

**DERİN KAZILAR VE DESTEKLEME SİSTEMLERİ**

Bekir Sinan APAYDIN  
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Mart – 2003

## JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Bekir Sinan Apaydın'ın Derin Kazılar ve Destekleme Sistemleri başlıklı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi...25.03.2003 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. Mustafa Tuncan	
Üye	: Prof. Dr. Ahmet Tuncan	
Üye	: Yrd. Doç Dr. Gökhan ARSLAN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.03.2003 tarih ve 11/3 sayılı kararıyla onaylanmıştır.

**Enstitü Müdürü**  
Prof. Dr. Osman VİZER  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
116 40 02

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### DERİN KAZILAR VE DESTEKLEME SİSTEMLERİ

BEKİR SİNAN APAYDIN

Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. Mustafa TUNCAN  
2003, 244 sayfa

Derin kazılar, gerçekleştirildiği bölgenin şartlarına göre değişmekle birlikte, gerçekleştirildiği bölgede ve civarında stabilite ve deformasyonlar açısından büyük problemler yaratma potansiyeline sahiptirler. Özellikle şehirsellerde veya mevcut yapı yakınlarında gerçekleştirilecek kazıların çok dikkatli bir şekilde ele alınması gerekmektedir.

Bu tezde, derin kazıların desteklenmesine yönelik sistemler kısaca anlatılmıştır. Bu sistemlere yönelik yapılan araştırmalar ve destek sistemlerinin saha performansları üzerine genel bir inceleme yapılmıştır. Günümüzde artık kullanımı oldukça artan sonlu eleman analizine yönelik bir çalışma da ayrıca bu tezde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Plaxis adlı bir analiz programı kullanılmıştır. Bu programın kullanımı ve yetenekleri kısaca anlatılmıştır. Plaxis adlı programla vaka analizleri ele alınıp saha sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, bu programla, bir derin kazı üzerinde parametrik çalışmalar yapılmış ve kazı performansı değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin Kazılar, Plaxis, Destek Sistemleri

**ABSTRACT****Master of Science Thesis****DEEP EXCAVATIONS and SUPPORT SYSTEMS****BEKİR SİNAN APAYDIN****Anadolu University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Program****Supervisor: Prof. Mustafa Tuncan  
2003, 244 pages**

Deep excavations can cause big problems like instability or large deformations that depend on the field conditions. Especially, the deep excavations at urban areas or near the existing structures must be considered very carefully.

At this thesis, support systems for deep excavations were shortly explained. Studies which are made for support systems and field performances of support systems were presented. In addition, finite element analyses which are widely used are also made for some case histories of deep excavations with finite element program Plaxis. The use and the capability of Plaxis were also explained. The finite element analysis results of the case studies were considered with the observed results. In addition, parametric studies were made on a deep excavation and the results were considered.

**Keywords:** Deep Excavations, Plaxis, Support Systems

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında deneyimleriyle ve değerli fikirleriyle bana yol gösteren, çalışmanın her aşamasında yardım ve hoşgörüsünü esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa TUNCAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenimimin bu aşamasına gelmemde aileme göstermiş oldukları ilgi, şefkat ve maddi ve manevi her türlü desteklerinden dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mart 2003

Bekir Sinan APAYDIN

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiv
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ .....</b>	<b>3</b>
2.1. Destek Sistemleri .....	3
2.1.1. Asker Kazıklar ve Kaplama .....	5
2.1.2. Palplanj duvarlar .....	7
2.1.3. Kazıklı Duvarlar .....	11
2.1.4. Diyafram - Bulamaç Duvarlar .....	14
2.1.5. Yukarıdan Aşağıya İnşaat Yöntemi .....	18
2.1.6. Kazıların Desteklenmesinde Yeni Yöntemler .....	20
2.1.6.1. Zemin Çivilemesi .....	20
2.1.6.2. Zemin Enjeksiyonu .....	25
2.1.6.3. Zemin Dondurma Yöntemi .....	26
2.2. Temel Takviyesi ve Suyun Uzaklaştırılması .....	27
<b>3. DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE YAYINLANMIŞ VERİLERİN ANALİZİ VE GÖZDEN GEÇİRİLMESİ .....</b>	<b>29</b>
3.1. Giriş .....	29
3.2. Geçmişte Yapılan İncelemeler .....	29
3.2.1. Derin Kazıların Geçmişteki İncelemelerinden Çıkarılan Dersler .....	32

3.2.1.1.	Zemin Tipi.....	32
3.2.1.2.	Destek Sisteminin Çabuk Kurulması.....	33
3.2.1.3.	Ön Gerilme .....	35
3.2.1.4.	Suyun Uzaklaştırılması .....	35
3.2.1.5.	İnşa Sırası.....	35
3.2.1.6.	İşçilik .....	36
3.2.1.7.	Küçük İnşa Detayları .....	36
3.2.1.8.	Sıcaklık Değişiklikleri .....	36
3.2.1.9.	Destek Aralığı.....	37
3.2.1.10.	Büyük Değerlerdeki Başlangıç Yanal Zemin Gerilmeleri .....	37
3.2.1.11.	Duvar Tipi .....	37
3.2.1.12.	Yardımcı İnşa Aktiviteleri .....	39
3.3.	Derin Kazılarla İlgili Analitik Çalışmalar .....	40
3.3.1.	Derin Kazıların Analitik Çalışmalarından Çıkarılan Dersler.....	40
3.3.1.1.	Konsolidasyon.....	40
3.3.1.2.	Anizotropi .....	42
3.3.1.3.	Kazıdan Önce Duvar İnşası.....	43
3.3.1.4.	Sonlu Eleman Analizleri .....	63
3.3.1.5.	Oluşturulan Modeller .....	64
3.3.1.6.	3 Boyutlu Sonlu Eleman Analizleri Yaygın Değildir .....	64
3.3.1.7.	3 Boyutlu Etkiler .....	64
3.4.	Derin Kazılarla İlgili Saha Performansı Çalışmaları.....	69
3.4.1.	Derin Kazılarla İlgili Saha Performansı Çalışmalarından Çıkarılan Dersler.....	69
3.4.1.1.	Konsolidasyon.....	70
3.4.1.2.	Zeminin ve Saha Şartlarının Doğru Karakterizasyonu.....	70
3.4.1.3.	Sıcaklık Değişiklikleri .....	93
3.4.1.4.	Yukarıdan Aşağıya İnşaat Tekniğinin Kullanıldığı Derin Kazılarda Beton Büzülmesi.....	96

3.4.1.5. Yumuşak Zeminlerdeki Derin Kazılarda Zemin İyileştirme .....	96
3.4.1.6. Arka Bağların Yerleştirilmesi .....	97
3.4.1.7. 3 Boyurlu Etkiler .....	97
3.5. Performans Verileri .....	98

#### 4. SONLU ELEMAN ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PROGRAMIN

<b>TANITILMASI .....</b>	<b>119</b>
4.1. Programın Genel Özelliklerinin Tanıtılması.....	119
4.1.1. Noktalar.....	120
4.1.2. Çizgiler.....	120
4.1.3. Demetler .....	120
4.1.4. Elemanlar .....	120
4.1.5. Düğümler.....	121
4.1.6. Gerilme Noktaları.....	121
4.2. Girdi (Input) .....	122
4.2.1. Noktalar ve Çizgiler.....	125
4.2.2. Kirişler .....	126
4.2.3. Kiriş Mafsalları.....	126
4.2.4. Geotekstiller .....	127
4.2.5. Ara yüzeyler .....	128
4.2.6. Ankrajlar .....	129
4.2.7. Tüneller .....	129
4.2.8. Sabitlemeler.....	130
4.2.9. Önceden Tanımlanan Yer Değiştirmeler .....	131
4.2.10. Kuvvetler.....	131
4.2.11. Malzemelerin Tanımlanması.....	132
4.2.12. Ağın Oluşturulması.....	140
4.3. Hesaplamalar (Calculations) .....	142
4.4. Çıkular (Output).....	144
4.5. Eğriler (Curves).....	147
4.6. Avantajlar ve Dezavantajlar .....	149

<b>5. VAKA ANALİZLERİ</b> .....	<b>151</b>
5.1. Literatürdeki Vaka Analizleri .....	151
5.1.1. İstanbul Hafif Raylı Taşıma Projesi İçin Gerçekleştirilen Derin Kazılar .....	151
5.1.2. Marmaris'te Yapılan Bir Bina'nın Bodrum Kazısı.....	156
5.1.3. Bangkok Kilinde Yapılan Bir Derin Kazının Performansı .....	159
5.1.4. Bangkok Kilinde Yapılan Bir Derin Kazının Performansı .....	163
5.2. Bu Çalışmada Analizi Gerçekleştirilen Vaka Analizleri.....	165
5.2.1. Taipei Yerel Yönetim Merkezi Binası İnşaatı.....	165
5.2.2. Calcutta'daki Metro Hattı Kazısı.....	176
5.3. İsviçrede Gerçekleştirilen Bir Derin Kazı Üzerine Yapılan Parametrik Çalışmalar .....	188
5.3.1. Giriş .....	188
5.3.2. Ankastre Diyafram Duvarda Gerçekleştirilen Analizler.....	189
5.3.3. Ankastre Teğetsel Kazıklı Duvarda Gerçekleştirilen Analizler .....	195
5.3.4. Ankrajlı Diyafram Duvarda Gerçekleştirilen Analizler .....	199
5.3.5. Ankrajlı Teğetsel Kazıklı Duvarda Gerçekleştirilen Analizler.....	206
5.3.5.1. Kazık Boyu ve Kazık Çapının Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi.....	206
5.3.5.2. Ön Gerilme Değerinin Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi .....	211
5.3.5.3. Ankraj Sıklığının ( $L_s$ ) Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi .....	216
5.3.5.4. Ankraj Boyunun Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi .....	222
5.3.5.5. Ankraj Eğiklik Açısının Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi .....	229
<b>6. SONUÇLAR</b> .....	<b>235</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>239</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Destekli duvarlar.....	4
2.2. Diyagonal destekler .....	5
2.3. Asker kazıklı ve kaplamalı duvar .....	6
2.4. Palplanj kesitleri .....	7
2.5. Ankrajlı duvar.....	8
2.6. Ankraj detayı .....	9
2.7. Palplanj duvar çeşitleri.....	9
2.8. Aşama aşama kazı işlemi .....	10
2.9. Bazı kazık duvar konfigürasyonları.....	13
2.10. Ankrajlı kazıklı duvar .....	14
2.11. Diyafram duvar inşaatı için bulamaç metodu .....	15
2.12. Zemin-çimento karışımli duvar inşa etmek için yeni bir metot .....	17
2.13. Yukarıdan Aşağıya inşaat metoduna bir örnek .....	19
2.14. Zemin çivilemesi inşa süreci .....	22
2.15. Zemin çivileri .....	23
2.16. Sisteme ait bir başka kesit .....	24
2.17. Suyun uzaklaştırılması için kuyu sondalarının kullanılması.....	28
3.1. Çeşitli zeminlerde, oturmaların kazıya uzaklığa göre değişimi .....	33
3.2. Farklı zemin tiplerinde kazı yakınındaki oturma dağılımının tahmin edilebilmesi için tavsiye edilen boyutsuz oturma profilleri .....	34
3.3. Zemin gerilmelerinin kaplamadan asker kazıklara transferi için farklı metotlar.....	38
3.4. Killerdeki destek sistemleri için, maksimum yanal duvar hareketleri ve zemin yüzeyi oturmalarının tahmin edilebilmesine yönelik grafikler ....	39
3.5. Texas A & M Üniversitesinde inşa edilen bir duvarın sonlu eleman analizinin sonuçları.....	65
3.6. New Palace Yard, Westminster'da gerçekleştirilen bir derin kazının analiz sonuçları.....	66
3.7. Euston'da British Museum derin kazısının duvar hareketleri.....	67
3.8. Euston'da British Museum derin kazısının duvar hareketleri.....	68

3.9.a Witte Huis kazısı .....	72
3.9.b Witte Huis kazısı için konsolidasyonun etkileri .....	73
3.10. HDR-4 kazısına ait gözlenen palplanj kazık eğilmeleri, zemin hareketleri ve boşluk suyu basıncı ölçümleri .....	74
3.11. Yatay destek yükünde sıcaklığın etkisi .....	94
3.12. Sıcaklığın yatay destek yükleri üzerindeki etkileri .....	95
3.13. Duvar hareketlerinde 3-D etkiler .....	99
3.14. Duvar yer değiştirmelerinde 3-D etkiler .....	100
3.15. Kazı derinliği değerine karşılık kazıya bitişik maksimum oturma değerleri .....	103
3.16. Kazı derinliği değerine karşılık maksimum duvar yer değiştirme değerleri .....	104
4.1. Düğümler ve gerilme noktaları .....	120
4.2. Genel ayarlar: model ve eleman tipinin seçimi .....	123
4.3. Genel ayarlar: birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi .....	124
4.4. Ana Pencere .....	124
4.5. Geometri araç çubuğu .....	125
4.6. Çizgiler ve demetler .....	125
4.7. Kirişlerin kullanıldığı bazı uygulamalar .....	126
4.8. Kiriş mafsalları .....	127
4.9. Geotekstillerin kullanıldığı bazı uygulamalar .....	127
4.10. Ara yüzeylerin bazı örnekleri .....	128
4.11. Ara yüzeylerdeki düğüm ve gerilme noktalarının dağılımı ve zemin elemanlarıyla birleşimi .....	128
4.12. Ankrajlar .....	129
4.13. Tünel tipinin seçimi ve tünele ait açı, yarıçap gibi verilerin girdisi .....	130
4.14. Önceden tanımlanan yer değiştirme mönüsü .....	131
4.15. Nokta ve yayılı yükler için girdiler .....	132
4.16. Malzeme tanımlama mönüsü .....	133
4.17. Zeminler için data girdileri ve model seçimi .....	133
4.18. Lineer Elastik modelin girdileri .....	135
4.19. Mohr-Coulomb modelinin girdileri .....	135

4.20. Pekleşen zemin modelinin girdileri .....	136
4.21. Yumuşak zemin modeli için girdiler .....	136
4.22. Yumuşak zemin sünme modeli için girdiler .....	137
4.23. Ara yüzey girdileri.....	138
4.24. Kiriş özellikleri girdileri.....	139
4.25. Model geometrisi tamamlandı ve ağ oluşturuldu .....	140
4.26. Başlangıç koşulları mөнüsü .....	141
4.27. Hesaplamalar mөнüsü ve hesap evreleri.....	142
4.28. Çıktı mөнüsü ve ağın deforme olmuş hali .....	144
4.29. Kirişler, geotekstilller ve ankrajlarda eksenel ve çember yükleri için işaret.....	147
4.30. Eğriler mөнüsü ve oluşturulmuş bir diyagram .....	148
4.31. Eğri oluşturma mөнüsünden hangi eğrinin oluşturulacağı seçilmektedir .....	149
5.1. Kesit 1 de yer değiştirme analizi için belirlenen zemin modeli ve destek sistemi .....	152
5.2. Kesit 2 de yer değiştirme analizi için belirlenen zemin modeli ve destek sistemi .....	153
5.3. Kesit 1 in sonlu eleman ağı .....	153
5.4. Kesit 1 de ölçülen ve hesaplanan yatay yer değiştirmeler .....	154
5.5. Kesit 2 de ölçülen ve hesaplanan yatay yer değiştirmeler .....	155
5.6. İnklinometre yerleşim planı .....	156
5.7. Bina cepheleri.....	157
5.8. Yol cepheleri .....	157
5.9. Bina cephesi sonuçları .....	158
5.10. Yol cephesi sonuçları.....	159
5.11. Birinci kazının plan görünüşü .....	160
5.12. İkinci kazının plan görünüşü .....	160
5.13. Birinci kazının kesit görünüşü ve zemin profili .....	161
5.14. İkinci kazının kesit görünüşü ve zemin profili.....	161
5.15. Birinci kazı için yanal duvar hareketleri.....	162
5.16. İkinci kazı için yanal duvar hareketleri.....	162

5.17. Kazı planı .....	163
5.18. Destek sistemini kesit görünüşü .....	164
5.19. Kazının analiz sonuçları ve saha performansının karşılaştırması.....	165
5.20. Kazı destek sistemi .....	167
5.21. Kazının geometrik modeli.....	168
5.22. Analiz için kullanılan sonlu eleman ağı.....	168
5.23. Toprak basınçları .....	169
5.24. Boşluk suyu basınçları .....	169
5.25. Gözlenen yanal duvar hareketleri .....	171
5.26. PLAXIS ile elde edilen duvar deplasmanı .....	172
5.27. Ağın deforme olmuş hali.....	173
5.28. Ölçülen ankrakj yükleri.....	173
5.29. Zemindeki düşey hareketler .....	175
5.30. Zemindeki yanal hareketler .....	175
5.31. Zemindeki toplam yer değiştirmeler.....	176
5.32. Zemin profili.....	177
5.33. Kazının plan görünüşü .....	178
5.34. Kazı destek sistemi ve kazı aşamaları.....	179
5.35. Sonlu eleman ağı .....	181
5.36. Boşluk suyu basınçları .....	182
5.37. Toprak basınçları .....	182
5.38. Kazı tamamlandıktan sonraki deforme olmuş sonlu eleman ağı.....	183
5.39. Bose ve Som tarafından sunulan, farklı inşaat aşamalarındaki duvar hareketleri.....	184
5.40. Bu analiz esnasında PLAXIS ile elde edilen, farklı inşaat aşamalarındaki duvar hareketleri.....	185
5.41. Farklı inşaat aşamalarında zemin oturmasının duvara olan mesafeye göre değişimi .....	186
5.42. Farklı inşaat aşamalarında zemin oturmasının duvara olan mesafeye göre değişimi .....	186
5.43. Kazıdaki yanal yer değiştirmelerin dağılımı .....	187
5.44. Kazıdaki düşey yer değiştirmelerin dağılımı .....	187

5.45. Kazının sonlu eleman analizi için oluşturulan modeli .....	190
5.46. Analizlerde kullanılan sonlu eleman ağı .....	190
5.47. Ankastre diyafram duvarın kalınlığını artırmanın kazı performansına etkisi .....	193
5.48. Ankastre diyafram duvarın boyunu uzatmanın kazı performansına etkisi .....	194
5.49. Teğetsel kazıklı duvarda kazık çapını artırmanın kazı performansına etkisi .....	197
5.50. Teğetsel kazıklı duvarda kazık boyunu artırmanın kazı performansına etkisi .....	198
5.51. Analizlerde kullanılan model geometrisi .....	200
5.52. Sonlu eleman ağı .....	200
5.53. Ankrajlı diyafram duvarda duvar kalınlığını artırmanın kazı performansına etkisi .....	204
5.54. Ankrajlı diyafram duvarda duvar boyunu artırmanın kazı performansına etkisi .....	205
5.55. Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarda kazık boyunu artırmanın kazı performansına etkisi .....	209
5.56. Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarda kazık çapını artırmanın kazı performansına etkisi .....	210
5.57. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj ön gerilme değerinin kazı performansına etkisi .....	214
5.58. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj ön gerilme değerinin kazı performansına etkisi .....	215
5.59. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj sıklık değerinin kazı performansına etkisi .....	220
5.60. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj sıklık değerinin kazı performansına etkisi .....	221
5.61. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj boyunun kazı performansına etkisi ..	227
5.62. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj boyunun kazı performansına etkisi ..	230
5.63. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj açısının kazı performansına etkisi ....	233
5.64. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj açısının kazı performansına etkisi ....	234

## TABLOLAR DİZİNİ

3.1. Derin kazılarla ilgili analitik çalışmalar.....	44
3.2. Saha performansı çalışmaları .....	75
3.3. Goldberg ve arkadaşları tarafından özetlenen performans verileri .....	105
3.4. Daha yakın tarihli kazılara ait performans verileri.....	111
3.5. Londra kilinde yapılan kazıların performans verileri .....	118
5.1. Zemin profili.....	163
5.2. Kazı Zemin Profili .....	166
5.3. Kazıya ait ankraj bilgileri.....	168
5.4. Ankraj yük değerlerinin kıyaslanması .....	174
5.5. Zemin parametreleri.....	180
5.6. Zemin profili.....	188
5.7. Ankastre Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	192
5.8. Teğetsel Kazıklı Duvara Ait Performans Verileri .....	196
5.9. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri .....	202
5.10. Ankrajlı Teğetsel Kazıklı Duvara Ait Performans Verileri .....	207
5.11. Ankrajlı Teğetsel Kazıklı Duvara Ait Performans Verileri .....	211
5.12. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	212
5.13. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	216
5.14. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	219
5.15. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	222
5.16. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	224
5.17. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	229
5.18. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri.....	232

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SMW	: Zemin karışım duvar ( Soil mixed wall )
E	: Elastisite
EI	: Eğilme rijitliği ( E * I )
AE	: Aksenal rijitlik ( A * E )
L	: Boy
$\gamma$	: Birim hacim ağırlık
$\delta$	: Deplasman
c	: Kohezyon
$k_x$	: X yönündeki permeabilite
$k_y$	: Y yönündeki permeabilite
G	: Kesme modülü
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
POP	: Ön-örtü basıncı
YASS	: Yer altı su seviyesi
$\nu$	: Viskozite

### Alt ve üst indisler

w	: Islak
v	: Düşey
h	: Yatay
u	: Drenajsız
d	: Kuru
oed	: Odömetre yükleme rijitliği
inter.	: Ara yüzey

## 1. GİRİŞ

Temel çukurunun kazısı zemin ve çevre yapılarının durumuna bağlı olarak bir çeşit dayanma yapısı yapılmasını gerektirebilir Genel bir uygulama olarak temel çukurları ve hendeklerde 1.25 m. derinliğe kadar özel önlem almak gerekmez. Derinlik 1.75 m. ye kadar ise üstteki 0.50 m. ya şevli kazılır veya dik açılıyorsa üst kesimde karşıdan karşıya bir destek konulur [1]. Yeterli destek olmadan gerçekleştirilecek bir derin kazı, taşıma kapasitesinde kayba, yüksek değerlerde oturmalara veya yanal hareketlere neden olacaktır. Destek sistemleri genel olarak, çelik beton veya ahşap palplanj perdeler, kaplamalı veya kaplamasız kazık veya düşey kirişler, delme yerinde dökme kazıklar, diyafram duvarlar olabilir. Bu tür dayanma yapılarının yerinde durabilmesi için kuşak, yatay destekler veya payandalar, küçük alanlarda basınç halkaları ve ankrajlar kullanılabilir.

Destekli derin kazılar sırasında zemin hareketine neden olan etkenler, yapılacak kazının boyutları, zemin özellikleri, zemin suyu durumu ve denetimi, zaman, seçilecek destek sistemi, kazı ve destek sistemi düzeni, yakındaki binalar ve kısa süreli sürşarj yükleri şeklinde özetlenebilir. Kazı sırasında özellikle zemin özellikleri, zemin suyu durumu ve denetimi ve zaman etkenlerinin etkileri oldukça önemlidir.

Derin kazının performansı hem stabiliteyle hem de deformasyonla ilişkilidir. Derin kazılar stabil olmak ve deformasyonları kabul edilebilir seviyelerde sınırlandırmak için tasarlanırlar. Stabil bir derin kazı, duvarları çökmeyen ve tabanı kontrol edilemez şekilde kabarmayan kazıdır. Kazı

civarındaki zemin deformasyonları mevcut binalara, yollara ve diğer yapılara zarar verebilir. Zararın şiddeti ve büyüklüğü, kazı etrafındaki zemin hareketlerinin büyüklüğüne ve modeline bağlıdır.

Stabilite ve deformasyon ilişkilidir. Eğer çökmeye karşı güvenlik katsayısı büyükse, kazı etrafındaki zeminde gerilmeler küçük olacak ve dolayısıyla zemin hareketleri de küçük olacaktır. Diğer taraftan eğer çökmeye karşı güvenlik katsayısı 1'e yakınsa, gerilmeler ve zemin hareketleri de büyük olacaktır.

Bu çalışmada ilk olarak, 2. bölümde, derin kazı destekleme sistemleri hakkında genel bilgi verilmiştir. 3. bölümde ise derin kazılar üzerine yapılmış çalışmalarla ilgili literatür bilgisi sunulmuştur. 4. bölümde analizler için kullanılan sonlu eleman programı hakkında bilgi verilmiştir. Son olarak 5. bölümde derin kazılara ait bazı vaka analizleri ve uygulamalar sunulmuştur.

## 2. DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİ

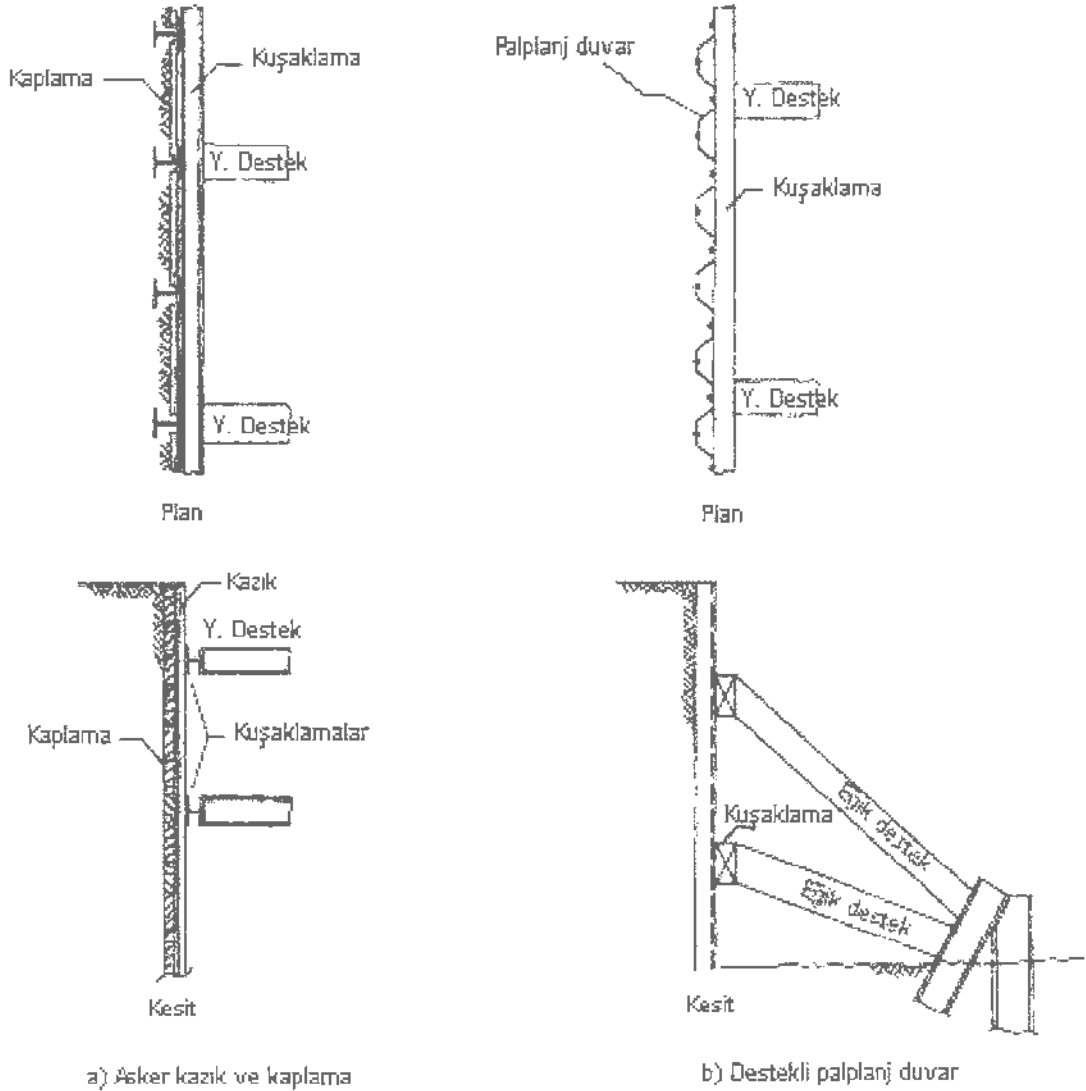
### 2.1. Destek Sistemleri

Derin bir kazıdan zeminin çıkarılmasının iki ana etkisi vardır. Birincisi zeminin kazılarak ağırlığının ortadan kaldırılmasının, kazı altındaki zeminde düşey gerilmelerin azalması sonucunu doğurmasıdır. İkincisi ise, zeminin kazılmasının, kazı etrafındaki zemin için yatay desteğin kaybolmasına neden olmasıdır. Bir derin kazı destekleme sisteminin amacı, kazı etrafındaki zemin için yatay destek sağlamak ve zeminin hareketini sınırlandırmaktır.

Derin kazılar için destek sistemleri iki ana bileşen içermektedir. Birincisi duvar ve ikincisi de duvar için gerekli destektir. Derin kazılarda, birkaç çeşit duvar tipi ve destek tipi kullanılmaktadır. Başlıca duvar tipleri olarak, palplanj duvar, asker kazıklı ve kaplamalı duvar, teğet kazıklı duvar, kesişen kazıklı duvar, aralıklı kazıklı duvar (kazıklar birbirine çok yakın olabildiği gibi daha aralıklı da olabilmektedir.), diyafram duvar ve derin zemin karıştırımalı duvar sayılabilir. Başlıca destek sistemleri ise, yatay destekler, eğik destekler ve ankrajlardır.

Destek sistemi yönünden yapılar, ankastre sistemler, destekli sistemler ve arkadan bağlı sistemler olmak üzere üç ana gruba ayrılabilir. Ankastre sistemler, genellikle daha yüzeysel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu üç sistemi birbiriyle kombine ederek kullanmak da çok kullanılan bir metottur.

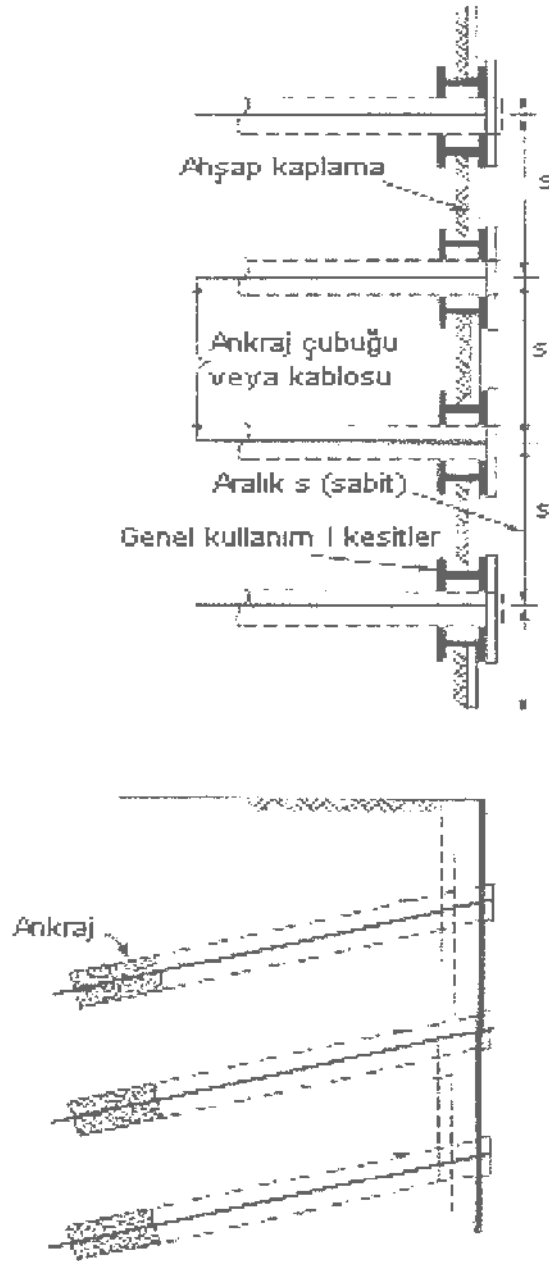
Şekil 2.1’de örnekleri verilen, yatay ve eğik desteklerin kullanıldığı destekli duvarlar, 1960’ların ortalarına kadar geniş ölçüde kullanılmıştır. Yatay ve eğik destekler kazı alanında hem çok fazla karışıklık yarattıklarından hem de masrafları ve kaza olasılıklarını arttırdıklarından, kentsel alanlardaki büyük kazılarda çok fazla kullanılmamaktadır [2].



Şekil 2.1. Destekli duvarlar



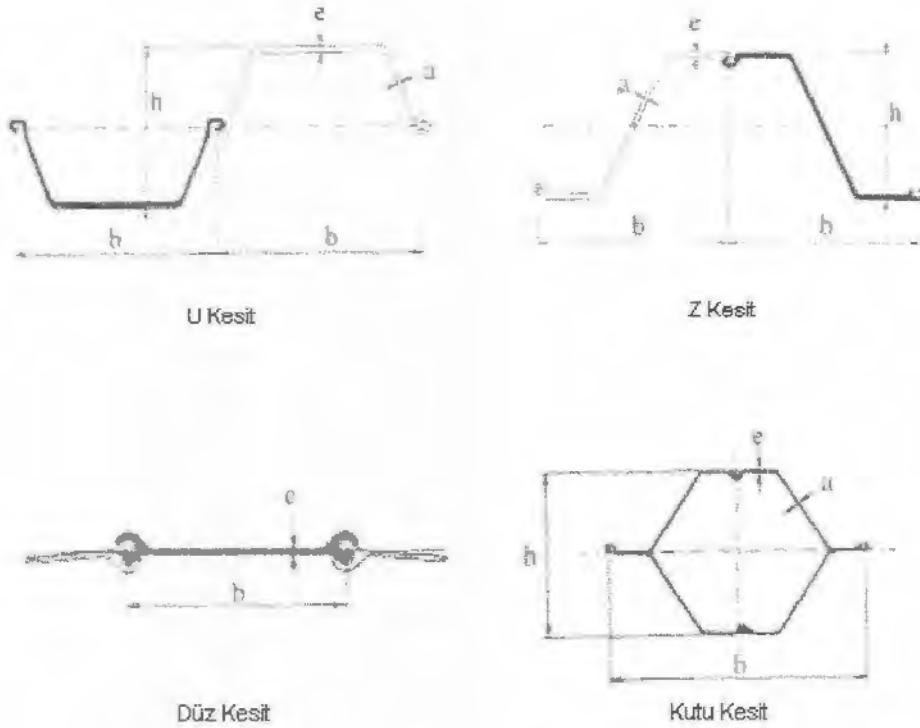
Asker kazık ve kaplama sisteminin kurulması ve kaldırılması kolaydır. Malzemeler birkaç defa kullanılabilirler. Dezavantajları ise, bitişik yapıların sahiplerinin ankrajların kendi sahalarına da taşacak şekilde kurulmasına izin vermemesi ya da ücret talep etmesi olasılığıdır. Çünkü ankrajlar kaldırılmamakta ve yer altında sürekli engeller oluşturmaktadır.



Şekil 2.3. Asker kazıklı ve kaplamalı duvar

### 2.1.2 Palplanj Duvarlar

Palplanjlar ince, geniş çelik kazıklardır. Zemine tokmaklar kullanılarak çakılırlar. Şekil 2.4'de görüldüğü gibi, çeşitli kesitlerdeki palplanjlar kazılarda kullanılabilirler. Palplanj duvarlar, zemine bir süreklilik içinde çakılmış ve birbirine bağlanan çelik kesitlerin oluşturduğu duvarlardır. Bu yapılar su geçirmez özellikte yapılabildiklerinden, liman uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Palplanjlar duvarlar ankastre, ankrajlı, destekli ya da bunların kombinasyonları özellikte olabilir. Ankastre duvarlar, büyük yer değiştirmeler oluşabilmesine istinaden 4.5 m. yükseklikle sınırlandırılmışlardır [4].



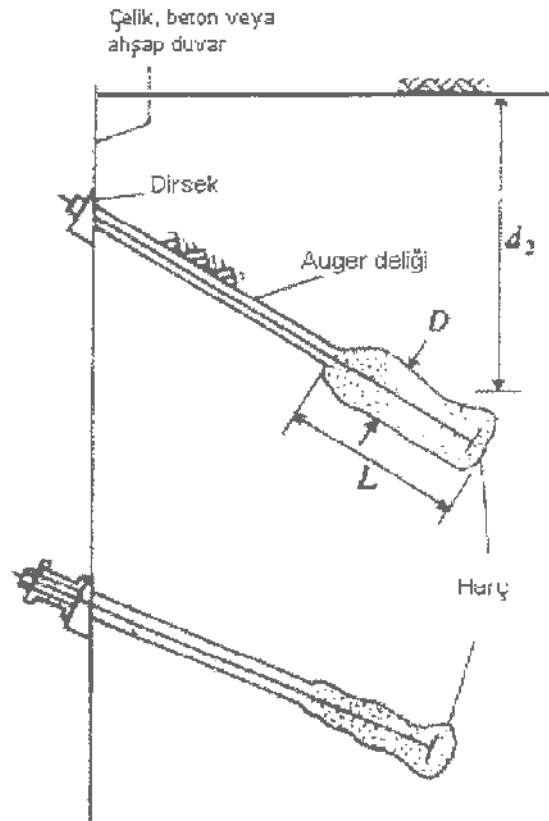
Şekil 2.4. Palplanj kesitleri

Palplanj duvarlar, birçok seviyede ankrajlarla desteklenerek kullanılabilirler. Bunlar ankrajlı palplanj duvar sistemleridir. Kurulmaları asker kazık ve kaplama sistemiyle benzerdir. Önce palplanj belirli derinliğe çakılmakta

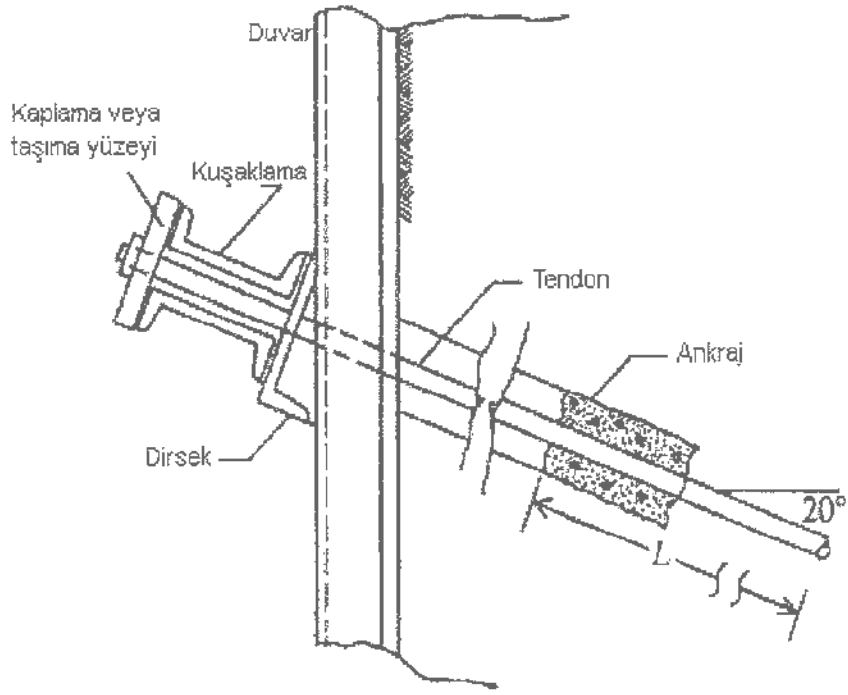
sonra da kuşaklamalar ve ankrajlar gerekli noktalara yerleştirilmektedir. Palplanjlı bir duvar örneği ve ankraj detayı Şekil 2.5 ve 2.6'da sunulmuştur [2,5].

Palplanjlar, ayrıca Şekil 2.7'de görüldüğü tek başlarına ya da desteklerle de kazılarda kullanılabilir. Ankastre palplanj duvarların inşa edilmesi kolaydır, çünkü bu tip duvarlar ne destekleme elemanı ne ankraj ne de başka bir yapısal eleman gerektirmemektedir.

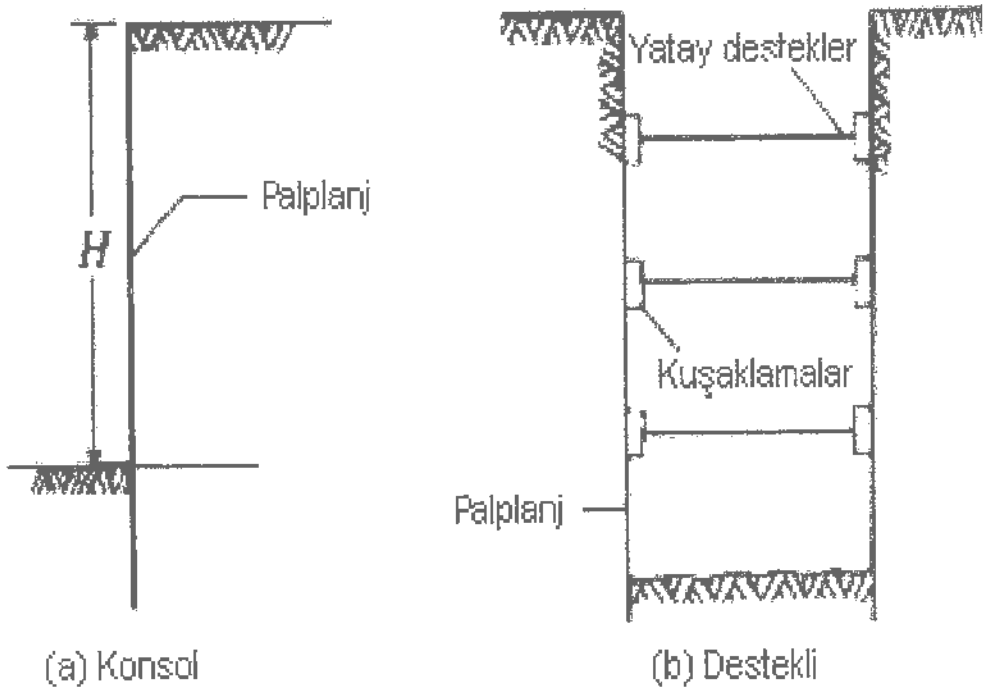
Kazı eğer hassas yapılara yakın yapıyorsa, hareketlerin kontrolü açısından genelde diyafram duvar veya kesişen kazıklı duvar tercih edilecektir. Yakınında hassas bir yerleşim bulunmayan, katı killerdeki kazılarda ise daha esnek olan palplanjlar tercih edilebilmektedir. Palplanjların inşa edilmesi yakındaki yapılarda, diyafram duvar ve kazıklı duvarlara göre çok daha az harekete sebep olmaktadır (belki de hiç harekete sebep olmayacaktır).



Şekil 2.5. Ankrajlı duvar



Şekil 2.6. Ankraj detayı



Şekil 2.7. Palplanj duvar çeşitleri



Palplanj duvarların da, asker kazık ve kaplama sistemleri gibi kurulması ve kaldırılması kolaydır. Malzemeleri birkaç defa kullanılabilir. Dezavantajları ise, bitişik yapıların sahiplerinin ankrajların kendi sahalarına da taşacak şekilde kurulmasına izin vermemesi ya da ücret talep etmesi olasılığıdır. Çünkü ankrajlar kaldırılmamakta ve yer altında sürekli engeller oluşturmaktadır.

### 2.1.3. Kazıklı Duvarlar

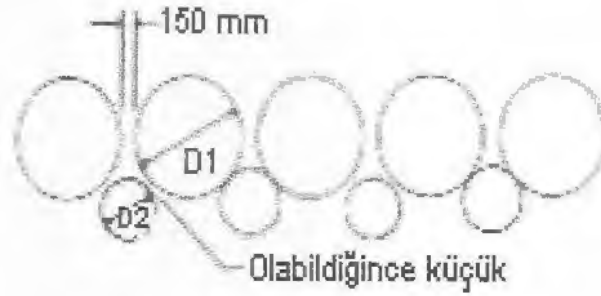
Kazıklı duvarların arkasındaki temel fikir şudur: Standart delme kazıklar yeterince yakın yerleştirilebilirlerse sağlam bir duvar oluşturacaktır. Kazık duvarlar ise genellikle şu durumlarda kullanılmaktadır:

- a. Asker kazıkların veya palplanjin çakılması çok zorsa,
- b. Hemen hemen su geçirmez bir duvar gereklyse (böylece inşaat çevresi dışındaki su seviyesi düşürülür),
- c. Dayanma duvarı yapısal sistemin kalıcı bir parçası olarak kullanılacaksa (bodrum duvarları gibi),
- d. Tüm saha alanını kullanmak gereklyse ve bitişik mülk sahipleri kendi yer altlarının ankrajların kurulması için kullanılmasına izin vermiyorsa ya da yer altında zaten hali hazırda mevcut engeller varsa ( tünel, bodrum duvarı gibi ).

Kazık duvarlar için, Şekil 2.9'dan de görülebileceği gibi birçok kazık duvar konfigürasyonu veya modifikasyonu bulunmaktadır. Duvarın geçirimsiz olması gerektiğinde- kazıkların birbirine bağlanması ile oluşan kesişen kazıklı duvar en uygundur. Kesişen kazıklı duvar için ilk önce, 1m. kalınlığında ve kazık çapından 400 - 600 mm. daha büyük değerdeki bir genişlikte beton yardımcı duvar yapılır. Bu yardımcı duvar tercihen, ilk kazıklar için önceden hazırlanmış koruyucu kılıfları da içeriyor olabilir. İlk (dışı) kazıklar için delme işlemini gerçekleştirilir. Bunun için kılıf da kullanılabilir fakat işlem bitince kılıflar geri

çekilmelidir. Delme işleminden sonra gerekli donatı yerleştirilir ve kazıklar hazırlanır. Sertleşmeden sonra, kesen kazıklar (erkek kazıklar) için delme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem esnasında, kesişme bölgelerinde, ilk kazıklara ait parçalar da ortadan kaldırılmış olur. Böylece iki kazık arasında Şekil 2.9-b'de görüldüğü gibi bir birleşim elde edilmiş olur. Erkek kazıklar da kılıf kullanılarak hazırlanabilir. Fakat bu sefer işlemler bittikten sonra bu kılıfların kaldırılması zorunluluğu yoktur. Kesişen kazıklı duvarlar aynı zamanda bir çimento bulamacı kullanılarak da inşa edilebilirler. Böylece kesen kazıklar için kesme işlemi de çok zor olmamış olur [2].

Ankrajlar kazık duvarlar için de kullanılabilirler. Eğer kazıklar oldukça yakın yatay kontak halindeler ise, ankrajlar için kuşaklama da gerekecektir. Kesişen tip kazıklar için ankraj deliği kazık içinden geçerek açılmaktadır. Fakat mümkün olursa, büyük çaplı plastik tüp parçaları kullanarak, baştan kazık içinde ankraj deliklerini bırakmak daha pratik bir yoldur. Ankrajlı bir kazık duvara ait kesitler Şekil 2.10'da verilmiştir [6].



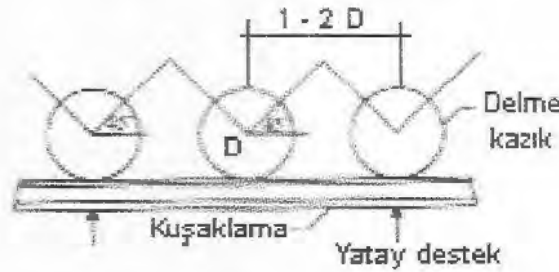
(a) İki sıra delme kazık kullanılması

Kesişen duvar inşaat sırası

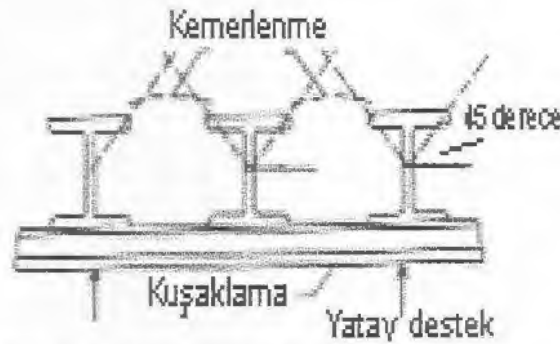
1. Yardımcı duvarın kurulması
2. Sondaj ve dişi kazıklar
3. Sondaj ve erkek kazıklar



(b) Kesişen kazık metodu

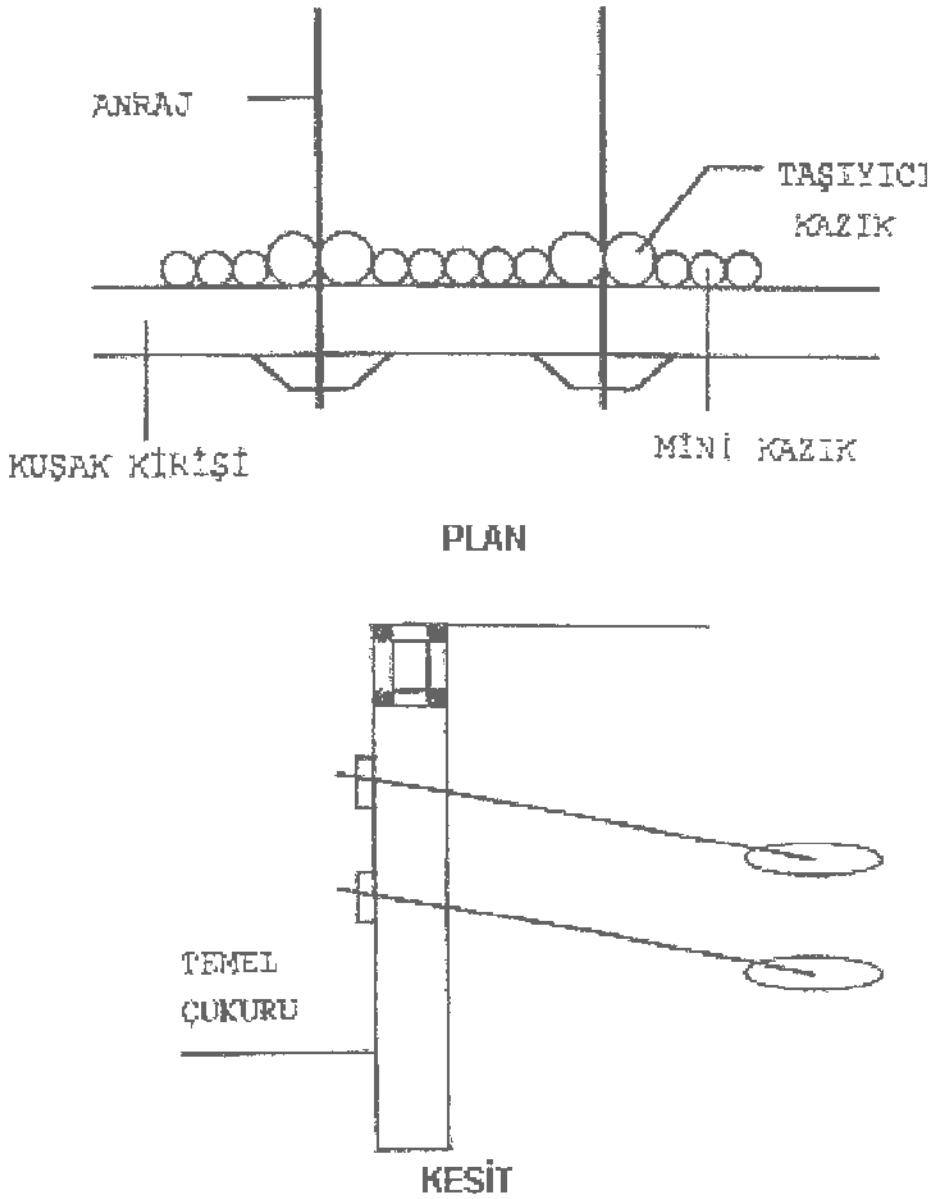


(c) Tek sıra yakın yerleştirilmiş kazıklar; kazıklar arasındaki kemerlenme etkisi zemini tutuyor



(d) Delme kazıklar yerine H kazıkların kullanılması

Şekil 2.9. Bazı kazık duvar konfigürasyonları

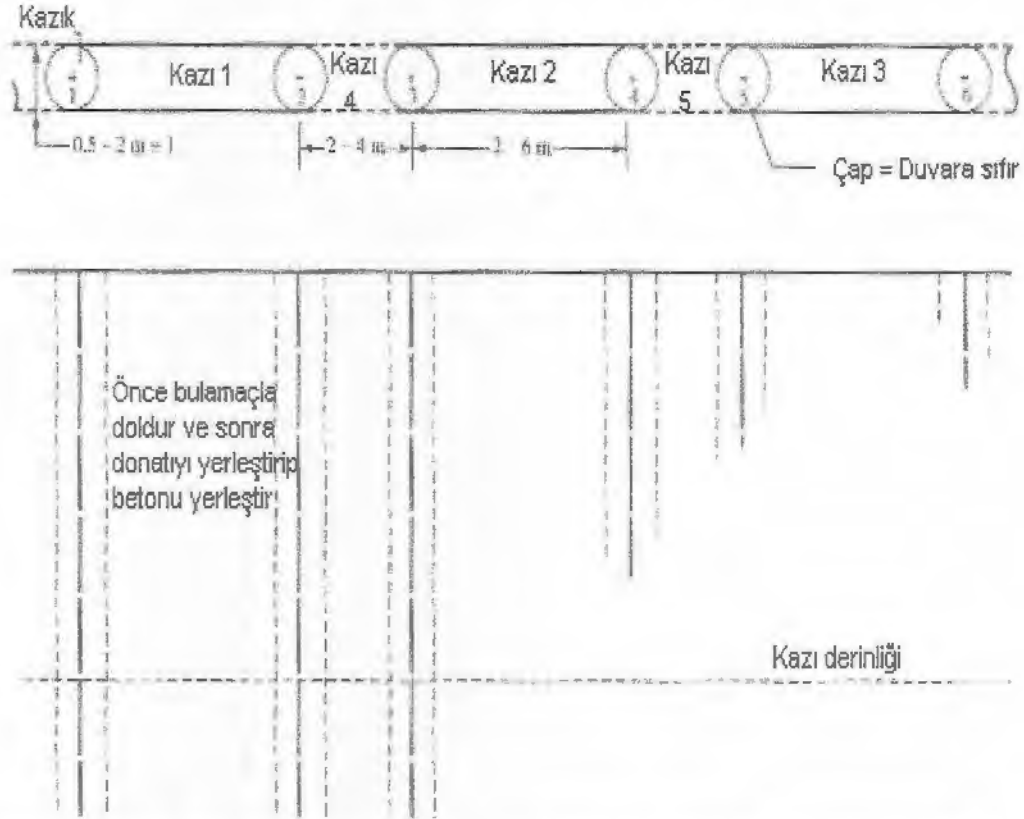


Şekil 2.10. Ankrajlı kazıklı duvar

#### 2.1.4. Diyafram - Bulamaç Duvarlar

Kazılarda, bir bulamaç kullanılarak inşa edilen duvarlar bulamaç duvar, diyafram-bulamaç duvar veya basitçe diyafram duvar olarak adlandırılırlar. Bulamaç duvarlar, bentonit bulamacı kullanılarak yerinde hazırlanan beton duvarlardır. Şekil 2.11, bir diyafram duvarın inşaat metodunu göstermektedir. Burada kazıklar belirli aralıklarla çakılmakta, ve değişik kesitler, kazıyı dolu

tutmak için bulamaç eklenerek, gerekli derinliğe ulaşıncaya kadar sırayla kazılmaktadır. Kazının kenarlarını göçmeden koruyabilmek için, üniform bir yoğunluk sağlamak için yeterli derecede çalkalanmış bir bulamaç ile dolu olmasının sağlanması gereklidir. Daha sonra donatı kafesleri yerine yerleştirilir ve kazı ,betonla (betonun kazının üstünden altına taşınmasına yardımcı olan bir boru yoluyla) yukarıdan aşağıya doldurulur. Betonla yer değiştiren bulamaç, duvarın bir sonraki bölümünde kullanılmak üzere bir bulamaç çukurunda toplanır. Boru kazıklar, ilk duvar bölümleri şekillendikten ve kısmen de kürünü aldıktan sonra geri çekilebileceği gibi yerinde de bırakılabilirler. Bu kazıkların amacı bölümler arasında süreklilik ve su geçirmez bir kesit sağlamaktır [2,7].



Duvar bölümlerini bağlamak için kazıkları çak. 1. , 2. ve mümkünse 3. kazı alanlarını kazıyı açık tutmak için bulamaç kullanarak kaz. Donatıyı yerleştir ve betonu kazı içine pompala. Böylece 1. , 2. ve mümkünse 3. alanlar için duvar inşa edilmiş olur. Daha sonra 4. ve mümkünse 5. kazı alanlarını bulamaç kullanarak kaz, donatılarını yerleştir ve betonu pompala. Böylece duvarın tamamı inşa edilmiş olur.

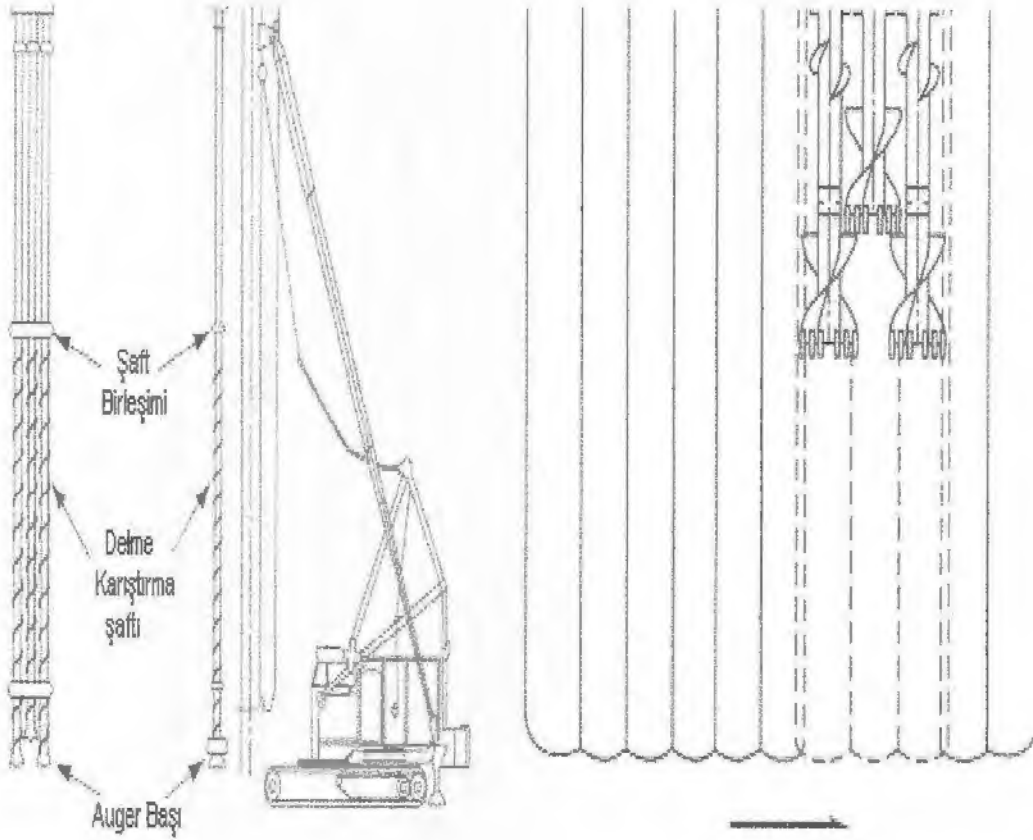
Şekil 2.11. Diyafram duvar inşaatı için bulamaç metodu

Bulamaç duvarlar kazıların desteklenmesi anlamında çok yönlü sistemlerdir. Çünkü her zemin için ve hemen hemen her derinlik için kullanılabilir. Ayrıca diğer sistemlerin sağladığı, su geçirmezlik, yük taşıma, kaplama gibi fonksiyonları da fazlasıyla sağlamaktadır. Bulamaç duvarlar ayrıca, saha şartlarına da şeklen uymada mükemmeldir. Örnek olarak bulamaç duvarlar, diyagonal veya kavisli kalıplarda inşa edilebilir. Böylece, inşaat sahasında hali hazırda mevcut olan bir yapı ile yan yana inşa edilebilirler. Bulamaç duvarlar yatay destekler veya yapıda kullanılacak diğer destek sistemleri gibi sahayı karmaşık bir hale getirmezler.

Bütün bunlara rağmen bulamaç duvarlar, inşası pahalı ve komplike yapılardır. İnşaat süreci çok maliyetli bir kazı ve pompalama ekipmanı gerektirmektedir. Bulamaç duvarlar sadece, suyun uzaklaştırılması şartsa ve başka bir çözüm makul değilse ekonomik olmaktadır.

Bulamaç duvarlar genelde ankastre sistemlerdir. Fakat, duvar derinliğinin, kazıkların yanıl basınçlara kendi kendine yeterli olamayacağı kadar büyük olduğu durumlarda, duvarlar yatay desteklerle veya arka bağlarla desteklenebilirler. Arka bağlar, beton içinden geçerek delme işleminin yapılmasını gerektirmektedir. Günümüz modern ekipmanlarıyla bunun donatıyla kesişmeden yapılması mümkündür. Bu tarz duvarlar, genellikle kalıcı yapının bir parçası olarak bırakılırlar.

Bu metot ve benzer duvar inşaat metotları, öncelikle Amerika'da olmak üzere sürekli bir gelişme içindedir. Şekil 2.12'de bulamaç-tip bir duvar üretmek için kullanılan daha yeni bir prosedür gösterilmiştir. Bu sistem, karıştırma küreklerine sahip üç tane delgi içermektedir. Burada bir zemin-çimento bulamacı (zemin türlerine göre farklı katkıları da ilave edilir) kullanılmakta ve zemin-çimento karışımı duvar (SMW) adı verilen duvar inşa edilmektedir. Eğer gerek duyulursa, geniş flanjlı kirişler de, henüz inşa edilmiş bir zemin karışımı duvarın içine donatı olarak konulabilmektedir. Duvar kesitleri, 1,8 m.'den 6 m. genişliğe ve 61 m. derinliğe kadar üretilebilmektedir [2,7].



Şekil 2.12. Zemin-çimento karışımı duvar (SMW) inşa etmek için yeni bir metot (SCC Teknoloji)

Bulamacın yönetimi, bulamaç tip duvarların inşasında en büyük sorunu oluşturmaktadır. Bulamaç kazının kenarlarından kolayca drene olamayacak kadar yeterli derecede akıcı olmalıdır. Bulamaç yoğunluğu seçkin katkı maddeleri kullanılarak ayarlanabilir.

Bulamaç duvarların maliyeti, palplanj duvarlara veya asker kazıklar ve kaplamalı sisteme göre yaklaşık iki kat daha pahalıdır. Bu sebepten, zemin kaybının sifıra yakın tutulması gerektiğinde ve duvarlar kalıcı yapının bir parçası olarak kullanılacaklarsa tercih edilmektedirler.

### 2.1.5. Yukarıdan Aşağıya İnşaat Yöntemi

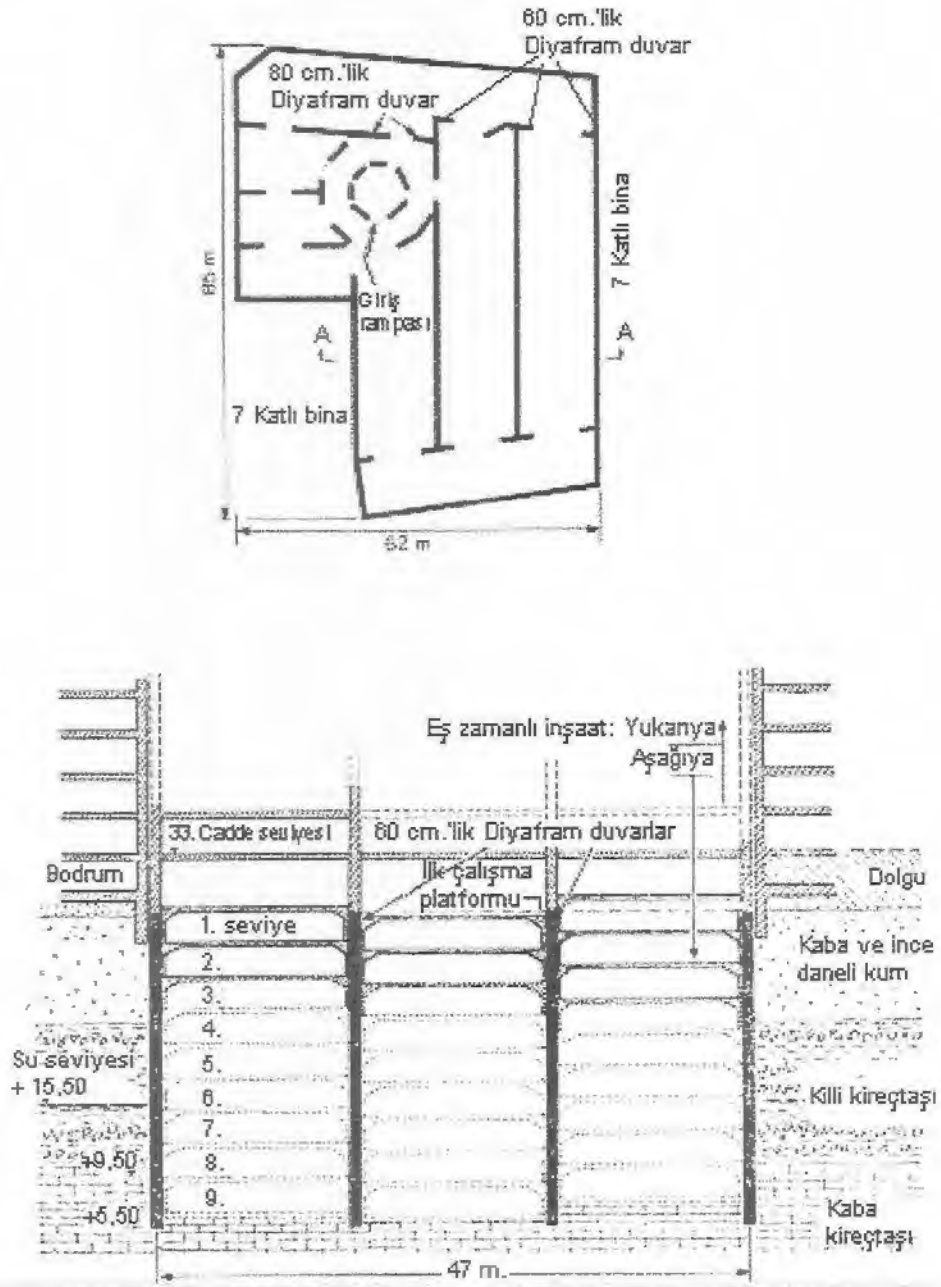
Bu süreçte amaç, binanın yeraltında kalacak kısmının tamamını veya bir bölümünü, aşağıdan yukarıya değil de yukarıdan aşağıya inşa etmektir. Bu metot, derin kazılarda yatay destekleri, ankrajları ve diğer destek elemanlarını elimine etmesi açısından bir avantaj sağlamaktadır. Yukarıdan-aşağıya inşaat yönteminde, diyafram duvarlar, bitişik kazıklı veya kesişen kazıklı duvarlar gibi rijit duvarlar kullanılmaktadır.

İnşaat sürecinde ilk aşama, kat tabakaları, kirişler vb. elemanlarla bağlantıyı sağlayacak detayları da içeren bir kalıcı çevre diyafram duvarının inşa edilmesidir. Daha sonra da önceden belirlenmiş iç kolonlar zemin yüzeyinden inşa edilmektedir. Duvarlardan sonra ilk olarak en üst kat tabakası inşa edilir. Bu tabaka duvarlara zemin yüzeyi seviyesinde yanal destek sağlamış olur. Kazı bu tabaka altında ilk bodrum seviyesine kadar gerçekleştirilir ve ikinci kat tabakası yerleştirilir. Bu süreç kalan katlar için de tekrar edilir.

Bu sistemin en büyük dezavantajı, geleneksel kazıların hızına ve özgürlüğüne göre kıyaslandığında toprağın taşınmasının zorluğudur. Geleneksel kazılara göre kazı ve toprağın taşınması işlemleri daha yavaş ve daha pahalıdır. Ancak binanın tainanının inşası açısından bakıldığında, yukarıdan-aşağıya inşa metodu geleneksel destekli kazı metotlarına kıyasla önemli derecede daha kısa bir inşa süreci sağlamaktadır. Diğer bir yandan, örneğin bir cadde altında kazı gerçekleştiriyorsa, bu yöntemle geçici destekleme maliyetleri tasarruf edilmekte ve cadde aktiviteleri, geleneksel kazı yöntemlerine göre çok daha kısa bir sürede yeniden eski haline getirilebilmektedir. Kazı bir bina altında gerçekleştirilecekse, bu metot zemin yüzeyinden aynı anda hem aşağıya hem de yukarıya inşa işleminin gerçekleştirilmesine imkan vermektedir.

Yukarıdan-aşağıya inşa metoduna örnek olarak Şekil 2.13'deki yeraltı parkı projesi verilmiştir. İnşa süreci önemli bir zaman kazancı sağladığı gibi,

parkın üst katları, alt katların kazısı tamamlanmadan hizmete açıldığından önemli maddi kazançlar da sağlamıştır [7].



Şekil 2.13. Yukarıdan-aşağıya inşaat metoduna bir örnek

## 2.1.6. Kazıların Desteklenmesinde Yeni Yöntemler

### 2.1.6.1. Zemin Çivilemesi

Son yirmi yılda en dikkat çekici akımlardan birisi de, kazıların desteklenmesi için zemin çivileme yönteminin kullanılmasıdır. Zemin çivilemesi ve diğer yöntemler arasındaki en önemli fark, zemin çivileme yönteminde, kazı yüzeylerinin stabilizasyonunun, zeminin yerinde donatılandırılmasıyla gerçekleştiriliyor olmasıdır. Zemin çivileme yöntemi, zeminin içerisine, özellikle de çökme potansiyeli bulunan kütle boyunca donatılar yerleştirilerek zemini stabilize etme yöntemidir. Zemin çivileme yöntemi gerçekte, zemin kütlelerinin toplam kesme mukavemetini artırmakta ve zeminin hareketlerini dizginlemektedir. Bu da çekmeye çalışan elemanların, zemin içerisine çakılması ya da sondajla zemin içerisine harçlanması yoluyla gerçekleşmektedir. Kullanılan çiviler, genellikle 15 – 46 mm. arasında çapa sahip çelik çubuklar ya da barlardır. Kullanılan çivin çeliği yumuşak özellikte ya da yüksek dayanımlı olabilmektedir. Bu yolla 30 m. derinliğe kadar duvarlar inşa edilmektedir. Bu yöntem mevcut yapıların onarımı ya da yeniden inşası için de kullanılabilir.

Bu tür yapılarda kullanılan çivileri dört gruba ayırabiliriz:

- Çakma Çiviler: Çelik çubuklar ya da barlar zemin içerisine özel hidrolik sistemlerle çakılmaktadır. Çok basit, çabuk (saatte 3-5 çivi) ve ekonomik bir yöntemdir. 1 m<sup>2</sup> için 2 - 4 civarında çivi kullanılmaktadır. Bu yöntem, Şekil 2.14'de örneği verildiği gibi bitişik kazıklı duvarlar için de kullanılabilir.

- Enjeksiyonlu Çiviler: Çeşitli sondaj yöntemleriyle ya da çakma kılıfıyla çiviler zemine yerleştirilir ve deliğin aşağısından yukarısına doğru düşük basınçla ya da yerçekimi kullanılarak enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Sondaj deklilikleri 9-30 cm. arasındaki çaplarda değişebilmektedir.

- Jet Enjeksiyonlu Çiviler: Çiviler çakılarak zemine yerleştirilir ve çok yüksek basınçlarda (<2000 psi) enjeksiyon gerçekleştirilir. Bu yöntemde enjeksiyon çivi içerisinde ya da ince bir çelik tüp içerisinde gerçekleştirilebilir.

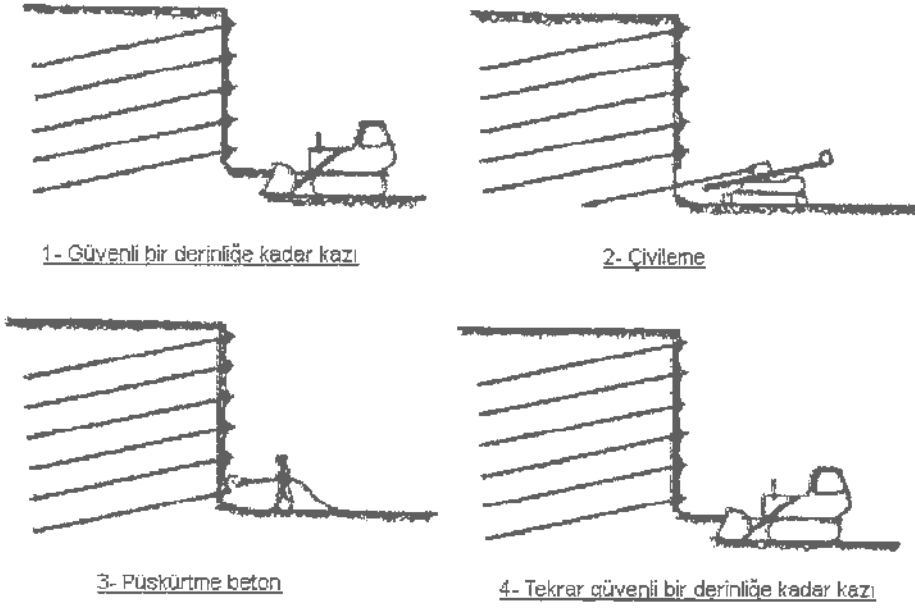
- Kapsüllenmiş Korozyon Korunmalı Çiviler: Kapsülleme, çivinin plastik bir tüp içerisine konulup boşlukların, sondaj deliğindeki enjeksiyona uygun bir enjeksiyonla doldurulması şeklinde gerçekleştirilebilir. Çivi korozyona karşı korunmuş olacaktır.

