

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, yakın ilgi ve değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübesiyle her zaman destek olan danışman hocam Prof.Dr. S.Feyza ÇİNİCİOĞLU'na, tüm çalışmada yanımda olarak büyük katkılar sağlayan Dr. İlknur BOZBEY'e, her istediğimde hatta istemediğimde bile yardım etmekten çekinmeyen Araş. Gör. M. Kubilay KELEŞOĞLU'na ve engin bilgilerinden yararlandığım Yrd. Doç. Dr. Sadık ÖZTOPRAK'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Her zaman bana destek olan sevgili aileme, bu tezin biteceğine ve benim çalıştığıma inanmayan fakat yine de yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım, İnş. Yük. Müh. Murat GÜLER, İnş. Yük. Müh. Barış SAYIN, İnş. Yük. Müh. Cihan ÖSER, İnş. Yük. Müh. Barış YILDIZLAR, İnş. Yük. Müh. Ekrem UZMAN, İnş. Yük. Müh. M. Gözde GÜRSOY D., ve İnşaat Teknikeri Oğuz FİRİDİN'e, beni hiç yalnız bırakmayan ve hep yanımda olan Met. Yük. Müh. Seçil AKBULUT'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Haziran 2005

Sedat KUTU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER	II
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
TABLO LİSTESİ	IX
SEMBOL LİSTESİ	XI
ÖZET.....	1
SUMMARY	3
1. GİRİŞ	4
1.1 KONU	4
2 GENEL KISIMLAR	7
2.1 DERİN KAZILAR	7
2.2 DERİN KAZILARIN DESTEKLEME YÖNTEMLERİ	7
2.2.1 Dar ve Derin Kazıların Desteklenmesi.....	8
2.2.2 Geniş ve Derin Kazıların Desteklenmesi	10
2.2.2.1 Kuyu Tipi Betonarme Duvarlar	10
2.2.2.2 Kademeli Kazı Yüzeylerinin Ankrajlı Betonarme Perdelerle Desteklenmesi.....	11
2.2.2.3 Kazı Yüzeylerinin Zemin Çivisi ile Desteklenmesi.....	12
2.2.2.4 Diyafram Duvarlar.....	13
2.2.2.5 Palplanş Perdeler.....	13
2.3 DERİN KAZILARIN YAPILMASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER	16
2.3.1 Zemindeki Yerdeğiştirmeler	16
2.3.2 Stabilite Problemleri.....	17
2.3.3 Yer Altı Suyu	17
2.3.4 Taban Kabarması	18
2.3.5 Komşu Yapılar	18
2.3.6 Mevcut Yeraltı Sistemleri	18
2.3.7 Vibrasyon Problemi	19

2.3.8	Zemin Araştırmaları	19
2.4	DESTEKLENMİŞ DERİN KAZILARDA ÖLÇÜM YAPILMASI	21
2.4.1	Desteklenmiş Derin Kazılarda Ölçüm Yapmanın Temel Nedenleri	22
2.4.2	Derin Kazılarda Ölçüm Yöntemleri ve Ölçme Aletlerinin Tanıtımı	29
2.4.2.1	Jeodezik Ölçüm Yöntemleri	30
2.4.2.2	Prezisyonlu Nivelman Yöntemi	31
2.4.2.3	Alinyiman Yöntemi	31
2.4.2.4	Jeodezik Ağ Yöntemi	32
2.4.2.5	Fiziksel Yöntemler	32
2.4.2.6	Eğim Ölçerler	32
2.4.2.7	Uzama Ölçerler	37
2.5	ZEMİNLERDE GERİLME DEFORMASYON DAVRANIŞI	45
2.5.1	Düzlem Gerilme ve Eksenel Simetri	46
2.5.2	Gerilme Analizi	47
2.5.3	Deformasyon ve Birim Deformasyon Analizi	48
2.6	ZEMİNLERDE KAYMA MUKAVEMETİ	52
2.6.1	Mohr-Coulomb Göçme Hipotezi	53
3	MALZEME VE YÖNTEM	55
3.1	YANAL TOPRAK BASINÇLARI	55
3.1.1	Rankine Formülleri	55
3.1.1.1	Aktif Toprak Basıncı	56
3.1.1.2	Pasif Toprak Basıncı	57
3.1.1.2	Sükunetteki Toprak Basıncı	58
3.2	DEFORMASYONA BAĞLI MOBİLİZE OLAN İÇSEL SÜRTÜNME AÇISININ HESAPLANMASI	59
3.2.1	Zeminde Oluşan Deformasyon, Mobilize Olan İçsel Sürtünme Açısı Ve K Değerleri	59
3.3	BİR YATAY DESTEK UYGULAMASI ÖRNEĞİ	63
4	BULGULAR	68
4.1	FARKLI İNŞAAT AŞAMALARINDA OLUŞAN DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ	68
4.1.1	Birinci Dönem	71
4.1.2	Üçüncü Dönem	72
4.1.3	Dördüncü Dönem	73
4.1.4	Beşinci Dönem	74

4.1.5	Altıncı Dönem.....	75
4.2	BİRİM DEFORMASYONA GÖRE MOHR GERİLME DAİRELERİ.....	76
4.2.1	İnşaatın Farklı Aşamalarındaki Davranışın Yorumlanması	83
4.3	MOBİLİZE ϕ AÇILARININ BULUNMASI.....	84
4.4	TOPRAK BASINÇ KATSAYISI “K”nın BULUNMASI	86
4.5	GERİLMELERE DAYANAN MOHR DAİRELERİ	88
5	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	93
	KAYNAKLAR	96
	ÖZGEÇMİŞ.....	98
	EKLER.....	99

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Kazı Yapımıyla Oluşan Gerilme Boşalması [2]	8
Şekil 2.2. Dar ve Derin Kazıların Desteklenme Sistemleri [4]	9
Şekil 2.3 Kuyu Tipi Betonarme Perde Duvar [4].....	10
Şekil 2.4 Kademeli Kazının Ankrajlı Betonarme Perde Duvarla Desteklenmesi [4]	11
Şekil 2.5 Betonarme Palplanş [4]	15
Şekil 2.6 Çelik Palplanşlardan Bazıları [3]	16
Şekil 2.7 Stabilite problemleri[6]	17
Şekil 2.8 Desteklenmiş Derin Kazı ve Çevresinde Oluşabilecek Hareketleri Belirlemede Kullanılabilecek Bir Ölçüm Düzenegi [7]	27
Şekil 2.9 Eğim Ölçerin Çalışma İlkesi [2]	33
Şekil 2.10 Sabit İnklinometre[9]	36
Şekil 2.11 Kayadaki Deformasyon Değişimlerini Kaydetmek İçin Sabit İnklinometre Teli[9] ...	37
Şekil 2.12 Bant Birleşim Ünitesi [9]	39
Şekil 2.13 Çubuk Ekstansometresinin Referans Çivileri[9].....	40
Şekil 2.14 Tek Çubuklu Ekstansometre [9].....	41
Şekil 2.15 Çok Noktalı Uzama Ölçer Kesiti[9], [10].....	41
Şekil 2.16 Mekanik Çatlak Ölçer [7]	42
Şekil 2.17 Elektrikli Çatlak Ölçer [7]	43
Şekil 2.18 Geneor P-265 Tel Titreşimli Ekstansometre[9].....	44
Şekil 2.19 Baraj Hareketlerini Sürekli Takip Edebilmek için Geneor Ekstansometresinin Kullanılışı [9]	44

Şekil 2.20 Gerilme ve Birim Deformasyon[9]	45
Şekil 2.21 Genel Gerilme Durumları [11]	46
Şekil 2.22 Gerilme Analizi[11]	48
Şekil 2.23 Deformasyon Modelleri [11]	49
Şekil 2.24 Deplasmandaki Artışın Gösterimi [11].....	49
Şekil 2.25 Deformasyondaki Artışın Gösterimi [11]	50
Şekil 2.26 Deformasyon Artışlarının Düzlem deformasyon Mohr Dairesinde Gösterimi [11] ...	51
Şekil 2.27 Sıfır Deformasyon Artış Düzlemleri [11]	52
Şekil 2.28 Mohr Columb Göçme Hipotezi[12]	54
Şekil 3.1 Aktif Toprak Basıncı Dağılımları [13].....	56
Şekil 3.2 Pasif Toprak Basıncı Dağılımları [13]	57
Şekil 3.3. Düzlem Deformasyon Durumu İçin Süreklilik Diyagramı[14]	62
Şekil 3.4. Yeni Yanal Deformasyon Parametresi R 'nin Fonksiyonu Olarak Yanal Toprak Basıncı K [14]	63
Şekil 3.5 Arazi Deneyleri Şeması[15]	64
Şekil 3.6 66. Gündeki Birim Deformasyon Eğrileri [15]	65
Şekil 3.7 143. Gündeki Birim Deformasyon Eğrileri [15]	65
Şekil 3.8 152. Gün Birim Deformasyon Eğrileri [15].....	66
Şekil 3.9 163. Gün Birim Deformasyon Eğrileri [15].....	67
Şekil 3.10 169. Gün Birim Deformasyon Eğrileri [15].....	67
Şekil 4.1 İnklinometre Ve Ekstansometre Ölçüm Yerlerinin Arazi Kesiti Üzerinde Gösterimi ...	68
Şekil 4.2 Zemindeki Elemanların Gösterimi	69
Şekil 4.3 Zemin Cinsleri ve Deney şeması	69

Şekil 4.4 Birim Deformasyon Hesaplanmasının Şematik ve Formüsel Olarak Gösterimi [15]	70
Şekil 4.5 Normal ve Kayma Birim Deformasyonları Hesaplama Yönteminin Şematik ve Formüsel Olarak Gösterimi.....	71
Şekil 4.6 Palplanş Duvarın Yerleştirilmesi Sırasında Oluşan Yanal Deformasyonlar.....	72
Şekil 4.7 143. Gündeki Yatay ve Düşey Deformasyonlar	73
Şekil 4.8 152. Gündeki Yatay ve Düşey Deformasyonlar	74
Şekil 4.9 163. Gündeki Yatay ve Düşey Deformasyonlar	75
Şekil 4.10 169. Gündeki Yatayve Düşey Deformasyonlar	76
Şekil 4.11 a) Elemanın Birim Deformasyon Durumu b) Mohr Birim Deformasyon Dairesinde Gösterimi	77
Şekil 4.12 1. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	79
Şekil 4.13 3. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	79
Şekil 4.14 6. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	80
Şekil 4.15 7. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	80
Şekil 4.16 8. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	81
Şekil 4.17 9. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	81
Şekil 4.18 10. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	82
Şekil 4.19 11. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi veBirim Deformasyon İzi	82
Şekil 4.20 11. Elemanın Günlere Göre Deformasyon Şekilleri	83
Şekil 4.21 Tüm Deformasyon Grafikleri.....	84
Şekil 4.22 Elemanlarda Günlere Göre ϕ'_{mob} Açılarının Değişimi.....	85
Şekil 4.23. Elemanların Günlere Göre Yatay Toprak Basıncı Değişimleri	87
Şekil 4.24 Zeminin Geoteknik Karakteri [16]	88

<i>Şekil 4.25 Palplanş Duvarın Yerleştirilmesi Süresince ve Sonrasında İlave Boşluk Suyu Basıncı[15]</i>	<i>89</i>
<i>Şekil 4.26 2.Grup Piezometre Çizgilerinden Elde Dilen Boşluk Suyu Basınçları [16]</i>	<i>89</i>
<i>Şekil 4.27 7. Elemandaki Gerilme Mohr Daireleri.....</i>	<i>92</i>
<i>Şekil 4.28 10. Elemandaki Gerilme Mohr Daireleri.....</i>	<i>92</i>
<i>Şekil A-1 66. Gün Yatay Deformasyon Grafikleri.....</i>	<i>106</i>
<i>Şekil A.2 143. Gün Yatay DeformasyonGrafikleri.....</i>	<i>107</i>
<i>Şekil A.3 152. Gün Yatay DeformasyonGrafikleri.....</i>	<i>108</i>
<i>Şekil A.4 163. Gün Yatay DeformasyonGrafikleri.....</i>	<i>109</i>
<i>Şekil A.5 169. Gün Yatay DeformasyonGrafikleri.....</i>	<i>110</i>
<i>Şekil B.1 Palplanşın Yerleştirilmesi İle İlk Kazı Yapılması Arasındaki Düşey Deformasyon Grafikleri</i>	<i>114</i>
<i>Şekil B.2 İlk Desteğin Yerleştirilmesi İle İnşaatın Son Aşamasına Kadar Olan Kısımdaki Düşey Deformasyon Grafikleri.....</i>	<i>115</i>
<i>Şekil D.1 0-6 m Arasındaki Elemanların Birim Deformasyona Göre Mohr Daireleri.....</i>	<i>123</i>
<i>Şekil D.2 6-12 m Arasındaki Elemanların Birim Deformasyona Göre Mohr Daireleri.....</i>	<i>124</i>
<i>Şekil D.3 12-18 m Arasındaki Elemanların Birim Deformasyona Göre Mohr Daireleri.....</i>	<i>125</i>
<i>Şekil E.1 0-6 m Arasındaki Elemanların Mohr Gerilme Daireleri.....</i>	<i>127</i>
<i>Şekil E.2 6-12 m Arasındaki Elemanların Mohr Gerilme Daireleri.....</i>	<i>128</i>
<i>Şekil E.3 12-18 m Arasındaki Elemanların Mohr Gerilme Daireleri.....</i>	<i>129</i>

TABLO LİSTESİ

<i>Tablo 2.1. Kazı Stabilesini ve Kazının Çevre Yapılara Etkisini İncelemek İçin Yapılan Ölçümler ve Kullanılabilecek Aletler [4].....</i>	<i>28</i>
<i>Tablo 2-2. Ölçüm Aletlerinin Belirleyebildiği Hareket Tipleri [20].</i>	<i>29</i>
<i>Tablo 3.1 Test Bölgesindeki İnşaat Faaliyetleri</i>	<i>64</i>
<i>Tablo 4.1 66. ve 143. Günlerdeki Birim Deformasyon ve Kayma Deformasyonu Değerleri</i>	<i>78</i>
<i>Tablo 4.2 163. Gündeki Ortalama Birim Deformasyon Değişimleri ve Mobilize ϕ Açıları</i>	<i>84</i>
<i>Tablo 4.3 66.gün gerilme değerleri</i>	<i>90</i>
<i>Tablo 4.4 143. güne ait gerilme değerleri</i>	<i>91</i>
<i>Tablo A.1 66. Gün Yatay Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>101</i>
<i>Tablo A.2 143. Gün Yatay Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>102</i>
<i>Tablo A.3 152. Gün Yatay Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>103</i>
<i>Tablo A.4 163. Gün Yatay Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>104</i>
<i>Tablo A.5 169. Gün Yatay Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>105</i>
<i>Tablo B.1 66. Gün Düşey Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>112</i>
<i>Tablo B.2 143. Gün Düşey Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>112</i>
<i>Tablo B.3 152 Gün Düşey Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>113</i>
<i>Tablo B.4 163. Gün Düşey Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>113</i>
<i>Tablo B.5 169 Gün Düşey Deformasyon Değerleri.....</i>	<i>113</i>
<i>Tablo C.1 66. Gün Zemin Parametreleri</i>	<i>117</i>

<i>Tablo C.2 143. Gün Zemin Parametreleri.....</i>	<i>118</i>
<i>Tablo C.3 152. Gün Zemin Parametreleri.....</i>	<i>119</i>
<i>Tablo C.4 163. Gün Zemin Parametreleri.....</i>	<i>120</i>
<i>Tablo C.5 169. Gün Zemin Parametreleri.....</i>	<i>121</i>

SEMBOL LİSTESİ

σ_v	: yatay gerilme
σ_h	: düşey gerilme
$\Delta\sigma_h$	: yatay gerilme değişimi
P_h	: yanal toprak basıncı
P_v	: düşey basınç
K	: yanal toprak basıncı katsayısı
δ	: duvar arkası sürtünme açısı
α	: duvar arka yüzeyinin düşeyle yaptığı açı
β	: duvar arka yüzeyinin yatayla yaptığı açı
P_a	: aktif toprak basıncı
P_p	: pasif toprak basıncı
P_0	: sükünetteki toprak basıncı
c	: kohezyon
ϕ	: zemin sürtünme açısı
γ	: birim hacim ağırlık
K_a	: aktif toprak basıncı katsayısı
K_p	: pasif toprak basıncı katsayısı
K_0	: sükünetteki toprak basıncı katsayısı
H	: istinat duvarı yüksekliği
p	: yayılı yük
m	: azaltma katsayısı
H_1	: En üst sıra ankrajın zemin yüzeyinden olan yüksekliği,
H_{n+1}	: En alt sıra ankrajın kazı tabanından olan yüksekliği,
Th_i	: Yatay ankraj yükleri,
R	: Zemin içinde kalan kazığin taşımaya katkısı,
P	: Yük dağılımında trapezin maksimum ordinatı
γ_a	: eşdeğer birim hacim ağırlık
q_a	: eşdeğer serbest basınç direnci
K_s	: kum için yanal itki katsayısı
ϕ_{mob}	: yenilme anındaki sürtünme açısı
τ	: kayma gerilmesi

σ	: toplam normal gerilme
$\Delta\sigma$	: deviator gerilme
σ_3	: birim şekil değiştirmedeki çevre basıncı
R_ϵ	: deformasyon oranı
R	: yanıl deformasyon katsayısı
ϵ_h	: yanıl deformasyon
ϵ_v	: düşey deformasyon
ϵ_{hv}	: kayma deformasyonu

ÖZET

YATAY DESTEK SİSTEMLERİNDE ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİNİN ALETSEL GÖZLEMLEME VERİLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Zamanımızda büyük şehirlerde ve yoğun yerleşim bölgelerinde yapılar için gerekli arazilerin azalması arazi maliyetlerinin yapı maliyetlerinin fazla üzerinde olmasına neden olmaktadır. Bu durumda inşaat mühendisliği açısından arazilerden maksimum düzeyde faydalanma gereği duyulmuştur. Artan nüfus ve ihtiyaçları karşılayamayan şehir içi ulaşım yolları için alternatif çözümler aranmıştır. Bu ve benzeri sorunların çözüm önerileri olarak büyük kısmı için toprak altında olan veya derin kazı gerektiren yapılara ihtiyaç vardır. Birbirine çok yakın yapıların bulunduğu şehir içi toprak altı yapılarının veya derin temel kazılarının yapılmasının mevcut yapılarda deformasyonlara neden olacağı açıktır. Bu deformasyonları kabul edilebilir düzeyde tutmak veya en aza indirmek için tutunma yapıları, göçme ve kaymaya karşı yapılar imal edilir.

Derin kazı destek sistemlerinin rijitlikleri klasik istinat yapılarına oranla daha azdır. Destek sistemlerinde, bölgesel toprak basıncı yığılması sonucu destekleme sistemlerinin elemanlarında çok büyük yükler oluşmaktadır ve bunun sonucu olarak destek sisteminin toptan göçmesine neden olabilecek ardışık göçme mekanizması meydana gelebilmektedir. Derin kazıların desteklenmesinde bir çok sistem vardır. Bu sistemler zemin türüne ve saha koşullarına bağlı olarak geliştirilmiştir.

Bu çalışmada zemin–yapı etkileşimine bağlı olarak, yatay destek kullanılmış (strut) dar ve derin kazı duvarlarında oluşan deformasyonlar üzerinde durulmuş ve derin kazı ve destek sistemlerinin inşaatı sırasında gözlemlenen zemin deformasyonlarının değişimleri irdelenmiştir. Bu deformasyonlardan hareketle, yatay toprak basıncının, içsel sürtünme açısının ve deformasyon oranının değişimleri incelenmiştir. Mobilize olan içsel sürtünme açılarının ve değişik yükler altında oluşan toprak basıncı katsayılarının değişimleri grafiksel olarak sunulmuştur. Elde edilen veriler kullanılarak

zemin davranışı mohr daireleri ile gösterilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, elde edilen deformasyon değerleri ile mohr birim deformasyon daireleri çizilerek zemin davranışı modellenmiş ve göçme zarfları çizilmiştir. Ayrıca bu birim deformasyonlar yardımı ile yine aynı şekilde mohr gerilme daireleri çizilmiş ve zemin davranışı efektif gerilmelere göre tekrar yorumlanmıştır.

SUMMARY

ANALYSIS OF SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN HORIZONTAL SUPPORT SYSTEMS BY INSTRUMENTAL MEASUREMENT DATA

In densely populated residential areas and metropolitan cities, decrease in the number of available lands for construction results in the substantial increase of land cost over construction cost. Hence, in civil engineering it is a necessity to obtain the maximum utilization of land area. Alternative solutions have been sought for in-city roads, which are insufficient due to continuously increasing population. Underground structures or deep excavation methods are needed to provide solutions for such problems. Due to closely built structures in cities, underground construction or deep foundation excavations may cause deformations on the nearby structures. In order to keep the deformation under acceptable limits or to minimize it, restraining structures are being constructed.

Rigidity of deep excavation support systems is lower when compared to classical earth retaining walls. In support systems, elements undergo substantial loads due to regional soil pressure accumulation and as a result of this, progressive collapse mechanism may occur resulting in the collapse of the whole support system.

Several systems exist to support deep excavations. These systems have been developed according to soil type and field conditions. In this thesis, depending on the soil-structure interaction, deformations on narrow and deep excavation walls utilizing horizontal support are studied and variations of observed soil deformations during construction of such systems are investigated.

1. GİRİŞ

1.1 KONU

Ülkemizde artan nüfus ve buna bağlı olarak yeni yapıların yapılabileceği alanların azalması inşaat yapılacak yerlerin sınırlarını daraltmıştır. Arazinin azalması mevcut talebin fazla olması ile arazi maliyetleri aşırı artmıştır. Bu yüzden mevcut arazilerin en ekonomik şekilde kullanılması zorunluluk arz etmiştir.

Nüfusun yoğun olduğu bölgelerde kullanım alanlarının azalması, mühendisleri bu bölgelerdeki arazilerde yapıların önemli kısımlarının yer altında yapılmasına yöneltmiştir. Büyük iş merkezlerinin otoparkları, mekanik kısımları, depoları vb. yapılar artık toprak seviyelerinin altında tasarlanmaya başlanmıştır. Bunun dışında şehrin trafik sorunlarının çözülmesinde karayolu geçitleri ve yaya geçitleri, yer altı katlı otopark, metro istasyonları vb. yapılar yeraltında yapılmaktadır. Bu yapıların inşaatı için derin kazıların yapılması zorunlu hale gelmiştir.

Derin kazı yapıldığında mevcut zemin dengesi bozulacağı için stabiliteyi sağlamak adına geçici ya da kalıcı destek sistemleri kullanmak gerekmektedir. Derin kazı yapılması planlanan sahanın geoteknik etüdünün yapılarak zemin özelliklerini çok hassas ve detaylı şekilde belirledikten ve komşu yapıların konumlarına bağlı olarak yanıl toprak basınç değerlerini hesapladıktan sonra gerekli iksa yapısının seçimi yapılır.

Derin kazılarda imalat birden fazla aşamada oluşmaktadır. Palplanj, fore kazık vb. imali, hafriyat ve yatay destek veya ankrajların yerleştirilmesi ve öngerilme yapılması bu aşamalardan bazılarıdır. Her aşamada komşu zeminde meydana gelen deformasyonlar ve gerilme durumları farklılaşır. Bazı aşamalar diğerlerine nazaran daha kritiktir.

Temel çukurlarını destekleyen sistemlerin boyutlandırılması şöyle özetlenebilir: Sisteme etkiyen yükler yani toprak basınçları, yanıl toprak basıncı diyagramları yardımıyla

belirlenir. Bu yüklere göre sistem elemanlarına gelecek kesit tesirleri hesaplanır ve elemanlar bu tesirlere göre boyutlandırılır.

Yapılan destekleme sisteminin doğru olarak boyutlandırılması ve inşaat aşamasında denetlenmesi yalnızca kazı güvenliği açısından önemli olmayıp aynı zamanda kazı çevresinde bulunan yapılar açısından da önemlidir.

Sisteme etkiyen toprak basınçları teorik yolla kesin olarak hesaplanamayıp bazı ampirik formül ve diyagramlar yardımıyla belirlenebilmektedir. Başka bir deyişle sisteme etkiyen gerçek yükler hakkında tam bir fikre sahip değiliz. Sisteme etkiyen toprak basınçlarının kesin olarak belirlenememesi yüzünden yapılan tasarımın güvenli olup olmadığı ancak arazide yapılacak ölçümler sayesinde denetlenebilir. Bu ölçümler ya destekleme sistemine gelen gerilmelerin ölçümü yoluyla ya da sistemin deformasyonlarının ölçülmesiyle olur.

Bu çalışmada yatay destekli palplanş bir duvar arkasındaki zeminde oluşan deformasyonların irdelenmesi ile palplanşın inşası süresince oluşan zemin davranış değişiklikleri takip edilmeye çalışılmıştır. Böyle bir analiz çalışmasının yapılabilmesi için detaylı deformasyon ölçümü kayıtlarına ihtiyaç vardır. Bu bağlamda Fino ve diğ. (1989) tarafından yayınlanan yatay destekli palplanş bir duvar için yapılmış arazi ölçüm datasından yararlanılmıştır. Böylece sağlanan kapsamlı yatay ve düşey deformasyon ve ilave boşluk suyu basıncı ölçüm verileri kullanılarak, duvar arkası zeminin zaman içinde çeşitli konstrüksiyon işlemlerine bağlı olarak değişimi modellenmiştir. Çalışmalar deformasyon davranışına bağlı yoruma ulaşmayı esas almıştır. Bunun için iki yol seçilmiştir.

1. Davranışı sadece deformasyonlara göre yorumlamak
2. Deformasyon değerlerini kullanarak elde edilen gerilme değerleri ile davranışı yorumlamak

Her iki yaklaşımla elde edilen sonuçlar birbirini doğrular niteliktedir. Duvar arkasındaki zeminin değişik bölgelerinde davranış değişiklikleri anlamlı bir şekilde tespit

edilebilmiştir. Kayma bölgesine rastlayan zemin elemanlarına ait değerler bu bölgede sınır mukavemete ulaşıldığını göstermektedir.

Yukarıdaki analizlerin yapıldığı tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü takiben 2. bölümde konu ile ilgili literatür taraması aktarılmaktadır. 3. bölümde yapılan analiz çalışmaları için kullanılan veri ve yöntem tanıtılmaktadır. Yapılan analizler ve sonuçları 4. bölümdedir. 5. bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

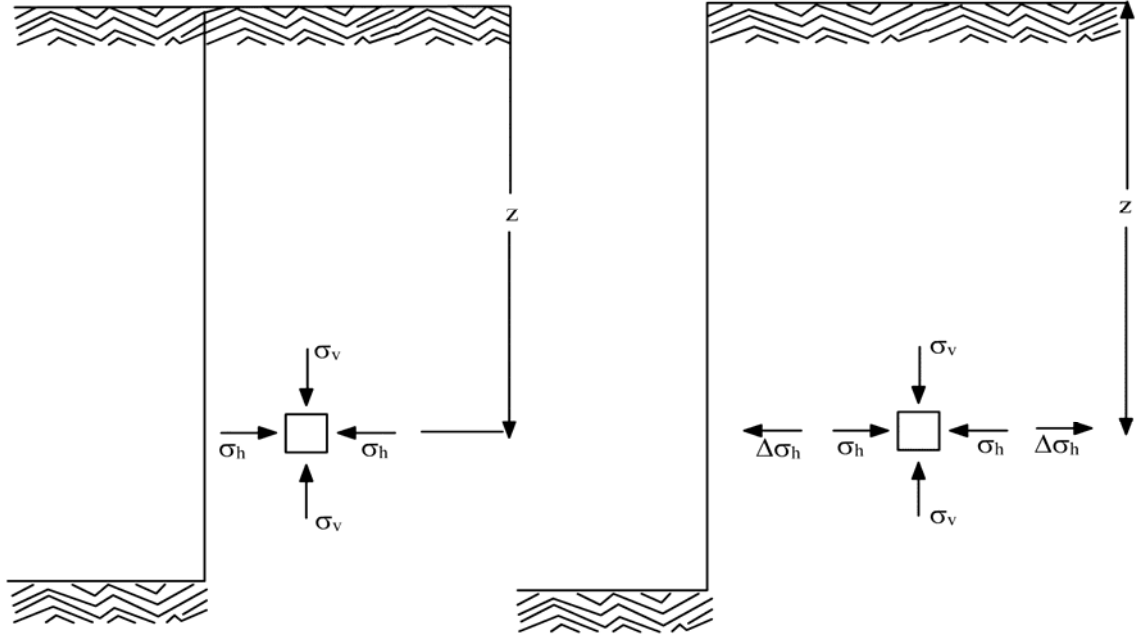
2 GENEL KISIMLAR

2.1 DERİN KAZILAR

Derin kazı denildiğinde kazı derinliğinin 6m'den büyük olduğu düşünülür. Sığ derinliklerde bile (0-5m arasındaki) zemin çoğunlukla homojen dağılımda değildir. Bu derinliklerde zemin suyu seviyesi yıl içerisinde çok değişebilir. Bu sebeplerden ötürü sığ kazılarda yatay basınç dağılımları çok değişkenlik gösterir. Derin kazı yapıldığında mevcut zemin dengesi bozulacağı için stabiliteyi sağlamak adına geçici ya da kalıcı destek sistemleri kullanmak gerekecektir. Derin kazılar yer altı suyu denge durumlarını değiştirir ve böylece mevcut komşu yapıları önemli ölçüde etkiler. Derin kazı yapılması planlanan sahanın geoteknik etüdünün yapılarak zemin özelliklerini çok hassas ve detaylı şekilde belirledikten ve komşu yapıların konumlarına bağlı olarak yanal toprak basınç değerleri hesaplandıktan sonra gerekli iksa yapısının seçimi yapılır.

2.2 DERİN KAZILARIN DESTEKLEME YÖNTEMLERİ

Zeminde açılan bir çukur, kazı bölgesindeki gerilme durumunun değişimine yani gerilme boşalmasına yol açacaktır (Şekil 2.1) [1]. Böyle bir durumda zeminin stabilitesini tekrar sağlamak için yatay destek sistemleri kullanmak gerekecektir. Zemin kaldırıldığında oluşan yatay yöndeki gerilme azalması, zeminin stabilitesini bozacak kadar büyükse oluşan bu gerilme kaybı yapılacak destekleme sistemi tarafından karşılanır. Bununla birlikte yapılacak destekleme sistemi düşey yönde oluşan gerilme kaybını dengeleyemez.



Şekil 2.1 Kazı Yapımıyla Oluşan Gerilme Boşalması [1]

Kazı civarındaki zeminin gerilme değişiminin doğurduğu deformasyonların belirlenmesi, sistemin daha güvenli olarak boyutlandırılması ve çevredeki yapıların zarar görmesini önlemek için önemlidir.

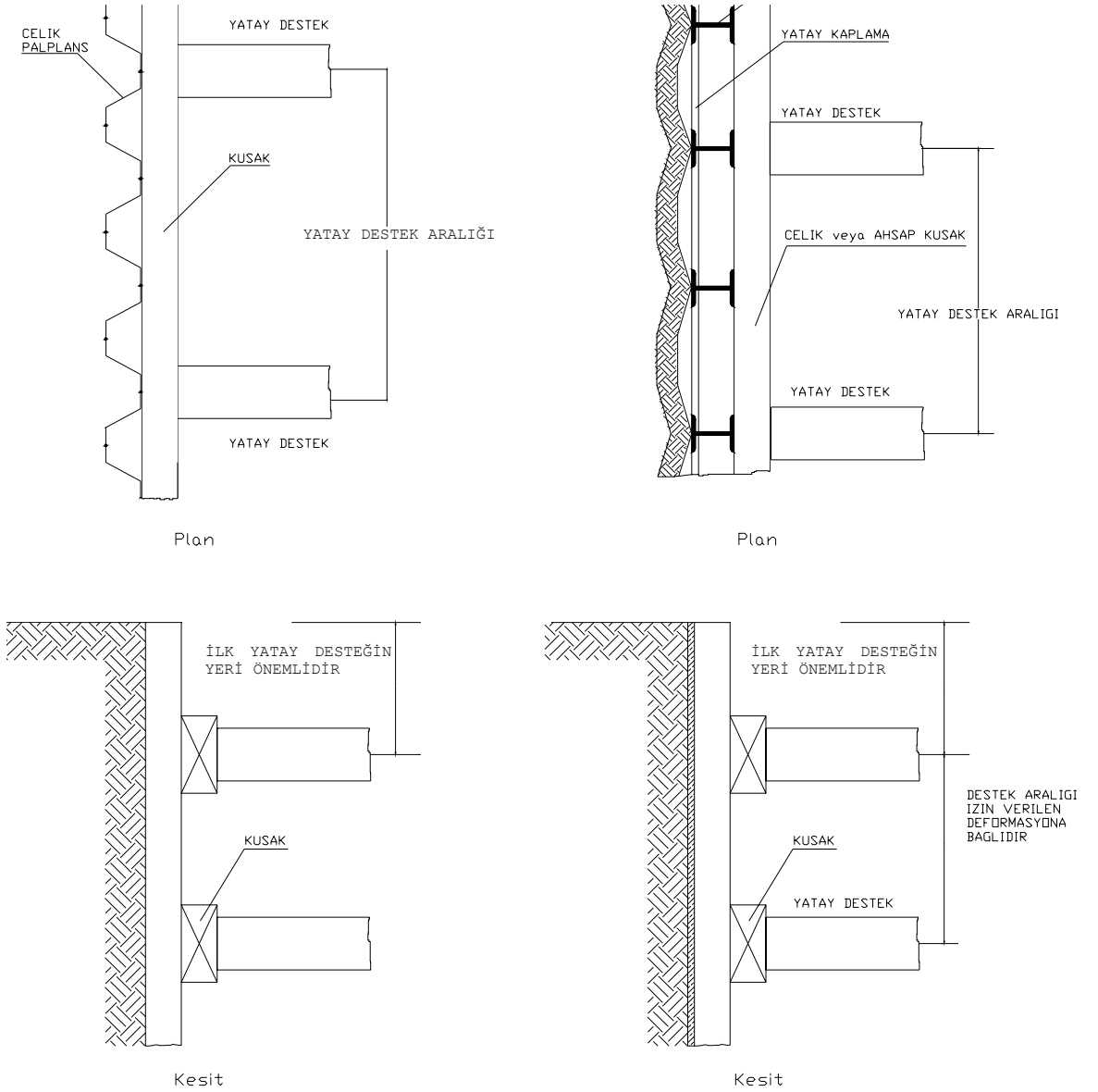
Derin kazıların desteklenmesi için bir çok sistem geliştirilmiştir. Genel olarak derin kazılar iki konu başlığı altında toplanır; birincisi dar ve derin kazılar, ikincisi geniş derin kazılar. Temel olarak iki sistem arasındaki fark geniş derin kazıların açıklığının fazla olması sebebi ile yatay destek kullanılarak desteklenemeyişidir.

