık da olsa, kireçtaşıdaki boşlukların temelin oturmasına olan etkilerinin değerlendirilmesini sağlamıştır.

2.5.3. Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi

Gerçek bir problemi modelleme yeteneği bakımından, üç boyutlu sonlu elemanlar hesabı en etkili çözümlerden birisi olarak düşünülebilir. Ottaviani (1975), böyle bir analizi kazık temellere uygulayan bir ilktir. Zhuang ve ark. (1991) kazıklı radye temeller içindeki yük dağılımı ve oturmalar için parametrik çözümler bulmak amacı ile lineer üç boyutlu analiz yöntemi kullanmışlardır. Parametreler arasında değişim gösteren faktörler; rölatif radye rijitliği, kazık uzunluğu ve kazık sayılarıdır.

Ta ve Small (1996), radye temel için ince-levha sonlu elemanlar ve zemin için sonlu tabakalar yöntemlerini uygulayan bir metot geliştirmişlerdir. Bu metot, lineer zemin davranışı ile sınırlandırılmıştır. Ancak tabakalı bir zemini etkin bir şekilde çözebileceği ve radye temelin altında kazıkları istenilen yere yerleştirebileceği belirtilmiştir.

Günümüze dek yapılan çalışmalardan en kesin hesap, Wang (1995) tarafından düşey yüklü kazıklı radye temellerin non-lineer hesabı yapılmıştır. Açık bir biçimde; elle yapılan analizlerin doğruluğunu açıklamak bakımından bilgisayar destekli hesaplar çok önemlidir.

2.5.4. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler

Hain ve Lee (1978), radye temeli ince levha sonlu elemanlardan oluştururken; kazıkları da sınır elemanları yöntemi ile hesaplayarak kazıklı radye temel hesaplarında bir makale yayınlamışlardır. Hesaplar sırasında, daha az çaba harcamak için etkileşim faktörü kuramından yararlanılmış ve sonuç olarak da; her bir kazık elemanı ayrı ayrı incelenmemiştir. Hain ve Lee tarafından bulunan sonuçlar yaklaşıklıklar içermesine rağmen pek çok araştırmacı tarafından referans sonuçlar olarak kullanılmıştır. Hesap yöntemi gerçekte elastiktir. Fakat bilgisayar programında tanımlanan bir yük limiti ile kazıklarda nihai yüklerin oluşmasına meydan vermektedir. Bu analizin getirdiği sınırlama, zeminin homojen yarı-sonsuz bir elastik kütle olarak tanımlanmasıdır. Öte yandan; bulunan sonuçlar,

yüklemenin ilk aşamasında kazıklı radye temelin davranışında çeşitli faktörlerin öneminin görülmesini sağlamıştır.

Franke ve ark. (1994), kazıklar için sınır elemanları radye temel içinse sonlu eleman analizlerini kullanan karma bir tekniğin kullanımını açıklamıştır. Yüklemeden sonra, kazıklarda oluşan kalıcı gerilmeler gibi kazıkların non-lineer davranışı hesaba dahil edilmektedir.

Sinha (1997), radye temeli ince-levha sonlu eleman olarak tanımlayan, tüm kazıkları ayrı ayrı sınır eleman yöntemi ile çözen tamamen sınır elemanlara dayanan bir hesap yöntemi geliştirmiştir. Bu yöntemde, zeminin homojen elastik olduğu kabulü yapılmıştır. Ancak non-lineer davranış, çekme ve basınç durumları için sınırlı radye-zemin temas gerilmeleri ve kazık gövdesi ile zemin arasında ve kazık ucunun altındaki sınır gerilmelerinin belirlenmesi ile sağlanılmıştır. Aynı zamanda, serbest zemin yüzü hareketleri de hesaba katılarak zeminin şişmesi veya konsolidasyon etkileri de hesaba katılabilmektedir.

3. TEORİK BİR ÖRNEKLE YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kazıklı radye temellerin davranışını farklı yöntemlerle kıyaslamak amacı ile, teorik bir örnek şekil 2.5’de analiz edilmiştir. (Poulos ve ark. (1997). Problem oldukça basit formda olmasına rağmen, gerçek durumdaki parametrelerin değerlendirilmesi esnasında kaçınılmaz farklılıkların ihmal edilmesi bakımından gereklidir ve problem düzgün yayılı yük yerine kolon yüklemesi içermiştir. Karşılaştırmalar, verilen bir zemin, kazık ve radye parametreleri için kazıklı radye temelin davranışını belirlenmesinde odaklanmıştır.

Geliştirilen yöntemler, ve her bir yöntemin kullanılmasındaki varsayımlar aşağıda özetlenmiştir.

a) Poulos-Davis-Randolph (PDR) Yöntemi:

Bu yöntemin uygulanmasında, radye temelin rijitliği elastik teoriye göre elle hesaplanmıştır. Radye temel eşdeğer dairesel temel olarak düşünülmüştür. Tekil kazıkların rijitliği, Randolph ve Wroth (1978)’un yaklaşık çözümlerinden kapalı formda ve grup oturma oranı (kazık grubu rijitliğinin hesabı için kullanılan), $R_s = n^{0.5}$, n =kazık sayısı ile hesaplanmıştır.

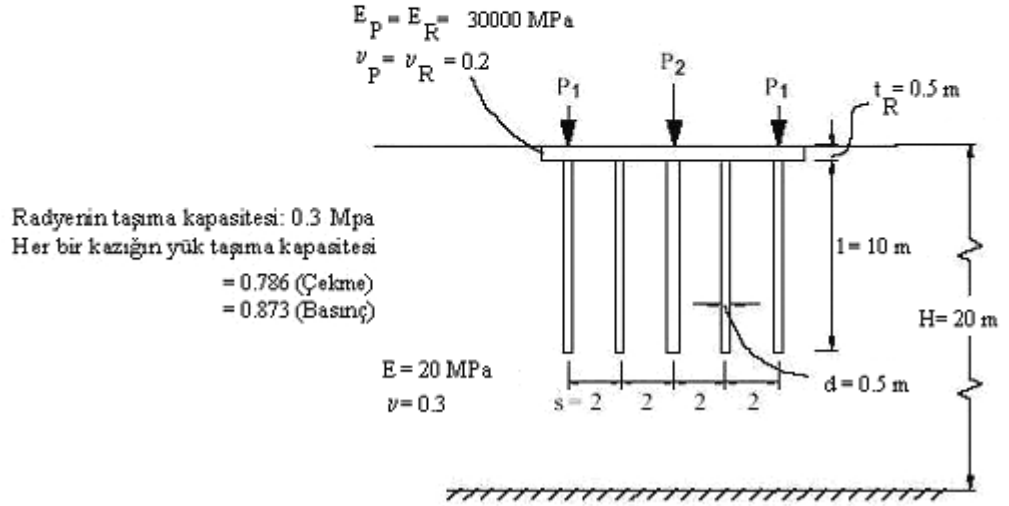
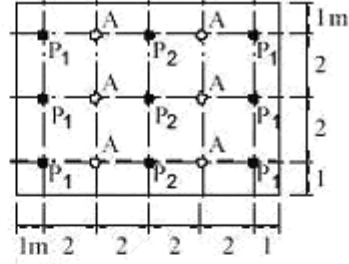
b) Burland’ın Yöntemi:

Radye temelin rijitliği, GARP programının kullanılması ile sadece radye temelin nümerik analizinin yapılması ile hesaplanmıştır. Radye temeldeki momentleri hesaplamak için, uygulanan yükler her kolon yerleşiminde, kolonun altındaki kazığın maksimum yük kapasitesinin 0.9 katı ile azaltılmıştır. Kazıklı radye temelin oturmasını hesaplamak için, tüm yükler altında radye temelin oturması, radye temel analizlerinden elde edilir ve sonra bu oturma radye temelin rijitliğinin kazıklı radye temelin rijitliğine olan oranı ile azaltılmıştır.

c) GASP Analizi (Yaylar üzerinde Şerit)

Bu analizde, radye temel Şekil 2.5’de gösterildiği gibi her doğrultuda üç şerite bölünmüştür. Non-linear etkiler, uzun doğrultuda çalışan şeritler için düşünülürken tamamen lineer davranış, kısa doğrultuda çalışan şeritler için düşünülmüştür. Her bir kazığın rijitliği, Randolph ve Wroth (1978)’in

- $P_2 = 2P_1$
- P2'nin altına 3 kazık yerleştirilmiştir.
- P1 ve P2'nin altına 9 kazık yerleştirilmiştir.
- P1, P2 ve A'ran altına 15 kazık yerleştirilmiştir.



Şekil 2.5. Çeşitli yöntemlerle analiz edilen basit bir örnek

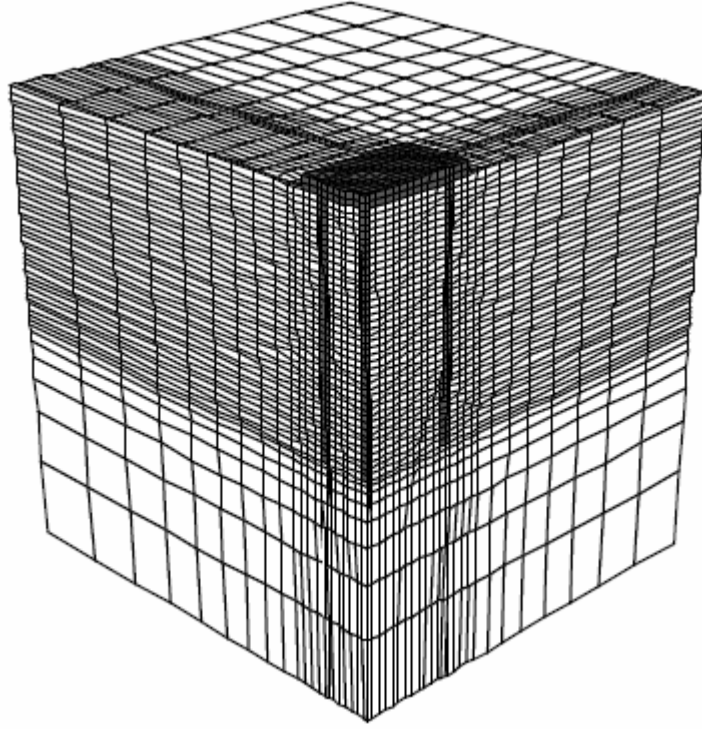
denklemleri ile çözülmüştür ve basitleştirilmiş ifadeler kazık-kazık etkileşim faktörlerini elde etmek için kullanılmıştır.

d) GARP Analizi (Yaylar Üzerinde Levha)

Radye temel, uniform levha ile toplam 273 eleman ve düğüm noktasını kullanılarak modellenmiştir. Kazıkların rijitliği ve kazık-kazık etkileşim faktörleri, sınır eleman analizi olan DEFPIG (Poulos, 1990) programının kullanılması ile hesaplanılmıştır.

e) FLAC (2-D) Analizi

Problemin simetrisi alınarak, uzun yöndeki zemin-kazık-radye sistemi analiz edilmiştir. Yatay doğrultuda 39 grid çizgisi ve düşey yönde 34 grid çizgisi kullanarak hesap yapılmıştır. Zemin, Şekil 2.5'de gösterilen zeminin drenajsız kayma mukavemeti kullanılarak Mohr-Coulomp'a göre modellenmiştir.



Şekil 2.6. Kazıklı radye temelin FLAC 3D ile analiz modeli

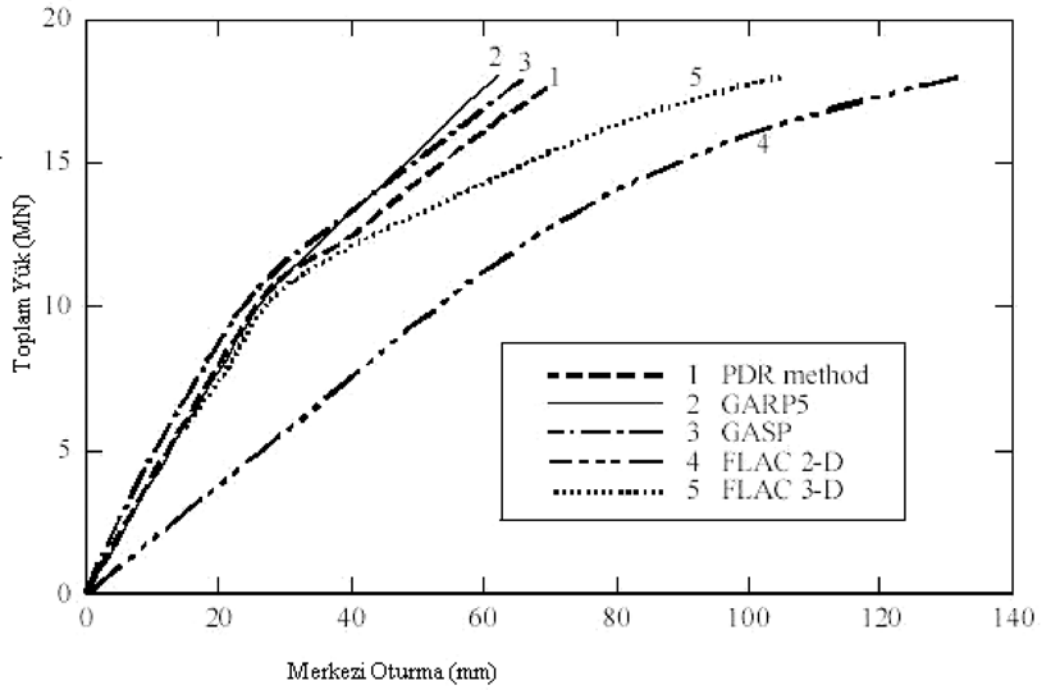
f) FLAC 3D Analizi

Simetri özelliğinden dolayı, problemin sadece dörtte biri modellenmiştir. Şekil 2.6'da gösterilen üç boyutlu mesh kullanılmıştır ve 40,026 düğüm noktası ve 34,468 eleman içermektedir. Zemin iki boyutlu analizdeki gibi, Mohr Coulomp'a göre çözülmüştür. Kazık yükleri, her bir kazık başındaki düşey gerilmelerden hesaplanırken radye momentleri, radye temeli tanımlayan elemanların alt tabakasındaki yatay gerilmelerden hesaplanmaktadır.

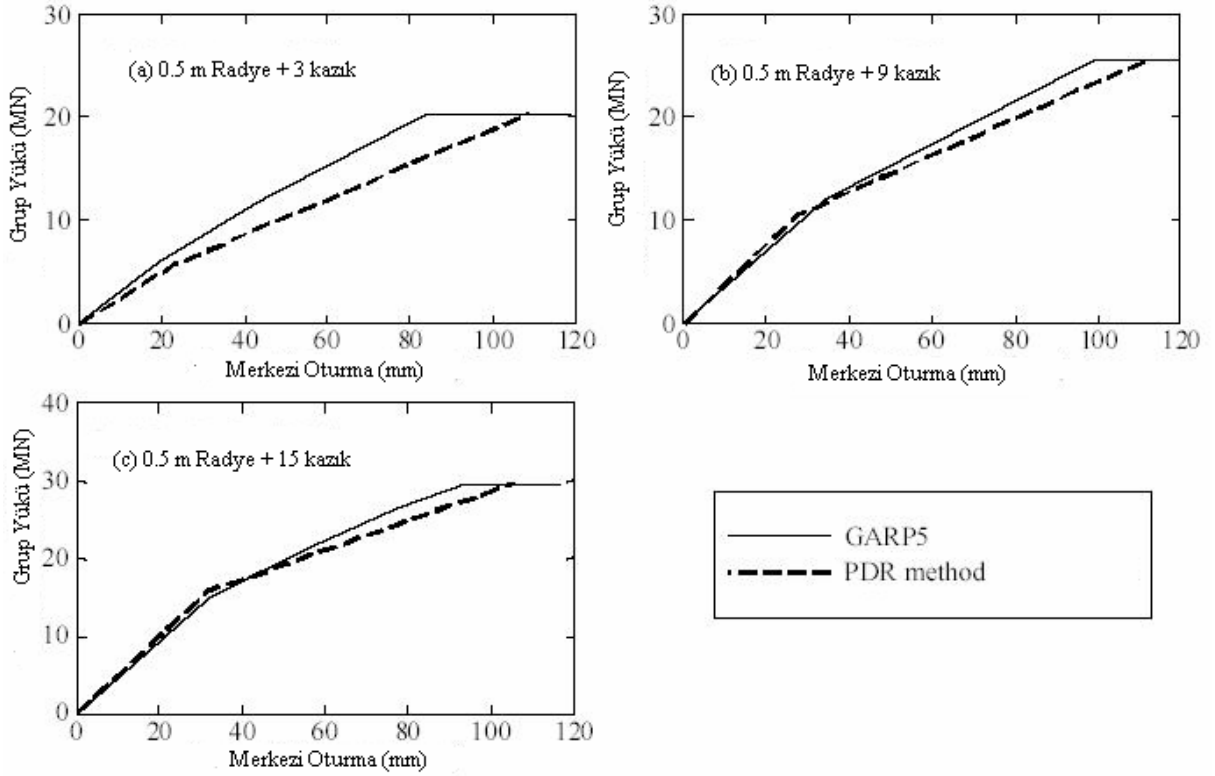
3.1. Yük - Oturma Çözümlerinin Kıyaslanması

Şekil 3.1' de, her kolonun altına bir kazık gelecek şekilde 9 benzer özellikteki kazık ile radye temelin merkezi için yük-oturma ilişkileri kıyaslanmıştır. Burland'ın yöntemi yük-oturma eğrilerini elde etmek için uygun bulunmamıştır ve bu nedenle grafiğe dahil edilmemiştir. FLAC 2D analizi dışındaki yük oturma-eğrileri birbirlerine makul olarak benzemektedirler. PDR

metodu, FLAC 3D ve GARP analizleri ile benzer sonuçlar vermişlerdir. FLAC 3D analizi, 12 MN aşan yükler için diğer metotlardan daha yumuşak davranış göstermiştir. Bu durum, tahminen radye temel in altındaki plastik bölgenin çözüm yönteminin gelişmiş olması ve plastik deformasyonlara önem verilmesi sonucundandır. Ancak, FLAC2D analizi, düzlem-deformasyon kabulünün kesin olarak yapılamamasından dolayı, hesaplanan oturma değerlerinin üzerinde çıkmıştır. Sonuç olarak, düzlem-deformasyon analizlerinin daha detaylı bir şekilde yapılması gerektiği önerilmiştir.



Şekil 3.1. Yük-oturma analizi için çeşitli yöntemlerin kıyaslanması



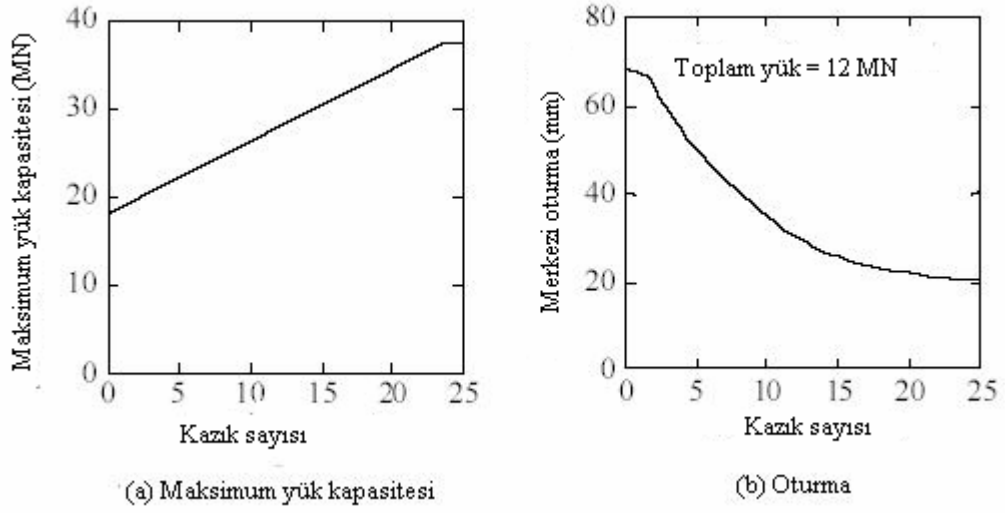
Şekil 3.2. Garp ve yaklaşık analiz yöntemlerinin kıyaslanması

3.2. Kazık Sayılarının Etkisi

Kazıklı radye temel analizindeki önemli olan parametrelerden birisi, istenen performansın elde edilmesinde kaç tane kazığın kullanılması gerektiğidir. Bu amaç için, GARP bilgisayar programı ve Poulos-Davis-Randolph (PDR) analizleri geliştirilmiştir. Şekil 3.2, bu analizlerin her biri için 3 ila 9 arasında değişen farklı sayıda kazıklara ait yük-oturma eğrilerini göstermektedir. Şekil 3.3, merkezi oturma ve kazık sayıları (PDR analizinden 12 MN yük için elde edilen)

arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Ayrıca maksimum yük kapasitesini ve kazık sayıları arasındaki ilişkiyi de göstermektedir.

Birkaç kazığın eklenmesi, radye temelin oturmasını önemli derecede azalttığı görülmüştür ancak 15 kazıktan fazla kazığın kullanılması, oturmaları çok küçük bir şekilde azaltmaktadır. Sonuç olarak; istenen oturma değerlerini elde edebilmek

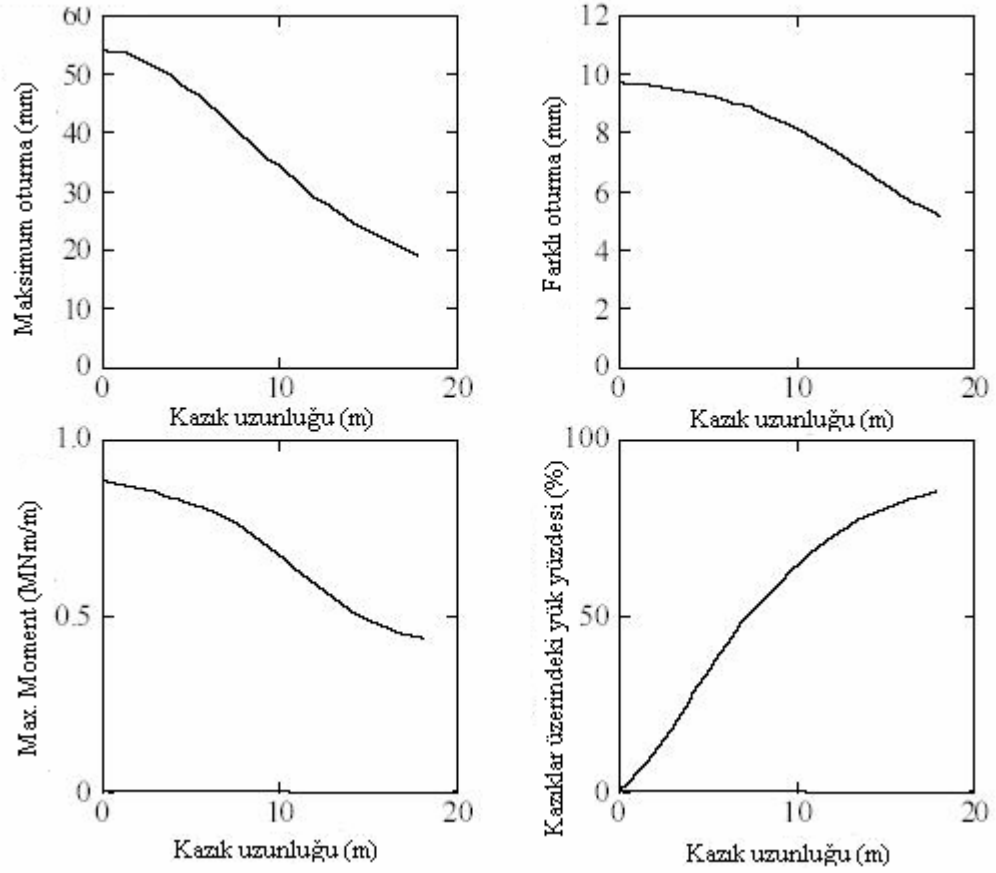


Şekil 3.3. Kazık sayısının maksimum yük kapasitesine ve oturmaya olan etkisi

için, minimum sayıda kazık uygulamasına gitmek temel tasarımında ekonomik tarafta kalmamızı sağlayacaktır.

3.3. Değişen Kazık Uzunluğunun Etkisi

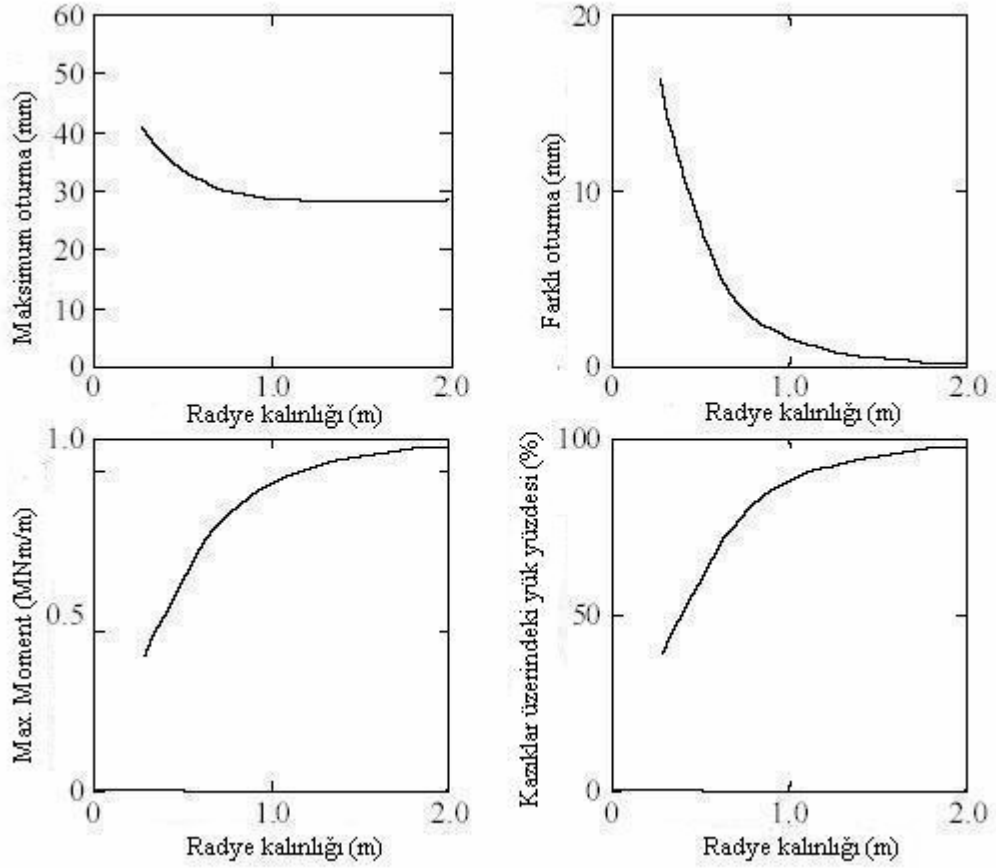
9 kazıklı 0.5 m kalınlığındaki radye temel için; Şekil 3.4'de, merkezdeki ve dış kazıklar arasındaki farklı oturmanın, radye temel içindeki maksimum momentin, yükün kazık tarafından taşınan oranının ve maksimum oturmanın kazık uzunluğu ile değişen etkileri gösterilmektedir. Analiz GARP programının kullanılması ile uygulanmıştır. Tahmin edildiği üzere, kazık tarafından taşınan yük oranı artarken; oturma, farklı oturma ve maksimum moment kazık uzunluğu arttıkça azalmaktadır. Şekil 3.3 ile Şekil 3.4 kıyaslandığında; daha efektif bir tasarım için, kazık uzunluğunu artırmanın kazık sayısını artırmaktan daha etkili bir çözüm olduğu açığa çıkmış olur



Şekil 3.4. Kazık uzunluğunun, 9 kazıklı 0.5 m kalınlığındaki radye temel üzerindeki etkisi

3.3. Radye Temel Kalınlığının Etkisi

Şekil 3.5’de, farklı kalınlıklardaki radye temeli taşıyan 9 kazıklı, kazıklı radye temel için GARP programından elde edilen çözümler gösterilmektedir. İnce radyeler dışında, maksimum oturma radye temel kalınlığından etkilenmezken, farklı oturmalar artan radye temel kalınlığı ile önemli derecede azalmaktadır. Tersine, radye temelin maksimum oturması artan radye temel kalınlığı ile artmaktadır. Kazıklar tarafından taşınan yük oranı radye temelin kalınlığından etkilenmez. Bu durum için, radye kalınlığını 0.8 m den büyük yapmanın az yada çok hiçbir karı yoktur.



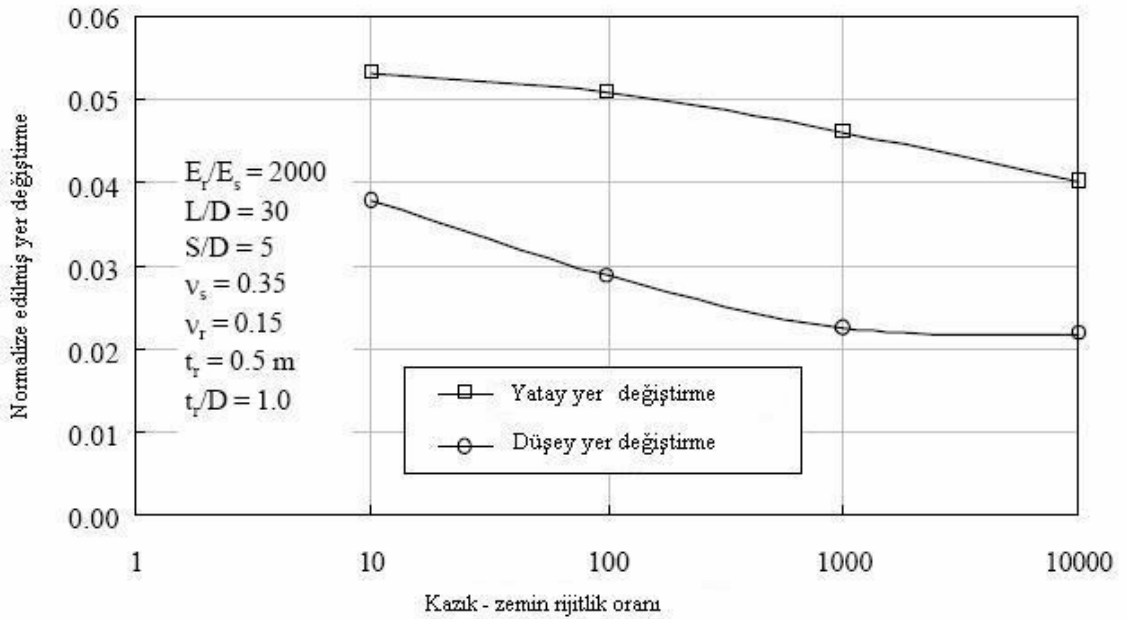
Şekil 3.5. Radye kalınlığının temel dayanımına etkisi. 10 m uzunluğunda 9 kazıklı radye,
Yük=12 MN

Burada verilen sonuçlardan, radye temel kalınlığını artırmanın farklı oturmaları azaltması bakımından etkili bir sonuç verdiği kararına gidilmektedir. Ancak, radye temel kalınlığının artırmanın her iki kolon yükleri ve kazık yüklerinden meydana gelen zıbalama kuvvetine karşılması ile etkili olduğu açıklanmıştır. Kazık desteği olmadan radye temel tarafından desteklenen maksimum kolon yükü, sonuç olarak radye temelin artan kalınlığı ile artmaktadır.

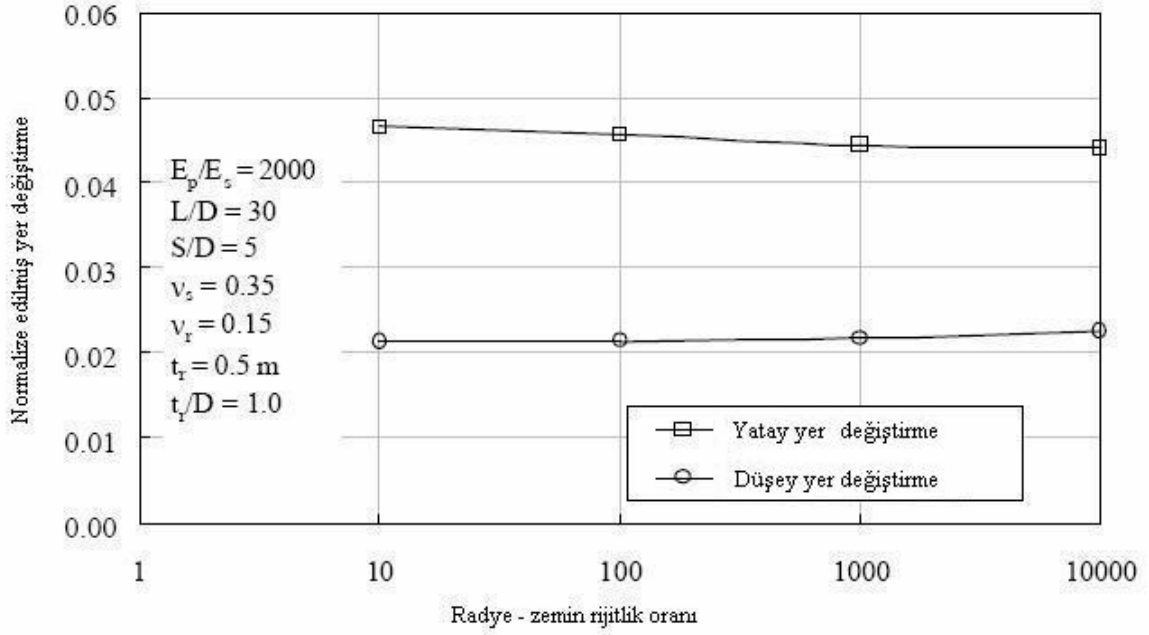
4. PARAMETRİK ÇALIŞMA

Small ve Zhang (2000), derin üniform zemine gömülü 16 (4 x 4) kazık ile kare kazıklı radye temelin parametrik çalışmasını yapmışlardır. Radye ve zeminin poisson oranları sırasıyla 0.15 ve 0.35 seçilmiştir. Radyenin kalınlığı ve kazıkların çapı 0.5 m alınmıştır. Kazığın üstündeki düşey ve yatay yer değiştirmeler Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3’de gösterilmiştir.

Her iki yatay ve düşey yükleme durumlarında, normalize edilmiş yatay ve düşey yer değiştirme $I_{u_{xx}}$ ve $I_{u_{zz}}$ aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1. Kazık – zemin rijitliğinin, kazıklı radye temelin yer değiştirmesi üzerindeki etkisi

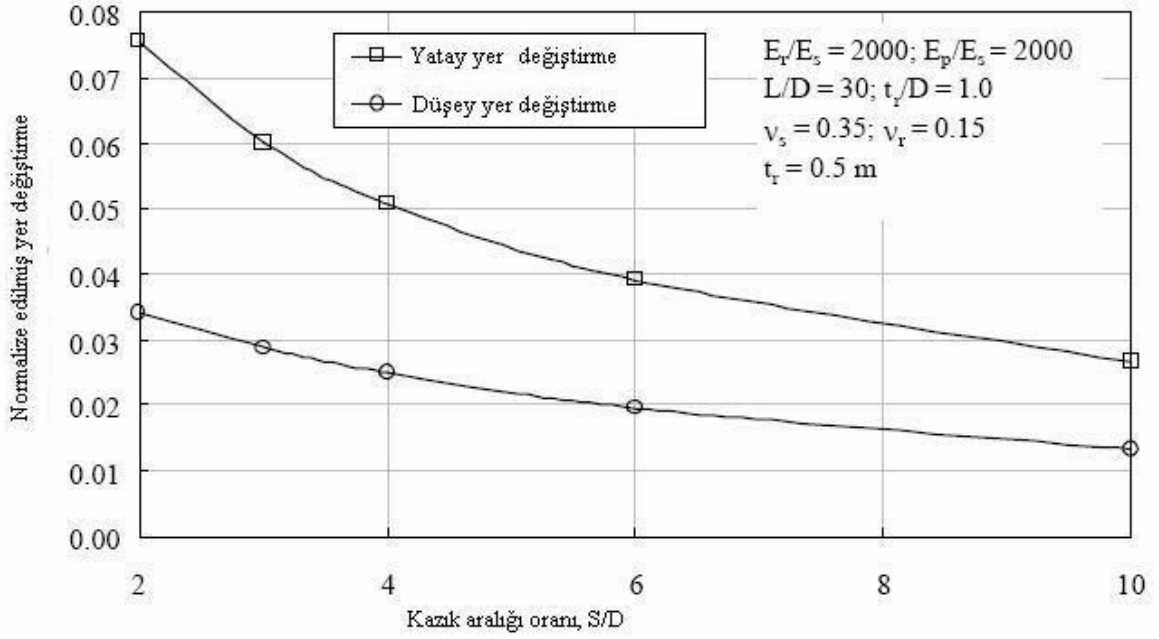


Şekil 4.2. Radye – zemin rijitlik oranının, kazıklı radye temelin yer değıştirmesi üzerindeki etkisi

$$I_{u_{xx}} = \frac{E_s D}{q_x B_r L_r} u_x$$

$$I_{u_{zz}} = \frac{E_s D}{q_z B_r L_r} u_z$$

u_x ve u_z sırasıyla gerçek yatay ve düşey yer değıştirmeyi verirler. Es zeminin elastisite modülü, D kazık çapı, q_x ve q_z üniform yatay ve düşey yüklerdir. B_r ve L_r , radyenin plandaki genişliği ve uzunluğudur.



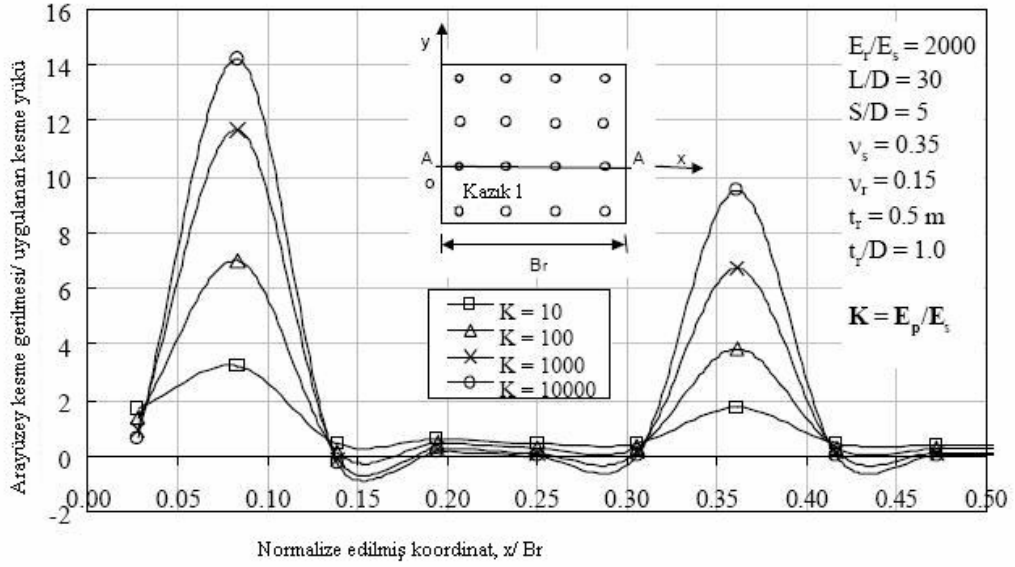
şekil 4.3. Kazık aralığının kazıklı radye temelin yer değiştirmesi üzerindeki etkisi

4.1. Kazık-Zemin Etkileşim Oranının Yer Değiştirme ve Yükl Dağılımı Üzerindeki Etkisi

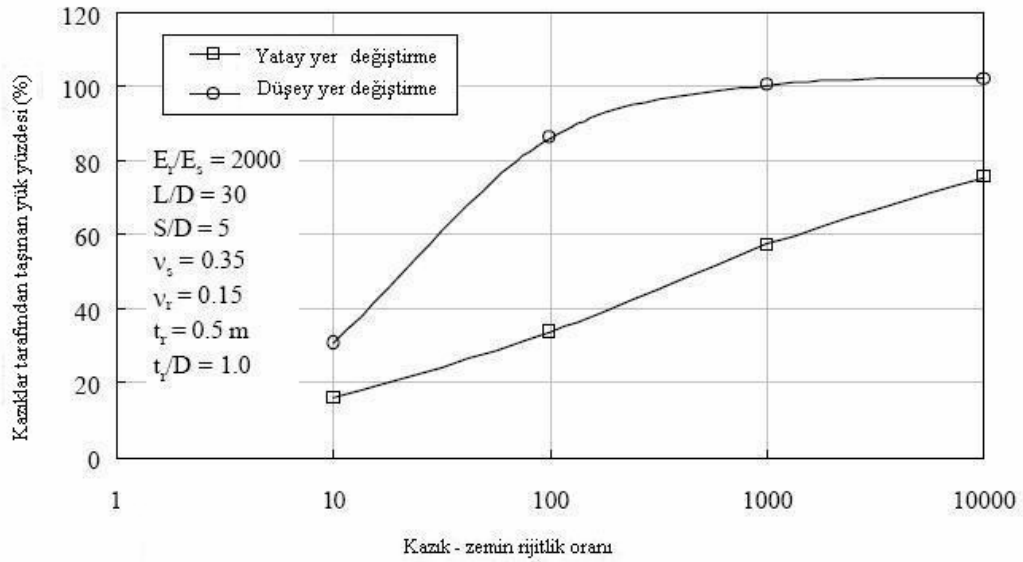
şekil 4.1, şekil 4.4 ve şekil 4.5’de, farklı kazık – zemin rijitlik oranları için radyeye x yönünde uygulanan üniform kesme yükünün analiz sonuçları gösterilmiştir. şekil 4.4’de, A-A kesiti boyunca ara yüzey üzerindeki kesme basınçlarının varyasyonu gösterilmiştir. kazıkların olduğu yerlerde yüksek kesme gerilmelerinin oluştuğu gözlenmiştir. Kazık – zemin rijitliği oranındaki artış, kazık başlarındaki kesme basınçlarının artmasına ve zemin yüzeyindeki kesme basınçlarının bir parça azalmasına sebep olmuştur.

şekil 4.1’de, kazık – zemin rijitliğinin (E_p/E_s) artması, yatay yük altındaki kazıklı radyenin yatay yer değiştirmesinin azalmasına sebep olmuştur. Düşey yükleme altındaki kazıklı radye için, düşey yer değiştirmede de azalma görölür. Ancak; kazık – zemin rijitlik oranı düşük ise, düşey yer değiştirmeler kazık – zemin rijitlik oranı ile oldukça hızlı bir şekilde düşer. Fakat kazık – zemin rijitlik oranı 1000’in üzerinde ise, kazıklı radye temelin düşey saptması kazık – zemin rijitlik oranı ile çok hassas değildir. Sonuç olarak, kazıklar tarafından

taşınan yatay yük yüzdesi, kazık – zemin rijitlik oranı arttıkça artarken; kazık – zemin rijitlik oranı 1000’i aştığında, kazıklar tarafından taşınan düşey yük artışı durur.



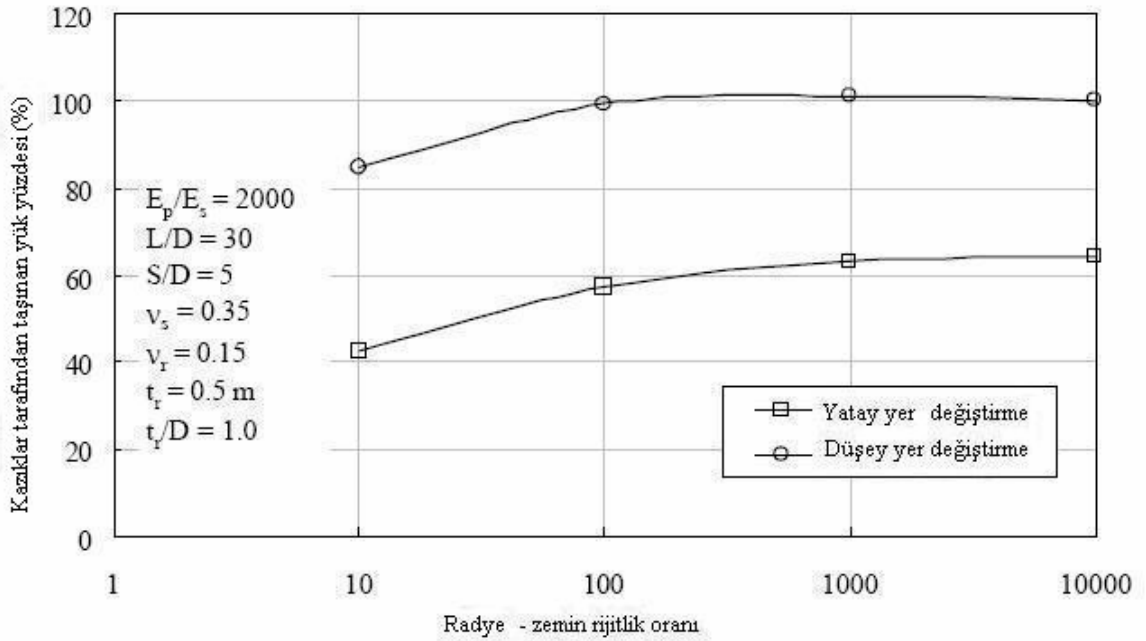
Şekil 4.4. A-A kesiti boyunca ara yüzey üzerindeki kesme basınçlarının varyasyonu



Şekil 4.5. Kazık – zemin rijitlik oranının kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi üzerindeki etkisi

4.2. Radye – Zemin Rijitlik Oranının Yer Değiştirme ve Yük Dağılımı Üzerindeki Etkisi

Radye – zemin rijitlik oranının etkisini anlamak için (E_r/E_s); kazık modülünün zemin modülüne oranı E_p/E_s 2000 alınırken; kazık aralığı oranı S/D , kazığın narinlik oranı L/D ve zemin modülü E_s sabit tutulmuştur. Şekil 4.2’de, radye – zemin rijitlik oranının, yatay yükleme yada düşey yükleme fark etmeksizin kazıklı radye temelin yer değiştirmesinde sınırlı sayıda etkisi vardır. Ancak; Şekil 4.6’da, düşük radye – zemin rijitlik oranı için (bu örnek için 100’den küçük) radye – zemin rijitlik oranındaki artış kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesinde artışa sebep olduğu gösterilmiştir. Radye – zemin rijitlik oranının yüksek değerleri için (100’den büyük), radye – zemin rijitlik oranındaki değişimin yük dağılımı üzerinde küçük etkisi olacaktır.

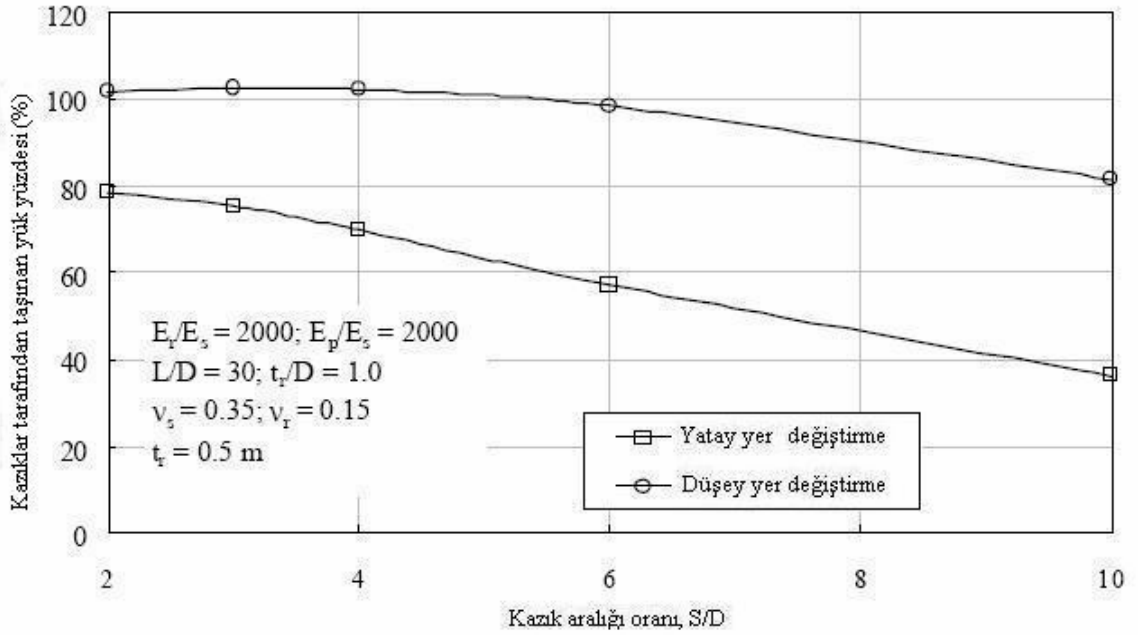


Şekil 4.6. Radye – zemin rijitlik oranının kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi üzerindeki etkisi

4.3. Kazık Aralığı Oranının Yer Değiştirme ve Yük Dağılımı Üzerindeki Etkisi

Kazık aralığı arttıkça, kazık başlığı yada radye ve toplam uygulanan yük artar (yük yayılı ise). Kazık narinlik oranı $L/D = 30$, zemin modülü $E_s = 10$ MPa ve E_p/E_s ve E_r/E_s 2000 olarak alındığında, hesaplanan sonuçlar Şekil 4.3 ve Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

Şekil 4.3'de görüldüğü üzere, özellikle küçük kazık aralığı oranları için, kazıklı radye temelin düşey yada yatay yüklemeye maruz kalması fark etmeksizin kazık aralığı oranının kazıklı radye temelin yer değiştirmesinde önemli etkisi vardır. Kazık aralığı oranındaki artışın kazıklar tarafından taşınan yatay yükün belirgin şekilde azalmasına yol açtığı Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Ancak, $E_p/E_s = E_r/E_s = 2000$ gibi şartlarda, kazık aralığı oranının kazıklar tarafından taşınan düşey yük yüzdesinde sadece çok küçük bir etkisi vardır.