Zemin çivileme yöntemi için inşaa süreci Şekil 2.14'de verilmiştir. Bu süreç, yukarıdan aşağıya, belirli bir derinliğe kadar kazı yapılması, çivilerin kurulması ve yüzey kaplamasının uygulanması adımlarının istenilen derinliğe inilinceye kadar tekrarlanması içermektedir. Tabi ki yeraltı su seviyesinin varlığı ve komplike tekniklerin kullanılması bu sürece birçok adım ekleyecektir. Zemin çivileri kurulmadan önce yapılacak kazıların derinliği, zemin kütlelerinin özelliklerine bağlıdır. Bazı kohezyonlu ve kaya zeminlerde kazılar üçer metrelik tabakalar halinde yapılabilmektedir. Daha az stabil zeminlerde ise kazılar 1.5 m. derinliğe kadar yapılmaktadır. Stabilesi çok düşük zeminlerde, çiviler kurulmadan önce püskürtme beton uygulaması gerekebilmektedir [8].

Zemin çivilemesinde kullanılan yüzey kaplama yöntemleri de şunlardır:

- Kaynaklı Tel Ağı: Kaynaklarla birleştirilmiş tellerin oluşturduğu bir ağı kullanılmasıdır.

- Püskürtme Beton: Püskürtme beton zemin yüzeyine özel bir ekipman kullanılarak uygulanır. Kalıcı yapılarda, her zaman bir tel ağı ya da donatı kafesiyle birlikte kullanılırlar.



Şekil 2.14. Zemin çivilemesi inşa süreci

- **Yerinde Hazırlanan Kaplama:** Yerinde dökme donatılı beton kaplamalar günümüzde en çok kullanılan kalıcı yapılardır. Buna karşılık kalıcı yapılar için prefabrike beton veya çelik paneller de geliştirilmiştir [8].

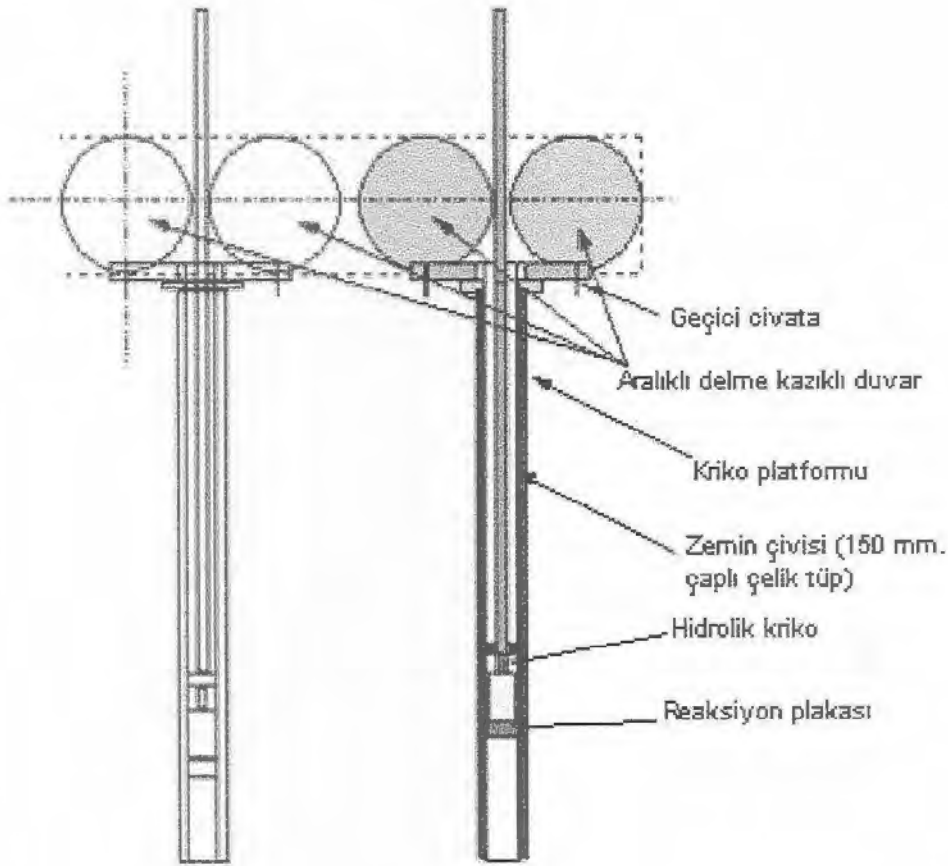
Şekil 2.15 ve 2.16'da zemin çivileriyle desteklenmiş bir delme kazıklı duvara ait kesitler verilmiştir. Bu sistemde, çeşitli özelliklerde olabilen zemin çivileri (bu örnekte 150 mm. çaplı içi boş çelik tüp kullanılmıştır) özel bir yükleme sistemi sayesinde kazıklar arasından zemine ankre edilmektedir. Çiviler arasında kuşaklama sistemi de kullanılmaktadır. Resim 2.1'den sistemin kesit detayı ve zemin çivilerinin zemine yerleştirilmesi aktiviteleri görülmektedir [9].

Zemin çivilemesi yönteminin avantajları şunlardır:

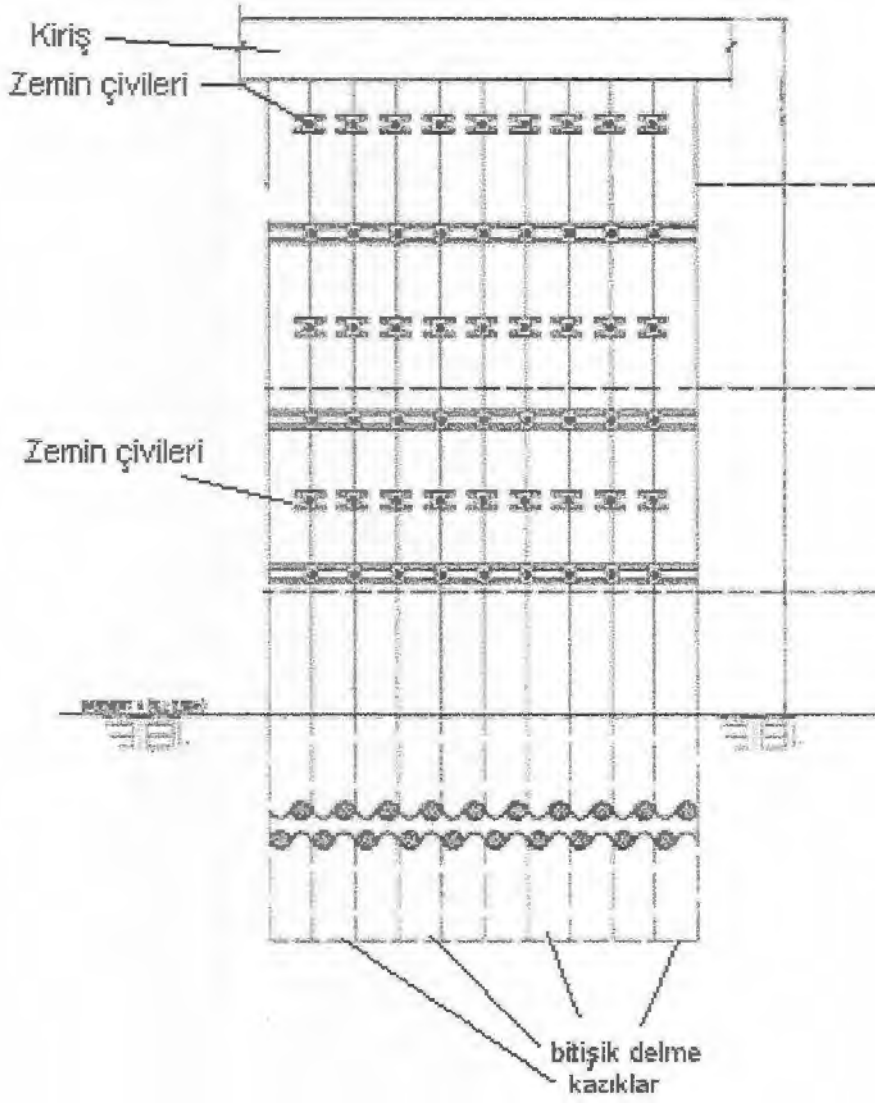
1. Sadece hafif ekipman gerektirir.
2. Çivi çapları küçük olduğundan kaya içerisine çok daha kolay yerleştirilebilir.

3. Sistem esnektir ve belirli yer hareketlerine direnebilmektedir. Yüzey deplasmanlarının kontrolüne de imkan vermektedir.

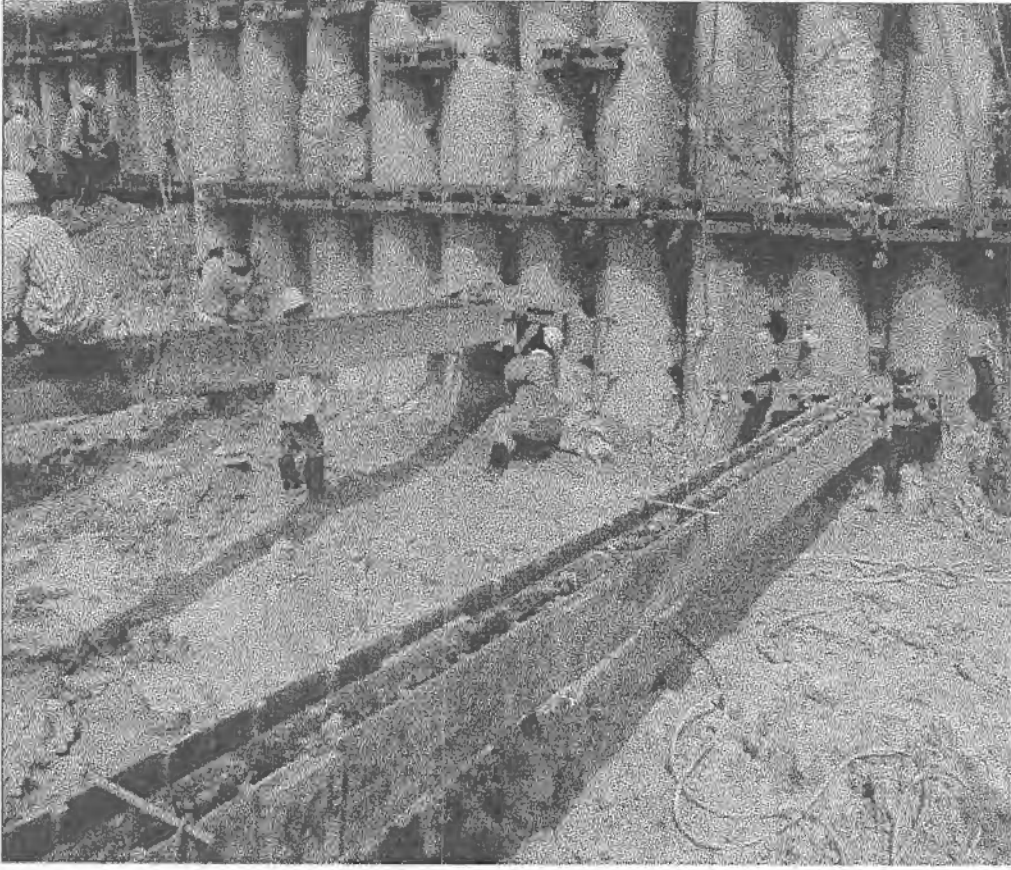
4. Özel çivilerin sayısı çok olduğundan, bir ikisinin çökmesi kritik değildir.



Şekil 2.15. Zemin çivileri



Şekil 2.16. Sisteme ait bir başka kesit



Resim 2.1. Zemin çivileriyle desteklenmiş delme kazıklı duvar

### 2.1.6.2. Zemin Enjeksiyonu

Zemin enjeksiyonu da, kazıların desteklenmesinde zemin çivilemesi gibi çabuk uygulanabilen metottur. Zemin kütlelerini stabilize etmek için kullanılan yüksek mukavemetli enjeksiyon için birçok çeşit bulunmaktadır. Bunlardan bazıları çimento enjeksiyonu, sıkıştırma enjeksiyonu, kimyasal enjeksiyon ve harç enjeksiyonudur. Harç enjeksiyonu en çok kullanılan metottur. Bu metot zeminin yerinden çıkarılmasını ve katı, geçirimsiz kolonlar oluşturulmasını sağlamaktadır. Diğer metotlar genelde, temel takviyesi ve temel iyileştirmesi için kullanılmaktadır.

### 2.1.6.3. Zemin Dondurma Yöntemi

Zemin dondurma yöntemi de çok yeni bir tekniktir. Soğutma borularının, zemini katı, stabil bir kütle olarak dondurması yoluyla gerçekleştirilir. Soğuk iklimlerde veya durumlarda kısa-dönemli bir kazı desteklenecekse bu yöntem uygulanabilir bir yöntemdir. Zemin dondurma yöntemini diğer iki yararı da, yeraltı suyu akışını durdurması ve zemin içerisinde toksik atık hareketini kesmesidir.

Kazılar için geleneksel duvar tasarımı metodu şu temel adımları içermektedir:

1. Mevcut sınırların kaba taslak çıkarılması ve bilinen her şeyin (zemin verileri, tabakalaşma, su seviyesi gibi) belirtilmesi.

2. Yanal basınç diyagramlarının Peck metodu, Tschebotarioff metodu veya bu gibi metotlarla, zemin verilerinin kalitesine bağlı olarak hesaplanması.

3. Duvarın, kuşaklamanın, yatay desteklerin veya ankrajların tasarımı.

Duvarın yanıl hareketi zeminin düşey oturmasıyla ilişkili olduğundan, sağlanması gereken şartlar şunlardır:

1. Duvar, kazının kenarlarına tam değecek bir şekilde uygun olarak hazırlanmalıdır. Bu kriter, özellikle, asker kazık ve kaplama kullanıldığında ya da duvar biraz kazı yapıldıktan sonra toprak yüzüne yerleştirilecekse kritik bir hal almaktadır.

2. Yatay destekler, eğik destekler veya ankrajlar çok sınırlı bir yanıl,

yer değiştirmeye izin vermelidir. Bu elemanların hepsi AE/L değerine sahip elamanlardır. Dolayısıyla bunların duvar yükünden dolayı uzaması ya da sıkışması sebebiyle, kazıya doğru bazı hareketler oluşabilecekdir.

3. Yatay destekler dik olarak yerleştirilmelidir. Böylece duvarların kazıya doğru büyük miktarlarda şişme yapması engellenmiş olur.

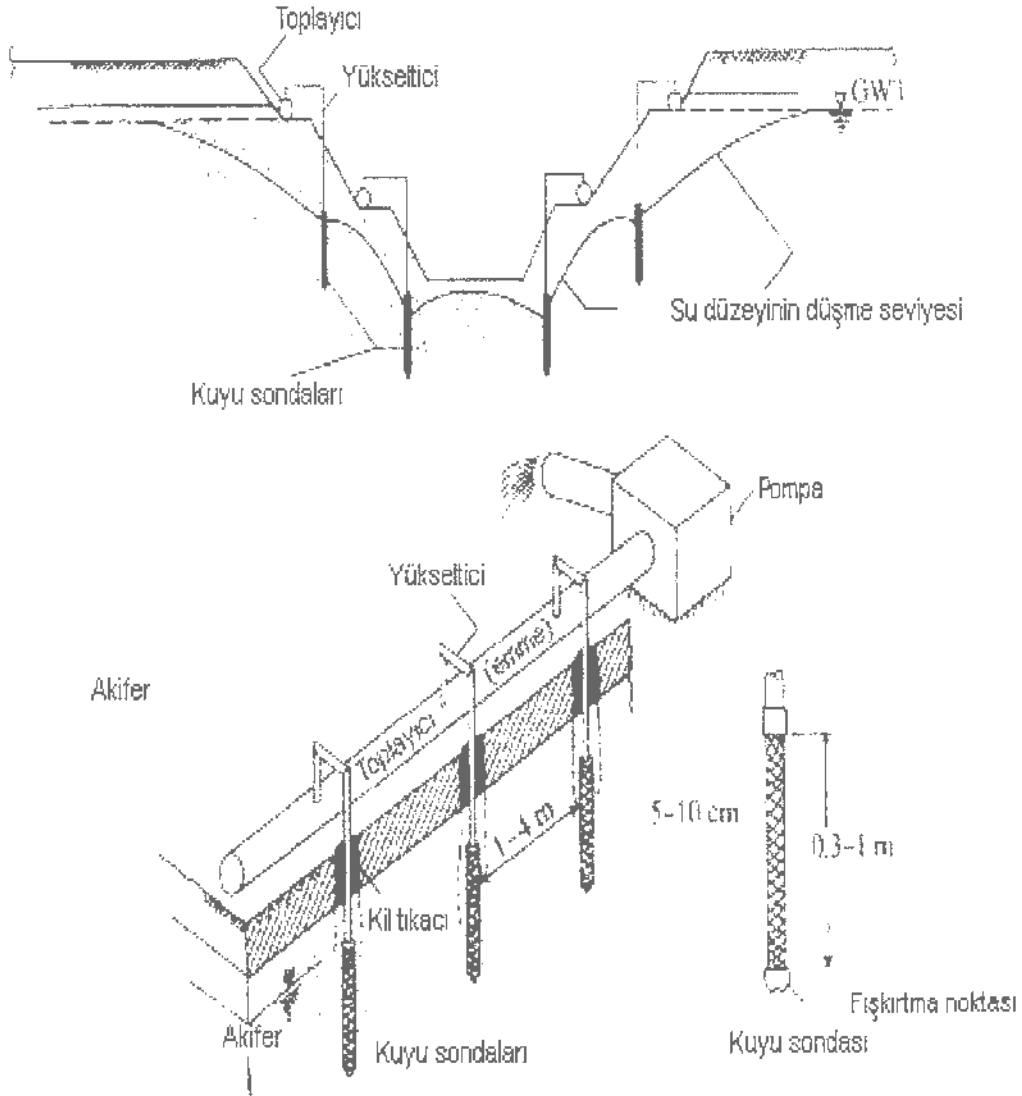
4. Yatay destekler, eğik destekler ve ankrajlar destek sisteminin inşası esnasında ön gerilmeye tabi tutulabilirler. Bu işlem yapılırken, yapıya kriko ve/veya kama ilave edilmesi gerekecektir. İnşaat esnasında gerekli ön gerilmenin sağlanabilmesi için, kriko ve/veya kama sistemi genellikle periyodik ayarlamalar gerektirmektedir.

## 2.2. Temel Takviyesi ve Suyun Uzaklaştırılması

Temel takviyesi ve suyun uzaklaştırılması, kazı destek tasarımı sürecini etkileyen iki ilave etkidir. Temel takviyesi, kazı çok yakın bir yapı yakınında gerçekleştiriliyorsa önemli olmaktadır. Kentsel çevrelerde, temel takviyesi, yapılacak kazıdan yakındaki yapıların zarar görmesini engellemek için, yakındaki temellerin stabilizasyonunu içermektedir. Temel mantık olarak temel takviyesi, temele ekstra destek vermek için temel altına veya yanına yapısal birimlerin ilave dilmesidir. Bulamaç duvarlar ve kesifen, teğet veya birbirine yakın kazıklı duvarlar bu takviyeyi zaten bir ölçüde kendiliklerinden sağlamaktadırlar. Temel takviyesi için çimento enjeksiyonu, sıkıştırma enjeksiyonu, kimyasal enjeksiyon ve harç enjeksiyonu gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Suyun uzaklaştırılması, kazı yeraltı suyu seviyesinin altında gerçekleştirilecekse önem kazanmaktadır. Yer altı suyu için iki temel çözüm bulunmaktadır. Birinci çözüm, su geçirmez bir destek sistemini sečilmesidir. İkincisi ise, geçici veya kalıcı olarak su seviyesini değiştirmektir. Bunu gerçekleştirmenin genel bir yolu, bir kuyu sonda sistemi (well point) kullanmaktır. Kuyu sondaları, kazı çevresinde bulunan kuyular ve pompalardan oluşan ve suyu

çalışma sahasından uzağa atan bir sistemdir. Böyle bir sisteme örnek Şekil 2.17’de verilmiştir. Sistem, görüldüğü gibi birbirine yakın kuyu sondalarından oluşmaktadır. Böyle bir sistem için suyun yükseltme yüksekliği 6 m. ile sınırlandırılmalıdır [2].



Şekil 2.17. Suyun uzaklaştırılması için kuyu sondalarının kullanılması

### **3. DERİN KAZI DESTEKLEME SİSTEMLERİNİN PERFORMANSI ÜZERİNE YAYINLANMIŞ VERİLERİN ANALİZİ VE GÖZDEN GEÇİRİLMESİ**

#### **3.1. Giriş**

Peck'in 1969 yılında, 7. uluslararası zemin mekaniği ve temel mühendisliği konferansında sunduğu rapor, zeminlerde derin kazılar için yapılan ilk ayrıntılı incelemedir ve aynı zamanda da bir derin kazı destekleme sisteminin performansını kontrol eden faktörlerin anlaşılmasında da dönüm noktası olmuştur. Peck'in çalışmasından bu yana, 29 yıl süresince derin kazılar üzerine birçok çalışma yayınlanmıştır. Kütüphaneler ve elektronik veri tabanları gibi kaynaklar taranarak derin kazılar konusunda bir ön araştırma yapılmış ve buralardan elde edilen verilerin bazıları burada sunulmuştur.

#### **3.2. Geçmişte Yapılan İncelemeler**

Bu çalışma sırasında kazılar ve performansları hakkında 5 önemli inceleme veya yayın bulunmuştur. Bunlar Peck (1969), Lambe (1970), Goldberg ve arkadaşları (1976), O'Rourke (1981) ve Clough ve O'Rourke (1990) tarafından gerçekleştirilenlerdir.

Peck'in dönüm noktası niteliğindeki yayınından bu yana, 30 sene içinde, derin kazılardaki gelişme ve teknoloji, ulaşılan inşaat kalitesine, mevcut saha

performans datalarının artışına ve gerçekleştirilen analizlerin gelişmesine bağlı olarak önemli derecede ilerlemiştir. Bu değerlendirme literatür çalışmasında açıkça yansıtılmıştır.

Belki de derin kazılar üzerine en iyi bilinen ve en çok başvurulan araştırma, Peck'in 1969'da derin kazılar ve tüneller üzerine yaptığıdır. Peck, derin kazıları, yatay desteğe ihtiyacı olan düşey kenarları olan kazılar olarak değerlendirmiştir. Derin kazıların tasarımı için, Peck tarafından ele alınan ve tartışılan ana konular yanal hareketler, kazı civarındaki zemin oturmaları, kabarma, kazı civarındaki oturmaların azaltılması ve zemin basınç diyagramları olmuştur. Peck'in çalışmasındaki gözlemler kişisel deneyimine ve saha çalışmalarından elde ettiği bilgiye dayanıyordu. Peck'in derin kazılarla ilgili çalışmasında üç ana tema bulunmaktadır. Bunlardan birincisi zemin tipinin önemi ve derin kazıların performansındaki özellikleri, ikincisi kazının derinliğinin önemi ve üçüncüsü de hareketleri kontrol etmede Peck'in deyişiyle " işçiliğin " önemidir. Burada işçilik desteklerin çabuk kurulumu gibi faktörleri içermektedir [10].

Lambe'nin 1970'de destekli kazılar üzerine yaptığı çalışma, derin kazıların ve bunların destek sistemlerinin analizi ve tasarımına odaklanmıştır. Lambe derin kazı mühendisliğini ve kazıdan dolayı meydana gelen zemin hareketlerini etkileyen faktörleri incelemiştir. Lambe çalışmasında, Boston'da metro için yapılan üç kazı vakasını ele almış ve mevcut yöntemlerle kazıların tasarım ve analizini gerçekleştirmiş, sonra da tahminleri ölçümlerle karşılaştırmıştır. Lambe, destek sisteminin yüklerinin ve zemin hareketlerinin güvenli derecede tahmin edilemediğini görmüş ve destekli kazıların tasarım ve analizindeki gelişme seviyesinin tatmin edici olmaktan uzak olduğu neticesine varmıştır. Lambe aynı zamanda, sonlu elemanlar metodunun ve yayınlanan vaka analizlerinden elde edilen deneyimlerin, derin kazıların performansının daha iyi anlaşılmasında kullanılabilecek en iyi iki yol olduğunu ileri sürmüştür [10].

Goldberg ve arkadaşları 1976 yılında , yatay destek sistemleri için tasarım tavsiyeleri, tasarım kıyaslamaları ve inşaat teknikleri üzerine üç ciltlik bir rapor yazmışlardır. Rapor, 1976 'daki mevcut uygulamaların durumu hakkında bilgi veren kapsamlı bir kaynaktır. Yazarlar, maksimum yanal hareketlerinin, maksimum zemin oturmalarının ve kazıya bitişik yer yüzeyinin oturma profilinin şeklinin tahmin edilebilmesine temel oluşturması amacıyla 63 tane vakanın performansından ve ölçümlerinden elde edilen bilgiyi kullanmışlardır. Böylece yazarlar oturma profilini ve deformasyon değerlerini, kazı derinliği ve zemin tipiyle ilişkilendirmişlerdir [10].

O'Rourke destekli kazılar ve bununla ilişkili inşaat aktiviteleri nedeniyle oluşan zemin hareketlerini incelemiştir. Şantiyenin hazırlanması için yapılan aktivitelerin zemin hareketlerindeki öneminin altını çizmiştir. Zemin hareketine sebep olabilecek şantiye hazırlık aktivitelerinden birkaçını, suyun uzaklaştırılması, destek duvarı inşası, derin temel yapılması, altyapının desteklenmesi ve yer değiştirmesi amacıyla yapılan faaliyetler olarak sıralamıştır. Aynı zamanda, 7 vakadan elde ettiği performans datalarını inceleyerek, kazı destek duvarının eğilmesi ile zemin yüzeyinin yanal hareketlerinin dikey hareketlerine oranı arasındaki ilişki üzerinde çalışmıştır. O'Rourke destek rijitliğinin, desteklerin ön gerilmesinin ve desteklerin yerleştirilme zamanlamasının etkileri hakkında da sonuçlar ileri sürmüştür [11].

Clough ve O'Rourke, vaka analizlerinden ve geçmiş çalışmalardan elde edilen bilgileri gözden geçirmek yoluyla derin kazıların sebep olduğu hareketler üzerine çalışmışlardır. Bu hareketleri iki gruba ayırmışlardır. Bunlardan birisi kazı ve destekleme sürecinin yol açtığı hareketler ve diğeri de yardımcı inşaat aktiviteleridir. Kazıların yakınındaki zemin oturma profillerinin ve maksimum duvar yer değiştirmelerinin tahmin edilmesine yardımcı olmak amacıyla, geçmiş vakalardan elde edilen hareket ve yer değiştirme bilgilerini özetlemişlerdir. Derin kazılardan dolayı oluşacak hareketlerin, eğer harekete neden olan önemli, kayda

değer kuvvetler göz önüne alınırsa, makul sınırlar içinde tahmin edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır [12].

### 3.2.1. Derin Kazıların Geçmişteki İncelemelerinden Çıkarılan Dersler

Peck (1969), Lambe (1970), Goldberg ve arkadaşları (1976), O'Rourke (1981) ve Clough ve O'Rourke, geoteknik mühendisliğinin derin kazıları anlaması yolunda önemli katkılar yapmışlardır. Bu çalışmalardan çıkarılan, kazı performansında etkili bazı faktörler aşağıda verilmiştir.

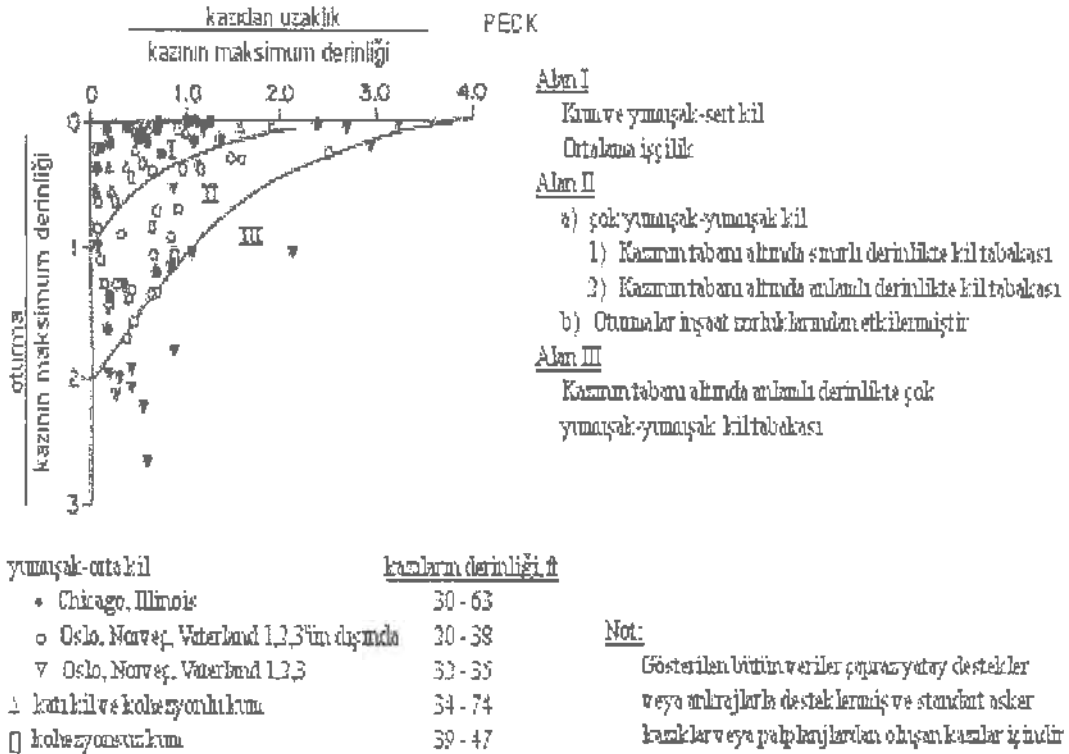
#### 3.2.1.1. Zemin Tipi

Bütün geçmiş çalışmalar, derin kazıların performansında zemin tipinin bir anahtar faktör olduğunu göstermiştir. Derin kazıların performansı, zemin ve destek sistemi arasındaki etkileşim yoluyla şekillendiği için zemin tipi önemlidir.

Peck (1969), kazılara bitişik zeminlerin oturmaları üzerine vaka örneklerinden elde ettiği bilgileri özetlemiş ve derin kazıların yakınındaki oturmaların zemin tipiyle ilişkili olduğunu göstermiştir. Peck'in bu çalışmalardan elde ettiği grafik Şekil 3.1'de sunulmuştur. Şekilden de görülebileceği gibi, Peck zemin şartlarını ve işçiliği esas alarak, üç farklı oturma profili zonu ileri sürmüştür [13].

Goldberg ve arkadaşları (1976) vaka örneklerinden elde ettikleri duvar hareketleri bilgilerini özetlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, kumda, çakılda veya çok katı-sert kilde yapılan kazılarda, duvar hareketlerinin genellikle kazı derinliğinin % 0.4 'ünden daha az olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda sonuçlar, yumuşak zeminlerde duvar hareketlerinin kazı derinliğinin ortalama % 1'i civarında olduğunu göstermiştir.

Goldberg ve arkadaşları (1976) ve Clough ve O'Rourke (1990), kazı yakınındaki oturma modellerinin zemin tipinden etkilendiğini göstermişlerdir. Şekil 3.2'de, kazı yakınlarında, kazı ve destekleme aktivitelerinden dolayı oluşan oturma modellerinin hesaplanabilmesi için, Clough ve O'Rourke tarafından önerilen, normalleştirilmiş oturma zarfları görülmektedir.

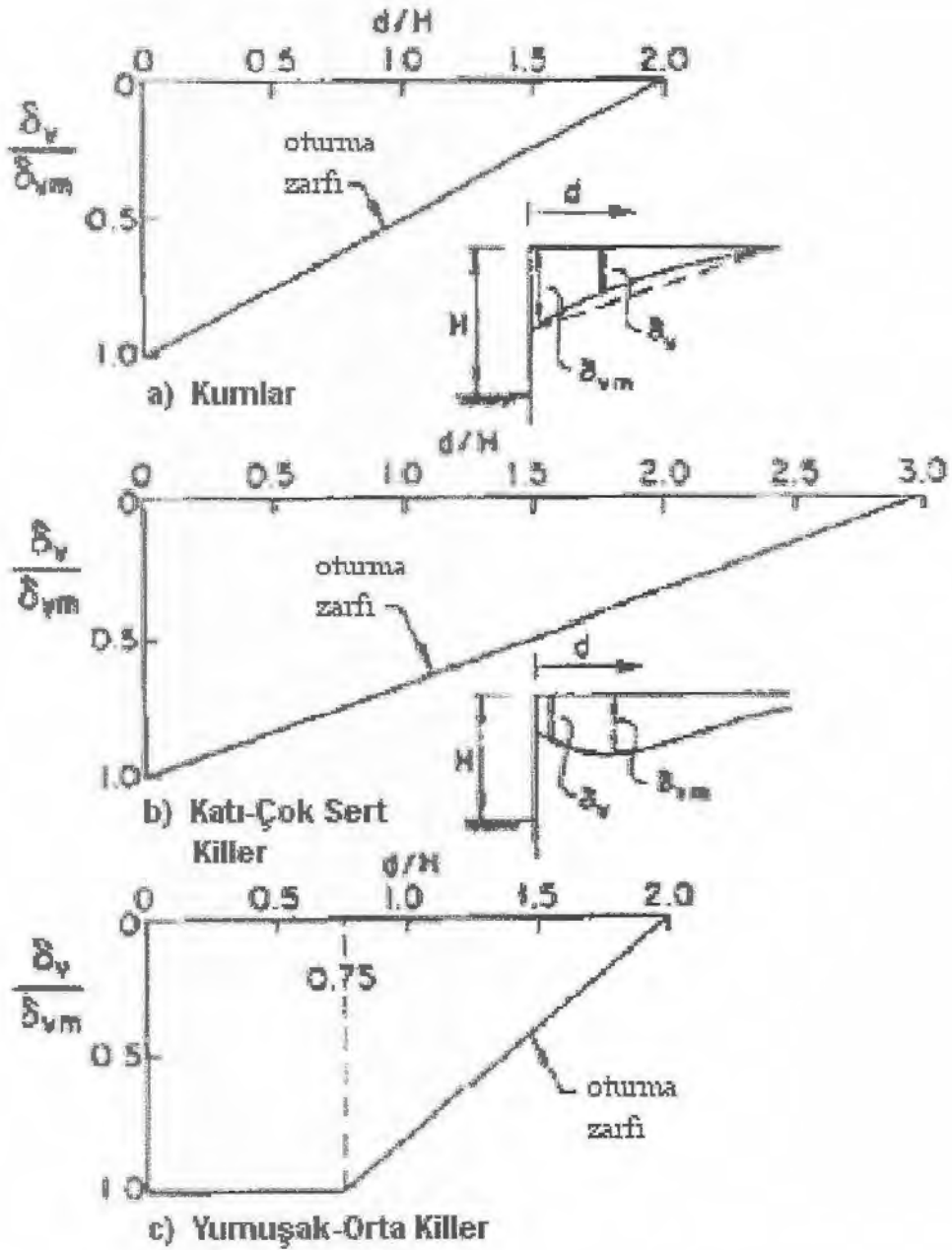


Şekil 3.1. Çeşitli zeminlerde, oturmaların kazıya uzaklığa göre değişimi

### 3.2.1.2. Destek Sisteminin Çabuk Kurulması

Geçmişteki çalışmalardan öğrenilen bir başka ders de, duvar hareketlerini minimize etmek için destek sistemlerinin çabuk yerleştirilmesinin önemidir. Duvar hareketleri, desteklerin yerleştirilmesinin gecikmesi esnasında iki nedenden dolayı artabilir. Birisi zamana bağımlı deformasyondur. Zamana bağımlı deformasyon, zeminlerin konsolidasyonu, zemin sünmesi veya yapısal üyelerin sünmesi sonucu oluşabilir. İkinci sebep de aşırı kazıdır. Aşırı kazı terimi, kazı devam ederken destek

sisteminin yerleştirilmesinin gecikmesini tanımlamaktadır. Peck (1969), O'Rourke (1981), Clough ve O'Rourke (1990), aşırı kazının zemin ve duvar oturmalarında önemli artışlara eşlik yol açabileceğini vurgulamışlardır [10,11,12].



Şekil 3.2. Farklı zemin tiplerinde kazı yakınındaki oturma dağılımının tahmin edilebilmesi için tavsiye edilen boyutsuz oturma profilleri

### 3.2.1.3. Ön Gerilme

Goldberg ve arkadaşları (1976), O'Rourke (1981) ve Clough ve O'Rourke (1990), ankrajlara ya da desteklere ön gerilme uygulanmasının, duvar hareketlerini minimize etmede efektif bir yol olduğunu vurgulamışlardır. Bu gözlem de öncelikle vaka analizlerinden elde edilen bilgilere dayanmaktadır. Ön gerilmenin faydalı olmasının iki nedeni vardır. Birincisi, desteklerin ön gerilmesi, bağlantılardaki gevşemeyi önler. Diğer sebep de desteklerin veya ankrajların ön gerilmesi, duvar arkasındaki zemini yeniden yükler ki bu da zeminin daha katı bir duruma gelmesine neden olur.

### 3.2.1.4. Suyun Uzaklaştırılması

Peck (1969), Lambe (1970), Goldberg ve arkadaşları (1976) ve O'Rourke (1981) kazılardaki suyun uzaklaştırılmasının, zeminin konsolidasyonuna yol açabileceğine ve bunun da kazı yakınında zemin oturmalarına sebep olabileceğine dikkat çekmişler. Suyun uzaklaştırılması, kazının kendisinden etkilenen alandan çok daha geniş bir alan üzerinde oturmalara neden olur. Suyun uzaklaştırılması aynı zamanda, ince kumlarda veya siltli zeminlerde zemin kaybına da neden olabilir [10].

### 3.2.1.5. İnşa Sırası

Geçmiş çalışmalardan çıkarılan diğer önemli bir ders de inşa sırasının önemidir. İnşa sırası, bir derin kazıyla ilişkili hangi işin yapılacağına tertip ve düzenidir. İnşa sırası önemlidir çünkü; zeminler lineer olmayan özelliktedir ve davranışları yükleme durumuna göre değişmektedir. Örnek olarak, yatay destek kuşaklaması hiç kurulmadan zeminin tek aşamada tamamının kazıldığı bir duruma karşılık, kazının birkaç aşamada yapıldığı ve her aşamadan sonra kuşaklamanın kurulduğu durumu göz önüne alırsak; Bu iki farklı inşa tipi için kazının davranışı

çok farklı olacaktır. Hatta ilk metot çökmeye bile sebep olabileceken, ikincisi hareketleri küçük değerlerde sınırlandırabilecektir.

### 3.2.1.6. İşçilik

Peck (1969), derin kazıların performansında işçiliğin önemini vurgulamış, ileri sürdüğü üç oturma profili zonu içinde, işçiliği bir faktör olarak dahil etmiştir. Peck zayıf, kötü, yetersiz işçiliğin (örnek olarak, desteklerin geç ya da baştan savma kurulması) daha büyük değerlerde hareketlere neden olabileceğini gözlemlemiştir.

### 3.2.1.7. Küçük İnşa Detayları

Geçmiş çalışmalardan çıkarılan önemli bir ders de önemsiz gibi görülen birçok detayın da derin kazıların performansında önemli faktörler olabileceğidir. Peck (1969), asker kazıklı ve kaplamalı duvarlarda, kaplamanın yerleştirme metodunun önemli olabileceğine dikkat çekmiştir. Bunun için Şekil 3.3'den görülebileceği gibi dört farklı metot dikkate almıştır. Peck, aynı firma tarafından, benzer zeminlerdeki komşu iki arazide a ve b metotlarının kullanıldığı bir durumu göz önüne almıştır. Kazıların yakınlarındaki oturmalar gözlemlendiğinde, b metoduyla yapılan kazı da a metoduyla yapılanaya göre üç kat daha fazla oturma olduğu görülmüştür. Peck, c ve d metotlarının zemin ve kaplama arasındaki kontak daha iyi olduğundan a ve b metotlarına göre daha iyi olduğunu gözlemlemiştir [10].

### 3.2.1.8. Sıcaklık Değişiklikleri

Goldberg ve arkadaşları (1976), destekli kazılar için sıcaklığın neden olduğu deformasyonu da bir tasarım düşüncesi olarak ele almışlardır. Isı değişiklikleri, desteklerde önemli termik gerilmelere veya deformasyonlara sebep olabilmektedirler.

### 3.2.1.9. Destek Aralığı

Peck (1969) desteklemenin daha sık aralıkta yapılmasının yanal hareketleri büyük ölçüde azalttığına dikkat çekmişlerdir. Lambe (1970), Goldberg ve arkadaşları (1976), O'Rourke (1981) ve Clough ve O'Rourke (1990) da buna benzer gözlemler yapmışlardır. Goldberg ve arkadaşları (1976), destek sisteminin rijitliğini, duvarın eğilme rijitliği değerini, maksimum destek aralığı değerinin dördüncü kuvvetine bölerek ölçmeyi önermişlerdir ( $EI/h^4$ ). Şekil 3.4, Clough ve O'Rourke tarafından sunulmuştur ve destek sisteminin rijitliğinin duvar hareketleri üzerine etkisini göstermektedir [10].

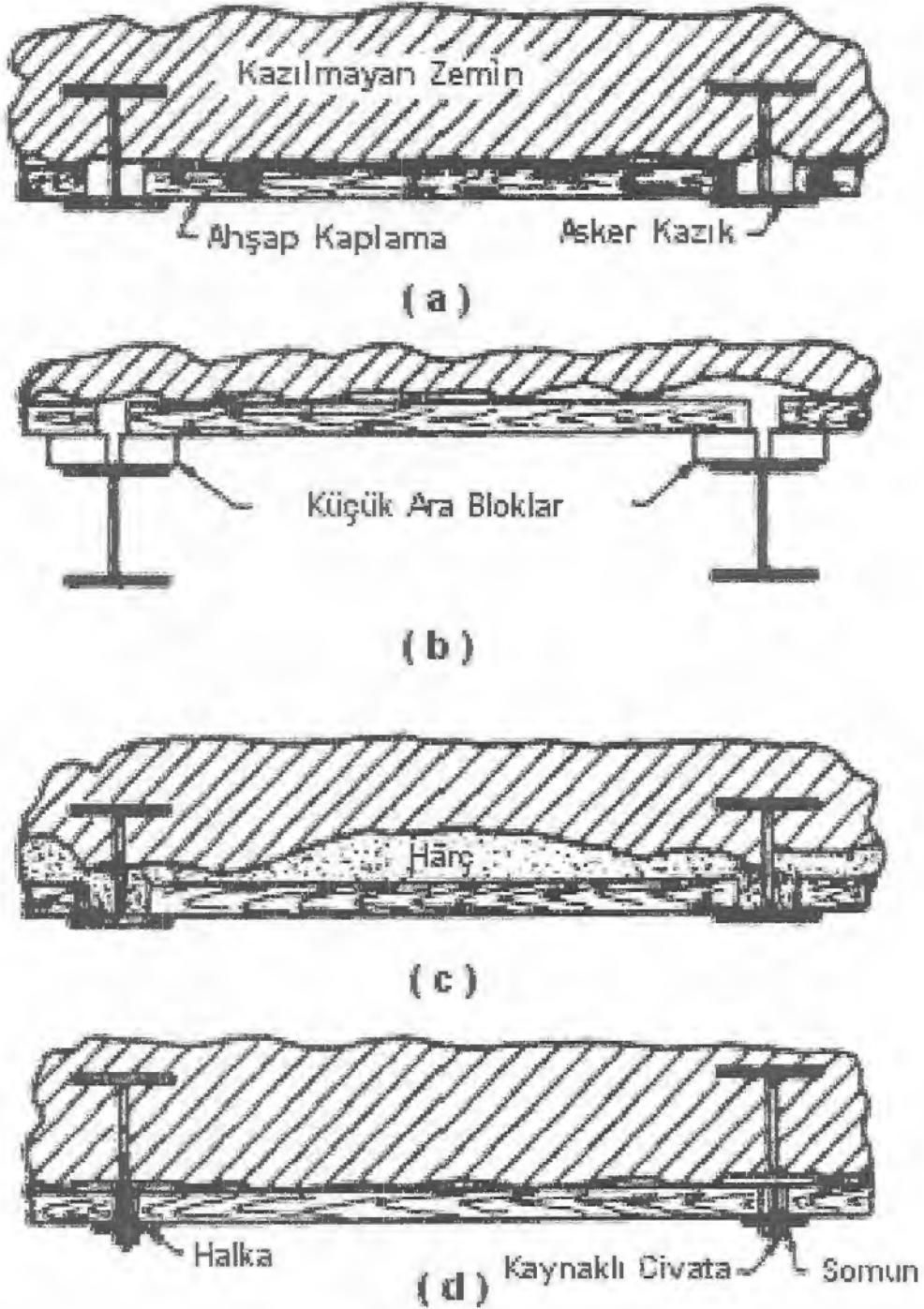
### 3.2.1.10. Büyük Değerlerdeki Başlangıç Yanal Zemin Gerilmeleri

Peck (1969), büyük değerlerde başlangıç yanal gerilmelerine sahip zeminlerdeki kazılarda çökme meydana gelebileceğini ifade etmiştir. Peck aynı zamanda, katı aşırı konsolide killerde yapılan derin kazılara bitişik zeminlerin oturmak yerine yükselebileceğini belirtmiştir. Goldberg ve arkadaşları (1976) da, vaka analizlerinden elde ettikleri deneyimler doğrultusunda, aşırı konsolide killerde yapılan derin kazılarda, duvarların çok büyük değerlerde yanal hareket potansiyeline sahip olabileceklerini belirtmişlerdir. Goldberg ve arkadaşları, Ward (1972)'in da aşırı konsolide Londra kilinde düşey deformasyonların iki, üç katı yanal deformasyonlar gözlemlediğini örnek olarak göstermişlerdir. Clough ve O'Rourke (1990), büyük yanal gerilmelere sahip aşırı konsolide killerde, arkadan bağlı duvarlar için, ankraj bölgesinde oluşabilecek hareketlere dikkat çekmişlerdir [10].

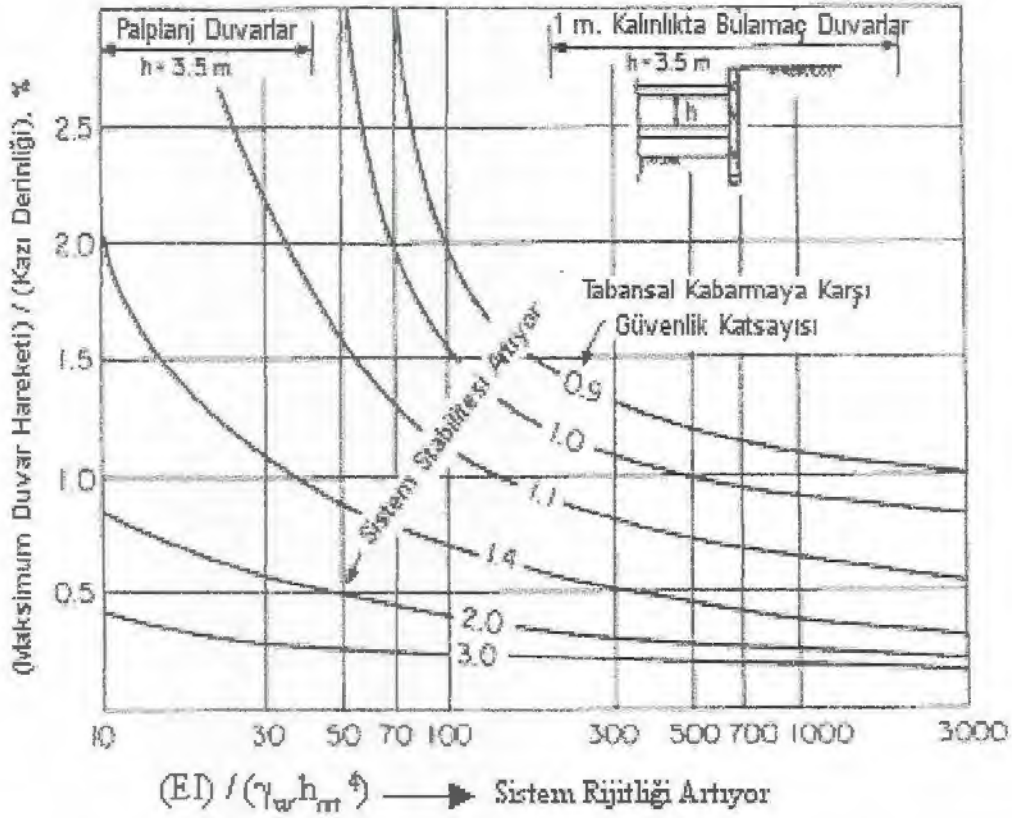
### 3.2.1.11. Duvar Tipi

Diyafram duvarlar rijittirler, yerinde inşa edilirler ve zeminle kontak halindedirler ve aslında su geçirmezdirler. Goldberg (1976), vaka örneklerinin

bilgileri üzerinde çalışmış ve zayıf zeminlerde diyafram duvarları kullanmanın, palplanj duvarları kullanmaya göre hareketleri büyük ölçüde azalttığı (3-4 kat)



Şekil 3.3. Zemin gerilmelerinin kaplamadan asker kazıklara transferi için farklı metotlar;(a) kaplama asker kazıkların flanşları içerisinde sıkıştırılmış; (b) kaplama asker kazıkların flanşları dışında arkasında yerleştirilmiş; (c) kaplama ve kazık arasına harç doldurmak; (d) kontak levhası (Peck, 1969).



Şekil 3.4. Killerdeki destek sistemleri için, maksimum yanıl duvar hareketleri ve zemin yüzeyi oturmalarının tahmin edilebilmesine yönelik grafikler

bilgileri üzerinde çalışmış ve zayıf zeminlerde diyafram duvarları kullanmanın, palplanj duvarları kullanmaya göre hareketleri büyük ölçüde azalttığı (3-4 kat) sonucuna varmıştır. Clough ve O'Rourke (1990) de aynı zamanda rijit duvarların yumuşak zeminlerdeki hareketleri sınırlandırmaya yardımcı olduklarını gözlemlemişlerdir. Clough ve O'Rourke (1990), diyafram duvarlarının kullanılmasının, boşluk kapanmasını ve asker kazık ve kaplamalı duvarlarda görülebilecek zemin problemlerinin ortaya çıkmasını ortadan kaldırdığını altını çizmişlerdir [10,11,12].

### 3.2.1.12. Yardımcı İnşa Aktiviteleri

Geçmiş çalışmalardan çıkarılan başka bir ders de, yardımcı inşa aktivitelerinin de, derin kazıların performansının değerlendirilmesi veya

hesaplanması esnasında ,göz önünde tutulabileceğidir. Örnek olarak O'Rourke (1981), San Francisco'daki Embarcadero III projesinde ölçülen zemin hareketlerinin yaklaşık %30'una temel kazıklarının çakılması veya kaldırılmasının sebep olduğunu gözlemlenmiştir. O'Rourke aynı zamanda, kazılarda sondajlı kesonlar yapılması esnasında meydana gelecek zemin kaybının da zemin hareketlerinin diğer bir kaynağı olabileceğini gözlemlemiştir. Clough ve O'Rourke, bulamaç duvarı inşasını içeren altı vakadan elde ettikleri oturma ölçümlerini üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmalarda Clough ve O'Rourke, duvar derinliğinin % 0.12'si oranında değerlerde oturmalar gözlemlemişler ve bunların duvar kenarından, duvar derinliğinin iki katı uzaklıkta oluştuğunu gözlemlemişlerdir [11,12].

### 3.3. Derin Kazılarla İlgili Analitik Çalışmalar

Bu bölümde derin kazılar hakkında yayınlanan analitik çalışmalar incelenmiştir. Tablo 3.1'de derin kazılarla ilgili 38 analitik çalışma özetlenmiştir [10,11,12,13,14,15]

#### 3.3.1. Derin Kazıların Analitik Çalışmalarından Çıkarılan Dersler

Tablo 3.1' de özetlenen çalışmalar, derin kazıların davranışının incelenmesinde sonlu eleman metodunun geniş ölçüde kullanıldığını göstermektedir. Aşağıda, analitik çalışmalardan çıkarılan, kazı performansında etkili bazı faktörler verilmiştir.

##### 3.3.1.1. Konsolidasyon

Tablo 3.1'den çıkarılan ilk önemli ders, killerde yapılan kazılarda konsolidasyonun önemidir. Osaimi ve Clough (1979), Yong ve arkadaşları (1989), Finno ve arkadaşları (1991) ve Ou ve Lai (1994) konsolidasyonun önemi üzerinde durmuşlardır.

Osaimi ve Clough (1979), derin kazıların performansıyla ilgili, birleştirilmiş konsolidasyonlu sonlu eleman çalışmalarının ilklerinden birini sunmuşlardır. Birleştirilmiş konsolidasyonlu sonlu eleman analizleri, denge problemini ve geçici sızıntı problemini eş zamanlı çözmektedir. Osaimi ve Clough'un amacı, kilerdeki kazıların performansının tahmin edilmesinde birleştirilmemiş drenajsız sonlu eleman analizlerinin kabul edilebilir bir yol olup olmadığını görmektir. Birleştirilmemiş drenajsız sonlu eleman analizleri, sadece toplam gerilmeler açısından denge problemini dikkate almaktadır (boşluk suyu basıncındaki değişimler dikkate alınmamaktadır). Osaimi ve Clough, kazılar esnasında oluşan kısmi drenajın, kilin permeabilitesine, inşa süresine ve sınır şartlarına bağlı olarak çok önemli olabileceği sonucuna varmışlar ve bunlar ışığında, kilerdeki derin kazılar için, drenajsız analiz kullanmadan önce dikkatli bir şekilde düşünülmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Yong ve arkadaşları (1989), bir birleştirilmiş konsolidasyon sonlu eleman programı kullanarak, kildeki bir destekli kazının davranışını incelemişlerdir. Yong ve arkadaşlarının analizleri, kazı sürecinin, bir kazının tabanının altında negatif ilave boşluk suyu basınçları oluşturacağını ve bu ilave boşluk suyu basınçlarının dağılımının da pasif zemin direncinde kayba ve zamana bağlı olarak da duvar deformasyonlarına neden olacağını göstermiştir [10].

Finno ve arkadaşları (1991), Chicago'daki HDR-4 destekli kazısını incelemek için, bir birleştirilmiş konsolidasyon sonlu eleman programı kullanmışlardır. Onların sonuçları da kazı esnasındaki konsolidasyonun, pasif zemin direncinin kaybına ve zamana bağlı duvar ve zemin hareketlerine neden olacağını göstermiştir [14].

Ou ve Lai (1994), gerçek bir derin kazının drenajsız ve birleştirilmiş sonlu eleman analizlerinden elde edilen sonuçları karşılaştırarak, konsolidasyonun, duvar deformasyonu ve zemin oturmaları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir [15].

Osaimi ve Clough (1979), Yong ve arkadaşları (1989), Finno ve arkadaşları (1991) ve Ou ve Lai (1994) tarafından gerçekleştirilen çalışmaların hepsi de göstermiştir ki, kildeki bir derin kazının inşası sırasında konsolidasyon meydana gelebilir ve konsolidasyonun etkileri önemlidir. Kazı esnasında meydana gelecek konsolidasyon ve şişme, zeminlerin kesme mukavemetinde değişimlere ve zamana bağlı deformasyonlara sebep olacaktır.

### 3.3.1.2. Anizotropi

Tablo 3.1'deki referansların gözden geçirilmesiyle çıkarılan diğer bir ders de, zeminlerdeki mukavemetin anizotropisinin ve gerilme-deformasyon davranışının, kazı performansı üstünde önemli bir etkisinin olabileceğidir. Clough ve Hansen (1981) ve Finno ve arkadaşları tarafından yayınlanan çalışmalar, inceledikleri vakalarda anizotropinin deformasyonların büyüklüğünü ve modelini etkilediğini göstermiştir.

Clough ve Hansen (1981), anizotropinin, tabansal kabarma, duvar hareketleri ve destek sistemi üzerindeki yükler üstündeki etkilerini incelemiştir. Tabansal kabarma potansiyeliyle ilgili limit dengeleme çalışmalarında, mukavemet anizotropisini de çalışmaların içine katmışlardır. Anizotropinin, tabansal kabarma potansiyeli üstünde önemli bir etkisi olabileceği sonucuna varmışlardır. Aynı zamanda, hipotetik bir destekli kazı üzerinde, birleştirilmemiş drenajsız sonlu eleman analizlerini kullanarak, parametrik incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Drenajsız kesme mukavemetinin ve tanjant modülünün, asal gerilme yeniden oryantasyon açısıyla değiştiği varsayılmıştır. Clough ve Hansen, gerçekleştirdikleri sonlu eleman çalışmalarından, anizotropinin, duvar hareketlerini ve oturmaları arttırabildiği ve desteklerdeki yüklerin dağılımını ve büyüklüğünü değiştirebildiği sonucuna varmışlardır [10].

Finno ve arkadaşları (1991), Chicago'da yumuşak-orta doymuş kilerde yapılan HDR-4 destekli kazısında, birleştirilmiş sonlu eleman analizlerini

kullanarak, parametrik incelemeler gerçekleştirmişlerdir. İncelemelerde üç asli model kullanmışlardır ( Geliştirilmiş Cam kili, anizotrop sınırlandıran yüzey ve izotrop sınırlandıran yüzey modelleri). Finno ve arkadaşları, anizotrop sınırlandıran yüzey modelini (Banerjee ve Yousif, 1986) kullanmanın, kazının gözlenen performansıyla en iyi uyumu verdiğini bulmuşlardır. Finno ve arkadaşları, anizotropinin, palplanj duvarın önündeki kilin mevcut pasif direncini azalttığı ve bunun da daha büyük hareketlere yol açtığı sonucuna varmışlardır [14].

### 3.3.1.3. Kazıdan Önce Duvar İnşası

Finno ve arkadaşları (1991), Schweiger ve Freiseder (1994) ve Ng ve arkadaşları (1995), vaka örneklerinin, kazıdan önce destek duvarı inşası esnasında önemli hareketlerin ve gerilme değişikliklerinin oluşabileceği belirtileri gösterdiğine dikkat çekmişlerdir. Bu üç referans da, duvar inşasının etkilerini araştırmak için sonlu eleman çalışmalarını kullanmışlardır.

Finno ve arkadaşları (1991), HDR-4 destekli kazıdaki 2 boyutlu sonlu eleman çalışmalarında, palplanj yerleştirilmesinin etkilerini incelemişlerdir. Palplanj yerleştirilmesi esnasında, boşluk suyu basınçlarının ve yer değiştirmelerin değiştiğini gözlemlemişlerdir. Boşluk suyu basınçlarının değişimi, kazı merkez hattı civarında kazının asimetric davranışına sebep olduğundan önemlidir. Finno ve arkadaşları için, anizotrop sınırlandıran yüzey modelini kullanmak ve gerçek inşa sırasını modellemek, bulgularına yararlı olmuştur. Finno ve arkadaşları, palplanj kurulmasının etkilerinin, yumuşak-orta killer için önemli olduğunu ve uyarılmış gerilmelerin doğru olarak simule edilebilmesi için bu etkilerin göz önüne alınması gerektiğini belirtmişlerdir [14].

Tablo 3.1. Derin kazılarla ilgili analitik çalışmalar

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Clough, G.W. ve Tsui, Y. (1974)	Sonlu eleman analizleri kullanılarak destekli ve arkadan bağlı duvarların performansları karşılaştırılmıştır. Parametrik sonlu eleman çalışmalarıyla, ön gerilmenin, ankraj rijitliğinin, ankraj sıklığının, duvar rijitliğinin ve kazı derinliğinin arkadan bağlı duvarlara etkileri incelenmiştir.	Arkadan bağlı duvarların destekli duvarlardan daha iyi olmadığı sonucuna varılmıştır. Ön gerilme ve duvar ve ankraj rijitliğini artırmak arkadan bağlı duvarlarda zemin hareketlerini azaltabilir.
Tsui, Y. Ve Clough, G. (1974)	Analitik çalışmalar ve model testler kullanılarak, düzlem deformasyon varsayımının etkileri ve düzlemsel duvarların kullanımının 2 boyutlu sonlu eleman çalışmalarının sonuçları üzerine etkileri incelenmiştir.	Arkadan bağlı kazılarda, düzlem deformasyon varsayımındaki hatanın hesaplanmasına olanak veren bir tasarım grafiği sunulmuştur. Berlin veya hafif palplanj duvarların analizinde düzlem deformasyon varsayımını kullanmanın uygunsuz olduğu, fakat yapısal bulamaç duvarların yaklaşık olarak düzlem deformasyon koşullarına uymakta olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Osaimi, A. E. ve Clough, G. W. (1979)	Birleştirilmiş bir sonlu eleman programı ile kazı sırasında ve sonrasında konsolidasyonun etkileri üzerine çalışılmıştır.	Killerde kazı sonunda genellikle var olduğu kabul edilen drenajsız durumun var olmasının olasılık dışı olduğu sonucuna varılmıştır.
Clough, G. W. ve Hansen, L. A. (1981)	Deformasyon için sonlu eleman analizlerini ve stabilite için limit dengeleme analizlerini kullanarak, anizotropinin destekli duvarların performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Sonlu eleman metodunu kullanarak, anizotropinin etkilerinin parametrik çalışmalarını gerçekleştirmiştir.	Anizotropi hesaba katılmaksızın, kabarma için hesaplanan güvenlik faktörlerinin, % 50 daha büyük olabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Parametrik çalışmalar, yanal hareketlerin ve zemin oturmalarının, anizotropiden dolayı daha büyük olabileceğini göstermiştir.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
<p>Mana, A. I. Ve Clough, G. W. (1981)</p>	<p>Hareketleri tahmin etmek için basitleştirilmiş bir metot geliştirmek amacıyla, parametrik sonlu eleman çalışmalarını ve saha performanslarını kullanarak killerdeki destekli kazıların davranışları üzerine çalışmışlardır.</p>	<p>Kabarmaya karşı güvenlik faktörüyle, hareketlerin büyüklüğünün ilişkilendirilebileceği sonucuna varmışlardır. Duvar eğilme rijitliğini artırmanın, dayanak aralığını azaltmanın veya ön gerilme değerini artırmanın hareketleri azalttığını bulmuşlardır. Killerdeki destekli kazıların performansında, zemin modülünün çok önemli bir faktör olduğu sonucuna varmışlardır.</p>
<p>Kaiser, P. K. Ve Hewitt, K. J. (1982)</p>	<p>Sızıntının, sonuç su basıncına, aktif ve pasif zemin basınçlarına ve borulanma ve hacimsel şişme potansiyeline etkilerini göstermek için, sayısal, basitleştirilmiş akım modelleri kullanmışlardır.</p>	<p>Sızıntının, duvar ayak ucunun önündeki mevcut pasif direnci önemli ölçüde azaltabileceğini bulmuşlardır. Birçok tasarım metodunda kullanılan, homojen izotropik şartlar için varsayılan akış modellerinin güvensiz tasarımlara yol açabileceği sonucuna varmışlardır.</p>

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Milligan, G. W. E. (1983)	Üstten ankrajlı esnek dayanma duvarlarının arkasındaki deformasyonu analitik olarak incelemişlerdir. Aynı zamanda, deformasyonları incelemek için yoğun kumlarda model testleri gerçekleştirmişlerdir.	Üstten ankrajlı esnek duvarların arkasındaki deformasyonları tahmin edebilmek için, eğilmiş duvar şeklini kullanarak bir hız alanı metodu önermişlerdir. Kilerde, esnek bir duvar arkasındaki oturma profilinin yaklaşık olarak eğilmiş duvar şekliyle aynı olabileceğini bulmuşlardır.
Jardine, R. J., Potts, D. M., Fourie, A. B., ve Burland, J. B. (1986)	Zeminin lineer olmaması özelliğinin, temellerin, kazıkların, kazıların ve presiyometre testlerinin davranışı üzerindeki etkisini belirleyebilmek için, sonlu eleman metodunu kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Lineer olmayan gerilme-deformasyon karakteristiklerinin önemli özelliklerini belirlemeye, basit elastik hesaplar için elastik modül seçmedeki problemleri tartışmaya ve saha testlerindeki yorumlama zorluklarına dikkat çekineye çalışmışlardır.	Zemin-yapı etkileşimi problemleri üzerinde uygun bir biçimde çalışmak amacıyla, zeminlerin lineer olmayan bir davranışa sahip olmasının da hesaba katılması gerektiği sonucuna varmışlardır. Lineer olmayan gerilme-deformasyon karakteristiklerinin, duvar eğilmelerinin büyüklüğü ve zemin oturma modelleri üzerinde, önemli bir etkisi olduğu sonucuna varmışlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Wong, K. S., I. H., ve Broms, B. B. (1987)	Yumuşak zemindeki destekli kazıların stabilize edilmesi için, sonlu eleman analizlerini kullanarak, üç yöntem üzerinde çalışmışlardır. Çalışılan yöntemler, destek duvarları arasına harç enjeksiyonu, destek duvarlarının ayak kısmının önüne ahşap kazıkların çakılması ve su altında kazı yapılmasıdır.	Üç metodun da kazının stabilitesini iyileştirdiğini bulmuşlardır. Su altında yapılan kazının çok efektif gözüktüğünü ileri sürmüşlerdir. Destekli kazıları stabilize etmede, kazı altında ve destek duvarları arasında kullanılacak enine diyafram duvarı elemanlarının da diğer bir etkili yöntem olabileceğini belirtmişlerdir.
Clough, G.W., Smith, E. M. Ve Sweeney, B. P. (1989)	Kazı destek sistemlerinin tasarımında, hareket kontrolünü merkezi bir odak olarak alan bir metot sunmuşlardır. Kazı destek sistemi hareketlerinin tahmin edilebilmesine yardımcı olabilecek prosedürler üzerinde tartışmışlardır. Önerilen metodun yararlarını göstermek için, vaka örneklerini kullanmışlardır	Önerilen metodun, stabilite kriterinden ziyade deformasyon kriterine dayanan bir yöntem sunmakta olduğunu ileri sürmüşlerdir. Palplanjın çakılmasından dolayı, kumlarda oluşan oturmaların hesaplanabilmesi için, bir grafik sunmuşlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Wong, K. S. Ve Broms, B. B. (1989)	Sonlu eleman metodunu kullanarak, drenajsız kesme mukavemetinin, kazı genişliğinin, kazı derinliğinin, duvar rijitliğinin, duvar penetrasyonunun ve duvarın sert tabadaki derinliğinin, killerdeki destekli veya ankrajlı palplanj duvarların yanıl eğilmesine etkisini incelenmiştir. Yanıl eğilmelerin hesaplanabilmesi için basit bir prosedür önermişlerdir.	Sonlu eleman analizleri, kabarmaya karşı güvenlik faktörünün, oturmaları ve yanıl eğilmeleri kontrol ettiğini göstermiştir. Duvar rijitliğinin ve yanıl destekler arasındaki mesafenin önemli faktörler olduğunu ileri sürmüşlerdir. Yatay destekler arasındaki mesafenin azaltılmasının, hareketleri minimize etmeye yardımcı olduğunu bulmuşlardır.
Yong, K. Y., Lee, F. H., Parnpoy, U. Ve Lee, S. I. (1989)	Kildeki gerçek bir derin kazının performans ölçümlerini kullanarak, drenajsız analiz ve konsolidasyonlu sonlu eleman analizlerinin sonuçlarını karşılaştırmışlardır.	Drenajsız analiz, palplanjin hareketini eksik tahmin edebilmiştir. Konsolidasyonlu analiz ise, palplanjin aşamalı hareketini ve yatay destek yüklerindeki artışı yakalayabilmiştir.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Borja, R. I. (1990)	Zemin-yapı etkileşimi problemleri için, yeni bir sonlu eleman programı sunmuşlardır. Geliştirilmiş Cam kili modelini kullanarak, kilde yapılan bir deneme kazısının problemlerinin, düzlem deformasyon, asimetric ve 3 boyutlu drenajsız ve drenajlı analizlerini gerçekleştirmişlerdir.	Kazı performansı üzerinde etkili çeşitli faktörlerin önemini anlayabilmek için, analitik olarak doğru ve hatasız algoritmaların gerektiğini ileri sürmüşlerdir.
Goh, A. T. C. (1990)	Duvar özelliklerinin, iyi zemine kadar olan derinliğin, kazı genişliğinin ve duvar yerleşiminin, kildeki bir derin kazının stabilitesi üstündeki etkilerini belirleyebilmek için, sonlu eleman metodunu kullanarak parametrik incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Yumuşak killerdeki destekli kazıların, taban stabilitesinin hesaplanabilmesi için bir prosedür sunmuşlardır.	Parametrik çalışmalar, kazı altındaki kil tabakasının kalınlığının, duvarın kazı altında kalan derinliğinin ve duvarın rijitliğinin, taban stabilitesine etki eden önemli faktörler olduğunu göstermiştir.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Finno, R. J., Hrahap, I. S. Ve Sabatini, P.J. (1991)	Güncel gelişme seviyesini değerlendirmek amacıyla, birleştirilmiş sonlu eleman formülasyonu ile HDR-4 destekli kazısının davranışının parametrik incelemelerini gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan modelin, sınır şartlarının, inşa sürecinin ve aşırı kazının etkilerini göz önüne almışlardır.	Destek duvarının pasif tarafındaki zemin tepkisinin hareket davranışlarını kontrol ettiği; anizotropinin göz önüne alınması gereken önemli bir faktör olduğu; ve palplanj eğilmelerinin kazı sürecinin başından sonuna kadar doğru olarak hesaplanabileceği sonuçlarına varmışlardır. Aynı zamanda hesaplanan oturmaların, büyük deformasyonlardan dolayı ve mevcut zemin modellerinin deformasyon yerleşimini modellemede yetersiz olmasından dolayı, gözlenen oturmalarından farklı olduğunu bulmuşlardır.
Ho, D. K. H. Ve Smith, I. M. (1991)	Elasto-plastik bir zemin modeli kullanan bir sonlu eleman programıyla, Vaterland I ve HDR-4 kazılarının analizini yaparak, inşa sürecinin destekli kazıların performansı üzerindeki önemini incelemişlerdir.	Derin kazılarda, sonlu eleman hesaplamalarının , gözlenen fiziksel özelliklerin çoğunu yakalayabileceğini bulmuşlardır. Gözlenen ve hesaplanan hareket modellerinin uyumsuzluğunun ise, başlangıç mükemmel elastik zemin tepkisi varsayımından dolayı olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Liao, S. S. C. ve Neff, T. L. (1990)	Derin kazı desteklerinin tasarımı için, gerçek toprak basınçlarının hesaplanabilmesine yönelik rasyonel bir çerçeve sunmuşlardır. Killerde, kazı esnasında ve sonrasında zemin davranışını incelemek için Lambe'nin gerilme izi metodunu kullanmışlardır.	Beklenen ya da müsaade edilen hareketlere bağlı ve aktif ve pasif basınçların arasında olan, ara toprak basınçları kullanmayı önermişlerdir.
Athanasıu, C. M., Simonsen, A. S., ve Romning, S. (1991)	Killer için, Bjerrum'un çalışmasına dayanan bir anizotropik kinematik deformasyonla pekleşme modeli sunmuşlardır. Oslo'daki eski Viking otelinin inşasının ve Norveç bankası kazısının ankrajlı palplanj duvarının analizi için sonlu eleman programı SSFEAX 'ı ve yeni modeli kullanmışlardır	Sonlu eleman analizlerinin, tatmin edici sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Powrie, W. ve Li, E. S. F. (1991)	Alçak bir oto yol için oluşturulan kalıcı dayanma duvar sistemlerinde, zeminin etkileri, duvar ve destek rijitliği ve yanıl toprak basıncı katsayısı gibi konularda parametrik sonlu eleman çalışmaları yaparak, yapısal bulamaç konsol duvarların davranışını araştırmışlardır.	Duvarların davranışında, zeminin katılığının, $K_0$ değerinin ve duvar ve yol tabakası arasındaki yapısal bağlantının önemli faktörler olduğunu bulmuşlardır.
Smith, I. M. Ve Ho, D. K. H. (1992)	Elasto-plastik zemin modelini kullanarak, bir destekli kazının dört farklı inşa senaryosunun, sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Senaryolar, yatay desteklerin yerleştirilmesinin zamanlaması ve sıralaması açısından farklılık göstermekteydi. Oturma profillerini Peck'inkilerle karşılaştırmışlardır.	Duvar rijitliğini artırmanın etkisinin, inşa tekniğine bağlı olarak, sıfır da olabileceğini bulmuşlardır. Derin kazıların analiz ederken, inşa tekniğini bilmenin en az zemin karakterizasyonu kadar önemli olduğu sonucuna varmışlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Comodromos, R., Hatzigogos, T. ve Pitilakis, K. (1993)	Elasto-plastik zeminlerde, kazı simülasyonu için çok aşamalı bir sonlu eleman algoritması sunmuşlardır.	Elasto-plastik zeminlerdeki kazılar için, nihai çözümün, kullanılan aşama sayısına bağlı olduğunu bulmuşlardır.
Kishnani, S. S. ve Borja, R. I. (1993)	Lineer olmayan bir sonlu eleman kodlaması kullanarak, drenaj koşullarının ve duvar-zemin ara yüzünün, duvar basınçları ve duvar deformasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir.	Duvar basınçlarının ve deformasyonunun, palplanj ve zemin arasındaki adezyonun azalmasıyla arttığını bulmuşlardır. Duvar performansında, duvar arkasındaki ve önündeki toprak basınçlarında değişikliğe sebep olduğundan sızıntının en önemli faktör olduğu sonucuna varmışlardır

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Balasubramaniam, S., Bergado, D. T., Chai, J. C. ve Sutanutr, T. (1994)	Farklı destek sistemlerine sahip altı derin kazının performansını ve Bangkok doğal zeminlerindeki inşa metotlarını incelemiştir. Aynı zamanda, ön gerilmenin, temel kazığı kurulmasının, duvarın kazı altında kalan kısmının derinliğinin ve sürşarjın etkileri hakkında yapılan parametrik sonu eleman çalışmaları sunulmuştur. incelenmiştir.	Analitik sonuçlar genelde gözlenen davranışla uyumuştur. Dayanma duvarının ve destek elemanlarının rijitliğinin deformasyonları kontrol ettiği sonucuna varılmıştır. Diyafram duvarların palplanj duvarlardan daha iyi performans gösterdiğini (daha az hareket) bulmuşlardır. Duvarın kazı altında kalan kısmının derinliğinin, palplanj duvarlarda diyafram duvarlarında olduğundan daha önemli bir performans faktörü olduğunu bulmuşlardır.
Fourie, A. B. (1994)	Norveç Vaterland'da, yumuşak kilde yapılan bir destekli kazıda, yatay desteğin rijitliğinin, duvar rijitliğinin, ön gerilmenin, kazı altındaki yumuşak kil tabakasının derinliğinin ve kazı genişliğinin etkisini,sonlu eleman metodunu kullanarak incelemişlerdir. Değiştirilmiş Cam kili modeli kullanılmıştır.	Peck'in kolay anlaşılır diyagramlarının, her zaman tutarlı olmadığını ve dikkatli uygulanması gerektiği sonucuna varmışlardır. Kazı altındaki kil tabakası derinliğinin, zemin hareketlerinin modeli üzerinde önemli bir etkisi olduğunu bulmuşlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Goh, A. T. C. (1994)	Yumuşak kildeki destekli kazıların taban stabilitesini, tekrarlanmış sonlu eleman analizleri yoluyla araştırmışlardır. Stabilitesizlik durumunu, büyük yer değiştirmelerin mevcut olması ile tanımlanmıştır.	Terzaghi'nin güvenlik sayısı için önerdiği metodun, sert tabakaya kadar olan kalınlığın kazı genişliğinden daha az olması durumunda tutarlı olabileceği sonucuna varmışlardır. Duvar rijitliğini artırmanın, taban kabarmasına karşı olan güvenlik faktörünü biraz artırdığını bulmuşlardır.
Ou, C. Y. ve Lai, C. H. (1994)	Derin kazıların sonlu eleman analizleri için, zemin parametrelerinin saptanmasına yönelik rasyonel bir prosedür aramışlardır. Konsolidasyonun duvar deformasyonları ve oturmalar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.	Uzun inşa periyotlarına sahip kazılar için, konsolidasyon analizi sonuçlarının, drenajsız analiz sonuçlarına göre, gözlenen davranışla daha iyi uyuştuğunu bulmuşlardır. Kazı altındaki boşluk suyu basınçlarının birdenbire azaldığını ve kazıdan sonra zamanla yeniden toparlandığını bulmuşlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Richards, D. J. ve Powrie, W. (1994)	Sonlu elman analizleriyle, inşa sırasının ve kazıdan önceki yanıl toprak basınçlarının, aşağıdan ve yukarıdan destekli bir duvarın üstündeki etkilerini incelemişlerdir.	Geçici desteklerle yukarıdan aşağıya yapılan inşaatta minimum duvar hareketlerinin oluştuğunu, açık kazıyla yapılandaysa minimum eğilme momentlerinin oluştuğunu bulmuşlardır. En büyük duvar hareketleri, açık kazıda meydana gelmiştir. Saha yanıl toprak basınç katsayısını artırmak, eğilme momentlerini ve yanıl destek yüklerini artırmış, fakat deformasyonları önemli ölçüde değiştirmemiştir; çünkü efektif gerilme anlamına gelen zemin rijitliği de artmıştır.
Rodriguez-Ortiz, J. M. (1994)	Arkadan bağlı ve destekli kazıları incelemek için, alt derece program üstünde 1-D bir giriş kullanmıştır.	Ankrajlarla arkadan bağlı rijit duvarların eğilmeleri sınırlandırdığı; eğer destek rijitliği düşükse ve ön gerilme sıfırsa, duvar hareketlerinin iki katına çıkabileceği sonuçlarına varmışlardır. Rijit duvarların esnek duvarlara kıyasla, konsol tipi yer değiştirmeler (kazi tabanına yakın yerde şişme eğiliminde olan) gösterdiğini bulmuşlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Schweiger, H. F. ve Freiseder, M. (1994)	Diyafram duvar inşasının saha gerilmeleri üstündeki etkilerini incelemişlerdir. 3 boyutlu elasto-plastik sonlu eleman analizlerini kullanarak, duvar elemanlarının inşasını simule etmişlerdir. Bentonite bulamacı miktarının duvar üstündeki etkilerini ve viskoz taze betonun sıvı basıncının zemin üstündeki etkilerini incelemişler ve hareketlerin modellerini ortaya koymuşlardır.	Belirli zemin şartları için, duvar inşası esnasında önemli oturmaların oluşabileceği sonucuna varmışlardır. İnşa aşamasında oluşan oturmalar nihai oturmaların yaklaşık % 50 'sidir. Duvar inşası nedeniyle, yanal gerilmeler, saha gerilmelerinin yaklaşık %10'u mertebelerinde artmaktadır.
Goh, A. T. C., Wong, K. S., ve Broms, B. B. (1995)	Destekli kazılarda duvar yer değiştirmelerini tahmin edebilmek için nöral bir ağ geliştirmiştir. Nöral ağ, performans dataları ve parametrik sonlu eleman çalışmalarından ötürü öğrenmiştir.	Nöral ağ, sonlu eleman çalışmalarının sonuçları sayesinde öğrendikten sonra, makul doğrulukta duvar yer değiştirmeleri ortaya koymuştur. Nöral ağların yeni verileri içine alabilme ve çabuk tahminler yapabilme yeteneği, nöral ağları kullanışlı bir araç yapmaktadır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Ng, C. W. W. ve Lings, M. L. (1995)	Zemin modeli tipinin ve duvar inşasının modellenmesi metodunun, sonlu eleman analizleri tahminlerinin kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Mohr-Coulomb (MC) Elasto-plastik modeliyle, Simpson (1992) lineer olmayan 'tuğla' modelini kıyaslamışlardır. Duvar inşasını modellemeye karşı duvarın yerinde olmasını temenni etmeyi kıyaslamışlardır.	'Tuğla' modelini kullanmanın ve duvar inşasını modellemenin, gözlemlerle en iyi uyumu gösterdiğini; MC modelini kullanmanın ve duvarın yerinde olmasını temenni etmenin makul sonuçlar verdiğini; ve MC modelini kullanmanın ve duvar inşasını modellemenin ise yetersiz sonuçlar verdiğini bulmuşlardır. MC modelini kullanırken, uygun ortalama zemin katılığını doğru olarak değerlendirmenin çok önemli olduğu sonucuna varmışlardır.
Ng, C. W. W., Lings, M. L., Simpson, B. Ve Nash, D. F. T. (1995)	2 boyutlu düzlem deformasyon ve düzlem gerilme sonlu eleman analizlerini kullanarak, diyafram panel inşasının 3 boyutlu etkilerini incelemişlerdir. İki aşamalı bir modelleme yaklaşımı kullanarak, Cambridge Lion Yard'daki bir diyafram duvarını incelemişlerdir.	Duvar paneli inşası esnasında, yatay kemerlenmenin ve yukarıdan aşağıya doğru yük transferinin, gerilme değişimlerinde etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Yukarıdan aşağıya yük transferi, panel yakınındaki zeminde, yanal gerilmelerinin azalmasına sebep olmaktadır. Yatay kemerlenmenin, panel panel inşa esnasında, gerilmelerin yeniden dağılımına neden olduğunu fakat duvar inşası sonundaki gerilmeleri önemli ölçüde azaltmadığını bulmuşlardır.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Tabrizi, K. S., Gucunski, N. ve Maher, M. H. (1995)	Üç sıra çiviyle zemine çivilenmiş bir duvarla desteklenen bir kazıyı, 3 boyutlu sonlu eleman analizlerini kullanarak incelemiştir.	Zemin çivilerinin, düşey gerilmeler üzerinde ihmal edilebilir bir etkisinin olduğunu bulmuşlardır. Zemin çivilerinin, yanal gerilmelerin bir kısmını kilitlemeye hizmet ettiği sonucuna varmışlardır. Zemin çivilerindeki gerilmeler, kazı derinliğinin artmasıyla artmaktadır. Zemin çivisindeki gerilmelerin, kazı tabanına daha yakın çivilerde daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.
Hashash, Y. M. A. ve Whittle, A. J. (1996)	Lineer olmayan birleştirilmiş drenaajsız sonlu eleman analizlerini kullanarak, duvarın kazı altında kalan kısmının derinliğinin, destek koşullarının ve gerilme tarihçesi profilinin, Boston Blue kilindeki destekli bir diyafram duvarının performansı üzerine etkilerini araştırmışlardır. Zemin hareketlerinin, kazı derinliğinin, destek koşullarının ve duvar uzunluğunun fonksiyonları olarak tahmin edilebilmesi için, parametrik çalışma sonuçlarını grafikler halinde özetlemiştir.	Tabansal kabarmaya karşı güvenlik faktörünün hesaplanmasında limit dengeleme metotlarının kullanılması, stabil derinlik için, olduğundan fazla değerler elde edilmesine neden olmuştur; çünkü bu metotlar dayanımın derinlikle arttığı gerçeğini ve dayanım anizotropisini göz önüne almamaktadırlar.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Ou, C. Y., Chiou, D. C., ve Wu, T.S. (1996)	Derin kazıların analizi için, lineer olmayan, üç boyutlu bir sonlu eleman tekniği önermişlerdir. Yumuşak-orta katı killi bir doğal zemin tabakasındaki tipik bir kazıda analizler yaparak, köşelerin varlığının bir kazının eğilme davranışı üzerindeki etkisini incelemişlerdir.	3 boyutlu maksimum duvar eğilmesinin hesaplanması için, 2 boyutlu sonlu eleman metodu sonuçlarına dayanan bir ilişki önermişlerdir. 3 boyutlu analiz sonuçları, köşelerin, duvar deformasyonlarını dizginlediğini göstermiştir. Köşelerin deformasyonları dizginleme etkisi, bir köşeye olan mesafe arttıkça azalmaktadır.
Ou, C. Y., Wu, T. S. ve Hsieh, H. S. (1996)	Derin zemin karıştırma veya jet enjeksiyonu yöntemleri ile, zemin iyileştirmesine maruz kalan zemin kütlelerinin, bileşik özelliklerinin değerlendirilmesine yönelik bir metod önermişlerdir. Varsayımlı bir kazıda, 3 boyutlu sonlu eleman analizleri gerçekleştirmek yoluyla, metodu ispat etmişlerdir.	Sayısal kazanımların, bir bileşik malzeme kullanılarak elde edildiğini bulmuşlardır. Sonlu eleman analizlerinin sonuçlarıyla, vaka örneklerinden elde edilen gözlem davranışlarının, iyi uyum içinde olduğu görülmüştür.