2.2.1 Dar ve Derin Kazıların Desteklenmesi

Dar ve Derin Kazıların desteklenmesi Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Kazı yapılmadan önce çelik H veya I profilleri veya palplanşlar zemine çakılmaktadır. Bu düşey elemanların kazı tabanı altındaki penetrasyon boyları kazı derinliği, zemin cinsi ve kayma mukavemeti, yeraltı su seviyesi ve kazı genişliği ile ilgilidir. Kendisini nispeten tutabilen zeminlerde ve yeraltı suyunun kolaylıkla yenildiği durumlarda düşey elemanlar olarak çelik profiller, kendini tutamayan zeminlerde ve yeraltı su seviyesinin yüksek olması durumunda ise, çelik palplanşlar kullanılır. Her iki sistemdeki yatay

destekler ve kuşak kirişleri çelik veya ahşap olabilir.

Bu yöntemlerde, düşey desteklerin zemine çakılması sırasında komşu yapıları etkileyebilecek titreşimler ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle, şehir içerisindeki uygulamalarda vibrasyonun komşu yapılarda meydana getirebileceği olumsuz etkiler araştırılmalıdır [3],[4].



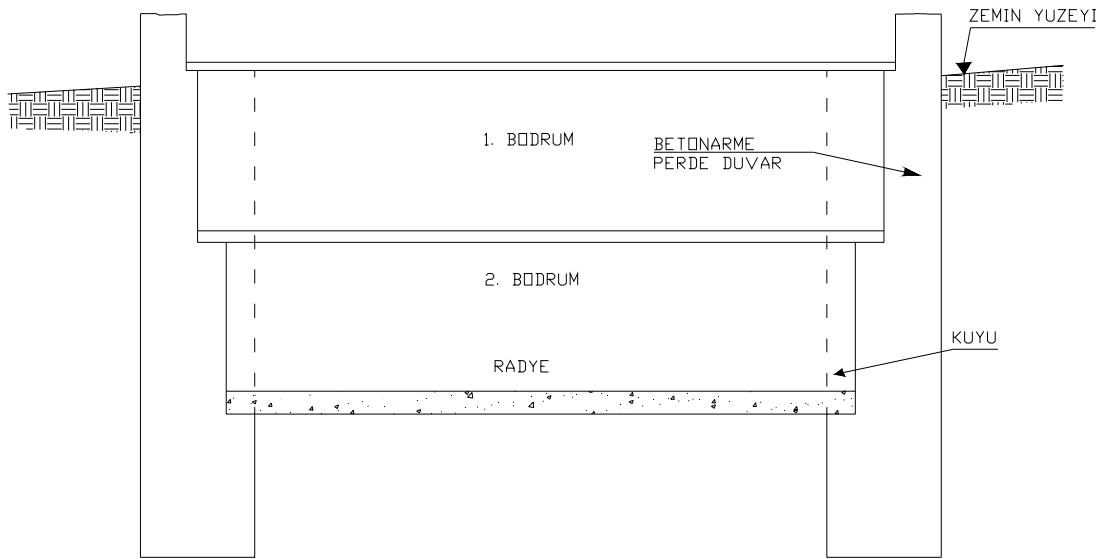
Şekil 2.2. Dar ve Derin Kazıların Desteklenme Sistemleri [4]

2.2.2 Geniş ve Derin Kazıların Desteklenmesi

Bu tip kazıların destek sisteminde açıklığın çok büyük olması sebebi ile farklı mühendislik çözümleri kullanılır.

2.2.2.1 Kuyu Tipi Betonarme Duvarlar

Yeraltı su seviyesinin derinde olması ve zeminin kendisini nispeten tutabilmesi halinde uygulanan bir yöntemdir. Kazı çevresinde çoğunlukla birer ara ile 2.0m x 2.0m, 2.0m x 3.0m veya 1.5m x 3.0m boyutlarında iksalı kuyular açılmaktadır. Konsol çalışan perdelerde kuyu derinliği, kazı tabanının oldukça altına indirilmektedir (Şekil 2.3). Kuyuların kazılmasını takiben, perde donatısı yerleştirilerek beton dökülmektedir. Toprak basıncı dağılışına uygun olarak bodrum katlardaki perde kalınlığı değiştirilebilmekte ve döşemeler perdeye oturtulabilmektedir. Kuyu tipi perdeler, çoğunlukla binanın taşıyıcı perdeleri olarak kullanılmaktadır. Söz konusu yöntem, 1967 yılından beri İstanbul'da, şehir merkezinde, Trakya formasyonu olarak isimlendirilen grovak-kumtaşı-şeyl istifleri içerisinde yapılan derin kazılarda yaygın olarak kullanılmıştır [4]. Malzeme ve işçilik maliyetlerinin artması ve ankraj teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle kuyu tipi betonarme perdeler, giderek yerini ankrajlı betonarme perdeler ve ankrajlı kazıklı perdeler bırakmaktadır.

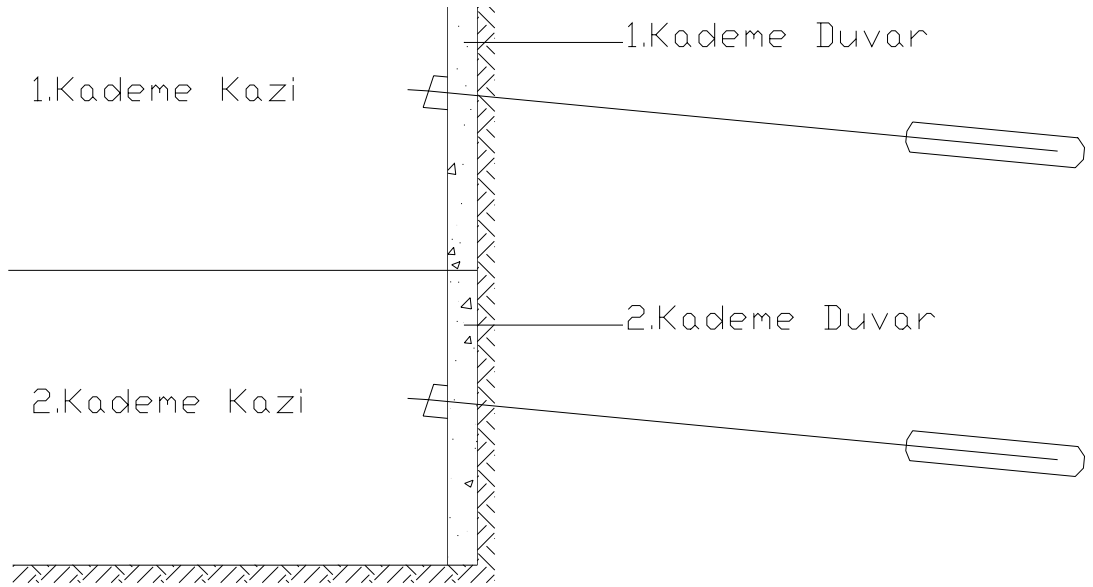


Şekil 2.3 Kuyu Tipi Betonarme Perde Duvar [4]

2.2.2.2 Kademeli Kazı Yüzeylerinin Ankrajlı Betonarme Perdelerle Desteklenmesi

Bu yöntem yeraltı suyunun bulunmadığı ve 3.0 - 4.0m derinlikte kazıldığında, geçici bir süre ile kendini tutabilen zeminlerde uygulanmaktadır.

Ortalama 3.0m derinlikteki birinci kademe kazıyı takiben düşey kazı yüzeyleri önüne kalıp yapılarak, 20-40cm kalınlıkta betonarme perde dökülmektedir. Perdenin prizini yapmasını takiben beton içerisinde önceden bırakılan borular içerisinde ankrāj delikleri açılmakta ve 1.kademe duvar geriye bağlanmaktadır. Bu işlemleri takiben 2. kademe kazı yapılarak devam edilmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Kademeli Kazının Ankrajlı Betonarme Perde Duvarla Desteklenmesi [4]

2.2.2.3 Kazı Yüzeylerinin Zemin Çivisi ile Desteklenmesi

Zemin çivilenmesi, zeminin yerinde mevcut mukavemetini bozmadan ve ondan azami derecede istifade ederek donatı ile teşhiz edilme tekniğidir.

Zemin çivilenmesinde amaç, zemin çivileri olarak adlandırılan donatıların şev yüzeyinden yatayla belli doğrultuda ve belli boyda zemin içerisine yerleştirilmesi ve böylelikle kazı şevi önünde, yerindeki zemin kullanılarak teşhiz edilmiş bir iksa yapısı teşkil edilerek kazı şevinin sağlamlaştırılmasıdır. Zemin çivisi zemin şartlarına bağlı olarak çakılabileceği gibi açılacak bir delik içerisine yerleştirildikten sonra çimento enjeksiyonu yapılması sureti ile de imal edilebilmektedir [5].

Zemin çivileri kalıcı veya geçici olarak kazı iksasında kullanılabilmektedir. Kalıcı sistemle geçici sistem arasındaki başlıca fark, kalıcı sistemde çivi için kullanılan donatının zaman içerisinde korozyona uğramasını önlemek amacı ile ön enjeksiyonla koruyucu bir kılıf içerisine alındıktan sonra deliğin içerisine yerleştirilmesi ve tekrar enjeksiyonlanmasıdır. Böylelikle, çivinin uzun vadeli performansı ve korozyon etkisi ile kapasite kaybına uğramaması sağlanır.

Kazıda zemin çivilenmesinde sistem, kademeler halinde oluşturulan ve kazı şev yüzeyini kaplayan donatılı veya donatısız bir yüzey kaplaması ve yine her kademesinde kazı aynasından belli yatay ara mesafede yerleştirilen donatılardan oluşmaktadır. Yüzey kaplaması, sonuçta oluşturulacak duvar yüzeyinin estetik bir görünüme sahip olması istendiği zaman, dolguda uygulanan donatılı zemin duvarlarda kullanılan prekast beton panellere benzer bir sistem olabileceği gibi, geçici kazı iksasında hasır donatı ile püskürtme betonda kullanılabılır [5].

2.2.2.4 *Diyafram Duvarlar*

Derin kazıların önem kazandığı son yıllarda geoteknik mühendisliğinde geniş bir uygulama alanı bulan yöntemlerin en yaygınlarından biri diyafram duvarlardır. Bu tekniğin temeli zemin içerisinde kazı makineleri ile açılan dar, derin bir hendeğin kazı esnasında beton dökülünceye kadar, özel bir bulamaçla desteklenmesi ve daha sonra beton dökülerek zemin içerisinde parça parça veya diyafram olarak düz bir duvar oluşturulmasına dayanır. Kazı hendeğini bentonit bulamacı ile destekleyerek diyafram duvar oluşturulması ilk olarak 1940'lı yıllarda gerçekleşmiştir. Bu duvarların klasik betonarme duvarlara üstünlüğü kazı miktarının minimum olması ve diğer bir deyişle, duvar genişliği kadar bir genişliğe sahip olmasıdır. Bu özelliği sayesinde diyafram duvar tekniği ile kazı alanına bitişik binalar bulunması halinde de inşaatı mümkün olmaktadır. Diyafram duvarlar kazı hendeğinin desteklenmesi ya da hem bu amaç için hem de inşa edilecek yapının birer taşıyıcı elemanı olarak tasarlanabilirler [4].

2.2.2.5 *Palplanş Perdeler*

Bir zemin kütlelerini tutmak amacıyla teker teker bir dizi halinde zemin içerisine çakılan elemanlar ile oluşturulan düşey sürekli duvarlar “Palplanş duvarlar” olarak adlandırılır. Palplanş duvarlar zeminden gelen yatay yüklerin büyük bir kısmını, düşey yüklerin ise çok az bir kısmını tutabildiklerinden statik sistem olarak düşey yönde oturtulmuş bir kiriş olarak düşünülebilirler. Kesit olarak uzunlukları genişliklerine oranla çok fazla olduğundan narin yapı elemanlarıdır. Genel olarak, su tutma yapılarının inşaatında diğer duvarların yapımı esnasında suyu inşaat sahasından uzak tutmak için veya hafif yapılarda üst zemin tabaka veya tabakaların istinat yapısını desteklemeye yetersiz kaldığında kullanılırlar. Bu genel uygulama alanlarını da içeren palplanş duvarlar pratikte dalgakıranlarda, deniz içinde inşa edilen duvarlarda, derin kazı duvar kaplamalarında kullanılırlar. Bu yöntemin uygulanması halinde kazı tabanının stabilitesi mutlaka irdelenmelidir [3].

Bununla beraber palplanş duvarlar;

Yüksek bükülebilirlik dayanımı isteyen çok yüksek duvarlarda, zemin özellikleri yüzünden (sert kaya veya zeminin büyük kaya blokları içermesi) çakma zorlukları olan bölgelerde kullanışlı değildirler.

Palplanş duvarlar yapısal açıdan;

- Ankastre (gömme),
- Ankrajlı,
- Destekli

olarak inşa edilebilirler. En büyük özellikleri zemin problemlerine çabuk çözümler getirmeleridir.

Palplanş elemanlar genel olarak 3 tipte imal edilirler. Bunlar;

- ◆ Ahşap palplanşlar,
- ◆ Betonarme palplanşlar,
- ◆ Çelik palplanşlardır.

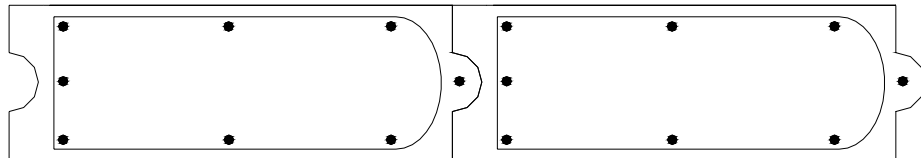
Ahşap Palplanşlar:

Ahşaptan oluşan bu elemanlar zaman içerisinde zemin şartlarından büyük hasarlar görebildiklerinden sadece geçici amaçlar için kullanılırlar. Tekli veya çiftli olarak kullanılabilen ahşap palplanşların Wakefield denilen üçlü tipleri de vardır. Tekli tipleri duvarın bütünlüğünü sağlamak amacıyla geçmeli olarak da imal edilebilirler. Ahşap palplanşlar çakma esnasında uç kısımlarının korunması amacıyla uçlarına çarık takılarak kullanılırlar. Genel olarak yükseklikleri maksimum 5m civarındadır. Genişlikleri ise 2m yüksekliğe kadar 8cm olup bundan sonraki her yükseklik için genişliğe 1cm ilave edilerek hesaplanabilirler [3].

Betonarme Palplanşlar:

Betonarme palplanşlar servis yüksekliklerine karşı dayanabilecek şekilde istenilen kesit ve boyda imal edilebilirler. Ağır ve büyük hacimlidirler. Bu sebeple taşınmaları ve çakılmaları sırasında problemlere yol açabilirler. Kısa boylu kısa palplanşlar tepesinden üçte birlik mesafeden bağlanarak taşınabilirler. Uzun palplanşları taşımak için üzerlerine 2 ya da daha fazla taşıma noktası tertiplenmelidir. Kullanım amaçları dolayısıyla eğilme gerilmelerini taşımak üzere donatılı olarak tertiplenirler.

Ayrıca taşıma ve çekme esnasında ilave yükselmelere karşı koymak için ilave donatılar yerleştirilmelidir. Çakma tesirlerine karşı koymak için alt ve üst uçlarına donatı sıkıştırılması da yapılır (Şekil 2.5). Su sızdırmazlığı istenen yerlerde birleşim yerleri su geçirmeyecek şekilde tertiplenir. Ayrıca çakma esnasında birbirlerine yanaşmalarını sağlamak amacıyla uçları eğimli olarak tertiplenir. Hacimlerinin büyük olması nedeniyle çakıldıklarında oluşturacakları büyük yer değiştirmeler sonucu çakılmaları zordur. Büyük rijitliğe sahip olduklarından eğilme momentinin büyük olduğu yerlerde diğer tiplere tercih edilirler [4].

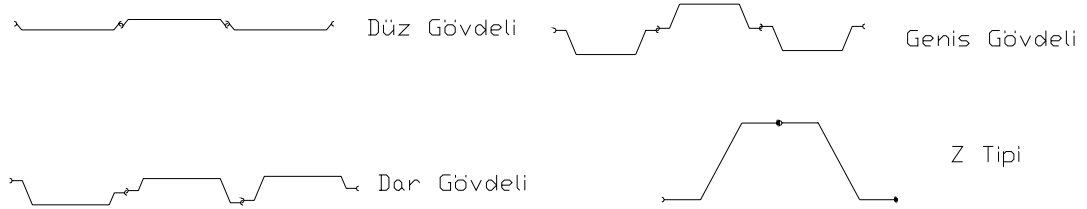


Şekil 2.5 Betonarme Palplanş [4]

Çelik Palplanşlar:

Çelik palplanşlar dökme demirden birbirine geçmeli olarak imal edilirler. Kesit şekilleri çok değişken olan çelik palplanşların en çok kullanılan tipleri Şekil 2.6’da verilmiştir. Bütün çelik palplanşlar zemine genellikle çakılarak yerleştirilir. Köşe elemanları ve derzler Y ya da T tipi olup perçin veya kaynakla birleştirilir. Düz gövdeli palplanşlar çekme gerilmesi taşıyan, geçme yerlerinin dayanımının yüksek olmasının istendiği

yerlerde özellikle hücreli batardolarda, kemerli palplanşlar büyük eğilme ve konsol yükü taşıyan yerlerde, Z tipi palplanşlar ise büyük bükülme dayanımı gerektiren yerlerde kullanılırlar [3]



Şekil 2.6 Çelik Palplanşlardan Bazıları [3]

2.3 DERİN KAZILARIN YAPILMASINDA KARŞILAŞILAN PROBLEMLER

Farklı yapılarda, farklı zemin özelliklerinde derin kazıların yapılabilmesi sonucu inşaat mühendisliğinde birçok problem çözülebilmiştir. Bunun yanında derin kazılar sağladıkları bu yararlarla birlikte çözülmesi gereken problemleri de beraberlerinde getirirler. Derin kazıların yapılmasında karşılaşılan problemler şöyle sıralanabilir;

- Zemindeki yerdeğiştirmeler,
- Stabilité problemleri,
- Yeraltı suyu,
- Taban kabarması,
- Komşu yapılar ve bunların emniyeti,
- Mevcut yeraltı sistemleri,
- Çakmalı sistemlerde vibrasyon problemi.

2.3.1 Zemindeki Yerdeğiştirmeler

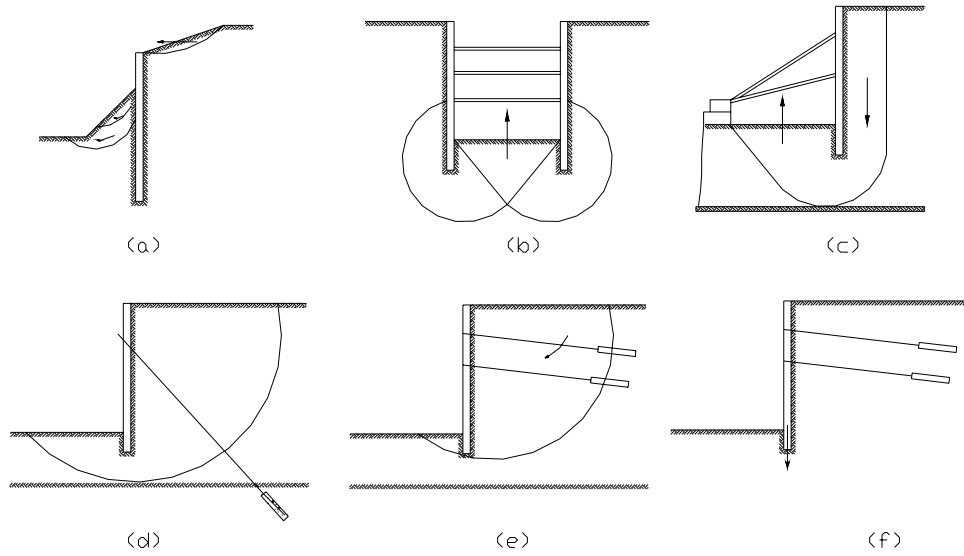
Tasarlanan destek sistemi ne kadar iyi olursa olsun, derin bir kazı etrafındaki şevler destek sisteminin çukura doğru bir miktar deformasyon yapmasına neden olur. Bu deformasyonları kontrol eden en önemli parametre zemin özellikleri ve imalat aşamalarıdır. Ayrıca bu deformasyonlar; kazı derinliğine, kazı hızına ve kazının açık

kalma süresine bağlıdır.

2.3.2 Stabilite Problemleri

Derin kazılarda karşılaşılabilen başlıca stabilite problemleri şöyle sıralanabilir

- Destek sisteminin önünde veya arkasındaki şevin kayması (Şekil 2. 7. a),
- Taban kabarması (Şekil 2. 7. b),
- Sistemin kayma düzlemi üzerinde toptan göçmesi. (Şekil 2.7.c-d-e),
- Düşey oturmalar (Şekil 2. 7. f).



Şekil 2.7 Stabilite problemleri[6]

2.3.3 Yer Altı Suyu

Derin kazı yapılacak bölgelerde yeraltı suyu bulunması durumunda, bu su hem destek sisteminin stabilitesine etkimekte, hem çalışma alanından uzaklaştırılması sorun olmaktadır. Aynı zamanda oluşturulacak destek sistemi suyu tutmak amacıyla geçirimsiz inşaa edilebilmektedir. İleride inşaa edilecek ana yapının da bu sudan zarar görmemesi için önlemler kazı safhasında alınmalıdır.

Yeraltı suyunun etkilerine göre önlem alabilmek için, suyun seviyesi, özellikleri (organik maddeler, tuz v.s. içerip içermediği), debisi, zaman içerisindeki seviye değişimi yapılacak ön araştırmalarla belirlenmeli, kazı çalışmaları bu araştırmalardan elde edilecek sonuçlara göre yönlendirilmelidir [6].

2.3.4 Taban Kabarması

Kazı aşamasında kazma işi adım adım ilerlerken, taban zemini üzerindeki yük azalması nedeniyle destekleme sisteminden bağımsız olarak çukur tabanında kayma gerilmeleri artacaktır. Kaplama ve desteklerin yeteri kadar sağlam olduğu varsayımında, çukur tabanı altında ve civarındaki kayma gerilmeleri ile zeminin kayma direnci arasındaki oran çukur derinliği üzerinde karar verdirici ana unsur olmaktadır. Belli bir çukur derinliği için kayma gerilmeleri ile zeminin kayma direnci birbirlerine eşit olacaktır. Kazıya devam edilirse kayma göçmesi oluşur ve çukur tabanı yukarıya doğru yükselir.

Uygulamada bu problemle karşılaşmamak için ön etüdler sonucu elde edilen zemin özelliklerine göre taban kabarması oluşturmayacak maksimum kazı derinliği belirlenmeli ve bu kazı derinliği ile karşılaştırılmalıdır. Eğer kazı derinliği fazla ise ve muhtemelen taban kabarcaksa tavsiye edilebilecek bir çözüm, destek sisteminin daha derine kadar yapılması olabilir [6].

2.3.5 Komşu Yapılar

Derin kazı yapılacak bir alanda araştırılması gereken diğer önemli bir konu da komşu yapıların durumudur. Eğer varsa ön araştırma olarak komşu yapıların temel derinliği ve tipi belirlenmeli, yapılacak derin kazı bu yapılara zarar vermeyecek ve emniyetlerini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Gerekliyse bu yapıları korumaya almak amacıyla geçici veya sürekli önlemler alınmalıdır [6].

2.3.6 Mevcut Yeraltı Sistemleri

Özellikle şehir içerisinde yapılan derin kazılarda, kazı yapılacak alandaki su, kanalizasyon, elektrik gibi yeraltı sistemlerinin yerleri belirlenmeli, bunlar vaziyet planı üzerine detaylarıyla islenip gerekliyse zarar vermeyecek önlemler alınmalıdır.

2.3.7 Vibrasyon Problemi

Destekleme sistemi elemanlarının çakılarak zemine yerleştirildiği yöntemlerde ve iş makinalarının komşu yapı veya yollara yakın çalıştığı durumlarda, bu işlemler sırasındaki vibrasyonun civar yapılardaki etkisi göz önüne alınmalıdır[6] .

2.3.8 Zemin Araştırmaları

Bu problemlerden görüldüğü gibi derin bir kazı programının başarıya ulaşması için detaylı bir geoteknik araştırma, uygun ve güvenli bir destekleme sistemi seçilmesi, işin mümkün olan en kısa sürede bitirilmesi gerekmektedir. Destekleme sisteminin seçilmesinden önce yapılması gereken araştırmalar aşağıda açıklanmıştır.

Kazı sahasında detaylı bir geoteknik araştırma yapılmalıdır. Yapılacak sondajlar uygun aralıkta seçilmeli ve kazı seviyesinin yeteri kadar altına inmelidir. Sondaj sonuçlarına göre kazı sahasının profillerini aksonometrik tarzda gösteren bir panel diyagram hazırlanmalıdır.

Ankrajlı destekleme sistemi uygulanması halinde ankraj köklerinin gelmesinin muhtemel olduğu bölgelerde eğer komşu yapılar mevcutsa eğimli, değilse düşey sondajlar yapılarak zemin profili ve özellikleri belirlenmelidir.

Kazı yapılacak alandaki zeminin özelliklerine ait daha önceden derlenmiş bilgiler mevcut değilse sondaj aralıklarının 20m'den fazla olmaması tavsiye edilmektedir. Zemin profilinde rastlanan tabakalara ait geoteknik parametreler arazi ve laboratuvar deneyleri ile belirlenmeli, eğer mümkünse ankraj köklerinin tespit edileceği yerlerde sürekli örselenmemiş numuneler alınmalıdır. Zemin kaya ise karot çapı 55mm'den küçük olmamalı, maksimum TCR ve RQD değerleri verecek cinsten karotiyer seçilmelidir.

- Kazı alanında varsa yeraltı suyunun seviyesi ve özellikleri, betona zararlı maddeler içerip içermediği araştırılmalı, inşaa süresince su pompajla çekilecekse debisi ve su taşıyan tabakalardaki basınçları belirlenmelidir.

-Komşu yapıların taşıyıcı sistemleri, yaşları, temel derinlikleri, komşu yapılarda müsaade edilen oturmalar bu yapıların projeleri incelenerek ve yerinde yapılan tespitlerle belirlenmelidir. Ayrıca içme suyu, havagazı, elektrik, telefon ve kanalizasyon gibi şehir şebekelerinin yerleri ve derinlikleri tespit edilerek vaziyet planına işlenmelidir.

- Temel çukurunun boyutlarına ve uygulanacak inşaat hızına bağlı olarak kazı çukurunun açık kalacağı zaman ve mevsimler tahmin edilmelidir,

- Destekleme sistemleri geçici ve sürekli maksatlarla tasarlanabilir. Geçici maksatlı olanlar sadece kazı ve temel inşaatı süresince kazı duvarlarından gelecek basınçları karşılamak, sürekli olanlar ise yapının bir bölümünü oluşturmak üzere tasarlanırlar. 2 yıldan az süre yük taşıyacak sistemler geçici maksatlı kabul edilirler.

- Destekleme sistemine gelecek toprak basınçları, su basıncı, komşu yapılardan aktarılan yükler hesaplanmalıdır. Bu yükler altında sisteme etkiyecek kesit tesirleri ile meydana gelebilecek yatay deformasyonlar ve dönmeler hesaplanmalıdır.

Destekleme sistemine ait elemanların seçiminde şu hususlar dikkate alınmalıdır:

a) Destekleme elemanları burulmaya ve aşırı deformasyona uğramadan toprak basıncı, su basıncı ve sürşarj etkilerini güvenle taşımalıdır.

b) Yatay destekler mümkün olduğu kadar seyrek konularak inşaat makinalarının temel çukuru içinde rahat çalışabilmesi sağlanmalıdır. Ankrajlı bir destekleme sistemi seçilmesi halinde yüksek kapasiteli seyrek ankraj yerine, düşük kapasiteli sık ankraj kullanılması yoluna gidilmelidir.

c) Zemin yüzeyinde oturmalar istenmiyorsa destekleme sistemi ankrajlarla geriye bağlanmalı ve ankrajlara öngerme uygulanmalıdır.

d) Esas yapıya ait radye temeli ve bodrum katları yatay destek olarak kullanmanın mümkün olup olmadığı araştırılmalıdır.

2.4 DESTEKLENMİŞ DERİN KAZILARDA ÖLÇÜM YAPILMASI

Geoteknik mühendisliğinde ölçüm, bir geoteknik probleminde değerlendirilmesi gereken çok ve nitelikli bilgiyi elde etmede kullanılan aletler ve ölçüm teknolojisi ile ilgili etkinliklerin tümü olarak tanımlanabilir. Bunun için teknik ustalık, bilgi ve deneyim gerekir. Herhangi bir temel mühendisliği yapısında ölçüm yapımının amaçları şu şekilde sıralanabilir:

a- Ölçümlerin en çok uygulandığı durumlardan bir tanesi yapının ve çevresinin güvenlikte olup olmadığının denetlenmesidir. Bunun için ölçülen değişkenlerin kritik değerleri önceden belirlenir. Eğer ölçüm sırasında bu değerlere ulaşırsa, gerekli uyarılar yapılır ve önlemler alınır.

b- Arazinin inşaat başlamadan önceki durumunu belirlemek için ölçüm yapılır. Böylece tasarım sırasında kullanılacak bazı parametreler belirlenmiş olur.

c- Arazinin topoğrafyasının ve çevredeki hasar görme olasılığı olan yapıların durumlarını belirlemek amacıyla yapılabilir Böylece kazıdan sorumlu kişilerin elinde, ileride çevredeki yapı sahipleriyle doğabilecek anlaşmazlıklara karşı delil bulunacaktır.

d- Teorik yolla servis yükleri tam olarak belirlenemeyen ankraj ve kazık gibi elemanların taşıma güçleri; ankraj çekme veya kazık yükleme deneyleri ile belirlenir veya kontrol edilir.

e- Yapımı sürmekte olan bir yapıda ölçüm yapmanın temel ilkesi güvenilirliktir. Bu da aletlerin basitliği ile orantılıdır.

Ölçüm yapmak için gerekli olan hazırlıklar şu şekilde sıralanabilir.

- 1) Aletlerin yerleştirilecekleri bölgelerin belirlenmesi,
- 2) Ölçülen veriyi etkileyebilecek faktörlerin tahmin edilmesi ve ölçüm sırasında bunlarla ilgili kayıtların tutulması,
- 3) Okumaların doğruluğunu kontrol edebilecek düzeneklerin kurulması; örneğin çok

basit yöntemlerle ikinci bir ölçüm yapmak,

4) Ölçüm aletlerinin her birinin kullanım amaçlarının belirlenmesi; eğer herhangi bir aletin kullanımı için yeterli bir neden gösterilemiyorsa o alet ölçüm sisteminden çıkartılmalıdır,

5) Gider bütçesinin hazırlanması,

6) Aletlerin elde edilmesiyle ilgili sözleşmenin yazılması,

7) Aletlerin yerleştirilme planının hazırlanması,

8) Kalibrasyonun düzenli olarak yapılabilmesi ve sürekliliğin sağlanması için gerekli planların yapılması,

9) Veri toplanışının, işlenişinin, sunumunun ve yorumunun planlanması,

10) Arazi ölçümü için gerekli tüm işlemleri kapsayan bir anlaşmanın yazılması,

11) Gider bütçesinin güncelleştirilmesidir.

Eğer daha önceden benzer ölçüm düzenekleri planlanmışsa, yukarıda belirtilen adımlardan bazıları atlanabilir. Ölçüm düzeneğinin kurulması konusunda belirtilmesi gereken önemli noktalardan birisi bütçe hazırlanırken minimum maliyet ilkesinin kesinlikle gözetilmemesidir. Böyle bir ilke ölçülecek sistemin davranışını belirlemek için gerekli alet sayısından daha az aletin kullanımını veya gerekli prezisyonu sağlamayan aletlerin seçimini doğuracaktır. Bu ise en kötü sonucu, yanlış bilgi edinilmesi sonucunu doğuracak ve belki de önlem alınması gereken bir durumun, "güvenli" olarak yorumlanmasına yol açacaktır. Ölçüm düzeneğinin kurulması için gerekli bütçenin belirlenmesindeki temel ilke güvenilir bir düzenin optimum fiyatla kurulması olmalıdır.

2.4.1 Desteklenmiş Derin Kazılarda Ölçüm Yapmanın Temel Nedenleri

Derin kazı destekleme sistemlerinin tasarımı ve yapımı, ampirik bağıntı ve diyagramlar yardımıyla elde edilen deneyimler göz önünde bulundurularak yapılır. Bu tip yapılarda tasarım sırasında güvenlik katsayısı büyük tutulmadıkça bazı elemanların veya sistemin göçme olasılığı göreceli olarak daha fazladır. Bu gibi yapıların çoğunlukla şehir içinde yapıldığı gözönüne alındığında, herhangi bir çökme veya göçme durumunda oluşacak maddi ve manevi zararların boyutları daha kolay kavranır. Yukarıda anlatılanlar birlikte değerlendirildiğinde desteklenmiş derin kazılarda ölçüm yapmanın gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte arazi ve destekleme sisteminin yapımı hakkında yeterli

deneyim elde edilmişse tasarım güvenlik katsayısı yüksek seçilerek yapılmışsa veya oluşacak arızalar önemli sonuçlar doğurmayacaksa (örneğin kazı çevresinde aşırı hareketten etkilenecek yapılar yoksa) ölçüm yapmaya gerek duyulmayabilir.

Desteklenmiş derin kazılarda yapılacak ölçümler aşağıda belirtilen işlevlerden bir veya birkaçını yerine getirebilmektedir.

- 1) Kazının stabilitesini değerlendirmek ve inşaatın güvenlik içinde yürütülüp yürütülmediğini denetlemek.
- 2) Kazıdan ötürü çevre zeminde oluşan değişikliklerin (oturma, kabarma veya yatay hareket gibi değişiklikler) komşu yapılara, kanalizasyon veya telefon şebekesi gibi yeraltı yapılarına zarar verip vermediğini belirlemek.
- 3) Yapılan ölçümlerden elde edilen bilgileri değerlendirerek inşaatın kalan bölümlerini daha güvenli veya daha ekonomik olarak tamamlamak, buna gözlemsel yöntem adı verilmektedir.
- 4) Daha sonra yapılacak olan destekleme sistemlerinin hem daha güvenli hem daha ekonomik olarak yapılmasını sağlamak için bilgi toplamaktır.