Şekil 4.7. Kazık aralığı oranının, kazıklar tarafından taşınan yük yüzdesi üzerindeki etkisi

5. BAĞIMSIZ OTURMA AZALTICI KAZIKLAR İLE RADYE TEMELLER

5.1. Giriş

Kazıkların oturma azaltıcı kazık olarak kullanılmaları, radye temelin toplam ve farklı oturmalarını kontrol etmek amacı ile etkilidir. Bu yolla, klasik hesap yöntemine göre hesaplanan kazılardan daha az sayıda kazık, radye temelde oluşacak oturmaları müsaade edilebilir değerlere indirgemek için çoğu zaman yeterli gelmektedir.

Uygulamada çoğunlukla , kazıklar ile radye temel arasında rijit bir bağlantı oluşturmak için kazık başları radye temele yapısal olarak bağlanır. Yapısal eleman olarak davranan bu kazıklar, sadece üst yapıyı desteklemek için yeterli taşıma kapasitesine sahip değil; aynı zamanda yapısal kırılmayı önlemek için belli güvenlik sayısını sağlamaktadırlar. Kazıklar ile radye temel arasında yapılan düzgün bağlantılar, uygulanan yükü kazıklara aktarmak amacıyla gereklidir. Bu nedenle, kazık başlarının radye temele yada kazık başlığına bağlantıları, çelik kazıklar için başlık plakası, betonarme kazıklar için demir çubuk bağlantıları ile radye temel içine belli derinlikte gömülmelidir.

Radye temelin kalınlığı, zımbalamayı önleyecek ve düşey yüklerin etkili bir şekilde aktarımını sağlayacak yeterlilikte olmalıdır. Ayrıca; bu yapısal bağlantılar yanal yükleri karşılayabilecek yeterlilikte olmalıdır.

Klasik hesap yöntemindeki kazıklı radye tasarımında, kazık sayısı oldukça fazladır ve her bir kazık tarafından taşınan yük oldukça küçüktür. Kazıkların maksimum geoteknik taşıma kapasitelerine yada yapısal kırılma yüküne ulaşmalarından önce oldukça büyük güvenlik payı vardır. Kazıkların taşıma kapasiteleri, kazık malzemesinin basınç dayanımından çok geoteknik taşıma kapasitelerine göre kontrol edilir. Ayrıca, yapısal bağlantıların düzgün olması ve fazla sayıda kazık kullanılmaları sayesinde kazıkların yanal kuvvetlere karşı dirençleri genellikle yeterli olmaktadır.

Oturma azaltıcı kazıklar yapısal eleman olarak kullanıldıkları zaman, kazıkların maksimum geoteknik kapasitelerinin tamamını kullanmaları nedeni ile

oturmalar oldukça büyük olmaktadır (Burland ve ark. 1977). Oturma azaltıcı kazılar ile radye temellerin etkili tasarımı için, (Randolph ve Clancy 1993), çalışma yükleri altında, kazıkların geoteknik kapasitelerinin %80'ni kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Bu yöntem ile, düşük bir güvenlik sayısı kazıkların geoteknik kapasitelerine uygulanabilir. Böylece; radye temelin taşıma kapasitesinin tek başına etkili olduğu düşünülerek kazıklı radye temelin performansı yeterli olabilecektir. Fakat, bu kazıklar, klasik hesap yöntemine göre radye temele yapısal olarak bağlanırlarsa; az sayıda kazığa büyük aksenal gerilmeler oluşabilir.

Sonuç olarak, bu oturma azaltıcı kazıklar geoteknik kapasitelerinden çok yapısal kapasiteleri ile çalışmış olurlar. Böylece yapısal göçmeyi önlemek için daha yüksek güvenlik sayısının uygulanması gerekmektedir.

Ayrıca, radye temelin altına seyrek olarak yerleştirilen bu kazıklar yanal yüklere karşı yeterli yanal dayanımı sağlayamayabilir. Bu nedenle; büyük rüzgar yükleri ile sismik olarak aktif bölge içindeki radye temellerin üzerine oturan yapılar ve bazı önemli yapılarda yapısal olarak bağlı oturma azaltıcı kazık kullanımına engel olunmuştur.

Radye temele eklenen kazıkların ana amacının oturma kontrolü olduğundan beri ve sonuçta temel tasarımında ekonomik olmayı yakalamak için, bu kazık tasarımında uygulanacak tek çözüm; yukarıda belirtilen problemlerden sakınarak kazıkları zemin tabanı için rijitleştirme elemanı olarak düşünmektir.

5.2. Kazıklı Radye Temellerin Mevcut Uygulamaları ve Gelişmeleri

Kazıklı radye temel tasarımı uygulamaları, radye temeli oldukça büyük bir kazık başlığı ve kazıkları da radye temelin altına normal temel kazığı olarak yapılmaktadır. Temel tasarımındaki ilk aşama, temelin kırılmaya karşı koyabilecek, yeterli güvenlik sayısı ile tasarlanmasıdır. Klasik geoteknik uygulamasında; global güvenlik sayısı, kazığın hesaplanan maksimum geoteknik kapasitesine uygulanır. Kazıkların maksimum taşıma kapasitesi, sürtünme direnci ile uç direncinin toplamından oluşur, böylece kazık üzerindeki müsaade edilebilir yük aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_a = Q_u / F_s = (Q_s + Q_b) / F_s \quad (5.1)$$

Q_a =kazık üzerindeki müsaade edilebilir yük

Q_u =kazığın maksimum geoteknik kapasitesi

Q_s =kazığın yüzey sürtünme direnci

Q_b =kazığın uç direnci

F_s =güvenlik sayısı (2 ile 3 arasında)

Eğer zemin koşulları çok iyi tanımlanmışsa ve yükleme deneyleri sonucu elde edilen datalar mevcut ise global güvenlik sayısının 1.8'in altında kullanılabileceği belirtilmiştir. (Kanada Temel Mühendisliği El Kitabı 1992)

Son zamanlarda, kısmi güvenlik sayısına, geoteknik mühendisleri arasında ilgi duyulmaya başlanmıştır. Kısmi güvenlik sayılarına bağlı sınır durum tasarımı için yazılan (Eurocode 7 1997), kazıkların maksimum taşıma dayanımı tasarımını (R_{cd}) ayrıntılı olarak incelemiştir.

$$R_{cd} = R_{bd} + R_{sd} \quad (5.2)$$

R_{bd} =kazıkların uç direnci tasarımı= R_{bk}/γ_b

R_{sd} =kazıkların yüzey sürtünme direnci tasarımı= R_{sk}/γ_s

R_{bk} =kazık uç direnci özelliği

R_{sk} =kazıkların yüzey sürtünme direnci özelliği

γ_b, γ_s =kısmi güvenlik sayıları

Güvenli tasarım yükü, maksimum taşıma kapasitesi tasarımını geçmemelidir.

Böylece,

$$F_{cd} \leq R_{cd} \quad (5.3)$$

F_{cd} =güvenli tasarım yükü= $F_k \times \gamma_f$

F_k =yük özelliği

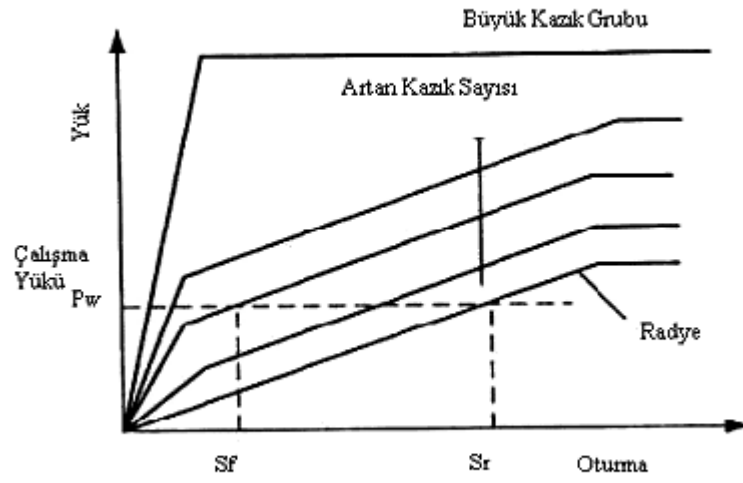
γ_f =yük faktörü

Kısmi güvenlik sayıları için tavsiye edilen değerler Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Yük faktörü γ_f genellikle ölü yükler için 1.35 ve aşırı yükler için 1.5 tur.

Çizelge 5.1. Eurocode 7'den sonra, kazıklar için kısmi güvenlik sayıları

Kazık Tipi	γ_b	γ_s
Çakma kazıklarda	1.3	1.3
Delme Kazıklarda	1.6	1.3



Şekil 5.1. Poulos ve Davis (1980) den sonra, kazık- radye temel sistemi

Kazıklı radye temel tasarım metodlarının şu anki uygulamalarında; radye temel taşıma kapasitesi ihmal edilmektedir. Üst yapı yükünün tamamının kazıklar tarafından taşındığı ve temel toplam güvenliğinin sadece kazık kapasitesine uygulandığı varsayılır. Ancak; radye temel toplam temel kapasitesine önemli derecede katkı sağlayabilir; örneğin, Cooke (1986), yapı yükünün %30'nun radye temel tarafından taşındığını belirtmiştir. Şu anki kazıklı radye temel tasarımlarında uygulanan toplam güvenlik sayısı oldukça büyük olabilir.

Şekil 5.1, temel tasarımları için oturma azaltıcı kazık tasarımını göstermektedir. Radye temel yapı yükünü tek başına sağlayabilecek taşıma kapasitesine sahipse, kazıklar radye temel altına yük taşıma elemanlarından çok

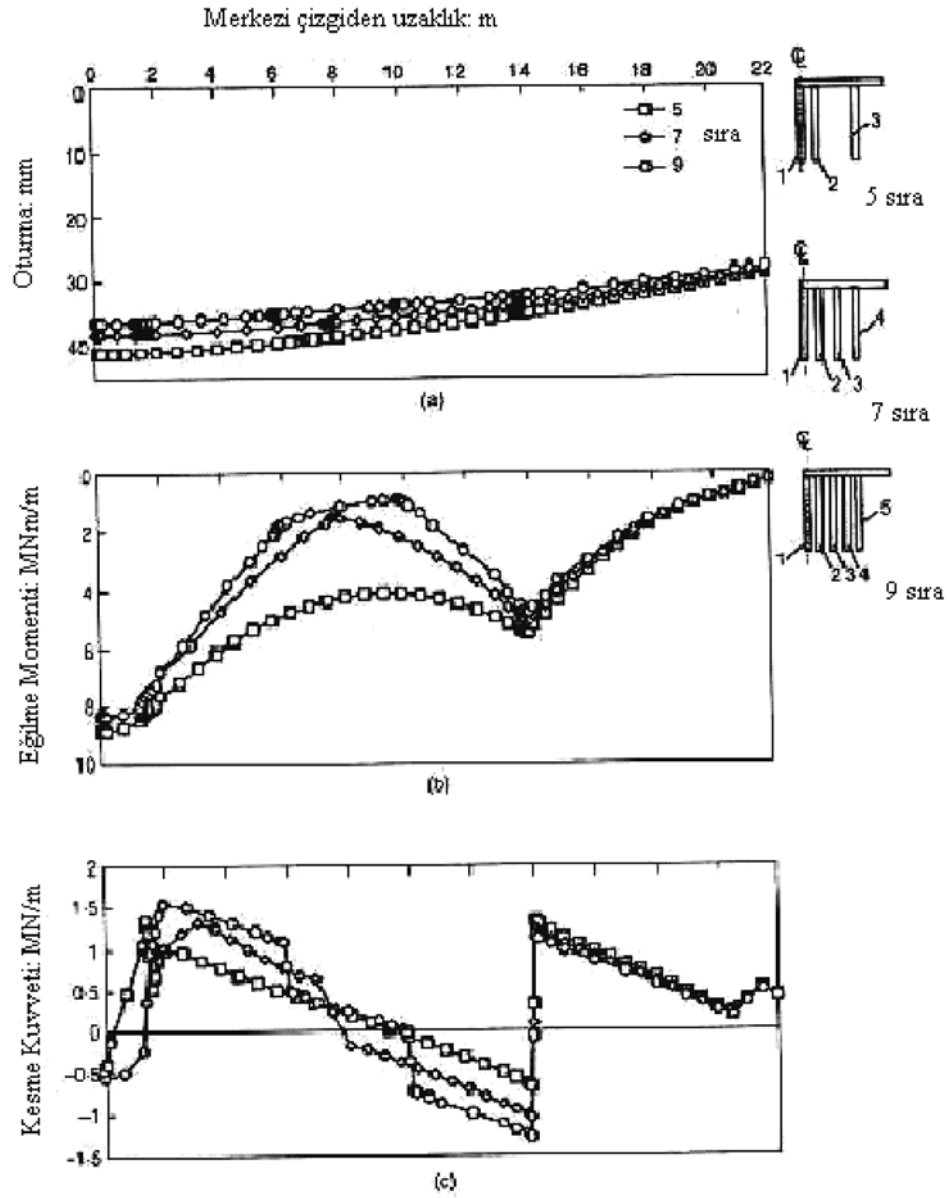
oturma azaltıcı eleman olarak yerleştirilmelidirler. İdeal olarak, oturma azaltıcı kazıkların maksimum geoteknik kapasitesinin tamamen kullanılabilmesine izin verilebilir, ve bu kazıkların geoteknik kapasiteleri için global güvenlik sayısı 1 olarak alınabilir. Kazık sayılarında yada güvenlik sayılarındaki artış, temellerin yeniden tasarlanmasına yol açabilir fakat bu durum oturma değerlerinin azaltılmasında minimum etkiye sahiptir.

Az sayıda kazık kullanılmasına rağmen, radye temelin taşıma kapasitesinin yeterli olduğu durumda kazıklı radye temelin etkisi de yeterli olabilecektir. Şekil 5.1’de gösterildiği üzere, radye temelin tek başına yaptığı oturma, S_r , çalışma yükü altında, P_w , oldukça büyük olabilir. Aynı çalışma yükü altında, kazık sayısı arttıkça temelin oturması, S_f , azalacaktır. Gerekli oturma azaltmasının büyüklüğü, gereken kazık sayısını belirler. Kazık sayısı, uzunluğu ve kazıkların yerleşimi, radye temelin oturmasının kabul edilebilir sınırlar içinde kalmasını kontrol etme amacını taşıyarak dikkatli bir şekilde seçilmelidir.

Gelen yük koşulları altında, kazıklı radye temellerin iki boyutlu sonlu eleman analiz sonuçları, kazık sayılarının temel davranışı üzerindeki etkilerini göstermede yardımcı olmaktadır.

Şekil 5.2, farklı sayılardaki kazık dizilişleri ile radye içinde hesaplanan oturma, eğilme momenti ve kesme kuvveti profillerini göstermektedir. Kazık sayılarındaki artış, maksimum ve farklı oturmalarda sadece çok küçük bir azalma sağladığı görülmüştür. Kazık sayılarının artması ile maksimum negatif kesme kuvvetinde artış görülürken, farklı dizilişlerdeki kazıklar ile radye temellerde oluşan eğilme momentleri kıyaslanabilir. Sonuç olarak, oturma azaltıcı kazıkların fazla sayıda kullanılması radye temel için çok büyük fayda sağlayacağı düşünülemez.

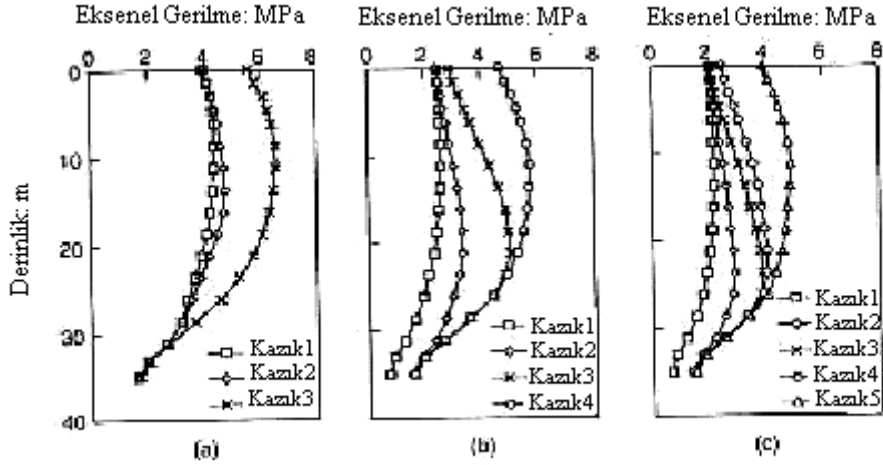
Şekil 5.3’de, radye temeller ile farklı dizilişlerdeki kazıklar için sonlu eleman analizinden elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Kazıklardaki aksenal gerilme kazık sayılarındaki düşüş ile birlikte artmaktadır. Yapısal kavramlara dayanarak, yüksek yapı kapasitesinin klasik hesap yöntemine göre tasarlanan kazıklardan çok oturma azaltıcı kazıklara ihtiyacı vardır.



Şekil 5.2. Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için, 35 m uzunluğundaki oturma azaltıcı kazık diziliminin, hesaplanan kazıklı radye temel davranışına etkisi: (a) oturma; (b) eğilme momenti; (c) kesme kuvveti

5.3. Radye Temele Yapısal Olarak Bağlı Oturma Azaltıcı Kazıklarda Karşılaşılan Problemler

Fleming ve ark. (1992), maksimum ve farklı oturmaları azaltmak için esnek radye temelin merkez alanı altına az sayıda kazık yapılabileceğini



Şekil 5.3. Jakarta, Endonezya'da yüksek katlı yapı için, kazık diziliminin, hesaplanan aksel kazık gerilmesi dağılımına etkisi: (a) 5 kazık ile; (b) 7 kazık ile; (c) 9 kazık ile

önermişlerdir. Bu kazıklar radye temele çoğunlukla yapısal olarak bağlıdır. Daha önce tartışıldığı gibi, oturma azaltıcı kazıklar için yapısal kapasite düşüncesi, kazıklarda oluşabilecek oldukça yüksek aksel gerilme sebebi ile kritik olabilir. Bu tip kazıkların yapısal kırılması, yüksek dayanımda ve kalitede malzeme ve yeterli güvenlik sayısı ile önlense de; olası yanal kuvvetler, kazık ile radye temel arasındaki bağlantılara zarar verebilir.

Eurocode 7'ye göre, kazıkların yapısal kapasite hesabı, yapısal eleman tasarımı için gerekli kuralları takip etmelidir. Böylece, maksimum sınır değer kavramı kullanılır ve malzeme özellikleri için kullanılan global güvenlik sayısı yerine yükler ve malzeme için kısmi güvenlik sayısı kullanılır. Çizelge 5.2'de, pratikte bazı Avrupa kodları ile anlaşmalı yük ve malzeme özellikleri için gerekli kısmi güvenlik sayıları gösterilmiştir. Betonarme kazıklarda, yük için ortalama kısmi güvenlik sayısı γ_f 1.4 ise ve beton için γ_c 1.5 ise, global güvenlik sayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$F_s = \gamma_{fx} \gamma_c = 1.4 \times 1.5 = 2.1 \quad (5.4)$$

Eurocode 7 tarafından uygulanan maksimum sınır değer tasarımı tek bir global güvenlik sayısı kullanan klasik hesap yönteminden daha az katı olsa da, kazıklardaki gerilme seviyesinin kazığın basınç dayanımının %50'sini geçmemesini gerektirir. Oturma azaltıcı kazıklardaki yüksek eksenel gerilme seviyeleri nedeni ile yapısal elemanlar olarak tasarlanan bu kazıkların kullanımı sınırlandırılır.

Genellikle, üst yapıya etkiyen rüzgar ve deprem yükleri, temel sisteminde kazık başlarına iletilen esas yanal kuvvetlerdir. Kazıklar için gerekli kesit alanı, kazık başlarındaki kesme kuvveti ve eğilme momentlerinin kontrol edilmesi ile belirlenir. Yüksek deprem ve rüzgar yüklerine karşı koyabilmek için, ya fazla sayıda kazık uygulaması yada az sayıda büyük kesit alanına sahip kazık uygulaması ile toplamda kesit alanı büyük kazıklara ihtiyaç vardır. Ancak; oturma azaltıcı kazıklar ile radye temel tasarımlarında, yanal yük kapasitesini artırmak için büyük kazık kullanımı yada kazık sayısını artırmak ekonomik olarak uygun değildir.

Çizelge 5.2. Yük ve malzeme özellikleri için kısmi güvenlik sayıları

	İngiliz standardı BS 8110 (1985)	Danimarka standardı DS 409 (1983)	Eurocode2 (1992)
Ölü Yükler γ_f	1.4	1	1.35
Uygulanan yükler γ_f	1.6	1.3	1.5
Donatı γ_s	1.15	1.4	1.1
Beton γ_c	1.5	1.8	1.5

5.4. Oturma Azaltıcı Kazıklar ile Radye Temel Tasarımına Alternatif Bir Yaklaşım

Oturma azaltıcı kazıkların radye temelin toplam ve farklı oturmalarını kontrol altına alması açısından etkili ve ekonomik olduğundan şüphe yoktur. Eğer

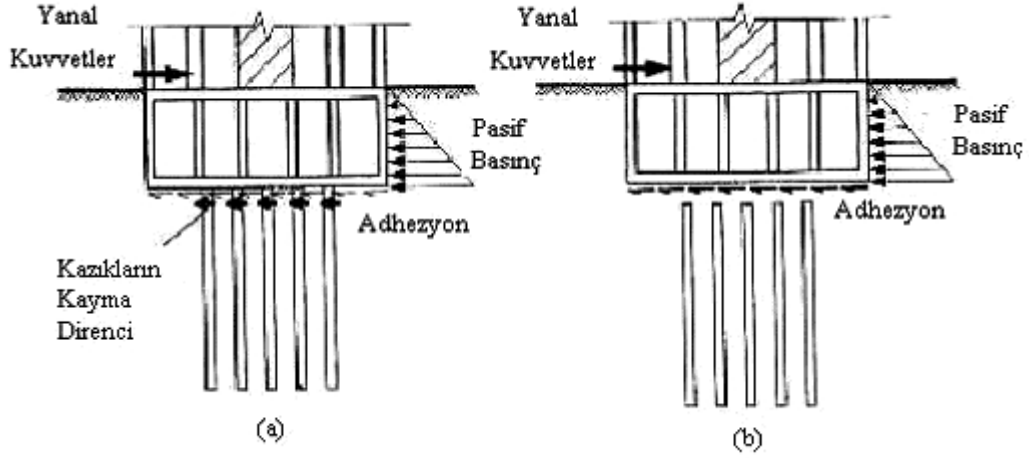
bu kazılar yapısal kazıklar olarak tasarlanırlarsa, kazıklarda yüksek eksenel kuvvetler oluşabilir ve yapısal kırılmaları önlemek için de yüksek güvenlik sayısının uygulanması gerekmektedir. Yapısal bağlantılardan etkilenen bu kazıkların, büyük yanal kuvvetlere nasıl karşı koyabilecekleri ile ilgili sorular çoğalmaktadır.

Oturma azaltıcı kazıkların esas sebebi, radye temelın toplam ve farklı oturmalarını kontrol altına almaktır. Temel tasarımı için tek yöntem, kazıklar ile radye temel arasında yapısal bağlantıyı kaldırarak ve taban zemininin rijitliğini artırarak kazıkları tanımlamaktır. Kazık ile radye temel arasında bir boşluk yaparak, kazıkların yapıdan gelen yükü direkt olarak taşımaması sağlanır. Bu oturma azaltıcı kazıkların, radye temel ile arasında yapısal bir bağ olmaması, yapısal kırılmaya karşı yapı standartlarını ihlal etmeksizin; yapı kazıkları için önerilenden daha az sayıda güvenlik sayısı kullanılabileceği belirtilmiştir.

Bu bağımsız kazıkların maksimum geoteknik kapasitesinin tamamen kullanıldığı düşüncesi ile, bu oturma azaltıcı kazıkların yapısal tasarımları kritik olmaktan çıkmıştır. Malzeme dayanımlarında ve yüklerdeki küçük farklar ve belirsizlikler ihmal edilebilir çünkü bu kazıklar yükü taşıyan esas elemanlar değildirler. Kazıklarda oluşabilecek küçük kırılmalar taban zeminini güçlendirme görevini azaltmasını çok büyük derecede etkileyemeyebilir. Yapısal kırılmaya karşı 1.3 ten küçük güvenlik sayısı kazık malzemelerine uygulanabilir.

Sonuç olarak, bu oturma azaltıcı bağımsız kazıklar, yapısal olarak bağlı kazıklara göre daha fazla yük taşıyabilmektedirler ve doğal olarak ekonomiye büyük katkı sağlamaktadırlar. Daha da fazlası, yanal yükler zemin-radye ara yüzü boyunca adhezyon kuvveti ile etkili bir şekilde iletilir; (Şekil 5.4b). Aynı zamanda, yüksek katlı yapılar için kazıklı radye temel yapısı bodrum katlar içerir ve yanal kuvvetlere bodrum duvarlarına etkileyen pasif basınçlar ile karşı konulur.

Radye temel altındaki taban zemininin güçlendirme etkisi ilk olarak Hooper tarafından belirtilmiştir. Hooper (1979), taban zeminini güçlendirilmiş zemin tabakası gibi analiz ederek sadece çok az sayıda kazığın oturmaları azaltmada etkili olduğunu belirtmiştir. Randolph (1983), kazıkların radye temelden ayrı tutulması ile, kazıkların yanında radye temelde oluşan yüksek eğilme momentlerinin azaldığını belirtmiştir.



Şekil 5.4. Yatay yükler için transfer mekanizması: (a) radye temele yapısal olarak bağlı kazıklar; (b) radye temelden yapısal olarak ayrı kazıklar

5.5. Radye Temele Yapısal Olarak Bağlı Kazıklar ile Bağımsız Kazık Davranışlarının Kıyaslanması

5.5.1. Temel modelinin detayları

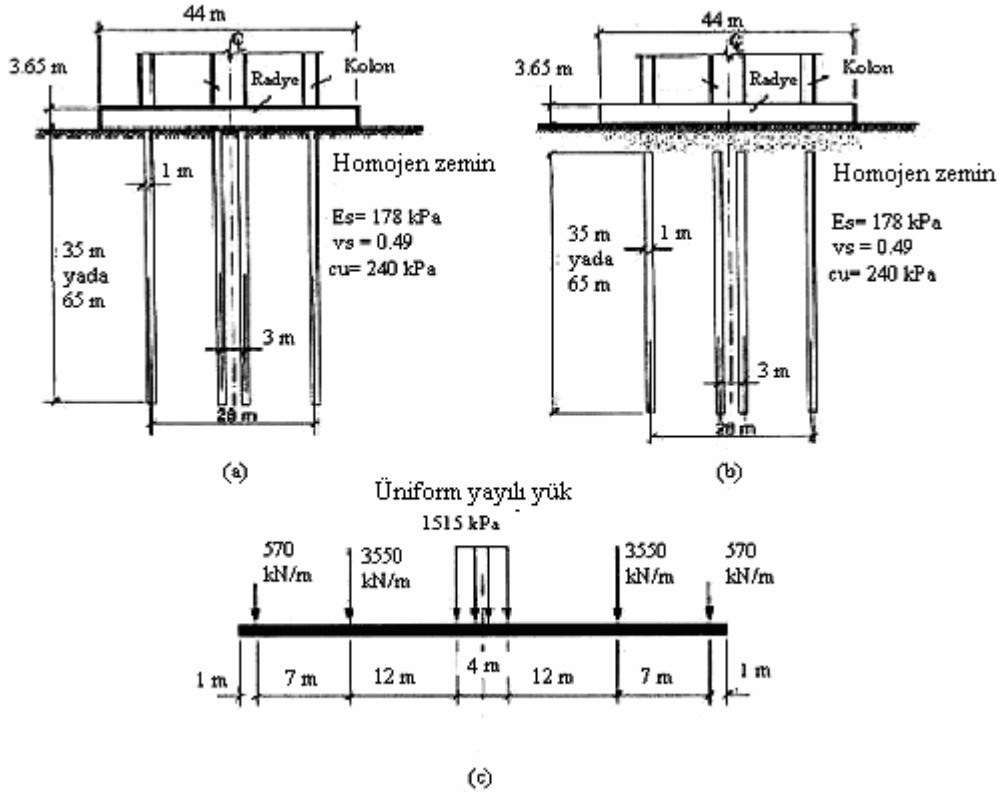
Düşünülen yapı, 44m x 99m alanda dikdörtgen radye temele oturan 2 bodrum kata sahip 39 katlı ikiz kuleli bir yapıdır. Temel analizinde; radye temelin oldukça rijit 86 m kalınlığında sert kile oturduğu varsayılmıştır. Kilin ortalama drenajsız elastik modülü 178 MPa ve poisson oranı 0.49'dur. Kil tabakasının yükleme boyunca drenajsız malzeme olarak davranacağı düşünülmüştür. Kilin drenajsız kayma mukavemeti 240 kPa alınmıştır. Radye ve kazık betonun elastisite modülü 27 GPa alınmıştır. Betonun lineer elastik malzeme olarak davranacağı varsayılarak poisson oranı 0.15 alınmıştır. Radye temel 3.65 m kalınlığında ve 44 m genişliğindedir. Fore kazıklar 35 m ya da 65 m olarak değişmektedir.

Şekil 5.5, analizde kullanılan kazık dizilişinin kesitini göstermektedir. Bu bağımsız kazıklar için, 1 m kalınlığında zemin tabakasının, kazık başları ile radye temel arasında olduğu varsayılmıştır. 4 sıra, benzer kazık radye temelin merkezine simetrik olarak yerleştirilmişlerdir. Bu kazıklardan ikisi yapı alanının merkez

altına , diğeri ikisi de aşırı çizgisel yüklemelerin altına yerleştirilmişlerdir. Her kazık diziliminde, kazık arası 3 m dir. 1515 kPa değerindeki yayılı yük, 4 m genişliğindeki çekirdek alana etkimektedir. Radye temelin köşesinden sırasıyla 8 m ve 1 m mesafede yerleştirilen 3550 kN/m ve 570 kN/m değerindeki çizgisel yükler, çekirdek alanın her iki tarafına etkimektedirler; (Şekil 5.5c)

Radye temelin genişliği boyunca uygulanan ortalama eşdeğer basınç, 325 kPa'dır. Radye temelin maksimum taşıma kapasitesi $6c_u$ ya da yaklaşık olarak 1400 kPa değerinde hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, radye temelin kırılmaya karşı güvenlik sayısı 4.4 olması ile radye temel tek başına çalışma yükleri altında yeterli taşıma kapasitesini gösterebilir. Fakat, radye temelin oturması çok yüksek değerleri bulabilir. Bu sebeple, oturma azaltıcı kazıklar radye temelin oturmasını kontrol altına almak amacı ile ve radye temelin eğilme momentini azaltma amacı ile gereklidirler.



Şekil 5.5. Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için düşünülen oturma azaltıcı kazıklar ile radyenin modellenmesi: (a) radyeye yapısal olarak bağlı kazıklar; (b) radyeye yapısal olarak bağlı olmayan kazıklar; (c) uygulanan yük

5.5.2. Kazık kapasitesi:

Aşağıda, radye temel ile yapısal olarak bağlantılı ve bağlantısız iki tip radye temel davranışı statik analiz ve sonlu elemanlar analizi ile kıyaslanmıştır.

Yapısal olarak bağlı kazıklar için, yapısal kırılmaya karşı güvenlik sayıları BS 8004’e göre genellikle 4 (kazıkların basınç dayanımının %25) alınır. Donatı direnci ihmal edilirse, 1 m çapındaki kazığın müsaade edilebilir yükü, aşağıdaki gibi alınabilir.

$$\begin{aligned}
 Q_a &= 0.25 \times A_c \times f_c \\
 &= 0.25 \times 0.785 \text{ m}^2 \times 40 \text{ MPa} = 7850 \text{ kN}
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

A_c ve f_c sırasıyla betonun kesit alanını ve betonun basınç dayanımını gösterir.

Yapısal olarak bağlı olmayan kazıklar için, yapısal kırılmaya karşı güvenlik sayıları oldukça düşüktür. Bu problemde 1.3 olarak alınmıştır. Yine donatı direnci ihmal edildiğinde, kazıklar üzerindeki müsaade edilebilir yük, aşağıdaki gibi alınabilir.

$$Q_a = A_c \times f_c / 1.3$$

$$Q_a = 0.785 \text{ m}^2 \times 40 \text{ MPa} / 1.3 = 24150 \text{ kN} \quad (5.6)$$

Sonuç olarak; yapısal olarak bağlı olmayan oturma azaltıcı kazıklar, yapısal olarak bağlı kazıklardan daha fazla yükün uygulanmasına izin verirler. Kazıklarda oluşan hafif hasarlar, temel zeminin güçlendirme etkisini etkilememektedir. Bunun sebebi de, yapısal olarak bağlı kazıkların kırılmaya karşı uygun bir güvenlik sayısı ile yapısal elemanlar olarak tasarlanmalarındadır. Ancak, yapısal olarak bağlı olmayan kazıklar, daha düşük güvenlik sayısı ile zemin iyileştirme elemanı olarak tasarlanabilirler.

Eğer kazıklar ile radye arasında yapısal bir bağlantı gerekiyorsa, herhangi bir yanal kuvvet kazık başlığına aniden iletilecektir ve bu da bağlantıda hasara yol açabilir. Ancak, bağımsız oturma azaltıcı kazıklar kullanıldığında; yanal kuvvetler, zemin-radye yüzeyi boyunca aktif olan adhezyon kuvveti tarafından ve yapının bodrum kat duvarlarındaki pasif direnç tarafından karşılanacaktır. Bu kombine olmuş adhezyon ve pasif direnç, yanal kuvvetleri karşılamada yeterli olabilecektir. Radye temelden bağımsız çalışan oturma azaltıcı kazıklar, sonuç olarak; temelin düşey ve yanal dayanımını tehlikeye atmadan yapısal bağlantılara zarar gelmesini önler.

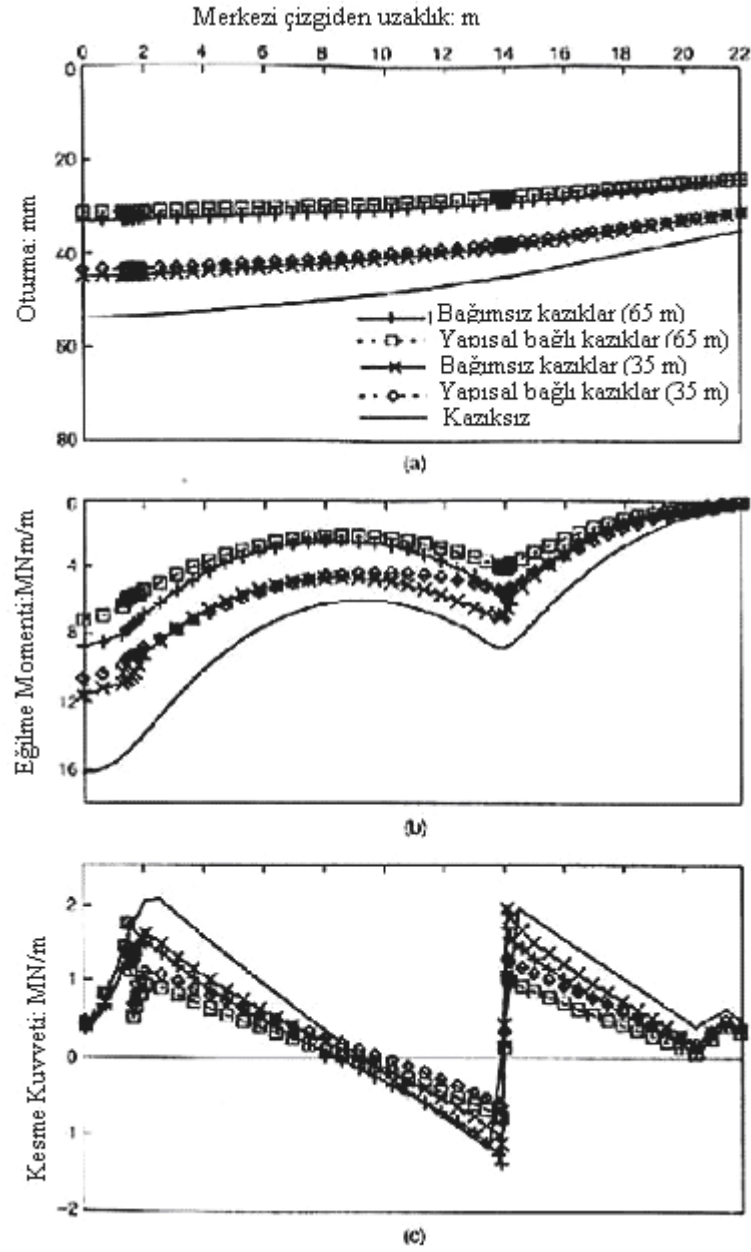
5.5.3. Radye temelin davranışı

Şekil 5.6(a)'da, kazıksız, yapısal bağlantılı ve yapısal bağlantısız radye temel olmak üç farklı tipteki temel sisteminin sonlu eleman analizinden elde edilen oturma profilleri kıyaslanmıştır. Tahmin edildiği gibi, maksimum ve farklı oturmalar oturma azaltıcı kazıkların uygulanması ile azalır. İlginç olan, kazıklar

radye temeale ister yapısal olarak bağlı olsun ister olmasın, oturmalaradaki azalma değerleri birbirlerine çok yakındır. Radye temeale yapısal olarak bağlı olmayan kazıkların oturma profili, yapısal olarak bağlı kazıkların oturma profili ile hemen hemen aynıdır. Radyeden bağımsız kazıkların, oturmaları azaltma kavramında pratikte çok etkisinin olmadığı açıktır.

Şekil 5.6(b)'de, 3 ayrı temel sistemi için, radyenin eğilme momenti dağılımları gösterilmiştir. Bağımsız kazıklar ile radye temelde oluşan eğilme momenti, yapısal olarak bağlı kazıklardan biraz daha fazla olsa da, bu bağımsız kazıkların radye temelde oluşan eğilme momentlerini azaltma etkisi açıkça görülmektedir. Yapısal olarak bağlı olmayan bu oturma azaltıcı kazık kavramının iŐe yarar olduğu apaçık ortadadır.

Şekil 5.6(c)'de, bağımsız kazıklar ile radye temeldeki kesme kuvveti dağılımının yapısal olarak bağlı kazıklar ile kazıksız radye temeldeki kesme kuvveti dağılımının arasında olduğu gösterilmiştir. Radye temelden bağımsız olarak çalışan kazıklar için; ağır yüklerin olduğu bölgede lokal olarak toplanan kesme kuvveti, radye temeale yapısal olarak bağlı kazıklarınkinden daha büyüktür.



Şekil 5.6. Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için düşünülen oturma azaltıcı kazık diziliminin, radye temelin davranışına olan etkisi: (a) oturma; (b) eğilme momenti; (c) kesme kuvveti

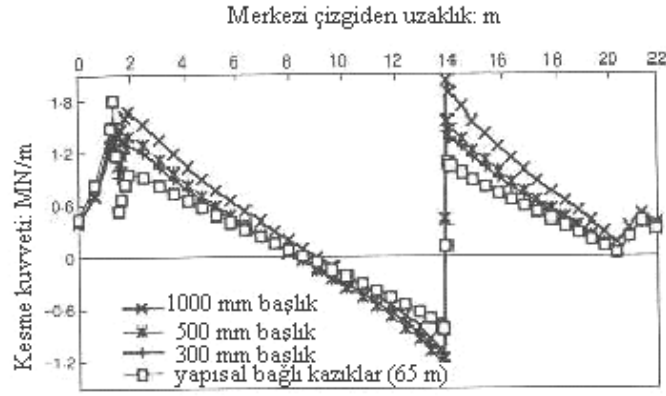
Çünkü; bu lokal olarak toplanan kesme kuvveti sadece radye temel tarafından yada kesme donatıları ile karşılanmaktadır. Kazıkları radye temelden bağımsız olarak çalıştırmanın avantajı, radye temelde artan kesme kuvvetinden çok fazla etkilenmemesidir. Gerçekte, bu kesme kuvveti radye temel ile kazık

başlığı arasındaki mesafenin düşürülmesi azaltılabilir. Şekil 5.7’de 65 m uzunluğundaki kazıklar için, başlık yüksekliğinin kesme kuvveti dağılımına olan etkisi gösterilmiştir.

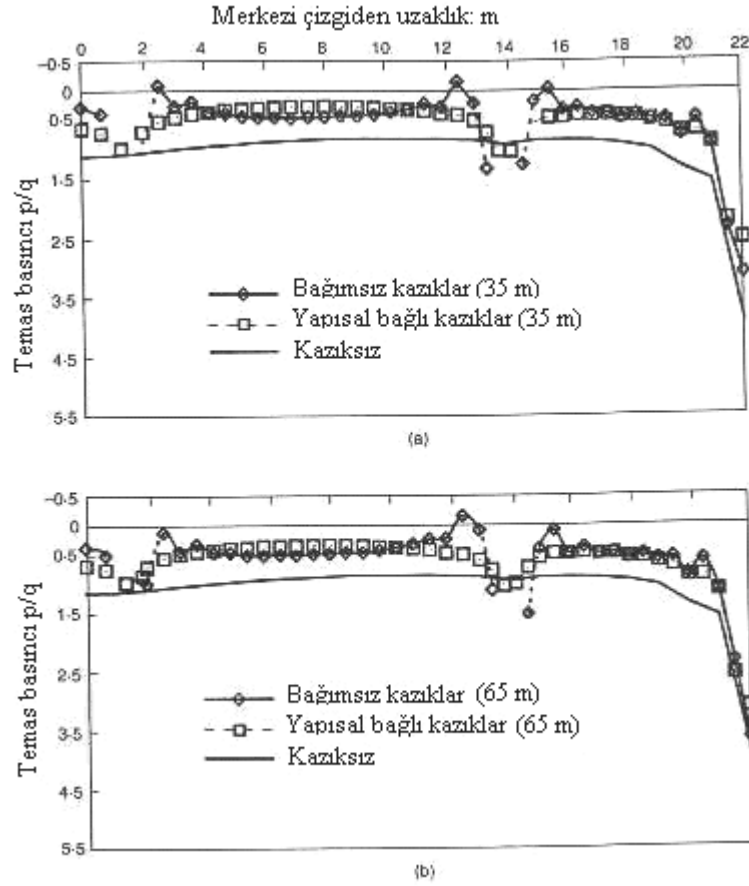
Şekil 5.8’de, 3 ayrı temel sistemi için radye temel boyunca temas basınçları dağılımı p/q (p temas basıncı ve q eşdeğer ortalama uygulanan yük yoğunluğudur) gösterilmiştir. Kazıklı radye temelin temas basıncı kazıksız temelden daha düşüktür. Kazıksız radye temelin köşesindeki yüksek basınçlar, her zaman sert kile oturan radye temelde oluşur, kazıklı radye temelde küçülmeye başlar. Kazık uzunluğunun artması ile, temas basınçları azalır, bu da oturma azaltıcı kazıkların tamamen yük taşıyan yapı elemanları olmaktan çok zemini iyileştirme elemanları fonksiyonu olduklarını gösterir.

5.5.4. Kazıkların Davranışı:

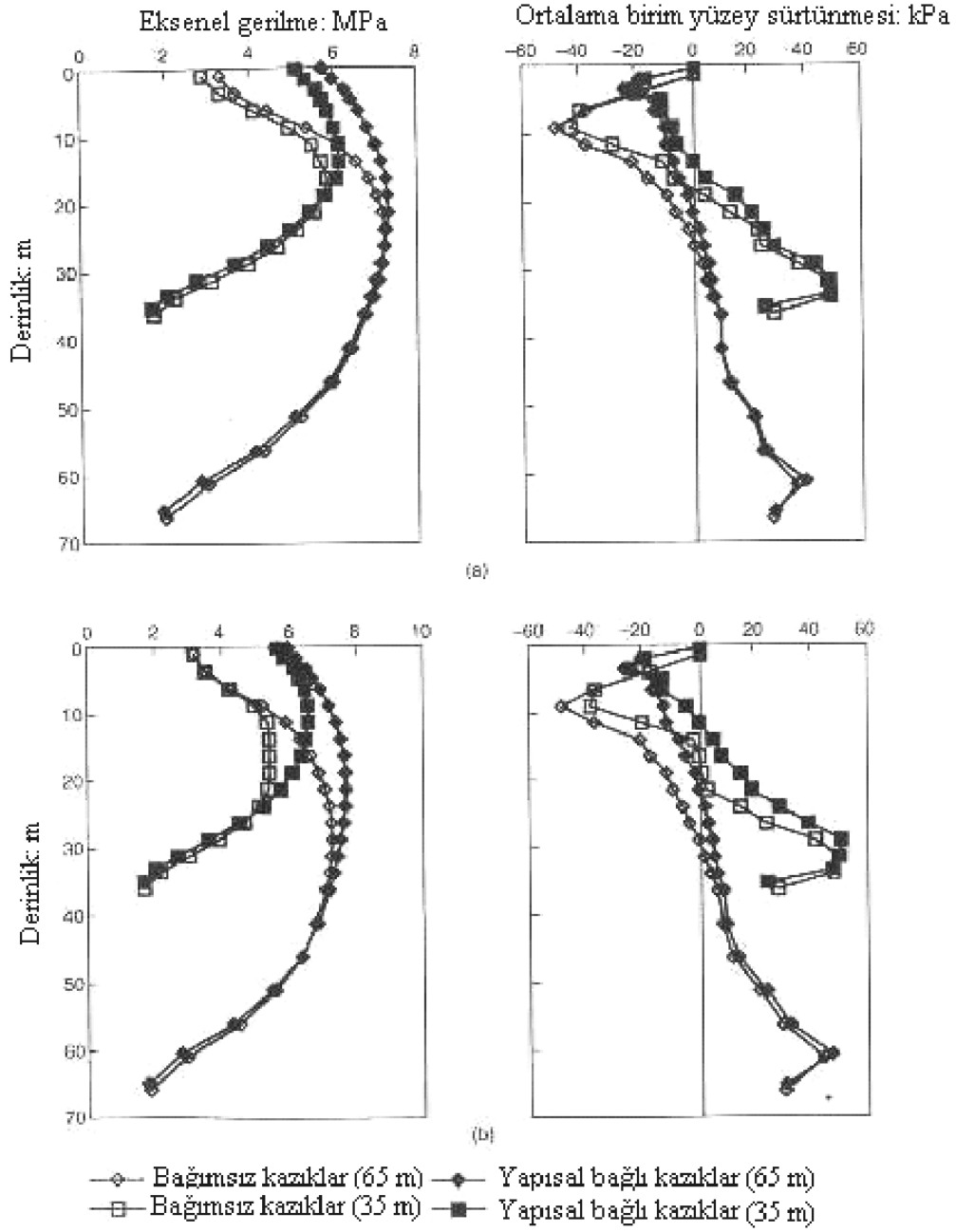
Şekil 5.9’da sırasıyla iç ve dış kazıkların aksenal gerilme dağılımı ile kazık gövdesi boyunca ortalama yüzey sürtünme profilleri gösterilmiştir. Kazıklar radye temele ister yapısal olarak bağlı olsun ister olmasın, yüzey sürtünmesi kazıkların üst kısımlarında negatiftir. Kazıkların radye temelden bağımsız olması, yüksek negatif yüzey sürtünmesine yol açar. Yapısal olarak bağlı kazıklarla bağımsız kazıklar kıyaslandığında; kazıklar, radye temele yapısal olarak bağlandığında daha fazla yükün kazık başlarına doğrudan aktarıldığı belirtilmiştir. Bağımsız kazıklar için, radye temelden kazıklara aktarılan yük transferinin ilk amacı, ‘aşağı çekme’ kuvvetlerinin gelişmesi yüzündendir. Bağlı kazıklar için,



Şekil 5.7. Jakarta, Endonezya'da yüksek katlı yapı için radye ve kazık arasındaki başlık mesafesinin, radye temelin hesaplanan kesme kuvvetine etkisi



Şekil 5.8. Jakarta, Endonezya'da yüksek katlı yapı için radye temas basınçlarının hesaplanan dağılımı: (a) 35 m uzunluğunda kazıklar; (b) 65 m uzunluğunda kazıklar



Şekil 5.9. Jakarta, Endonezya’da yüksek katlı yapı için eksenel kazık gerilmesinin ve ortalama yüzey sürtünmesinin hesaplanan dağılımı: (a) iç kazıklar; (b) dış kazıklar

tarafsız düzlem (yüzey sürtünmesinin negatiften pozitive değişmesi) bağımsız kazıklardan daha büyüktür. Eksenel kazık gerilme dağılımı üzerinde kazık uzunluğunun etkisi, yapısal olarak bağlı kazık ve bağımsız kazık için aynıdır. Kazık uzunluğu arttıkça, ‘aşağı çekme’ kuvveti artar ve daha fazla yük kazıklara

iletilir. Ayrıca, merkezdeki kazıklar ile merkezden uzak kazıklar arasındaki aksel gerilemeler arasında küçük bir fark vardır. Bu iyileştirme kazıkları için, özellikle bağımsız kazıklar için, her bir kazık tarafından taşınan yük eşit olarak dağıtılır.

Sonuç olarak; kazıklar ile radye temel arasında yapısal bağlantı oluşturulmadığında, yapısal kırılmaya karşı düşük güvenlik sayısı; ancak kazıkların zemini iyileştiren elemanlar olarak tanımlanması ile gerçekleşir.

Deprem yada aşırı rüzgar yüklerinin oluşturduğu yanal kuvvetler, zemin-radye ara yüzeyi boyunca oluşan adhezyon kuvveti ve radye ile desteklenen yüksek yapıların bodrum duvarlarında oluşan pasif direnç ile karşılanabilir.