Tablo 3.1. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Hsieh, P. G. ve Ou, C. Y. (1997)	Duncan ve Chang'ın hiperbolik modelini, $\phi=0$ koşulunda plastisite teorisiyle genişletmişlerdir. Bir sonlu eleman analizini ve geliştirilmiş hiperbolik modelini kullanarak, bir kazı vakasını incelemişlerdir.	Geliştirilmiş hiperbolik modeli kullanan sonlu eleman analizi, duvarın ve zeminin gözlenen davranışıyla makul bir uyuma göstermiştir.
Lee, F. H., Yong, K. Y., Quan, K. C. N. ve Chee, K. T. (1998)	Singapore'da bir bina için gerçekleştirilen destekli bir kazıda, 2 boyutlu ve 3 boyutlu sonlu eleman analizleriyle, köşelerin, destekli kazı davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.	Köşelerin, duvar hareketlerini ve kazının yakınındaki zeminlerin oturmasını etkilediği sonucuna varmışlardır. 3 boyutlu analizlerin, gözlenen davranışlarla uyduğunu bulmuşlardır. Sonlu eleman analizleriyle makul tahminler elde edebilmek için, kazı geometrisinin ve inşa sırasının, doğru şekilde modellenmesi gerektiğini gözlemlemişlerdir.

Schweiger ve Freiseder (1994), kumlu siltlerde ve kumlu killerde, diyafram duvarı inşasının etkilerini araştırmak için, birleştirilmemiş, drenajsız, 3 boyutlu, lineer olmayan, elasto-plastik sonlu eleman analizlerini kullanmışlardır. Schweiger ve Freiseder, kazıların sonlu eleman analizlerinde, duvar inşasının etkilerinin, modellemenin kompleksliğini azaltınak amacıyla genellikle göz ardı edildiğine dikkat çekmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, duvar inşası esnasında oluşan oturmaların, kazı esnasında oluşan oturmalara yaklaşık eşit olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda, duvar inşasının, saha yanal gerilmelerini de değiştirdiğini ve bunun da kazı performansını etkileyebileceğini gözlemlemişlerdir [16].

Ng ve arkadaşları (1995), katı kilde diyafram paneli inşasının 3 boyutlu etkilerini incelemek için, birleştirilmemiş drenajsız 2 boyutlu sonlu eleman analizlerini kullanmışlardır. Ng ve arkadaşları, bir diyafram duvar boyunca, düşey ve yatay kesitler ele alarak analiz etmişlerdir. Yatay kesit, düzlem gerilme koşulları varsayılarak göre analiz edilmiştir. Düşey kesitse, düzlem deformasyon koşulları varsayılarak analiz edilmiştir. Ng ve arkadaşları, duvar inşası esnasındaki hareketlerin, iki faktöre bağımlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Bunlardan birisi, başlangıç yanal zemin gerilmeleri, bulamaç basınçları ve ıslak beton basınçlarındaki farklılıktır. Diğer faktör ise, farklı basınçlara karşılık oluşan deformasyonları belirleyen zemin katılığıdır. Ng ve arkadaşları aynı zamanda , panel inşası esnasında, yüklerin yeniden dağılımından dolayı, diyafram duvarının altında büyük gerilme artışlarının oluşabileceği sonucuna varmışlardır [17].

#### 3.3.1.4. Sonlu Eleman Analizleri

Tablo 2.1'deki referanslar, derin kazı performansını kontrol eden birçok faktörün, parametrik incelemeler yoluyla araştırılmasında, sonlu eleman analizlerinin yararlı bir yol olduğunu göstermektedir. Derin kazıların davranışını sonlu eleman analizleriyle incelemek, derin kazıları gerekli aygıtları kullanarak gözetlemekten daha ucuz ve kolaydır. Şekil 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8'de, dört farklı derin

kazının, farklı sonlu eleman programlarıyla gerçekleştirilen analiz sonuçlarının, gerçek saha performanslarıyla karşılaştırılması verilmiştir.

### 3.3.1.5. Oluşturulan Modeller

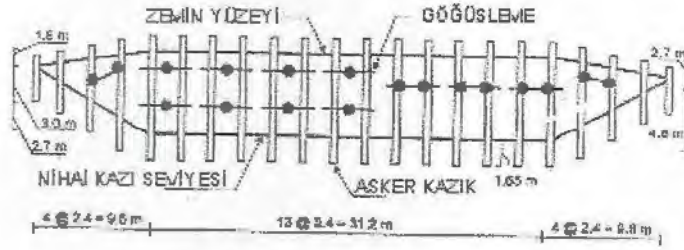
Tablo 3.1'den çıkarılan diğer bir ders de, derin kazıların sonlu eleman analizlerinde kullanılan modellerin geliştirilmesi ve iyileştirilmesine paralel olarak, derin kazı anlayışının da gelişmesidir. Derin kazı performansının büyük ölçüde anlaşılabilmesi, gerçek zemin davranışını ortaya koyan modeller gerektirdiğinden, oluşturulan modeller önemlidir. Finno ve çalışma arkadaşları tarafından HDR-4 kazısında gerçekleştirilen sonlu eleman çalışmaları, inşaatın sürecinin doğru modellenmesinin, ölçülen performansla uyum içinde olan analitik sonuçlar vereceğini göstermektedir.

### 3.3.1.6. 3 Boyutlu Sonlu Eleman Analizleri Yaygın Değildir

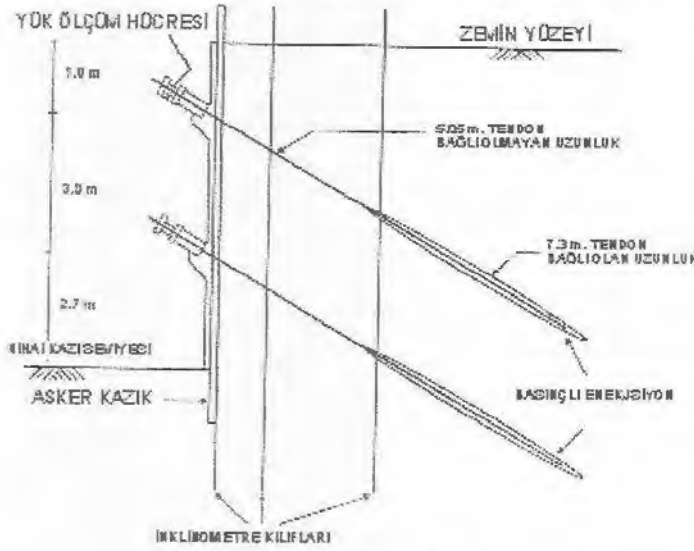
Tablo 3.1'deki 38 referansın sadece beşi (Borja (1990), Schweiger ve Freiseder (1994), Tabrizi ve arkadaşları (1995), Ou ve arkadaşları (1996) ve Lee ve arkadaşları (1998), derin kazıları incelemek için 3 boyutlu sonlu eleman analizlerini kullanmışlardır. Bunun sebebi, 3 boyutlu analizlerin 2 boyutlu analizlerden çok daha kompleks olmasıdır

### 3.3.1.7. 3 Boyutlu Etkiler

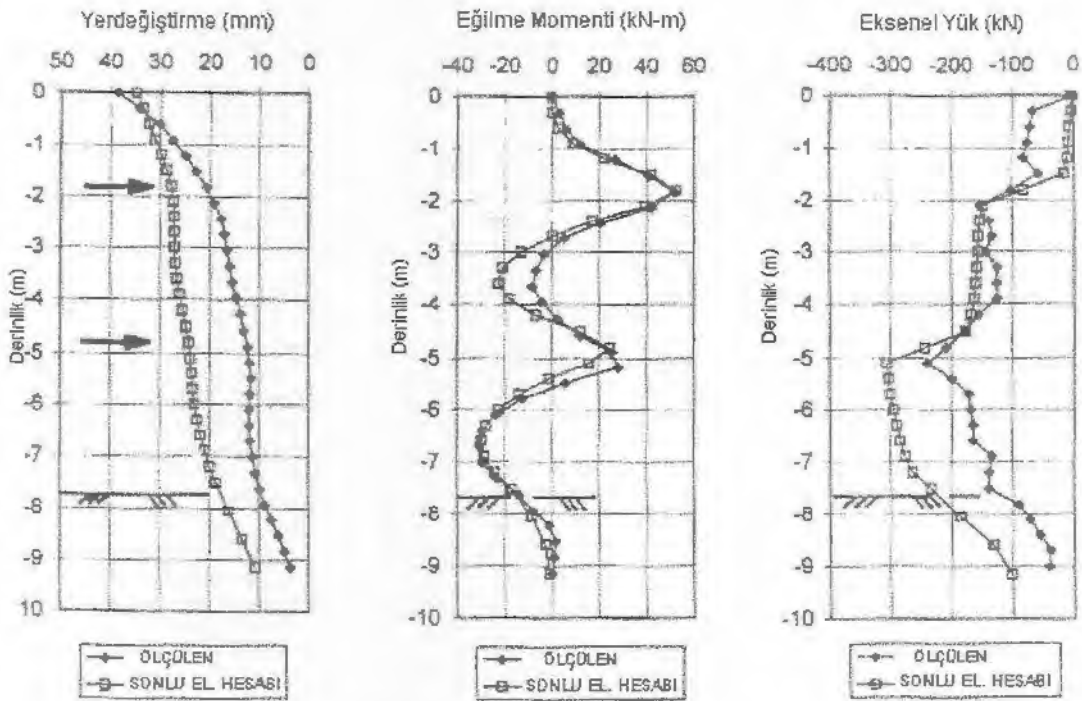
Ou ve arkadaşları (1996) ve Lee ve arkadaşları (1998), derin kazıların köşelerle birlikte 3 boyutlu sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, köşelerin hareketleri dizginleme özelliğinin, kazıların köşeleri yakınındaki deformasyonlarda, düzlem deformasyon koşulunda hesaplanan deformasyonlarla kıyaslandığında, önemli bir azalmaya neden olduğunu göstermiştir [15,18].



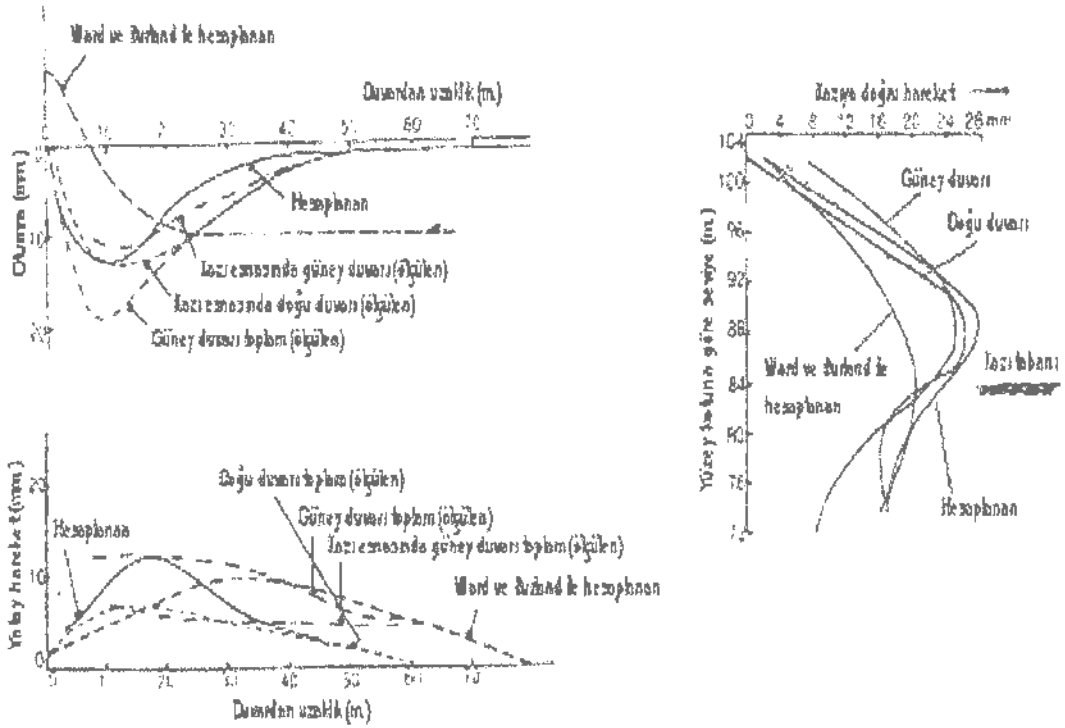
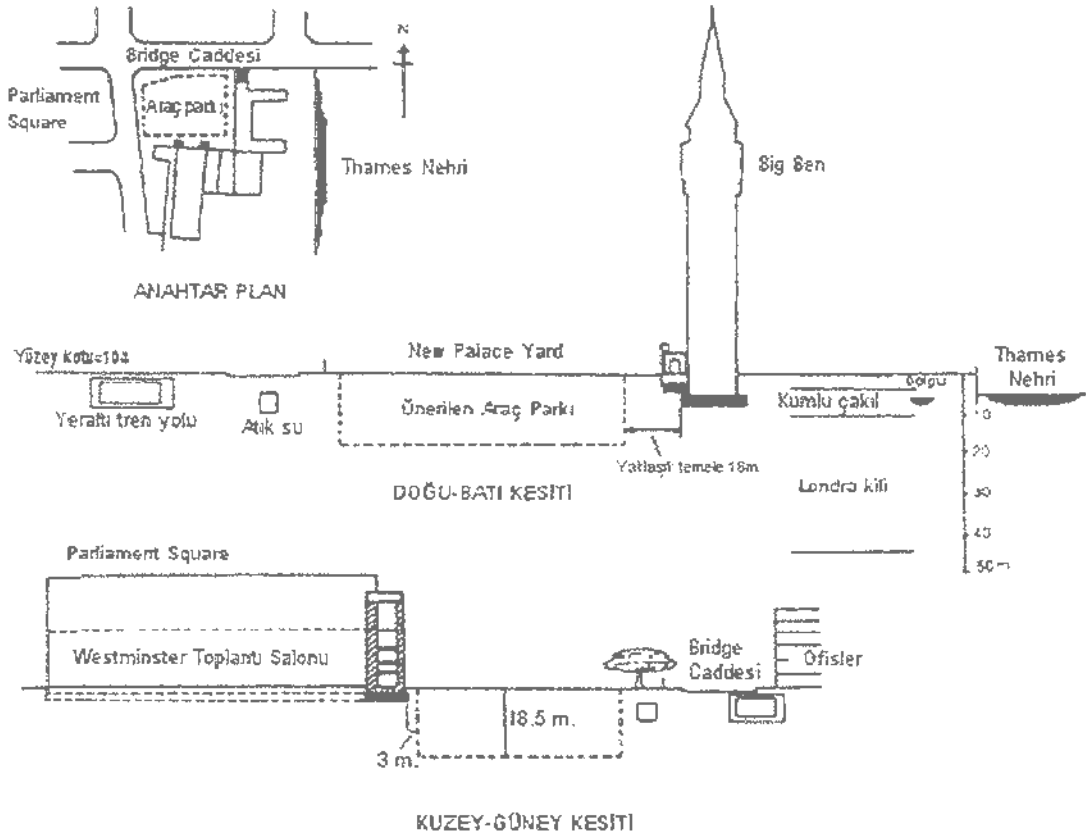
(a) Dikey Kesit Görünüşü



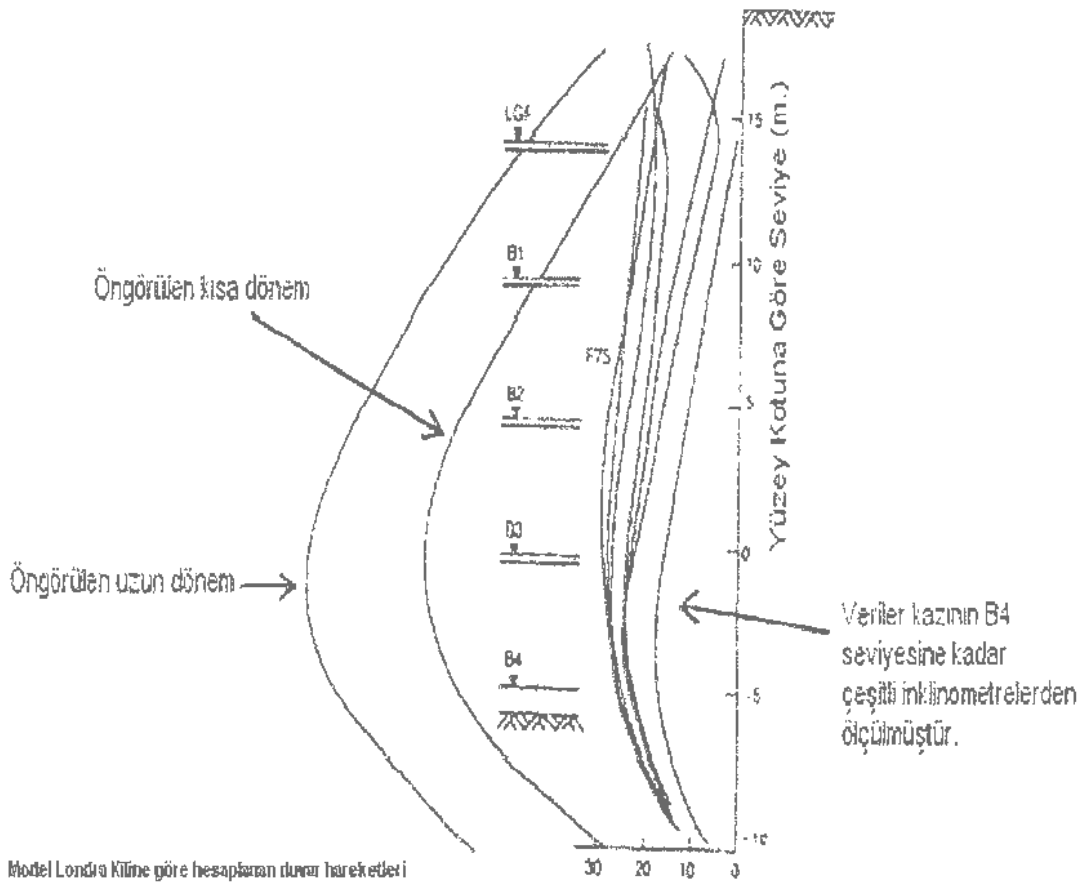
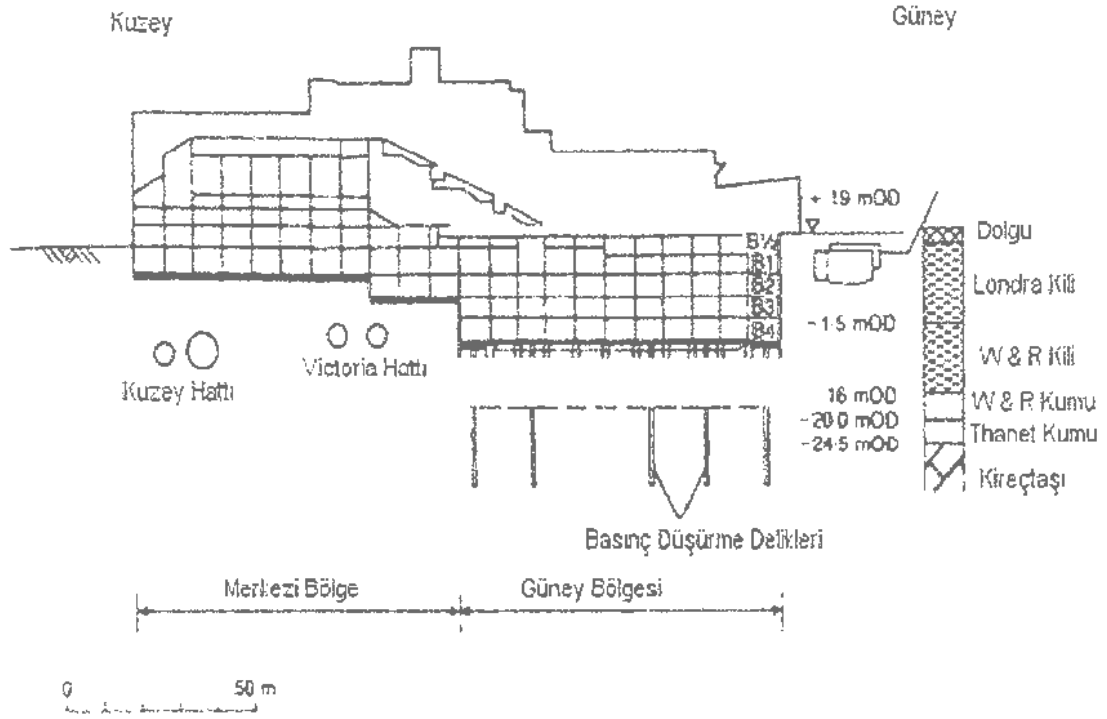
(b) İki Sıra Ankrajlı Duvar-kesit Görünüşü



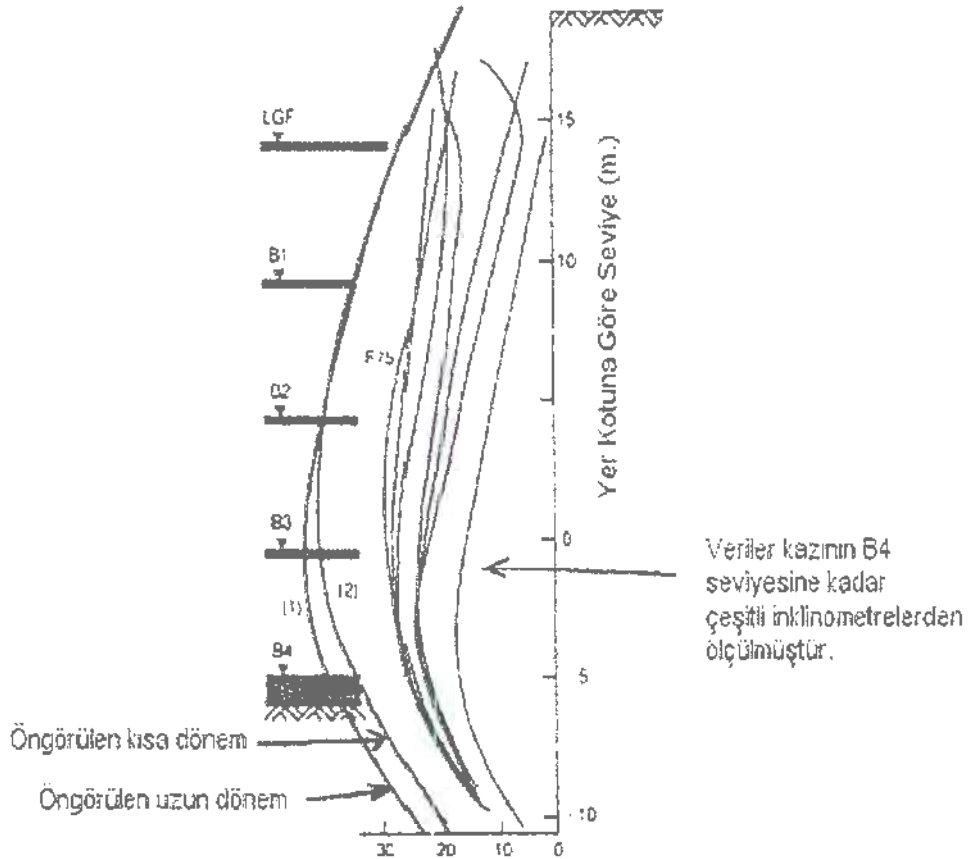
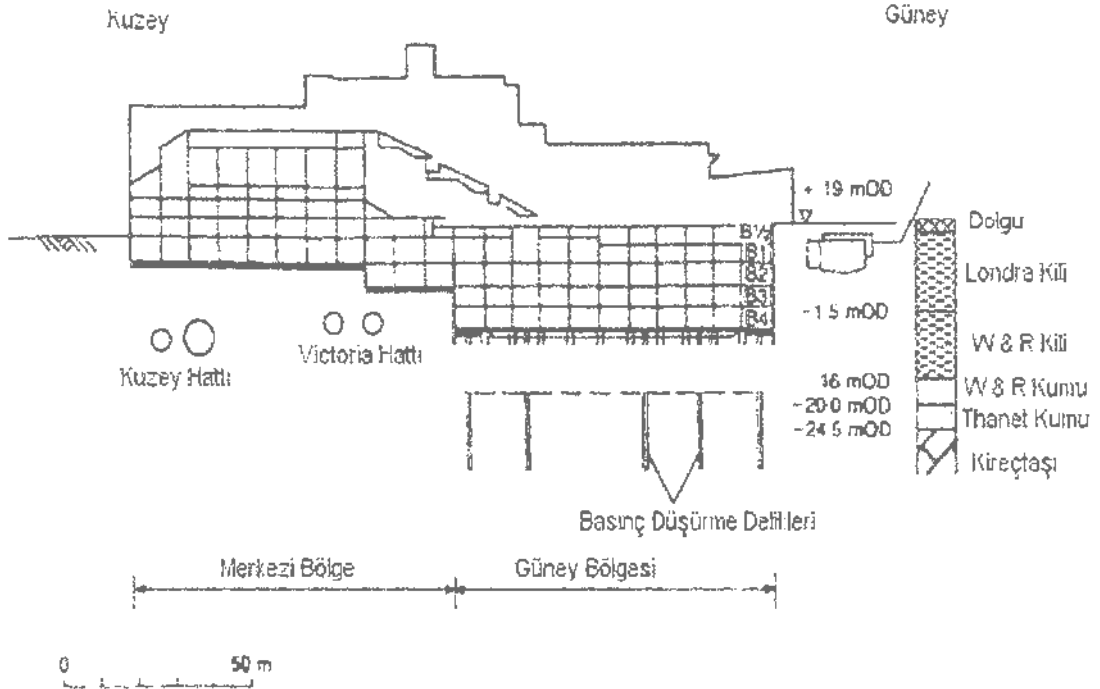
Şekil 3.5. Texas A & M Üniversitesinde inşa edilen bir duvarın sonlu eleman analizinin sonuçları [19]



Şekil 3.6. New Palace Yard, Westminster'da gerçekleştirilen bir derin kazının analiz sonuçları



Şekil 3.7. Euston'da British Museum derin kazısının duvar hareketleri; Model London Clay ile hesaplanan [20].



### BRICK ile hesaplanan duvar hareketleri

Şekil 3.8. Euston'da British Museum derin kazısının duvar hareketleri; BRICK ile hesaplanan [20].

### 3.4. Derin Kazılarla İlgili Saha Performansı Çalışmaları

Bu bölümün amacı, derin kazılarla ilgili saha performansı çalışmalarının gözden geçirilmesidir. Derin kazılarla ilgili ölçülmüş saha performansı çalışmalarını incelemek, iki sebepten dolayı önemlidir. Birinci sebep, saha performansı çalışmaları, gerçek kazıların inşası ve tasarımı esnasında elde edilen tecrübeler sayesinde kazıların daha iyi anlaşılmasını ve kavranmasını sağlamaktadır. Bir derin kazıda, gözlenen performans, analitik çalışmaların aksine, varsayımlara, yaklaşımlara, oluşturulan modellere veya formülasyonlara bağlı değildir. Dikkatli performans ölçümlerine, inşa aktivitelerinin, saha şartlarının ve diğer faktörlerinde dikkatli bir şekilde gözlenmesi eşlik ederse, derin kazıların davranışı hakkında çok fazla şey öğrenilebilir. Saha performansı çalışmalarının gözden geçirilmesinin diğer sebebi de, genellikle analitik olarak modellenmeyen veya çok iyi modellenemeyen faktörler hakkında bir şeyler öğrenmektir. Örneğin, derin kazıların sonlu eleman analizleri, tipik olarak destek duvarlarının inşasını veya ankrajların yerleşimini modellemezler. İşçilik gibi diğer faktörlerin de analitik olarak modellenmesi güçtür.

Bu bölüm ikiye ayrılmıştır. Birinci bölüm, Tablo 3.2'de özetlendiği gibi, saha performansı çalışmalarından çıkarılan derslerle ilgilidir [10,15-23]. İkinci bölümse, yayınlanan çalışmalardan elde edilen performans verilerinin kıyaslanması ile ilgilidir.

#### 3.4.1. Derin Kazılarla İlgili Saha Performansı Çalışmalarından Çıkarılan Dersler

Aşağıda, Tablo 3.2'deki gözden geçirilen referanslardan çıkarılan ve kazılar üzerinde etkili olan bazı faktörler verilmiştir. Bu bölümde çıkarılan faktörlerin bazıları, daha önceki bölümlerde çıkarılan faktörleri desteklemektedir.

### 3.4.1.1. Konsolidasyon

Yukarıdaki bölümlerde, geçmiş gözden geçirmelere ve analitik çalışmalara dayanarak, kildeki derin kazıların performansında konsolidasyonun önemine dikkat çekilmiştir. Tablo 3.2’de verilen birçok saha performansı çalışması da, derin kazılarda konsolidasyonun önemini güçlendirmektedir.

Brassinga ve Van Tol (1991), Rotterdam’da, yumuşak zemindeki destekli bir kazının bitişindeki yüksek terfilili bir binanın durumunu açıklamışlardır. Şekil 3.9.a ve 3.9.b, bu çalışmadan elde edilen ve projeyi ve yüksek terfilili binanın zamana karşı oturmasını gösteren grafikleri içermektedir. Kazıdan sonra zamanla devam eden oturmalar, konsolidasyonun önemini göstermektedir. Brassinga ve Van Tol, hareketleri, öncelikle kazının ilk aşamasına ‘diyafram duvarlarının inşasına’ ve suyun uzaklaştırılmasına bağlamaktadır [10].

Finno ve Harahap tarafından yapılan (1991) HDR-4 kazısının performans araştırması, kazıyı desteklemek için kullanılan palplanj duvarların arkasından elde edilen boşluk suyu basıncı ölçümlerini de içermektedir. Palplanjların yerleştirilmesi esnasında, önemli boşluk suyu basınçları ortaya çıkmış ve sonra kazı esnasında yok olmuştur. Şekil 3.10, palplanj kazıklarının hareketlerinin ve boşluksuyu basınçlarının zamana bağlı davranışlarını özetleyen ve Finno ve Harahap tarafından sunulan çizimler içermektedir. Şekilden, kayda değer boşluk suyu basıncı değişimlerinin, palplanjların yerleştirilmesi ve kazı esnasında oluştuğu görülmektedir [10].

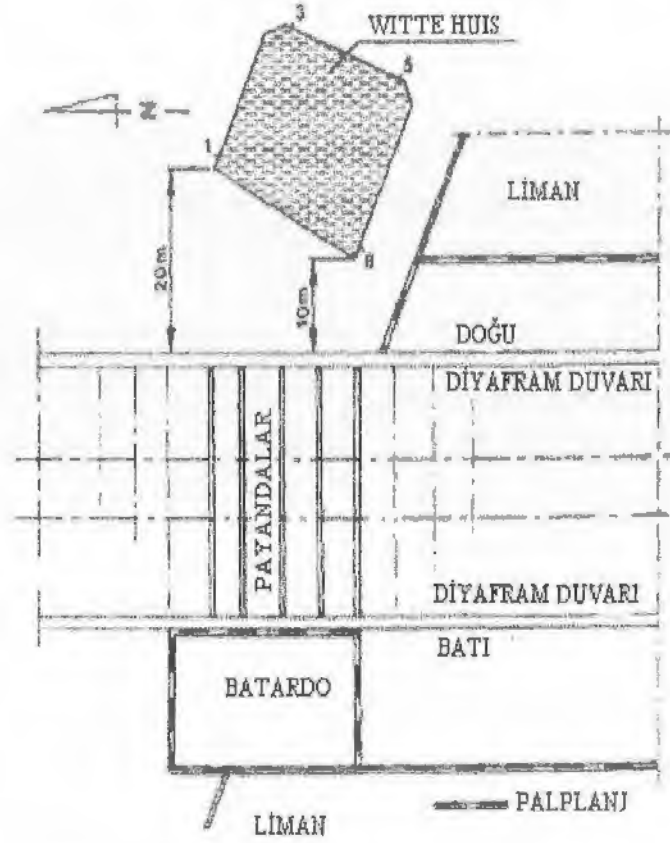
### 3.4.1.2. Zeminin ve Saha Şartlarının Doğru Karakterizasyonu

Geoteknik mühendisleri, malzeme özelliklerinin ve sınır şartlarının doğru karakterize edilmesinin önemini zaten bildiklerinden, aslında bu yeni bir gözlem değildir. Ancak karakterizasyonun önemli olduğunun bilinmesi, her zaman gerekli dikkatin gösterilmesi anlamına gelmemektedir. Tablo 3.2’deki bazı vaka analizleri

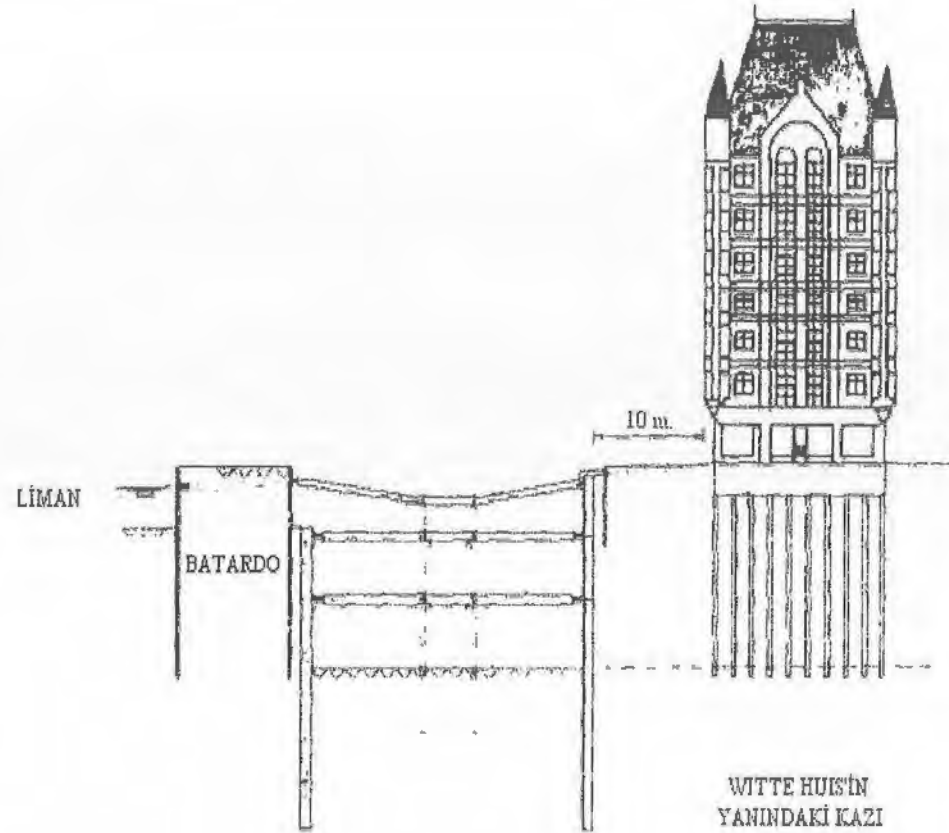
de, derin kazılar için saha şartlarını anlamamanın ve doğru karakterize etmenin öneminin hatırlanmasını sağlamaktadır.

Washington Metro Projesi için yapılan bir destekli kazının bir bölümü çökmüştür. Kazı kilde yapılmıştır ve kazının stabilitesi drenajsız kesme mukavemetleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çöken bölümde herhangi bir zemin sondajı veya laboratuvar testi gerçekleştirilmemiştir. Çöken bölümdeki zeminlerin kesme mukavemetleri, kazı dizisindeki başka yerlerdeki zeminlerle aynı gibi kabul edilmiştir. Bu kabulü yapmak, çökmenin de gösterdiği gibi yanlış olmuştur [20].

Whittle ve arkadaşları (1993), Boston'daki bir derin kazının sonlu eleman tahminlerini, gerçek performansıyla karşılaştırmışlardır. Sonlu eleman hesaplarının doğruluğunun sağlanabilmesi için, uygun zemin karakterizasyonunun ön şart olduğu sonucuna varmışlardır. Analistlerin, derin kazıların geri çözümlerinde, zemin parametrelerine ulaşmak için çoğu zaman iterasyonlardan yararlandığını gözlemlemişlerdir. Whittle ve arkadaşları, zeminin dikkatli karakterizasyonunun, zemin parametrelerini belirlerken parametrik iterasyonlara duyulan ihtiyacı azalttığını ileri sürmüşlerdir [24].

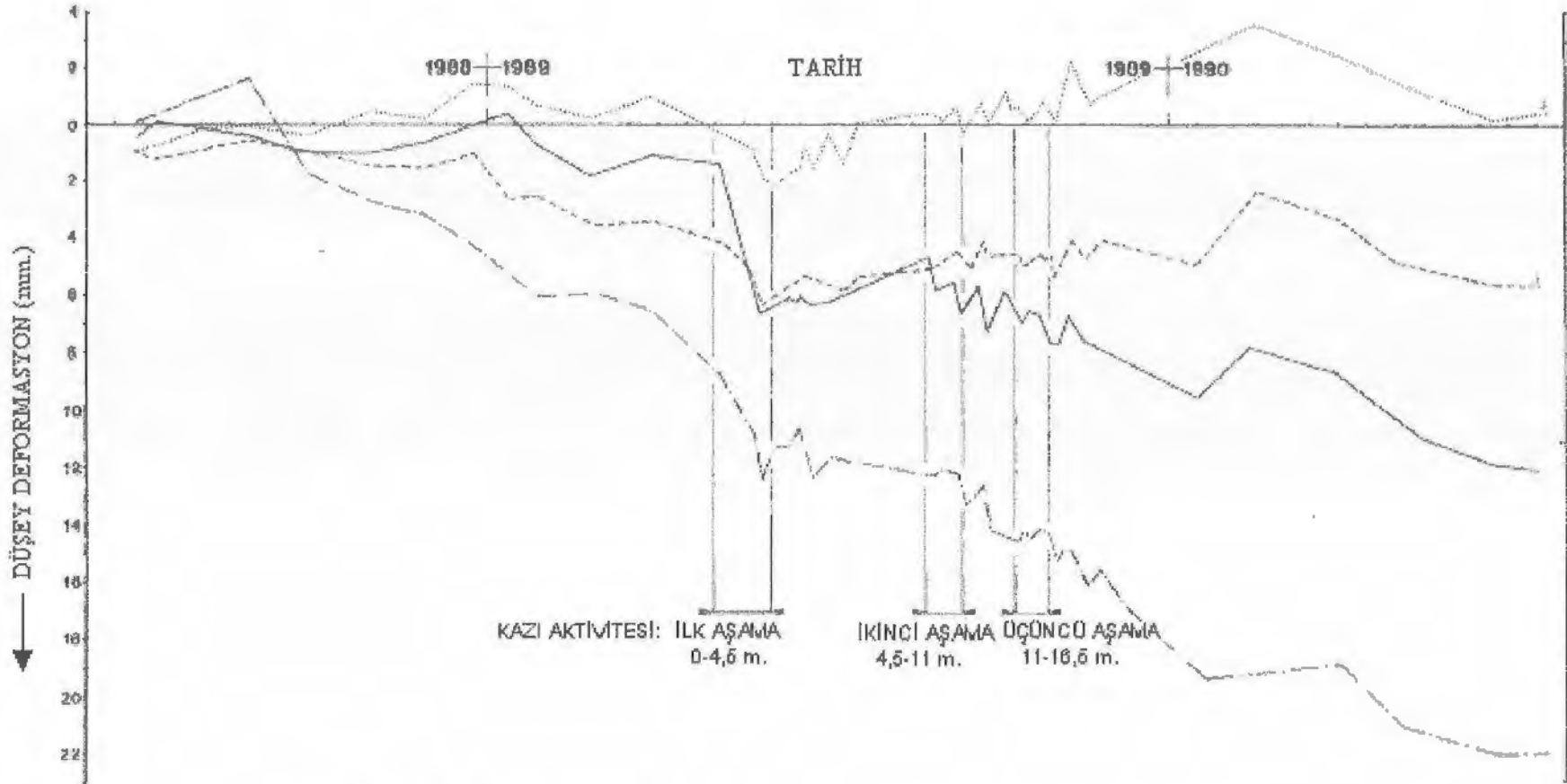


Bina Kazısının Üstten Görünüşü



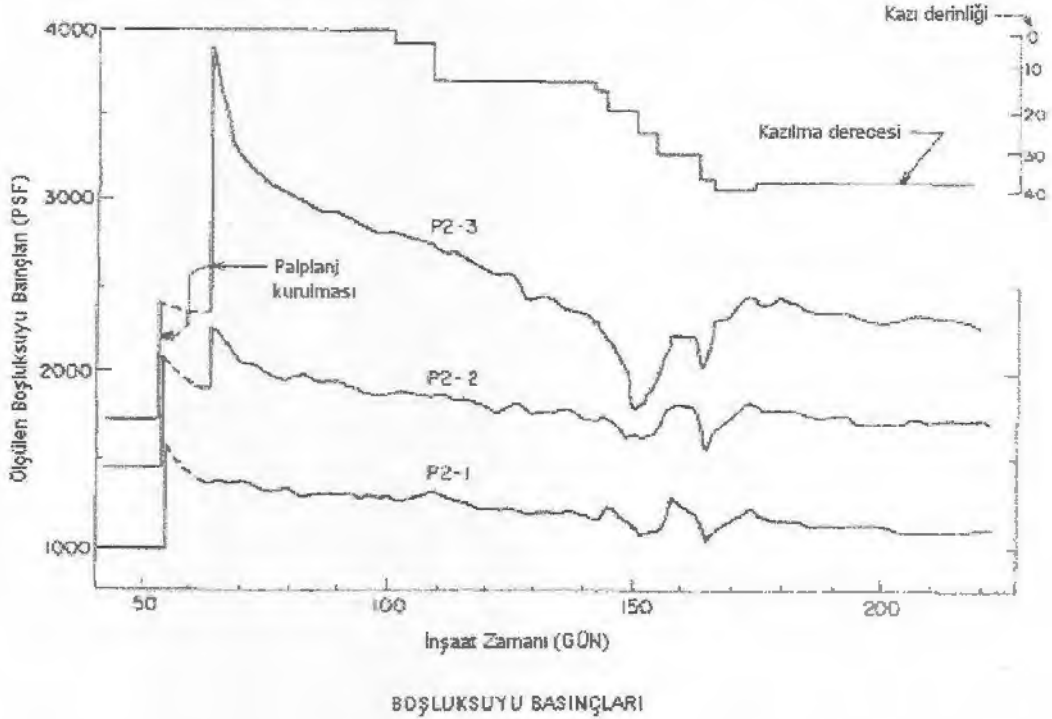
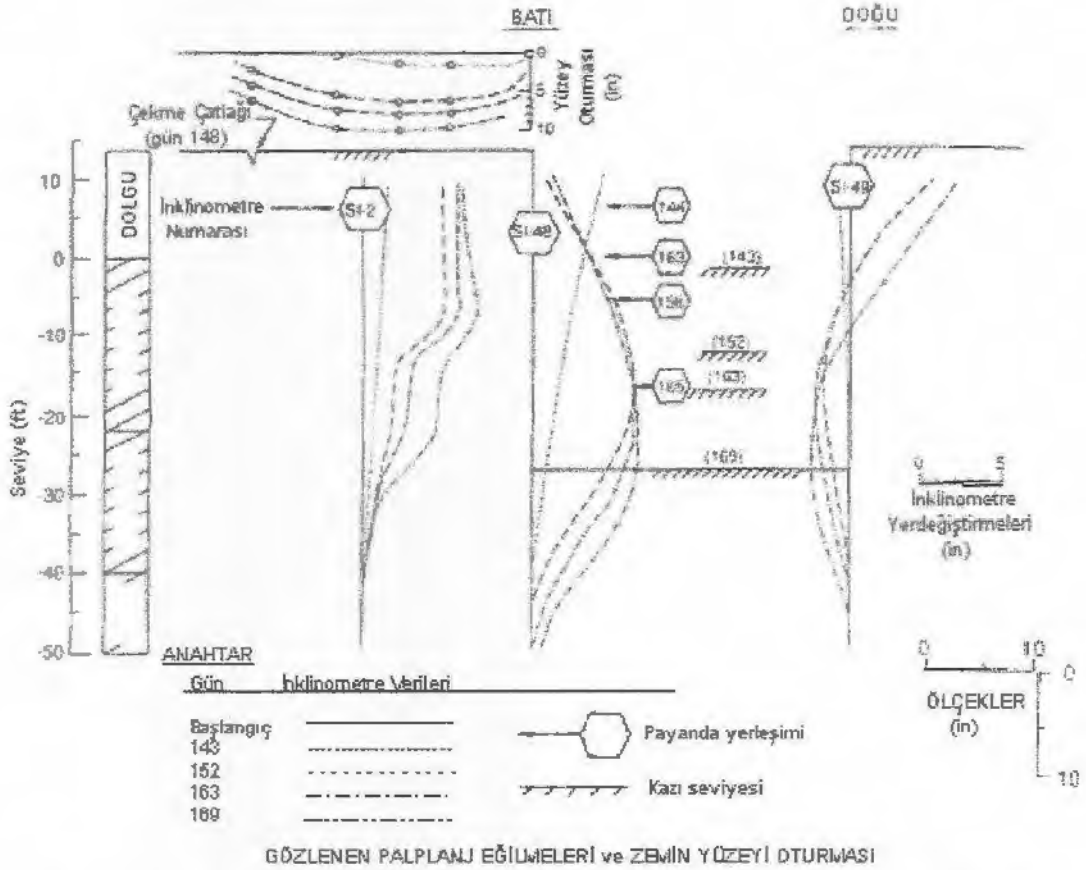
Bina Kazısının Kesiti

Şekil 3.9.a Witte Huis kazısı (Brassinga ve Van Tol, 1991)



WITTE HUIS'in ölçülen düşey yerdeğiştirmeleri

Şekil 3.9.b Witte Huis kazısı için konsolidasyonun etkileri (Brassinga ve Van Tol, 1991)



Şekil 3.10. HDR-4 kazısına ait gözlenen palplanj kazık eğilmeleri, zemin hareketleri ve boşluk suyu basıncı ölçümleri

Tablo 3.2. Saha performansı çalışmaları

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Caliendo, J. A., Anderson, L. R. ve Gordon, W. J. (1990)	Salt Lake City'deki bir yer altı park yapısı için yapılan, asker kazıklar ve ankrajlarla desteklenen bir derin kazının performansını açıklamışlardır. Ankrajların performans, sünme ve dayanım testlerini sunmuşlardır. Saha ölçümleri, birçok kazıktan inklinometre okumalarını ve ankraj tendonlarından strenggeç okumalarını içermektedir. Kazıdan sonra 2 boyutlu sonlu eleman analizi gerçekleştirmişlerdir.	Duvarın üstü kazıdan uzağa hareket etmiştir. Bu da tasarım toprak basınçlarının ve ön gerilme değerlerinin yetersizliğinin belirtisidir. Ölçümler, ankraj yüklerinin, her ankrajın enjeksiyonlu kısmı boyunca doğrusal bir biçimde azaldığını göstermiştir.
Gill, S. A. ve Lukas, R. G. (1990)	Chicago'da, sekiz binanın sahasında yapılan derin kazılar için, zemin hareketlerini ele almışlardır. Kazılar iki veya daha fazla bodrum katı derinlikte ve palplanjlar, asker kazıklar ve diyafram duvarlardan oluşmaktadır.. Ölçülen yer değiştirmeleri tahmin edilen yer değiştirmelerle kıyaslamışlardır.	Clough ve Mana'nın eğik destekli sistemler için önerdiği prosedürle tahmin edilen hareketlerin, ölçülen hareketlerle kıyaslandığında iyi sonuçlar elde edilmiştir. Enine konmuş yatay destekler kullanıldığında, ölçülen değerlerin tahmin edilen değerlerin yarısı civarında olduğu görülmüştür. Sondajlı kuyu temel yapılması ve duvar arkası dolgunun sıkıştırılmasının da, zemin hareketlerinin iki önemli kaynağı olabileceği sonucuna varmışlardır. Zemin hareketlerini minimize etmek için, sistemin rijitliğinin ve tabansal kabarmaya karşı güvenlik katsayısının en önemli parametreler olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Houghton, R. C. ve Dietz, D. L. (1990)	Boston'da, 125 High Street projesi için gerçekleştirilen, geniş, derin bir kazının ölçümlerini sunmuşlardır. Kazıyı desteklemek için, kaplamalı asker kazıklar ve ankrajlı teğet kazıklar kullanılmıştır. Zemin hareketleri ve asker kazıklar üstündeki gerilmeler kapsamlı olarak gözlenmiştir.	Geniş çaplı stabilite problemleri, kazının bir tarafında önemli duvar eğilmelerine ve ankraj yüklerinde azalmalara neden olmuştur. Derin kazıların tasarımı esnasında, ankraj bölgesinde sondajların yapılması tavsiye edilmiştir. Kazıkların üstündeki sürtünmenin, ankrajlardan gelen düşey yüklerin % 50'sine kadarını aldığı görülmüştür.
Swanson, P. G. ve Larson, T. W. (1990)	Washington Metro projesindeki bir destekli kazının göçmesi incelenmiş ve açıklanmıştır.	Göçme, drenajsız kesme mukavemetlerine olduğundan fazla değer biçilmesinden dolayı gerçekleşmiştir. Çökme bölgesinde, $S_u$ değerine dair yetersiz saha verisi elde edilmiştir. Çöken bölgenin tasarımında, metro düzenlemesinin diğer bölgelerine dayanan tasarım parametreleri kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Thompson, S. R. ve Miller, I. R. (1990)	Seattle'daki bir derin kazı için yapılan, zemine çivili bir duvarın tasarımı, inşaatı ve performansı hakkındaki bilgileri sunmuşlardır.	Maksimum duvar hareketi, duvar yüksekliğinin yaklaşık % 0.1'i olarak gerçekleşmiştir. Harcın sünme davranışının, zemin çivilerindeki yükler üstünde önemli etkileri olduğu görülmüştür. Zemin çivilerindeki yüklerin, duvarın alt kısmından üst kısmına doğru arttığı belirtilmiştir. Derin kazılar için verilen toprak basıncı diyagramlarının, zemin çivileri için makul yük değerleri verdiği sonucuna varmışlardır.
Winter, D. G. (1990)	Seattle'da, 23 m. derinlikteki bir kazının performansını sunmuşlardır. Saha verileri, ankrajlardaki yük hücrelerini, asker kazıkların hareketlerini, sahayı çevreleyen kontrol noktalarını ve dört asker kazıktaki şev inklinometresini kapsamaktaydı.	Ankrajlar için sondaj yapılması esnasında oluşan zemin kaybı ve suyun uzaklaştırılması, bitişik bir caddede önemli bir oturmaya neden olmuştur. Tipik duvar eğilmeleri, 0,5 inçten daha az değerlerde gerçekleşmiştir. Gerçek toprak basınçlarının, Terzaghi & Peck tarafında önerilen değerlerin yaklaşık 1/3 'ü civarında olduğu görülmüştür. Köşelerin 3 boyutlu etkilerinin araştırılması için, bir araştırma yapılması tavsiye edilmiştir.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Brassinga, H. E. ve Van Tol, A. F. (1991)	Rotterdam'da, ahşap kazıklar üstünde duran yüksek terfili bir binanın yanında gerçekleştirilen, 20 m. derinlikteki destekli kazının tasarımını ve performansını sunmuşlardır. Performansın tahmin edilmesinde, elasto-plastik 2 boyutlu sonlu eleman analizleri kullanılmıştır.	Sonlu eleman analizleriyle hesaplanan deformasyonların, ölçülen deformasyonlardan az daha yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Kazı durdurulduktan sonra da oturmalar devam etmiştir.
Cepollina, M., Libano, N., Barbera, A., Castilho, P. ve Gonzales, N. (1991)	Beş tane kalıp presi için derin temeller inşa etmek amacıyla, bir fabrika içerisinde kullanılan, üç farklı kazı destekleme sistemini açıklamışlardır. Beş farklı kazı için, jet enjeksiyonlu teğet kazıklar, asker kazıklar ve ön gerilmeli kök kazıkları farklı kombinasyonları kullanılmıştır.	Destek sistemleri başarılı ve tatmin edici bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Finno, R. J. ve Harahap, I. S. (1991)	Chicago'da, doygun kilde gerçekleştirilen, 12 m. derinlikteki HDR-4 kazısında, birleştirilmiş sonlu eleman simülasyonunun sonuçlarıyla ölçülen hareketlerin, boşluk suyu basınçlarının ve eğilmelerin kıyaslaması yapılmıştır. İnşaat sırasının, kazı performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir.	Farklı kazı aşamalarının başından sonuna kadar, hesaplanan palplanj deformasyonlarıyla gözlenen deformasyonların uyum içinde olduğu görülmüştür. Palplanj yerleştirilmesinin, boşluk suyu basınçları üzerinde büyük bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Yumuşak-orta sert killerdeki kazılar için, potansiyel zemin hareketlerine değer biçilirken, anizotropinin de göz önüne alınması gerektiği sonucuna varmışlardır.
Lee, S., Parnpoy, U., Yong, K. ve Lee, F. (1991)	Kazıdan sonra da deformasyonların devam ettiği bir destek sisteminin gözlemlerini sunmuşlardır. Konsolidasyonun performans üzerindeki rolüne değer biçmek için, kazıda, birleştirilmiş bir sonlu eleman analizi gerçekleştirmişlerdir.	Sonlu eleman sonuçlarının gözlenen performansla uyum içinde olduğu belirtilmiştir. Konsolidasyonun, zaman-bağımlı duvar deformasyonunda, öncelikle sorumlu olduğunu bulmuşlardır.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Lings, M. L., Nash, D. F. T., Ng, C. W. W. ve Boyce, M. D. (1991)	Gault kilinde, yukarıdan aşağıya inşa metoduyla gerçekleştirilen bir derin kazının performansı, tasarım tahminlerini kıyaslamış ve sunmuşlardır. Toprak basınçları, kabarma ve boşlu suyu basınçları ölçülmüştür.	Diyafram duvar inşaatı, yanal gerilmelerde önemli bir azalmaya neden olmuştur. Eğilmeler, destek kuvvetleri ve eğilme momentleri, tahmin edilen değerlerden çok daha az değerlerde oluşmuştur.
Steiner, W. ve Werder, F. (1991)	17 m. derinliğindeki bir kazıyı destekleyen, arkadan bağlı bir teğet kazık duvarın performansı ve tasarımın sunmuşlardır. Bir bulamaç kalkarı makinesinin bileşenlerini, yarma içine indirmek amacıyla kullanılan kamyon vinçlerden dolayı, kazı esnasında kazı yakınında büyük sürşarj yüklerinin mevcut olduğunu belirtmişlerdir.	Zemin yüzeyindeki sürşarj yüklerinin, ankraj yüklerini güçlü bir şekilde etkilediğini bulmuşlardır. Nihai kazı için, duvarın yanal hareketinin, kazı derinliğinin yaklaşık % 0.1'i değerde olduğunu belirtmişlerdir. Bulamaç makinesinin iki aşamalı indirilmesi sırasında oluşan hareketin, kazı derinliğinin % 0.02'si civarında olduğunu bulmuşlardır.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Tamano, T., Fukui, S., Kadota, S. ve Ueshita, K. (1991)	Osaka'da, 21 m. derinliğindeki bir kazıdan dolayı oluşan zemin kabarmasının mekanik davranışını incelemişlerdir. Taban kabarmasının ölçülen değerlerini, 2 boyutlu sonlu eleman analizleriyle hesaplanan değerlerle kıyaslamışlardır.	Kazı altında önemli bir kabarma gerçekleşmiştir. 21 m. derinlikli kazının 50 m. altında, 25 mm. kabarma ölçülmüştür. Birleştirilmiş sonlu eleman sonuçlarının, gözlenen kabarmayla uyum içinde olduğunu belirtmişlerdir.
Bono, N. A., Liu, T. K ve Soydemir, C. (1992)	Boston limanı yakınındaki bir sahada yapılan, içten destekli bir diyafram duvarın, inşaat performansını sunmuşlardır. Kazının bir kenarından birkaç fit uzaklıkta Boston limanı ve karşıt kenarından birkaç fit uzaklıkta da bir bina bulunmaktaydı.	Sıcaklık değişikliklerinin, yatay destek yüklerinde önemli değişikliklere ve bazı aşırı gerilmelere neden olduğu görülmüştür. Zemin koşullarının asimetrisi, asimetrik hareketlere neden olmuştur.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Finno, R. J. (1992)	Yumuşak Chicago kilinde yapılan, derin kazılara bitişik zemin hareketlerini, bir daha gözden geçirmişlerdir. Duvar ve temel yapılmasının, kazı ve destekleme döngülerinin ve yatay desteklerin kaldırılmasının, gözlenen hareketler üstündeki etkilerini incelemişlerdir.	Hareketleri hesaplarken, zemindeki gerilmeleri değiştirebilecek inşaat aktivitelerinin de dikkate alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Kazı performansının tahmin edilmesinde, sonlu eleman analizlerinin kullanılmasının, inşaat aktivitelerinin yeterince modellenemesine bağlı olarak sınırlı olduğu, bu yüzden de zemin hareketlerinin, Peck (1969), Goldberg ve arkadaşları (1976) ve Clough ve O'Rourke (1990) tarafından yayınlanan eski performans verileri kullanılarak da kabul edilebilir ölçüde hesaplanabileceği sonucuna varmışlardır.
Garvin, R. ve Boward, J. (1992)	Pittsburgh'da, aç-kapa inşaat tekniğiyle yapılan, beş seviyeli bir yeraltı araç parkı yapısını incelemişlerdir. 7-8 m. derinlikteki kazıyı desteklemek için, arkadan bağlı bir diyafram duvarı kullanılmıştır.. Hareketler ve yeraltı suyu seviyeleri, inşaat esnasında gözlenmiştir.	Bulamaç duvar iyi bir performans göstermiştir. Bulamaç duvar, kazı dışındaki yeraltı suyu seviyeleri üzerinde minimum bir etkiyle kazıdaki suyun uzaklaştırılmasına izin vermektedir. Kazıda, maksimum yanıl hareketler 10 mm. ve 20 mm. arasında değişmekteydi. Bitişikteki 80 yıllık bir kumtaşı yapı, hiçbir tehlikeye maruz kalmamıştır.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Hsi, J. P. ve Small, J. C. (1992)	Taiwan Kaoshung'da, 21 m. derinliğindeki bir derin kazının performansını, bir birleştirilmiş konsolidasyon formülasyonu ve elasto-plastik bir model kullanan sonlu eleman analizlerinden yararlanarak incelemişlerdir.	Tahmin edilen hareketlerin, kullanılan katsayı değerlerine duyarlı olduğu görülmüştür.
Kirsten, H. A. D. ve Dell, A. G. (1992)	Bir bodrum kazısını desteklemek için kullanılan, zemine çivili bir duvarın tasarımının ve performansını ortaya koymuşlardır. Duvarın tasarımı için, limit dengeleme metotlarının kullanımını tartışmışlardır.	Duvarın ayak ucundaki gerilmeler çok daha büyük olduğu için, ortalama temel basıncının, güvenilir bir tasarım prosedürü sağlamadığını belirtmişlerdir.
Patel, A. ve Castelli, R. (1992)	Baltimore metro sisteminin Shot Tower istasyonu için gerçekleştirilen derin kazının tasarım ve performansını sunmuşlardır. Tasarım kriterlerini, metodolojiyi ve enstrümantasyon gözetleme programının ön bulgularını açıklamışlardır.	Maksimum yanal duvar hareketleri yaklaşık % 0.06 H civarında oluşmuştur.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Gifford, D. Ve Wheeler, J. (1992)	Baltimore'daki, beş seviyeli bir yeraltı park etme garajı için yapılan bir kazıyı desteklemek için kullanılan, yapısal bulamaç bir duvarın performansını ortaya koymuşlardır.	Bulamaç duvar kullanılması, inşaat çalışmalarını kolaylaştırmıştır. Bulamaç duvar nispi olarak su geçirmezdir ve hareketler kabul edilebilir değerlerdedir. Oturmanın çoğu, ön çukur açma işleminden dolayı oluşmuştur. Ankrajların yerleştirilmesi esnasında oluşan ilave enjeksiyon basınçları, kazıya doğru 0.5 inçlik duvar hareketine neden olmuştur.
Schoenwolf, D. A., Whitman, R. V., Abbott, E. L. ve Becker, J. M. (1992)	Boston'da, posta ofisi merkezi için yapılan yedi seviyeli (24 m. derin kazı) bir garajın, yukarıdan-aşağıya inşasında kullanılan yapısal bulamaç bir duvarın performansını ortaya koymuşlardır. Ölçülen hareketlerle, sonlu eleman analizlerinden elde edilen hareket değerlerini kıyaslamışlardır.	Duvar inşaatı esnasındaki hareketlerin 8 mm.'den daha az olduğu kaydedilmiştir. Büzülme ve sünmeyle ilişkili olan yapısal hareketlerin varlığına dikkat çekilmiştir. İnşaatın ilk aşamaları esnasındaki büyük sıcaklık düşüşü, duvarların içeriye doğru hareketine neden olmuştur. Tasarım sırasında, ana kayanın rijitliğinin ve duvarın ayak ucunun hareketine karşı olan direncinin olduğundan düşük tahmin edildiği görülmüştür.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Winter, E., Skep, N. ve Tallard, G. (1992)	Washington'da, bir kiliseye bitişik, ankrajlı bir yapısal hulamaç duvarla desteklenmiş, 10 m. derinliğindeki bir derin kazının performansını ortaya koymuşlardır. Zemin hareketlerini ve bulamaç duvarın deformasyonlarını rapor etmişlerdir.	Kiliseye bitişik duvarın inşası esnasında, 3mm. veya daha az hareketler ölçülmüştür. Kazı esnasında çok küçük yer değiştirmeler kaydedilmiştir. Duvarın maksimum yanal yer değiştirmesi, %0.15H civarında gerçekleşmiştir.
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	Taipei'deki on derin kazı vakasının verilerini yeniden gözden geçirerek, kazı esnasında oluşan zemin yüzeyinin oturmasının karakteristiklerini incelemişlerdir. Maksimum duvar eğilmesini ve duvar eğilmesiyle zemin oturması arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Tasarım için, normalize edilmiş oturma eğrileri önermişlerdir.	Derin kazılara bitişik oturmaların genel olarak iki şeklinin olduğunu belirtmişlerdir. Maksimum yanal duvar deformasyonunun, genellikle, bir kazının tabanına yakın kısmında oluştuğunu söylemişlerdir. Maksimum zemin oturması için üst limit değerinin, maksimum yanal duvar deformasyon değeri olduğu, genelde ise, zemin oturmasının, maksimum duvar deformasyonunun yaklaşık %50 - %70 'i civarında olduğu belirtilmiştir. Maksimum duvar deformasyonlarının genellikle, kazı derinliğinin % 0.2'si ile % 0.5'i arasında oluştuğu söylenmiştir.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Hsi, J. P. ve Small, J. C. (1993)	Taipei'deki bir bina için, siltli kilde gerçekleştirilen 13 m. derinliğindeki bir derin kazının, sonlu eleman geriye çözümlemesini sunmuşlardır. Sonlu eleman sonuçları, ölçülen performansla karşılaştırılmıştır.	Sonlu eleman tahminleriyle, ölçülen performans arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür.
Tanaka, H. (1993)	Yumuşak kilde yapılan, derinlikleri 15 m. ile 21 m. arasında değişen birkaç destekli kazının performansını incelemiştir. Kazı altındaki ve duvarlar arasındaki zemin, kabarmayı azaltma gayreti içinde, derin zemin karıştırma işlemiyle iyileştirilmiştir.	Düşey dayanak desteklerinden (kazı tabanına çakılan kazıklar) kaynaklanan büyük kabarmalar gözlenmiştir. İyileştirilen ve iyileştirilmeyen zeminlerin mukavemetinin ifade edilebilmesi amacıyla, tabansal kabarma için bir stabilite katsayısı önerilmiştir.
Cheng, S. ve Hansen, L. (1994)	Puerto Rico'da, 5 m.'den 16 m.'ye değişen derinlikteki bir kazıyı destekleyen zemine çivili bir duvarın performansını ortaya koymuşlardır. İnklinometreler duvar deformasyon verilerini sağlamıştır. Strengencylerse, zemin çivilerindeki yüklerin takip edilmesini sağlamışlardır.	Duvarın ankrajlı bir duvar gibi değil de, donatılı bir dayanma duvarı gibi davranış gösterdiği sonucuna varmışlardır. Zemin çivisi yüklerinin, duvar boyunca yukarıdan aşağıya azaldığı gözlenmiştir.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Whittle, A. J., Hashash, Y. M. A. ve Whitman, R. V. (1993)	Boston'da, posta ofisi projesi için yapılan yedi katlı bir yeraltı otopark garajının, yukarıdan-aşağıya inşaatı için bir sonlu eleman geriye çözümü ortaya koymuşlardır. Tamamen birleştirilmiş lineer olmayan analiz sonuçlarını, kapsamlı saha verileriyle kıyaslamışlardır.	Parametrik iterasyonlara başvurmadan da, zemin deformasyonları ve yeraltı suyu akışıyla ilgili güvenilir ve tutarlı tahminler yapılabileceği sonucuna varmışlardır. Analiz sonuçlarının, çeşitli ölçümlerle (boşluk suyu basınçları, çeşitli noktalardaki hareketler) karşılaştırılması gerekliliğini vurgulamışlardır. Sonlu eleman analizi sonuçlarının doğruluğunun sağlanabilmesi için, uygun zemin karakterizasyonunun bir ön koşul olduğunu belirtmişlerdir. Zemin sisteminin termal hareketlerinin de sonlu eleman analizlerine dahil edilmesini önermişlerdir.
Haghayeghi, A. R. ve Mirzakashani, M. (1994)	Boston'da, kuzey istasyonu yeraltı garaj projesindeki bir yapısal bulamaç duvarın davranışını, elastik-temel-üzerinde-kiriş analizlerini kullanarak incelemişlerdir.	Gerçek ve teorik sonuçlar, karşılıklı uyum içinde gözükmemişlerdir. Gerçek ve teorik sonuçlar arasındaki uyumsuzluklar, yanlış yay sabitlerine, garaj tabakalarının yük altında sünmesine ve büzülmesine bağlanmıştır.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Ikuta, Y., Maruoka, M. ve Sato, E. (1994)	Yüksek irtifalı bir ofis binasının bodrumunun yukarıdan aşağıya inşası esnasındaki kazı sırasını değiştirmek ve optimize etmek amacıyla gözlemsel metodun kullanımı tartışmışlardır.	Gözlemsel metodun kullanımı, kazının güvenli ve verimli bir şekilde tamamlanmasını olanaklı kılmıştır. Destek sistemlerini daha sonraki aşamalarda değiştirmek, maliyetleri azaltmıştır.
Katzenbach, R., Floss, R. ve Schwarz, W. (1994)	Yumuşak gölcül kilde yapılan bir derin kazının vaka analizini sunmuşlardır. Kazının tabanındaki, enjeksiyon kazıklarıyla ankraj edilmiş, 2 m. kalınlığındaki püskürtme beton tabakası duvarın ayak kısmı için ilave destek sağlamakta ve tabansal kabarmayı engelleme işini görmektedir.	7 m.'lik kazıdaki palplanjın yanal hareketleri 2 cm. civarında sınırlandırılmıştır. Yatay destek yükleri, sıcaklıktaki yükselişten dolayı artmıştır.
Moh, Z. C., Chou, L. L. ve Ilwang, R. N. (1994)	MRT'nin inşası esnasında, zemin hareketlerini minimize etmek için, sıkıştırma enjeksiyonunun, ön yüklemenin, delme kazıkların, jet enjeksiyonunun ve derin zemin karıştırmasının kullanılmasını özetlemişlerdir.	Yatay desteklerin, tasarım yüklerinin yarısı kadar ön yüklemeyle yüklenmesinin, hareketleri azaltmada efektif olduğu görülmüştür. Kazı içinde, zeminin iyileştirilmesinin de aynı zamanda hareketleri azaltmada başarılı olduğu belirlenmiştir. Jet enjeksiyonu ve diyafram duvar inşaatı teknikleri de bu kazıda başarıyla kullanılmıştır

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Reinfurt, J. E., Anderson, T. C., Reitz, P. ve Licari, T. (1994)	St. Louis hafif raylı sisteminin iki istasyonu için yapılan geçici destek sistemlerinin tasarımını, inşasını ve gözlenmesini açıklamışlardır. Kazılar yaklaşık 30 ft derinliktedir ve yumuşak-orta katı zeminlerde yapılmıştır.	Hareketler, Clough ve O'Rourke'ın yöntemiyle hesaplanan değerlere göre daha küçük olmuştur. Maksimum hareketlerin ve oturmaların gerçekte % 0.2 H'dan daha küçük olduğu belirtilmiştir. Bazı konsolidasyon oturmaları da not edilmiştir.
Tanaka, H. (1994)	Tokyo uluslararası havaalanında, yumuşak bir zeminde yapılan bir kazının altındaki uyanmış drenajsız kesme mukavemeti araştırılmıştır. Duvar adezyonunun, şişmenin, birim deformasyon değerinin ve hücre basıncının pasif toprak basıncı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yanal duvar hareketlerini, tabansal hareketleri ve destek duvarları üzerindeki toprak basıncı dağılımını tarif etmişlerdir.	Zemin profilindeki tek kum tabakasının kazılmasını takiben büyük yer değiştirmeler oluşmuştur. Maksimum duvar hareketleri, kazının tabanı altında meydana gelmiştir. Üç eksenli uzatma deneylerinden elde edilen drenajsız kesme mukavemetlerine dayanan toprak pasif basınçlarının, serbest basma dayanımlarına dayanan toprak basınçlarına göre gözlenen davranışa daha uygun olduğu belirtilmiştir.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Young, D. K. ve Ho, E. W. L. (1994)	Ankrajlı bir palplanj duvarın tasarımı ve inşasında, gözlemsel metodun kullanımını açıklamışlardır. Saha performans sonuçlarını ve sonlu eleman modellemesinin sonuçlarını sunmuşlar ve kıyaslama yapmışlardır. Aynı zamanda, palplanjların yerleştirilmesi ve çıkarılması esnasında oluşan hareketleri incelemişlerdir. Palplanj duvar ve delme kazıkların, büyük ölçekli provalarının sonuçlarını sunmuşlardır.	Kazı başarıyla gerçekleşmiş ve yakındaki büyük bir yer altı güç hattına bir zarar vermemiştir. Palplanjların çakılmasından dolayı oluşan maksimum yer değiştirme 30 mm.'dir. Kazık çakılmasından dolayı oluşan zemin hareketleri, 10 m. uzaklığa kadar bir mesafe içinde kaydedilmiştir. Kazık çakılmasından dolayı oluşan hareketlerin, kazık büyüklüğünden daha çok titreşim seviyeleriyle ilişkili olduğu belirtilmiştir. Kazı sonrasında zaman-bağımlı hareketler gözlenmiştir. Ölçüm noktalarındaki hareket değerlerinin değişkenliği, sıcaklık ve hava etkisine bağlanmıştır.
O'Rourke, T. D. ve O'Donnell, C. J. (1997)	Boston'da, Logan havaalanı yakınındaki I-90'ın inşaatı için, derin orta katı-katı kil birikintisinde yapılan arkadan bağlı bir kazının vaka analizini sunmuşlardır. Zemin hareketlerini kontrol etmede derin zemin karıştırmanın ve jet enjeksiyonunun kullanımını incelemişlerdir. yer değiştirmelerle ilgili saha ölçümlerini, arka-bağ yüklerini ve boşluk suyu basınçlarını sunmuşlardır.	Derin zemin karıştırma ve jet enjeksiyonu, kazının, stabiliterin söz konusu olduğu bir noktaya ilerlemesinden sonra kullanılmıştır. Derin zemin karıştırma ve jet enjeksiyonu esnasında, görtünüşe göre geçici yumuşamadan kaynaklanan, ilave hareketler kaydedilmiştir. Zemin karıştırma duvarı, deniz kilinde, serbest bir drenaj yüzeyi gibi davranmıştır. Yumuşak killerde, arka-bağların kullanılmasının dikkatlice değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
O'Rourke, T. D. ve O'Donnell, C. J. (1997)	Boston'da, Logan havaalanı yakınındaki I-90'ın inşaatı için, derin orta katı-katı kil birikintisinde yapılan arkadan bağlı bir kazının vaka analizini sunmuşlardır. Killerdeki arkadan bağlı kazılarda, derin dairesel çökme için stabilite grafikleri geliştirmek amacıyla, STABL/G'yi kullanarak parametrik incelemeler gerçekleştirmişlerdir.	Sonlu eleman analizleri, derin bir dairesel çökme mekanizmasından dolayı, duvarın ve ankrajların bir parça gibi hareket ettiklerini göstermiştir. Derin dairesel stabilite için en kritik parametrenin, taban kilinin drenajsız kesme mukavemeti olduğunu bulmuşlardır.
Lec ve arkadaşları (1998)	Singapore'da, bir göçmen binası için yapılan yatay destekli bir kazıda, köşelerin kazının davranışı üstündeki etkilerini incelemişlerdir. Ölçülen duvar hareketlerini ve kazı yanındaki zeminin ölçülen oturmalarını, 2 boyutlu ve 3 boyutlu sonlu eleman analizlerinin sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır.	Gerçek kazı geometrisi ve kazı sırası kullanıldığında, 3 boyutlu sonlu eleman analizleriyle makul tahminler yapılabileceği sonucuna varmışlardır. 3 boyutlu analizlerle tahmin edilen davranışın, 2 boyutlu analizlerle tahmin edilen davranışa göre, ölçülen davranışla daha uyumlu olduğu belirtilmiştir. Köşelerin etkisinin öneminin , kazının uzunluk/derinlik oranına, iyi tabakanın derinliğine ve destek sisteminin rijitliğine göre değiştiği sonucu çıkarılmıştır.