Bir derin kazı destekleme sisteminin yapımında ortaya çıkan temel problemler ve bunların gözlenmesinde kullanılabilecek ölçüm sistemleri DiBiagio ve Myrvoll (1981) tarafından aşağıdaki gibi açıklanmıştır:

- 1) Taban göçmesine karşı güvenlik katsayısı düşük olabilir. Bunun için ölçüm düzeneği, taban kabarmasının gözlenmesine izin verecek şekilde kurulmalıdır. Kazı seviyesi kritik derinliklere (örneğin bir sıra ankraj gerildikten sonra bir sonraki ankraj düzeyine kadar kazının yapıldığı ancak bu sıradaki ankrajların gerilmediği durum) ulaştıkça, oturma ve kabarmalar gözlenmelidir. Özellikle oturma ve kabarmaların hızları denetlenmelidir. Düşey destekleme sisteminin alt bölümündeki yatay hareketlerin hızı, kazıdaki stabilite bozukluğunun incelenmesinde önemli bir parametredir.

Oluşan kabarmaları ölçmek için, kazı tabanına yerleştirilen kabarma ölçen geyçler

kullanılmaktadır. Bunların en çok kullanılanları mekanik kabarma ölçen geyçler, manyetik/çubuk anahtarlı ölçerler ve çubuk uzama ölçerlerdir. Yatay hareketlerin ölçümü, destekleme sistemi boyunca kaplamalı kuyulara yerleştirilen inklinometre aracılığıyla yapılır [7].

2) Yatay desteklerin (veya ankrajların) aşırı yüklenme tehlikesi vardır. Bunun yol açabileceği zararları ortadan kaldırmak için pratik ve ekonomik koşulların izin verdiği ölçüde çok yatay desteğin (veya ankrajın) yükü gözlenmelidir. Destek yüklerinin izin verilebilir sınırları aşması olasılığına karşı, zaman kaybetmeden yenilerini yerleştirmek için yedek destekler hazır bulundurulmalıdır.

Yatay desteklerdeki yükü ölçmek için genellikle yüzeye yapıştırılan titreşimli şekil değıştiren ölçerler tercih edilir. Bazen de ikincil ölçümleri yapmak için mekanik şekil değıştirme ölçerler kullanılır. Bu uygulama için, yük hücrelerinin kullanımı tercih edilmez. Çünkü yük hücresinin yerleştirilmesi, yatay desteğin yerleştirilme yönteminin değıştirilmesine yol açar ki, bu da yatay destekteki yükleme durumunun değışmesine neden olur. Ayrıca şekil değıştiren ölçerler ve kalibre edilmiş hidrolik krikonun birlikte kullanımı da yük ölçümünde kullanılabilir. Ancak ölçümün doğruluğu, kalibrasyon yapılma sıklığına bağlıdır [7].

Kamalamadan sonra ankrajda oluşan yük, çekme deneyi ile belirlenir. Eğer farklı zamanlarda birçok deney yapılacaksa, bir yük hücresinin yerleştirilmesi daha ekonomik olacaktır. Ayrıca ankraj kafasında bir çubuğun geçebileceği kadar boşluk varsa ve ankraj kafasına ulaşım olanağı kesilmeyecekse kullanımı ekonomik bir çözümdür. Eğer ankraj donatısı ikazlı yük hücresi (telltale load cell) olarak çubuk kullanılmışsa, yüzeye yapıştırılan veya daha iyisi titreşen telli şekil değıştirme ölçerler, yük hücrelerine seçenek oluştururlar [7].

3) Yeraltı su düzeyinin izin verilebilir değerden daha fazla azalması, geniş bir alanda ciddi konsolidasyon oturmalarına yol açabilir. Bu soruna karşı alınacak temel önlem boşluk suyu basınçlarının ölçülmesidir. Eğer ölçüm bütçesi yeterliyse, destekleme sisteminin arkasında gerekli sayıdaki düşey kesitte boşluk suyu basınçları ölçülmeli ve bununla birlikte kazı yüzeyi ile bundan belli bir uzaklık içinde, yeraltı su düzeyi

gözlenmelidir.

4) Destekleme sistemine etkiyen toplam yük ve bunun dağılımı belirsizdir. Bileşke kuvvetin etkime noktasını belirleyebilmek için, ya düşey kesitlerde yeterli sayıda yatay destek yükleri ölçülmeli, ya da her yatay destek sırası seviyesinde, perdeden kuşak kirişlerine aktarılan kuvvetler ölçülmelidir. Ek olarak, perdenin her iki tarafı toprak basıncı ve boşluk suyu basıncının şiddeti ve dağılımını belirleyecek şekilde aletlendirilmelidir. Herhangi bir yapıda sistemin kontrolü amacıyla yukarıda anlatılan biçimde bir aletlendirme yapılamaz. Bu tür bir aletlendirme genellikle bilimsel amaçlıdır.

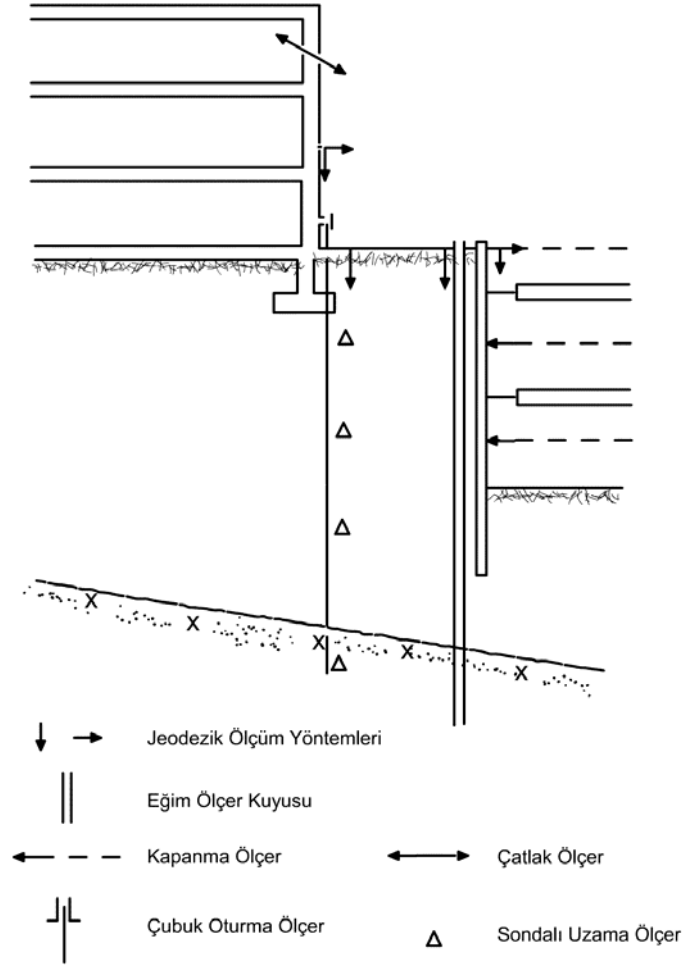
Yukarıda belirtilen amaç için yapılacak ölçümde yatay destekler ve ankrajlara gelen yükleri belirlemek için, 2. madde'de belirtilen aletler kullanılabilir. Perdeye ve kuşak kirişlerine gelen yüklerin şekil değiştirme ölçerler veya toprak basıncı ölçerlerle ölçülmesi genellikle iyi sonuç vermemektedir. Bunun nedeni perde ve kuşak kirişlerdeki gerilmelerin noktadan noktaya önemli oranda değişmesidir [7].

5) Taban kabarması ve destekleme sisteminin şekil değiştirmesi sonucu oluşan zemin hareketleri civardaki binalara veya yeraltı yapılarına zarar verebilir. Bunun için zemin yüzeyine ve civardaki yapılara referans noktaları yerleştirilmelidir. Önemli yeraltı yapılarının çevresine, bu derinliklerdeki oturmaları gözleyebilmek için de derin referans noktaları yerleştirilmelidir. Eğer çevredeki binaların veya yeraltı yapılarının zarar görme olasılığı varsa, destekleme sisteminde yeterli sayıda kesitte yatay hareket ölçümü yapılmalıdır. Böyle bir problemle karşılaşıldığında inşaatın dikkatle denetlendiğini gösteren bir ölçüm programı uygulanması, bina sahiplerini endişeden kurtarmada ve projenin yasal onay almasını ve kamu tarafından kabul görmesini kolaylaştırmada önemli bir araç olacaktır.

Yakın çevredeki binalarda var olan çatlakların çatlak ölçerler (crack gage) yardımıyla ölçülmesi, kazının ek zararlara yol açıp açmadığı konusunda önemli bilgi sağlayacaktır.

Yatay hareketler yalnızca taban kabarması veya düşey destekleme sisteminin hareketinden kaynaklanmaz. Yeraltı suyunun izin verilebilir değerden fazla indirilmesi

ve yatay desteklerin (ankrajların) aşırı yüklenmesi de yatay hareketlere yol açar. Eğer ölçüm programı yalnızca zemin yüzeyi ve yeraltı yapıları çevresindeki noktaların hareketlerinin gözlenmesini içeriyorsa ve önlem alınmasını gerektirecek büyüklükte hareketler oluşursa, sorunun nedenini belirleyip ekonomik bir çözüm getirmek için gerekli veri olmayacaktır. Bu yüzden stabilitelerin denetleneceği ve aşırı hareketlerin gözleneceği ölçüm düzenekleri, oluşan hareketlerin nedenlerini gösterecek aletlerle donatılmalıdır. Bu işlem için en uygun aletler inklinometrelerdir. İnklinometre kullanımında önem verilmesi gereken nokta, eğim ölçerin kuyu tabanının hareket etmediği kanıtlanmış derinliğe kadar indirilmesidir. Genellikle inklinometrelerle birlikte, karşılıklı kazı yüzeyleri arasındaki mesafeyi ölçen kapanma (yaklaşım) ölçerlerin birlikte kullanıldığı belirtilmiştir. Eğer yatay yükü taşımak için ankraj kullanılıyorsa, inklinometre yerine sabit çubuklu ekstansometre kullanılabilir. Oldukça ucuz ve güvenilir bir şekilde yatay hareket ölçmenin bir yolu da şakül kullanmaktır. Zemin içindeki noktaların oturmalarını ölçmek için sondalı ekstansometreler veya sabit çubuklu ekstansometreler kullanılabilir. Bunların kullanımıyla oluşan hareketlerin nedenleri hakkında da veri toplanmış olur. Bir derin kazıda oluşan hareketlerin ve bunun komşu yapıdaki etkilerini gözlemek için kurulabilecek ölçüm düzeneklerinden biri Şekil 2.8'de gösterilmiştir. Bir derin kazının stabilizesini ve çevre yapılara etkisini göstermek için yapılabilecek ölçümleri ve ölçüm aletleri Tablo 2.1' deki gibi özetlenmiştir [7].



Şekil 2.8 Desteklenmiş Derin Kazı ve Çevresinde Oluşabilecek Hareketleri Belirlemede Kullanılabilecek Bir Ölçüm Düzeneği [7]

Tablo 2.1. Kazı Stabilesini ve Kazının Çevre Yapılara Etkisini İncelemek İçin Yapılan Ölçümler ve Kullanılabilecek Aletler [7]

YAPILACAK ÖLÇÜM	UYGUN ÖLÇÜM ALETLERİ
Zemin Yüzeyinin, Yapıların ve Duvar Üstünün OTURMASI	Jeodezik Ölçüm Yöntemleri Çubuklu Oturma Ölçerler
Zemin Yüzeyinin, Yapıların ve Destekleme Sisteminin Yapılan Bölümlerinin YATAY HAREKETİ	Jeodezik Ölçüm Yöntemleri Kapanma Ölçerler
Yer Üstü ve Yeraltı Yapılarındaki ÇATLAK GENİŞLİĞİ	Çatlak Ölçerler
Zemin İçindeki Noktaların YATAY HAREKETİ	Eğim Ölçerler Sabit Çubuklu Uzama Ölçer Yerleşik Eğim Ölçerler
Zemin İçindeki Noktaların ve Yeraltı Yapılarının YATAY HAREKETİ	Zemin içi Oturma Noktaları Sondalı Uzama Ölçerler Sabit Çubuklu Uzama Ölçerler
Yatay Desteklerde YÜK ÖLÇÜMÜ	Yüzeye Yapıştırılan Titreşimli Tel Şekil Değiştirme Ölçerler Yüzeye Yapıştırılan Mekanik Şekil Değiştirme Ölçerler Kalibre Edilmiş Hidrolik Kriko ve Yük Hücreleri
Ankrajlarda YÜK ÖLÇÜMÜ	Yük Hücreleri Kalibre Edilmiş Hidrolik Kriko ve Yük Hücreleri Yüzeye Yapıştırılan Titreşimli Tel Şekil Değiştirme Ölçerler
YERALTI SUYU BASINCI	Piezometreler
TABAN KABARMASI	Manyetik/Şerit Anahtarlı Ölçerler Mekanik Kabarma Ölçerler Sabit Çubuklu Uzama Ölçerler Eğim Ölçerler

2.4.2 Derin Kazılarda Ölçüm Yöntemleri ve Ölçme Aletlerinin Tanıtımı

Herhangi bir temel inşaatı yapısında oluşan hareketleri ölçmenin iki yöntemi vardır. Birincisi, temeli optik ölçümlere dayanan jeodezik yöntem ikincisi, temeli basit fizik ilkelerine dayanan mekanik veya elektrikli ölçüm aletlerinin kullanıldığı fiziksel yöntemdir. Bu yöntemde kullanılan ölçüm aletlerinden bazıları; eğim ölçerler, yerleşik çubuklu uzama ölçerler ve sondalı uzama ölçerlerdir. Hareket ölçmede kullanılan ölçüm aletlerinin hangi tip hareketi ölçtüğünü gösteren tablo, Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Ölçüm Aletlerinin Belirleyebildiği Hareket Tipleri [2].

ÖLÇÜM ALETLERİ	ÖLÇÜLEN HAREKET TİPİ					
	Y	D	E	A	YÜ	YA
Jeodezik Yöntemler (Surveying Methods)	x	x	x		x	
Yüzeyde Ölçüm Yapan Aletler (Surface Extensometers)	x	x	x		x	
Eğim Metreler (Tiltmeters)				x	x	x
Sondalı Uzama Ölçerler (Probe Extensometers)	x	x	x			x
Sabit Çubuklu Uzama Ölçerler (Fixed Borehole Extensometers)	x	x	x			x
Eğim Ölçerler (inclinometers)	x	x	x	x		x
Enine Hareket ölçen Aletler (Transverse Deformation Gages)	x	x	x			x

Y:Yatay Hareket E:Eksenel Hareket D:Düşey Hareket A:Açısal Hareket

YÜ: Yüzeyüstü Hareket YA:Yüzeyaltı Hareket

2.4.2.1 Jeodezik Ölçüm Yöntemleri

Jeodezik ölçüm yöntemleri, çok değişken inşaat koşulları altında yapıların, zemin yüzeyinin ve zemin içinde ulaşılabilir noktalardaki yatay ve düşey hareketlerin şiddet ve hızlarını ölçmekte kullanılır. Bu yöntemlerin eksikliği, ulaşılamayan noktalarda (örneğin zemin içinde derinlerde bulunan noktalarda) ölçüm yapamaması ve bazı arazi koşullarında istenilen kesinliği sağlayamamasıdır. Bu gibi durumlarda diğer ölçüm aletleri kullanılmakta, ancak bu göreceli hareketleri mutlak olarak değerlendirmek amacıyla, hareketlerin referans noktalarına taşınmasında yine Jeodezik ölçüm yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır. Jeodezik yöntemlerde kullanılan bazı terimlerin açıklamaları aşağıda yapılmıştır.

Referans noktası (sabit nokta): Tüm Jeodezik yöntemler için gerekli olan bu noktanın hareket etmediği kabul edilmektedir. Böyle bir nokta aracılığıyla herhangi bir noktada ölçülen hareket başka noktalardaki hareketlerle ilişkilendirilmekte yani ölçülen göreceli hareketler mutlak koordinat sistemine yerleştirilmektedir. Referans noktaları, yatay yönde hareketsiz olduğu varsayılan yatay kontrol noktası ve düşey yönde hareketsiz olduğu varsayılan düşey kontrol noktası olarak ikiye ayrılır.

Obje noktası (ölçüm noktası): Yapı üzerinde, zemin yüzeyinde veya içinde hareketi gözlenecek noktalardır. Geçici veya sürekli olarak tesis edilebilirler. Bu noktalar kullanılacak ölçüm aletlerinin elemanlarının takılıp çıkartılabileceği şekilde tasarlanmalıdır.

Pilye: Referans noktalarını ve ölçüm yapmak için de kullanılacak obje noktalarını oluşturan üzerinde hem gözleme hem ölçüm yapmaya olanak tanıyan bir başlık bulunan silindirik betonarme elemandır.

Jeodezi mühendisliğinde düşey hareketlerin ölçümü, prezisyonlu nivelmanla yapılır. Yatay hareket ölçme yöntemlerinden çok kullanılanları ise alinyiman ve jeodezik ağ yöntemidir [8].

2.4.2.2 *Prezisyonlu Nivelman Yöntemi*

Yapı ve çevresindeki düşey deformasyonları belirlemek için, amaca göre; geometrik, trigonometrik ve hidrostatik prezisyonlu nivelman tekniklerinden biri uygulanabilir. Yapı alanı dışında ve sağlam zeminde en az iki röper noktası tesis edilerek, obje noktalarının rölatif yükseklikleri belirlenir. Farklı zamanlarda yapılan nivelman ölçme sonuçları arasındaki data uyumu sağlandıktan sonra, ya bağlı ya da serbest dengelenerek obje noktalarındaki düşey deformasyonlar hesaplanır. Günümüzde en çok uygulanan yöntem, prezisyonlu geometrik nivelmandır.

2.4.2.3 *Alinyiman Yöntemi*

Jeodezik olarak yatay deformasyon belirleme çalışmalarında uygulanan ilk yöntemdir. Genel olarak belli bir doğrultu oluşturan yapılarda uygulama alanı bulur. Örneğin; derin kazı destekleme sistemi perdesinin üstünde kazı yüzüne paralel olarak, baraj kretinin veya köprünün boyuna ekseni üzerinde ya da bu eksene paralel olarak sabit bir alinyiman seçilir. Alinyimanı belirleyen uç noktalar, yapının dışında ve sağlam zemin üzerinde pilye olarak tesis edilir. Alinyiman doğrultusunda ve aynı zamanda yapı üzerinde işaretlenen obje noktalarının yatay hareketleri, bu yöntemle doğrudan ve kolay olarak belirlenir.

Yatay deformasyonların belirlenmesi, ya alinyimandan olan sapmaların doğrudan ölçülmesi ya da her obje noktasında yatay doğrultu ölçülmesi biçiminde yapılır. Ölçmeler, alinyimanın her iki uç noktasından yapılır. Elde edilen sapmaların ortalaması, o noktadaki deformasyon olarak nitelendirilir.

Genel olarak, 200 metreden büyük alinyimanlarda, deformasyonların, yatay doğrultu ölçmeleriyle belirlenmesi tercih edilir. Yöntemin uygulanması ve ölçmelerin değerlendirilmesi, kolay ve kısa sürede tamamlandığından ölçme periyotları daha sık düzenlenebilir.

Alinyimanı belirleyen başlangıç ve son noktaları, yapı çevresinden uzağa tesis edilemediklerinden, yapının yakın çevresindeki hareketlerden etkilenebilirler. Bu durum alinyiman yönteminin en önemli sakıncasıdır [8].

2.4.2.4 Jeodezik Ağ Yöntemi

Yatay deformasyonların belirlenmesi alanında uygulanan, en gelişmiş yöntemdir. Genellikle lokal olarak kurulurlar. Bu ağlar, "kontrol ağları" olarak adlandırılır ve üç ayrı özellikte noktalar grubundan oluşurlar. Bunlar; "sabit (kontrol) noktalar", "obje (deformasyon) noktaları" ve "yöneltme noktaları"dır.

Jeodezik ağlar; açı, açı-kenar ya da kenar ağları olarak tasarlanabilirler. Doğrultu ölçmeleri, saniye teodolitleri ile; kenar ölçmeleri de, elektronik aletlerle yapılır. Genellikle, ağın ölçülmesine başlamadan önce, tahmin edilen deformasyonların büyüklüğüne göre, gerekli ölçme prezisyonu araştırılmalı, ölçme yöntemleri ve aletleri belirlenmelidir.

Jeodezi mühendisliğinde hareket ölçümünde kullanılan aletlerle sağlanabilecek hassaslık kabaca ölçülen uzaklığın $\pm 1/300000$ ' i ile $\pm 1/3000$ ' i arasındadır.

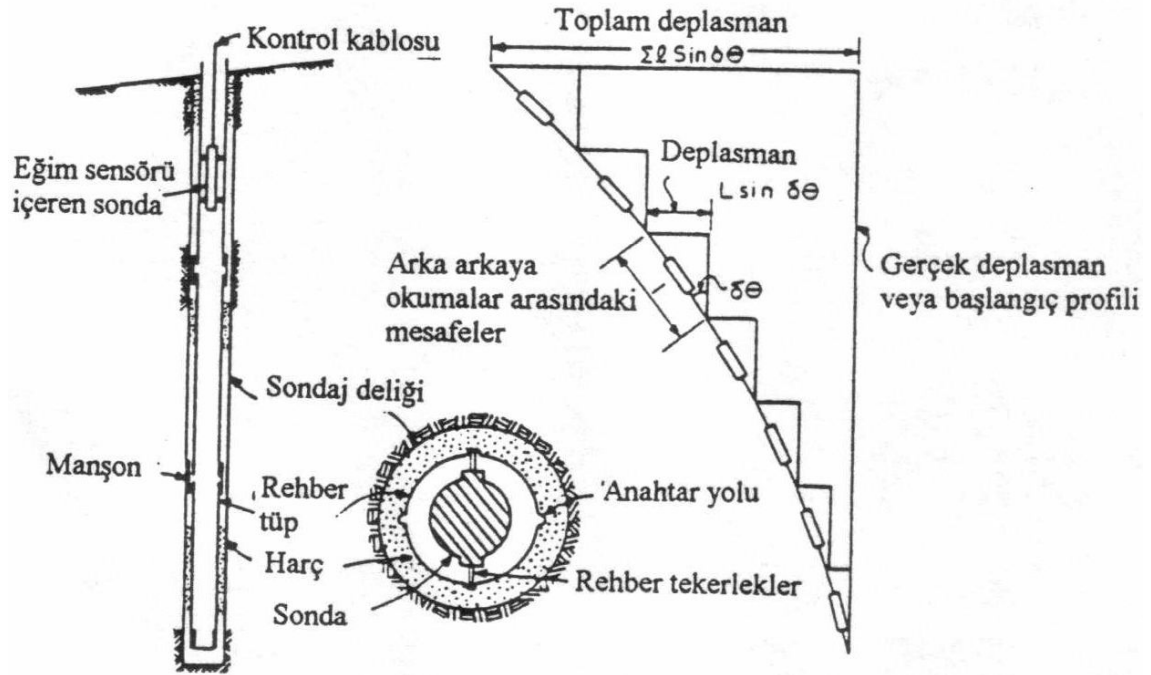
2.4.2.5 Fiziksel Yöntemler

Desteklenmiş derin kazıların ölçümünde kullanılan düzenekler jeodezik ölçümlerin ağırlıklı olduğu ve zemin içindeki noktaların hareketlerini ölçmek için kullanılan eğim ölçer, enine hareket ölçerler ve uzama ölçerlerin kullanıldığı düzeneklerdir. Ayrıca zemin yüzeyindeki ve yapılardaki çatlakların çatlak ölçerlerle gözlenmesi ölçüm sistemlerini daha etkin kılmaktadır. Burada desteklenmiş derin kazı ölçüm düzeneklerinde kullanılan hareket ölçerlerden başlıcaları tanıtılacaktır.

2.4.2.6 Eğim Ölçerler

Eğim ölçer; tekerleklere oturan bir torpidodan oluşmakta ve sinyal veren kendi ağırlığı ile çalışan bir eğim sensörü içermektedir. Bu sensör bir güç kaynağı ve okuma ünitesine bağlanarak, torpido eksenini ile düşey arasındaki açıyı saptamaya yaramaktadır. Kısaca, içinden geçtiği borunun eksenine dik doğrultudaki hareketleri ölçen aletler olarak tanımlanırlar. Eğim ölçerler dört temel parçadan oluşmaktadırlar.

- 1) Plastik, aliminyum alaşımı, fiberglas veya çelikten yapılan ve sürekli olarak yerleşik kalacak olan kılavuz boru. Yatay hareket ölçümü yapılacağı zaman kılavuz boru yaklaşık düşey eğimli olarak yerleştirilir. Kılavuz borular, sondanın doğrultusunu koruması için sivil olarak üretilir,
- 2) Yerçekimine dayalı bir transdüserle sahip taşınabilir sonda,
- 3) Sonda eğimi ve güç kaynağı için taşınabilir okuma birimi,
- 4) Sondajı okuma birimine bağlayan ölçeklendirilmiş elektrik kablosu.



Şekil 2.9 Eğim Ölçerin Çalışma İlkesi [2]

Kılavuz borunun alt ucu varsa, ana kayaya tespit edilir yoksa herhangi bir hareketin olmadığı derinliğe kadar indirilir. Burası ikinci bir seçenekte kılavuz borunun üst ucunu kullanıp, bu noktanın kotu jeodezik ölçümlerle belirlenir. Sonda önceden belirlenen aralıklarla kılavuz borunun içine indirilir ve eğim ölçülür. Eğim ölçerin temel çalışma ilkesi Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Buradan da görüleceği gibi, bilinen açı ve uzunluk değerlerinden yararlanılarak yatay hareket belirlenir. Eğim ölçümleri ve sonda derinlikleri, rehber tüpün düşeyden olan yatay sapmalarını hesaplamak için kullanılır. Alet, sadece sondaj eksenine dik zemin hareketlerini ölçer.

Birkaç tip eğim ölçer mevcuttur, ancak hepsinin işleyiş prensipleri aynıdır. Bunlardan en başarılısı Wilson (1962) tarafından geliştirilen Wheatstone köprü tipi olanıdır. Burada sarkaç hassas kurulmuş özel bir direnç bobinine temas eder ve bunu iki dirence ayırır, böylece köprü devresinin yarısı oluşur. Köprünün diğer yarısı kontrol kutusunda bulundurulur. Alet öyle tasarlanmıştır ki sarkaç kabındaki dört tekerlekle tanımlanan düzlemdeki eğim bileşenleri devre dengede olduğu zaman potansiyometre okumaları ile doğru orantılıdır. Alet çok uzun yıllar kayıt yapabilmektedir.

Eğim ölçerlerin eğimi, tel titreşimli birim deformasyon ölçü aletleri ve bağlı dirençli birim deformasyon ölçü aletleri ile ölçülmüştür. Bugün en çok tercih edilen ölçme yöntemi sonda içine yerleştirilen otomatik ivme ölçerlerin kullanımıdır. Sonda, dik açı yönlerindeki ölçmeleri vermek için eğim ölçer tüpü içinde anahtar yollarda hareket edebilir. İki otomatik ivme ölçerin kullanıldığı yerlerde, bunlar birbirine dik açıdaki iki yönde, erişim tüpünün eğimini algılamaktadırlar. Bu eğim, açısal veya yatay deplasman sapma cinsinden gösterilebilir.

2.4.2.6.1 Eğim ölçerlerin Hassasiyetini Etkileyen Faktörler

Eğim ölçer hassas bir alettir ve bundan maksimum performans elde etmek için kullanımına ve yerleştirilmesine dikkat edilmeli ve üzerinde çalışılmalıdır. Aşağıdaki özet sadece bir rehber olarak alınmalıdır.

- 1) Kullanılan alet sağlam olmalı ve dikkatlice incelenmeli. Örneğin kılıftaki yivlerin yüzeydekilerle aynı yönetime sahip olması gerekmemektedir. Her uzunluktaki spiraller ölçülerek ve bunlar ucuca yerleştirilerek, problem kontrol edilebilir. Kılın, sondaj çukuruna yerleştirilmesi dikkat gerektirmektedir. Yani dolgu, kılıfa iyi temas etmelidir ki kir ek yerlerine girmesin. En çok tercih edilen yöntem, 100 200 mm çaplı bir delik açmak ve kurulmuş erişim tüpünü buraya indirmektir.
- 2) Ölçüm aletinin hassaslığı birkaç faktöre dayanır. Birincisi, sensörün dizaynı çok önemlidir. İkincisi, enine hassaslık küçük olmalı ve sensör sıcaklık değişimlerine hassas olmamalıdır. Bütün yivlerin dikkatlice temizlenmesi ve sensör biriminin düzenli olarak kalibre edilmesi çok önemlidir.

- 3) Okuma pozisyonunun tekrarlanabilirliği, sondajın pozisyonunun doğruluğuna bağlıdır. Ayrıca bütün yiv ve ek yerlerinin düzgünlüğü önemlidir.
- 4) Okuma sonuçları, okuma sayısının artırılması ve bunların istatistiki değerlendirmesiyle geliştirilebilir.
- 5) Epoksi ile kaplanan kılıflarda bile alüminyum kılıflar korozyona uğramaktadır.

Bununla birlikte eğim ölçerlerin hassaslığına etkileyen parametreler Dunnicliff (1988) tarafından şu şekilde sıralanmıştır:

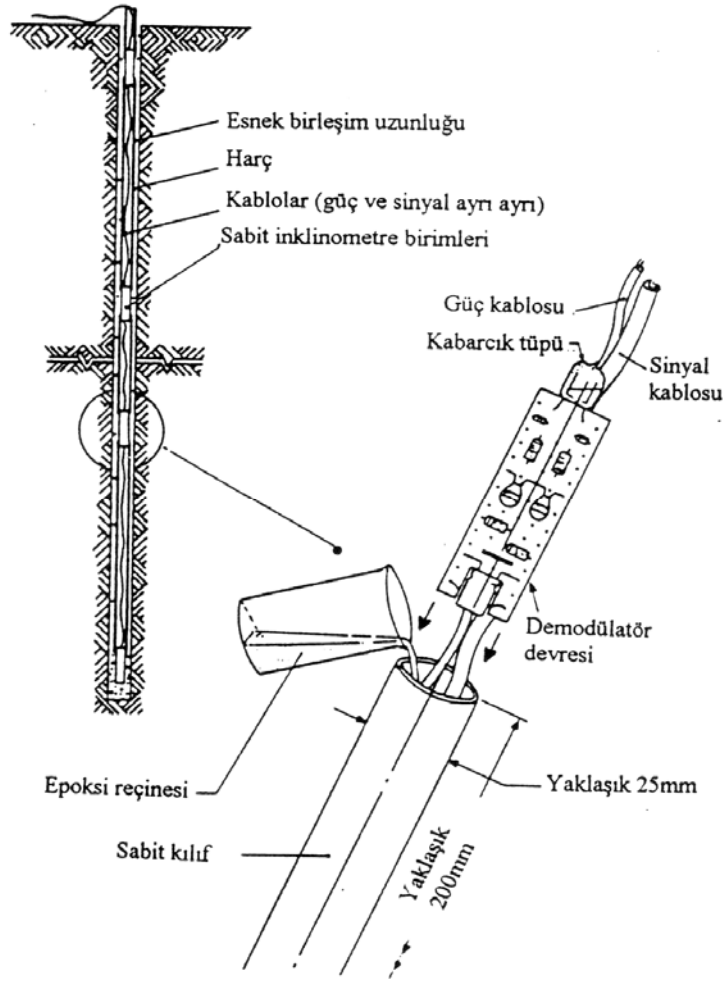
- 1) Yerçekimine duyarlı transdüserin hassaslığı,
- 2) Tekerlek düzeninin tasarım ve üretimi,
- 3) Kılavuz borusunun eğimi,
- 4) Kılavuz borusu çapı,
- 5) Kuyu açılışı sırasında çevre zeminin zarar görme derecesine ve kuyu duvarı ile kılavuz boru arasını doldurmada kullanılan malzeme,
- 6) Kılavuz borunun burulması,
- 7) Okuma noktalarına tekrar ulaşılabilirlik,
- 8) Okuma noktaları arasındaki uzaklık,
- 9) Isı etkisi,
- 10) Sondanın çarpmalara karşı korunmasıdır.

Eğim ölçerlerle sağlanabilecek hassaslık, aletin tipine ve kuyu ekseninin açısına bağlı olarak, 30m' lik uzunlukta $\pm 1-25$ mm arasında değişmektedir.

2.4.2.6.2 Sabit Eğim Ölçerler

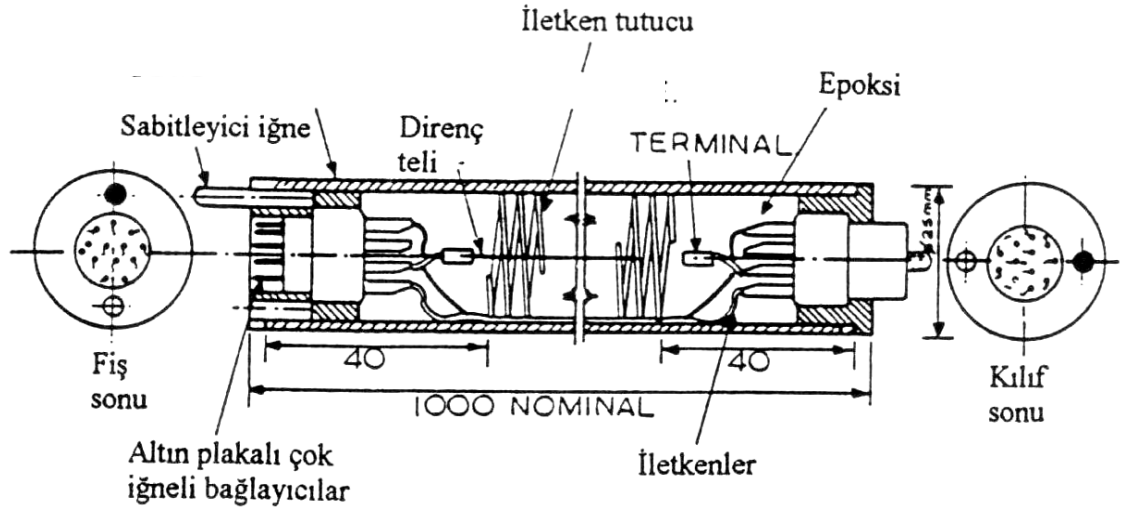
Sonda inklinometresi sürekli veya uzaktan okuma için uygun değildir. Sabit inklinometreler herbiri tek veya çift eksenli eğik alıcı içeren alıcılar zinciri içerir (Şekil 2.10). Alıcılar mafsallı çubuklarla birleştirilmiştir ve sondaj kuyusunda bir rehber tüpe bağlanmıştır. Alet sadece sondaj eksenine dik doğrultudaki yüzey

hareketlerini ölçer. Bu inklinometre sistemi, hareketlerin sürekli, otomatik veya uzaktan kontrolüne imkan sağlar. Alıcılar genelde birbirlerine çok yakın yerleştirilmedikleri için hareketlerin detaylı profilini sağlayamazlar. Alıcılar iş bittikten sonra tekrar kullanılabilirler. Detaylı profilin gerekli olduğu yerlerde ayrı ve komşu bir rehber tüp yerleştirilmeli ve bir sonda inklinometresiyle araştırılmalıdır.