Yapısal olarak bağılı olmayan oturma azaltıcı kazıklar doğrudan yük taşıyan eleman olmaktan çok zemini iyileştiren eleman olarak davranırlar. Üst yapı yükünün bir kısmı, kazık başlığı ve radye arasındaki zemin boyunca iletilir. Kazıkların üst kısımları boyunca negatif yüzey sürtünmesi, oturma azaltıcı kazık kullanımı ile artırılabilir.

Kazıkları radye temelden bağımsız çalıştırmak, radye temelini oturmasını ve eğilme momentlerini azaltmadaki etkilerini belirgin derecede etkilemez. Bu kazıkların pratikte uygulanmaları özellikle deprem yada yüksek rüzgar yüklerine maruz alanlarda radye temel üzerine oturan yüksek yapılarda makuldür.

6. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PLAXIS PROGRAMINA GENEL BAKIŞ

6.1 Programın Genel Özellikleri

PLAXIS'in gelişimi ilk olarak 1987'de Delft Teknik Üniversitesinde başlamıştır. PLAXIS, geoteknik mühendislerinin sayısal çözüm yöntemleri konusunda yeteri kadar uzman olmadan da modelleme yapabilmesi amacıyla tasarlanmıştır. PLAXIS, geoteknik mühendislik projelerinde, özellikle deformasyon ve stabilite analizleri için geliştirilmiş bir sonlu eleman paketidir. PLAXIS, basit grafiksel girdi işlemleri, karışık sonlu eleman modellerinin çabuk bir şekilde oluşturulmasını olanaklı kılmaktadır.

Her yeni proje için ilk olarak bir model oluşturmak önemlidir. Bir modelin, alttaki doğal zemin tabakalarını, yapısal objelerini, inşa aşamalarını ve yükleri temsil edecek bir çerçevede olması gerekir. Bir model geometrisinde bulunan üç tip ana bileşen vardır. Bunlar noktalar, çizgiler ve sonlu eleman ağlarıdır (mesh) (PLAXIS Totorial Manual)

6.1.1 Noktalar

Noktalar çizgilerin başlangıcını ve sonunu şekillendirirler. Noktalar aynı zamanda ankrajların, nokta yüklerinin, nokta sabitlerinin konumlandırılmasında ve sonlu eleman ağının lokal saflaştırmasında da kullanılabilirler.

6.1.2 Çizgiler

Çizgiler, geometrinin fiziksel sınırlarının, model sınırlarının ve geometrideki palplanş duvarlar, farklı zemin tabakalarının veya inşa aşamalarının ayrılması gibi süreksizliklerin tamamlanması için kullanılırlar. Bir çizgi birçok fonksiyona veya özelliğe sahip olabilir.

6.1.3 Sonlu Eleman Ağları

Sonlu eleman ağları, tamamen çizgilerle kapalı alanlardır. PLAXIS, geometri çizgilerine göre bu ağları otomatik olarak algılamaktadır. Bir ağ içindeki zemin homojendir. Model geometrisi oluşturulduktan sonra, modeldeki ağ yapısına ve çizgilere dayanarak, bir sonlu eleman modeli otomatik olarak oluşturulabilir. Bir sonlu eleman ağında, elemanlar, düğümler ve gerilme noktaları olmak üzere üç tip bileşen bulunmaktadır.

6.1.4 Elemanlar

Ağın oluşturulması esnasında demetler üçgen elemanlara bölünürler. Standart üçgen elemanı 6 düğümlü bir elemandır. İlave olarak, gerilmelerin ve çökme yüklerinin daha doğru hesaplanmasına olanak veren (özellikle asimetrik geometriler) 15-düğümlü üçgenlerde kullanılabilir. Aynı geometride düşündüğümüzde 15-düğümlü elemanlarla oluşturulan ağlar daha iyi ve çok daha esneklerdir, fakat 6-düğümlü ağlara göre de hesaplamaları daha fazla zaman almaktadır.

6.1.5 Düğümler

15- düğümlü bir üçgen 15 tane düğüm ve 6- düğümlü bir üçgen de 6 tane düğüm içermektedir. Düğümlerin elemanlar üzerindeki dağılımı Bir sonlu eleman hesaplaması esnasında, yer değiştirmeler düğümlerde hesaplanır. Yük-yer değiştirme eğrilerinin oluşturulması için düğümler yeniden seçilebilir.

6.1.6 Gerilme Noktaları

Yer değiştirmlerin aksine, gerilmeler özel Gaussian integrasyon noktalarında hesaplanır. Yukarıdaki şekilde de görülebileceği gibi, 15- düğümlü bir üçgen 12, 6- düğümlü bir üçgen 3 gerilme noktası içermektedir.

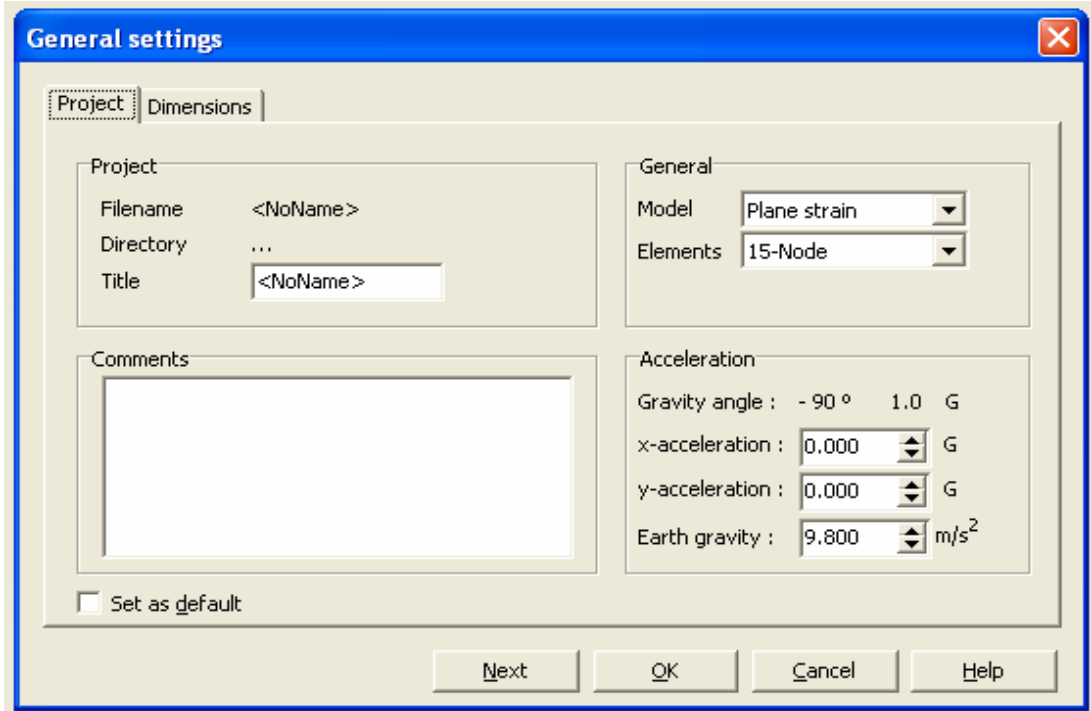
PLAXIS esas olarak 4 ana bölümden oluşmaktadır:

- INPUT (GİRDİ)
- CALCULATION (HESAPLAMA)
- OUTPUT (ÇIKTI)
- CURVES (GRAFİKLER)

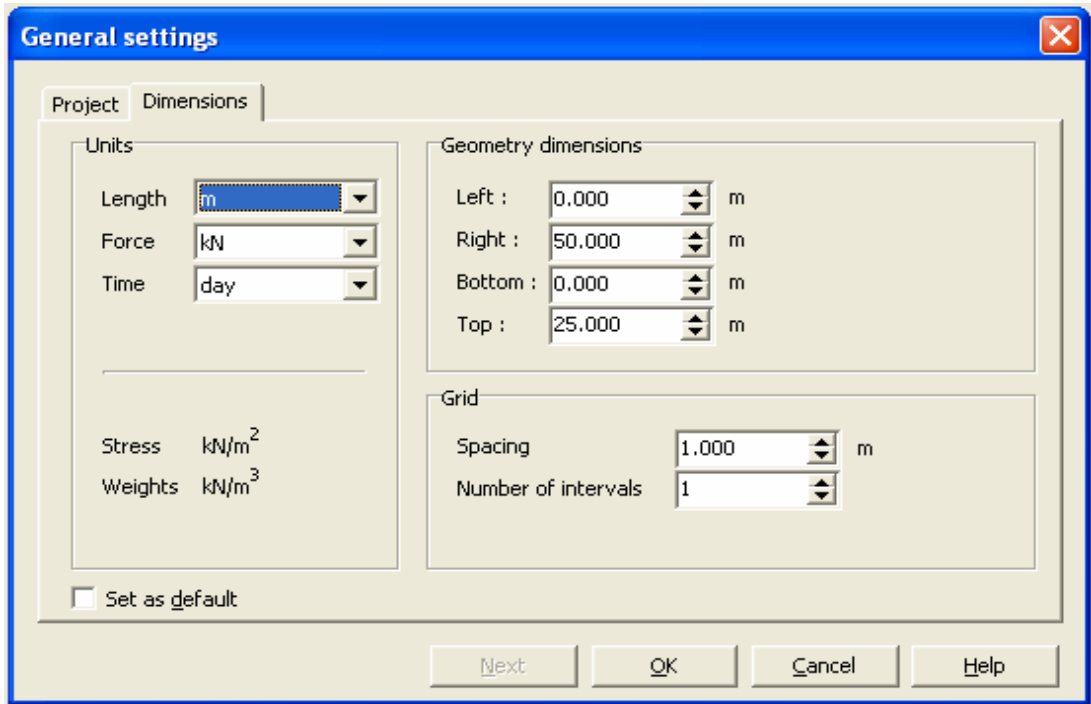
6.2 Girdi (Input)

Bir sonlu eleman modelini oluşturulmasının ilk adımı bir geometri modelinin oluşturulmasıdır. Bir geometri modeli noktalar, çizgiler ve demetlerden oluşur. PLAXIS’de, zemin tabakalarının, yapılarının, inşa aşamalarının, yüklerin ve sınır koşullarının girdisi gerçek durumların detaylı ve doğru modellenmesini sağlayan uygun çizim işlemlerine dayanarak yapılmaktadır. Yeni bir proje için girdi olarak öncelikle genel ayarların seçilmesi gerekmektedir. İlk olarak Şekil 6.1’de görüleceği gibi, proje adının girilmesini, çözümün hangi modelle yapılacağına seçimi (düzlem deformasyon ya da asimetri) ve 6 veya 15- düğümlü mü elemanların kullanılacağına seçimi yapılmalıdır.

Bir sonraki adımda Şekil 6.2’de görüldüğü gibi, kullanılacak birimlerin seçilmesi ve çizim alanı ölçülerinin ve gridlerin sıklığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu adımlar tamamlandıktan sonra karşımıza ana pencere gelmektedir. Ana pencere (Şekil 6.3), ana menüyü, genel ve geometri araç çubuklarını, cetveli, çizim alanını, orijin noktasını, klavyeyle girdi bölümünü ve koordinatları gösteren bölümü içermektedir. Ana menü “file, edit, view, geometry, loads, materials, mesh, initial ve help “ menülerini ve bunların alt menülerini içermektedir.

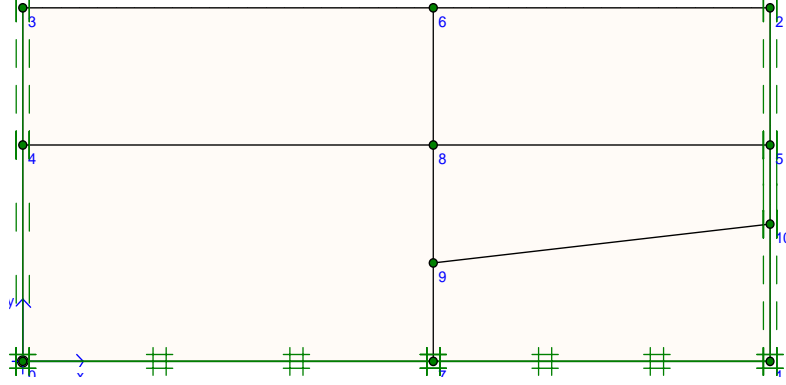


Şekil 6.1. Genel ayarlar (model ve eleman tipinin seçimi)



Şekil 6.2. Genel ayarlar (birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi)

otomatik ‘‘ağ’’ olarak algılayacaktır. Şekil 6.5’de çizgiler ve ağlar ve menüsü gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Çizgiler ve ağlar

6.2.2 Kirişler

Kirişler, dayanma duvarları, kazıklar gibi yapıların ve diğer narin yapıların modellenmesi için kullanılırlar. Bu elemanların davranışı bir eğilme rijitliği(EI) ve bir normal rijitlik(EA) kullanılarak tanımlanır. Kirişler, birçok geoteknik yapının analizlerini çok gerçekçi bir Şekilde gerçekleştirmek için ara yüzeylerle birlikte kullanılabilirler. PLAXIS’deki kiriş elemanları, Mindlin’in kiriş teorisine dayanmaktadır. Bu teori, hem eğilme hem de kesmeden dolayı kiriş deformasyonlarına olanak vermektedir. Ayrıca kirişler tünellerde de dış yüzey için kullanılabilirler.

6.2.3 Kiriş Mafsalları

Standart kiriş birleŐimleri rijittir. Kiriş mafsalları, kirişlerin bittiği noktalarda serbestçe dönmenin sağlnacağı birleŐimler oluşturmak için kullanılırlar.

6.2.4 Geotekstiller

Geotekstiller veya geogridler sık olarak donatılı dolguların veya dayanma yapılarının inşaat uygulamalarında kullanılırlar. Bu elemanlar PLAXIS’de özel çekme elemanları kullanılarak simule edilirler. Bu elemanları, etraftaki zeminle etkileşimini de modelleyebilmek için ara yüzey elemanlarıyla birleştirmek uygundur. PLAXIS’de bu elemanlar için kullanılan tek malzeme özelliği normal rijitliktir (EA). Geotekstiller aynı zamanda zemin ankrajları uygulamalarında, ankrajın harçlı kısmının modellenmesi için de kullanılır.

6.2.5 Ara Yüzeyler

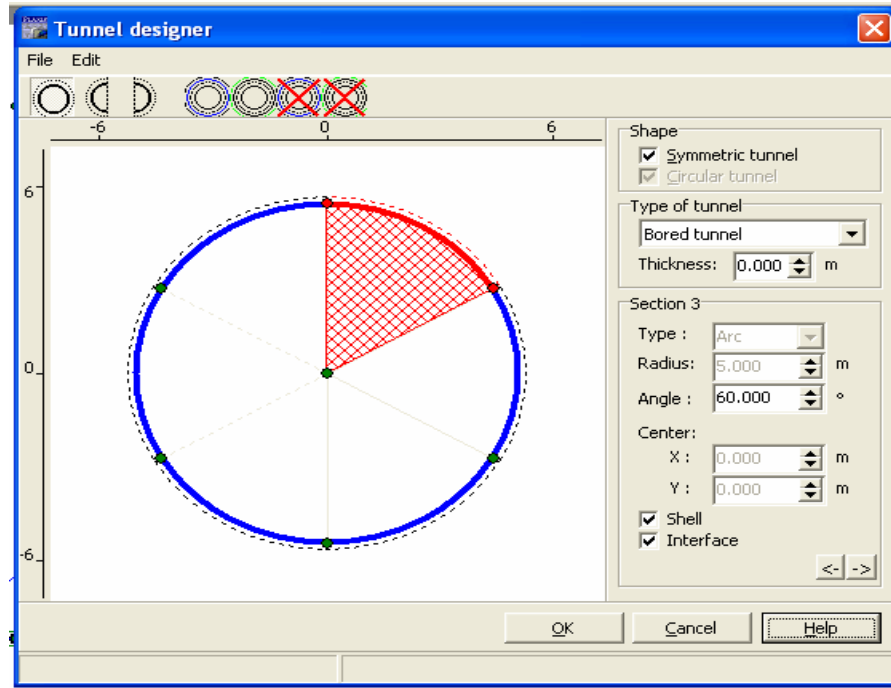
Ara yüzeyler yapılar ve zemin arasındaki etkileşimi modellemek için kullanılırlar. Bu yapısal objeler ve çevreleyen zemin arasında tam bir etkileşime olanak vermektedir. Ara yüzeylerin tipik bir uygulaması bir palplanjla zemin arasındaki etkileşimin modellenmesi olabilir.

6.2.6 Ankrajlar

Ankrajlar ve yatay destekleri modellemek için elasto-plastik yay elemanları kullanılmıştır. PLAXIS’de düğümden-düğüme ankrajlar ve sabit uçlu ankrajlar olmak üzere iki tip ankraj modellenmektedir. Düğümden- düğüme ankraj, sabit bir yay rijitliğine sahip, iki nokta arasındaki bağları modellemek için kullanılan yaylardır. Bu eleman hem çekme kuvvetlerine (ankraj) hem de basınç kuvvetlerine (yatay destek) maruz kalabilmektedir. Sabit uçlu ankrajlar ise tek bir noktanın bağlanmasını modelleyen yaylardır. Ankrajlar için açılı girdisi saat yönünün ters yönde tamamlanmıştır. Açıya ilave olarak, ankrajın eşdeğer uzunluğunun da özellikler penceresinde girilmesi gerekir. PLAXIS’de ön gerilmeli ankrajların da modellenmesi için özel bir opsiyon vardır. Eşdeğer uzunluk, ankrajın bağlantı noktası ile yer değiştirmenin sıfır kabul edildiği sabit ucu arasındaki mesafedir.

6.2.7 Tüneller

Tünel opsiyonu geometri içerisine ilave edilmek üzere, dairesel ve dairesel olmayan tüneller oluşturma için kullanılabilir. Tüneller yayların bir kompozisyonudur ve bir yarıçap ve bir radyal çap ile tanımlanırlar. Tünel simgesine tıkladığında karşımıza Şekil 6.6'daki gibi ne tür bir tünel modeli oluşturmak istediğimiz soran pencere çıkmaktadır. Buradan bütün bir tünel, yarım tünel-sol yarısı ve yarım tünel-sağ yarısı seçeneklerinden birisini seçip tüneli modellemeye başlayabiliriz. Tünelin dış yüzeyinin modellenmesi için kirişler ve zeminle etkileşiminin modellenmesi için de ara yüzeyler kullanılmaktadır.



Şekil 6.6. Tünel tipi seçimi ve tünele ait açı, ve yarıçap gibi verilerin girdisi

6.2.8 Sabitlemeler

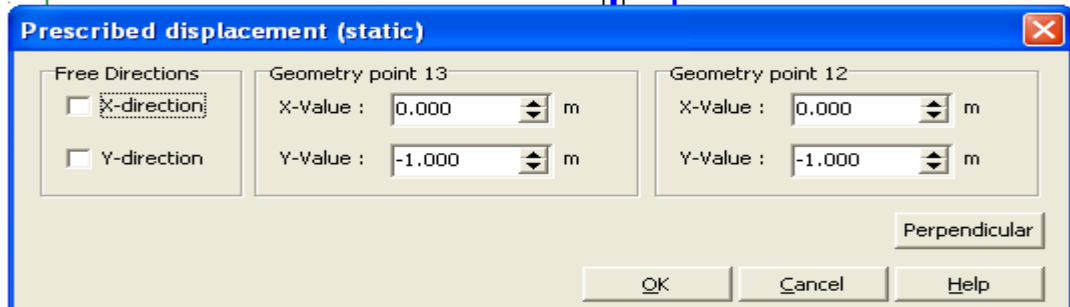
Sabitlemeler hem noktalara hem de çizgilere uygulanabilmektedir. PLAXIS'de beş çeşit sabitleme seçeneği vardır. Bunlardan dördü, “yatay

sabitlenme ($u_x=0$), “dikey sabitleme ($u_y=0$)”, “ toplam sabitleme ($u_x= u_y=0$)” ve “moment sabitlemesi” dir. Beşinci sabitleme ise standart sabitlemedir. Standart sabitlemenin kullanılması halinde PLAXIS geometri modeline bir dizi genel sınır şart uygulanmaktadır. Bu şartla aşağıdaki uygulamalara göre uygulanmaktadır;

- Modelde, x koordinatında en düşük ve yüksek x koordinatına sahip düşey geometri çizgileri için yatay sabitleme ($u_x=0$) elde edilir.
- Modelde, y koordinatında en düşük y koordinatına sahip yatay geometri çizgisi için tam sabitleme ($u_x= u_y=0$) elde edilir.
- Geometri modelinin sınırına uzanan kirişler, eğer o noktadaki yer değiştirme önlerinden en az birisi sabitlendiyse, sınırdaki noktada sabit bir dönme ($\phi_z=0$) elde edilir.

6.2.9 Önceden Tanımlanan Yer Değiştirmeler

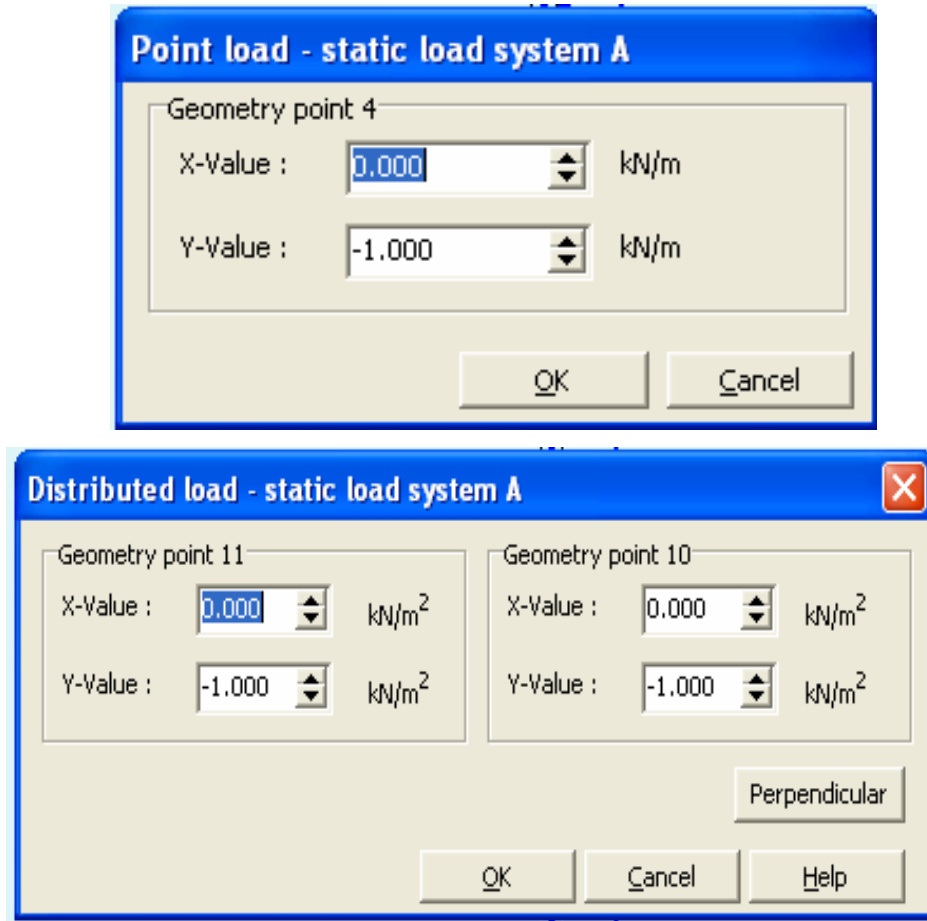
Önceden tanımlanan yer değiştirmeler, geometri çizgilerine uygulanabilen ve bu çizgilerin yer değiştirmelerini kontrol eden özel durumlardır. Önceden tanımlanan yer değiştirmeler uygulandığında standart ilk yatay yer değiştirme değeri sıfır ($u_x=0$) ve düşey yer değiştirme değeri de negatif düşey yönde bir birimdir ($u_y=-1$). Bu değerler istenirse girdi penceresinde, istenirse de hesaplamalar esnasında değiştirilebilmekte ve istenen yer değiştirmeler girilebilmektedir. Şekil 6.7’de önceden tanımlanan yerdeğiştirme menüsü gösterilmektedir.



Şekil 6.7. Önceden tanımlanan yer değiştirmesi menüsü

6.2.10 Kuvvetler

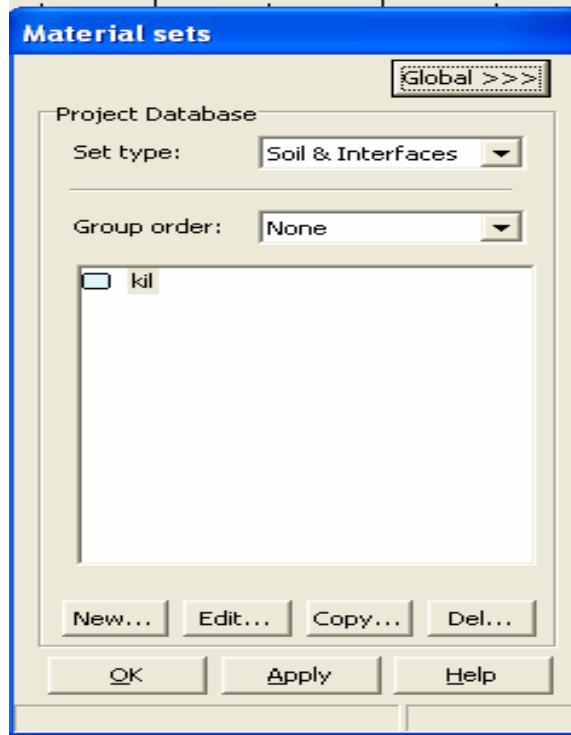
Hem nokta yükler hem de yayılı yüklerin uygulanabilmesi için, iki bağımsız yük sistemi kullanılabilir (A ve B). Nokta kuvvetler geometri noktalarına, yayılı kuvvetler çizgiler üstünde uygulanmaktadır. Hem nokta hem de yayılı yükler yatay ve düşey bileşenler içerebilirler. Yayılı yükler her biri birim alan için (kN/m^2), nokta yüklere ise her biri birim uzunluk (kN/m) için değerler girilir. Şekil 6.8’de sırasıyla nokta yük ve yayılı yükler için girdi menüleri gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Nokta ve yayılı yükler için girdi menüleri.

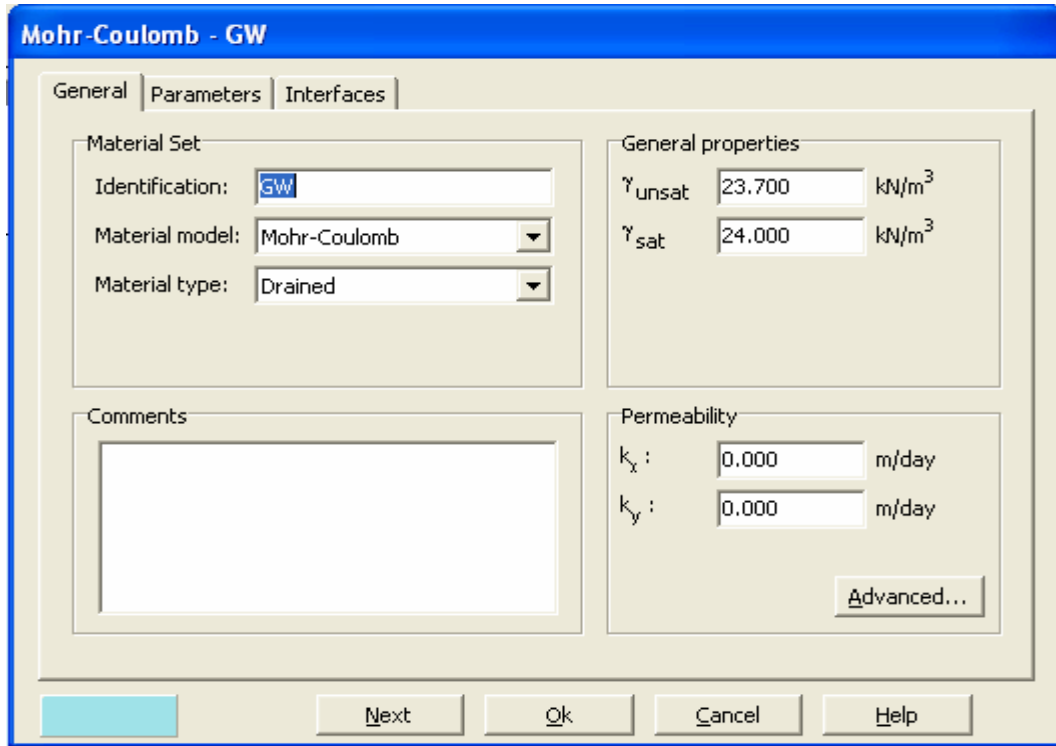
6.2.11 Malzemelerin Tanımlanması

Yukarıdaki işlemlerle modelin çizimi gerçekleştirildikten sonra malzemelerin özelliklerinin tanımlanmasına geçilmektedir. Malzeme tanımlama menüsü Şekil 6.9’da gösterilmiştir. Zeminler için data girdileri ve model seçimleri Şekil 6.10’da gösterilmiştir. Menü ana olarak dört malzeme tanımlamasını içermektedir. Bunlar zemin ve ara yüzeyler, (soil & interfaces), kirişler (beams), geotekstiller (geotextiles) ve ankrajlar (anchors) için tanımlamalardır. Bu dört malzeme için hafızaya kayıtlı elemanlar kullanılabileceği gibi yeni elemanlar da oluşturulabilir.



Şekil 6.9. Malzeme tanımlama menüsü

Zeminler için ilk olarak drenajlı, drenajsız veya geçirimsiz malzeme özelliklerinden birinin seçilmesi ve γ_d , γ_w , k_x , k_y değerlerinin girilmesi gerekmektedir. İlave olarak istenirse gelişmiş e_{init} , e_{min} , e_{max} ve c_k parametreleri de kullanılabilir.



Şekil 6.10. Zeminler için data girdileri ve model seçimi

“Drenajlı” seçilmesiyle hiç ilave boşluk suyu basıncı oluşturulmamış olur. Bu durum kuru zeminler ve yüksek permeabiliteden dolayı (kumlar) tam drenaj için kullanılır. “Drenajsız” davranışın seçilmesi de ilave boşluk suyu basınçlarının bütünüyle geliştirilmesi için kullanılır. “Gözeneksiz” davranışın seçilmesi de, ne başlangıç ne de ilave boşluk suyu basınçlarının hesaba alınmamasını sağlar. Bu tarz uygulamalar beton veya kayanın modellenmesinde kullanılabilirler. Geçirimsiz davranış genellikle lineer elastik modelle birlikte kullanılmaktadır.

En önemli seçim ise malzeme modelinin ne olacağı ve bu modellerin parametreleridir. Zeminler için PLAXIS’de 5 farklı modelleme seçeneği vardır:

- Lineer elastik model
- Mohr-Coulomb modeli
- Pekleşen zemin modeli
- Yumuşak zemin modeli
- Yumuşak zemin sünme modeli

The screenshot shows the 'Mohr-Coulomb - GW' software interface with the following input fields:

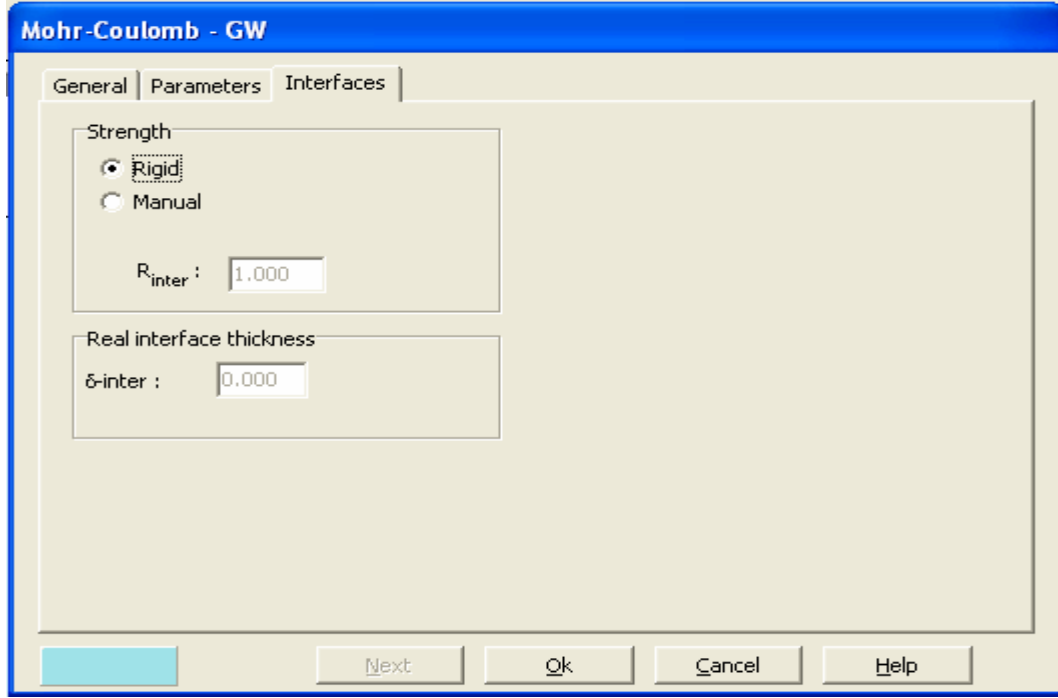
Category	Parameter	Value	Unit
Stiffness	E_{ref}	1.500E+05	kN/m ²
	ν (nu)	0.350	
Strength	c_{ref}	1.000E-03	kN/m ²
	ϕ (phi)	44.000	°
	ψ (psi)	14.000	°
Alternatives	G_{ref}	5.556E+04	kN/m ²
	E_{oed}	2.407E+05	kN/m ²
Velocities	V_s	151.600	m/s
	V_p	315.500	m/s

Buttons at the bottom: Next, Ok, Cancel, Help, and an 'Advanced...' button.

Şekil 6.11. Mohr-Coulomb modelinin girdileri

Şekil 6.11’de Mohr Coulomb modeline ait girdi menüsü gösterilmektedir. Bu modelde, parametrelerden sonraki aşama ara yüzey için parametrelerin seçilmesidir. Şekil 6.12’de ara yüzey girdileri menüsü gösterilmektedir. İlk yapılması gereken seçim ara yüzey “dayanım” değeridir (R_{inter}). Ara yüzey dayanımı için “rigid” opsiyonu ($R_{inter}=1$), ara yüzey çevresindeki zeminin dayanımını etkilemeyecekse kullanılır. Genelde, gerçek zemin-yapı etkileşimi zeminden daha zayıf daha esnektir. Bu durumda R_{inter} değeri “manuel” olarak girilebilir.

Ara yüzey için yapılması gereken diğer seçim de “permeabilite” içindir. Ara yüzeyler, ara yüzeye dik akış için bir permeabiliteye (k_n) ve ara yüzeye paralel akış için ayrı bir permeabiliteye (k_s) sahiptirler.

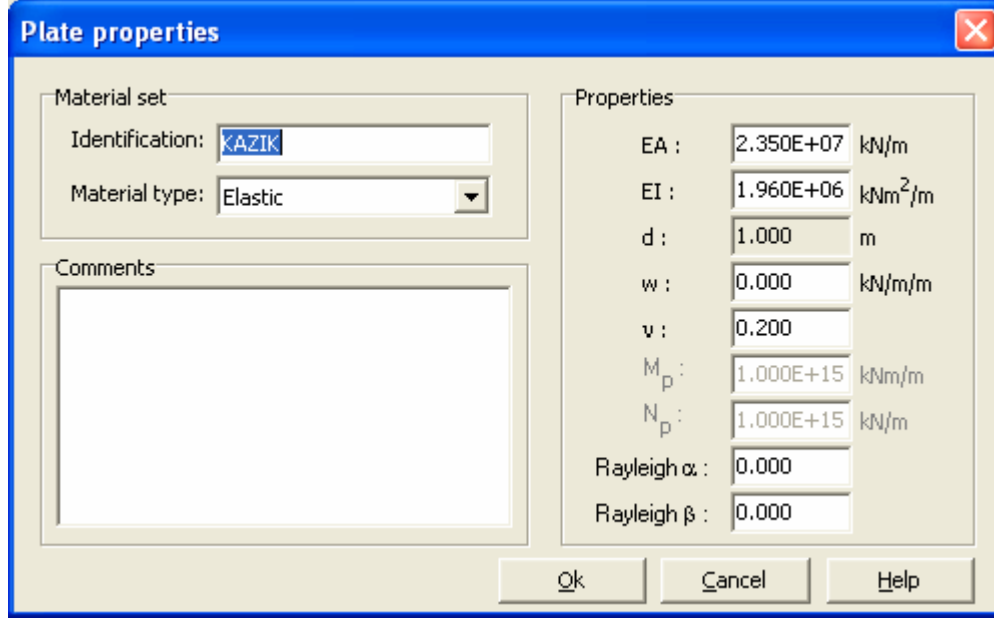


Şekil 6.12 Ara yüzey girdileri

Ara yüzey için “geçirimsiz” seçeneği, ara yüzeye dik akışı sınırlandırılmak istendiğinde kullanılır. Örnek olarak, palplanj duvar modellenirken kullanılan kirişler aslında geçirimlidir. Duvarı su geçirmez yapmak içinse ara yüzeylere “geçirimsiz” özelliği verilebilir. Bu durum seçildiğinde düşük bir k_n değeri (zemin permeabilitesinin 0.001’i) ve k_s için de sıfır değeri elde edilecektir. Ara yüzey için “drenajlı” seçeneği, suyun ara yüzey içinde paralel olarak serbestçe akışına izin vermek için yapılır.

Zeminlerin ve ara yüzeylerin özellikleri tanımlandıktan sonra sıra “kirişler”in özelliklerinin tanımlanmasındadır. Şekil 6.13’de kiriş özellikleri girdi menüsü gösterilmektedir. Kirişler için girdi parametreleri de Şekil 6.14’de gösterildiği gibidir. Kirişler için ilk olarak “plastik” ve “elasto-plastik” malzeme tiplerinden birisi seçilmelidir. Elastik tip seçilmesi durumunda, modellemede gerekli parametreler, aksenal rijitlik, eğilme rijitliği, ağırlık ve poisson oranıdır. Maksimum eğilme momenti ve maksimum aksenal yük değerleri (M_p ve N_p) otomatik olarak hesaplanır. Elasto-plastik model kullanıldığında ise maksimum eğilme momenti değeri manuel olarak girilebilir ve plastisite de hesaplara katılmış

olur. Eğer tanımlanan değerler aşılırsa gerilmeler plastisite teorisine göre yeniden dağıtılır ve tersine döndürülemez deformasyonlara yol açar.



Şekil 6.13 Kiriş özellikleri girdileri

Tanımlanması gereken üçüncü malzeme de “geotekstiller”dir. Geotekstiller için tek parametre aksenal rijitliktir (EA). EA değeri, düzlem içine doğru bir birim uzunluk için gerilmelidir. “Geotekstiller” basınç kuvvetlerini çekemezler.

“Ankrajlar” için ana parametre EA, aksenal rijitliktir ve değeri her bir ankraj için girilmelidir. Ayrıca ankrajların düzlem içine doğru yatay aralıklarının (L_s) da belirtilmesi gerekmektedir.

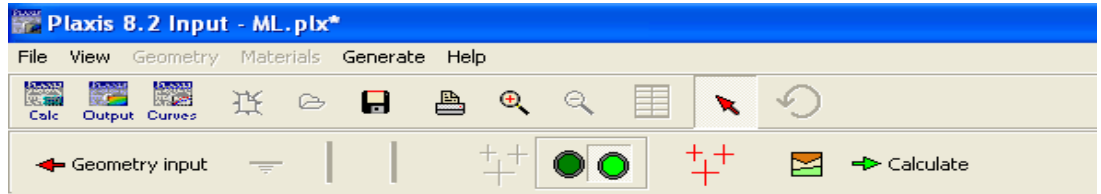
6.2.12 Ağın Oluşturulması

Bütün malzemeler tanımlandıktan sonra artık sıra ağın oluşturulmasına gelmiştir. Sonlu eleman hesaplamalarında, geometri elemanları bölünmek zorundadır. Sonlu elemanların bileşenine de sonlu eleman ağı denmektedir. PLAXIS tam otomatik ağ oluşturma işlemine olanak vermektedir. Ağ otomatik oluşturulmadan önce ağ sıklığının da seçilmesi durumu vardır. “Çok kaba,

kaba, orta, çok iyi “ seçeneklerinden birisi seçilerek yaklaşık aynı sırayla 25, 50, 100, 200, 400 elemanlı ağlar oluşturulabilir. Eğer bir seçim yapılmazsa PLAXIS otomatik olarak “orta” seçeneğine göre ağı oluşturacaktır. Böylece geometri tamamlanmış ve sonlu eleman ağı da oluşturulmuş oldu. Şimdi de “başlangıç koşulları” seçeneği kullanılarak, başlangıç su basınçlarının ve zemin gerilmelerinin oluşturulması gerekmektedir.

Boşluk suyu basınçlarının oluşturulması için iki alternatif bulunmaktadır. Birincisi “yer altı suyu seviyeleri” seçeneğinde, “Genel yer altı su seviyesi” tanımlanabileceği gibi, süreksiz bir boşluk suyu basıncı dağılımına imkan vermek için “her bir demet için yer altı su seviyesi” ayrı ayrı tanımlanabilir.

İkinci seçenek, “yer altı suyu akış analizi” de iki boyutlu yer altı akış analizini esas alarak kompleks boşluk suyu basıncı dağılımlarına imkan vermektedir. Yer altı suyu akış hesaplamaları ile gerçekleştirilen su basınçlarının oluşturulması, demetlerdeki permeabiliteleri, oluşturulan ağı ve girilen sınır koşullarını (kapalı akış sınırı ve kapalı konsolidasyon sınırı) kullanan sonlu eleman hesaplamasına dayanmaktadır.



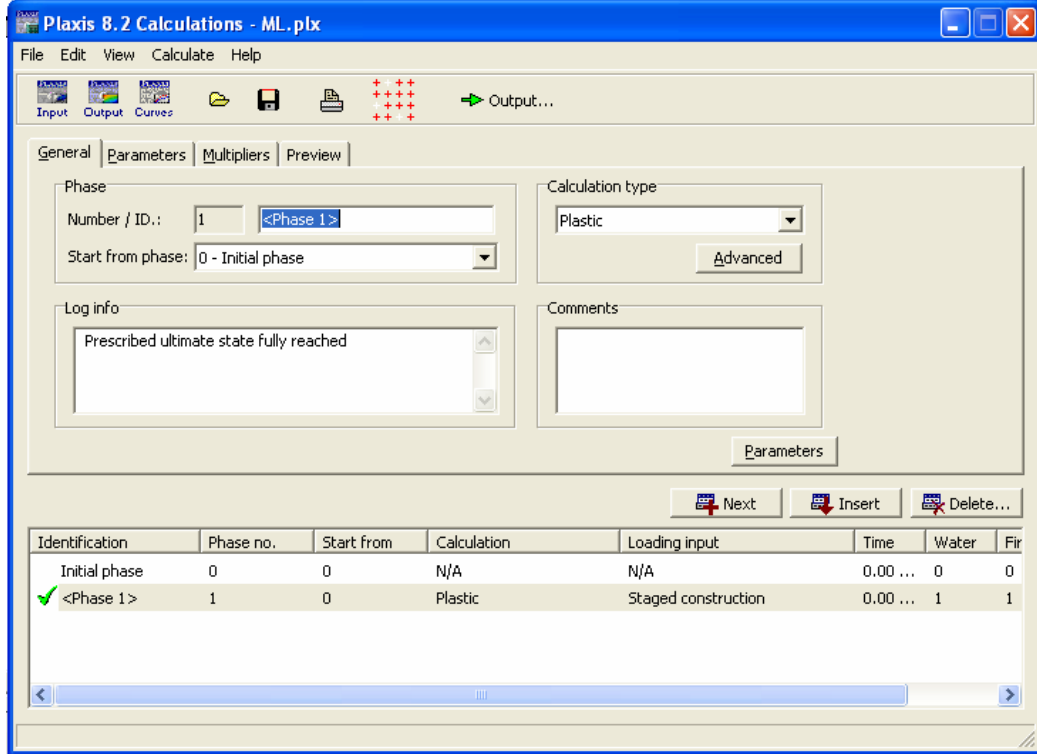
Şekil 6.14 Başlangıç koşulları menüsü

Bütün bu yukarıda anlatılan ve “girdi” bölümüne ait olan parametreler tanımlandıktan sonra artık hesaplamalar kısmına geçilebilir.

6.3 Hesaplamalar (Calculations)

Hesaplamalar bölümü “Plastik Analiz”, “Konsolidasyon Analizi”, “Güncelleştirilmiş Ağ Analizi” ve “Dinamik Analiz” olmak üzere dört tip analize imkan vermektedir. Şekil 6.15’de görülen menüden, bu analizlerden birisi

seçilebilmektedir. Her proje için, hesaplamının özelliğine göre birçok hesaplama evresi belirtilebilmektedir.



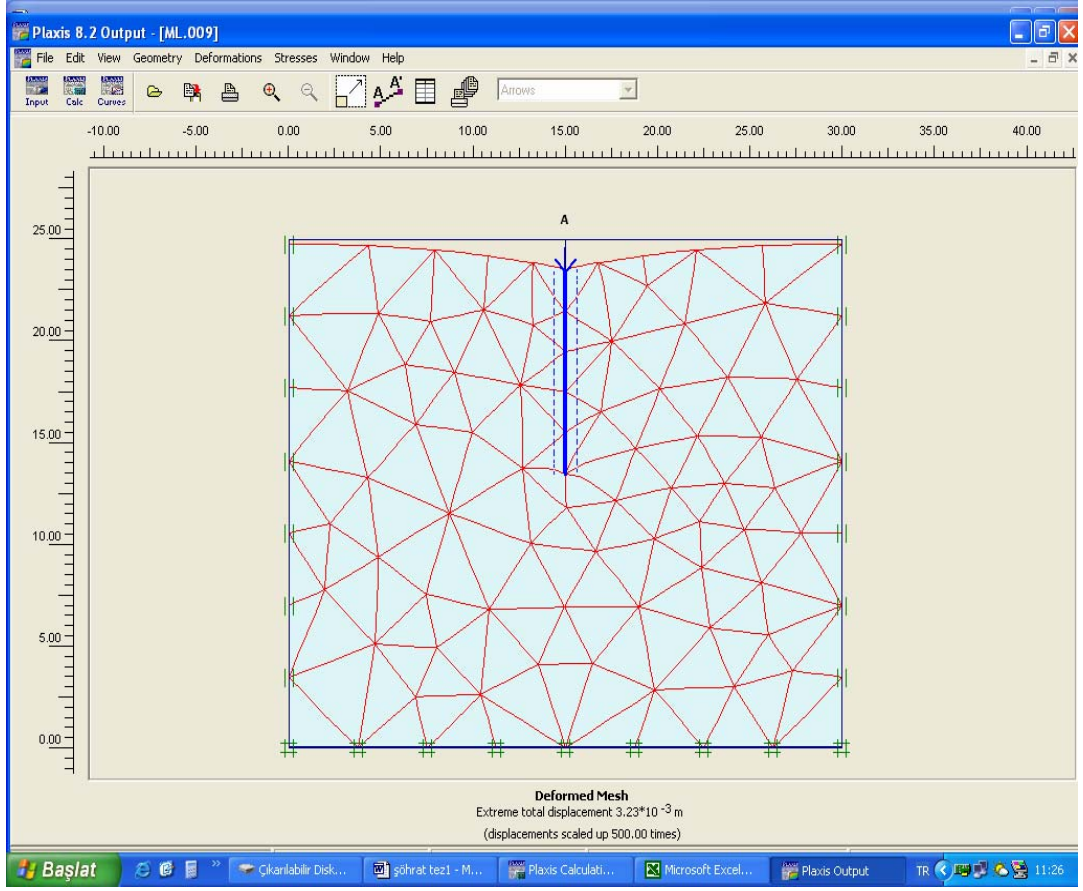
Şekil 6.15 Hesaplama menüsü ve hesap evreleri

Son olarak hesaplama kısmında, eğriler-grafikler elde edebilmek için geometri üstünde noktalar seçilmelidir.

6.4 Çıktılar (Output)

PLAXIS işlemcisi, hesap sonuçlarını göstermek için grafiksel özelliklere sahiptir.

Yer değiştirmelerin, gerilmelerin ve yapısal yüklerin kesin değerleri çıktı tablolarından elde edilebilmektedir. Şekil 6.16'da çıktı menüsü ve ağın deforme olmuş hali gösterilmektedir.