Tablo 3.2. Devamı

Yazar	Çalışmanın Özelliği	Bulgular
Wong, I. H., Poh, T. Y. Ve Chuah, H. L. (1996)	Singapore'da, merkezi ekspres yolu II. aşama projesi için yapılan derin kazıların performansını sunmuşlardır. Kullanılan farklı destek sistemleri ve zemin şartları için, yanal duvar eğilmelerini, zemin oturmalarını ve destek yüklerini incelemişlerdir.	Maksimum duvar hareketlerinin, katı zeminler üstünde 0.9 H kalınlığında yumuşak zemin tabakaları içeren zemin profilindeki kazılar için, tipik olarak % 0.5 H'dan daha küçük olduğunu bulmuşlardır. Maksimum duvar hareketlerinin, katı zeminler üstünde 0.6 H kalınlığında yumuşak zemin tabakaları içeren zemin profilindeki kazılar içinse, tipik olarak % 0.35 H'den daha küçük olduğunu bulmuşlardır. Katı zemine gömülen duvarlarda, yatay desteklerin ilk katını duvarların üst kısmına yakın yerleştirmenin, hareketleri azalttığı sonucuna varmışlardır.

### 3.4.1.3. Sıcaklık Değişiklikleri

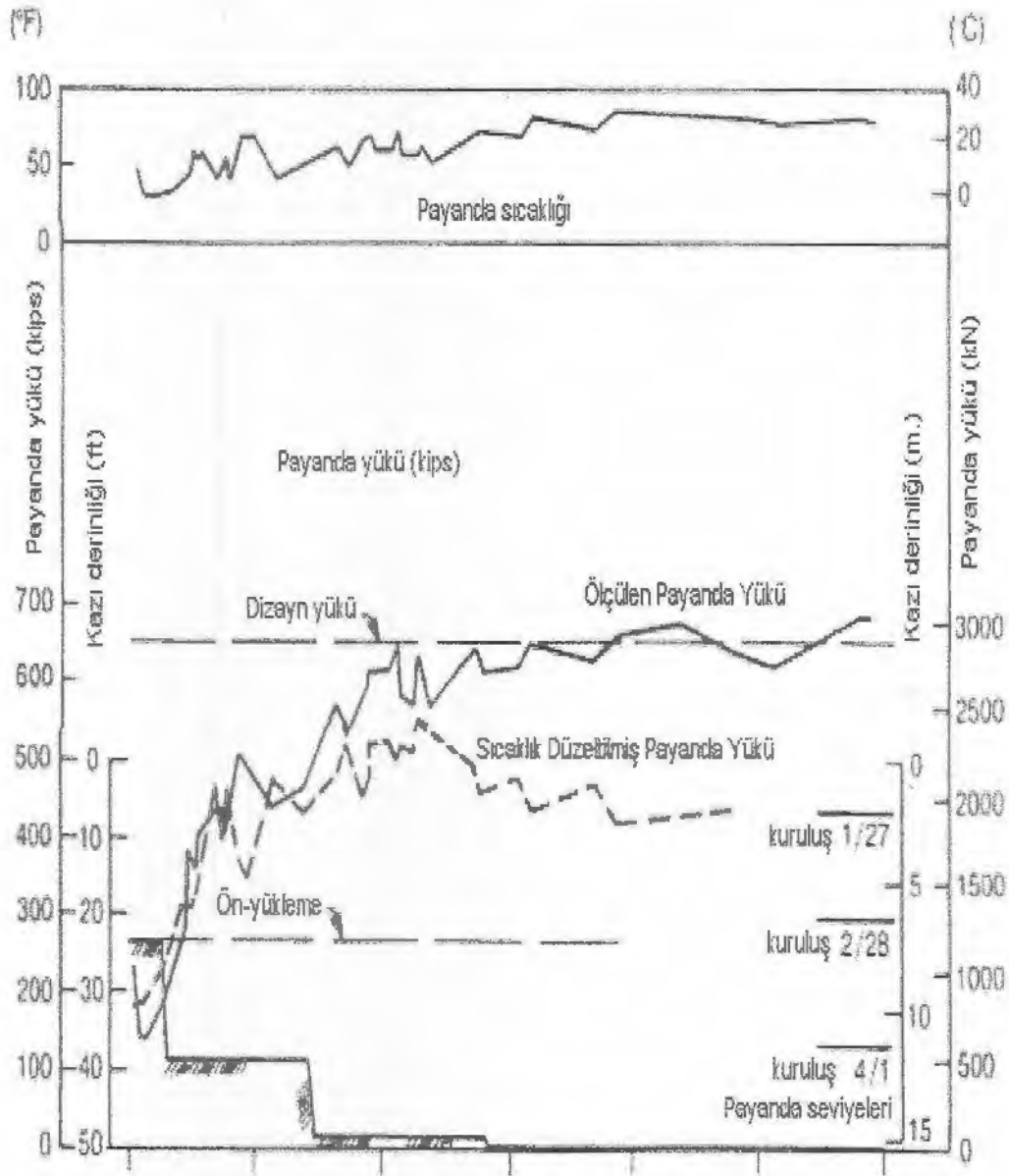
Bono ve arkadaşları (1992), Boston'daki bir kazının çelik yatay destekleri üzerindeki termal etkilerini açıklamışlardır. Bono ve arkadaşları tarafından açıklanan kazı, martta başlamış ve mart boyunca devam etmiş, böylece önemli bir mevsimsel ısınma da kazı boyunca yaşanmıştır. Kazıdaki bazı yatay destekler, direkt güneş ışığına da maruz kalmıştır. Termal genişlemeden dolayı çelik desteklerde oluşan yük artışları, bazı kaldırma kutularında aşırı gerilmeye neden olmuştur. Şekil 3.11, sıcaklığın, bir yatay desteğin basınç kuvveti üzerindeki etkisini göstermektedir. Şekil 3.11 sıcaklık değişimlerinin, yatay destek yükünde 200 kip'lik bir artışa neden olduğunu göstermektedir. Yüklenici, problem ortaya çıktıktan sonra, yatay destekleri direkt güneş ışığından korumak ve sıcaklık dalgalanmalarını azaltmak için yapay gölge sağlamıştır [10].

Katzenbach ve arkadaşları (1994), Almanya'da gölcül killerde yapılan bir destekli kazıda, yatay destek yüklerini ve çevre hava sıcaklığını gözlemlemişlerdir. Şekil 3.12, sıcaklıktaki yükseliş ve düşüşü takip eden destek yüklerindeki yükseliş ve düşüşü göstermektedir. Ortalama yatay destek yükü, kazı derinliği artışı için artmıştır [10].

Whittle ve arkadaşları (1993), Boston'daki bir yukarıdan aşağıya inşaatta kullanılan bir kazıyı incelemişlerdir. Bu incelemede, şubattan temmuza kadar gerçekleşen çevre sıcaklığındaki 25<sup>0</sup>C'lik bir artışın, yapısal katların termal genişmesine neden olduğunu ve bunun da diyafram duvarların tepe kısmının dışarıya doğru 5-10 mm. civarında hareket etmesine sebebiyet verdiğini açıklamışlardır [24].

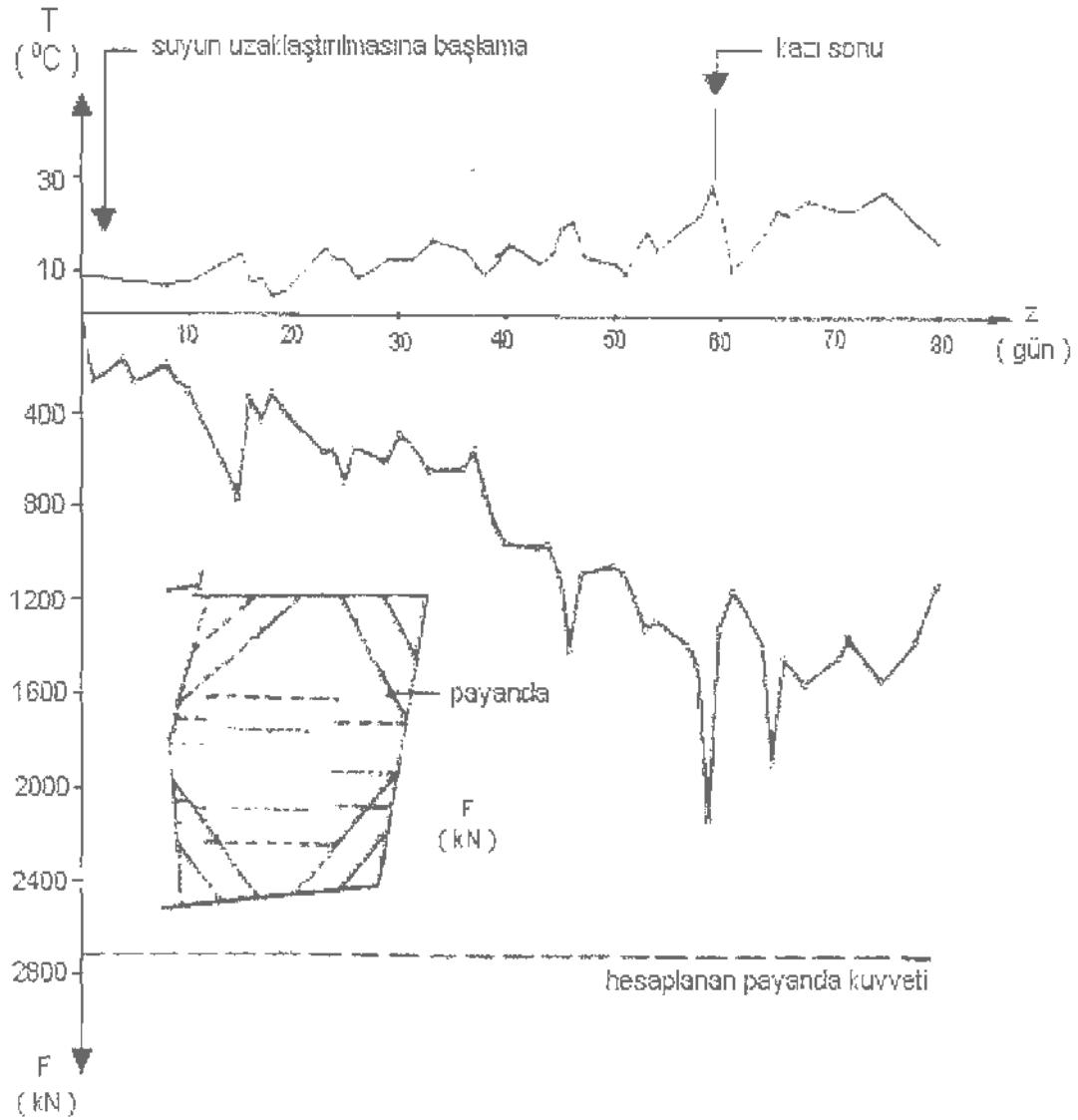
Young ve Ho (1994), kazı performansı üstündeki diğer bir sıcaklık etkisine dikkat çekmişlerdir. Young ve Ho, kazı inşaatının ilk aşamaları esnasında, zemindeki gözlem referans noktalarından elde ettikleri hareket değerlerinde büyük ölçüde dağınık gözlemlemişler ve hareket değerlerinin sıcaklıktaki dalgalanmalara

ve genel hava gidişatına uygun olarak hareket ettiğini ifade etmişlerdir. Sıcaklık dalgalanmalarından dolayı oluşan yer değiştirmelerin büyüklüğünün, yaklaşık olarak inşaattan dolayı oluşan yer değiştirmelerle aynı olduğu belirtilmiştir [10].



Şekil 3.11. Yatay destek yükünde sıcaklığın etkisi

Termal etkilerle ilgili bu tecrübeler, sıcaklığın iki yönden göz önüne alınması gerektiğini göstermiştir. Birincisi, yapı elemanlarının sıcaklık değişimlerinden dolayı genişmesi ya da büzülmesidir. İkincisi de, sıcaklığın, derin kazıları gözetlemek için kullanılan aletler üzerindeki etkisidir.



Şekil 3.12. Sıcaklığın yatay destek yükleri üzerindeki etkileri

#### **3.4.1.4. Yukarıdan Aşağıya İnşaat Tekniğinin Kullanıldığı Derin Kazılarda Beton Büzülmesi**

Yukarıdan aşağıya inşaat, binanın bodrumunun yukarıdan (zemin yüzeyi) aşağı doğru inşa edilmesi demektir. Bodrumun yapısal katları, kazı ilerledikçe inşa edilmektedir. Bodrumun katları kazı duvarlarını desteklemektedir. Whittle ve arkadaşları, beton büzülmesinden dolayı yapısal katların büzülmesinin, kazı destek duvarlarının hareketlerine neden olduğunu ifade etmişlerdir [24].

#### **3.4.1.5. Yumuşak Zeminlerdeki Derin Kazılarda Zemin İyileştirme**

Jet enjeksiyonu ve derin zemin karıştırma gibi teknikler, Tablo 3.2'deki bazı vakalarda da bahsedildiği gibi, bir kazının altındaki zeminin dayanımının artırılması için kullanılabilirler. Bu teknikler, tabansal kabarmaya karşı güvenlik katsayısını arttırmakta ve kazı esnasında oluşan hareketlerin büyüklüğünü azaltmaktadırlar.

Moth ve arkadaşları (1994), Singapore'daki MRT projesi için yapılan kazılarda, zemin hareketlerini azaltmak amacıyla kazı altında kullanılan, jet enjeksiyonu ve derin zemin karıştırma yöntemlerini açıklamışlardır. Tanaka (1993), Tokyo körfezinin yumuşak zeminlerinde yapılan bir kazıda, tabansal kabarmayı azaltmak ve stabiliteyi artırmak amacıyla, derin zemin karıştırma tekniğinin kullanımını açıklamıştır. Katzenbach ve arkadaşları (1994), yumuşak gölcül killerde yapılan bir kazıda, tabansal stabiliteyi sağlamak amacıyla başarılı bir şekilde kullanılan, enjeksiyon kazıklarıyla ankrajlı bir püskürtme beton tabakasını açıklamışlardır. O'Rourke ve O'Donnell (1997), Boston'da yumuşak denizsel killerde yapılan bir kazıyı stabilize etmek amacıyla kullanılan derin zemin karıştırma ve jet enjeksiyonu tekniklerini açıklamışlardır [10].

### 3.4.1.6. Arka Bağların Yerleştirilmesi

Winter (1990), derin bir kazı yakınında, arka bağ inşası için yapılan sondaj esnasında oluşan zemin kaybindan dolayı, önemli hareketlerin oluştuğunu rapor etmişlerdir. Gifford ve Wheeler (1992), arka bağ inşası esnasındaki ilave enjeksiyon basıncının, kazıya doğru duvar hareketine neden olduğunu rapor etmişlerdir. Bu iki deneyim, arka bağ inşasının, problemlerin önüne geçmek amacıyla dikkatlice gözlenmesi ve kontrol edilmesi gereken bir süreç olduğunu göstermektedir.

### 3.4.1.7. 3 Boyutlu Etkiler

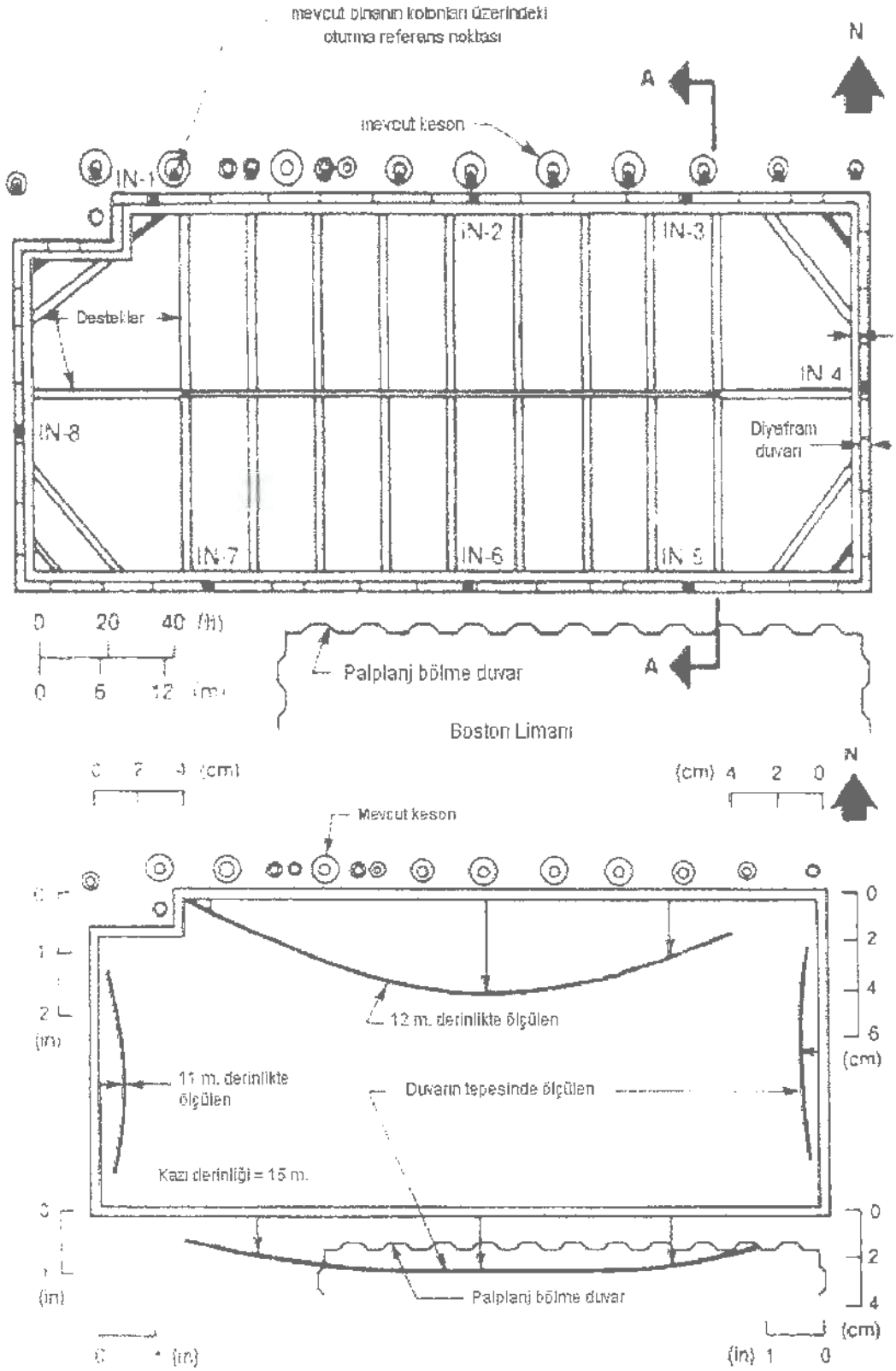
Bono ve arkadaşları tarafından yayınlanan Şekil 3.13, kazı geometrisini ve duvar hareketlerinin modelini plan görünüşte göstermektedir. Lee ve arkadaşlarının yayınladığı şekil 3.14, kazı geometrisini ve en yakın köşeye olan mesafeye karşılık çizilmiş duvar hareketlerini göstermektedir [10].

Derin kazılarla ilgili iki önemli konu vardır. Birisi kazı performansı üstünde 3 boyutlu geometrinin etkisidir. Çoğu derin kazının tasarımında, düzlem deformasyon analiz modelleri kullanılmaktadır. Köşelerin zaptetme etkisinden dolayı, düzlem deformasyon modellerinin kullanımı konservatiftir. 3 boyutlu etkilerin ikinci önemli noktası ise, kazı performansının yorumlanmasındaki etkisidir. Eğer kazı performansının analizi esnasında 3 boyutlu etkiler göz önüne alınmazsa, hatalı yorumlar ortaya çıkabilir. Örnek olarak, Plan ölçülerinde kare olan bir derin kazının performansının tahmin edilmesinde 2 boyutlu sonlu eleman analizinin kullanıldığını düşünelim. Düzlem deformasyon varsayımı dışında, sonlu eleman analiziyle ilgili her şeyin doğru olduğunu düşünsek bile tahmin edilen duvar hareketleri gerçek duvar hareketlerinden daha büyük olacaktır. Eğer 2 boyutlu modeli kalibre etmek için bir geriye çözümleme gerçekleştirilirse, gözlenen hareket değerlerine uyumun sağlanabilmesi için, zemin rijitliğinin artırılması gerekecektir.

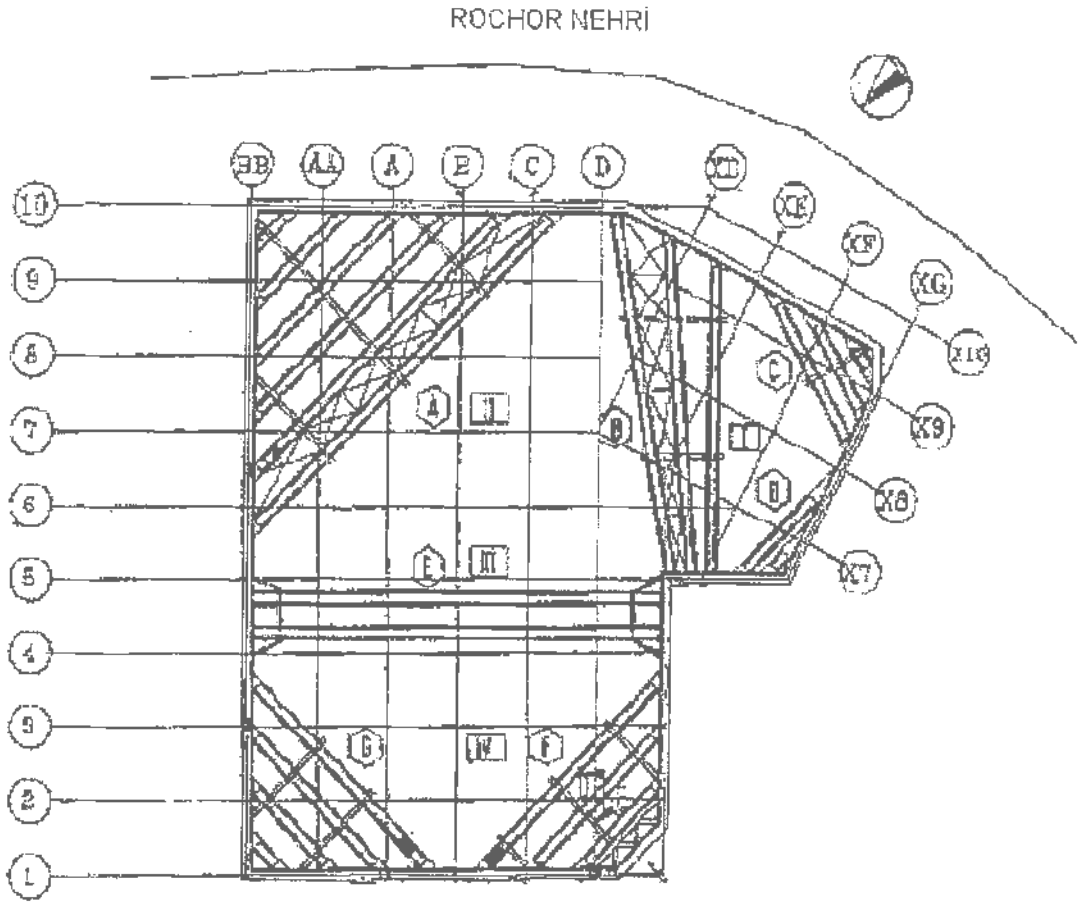
### 3.5. Performans Verileri

Tipik bir derin kazının davranışı komplekstir ve performansının tahmin edilebilmesi süreci birçok belirsizlik içermektedir. Bir derin kazıda, tasarımcıların karşı karşıya kaldıkları en uğraştırıcı iş, özellikle de kentsel ortamlardaki kazılarda, duvar ve zemin hareketlerinin büyüklüğünün tahmin edilmesidir. Geçmişteki derin kazıların performanslarından elde edilen deneyimler, yeni derin kazılarda tahminler yapılmasında, kullanışlı bir rehber görevi yapmaktadır.

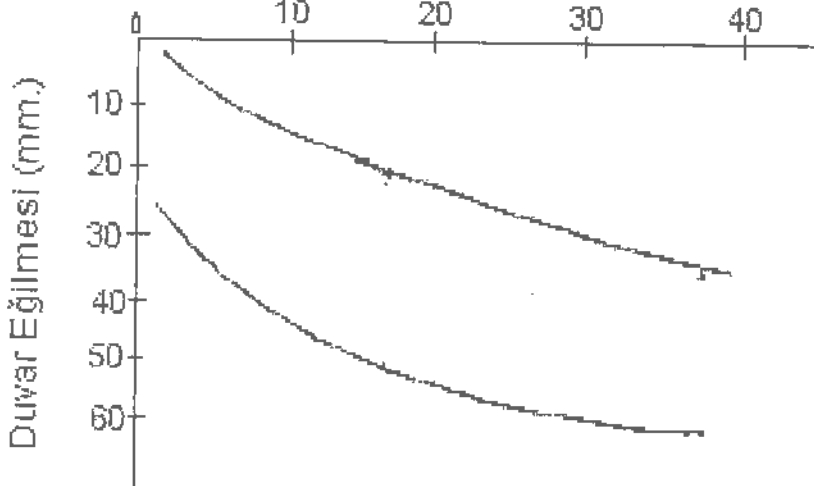
Peck (1969), Goldberg ve arkadaşları (1976), Clough ve O'Rourke (1990), farklı zemin tiplerinde ve farklı kazı derinliklerinde gerçekleşen farklı oturma değerlerine ulaşmak için, derin kazı vaka analizlerini incelemişlerdir. Bu performans verilerinin derlenmesi, hareket değerlerinin büyüklüğünü tahmin etmek isteyen veya bir derin kazının sonlu eleman analizi sonuçlarının makul olup olmadığını kontrol etmek isteyen tasarımcılar için kullanışlı bir araç olmuştur.



Şekil 3.13. Duvar hareketlerinde 3 boyutlu etkiler



IMM Binası Kazısının Plan Görünüşü  
En yakın köşeden uzaklık (m.)



En Yakın köşeye Olan Mesafeye Karşılık Maksimum Duvar Eğilmesi Grafiği

Şekil 3.14. Duvar yer değiştirmelerinde 3 boyutlu etkiler

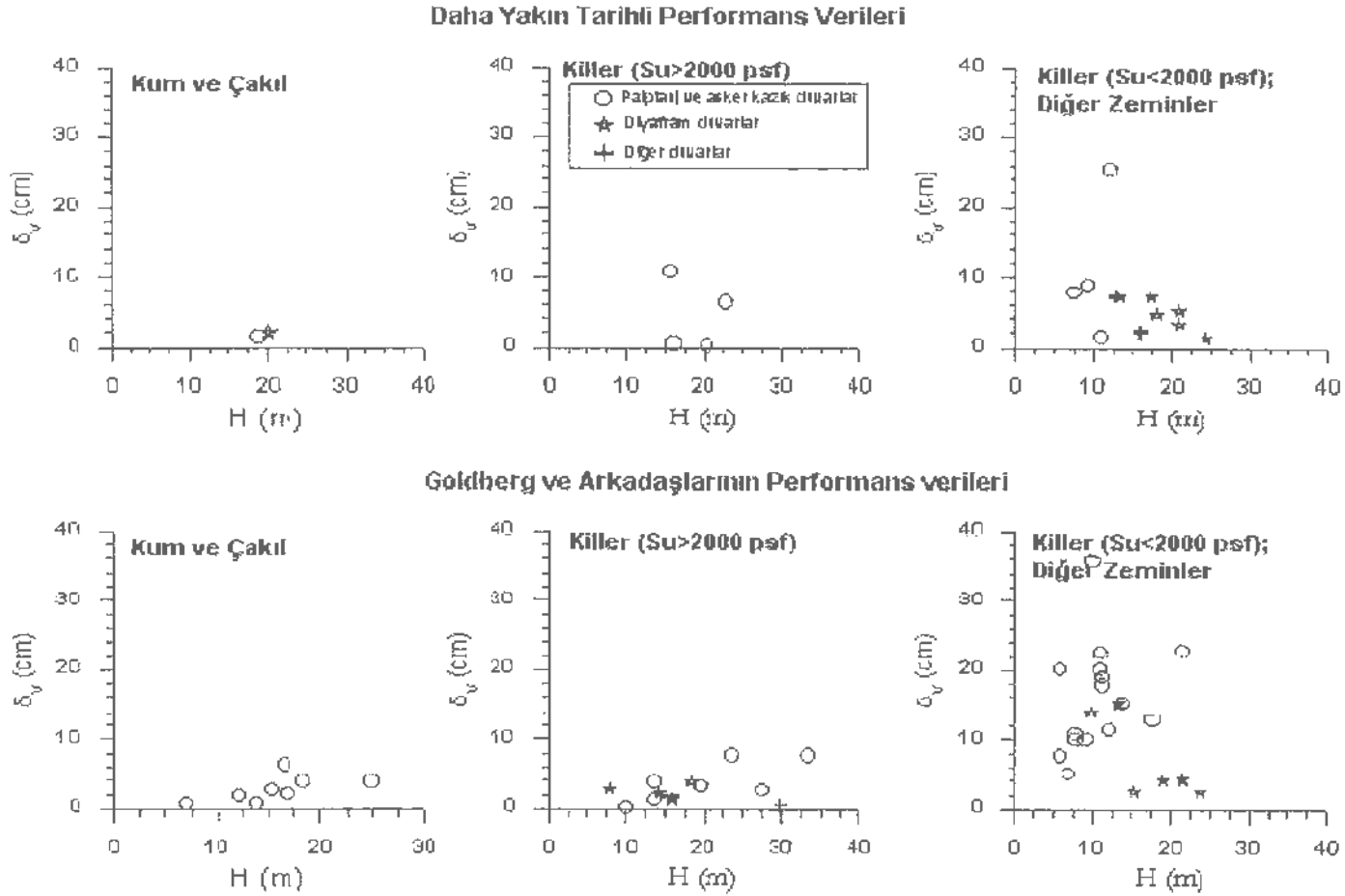
Tablo 3.3, 67 tane derin kazının performans verilerinin, Goldberg ve arkadaşları tarafından bir araya getirildiği bir özettir [10]. Tablo 3.4 ise, daha yeni tarihli 48 tane derin kazının performans verilerinin bir özetini içermektedir [8-16,19-29]. İki tablo da, her kazı için referans kaynağını, destek duvar tipini, yanal destek sistemini, zemin kategorisini, kazı derinliğini, maksimum oturmayı ve maksimum duvar yer değiştirmesini listelemektedir. Bu çalışmalarda nadiren homojen zemin şartlarıyla karşılaşmıştır. Bu yüzden, tablolarındaki her kazının zemin şartları genel olarak, kum ve çakıl, yumuşak-katı kil, çok katı-sert kil veya gevşek dolgu ve organik zemin olmak üzere dört kategoriden birisiyle sınıflandırılmıştır.

Tablo 3.4'de özetlenen 57 vakadan 52'si maksimum duvar yer değiştirmesi değerini, 22'si de maksimum zemin oturması değerini içermektedir. Yine Tablo 3.3'de, 67 vakadan 63'ü maksimum duvar yer değiştirmesi değerini, 42'si de maksimum zemin oturması değerini içermektedir. Bu aslında talihsiz bir durumdur. Oturmalar kazı civarındaki yapılara zararlı olabildiklerinden, duvar hareketlerine göre çok daha büyük önem taşımaktadırlar. Birçok çalışmada, oturmaların rapor edilememesinin nedeni duvar hareketlerine göre ölçümlerinin daha zor olmasıdır. Bir kazı yakınındaki oturmaların ölçülmesi, kazı etrafındaki inşa aktiviteleri veya trafik akışı gibi sebeplerden dolayı uğraştırıcı olmaktadır. Diğer bir tespit ise, Tablo 3.3'deki 67 kazıdan 21'inde, Tablo 3.4'de ise 57 kazıdan 30'unda diyafram duvarların kullanılmış olmasıdır.

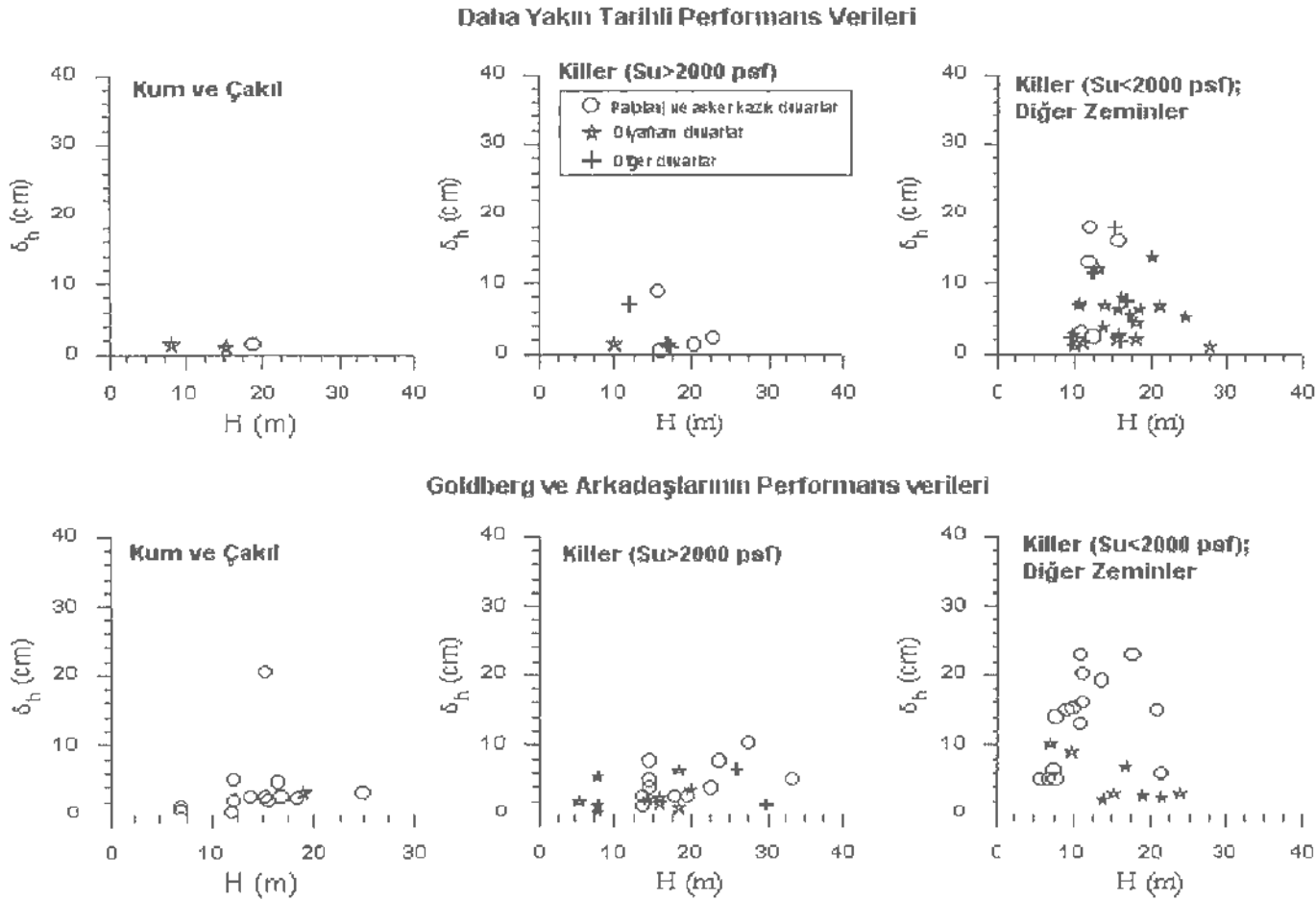
Şekil 3.15, Tablo 3.3 ve 3.4'deki kazılara ait kazı derinliklerine karşılık maksimum zemin oturmalarının işaretlendiği grafikleri içermektedir. Şekil 3.16 ise, Tablo 3.3 ve 3.4'deki kazılara ait kazı derinliklerine karşılık maksimum duvar deformasyonlarının işaretlendiği grafikleri içermektedir. Grafiklerden, verilerde büyük bir dağınıklık olduğu görülmektedir. Verilerdeki dağınıklık, yeraltı suyu koşulları, işçilik ve inşa sırası gibi her iki şekilde de dahil edilmeyen fakat kazı davranışı üzerinde önemli etkisi olan faktörlerdeki çeşitlilikten dolayı kaçınılmazdır.

Ne Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 kazı derinliği ve hareketlerin büyüklüğü arasında açık bir ilişki ortaya koymamaktadır. Aslında kazı derinliğinin artması sonucu hareketlerin büyüklüğünün de artması beklenebilir. Ancak, yukarıda da bahsedildiği gibi, tasarım ve inşa işlemlerindeki farklılıklar, böyle bir ilişkinin oluşmasına izin vermemektedir. Kazıların birçoğu, kentsel ortamlarda gerçekleştiğinden, kazıyı çevreleyen yapıların zarar görmeden dayanabileceği maksimum hareket değerleri derin kazıların tasarımını yönlendirmektedir. Bu yüzden yüzeysel kazılara göre derin kazılar için tasarım daha katı ve inşa toleransları daha sıkıdır.

Tablo 3.5 'de de Michael Long'un Londra kilindeki derin kazı vaka analizleri üzerine yapmış olduğu çalışmanın özetleri verilmiştir [30].



Şekil 3.15. Kazı derinliği değerine karşılık kazıya bitişik maksimum oturma değerleri



Şekil 3.16. Kazı derinliği değerine karşılık maksimum duvar yer değiştirme değerleri

Tablo 3.3. Goldberg ve arkadaşları tarafından özetlenen performans verileri (1976)

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{bmax}$ (cm)
Liu ve Dugan (1972)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	16.8	2	2.5
Larson, Willette, Hall ve Gnaedinger (1972)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	15.2	2.5	2.5
Dietrich, Chase ve Teul (1971)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	16.5	6.3	4.6
Cunningham ve Fernandez (1972)	diyafram duvar	ankrajlar	yumuşak-katı kil	7	-	10.2
Cole ve Burland (1972)	diyafram duvar	eğik destekler	çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	18.4	3.8	6.3
Tait ve Taylor (1974)	diyafram duvar	yatay destek – ön gerilmeli	yumuşak-katı kil	13.8	-	2.3
Armento (1973)	diyafram duvar	yatay destek – ön gerilmeli	yumuşak-katı kil	21.4	4.3	2.5
Cunningham ve Fernandez (1972)	diyafram duvar	Yatay destek	yumuşak-katı kil	9.8	13.9	8.9
Tan (1973)	diyafram duvar	Beton plaka	yumuşak-katı kil	13.2	15.2	-
Breth ve Wanoscheck (1969)	diyafram duvar	Yatay destek	Çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	18.4	-	1

Tablo 3.3.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Huder (1969)	diyafram duvar	Beton plaka	Çok katı- sert kil Su>2000 psf	19.9	-	3.6
Thom ve Harlan (1973)	diyafram duvar	Yatay destek-ön gerilmeli	Yumuşak- katı kil	23.8	2.5	3
Barla ve Mascardi (19749)	kesişen kazık	ankrajlar	Çok katı- sert kil Su>2000 psf	25.9	-	6.6
Heeb, Schurr, Bone, Henke ve Muller (1966)	asker kazık	Yatay destek	Kum ve çakıl	12.2	-	2
Breth ve Romberg (1972)	asker kazık	ankrajlar	Yumuşak- katı kil	20.8	-	14.9
Schwarz (1972)	kesişen kazık	ankrajlar	Çok katı- sert kil Su>2000 psf	29.8	0.51	1.5
Gorbett, Davies ve Langford (1974)	diyafram duvar	eğik destekler	Çok katı- sert kil Su>2000 psf	0		
Hodgson (1974)	diyafram duvar	ankrajlar	çok katı- sert kil Su>2000 psf	7.9	-	0.3
Gorbett ve Stroud (1974)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	15.6	-	2
Littlejohn ve Macfarlane (1974)	diyafram duvar	ankrajlar	çok katı- sert kil Su>2000 psf	5.5	-	2
Saxena (19174)	diyafram duvar	ankrajlar	başka zeminler	16.8	-	6.9

Tablo 3.3.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Ware	diyafram duvar	yatay destek – ön gerilmeli	kum ve çakıl	18.9	-	3.2
Goldberg, Zorno ve ortak çalışmaları	asker kazık	ankrajlar	çok katı-sert kil Su>2000 psf	13.8	3.8	2.5
Burland (1974)	diyafram duvar		çok katı-sert kil Su>2000 psf	7.9	-	1.3
NGI (1962)	palplanj	yatay destek – ön gerilmeli	yumuşak-katı kil	7.9	9.9	13.9
NGI (1962)	palplanj	yatay destek – ön gerilmeli	yumuşak-katı kil	7.9	10.7	5.1
NGI (1962)	palplanj	Yatay destek	yumuşak-katı kil	11	20.1	22.9
NGI (1962)	palplanj	Beton plaka	yumuşak-katı kil	11.3	19	-
NGI (1962)	palplanj	Yatay destek	yumuşak-katı kil	9.2	9.9	14.9
Maljian ve Van Beveren (1974)	palplanj	ankrajlar	Çok katı-sert kil Su>2000 psf	33.6	7.6	5.1
Jennings (vaka Mcfarland ve Jennings tarafından rapor edilmiştir (1974))		ankrajlar	çok katı-sert kil Su>2000 psf	14.7	-	7.6
Jennings (vaka Mcfarland ve Jennings tarafından rapor edilmiştir (1974))		ankrajlar	çok katı-sert kil Su>2000 psf	14.7	-	3.8

Tablo 3.3.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{bmax}$ (cm)
Jennings (vaka Mcfarland ve Jennings tarafından rapor edilmiştir (1974))		ankrajlar	Çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	Jennings (vaka Mcfarland ve Jennings tarafından rapor edilmiştir (1974))		ankrajlar
Jennings (vaka Mcfarland ve Jennings tarafından rapor edilmiştir (1974))		ankrajlar	çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	14.7	-	4.9
Jennings (vaka Mcfarland ve Jennings tarafından rapor edilmiştir (1974))		ankrajlar	çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	18	-	2.5
Lambe, Wolfskill ve Wong (1970)	palplanj	yatay destek – ön gerilmeli	diğer zeminler	17.7	12.8	22.9
O'Rourke ve Cording (1974)	asker kazık	yatay destek – ön gerilmeli	kum ve çakıl	18.3	3.8	2.3
O'Rourke ve Cording (1974)	asker kazık	yatay destek – ön gerilmeli	kum ve çakıl	25	3.8	3.2
O'Rourke ve Cording (1974)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	12.2	1.8	5.1

Tablo 3.3.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Lambe, Wolfskill ve Jaworski (1972)	diyafram duvar	yatay destek – ön gerilmeli	yumuşak-katı kil	15.2	2.5	3
Burland (1974) ve St. John (1974)	diyafram duvar	Beton plakalar	çok katı-sert kil Su>2000 psf l	15.9	1.5	2.5
Burland (1974) ve St. John (1974)	diyafram duvar	ankrajlar	çok katı-sert kil Su>2000 psf	7.9	2.8	5.6
O'Rourke ve Cording (1974)	asker kazık	Yatay destek - ön gerilmeli	çok katı-sert kil Su>2000 psf	1	0.2	-
Burland (1974) ve St. John (1974)	diyafram duvar	Yatay destek	çok katı-sert kil Su>2000 psf	15.9	1.3	1.5
NGI (1962)	palplanj	Yatay destek	yumuşak-katı kil	5.9	7.6	-
NGI (1962)	palplanj	Yatay destek	yumuşak-katı kil	11	22.6	13
McRostic, Burn ve Mitchell (1972)	palplanj	ankrajlar	yumuşak-katı kil	12.2	11.4	- 10.2
DeBragio ve Ros (1972)	diyafram duvar	Beton plakalar	yumuşak-katı kil	18.9	4.1	2.75
NGI (1962)	palplanj	Yatay destek	yumuşak-katı kil	11.3	17.8	16
Shannon ve Strazer (1970)	asker kazık	ankrajlar	çok katı-sert kil Su>2000 psf	23.8	7.6	7.6
Swatek, Astow ve Seitz (1972)	palplanj	yatay destek – ön gerilmeli	yumuşak-katı kil	21.4	22.9	5.8
Rodriguez ve Flamand (1969)	palplanj	yatay destek – ön gerilmeli	yumuşak-katı kil	11.3	-	20.1

Tablo 3.3.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Scott, Wilson ve Bauer (1972)	palplanj	yatay destek	kum ve çakıl	15.3	-	20.3
Chapman, Cording ve Schnabel (1972)	asker kazık	yatay destek – ön gerilmeli	kum ve çakıl	13.8	0.64	2.5
Boutsma ve Horvat (1969)	palplanj	yatay destek	diğer zeminler	10.1	35.6	15.2
Insley (1972)	asker kazık	eğik destekler	yumuşak-katı kil	7.6	-	6.4
Tait ve Taylor (1974)	palplanj	yatay destek	yumuşak-katı kil	13.8	15.2	19.1
Hansbo, Hofman ve Mosesson (1973)	palplanj	yatay destek	yumuşak-katı kil	7	5.1	5.1
Prasad, Freeman ve Klajnerman (1972)	asker kazık	ankrajlar	çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	13.8	-	-5.1
Mansur ve Alizadeh (1970)	asker kazık	ankrajlar	çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	13.8	1.3	1.3
Sandqvist (1972)	palplanj	ankrajlar	diğer zeminler	5.9	20.1	5.1
Sigourney (1970)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	7	-	1.3
Goettle, Flaig, Miller ve Schaefer (1974)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	7	0.64	0.64
Sigourney (1970)	asker kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	12	-	0.25
Clough, Weber ve Lamont (1972)	asker kazık	ankrajlar	çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	19.6	3.2	2.5
Neison (1973)	asker kazık	ankrajlar	çok katı-sert kil $S_u > 2000$ psf	27.5	2.5	10.2

Tablo 3.4. Daha yakın tarihli kazılara ait performans verileri

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Bono, N. A., Liu, T. K. ve Soydemir, C. (1992)	diyafram duvar	yatay destek	diğer zeminler (gevşek dolgu, organik silt, kil)	18	4.7	4.4
Borst, A. J., Conley, T. L., Russell, D. P. ve Boirum, R. N. (1990)	asker kazık ve kaplama	ankrajlar	çok katı-sert kil	20.4	0.2	1.3
Borst, A. J., Conley, T. L., Russell, D. P. ve Boirum, R. N. (1990)	asker kazık ve kaplama	yatay destek	kum ve çakıl	18.9	1	1.3
Borst, A. J., Conley, T. L., Russell, D. P. ve Boirum, R. N. (1990)	asker kazık ve kaplama	yatay destek	çok katı-sert kil	16.15	0.5	0.5
Brassinga, H. E. ve Van Tol, A. F. (1991)	diyafram duvar	yatay destek	kum ve çakıl	20	2.2	-
Cacoilo, D. M., Edinger, P. H. ve Tamaro, G. J. (1996)	palplanj	ankrajlar	diğer zeminler (gevşek dolgu, organik silt, kil)	15.8	-	16
Caliendo, J. A., Anderson, L. R. ve Gordon, W. J.	asker kazık ve kaplama	ankrajlar	yumuşak-katı kil	12.49	-	2.4
Cheng, S. ve Hansen, L. (1994)	püskürtme beton ve hasır tel	zemin çivileri	yumuşak-katı kil	15.84	-	2.8
Day, P. (1990)	bitişik delme kazık	ankrajlar	yumuşak-katı kil	16	2.2	1.8

Tablo 3.4.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Day, P. (1990)	bitişik delme kazık	ankrajlar	yumuşak-katı kil	16	2.2	1.8
Finno, R. J. ve Harahap, J. S. (1991)	palplanj	yatay destek	yumuşak-katı kil	12.19	25.4	17.8
Garvin, R. ve Boward, J. (1992)	diyafram duvar	ankrajlar	kum ve çakıl	8.2	-	1.4
Gifford, D. Ve Wheeler, J. (1992)	diyafram duvar	ankrajlar	kum ve çakıl	15.23	-	1
Gill, S. A. ve Lukas, R. G. (1990)	palplanj	ankrajlar	yumuşak-katı kil	9.44	8.9	-
Gill, S. A. ve Lukas, R. G. (1990)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	10.66	-	6.8
Hata, S., Ohta, H., Yoshida, S., Kitamura, H. ve Honda, H. (1985)	diyafram duvar	ankrajlar	yumuşak-katı kil	27.5	-	0.9
Houghton, R. C. Ve Dietz, D. L. (1990)	asker kazık ve kaplama	ankrajlar	çok katı-sert kil	15.84	10.8	8.9
Hsi, J. P. ve Small, J. C. (1992)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	20.8	3.2	-
Ikuta, Y., Maruoka, M. ve Sato, E. (1994)	diyafram duvar	yapısal katlar;yukarıdan-aşağıya inşa	yumuşak-katı kil	18	-	2

Tablo 3.4.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Hsi, J. P. ve Small, J. C. (1993)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	13	7	12
Kirsten, H. A. D. Ve Dell, A. G. (1992)	püskürtme beton ve hasır tel	zemin çivileri	kum ve çakıl	11.9	-	7
Lee, F. H., Yong, K. W., Quan K. C. N. ve Chee K. T. (1998)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	17.3	7	5.3
Lee, S., Parnpoy, U., Yong, K. (1991)	palplanj	ankrajlar	yumuşak-katı kil	12	-	1.3
Lings, M. L., Nash, D. F. T., Ng, C. W. W. Ve Boyce, M. D. (1991)	diyafram duvar	yapısal katlar;yukarıdan-aşağıya inşa	çok katı-sert kil	10	-	1.4
O'Rourke, T. D. Ve O'Donnell, C. J. (1997)	Zemin karıştırma duvarı	ankrajlar	yumuşak-katı kil	15.25	-	18
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	palplanj	yatay destek	yumuşak-katı kil	7.65	7.8	-
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	kesişen veya bitişik kazık		yumuşak-katı kil	12.8	7.2	-

Tablo 3.4.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	kesişen veya bitişik kazık	yatay destek	yumuşak-katı kil	9.6	-	2.4
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	16.2	-	8
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	10.7	-	7.1
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	diyafram duvar	yapısal katlar;yukarıdan-aşağıya inşa	yumuşak-katı kil	13.9	-	6.8
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	diyafram duvar	ankrajlar	yumuşak-katı kil	15.7	-	6.2
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	diyafram duvar	yapısal katlar;yukarıdan-aşağıya inşa	yumuşak-katı kil	20	-	13.7
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	18.45	-	6.3
Ou, C. Y., Hsieh, P. G. ve Chiou, D. C. (1993)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	21	-	6.7

Tablo 3.4.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{bmax}$ (cm)
Patel, A. ve Castelli, R. (1992)	SPTC asker kazık özel beton	yatay destek	diğer zeminler (gevşek dolgu, organik silt, kil)	16.76	-	1
Schoenwolf, D. A., Whitman, R. V., Abbott, E. L. ve Becker, J. M. (1992)	diyafram duvar	yapısal katlar;yukarıdan-aşağıya inşa	yumuşak-katı kil	24.4	1.3	5.1
Steiner, W. ve Werder, F. (1991)	teğet kazık	ankrajlar	kum ve çakıl	17.3	-	1
Tamano, T., Fukui, S., Kadota, S. ve Ueshita, K. (1991)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	20.8	5.2	-
Tanaka, H. (1994)	palpanj	yatay destek	yumuşak-katı kil	11	1.5	3
Thompson, S. R. ve Miller, I. R. (1990)	püskürtme beton ve hasır tel	Zemin çivileri	kum ve çakıl	16.8	-	1.5
Winter, D. G. (1990)	asker kazık ve kaplama	ankrajlar	çok katı-sert kil	22.86	6.2	2.3
Winter, e., Nordmark, S. T. ve Tallard, G. (1992)	diyafram duvar	ankrajlar	yumuşak-katı kil	10	-	1

Tablo 3.4.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vmax}$ (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Wong, I. H., Poh, T. Y. ve Chuah, H. L. (1996)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	9.9	-	2.7
Wong, I. H., Poh, T. Y. ve Chuah, H. L. (1996)	bitişik delme kazık	ankrajlar	yumuşak-katı kil	16.8	-	7.5
Wong, I. H., Poh, T. Y. ve Chuah, H. L. (1996)	asker kazık ve kaplama	yatay destek	yumuşak-katı kil	12.4	-	11.5
Woo, S. M. (1991)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	11.2	-	1.5
Woo, S. M. (1991)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	13.7	-	3.8
Woo, S. M. (1991)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	15.5	-	2
Plaxis Bülteni- Malezyada 33 katlı üç gökdelen (2002)	bitişik delme kazık	zemin çivileri	yumuşak-katı kil	13	-	6.5
H.J. Gysi ve G. Morri (2001)	palplanj	ankrajlar	diğer zeminler	10.7	-	5.8
Havvanur Kılıç, Sönmez Yıldırım ve Doğan Çetin (2001)	kazıklı duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	16	-	14.1
Havvanur Kılıç, Sönmez Yıldırım ve Doğan Çetin (2001)	kazıklı duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	12	-	13.6

Tablo 3.4.Devamı

Referans	Duvar tipi	Destek tipi	Zemin	H (m)	$\delta_{vms}$ x (cm)	$\delta_{hmax}$ (cm)
Pornpot Tanseng, Zaw Aye ve Nakornratchasima (1999)	diyafram duvar ve delme kazıklar	yatay destek	yumuşak-katı kil	12.7	0.5	2.8
Pornpot Tanseng, Zaw Aye ve Nakornratchasima (1999)	diyafram duvar ve delme kazıklar	yatay destek	yumuşak-katı kil	9.7	1.4	6.4
N. Thasnanipan, A. W. Maung ve P. Tanseng (1999)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	12.7	-	2.4
Wanchai Teparaksa, N. Thasnanipan, A. W. Maung ve W. Shixin (1998)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	14	9.8	
M. Serdar Nalçakan, Maral Mercan, Karaca Tönük ve Ufuk Ergun	kesişen kazık	ankrajlar	siltli kum-siltli kumlu kil	5.75	-	4.6
J. Louis Briaud, Fellow, ASCE ve Yujin Lim (1999)	asker kazık	ankraj	kum ve çakıl	7.5	-	3.9
Wanchai Teparaksa, N. Thasnanipan ve Pornpot Tanseng (1999)	diyafram duvar	yatay destek	yumuşak-katı kil	12.7	-	3.4

Tablo 3.5. Londra kilinde yapılan kazaların performans verileri

Yer	Zemin muk. $c_u$ (kPa)	H* (m)	h* (m)	Duvar tipi	EI	Destek sist.	$\delta_{vmax}$ (mm)	$\delta_{hmax}$ (mm)
Croyon	85 (UU)	11.4	2	kesişen k.	500000	yatay destekler	20	-
Holborn	120 (UU)	11	3.5	kesişen k.	1169950	tek yatay destek	12	-
Minster Court	120 (UU)	9	5	diyafram	1280000	yatay destekler +şev	17	-
Britannic Hse	120 (UU)	14	1	diyafram	1280000	yatay destekler +şev	60	34
Chelsea	100 (UU)	13	4	diyafram	312500	yatay destekler +şev	27	-
Walthamstow	Katı	7.9	1.4	kesişen k.	8437500	yatay destekler	18	20
Barbican	180 (UU)	16	2	diyafram	8437500	yatay destekler	10	-
Charing Cross	180 (UU)	11	5	diyafram	1280000	yatay destekler	35	20
John Lewis KUT	Katı	12	2.5	diyafram	1280000	yatay destekler +şev	20	-
Victoria Emb.	Katı	18	6	kesişen k.	2717000	yatay destekler +şev	34	28
Londra	Katı	8	-	diyafram	312500	tek yatay destek	3	-
Guildhall	Katı	6.5	-	diyafram	312500	tek yatay destek	9	-
Vauxhall	Katı	14.5	-	diyafram	540000	yatay destekler	22	-
Chingford	Katı	8	-	kesişen k.	2291750	tek yatay destek	21	-
Mark Lane	Katı	7	-	bitişik k.	250000	yatay destekler	8	-
Mark lane	Katı	5.5	-	bitişik k.	250000	tek yatay destek	14	-
JLE III	Katı	8	-	diyafram	540000	tek yatay destek	10	-
Malden Way	80 (UU)	7.5	-	bitişik k.	2544700	tek yatay destek	36	-
YMCA, Londra	Katı	16	1	diyafram	540000	ankrajlar	20	-
Neasden	150 (UU)	8	1	diyafram	540000	ankrajlar	52	54
Bell Common	130 (UU)	9	4	kesişen k.	2330250	yukarıdan aşağıya	25	25
New Palace Yd	150 (UU)	18.5	2	diyafram	2500000	yukarıdan aşağıya	30	20
İngiliz Kütüphan.	200 (UU)	24.4	3	kesişen k.	2571750	yukarıdan aşağıya	30	30
National Gallery	Katı	10	4.2	kesişen k.	618000	yukarıdan aşağıya	10	2
Aldersgate	250 (UU)	23	8	diyafram	2500000	yukarıdan aşağıya	33	18

\* H= Kazı derinliği h= Londra kili üzerindeki yumuşak tabakanın kalınlığı

## 4. SONLU ELEMAN ANALİZİ İÇİN KULLANILAN PROGRAMIN TANITILMASI

### 4.1. Programın Genel Özelliklerinin Tanıtılması



PLAXIS'in gelişimi ilk olarak 1987'de Delft Teknik Üniversitesinde başlamıştır. PLAXIS, ille de sayısal uzman olması gerekmeyen geoteknik mühendisleri tarafından kullanılması için, pratik analiz sağlayan bir araç olarak tasarlanmıştır. PLAXIS, geoteknik mühendislik projelerinde, özellikle de deformasyon ve stabilite analizi için geliştirilmiş bir sonlu eleman paketidir. Plaxis basit grafiksel girdi işlemleri, karışık sonlu eleman modellerinin çabuk bir şekilde oluşturulmasını olanaklı kılmaktadır. Çıktı olanakları da, hesaplanan sonuçların detaylı bir şekilde sunumuna olanak sağlamaktadır. Geoteknik uygulamalar, zeminlerin doğrusal olmayan ve zamana bağımlı davranışını örnekleme için gelişmiş başlangıç modelleri gerektirmektedir. PLAXIS kullanıcılarının temel zemin mekaniği anlayışına sahip olması gerekmektedir.

Her yeni proje için, ilk olarak bir model yaratmak önemlidir. Bir modelin, alttaki doğal zemin tabakalarını, yapısal objeleri, inşa aşamalarını ve yükleri temsil edecek bir çerçevede olması gerekir. Bir model geometrisinde bulunan üç tip ana bileşen noktalar, çizgiler ve demetlerdir.

#### 4.1.1. Noktalar

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

#### 4.1.2. Çizgiler

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

#### 4.1.3. Demetler

Demetler tamamen çizgilerle kapalı alanlardır. PLAXIS, geometri çizgilerine göre demetleri otomatik olarak algılamaktadır. Bir demet içindeki zemin homojendir.

Model geometrisi yaratıldıktan sonra, modeldeki demetlere 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.

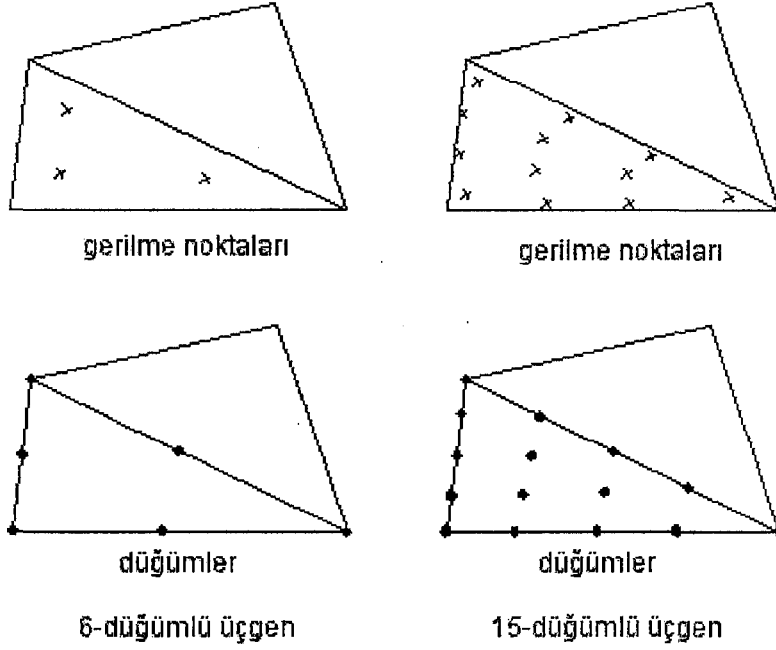
#### 4.1.4. Elemanlar

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 asimetric geometriler) 15-düğümlü üçgenler de kullanılabilir. Aynı geometride düşündüğümüzde 15-düğümlü elemanlarla oluşturulan ağlar daha iyi ve çok daha

esnektir, fakat 6-düğümlü ağlara göre de hesaplamaları daha fazla zaman almaktadır.

#### 4.1.5. Düğümler

15-düğümlü bir üçgen 15 tane düğüm ve 6-düğümlü bir üçgen de 6 tane düğüm içermektedir. Düğümlerin elemanlar üzerindeki dağılımı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bir sonlu eleman hesaplaması esnasında , yer değiştirmeler düğümlerde hesaplanır. Yük - yer değiştirme eğrilerinin oluşturulması için düğümler yeniden seçilebilir.