Şekil 2.10 Sabit İnklinometre[9]

Özel problemlerde hareket datasını elde etmek için ekstansometrelerin birçok çeşidi kullanılmıştır. Patlamalardan etkilenmiş bölgelerin yakınındaki kaya deformasyonları tel dirençli ekstansometrelerle incelenebilir. Birim, kaya sondaj deliğine Portland çimentosu ile harçlanır (Şekil 2.11). Kaya kütleindeki birim deformasyon değişimleri ekstansometre teline harç kolonu yardımıyla iletilir.



Şekil 2.11 Kayadaki Deformasyon Değişimlerini Kaydetmek İçin Sabit İnklinometre Teli[9]

2.4.2.7 Uzama Ölçerler

Sondalı ekstansometreler boru içinde hareket eden sonda yardımıyla boru eksenine doğrultusunda iki veya daha fazla noktadaki uzaklık değişimlerini ölçen aletler olarak tanımlanırlar. Boru içindeki ölçüm noktaları ya mekanik ya da elektrikli olarak belirlenir. Sondalı uzama ölçerle belirlenen göreceli hareketleri mutlak olarak ifade etmenin iki yolu vardır; birincisi ölçüm noktalarından birini hareketin olmadığı bölgeye tespit etmek, ikincisi ise ölçüm noktasındaki hareketlerin jeodezik yöntemlerle sabit noktalara ilişkilendirilmektedir. İkinci yöntemdeki hassaslık jeodezik ölçüm yöntemindeki hassaslığa bağlıdır.

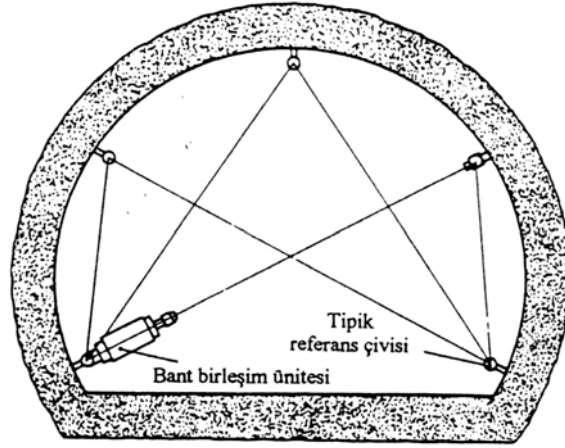
Eğer kılavuz boru düşey olarak yerleştirilirse zemindeki oturmalar, yatay olarak yerleştirilirse yatay hareket ölçümü yapılır. Sondalı uzama ölçerler, kazı çevresindeki zemin oturmasının ve taban kabarmasının ölçümü için kullanılabileceği gibi dolgulardaki oturmaları ölçmek içinde kullanılmaktadır. Sondalı uzama ölçerlerle, birden çok noktada ölçüm yapmak daha ekonomik ve pratiktir ancak sonuçlardan ikincisinin daha hassas olduğu belirtilmiştir [7].

2.4.2.7.1 Bant ve Çubuk Ekstansometreler

Yüzey hareketlerini ölçmenin en yaygın yolu yüzey referans çivileri arasındaki aralığı tayin etmek için bant kullanmaktır. Böyle bir araştırmanın hassasiyeti referans işaretlere, banta ve yapılan düzeltmelere bağlıdır. Zemin veya yapıda açılan yüzeysel deliklere sulu harçla sabitlenmiş bant ekstansometreler yanyana duran referans çiviler arasındaki mesafeyi ölçerler. Bir ekstansometre, üzerinde eşit aralıklarla düzgün bir şekilde açılmış delikler bulunan paslanmaz çelik bir banttan oluşur. Bantın serbest olan ucu referans çivinin üzerine yerleştirilmiş yaylı bağlaca birleştirilmiştir. Bantın sabit ucu çelik bantı içine alır ve serbest uçtakine benzer bir yeri vardır. Bunun yanında dijital okuma ünitesine sahip bir bant germe sistemi vardır. İçteki yay iki referans işareti çakıştırdığı zaman doğru bant gerilmesine ulaşılmış demektir. Okuma, görünen delik pozisyonunu kaydederek ve dijital göstergedeki okumaya ilave edilerek yapılır.

Referans çivileri probleme çözüm sağlayacak şekilde yerleştirilirler. Buna tipik bir örnek Şekil 2.12'de tüneldeki yakınsama ölçümünde verilmiştir. Çiviler genellikle 1-30 m arasındadır, sabit veya demonte edilebilirler. Yeniden monte edilebilir sistemde özel koruma başlıkları çapa gövdesine yerleştirilebilir. 0.1 mm hassasiyet sağlamak mümkündür. 1 m uzunluğundaki kalibrasyon çubuğuyla bantın periyodik hassasiyetini kontrol etmek mümkündür.

Kısa ölçümler yapılacakken çubuk veya tüp ekstansometreler kullanılabilir. Çubuk mikrometre, ekstansometre parçalarına sahip bir mikrometre kafayı içerir. Özel ucu referans çivilerinin kafasındaki topa oturur. Mikrometre ölçü aleti sahada, çiviler arasında istenilen derinliğe yerleştirilir ve ucu toparla temas kurana kadar mikrometre ayarlanır. Okumalar mikrometre üzerinden alınmaktadır [9].

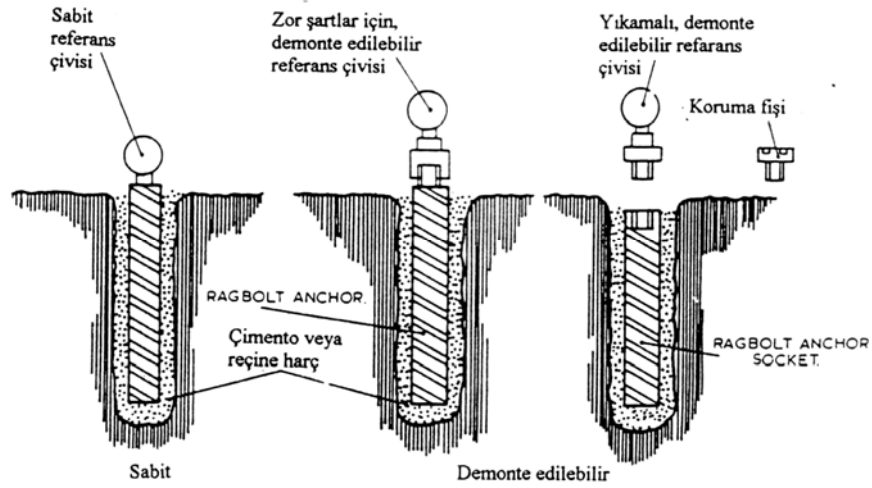


Şekil 2.12 Bant Birleşim Ünitesi [9]

Tüp ekstansometrenin çalışma prensibi çiviyle arasındaki mesafenin özel bir derinlik ölçü aletiyle ölçülmesi dışında çubuk ekstansometreninkiyle aynıdır. Kullanırken yanklı başlık parçası yayı sıkıştırarak referans çivisinin üzerine yerleştirilir. Diğer uçtaki konik oturma ikinci referans çivisi üzerinde olur. Sonra derinlik ölçü aleti yerleştirilir ve piston Şekil 2.13'te gösterildiği gibi ölçü aleti referans çivisine temas edene kadar bastırılır.

Üç boyutlu hareketler, referans çivileri arasındaki yatay hareketi ölçerek olduğu gibi yükseklik farkını ölçerek de bulunabilir. Taşınabilir çubuk ve taşınabilir tüp ekstansometrelerin hassasiyeti 0.1 - 0.01 mm arasında değişir.

Konvansiyonel çubuk ekstansometrede yapılan ilginç bir değişiklik de çelik çubukların nervürlü çelikle bağlanmış plastik kaplı fiberglas olmasıdır. Bu sistemin en büyük avantajı aletin kurulmuş olarak yani yekpare şekilde araziye götürülmesidir. Ekstansometre 1 - 2 m çapındaki makarada döndürülebilir.

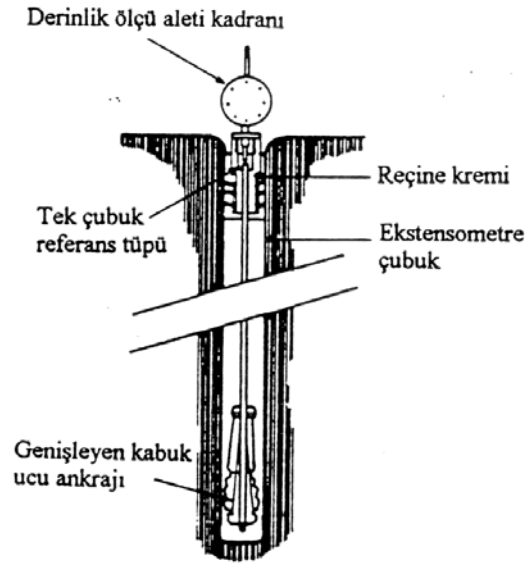


Şekil 2.13 Çubuk Ekstansometresinin Referans Çivileri[9]

2.4.2.7.2 Sabit Çubuklu Uzama Ölçerler

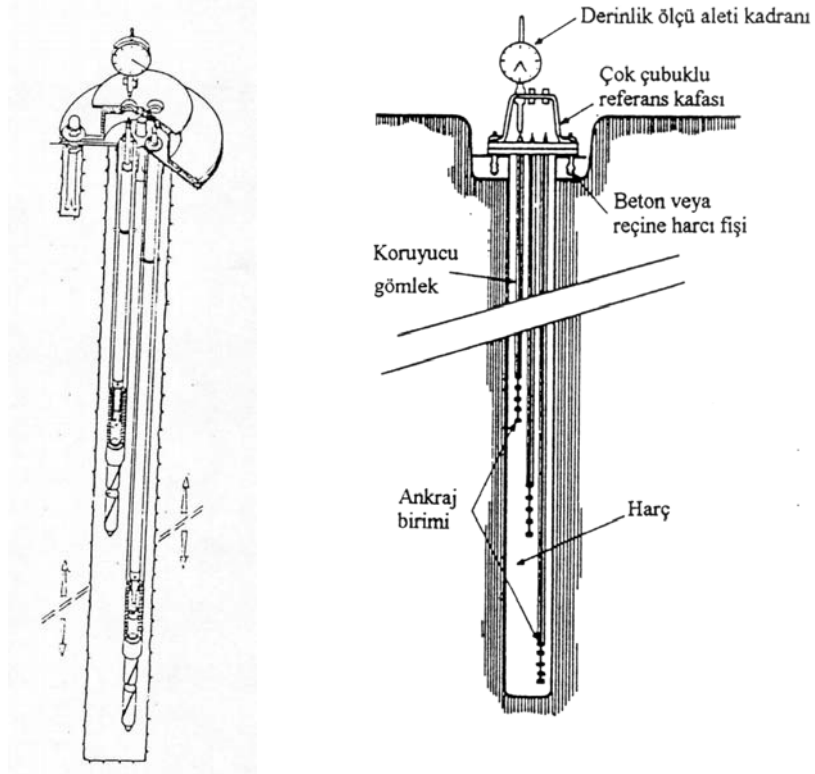
Sabit çubuklu uzama ölçer terimi, zemin veya kayada açılan sondaj kuyusu içine yerleştirilmiş ve hareketli bir sondaya gerek duyulmadan, kuyu doğrultusundaki iki veya daha fazla nokta arasındaki uzaklık değişimini ölçen aletleri ifade eder.

Çalışma prensipleri tel germeli ölçü aletlerine çok benzer. Sabit uçla tüpün ucundaki referans nokta arasındaki rölatif hareket, derinlik ölçü aletiyle veya referans tüpüne çubuğun serbest ucuna bastırmak için yerleştirilmiş, transduserle ölçülür. Çubuk ekstansometre Şekil 2.14’te, çok çubuklu ekstansometre Şekil 2.15’te gösterilmiştir. Hassasiyetleri kullanılan okuma sistemine göre 0.002 - 0.1 mm arasında değişir. Bu ekstansometreler aşağı veya yukarı sondaj deliklerine de yerleştirilebilirler. Ayrıca çatlak veya birleşim yerlerindeki yer değiştirmeleri ölçmek için yüzeye yakın yerlere de monte edilebilirler.



Şekil 2.14 Tek Çubuklu Ekstansometre [9]

Birden çok dip ankrajının farklı kotlara tespit edilmesiyle, tek noktalı çubuk uzama ölçerler çok noktalı olarak kullanılabilirler. Bu yöntem kullanıldığında toplam maliyet ve yapım süresi, çok noktalı çubuk uzama ölçerlere göre daha az olmaktadır. Ancak bu yöntemin uygulanabilirliği kuyu çapı, kullanılan ankraj sayısı, ankraj tipi ve uzama ölçer başlığı tiplerine göre de sınıflandırılabilir.



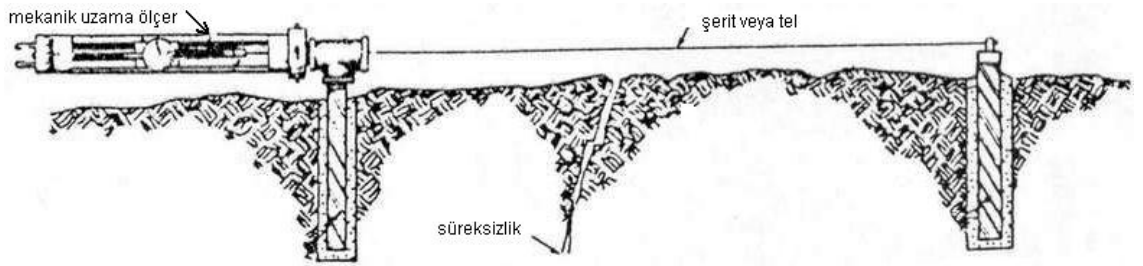
Şekil 2.15 Çok Noktalı Uzama Ölçer Kesiti [9], [10]

Dip ankrajlarından birinin hareketsiz bir ortama tespit edildiğinde elde edilebilecek hassaslık $\pm 0.03-0.13\text{mm}$ arasında değişmektedir.

2.4.2.7.3 Yüzeyde Ölçüm Yapan Uzama Ölçerler

Yüzeyde ölçüm yapan uzama ölçerler, yapı ya da zemin yüzeyinde belirlenen iki nokta arasındaki uzaklığın değişimini ölçen aletlerdir. Bu aletler; çatlak ölçerler (eraek gages) ve kapanma ölçerler, (convergence gages) olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

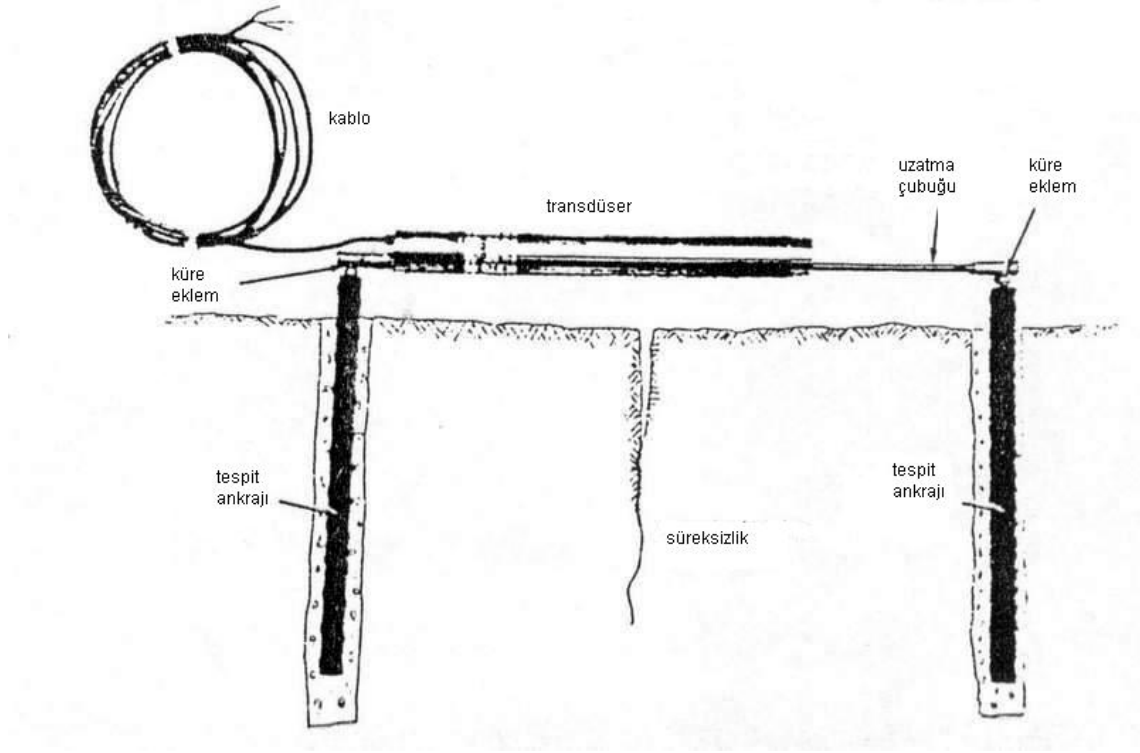
Çatlak ölçerler, şevlerin ya da desteklenmiş kazıların arkasındaki çekme çatlaklarındaki değişimleri, tünel kaplamalarındaki fayları veya binalardaki çatlakları ölçmek için kullanılırlar. Çatlamakta olan kaya yüzeyinde ölçüm yapmak yüzeyden aşağılardaki davranış hakkında yararlı bilgiler sağlamaktadır. Yüzeysel ölçüm yöntemlerinin kuyu içinde yapılanlara göre daha ucuz olduğu da göz önüne alınırsa çatlak ölçerlerin iyi bir ölçüm aracı olduğu söylenebilir. Çatlak ölçerler; mekanik çatlak ölçerler (Şekil 2.16) ve elektrikli çatlak ölçerler (Şekil 2.17) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Mekanik çatlak ölçerlerle gözlem yapabilmek için, ölçüm yapılacak noktalardan en az birisine gerektiği zaman ulaşabilmek gerekir. Ancak bu sorun elektrikli çatlak ölçerler için geçerli değildir (ISRM, 1984) [7].



Şekil 2.16 Mekanik Çatlak Ölçer [7]

Kapanma ölçer, oluşan hareketi gösteren bir gösterge, şerit metre, çubuk, tel veya tüpten oluşan bir alettir. Ölçüm aleti çoğu zaman taşınabilir tipte olmakla birlikte, ankraj çubukları sabit olmalı ve bunlar için koruyucu başlıklar kullanılmalıdır. Şeritlerin ve ölçüm birimlerinin kalibrasyonu sürekli olarak yapılmalıdır .

Yüzeysel ölçüm yöntemleri çok ucuz olmalarına karşın sınırlı açıklıklarda kullanılabilmektedirler. Örneğin şeritli kapanma ölçerlerin en büyük açıklığı yaklaşık 40m'dir. Elde edilen hassaslık değeri de ölçüm aletine bağlı olarak 0.003 mm ile 3 mm arasında değişmektedir.



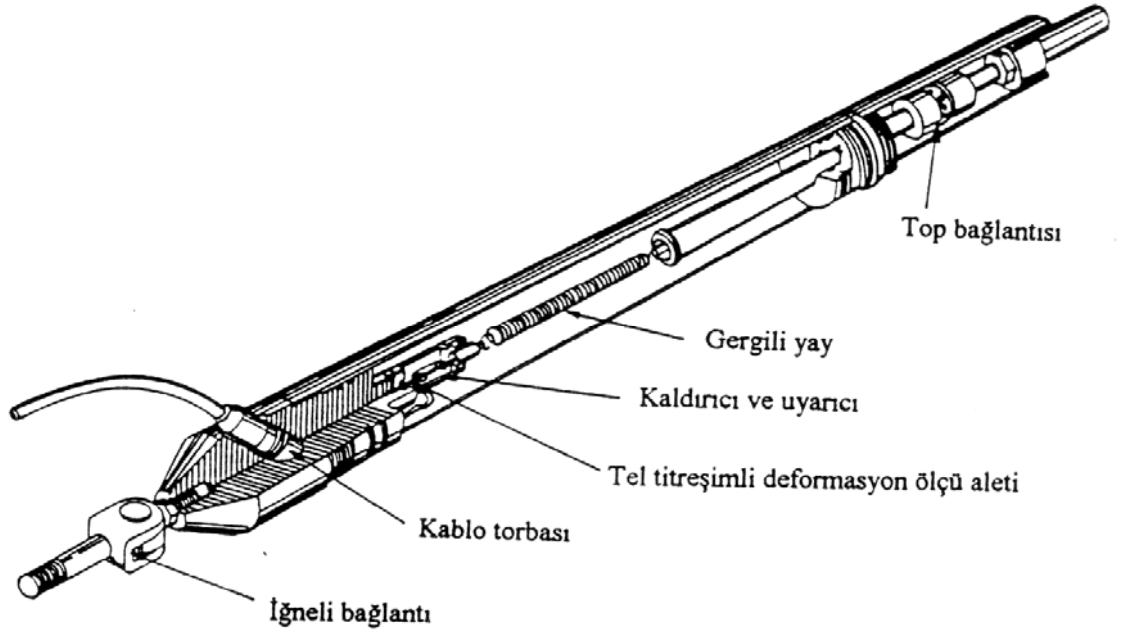
Şekil 2.17 Elektrikli Çatlak Ölçer [7]

2.4.2.7.4 Tel Titreşimli Uzama Ölçerler

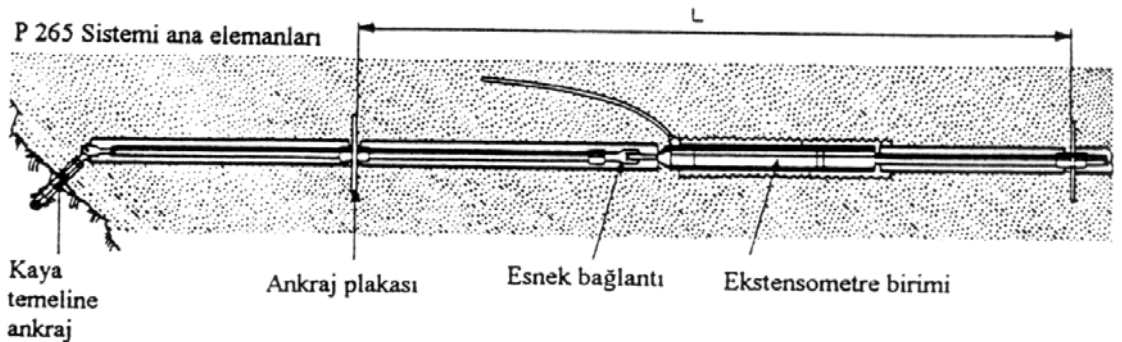
Geonor ekstansometresinin tel titreşimli çalışma prensibi Şekil 2.18'de gösterilmiştir. Telin bir ucu ekstansometrenin hareketli kafasına bir yayla bağlanmıştır. Ekstansometredeki yer değiştirme yayda bir gerilme değişimine sebep olur ve bu da gergin teldeki titreşimin frekansını değiştirir. Telin titreşim frekansındaki değişim, ekstansometre ve ankraj plakası arasındaki mesafenin değişiminden kaynaklanır. Aletin ölçüm sınırı 0.01 mm çözünürlükle 200 mm'dir ve hassasiyeti %1 'den iyidir. Manuel veya otomatik olarak okunabilir.

Bu ekstansometrenin en büyük özelliği, hareketleri ve toprak dolgu barajların mesnetlerinde meydana gelen çatlakları ölçmede kullanılmasıdır. Bunu yapmak için

ekstansometre bir ucu Şekil 2.19’da gösterildiği gibi mesnete sabitlenmiş devamlı zincir şeklinde yerleştirilebilir. Yerleştirmenin toprak dolguda bir hendek açılarak ekstansometrelerin dibe yerleştirilmesi şeklinde yapılması tavsiye edilir. Alternatif olarak sıkıştırılmış tabakaya da yerleştirilebilirler. Ölçü aletlerinin etrafına özel perdelenmiş bir yatak tabakası yapılır. Eğer kaya dolguysa kum dolguyla daha kaba kaya dolgu arasına filtre yapılır. Birçok barajda ekstansometreler baraj tepesine paralel yerleştirilir. Ekstansometreler devamlı bir zincir oluşturmak için özel parçalarla birbirlerine bağlanmıştır. 120 m uzunluğa kadar zincirler kullanılır.



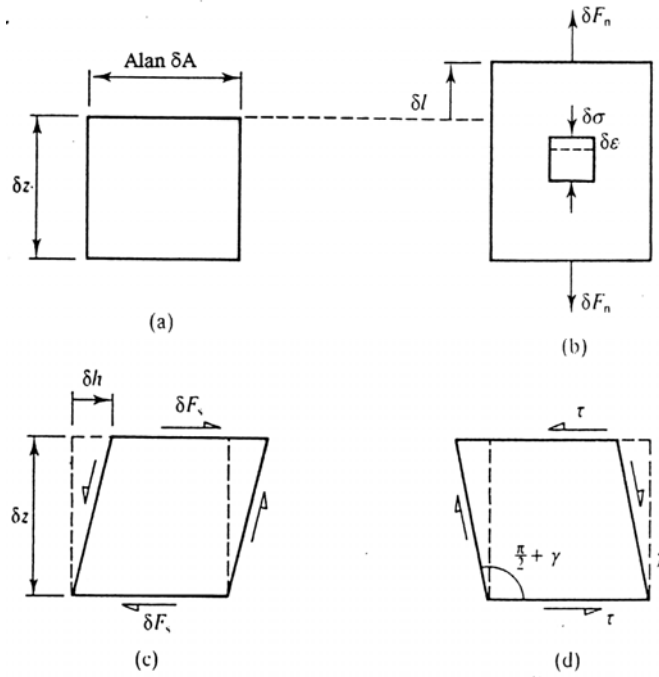
Şekil 2.18 Geneor P-265 Tel Titreşimli Ekstansometre[9]



Şekil 2.19 Baraj Hareketlerini Sürekli Takip Edebilmek için Geneor Ekstansometresinin Kullanılışı [9]

2.5 ZEMİNLERDE GERİLME DEFORMASYON DAVRANIŞI

Gerilmeyi birim alana etki eden kuvvet olarak tanımlayabiliriz. Birim deformasyon ise meydana gelen deformasyonun, deformasyonun olduğu mesafeye oranıdır. Yalnız Zemin Mekaniği'ndeki gerilme ve birim deformasyon tanımları metaller ve beton için yapılanlardan farklıdır. Çünkü zeminler daneli yapıya sahiptirler. Herşeyden önce birim alan veya birim uzunluk zeminin tüm özelliklerini kapsayacak kadar büyük olmalıdır. İkinci olarak çimentolaşmamış zeminler çekme gerilmelerini karşılayamadıklarından dolayı basınç gerilmeleri pozitif olarak alınır.



Şekil 2.20 Gerilme ve Birim Deformasyon[9]

Şekil 2.20'de normal ve kayma kuvvetleri etkisi altında küp şeklindeki zemindeki gerilme ve birim deformasyonlar görülmektedir. Normal gerilmedeki değişim $\delta\sigma$ ve normal yük δF_n 'deki değişime göre normal birim deformasyon $\delta\epsilon$ aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$\delta\sigma = -\frac{\delta F_n}{\delta A} \quad (2.1)$$

$$\delta\epsilon = -\frac{\delta l}{\delta z} \quad (2.2)$$

(Denklemlerdeki “-” işaretleri basınç gerilme ve birim deformasyonları pozitif olarak alındığı için konulmuştur). Kayma gerilmesi $\delta\tau$ ve yükteki değişim δF_s 'ye göre kayma birim deformasyonu $\delta\gamma$ 'yı;

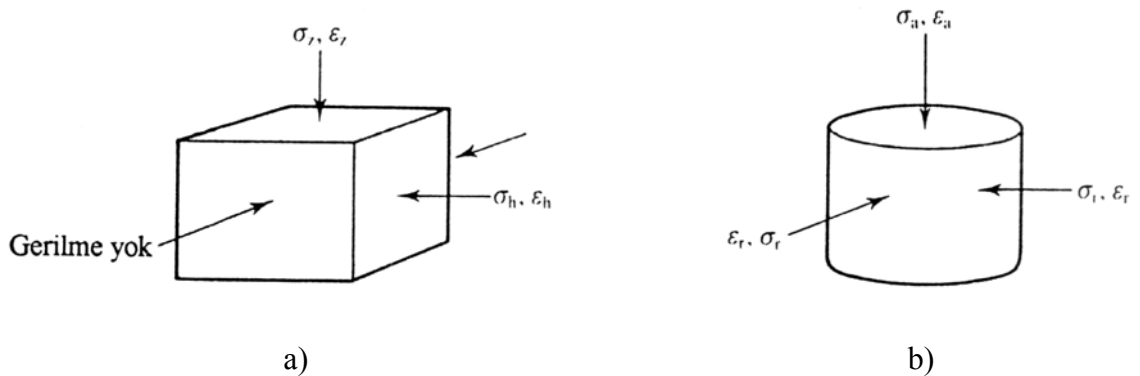
$$\delta\tau = -\frac{\delta F_s}{\delta A} \quad (2.3)$$

$$\delta\gamma = -\frac{\delta h}{\delta z} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edebiliriz. (Denklemlerdeki “-” işaretleri pozitif kayma gerilmesi ve kayma birim deformasyonları elemanın içindeki açının artışıyla bağlantılı olduğu için konulmuştur).

2.5.1 Düzlem Gerilme ve Eksenel Simetri

Genel olarak gerilme ve birim deformasyonları veya kuvvet ve yerdeğiştirmeleri üç boyutlu almak gerekir ama bu sefer de hesap karmaşık hale gelir ve düzlem şartlarda ifade etmek güçleşir. Bununla beraber Şekil 2.21'de gösterildiği gibi sadece iki eksene ihtiyaç duyulan iki durum vardır.



Şekil 2.21 Genel Gerilme Durumları [11]

Şekil 2.21a bir yöndeki gerilmenin sıfır, gerilmeyle birim deformasyonların dikey (σ_z, ϵ_z) ve yatay (σ_h, ϵ_h) olduğu düzlem gerilme halini göstermektedir. Bu durumla toprak dolgu, duvar veya münferit temel gibi zeminin altındaki uzun yapılarda karşılaşılabılıriz.

Şekil 2.21b radyal gerilme ve birim deformasyonların (σ_r, ϵ_r) eşit, diğer gerilme ve birim deformasyonların (σ_a, ϵ_a) eksenel olduğu eksenel simetri halini göstermektedir. Bu durumla da zeminin altında dairesel temel ve dairesel kazılarda karşılaşabiliriz [9].

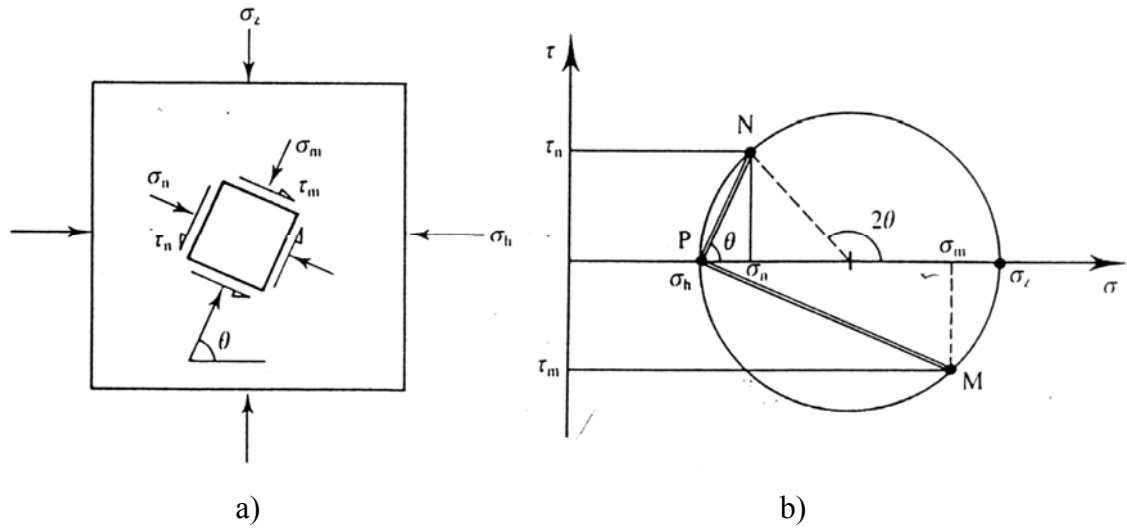
2.5.2 Gerilme Analizi

Yüklenmiş bir zeminde gerilmeler genellikle bir noktadan diğerine farklılık gösterir. Örneğin bir temelin altında köşesiyle orta noktasındaki gerilmeler birbirinden farklı olur. Herhangi bir noktada farklı düzlemlerdeki gerilmeler birbirinden farklı olur ve gerilmeleri farklı düzlemlerde incelemek gerekir.

Gerilme analizi en kolay şekilde Mohr gerilme dairesiyle yapılır. Bunda dikkat edilecek tek nokta Zemin Mekaniği'nde basınç gerilmeleri ve ters saat yönündeki kayma gerilmelerinin pozitif alınıyor olmasıdır.