Şekil 6.16 Çıktı menüsü ve ağın deforme olmuş hali

Çıktı menüsünden zeminlerin, kirişlerin ve geotekstillerin malzeme özellikleri tablo olarak elde edilebilmektedir. Menüden zeminler için, hem grafiksel hem de tablo olarak elde edilebilecek çıktılar ise şunlardır:

- Deformasyonlar
 1. Deforme olmuş ağ
 2. Toplam yer değiştirmeler
 3. Yatay yer değiştirmeler
 4. Düşey yer değiştirmeler
 5. Toplam birim deformasyonlar
 6. Artışsal birim deformasyonlar

- Gerilmeler
 1. Efektif gerilmeler
 2. Toplam gerilmeler
 3. Aşırı konsolidasyon oranı
 4. Aktif boşluk suyu basınçları
 5. Yer altı su seviyesi
 6. Akış sahası

Kirişler için grafiksel ve tablosal çıktı seçenekleri şunlardır:

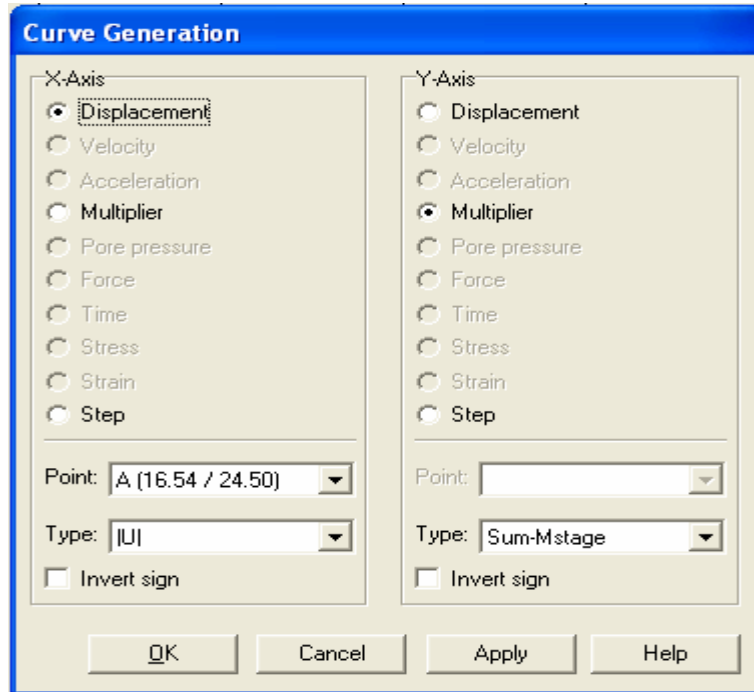
- Deformasyonlar
 1. Toplam yer değiştirmeler
 2. Yatay yer değiştirmeler
 3. Düşey yer değiştirmeler
 4. Toplam artımlar
 5. Düşey artımlar
 6. Yatay artımlar
- Kuvvetler
 1. Eksenel
 2. Kesme
 3. Eğilme momenti

Geotekstiller için grafiksel ve tablosal çıktı seçenekleri şunlardır:

- Deformasyonlar
 1. Toplam yer değiştirmeler
 2. Yatay yer değiştirmeler
 3. Düşey yer değiştirmeler
- Kuvvetler
 1. Eksenel
 2. Çember kuvvetleri (sadece asimetrik modelde)

6.5 Eğriler (Curves)

Eğriler opsiyonu, geometride önceden seçilen noktaların, yük-yer değiştirme veya zaman-yer değiştirme diyagramlarını, gerilme- deformasyon diyagramlarını ve gerilme veya deformasyon izlerini çizmek için kullanılabilir. Genelde düğümler yük-yer değiştirme eğrilerinin oluşturulması için kullanılırken, gerilme noktaları da gerilme- deformasyon diyagramları ve gerilme izleri için kullanılmaktadır. Eğri oluşturma” opsiyonu seçildiğinde, karşımıza Şekil 6.17’deki “eğri oluşturma” menüsü çıkmaktadır. Ayrıca eğrilerin renk, stil vb. özelliklerini değiştirmek için “eğri ayarları” opsiyonu da bulunmaktadır. Oluşturulan eğrilerin tablosal görünüşleri de “tablo” seçeneğinden elde edilebilmektedir.



Şekil 6.17 Eğri oluşturma menüsü

7. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde, ilk olarak Messe Torhaus ve Westend 1 yapılarına ait detaylı bilgi verilmiş daha sonra bu yapılara ait kazıklı radye temeller PLAXIS sonlu elemanlar programı ile analiz edilmiştir. Örneklere ait açıklamalar ve sonuçların karşılaştırılması olarak gösterimi, ilgili örnek içersinde detaylı olarak anlatılmıştır.

7.1. Uygulama 1

7.1.1. Messe Torhaus Yapısı, 1983-1985

Messe Torhaus yapısı, 1983-1985 yıllarında Frankfurt'ta hatta Almanya'da kazıklı radye temel üzerine oturan ilk yapıdır.

Bu 30 katlı yapı, Frankfurt'ta 6 katlı apartman blokları ile çevrili dar bir alanda inşa edilmiştir (Şekil 7.1). Bu ofis yapısı ikiye bölünmüş radye temel üzerine oturmaktadır ve altından ana yol geçmektedir. Doğal zemin, yer seviyesinden 5.5 m derinlikte çakıl ve altında da oldukça derin Frankfurt kilinden oluşur.

Kazıklı radye temel, iki ayrı radye temele sahiptir ve her iki radye temel 20 m uzunluğunda, 0.9 m çapında 42 fore kazığa sahiptir. 6x7 kazık, her iki radye temelin altına kazık çapının 3~3.5 katı olan kazık aralıkları ile yerleştirilmişlerdir. Her iki radye temel, planda 17.5m x 24.5m boyutlarındadırlar ve zemin seviyesinin sadece 3 m altında bulunmaktadır. Radye temeller 200 MN olan efektif yapı yükünü taşımaktadırlar.

Almanya'da kazıklı radye temeller ile ilgili herhangi bir deneyim olmadığı için, Messe-Torhaus yapısı Alman standartlarına göre geleneksel hesap yöntemine göre yapılmıştır. İnşaat boyunca, kazıklı radye temelin davranışı geoteknik ölçüm programı ile dikkatli olarak izlenmiştir. Şekil 7.1(c)'de görüldüğü üzere, kuzey tarafındaki kazıklı radye temeldeki 6 kazığa deformasyon ölçer ve kazık tabanlarına da yükleme hücresi yerleştirilmiştir. Ayrıca 11 tane zemin basınç hücresi radye temelin altına yerleştirilmiştir ve radye temelin 40.5m derinliği altına 3 tane uzama ölçer yerleştirilmiştir. Şekil 7.2, kuzey tarafındaki

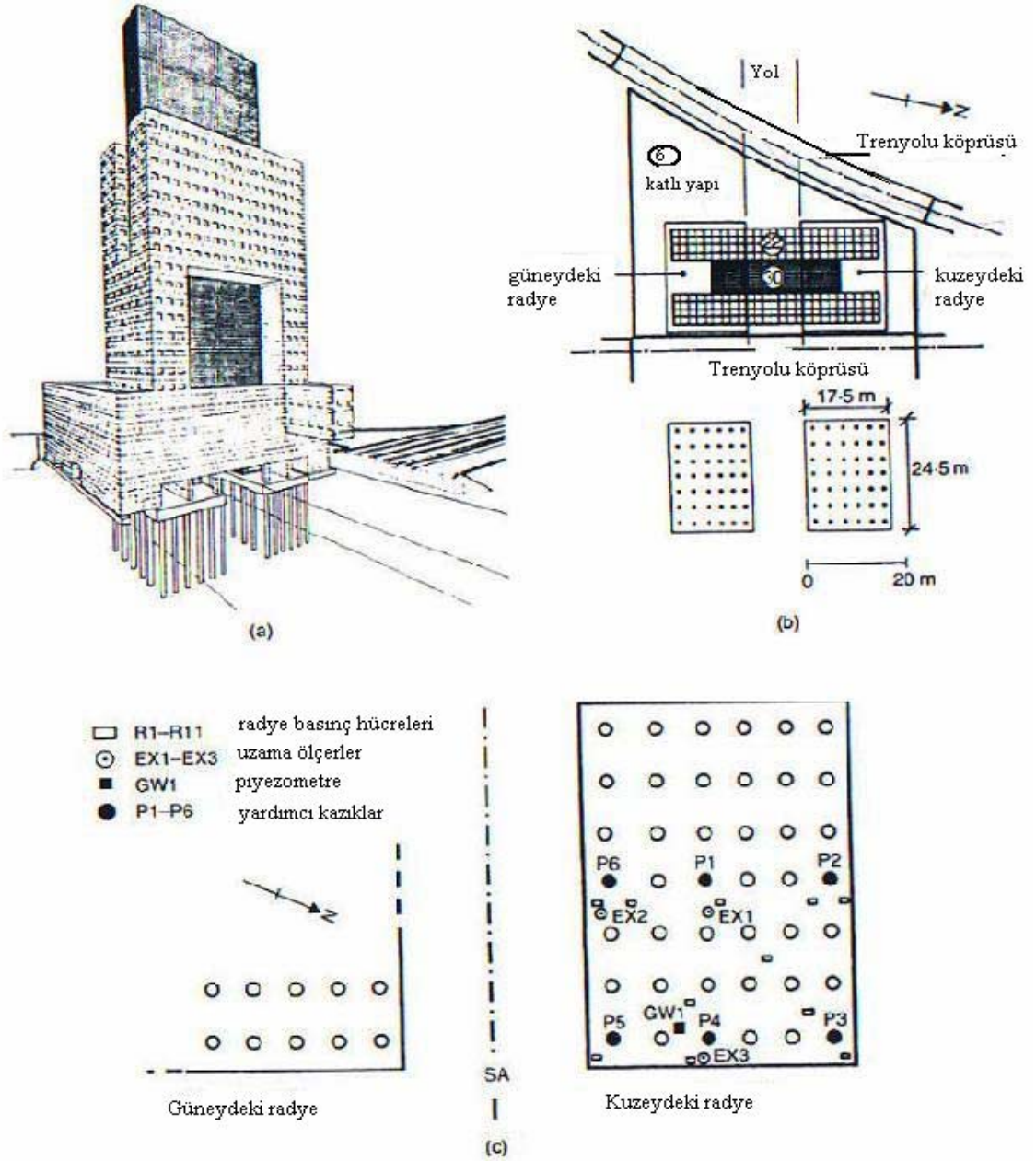
kazıklı radye temelin ölçülmüş yük-oturma davranışını, toplam yapı yükünü (R_{tot}) ikiye bölerek, radye temel tarafından taşınan (R_{radye}) ve 42 kazık tarafından ($\sum R_{kazık,j}$) taşınan yük olarak, göstermektedir.

Yapılan ölçümler sonucunda, yapı yükünün sadece küçük bir kısmının radye temelden zemine aktarıldığı gözlemlenmiştir. Şekil 7.3'de zaman-yük, zaman- oturma eğrilerinden, radye temel betonun ilk aşamasındaki temas basıncının esas olarak radye temelin kendi ağırlığından kaynaklandığı görülmüştür. Yapının ilave yüklerinin de kazıklar tarafından zemine aktarıldığı gösterilmiştir. Kazıklı radye temel katsayısı olan α pr 0.8'e eşittir. Hızlı inşaat yapma durumlarında, yapının ölü yükünün % 95'i, yapının başlamasından 8 ay içinde uygulanmaktadır. Aynı zaman dilimi içerisinde son oturmanın sadece % 40'ı kayıt edilmiştir. Frankfurt kilindeki konsolidasyonun, yapının tamamlanmasından sonra 3 yıl daha süren ilave oturmalara yol açtığı gözlemlenmiştir. Konsolidasyon süresi boyunca, kazık ile radye arasındaki yük paylaşımı sabit kalmıştır.

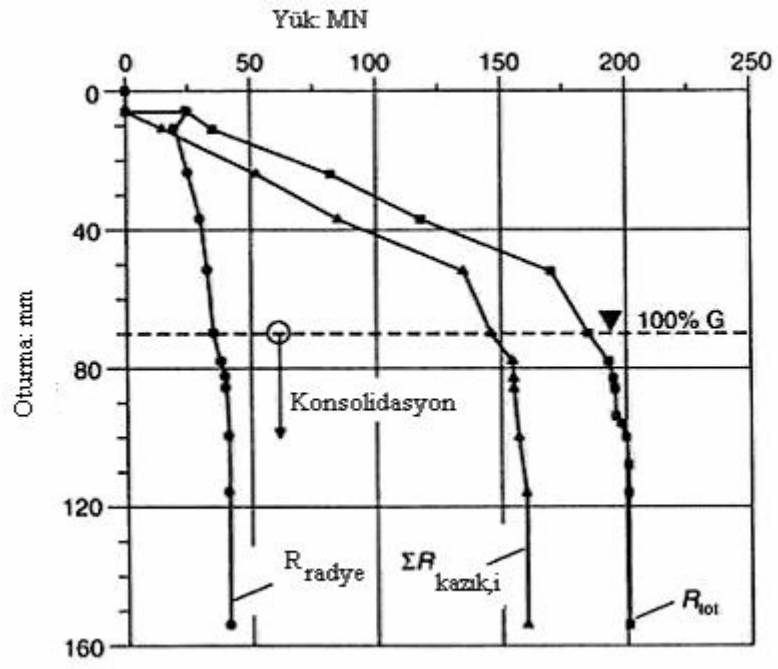
Uzama ölçerler tarafından ölçülen derinlik ile oturma dağılımı, kuzey tarafındaki kazıklı radye temelin köşesi için (EX 3) ve merkezi için (EX 1), Şekil 7.4'de gösterilmiştir. Burada G, toplam ölü yükü ve P, toplam hareketli yükü göstermektedir. Kazıkların taban seviyesinde oturmalar hemen hemen sabit kalmıştır.

Kuzey tarafındaki kazıklı radye temel altında ölçülen kazıkların yük dağılımı Şekil 7.5'de, köşe kazığı olan P3 ve iç kazığı olan P1'in kuvvet dağılımı ve gövde direnci gösterilmektedir. Köşe kazığı için ortalama sürtünme direnci, kazık gövde uzunluğunun üçte ikisinin en alt kısmı için 140 kPa iken; iç kazığın sürtünme direnci kazık gövde uzunluğunun en alt üçte birlik kısmı için sadece 60 kPa dır.

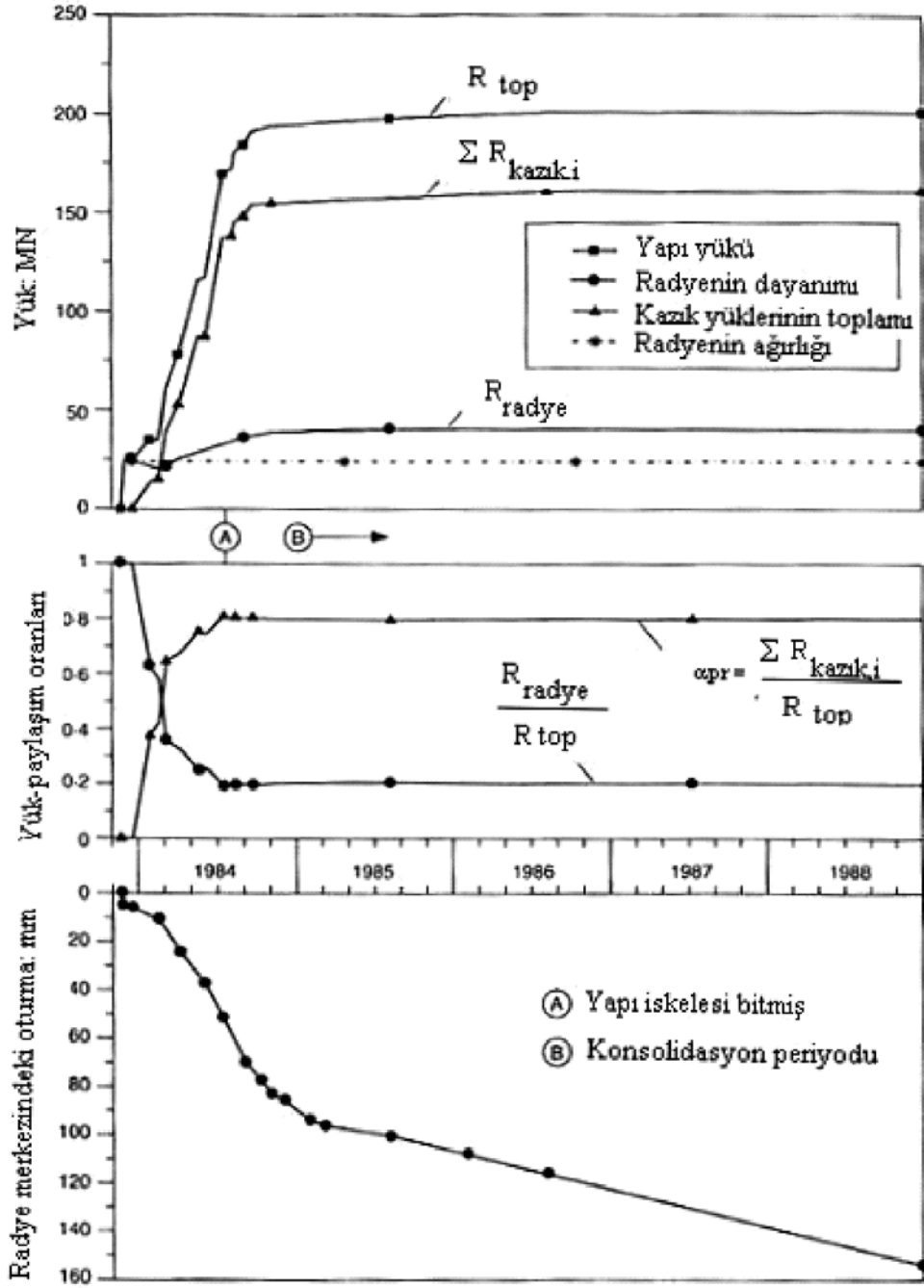
Şekil 7.3'de, radye ve kazık arasındaki temas basınçları, radyenin taze beton basıncından çok az büyük olduğu gösterilmektedir; bu da üst yapı yükünün hemen hemen tamamının kazıklar tarafından taşındığını göstermektedir. Ayrıca kazıklar üzerindeki yük dağılımının, rijit radye temel altındaki zemin basıncının Boussinesq dağılımına benzediği dile getirilmiştir.



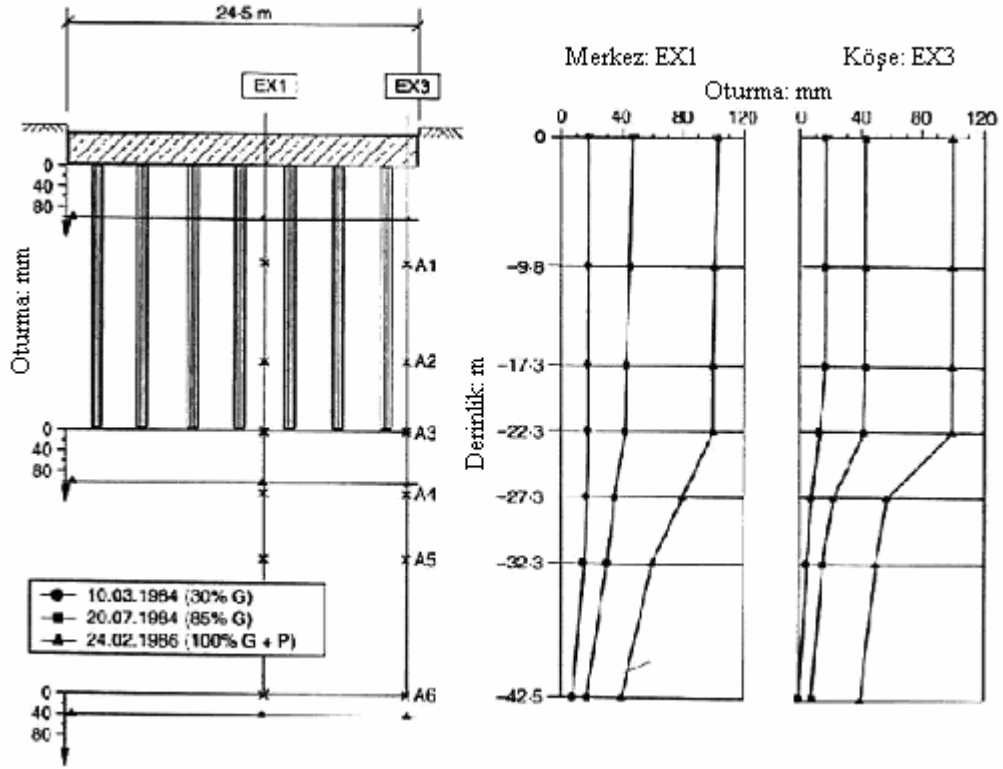
Şekil 7.1. Messe- Torhaus yapısı, Frankfurt: (a) izometrik görünüm; (b) plan; (c) kazıklı radye temeldeki aygıtların yerleşimi



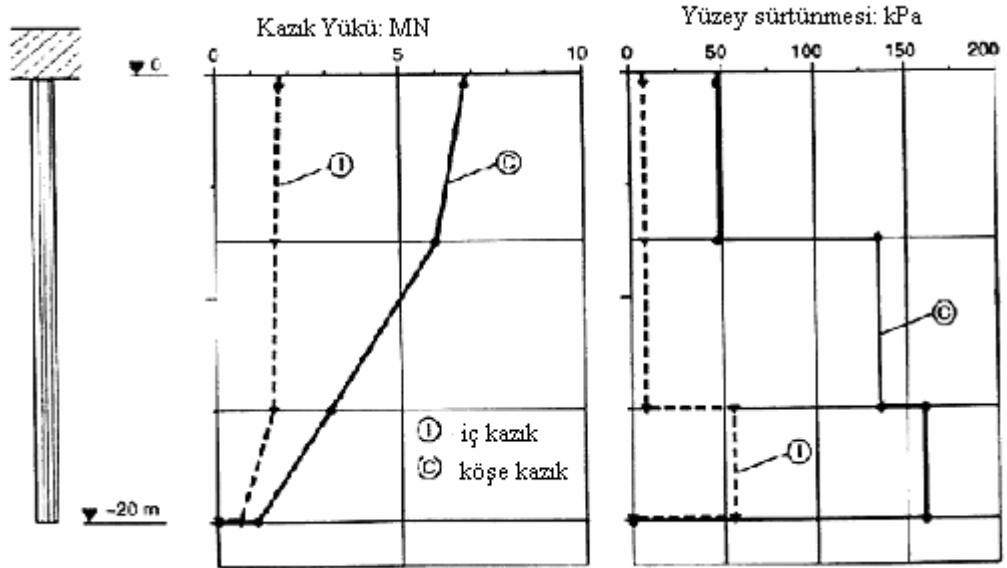
Şekil 7.2. Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için ölçülen yük-oturma eğrileri



Şekil 7.3. Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için gözlenen zamana bağlı yük-oturma davranışı ve yük paylaşımı)



Şekil 7.4. Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için derinlikle ölçülen oturma dağılımı)



Şekil 7.5. Messe-Torhaus yapısı, Frankfurt (kuzey tarafındaki kazıklı radye temel için derinlikle ölçülen kazık yükü ve yüzey sürtünmesi dağılımı)

7.1.2. Messe Torhous Yapısının Plaxis Sonlu Elemanlar Programı ile Modellenmesi ve Analizi

Bu bölümde Messe-Torhous yapısına ait kazıklı radye temel PLAXIS sonlu elemanlar programı ile modellenerek analiz edilmiştir. Kazıklı radye temelin oturduğu zemin profili, kazıklar ve radye temele ait malzeme özellikleri detaylı olarak verilerek çözümü gerçekleştirilmiştir. Program çıktıları “Ekler” bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

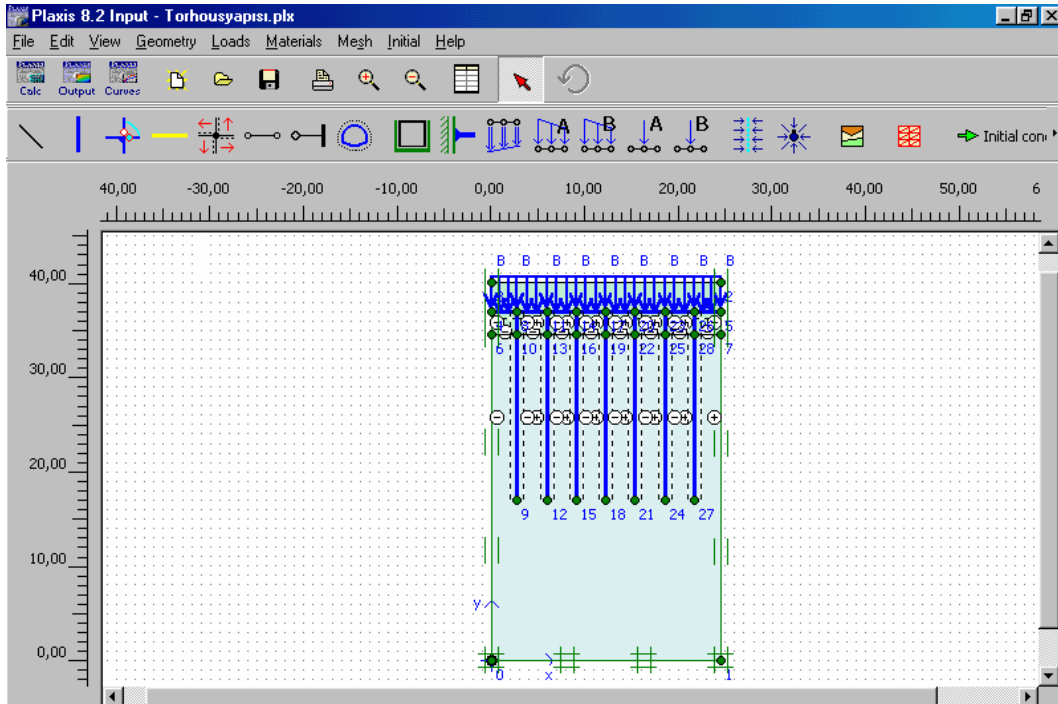
Analiz için kullanılan PLAXIS sonlu elemanlar programı, iki boyutlu olduğu için; plan üzerinden kesit alınarak geometrik model oluşturulmuştur. Şekil 7.6’da Messe-Torhous yapısına ait kazıklı radye temelin geometrik modeli gösterilmiştir.

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan, Messe-Torhous yapısına ait malzeme özellikleri Çizelge 7.1’de verilmiştir.

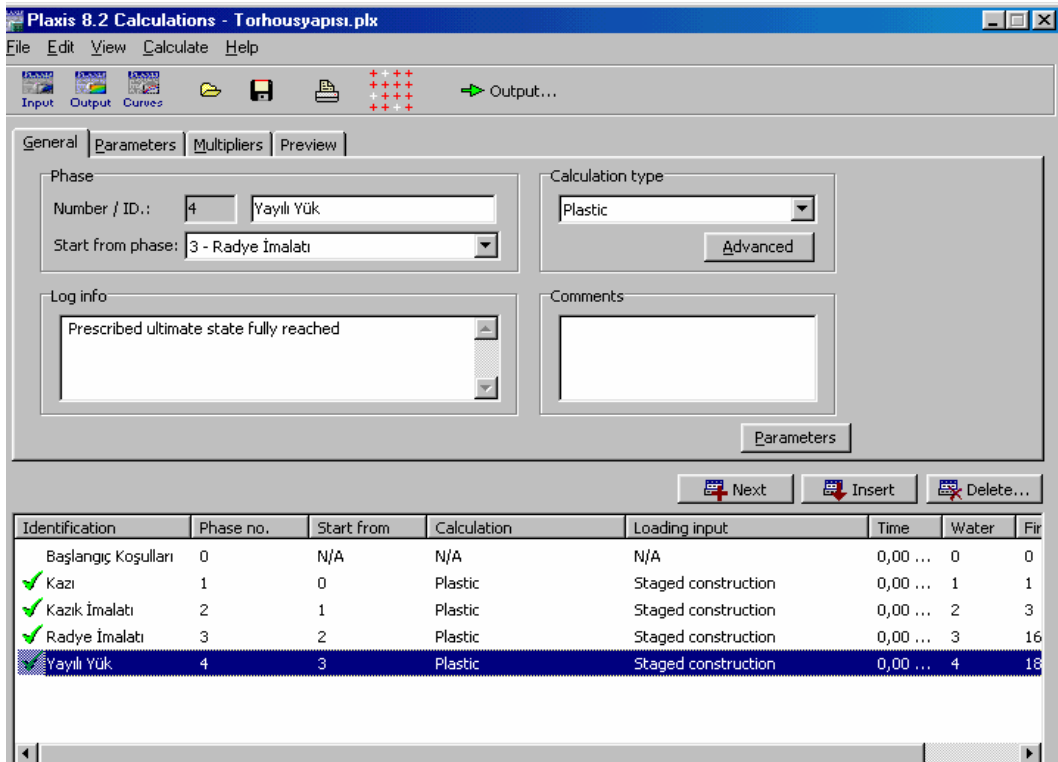
Çizelge 7.1. Torhous yapısına ait sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme özellikleri

Parametre	Frankfurt Kili	Kum	Radye	Kazıklar
Elastisite Modülü, E: kN/m ²	50000	75000	34000000	23500000
Poisson oranı, ν	0,15	0,25	0,2	0,2
Suya doymun birim hacim ağırlığı, γ : kN/m ²	19	18	25	25
Kuru birim hacim ağırlığı, γ' : kN/m ²	9	—	—	—
İçsel sürtünme açısı, ϕ : derece	20	32,5	—	—
Kohezyon, c: kN/m ²	20	0	—	—

Sonlu elemanlar analizinde, yapım aşamasının adım adım analizi sırasıyla Şekil 7.7 ve Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Torhaus yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli



Şekil 7.7. Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması

Çizelge 7.2. Torhous yapısına ait sonlu elemanlar analizinde, yapım aşamaları

Yapım Aşamaları	Uygulanan Yük: kN	Efektif gerilme, σ_v' : kN/m ²	Boşluk Basıncı, pp: kN/m ²	Yerdeğiştirme değeri: m
Başlangıç koşulları	—	326,97	366,08	0
Zemin seviyesinden 3m kazı yapılması	—	326,97	366,08	$279.49 \cdot 10^{-12}$
Kazık imalatının yapılması	—	329,91	484,10	$2.29 \cdot 10^{-3}$
Radye imalatının yapılması	26800	331,37	542,75	$3.5 \cdot 10^{-3}$
Yayıllı yükün etkimesi	200000	1840	4220	$97.12 \cdot 10^{-3}$

Messe-Torhous yapısına ait sonlu eleman analizi ve arazi sonuçları Çizelge 7.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.3. Messe-Torhous yapısına ait sonlu eleman analizi ve arazi sonuçları

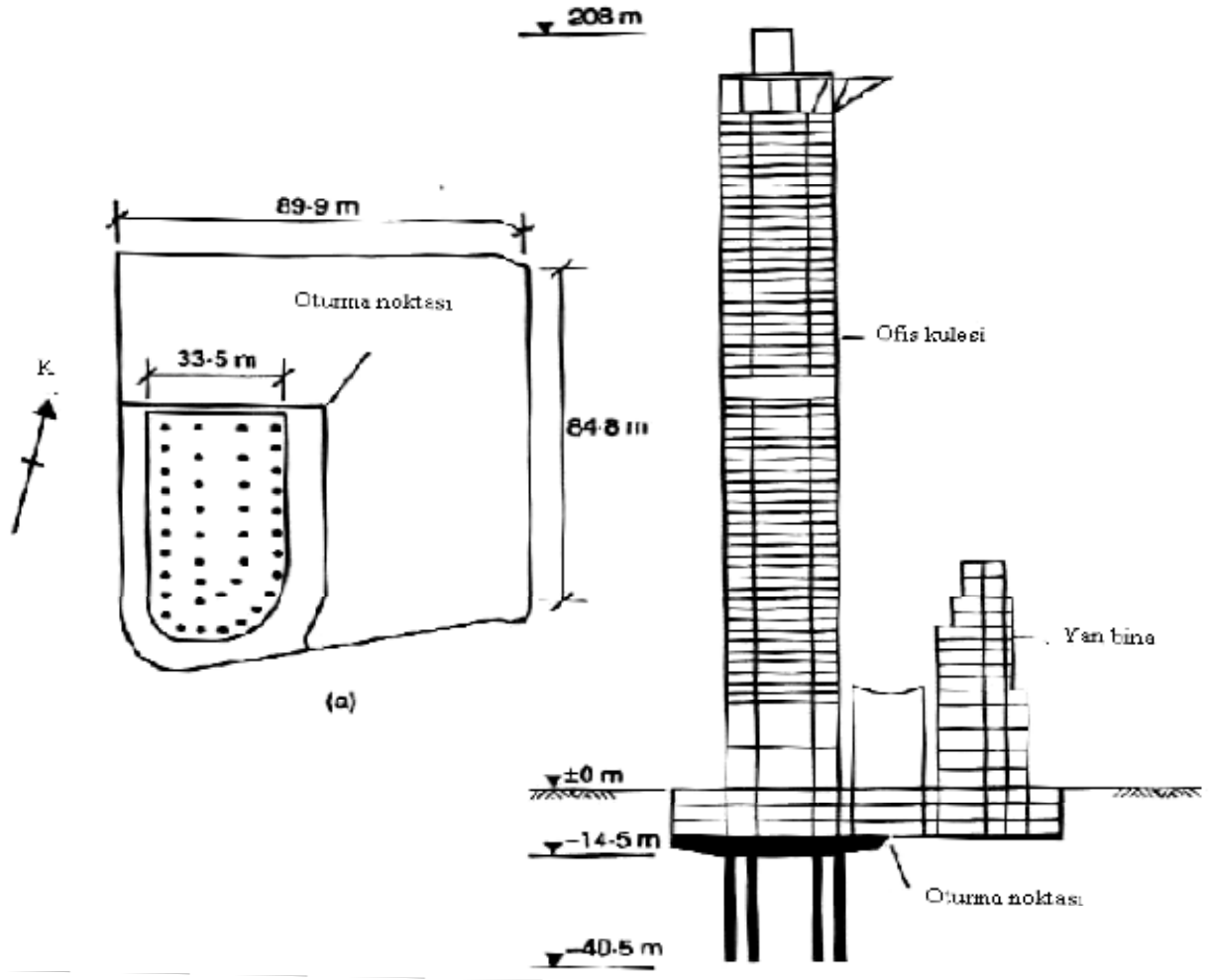
Oturma: mm	Arazi ölçümü:mm	Plaxis: mm	Rölatif Hata %
	124	97.12	21

Kazıklı radye temel katsayısı	Arazi ölçümü	Plaxis	Rölatif Hata %
	0,80	0,82	2,4

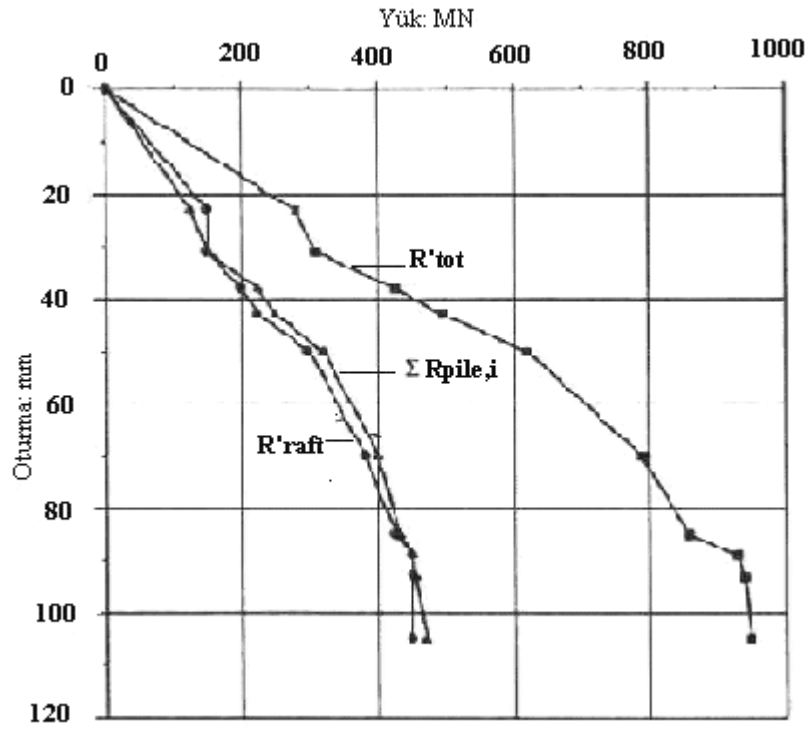
7.2. Uygulama 2

7.2.1. Westend 1 yapısı, Frankfurt, 1990-1993

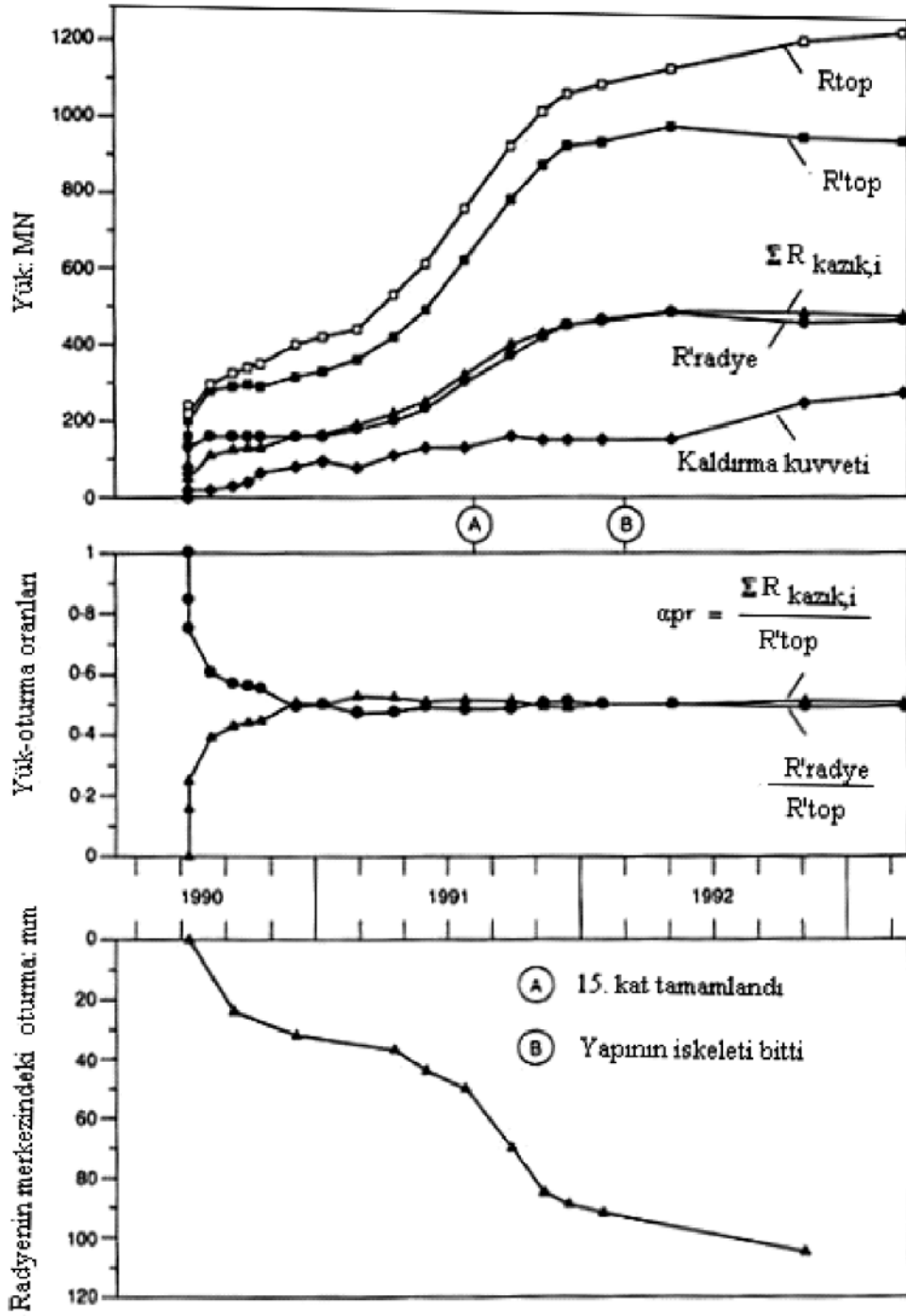
Westend 1 yapısı, 1990 ve 1993 yılları arasında yapılmıştır. 53 katı ile 208 m yükseklikte ofis kulesinden ve her iki tarafını L şeklinde çevreleyen 12 katlı apartmandan oluşmaktadır (Şekil 7.8). Yüksek narinlik oranından dolayı ($H/B = 4.7$), toplam 1420 MN yapı yükü ile ofis kulesi, farklı oturmaları azaltmak için Frankfurt kilinde kazıklı radye temel üzerine oturmaktadır. Temeli, yer altında üç bodrum kat ile, radye temel 3-4.5 m kalınlıkta ve kazıklar sabit 30 m uzunluk ile 1.3 m çapında 40 adet fore kazıktan oluşmaktadır. Radye, zemin seviyesinin 14.5 m ve YASS'nin 9.5 altında bulunmaktadır. Kazıklar, üst yapının ağır kolonlarının altında toplatılmıştır. 2490 m² alana sahip gökdelenin radyesi, planda 3000 m² alana sahip komşu yapının radyesi ile bir oturma noktası tarafından ayrılmıştır. Kazıklı radye temelin davranışı, geoteknik ölçme aletleri kullanılarak izlenmiştir. Şekil 7.9, kazıklı radye temelin ölçülen yük-oturma davranışını kazıklar ve radye temelin dayanımı olarak göstermektedir. İnşaat süresi boyunca (1990-1993), yapının artan yükü ve kazıklı radye temel içindeki ölçülen yük paylaşımı Şekil 7.10'da gösterilmektedir. Yapı yükünün, neredeyse kazıklar ve radye tarafından eşit olarak paylaşıldığı izlenmiştir. Bu da kazıklı radye temel katsayısının $\alpha_{pr} = 0.5$ olmasına yol açmıştır. Bu yük paylaşımı, inşaat süresi boyunca oldukça sabit kalmıştır. Gökdelenin kaba iskeleti tamamlandığında, radyenin merkezindeki oturma 90 mm olarak ölçülmüştür. Aynı anda, radyenin altındaki efektif temas basıncı 150 kPa ve boşluk suyu basıncı 50 kPa ölçülürken, radyenin altındaki kazık yükleri de 9.2-14.9 MN olarak ölçülmüştür.



Şekil 7.8. Westend 1 yapısı, Frankfurt: (a) plan; (b) boy kesit



Şekil 7.9. Westend 1 yapısı kazıklı radye temeli için ölçülen yük-oturma davranışı, Frankfurt



Şekil 7.10. Westend 1 yapısı kazıklı radye temeli için gözlenen zamana bağlı yük-oturma davranışı ve yük paylaşımı, Frankfurt

7.2.2. Westend 1 Yapısının Plaxis Sonlu Elemanlar Programı ile Modellenmesi ve Analizi

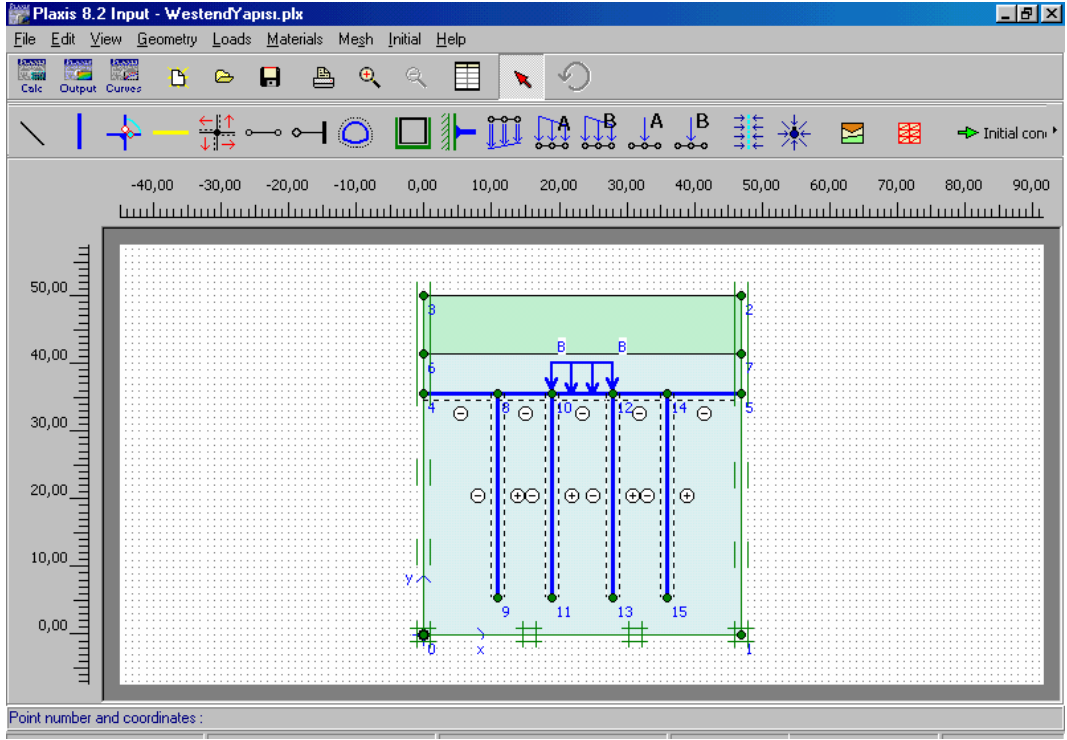
Bu bölümde Westend 1 yapısına ait kazıklı radye temel Plaxis sonlu elemanlar programı ile modellenerek analiz edilmiştir. Kazıklı radye temelin oturduğu zemin profili, kazıklar ve radye temele ait malzeme özellikleri detaylı olarak verilerek çözümü gerçekleştirilmiştir. Program çıktıları “Ekler” bölümünde detaylı olarak verilmiştir.

Analiz için kullanılan PLAXIS sonlu elemanlar programı, iki boyutlu olduğu için; plan üzerinden kesit alınarak geometrik model oluşturulmuştur. Şekil 7.11’de Westend yapısına ait kazıklı radye temelin geometrik modeli gösterilmiştir.

Sonlu elemanlar analizinde kullanılan, Westend 1 yapısına ait malzeme özellikleri Çizelge 7.4’de verilmiştir.

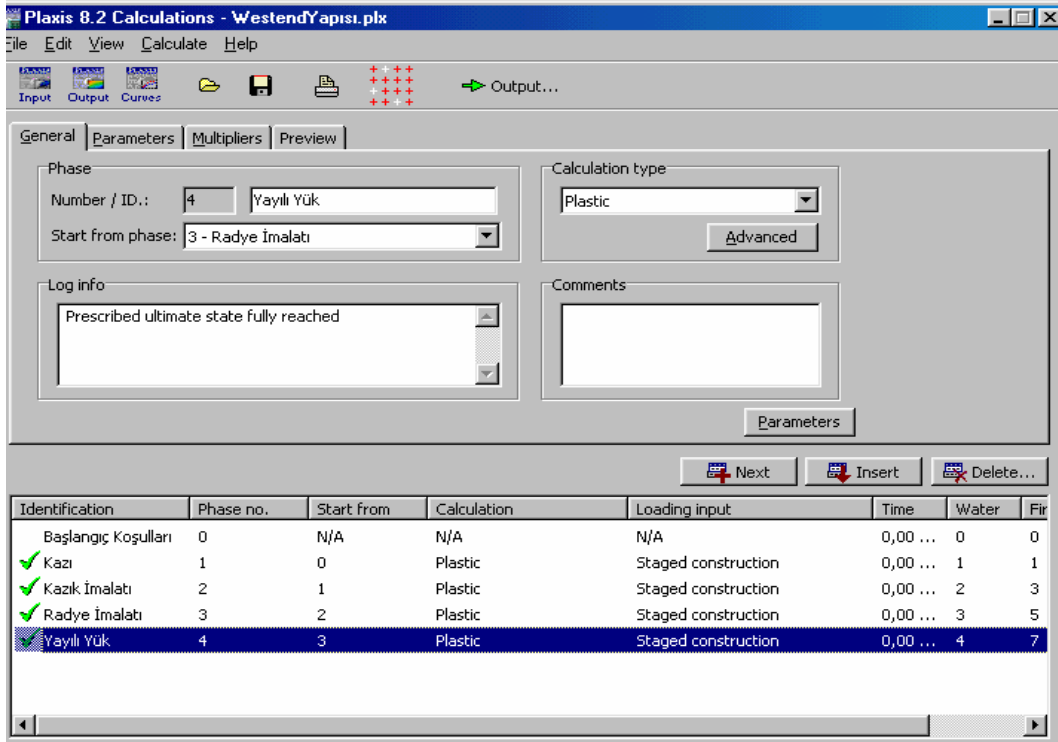
Çizelge 7.4. Westend 1 yapısına ait sonlu elemanlar analizinde kullanılan malzeme özellikleri

Parametre	Frankfurt Kili	Kum	Radye	Kazıklar
Elastisite Modülü, E: kN/m ²	50000	75000	34000000	22000000
Poisson oranı, ν	0,15	0,25	0,2	0,2
Suya doymun birim hacim ağırlığı, γ : kN/m ²	19	18	25	25
Kuru birim hacim ağırlığı, γ' : kN/m ²	9	—	—	—
İçsel sürtünme açısı, ϕ : derece	20	32,5	—	—
Kohezyon, c: kN/m ²	20	0	—	—



Şekil 7.11. Westend yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli

Sonlu elemanlar analizinde, yapım aşamasının adım adım analizi sırasıyla Şekil 7.12 ve Çizelge 7.5’de gösterilmiştir.



Şekil 7.12. Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması

Çizelge 7.5. Westend yapısına ait sonlu elemanlar analizinde, yapım aşamaları

Yapım Aşamaları	Uygulanan Yük: kN	Efektif gerilme, σ_v' : kN/m ²	Boşluk Basıncı, pp: kN/m ²	Yerdeğiştirme değeri: m
Başlangıç koşulları	—	379,88	423.75	0
Zemin seviyesinden 14,5 m kazı yapılması	—	378.30	359.16	$1.30 \cdot 10^{-3}$
Kazık imalatının yapılması	—	388.57	549.53	$3.94 \cdot 10^{-3}$
Radye imalatının yapılması	267900	399.37	706.99	$4.23 \cdot 10^{-3}$
Yayılı yükün etkimesi	950000	537,51	6150	$101.87 \cdot 10^{-3}$

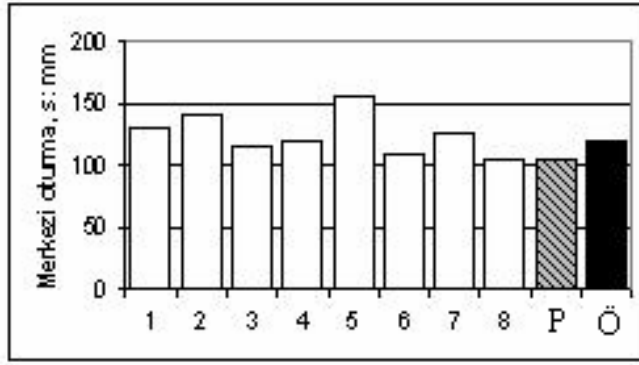
Westend 1 yapısına ait sonlu eleman analizi ve arazi sonuçları Çizelge 7.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 7.6. Westend 1 yapısına ait sonlu eleman analizi ve arazi sonuçları

Oturma: mm	Arazi ölçümü:mm	Plaxis: mm	Rölatif Hata %
	120	101,87	15

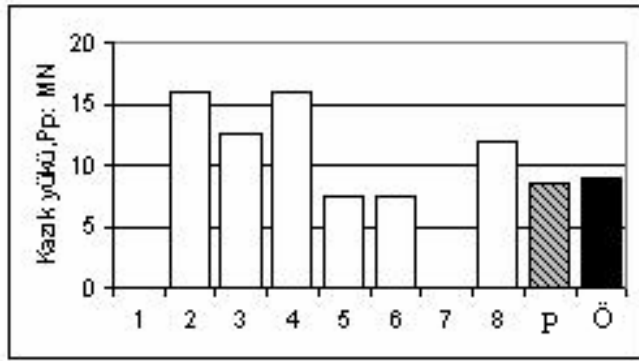
Ayrıca, Şekil 7.13’de, Westend 1 yapısına ait sonlu eleman analizinden elde edilen oturma değeri, kazıkların taşıdığı yük değeri ve kazıklı radye temel katsayısı olan α_{pr} Değeri, literatürden alınmış olan aşağıdaki analiz yöntemleri ile kıyaslanmıştır.