Şekil 4.1. Düğümler ve gerilme noktaları

#### 4.1.6. Gerilme Noktaları

Yer değiştirmelerin 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:

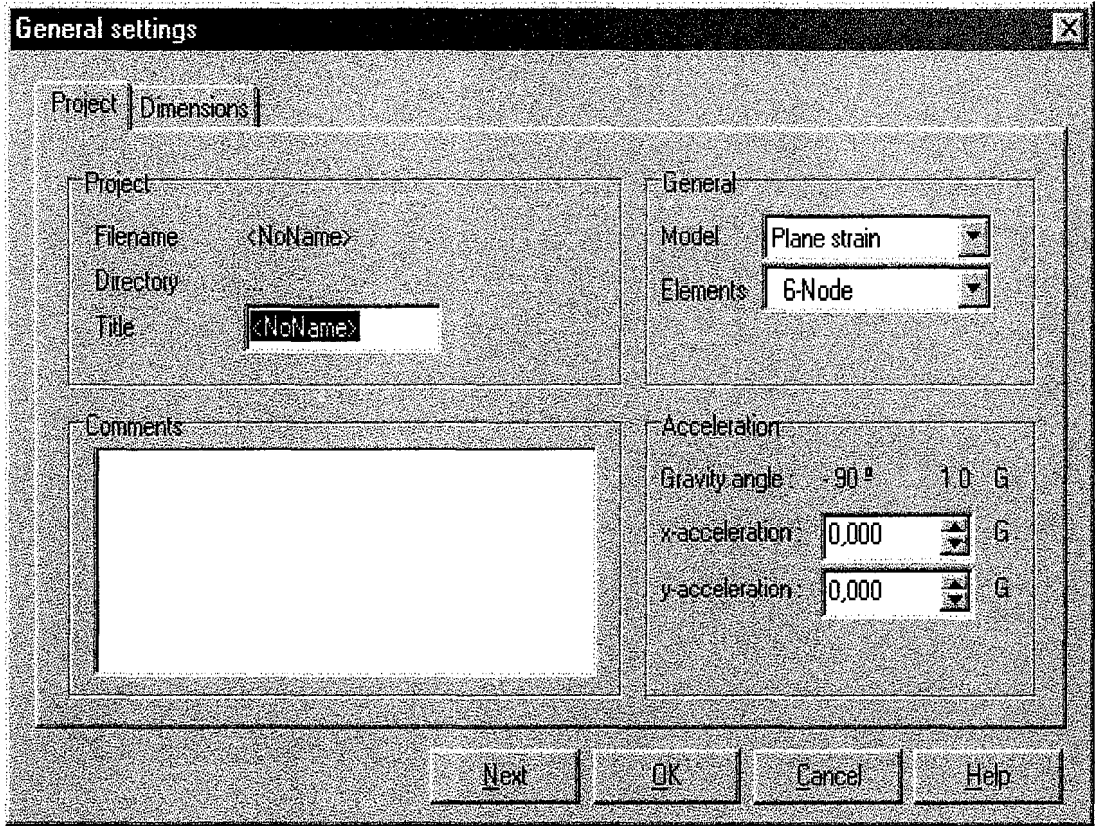
- INPUT (girdi)
- CALCULATION (hesaplama)
- OUTPUT (çıktı)
- CURVES (grafikler)

#### 4.2. Girdi (Input)



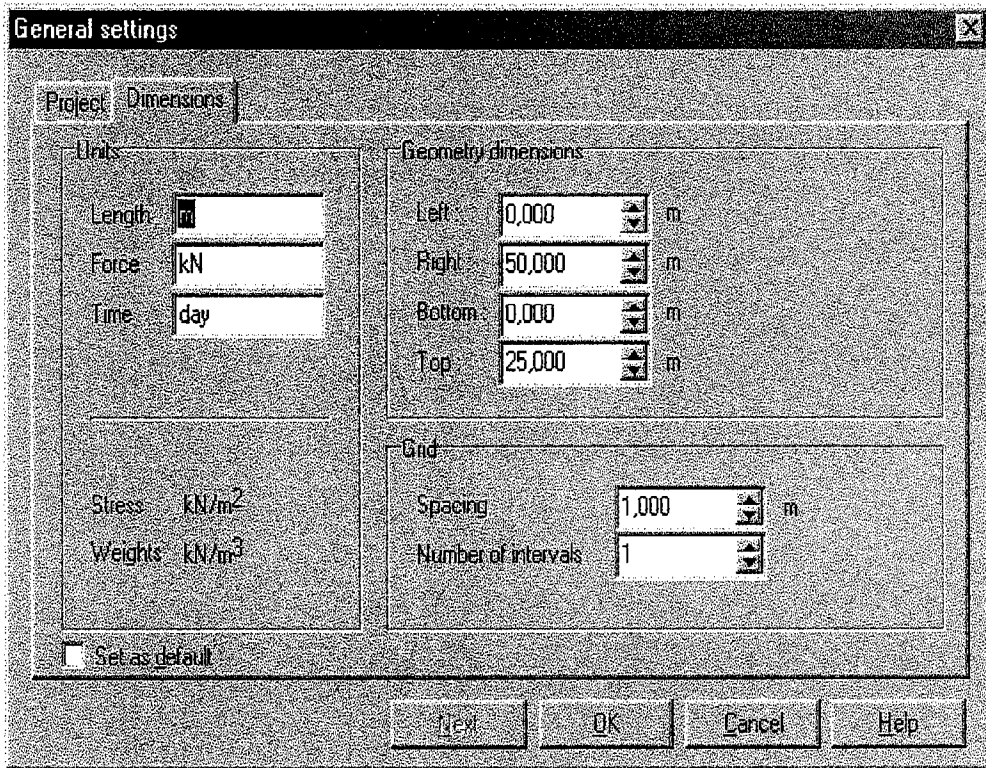
Bir sonlu eleman modelini oluşturulmasının ilk adımı bir geometri modelinin yaratılmasıdır. Bir geometri modeli noktalar, çizgiler ve demetlerden oluşur. PLAXIS’de, zemin tabakalarının, yapıların, inşa aşamalarının, yüklerin ve sınır koşullarının girdisi, gerçek durumların detaylı ve doğru modellenmesini sağlayan uygun çizim işlemlerine dayanarak yapılmaktadır. Yeni bir proje için girdi olarak öncelikle genel ayarların seçilmesi gerekmektedir. Genel ayarlarda ilk olarak Şekil 4.2’de görüleceği gibi, proje adının girilmesi, çözümün hangi modelle yapılacağını seçimi (düzlem deformasyon ya da asimetri) ve 6-düğümünü 15 düğümünü elemanların kullanılacağını seçimi yapılmalıdır. Yerçekimi açısı standart olarak  $-90$  dereceye yani aşağıya doğru düşey pozisyona ayarlanmıştır. Eğer istenirse normal yerçekimine ilave olarak, yarı-dinamik analizler için bağımsız ivme bileşenleri de girilebilir.

Bir sonraki adımda Şekil 4.3’de görüldüğü gibi, kullanılacak birimlerin seçilmesi ve çizim alanını ölçülerinin ve gridlerin sıklığının belirlenmesi gerekmektedir. Bu adımlar tamamlandıktan sonra karşınıza ana pencere çıkmaktadır.

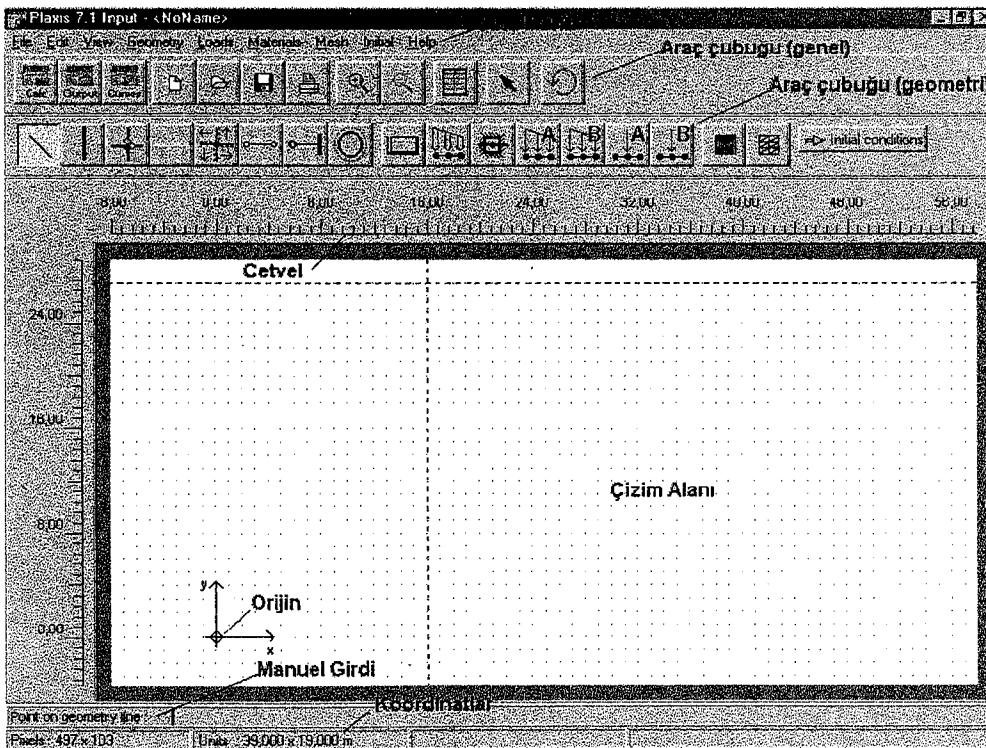


Şekil 4.2. Genel ayarlar: model ve eleman tipinin seçimi

Şekil 4.4’de görülen ana pencere, ana mönüyü, genel ve geometri araç çubuklarını, cetveli, çizim alanını, orijin noktasını, klavyeyle girdi bölümünü ve koordinatları gösteren bölümü içermektedir. Ana mönü “file, edit, view, geometry, loads, materials, mesh, initial ve help” mönülerini ve bunların alt mönülerini içermektedir. Ana mönüden, ana pencere üzerindeki kısa yollar ve çubuklarla gerçekleştirilebilen işlemlerin tamamı gerçekleştirilebildiği gibi ilave olarak da yardım başlıklarına ulaşılabilir. Bazı işlemlerin ayrıntılarına sadece ana mönü içinden ulaşılabilir.

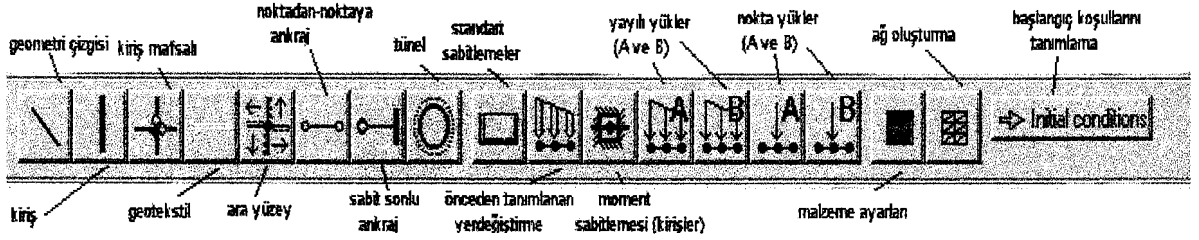


Şekil 4.3. Genel ayarlar: birimlerin ve çizim alanı ölçülerinin seçimi



Şekil 4.4. Ana Pencere

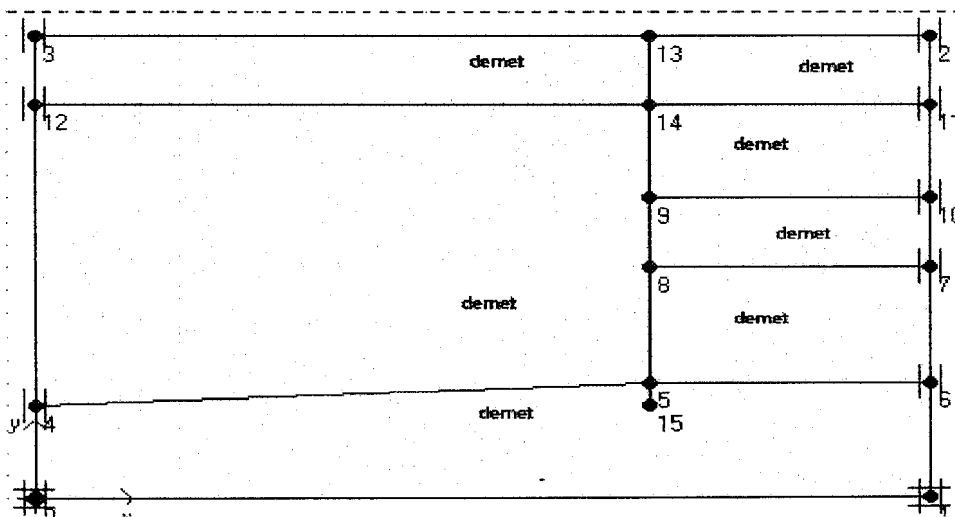
Genel araç çubuğundan programda hesaplama ve çıktı aşamalarına geçilmesi, yeni dosya açma, kaydetme, yazdırma , yakınlaştırma gibi genel işlemler yapılmaktadır. Geometri araç çubuğu ise Şekil 4.5’den de görülebileceği gibi geometrinin oluşturulması için gerekli işlemleri içermektedir. Bu elemanların işlevleri aşağıda özetlenerek açıklanmıştır.



Şekil 4.5. Geometri araç çubuğu

#### 4.2.1. Noktalar ve Çizgiler

Mönüden geometri çizgisi seçildiğinde, çizim alanı içerisinde çizgiler yaratılabilir. Bu çizgiler kullanılarak geometri modelinin zemin tabakaları, inşa aşamaları gibi ana hatları yaratılabilir. PLAXIS her tarafı çizgilerle kapalı alanları otomatik “demet” olarak algılayacaktır. Demetler ağ oluşturma esnasında zemin elemanlarına ayrılacaktır.

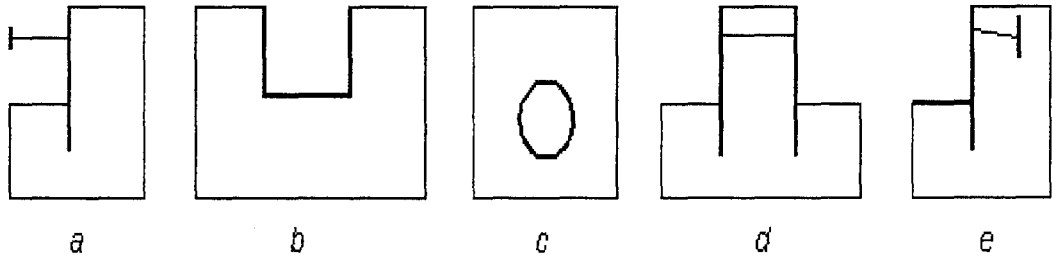


Şekil 4.6. Çizgiler ve demetler

### 4.2.2. 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 tanımlanmıştır. Elasto-plastik kirişler için plastik bir mafsal geliştirilebilmektedir. Kirişler, birçok geoteknik yapının analizlerini çok gerçekçi bir şekilde gerçekleştirmek için ara yüzeylerle birlikte kullanılabilirler. Şekil 4.7'de kirişlerden oluşan geoteknik yapılar verilmiştir. PLAXIS'deki kiriş elemanları, Mindlin'in kiriş teorisine dayanmaktadır. Bu teori, hem eğilme hem de kesmeden dolayı kiriş deformasyonlarına olanak vermektedir. Kiriş elemanları, önceden tanımlanan bir eğilme momenti veya maksimum aksenal yük aşırsa plastik duruma gelebilmektedirler. Ayrıca kirişler tünellerde de dış yüzey için kullanılabilirler.

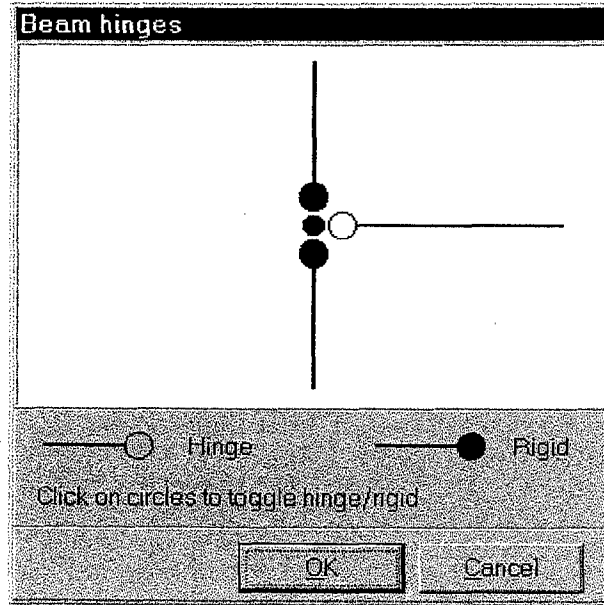


Şekil 4.7. Kirişlerin kullanıldığı bazı uygulamalar

### 4.2.3. Kiriş Mafsalları




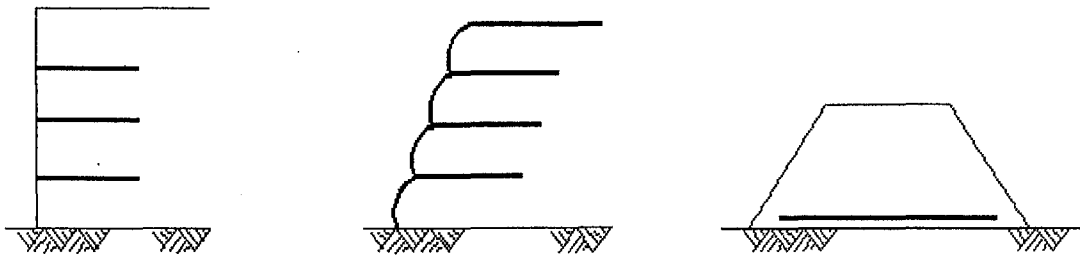
Standart kiriş birleşimleri rijittir. Kiriş mafsalları, kirişlerin bittiği noktalarda serbestçe dönmeyi sağlanacağı birleşimler yaratmak için kullanılırlar.



Şekil 4.8. Kiriş mafsalları

#### 4.2.4. 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, etrafındaki zeminle etkileşimini de modelleyebilmek için ara yüzey elemanlarıyla birleştirmek uygundur. PLAXIS’de bu elemanlar için kullanılan tek malzeme özelliği normal rijitliktir (EA). Geotekstiller içeren bazı geoteknik uygulamalar Şekil 4.9’da verilmiştir. Geotekstiller aynı zamanda zemin ankrajları uygulamalarında, ankrajın harçlı kısmının modellenmesi için de kullanılırlar.

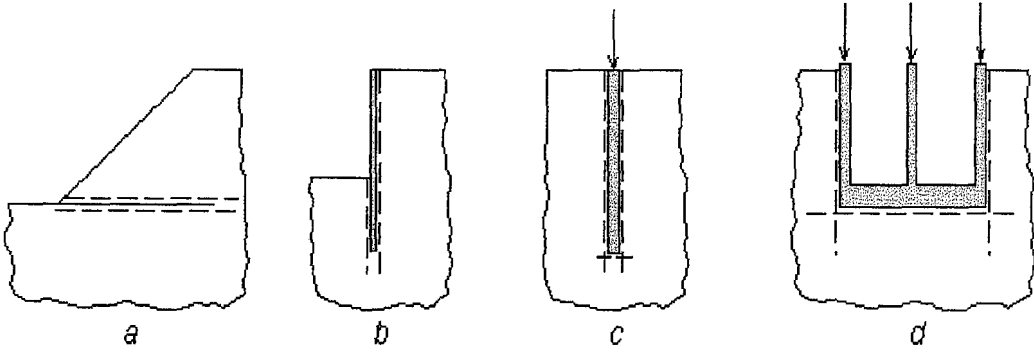


Şekil 4.9. Geotekstillerin kullanıldığı bazı uygulamalar

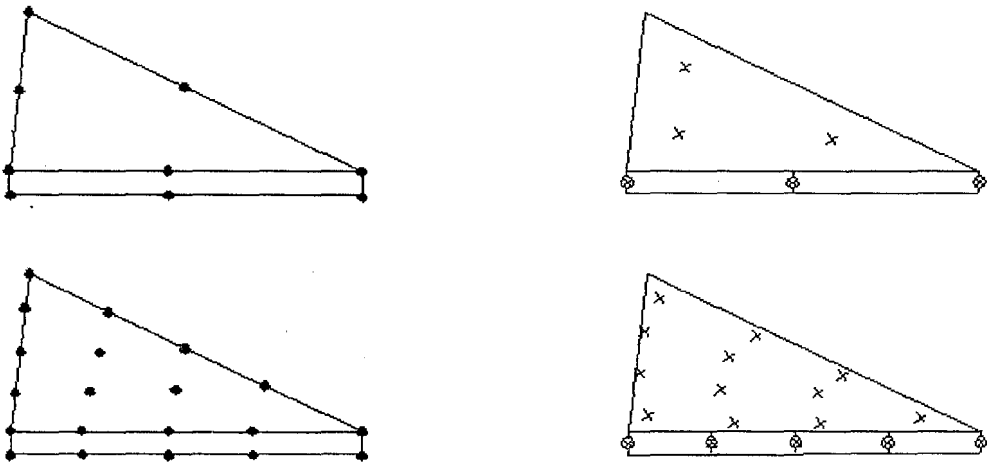
#### 4.2.5. Ara Yüzeyler



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 (tam düzgün ve tam pürüzlü arasında ortada). Ara yüzeylerin kullanıldığı bazı örnekler Şekil 4.10'da verilmiştir. Ayrıca, ara yüzey elemanlarının zemin elemanlarıyla birleşimi ve ara yüzey elemanlarındaki düğüm ve gerilme noktalarının dağılımı şekil 4.11'de gösterilmiştir.

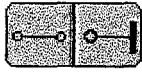


Şekil 4.10. Ara yüzeylerin bazı örnekleri

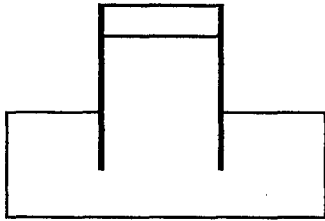


Şekil 4.11. Ara yüzeylerdeki düğüm ve gerilme noktalarının dağılımı ve zemin elemanlarıyla birleşimi

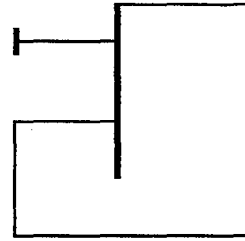
#### 4.2.6. Ankrajlar



Ankrajları ve yatay destekleri modellemek için elasto-plastik yay elemanları kullanılmıştır. PLAXIS’de düğümden-düğüme ankrajlar ve sabit uçlu ankrajlar olmak üzere iki tip ankraj modellenebilmektedir. 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 açı girdisi saat yönünün tersi yönde tanımlanmıştır. Açığa ilave olarak, ankrajın eşdeğer uzunluğunun da özellikler penceresinde girilmesi gerekir. PLAXIS’de ön gerilmeli ankrajların da modellenebilmesi için özel bir opsiyon vardır. Eşdeğer uzunluk, ankrajın bağlantı noktası ile yer değiştirmenin sıfır kabul edildiği sabit ucu arasındaki mesafedir.



a) Düğümden-düğüme ankraj



b) Sabit uçlu ankraj

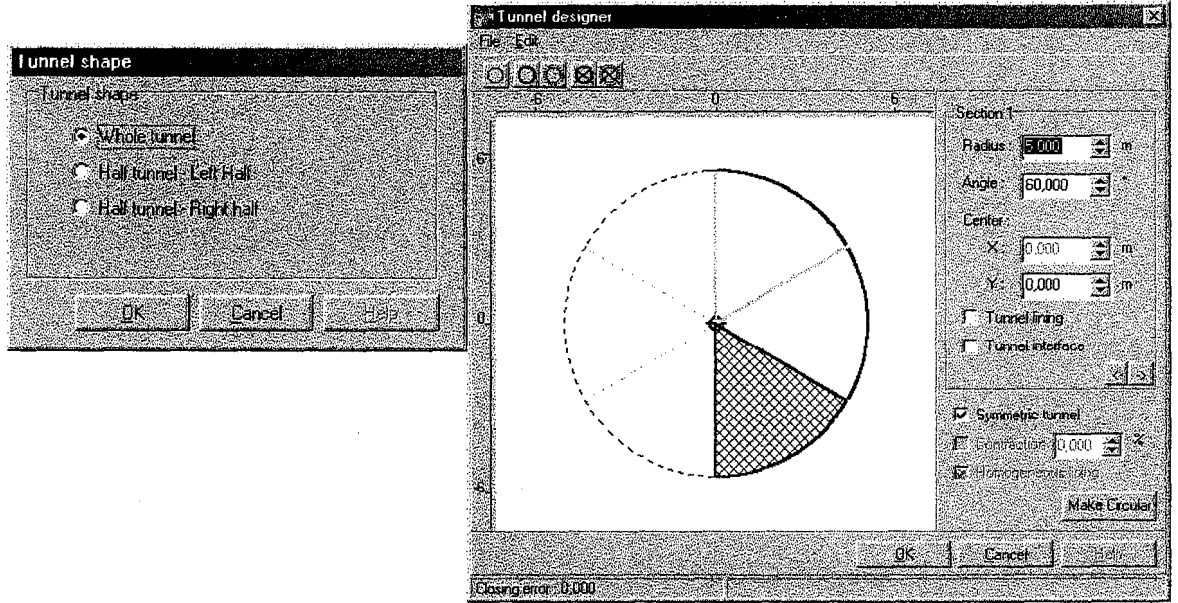
Şekil 4.12. Ankrajlar

#### 4.2.7. Tüneller



Tünel opsiyonu, geometri içerisine ilave edilmek üzere, dairesel ve dairesel olmayan tüneller yaratmak için kullanılabilir. Tüneller yayların bir kompozisyonudur ve bir yarıçap ve bir radyal açı ile tanımlanırlar. Tünel imgesine tıklandığında karşımıza Şekil 4.13’deki 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 4.13. Tünel tipinin seçimi ve tünele ait açı, yarıçap gibi verilerin girdisi

#### 4.2.8. Sabitlemeler



Sabitlemeler hem noktalara hem de çizgilere uygulanabilmektedir. PLAXIS’de 5 çeşit sabitleme seçeneği vardır. Bunlardan dördü, “Yatay Sabitleme ( $u_x=0$ )”, “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 şartı uygulamaktadır. Bu şartlar aşağıdaki kurallara göre uygulanmaktadır:

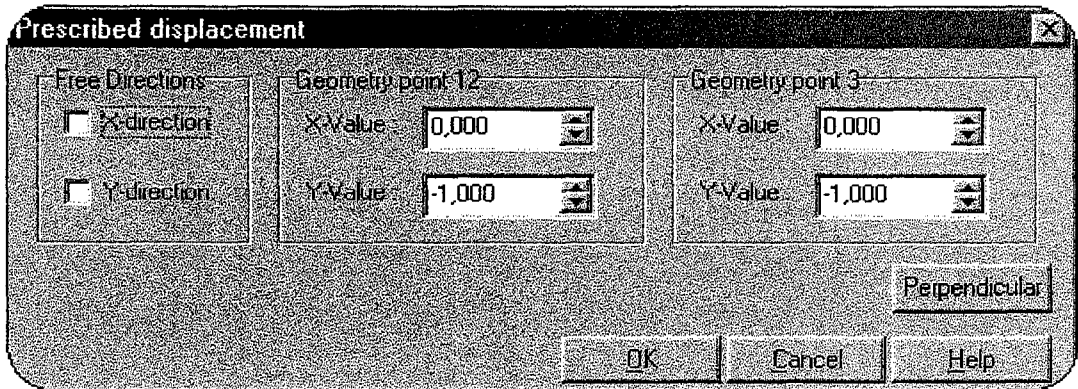
- Modelde, x koordinatında en düşük ve en yüksek x koordinatına sahip dikey geometri çizgileri için yatay sabitleme ( $u_x=0$ ) elde edilir.
- Modelde, y koordinatında en düşük y koordinatına sahip yatay geometri çizgisi için tam sabitleme ( $u_x=u_y=0$ ) elde edilir.

- Geometri modelinin sınırına uzanan kirişler, eğer o noktadaki yer değiştirme önlerinden en az birisi sabitlendiyse, sınırdaki noktada sabit bir dönme ( $\phi_z=0$ ) elde ederler.

#### 4.2.9. 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.



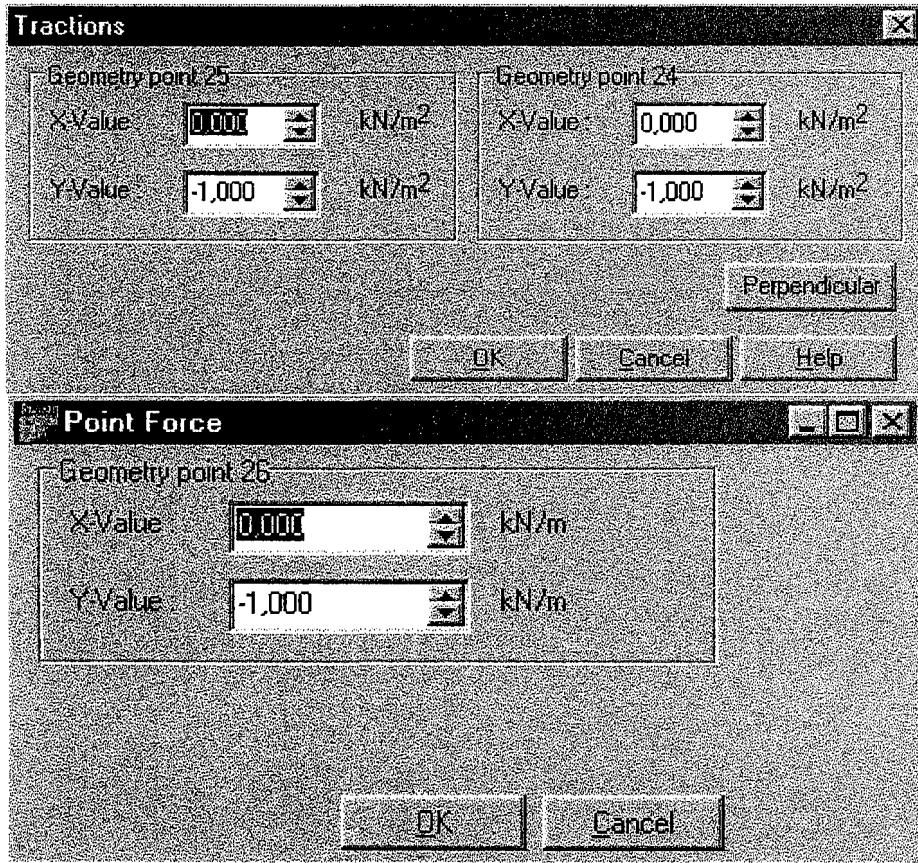
Şekil 4.14. Önceden tanımlanan yer değiştirme mönüsü

#### 4.2.10. Kuvvetler



Hem nokta tükler 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

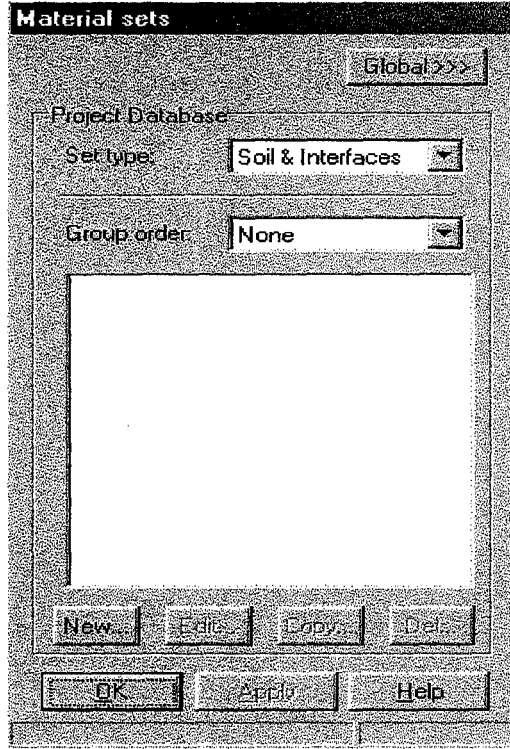
içerebilirler. Yayılı yüklere her biri birim alan için ( $\text{kN/m}^2$ ), nokta yüklere ise her biri birim uzunluk ( $\text{kN/m}$ ) için değerler girilir.



Şekil 4.15. Nokta ve yayılı yükler için girdiler

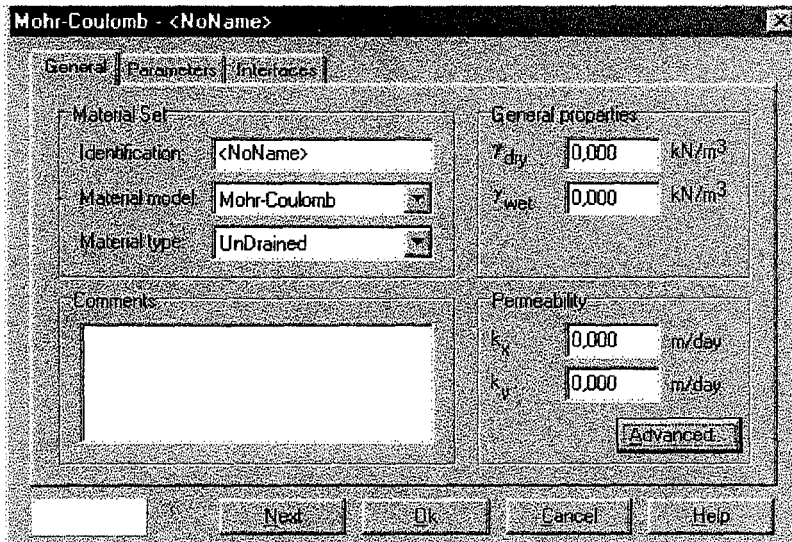
#### 4.2.11. Malzemelerin Tanımlanması

Yukarıdaki işlemlerle modelin çizimi gerçekleştirildikten sonra malzemelerin özelliklerinin tanımlanması gerekmektedir. Bunun için Şekil 4.16'daki mönüden yararlanır. Mönü 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 kullanılabilceği gibi yeni elemanlar da oluşturulabilir.



Şekil 4.16. Malzeme tanımlama mönüsü

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



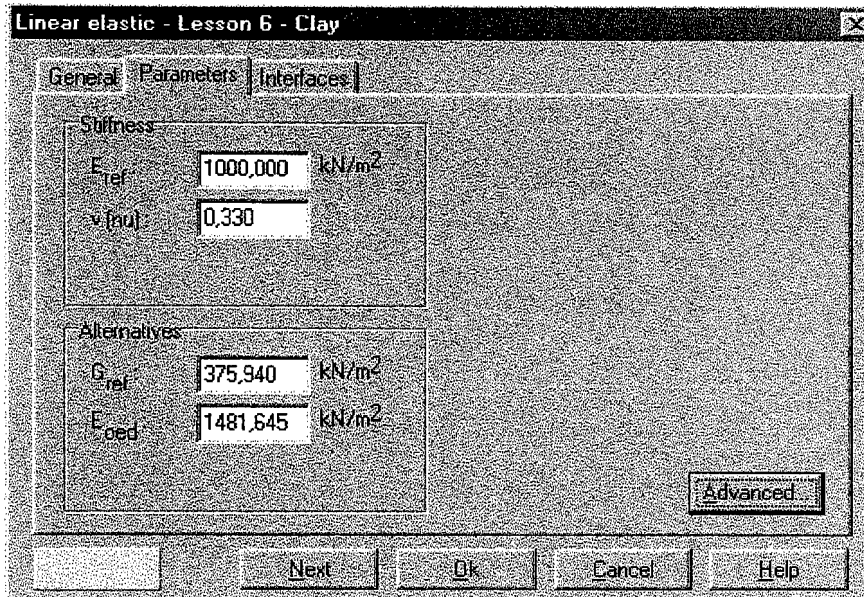
Şekil 4.17. Zeminler için data girdileri ve model seçimi

“Drenajlı” davranışın seçilmesiyle hiç ilave boşluk suyu basıncı oluşturulmamış olur. Bu durum kuru zeminler ve yüksek permeabiliteden dolayı (kumlar) tam drenaj için kullanılır. Bu opsiyon aynı zamanda uzun-dönem zemin davranışının simule edilmesi için de 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 modellerle birlikte kullanılmaktadır.

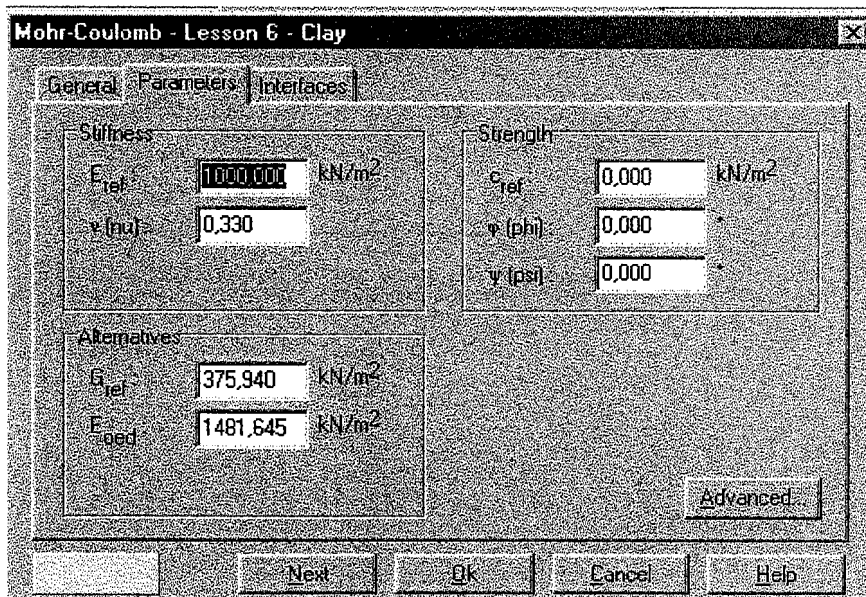
En önemli seçim ise malzeme modelinin ne olacağı ve bu modellerin parametreleridir. Zeminler için PLAXIS’de 5 farklı modelleme seçeneği vardır:

- **Lineer elastik model:** Bu model Hooke’un izotropik lineer elastisite yasasını yansıtmaktadır. Modeli kullanmak için gerekli parametreler Şekil 4.18 de görülmektedir. Bu parametreler dışında ayrıca “advanced” seçeneğinden  $E_{inc}$  ve  $y_{ref}$  parametreleri de kullanılabilir. Lineer elastik model, zemin davranışının simule edilmesinde çok sınırlıdır. Bu model aslında zemindeki katı tek parça yapılar için kullanılır. Bu modelde ve aşağıda açıklanan diğer bütün modellerde  $G$  (kesme modülü) ve  $E_{oed}$  (odömetre yükleme rijitliği) otomatik olarak hesaplanmaktadır.

- **Mohr-Coulomb modeli:** Bu güçlü ve hızlı, lineer olmayan model, çok pratik ve bilinen zemin parametrelerine dayanmaktadır. Modeli kullanmak için gerekli parametreler Şekil 4.19’da görülmektedir. Bu parametreler dışında ayrıca “advanced” seçeneğinden  $E_{inc}$ ,  $y_{ref}$ ,  $c_{inc}$  ve çekme dayanımı parametreleri de kullanılabilir.

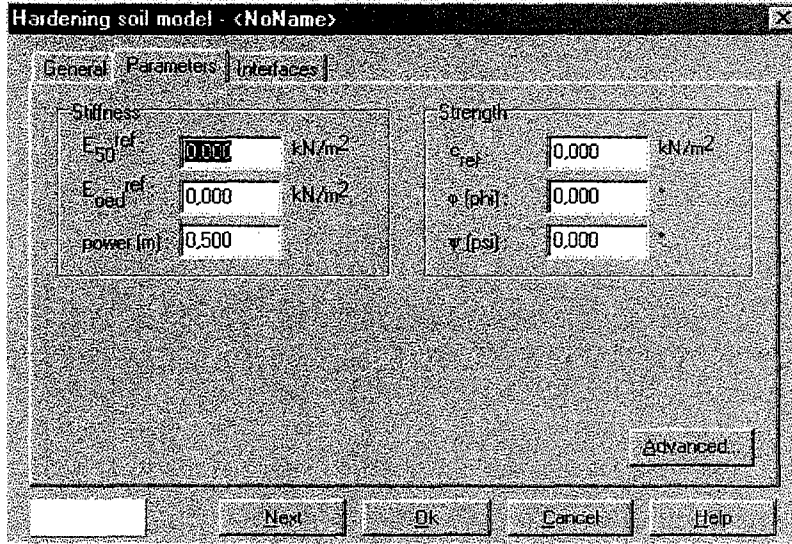


Şekil 4.18. Linear Elastik modelin girdileri



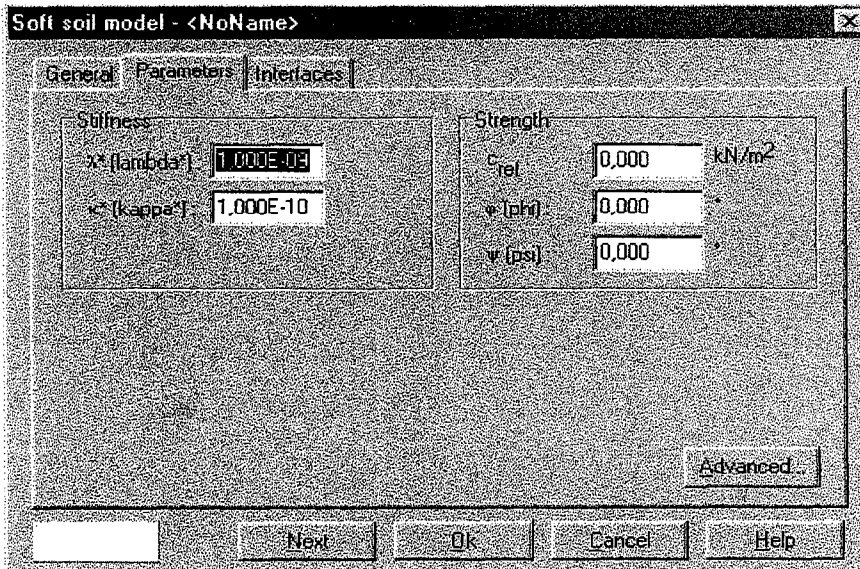
Şekil 4.19. Mohr-Coulomb modelinin girdileri

- Pekleşen zemin modeli: Bu model, hiperbolik modelin, sürtünme pekleşmesi plastisitesi çerçevesinde formüle edilen elasto-plastik tipidir. Bu model kuvarın, çakılın ve aşırı konsolide killerin modellenmesi için kullanılabilir. Bu model için gerekli parametreler Şekil 4.20’de görülmektedir. Bu parametreler dışında ayrıca “advanced” seçeneğinden  $E_{ur}^{ref}$ ,  $\nu_{ur}$  ( $ur$ =onloading-reloading),  $p_{re}$ ,  $K_0^{nc}$ ,  $c_{inc}$ ,  $y_{ref}$  ve çekme dayanımı parametreleri de kullanılabilir. Bu parametreler için standart ayarların kullanımı tavsiye edilmiştir.



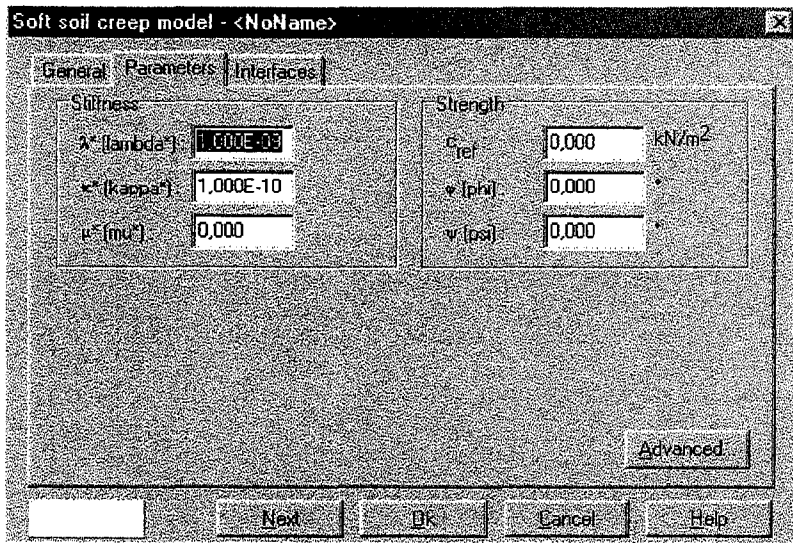
Şekil 4.20. Pekleşen zemin modelinin girdileri

• Yumuşak zemin modeli : Bu model, normal konsolide killer ve turba gibi yumuşak zeminlerin davranışının modellenmesi için kullanılabilen, Cam-kili tipi bir modeldir. Bu model en iyi birincil sıkışma durumlarında performans göstermektedir. Bu model için gerekli parametreler Şekil 4.21’de görülmektedir. Bu parametreler dışında ayrıca “advanced” seçeneğinden  $v_{ur}$ ,  $K_0^{nc}$  parametreleri de kullanılabilir.



Şekil 4.21. Yumuşak zemin modeli için girdiler

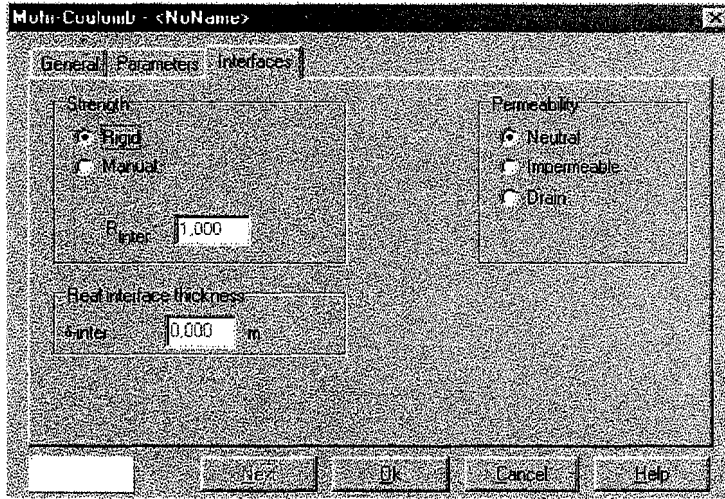
- Yumuşak zemin sünme modeli: Pekleşen zemin modeli bütün zeminler için uygundur fakat viskoz etkilerini hesaba katmamaktadır. Bu model vizkoplastisite çerçevesinde formüle edilmiş ikinci derece bir modeldir. Model yumuşak zeminlerin zaman-bağımlı davranışının modellenmesi için kullanılabilir. Bu model için gerekli parametreler Şekil 4.22’de görülmektedir. Bu parametreler dışında ayrıca “advanced” seçeneğinden  $v_{ur}$ ,  $K_0^{nc}$  parametreleri de kullanılabilir



Şekil 4.22. Yumuşak zemin sünme modeli için girdiler

Bir sonraki aşama ise ara yüzey için parametrelerin seçilmesidir. 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 ve daha esnektir. Bu durumda  $R_{inter}$  değeri “manuel” olarak girilebilir. Farklı zemin ve yapı varyasyonları için  $R_{inter}$  değerleri literatürde bulunmaktadır. Örnek olarak, kum-çelik kontağı için  $R_{inter}$  değeri 2/3, kil-çelik kontağı için  $R_{inter}$  değeri 1/2 civarında verilebilir. Pürüzlü betonla etkileşim halinde  $R_{inter}$  değeri biraz daha yüksek olacaktır.

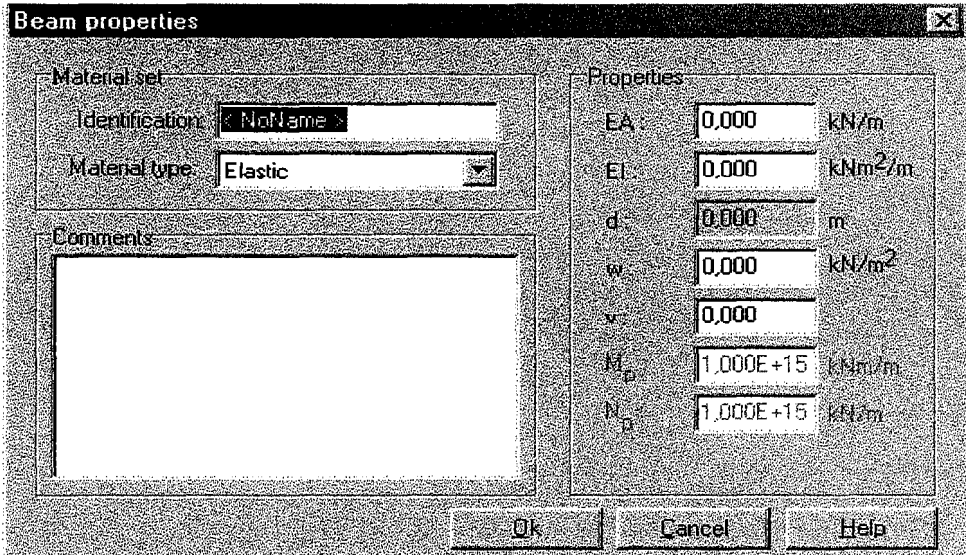
Ara yüzey için yapılması gereken diğer seçim de “permeabilite” içindir. Ara yüzeyler, ara yüzeye dik akış için bir permeabiliteye ( $k_n$ ) ve ara yüzeye paralel akış için ayrı bir permeabiliteye ( $k_s$ ) sahiptirler. Ara yüzey, çevresindeki zemindeki akışı etkilemeyecek durumdaysa, ara yüzey permeabilitesi için “doğal” seçeneği seçilebilir. Bu seçeneğin seçilmesi,  $k_n$  için yüksek bir değer (zemin permeabilitesinin 100 katı) ve  $k_s$  için de sıfır değeri sonucunu verecektir.



Şekil 4.23. 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. Ara yüzeyleri zemin drenleri olarak simule etmek için bu durum kullanılabilir. Bu durum seçildiğinde yüksek bir  $k_n$  değeri (zemin permeabilitesinin 100 katı) ve aynı zamanda yüksek bir  $k_s$  değeri (zemin permeabilitesinin 100 katı) elde edilecektir.

Zeminlerin ve ara yüzeylerin özellikleri tanımlandıktan sonra sıra “kirişler” in özelliklerinin tanımlanmasındadır. Kirişler için girdi parametreleri de Şekil 4.24’de görüldüğü gibidir. Kirişler için ilk olarak “plastik” ve “elasto-plastik” malzeme tiplerinden birisi seçilmelidir. Değerler düzlem içine doğru bir birim için girilmesi gerekmektedir. Elastik tip seçilmesi durumunda, modelleme için gerekli parametreler, aksel rijitlik, eğilme rijitliği, ağırlık ve poisson oranıdır. Elastik tip için, maksimum eğilme momenti ve maksimum aksel yük değerleri ( $M_p$  ve  $N_p$ ) otomatik olarak atanır. Elasto-plastik model kullanıldığında ise maksimum eğilme momenti değeri manuel olarak girilebilir ve plastisite de hesaplara katılmış olur. Eğer tanımlanan değerler aşılsa gerilmeler plastisite teorisine göre yeniden dağıtılır ve tersine döndürülemez deformasyonlara yol açar. Elasto-plastik tipte, maksimum aksel yükü, otomatik olarak kiriş profiline bağımlı olan maksimum eğilme momentinden hesaplanır.



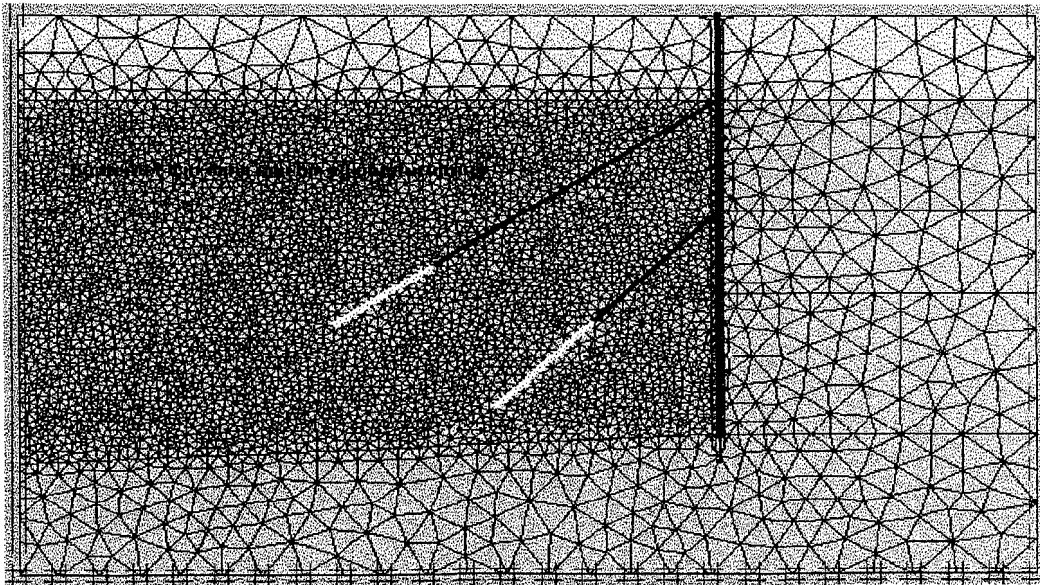
Şekil 4.24. Kiriş özellikleri girdileri

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

“Ankrajlar” için ana parametre EA, aksel rijitliktir ve değeri her bir ankraj için girilmelidir. Ayrıca ankrajların düzlem içine doğru yatay aralıklarının ( $L_s$ ) da belirtilmesi gerekmektedir. Yine ankrajlar için de kirişlerde olduğu gibi elasto-plastik malzeme tipi seçilebilir. Bu durumda maksimum ankraj yükünün ( $F_{max}$ ) manuel olarak girilmesi gerekir. Ankrajlar, hesaplamalar esnasında ön gerilmeye tabi tutulabilirler.

#### 4.2.12. Ağın Oluşturulması

Bütün malzemeler tanımlandıktan sonra artık sıra ağın oluşturulmasına gelmiştir. Sonlu eleman hesaplamalarında, geometri elemanlara bölünmek zorundadır. Sonlu elemanların bileşenine de sonlu eleman ağı denmektedir. Ağda temel elemanlar, daha önce de açıklandığı gibi 6 ve 15 düğümlü üçgen elemanlardır. PLAXIS tam otomatik ağ oluşturma işlemine olanak vermektedir. Ağ otomatik olarak oluşturulamadan önce ağın sıklığının da seçilebilme şansı vardır. “Çok kaba, kaba, orta, iyi, 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. Ayrıca istenilirse belirli demetler, çizgiler veya noktalar için seçim



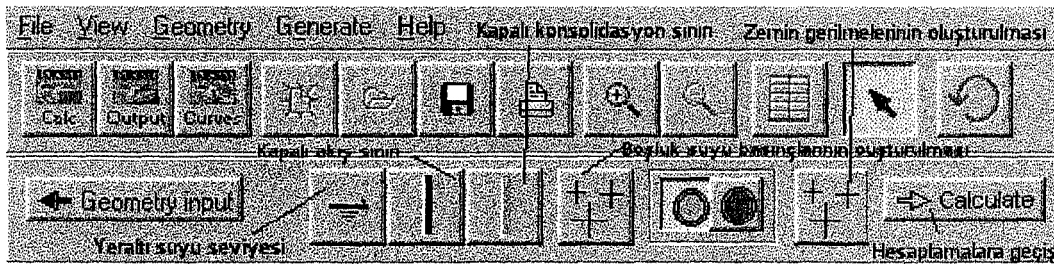
Şekil 4.25. Model geometrisi tamamlandı ve ağ oluşturuldu

yapılarak, sadece seçilen birimlerde veya civarında, geometrinin kalan kısmından farklı olarak daha sıkı bir ağ oluşturulması da mümkündür.

Böylece geometri tamamlanmış ve sonu elaman 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, “yeraltı 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. Ayrıca üçüncü bir seçenek olarak, “bitişik demetlerden veya çizgilerden enterpolasyon” seçeneği de kullanılabilir.

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



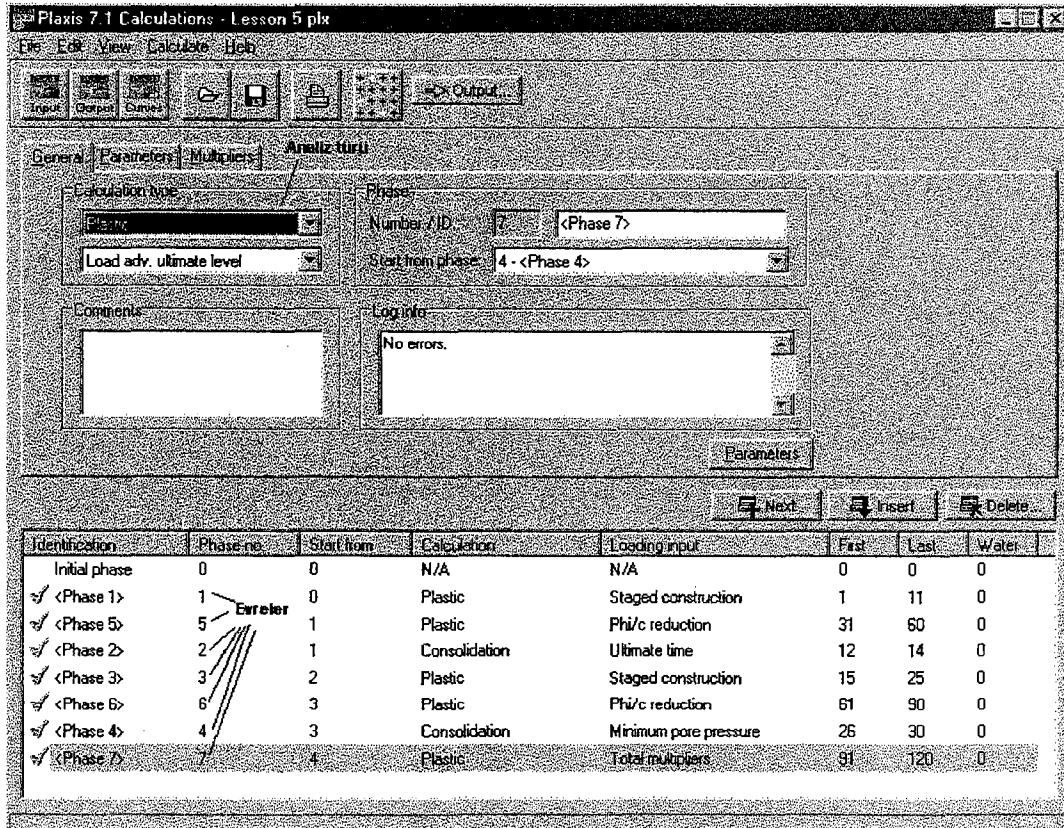
Şekil 4.26. “Başlangıç koşulları” mönüsü

PLAXIS’de başlangıç zemin gerilmeleri, “ $K_0$ ” veya “Yerçekimi yüklemesi” prosedürlerinden birisi kullanılarak oluşturulur. Aynı zamanda Camkili tipi modeller için, OCR (aşırı konsolidasyon oranı) ve POP (ön-örtü basıncı) kullanarak, ön-konsolidasyon basıncı oluşturmak da mümkündür.

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

### 4.3. Hesaplamalar (Calculations)

**⇒ Calculate** Hesaplamalar bölümü “plastik analiz”, “konsolidasyon analizi”, “güncelleştirilmiş ağ analizi” ve “dinamik analiz” olmak üzere dört tip analize imkan vermektedir. Şekil 4.27’de görülen mönüden, bu analizlerden birisi seçilebilmektedir. Her proje için, hesaplamanın özelliğine göre, Şekil 4.27’de gösterildiği gibi birçok hesaplama evresi belirtilebilmektedir.



Şekil 4.27. Hesaplamalar mönüsü ve hesap evreleri

Plastik hesaplama, elasto-plastik bir analiz gerçekleştirilmek istenmesi halinde seçilebilir. Plastik hesaplamada, yükleri, zamanı, yer değiştirmeleri ve zemin ağırlığını aktif hale getirmek için çarpanlar kullanılmaktadır. Bu analiz

birçok pratik uygulama için kullanılmaktadır. Genelde plastik hesaplama, “yumuşak zemin sünme modeli” dışında zaman etkilerini hesaba katmamaktadır. Ayrıca “aşamalı inşaat” opsiyonu kullanılarak, inşaat sürecinin bütün aşamaları da modellenebilmektedir. Plastik hesaplama seçeneğinde, “phi-c reduction” opsiyonunun yardımıyla güvenlik analizleri de gerçekleştirilebilmektedir. Burada güvenlik katsayısı, çökme yükünün çalışma yüküne oranı olarak tanımlanmıştır.

Konsolidasyon analizi, suya doymun kil tipi zeminlerde, aşırı boşluk suyu basınçlarının zaman bağlı gelişimini ve yok olmasını analiz etmek gerektiğinde kullanılabilir. PLAXIS gerçek elasto-plastik konsolidasyon analizine imkan vermektedir. Konsolidasyon analizi çökme koşullarının analizi için kullanılamamaktadır.

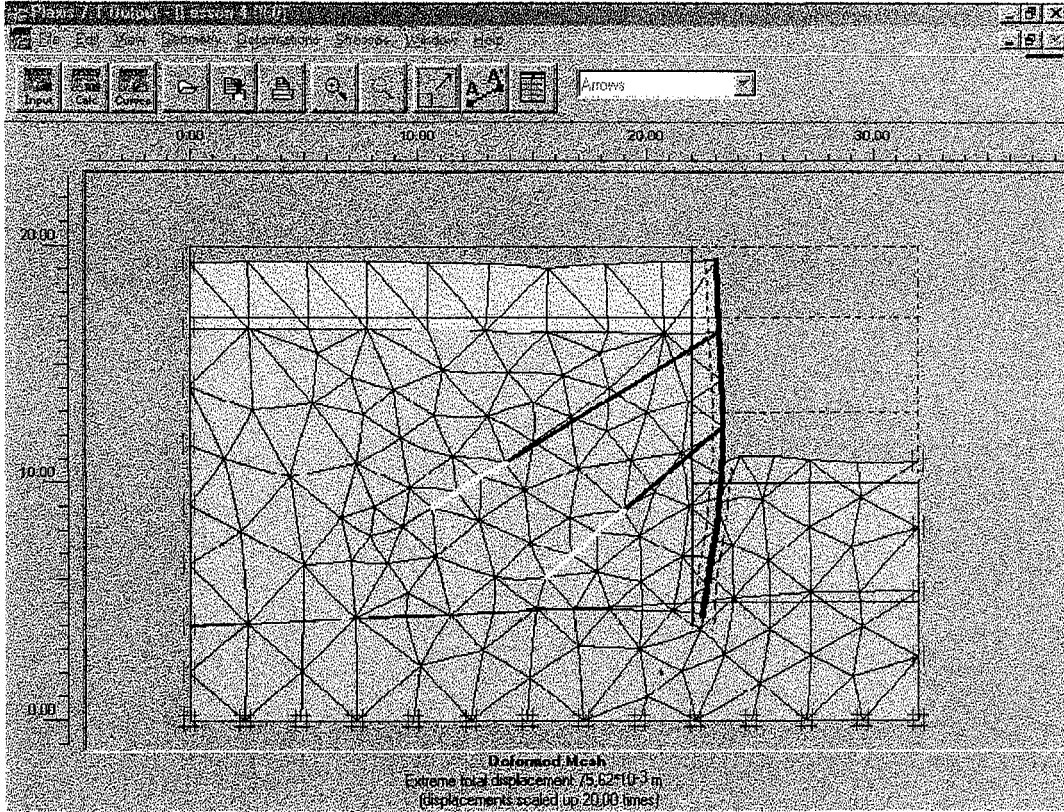
“Güncelleştirilmiş ağ” analizi büyük deformasyonların etkilerinin de hesaba katıldığı bir plastik hesaplama değildir. Bu tip hesaplama, deformasyonların geometrinin şeklini önemli ölçüde etkileyeceği bekleniyorsa göz önüne alınmalıdır. Bu hesaplama prosedürü “Güncelleştirilmiş Lagrange Formülasyonu” olarak bilinen yaklaşıma dayanmaktadır. Büyük deformasyonların etkilerinin ihmal edilebildiği çoğu uygulama için normal “plastik hesaplama” yeterli derecede uygundur. Tipik uygulama alanları olarak, donatılı zemin yapılarının analizi, büyük deformasyonların oluşabileceği yumuşak zeminlerin dahil olduğu projelerin analizi ve büyük deniz kıyısı yapıları temellerinin analizi sıralanabilir. “Güncelleştirilmiş ağ” analizi normal bir “plastik hesap”a göre çok daha zaman alıcıdır ve sadece özel durumlar da kullanılması tavsiye edilmektedir.

PLAXIS için son analiz şekli de “dinamik” analizdir. Zeminler ve yapılar sadece statik yüklere değil, titreşimlerin ortaya çıkmasıyla dinamik yüklere de maruz kalırlar. Z”

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

#### 4.4. Çıktılar (Output)

PLAXIS işlemcisi, hesap sonuçlarını göstermek için grafiksel özelliklere sahiptir. Yer değiştirmelerin, gerilmelerin ve yapısal yüklerin kesin değerleri çıktı tablolarından elde edilebilmektedir.



Şekil 4.28. Çıktı mönüsü ve ağın deforme olmuş hali

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

- Deformasyonlar:
  1. Deforme olmuş ağ (Şekil 4.28)
  2. Toplam yer değiştirmeler

3. Yatay yer değiştirmeler
4. Düşey yer değiştirmeler
5. Toplam artımlar
6. Yatay artımlar
7. Düşey artımlar
8. Toplam birim deformasyonlar
9. Artışsal birim deformasyonlar

- Gerilmeler:

1. Efektif gerilmeler
2. Toplam gerilmeler
3. Aşırı konsolidasyon oranı
4. Plastik noktalar
5. Aktif boşluk suyu basınçları (toplam boşluk suyu basınçları)
6. Aşırı boşluk suyu basınçları
7. Yer altı suyu seviyesi
8. 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. Yatay artımlar
6. Düşey artımlar

- Kuvvetler:

1. Eksenel
2. Kesme
3. Eğilme momenti

Ankrajlar içinse, yük çıktısı grafiksel ve tablosal olarak elde edilebilmektedir.

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)

Ayrıca ara yüzeyler için de aşağıdaki grafiksel ve tablosal çıktı seçenekleri mevcuttur:

- Deformasyonlar:
  1. Toplam yer değiştirmeler
  2. Toplam artımlar
  3. Göreceli yer değiştirmeler

#### 4. Göreceli artımlar

- Kuvvetler:


1. Efektif normal gerilmeler
2. Kesme gerilmeleri
3. Aktif boşluk suyu basınçları
4. Aşırı boşluk suyu basınçları

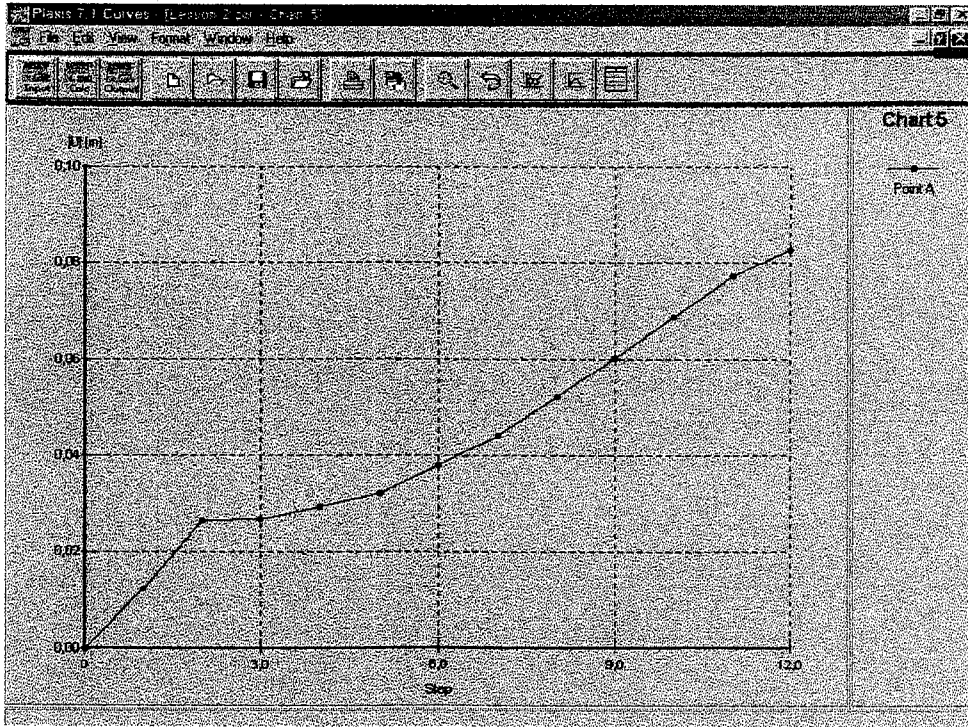


Şekil 4.29. Kirişler, geotekstiller ve ankrajlarda aksenal ve çember yükleri için işaret gösterimi

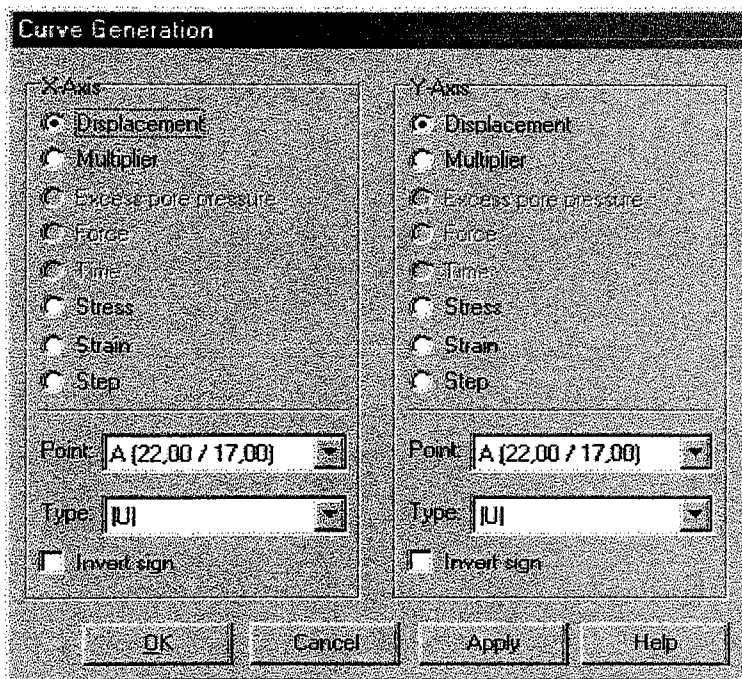
Ayrıca “kesit” opsiyonu sayesinde, geometrinin istenilen kesiti için grafikler ve tablolar oluşturulabilir.

#### 4.5. 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. Şekil 4.30'daki eğriler mөнüsünden “yeni” eğri oluşturma opsiyonu seçildiğinde, karşımıza Şekil 4.31'deki “eğri oluşturma” mөнüsü çıkmaktadır. Ayrıca eğrilerin renk, stil vb. özelliklerini değiştirmek için “eğri ayarları” opsiyonu da bulunmaktadır. Oluşturulan eğrilerin tablosal görünüşleri de “tablo” seçeneğinden elde edilebilmektedir [31-33].



Şekil 4.30. Eğriler mönüsü ve oluşturulmuş bir diyagram



Şekil 4.31. Eğri oluşturma mönüsünden hangi eğrinin oluşturulacağı seçilmektedir.

#### 4.6. Avantajlar ve Dezavantajlar

PLAXIS nümerik analizlere aşına olmayan geoteknik mühendisleri için geliştirilen ticari bir bilgisayar yazılımıdır. Zemin için ve zeminle yapı arasındaki etkileşim için gelişmiş başlangıç modelleri PLAXIS içerisine dahil edilmiştir. Aşağıda PLAXIS'in bazı avantaj ve dezavantajları sıralanmıştır:

##### Avantajlar:

- Güçlü ve kolay kullanışlı grafiksel girdi ve çıktı olanağı: Kullanıcının çok hızlı bir şekilde problemi saptaması ve sonuçları görmesini sağlamaktadır.
- Otomatik ağ oluşturma: Etkili, otomatik üçgen ağ oluşturucusu, gerilme yoğunluğuna bağlı olarak ağı lokal ve global olarak düzenleyebilir.
- Lineer olmayan zemin davranışı olanağı: PLAXIS içerisinde, lineer olmayan zemin davranışının hesaplara katılabilmesine yarayan, gelişmiş zemin modelleri de mevcuttur.
- Eğer drenajsız zemin şartı varsayımı yapılıyorsa, aşırı boşluk suyu basınçları da analiz içerisine dahil edilebilir. Aşırı boşluk suyu basınçları dinamik analizler içerisine de dahil edilebilir (birçok kazık-zemin modelinde dahil edilemez).
- Uygun deprem simülasyonu: Standart SMC formatı yer hareketi, PLAXIS tarafından okunabilir ve yorumlanabilir. Bu da depremin sisteme etkilerini simule etmek için uygun bir yol sağlamaktadır.
- Mükemmel kullanıcı servisi: PLAXIS web sayfasında, teknik problemlerin tartışılması için forum sağlanmakta ve sorular zaman içinde program yöneticisi tarafından cevaplanmaktadır.

**Dezavantajlar:**

- Program, ABAQUS ve ANSYS gibi kullanıcıya açık değildir. Kullanıcı yazılımın içinde çalışmamaktadır. PLAXIS içinde, zemin ve kazık arasında yeni bir ilişki modelinin göz önüne alınmasına olanak verecek veya saha analizlerine uygun yeni bir lineer olmayan modelin göz önüne alınmasına olanak verecek yeni elemanlar kullanılamamaktadır.

- Dinamik analiz için sınırlama: PLAXIS’de “Lagrangian Updated mesh” ve “Dinamik analiz aynı zamanda seçilememektedir. Bu da, yumuşak killerde veya büyük değerlerdeki yer hareketlerinde meydana gelebilecek büyük deformasyonlar için dinamik analizin tamamlanamaması demektir.

- Sıvılaşma bu versiyonda göz önüne alınmamaktadır [31-33].

## 5. VAKA ANALİZLERİ

### 5.1. Literatürdeki Vaka Analizleri

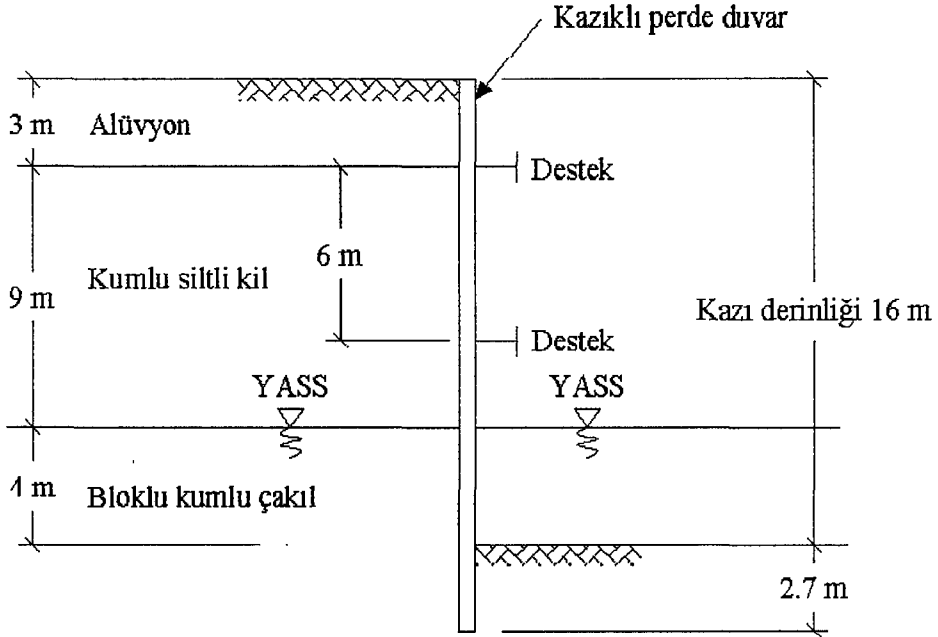
Bu bölümde daha önceden PLAXIS ile analizi gerçekleştirilen derin kazıların sonuçları sunulmuştur. Saha performanslarıyla PLAXIS sonuçlarının karşılaştırılması verilmiştir.