Şekil 2.22a zeminin yüzeyindeki a_z ve a_h asal gerilmelerini, Şekil 2.22b ise buna karşı gelen Mohr gerilme dairesini göstermektedir. Mohr gerilme dairesinin önemli ve yararlı özelliklerinden birisi de kutup noktasının belirlenebilmesidir. Mohr dairesini çizmek için iki gerilme noktasının bilinmesi yeterlidir. Mohr dairesi çizildikten sonra Mohr dairesi üzerindeki bir gerilme noktasından bu noktanın tanımladığı gerilmelerin etkili olduğu düzleme paralel bir doğru çizildiğinde, bu yeni çizilen doğrunun Mohr gerilme dairesini kestiği diğer nokta kutup noktası olarak tanımlanır. Kutup noktası belirlendikten sonra kutup noktasından çizilen herhangi bir doğrunun Mohr gerilme dairesini kestiği diğer noktada elde edilen gerilme değerleri, çizilen doğruya paralel olan düzlem üzerinde etkili olan gerilmeleri verir. Böylece gerilme etkisi altında kalan herhangi bir eleman için Mohr dairesi çizilip kutup noktası bir kere tanımlandıktan sonra, bu elemanın içindeki her doğrultudaki düzleme etkili olan gerilmeler kolaylıkla bulunabilir. Şekildeki Mohr gerilme dairesindeki P kutup noktası, buradan σ_z 'e bir doğru çizildiği zaman σ_z 'in etkili olduğu düzlemi gösterecek şekilde belirlenmiştir. Şekil 2.22a'da θ açısıyla döndürülmüş bir eleman, Şekil 2.22b'de de bu elemanın τ_n , σ_n ve τ_m , σ_m gerilmeleri N ve M olarak gösterilmektedir. Mohr dairesinin geometrisinden de

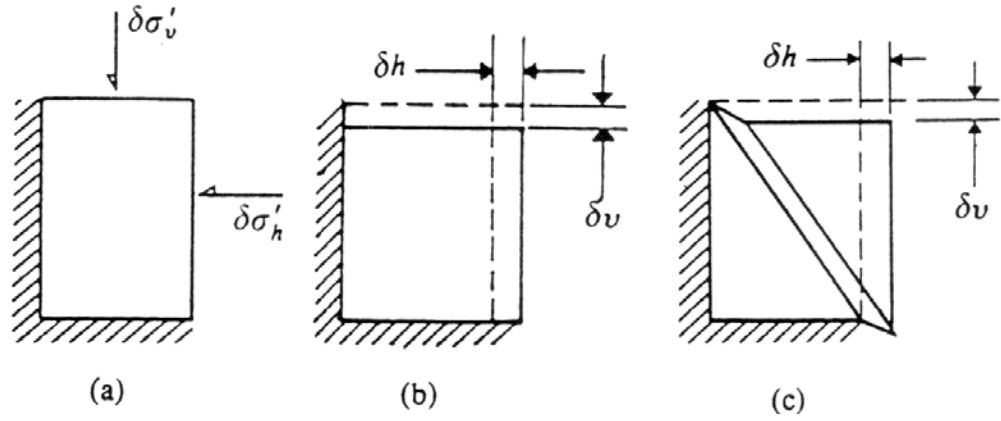
gözükmektedir ki merkezdeki 2θ açısı büyük asal gerilme noktasıyla N noktasını merkeze birleştiren doğrular arasında yer almaktadır ve bu gerilmelerin etki ettiği düzlemler olan PQ ve PN doğrular arasındaki θ açısının 2 katıdır. Şeklin geometrisinden $\tau_n = \tau_m$ olduğu gözükmektedir. Şekil 2.22b'yi kullanarak σ_z ve σ_h 'tan τ_n ve σ_n 'le τ_m ve σ_m 'i veya başka değerleri hesaplamak mümkündür. Mohr dairelerini oluşturabilmek için iki düzlemdeki gerilmeleri (tercihen ortogonal) bilmek gerekir [9].



Şekil 2.22 Gerilme Analizi[11]

2.5.3 Deformasyon ve Birim Deformasyon Analizi

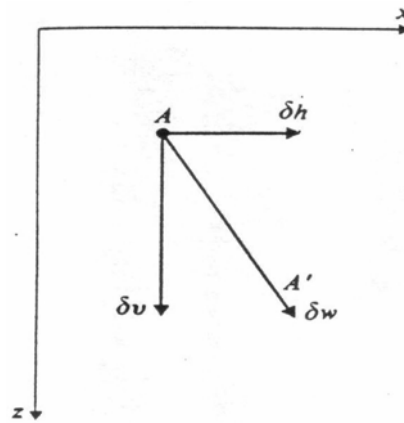
Malzemeler iki temel modelden birine uyarak deforme olurlar: sürekli deformasyon veya süreksiz kayma. Burada geçen sürekli kelimesi birim deformasyonların malzeme boyunca yumuşak bir değişime uğradığı ve birim deformasyonlarda süreksizlik olmadığı anlamına gelmektedir. Şekil 2.23a düşey ($\delta\sigma_v'$) ve yatay ($\delta\sigma_h'$) yüklerinin etkisinde kalmış bir numunenin düşey ve yatay boyutlarında δ_v ve δ_h değişimlerine neden olan düzlem elemanını göstermektedir. Şekil 2.23b sürekli deformasyon modelini göstermektedir; elemanda hiçbir süreksizlik yoktur ve her parçasının davranışı da aynıdır. Şekil 2.23c'de görülen süreksiz kayma modeli elemanın içinde dar bir bölgede yoğunlaşan kayma davranışını tanımlamaktadır.



a) Düzlem eleman üzerindeki gerilmeler b) Sürekli deformasyon c) Süreksiz kayma

Şekil 2.23 Deformasyon Modelleri [11]

Dar kayma bölgesinin iki tarafındaki üçgen bloklarda birim deformasyonlar ihmal edilebilir ve bütün deformasyonlar, kayma bölgesindeki çok büyük birim deformasyonların sonucudur. Limit durumda dar bölge sıfır kalınlığa düştüğü zaman kayma düzlemi oluşur. Tanım olarak herhangi bir süreksiz kayma bölgesi bir miktar kalınlığa sahip olsa bile kayma düzlemi olarak bilinir. Tabi ki pratikte sürekli birim deformasyon ve süreksiz kayma genel olarak aynı zamanda oluşur ama ekseriyetle bir veya diğer deformasyon durumu hakim durumdadır. Çözümü kolaylaştırmak bakımından herhangi bir deformasyon artımının ya dar kayma düzleminde sürekli deformasyon olarak ya da süreksiz kayma olarak kabul etmek uygun olacaktır.



Şekil 2.24 Deplasmandaki Artışın Gösterimi [11]

Şekil 2.24'te görülen düzlem kesit parçasında A noktası küçük bir δ_w mesafesi ile A' noktasına gelmiştir. δ_w 'nin bileşenleri δ_v δ_h 'dir.

Normal birim deformasyon artımı $\delta\epsilon_x$ ve $\delta\epsilon_z$ 'le kayma birim deformasyon artımı $\delta\epsilon_{xz} = \delta\epsilon_{zx}$ aşağıda gösterilmiştir

$$\delta\epsilon_x = -\frac{\partial(\delta_h)}{\partial x} \quad (2.5)$$

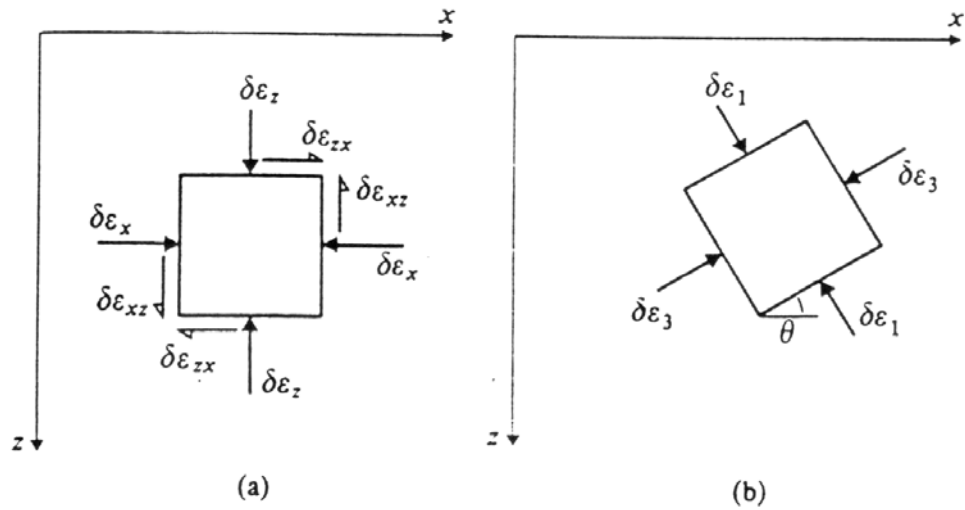
$$\delta\epsilon_z = -\frac{\partial(\delta_v)}{\partial z} \quad (2.6)$$

$$\delta\epsilon_{xz} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\partial(\delta_h)}{\partial z} + \frac{\partial(\delta_v)}{\partial x} \right) \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'de ϵ_{xz} 'ye kayma birim deformasyonu denir ve mühendislik kayma birim deformasyonu γ_{xz} 'ye aşağıdaki denklemle bağlıdır.

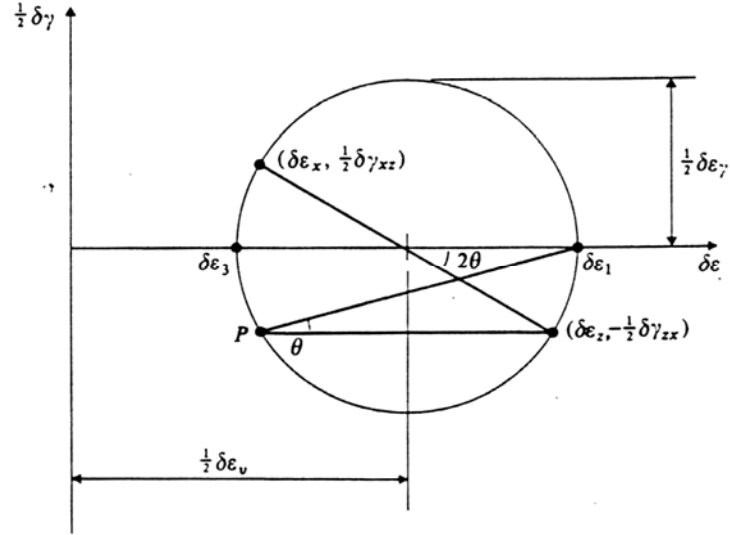
$$\delta\gamma_{xz} = 2\delta\epsilon_{xz} = -\left(\frac{\partial(\delta_h)}{\partial z} + \frac{\partial(\delta_v)}{\partial x} \right) \quad (2.8)$$

Bu suretle mühendislik kayma birim deformasyonu, düzleme gömülmüş birbirine dik iki lif arasındaki açının değişim ölçüsünü verir.



Şekil 2.25 Deformasyondaki Artışın Gösterimi [11]

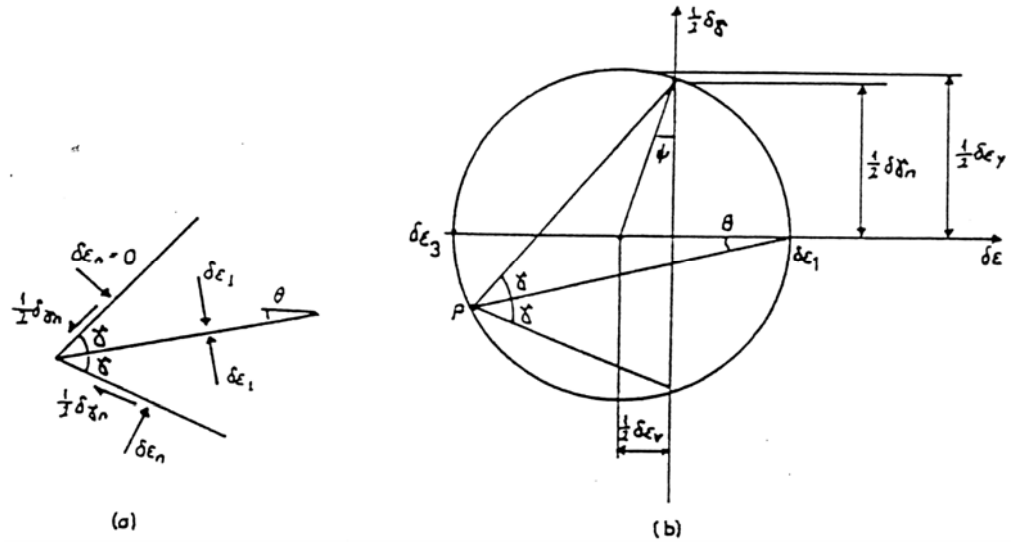
Küçük birim deformasyonlar için kullanılan basit bir metod da gerilme durumunu analiz etmek için kullanılan Mohr gerilme dairesi gibi Mohr birim deformasyon dairesini kullanmaktır. Birim deformasyon analizi kayma birim deformasyonu ile (ϵ_{xz}) ifade edilmelidir ama mühendislik kayma birim deformasyonu ile çalışmak daha uygundur. Böylece birim deformasyon artışı için $\frac{1}{2} \delta\gamma$ ve $\delta\epsilon$ eksenleriyle Mohr dairesi çizilir.



Şekil 2.26 Deformasyon Artışlarının Düzlem deformasyon Mohr Dairesinde Gösterimi [11]

Şekil 2.25a düzlem elemanda birim deformasyon artışları $\delta\epsilon_x$, $\delta\epsilon_z$ ve $\delta\epsilon_{xz} = \delta\epsilon_{zx} = \frac{\delta\gamma_{xz}}{2} = \frac{\delta\gamma_{zx}}{2}$ gösterilmektedir. Kolaylık olması açısından sayfaya doğru (dik) olan, birim deformasyonların sıfır olarak alınarak düzlem birim deformasyon hali oluşturulmuştur. Şekil 2.25a'da eksenlerin seçimine dikkat edilerek pozitif birim deformasyon durumu tanımlanmaktadır. Şekil 2.25a'daki birim deformasyon durumuna ait Mohr birim deformasyon daireleri Şekil 2.26'da verilmiştir. Burada saate ters yönde etki eden kayma deformasyonları γ_{zx} pozitif olarak alınmıştır. Bundan yararlanarak $\delta\epsilon_1$ ve $\delta\epsilon_3$ deformasyon artışları asal düzlemlere diktir, yani θ açısı kadar döndürülmüş elemanın yüzeyleri olan asal düzlemlere diktir.

Şekil 2.26'daki Mohr dairesi, büyük ve küçük asal birim deformasyonların pozitif ve sıkışabilir olduğu birim deformasyon artışını göstermektedir. Küçük asal birim deformasyon artırımının negatif ve çekme durumuna ait deformasyonu göstermesi daha sık karşılaşılan bir durum olup Şekil 2.27'de gösterilmiştir.



Şekil 2.27 Sıfır Deformasyon Artış Düzlemleri [11]

Ayrıca Şekil 2.27b'de $\delta\epsilon_3$ değeri $\delta\epsilon_1$ değerinden nümerik olarak büyüktür ve Mohr dairesinin merkezi eksenlerin orijininin daha sola kaymıştır.

2.6 ZEMİNLERDE KAYMA MUKAVEMETİ

Bir zeminin zeminin dayanabileceği en büyük kayma gerilmesidir. Karşılaşılan bütün zemin mekaniği problemlerinin çözümünde kayma gerilmesinin bilinmesi büyük önem taşır. Zeminin taşıma kapasitesi kayma mukavemeti ile yakından ilgilidir. Zemine uygulanan yükler etkisinde, zemini oluşturan danecikler birbirlerine göre hareket etmeye başlar. Bunun sonucunda kayma düzlemi oluşur. Bu hareket sonucu zemin plastik konuma ulaştınca da artık ilave bir yük taşıyamaz hale gelir ve göçme denilen olay ortaya çıkar. Kayma direncinin aşıldığı düzlem her zaman en büyük kayma gerilmesi düzlemi olmayabilir. Göçme normal ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. Kayma mukavemeti zemin mekaniğinde iki parametreyle ölçülür:

- 1) Kohezyon veya parçacıkların içsel çekimini ifade eden c ile
- 2) İçsel sürtünme açısı ϕ ile

Kayma mukavemeti toplam gerilmeler cinsinden

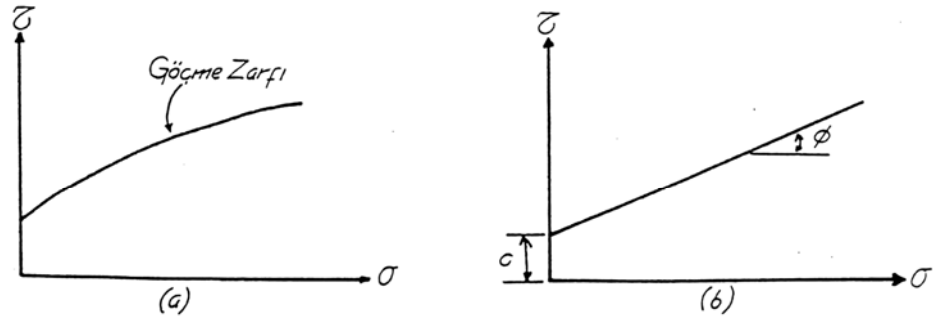
$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (2.9)$$

şeklinde ifade edilir. Burada τ_f kayma mukavemetini, σ kayma düzlemindeki normal gerilmeyi göstermektedir.

Tüm malzemelerde üzerlerine uygulanan kuvvet belli bir sınır değerini aştığı zaman göçme meydana gelir. Bunun şekli ve sınır değeri her malzemeye göre farklılık gösterir. Çelik gibi elasto-plastik davranış gösteren malzemelerde akma tipi göçme gözlenirken, beton gibi kırılgan malzemelerde ani göçme oluşabilmektedir. Zeminlerdeki göçme ise zeminin cinsine ve su muhtevası gibi bazı fiziksel ve bünyesel özelliklerine bağlı olmakla beraber genellikle müsadde edilebilir deformasyonların aşılmasıyla ortaya çıkmaktadır.

2.6.1 Mohr-Coulomb Göçme Hipotezi

Zeminler için göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini gözönüne alan birçok hipotez geliştirilmiştir. Bunlar içinde en yaygın olarak kullanılanı Mohr-Coulomb göçme hipotezidir. Buna göre göçmeye yol açan normal ve kayma mukavemetinin sınır değerleri bir eğri ile gösterilmektedir. Bu grafikte normal gerilmeler yatay eksen, kayma gerilmeleri düşey eksen üzerinde gösterilmektedir. Göçme zarfı olarak nitelendirilen bu eğrinin altında kalan gerilmeler için göçme ortaya çıkmazken, eğer gerilmeler bu eğriye ulaşmışsa göçme meydana gelmektedir (Şekil 2.28a). Zeminde bu eğrinin üzerinde bir gerilme hali oluşamayacağı açıktır. Göçme zarfı bir eğri şeklinde oluşmasına rağmen pratikte bu genellikle bir doğru olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.28b). Bu doğrunun kayma gerilmesi eksenini kestiği nokta c , yatayla yaptığı açı ϕ ile gösterilirse yukarıda bahsettiğimiz $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ ifadesinin nasıl oluştuğu görülür.



Şekil 2.28 Mohr Columb Göçme Hipotezi[12]

Zeminlerin kayma mukavemeti daha önce de bahsettiğimiz gibi bir göçme düzlemi boyunca kaymaya karşı gösterilen dirençtir. Bu dirençse o düzlem boyunca oluşan sürtünmeden kaynaklanmaktadır. $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$ bağıntısındaki $\sigma \tan \phi$ ifadesinde, ϕ açısı zeminin kayma mukavemeti açısını başka bir deyişle içsel sürtünme açısını gösterirken sürtünme direncini ifade etmektedir. İçsel sürtünme açısı sadece daneler arasındaki sürtünmeden kaynaklanan direnci değil aynı zamanda danelerin birbirlerine göre hareketine engel olan kilitlenme etkisini de içermektedir. Mohr-Coulomb bağıntısındaki c parametresi ise kohezyon katsayısı olarak ifade edilir. Aslında kohezyon katsayısı zeminin fiziksel bir özelliği değildir. Bunun nedeni farklı basınçlar altında kohezyon katsayısının farklı değerler alabilmesidir. Bu sebepten dolayı kohezyon katsayısını belirli koşullarda sürtünme direncini ifade etmekte kullanılan bir katsayı olarak kabul etmek daha gerçekçi bir yaklaşım olur.

3 MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, bu tez kapsamında incelenen derin kazı imalatı, zemin koşulları detaylı olarak tanıtılmakta ve kullanılan yöntemler anlatılmaktadır.

3.1 YANAL TOPRAK BASINÇLARI

Bir istinat yapısına herhangi bir derinlikte etkiyen yanal toprak basıncı P_h , o noktadaki düşey basınç P_v ise ,

$$P_h = P_v \cdot K \quad (3.1)$$

olur. Burada K yanal toprak basıncı katsayısıdır.

İstinat yapılarına etkiyen toprak basınçlarının hesaplanmasında, plastisite teorisinden hareket eden Rankine Teorisi ve Coulomb tarafından kurulan ve sonuçları geliştirilen Kama Teorisi kullanılmaktadır. Ayrıca ilave yüklerden doğan basınçların hesaplanmasında, elastisite teorisinden istifade ile elde edilen formüller de mevcuttur. Arkasında zemin tutan bir perde (istinat yapısı arka yüzü) zeminden yeter miktarda hareket ederse “Aktif Toprak Basıncı” perde zemine doğru yeter miktarda hareket ederse “Pasif Toprak Basıncı” doğar. Perdenin hareket etmemesi halinde doğacak basınca “Sükunetteki Toprak Basıncı” adı verilir [13].

3.1.1 Rankine Formülleri

Bu teoride varsayımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Zemin izotropik ve homojendir.
- Duvar arka yüzeyi düşey $\alpha = 90^\circ$
- Duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme $\delta = 0^\circ$
- Duvar arka yüzeyi yatayla $\beta = 0^\circ$ dır.
- Zemin plastik denge durumuna ulaşmıştır.

3.1.1.1 Aktif Toprak Basıncı

Arkasında zemin tutan bir perde-düşey, arkasındaki zemin-yatay ve duvar-zemin arasındaki sürtünme açısı $\delta = 0$ ise herhangi bir “z” derinliğindeki noktaya etkiyen aktif toprak basıncı P_A ile gösterilirse ($\alpha = 90^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\delta = 0^\circ$) , kumlu zeminlerde ($c=0$, ϕ hali) Şekil 3.1a ;

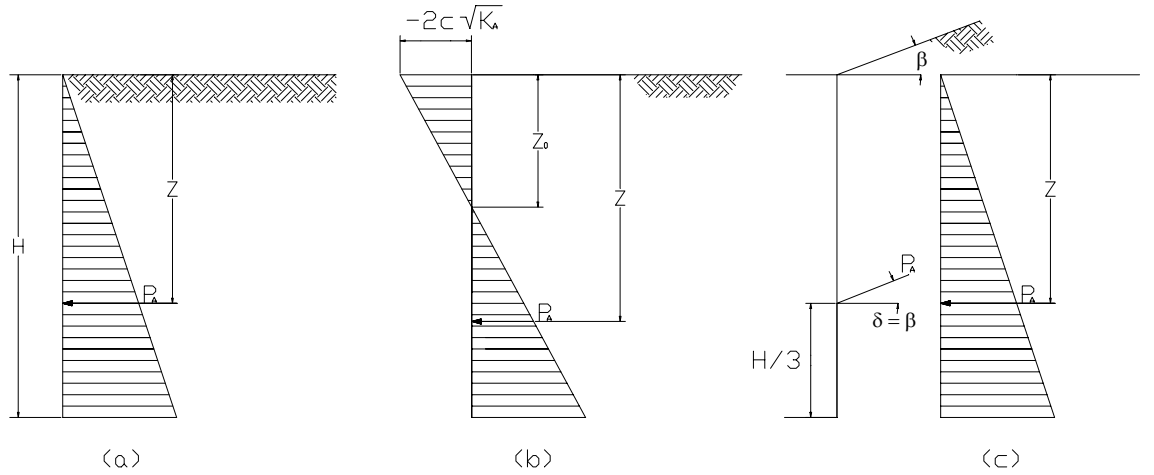
$$P_A = \gamma \cdot z \cdot \tan^2(45 - \phi/2) \quad (3.2)$$

Killi zeminlerde (c , ϕ hali) (Şekil 3.1.b);

$$P_A = \gamma \cdot z \cdot \tan^2(45 - \phi/2) - 2 \cdot c \cdot \tan(45 - \phi/2) \quad (3.3)$$

dır. Burada aktif toprak basıncı katsayısı ;

$$K_A = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (3.4)$$



Şekil 3.1 Aktif Toprak Basıncı Dağılımları [13]

Buna göre $P_A = 0$ olan derinlik ;

$$Z_0 = 2 \cdot c / \sqrt{K_A} \quad (3.5)$$

dır. Bu seviye ile zeminin yüzü arasında çekme gerilmeleri yer alır . Zeminin yüzeyinde ($Z = 0$ için) çekme gerilmesi maksimum ;

$$P_A = - 2 \cdot c / \gamma \cdot \sqrt{K_A} \quad (3.6)$$

değerine ulaşır. $\phi = 0$ halinde ise;

$$P_A = \gamma \cdot z - 2 \cdot c \quad (3.7)$$

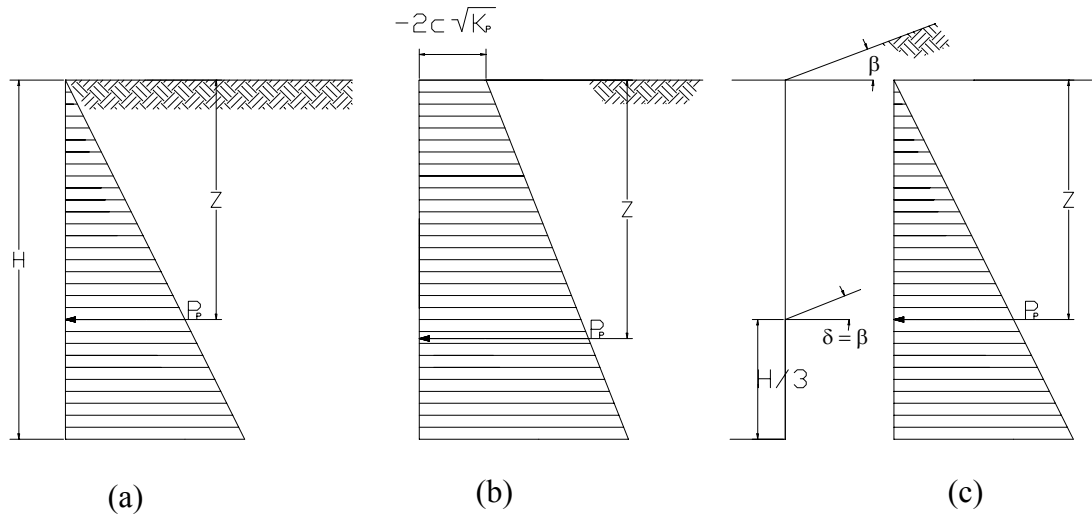
$$Z_0 = 2 \cdot c / \gamma \quad (3.8)$$

dır. Kumlu zeminlerde eğik duvar arkası dolgusu halinde ($\beta \neq 0$), zemin yüzüne paralel aktif toprak basıncı (Şekil 3.1.c)

$$P_A = \gamma \cdot z \cdot \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \cos \beta \quad (3.9)$$

3.1.1.2. Pasif Toprak Basıncı

Arkasında üst yüzü yatay bir zemin bulunan sürtünmesiz düşey bir duvarın ($\alpha = 90^\circ$, $\beta=0^\circ$, $\phi = 0^\circ$) herhangi bir z derinliğindeki noktasına etkiyen pasınc P_p ile gösterilirse kumlu zeminlerde, ($c = 0$, ϕ hali) (Şekil 3.2 a),



Şekil 3.2 Pasif Toprak Basıncı Dağılımları [13]

$$P_p = \gamma \cdot z \cdot \tan^2(45 + \phi/2) \quad (3.10)$$

Killi zeminlerde (c , ϕ hali) (Şekil 3.2.b),

$$P_p = \gamma \cdot z \cdot \tan^2(45 + \phi/2) + 2 \cdot c \cdot \tan(45 + \phi/2) \quad (3.11)$$

dır. Burada pasif toprak basıncı katsayısı;

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) \quad (3.12)$$

dır. $\phi = 0$ halinde;

$$P_p = \gamma \cdot z + 2 \cdot c \quad (3.13)$$

dir. Kumlu zeminlerde eğik duvar arkası dolgusu halinde ($\beta \neq 0$) zemin yüzüne paralel pasif toprak basıncı (Şekil 3.2.c),

$$P_A = \gamma \cdot z \cdot \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \cos \beta \quad (3.14)$$

olarak ifade edilebilir.

3.1.1.2 Sükunetteki Toprak Basıncı

İstinat perdesinin hiç hareket etmediği kabulü halinde toprak basıncı P_0 ile gösterilir ve sükunetteki toprak basıncı adını alır. Bu durumda bir düşey duvara “z” derinliğinde etkiyen P_0 değeri;

$$P_0 = \gamma' \cdot z \cdot K_0 \quad (3.15)$$

dır. Burada K_0 sükunetteki toprak basıncı katsayısı olup;

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (3.16)$$

alınabileceği belirtilmiştir [10]. Aşırı konsolide killerde bu değer, aşırı konsolidasyon oranına (AKO) bağlı olarak;

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \sqrt{AKO} \quad (3.17)$$

şeklinde verilmektedir. Aşırı konsolide killerde K_0 değerinin 1'in üzerinde çıkabileceği ölçülmüştür.

Rijit istinat duvarlarının veya yapılardaki toprak perdelerin arkalarına konulan dolguların sıkıştırma miktarına bağlı olarak toprak basıncı katsayıları, K_A değerinden K_0 değerine ve hatta daha da üstüne çıkarak K_P pasif toprak basıncı katsayısı değerine yaklaşabilir. Bu nedenle bu tip dolgularda yapılacak sıkıştırma işlemine gereken önem verilmelidir.

3.2 DEFORMASYONA BAĞLI MOBİLİZE OLAN İÇSEL SÜRTÜNME AÇISININ HESAPLANMASI

3.2.1 Zeminde Oluşan Deformasyon, Mobilize Olan İçsel Sürtünme Açısı (ϕ'_{mob}) ve K Değerleri

Klasik toprak basıncı teorileri, yenilme anındaki zemin parametrelerinin bilinmesi veya kolay elde edilebilmesi nedeniyle zemin sınır denge durumuyla ilgilenirler. Pek çok zemin basıncı teorisi granüler zeminin göçme anındaki içsel sürtünme açısı ϕ' ve duvar sürtünme açısı δ' 'nin bilinmesine gereksinim duyar. Sınır durumunda zeminde ϕ' açısının mobilize olması için deformasyon oluşması gerekir. Artan deformasyonla uyanan ϕ' değeri yükselir. Ancak, sınır değerlere ulaşıncaya göçme meydana gelir. Zeminin yeterli deformasyona uğradığı ve buna bağlı olarak zemin kayma direncinin tamamının hareketlendiği kabul edilir.

Deformasyon bağıntılı toprak basıncı ise klasik toprak basıncı teorilerine bağlı olarak hesap edilebilir. Bunun için yenilme anındaki sürtünme açısı ϕ'_{mob} kullanılır.

Bu çalışmada kullanılan zemin parametreleri, Zhang ve diğ.'nin yapmış olduğu deneysel bir araştırmanın sonuçları irdelenerek, elde ettikleri formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Zhang ve diğ. (1998) tarafından yapılan çalışmada deformasyona bağlı

olarak yatay basınç katsayısı değişimi incelenmektedir. Bu yöntemle herhangi bir deformasyon durumu için yanal toprak basıncı katsayıları hesaplanabilmektedir.

Zhang ve diğ. (1998) yaptıkları araştırmada, üç eksenli basınç deneylerinden elde ettikleri değişik sabit deformasyon izlerinin sonuçlarına göre, toprak basıncı katsayısının deformasyon artış oranına son derece bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar bu bulguyla, herhangi bir sınır deformasyon kısıtlaması altındaki zemin basınçlarının çözümü için yeni bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bu yöntemle, Rankine ve Coulomb teorileri formülleri genişletilerek yeni toprak basıncı denklemleri elde edilmiştir.

Çalışmada deformasyon oranı (R_ϵ) yanal deformasyonun düşey deformasyona oranı

$$R_\epsilon = \frac{\Delta \epsilon_{yatay}}{\Delta \epsilon_{düşey}} = \frac{\epsilon_3}{\epsilon_1} \quad (3.18)$$

olarak tanımlanmış ve mobilize olacak sürtünme açısının bu deformasyon oranının bir fonksiyonu olduğu gösterilmiştir.

Buna göre ϕ'_{mob} ,

$$\sin \phi'_{mob} = \frac{\sin \phi' (1 - R_\epsilon)}{2 - \sin \phi' (1 + R_\epsilon)} \quad (3.19)$$

bağıntısından hesaplanır [14].

Limit gerilme durumlarında ise mobilize olan içsel sürtünme açısı ϕ'_{mob} 'nin, ϕ' 'ye eşit olacağı belirtilmiştir.

Şekil 3.3a'da gösterildiği gibi, pasif taraftaki R_ϵ 'deki değişiklik göz önünde bulundurularak yeni yatay deformasyon parametresi R 'nin değişken olduğunu söyleyebiliriz [14]. Buna göre yeni yatay deformasyon parametresi R aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$R = \begin{cases} R_{\varepsilon} & (K \leq 1) \\ 2 - R_{\varepsilon} & (K \geq 1) \end{cases} \quad (3.20)$$

Burada “K” toprak basıncı katsayısını göstermektedir. İçsel sürtünme açısı yardımıyla toprak basıncı katsayısı K,

$$K = \frac{1 - \sin \phi'}{1 - \sin \phi' \cdot R} \quad (-1 \leq R \leq 1) \quad (3.21)$$

$$K = 1 + \frac{\sin \phi'}{1 - \sin \phi'} (R - 1) \quad (1 \leq R \leq 3) \quad (3.22)$$

denklemleri ile elde edilebilir.