- a. Basitleştirilmiş hesap yöntemi. Poulos ve Davis (1980)
- b. Yaylar tarafından taşınan şerit tanımlama yaklaşımında bulunan yöntemler. Poulos (1991)
- c. Yaylar üzerinde levha yaklaşımını uygulayan yöntemler. Poulos (1994)
- d. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler. Ta ve Small (1996)
- e. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler. Sinha (1996)
- f. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler. Franke ve ark. (1996)
- g. Esnek matriks yöntemi. Randolph (1983)
- h. Radye ve kazıklar arasındaki elastik etkileşim ile bağımsız kazıklar için yük aktarımı yaklaşımını birleştiren yöntem. Clancy ve Randolph (1993)



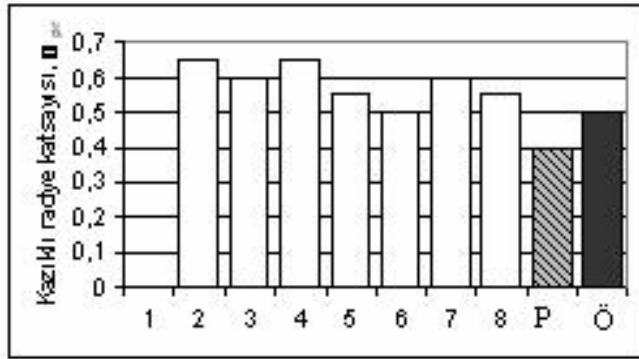
Analiz Yöntemleri

1. Poulos ve Davis (1980)
 2. Poulos (1991)
 3. Poulos (1994)
 4. Ta ve Small (1996)
 5. Sinha (1996)
 6. Franke ve ark. (1994)
 7. Randolph (1983)
 8. Clancy ve Randolph (1993)
- P** Plaxis sonlu elemanlar programı
Ö Ölçüm



Ölçümler:

- a. Franke ve Lutz (1994)



Şekil 7.13. Farklı analiz yöntemleri ile arazi ölçümlerinin kıyaslanması

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, aşırı konsolide killi zeminlere oturan Messe Torhous ve Westend 1 yapılarına ait iki tip kazıklı radye temel, sonlu elemanlar yöntemi ile iki boyutlu elasto-plastik analiz yapabilen PLAXIS programı ile analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde verilmiş olan arazi sonuçları ile karşılaştırılmış ve sonuçların birbirleri ile uyum sağladığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca, Westend 1 yapısı için elde edilen sonuçlardan merkezi oturma değeri, kazıkların taşıdığı yük değeri ve kazıklı radye temel katsayısı, literatürde verilmiş olan;

1. Basitleştirilmiş hesap yöntemi. Poulos ve Davis (1980)
 2. Yaylar tarafından taşınan şerit tanımlama yaklaşımında bulunan yöntemler. Poulos (1991)
 3. Yaylar üzerinde levha yaklaşımını uygulayan yöntemler. Poulos (1994)
 4. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler. Ta ve Small (1996)
 5. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler. Sinha (1996)
 6. Sınır elemanları ve sonlu elemanlar analizlerini birleştiren yöntemler. Franke ve ark. (1996)
 7. Esnek matriks yöntemi. Randolph (1983)
 8. Radye ve kazıklar arasındaki elastik etkileşim ile bağımsız kazıklar için yük aktarımı yaklaşımını birleştiren yöntem. Clancy ve Randolph (1993)
- 8 farklı analiz yöntemi ile kıyaslanmıştır.

Yukarıda verilmiş olan ilk 6 analizin sonuçları Poulos ve ark. (1997) tarafından verilmiştir. Randolph (1983) tarafından verilmiş “Esnek Matriks Yöntemi” nde, kazık grubunun rijitliği $k_p = 6912 \text{ MN/m}$ ve radyenin rijitliği de $k_r = 6274 \text{ MN/m}$ olarak alınmıştır. Kazık grubunun rijitliği, Randolph ve Wroth (1978)’in, kazık grubunu eşdeğer bir kazık ile hesaplayan denklemi ile bulunmuştur. Radyenin rijitliği, Mayne ve Poulos (1999) tarafından tanımlanan yöntem ile hesaplanmıştır.

Clancy ve Randolph (1993) tarafından tanımlanan hesap yönteminde, HyPR programı kullanılmıştır.

Messe Torhaus yapısı, Almanya’da kazıklı radye temel üzerine oturan ilk yapı olması dolayısıyla ile Alman standartlarına göre klasik hesap yöntemine göre yapılmıştır. Bu sebeple; yapılan ölçümler sonucunda yapı yükünün küçük bir kısmının radye temelden zemine aktarıldığı ve yükün % 80’nin kazıklardan tarafından taşındığı gözlemlenmiştir. Yapı, PLAXIS sonlu elemanlar programı ile analiz edildiğinde, kazıklar tarafından taşınan yük oranı % 82 oranında çıkarak arazi ölçüm sonuçlarına çok yakın bir değerde çıktığı gözlemlenmiştir.

PLAXIS sonlu elemanlar programı ile analiz edilen Messe Torhaus yapısı için bulunan merkezi oturma değeri, arazi ölçüm sonucu değerinden % 21 daha küçük çıkmıştır.

Westend 1 yapısının kazıklı radye temeli, Messe Torhaus yapısından kazanılan deneyimler ile oturmaları azaltmak amacı ile tasarlanmıştır. Arazi ölçümleri sonucu, kazıklar ile radye temelin yapı yükünü yarı yarıya paylaştıkları gözlemlenmiştir. PLAXIS sonlu elemanlar analizi elde edilen kazıklı radye temel katsayısı, arazi ölçümünden %20 daha küçük çıkmıştır. Bunun sebebi, arazi ölçümlerinde kullanılan 6 yardımcı kazığın yükleri, tüm kazık grubunun yüküne eşit olacağı varsayımı ile hesaplanmış olabileceğidir.

PLAXIS sonlu elemanlar programı ile analiz edilen Westend 1 yapısı için bulunan merkezi oturma değeri, arazi ölçüm sonucu değerinden % 15 daha küçük çıkmıştır. Sinha (1996) tarafından verilen method ile bulunan merkezi oturma değeri, diğer analiz yöntemleri ile bulunan oturma değerlerinden daha büyük çıkmıştır.

PLAXIS Sonlu elemanlar analizi sonucu bulunan kazık yükü, diğer yöntemler ile kıyaslandığında arazi ölçüm değerine oldukça yaklaşmıştır.

Bu çalışmada kullandığımız sonlu elemanlar analizine dayanan PLAXIS programı, kazıklı radye temel performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi için yapılan parametrik çalışmaları kolaylaştırmaktadır. Kazıklı radye temellerin, sonlu eleman analizlerini paket programlarda gerçekleştirmek, normal inşaat sahasında başında durarak gözetlenmesinden daha ekonomik ve daha kolaydır. Ama analizde kullandığımız varsayımlar ve modelleme yaklaşımları sonlu eleman analizinin doğruluğunu sınırlandırmaktadır.

Bu uygulamalardan, kazıklı radye temel tasarımlarının, geleneksel temellere göre önemli avantajlarının olduğu ortaya çıkmıştır. Yüzeysel temellerle kıyaslandığında, kazıklı radye temeller, maksimum ve farklı oturmaları etkili şekilde azaltarak yeni yapılacak yapının eğilme riskini minimuma indirmektedir. Bu pozitif etkiler, yeni yapılacak yapıya komşu yapıların stabilitesini de güvence altına alacaktır.

Kazıklı radye temeller üzerinde kazanılan deneyimler , özellikle yumuşak kil üzerine ve gevşek granüler zemin üzerine oturan yüksek katlı yapılarda, bu tip temel sisteminin gelecekte pratik uygulamalarının çoğunda güvenli ve ekonomik çözüm sağlayacağını belirtmektedir.

Öneri olarak: Bu çalışmada kullanılan PLAXIS programı, iki boyutlu olduğu için daha kompleks yapıları modelleyememektedir. Bu nedenle iki boyutlu analiz yapabilen PLAXIS programından önce üç boyutlu analiz yapabilen PLAXIS 3D FOUNDATION paket programı kullanarak bu yapılar modellenmeye çalışılmıştır. Program, 3 boyutlu olmasından dolayı “çok fazla bilinmeyen” içerdiği için bu kompleks yapıları çözmekte zorlanmıştır.

Bu nedenle daha gelişmiş paket programlar kullanarak, kazıklı radye temeller için farklı konfigürasyondaki kazık dizilimleri ve değişen radye kalınlığının etkisinin farklı oturmalar ve toplam oturmalar üzerindeki etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

BROWN, P.T. ve WIESNER, T. J., *Piled raft foundation design*, Proc. Symp. On Raft Foundations, **15**, 13-21 (1975).

BRITISH STANDARDS INSTITUTION., *Structural use of concrete*, BSI, London, BS 8110 (1985)

BROWN, P.T., POULOS, H.G. ve WIESNER, T. J., *Piled raft foundation design*, Proc. Symp. On Raft Foundations, Perth, CSIRO (Australia), 13-21 (1975).

BURLAND, J. B., BROMS, B. ve DE MELLO, V. F. B., *Behaviour of foundations and structures*. Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng, Tokyo, **2**, 495-546 (1977).

BURLAND, J. B., BROMS, B. ve DE MELLO, V. F. B., *Behaviour of foundations and structures*. Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng, Tokyo, **2**, 495-546 (1977).

BURLAND, J.B., *Piles as Settlement Reducers*, Keynote Address, 18th Italian Congress on Soil Mechanics, Pavia, Italy (1995).

BUTTERFIELD, R. ve BANERJEE, P. K., *The elastic analysis of compressible piles and pile groups*, Geotechnique, 21, **1**, 43-60 (1971).

CANADIAN GEOTECHNICAL SOCIETY., *Canadian foundation engineering manual*, Richmond, British Columbia, 3rd edn (1992).

CLANCY, P. ve RANDOLPH, M. F., *An approximate analysis procedure for piled raft foundation*, Int. J. Num. Anal. Meth. Geomech., 17, **12**, 849-869 (1993).

COOKE, R. W., *Piled raft foundations on stiff clays: a contribution to design philosophy*, Geotechnique, 36, **2**, 169-203 (1986).

DESAI. C.S., *Numerical Design Analysis for Piles in Sands*, J. Geot. Eng. Div., ASCE, 100(GT6), 613-635 (1974).

DE SANCTIS, L., MANDOLINI, A., RUSSO, G. ve VIGGIANI, C., *Some Remarks on the Optimum Design of Piled Rafts*, Personal Communication of paper submitted for Publication (2001).

DANSK INGENIORFORENING., *Danish Standard Code of Practice for safety of structures* (DS 409), Danish Technical Pres, Copenhagen, 3rd edn (1983).

EL-MOSSALLAMY, Y. ve FRANKE, E., *Piled rafts: numerical modelling to simulate the behaviour of piled raft foundations*, Darmstadt, (1997).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION., *Eurocode 2, Design of concrete structures*, Brussels (1992).

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION., *Eurocode 7, Geotechnical design-Part 1: General rules*, Brussels (1997).

FLEMING, W. G. K., WELTMAN, A. J., RANDOLPH, M. F. ve ELSON, W. K., *Piling engineering*, Surrey University Press, 2nd edn (1992).

FRANKE, E., LUTZ, B. ve EL-MOSSALLAMY, Y., *Measurements and numerical modelling of high-rise building foundations on Frankfurt Clay*, Geot. Spec. Publ. 40 (1994).

FRANKE, E., LUTZ, *Measurements and numerical modelling of high rise building foundations on Frankfurt Clay*, Asce, **40(2)**, (1994)

FRASER, R.A. ve WARDLE, L.J., *Numerical Analysis of Rectangular Rafts on Layered Foundations*, Geotechnique, **26(4)**, 613 (1976).

HAIN, S. J. ve LEE, I. K., *The analysis of flexible raft-pile systems*. Geotechnique, 28, **1**, 65-83 (1978).

HEWITT, P. ve GUE, S.S., *Piled Raft Foundation in a Weathered Sedimentary Formation*, Kuala Lumpur, Malaysia. Proc. Geotropika, Malacca, Malaysia, 1-11 (1994).

HONGLADAROMP, T., CHEN, N.J. ve LEE, S.L., *Load Distributions in Rectangular Footings on Piles*, *Geotech. Eng.*, **4(2)**, 77-90 (1973).

HOOOPER, J.A., *Observations on the behaviour of piled-raft foundation on London Clay*, *Proc. Instn Civ. Engrs*, Part 2, 55, 855-877 (1973)

HOOOPER, J. A., *Review of behaviour of piled raft foundations*, Construction Industry Research and Information Association, London (1979)

ITASCA. *FLAC user manual*. Itasca Corp., Minneapolis, Minn., USA (1991).

KUWABARA, F., *An elastic analysis for piled raft foundations in a homogeneous soil*, *Soils and Foundations*, **28(1)**, 82-92 (1989)

KATZENBACH, R., ARSLAN, U., MOORMANN, C. ve REUL, O., *Piled Raft Foundation – Interaction Between Piles and Raft*, Darmstadt Geotechnics, Darmstadt Univ. Of Technology, **4**, 279-296 (1998)

KIM KN, LEE SH., *Optimal pile arrangement for minimizing differential settlements in piled raft foundation*, *Computers and Geotechnics*, **28(2)**, 235-53, (2001)

NAYLOR, D. J. ve HOOOPER, J. A., *An effective stress finite element analysis to predict the short and long term behaviour of a piled-raft foundation on London Clay*, *Proc. Conf. On Settlement of Structures*, Cambridge, 394-402 (1974).

OTTAVIANI, M., *Three-dimensional finite element analysis of vertically loaded pile groups*, *Geotechnique*, **25(2)**, 159-174 (1975).

(PLAXIS Totorial Manual), www.plaxis.nl

PRADOSO, W.A. ve KULHAWY, F.H., *Contribution to Piled Raft Foundation Design*, *Jnl. Geot. and Geoenv. Eng.*, ASCE , **127(1)**, 17-24 (2000).

POULOS, H. G. ve DAVIS, E. H., *Pile foundation analysis and design*, John Wiley & Sons, New York (1980).

POULOS, H.G., *DEFPIG Users Manual*. Centre for Geot. Res., Univ. of Sydney, Australia (1990).

POULOS, H.G., *Analysis of Piled Strip Foundations*, Comp. Methods & Advances in Geomechs., ed. Beer et al, Balkema, Rotterdam, 1: 183-191 (1991).

POULOS, H. G., *Piled rafts in swelling or consolidating soils*, J. Geotech. Engng, ASCE, 119, 2, 374-380 (1993).

POULOS, H.G., *An approximate numerical analysis of pile- raft interaction*, Int. J. Num. Anal. Meth. Geomech., 18, 73-92 (1994).

POULOS, H.G., SMALL, J.C., TA, L.D., SINHA, J. ve CHEN, L., *Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts*. Proc. 14 ICSMFE, Hamburg, 2, 1119-1124 (1997).

POULOS, HG., *Piled raft foundations: design and applications*, Geotechnique, 51(2), 95-113, (2001)

RANDOLPH, M.F. ve WROTH, C.P., *Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles*, Jnl. Geot. Eng. Divn., ASCE , 104(GT12), 1465-1488 (1978).

RANDOLPH, M. F., *Design of piled raft foundations*, Proc. Int. Symp. Recent Developments in Laboratory and Field Tests and Analysis of Geotechnical Problems, Bangkok, 525-537 (1983)

RANDOLPH, M. F. ve CLANCY, P., *Efficient design of piled rafts*. Proc. 2nd Int. Geotech. Sem. Deep Foundns on Bored and Auger Piles, Ghent, 119-130 (1993).

RANDOLPH, M. F., *Design methods for pile groups and piled rafts*, State-of-the-Art Report, 13 th Int. Conf. Soil Mech. Foundn Engng, New Delhi, 5, 61-82 (1994).

SINHA, J., *Piled raft foundations subjected to swelling and shrinking soils*, Phd thesis, University of Sydney, Australia, (1996)

SMALL, J.C. ve ZHANG, H.H., *Piled Raft Foundations Subjected to General Loadings*, Developments in Theor. Geomechanics, Ed. D.W. Smith, & J.P. Carter, Balkema, Rotterdam, 431-444. (2000)

SINHA, J., *Piled raft foundations subjected to swelling or consolidating soils*, Ph.D. Thesis, Univ, Sydney, Australia (1997).

TA, L. D. ve SMALL, J. C., *Analysis of piled raft systems in layered soils. Int. J. Num. Anal. Meth. Geomech*, **2**, 57-72 (1996).

TAMARO, G. J., *Foundation engineers: why do we need them?* 1996 Martin S. Kapp Lecture. New York: American Society of Civil Engineers, van Impe, (1996).

WANG, A., *Private communication* (1995).

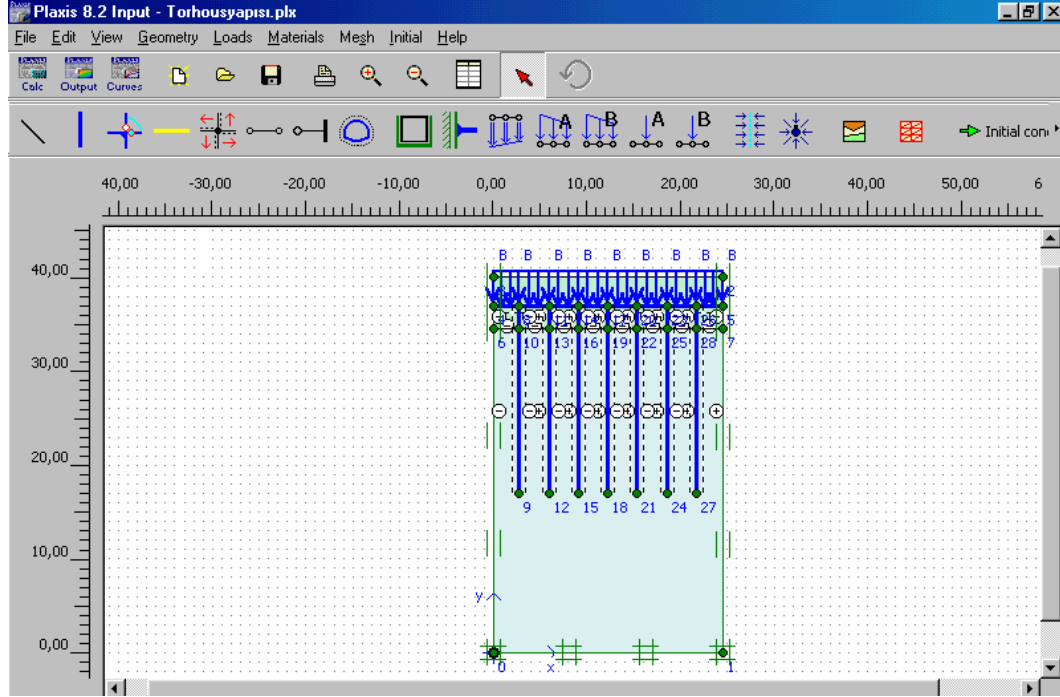
VIGGIANI, C., *Analysis and Design of Piled Foundations*, 1st Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana de Geot., 1/2001: 47-75 (2001).

YAMASHITA, K., KAKURAI, M., YAMADA, T. ve KUWABARA, F., Proc. 2nd Int. Symp. On Deep Founds on Bored and Auger Piles, Ghent, A.A. Balkema, Rotterdam, 351-356 (1993).

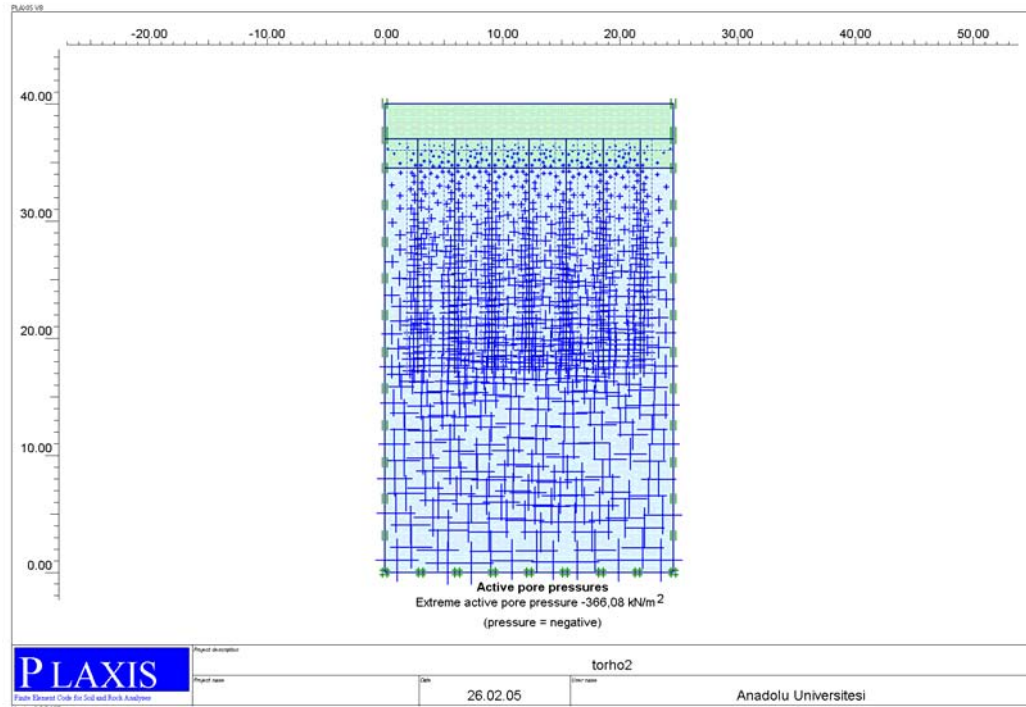
ZHUANG, G. M., LEE, I. K. ve ZHAO, X. H., *Interactive analysis of behaviour of raft-pile foundations*. Proc. Geo-Coast, Yokohama, **2**, 759-764 (1991).

EKLER

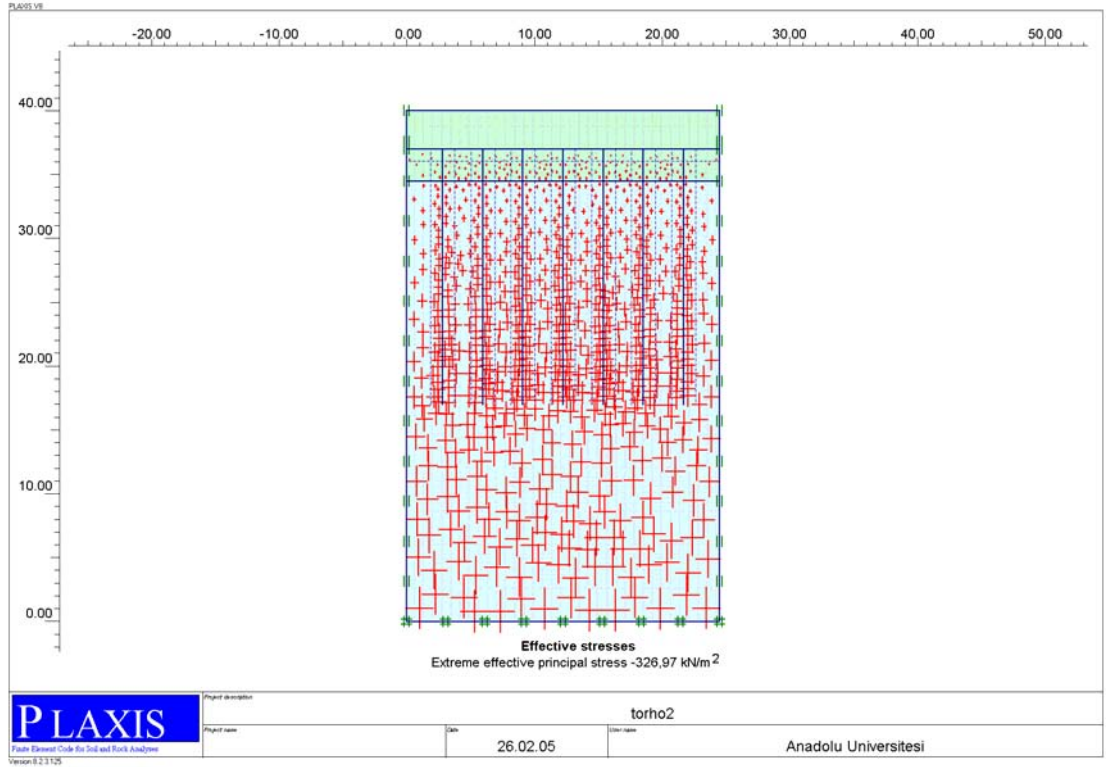
EK-1 Torhous Yapısına ait Plaxis Program Çıktıları



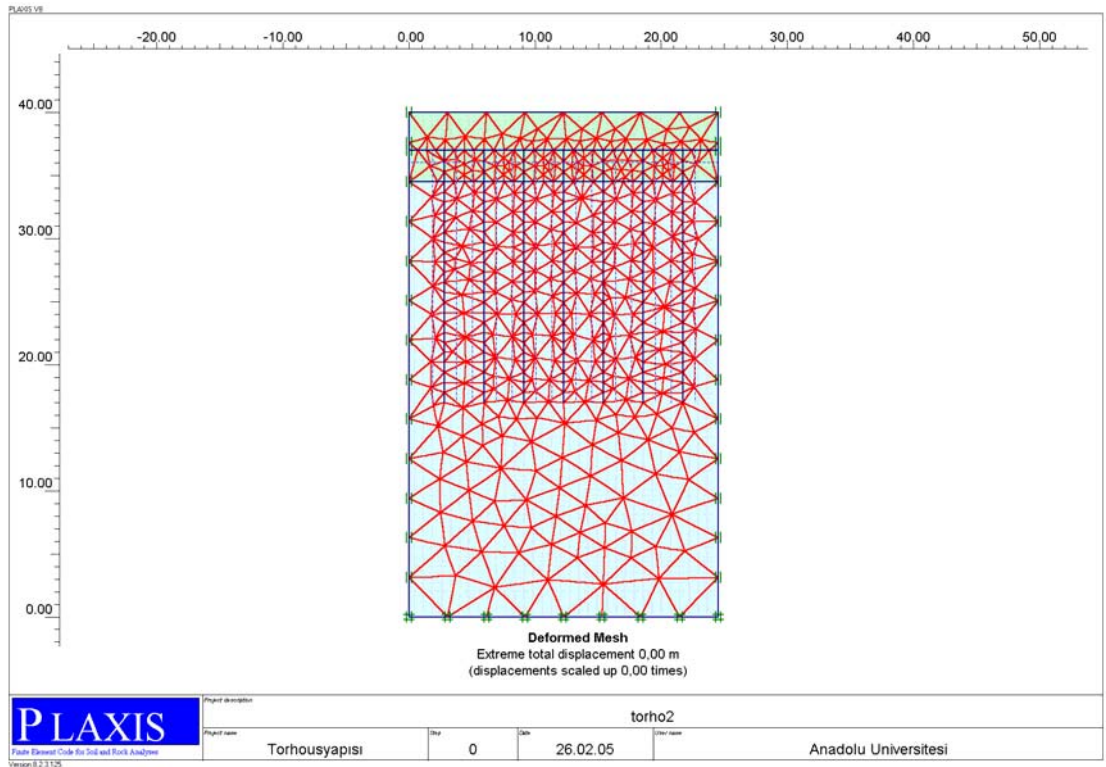
Şekil EK-1.1. Torhous yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli



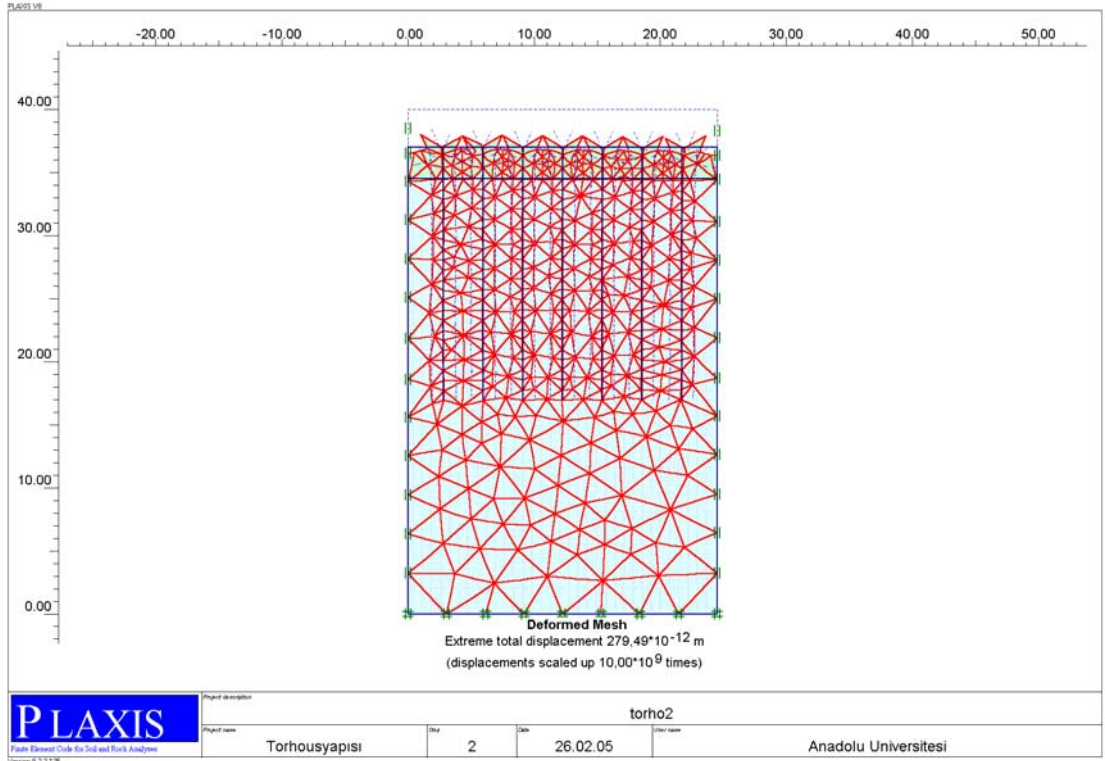
Şekil EK-1.2. Başlangıç koşulları altındaki zeminin aşırı boşluk basıncı değeri: $-366,08 \text{ kN/m}^2$



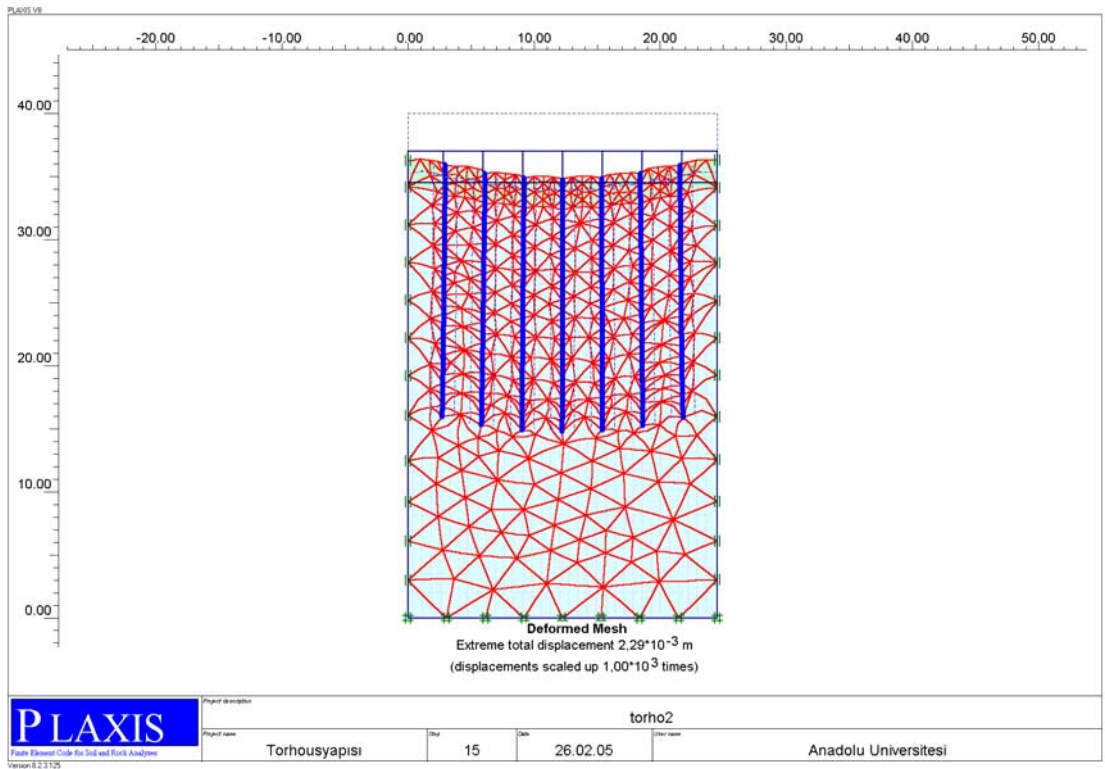
Şekil EK-1.3. Başlangıç koşulları altındaki zeminin efektif gerilme değeri: -326.97 kN/m²



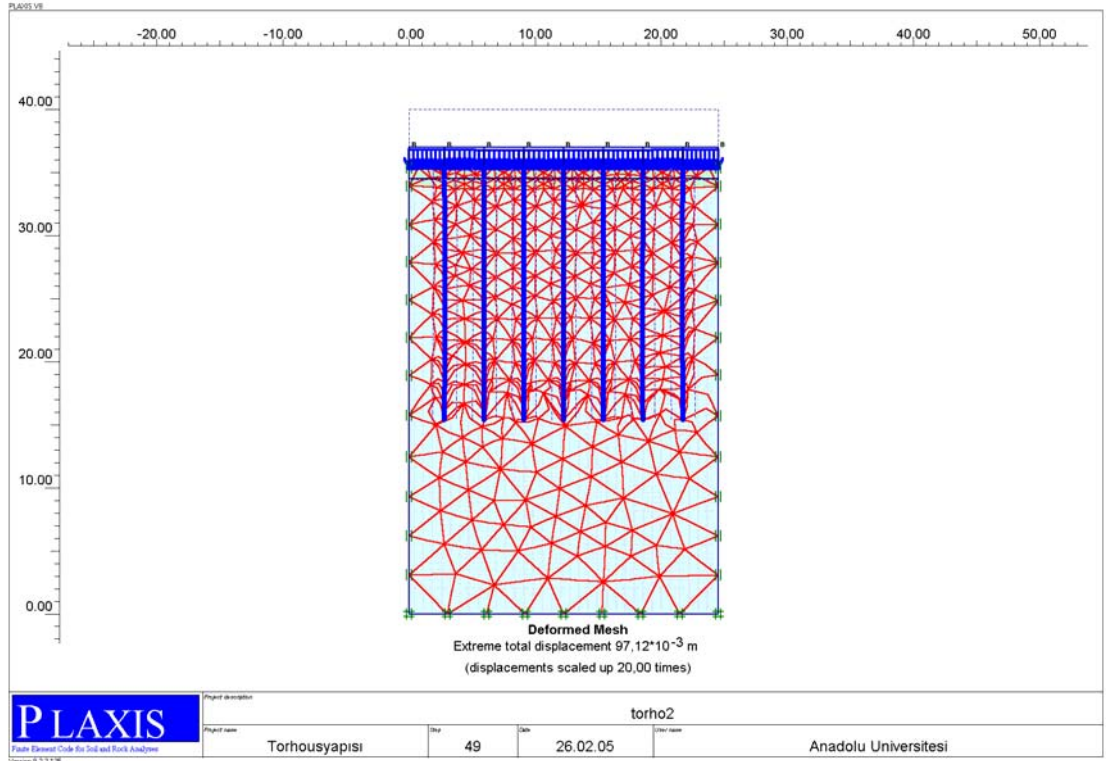
Şekil EK-1.4. Başlangıç koşulları altındaki zeminin toplam yerdeğiştirme değeri: 0.00 m



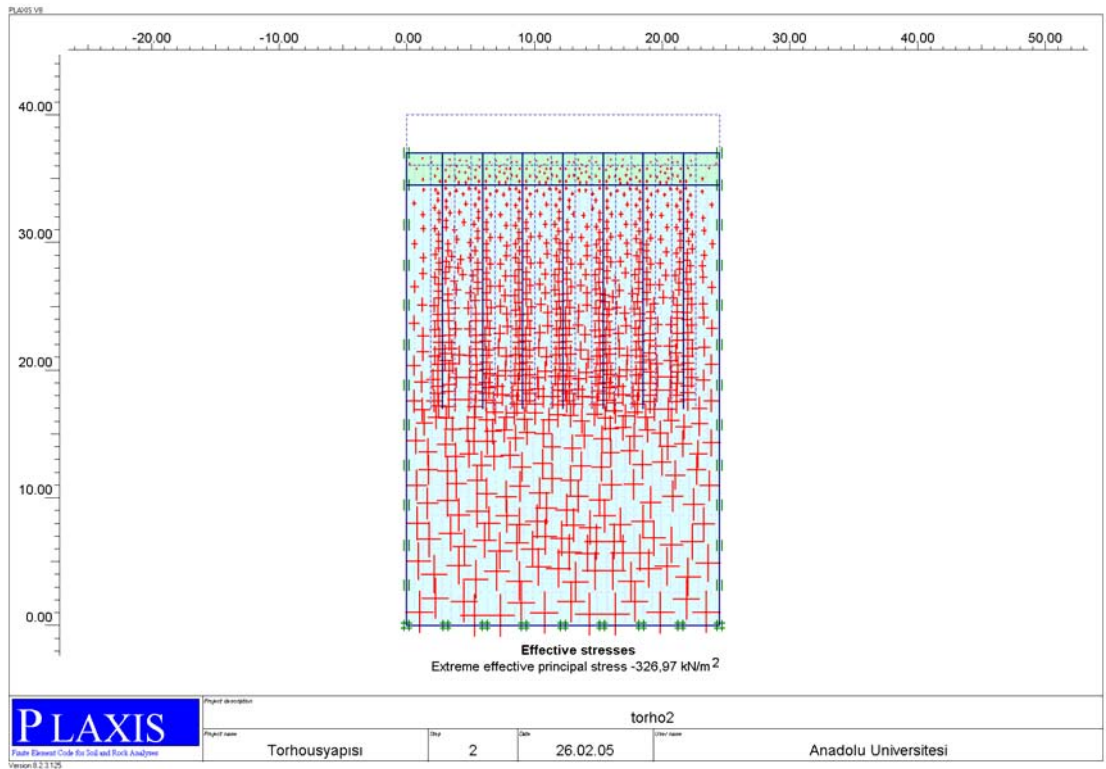
Şekil EK-1.5. Zemin seviyesinden 3m kazı yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri: $279.49 \cdot 10^{-12}$ m



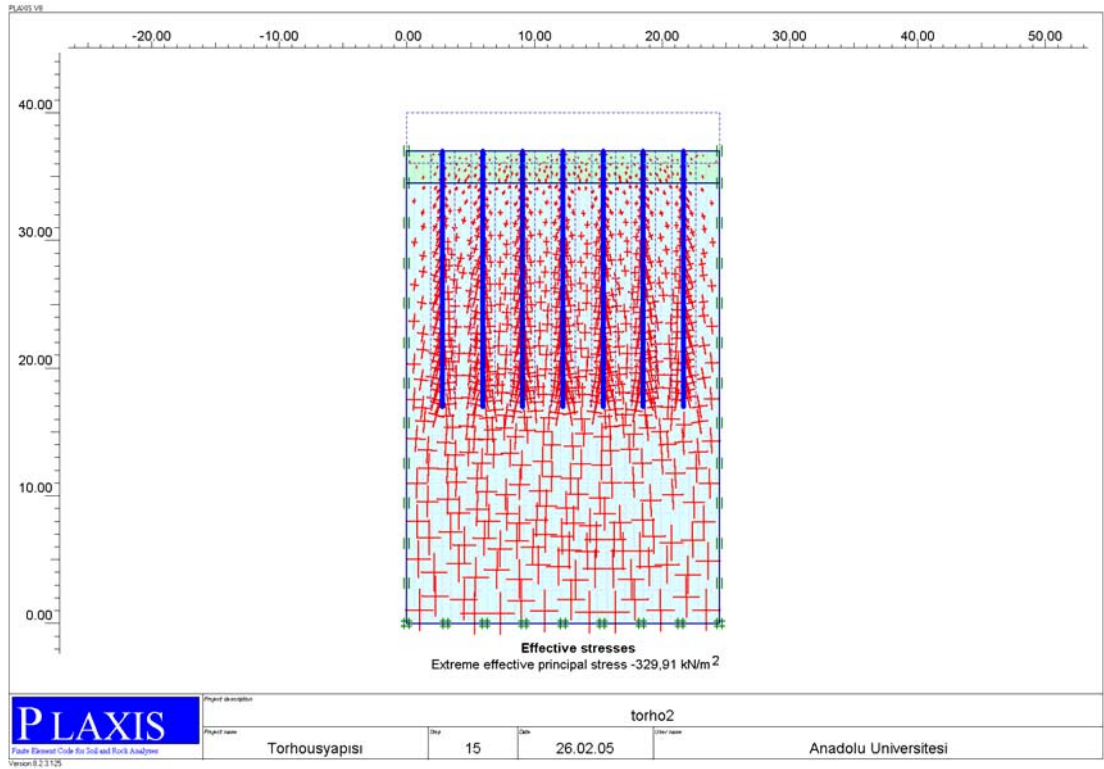
Şekil EK-1.6. Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri: $2.29 \cdot 10^{-3}$ m



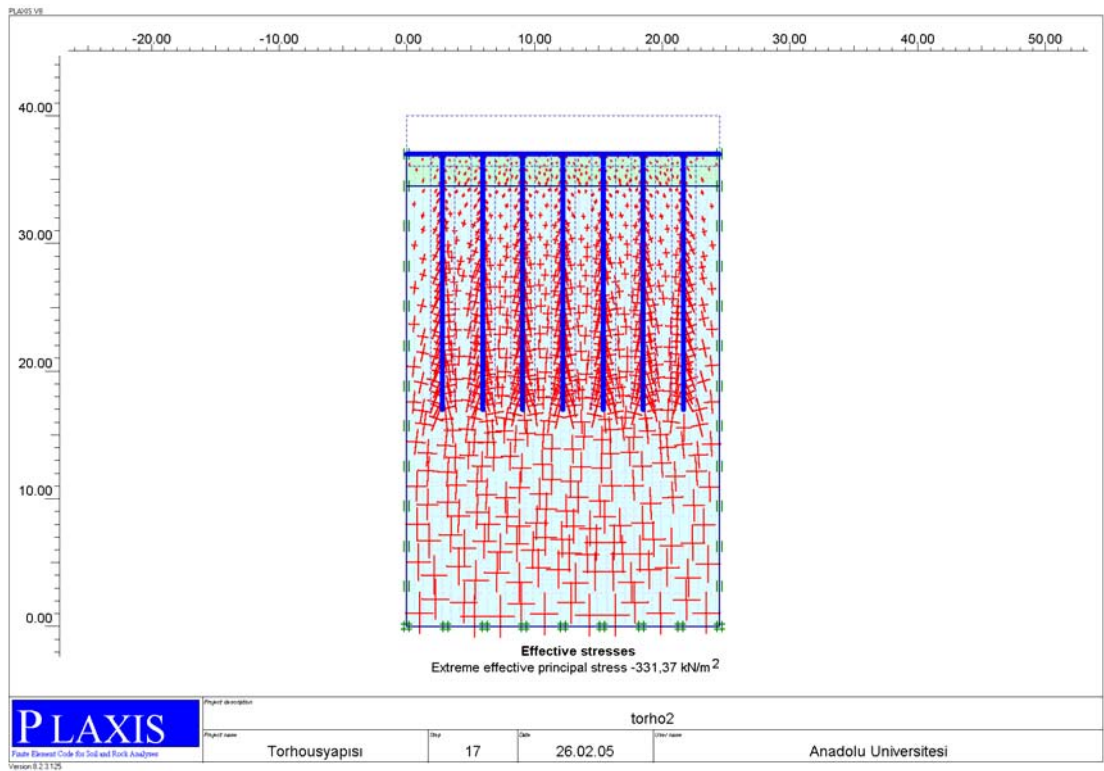
Şekil EK-1.7. Yayılı yükün etkimesi durumunda oluşan toplam yerdeğiştirme değeri: $97.12 \cdot 10^{-3}$ m



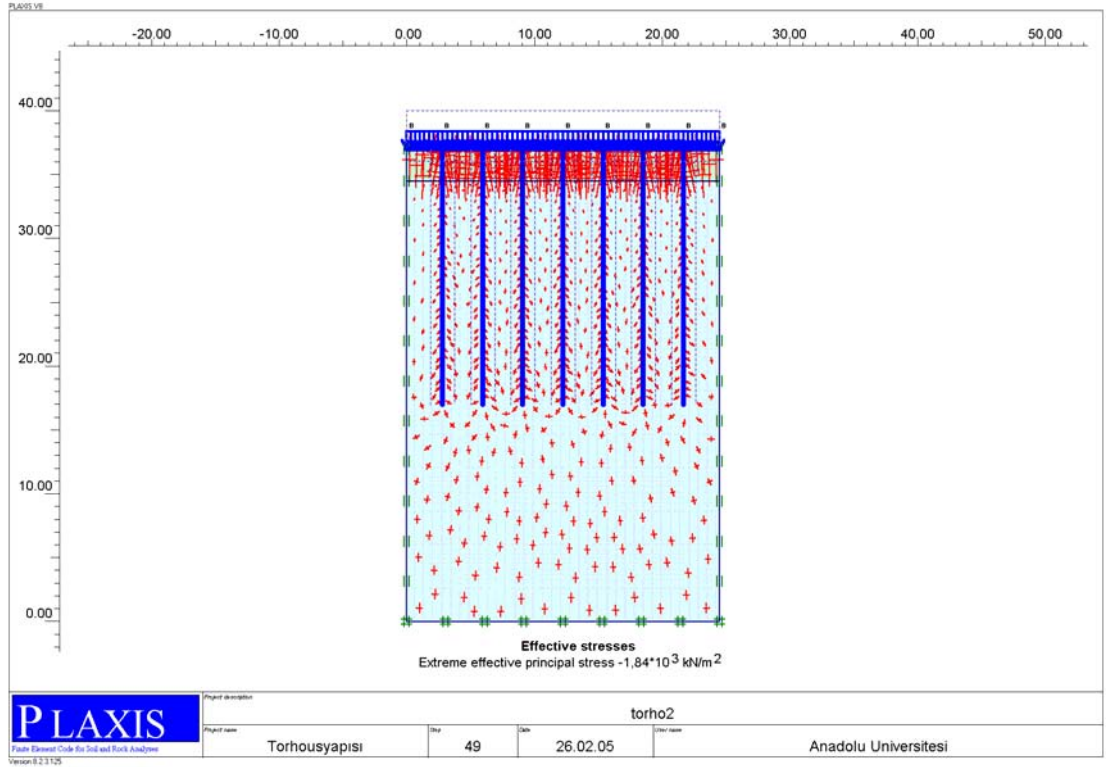
Şekil EK-1.8. Zemin seviyesinden 3 m kazı yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri: -326.97 kN/m²



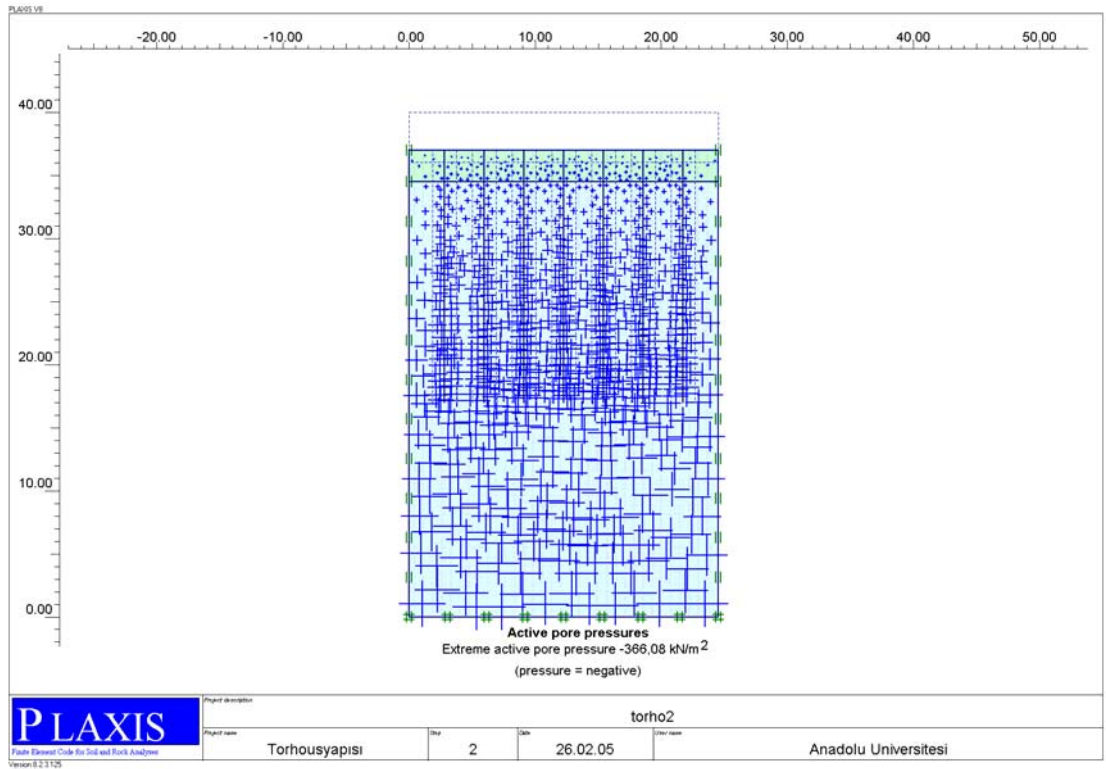
Şekil EK-1.9. Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri: -329.91 kN/m²