#### 5.1.1. İstanbul Hafif Raylı Taşıma Projesi için Gerçekleştirilen Derin Kazılar

Bu çalışmada bir Hafif Raylı Taşıma Projesi kapsamında, yer değiştirme analizleri yönünden tipik bulunan destekli derin kazıların iki farklı kesitte sonlu elemanlar analiz yöntemine göre modellenmesi ve analiz sonuçlarının arazi gözlemleri ile karşılaştırılması sunulmaktadır. Birinci kesitte, yeraltı su seviyesi kazı tabanından yukarıda olduğundan kazı kesişen kazıklarla, ikinci kesitte ise yeraltı su seviyesi kazı tabanının altında olduğundan kazı aralıklı kazıklarla desteklenmiştir. Kazı modellemesi saha koşullarına uygun olarak yapılmış, malzeme parametreleri arazi ve laboratuvar çalışmalarından drenaj koşulları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.

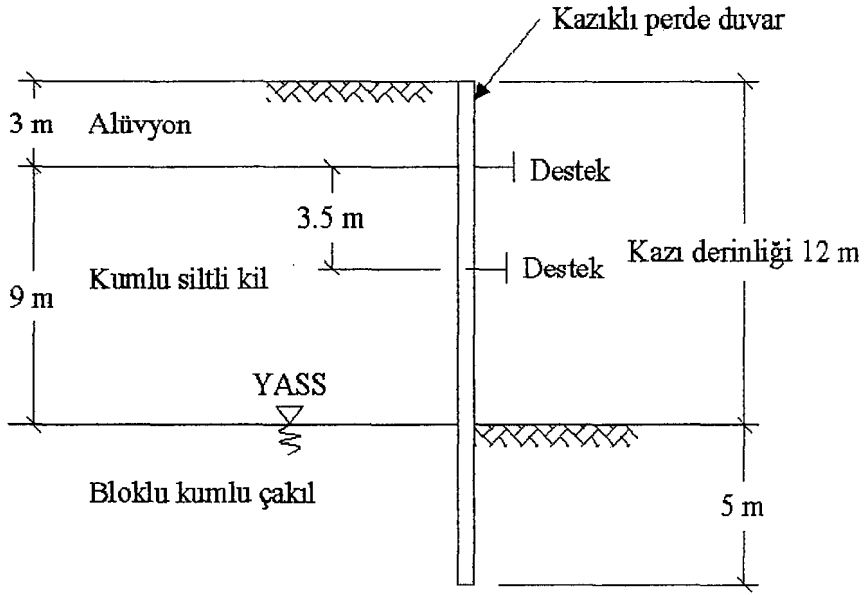
Kesit 1'de kazının derinliği 16 m. genişliği 10 m.'dir. Kazık boyu 23 m. olup 100cm çaplıdır. Duvar mevcut yüzey kotundan 3 m. ve 9 m. derinlikte 4.25 m. yatay aralıklı  $\phi 800/14$  mm. boyutlarında iki sıra çelik boru ile desteklenmiştir [34].

Kesit 2'de kazının derinliği 12 m. genişliği 11 m.'dir. Kazık boyu 17 m. olup 100 cm. çaplıdır. Duvar mevcut yüzey kotundan 3 m. ve 6.5 m. derinlikte 6 m. yatay aralıklı  $\phi 660/14.2$  mm. boyutlarında iki sıra çelik boru ile desteklenmiştir.

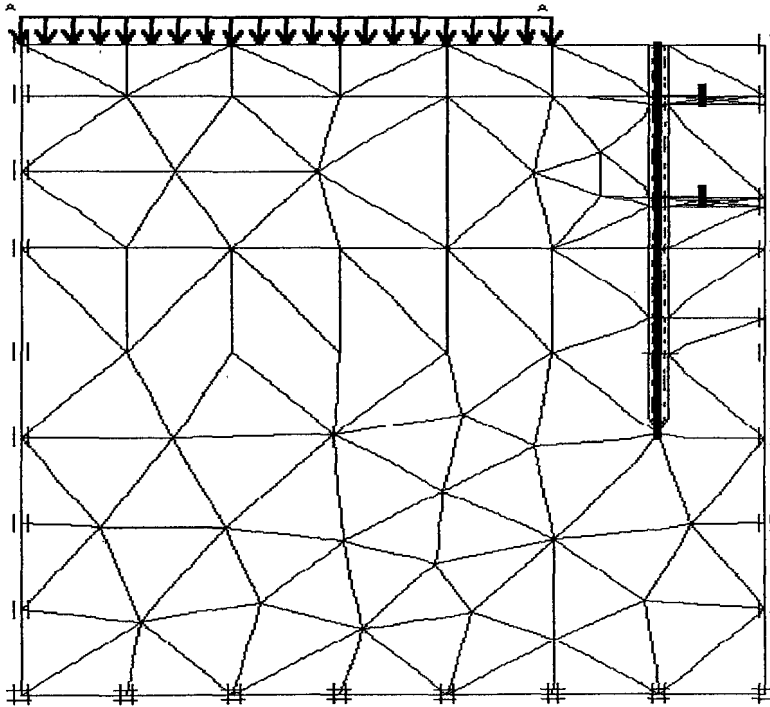


Şekil 5.1. Kesit 1 de yer değiştirme analizi için belirlenen zemin modeli ve destek sistemi

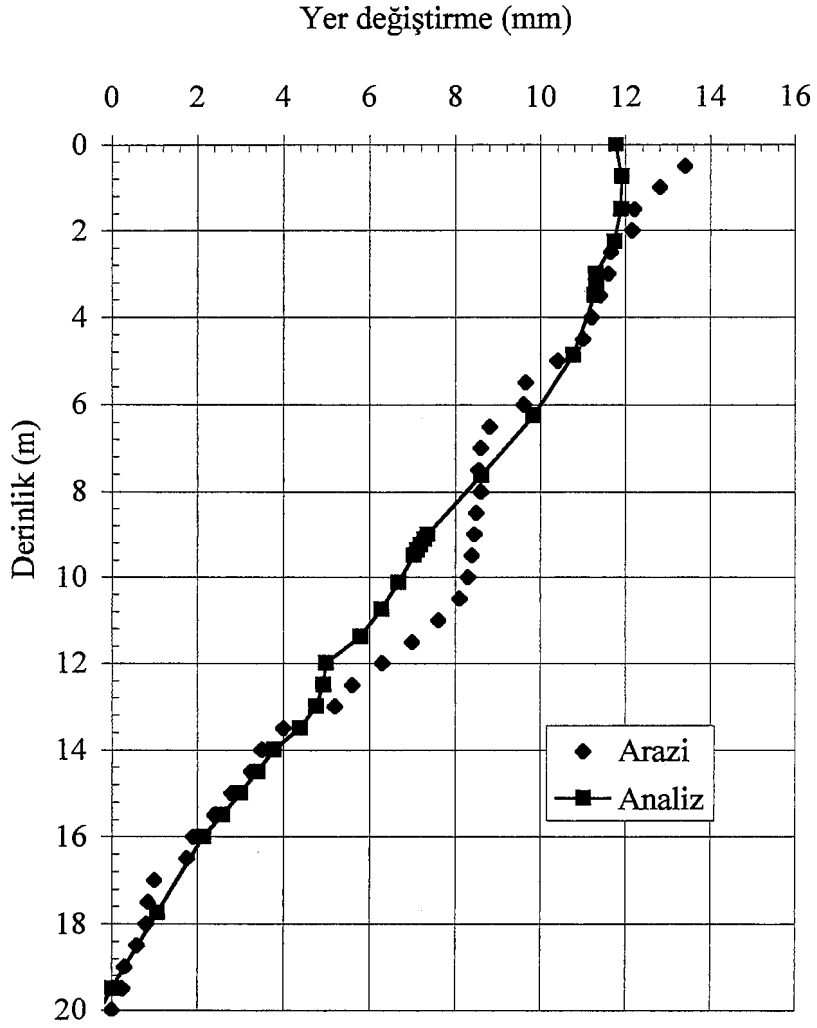
Nümerik analiz için kullanılan model ve sonlu eleman ağı Şekil 5.3'de görülmektedir. Kesit 1 ve 2 için saha sonuçları ve PLAXIS'le gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 5.4 ve 5.5'de verilmiştir.



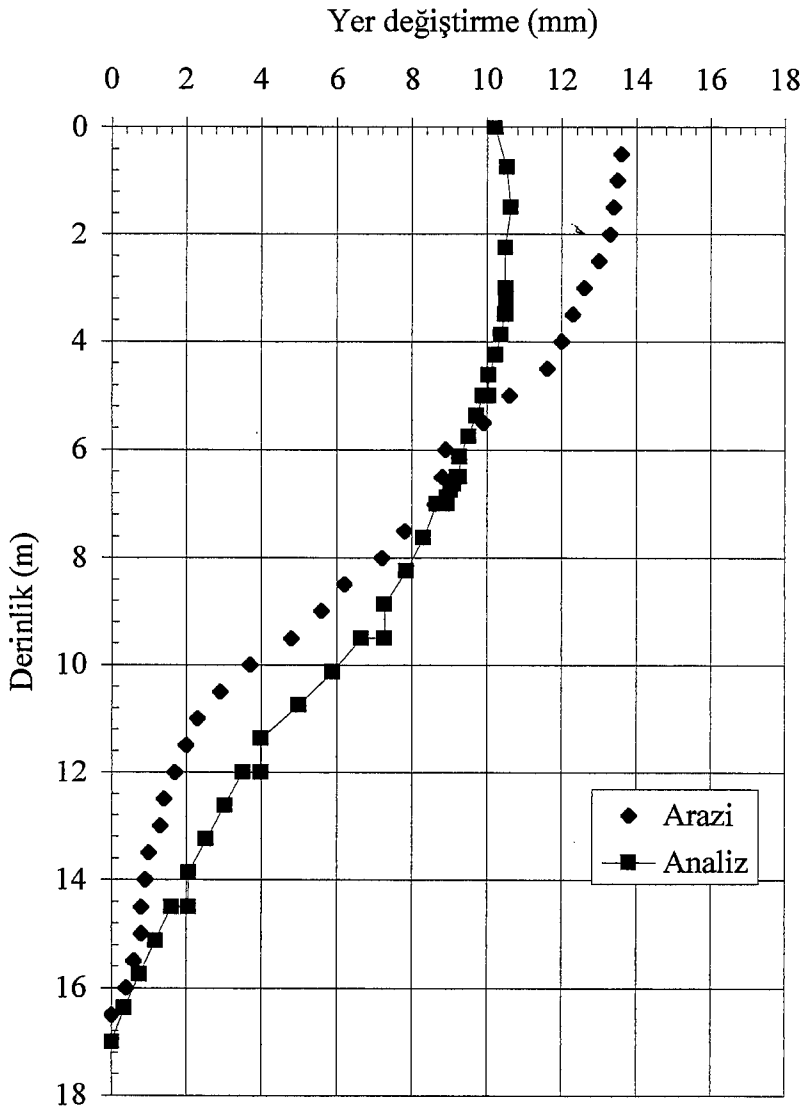
Şekil 5.2. Kesit 2 de yer değiştirme analizi için belirlenen zemin modeli ve destek sistemi



Şekil 5.3. Kesit 1 in sonlu eleman ağı



Şekil 5.4. Kesit 1 de ölçülen ve hesaplanan yatay yer değiştirmeler

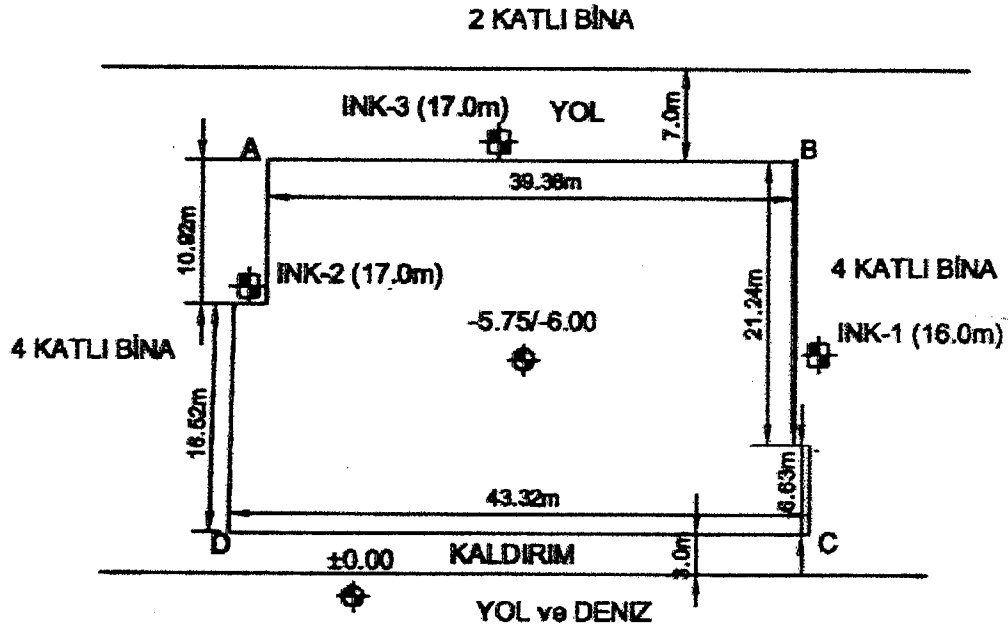


Şekil 5.5. Kesit 2 de ölçülen ve hesaplanan yatay yer değiştirmeler

Kesit 1 deki davranış ile hesaplananların birbiriyle oldukça uyumlu olduğu ancak Kesit 2 de ölçülenlerle hesaplananları birbirinden bir parça farklı olduğu görülmektedir. Bu farkların modelleme ve analiz aşamalarında zemin tabakaları için yapılan varsayımlar ve kullanılan korelasyonlar göz önüne alınırsa kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı söylenebilir.

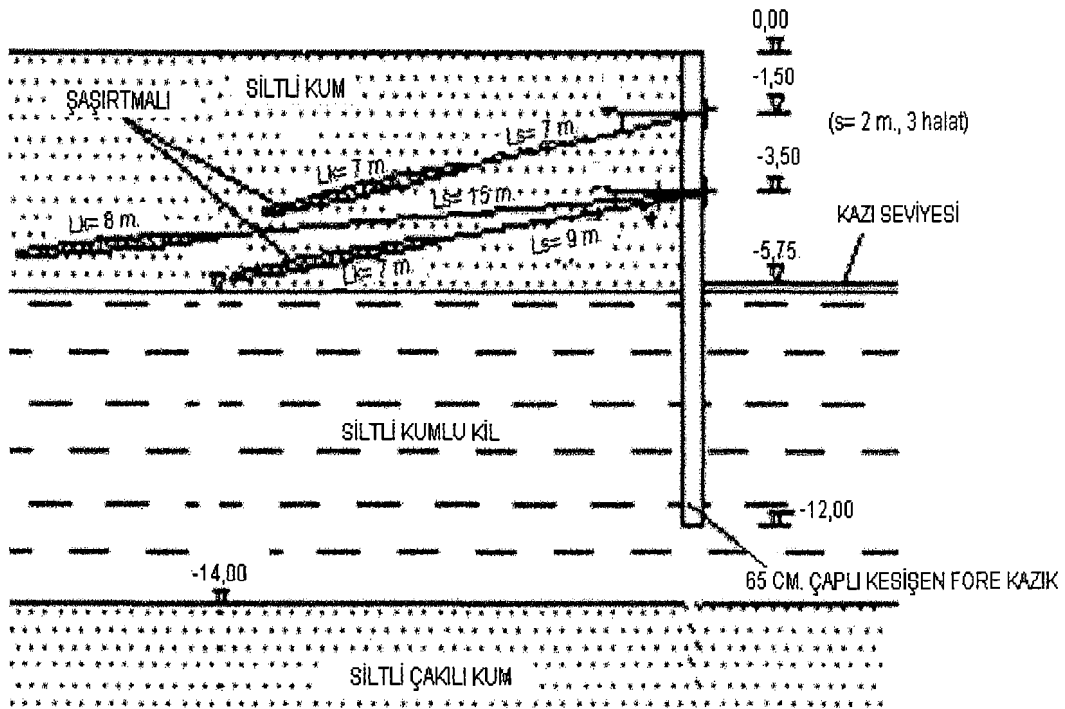
### 5.1.2. Marmaris'te Yapılan Bir Binanın Bodrum Kazısı

Marmaris'te yapılan bir binanın bodrum kazısı, yüksek yeraltı suyu ve yumuşak zemin koşullarında geçirimsiz iksa duvarlarının ön germeli zemin ankrajlarıyla desteklenmesi sonucu oluşturulan bir iksa sistemi ile gerçekleştirilmiştir. İksalı kazı için detaylı zemin etütleri yapılmış, kazı analizleri her kademe için PLAXIS sonlu eleman programı ile çözülmüş, uygulamaya yönelik iksa projeleri hazırlanmıştır ve kazı kademelerine bağlı olarak iksa duvarları inklinometrik olarak gözlenmiştir (Şekil 5.6) [35].

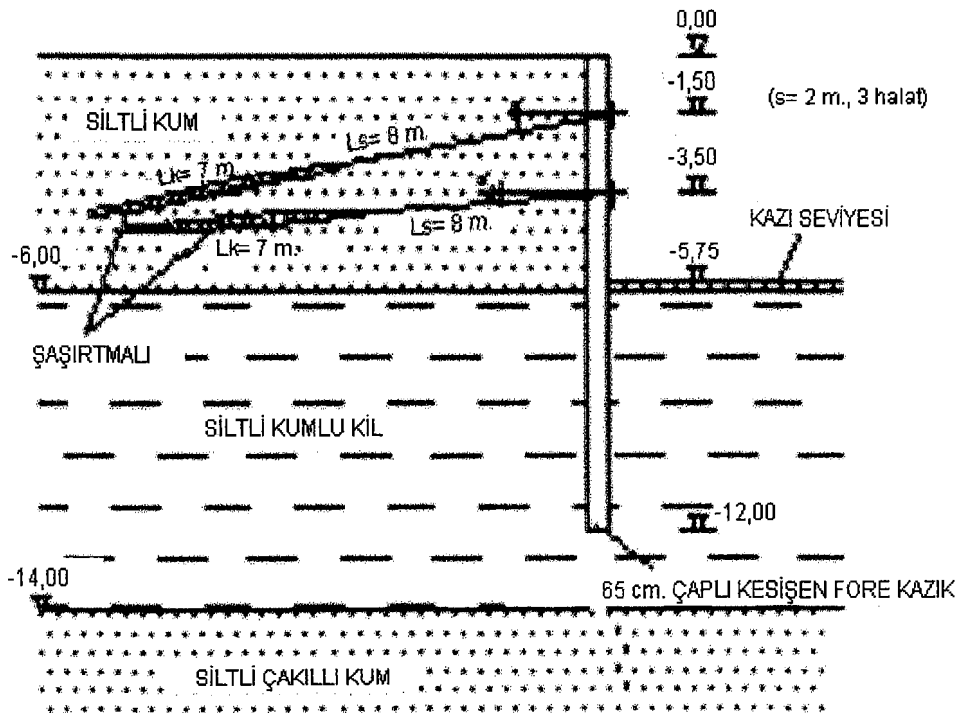


Şekil 5.6. İnklinometre yerleşim planı

Kazının iki cephesinde bina, diğer iki cephesinde de yol bulunduğundan, iki ayrı kesit üzerinde çalışılmıştır (Şekil 5.7 ve 5.8). Bina cephelerinde sürşarj yükü  $50 \text{ kN/m}^2$ , yol cephelerinde ise  $7 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır.

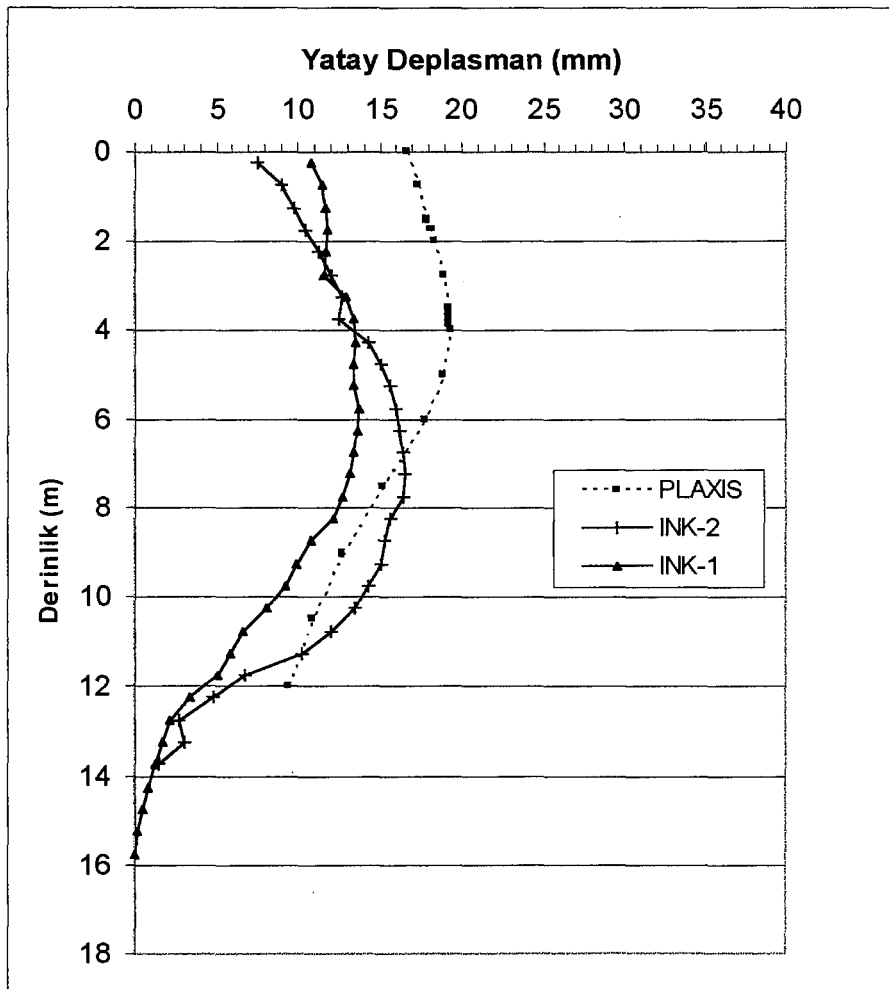


Şekil 5.7. Bina cepheleri

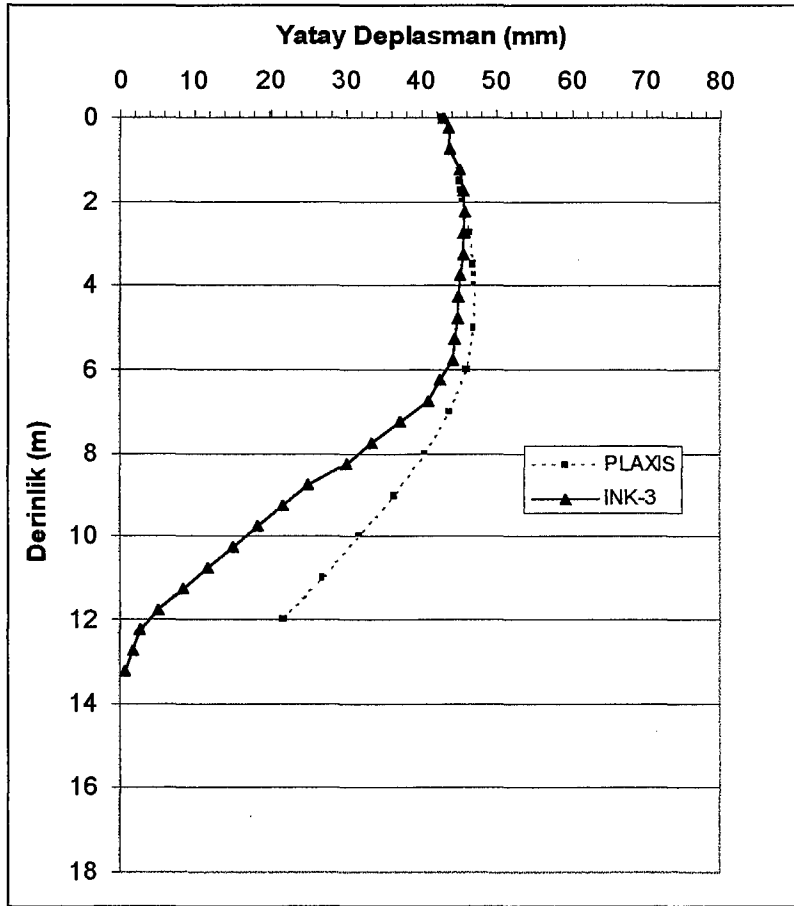


Şekil 5.8. Yol cepheleri

Kazı sahası denize çok yakın ve yeraltı su seviyesi yüzeyden 1 m. derinlikte olduğundan dolayı iksa sistemi olarak geçirimsiz bir duvar gerekli görülmüş ve çeşitli geçirimsiz duvar alternatifleri üzerinde düşünülmüştür. Bina cephelerinde 1. ve 3. sıra ankrajlar yatayla  $8^{\circ}$ , 2. sıra ankrajsa  $5^{\circ}$  açı yapmaktadır. Buradaki 2. sıra ankraj genel stabilite güvenlik sayısını yükseltme amaçlıdır. Yol cephelerinde ise, ilk sıra ankraj yatayla  $8^{\circ}$ , ikinci sıra ankrajsa  $5^{\circ}$  açı yapmaktadır. Uygulanan destek sistemlerinin kesitleri Şekil 5.7 ve 5.8'de görülmektedir.



Şekil 5.9. Bina cephesi sonuçları



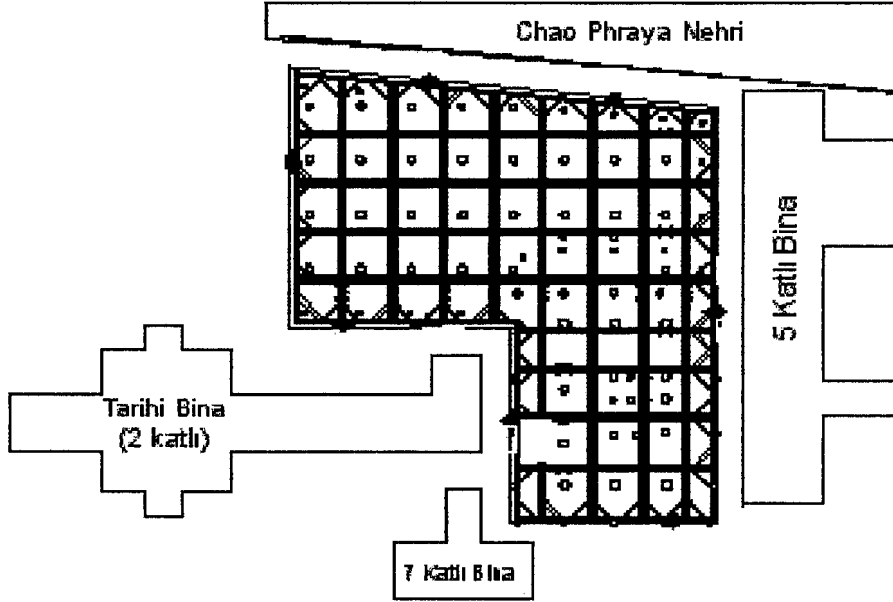
Şekil 5.10. Yol cephesi sonuçları

Kazık arkası zeminine üç cephede yerleştirilen inklinometre enstrümantasyonunda gerçekleşen deplasmanlar ile Plaxis ön germeli analiz sonuçları deplasman profilleri karşılaştırılmış ve sonuçları verilmiştir. Sonuçlar tamamen uyum içindedir.

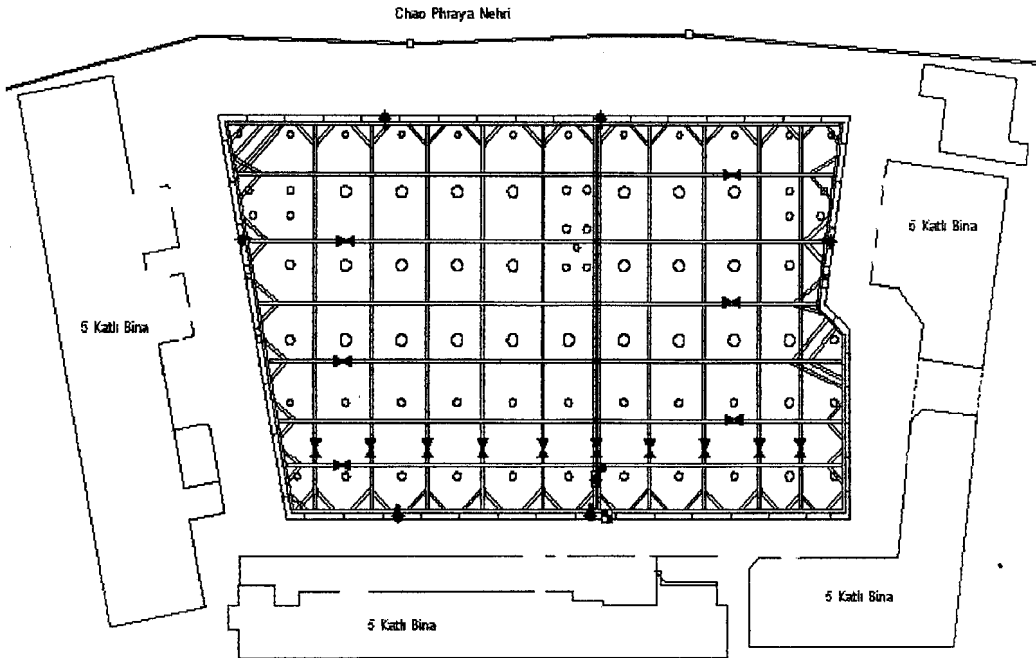
### 5.1.3. Bangkok Kilinde Yapılan Bir Derin Kazının Performansı

Bangkok'da Chao Phraya nehrinin yanında gerçekleştirilen iki derin kazıda 80 cm. kalınlığında diyafram duvarlar kullanılmıştır. İki kazı birbirlerine 40 m. mesafede bulunmaktadır ve 5 katlı bir binayla ayrılmaktadır. Kazılar çelik yatay desteklerle desteklenmiştir. Kazıların, konumlarının ve zemin şartlarının da

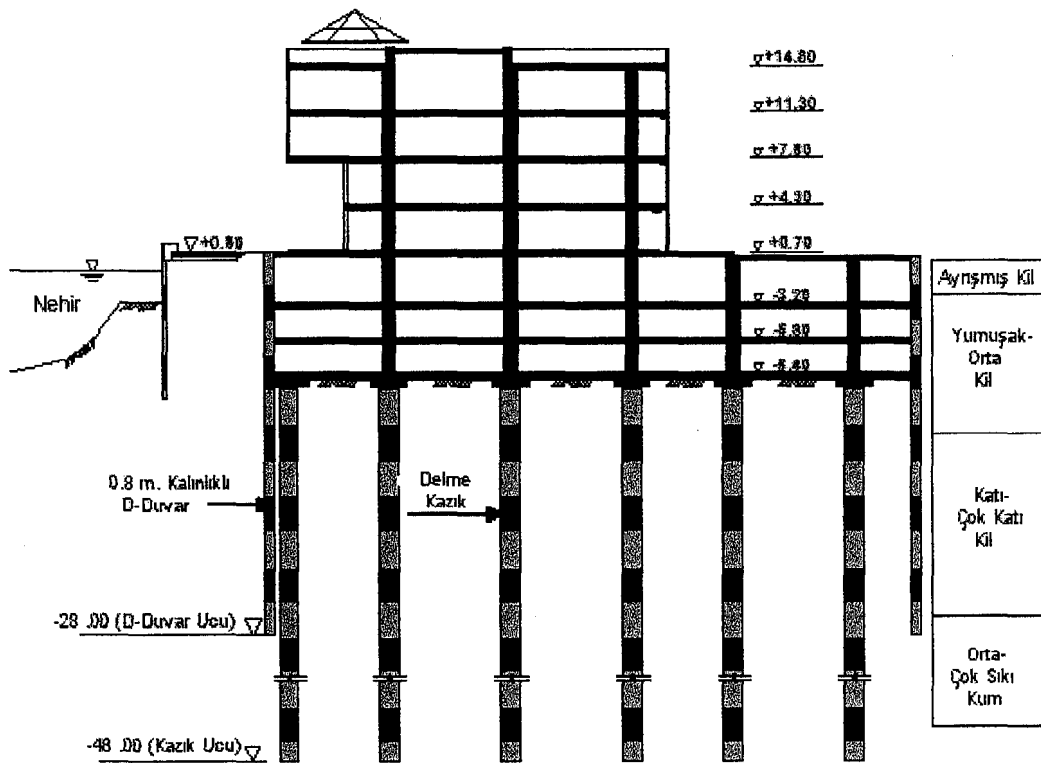
görülebileceği, plan ve kesit görünüşleri Şekil 5.11, 5.12, 5.13 ve 5.14’de verilmiştir [36-38].



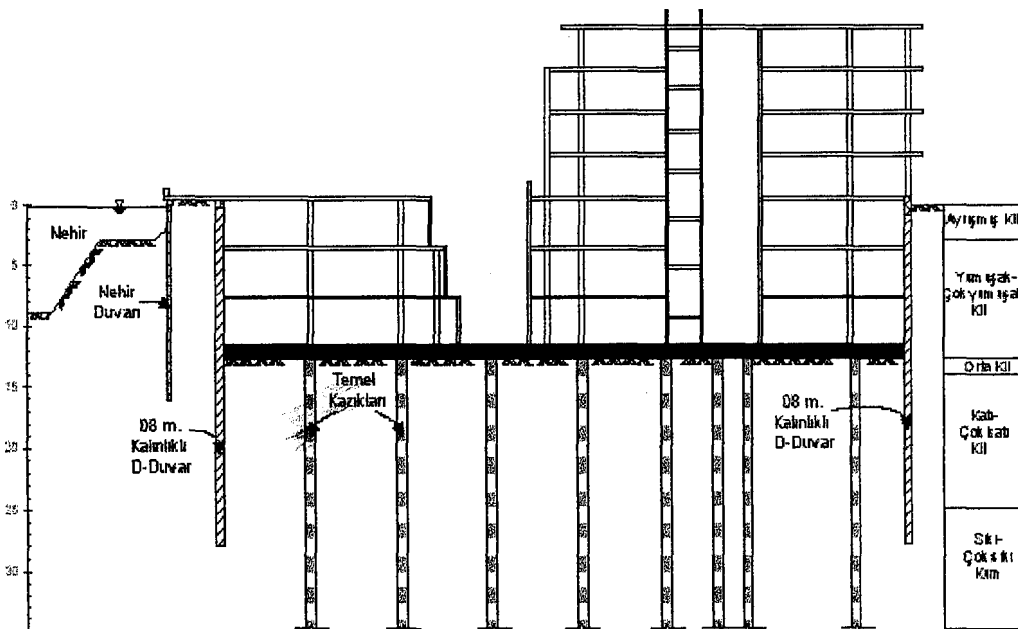
Şekil 5.11. Birinci kazının plan görünüşü



Şekil 5.12. İkinci kazının plan görünüşü

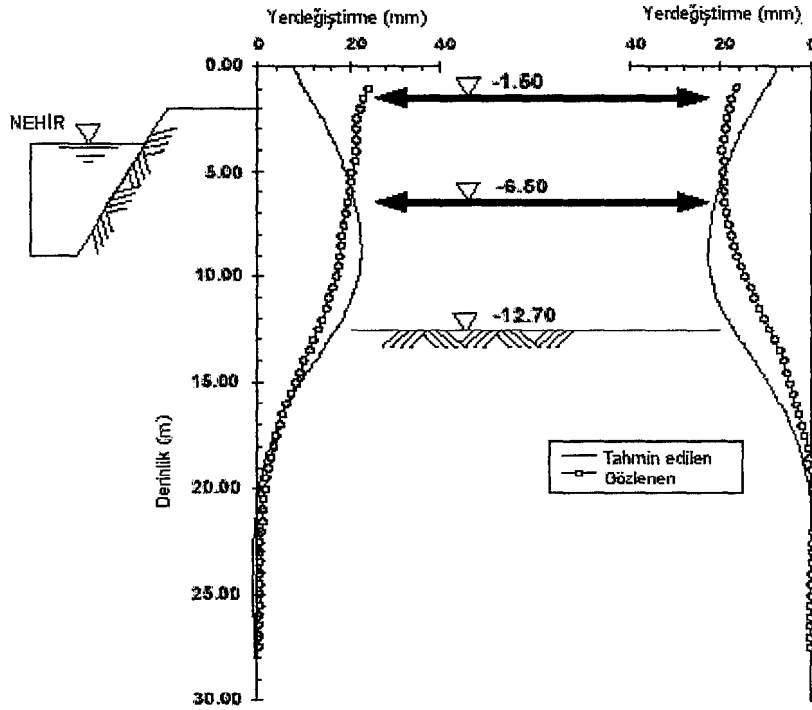


Şekil 5.13. Birinci kazının kesit görünüşü ve zemin profili

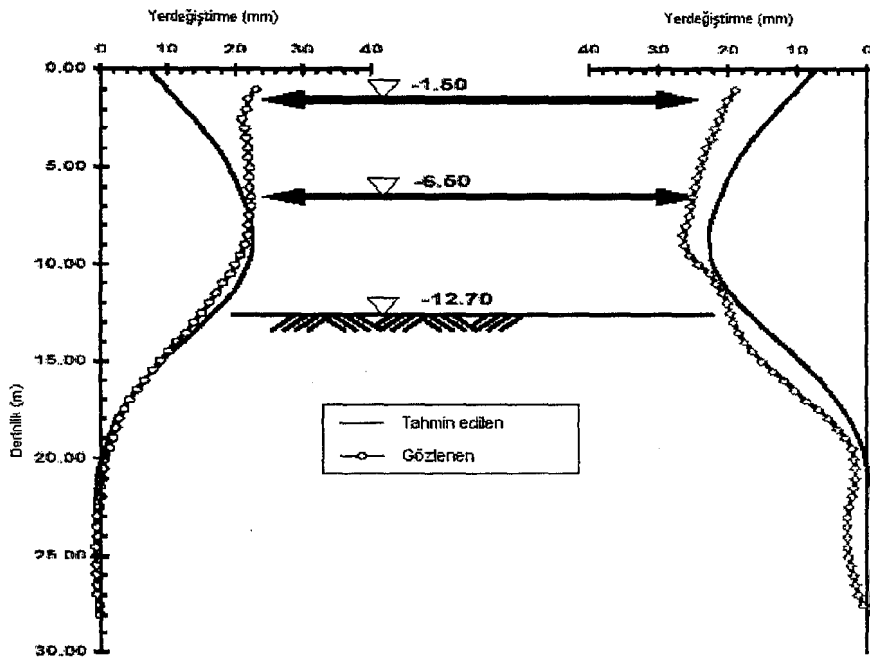


Şekil 5.14. İkinci kazının kesit görünüşü ve zemin profili

Kazılar için gerçekleştirilen analiz sonuçları ve saha performansları Şekil 5.15 ve 5.16'da karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.15. Birinci kazı için yanıl duvar hareketleri



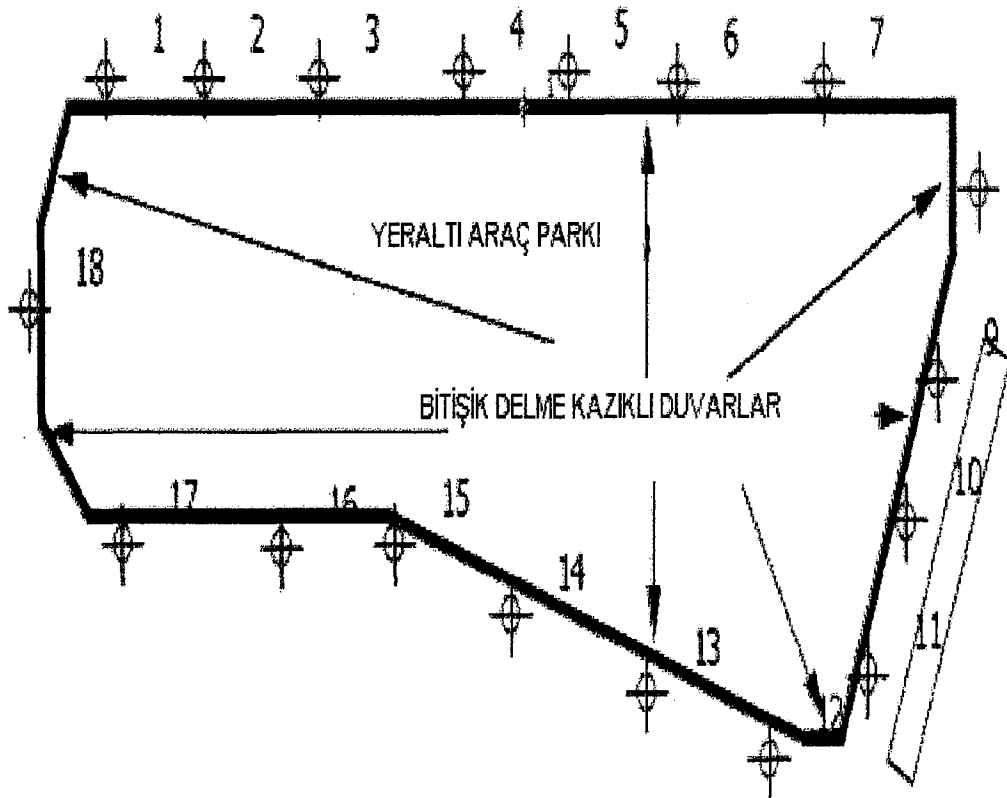
Şekil 5.16. İkinci kazı için yanıl duvar hareketleri

#### 5.1.4. Bangkok KİLİnde Yapılan Bir Derin Kazının Performansı

Malezya Subang Jaya’da, 33 katlı üç kule 20 katlı tek bir kuleden oluşan bir proje için gerçekleştirilen derin kazı ele alınmıştır. Kazının gerçekleştirildiği sahada zemin profili Tablo 5.1’de verildiği gibidir. Kazının plan görünüşü Şekil 5.17’de verilmiştir [9].

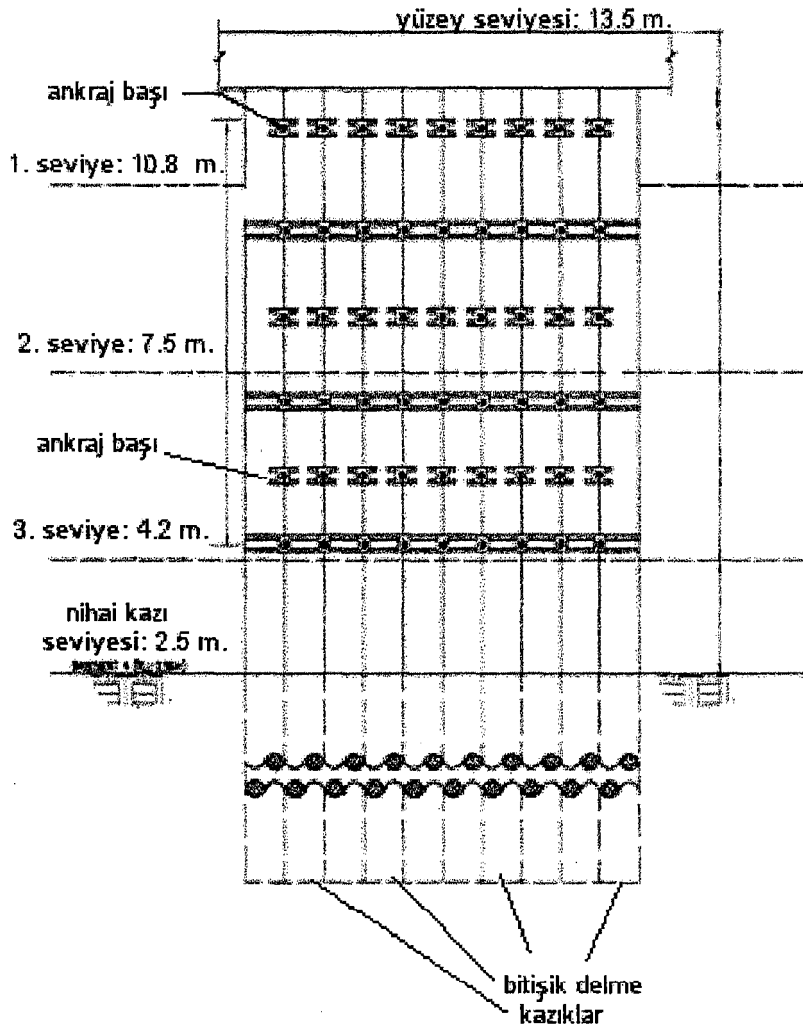
Tablo 5.1. Zemin profili

	DERİNLİK (m)	AÇIKLAMA	SPT
TABAKA 1	0 - 9	Killi Silt	< 12
TABAKA 2	9 - 18	Yumuşak Siltli Kil	0
TABAKA 3	18 - 27	Orta Sıkı Kum	> 18
TABAKA 4	27 - 35	Sıkı Kum	> 50

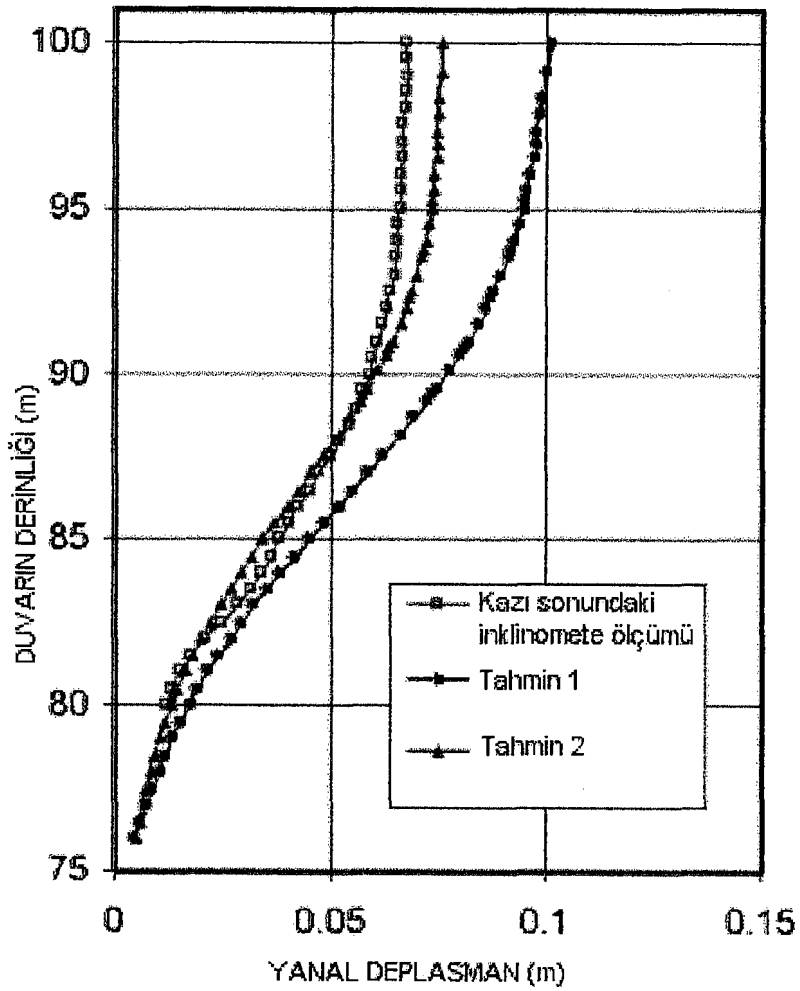


Şekil 5.17. Kazı planı

Destek sistemi olarak, zemin çivileriyle desteklenmiş 1000 mm. çaplı bitişik delme kazıklı duvarlar kullanılmıştır. Kullanılan destek sisteminin kesit görünüşü Şekil 5.18’de verilmiştir. Kazının sonlu eleman analizi sonuçları ve saha performansı da Şekil 5.19’deki şekilde görülmektedir.



Şekil 5.18. Destek sisteminin kesit görünüşü



Şekil 5.19. Kazının analiz sonuçları ve saha performansının karşılaştırması

## 5.2. Bu Çalışmada Analizi Gerçekleştirilen Vaka Analizleri

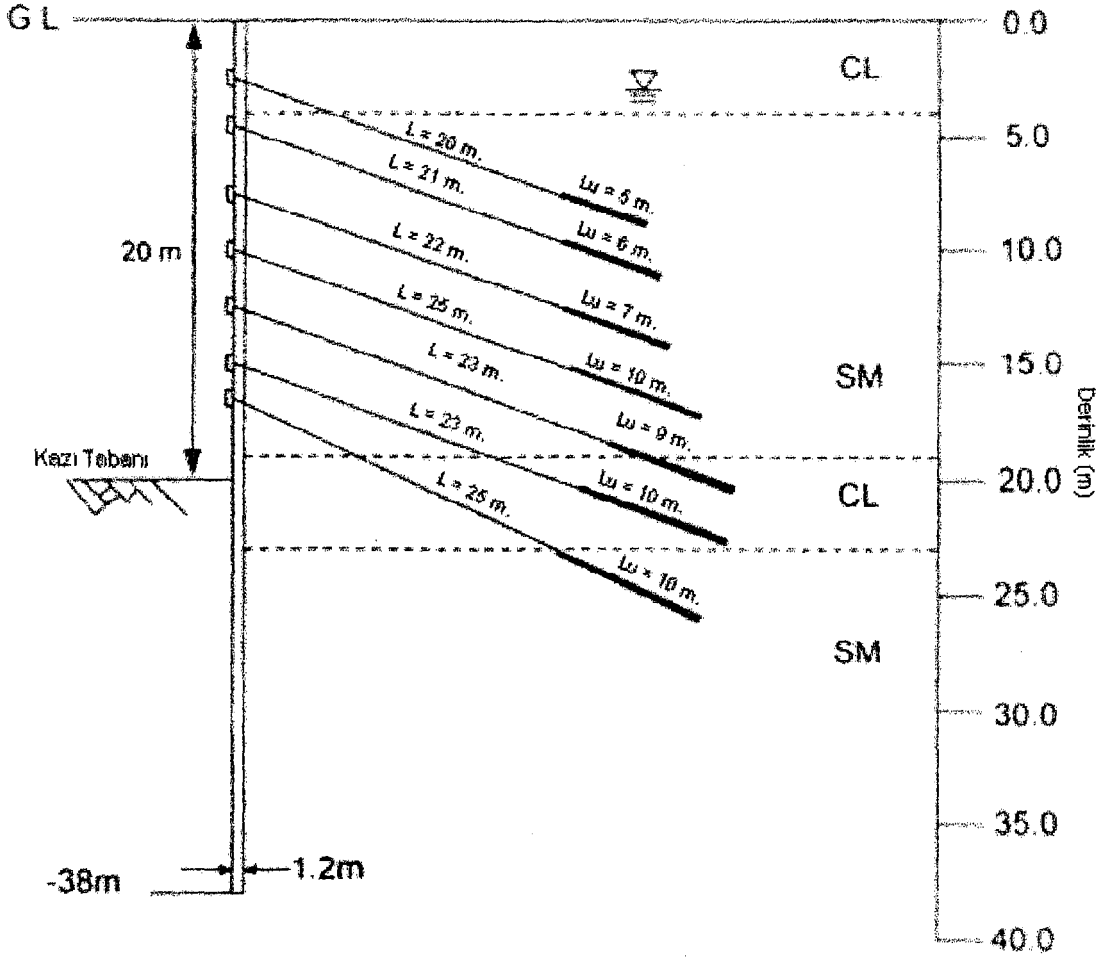
### 5.2.1. Taipei Yerel Yönetim Merkezi Binası İnşaatı

Bu bölümde Taipei'deki bir bina için gerçekleştirilen derin kazı ele alınmıştır. Kazı "Taipei Yerel Yönetim Merkezi" olarak kullanılacak bir bina için gerçekleştirilmiştir. Kazının dizaynı ve gözlemleri Profesör Liao ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Kazının gerçekleştirdiği sahadaki zemin koşulları, Taipei'in tipik siltli zemin formasyonunu yansıtmaktadır. Kazı sahasının zemin profili Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Kazı Zemin Profili

Derinlik (m)	Zemin	N değerleri	Su muhtevası (%)	Likit limit (%)	Plastisite indeksi (%)	S <sub>u</sub> (kPa)
0 - 3	CL	5	36.2	-	-	-
3 - 18	SM	9	23.9	-	-	-
18 - 24	CL	7	29.4	32.4	14.3	52
24 - 28	SM	15	25.4	-	-	-
28 - 35	CL	13	22.3	27	9	78
35 - 47	SM	27	26.3	-	-	-

Taipei Yerel Yönetim Merkezi binası 33 normal katlı ve dört bodrum katlı yüksek bir bina olarak tasarlanmıştır. Bu bina için gerçekleştirilecek kazı, 155 m. uzunlukta, 93 m. genişlikte ve 20 m. derinliktedir. Destek sistemi olarak diyafram duvar ve ankrajlar tercih edilmiştir. Binanın dizaynı için RIDO adlı program kullanılmıştır. Sonuç olarak 1.2 m. Kalınlığında, 38-50 m. derinliğinde diyafram duvarlar ve 7 sıra ankraj kullanılmıştır. Duvarı bağlamak için toplam olarak 1923 tane ankraj kurulmuştur. İnşaat aşama aşama gerçekleştirilmiştir. Önce diyafram duvar kurulmuştur. Sonra da ilk ankraj seviyesine kadar kazı yapıp ilk seviye ankrajlar yerlerine kurulmuştur. Aynı yöntem 7. sıra ankraj kuruluncaya kadar uygulanmıştır. Son olarak ise 7. seviye akrajın altında kalan 3.5 m.'lik kısım kazılmıştır. Ankrajların, kazı yanındaki 20 m. genişliğindeki yol altından karşıdaki binaların altına kadar girmesinden kaçınmak için, ankraj boyları 25 m.'nin altında tutulmuştur. Destek sisteminin kesiti Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20. Kazı destek sistemi

Sistemdeki ankrajlar için, önce belirli bir derinliğe kadar delme kılıfı kullanılarak 0.13 m. çapında delik açılmış, daha sonra da kesici bıçak uçlar kontrollü olarak kullanılarak delik hem aşağıya doğru ilerletilmiş hem de çapı 0.5 – 0.65 m.'ye genişletilmiştir. Böylece delik ucunun yaklaşık konik bir şekil alması sağlanmıştır. İşlem bittikten tendon topluluğu deliğin için yerleştirilmiş ve deliğin alt kısmına harç enjekte edilmiştir. Son olarak da delme kılıfı geri çekilmiştir. Ankrajların genişletilen kısımlarının uzunlukları 5 ila 10 m. arasında kalmıştır. Ankrajlar dizayn yüklerinin % 10 - 20'si civarında bir ön gerilmeyle yüklenmişlerdir. Taipei yönetimi tarafından, çelik tendonların inşaat bitiminden sonra kaldırılması istenmiştir. Bu yüzden geri alınabilir özel tip tendonlar

kullanılmıştır. Destek sisteminde kullanılan ankrajlara ait bilgiler de Tablo 5.3'de sunulmuştur.

Tablo 5.3. Kazıya ait ankraj bilgileri

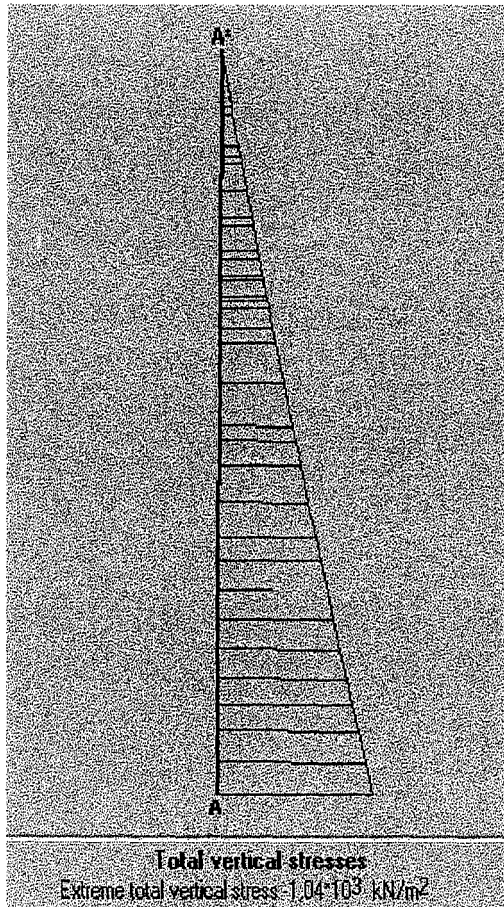
Ankraj Seviyesi	Ön gerilme (kN)	Seviyesi (m)	Açı (°)	Ankraj Aralığı (m)	Çapı (m)	Top. Uzun. (m)	Geniş. Kısmının Uzunluğu (m)
1.	440	-2,5	20	2,12	0,13 →0,5	20	5
2.	660	-4,5	20	2,12	0,13 →0,5	21	6
3.	770	-7,5	20	2,12	0,13 →0,5	22	7
4.	770	-10,0	20	2,12	0,13 →0,5	25	10
5.	770	-12,5	20	1,59	0,13 →0,5	13	9
6.	770	-15,0	20	1,59	0,13 →0,5	23	10
7.	770	-16,5	25	1,27	0,13 →0,5	25	10

Bu kazı stabilite ve duvar deplasmanları açısından bir kez daha PLAXIS ile incelenmiştir. Kazının PLAXIS ile analizinin gerçekleştirilebilmesi için ilk olarak Şekil 5.21'de görülen geometrik model oluşturulmuştur. Simetriden dolayı kazının sadece bir yarısı göz önüne alınmıştır. Mevcut zemin tabakaları Mohr-Coulomb modeline göre modellenmiştir. Kazı tabakaları oluşturulmuştur. Diyafram duvar,  $E= 28.10^6$  kN/m<sup>2</sup> özelliğe 1.2 m. Kalınlığında bir kiriş elemanı kullanılarak tasarlanmıştır.

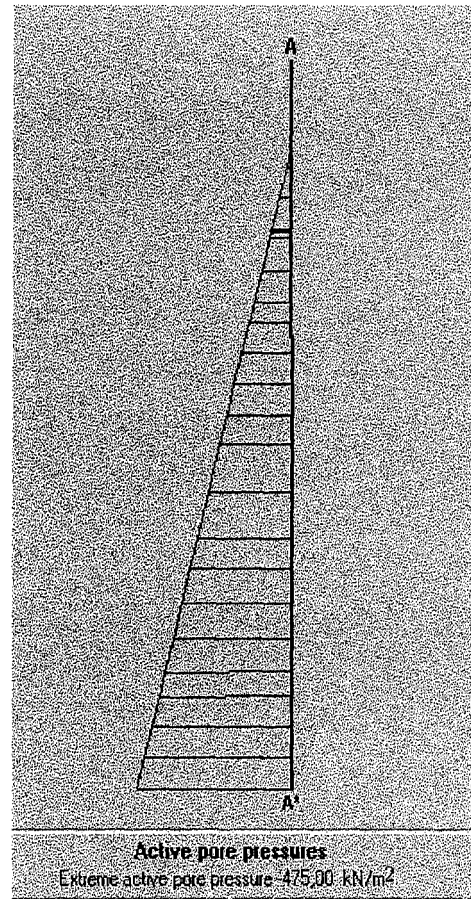


Yeraltı su seviyesi 6m.'de bulunmaktadır. Yeraltı suyu basınçları buna göre oluşturulmuştur. Toprak basınçları da  $K_0$  prosedürüne göre oluşturulmuştur. Başlangıç için PLAXIS'de elde edilen su basınçları ve toprak basınçları grafikleri Şekil 5.23 ve 5.24'de görülmektedir. Hesaplamalarda, inşaat sürecine uygun olarak 8 aşamalı bir prosedür uygulanmıştır (sırasıyla ankrajların kurulması ve aşama aşama kazının gerçekleştirilmesi).

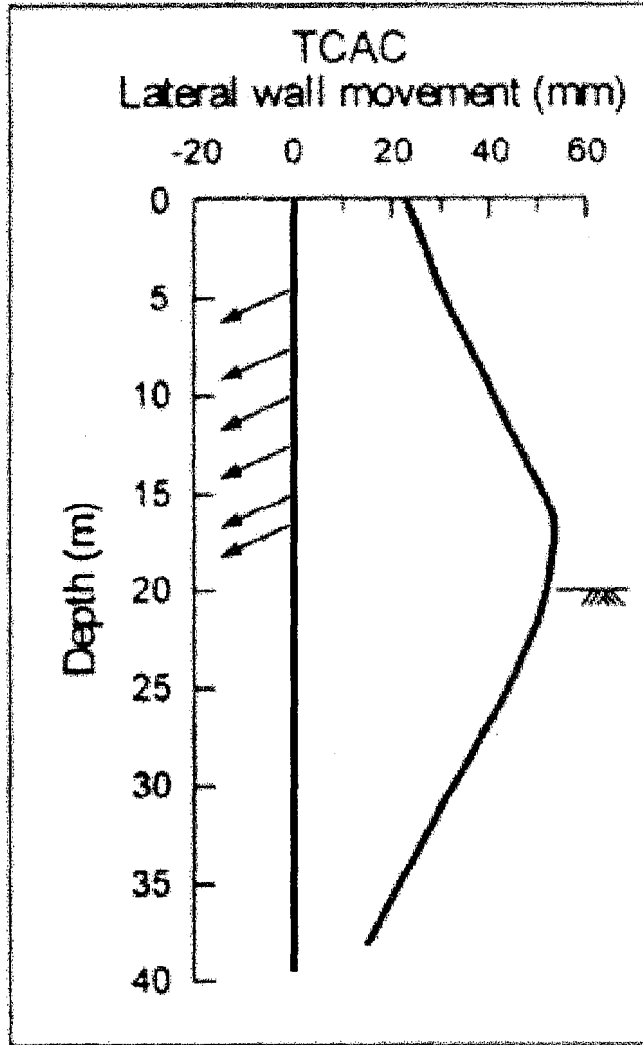
Duvar hareketleri inklinometreler yardımıyla gözlenmiştir. Ölçülen değerler daha sonra inklinometre kılıfının tabansal hareketinden dolayı düzeltilmiştir. Maksimum duvar hareketinin nihai kazı seviyesi civarlarında olduğu görülmüştür. İnklinometreden elde edilen duvar hareketleri Şekil 5.25'da görülmektedir.



Şekil 5.23. Toprak basınçları



Şekil 5.24. Boşluk suyu basınçları

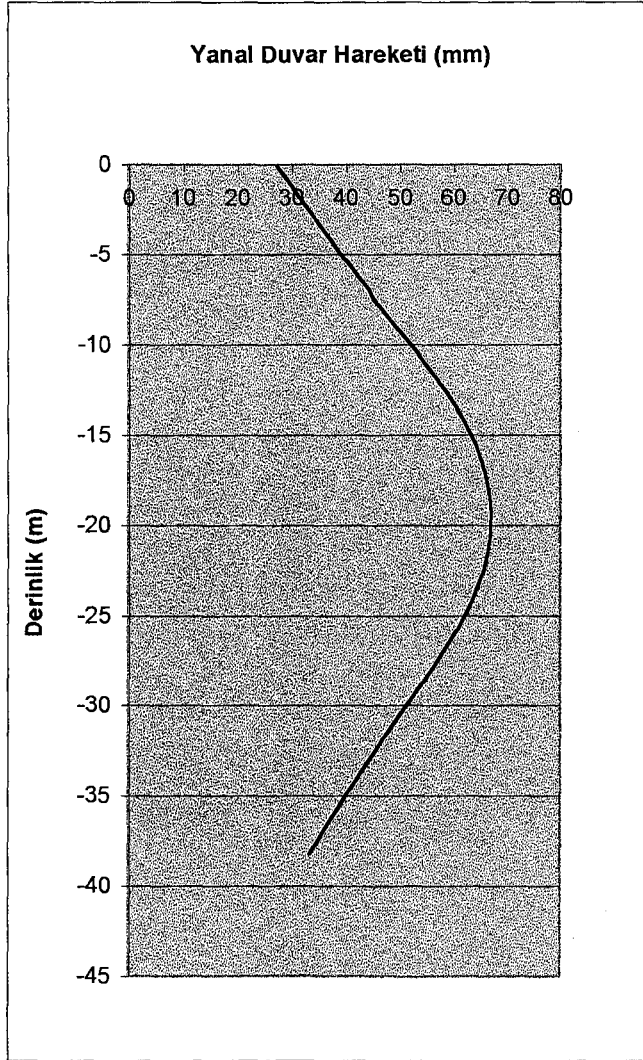


Şekil 5.25. Gözlenen yanal duvar hareketleri

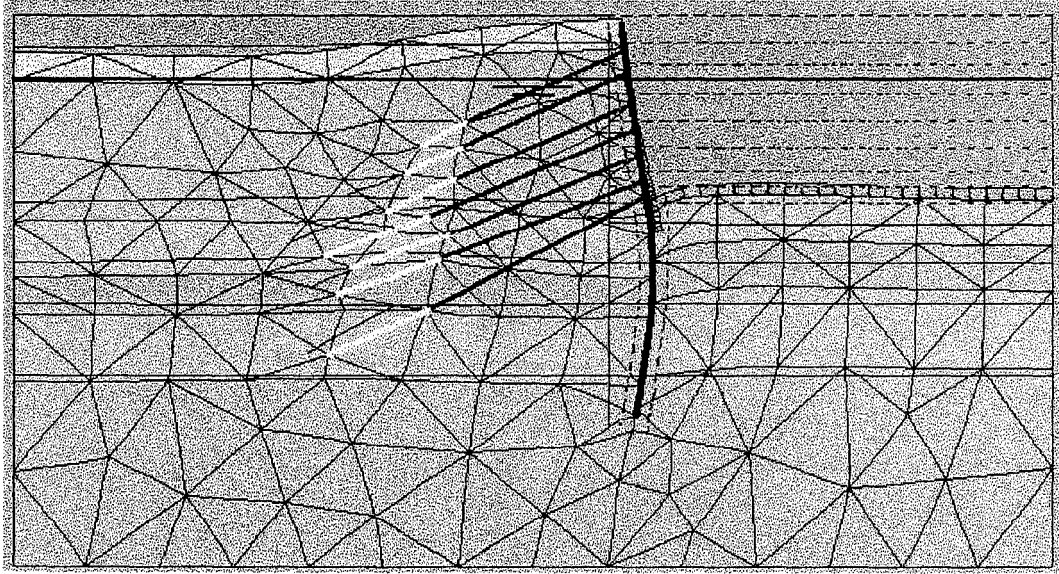
İnclinometrelerden elde edilen verilere göre maksimum duvar deplasmanı 50 mm. civarlarında kalmıştır. Maksimum duvar deplasmanı kazı tabanı civarlarında oluşmuştur. Duvarın üstündeki deplasman 22 mm., altındaki deplasman da 20 mm. civarlarında kalmıştır.

PLAXIS ile gerçekleştirilen analiz sonucunda ise duvarda Şekil 5.26'daki gibi bir profil oluşmuştur. Maksimum deplasman yine kazı tabanı civarında oluşmuştur. Fakat maksimum deplasman değeri, inclinometreden elde edilen sonuca göre biraz daha büyük olarak 67 mm. civarında gerçekleşmiştir. Ayrıca duvar alt ve üstünde de deplasmanlar biraz daha büyük değerlerde oluşmuştur.

Duvar üstünde 28 mm., altında ise 34 mm. civarında deplasman elde edilmiştir. İnklinometreden elde edilen grafiğe göre duvar altında duvar üstüne göre daha az deplasman gözlenmektedir. Oysa PLAXIS bunun tam tersi bir sonuç vermiştir. Bu durum modellenmeyle ilgili bazı hatalardan veya eksikliklerde kaynaklanmış olabilir. Ancak yine de sonuçlar makul derece uyumlu sayılabilir. Şekil 5.27’de kazı tamamlandıktan sonra, ağın deforme olmuş hali görülmektedir.

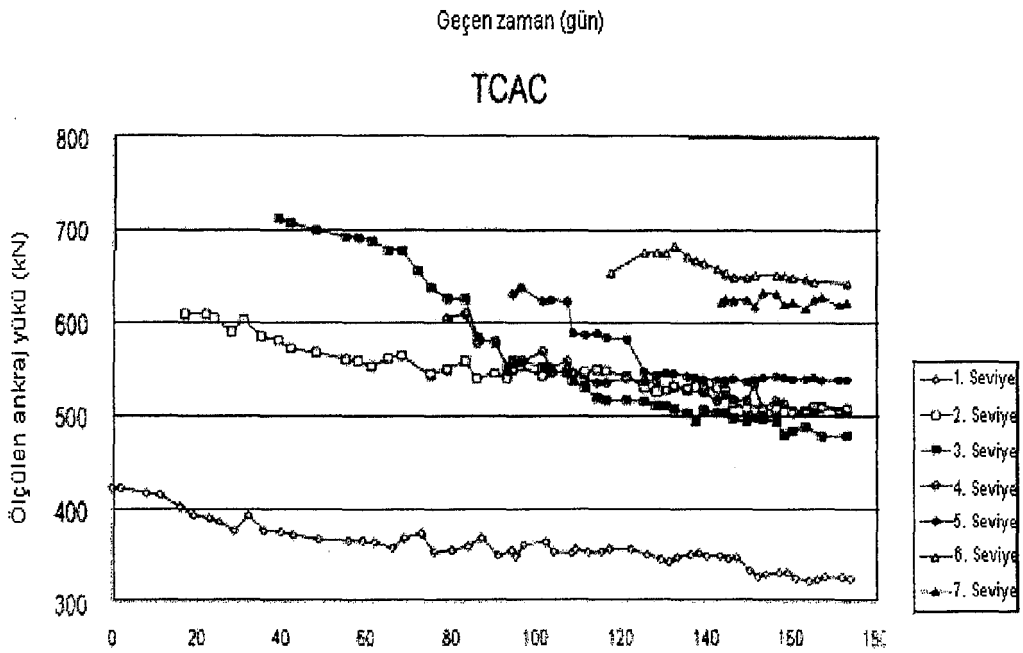


Şekil 5.26. PLAXIS ile elde edilen duvar deplasmanı



Şekil 5.27. Ağın deforme olmuş hali (50 kat büyütülmüş ölçek)

Ankrajlardaki kalıcı yükler de sayaçlar yardımıyla ölçülmüş ve Şekil 5.28'deki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.28. Ölçülen ankraj yükleri

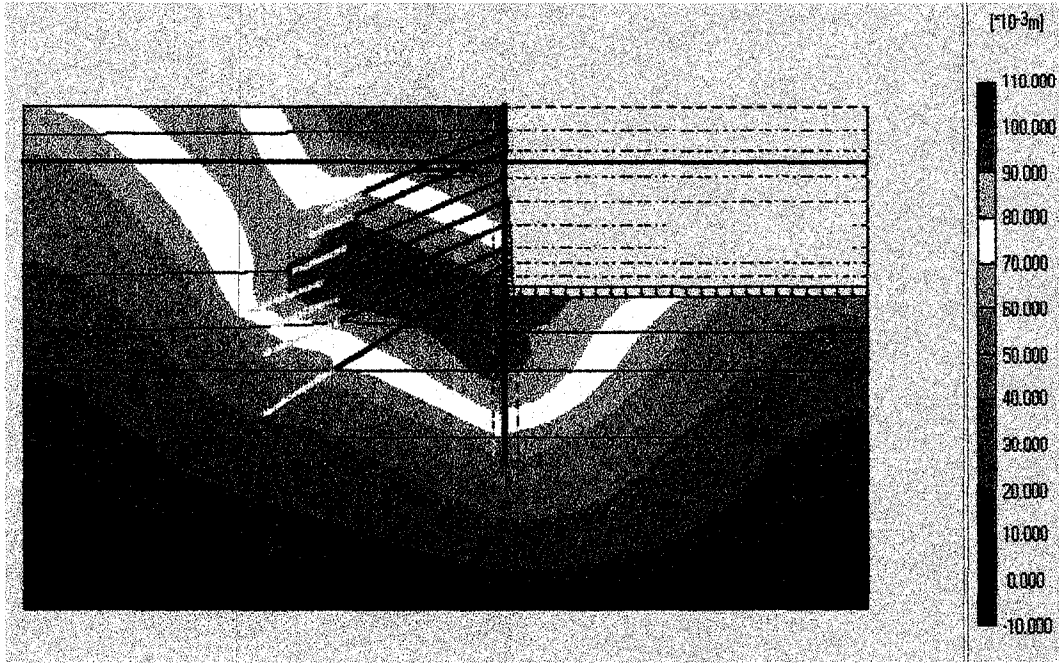
Şekil 5.28’de görülebilen ankrajlar için kalıcı yük değerleri ve PLAXIS analizinin verdiği ankraj yük değerleri karşılaştırılması Tablo 5.4’de verilmiştir.

Tablo 5.4. Ankraj yük değerlerinin kıyaslanması

Ankrajlar	Ölçülen kalıcı yük (kN)	Plaxis (kN)	Dizayn yükü (kN)
1. seviye	320	300	400
2. seviye	500	460	500
3. seviye	480	543	700
4. seviye	500	446	700
5. seviye	540	495	700
6. seviye	640	565	700
7. seviye	620	615	700

Yine değerlerin farklılık gösterdiği görülmekle birlikte modelleme kısıtları göz önüne alındığında birbirine yakın sayılabilecek değerler elde edildiği söylenebilir. Son olarak Şekil 5.29 ve 5.30’da sırasıyla zemindeki düşey ve yanal hareketlerin dağılımı verilmiştir. Şekil 5.31’de de zemine ait toplam yer değiştirmelerin dağılımı görülmektedir.