ϕ'_{mob} açısı yeni deformasyon parametresi R kullanılarak iki şekilde hesaplanabilir;

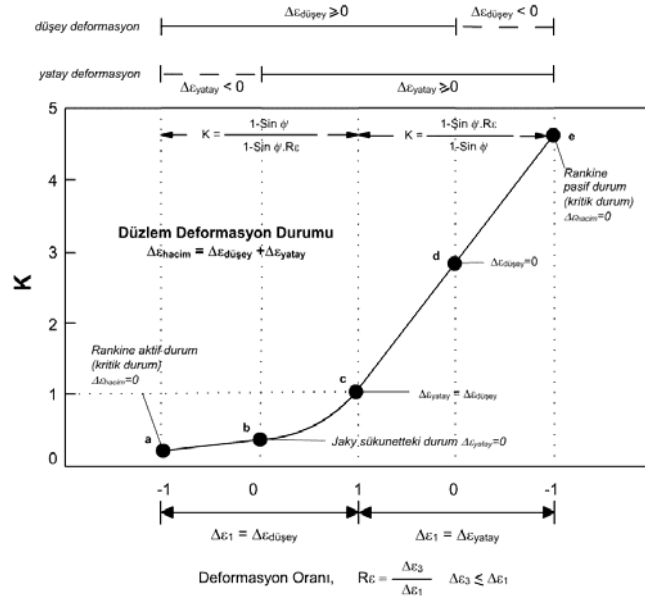
$$\sin \phi'_{mob} = \frac{\sin \phi' (1 - R)}{2 - \sin \phi' (1 + R)} \quad (-1 \leq R \leq 1) \quad (3.23)$$

$$\sin \phi'_{mob} = \frac{\sin \phi' (R - 1)}{2 - \sin \phi' (3 - R)} \quad (1 \leq R \leq 3) \quad (3.24)$$

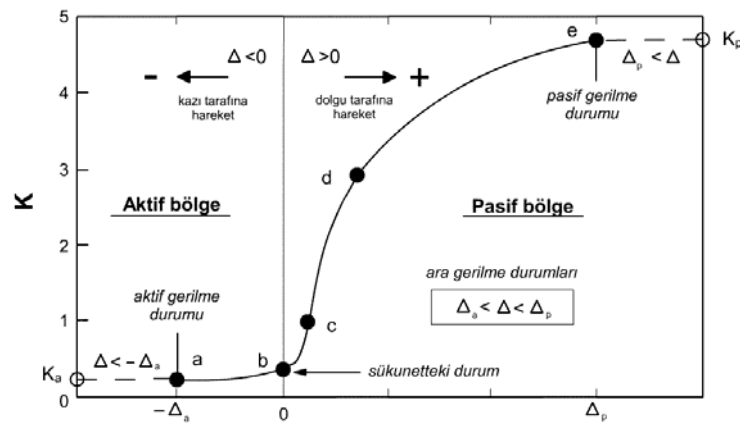
Bu çalışmada göçme zarfına ulaşan zeminler için içsel sürtünme açısı $\phi' = 33^\circ$ olarak alınmıştır. Aktif, pasif ve durgun durumda yanal basınçların etkisi istinat yapıları tasarımının en önemli girdilerinden birisidir. Durgun durumdaki yatay basınç katsayısı Jaky (1948) tarafından verilen formül ile bulunur. Aktif ve pasif durumdaki basınç katsayıları ise Coulomb (1776) ve Rankine (1857) tarafından geliştirilmiş olan formüller yardımı ile bulunmaktadır. Terzaghi (1934) ve diğerleri tarafından yapılan araştırmalar ise ancak belirli bir deformasyona ulaşılması durumunda pasif duruma erişilebileceğini göstermiştir.

Zeminin uyguladığı yatay basınç miktarı, zeminin gerilme deformasyon özelliklerine ve ulaşılan deformasyon miktarına göre değişmektedir. Ancak, pek çok durumda pasif durum için gerekli olan deformasyonlara ulaşamamaktadır. Örneğin derin kazılarda yatay basınçlar inşa sistemine bağlı olarak artmakta veya azalmakta ve genellikle aktif basınç ile pasif basınç arasındaki değerlerde kalmaktadır.

Şekil 3.3'te K ve R_e değerlerini tanımlayan formülasyon şematik olarak görülmektedir.



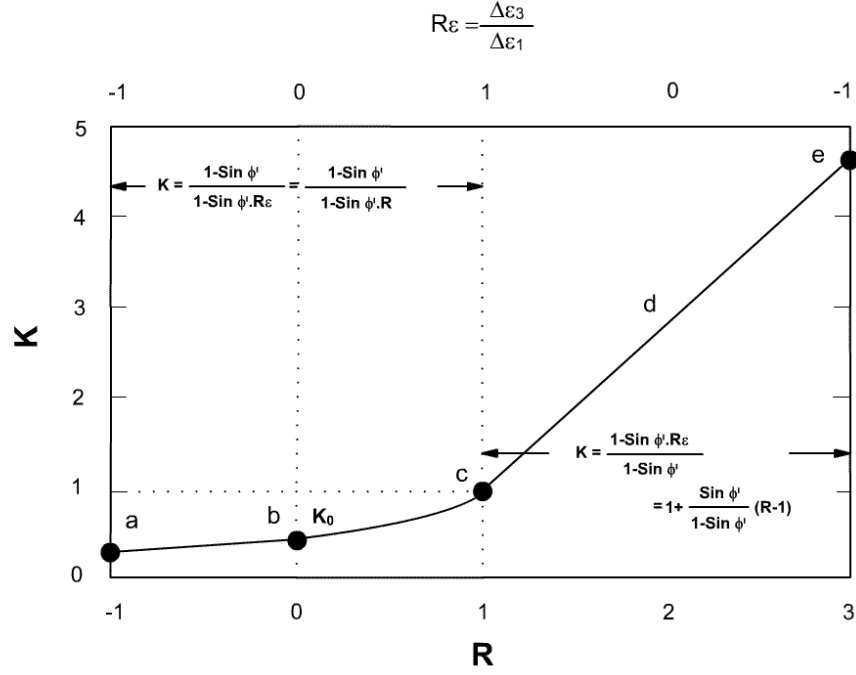
a) Deformasyon Oranının Sürekli Fonksiyonu Olarak K



b) Duvarın Yatay Hareketi İle K 'nın Sürekli Değişimi

Şekil 3.3. Düzlem Deformasyon Durumu İçin Süreklilik Diyagramı[14]

Yanal deformasyon katsayısına bağı K değerlerinin değişimi Şekil 3.4'te verilmiştir.

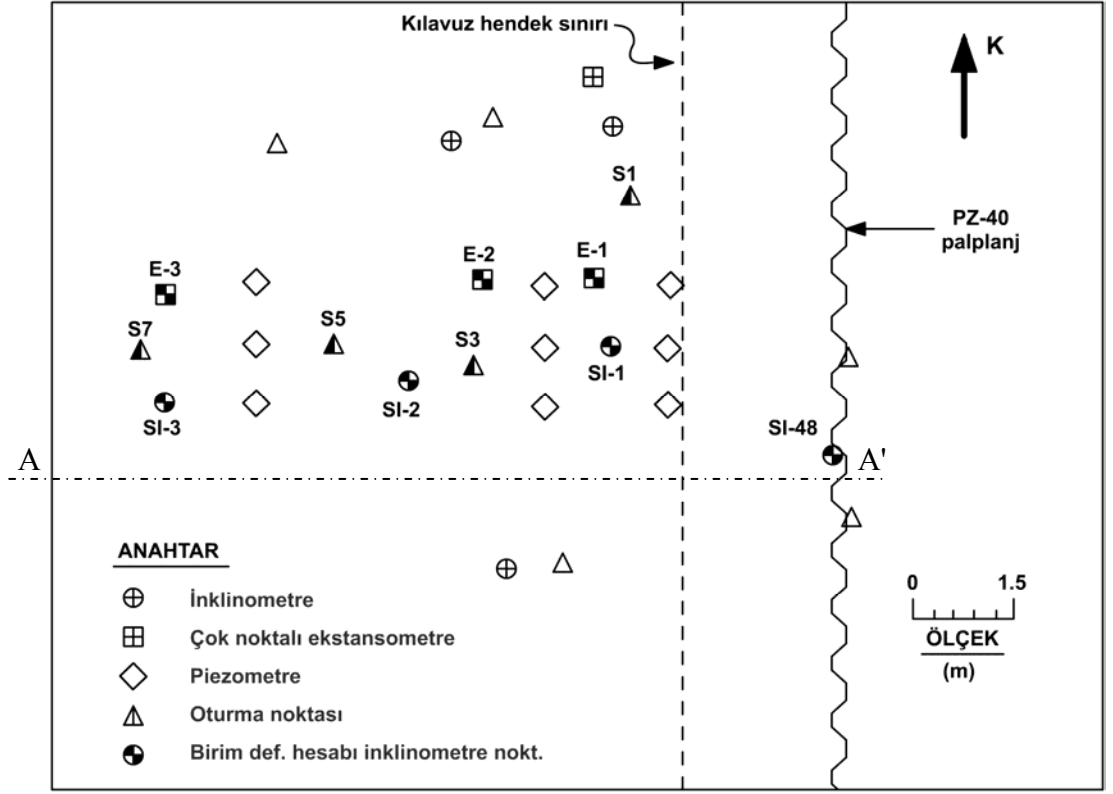


Şekil 3.4. Yeni Yanal Deformasyon Parametresi R'nin Fonksiyonu Olarak Yanal Toprak Basıncı K [14]

3.3 BİR YATAY DESTEK UYGULAMASI ÖRNEĞİ

Bu çalışmada Finno ve diğ. (1989)'nin Chicago'da bir metro inşaatı sırasında detaylı olarak aletsel gözlemlene çalışması yaptıkları bir proje verileri kullanılmıştır.

Zemin deformasyonları, inklinometre, çok noktalı ekstansometre ve zemin yüzeyindeki nokta ölçümlerden elde edilen oturmaların sonuçlarından hesaplanarak sunulmuştur. Deformasyon bileşenleri düzlem deformasyon şartları dikkate alınarak inşaat süresince hesaplanmıştır. Şekil 3.5'te test bölgesinde uygulanan deneylerin şematik olarak gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.5 Arazi Deneyleri Şeması[15]

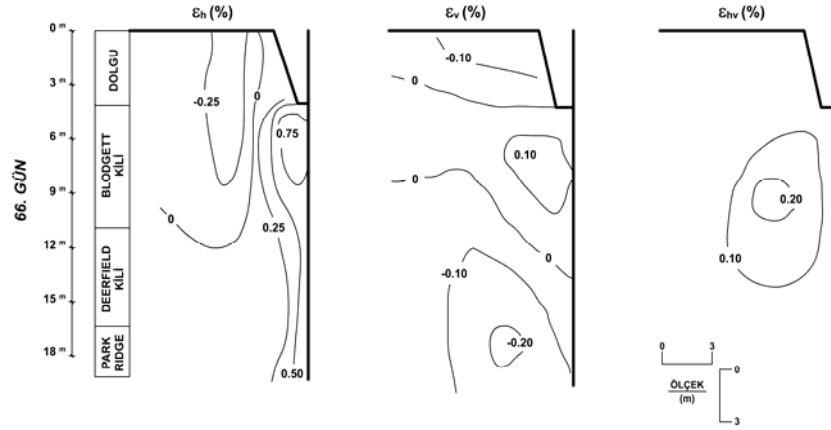
Zemin deformasyon eğrileri, inşaat süresince 5 anahtar dönemde incelenmiştir. Bu dönemler Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Test Bölgesindeki İnşaat Faaliyetleri[15]

İnşaat Günü	Dönem	Faaliyet
1 52 64 101	1	Dolgu etrafında klavuz hendeğin kazımına başlanması 12,5 m'ye kadar plaka sürülmesi 19 m'ye kadar plakanın vibrasyonu Kazı başlangıcı
141 143	3	4 m'ye kadar kazı 5 m'ye kadar kazı; test bölümünde max konsol durum
144 148 152	4	W 14 x 109 kesitindeki 1. desteğin yerleştirilme ve ön yüklenmesi 6,5 m'ye kadar kazı; ana çizgi etrafında zemin yüzeyinde çatlak incelemesi 8 m'ye kadar kazı
156,157 163	5	24 inç çap x 1/2 inç borulu 3. desteğin yerleştirilme ve önyüklenmesi 22 inç çap x 3/8 inç borulu 2. desteğin ön yükleme olarak yerleştirilmesi
164 165 166	6	11 m'ye kadar kazı 24 inç çap x 1/2 inç borulu 4. desteğin yerleştirilme ve önyüklenmesi 12 m'ye kadar kazı

Dönem 1

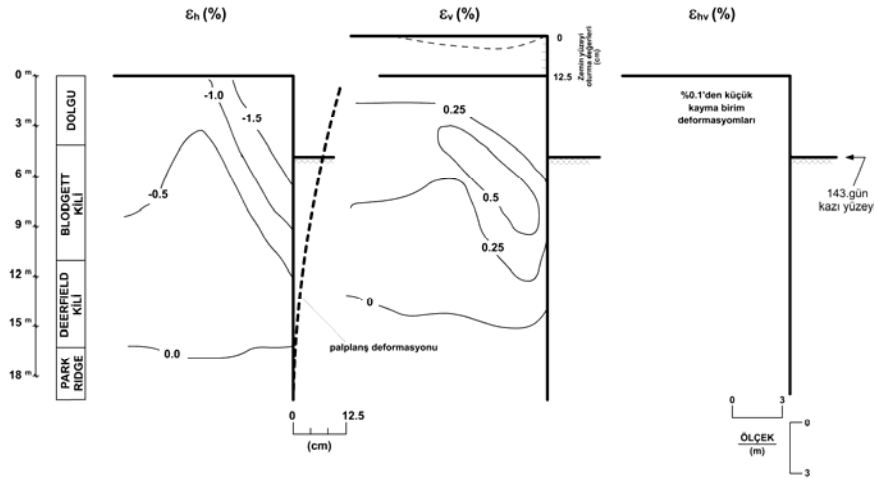
Burada, palplanşın çakılma sırasında 66 günde ölçülen deformasyon detaylı olarak incelenmiştir (Şekil 3.6). Palplanş 52. günde çakılmaya başlanmıştır. Palplanşın yerleştirilmesi sırasında arka zeminde kabarmalar oluşmuştur. Kılavuz hendeğin yanındaki dolguda yanal genleşmeler ölçülmüştür. Palplanşın çakılması sırasında yatay deformasyonlar, düşey deformasyonlardan büyüktür.



Şekil 3.6 66. Gündeki Birim Deformasyon Eğrileri [15]

Dönem 3

Bu dönem palplanş duvarın konsol gibi davrandığı dönemdir. 143. günde kazı 5 m derinliğe ulaştığında maksimum duvar yüksekliği yaklaşık 5m'dir (Şekil 3.7). Bu noktada tüm zemin gerilme davranışı hala yatay deformasyon etkisi altındadır. Yatayda genişleme meydana gelmiş, düşeyde ise oturmalar ölçülmüştür. Kayma birim deformasyon değerleri düşük mertebededir.

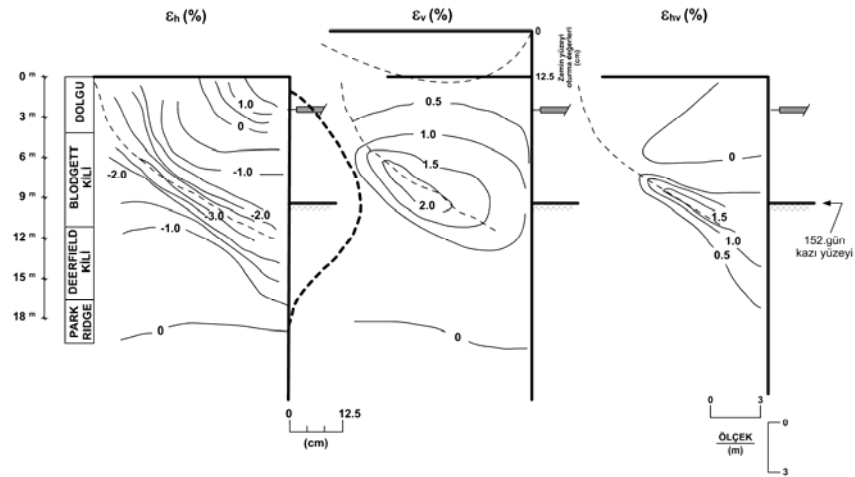


Şekil 3.7 143. Gündeki Birim Deformasyon Eğrileri [15]

Dönem 4

144. günde birinci yatay destek yerleştirilmiş ve 152. günde de kazı 8 m'ye ulaşmıştır (Şekil 3.8). Dönem boyunca desteklenmemiş maksimum duvar yüksekliği, 152. günde 6 m olmaktadır. 148. günde yüzeyde palplanstan yaklaşık 10m geride bir çekme çatlağı tespit edilmiştir. Bu çatlaktan hareketle ölçülen birim deformasyonlara ait kayma düzleminin yaklaşık yeri tahmin edilmiştir.

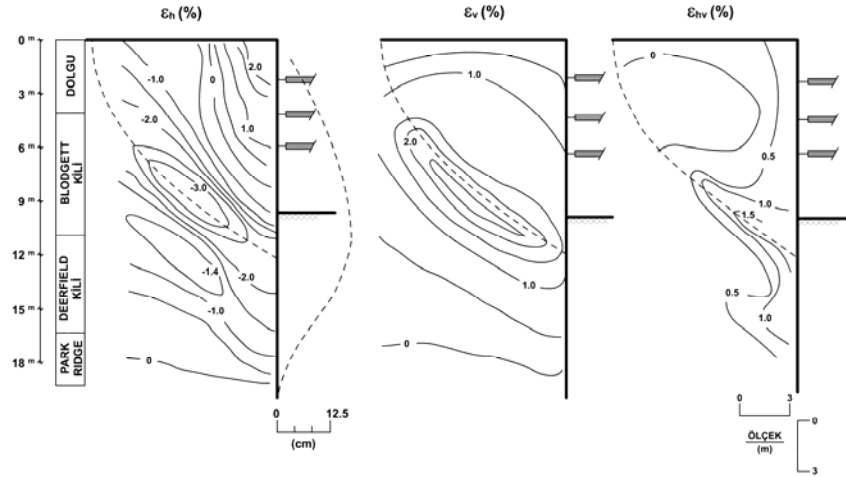
Desteğin yerleştirilmesi ile bu bölgede yatayda sıkışma oluşmuştur. Düşey deformasyon eğrileri ise duvarın arkasındaki tüm zemin kütesinin düşey olarak sıkıştığını göstermektedir. ϵ_{hv} 'nin maksimum büyüklüğü palplanş duvarın yanında oluşmaktadır.



Şekil 3.8 152. Gün Birim Deformasyon Eğrileri [15]

Dönem 5

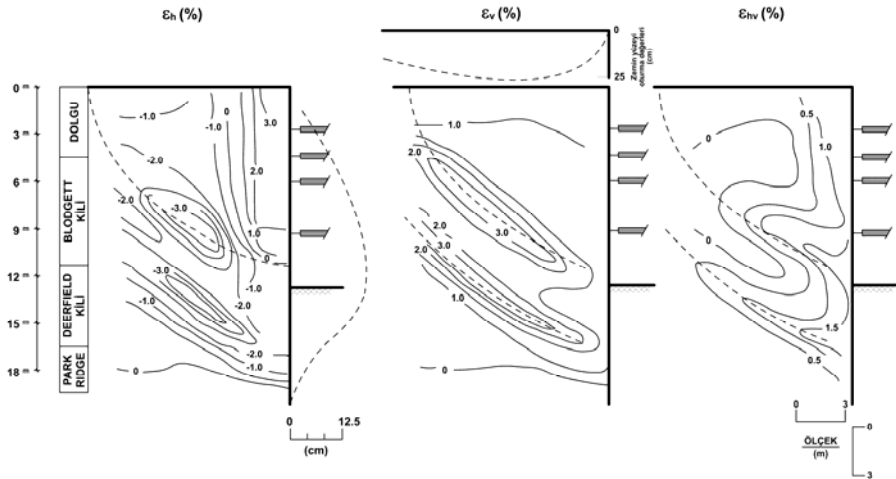
Burada kısa bir süre içinde ilk önce 3. destek yerleştirilmekte ve tasarım yükünün %50'sine kadar ön yükleme yapılmaktadır. Daha sonra 2. destek ön yüklemesiz olarak yerleştirilmekte ve kazı 1 m daha derine inip 9 m'ye ulaşmaktadır. Yatay destekler yerleştirildikçe bu bölgedeki sıkışma davranışı derinleşmektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 163. Gün Birim Deformasyon Eğrileri [15]

Dönem 6

Bu dönemde kazı derinliği 12 m'ye kadar ulaşmakta ve test bölgesindeki kazı söz konusu derinliğe ininceye kadarki sürede 4. destek yerleştirilip ön yükleme yapılmaktadır. 165. günde maksimum desteksiz kazı yüksekliği 5.5 m'dir ve 169. günde 12.5 m'lik maksimum kazı derinliğine ulaşılmıştır (Şekil 3.10). Bu dönemde üstteki kayma düzleminin altında yeni bir kayma bandının oluştuğu tahmin edilmektedir. Maksimum ϵ_{hv} değerleri palplanş duvarının yakınında meydana gelmektedir. Bu değerler asal eksenlerde duvar derinliklerinde dönme meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil 3.10 169. Gün Birim Deformasyon Eğrileri [15]

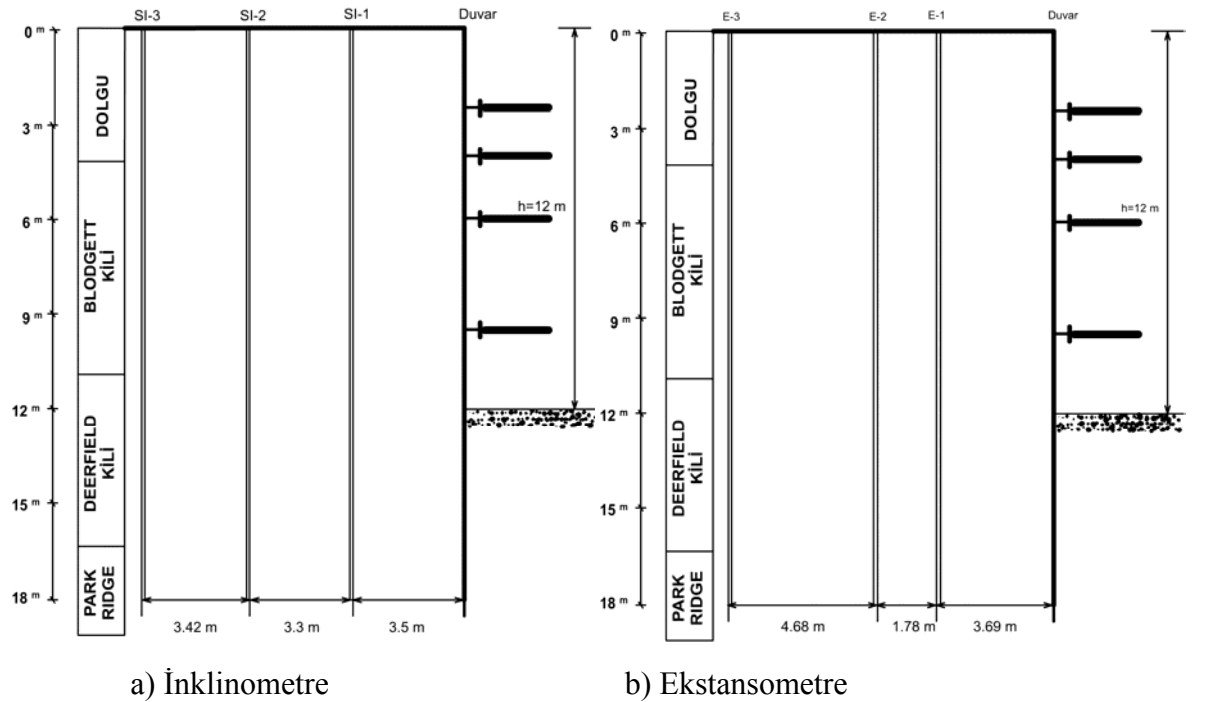
4 BULGULAR

Bu çalışmada Chicago metro kazısı sırasında yapılan ölçümlerden yararlanılarak yapıdan etkilenen zemin davranışı modellenmiştir. Modelleme adımları ve elde edilen bulgular aşağıdaki bölümlerde sırası ile verilmektedir.

4.1 FARKLI İNŞAAT AŞAMALARINDA OLUŞAN DEFORMASYONLARIN BELİRLENMESİ

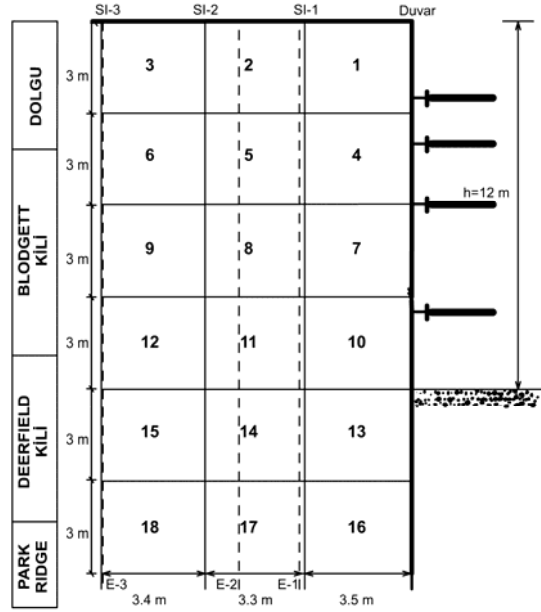
Bu çalışmada bir önceki bölümde tanıtılan Chicago metro inşaatı kazısında yapılan ölçümlerden yola çıkarak zeminde oluşan deformasyonlar hesaplanmıştır.

Aletsel gözlemlemeye ait yerleşim şeması Şekil 3.5'te verilmiştir. Bu şekilden alınan A-A' kesiti üzerindeki İnklinometre ve ekstansometre yerleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

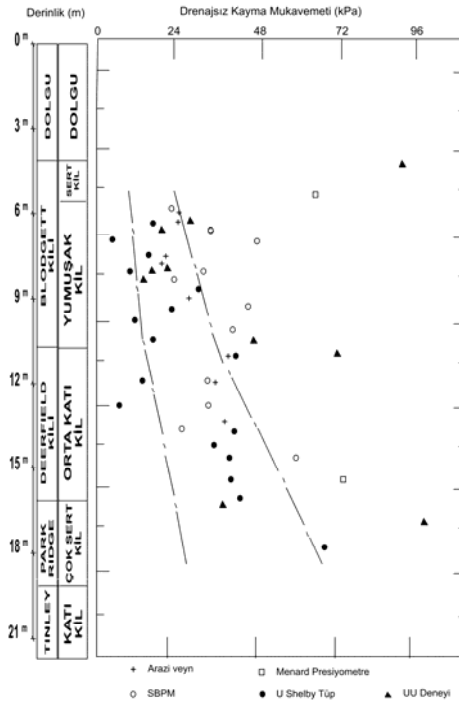


Şekil 4.1 İnklinometre ve Ekstansometre Ölçüm Yerlerinin Arazi Kesiti Üzerinde Gösterimi

Çalışmanın ilk aşamasında arazi üzerindeki ölçümlerin yapıldığı yerler esas alınarak, A-A' zemin kesiti 18 adet elemana ayrılmıştır. Elemanlara bölme işleminin amacı kesitin içinde değişik bölgelerdeki davranış farklılaşmasını tespit edebilmektir. Elemanların yerleri, boyutları ve numaraları Şekil 4.2’de verilmektedir. Zemin özellikleri ve zemin deneyleri ise Şekil 4.3’te verilmiştir.



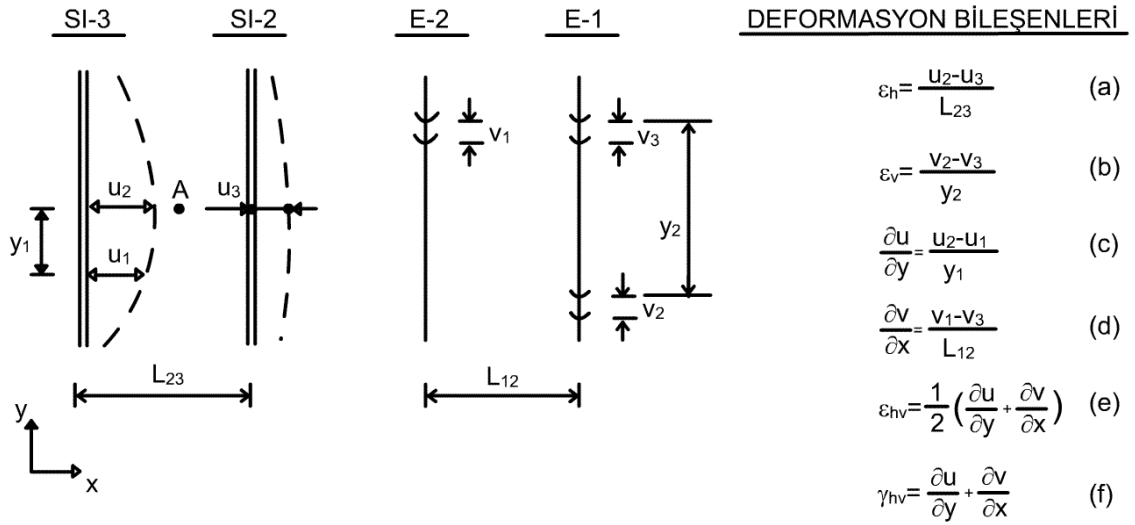
Şekil 4.2 Zemindeki Elemanların Gösterimi



Şekil 4.3 Zemin Cinsleri ve Deney şeması

İncelenmek üzere seçilen ve Şekil 4.2’de tanımlanan kesitte elemanların köşe noktalarındaki deformasyon değerleri aşağıdaki yaklaşımla hesaplanmıştır.

Finno ve diğ. (1989) inklinometreden alınan ölçümleri Şekil 4.4’te formül (a) yardımı ile yine Şekil 4.4’te şematik olarak gösterilen birim deformasyonlara çevirmişlerdir. Buldukları değerleri orta noktanın (A) birim deformasyon değeri olarak izlemişlerdir.

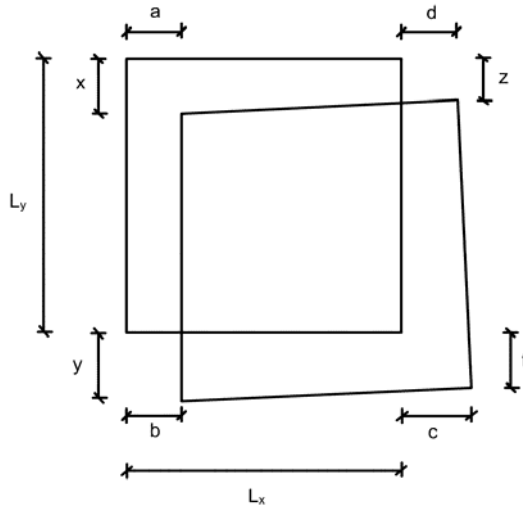


Şekil 4.4 Birim Deformasyon Hesaplanmasının Şematik ve Formüsel Olarak Gösterimi [15]

Bu tez çalışmasında elemanların köşe noktalarındaki yatay deformasyon değerleri Finno ve diğ.(1989) tarafından verilen ϵ_h grafiklerinden Şekil 4.4’teki formül (a) yardımıyla inklinometre değerlerine geri dönülerek bulunmuştur. Şekil 4.4’teki formül (a) ile geri dönüşte duvara ait deformasyon değerleri bilindiği için işlem sırası duvardan geriye doğrudur.

Düşey deformasyonlar için Finno ve diğ. (1989)’nin yapmış oldukları çalışmada verilen düşey deformasyon değerleri kullanılmıştır. Düşey deformasyonlar için işlem sırası kesit tabanından zemin yüzeyine doğrudur. Hesaplarda düşey birim deformasyonların 18 m derinlikte sıfır olduğu kabul edilmiştir. Bu işlemlerde ϵ_v hesabı için Şekil 4.4’te şematik olarak gösterilen ekstansometre ölçümleri ve formül (b) kullanılmıştır.