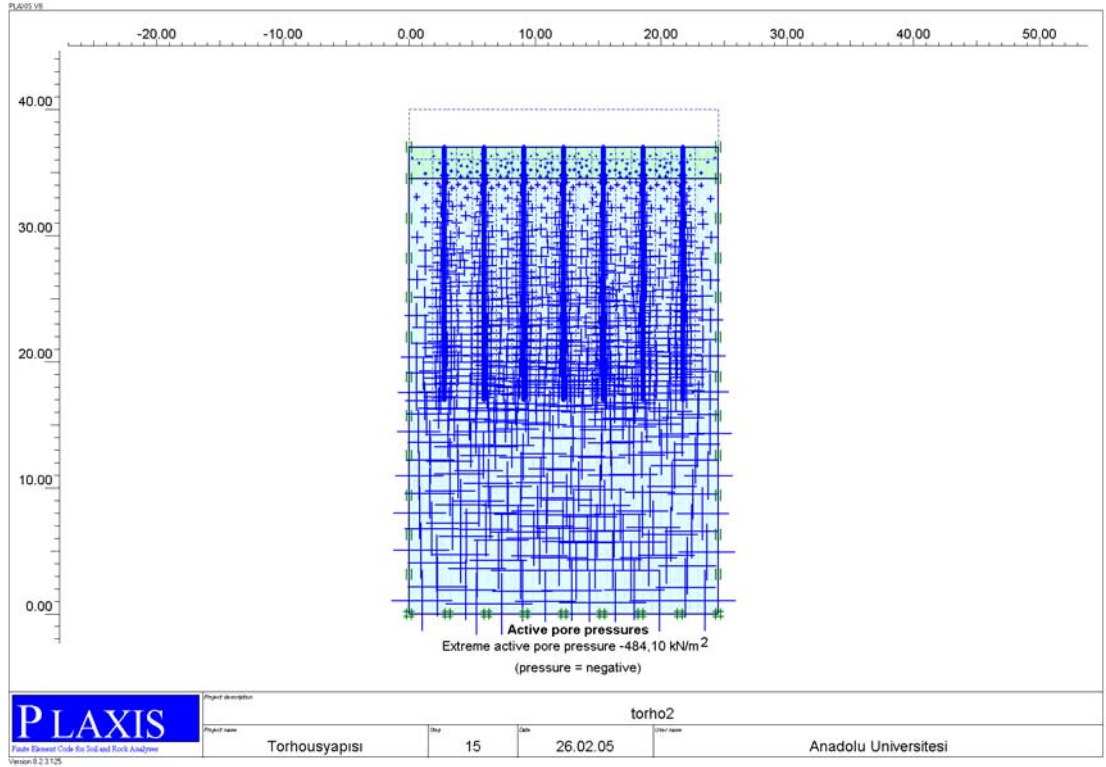
Şekil EK-1.10. Radye imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri: -331.37 kN/m²



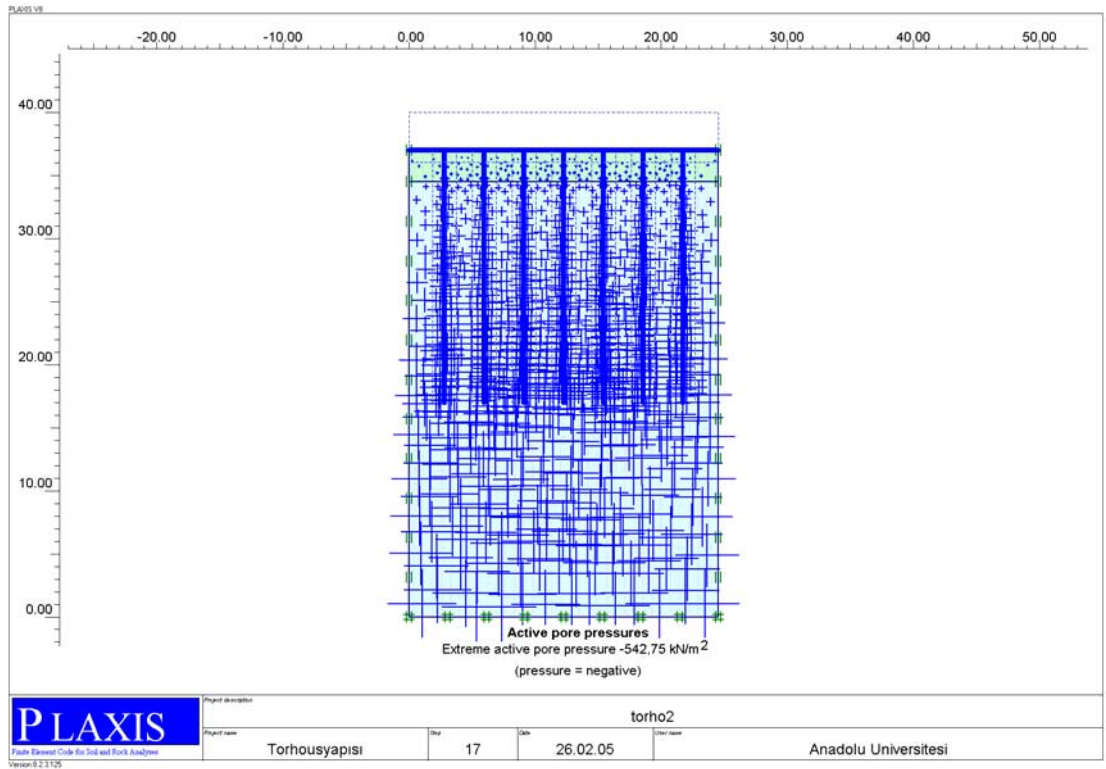
Şekil EK-1.11. Yayılı yükün etkimesi durumunda oluşan efektif gerilme değeri: $-1.84 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$



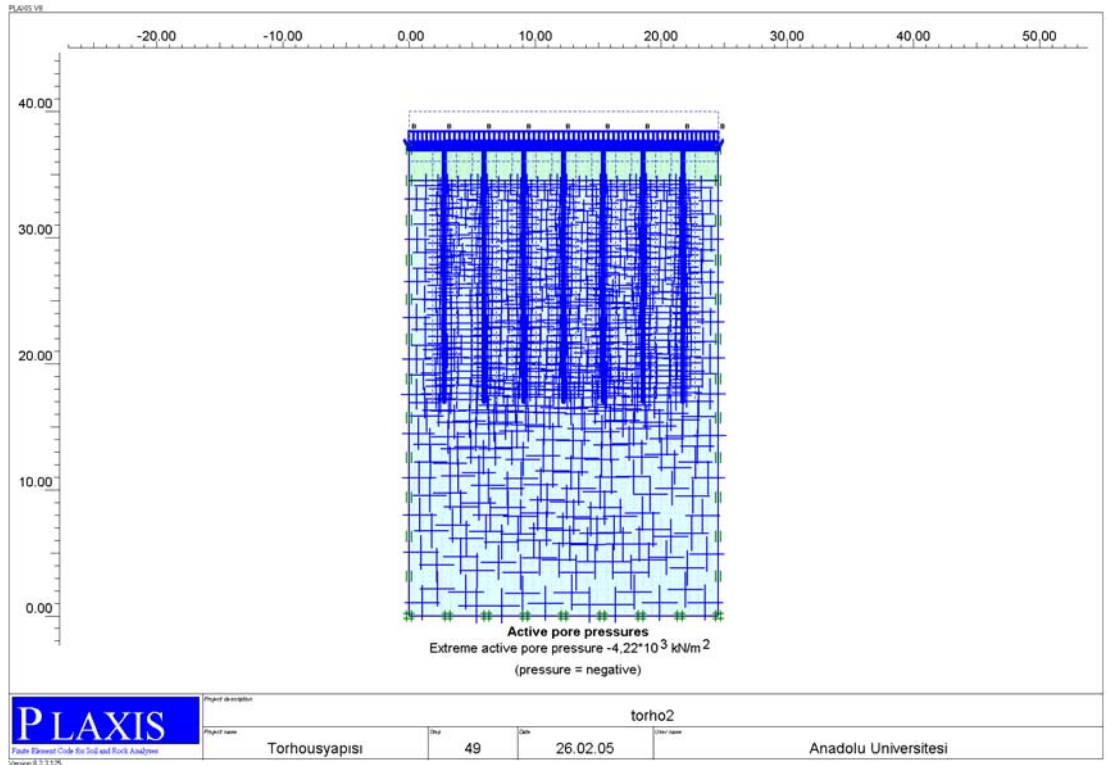
Şekil EK-1.12. Zemin seviyesinden 3 m kazı yapılması durumunda oluşan boşluk basıncı değeri: -366.08 kN/m^2



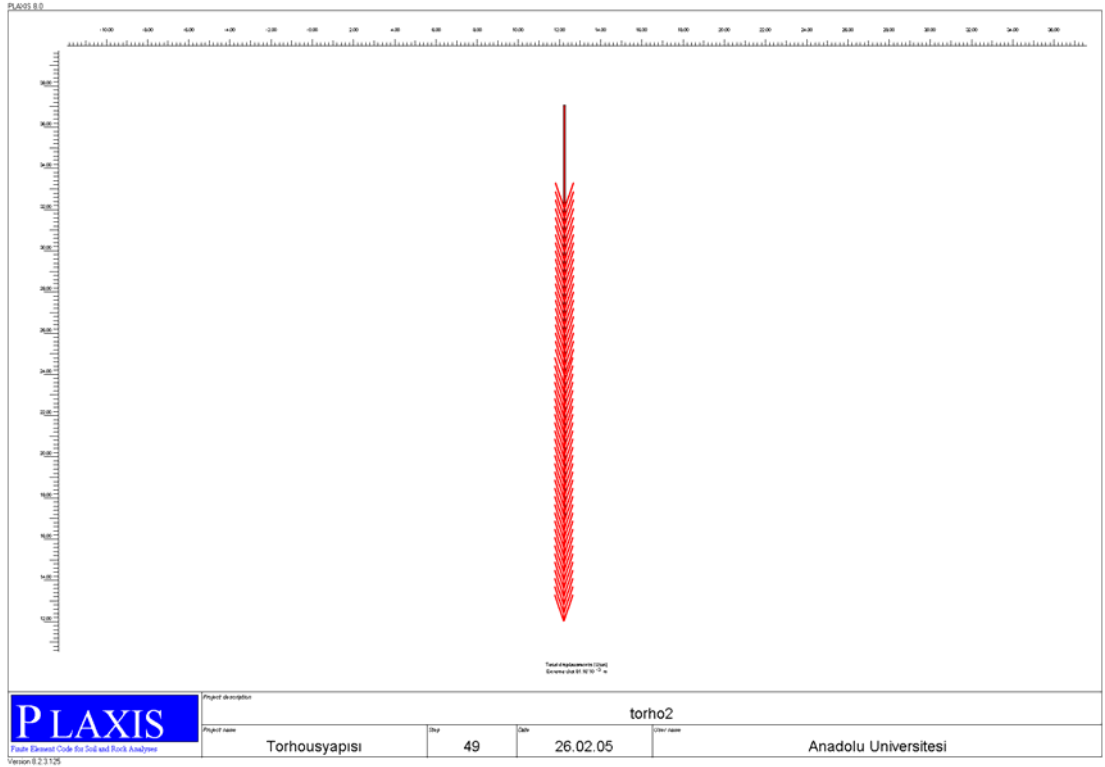
Şekil EK-1.13. Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan boşluk basıncı değeri:
 -484.10 kN/m^2



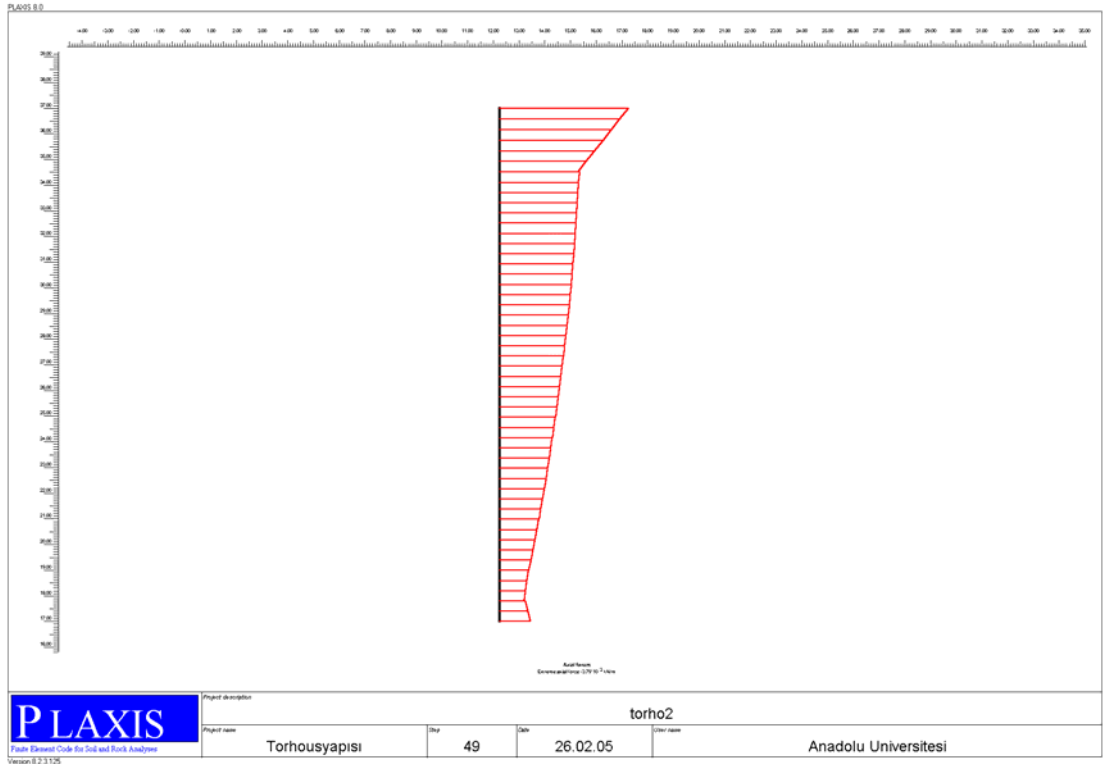
Şekil EK-1.14. Radye imalatının yapılması durumunda oluşan boşluk basıncı değeri:
 -542.75 kN/m^2



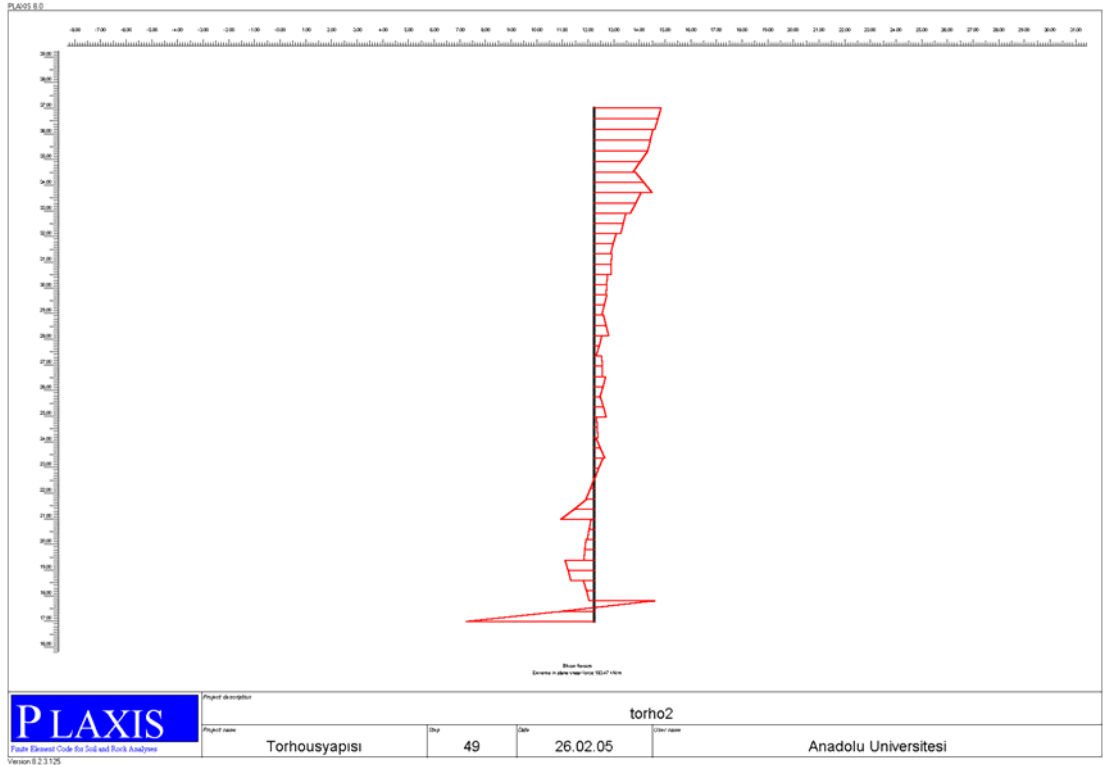
Şekil EK-1.15. Yayılı yükün etkimesi durumunda oluşan boşluk basıncı değeri: $-4.22 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$



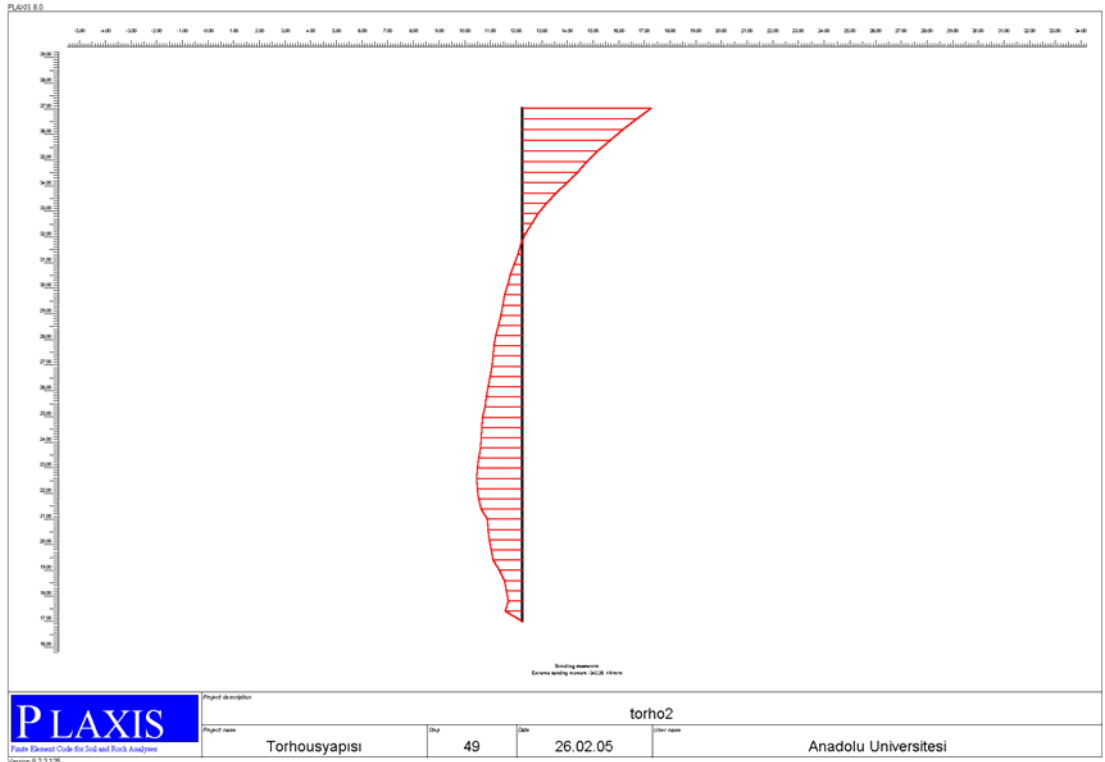
Şekil EK-1.16. Kazıkların yaptığı yerdeğiştirme değeri: $81.16 \cdot 10^{-3}$ m



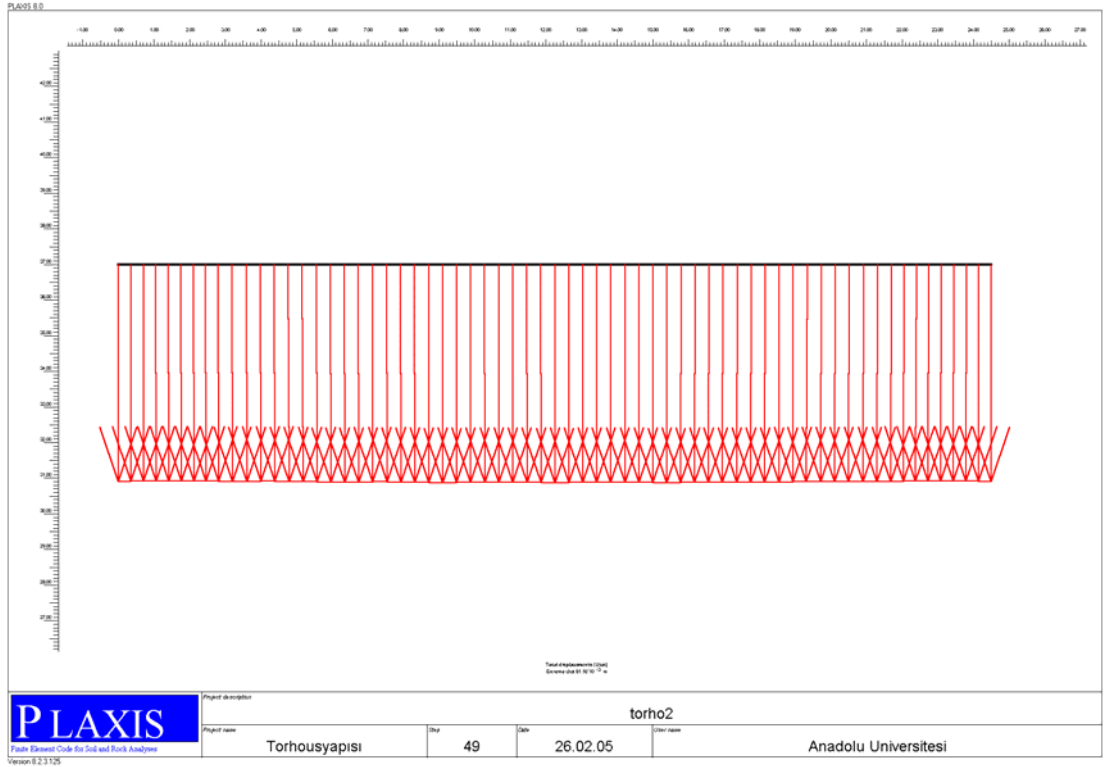
Şekil EK-1.17. Kazıklara ait aksenal kuvvet değeri: $-3.79 \cdot 10^3$ kN/m



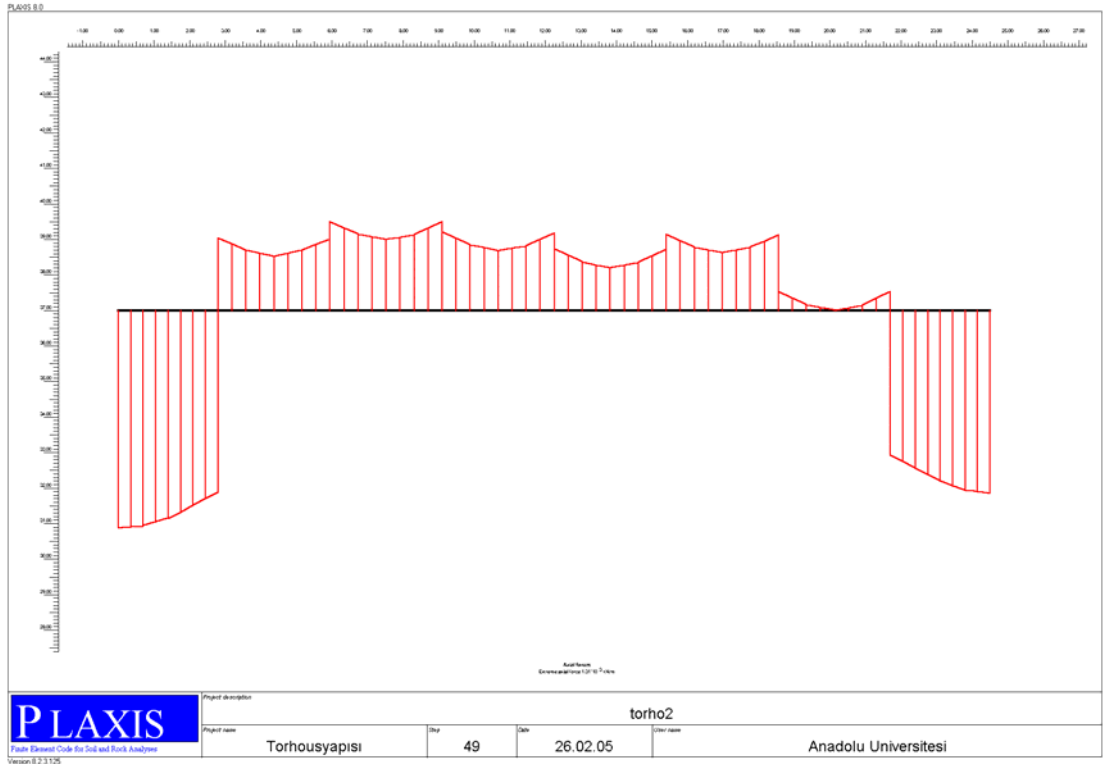
Şekil EK-1.18. Kazıklara ait kesme kuvveti değeri: 180.47 kN/m



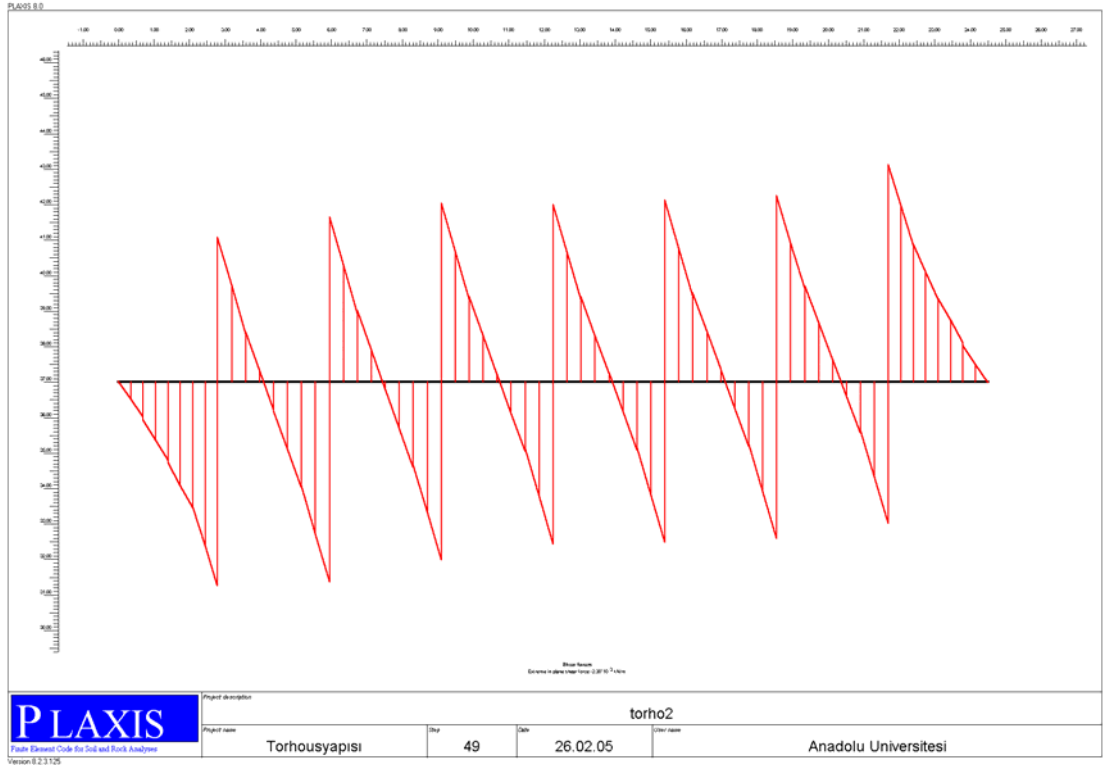
Şekil EK-1.19. Kazıklara ait eğilme momenti değeri: -342.20 kNm/m



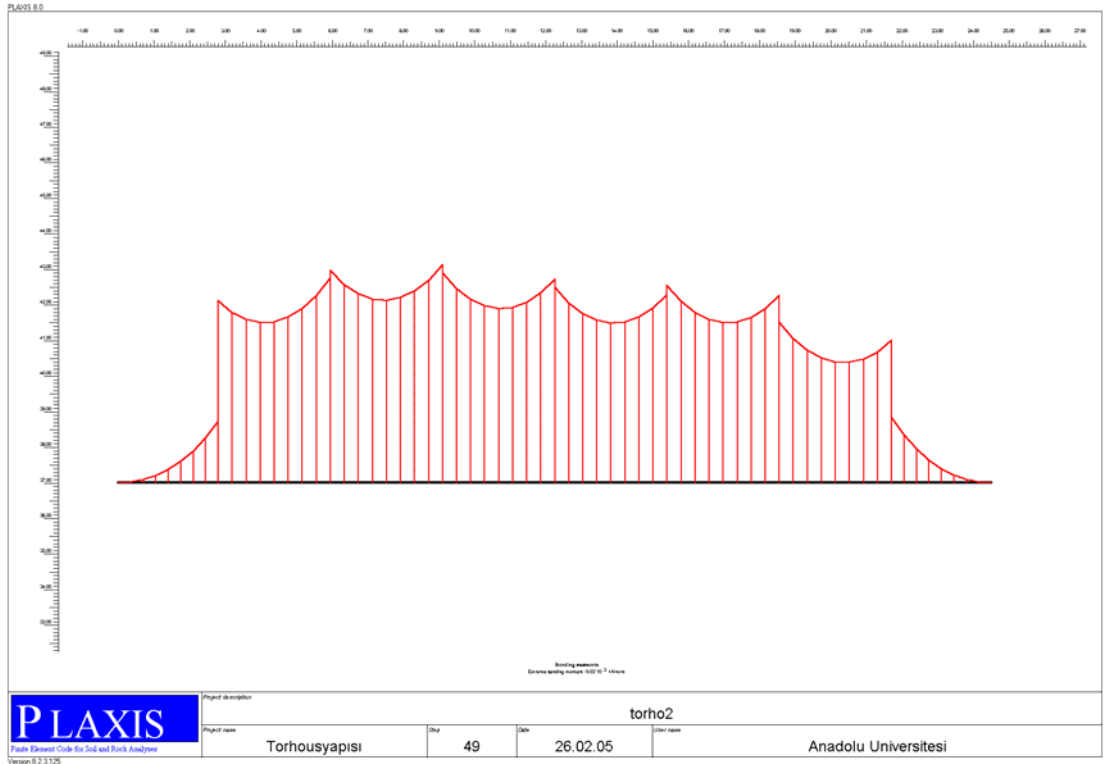
Şekil EK-1.20. Radye temele ait yerdeğiştirme değeri: $81.16 \cdot 10^{-3} \text{ m}$



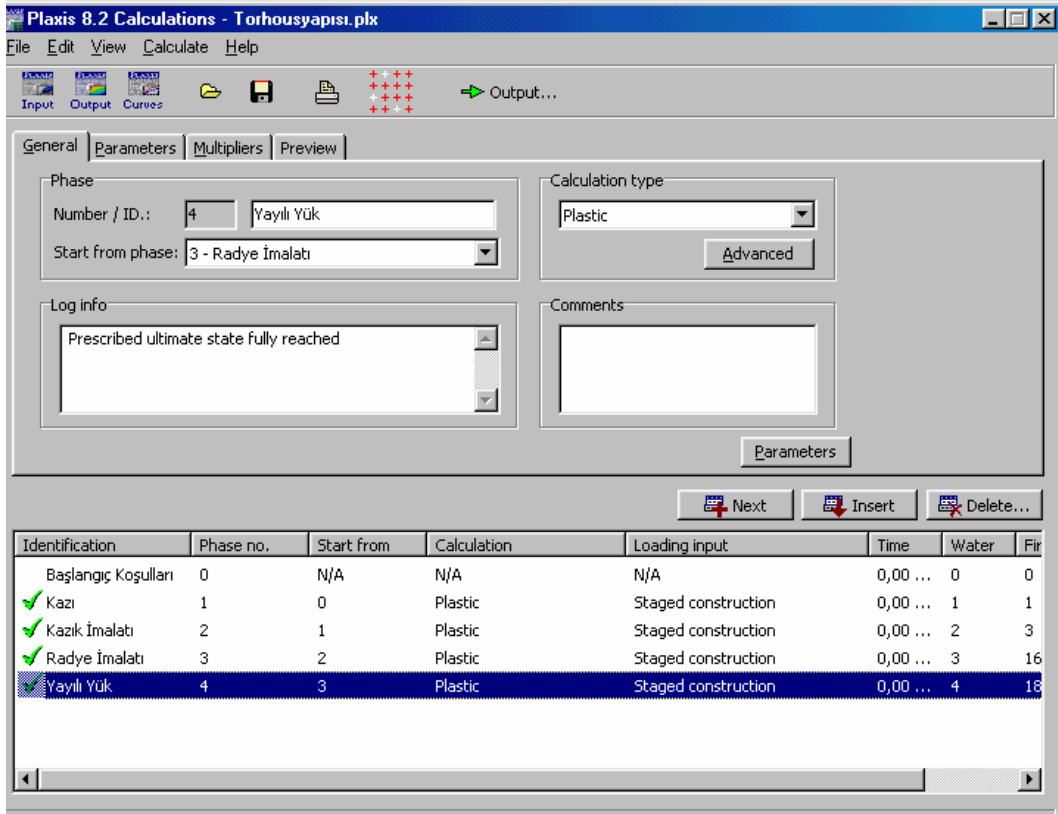
Şekil EK-1.21. Radye temele ait aksenal kuvvet değeri: $1.31 \cdot 10^3 \text{ kN/m}$



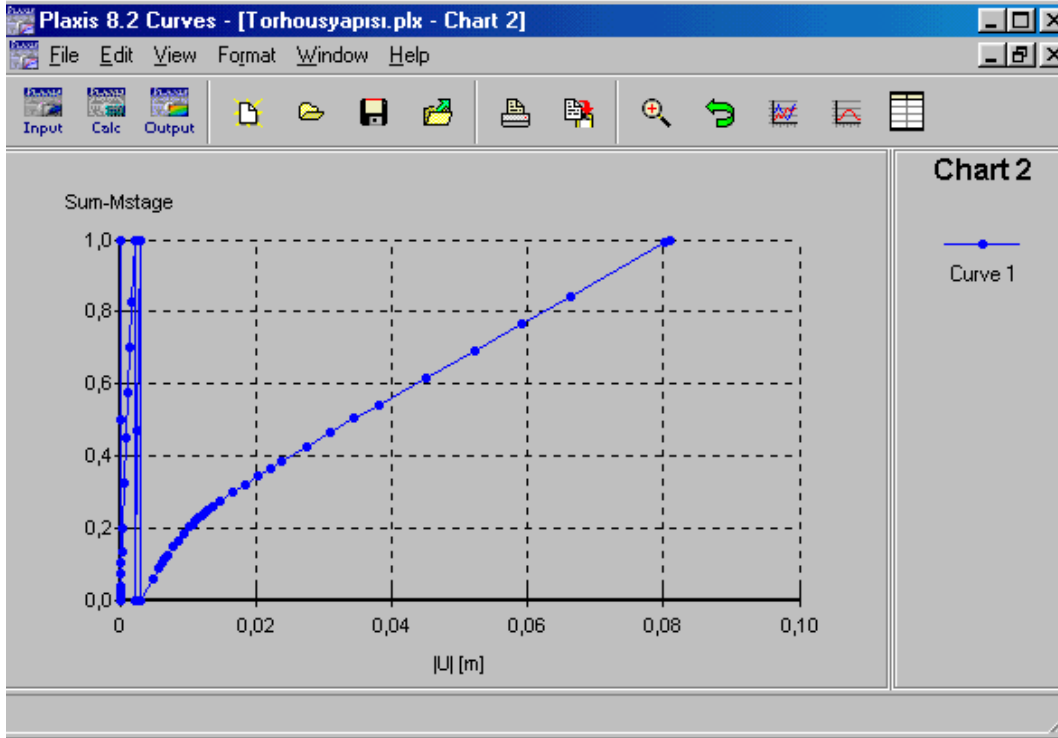
Şekil EK-1.22. Radye temele ait kesme kuvveti değeri: $-2.30 \cdot 10^3$ kN/m



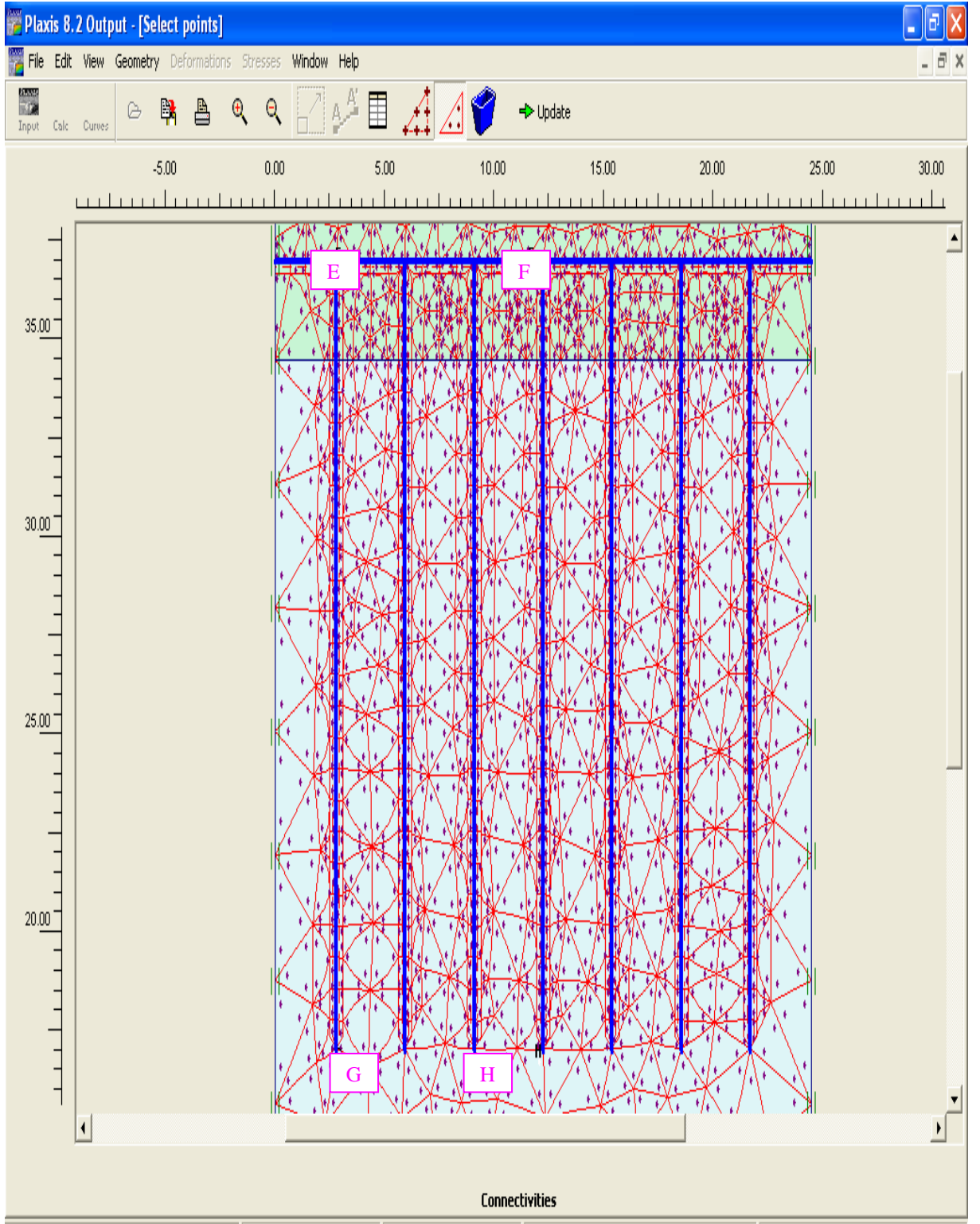
Şekil EK-1.23. Radye temele ait eğilme momenti değeri: $-9 \cdot 10^3$ kNm/m



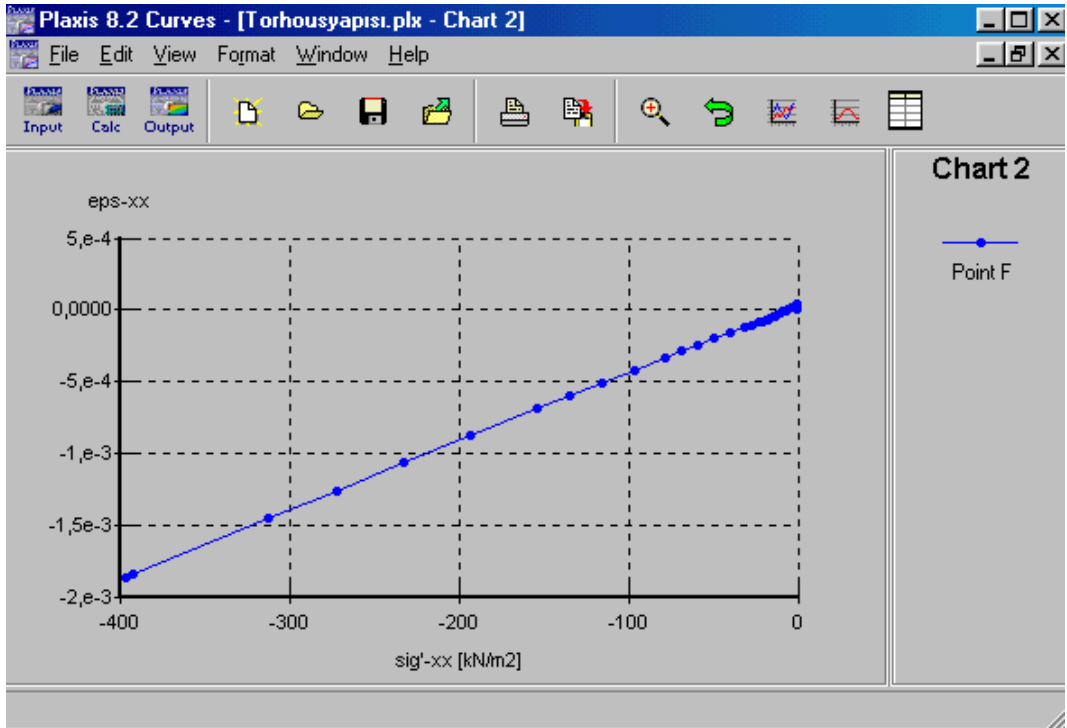
Şekil EK-1.24. Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması



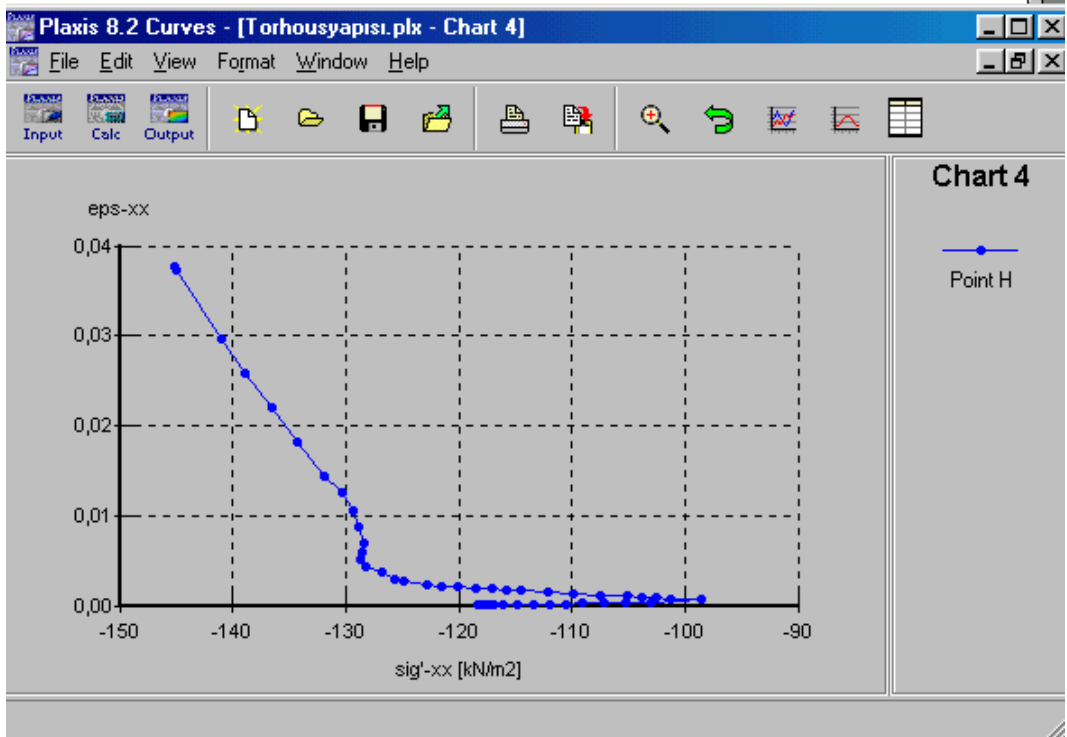
Şekil EK-1.25. Hesap aşamaları- yerdeğiştirme eğrisi



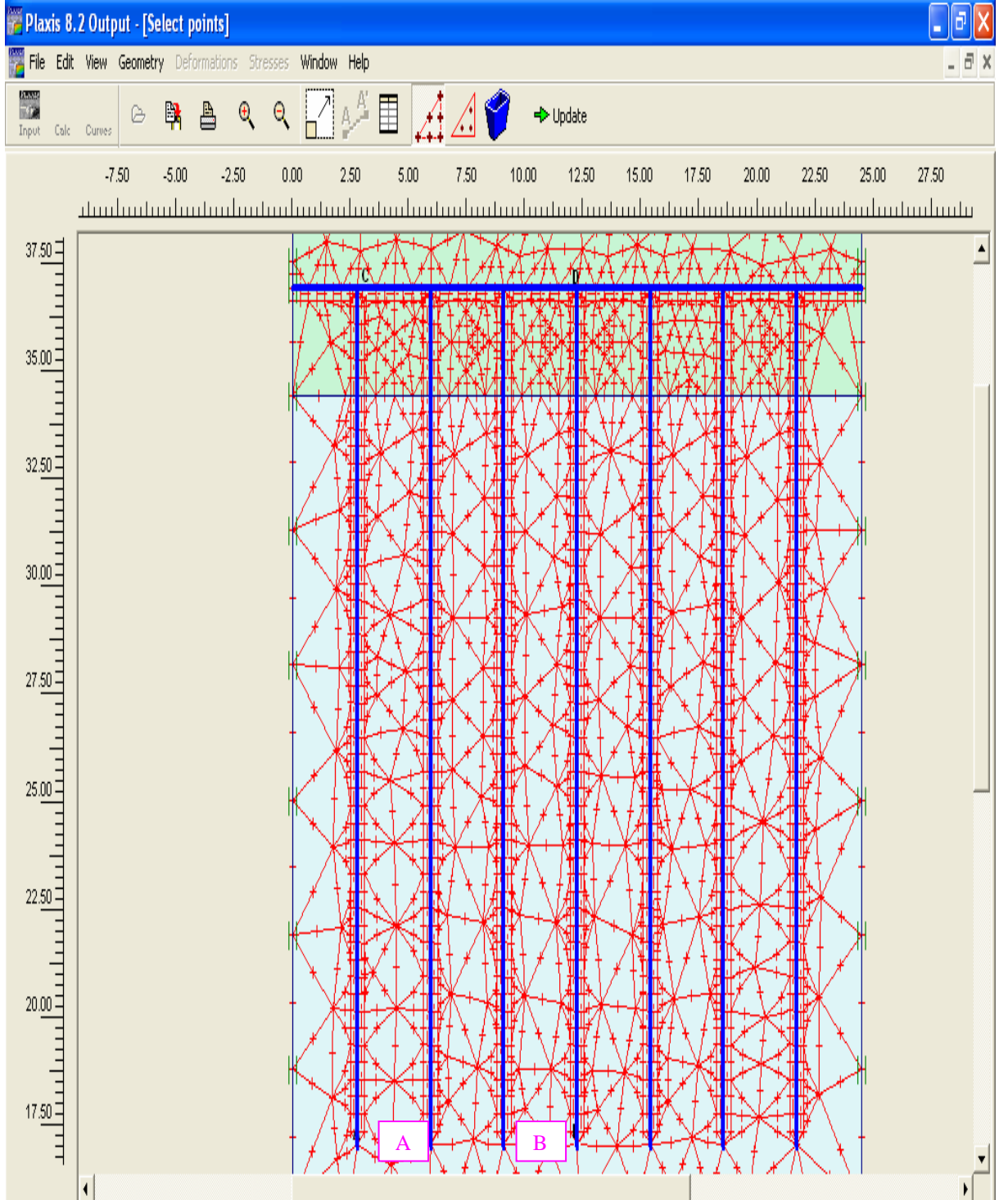
Şekil EK-1.26. Gerilme-şekil değiştirme eğrileri için seçilen noktalar