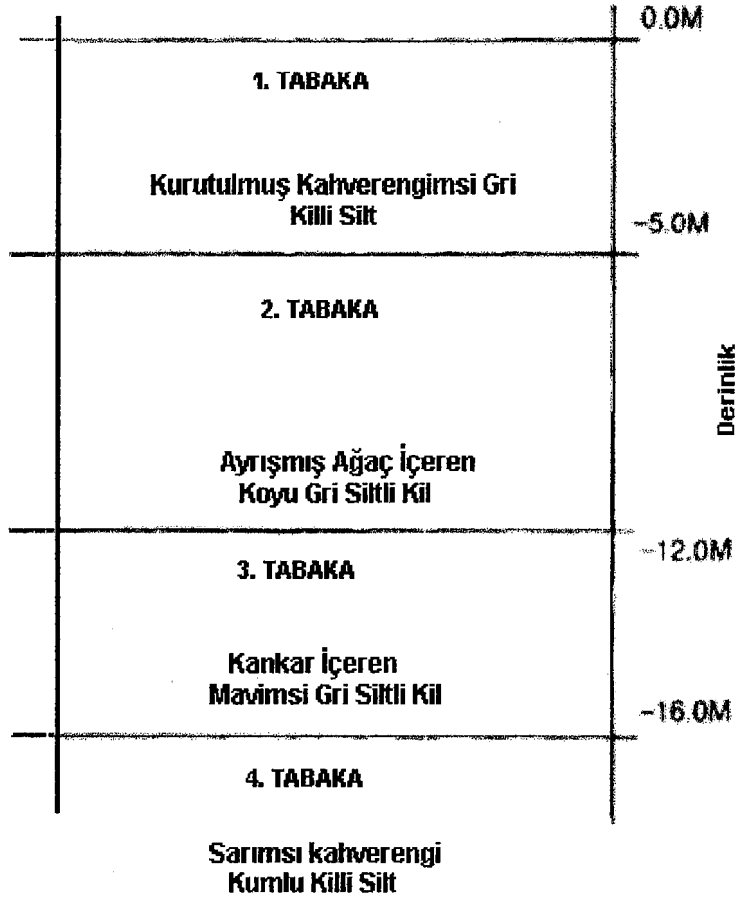
Şekil 5.31. Zemindeki toplam yer değiştirmeler

Sonuç olarak kazının stabilite açısından bir probleminin olmadığı bu analizle bir kez daha görülmüştür. Duvar için elde edilen hareket değerlerinin, yazarlar tarafından elde edilen gözlem değerleriyle uyumlu olduğu sonucu çıkarılabilir. Ankraj yükleri ise gözlenen değerlerin genelde altında kalmıştır.

### 5.2.2. Calcutta'daki Metro Hattı Kazısı

Hindistan'ın Calcutta şehrindeki Metro Hattının inşaatı, yumuşak kilde destekli kazı yapılmasını gerektirmiştir. Bu bölümde Bose ve Som tarafından gözetlenmesi gerçekleştirilen kazının PLAXIS ile analizi gerçekleştirilmiştir.

Kazının yapıldığı yerdeki zemin profili; en üstte, kurutmadan dolayı orta derecede aşırı konsolidasyon etkisine ve düşük su muhtevası ve düşük sıkışabilirliğe sahip bir kil tabakası; onun altında, normal konsolide olmuş, düşük kesme dayanımına ve yüksek sıkışabilirliğe sahip bir kil tabakası; daha altlarda ise katı ve çok katı siltli kil tabakası ve sıkı killi silt/siltli ince kum tabakasından oluşmaktadır. Zemin profilinin kesiti Şekil 5.32'de verilmiştir [39,40].



Şekil 5.32. Zemin profili

Kazı 13.5 m. derinliğe kadar gerçekleştirilmiştir. Kazının her iki tarafında da 600 mm. kalınlığında diyafraam duvar kullanılmıştır. Yumuşak kildeki bir destekli kazının stabilitesinin sağlanabilmesi için, dayanma yapısının, nihai kazı seviyesinin altında yeterli derinliğe indirilmesi gerekmektedir. Burada duvarın 17 m. derinliğe kadar indirilmesi uygun bulunmuştur. Duvara destek olarak 4 sıra yatay destek kullanılmıştır. Yatay desteklerin aralığı 3 m. olarak seçilmiştir. Kazı aşama aşama 5 aşamada gerçekleştirilmiştir:

1. 4 m.'ye kadar kazı yapılması ve sonra ilk desteğin 3.2 m. seviyesine yerleştirilmesi

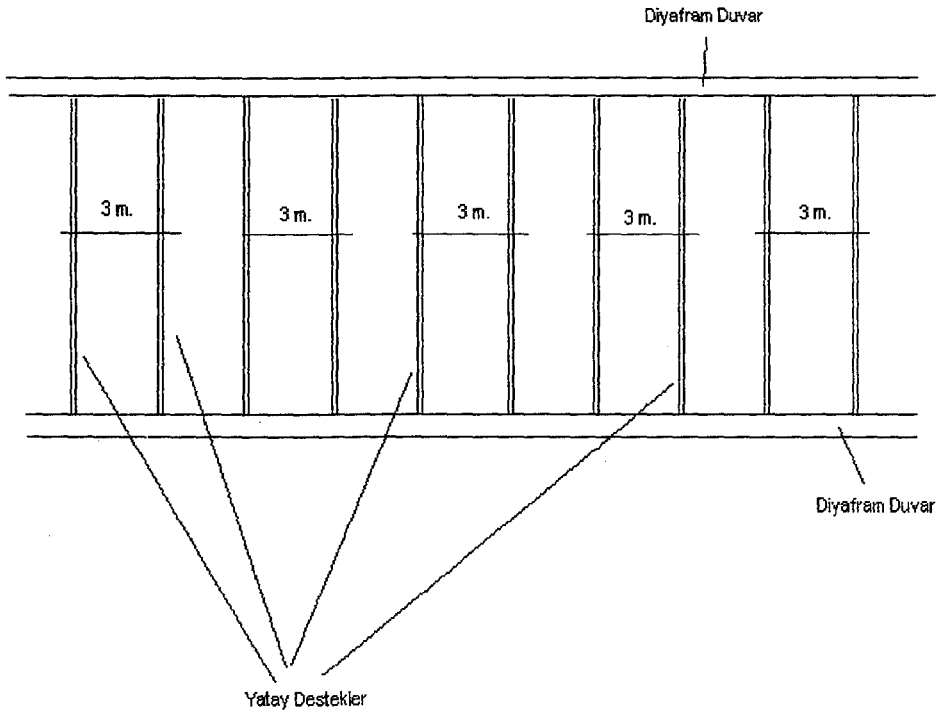
2. 7.5 m.'ye kadar kazı yapılması ve sonra ikinci desteğin 7.1 m. seviyesine yerleştirilmesi

3. 9.8 m.'ye kadar kazı yapılması ve sonra üçüncü desteğin 9.5 m. seviyesine yerleştirilmesi

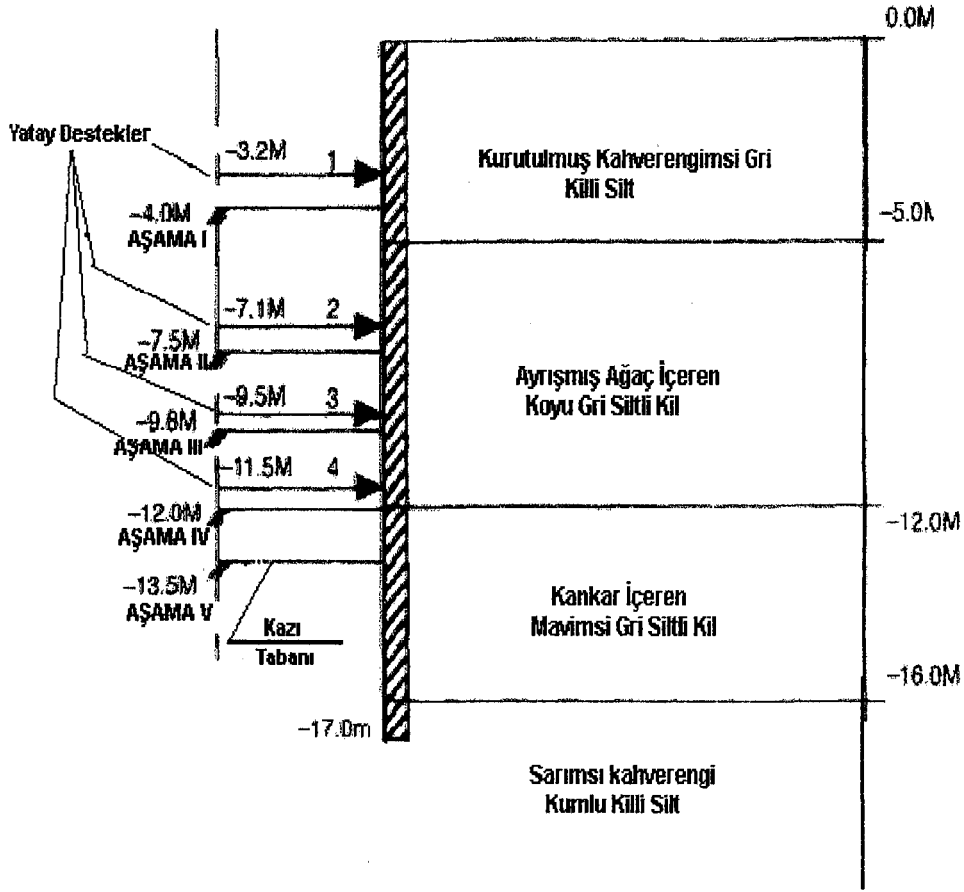
4. 12 m.'ye kadar kazı yapılması ve sonra dördüncü desteğin 11.5 m. seviyesine yerleştirilmesi

5. Son olarak da kazının nihai seviyesi olan 13.5 m.'ye kadar gerçekleştirilmesi.

Kazının plan görünüşü Şekil 5.33'de verilmiştir. Şekil 5.34 ise hem kazının 5 aşamasını, hem de destek sisteminin yerleşimini göstermektedir.



Şekil 5.33. Kazının plan görünüşü



Şekil 5.34. Kazı destek sistemi ve kazı aşamaları

Calcutta Metrosu için geniş çaplı bir zemin araştırması yapıldığı, konsolidasyon verilerinin, farklı derinliklerden alınan örselenmemiş zeminler üzerinde yapılan çok sayıdaki bir boyutlu konsolidasyon testlerinden elde edildiği, bu kazıyı gözetleyen bilim adamları tarafından vurgulanmıştır. Ayrıca, mukavemet parametrelerinin de drenajlı üç eksenli basınç deneylerinden elde edildiği belirtilmiştir. Bose ve Sam'ın testlerden elde ettiği, zeminlere ait parametrik veriler Tablo 5.5'de verilmiştir.

Sistemin modellenebilmesi için önce geometri çizilmiştir. Zemin tabakaları, duvarlar ve yatay destekler oluşturulmuştur. Zeminler yumuşak zemin modeli kullanılarak modellenmiştir.

Diyafram duvar  $E = 25.10^6 \text{ kN/m}^2$  ve  $\nu = 0,15$  özelliğe sahip kiriş elemanı kullanılarak modellenmiştir. Duvar zemin arasındaki etkileşim için yine ara yüzey elemanları kullanılmıştır.

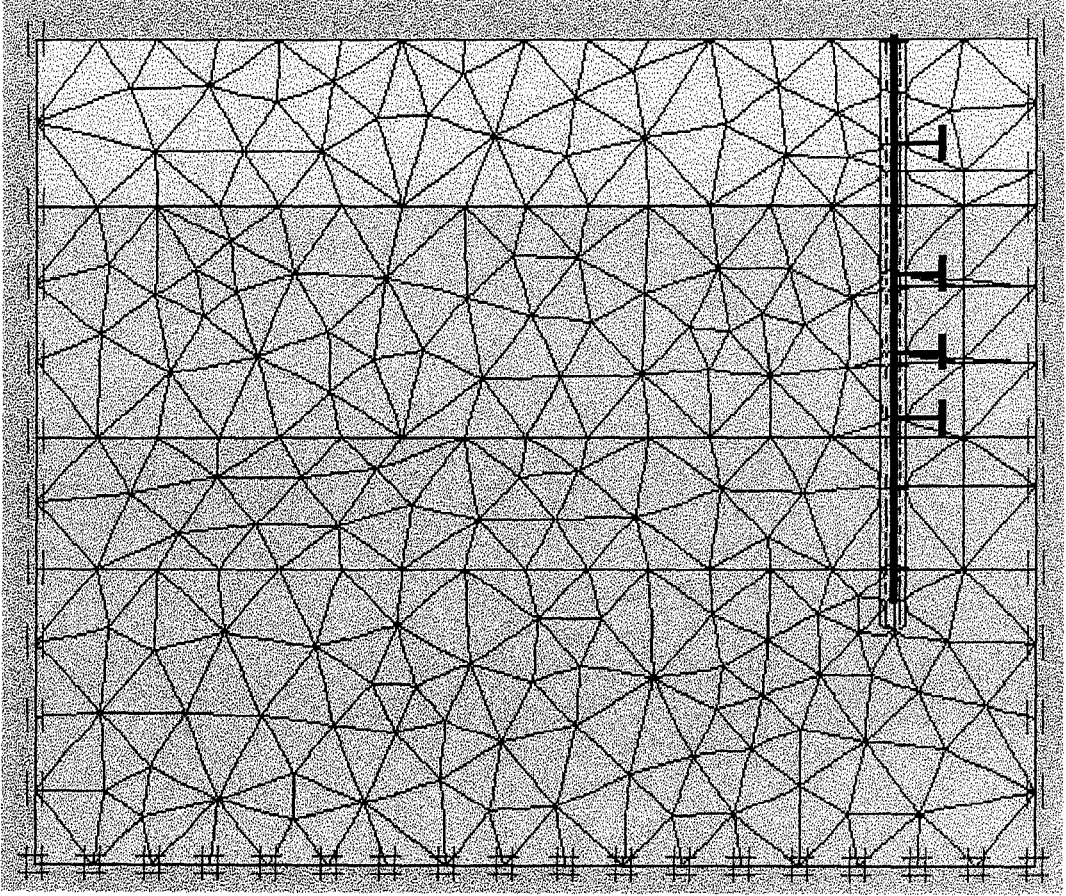
Yatay destek olarak ISMB 600 kesitleri ( $E=21.10^7 \text{ kN/m}^2$ ) 3 m. yatay aralıklarla kullanılmıştır. Her bir yatay destek 180 kN ön gerilmeye maruz bırakılmıştır. Yatay desteklerin simülasyonu gerçeğine uygun olarak yapılmıştır. Yani önce belirli bir derinliğe kadar kazı gerçekleştirilmiş sonra da yatay destek yerleştirilmiştir [39,40].

Tablo 5.5. Zemin parametreleri

Zemin Parametreleri	Tabaka I	Tabaka II	Tabaka III	Tabaka IV
Poisson oranı ( $\nu$ )	0,3	0,3	0,3	0,3
Konsolidasyon çizgisinin eğimi ( $\lambda$ ) <sup>*</sup>	0,064	0,143	0,08	0,06
Şişme çizgisinin eğimi ( $\chi$ ) <sup>*</sup>	0,021	0,028	0,026	0,020
Kayma direnci açısı ( $\phi^1$ )	$26^0$	$26^0$	$30^0$	$32^0$
Kesme modülü (G) ( $\text{kN/m}^2$ )	2700	1700	4150	5350
Islak birim hacim ağırlık ( $\gamma$ ) ( $\text{kN/m}^3$ )	18,5	18	19	19,5

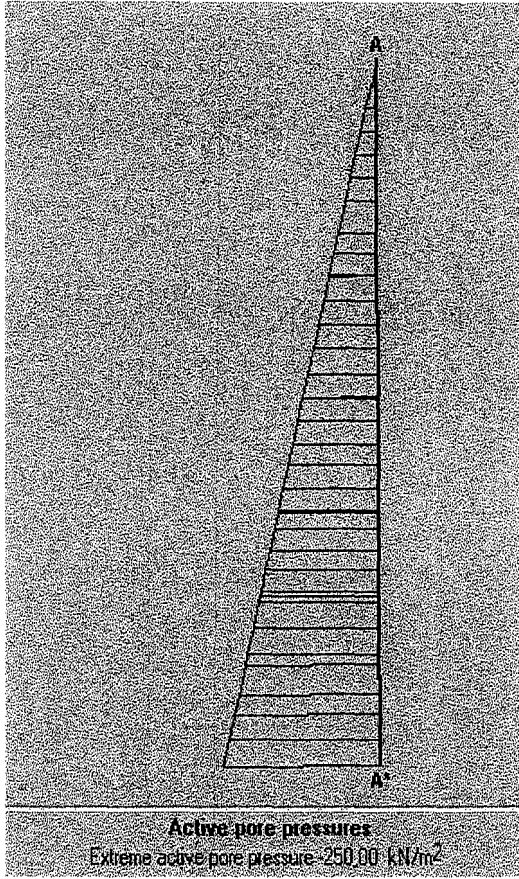
\* e – logp eğrisinden

Model simetrik olduğu için, modelin sadece bir yarısı göz önüne alınarak geometri oluşturulmuştur. Analiz için yaklaşık 200 elemanlı bir sonlu eleman ağı kullanılmıştır. Analiz için oluşturulan sonlu eleman ağı Şekil 5.35’de görüldüğü gibidir.

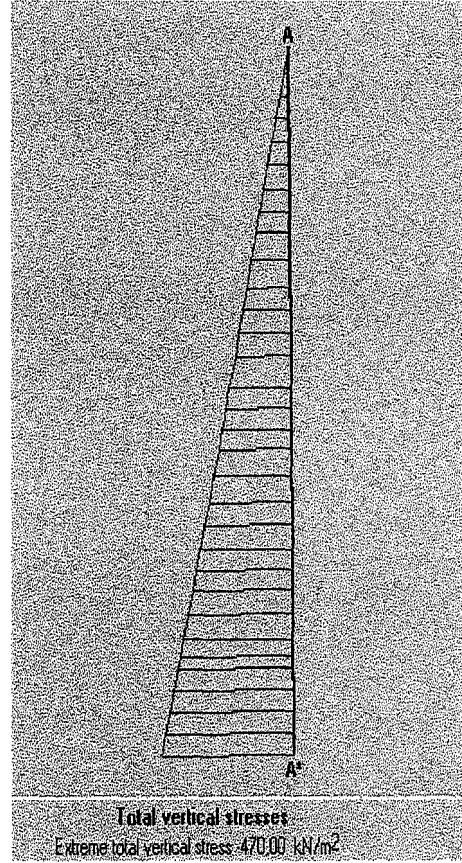


Şekil 5.35. Sonlu eleman ağı

Geometri için, standart sabitleme seçeneği kullanılarak, sağdaki ve soldaki sınırlar yatay olarak sabitlenmiş, alttaki sınır ise hem yatay hem düşey olarak sabitlenmiştir. Geometri tamamlanıp sonlu eleman ağı oluşturulduktan sonra sırasıyla başlangıç boşluk suyu basınçları ve toprak basınçları oluşturulmuştur. Boşluk suyu basınçları ve yanal toprak basınçları değişimleri Şekil 5.36 ve 5.37’de verilmiştir.



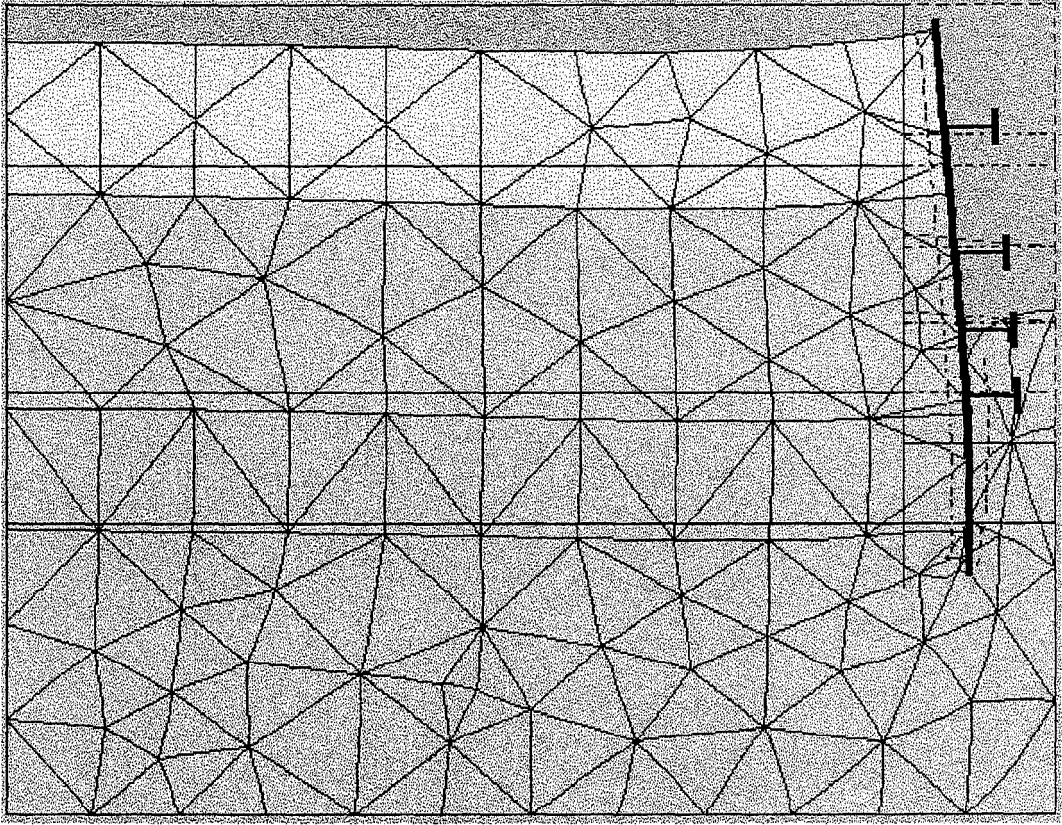
Şekil 5.36. Boşluk suyu basınçları



Şekil 5.37. Toprak basınçları

Hesaplamalar kısmı, inşaat sürecinin 5 aşaması göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Sırayla, önce belirli bir aşamaya kadar kazı yapılması sonar da yatay desteklerin birer birer yerleştirilmesi işlemleri analiz esnasında da aynen modellenmiştir. Analiz sonucunda ortaya çıkan ağın deforme olmuş hali, Şekil 5.38’de görülmektedir.

PLAXIS ile gerçekleştirilen analiz sonuçları Bose ve Som tarafından elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 5.39, Bose ve Som’un elde ettiği ve her inşaat aşamasındaki duvar hareketlerini gösteren grafiği ifade etmektedir



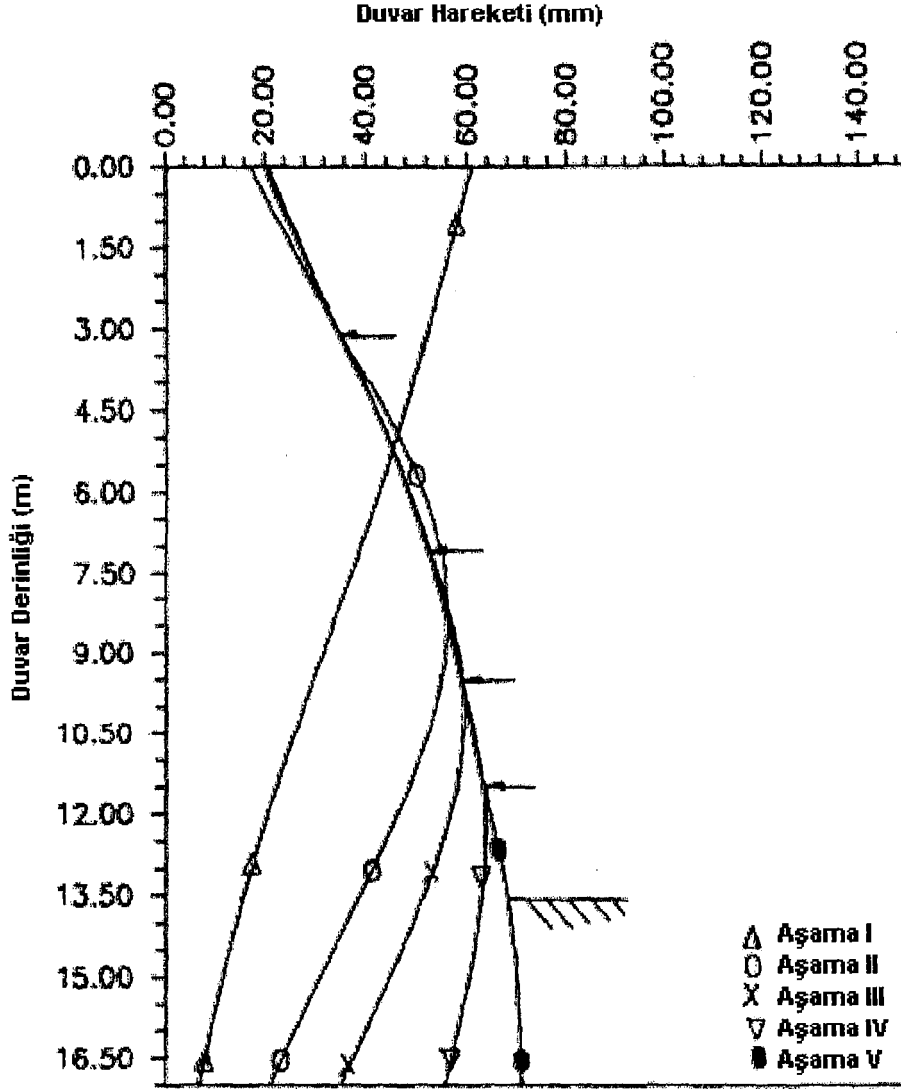
Şekil 5.38. Kazı tamamlandıktan sonraki deforme olmuş sonlu eleman ağı (50 kez büyütülmüş)

Şekil 5.40'da ise, bu analizden PLAXIS ile elde edilen duvar hareketleri sonuçları verilmiştir. Şekil 5.40'daki sonuçlar da aşama aşama verilmiştir. Sonuçlardan da görülebileceği gibi duvar hareketlerinin modelleri çok iyi bir uyum göstermektedir. Yalnızca Bose ve Som'u elde ettiği maksimum duvar deplasmanı, bu çalışmadan elde edilen maksimum duvar deplasmanına göre 10-15mm. civarında daha büyük çıkmıştır. Fakat bu da makul karşılanabilir bir değerdir.

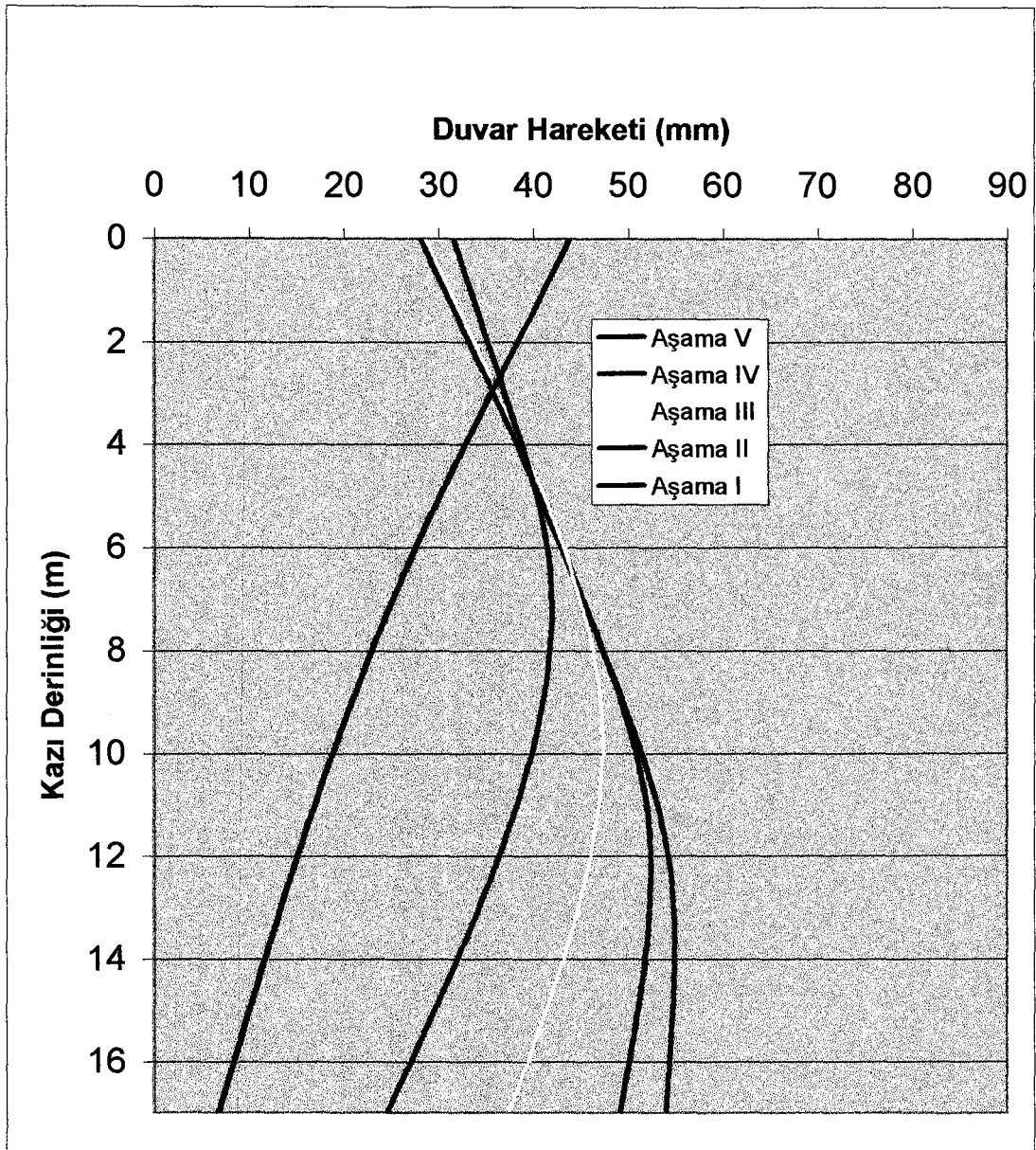
Şekil 5.41'de, Bose ve Som tarafından sunulan, zemin oturmalarının duvara olan mesafeye göre değişimini gösteren grafik görülmektedir. Şekil 5.42'de ise bu çalışmadan PLAXIS ile elde edilen ve yine zemin oturmalarının duvara olan mesafeye göre değişimini gösteren grafik sunulmuştur. Yine bu grafiklerden, oturma modellerinin uyumlu olduğu görülmüştür. Yalnızca, Bose ve

Sam tarafından elde edilen grafiklerde maksimum oturmanın 40mm. civarında, bu çalışmadan elde edilen grafiklerde ise 25m. civarında olduğu görülmektedir.

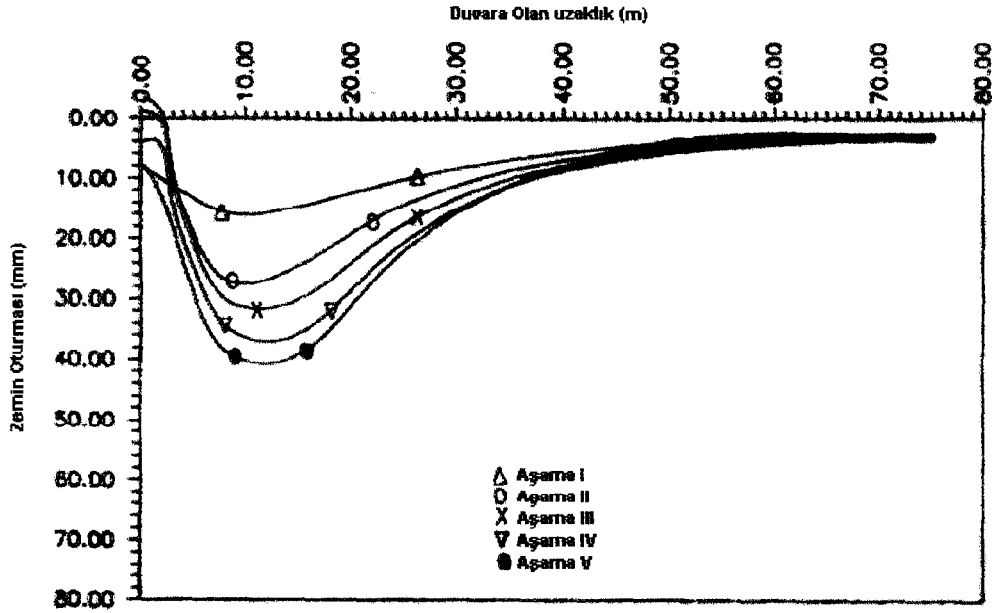
Son olarak ise, Şekil 5.43 ve 5.44'de, kazı sisteminde oluşan yanıl yer değiştirme ve dūřey yer değiştirmelerin dağılımını gōsteren şekiller verilmiştir.



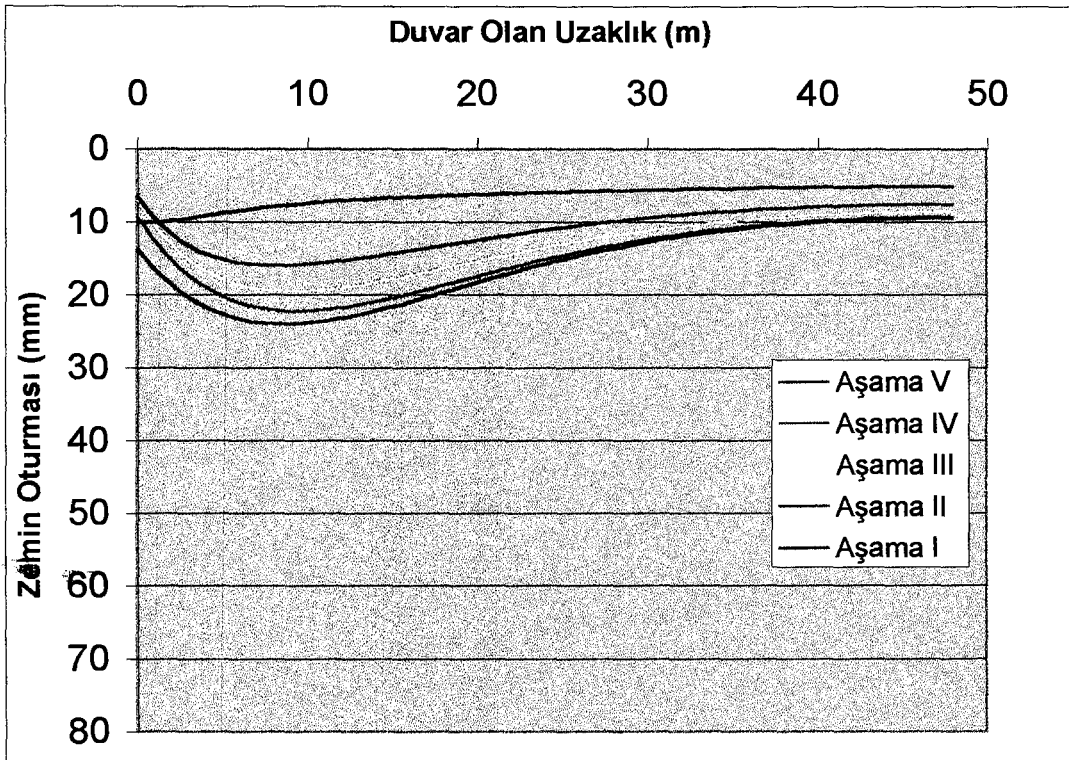
şekil 5.39. Bose ve Som tarafından sunulan, farklı inşaat aşamalarındaki duvar hareketleri



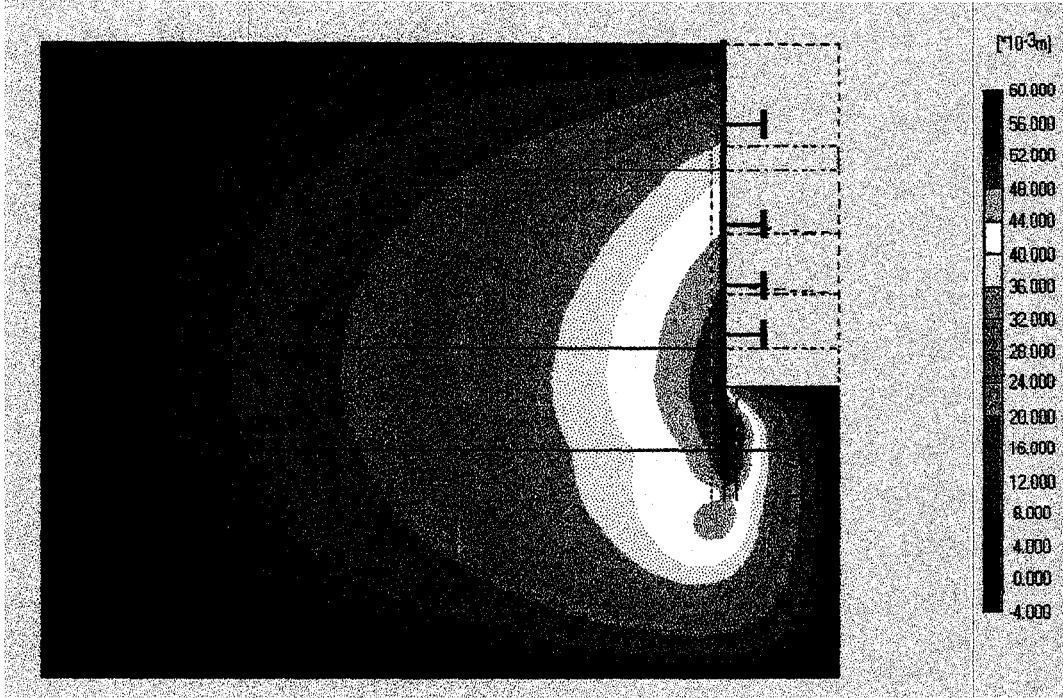
Şekil 5.40. Bu analiz esnasında PLAXIS ile elde edilen, farklı inşaat aşamalarındaki duvar hareketleri



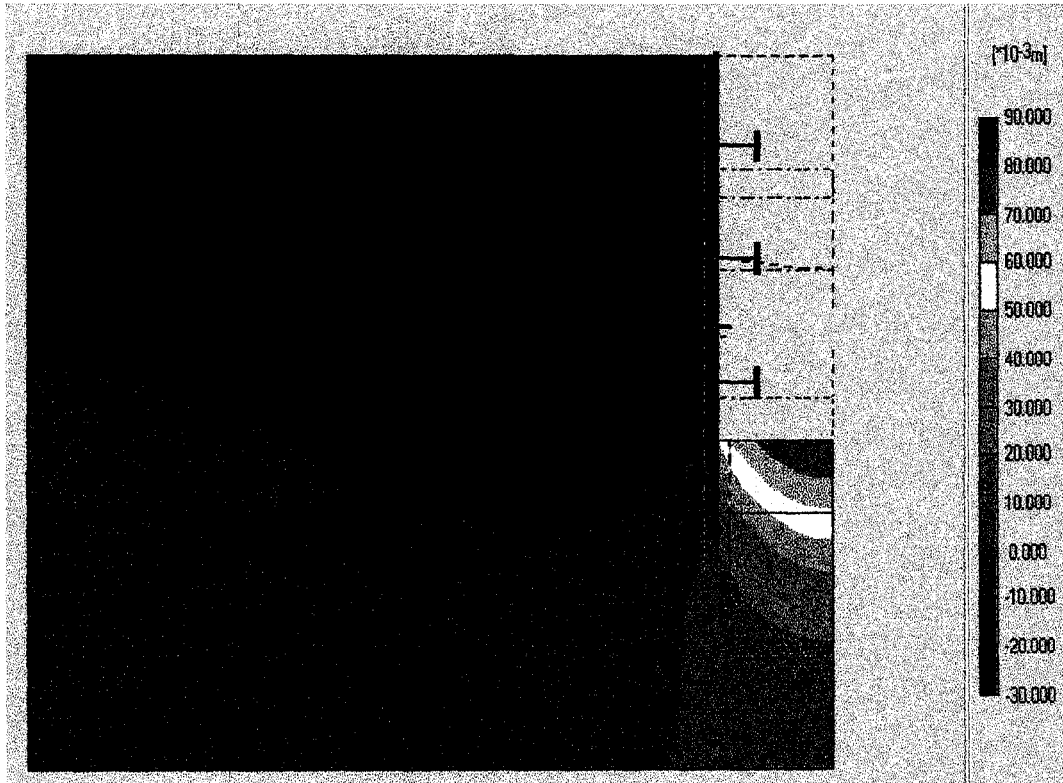
Şekil 5.41. Farklı inşaat aşamalarında zemin oturmasının duvara olan mesafeye göre değişimi (Bose ve Som)



Şekil 5.42. Farklı inşaat aşamalarında zemin oturmasının duvara olan mesafeye göre değişimi (Plaxis ile elde edilen)



Şekil 5.43. Kazıdaki yanıl yer değiştirmelerin dağılımı



Şekil 5.44. Kazıdaki dūřey yer değiştirmelerin dağılımı

### 5.3. İsviçre’de Gerçekleştirilen Bir Derin Kazı Üzerine Yapılan Parametrik Çalışmalar

#### 5.3.1. Giriş

Bu bölümde İsviçre’deki bir metro kazısı ele alınmıştır. Bu kazıya ait duvar özellikleri, ankraj özellikleri vb. parametreler üzerinde oynanarak kazı performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kazının genişliği 30 m. ve derinliği de 10 m’dir. Kazının gerçekleştirildiği sahanın zemin profili Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.6. Zemin profili

	Zemin Tanımı	Derinlik (m.)	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\nu$	E (kN/m <sup>2</sup> )	c (kN/m <sup>2</sup> )	$\Phi$	$\phi$
1.	yumuşak kil	0 - 4	16	18	0,35	1500	2	24	0
2.	killi, organik silt	10 - 18	17	19	0,2	5000	10	27	0
3.	ince daneli kum ve organik silt	4 - 10	18	19,5	0,2	20000	1	33	0
4.	ince daneli-orta iri kum	18 - 35	18	19	0,2	60000	1	33	4

Kazının desteklenmesi için 4 farklı sistem düşünülmüş ve bunlar üzerinde sonlu eleman analizleri gerçekleştirilerek çeşitli parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu sistemler ankastre diyafram duvar, ankastre teğet kazıklı duvar, ankrajlı diyafram duvar ve ankrajlı teğetsel kazıklı duvardır. Analizler esnasında yukarıda açıklanan zemin profili ve tabakalaşma, kazı genişliği ve

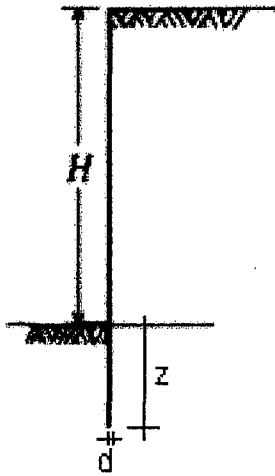
diyafram duvar ve kazıklar için  $E = 28.10^6 \text{ kN/m}^3$  değeri sabit tutulmuştur. Sonlu eleman analizleri PLAXIS programıyla gerçekleştirilmiştir. Bütün koşullar için aynı ölçülerde geometrik model ve standart sabitleme seçeneği kullanılmıştır (sağ ve sol sınırlar yatay sabitleme, alt sınır hem yatay hem düşey sabitleme).

Analizler esnasında özellikle de grafiklerde harfsel kısaltması kullanılacak olan bazı parametrelerin açıklamaları da aşağıda verilmiştir.

$H$  = Kazı derinliği (sabit 10m.)

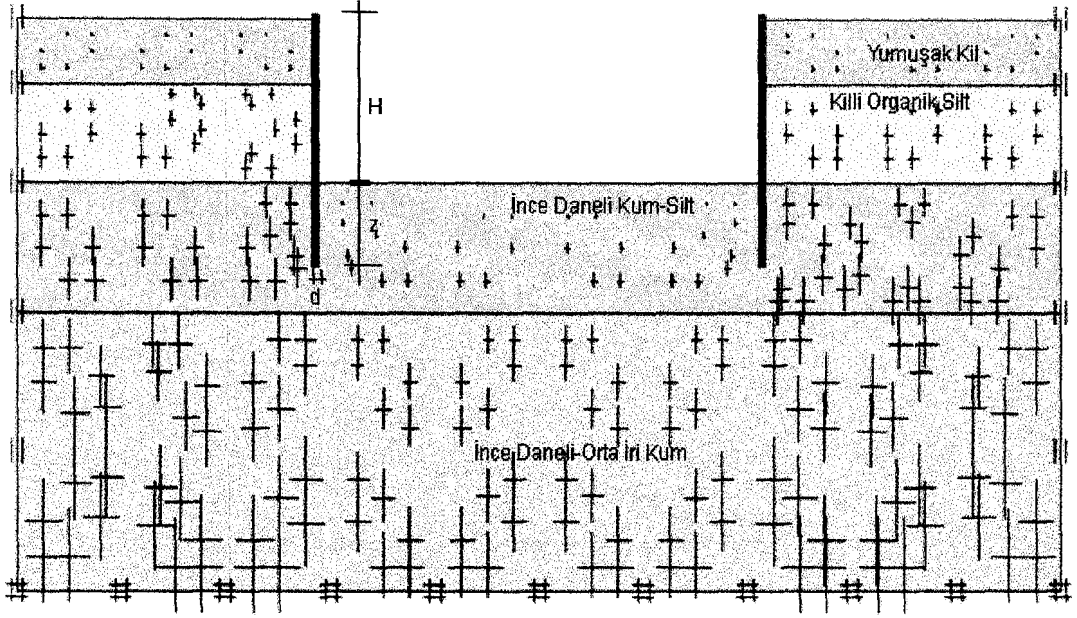
$z$  = Diyafram veya teğetsel kazıklı duvarın kazı tabanı altında kalan kısmının uzunluğu

$d$  = Diyafram duvarın kalınlığı ya da teğetsel kazıklı duvarlarda kazık çapı

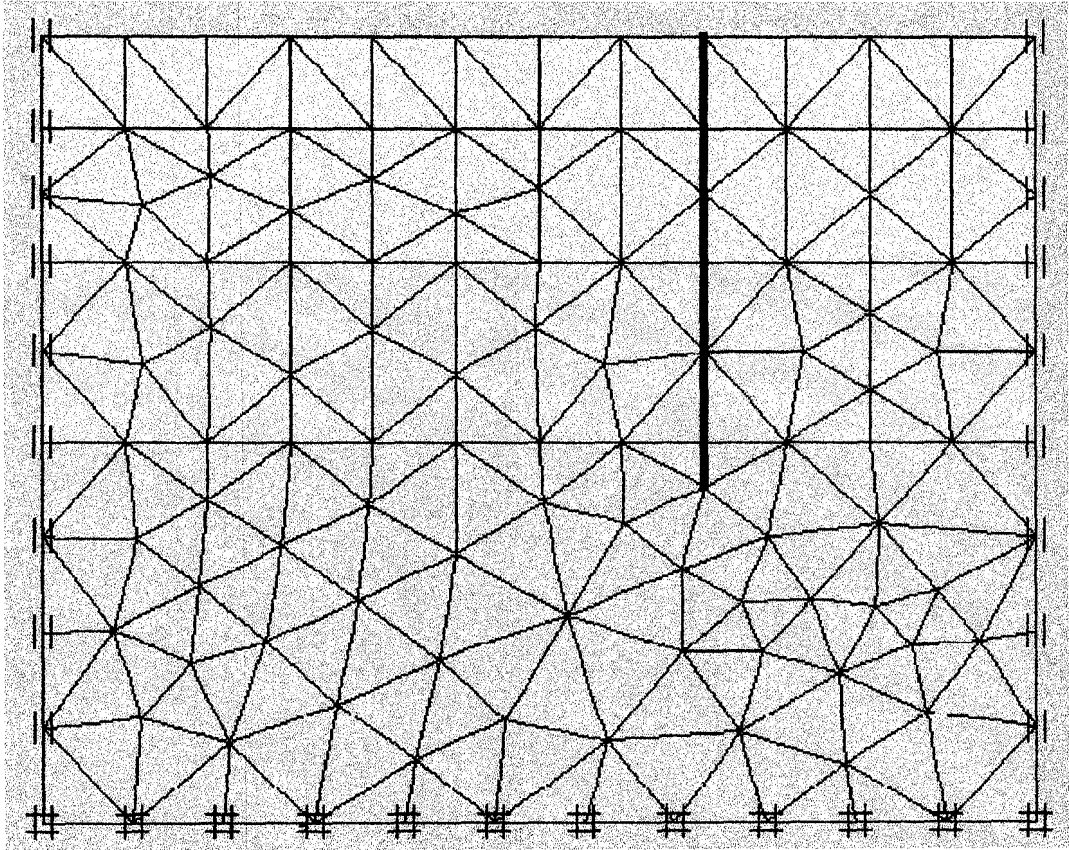


### 5.3.2. Ankastre Diyafram Duvarda Gerçekleştirilen Analizler

Analizler için oluşturulan model Şekil 5.45'de verilmiştir. Model için kullanılan sonlu eleman ağı da Şekil 5.46'da görüldüğü gibidir. Kazı simetrik olduğundan sadece bir yarısı analiz için kullanılmıştır.



Şekil 5.45. Kazının sonlu eleman analizi için oluşturulan modeli



Şekil 5.46. Analizlerde kullanılan sonlu eleman ağı

Ankastre diyafram duvar için çeşitli kalınlıklarda ve farklı “z” derinlikleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Daha önce de söylendiği gibi kazı genişliği, zemin şartları ve sınır şartları sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.7’de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.47. ve 5.48’de duvar kalınlığının (d) ve duvar boyunun (z) değişiminin duvar performansını nasıl etkilediğini gösteren grafikler verilmiştir.

Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki:

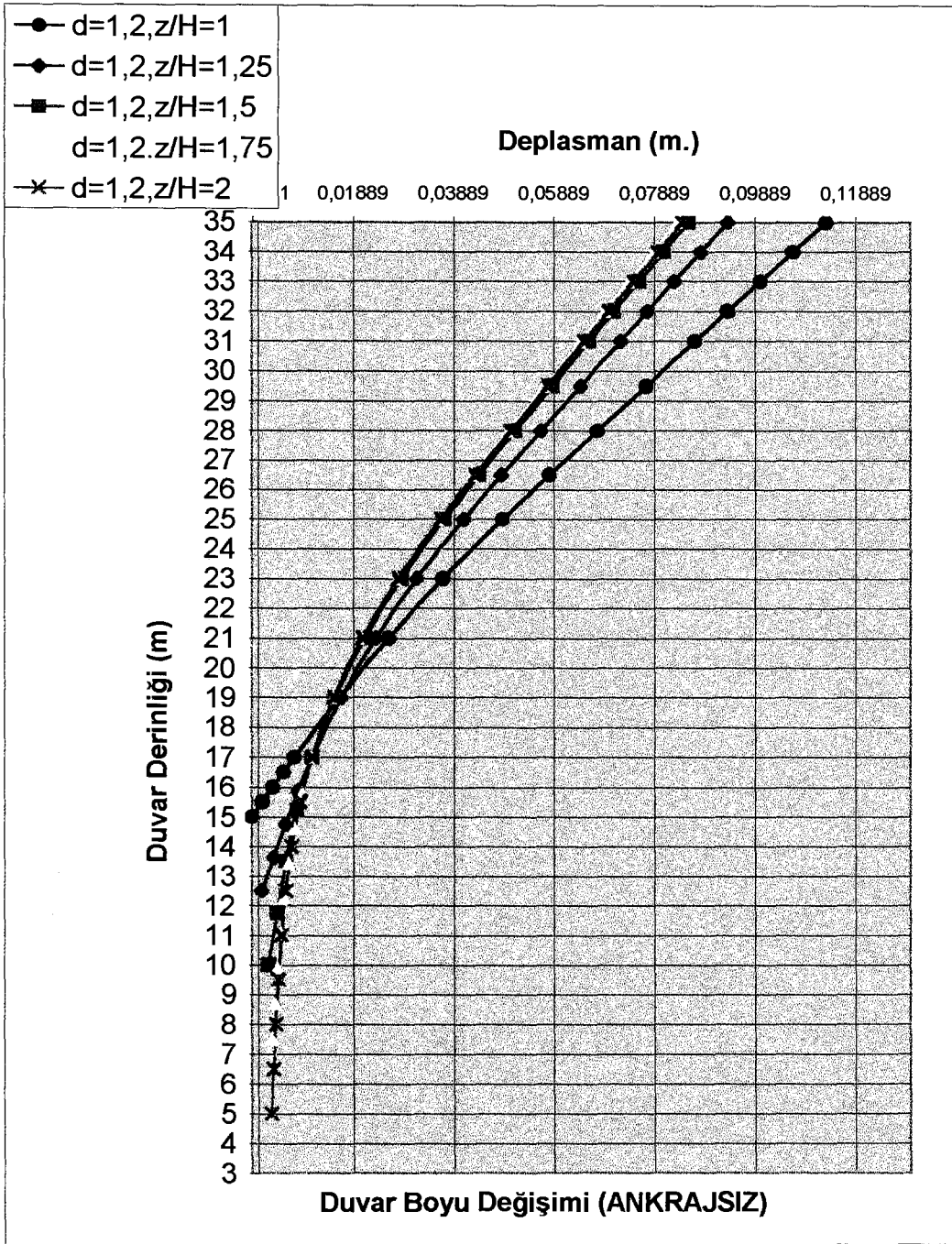
Duvarın kalınlığını (d) artırmak, sistemin rijitliğini artırdığından genel olarak maksimum duvar deplasmanlarını azaltıcı yönde bir etki yapmıştır. Kalınlığı artırmanın, duvar üzerine gelen eğilme momentleri üzerindeyse artırıcı bir etkisi olmuştur.

Duvarın boyunu (z) uzatmanın ise ilk etapta maksimum deplasmanları azalttığı fakat daha fazla artırmanın ise pek bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi de kazığın ucunun kum tabakasında olması dolayısıyla, zaten zemine rijitlenmiş bir durumda bulunmasıdır. Yani duvarın sağlam tabakaya penetre etmesi tabi ki deplasmanları azaltacak, fakat belirli bir penetre derinliğinden sonra fazla bir etkisi olmayacaktır

Tablo 5.7. Ankastre Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H$	duvar kalınlığı (m.)	Maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)
ANKRAJSIZ	$z/H=1$	$d=0,65$	18,4	897,9
		$d=0,8$	14,4	967,9
		$d=1$	12,2	1040
		$d=1,2$	11,3	1100
	$z/H=1,25$	$d=0,65$	17,6	903,6
		$d=0,8$	13,3	1000
		$d=1$	10,7	1200
		$d=1,2$	9,4	1340
	$z/H=1,5$	$d=0,65$	17,8	903,6
		$d=0,8$	13,3	1020
		$d=1$	10,2	1240
		$d=1,2$	8,6	1440
	$z/H=1,75$	$d=0,65$	17,9	908,8
		$d=0,8$	13,4	1025
		$d=1$	10,3	1260
		$d=1,2$	8,4	1449
	$z/H=2$	$d=0,65$	17,7	908,1
		$d=0,8$	13,4	1025
		$d=1$	10,3	1260
		$d=1,2$	8,3	1454





Şekil 5.48. Ankastre diyafram duvarın boyunu uzatmanın kazı performansına etkisi

### 5.3.3. Ankastre Teğetsel Kazıklı Duvarda Gerçekleştirilen Analizler

Ankastre teğetsel kazıklı duvar için de diyafram duvar için kullanılan model geometrisi ve sonlu eleman ağı kullanılmıştır. Kazı simetrik olduğundan yine sadece bir yarısı analiz için kullanılmıştır.

Ankastre teğetsel kazıklı duvar için de çeşitli çaplarda ve farklı “z” derinlikleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Daha önce de söylendiği gibi kazı genişliği, zemin şartları ve sınır şartları sabit tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.8’de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.49. ve 5.50’de kazık çaplarının (d) ve duvar boyunun (z) değişiminin duvar performansını nasıl etkilediğini gösteren grafikler verilmiştir.

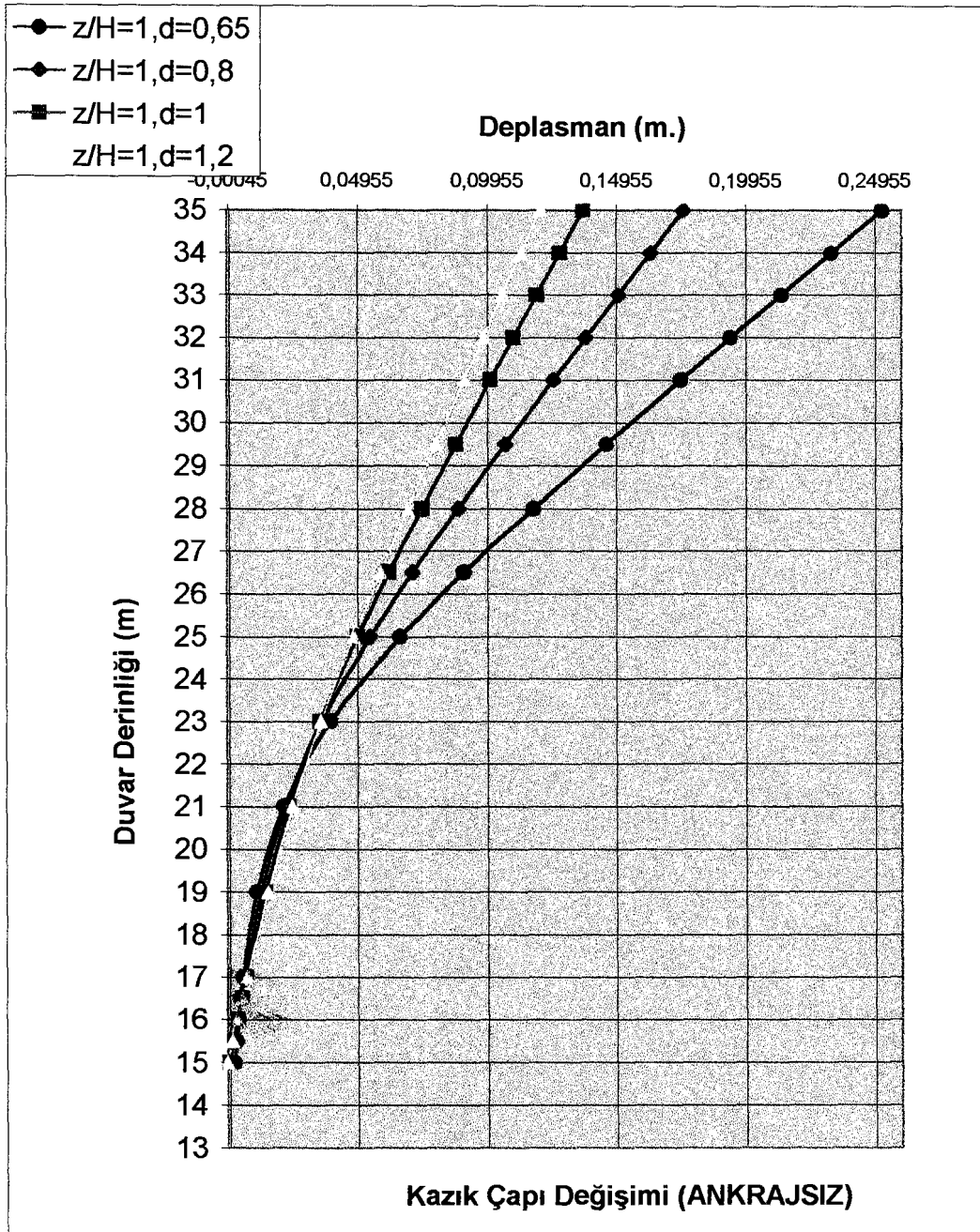
Elde edilen sonuçlara göre şunlar söylenebilir:

Kazıkların çapını (d) artırmak, sistemin rijitliğini artırdığından genel olarak maksimum duvar deplasmanlarını azaltıcı yönde bir etki yapmıştır. Çapı artırmanın, duvar üzerine gelen eğilme momentleri üzerindeyse artırıcı bir etkisi olmuştur.

Duvarın boyunu (z) uzatmanın ise ilk etapta maksimum deplasmanları azalttığı fakat daha fazla artırmanın ise pek bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi de kazığın ucunun kum tabakasında olması dolayısıyla, zaten zemine rijitlenmiş bir durumda bulunmasıdır. Burada diyafram duvarlar için çıkarılan sonuçlar tekrarlanabilir. Yani duvarın sağlam tabakaya penetre etmesi tabi ki deplasmanları azaltacak, fakat belirli bir penetre derinliğinden sonra fazla bir etkisi olmayacaktır

Tablo 5.8. Teğetsel Kazıklı Duvara Ait Performans Verileri

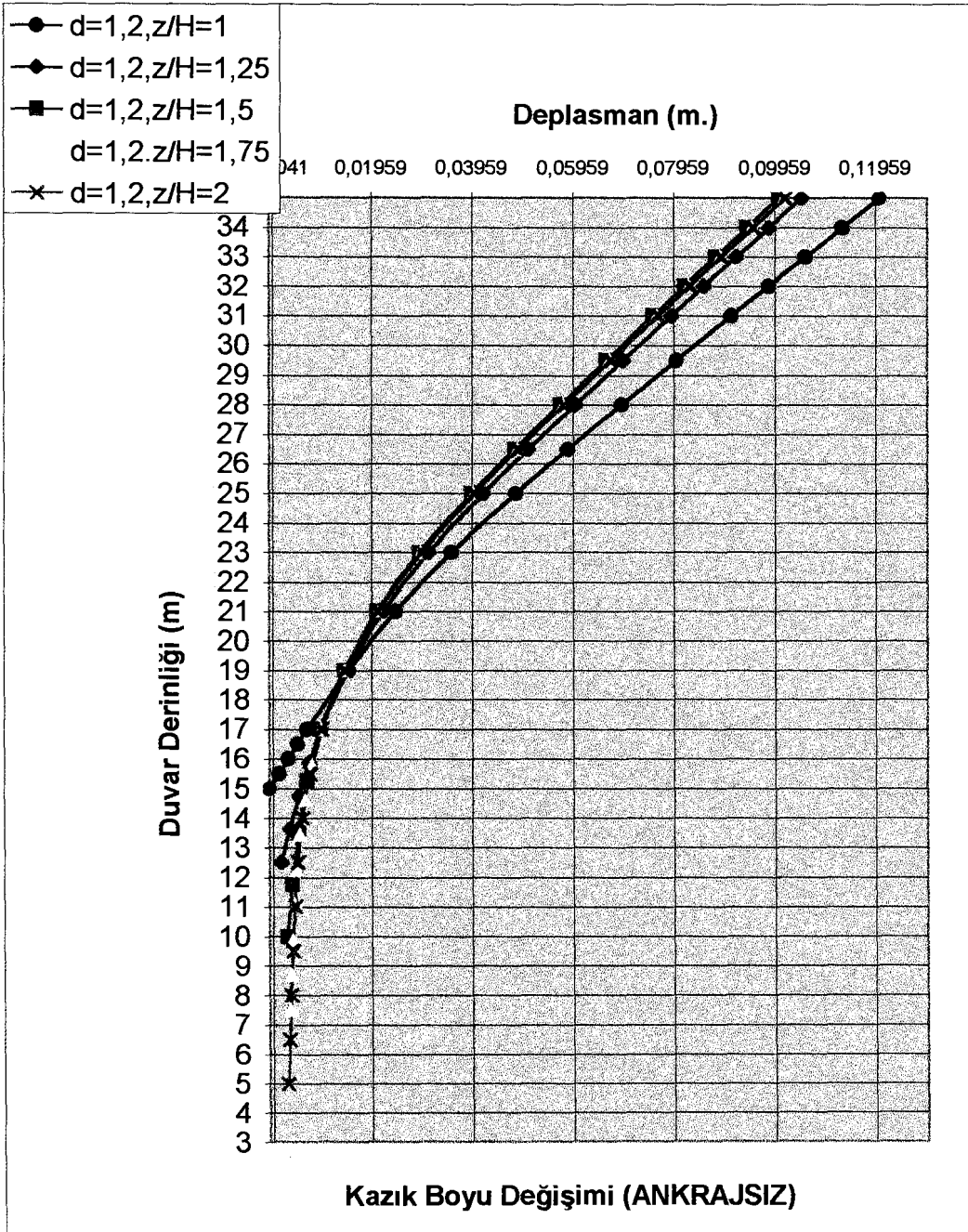
DURUM	$z/H$	duvar kalınlığı (m.)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)
ANKRAJSIZ	$z/H=1$	$d=0,65$	25,2	887,7
		$d=0,8$	17,6	905
		$d=1$	13,7	980,2
		$d=1,2$	12,1	1040
	$z/H=1,25$	$d=0,65$	24,6	888,3
		$d=0,8$	16,8	916,2
		$d=1$	12,5	1039
		$d=1,2$	10,5	1198
	$z/H=1,5$	$d=0,65$	25,1	887,8
		$d=0,8$	16,9	913,1
		$d=1$	12,5	1064
		$d=1,2$	10,1	1232
	$z/H=1,75$	$d=0,65$	24,9	887,3
		$d=0,8$	17	918,7
		$d=1$	12,6	1070
		$d=1,2$	10,2	1263
	$z/H=2$	$d=0,65$	25,1	885
		$d=0,8$	17,2	920,1
		$d=1$	12,6	1070
		$d=1,2$	10,2	1263



Şekil 5.49. Teğetsel kazıklı duvarda kazık çapını artırmanın kazı performansına etkisi

Bu arada diyafram duvar ve teğetsel kazıklı duvarlar aynı “d” ve “z/H” değerleri için birlikte incelendiğinde diyafram duvarın çok daha az maksimum deplasman değerlerine sahip olduğunu görebiliriz. Bunun sebebi olarak da, aynı

“d” ve “z/H” değerlerine sahip diyafram duvarın kazıklı duvara göre daha fazla kesit alanına sahip olması, yani daha fazla rijitliğe sahip olması söylenebilir.



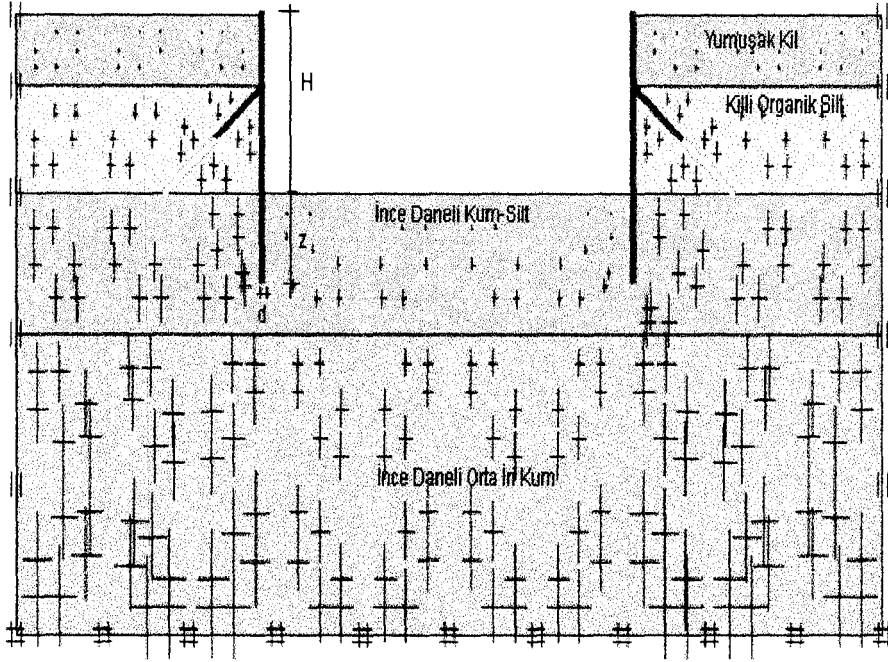
Şekil 5.50. Teğetsel kazıklı duvarda kazık boyunu artırmanın kazı performansına etkisi

Hem diyafram duvarlarda hem de teğetsel kazıklı duvarlarda, bazı seçeneklerin kabul edilemez derece büyük değerlerde deplasmanlar verdiği görülmüştür. Özellikle yakınında yapılar bulunan kazılar için bu derecedeki hareketler kabul edilemez büyüklüktedir. Bu durumda kazının ilave desteklerle (yatay destekler, ankrajlar gibi) desteklenmesi gerekmektedir.

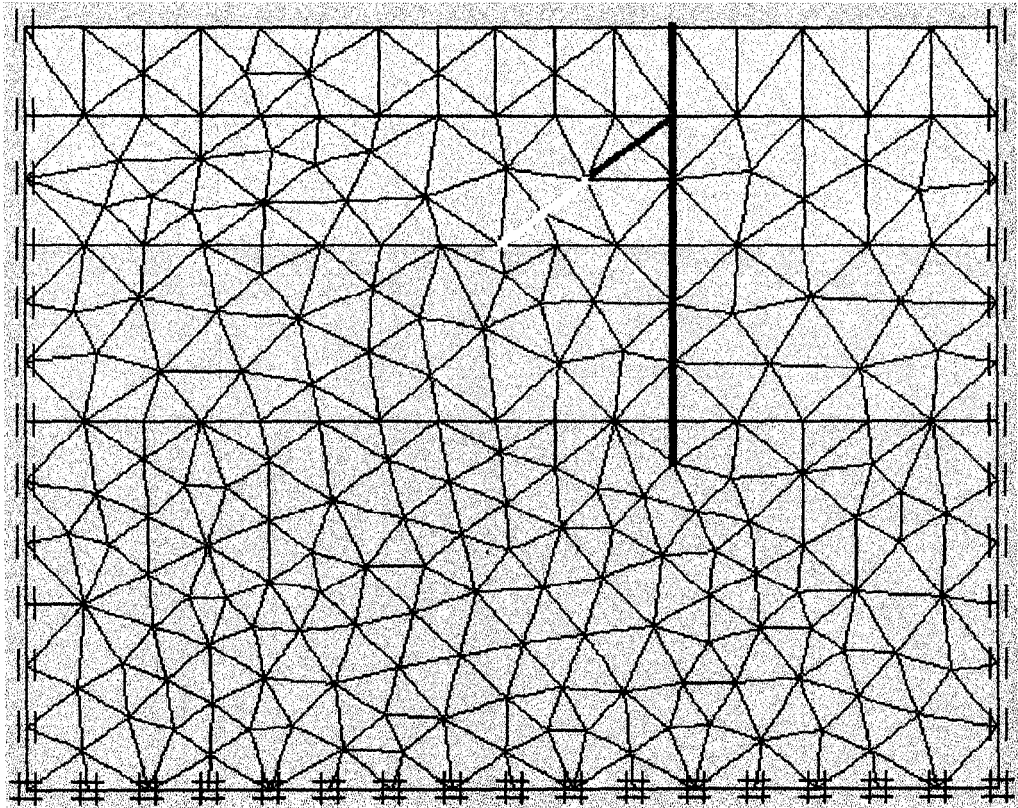
#### **5.3.4. Ankrajlı Diyafram Duvarda Gerçekleştirilen Analizler**

Bu bölümde diyafram duvarların desteklenmesi amacıyla tek sıra ankraj kullanılmıştır. Ankrajlar 5 m. serbest 5 m. kök olmak üzere toplam 10 m. boyundadır ve yatayla  $37^{\circ}$  açı yapmaktadır. İki ankrajın yataydaki merkezden merkeze mesafesi yani ankraj aralığı (s) 2.5 m. dir. Ankraj ön gerilme değeri 200 kN olarak uygulanmıştır. Ankrajların rijitliğiyle ilgili olan analizler hariç, ankraj özellikleri bütün analizlerde zemin profili ve kazı genişliğiyle birlikte sabit tutulmuştur.

Analizler için oluşturulan model Şekil 5.51'de verilmiştir. Model için Şekil 5.52'deki sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Analiz esnasında, kazı simetrik olduğundan sadece bir yarısı kullanılmıştır.



Şekil 5.51. Analizlerde kullanılan model geometrisi



Şekil 5.52. Sonlu eleman ağı

Öncelikle, ankrajlı diyafram duvar için çeşitli kalınlıklarda ve farklı “z” derinlikleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.9’da sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.53. ve 5.54’de duvar kalınlığının (d) ve duvar boyunun (z) duvar performansını üzerinde nasıl bir etkisini olduğunu gösteren grafikler verilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre:

Duvarın kalınlığını (d) artırmanın, ankrajlı sistemlerde duvar hareketlerine pek etkisinin olmadığı, hatta  $z/H = 0.5$  ,  $z/H = 0.75$  ve  $z/H = 1$  gibi duvar boyunun düşük olduğu koşullarda hareketleri artırıcı bir rol de oynadığı söylenebilir.