Bu anlayışla konstrüksiyon süresi içindeki değişik günler için her elemanın köşe noktalarındaki düşey ve yatay yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplardan elde edilen sonuçlar kullanılarak her elemana ait ortalama düşey ve yatay normal birim deformasyon değerleri ile kayma birim deformasyon değerleri bulunmuştur. Seçilen iki yön arasındaki elemandaki şekil ve yer değiştirmeyi ifade eden birim deformasyon değerlerinin bulunuşu Şekil 4.5'te verilmektedir.



$$\epsilon_x = \left(\frac{(a+b)}{2} - \frac{(c+d)}{2} \right) \cdot \frac{1}{L_x} \quad (a)$$

$$\epsilon_y = \left(\frac{(x+z)}{2} - \frac{(y+t)}{2} \right) \cdot \frac{1}{L_y} \quad (b)$$

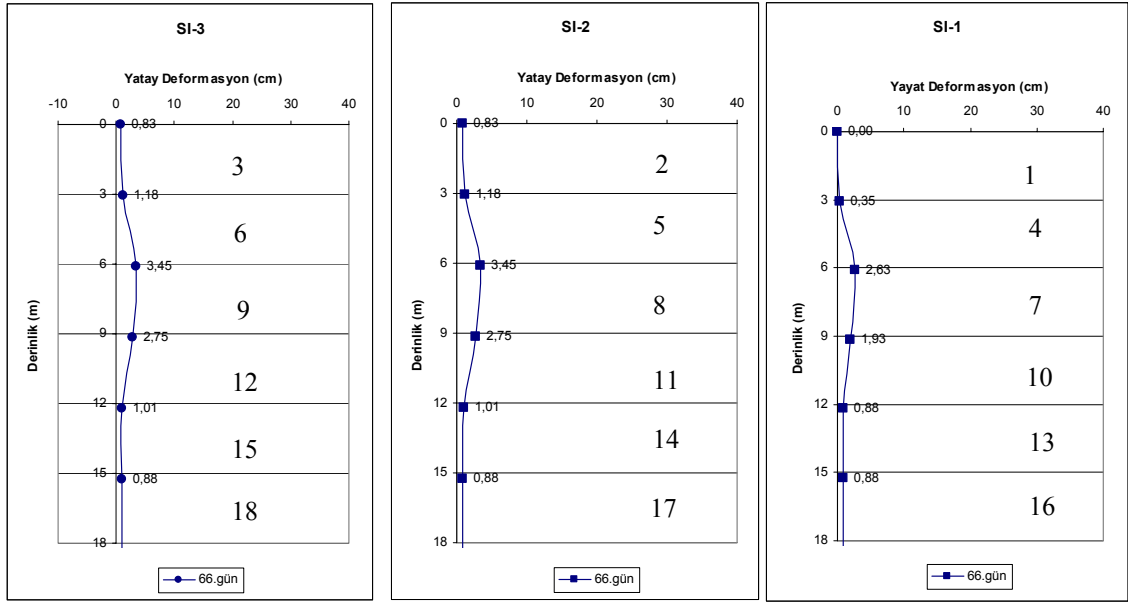
$$\delta\epsilon_{xy} = \left[\frac{\left(\frac{(x+y)}{2} \right) - \left(\frac{(z+t)}{2} \right)}{L_x} + \frac{\left(\frac{(a+d)}{2} \right) - \left(\frac{(c+b)}{2} \right)}{L_y} \right] \cdot \frac{1}{2} \quad (c)$$

Şekil 4.5 Normal ve Kayma Birim Deformasyonları Hesaplama Yönteminin Şematik ve Formüsel Olarak Gösterimi

Seçilen dönemler için hesaplanan yanal ve düşey deformasyonlar aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

4.1.1 Birinci Dönem

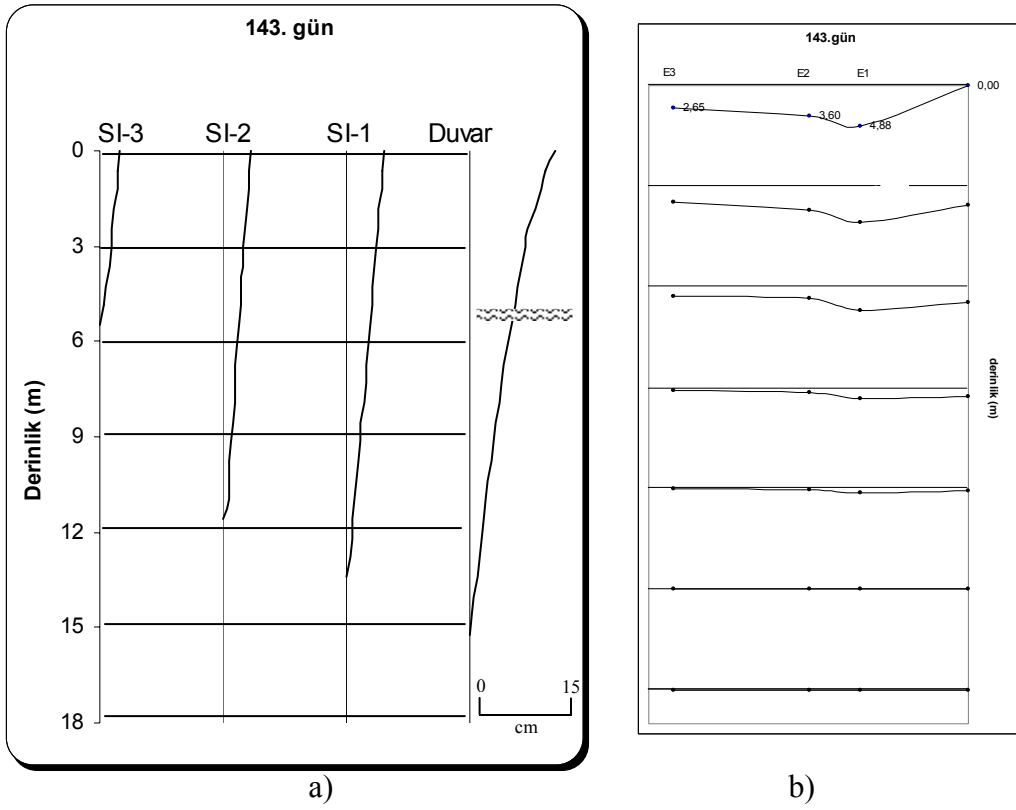
Şekil 4.6'da palplanşın çakılmaya devam ettiği 66. günde zeminde meydana gelen yatay ve düşey deformasyonlar gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Palplanş Duvarın Yerleştirilmesi Sırasında Oluşan Yanal Deformasyonlar

4.1.2 Üçüncü Dönem

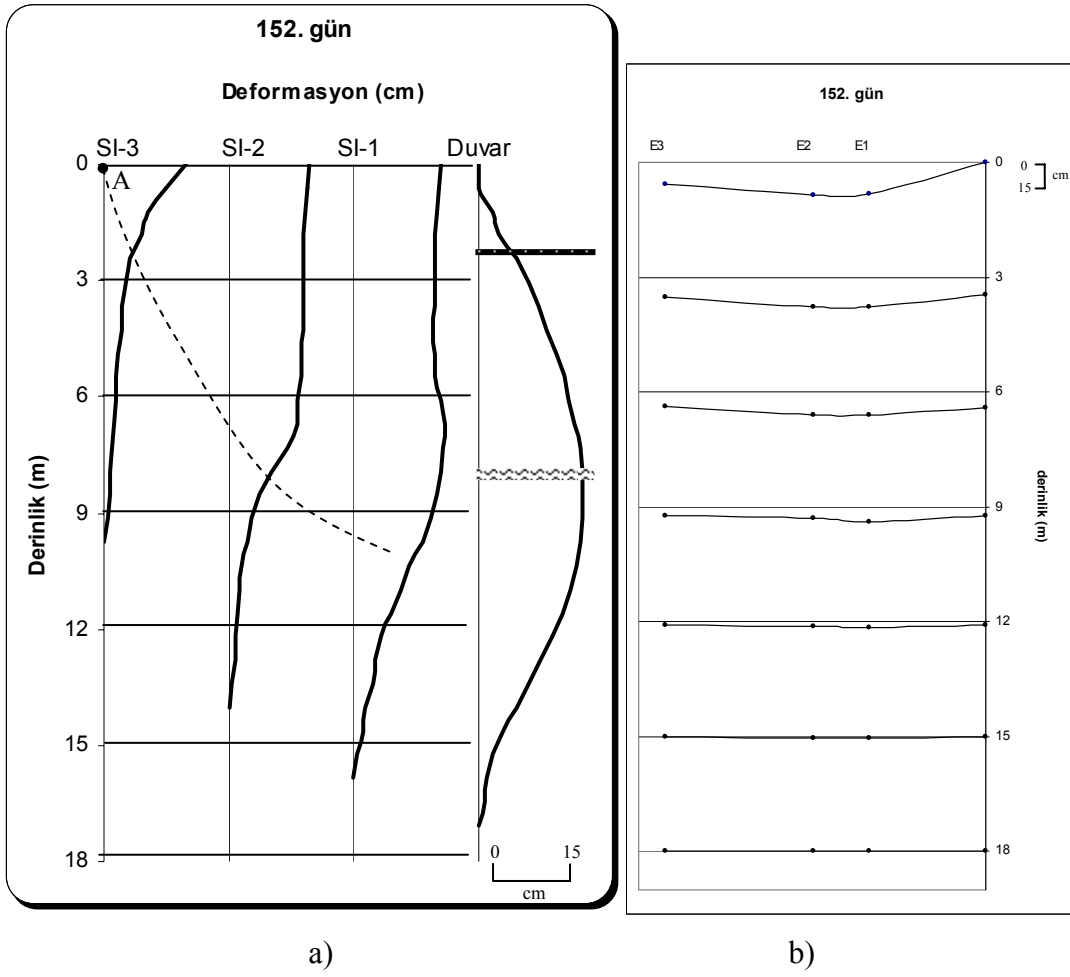
Kazı başlangıcı 101. gündür. Bu günden itibaren 141. güne kadar, yaklaşık ilk 3.5 m derinliğindeki dolgu tabakasından hafriyat yapılmıştır. Kazı zemin üst kotundan yaklaşık 4.5 m derinliğe ulaşmıştır. Bu aşamada palplanş duvar maksimum konsol davranışı göstermektedir. Bu güne ait yatay ve düşey deformasyonlar Şekil 4.7a'da gösterilmiştir. Burada maksimum deformasyon değerleri duvar için 13.75 cm, SI-1 için 6.10 cm, SI-2 için 4.57 cm ve SI-3 için 3.15 cm olarak ölçülmüştür. Düşey deformasyon değerleri 0-5 cm arasındadır. Şekil 4.7b'de 143. güne ait düşey deformasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 4.7 143. Gündeki Yatay ve Düşey Deformasyonlar

4.1.3 Dördüncü Dönem

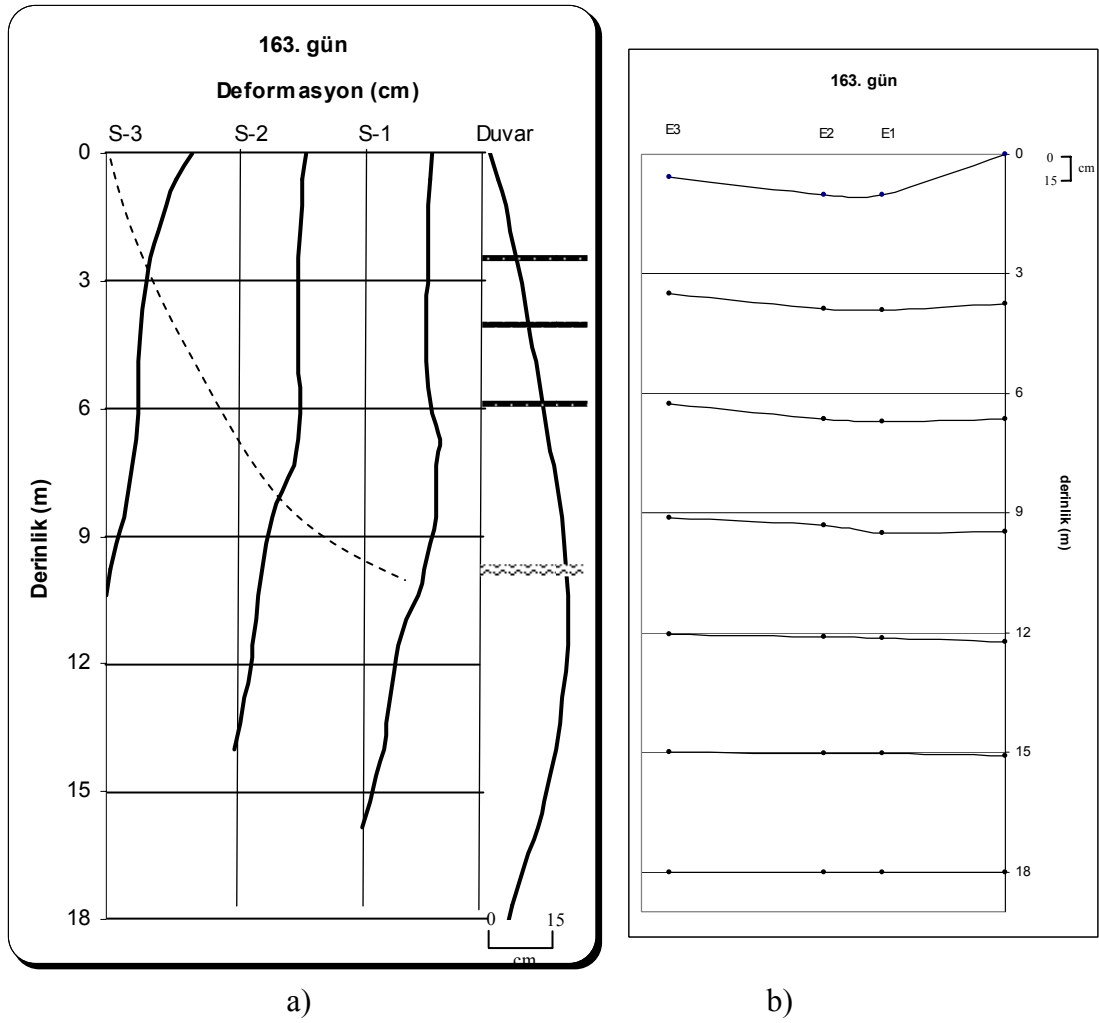
144. günde 1. yatay destek yerleştirilmiş, ön yükleme yapılmış ve hafriyata devam edilmiştir. 152. günde kazı yaklaşık 8 m derinliğe ulaştığında ortaya çıkan deformasyonlar Şekil 4.8a'da gösterilmiştir. Bu bölümde yatay destek ile kazı seviyesi arasındaki mesafe 6 m'dir. Diğer bir deyişle desteklenmemiş duvar yüksekliği yaklaşık 6 m'dir. 148. günde A noktasında bir çekme çatlağı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak potansiyel bir kayma dairesi çizilmiştir. Şekil 4.8b'de 152. güne ait düşey deformasyon grafiği görülmektedir.



Şekil 4.8 152. Gündeki Yatay ve Düşey Deformasyonlar

4.1.4 Beşinci Dönem

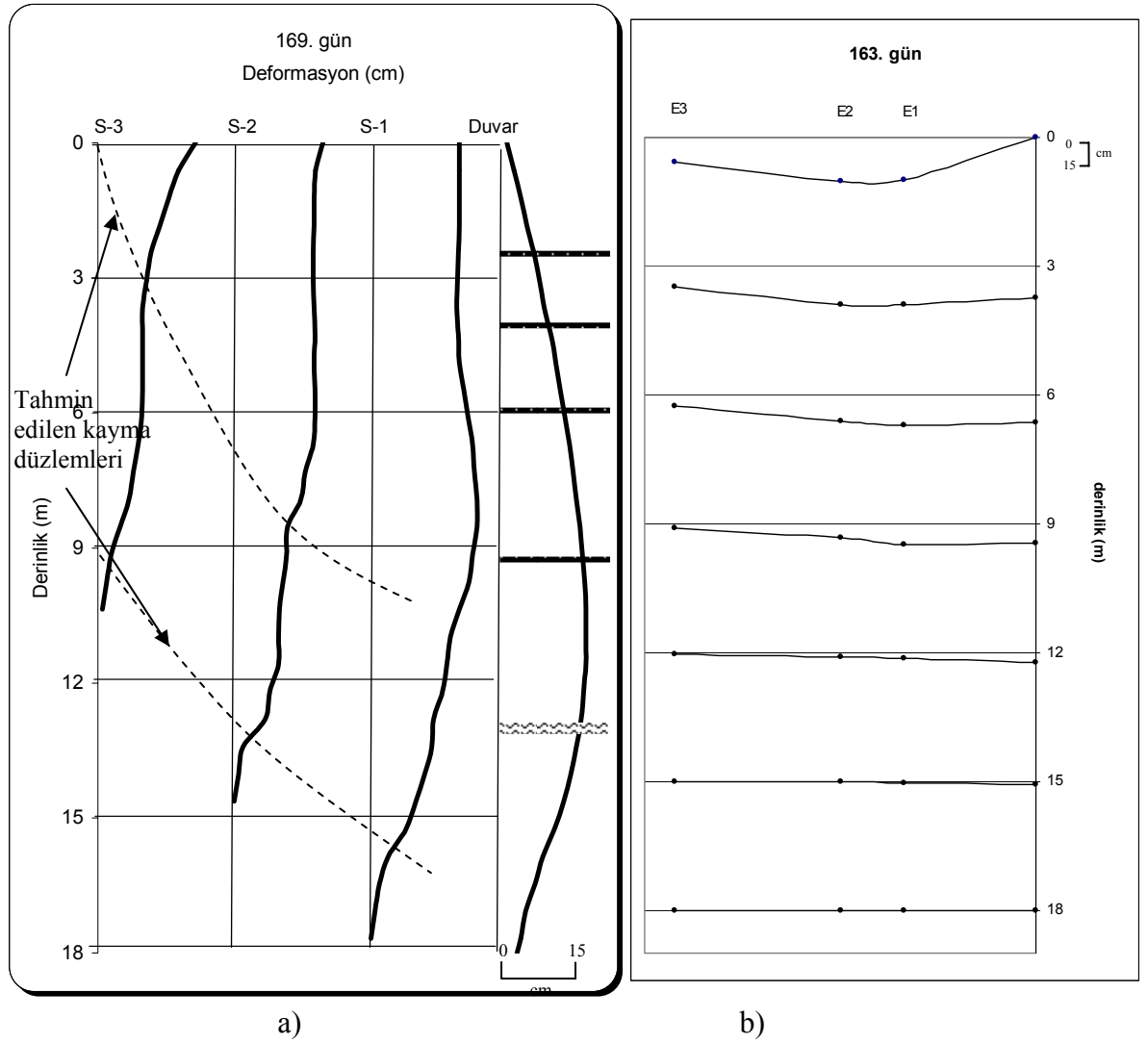
Bu aşamada 156 ve 157. günlerde 3. sıradaki yatay destek yerleştirilerek tasarım yükünün %50'si kadarıyla ön yükleme yapılmıştır. 163. günde ise 2. sıradaki yatay destek ön yüklemesiz olarak yerleştirilmiştir. Bu bölümde kazı derinliği 10 m'ye ulaşmıştır. Söz konusu güne ait yatay ve düşey deformasyonlar Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9 163. Gündeki Yatay ve Düşey Deformasyonlar

4.1.5 Altıncı Dönem

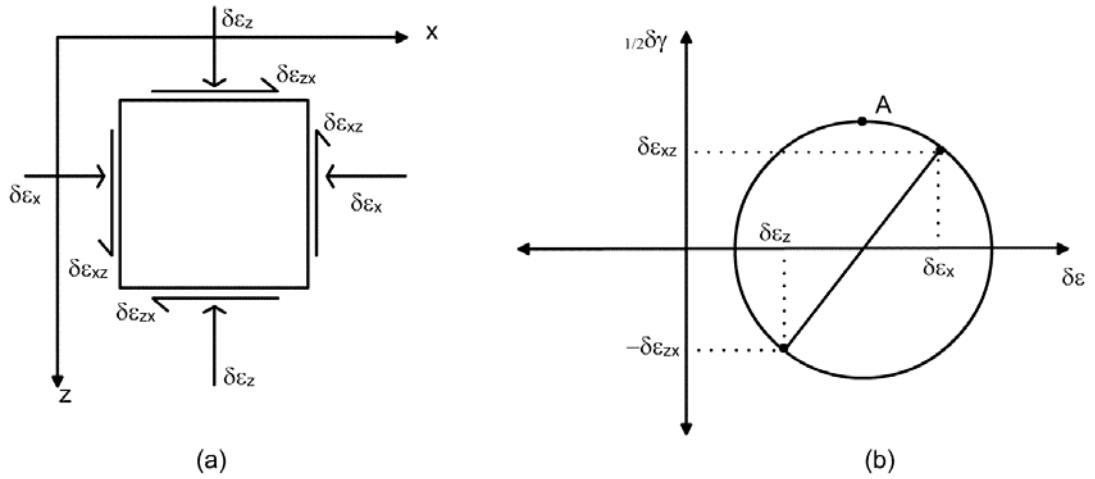
İnşaatın devam eden günlerinde 6. dönem içinde 165. günde 4. yatay destek yerleştirilerek ön yükleme yapılmıştır. 166. günde kazı 12 m'lik derinliğe ulaşmıştır. Kazının devam etmesiyle birlikte oluşan deformasyonlar ikinci bir göçme bölgesinin meydana geldiğini düşündürmektedir. Söz konusu güne ait yatay ve düşey deformasyon grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 169. Gündeki Yatayve Düşey Deformasyonlar

4.2 BİRİM DEFORMASYONA GÖRE MOHR GERİLME DAİRELERİ

Bu bölümde ölçüm sonucunda elde edilen deformasyonlar gerilmelere dönüştürülmeksizin davranışın doğrudan deformasyonlar cinsinden irdelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için Şekil 4.5'teki formüllerle birim deformasyon değerleri bulunarak ve Mohr birim deformasyon dairesinden yararlanarak elemanların değişen birim defomasyon analizleri yapılmıştır. Tablo 4.1'de 66. ve 143. günler için bu değerler örnek olarak verilmektedir. Diğer günlere ait değerler eklerde verilmiştir.



Şekil 4.11 a) Elemanın Birim Deformasyon Durumu b) Mohr Birim Deformasyon Dairesinde Gösterimi

Şekil 4.11'den görüleceği üzere birim deformasyon değerlerinden küçük değerde olan ile negatif kayma birim deformasyonu, büyük değerde olan ile de pozitif kayma birim deformasyonu birer nokta oluşturur. Bu noktalar birleştirildiğinde dairenin çapı ortaya çıkar ve bu çap yardımı ile de daire çizilir. Daha sonra hergün için dairelerin tepe noktası (A) bulunmuş ve böylece bir gerilme izi elde edilmiştir. Bu yöntem kullanılarak her eleman için farklı inşaat aşamalarına ait Mohr birim deformasyon daireleri çizilmiştir. Kayma düzlemi üzerinde yeralan ve palplanja komşu olan elemanlara ait Mohr birim deformasyon daireleri ve deformasyon izleri Şekil 4.12 - Şekil 4.20 arasında verilmektedir. Burada her renk o elemanın ayrı bir güne ait olan Mohr birim deformasyon dairesini göstermektedir. Dairelerin merkezlerinin bulundukları yerler elemanın o güne ait olan deformasyon davranışının takip edilebilmesi için yararlıdır.

Gerilme izlerinin olduğu grafiklerde tepe noktalarının negatif olduğu bölgeler genişlemeyi, pozitif olduğu bölgeler ise sıkışmayı göstermektedir. Örneğin, 1 no'lu eleman 143. günde hacımsal olarak genişlemekte, daha sonra ise sıkışmaktadır. Yani ilk önce konsol durum, daha sonra yatay destek ilavesi ile oluşan sıkışma Mohr dairelerinde de görülebilmektedir.

Kayma düzlemi üzerinde olan 6 no'lu elemanda ise genişleme olacaktır.

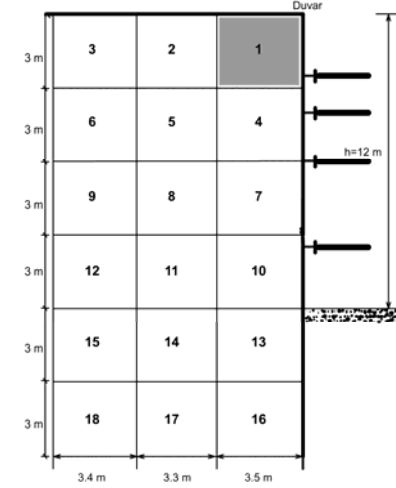
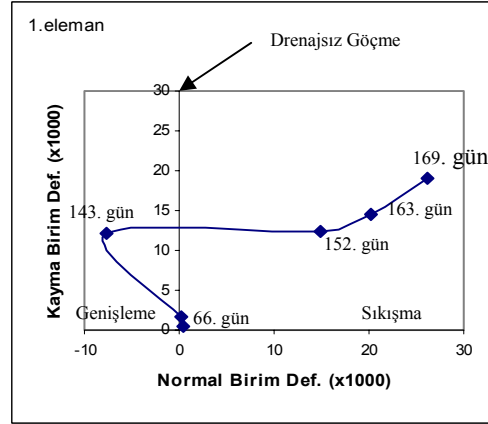
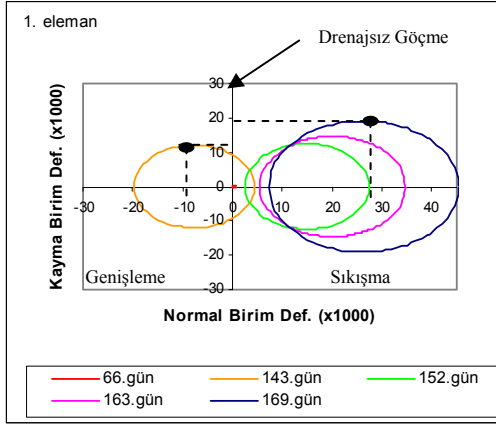
Tablo 4.1 66. ve 143. Günllerdeki Birim Deformasyon ve Kayma Deformasyonu Değerleri

a)

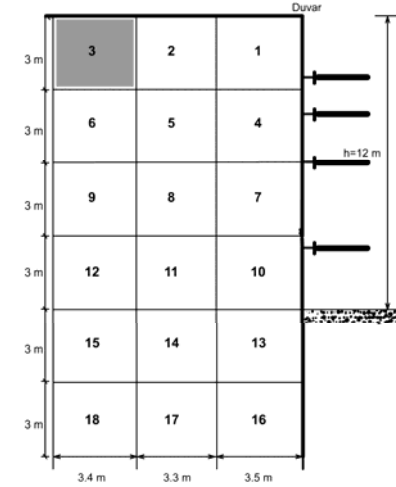
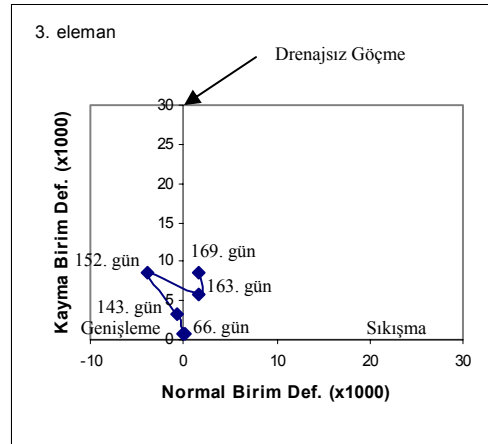
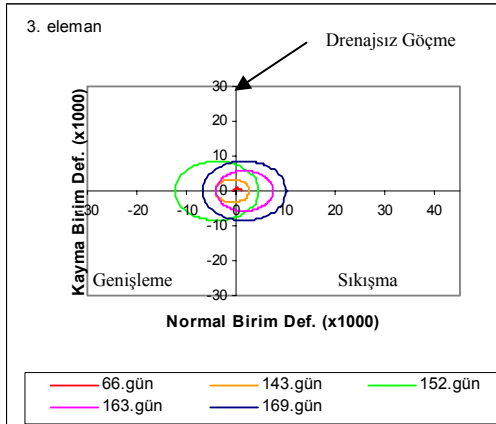
66.gün	$\Delta\epsilon_h$	$\Delta\epsilon_z$	Kayma Birim Deformasyon
1	0,00057	-0,00026	0,0001291
2	0,00242	-0,00061	-0,0013001
3	0,00000	-0,00034	-0,0005031
4	0,00429	0,00000	-0,001233
5	0,00258	0,00000	-0,004297
6	0,00000	0,00000	-0,003773
7	0,00643	0,00051	0,0009241
8	0,00273	0,00051	0,0007771
9	0,00000	0,00000	0,0011483
10	0,00400	0,00015	0,0008845
11	0,00152	0,00000	0,0022966
12	0,00000	-0,00015	0,0028872
13	0,00257	-0,00034	0,00015
14	0,00015	-0,00085	0,0002941
15	0,00000	-0,00051	-0,0001931
16	0,00257	-0,00080	0,00065
17	0,00000	-0,00154	0,0002576
18	0,00000	-0,00074	-0,0009111

b)

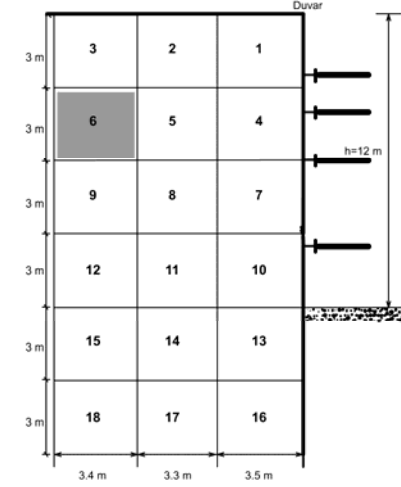
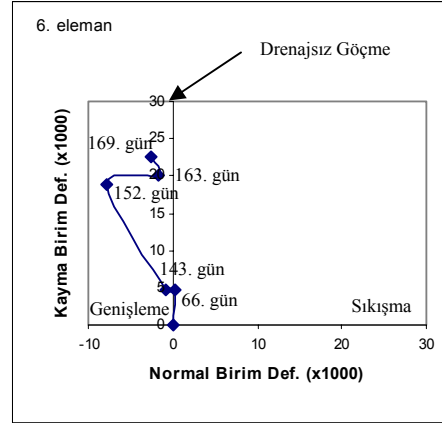
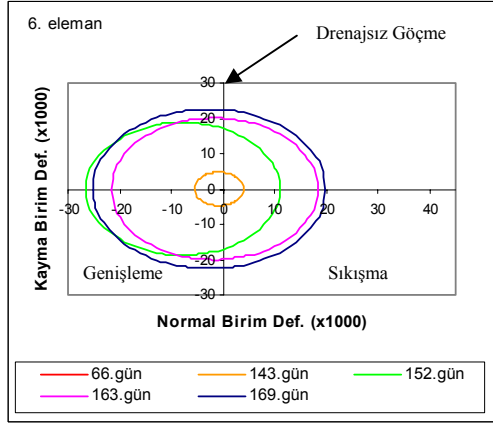
143.gün	$\Delta\epsilon_h$	$\Delta\epsilon_z$	Kayma Birim Deformasyon
1	-0,016529	0,001001	0,008325
2	-0,004788	0,002264	0,000022
3	-0,004038	0,00251	0,0007304
4	-0,009314	0,003264	0,0054928
5	-0,004303	0,005003	0,0001729
6	-0,005233	0,00374	0,0015705
7	-0,006314	0,00374	0,0037263
8	-0,003212	0,00374	0,0004924
9	-0,004898	0,002493	0,0006562
10	-0,003657	0,00251	0,0029445
11	-0,002758	0,001903	0,0010948
12	-0,001633	0,001263	0,0006781
13	-0,001057	0,001247	0,002214
14	-0,001379	0,001001	0,0005115
15	0,00000	0,000246	0,0001093
16	0,00000	0,00000	0,000000
17	0,00000	0,00000	0,000000
18	0,00000	0,00000	0,000000



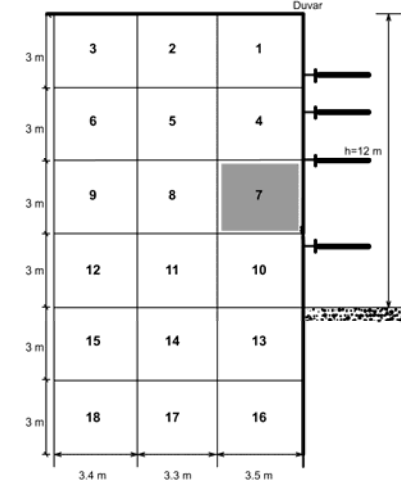
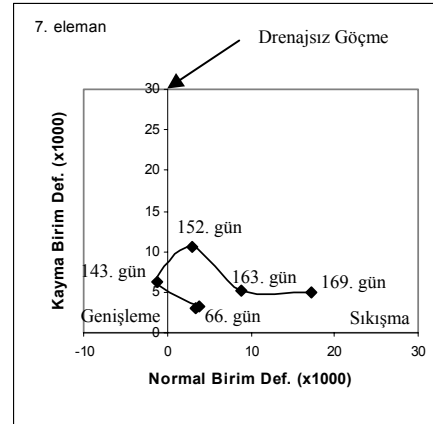
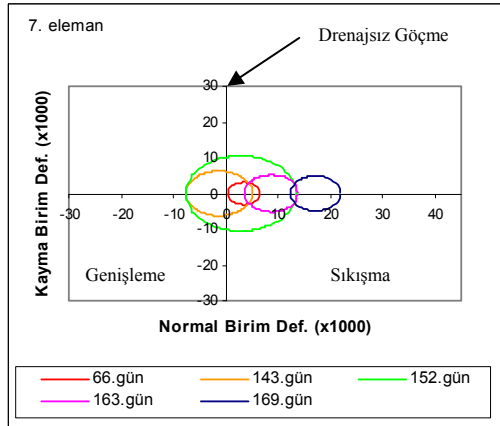
Şekil 4.12 1. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi



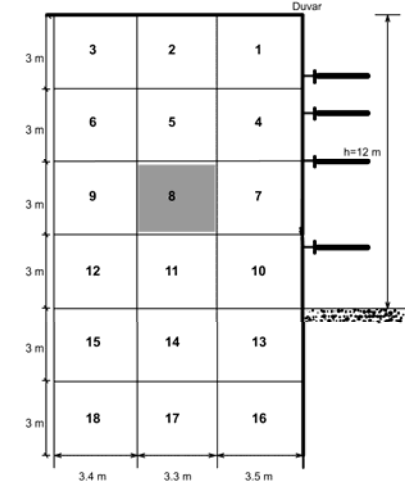
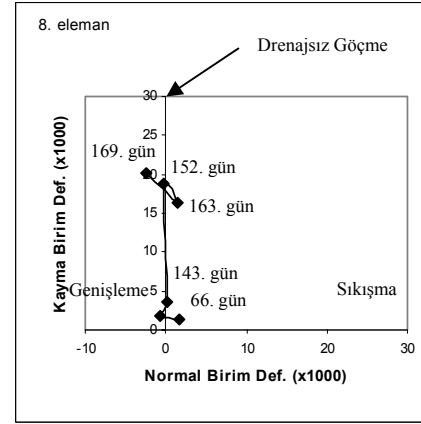
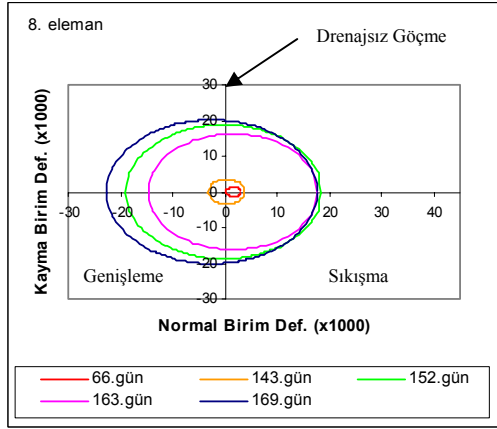
Şekil 4.13 3. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi