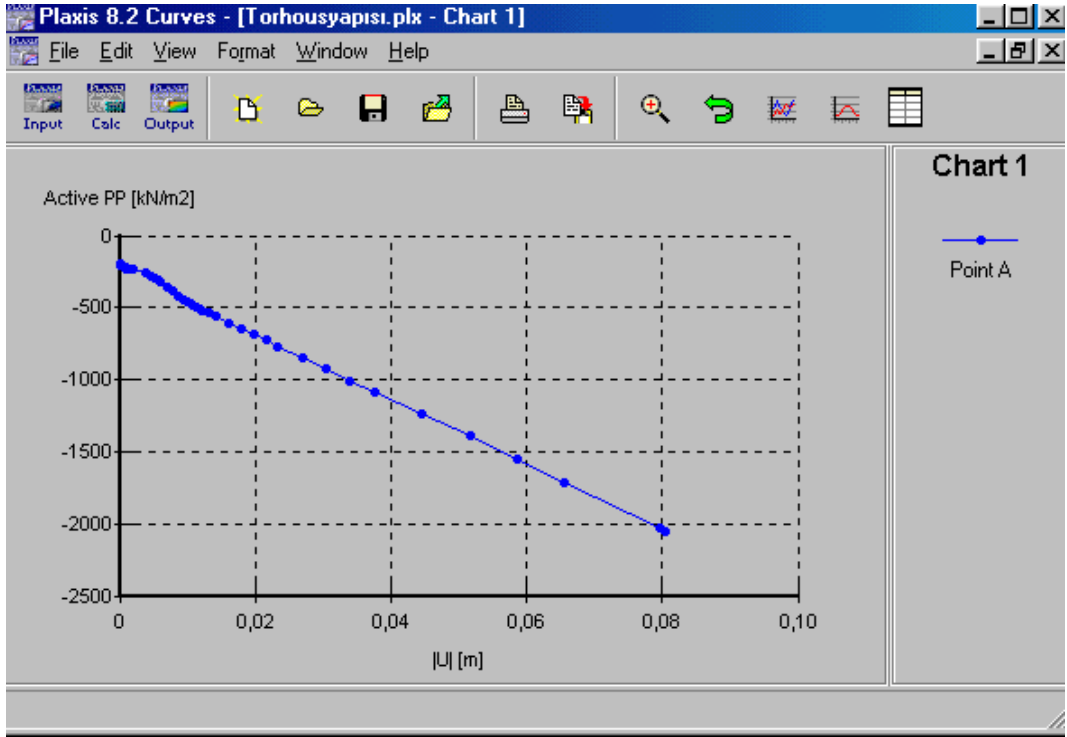
Şekil EK-1.27. F noktasına ait gerilme- yerdeğiştirme eğrisi



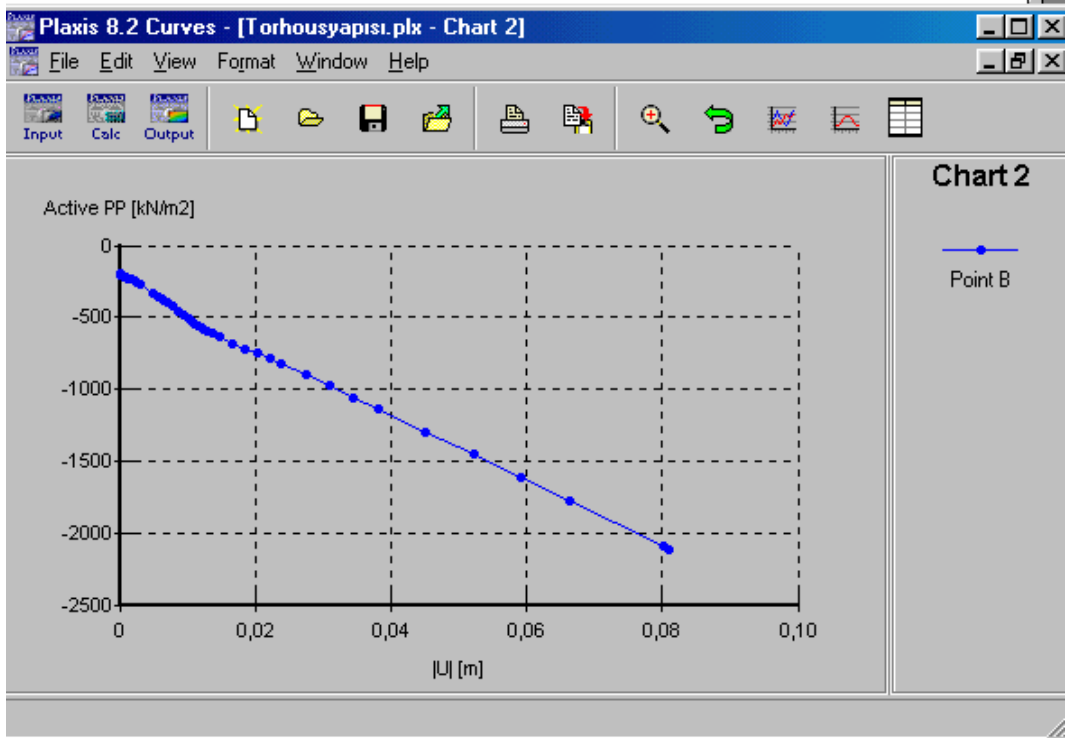
Şekil EK-1.28. H noktasına ait gerilme- yerdeğiştirme eğrisi



Şekil EK-1.29. Yük-yerdeğiştirme eğrileri için seçilen noktalar

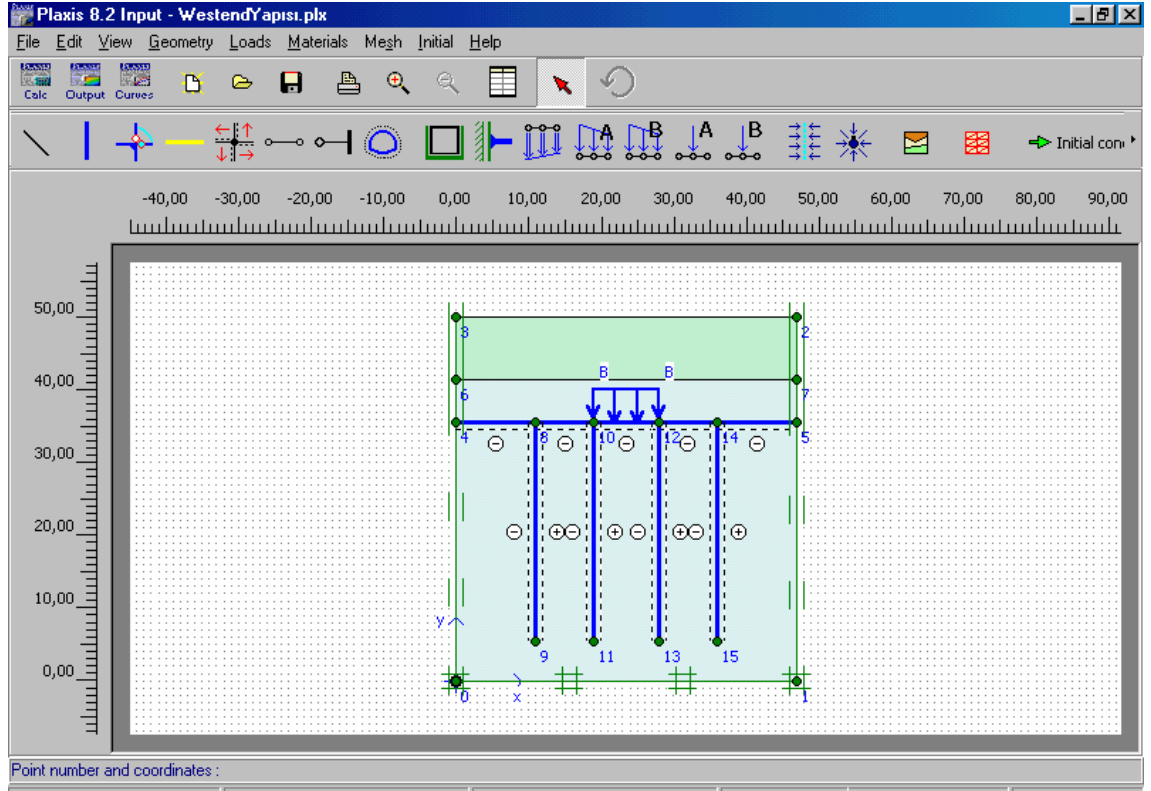


Şekil EK-1.30. A noktasına ait boşluk basıncı- yer değiştirme eğrisi

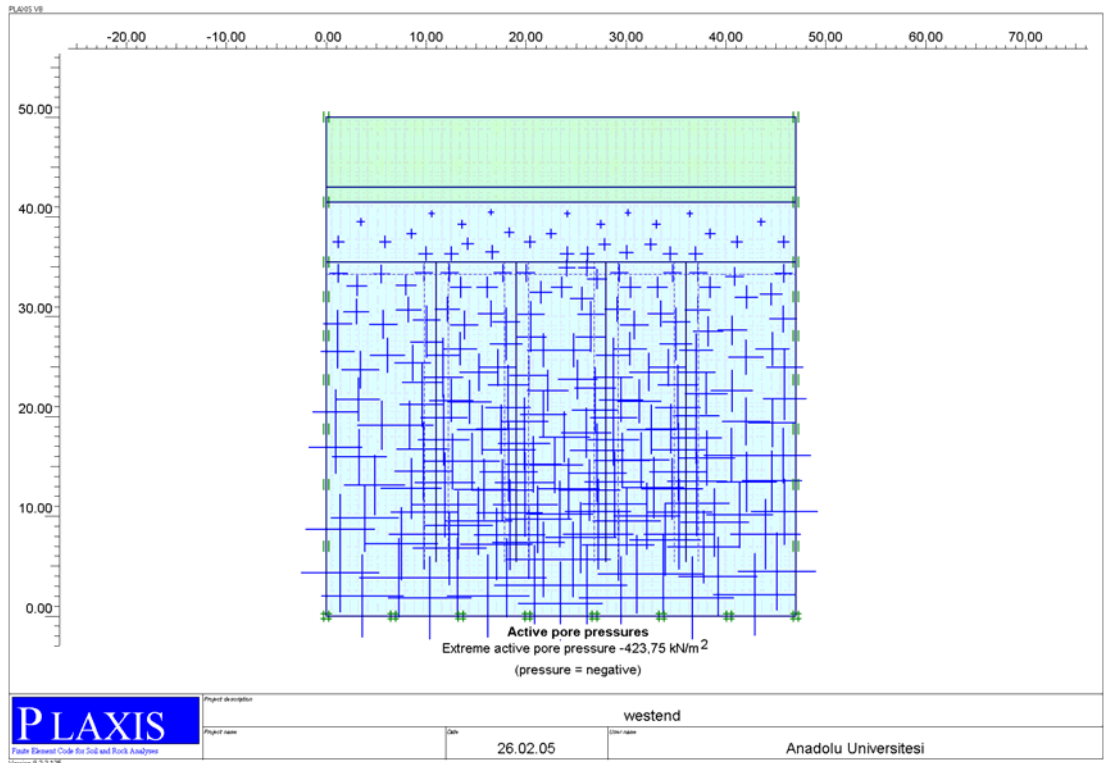


Şekil EK-1.31. B noktasına ait boşluk basıncı- yer değiştirme değeri

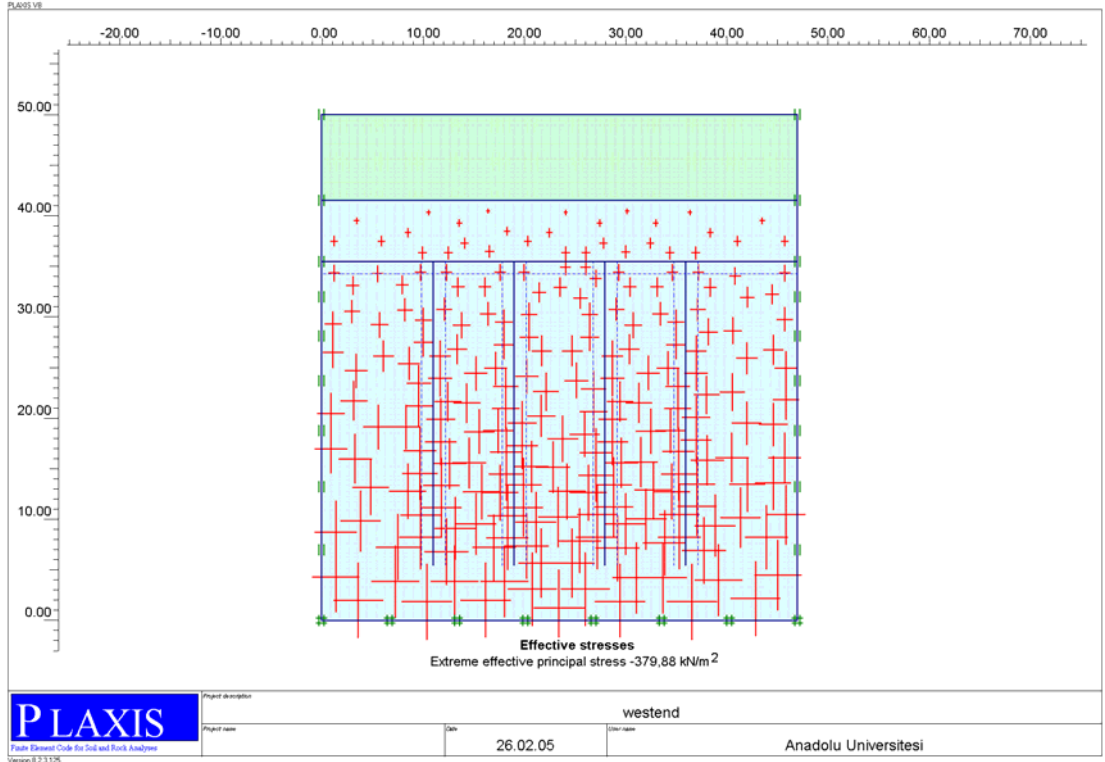
EK-2 Westend yapısına ait Plaxis program çıktıları



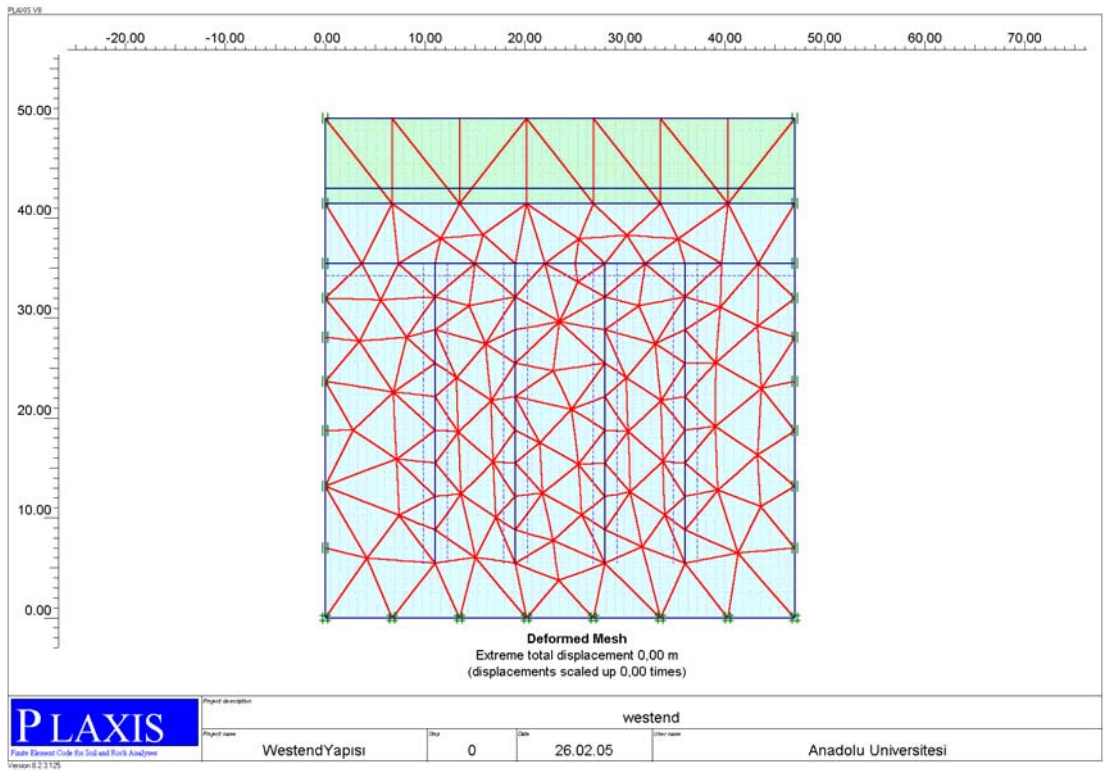
Şekil EK-2.1. Westend yapısının PLAXIS sonlu elemanlar programı ile oluşturulmuş geometrik modeli



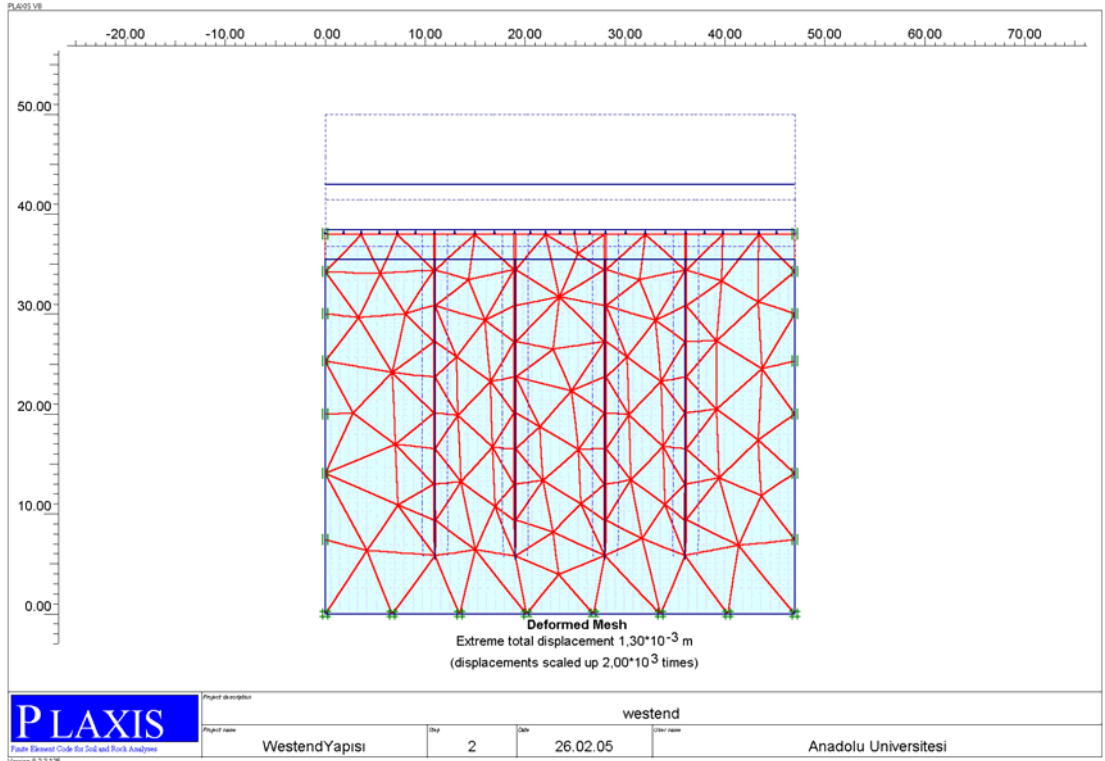
Şekil EK-2.2. Başlangıç koşulları altındaki zeminin aşırı boşluk basıncı değeri: -423.75 kN/m^2



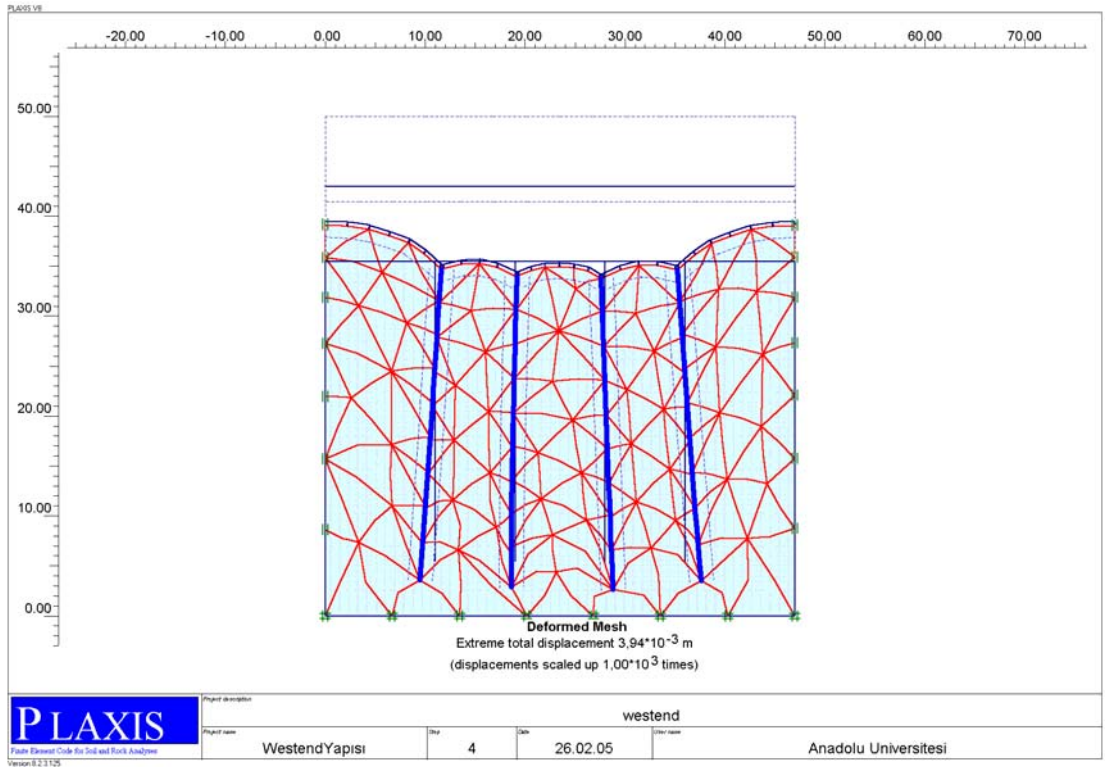
Şekil EK-2.3. Başlangıç koşulları altındaki zeminin efektif gerilme değeri: -379.88 kN/m²



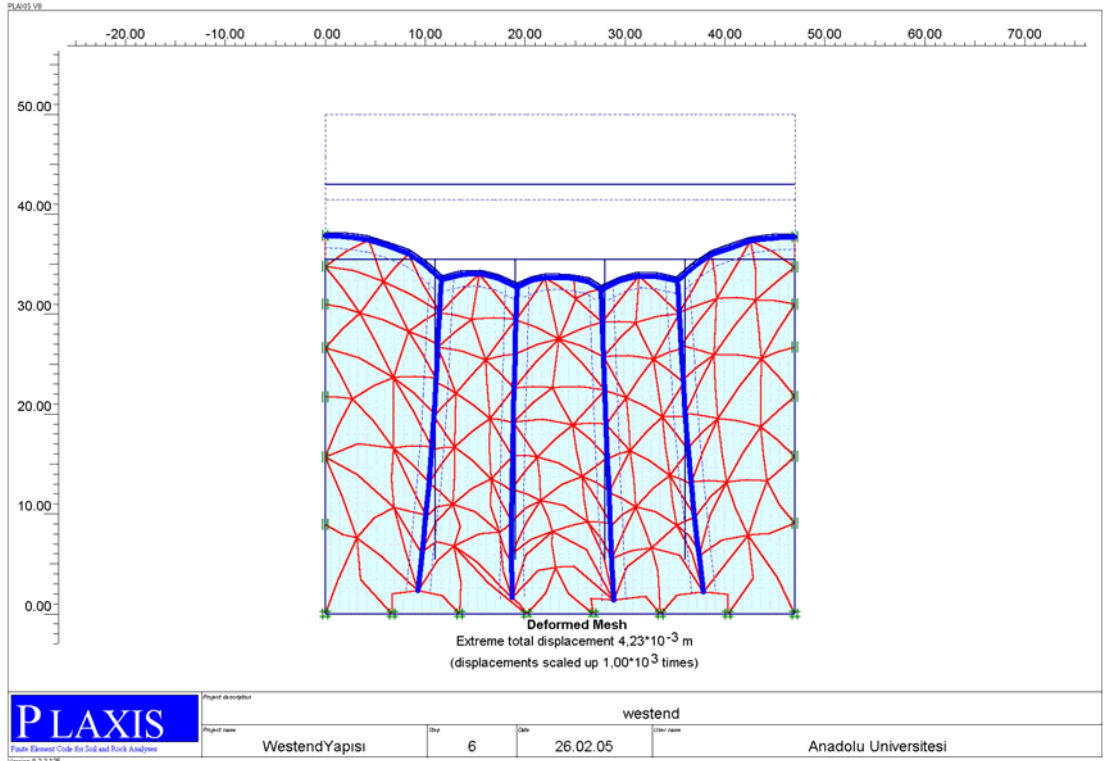
Şekil EK-2.4. Başlangıç koşulları altındaki zeminin toplam yerdeğiştirme değeri: 0.00 m



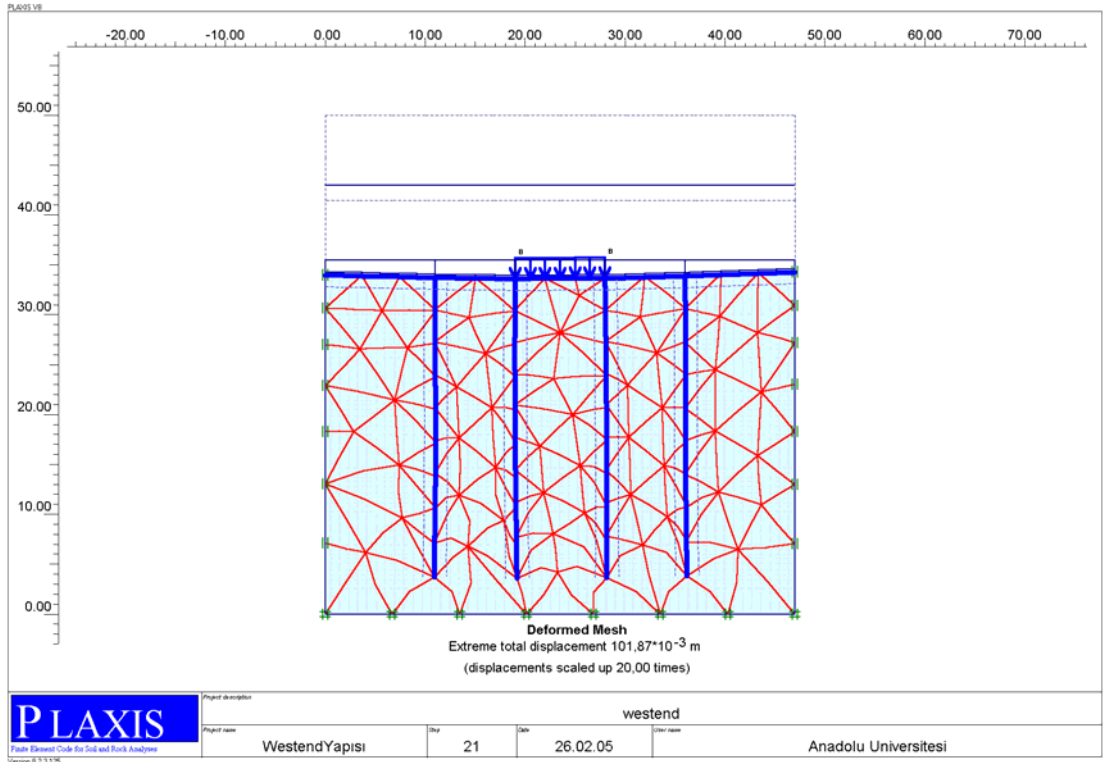
Şekil EK-2.5. Zemin seviyesinden 14.5 m kazı yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri: $1,30 \cdot 10^{-3}$ m



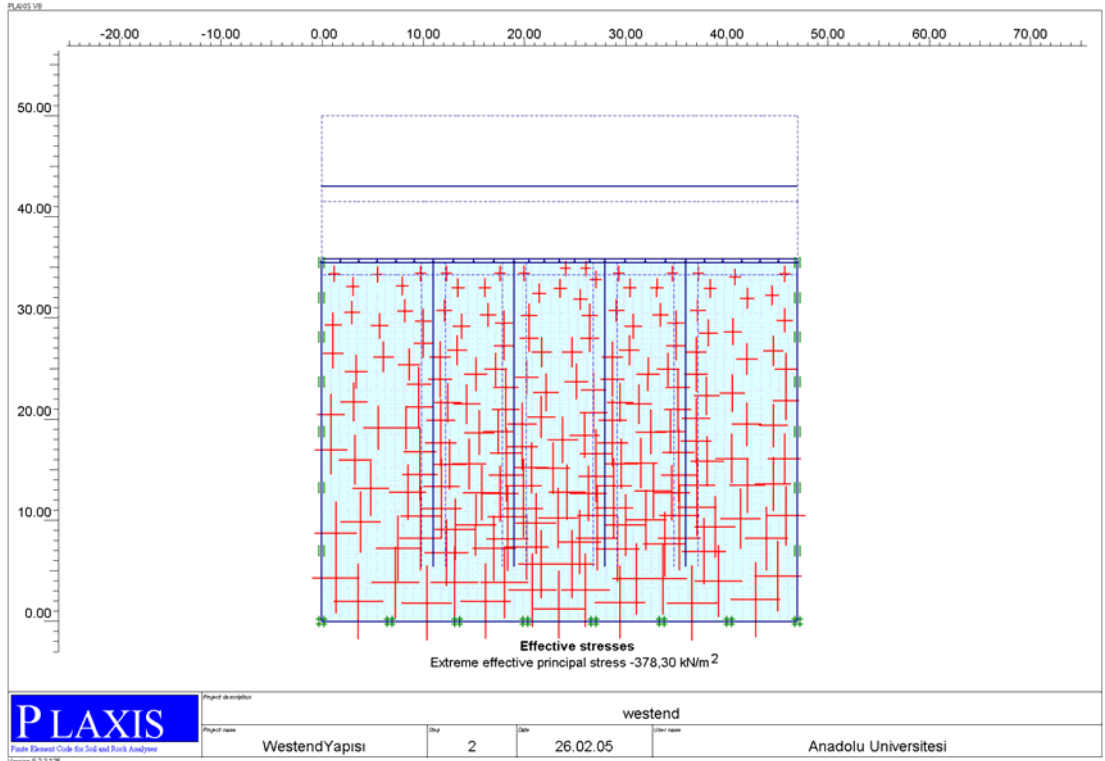
Şekil EK-2.6. Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri: $3,94 \cdot 10^{-3}$ m



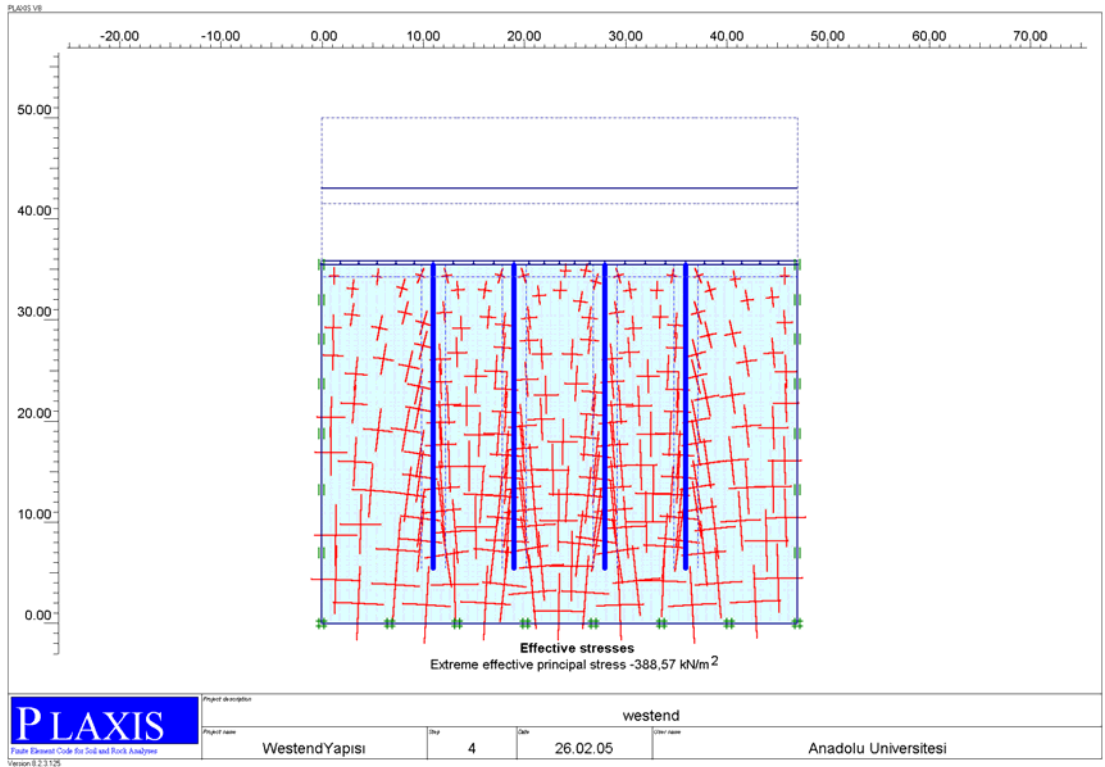
Şekil EK-2.7. Radye imalatının yapılması durumunda oluşan yerdeğiştirme değeri: $4.23 \cdot 10^{-3}$ m



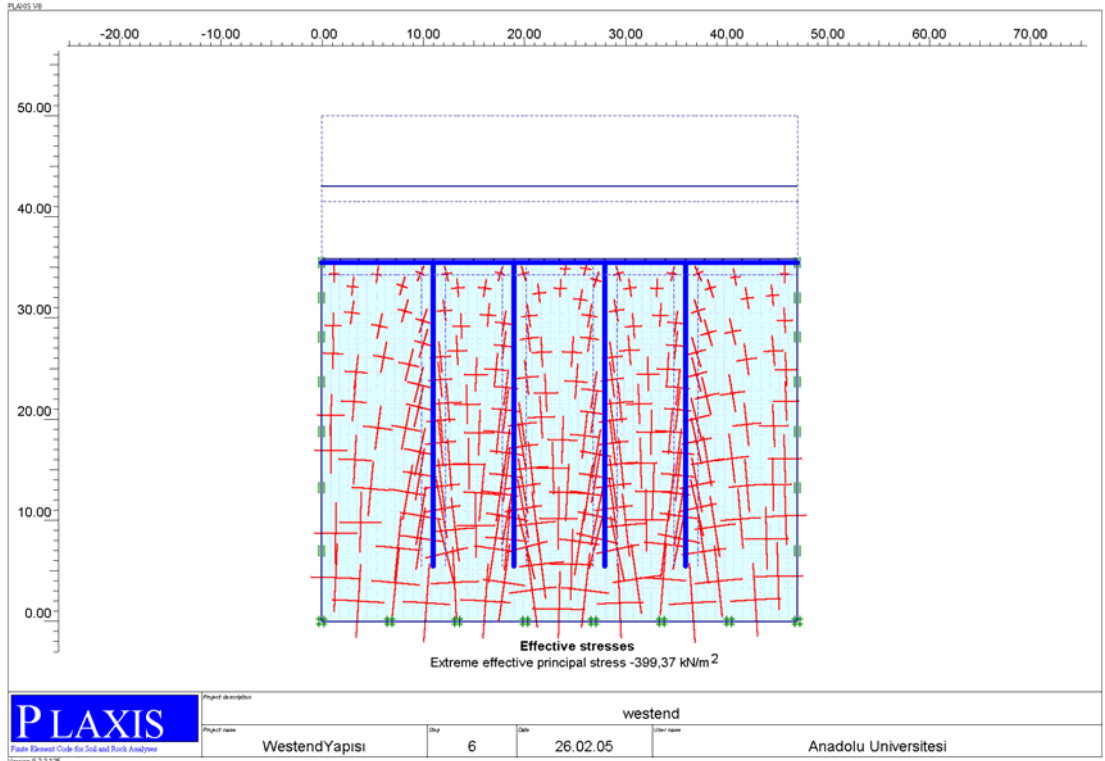
Şekil EK-2.8. Yayılı yükün etkimesi durumunda oluşan toplam yerdeğiştirme değeri: $101.87 \cdot 10^{-3}$ m



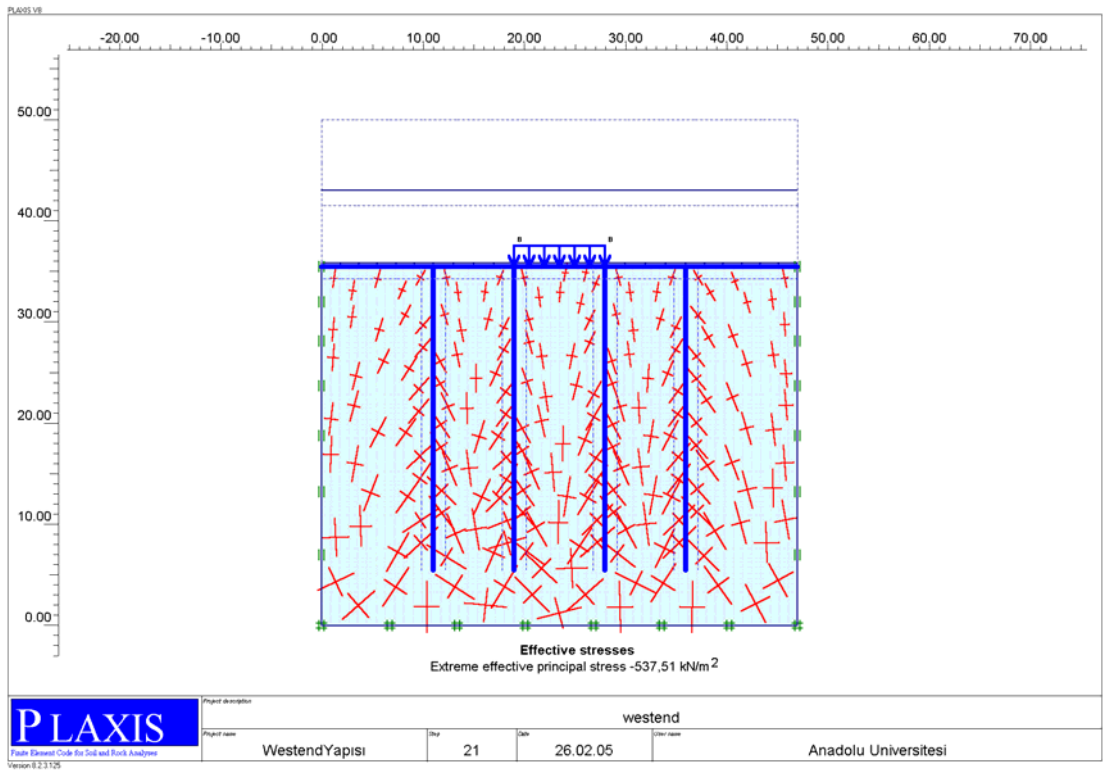
Şekil EK-2.9. Zemin seviyesinden 14.5 m kazı yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri: -378.30 kN/m^2



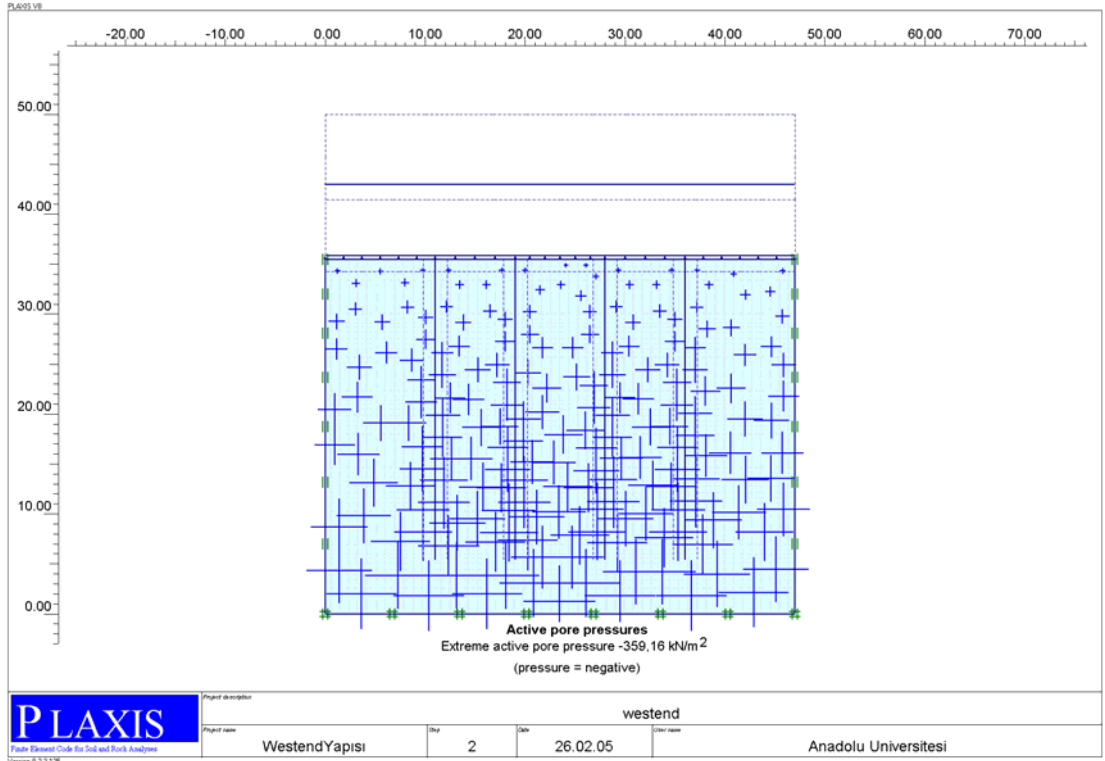
Şekil EK-2.10. Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri: -388.57 kN/m^2



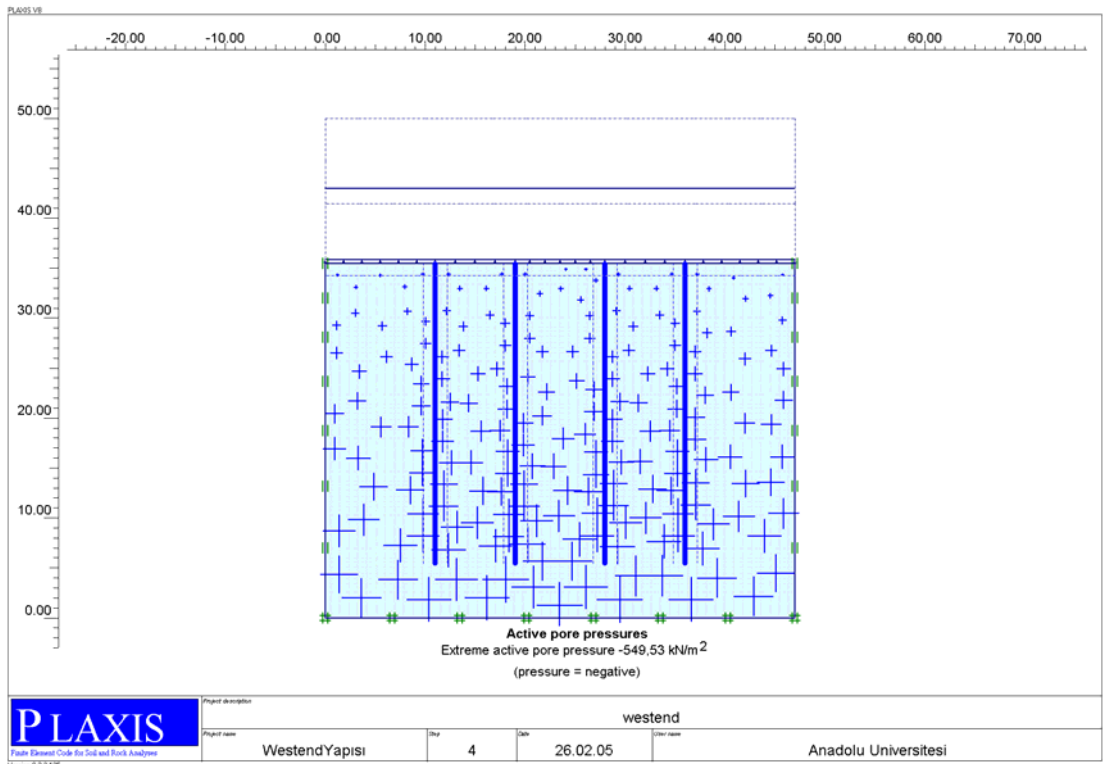
Şekil EK-2.11. Radye imalatının yapılması durumunda oluşan efektif gerilme değeri: -399.37 kN/m^2



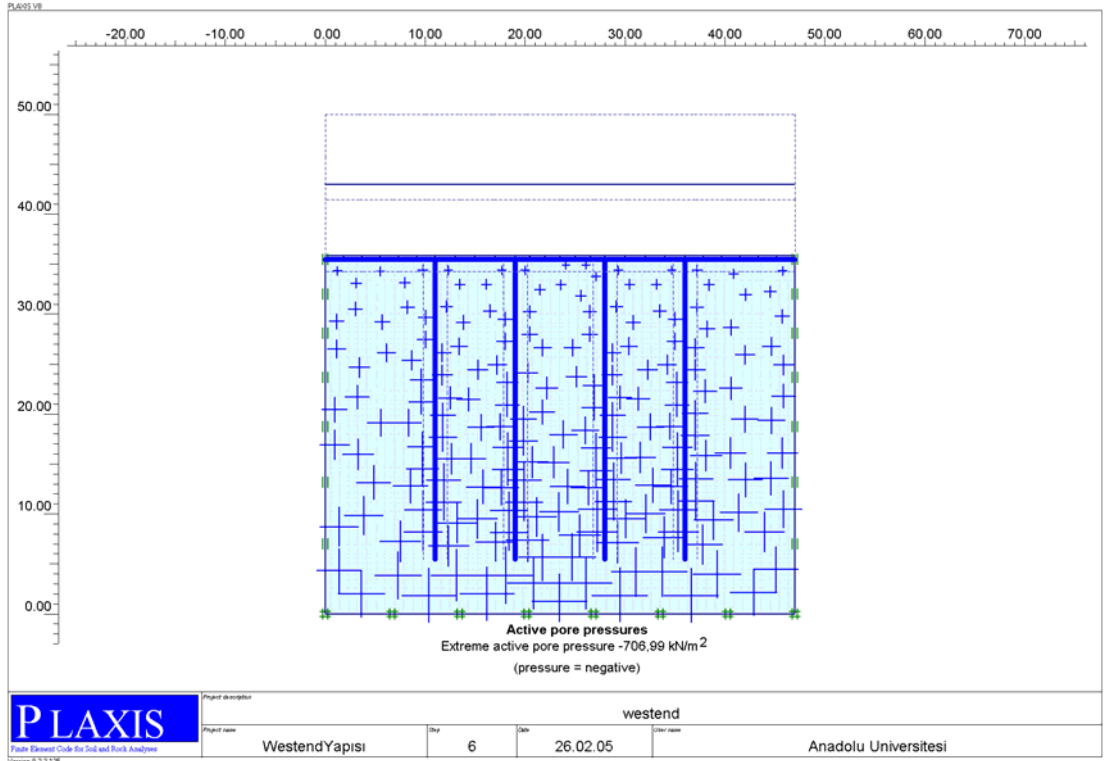
Şekil EK-2.12. Yayılı yükün etkimesi durumunda oluşan efektif gerilme değeri: -537.51 kN/m^2



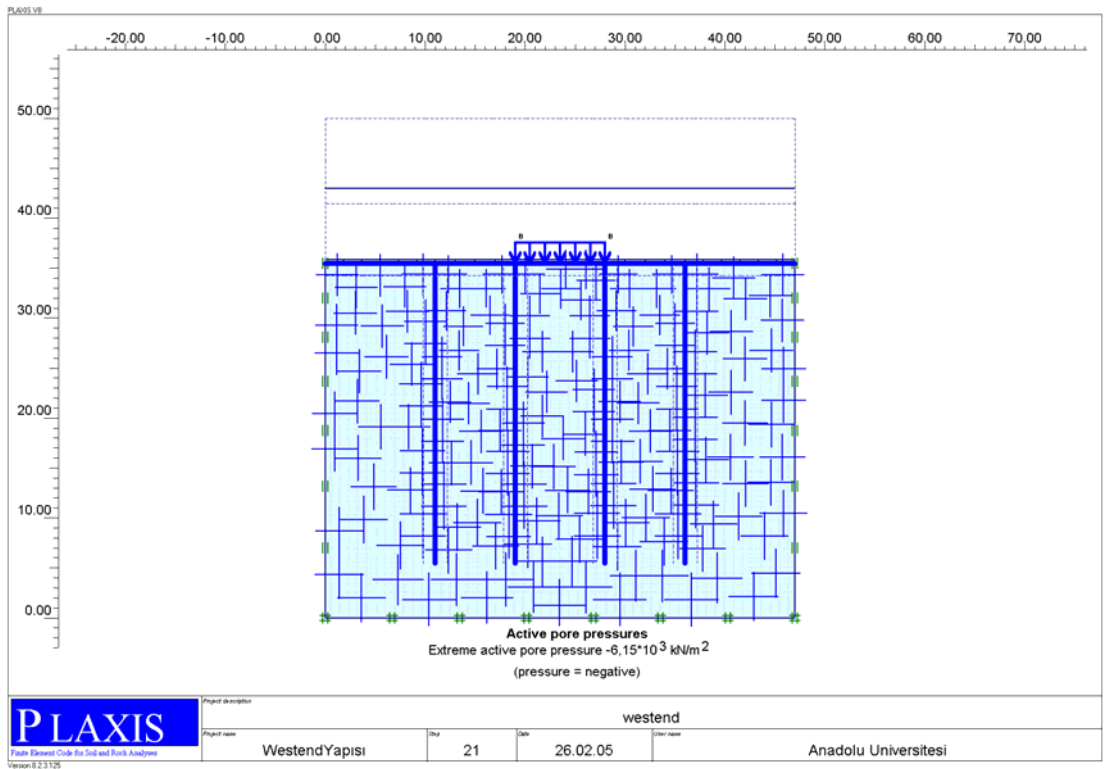
Şekil EK-2.13. Zemin seviyesinden 14.5 m kazı yapılmasında oluşan aktif boşluk basıncı değeri: -359.16 kN/m²