Duvarın boyunu (z) uzatmanın ise yine önceki analizlerde olduğu gibi, ilk etapta maksimum deplasmanları azalttığı fakat daha fazla artırmanın ise pek bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi de kazığın ucunun kum tabakasında olması dolayısıyla, zaten zemine rijitlenmiş bir durumda bulunmasıdır. Yani duvarın sağlam tabakaya penetre etmesi tabi ki deplasmanları azaltacak, fakat belirli bir penetre derinliğinden sonra fazla bir etkisi olmayacaktır

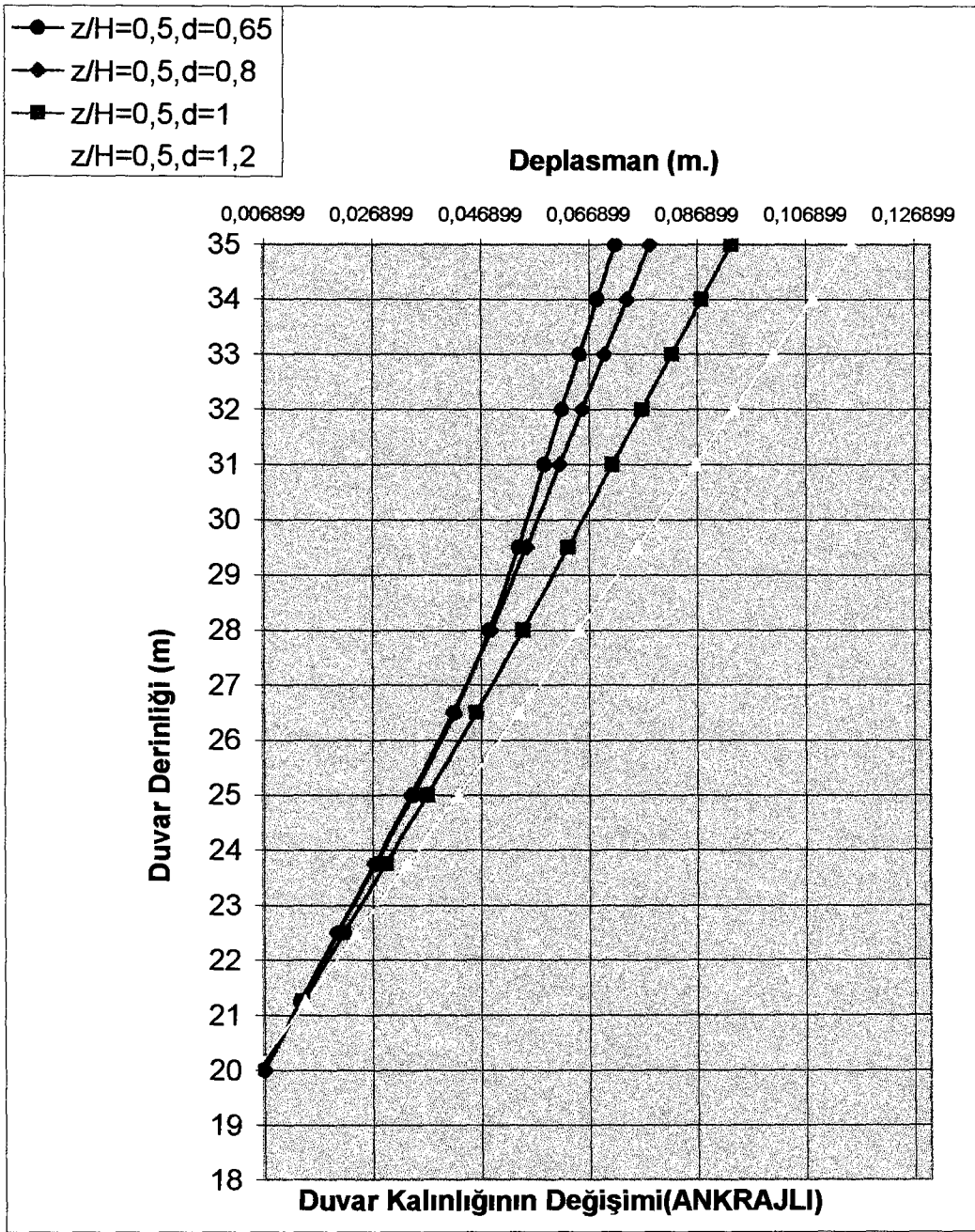
Tablo 5.9. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H$	duvar kalınlığı (m.)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=2$	$d=0,65$	4,6	303,2	325
		$d=0,8$	4,8	402,3	321
		$d=1$	4,7	593,4	313
		$d=1,2$	4,5	789	305
	$z/H=1,75$	$d=0,65$	4,6	303,4	325
		$d=0,8$	4,7	398,2	321
		$d=1$	4,6	585,4	314
		$d=1,2$	4,4	771,5	306
	$z/H=1,5$	$d=0,65$	4,5	304,5	325
		$d=0,8$	4,6	392,7	322
		$d=1$	4,6	559,3	315
		$d=1,2$	4,5	704,5	307
	$z/H=1,25$	$d=0,65$	4,5	304,4	325
		$d=0,8$	4,7	340	321
		$d=1$	4,9	436,9	315,1
		$d=1,2$	5	506,3	309
	$z/H=1$	$d=0,65$	4,7	305,4	323
		$d=0,8$	5	305,4	321
		$d=1$	5,4	304,5	318
		$d=1,2$	5,6	299,2	316
$z/H=0,75$	$d=0,65$	5,2	304,7	320	
	$d=0,8$	5,9	322,2	320	
	$d=1$	6,6	336	321	
	$d=1,2$	6,8	319	317	

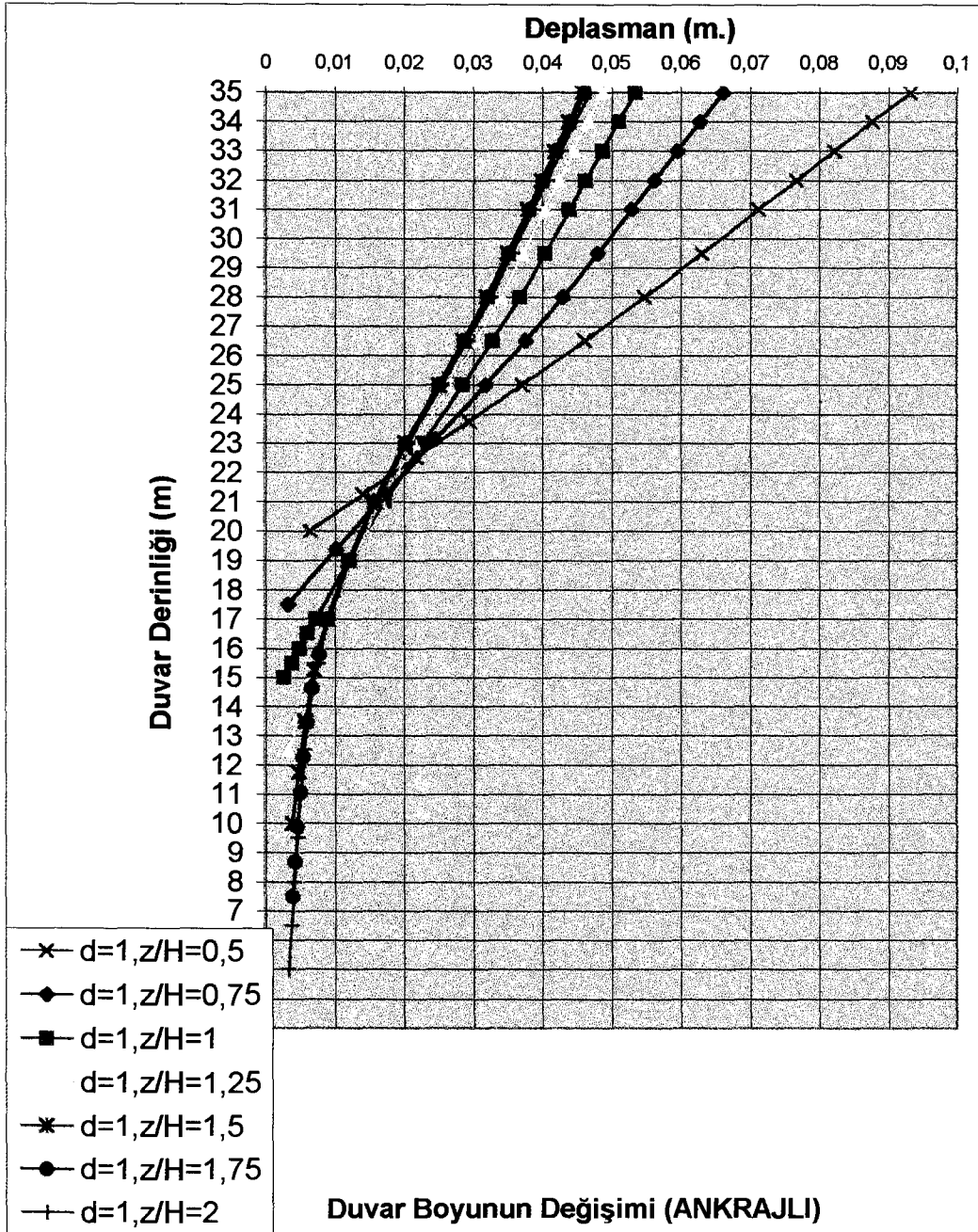
Tablo 5.9. Devamı

DURUM	z/H	duvar kalınlığı (m.)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	z/H=0,5	d=0,65	7,2	354,1	322
		d=0,8	7,8	364,4	323
		d=1	9,3	369,9	320
		d=1,2	11,5	334,2	306

Duvar kalınlığını artırmanın, arada bazı çelişkili sonuçlar çıksa da, ankraj yüklerini az da olsa azalttığı görülmüştür. Duvar boyunu uzatmanın da, yine çelişkili sonuçlar olmakla birlikte ankraj yüklerini çok az azaltıcı etkisinin olduğu ya da hemen hemen hiç etkisinin olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.53. Ankrajlı diyafram duvarda duvar kalınlığını artırmanın kazı performansına etkisi



Şekil 5.54. Ankrajlı diyafram duvarda duvar boyunu artırmanın kazı performansına etkisi

### 5.3.5. Ankrajlı Teğetsel Kazıklı Duvarda Gerçekleştirilen Analizler

#### 5.3.5.1. Kazık Boyu ve Kazık Çapının Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi

Bu bölümde de ankrajlı teğetsel kazıklı duvarların desteklenmesi amacıyla tek sıra ankraj kullanılmıştır. Ankrajlar 5 m. serbest 5 m. kök olmak üzere toplam 10 m. boyundadır ve yatayla  $37^0$  açı yapmaktadır. İki ankrajın yataydaki merkezden merkeze mesafesi yani ankraj aralığı (s) 2.5 m. dir. Ankraj ön gerilme değeri 200 kN olarak uygulanmıştır. Ankrajların rijitliğiyle ilgili olan analizler hariç, ankraj özellikleri bütün analizlerde zemin profili ve kazı genişliğiyle birlikte sabit tutulmuştur.

Analizler için oluşturulan model ve model için kullanılan sonlu eleman ağı ankrajlı diyafram duvarlardakilerle aynı olup daha önce Şekil 5.51 ve 5.52'de verilmiştir. Analiz esnasında, kazı simetrik olduğundan sadece bir yarısı kullanılmıştır.

Yine öncelikle, ankrajlı teğetsel kazıklı duvar için çeşitli kazık çapları "d" ve farklı "z" derinlikleri için analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.10'da sunulmuştur. Ayrıca Şekil 5.55 ve 5.56'da kazık çapının (d) ve kazık boyunun (z) duvar performansını üzerinde nasıl bir etkisini olduğunu gösteren grafikler verilmiştir.

Tablo 5.10. Ankrajlı Teğetsel Kazıklı Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H$	duvar kalınlığı (m.)	maks. yatay deplasman. (cm.)	Maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=2$	$d=0,65$	4,3	292,3	324,6
		$d=0,8$	4,7	303,7	324,2
		$d=1$	4,8	437,1	319,7
		$d=1,2$	4,7	598,1	312,9
	$z/H=1,75$	$d=0,65$	4,2	291,1	324,4
		$d=0,8$	4,6	304,1	324,4
		$d=1$	4,7	432,4	320
		$d=1,2$	4,6	589,8	313,5
	$z/H=1,5$	$d=0,65$	4,1	292	324,4
		$d=0,8$	4,5	304,9	324,4
		$d=1$	4,6	424,3	320,2
		$d=1,2$	4,6	562,6	314,1
	$z/H=1,25$	$d=0,65$	4,1	290,9	324,1
		$d=0,8$	4,5	305,8	324,3
		$d=1$	4,7	361,7	320,3
		$d=1,2$	4,8	439,5	314,7
	$z/H=1$	$d=0,65$	4,3	290,9	322,6
		$d=0,8$	4,7	306,1	322,8
		$d=1$	5	305,6	320
		$d=1,2$	5,3	304,7	317,9
	$z/H=0,75$	$d=0,65$	4,7	292,4	319,6
		$d=0,8$	5,2	308,1	319,9
		$d=1$	6,1	334,7	321,7
		$d=1,2$	6,4	330,7	320,2
	$z/H=0,5$	$d=0,65$	6,4	326,8	318,4
		$d=0,8$	7,2	355,5	322
		$d=1$	7,8	368	323,8
		$d=1,2$	9	377,1	322,4

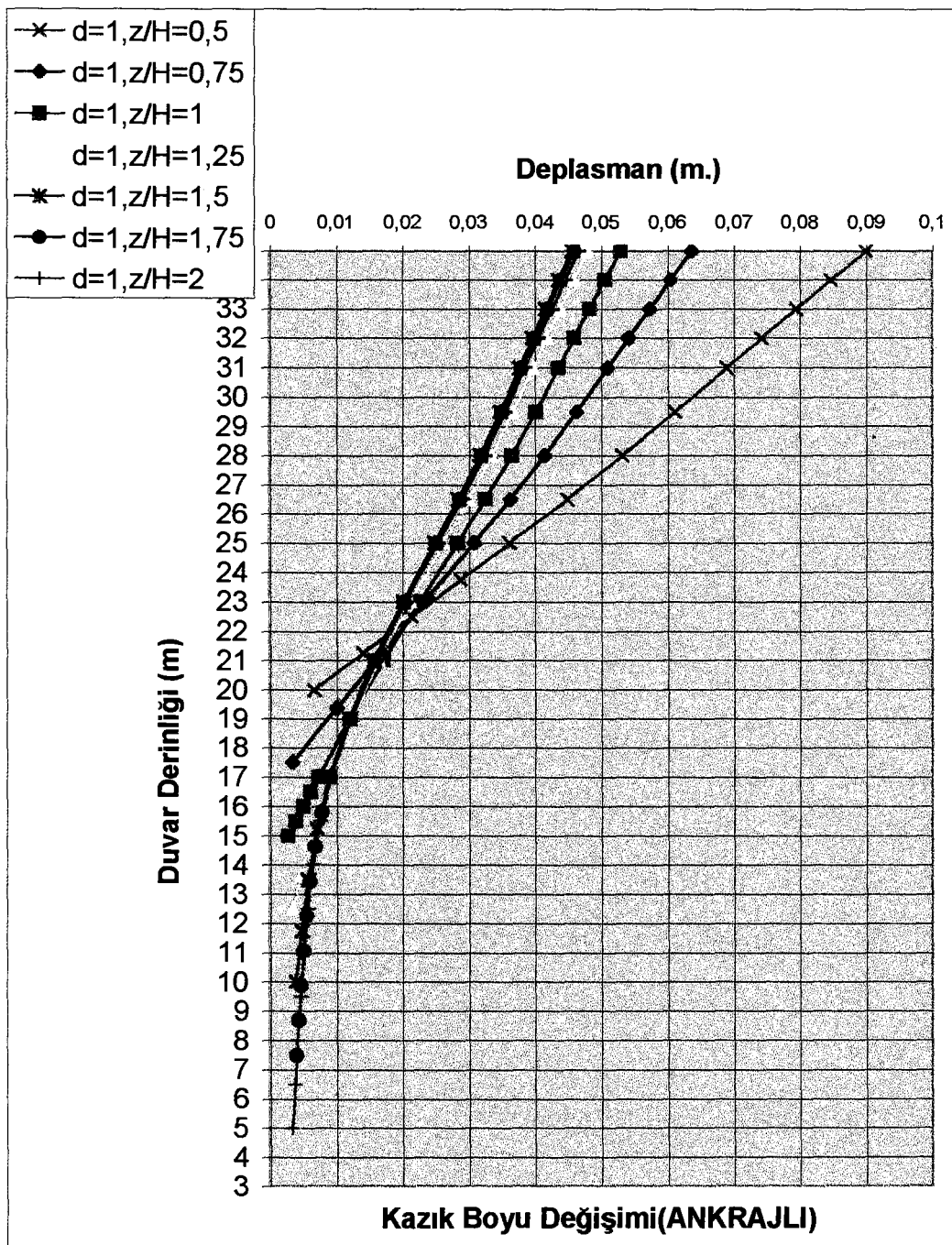
Elde edilen sonuçlara göre:

Kazık çapını (d) artırmanın, ankrajlı sistemlerde duvar hareketlerine pek etkisinin olmadığı, hatta  $z/H = 0.5$  ,  $z/H = 0.75$  ve  $z/H = 1$  gibi duvar boyunun düşük olduğu koşullarda hareketleri artırıcı bir rol de oynadığı söylenebilir.

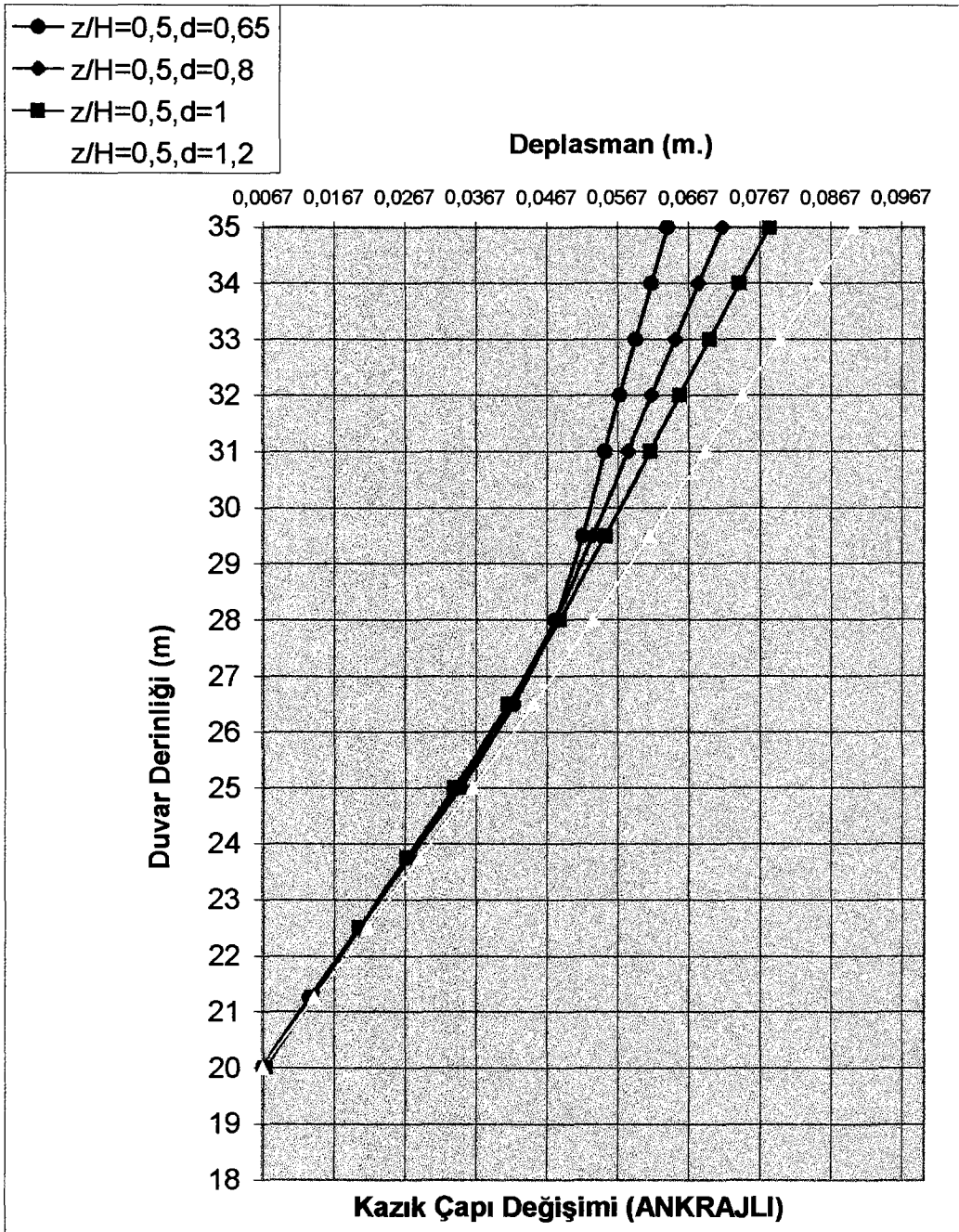
Kazık boyunu (z) uzatmanın ise yine ilk etapta maksimum deplasmanları azalttığı fakat daha fazla artırmanın ise pek bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

Bunun sebebi de kazığın ucunun kum tabakasında olması dolayısıyla, zaten zemine rijitlenmiş bir durumda bulunmasıdır. Yani duvarın sağlam tabakaya penetre etmesi tabi ki deplasmanları azaltacak, fakat belirli bir penetre derinliğinden sonra fazla bir etkisi olmayacaktır.

Kazık çapını artırmanın diyafram duvarlarda olduğu gibi, arada bazı çelişkili sonuçlar çıksa da, ankraj yüklerini az da olsa azalttığı, kazık boyunu uzatmanın ise ankraj yüklerine hemen hemen hiç etkisi olmadığı görülmüştür.



Şekil 5.55. Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarda kazık boyunu artırmanın kazı performansına etkisi



şekil 5.56. Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarda kazık çapını artırmanın kazı performansına etkisi

### 5.3.5.2. Ön gerilme Değerinin Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi

Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarlarda, ankrajların ön gerilme değerlerinin kazı performansın üzerinde ne kadar etkili olduğu da incelenmiştir. Bu amaçla diğer bütün sabitlere dokunulmadan sadece ankrajlara ait ön gerilme değerleri üzerinde çeşitlendirmeler yapılmıştır. Her bir ankraj için 50, 100, 150, 200, 300 kN değerlerinde ön gerilme değerleri ayrı ayrı uygulanmış etkileri incelenmiştir. Sonuçlar Tablo 5.11 ve 5.12’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Şekil 5.57 ve 5.58’de ise farklı ön gerilme değerlerinin kazıya olan etkilerini gösteren grafikler verilmiştir.

Tablo 5.11. Ankrajlı Teğetsel Kazıklı Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H, d$	ön gerilme kuvveti (kN)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=0,5$ $d=1,2$ m.	0	134	180,13	179,5
		125	122	232,18	211,8
		250	110	285,31	248
		375	100	331,19	284,9

Tablo 5.11. Devamı

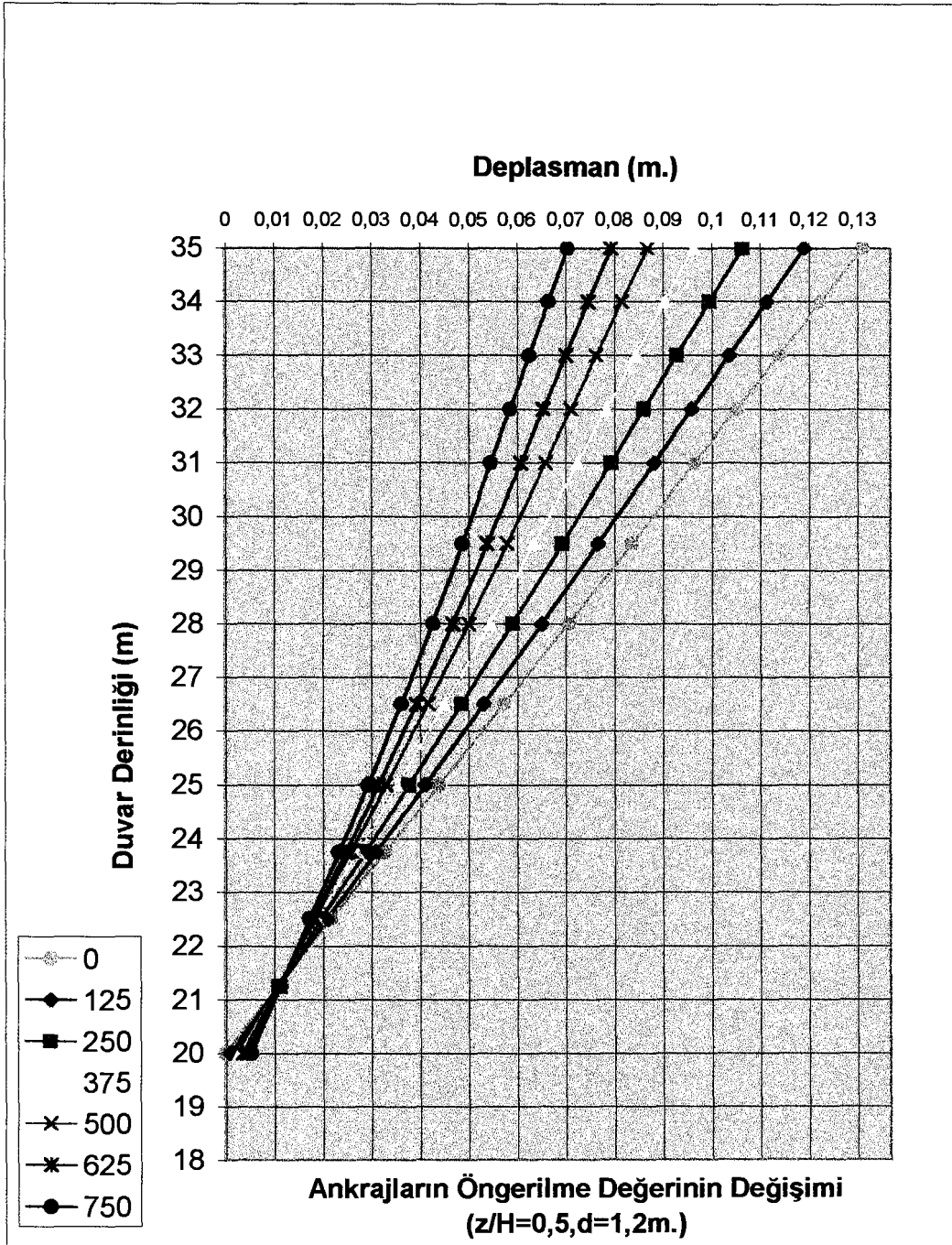
DURUM	$z/H, d$	ön gerilme kuvveti (kN)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=0,5$ $d=1,2$ m.	500	90	377,14	322,4
		625	83	427,79	360,4
		750	74	467,88	396,9

Tablo 5.12. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

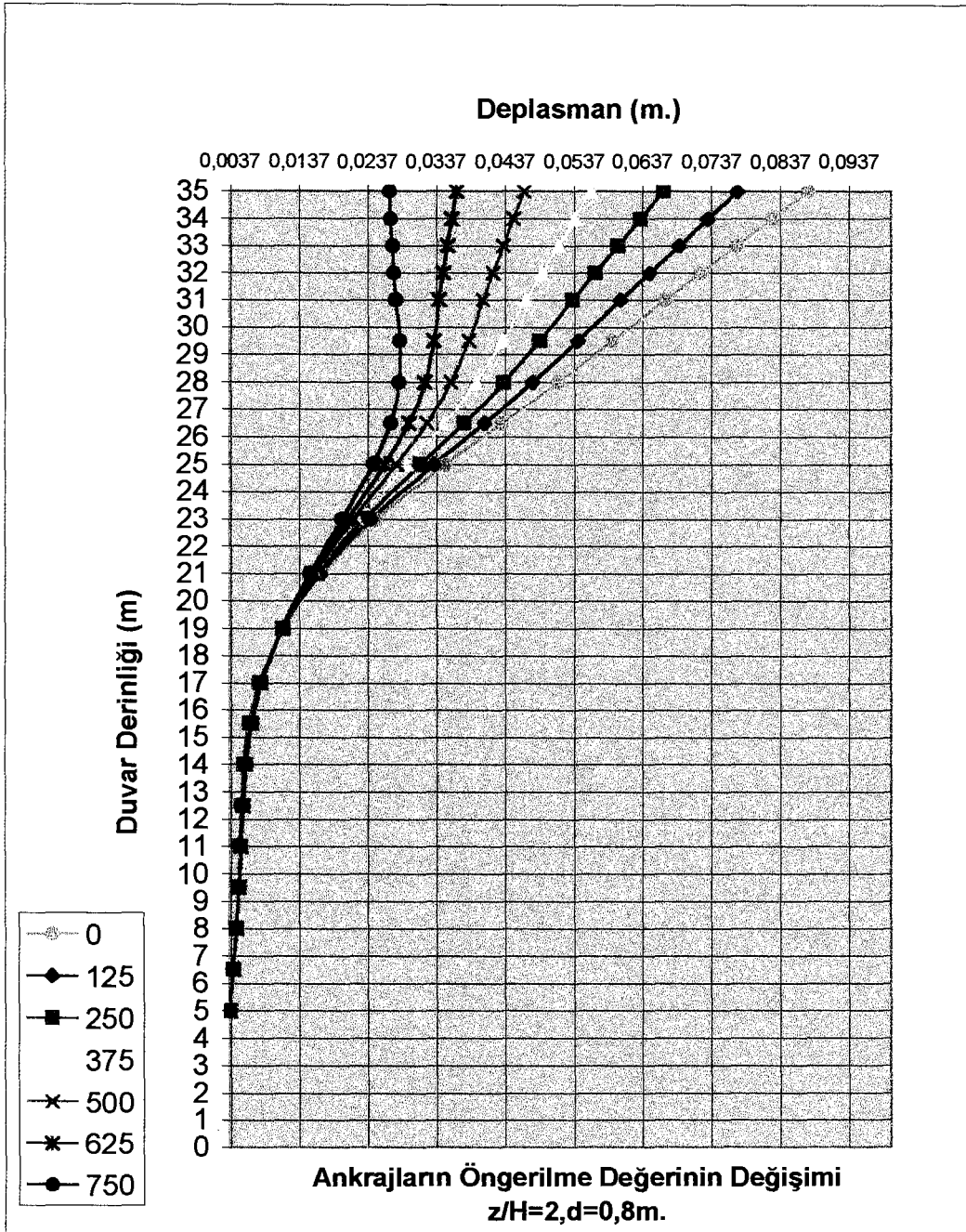
DURUM	$z/H, d$	ön gerilme kuvveti (kN)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=2$ $d=0,8$ m.	0	88	429,9	156,6
		125	78	381,27	197,9

Tablo 5.12. Devamı

<b>DURUM</b>	<b>z/H , d</b>	<b>ön gerilme kuvveti (kN)</b>	<b>maks. yatay deplasman. (cm.)</b>	<b>maksimum eğilme momenti (kNm/m)</b>	<b>ankraj kuvveti (kN/m)</b>
<b>ANKRAJLI</b>	<b>z/H=2 D=0,8 m.</b>	<b>250</b>	67	324,42	238,8
		<b>375</b>	56	301,63	280,6
		<b>500</b>	47	303,73	324,2
		<b>625</b>	37	364,78	367,9
		<b>750</b>	28	426,32	411,2



Şekil 5.57. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj ön gerilme değerinin kazı performansına etkisi



Şekil 5.58. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj ön gerilme değerinin kazı performansına etkisi

### 5.3.5.3. Ankraj Sıklığının ( $L_s$ ) Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi

Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarlarda, kazı üzerindeki etkisi incelenen diğer bir konu da yatayda ankraj sıklığıdır. Bu amaçla diğer bütün sabitlere dokunulmadan sadece ankrajlar arası mesafe değiştirilmiş ve çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.13 ve 5.14’de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Şekil 5.59 ve 5.60’da ise farklı ankraj sıklığı değerlerinin kazıya olan etkilerini gösteren grafikler verilmiştir.

Tablo 5.13. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H$ , d	Ankraj sıklığı (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=0,5$	1,2	55	587,99	491
	d=1,2 m.	2,4	89	389,43	330

Tablo 5.13. Devamı

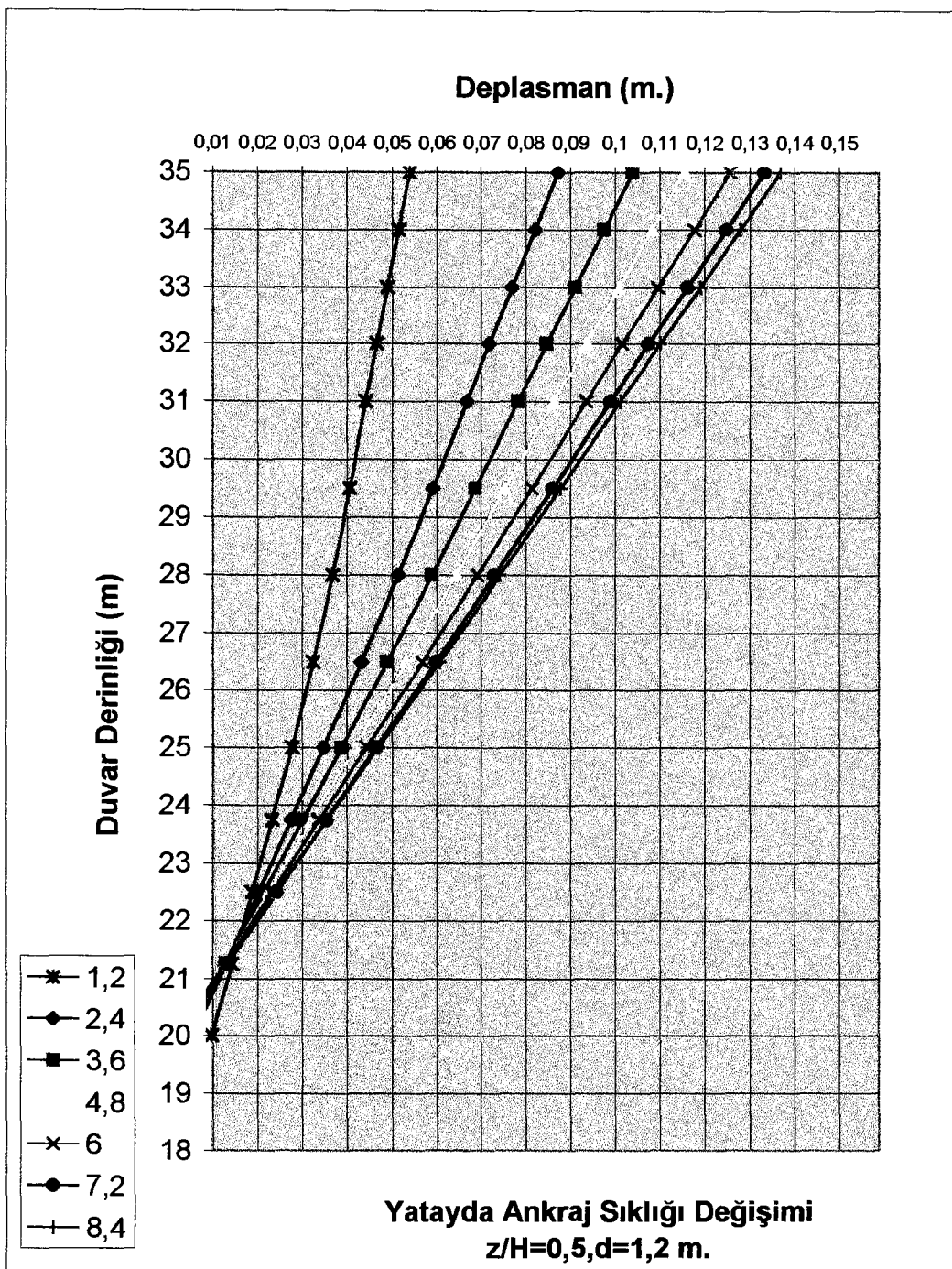
DURUM	$z/H, d$	Ankraj sıklığı (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=0,5$	3,6	105	308,97	265,4
		4,8	117	257,65	228,1
	$d=1,2$ m.	6	127	221,68	203
		7,2	135	190,75	184,7

Tablo 5.13. Devamı

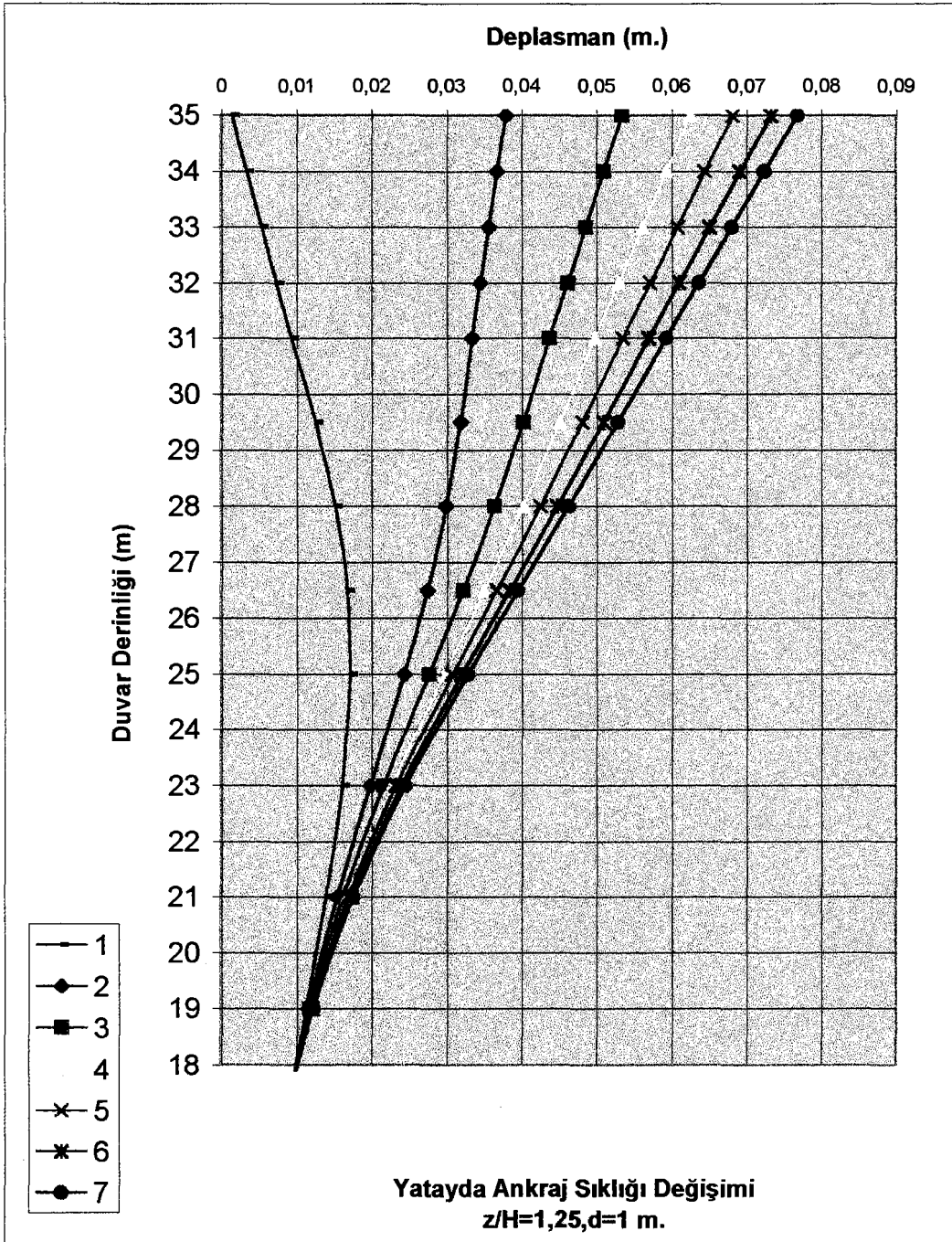
DURUM	$z/H, d$	Ankraj sıklığı (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)	
ANKRAJLI	$d=1,2$ m.	8,4	138	171,91	170,8	
		$z/H=0,5$	9,6	145	181,15	159,9
		10,8	149	196,89	151,1	

Tablo 5.14. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H, d$	Ankraj sıklığı (m)	max. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=1,25$	1	17	775,8	593,2
		2	38	382,43	371,1
		3	54	386,55	284,2
	$d=1 m.$	4	63	435,38	236,2
		5	68	491,13	204,4
		6	73	542,58	182,1
		7	77	576,12	164,4



Şekil 5.59. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj sıklık değerinin kazı performansına etkisi



Şekil 5.60. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj sıklık değeri nin kazı performansına etkisi

### 5.3.5.4. Ankraj Boyunun Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi

Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarlarda ankraj boyunun kazı performansı üzerinde ne kadar etkili olduğu da incelenmiştir. Bu amaçla diğer bütün sabitlere dokunulmadan sadece arka bağlara boyları üzerinde çeşitlendirmeler yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 5.15 ve 5.16’da ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Şekil 5.61 ve 5.62’de ise farklı ön gerilme değerlerinin kazıya olan etkilerini gösteren grafikler verilmiştir.

Tablo 5.15. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H, d$	ankraj boyu (kök+serbest) (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=0,5$ $d=1,2$ m.	3+3	315	278,77	279,5
		4+4	140	344,07	301,7
		5+5	90	377,14	322,4
		6+6	75	393,42	328,4
		7+7	68	390,27	329,1

Tablo 5.15. Devamı

DURUM	z/H , d	ankraj boyu (kök+serbest) (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum	ankraj kuvveti (kN/m)
				eğilme momenti (kNm/m)	
ANKRAJLI	z/H=0,5 d=1,2 m.	4+2	303	254,26	249,5
		5+3	130	354,22	294
		6+2	119	344,75	282,9
		6+4	88	378,12	317,1
		7+3	89	384,53	310,8
		7+5	72	389,64	324,1
		8+4	72	391,31	320,7
		9+3	70	385,6	313,2

Tablo 5.15. Devamı

DURUM	z/H , d	ankraj boyu (kök+serbest) (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum	ankraj kuvveti (kN/m)
				eğilme momenti (kNm/m)	
ANKRAJLI	z/H=0,5 d=1,2 m.	8+6	66	390,31	326,2
		9+5	66	390,78	321,6
		10+4	66	391,06	320,1

Tablo 5.16. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

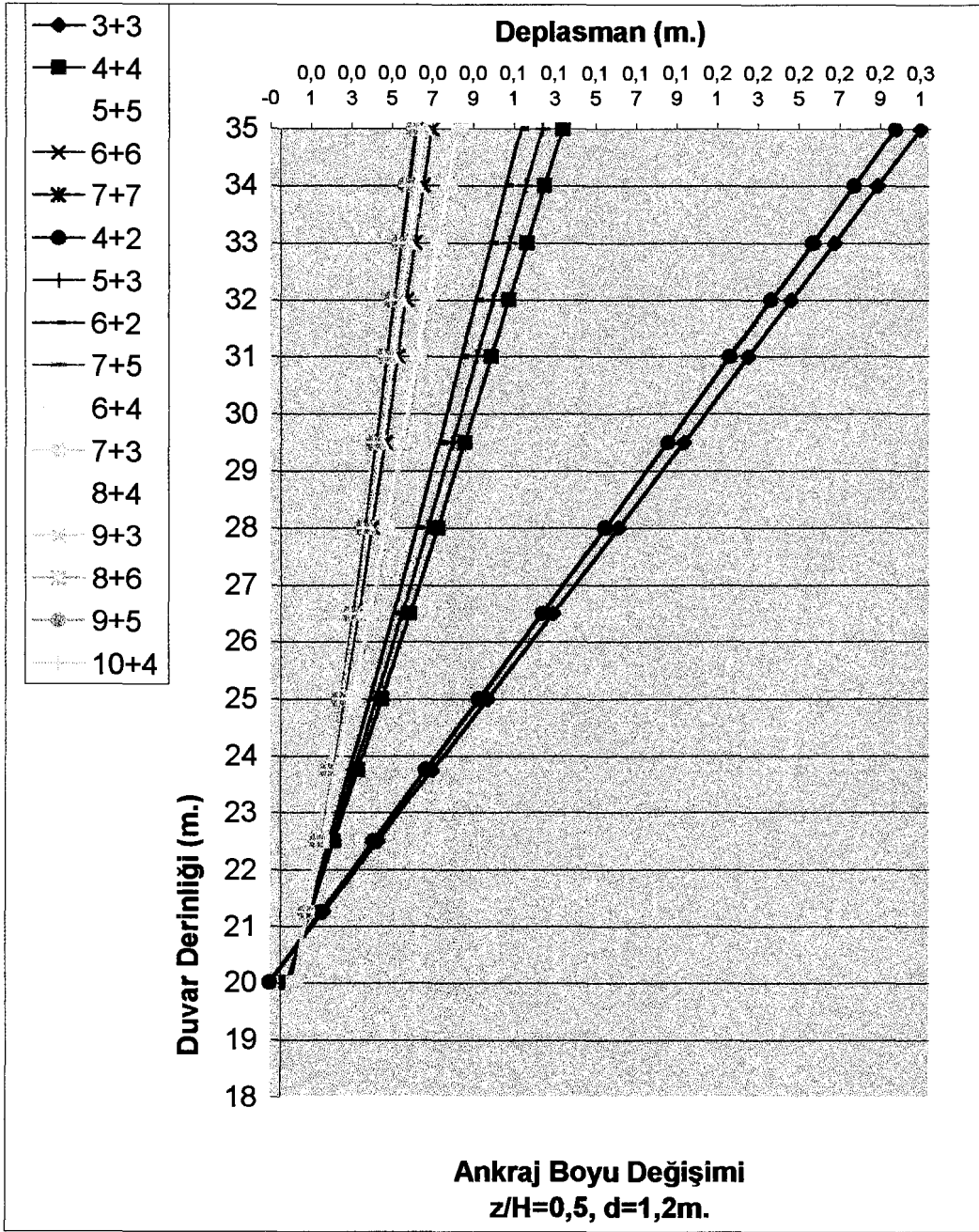
DURUM	z/H , d	ankraj boyu (kök+serbest) (m)	max. yatay deplasman. (cm.)	maksimum	ankraj kuvveti (kN/m)
				eğilme momenti (kNm/m)	
ANKRAJLI	z/H=1,25 d=1 m.	3+3	75	585,18	276,6
		4+4	58	414,32	305,5
		5+5	47	361,67	320,3

Tablo 5.16. Devamı

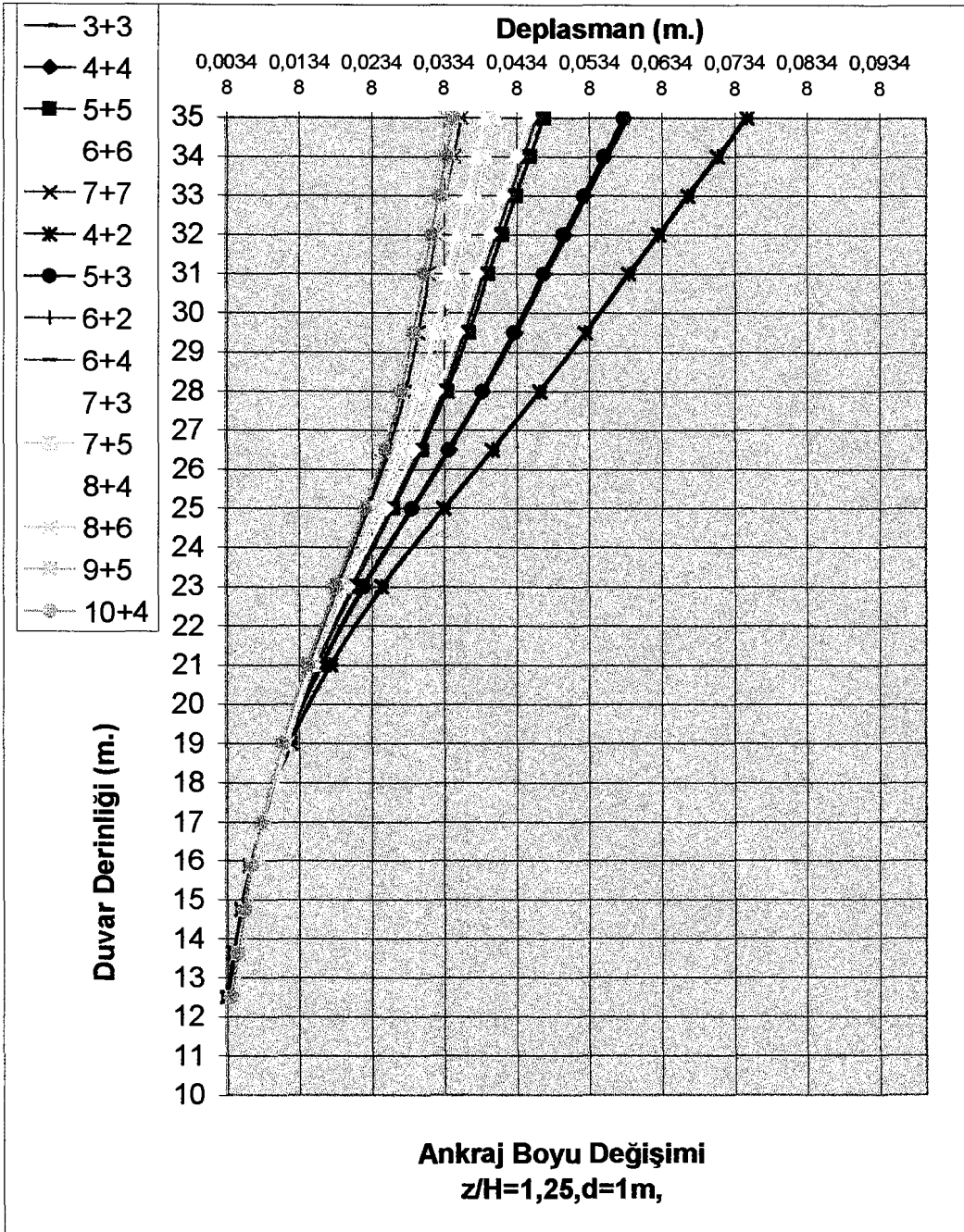
DURUM	z/H , d	ankraj boyu (kök+serbest) (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum	ankraj kuvveti (kN/m)
				eğilme momenti (kNm/m)	
ANKRAJLI	z/H=1,25 d=1 m.	6+6	41	328,91	325,3
		7+7	36	344,6	327,9
		4+2	75	586,23	260
		5+3	58	414,42	293,8
		6+2	59	416,51	279,1
		6+4	46	356,78	314,3
		7+3	45	352,11	299,5
		7+5	40	329,08	320,2

Tablo 5.16. Devamı

DURUM	$z/H$ , d	ankraj boyu (kök+serbest) (m)	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=1,25$  d=1 m.	8+4	39	327,6	315,3
		8+6	36	374,91	295,5
		9+5	34	341,9	319
		10+4	35	338,12	314,8



Şekil 5.61. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj boyunun kazı performansına etkisi



Şekil 5.62. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj boyunun kazı performansına etkisi

### 5.3.5.5. Ankraj Eğiklik Açısının Kazı Performansı Üzerindeki Etkisi

Ankrajlı teğetsel kazıklı duvarlarda, kazı üzerindeki etkisi incelenen diğer bir konu ankrajın yatayla yaptığı açının değeridir. Bu amaçla diğer bütün sabitlere dokunulmadan sadece ankrajların yatayla yaptığı açı değiştirilmiş ve çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar Tablo 5.17 ve 5.18'de ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Şekil 5.63 ve 5.64'de ise farklı ankraj sıklığı değerlerinin kazıya olan etkilerini gösteren grafikler

Tablo 5.17. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H, d$	Ankraj açısı ( $^{\circ}$ )	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=0,5$	45	116	331,14	304,9
	$d=1,2$ m.	40	100	359,06	317,4

Tablo 5.17. Devamı

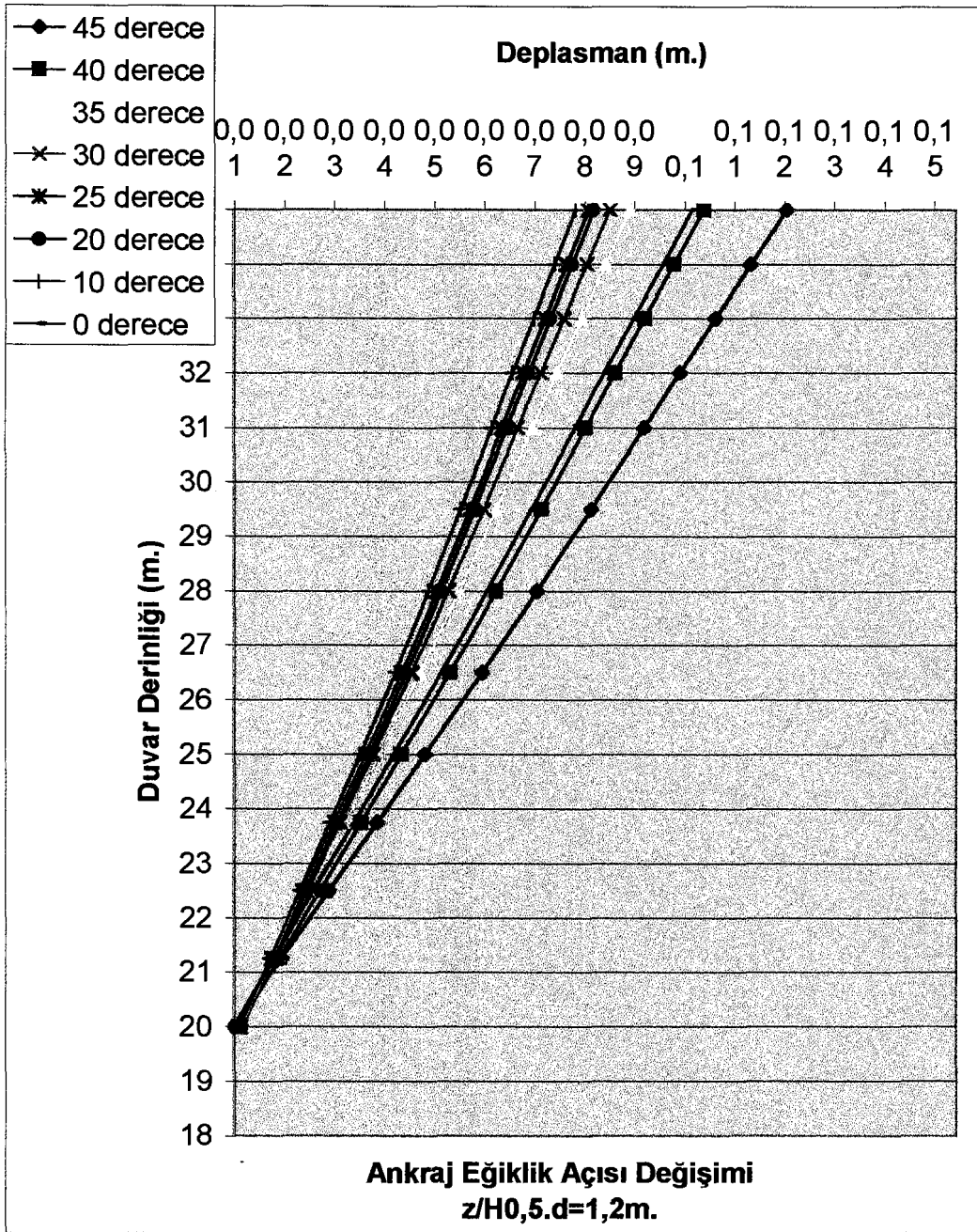
DURUM	$z/H, d$	Ankraj açısı ( $^{\circ}$ )	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=0,5$  $d=1,2$ m.	35	85	387,38	324,6
		30	81	392,06	327,1
		25	77	397,23	327,5

Tablo 5.17. Devamı

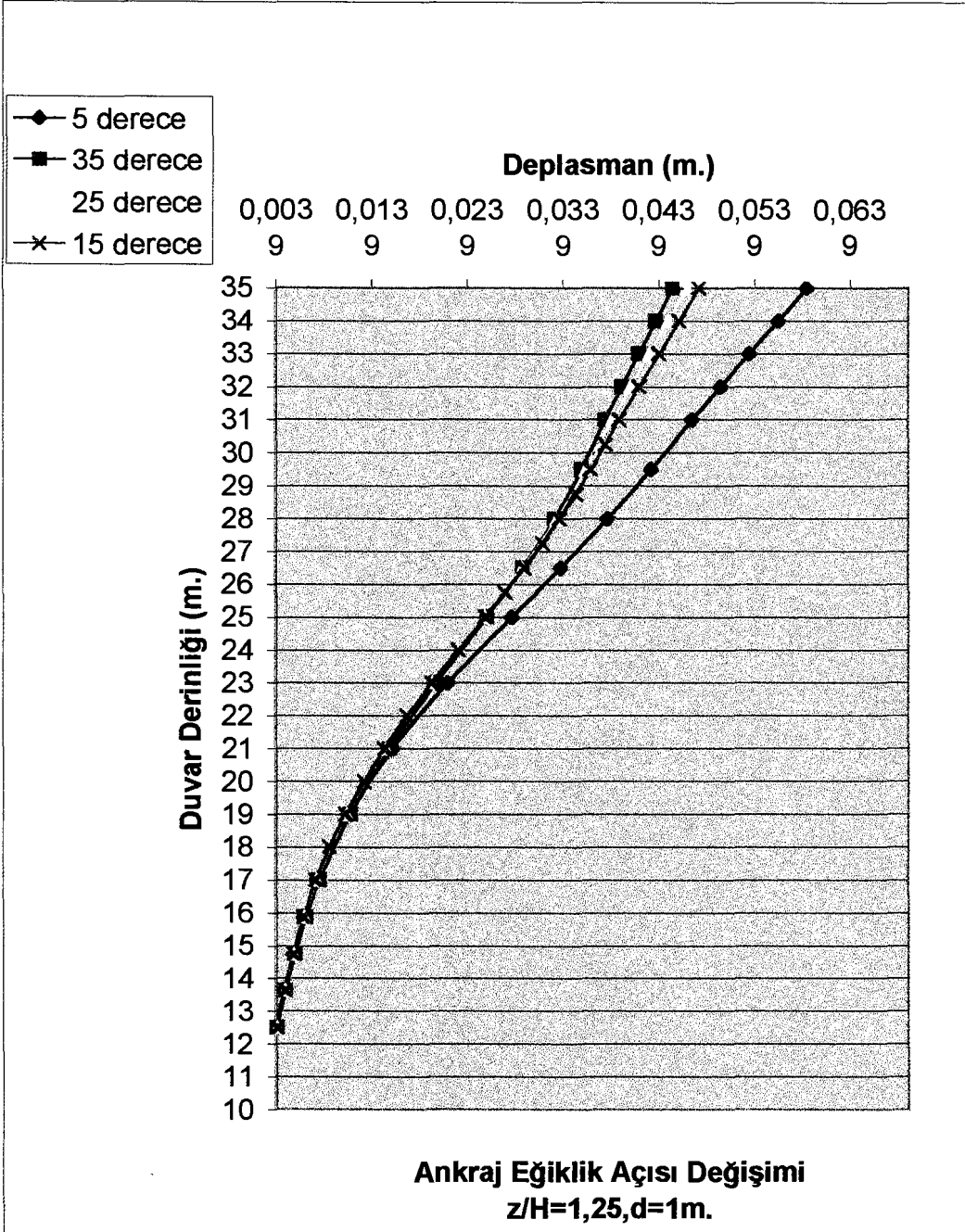
<b>DURUM</b>	<b>z/H , d</b>	<b>Ankraj açısı (<sup>0</sup>)</b>	<b>maks. yatay deplasman. (cm.)</b>	<b>maksimum eğilme momenti (kNm/m)</b>	<b>ankraj kuvveti (kN/m)</b>
<b>ANKRAJLI</b>	<b>z/H=1,25</b>	<b>20</b>	<b>77</b>	<b>414,97</b>	<b>329</b>
		<b>10</b>	<b>74</b>	<b>354,65</b>	<b>314</b>
	<b>d=1 m.</b>	<b>0</b>	<b>97</b>	<b>326,6</b>	<b>288,4</b>

Tablo 5.18. Ankrajlı Diyafram Duvara Ait Performans Verileri

DURUM	$z/H, d$	Ankraj açısı ( $^{\circ}$ )	maks. yatay deplasman. (cm.)	maksimum eğilme momenti (kNm/m)	ankraj kuvveti (kN/m)
ANKRAJLI	$z/H=1,2$ 5	35	45	353,09	319,8
		25	47	363,53	313,1
	d=1 m.	15	48	374,13	298,9
		5	59	428,44	267,8



Şekil 5.63. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj açısının kazı performansına etkisi



Şekil 5.64. Ankrajlı diyafram duvarda ankraj açısının kazı performansına etkisi

## 6. SONUÇLAR

Bütün bu yukarıda özetlenen yayınlar, derin kazıların performansını etkileyen önemli faktörlerin şunlar olduğunu göstermiştir:

1. Zemin Profili ( zemin cinsi, zemin permeablitesi, kayma mukavemeti)
2. Yeraltı suyu koşulları
3. Destekleme yüzeyine gelecek yanıl toprak basınçları
4. Analiz ve dizayn sürecinin başarısı ve destekleme sisteminin seçimi
5. İnşa metodu
6. İnşa sırası
7. İşçilik ya da inşa kalitesi
8. Sıcaklık

Yukarıdaki faktörlerin derin kazılardaki rollerinin karmaşık olması, derin kazılar için destek sistemleri dizayn edilmesini uğraştırıcı bir işlev yapmaktadır. Sonlu eleman analizleri ve derin kazıların gerekli aygıtlarla gözetlenmesi de derin kazıların incelenmesinde tamamlayıcı araçlardır. Sonlu eleman analizleri, derin kazı performansını etkileyen faktörlerin incelenmesi için yapılan parametrik çalışmaları kolaylaştırmaktadır. Bir derin kazının sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmek, inşaatından ve gözetlenmesinden daha kolay ve ucuzdur. Ancak bir analizdeki varsayımlar ve modelleme yaklaşımları sonlu eleman analizinin doğruluğunu sınırlandırmaktadır. Derin kazılarda yapılan aletsel gözlemler, derin kazıların

performansı ile ilgili bilgi sağlayarak, varsayımlar ve yaklaşımlardan dolayı eksik kalan sonlu eleman analizlerini tamamlamaktadır.

Diğer bir gerçek ise, sonlu eleman analizleriyle aletsel gözlemlerin birbirini tamamlayıcı özelliğinin, sahadan elde edilen veri miktarına bağlı olduğudur. Aletsel gözlemin bir dezavantajı ise, yüksek maliyetler nedeniyle, hareket ve boşluksuyu basıncı bilgilerinin ancak birkaç noktadan toplanmasıdır. Diğer taraftan sonlu eleman analizleri ise, analizi yapılan tüm alan üzerindeki deformasyonları ve gerilmeleri vermektedir.

Derin kazıların daha iyi anlaşılması çabaları, derin kazıların analiz edilmesi ve gözlenmesi için kullanılan araçların da gelişmesini sağlamıştır. Sonlu eleman analizlerinin kullanımının artması buna bir örnektir. Çalışmalar, derin kazıların analizlerinin kalitesinin ve kompleksliğinin sürekli arttığını göstermektedir. Diğer önemli bir gelişme de, kentsel alanlardaki kazılarda, kazı etrafındaki hareketlere olan ilginin artmış olmasıdır ki bu da daha konservatif bir dizayn, daha kapsamlı bir performans gözetilmesi ve inşaa operasyonlarının daha sıkı kontrolünü sağlamıştır.

Bu tezde, sonlu eleman yöntemini kullanan bir bilgisayar programıyla yapılan parametrik analizler, destek sisteminin özelliklerinin seçiminin de çok önemli olduğunu göstermiştir. Ankastre duvarlarda, gerek diyafram gerekse kazıklı duvar olsun, duvar kalınlığını artırmanın deplasmanları azaltıcı yönde çok etkili olduğu görülmüştür. Özellikle 0.65 m. kalınlıktaki duvarlarda 25 cm. mertebelerinde deplasmanlar elde edilirken (ki bu kabul edilemez bir değerdir), kalınlığın 1,2 m. ye çıkarılması deplasmanların 8-9 cm. civarlarına kadar düşmesini sağlamıştır. Ancak kalınlığı artırıp deplasmanları azaltmanın , duvar üzerindeki eğilme momentlerini artırdığı da gözlenen diğer bir noktadır.

Duvar boyunun artırılmasının ise, duvarın sert tabakaya yeterince penetre etmesinden sonra etkili olmadığı ve deplasmanları fazla etkilemediği görülmüştür.

Yani duvar sert (rijit) tabakadan yukarıda bitiyorsa, duvar boyunun artırılması etkili olmakta, duvar sert tabaka içindeyse duvar boyunu daha fazla artırmanın pek bir etkisi olmamaktadır.

Aynı kalınlık ve boy özelliklerine sahip kazıklı ve diyafram duvarlarda ise, diyafram duvarların rijitliği fazla olduğundan daha düşük deplasman değerleri verdiği görülmüştür. Sonuç olarak ankastre duvarlarda 0.65 m. kalınlıklı seçeneğin kullanılması büyük deplasmanlardan dolayı pek uygun görülmemektedir. 0.8 ve 1 m. kalınlıklı duvarların bazılarında da yine çok büyük değerlerde de deplasmanlar gözlemlendiğinden kullanımı uygun olmaya bilecektir. Ancak 1.2 m. ve 1 m. kalınlıklı bazı duvar seçenekleri 10 cm.'nin altında veya civarında deplasman değerlerini sağlayabilmiştir.

Diyafram ya da kazıklı duvarların arka bağlarla birlikte kullanılması ise, deplasmanları 4 cm. mertebelerine kadar indirmiştir. Bu da ankrajların ne kadar etkili olduğunun bir göstergesidir. Daha düşük deplasmanların gerekli olduğu şartlarda duvarların ankastre olarak kullanılması yeterli çözümü vermeyecektir. Böyle durumlarda duvarların arka bağlarla ya da alternatif desteklerle desteklenmesi ve deplasmanların çok düşük değerlere çekilmesi gerekecektir. Ankrajlı duvarlarda eğilme momentleri ankastre duvarlardakine göre çok daha düşük değerlerdedir.

Ankrajların ön gerilme değerlerini artırmak ise beklendiği gibi deplasmanları azaltıcı bir etki yapmıştır. Ancak ön gerilme değerinin artmasıyla eğilme momentlerinin de arttığı görülmüştür. Özellikle duvarın sert tabakaya penetre etmediği durumlarda ankrajlar deplasmanları azaltmak için etkili bir çözümdür.

Deplasmanları azaltmada diğer etkili bir yöntemin de yataydaki arka bağları sıklaştırmak olduğu sonucuna varılmıştır. Yataydaki arka bağ sayısı arttıkça deplasman değeri azalmaktadır. Yine arka bağ boylarını artırmak da deplasmanları azaltıcı bir etki yapmaktadır. Özellikle, arka bağları, kayma dairesinin dışına çıkacak

şekilde uzatmak deplasmanları azaltmada dikkat edilmesi gereken en önemli konudur. Ancak hem arka bağ sayısını artırmak hem de arka bağların boyunu uzatmak deplasman değerlerini azaltıkan eğilme momentlerini de artırıcı bir etki yapmaktadır.

Dikkat edilmesi gereken son bir konuda arka bağların eğiklik açısıdır. Yine bu açının arka bağların kayma dairesine çıkacak şekilde ve mümkünse sert bir tabakaya penetre edecek şekilde düşünülmesi gerekir. Bu tezde yapılan analizlerde en uygun eğiklik açısının  $10^0$  -  $30^0$  arasında bir değer olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Bütün bu yukarıda bahsi geçen konular: duvar kalınlığı, duvar boyu, arka bağların kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılacaksa arka bağların sıklığı, açısı, boyları ve ön gerileme değerleri kazı performansını etkileyecek konulardır. Tabi ki duvar kalınlığının, boyunun artırılması, arka bağların kullanılması, arka bağların sıklığının, boylarının ve ön gerilme değerlerinin artırılması gibi konular kazıda hareketleri, deplasmanları azaltıcı bir etki yapacaktır. Ancak diğer taraftan da maliyetleri çok fazla artırabilecektir. Burada esas olan, kazının koşullarına göre kabul edilebilir deplasman değerine ulaşmak ve stabiliteyi sağlamak için uygulanabilecek en ekonomik ve en uygun destek sisteminin seçilmesidir. Yani her bir kazı kendi saha koşullarına göre ele alınmalı, analiz edilmeli ve değerlendirilip en uygun sistem seçilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [ 1 ] Church, H. K., *Excavation handbook*, McGraw-Hill, New York, USA (1981).
- [ 2 ] Bowles, J. E., *Foundation analysis and design*, McGraw-Hill, New York, USA (1996).
- [ 3 ] Clayton, C. R. I., Milititsky, J. ve Woods., R. I., *Earth pressure and earth-retaining structures*, Blackie Academic & Professional, London, England (1993).
- [ 4 ] Coduto, D. P., *Foundation design: principles and practice*, Prentice Hall Career & Technology, New Jersey, USA (2001).
- [ 5 ] McCarthy, D.F, *Essentials of soil mechanics and foundations: basic geotechnics*, Prentice Hall Career & Technology, New Jersey, USA (1993).
- [ 6 ] Cerrahoğlu, H., *Yatay yüklü kazık, palplanj perde ve ahşap iksa hesabı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1994).
- [ 7 ] Xanthakos, P. P., *Slurry walls as structural systems* , McGraw-Hill, New York, USA (1994).
- [ 8 ] Saydal K., *A case study on the application of prestressed and passive anchors*, Boğaziçi Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1996).
- [ 9 ] Plaxis Practice Bulletin 12, *Finite Element Modelling Of A Deep Excavation Supported By Jack-In Anchors*, 2002
- [ 10 ] Bentler, D.J., *Finite element analysis of deep excavations*, Virginia Technical University, Virginia, USA (1998).

- [ 11 ] O'Rourke, T.D., *Ground movements caused by braced excavations*, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, **107**, 1159-1178 (1981).
- [ 12 ] Clough G.W. ve O'Rourke, *Construction induced movements of in situ walls*, ASCE, **25**, 439-470 (1990).
- [ 13 ] Kuruoğlu, Ö., *Fem analysis and evaluation of field measurements on two strutted deep excavations*, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye (1998).
- [ 14 ] Finno, R.J. ve Harahap, I.S., *Finite element analyses of HDR-4 excavation*, Journal of Geotechnical Engineering, **117**, 1590-1609 (1991).
- [ 15 ] Ou, C.Y. ve Lai, C.H., *Finite element analysis of deep excavation in layered sandy and clayey soil deposits*, Canadian Geotechnical Journal, **30**, 204-214 (1994).
- [ 16 ] Shweiger, H.F. ve Freiseder, M., *Three dimensional finite element analysis of diaphragm wall construction*, Eight International Conference On Computer Methods and Advances in Geomechanics, **8**, 2493-2498 (1994).
- [ 17 ] Ng, C.W.W., Lings, M. L., Simpson, B. ve Nash, D. F. T., *An approximate analysis of the three dimensional effect of diaphragm wall installation*, Geotechnique, **45**, 497-507 (1995).
- [ 18 ] Lee, F.H., Yong, K.W., Quan, K. C. N. ve Chee, K.T., *Effect of corners in strutted excavations*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, **124**, 339-349 (1998).
- [ 19 ] Briaud, J.L. ve Fellow, L.Y., *Tieback walls in sand: numerical simulation and design implications*, Journal of Geotechnical And Geoenvironmental Engineering, **125**, 469-484 (1999).
- [ 20 ] Long, M.A., *Database of retaining wall and ground movements due to deep excavation*, Geotechnical and Environmental Engineering, **127** (2001).
- [ 21 ] Wong, K.S., ve Broms, B.B., *Lateral wall deflections of braced excavations in clay*, Journal of Geotechnical Engineering, **115**, 853-870 (1989).

- [ 22 ] Hashash, Y.M.A. ve Whittle, A.J., *Ground movement prediction for deep excavations in soft clay*, Journal of Geotechnical Engineering, **122**, 474-487 (1996).
- [ 23 ] Mana, A.I., ve Clough, G.W., *Prediction of movements for braced cuts in clays*, Journal Of Geotechnical Engineering, **107**, 759-777 (1981).
- [ 24 ] Whittle, A.J., Hashash, Y.M.A. ve Whitman, R.V., *Analysis of deep excavation in boston*, Journal of Geotechnical Engineering, **119**, 69-90 (1993).
- [ 25 ] Vermeer, P.A. ve Meier, C.P., *Stability and deformations in deep excavations in cohesive soils*, Proceedings International Conference On Soil-Structure Interaction In Urban Civil Engineering, Darmstadt Geotechnics, **1**, (1998).
- [ 26 ] Simpson, B., *Retaining structures, displacement and design*, Geotechnique, **42**, 541-76 (1992).
- [ 27 ] Saxena, S.K., *Measured performance of a rigid concrete wall at the world trade centre*, Diaphragm Walls and Anchorages. Institution of Civil Engineers, London, UK.
- [ 28 ] Bolton, M.D. ve Powrie, W., *The behaviour of diaphragm walls in clay prior to collapse*, Geotechnique, **38**, 167-189 (1988).
- [ 29 ] Ikuta, Y., Maruoka, M., Aoki, M. ve Sato, E., *Application of the observational method to a deep basement excavate during the top-down method*, Geotechnique, **44**, 655-664 (1994).
- [ 30 ] Long, M.A. *case history of a deep basement in london clay*, Computers and Geotechnics, **28**, 397-423 (2001).
- [ 31 ] P. A. Vermeer, PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analyses Version 7, Netherlands, 1998
- [ 32 ] Zheng, W., *Overview and geotechnical evaluation of plaxis 7.2*, Plaxis Publication, 2002
- [ 33 ] [www.plaxis.nl](http://www.plaxis.nl)
- [ 34 ] Kılıç, H., Yıldırım, S. ve Çetin, D., *Destekli dayanım perdelerinde ölçülen ve öngörülen yerdeğiştirmelerin karşılaştırılması*, Zemin

- Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Eskişehir, Türkiye, 481-488 ( 2002).
- [ 35 ]Nalçakan, M.S., Mercan, M., Tönük, G.K. ve Ergun, U., *Geçirimsiz ankrajlı bir iksa duvarının yumuşak zemindeki davranışı*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi Bildiriler Kitabı, Eskişehir, Türkiye, 502-508 (2002).
- [ 36 ]Thasnanipan, N., Maung, A.W. ve Tanseng, P., *Behavior and performance of diaphragm walls under unbalanced lateral loading along the chao phraya river*, Field Measurements in Geomechanics, Balkema, Rotterdam, 1999
- [ 37 ]Thasnanipan, N., Maung, A.W., Tanseng, P. ve Wei, S.H., *Performance of a braced excavation in bangkok clay*, Thirteenth Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, Taiwan, 655-660 (1998).
- [ 38 ]Teparaksa, W., Thasnanipan, N., Tanseng, P., *Analysis of lateral wall movement for deep braced excavation in bangkok subsoils*, Civil and Environmental Engineering Conference New Frontiers and Challenges, Bangkok, Thailand (1999).
- [ 39 ]Bose, S.K. ve Som, N.N., *Parametric study of a braced cut by finite element method*, Computers and Geotechnics, **22**, 91-107 (1998).
- [ 40 ]Som, N.N., *Performance study of braced cut for calcutta metro construction*, Proceedings of the 9th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Bangkok (1991).