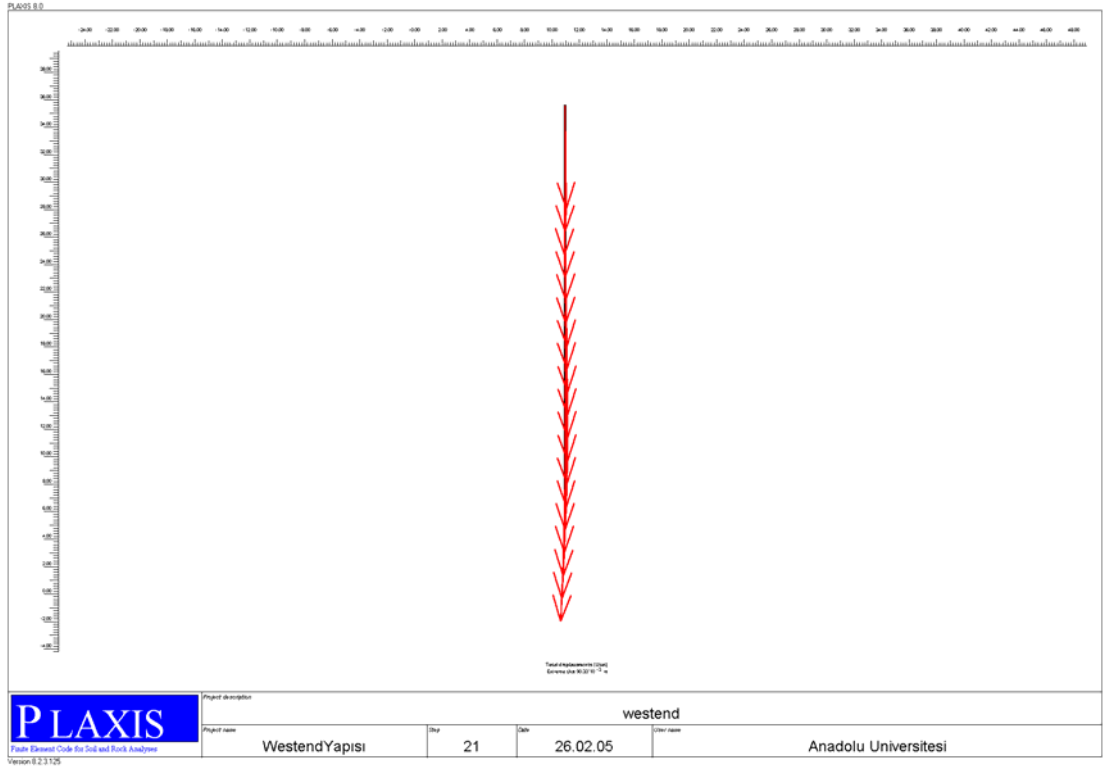
Şekil EK-2.14. Kazık imalatının yapılması durumunda oluşan aktif boşluk basıncı değeri: -549.53 kN/m²



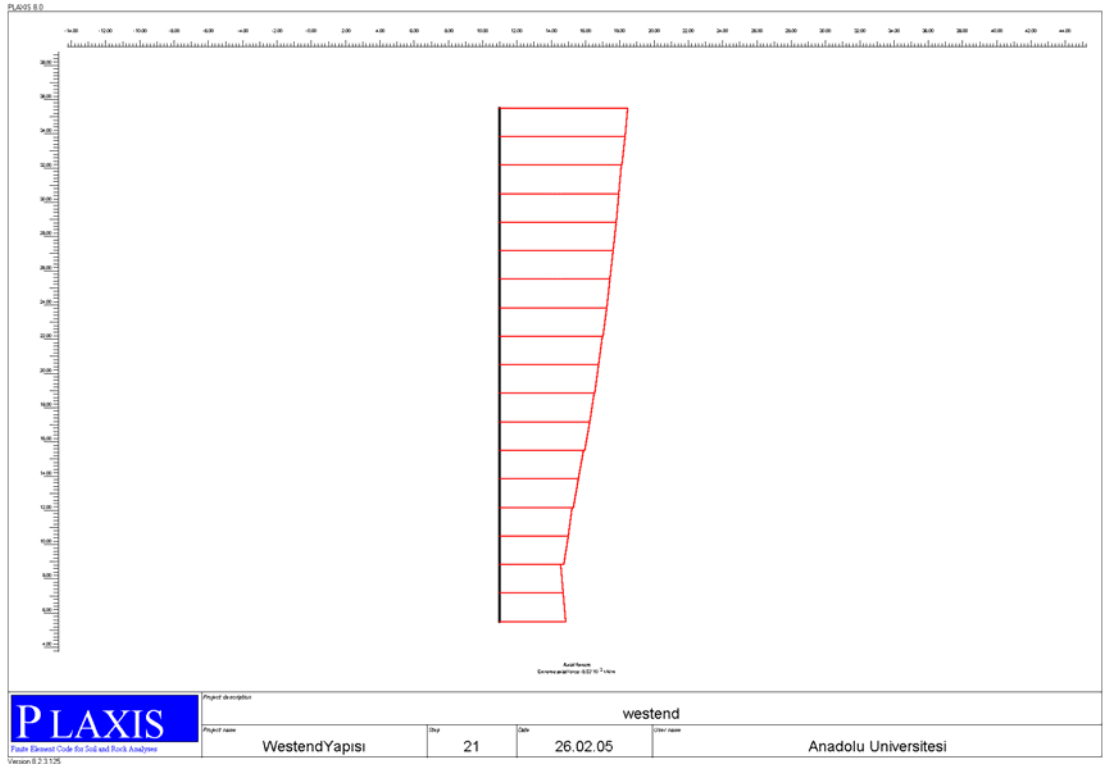
Şekil EK-2.15. Radye imalatının yapılması durumunda oluşan aktif boşluk basıncı değeri: -706.99 kN/m^2



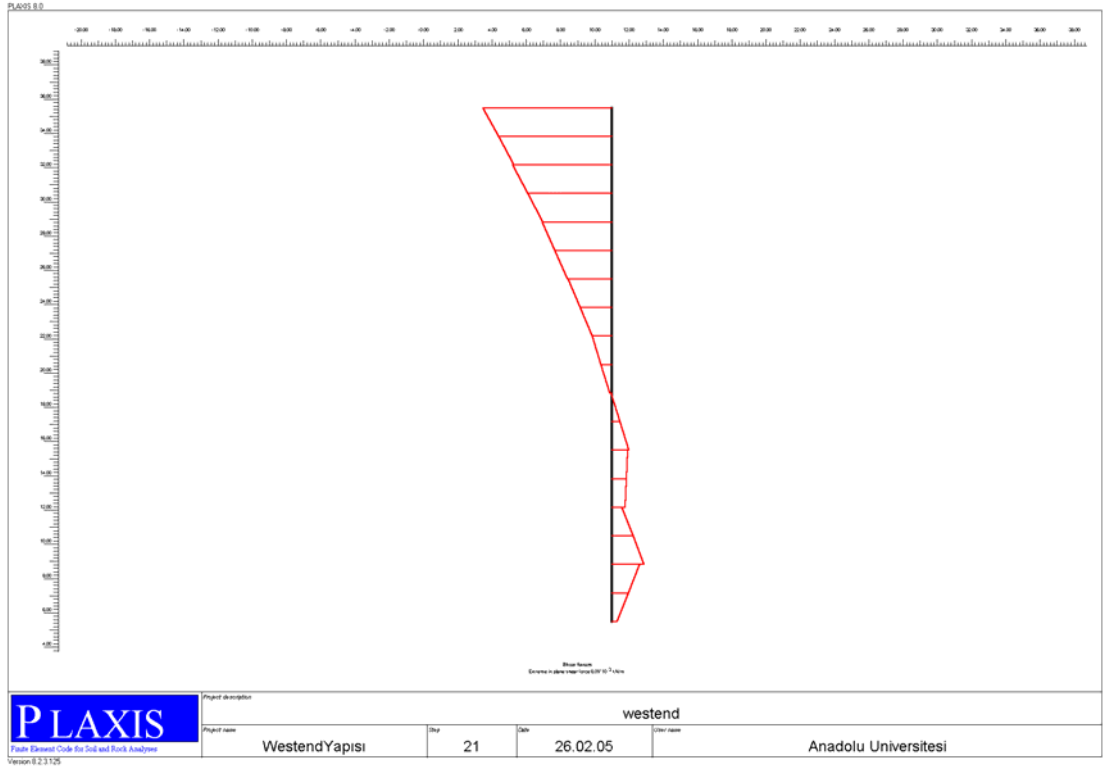
Şekil EK-2.16. Yayılı yükün etkimesi halinde oluşan aktif boşluk basıncı değeri: $-6.15 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$



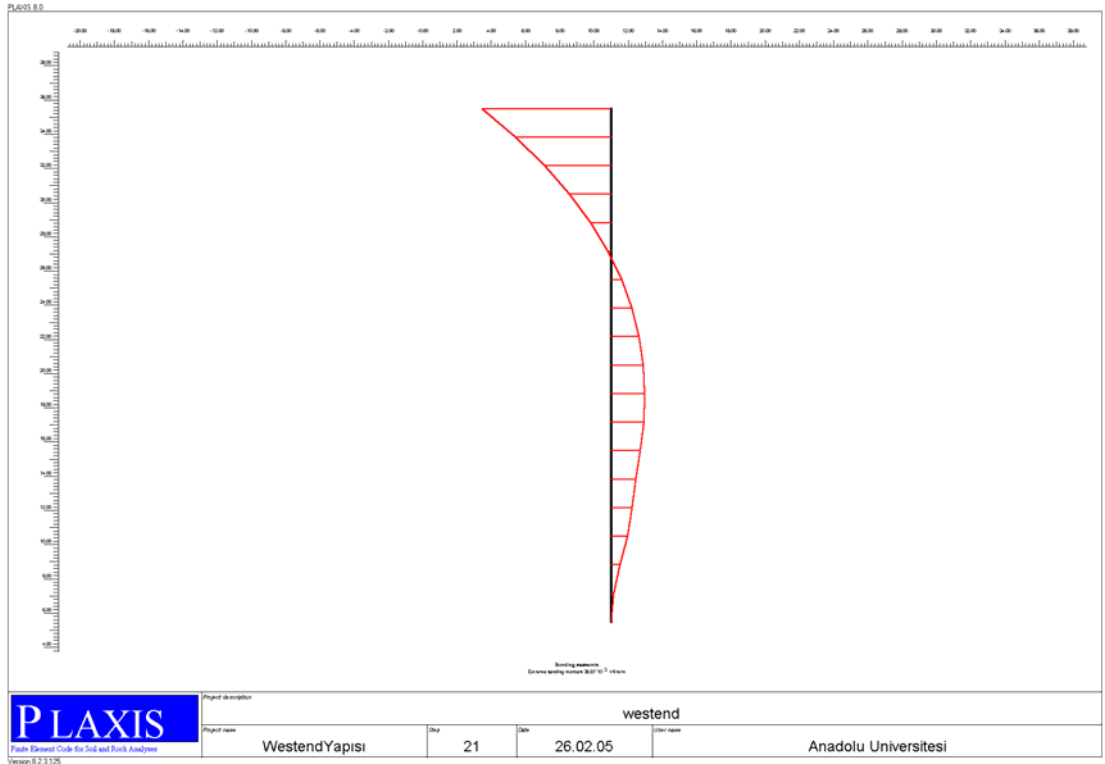
Şekil EK-2.17. Kazıkların yaptığı yerdeğiştirme değeri: $90.33 \cdot 10^{-3}$ m



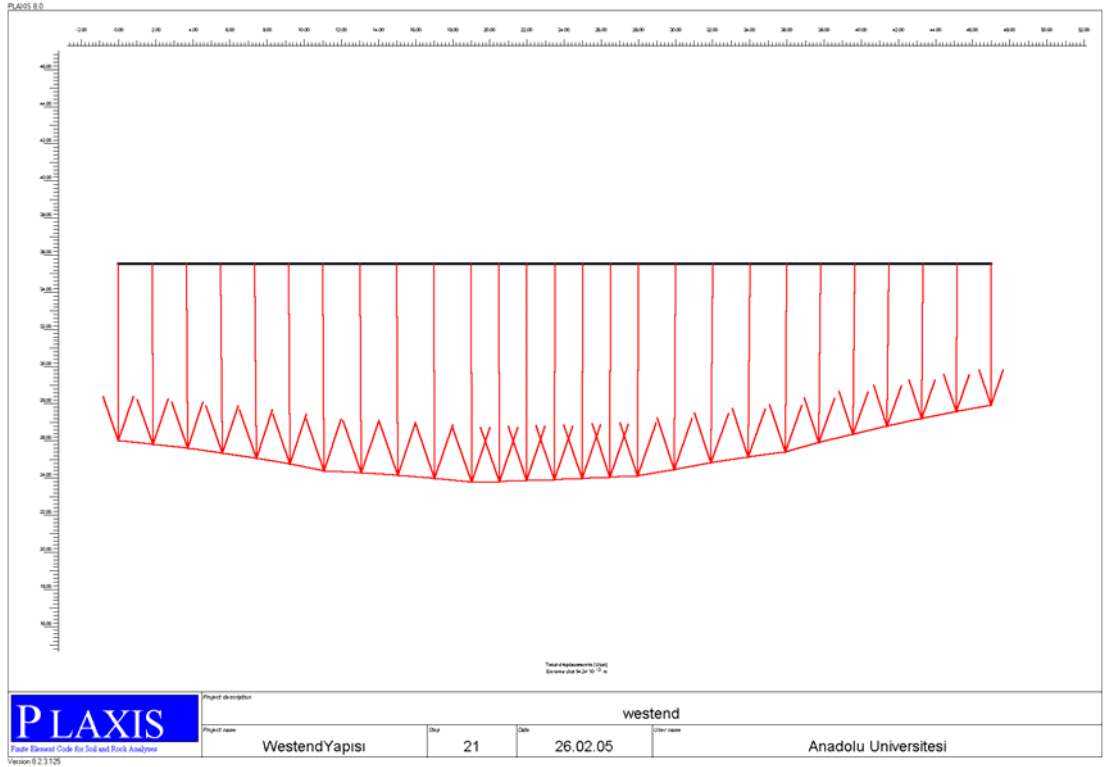
Şekil EK-2.18. Kazıklara ait eksenel kuvvet değeri: $-8.53 \cdot 10^3$ kN/m



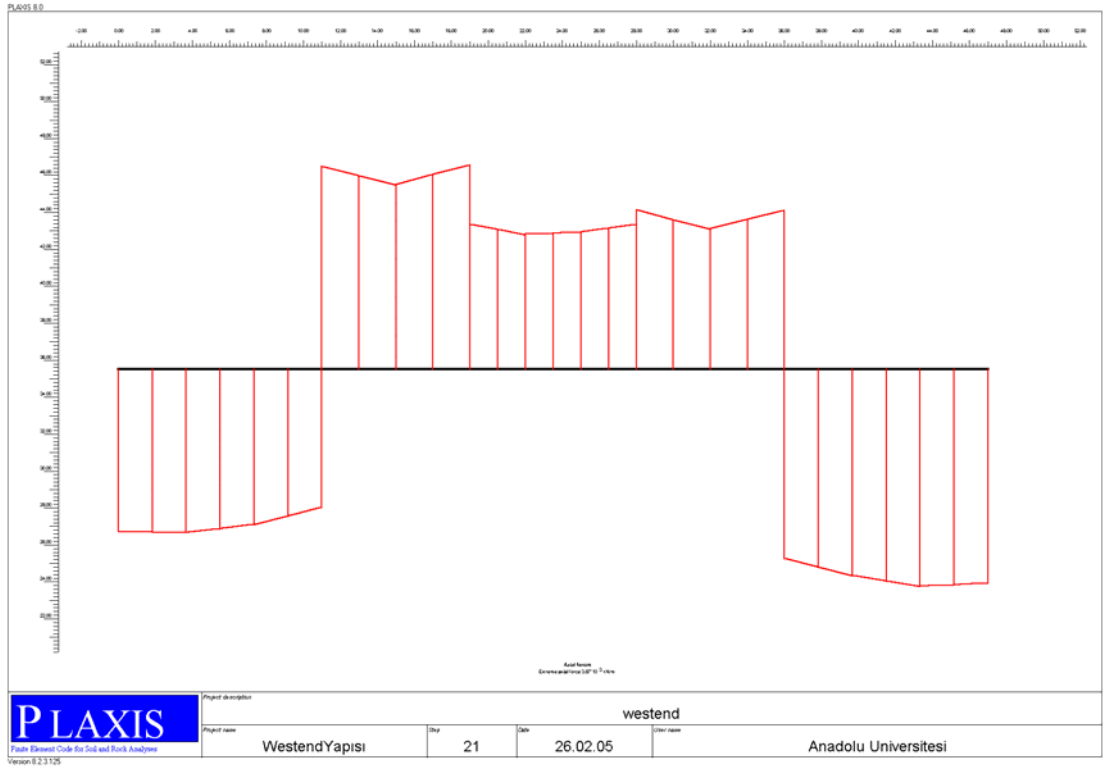
Şekil EK-2.19. Kazıklara ait kesme kuvveti değeri: $6.09 \cdot 10^3$ kN/m



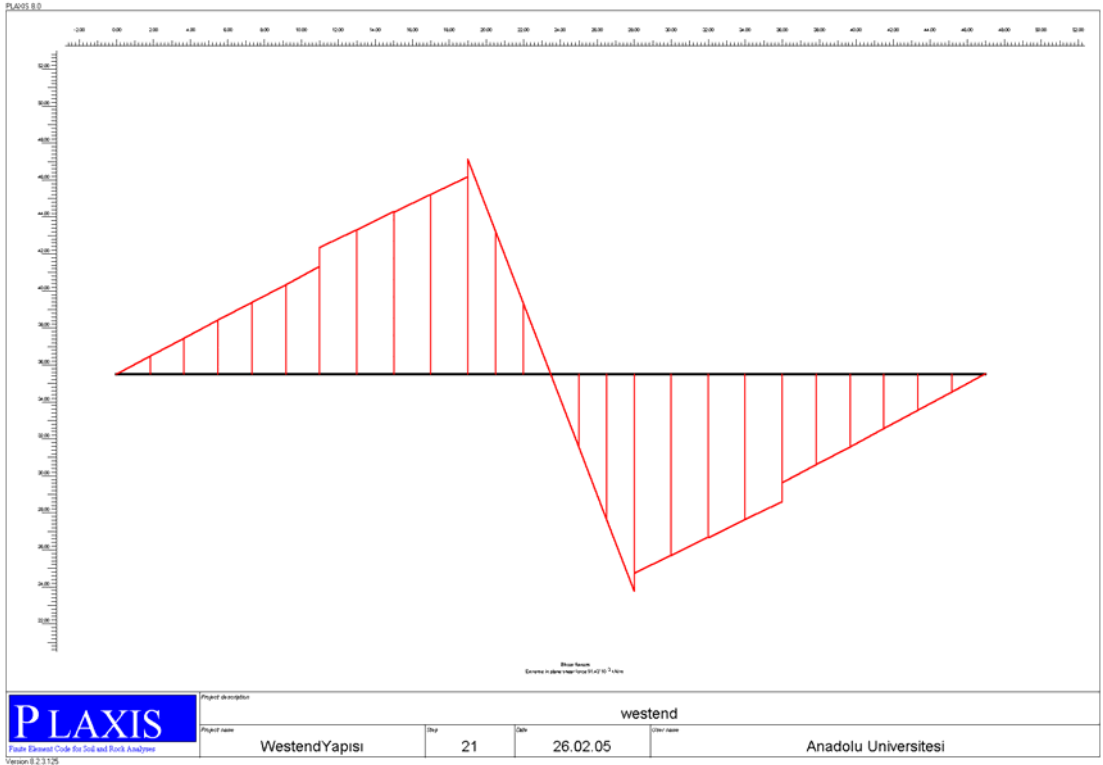
Şekil EK-2.20. Kazıklara ait eğilme momenti değeri: $38.81 \cdot 10^3$ kNm/m



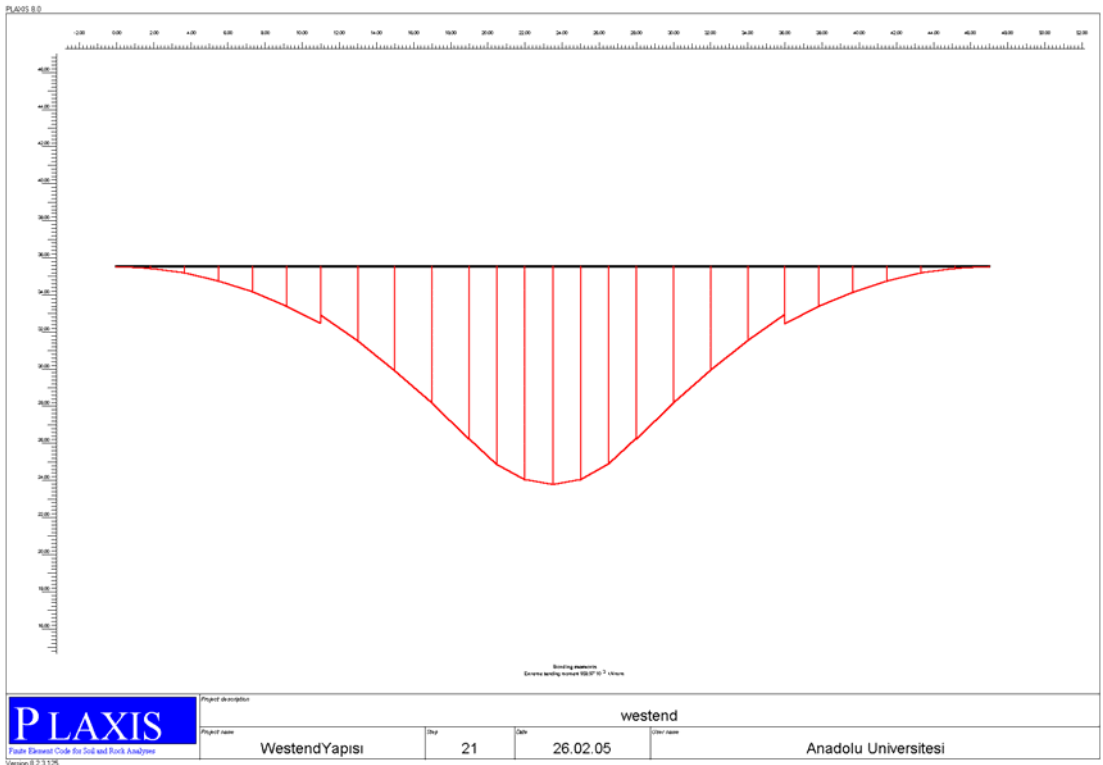
Şekil EK-2.21. Radye temele ait yer değıştirme değeri: $94.24 \cdot 10^{-3}$ m



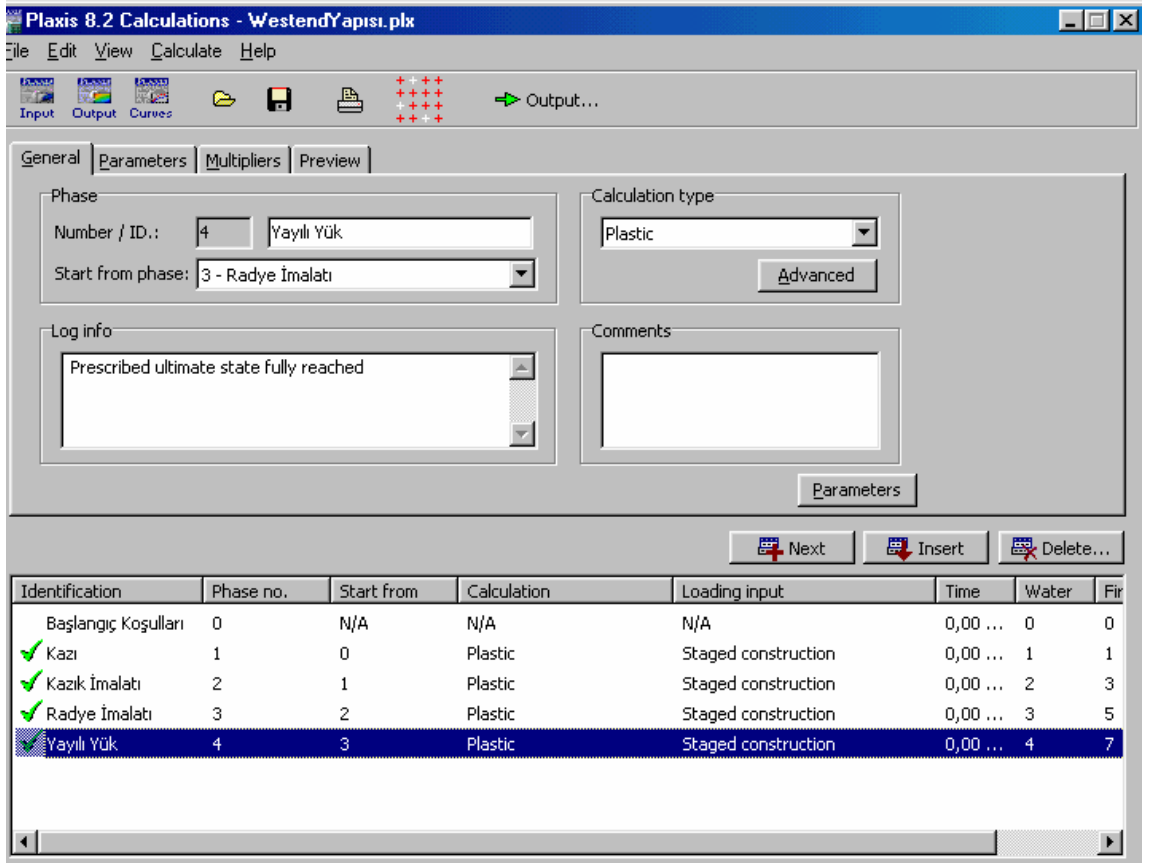
Şekil EK-2.22. Radye temele ait eksenel kuvvet değeri: $3.87 \cdot 10^3$ kN/m



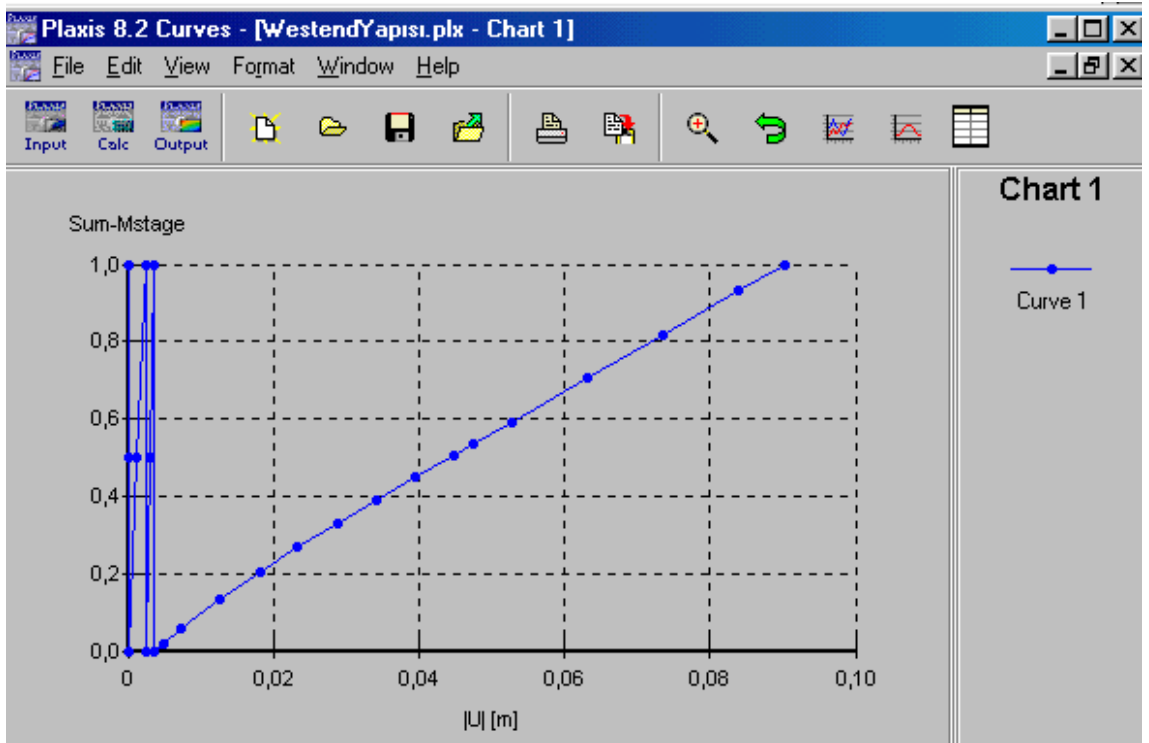
Şekil EK-2.23. Radye temele ait kesme kuvveti değeri: $91.43 \cdot 10^3$ kN/m



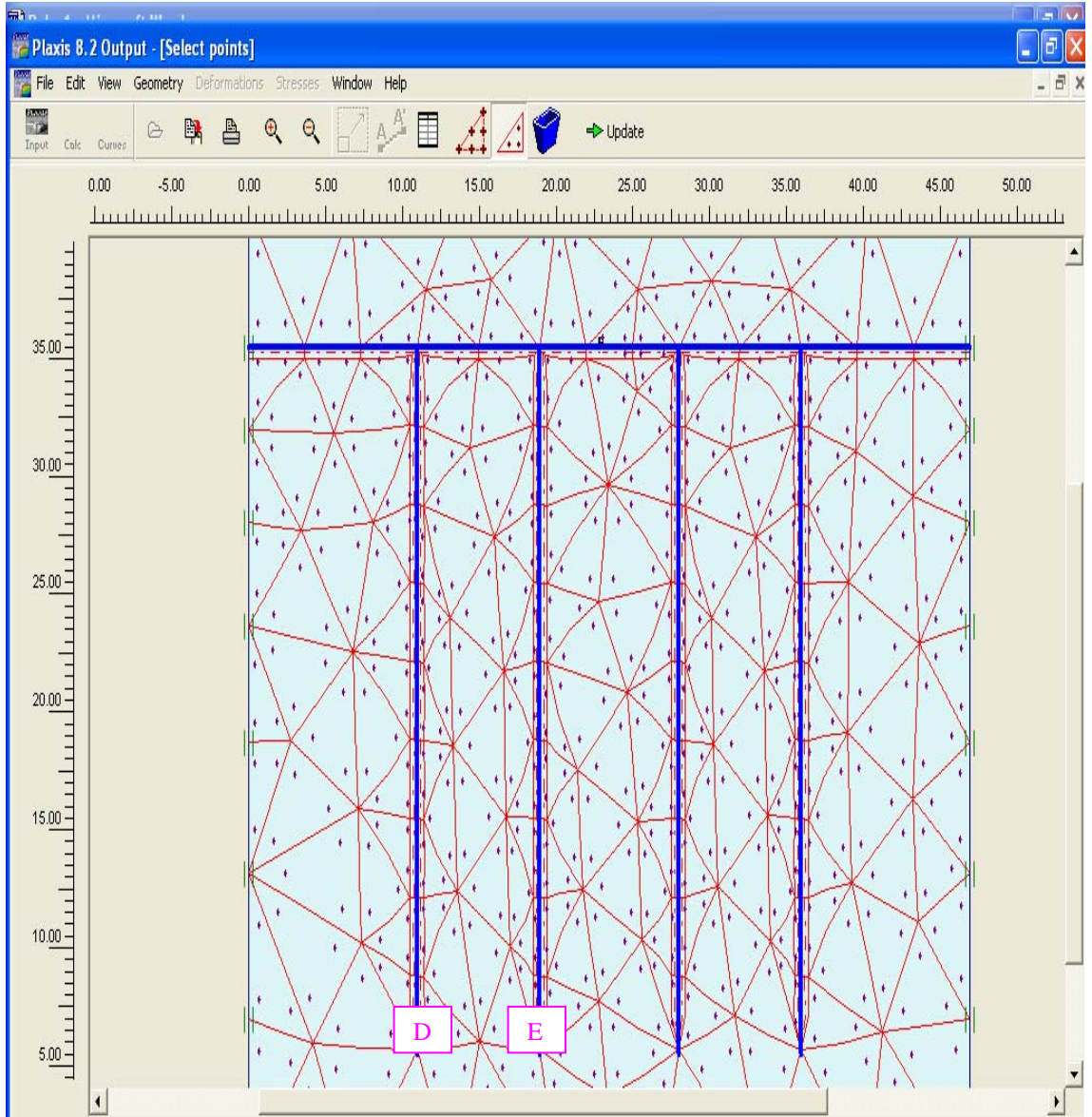
Şekil EK-2.24. Radye temele ait eğilme momenti değeri: $958.97 \cdot 10^3$ kNm/m



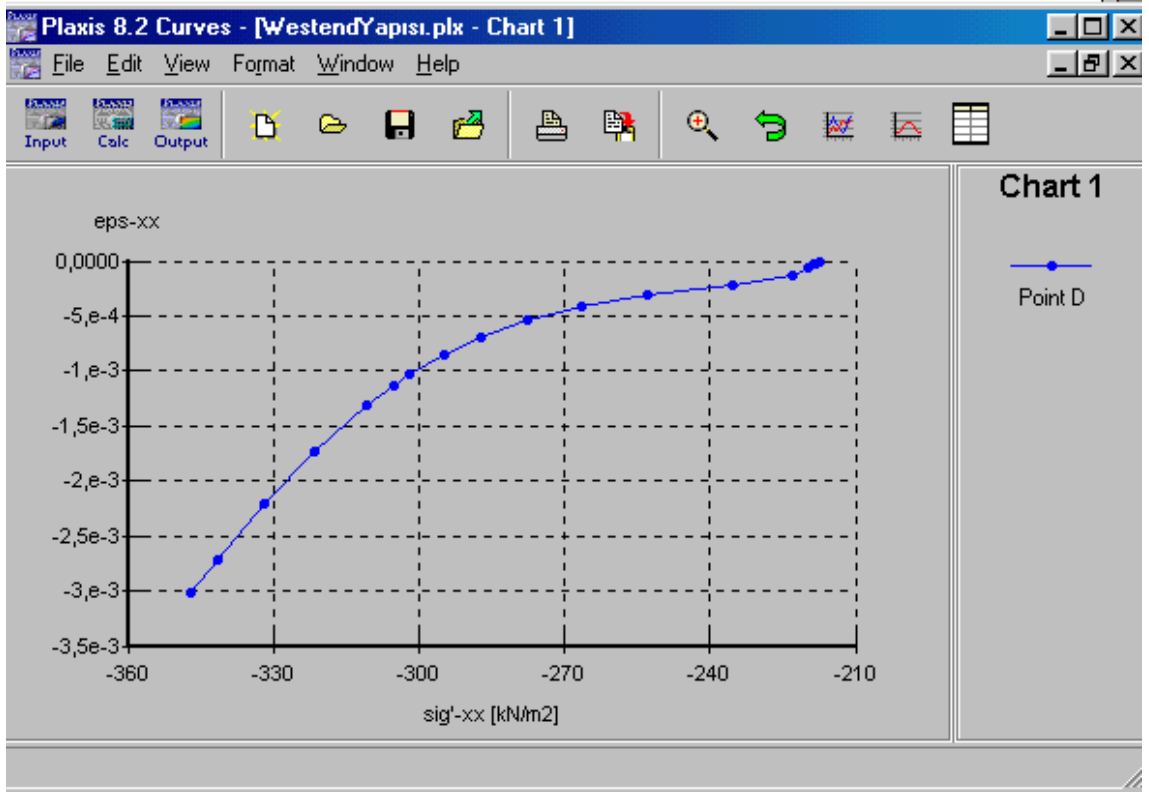
Şekil EK-2.25. Hesap aşamalarının adım adım doğrulanması



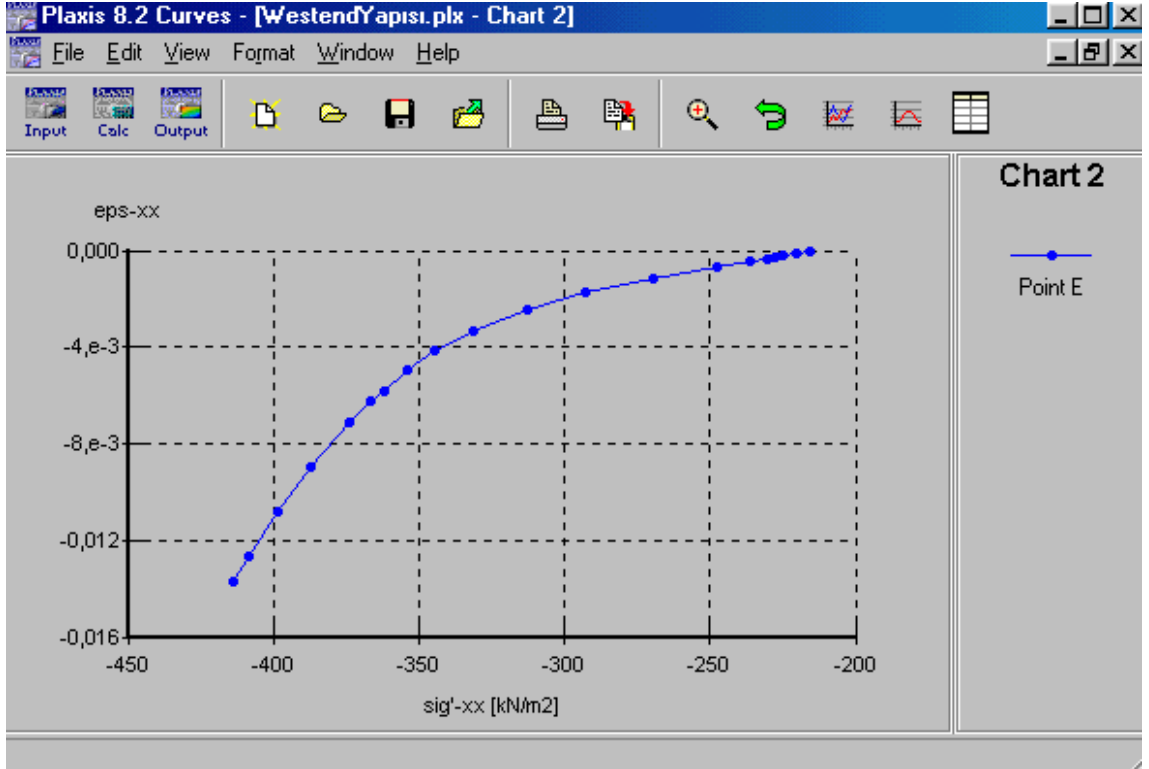
Şekil EK-2.26. Hesap aşamaları-yerdeğiştirme eğrisi



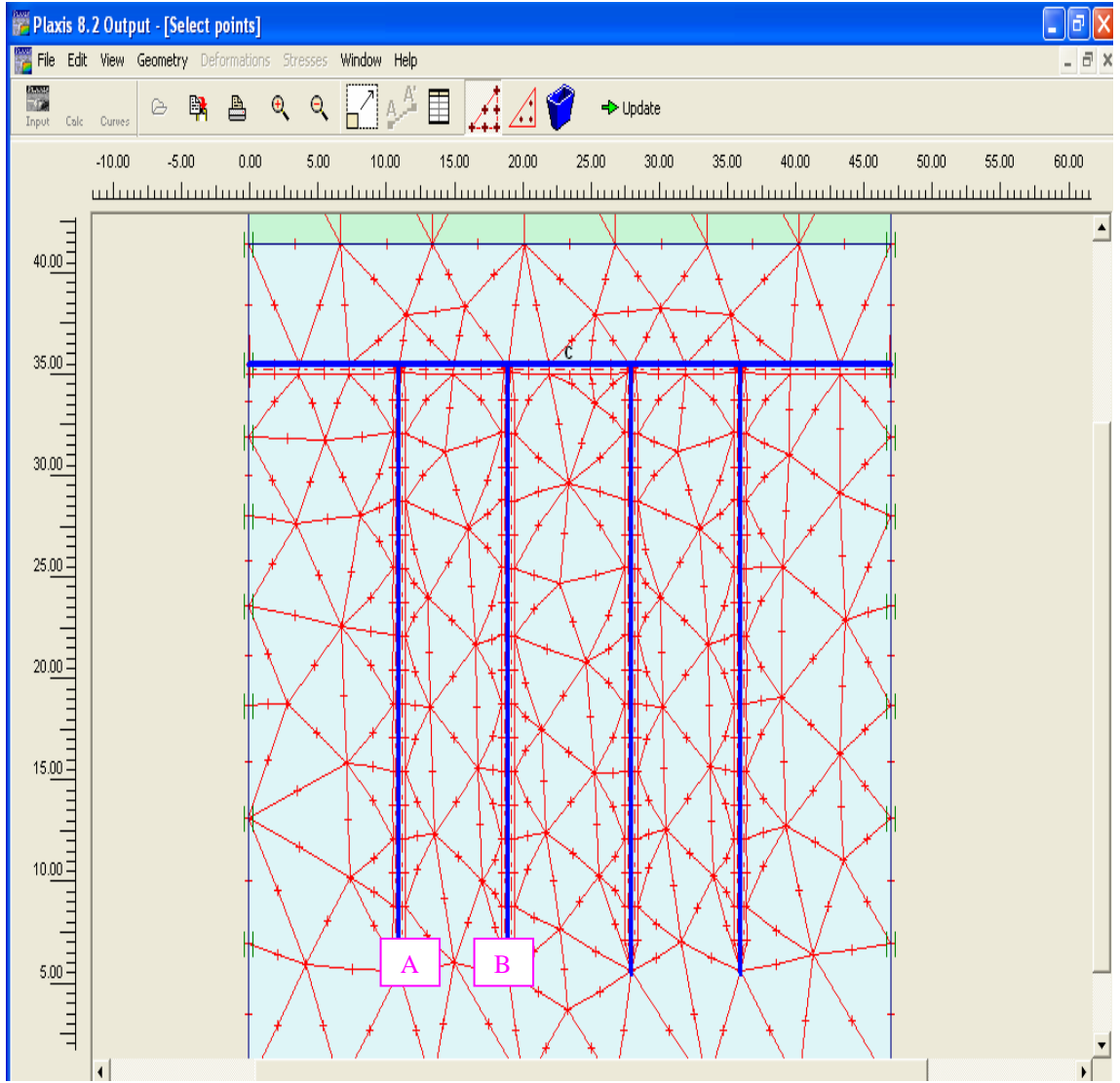
Şekil EK-2.27. Gerilme- şekil değiştirme eğrileri için seçilen noktalar



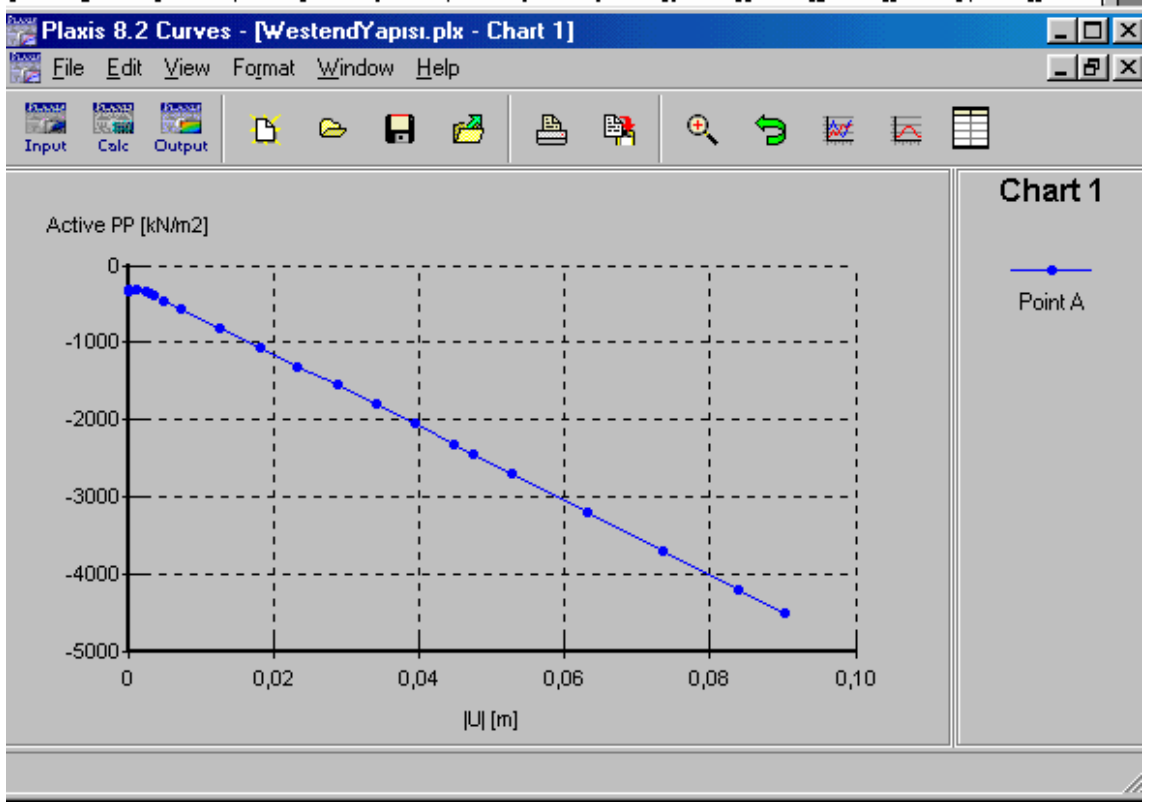
Şekil EK-2.28. D noktasına ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi



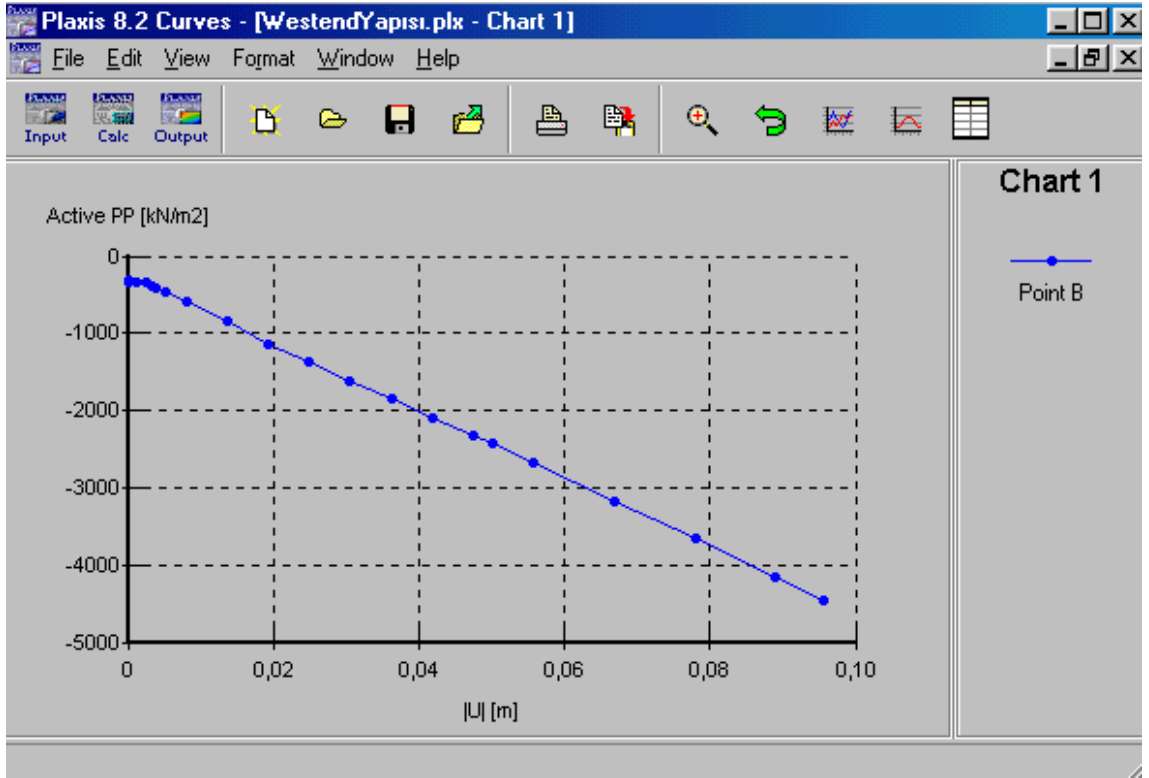
Şekil EK-2.29. E noktasına ait gerilme-yerdeğiştirme eğrisi



Şekil EK-2.30. Yük-yerdeğiştirme eğrileri için seçilen noktalar



Şekil EK-2.31. A noktasına ait boşluk basıncı-yerdeğiştirme eğrisi



Şekil EK-2.32. B noktasına ait boşluk basıncı-yerdeğiştirme değeri