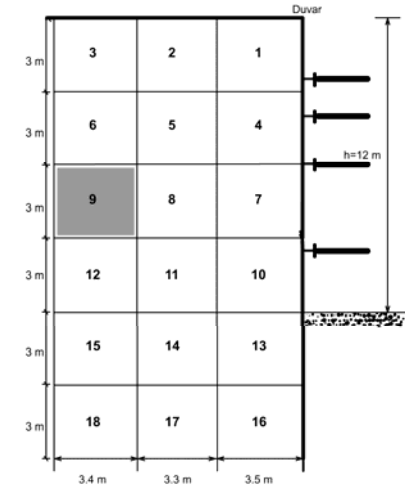
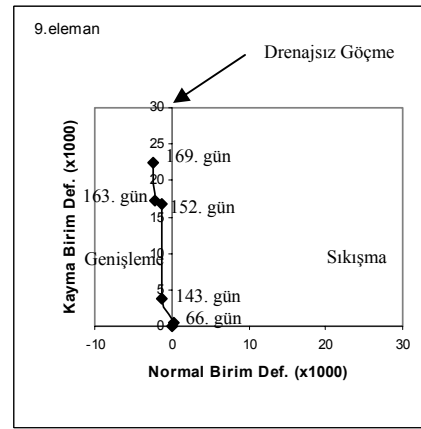
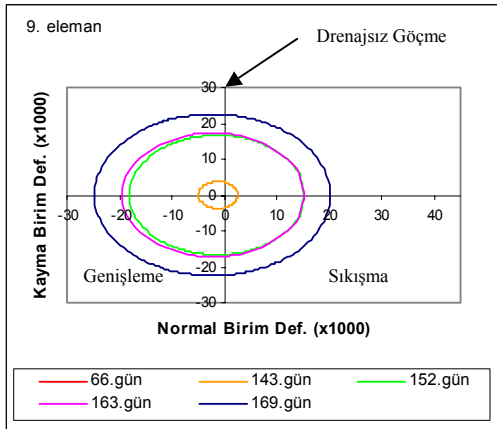
Şekil 4.14 6. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi



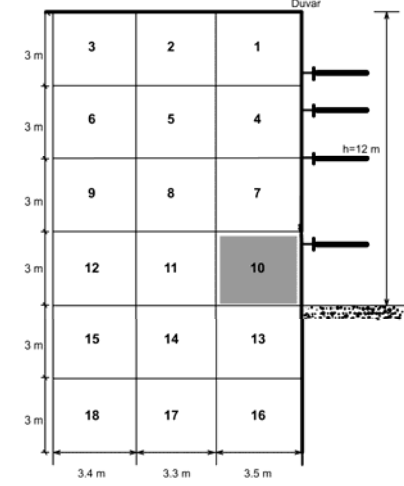
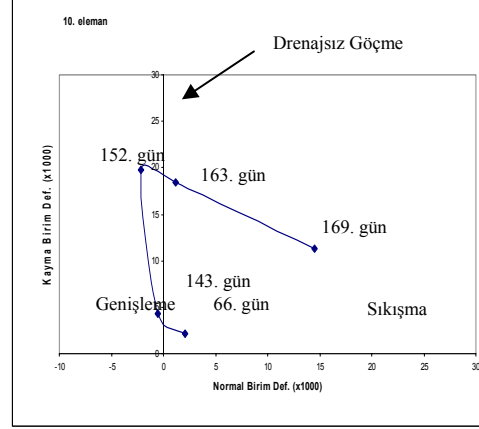
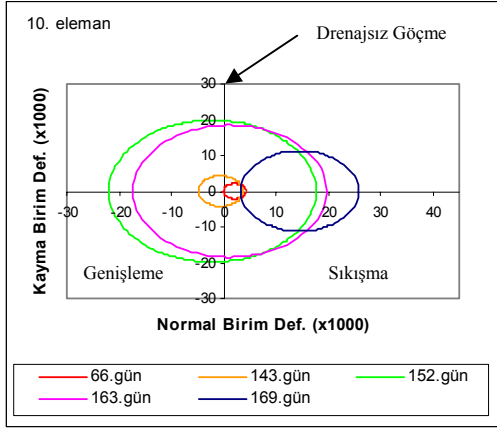
Şekil 4.15 7. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi



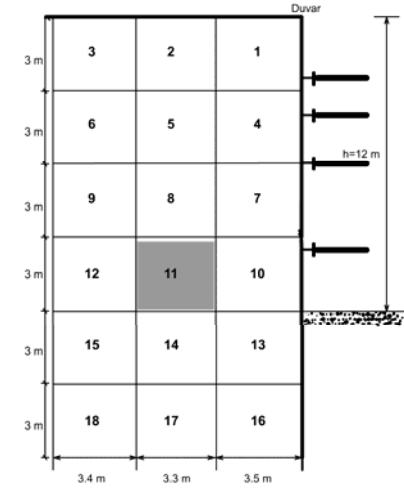
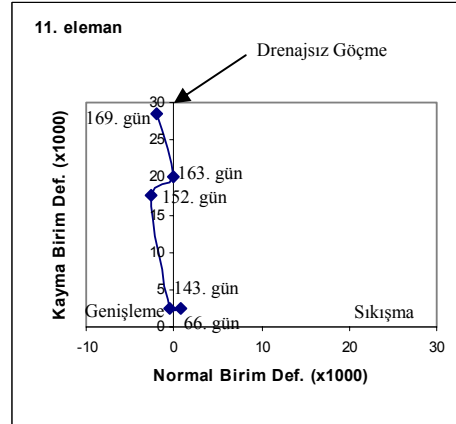
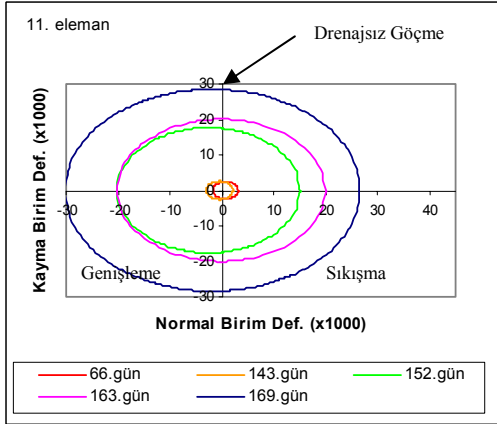
Şekil 4.16 8. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi



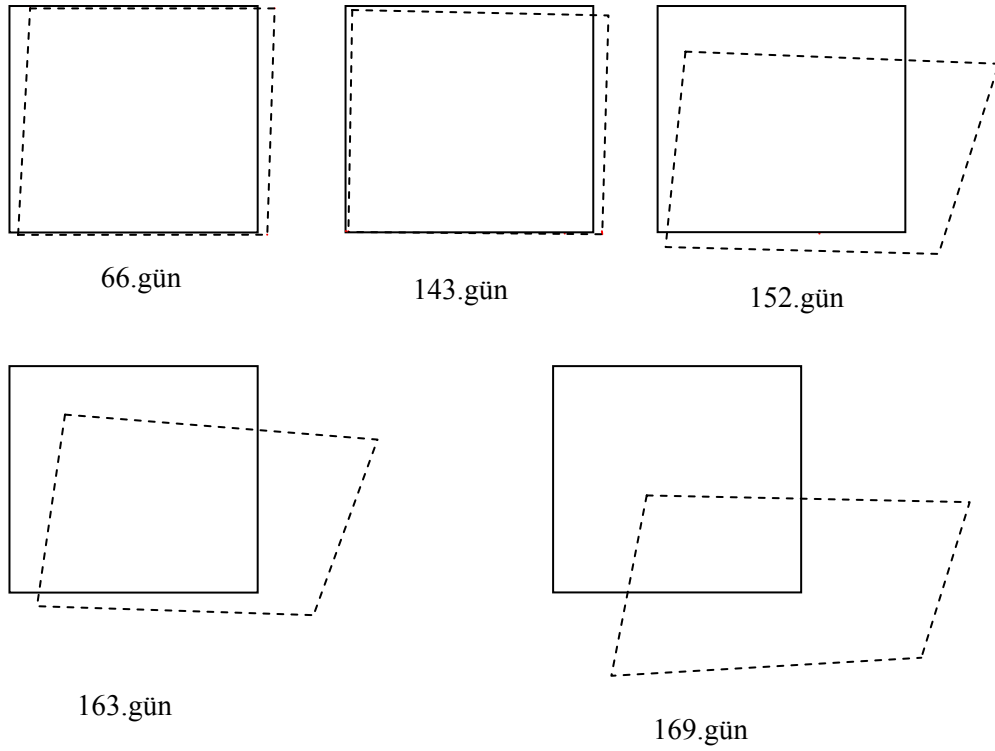
Şekil 4.17 9. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi



Şekil 4.18 10. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi



Şekil 4.19 11. Elemana Ait Mohr Deformasyon Dairesi ve Birim Deformasyon İzi

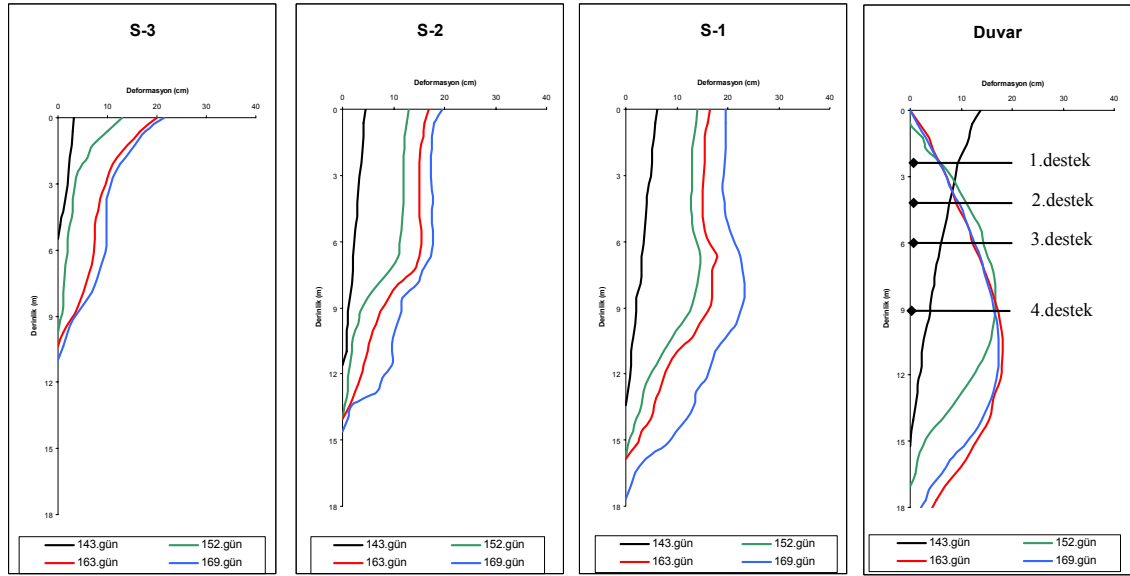


Şekil 4.20 11. Elemanın Günlere Göre Deformasyon Şekilleri

Bir elemanın şekil değiştirme süreci Şekil 4.20’de verilmiştir.

4.2.1 İnşaatın Farklı Aşamalarındaki Davranışın Yorumlanması

Yukarıdaki bölümlerde kritik dönemlerde oluşan deformasyonlar incelenmiştir. Tüm bu dönemlerdeki deformasyon eğrileri kullanılarak çeşitli günler için ortaya çıkan deformasyonlar Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21 Tüm Deformasyon Grafikleri

4.3 MOBİLİZE ϕ AÇILARININ BULUNMASI

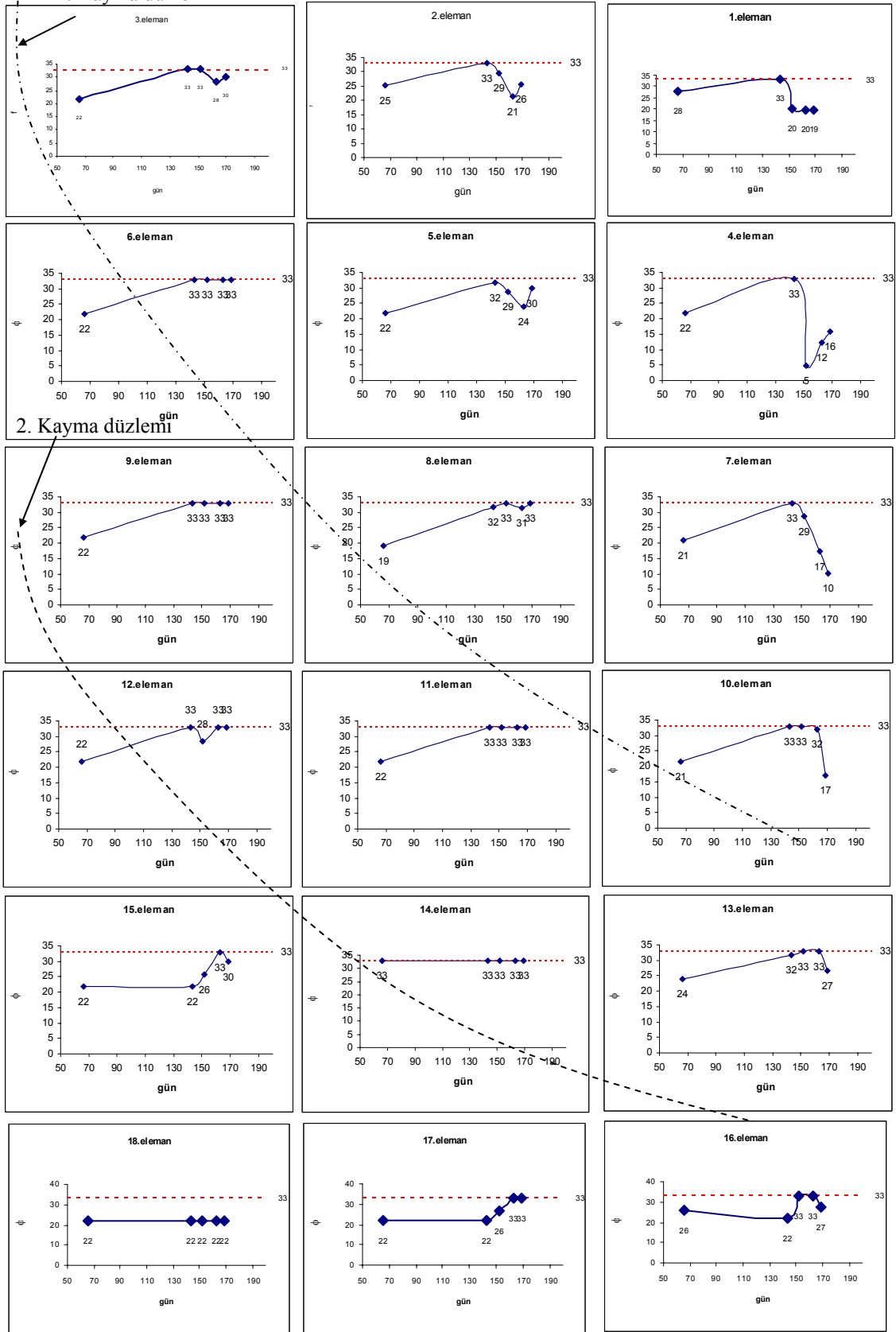
Her elemana ait ortalama normal birim deformasyon değerleri kullanılarak R_ϵ ve R değerleri farklı günler için hesaplanmış ve bu değerlerle 3.23 ve 3.24 denklemleri vasıtası ile zemindeki her elemenda farklı aşamalarda oluşan ϕ'_{mob} değerleri hesaplanmıştır. Örnek olarak 163. güne ait değerler Tablo 4.2’de görülmektedir.

Tablo 4.2 163. Gündeki Ortalama Birim Deformasyon Değişimleri ve Mobilize ϕ Açıları

Eleman No	Yatay birim uzama	Düşey birim uzama	Duvar Arkası $\phi_{mob} (R_\epsilon)$	Duvar Arkası $\phi_{mob} (R)$	R_ϵ	R
1	0,03506	0,00550	20	20	0,16	1,84
2	0,00030	0,00801	21	21	0,04	0,04
3	-0,00364	0,00699	28	28	-0,52	-0,52
4	0,01724	0,00950	12	12	0,55	1,45
5	-0,00197	0,01473	24	24	-0,13	-0,13
6	-0,01997	0,01626	33	33	-1,00	-1,00
7	0,00400	0,01352	17	17	0,30	0,30
8	-0,01439	0,01752	31	31	-0,82	-0,82
9	-0,01924	0,01499	33	33	-1,00	-1,00
10	-0,01631	0,01873	32	32	-0,87	-0,87
11	-0,01894	0,01873	33	33	-1,00	-1,00
12	-0,01239	0,01001	33	33	-1,00	-1,00
13	-0,02951	0,00876	33	33	-1,00	-1,00
14	-0,00909	0,00627	33	33	-1,00	-1,00
15	-0,00510	0,00376	33	33	-1,00	-1,00

Her elemenda inşaat aşamaları boyunca uyanan ϕ'_{mob} değerlerinin değişimi Şekil 4.22’de elemanların üzerinde grafiksel olarak verilmiştir.

Tahmin edilen
1. Kayma düzlemi



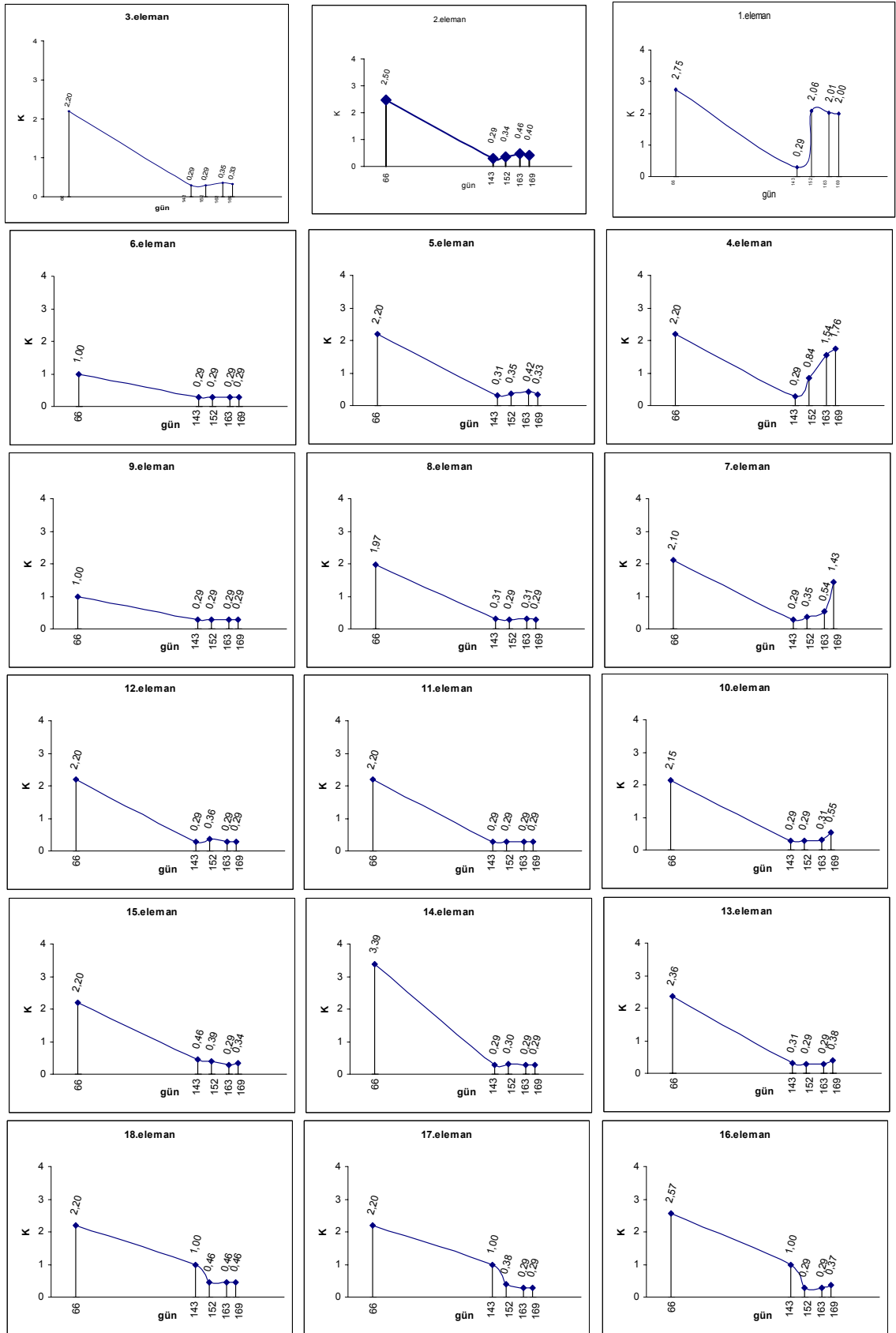
Şekil 4.22 Elemanlarda Günlere Göre ϕ'_{mob} Açılarının Değişimi

Elemanlarda ϕ'_{mob} değişimine bağlı davranış irdelenmeye çalışılmıştır. Örnek olarak 1. elemanda farklı günlerdeki davranış şu şekilde gelişmektedir. 143. günde konsol davranış sonucunda bu bölgedeki genişleme ile zeminde göçme durumuna ulaşılmaktadır. Ancak 152., 156. ve 163. günlerde yatay desteklerin sisteme girmesi ile bu bölgede oluşan sıkışma sonucunda göçme durumundan uzaklaşılır. Palplanşa komşu olan diğer elemanlarda da benzer davranış görülmektedir. En derindeki 16. elemanda ilk hafriyat sebebiyle yeterince genişleme olmadığı için 143. günde göçmeye ulaşılmamıştır. Bu eleman daha sonraki hafriyat aşamalarında göçmüştür. İmalat sırasında oluşan çekme çatlağına göre çizilen kayma düzlemi üzerinde yer alan elemanlar da özel önem taşımaktadır. Örneğin 8. eleman 143. günden itibaren göçme durumundadır. Yatay destekler mobilize olan açığı değiştirebilecek boyutta değildir. Aynı durum 11. eleman için de geçerlidir. Palplanşa daha uzak olan elemanlar destek ilavesinden daha az etkilenmiştir. Örneğin 6. eleman 143. gündeki konsol durum sebebiyle göçmekte ve daha sonra bu durum devam etmektedir.

Yukarıdaki tartışma göstermektedir ki mobilize olan açılar ile Fino ve diğ. (1989) tarafından tahmini olarak yerleştirilen kayma düzlemleri uyumludur.

4.4 TOPRAK BASINÇ KATSAYISI “K”NIN BULUNMASI

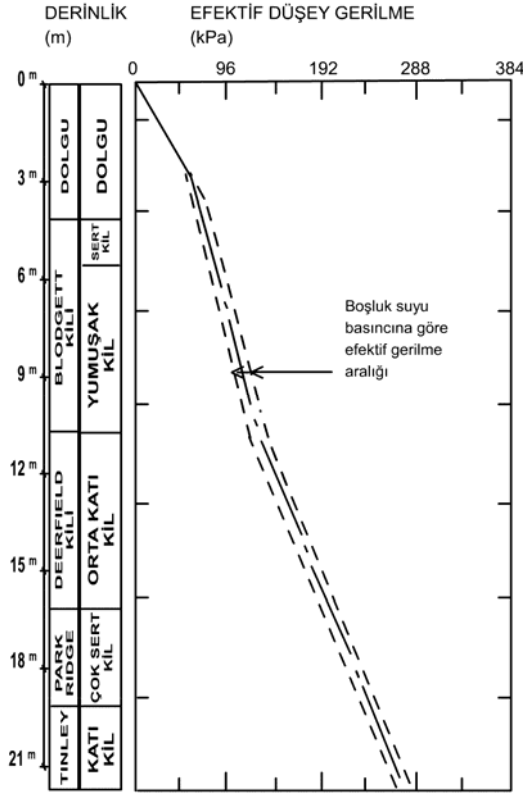
Bu bölümde her zemin elemanında farklı aşamalarda oluşan yatay toprak basınç değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada toprak basıncı katsayısı K 'nın değişik deformasyon seviyelerindeki değerlerinin hesaplanması için Zhang ve diğ. (1998) tarafında geliştirilen ve bu tezde (3.21) ve (3.22). ile numaralandırılan eşitlikler kullanılmıştır. Şekil 4.23'te tüm elemanlarda farklı günler için hesaplanmış olan yanal toprak basınç katsayıları birarada gösterilmektedir. Bu grafiklerdeki değerler $\phi=33^\circ$ için $K_a = 0.29$ ve $K_p = 3.39$ olduğu dikkate alınarak yorumlanmalıdır. Örneğin 1. elemanda çakma sırasında oluşan deformasyon nedeniyle yanal toprak basıncı değeri 1.68 değerindedir. 143. günde meydana gelen genişleme ile bu değer aktif toprak basıncı değerine kadar azalmıştır. Ancak yatay desteklerin sisteme ilavesi ile toprak basıncı katsayıları 2. değerine ulaşmıştır. Duvar arkası elemanlar yatay desteğin sıkıştırıcı işlevinden en fazla etkilenen elemanlardır. Benzer davranışlar diğer elemanlarda da görülmektedir.



Şekil 4.23. Elemanların Günlere Göre Yatay Toprak Basıncı Değişimleri

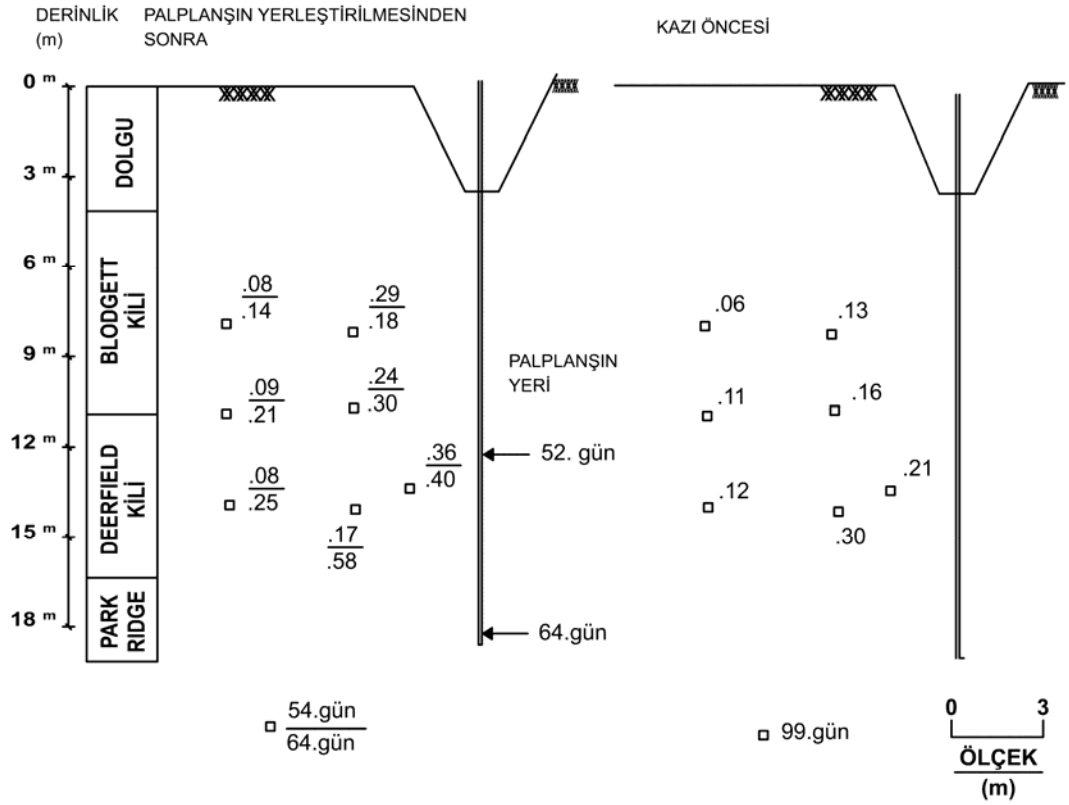
4.5 GERİLMELERE DAYANAN MOHR DAİRELERİ

Bu aşamada elemanlara ait veriler kullanılarak Mohr gerilme daireleri çizilmiştir. Bunun için efektif düşey gerilmelerin bulunması ve yatay toprak basıncı katsayısı ile çarpılarak yatay gerilmelere geçilmesi gerekmektedir. Yatay toprak basıncı değerleri Bölüm 4.4'te anlatılan ve elde edilen K değerleridir.



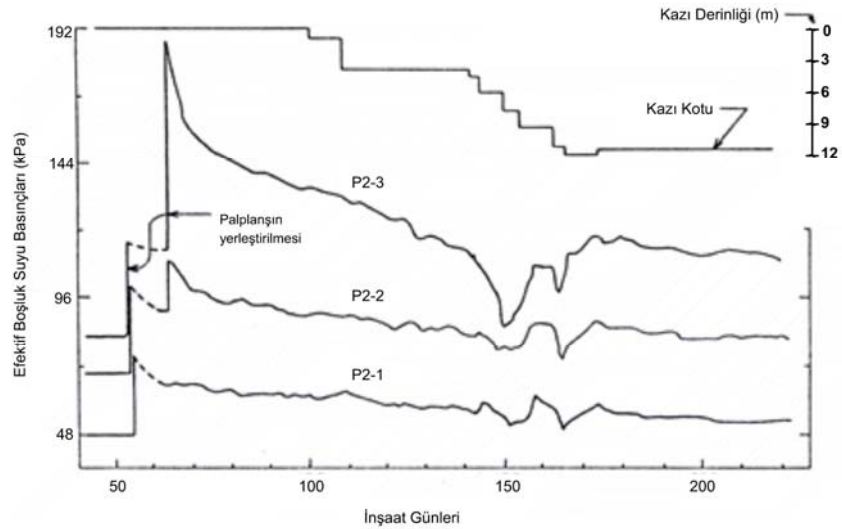
Şekil 4.24 Zeminin Geoteknik Karakteri [16]

Bu tez kapsamında incelenen derin kazıya ait derinlik-düşey efektif gerilme grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. Bu grafikten yararlanarak her elemanın orta noktasındaki başlangıç düşey gerilme değerleri bulunmuştur. Ancak imalat sırasında ilave boşluk suyu basınçları sürekli değiştiği için bu gerilmeler sabit olmayacaktır. Bu nedenle boşluk suyu basınç değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Derin kazı projesini gerçekleştiren Finno ve ekibinin diğer bir çalışmasında [19] Şekil 4.25, bir diğer çalışmalarında da Şekil 4.26'da verilen boşluk suyu basıncı değerleri bulunmaktadır. Bu veriler değerlendirilerek bazı elemanlardaki boşluk suyu basınçları hesaplanabilmektedir. Daha sonra bu değerler ile bu elemanlardaki efektif düşey gerilmelere geçilebilmiştir.



Şekil 4.25 Palplanş Duvarın Yerleştirilmesi Süresince ve Sonrasında İlave Boşluk Suyu Basıncı[15]

Şekil 4.25'teki değerler efektif gerilme ile normalize edilmiş ilave boşluk suyu basınçlarıdır.



Şekil 4.26 2. Grup Piezometre Çizgilerinden Elde Dilen Boşluk Suyu Basınçları [16]

Örnek olarak 66. gün ve 143. güne ait efektif gerilmeler Tablo 4.3 ve 4.4'te verilmektedir.

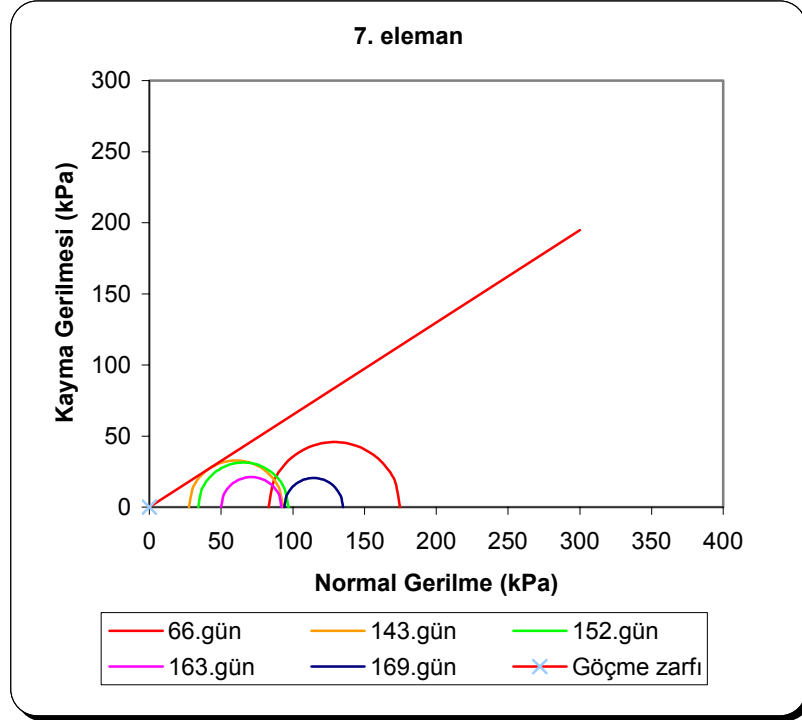
Tablo 4.3 66.Gün Gerilme Değerleri

Eleman no	Yatay Deformasyon	Düşey Deformasyon	Duvar Arkası $\phi_m (R_\varepsilon)$	Duvar Arkası $\phi_m (R)$	R_ε	R	$K_{(R_\varepsilon)}$	$K_{(R)}$	σ'_v (kPa)	k	Δu	σ_v (kPa)	σ_h (kPa)
1	0,00057	-0,00026	28	28	-0,46	2,46	2,75	2,75	31,68	0,10	3,17	28,51	78,28
2	0,00242	-0,00061	25	25	-0,25	2,25	2,50	2,50	31,68	0,10	3,17	28,51	71,15
3	0,00000	-0,00034	22	22	0,00	2,00	2,20	2,20	31,68	0,05	1,58	30,10	66,09
4	0,00429	0,00000	22	22	0,00	2,00	2,20	2,20	78,00	0,20	15,60	62,40	137,03
5	0,00258	0,00000	22	22	0,00	2,00	2,20	2,20	78,00	0,14	10,92	67,08	147,31
6	0,00000	0,00000	22	22	0,00	0,00	1,00	1,00	78,00	0,10	7,80	70,20	70,20
7	0,00643	0,00051	21	21	0,08	1,92	2,10	2,10	103,97	0,20	20,79	83,17	174,79
8	0,00273	0,00051	19	19	0,19	1,81	1,97	1,97	103,97	0,18	18,71	85,25	168,21
9	0,00000	0,00000	22	22	0,00	0,00	1,00	1,00	103,97	0,14	14,56	89,41	89,41
10	0,00400	0,00015	21	21	0,04	1,96	2,15	2,15	129,60	0,35	45,36	84,24	181,28
11	0,00152	0,00000	22	22	0,00	2,00	2,20	2,20	129,60	0,30	38,88	90,72	199,23
12	0,00000	-0,00015	22	22	0,00	2,00	2,20	2,20	129,60	0,21	27,22	102,38	224,84
13	0,00257	-0,00034	24	24	-0,13	2,13	2,36	2,36	175,68	0,40	70,27	105,41	248,37
14	0,00015	-0,00085	33	33	-1,00	3,00	3,39	3,39	175,68	0,58	101,89	73,79	250,29
15	0,00000	-0,00051	22	22	0,00	2,00	2,20	2,20	175,68	0,25	43,92	131,76	289,35

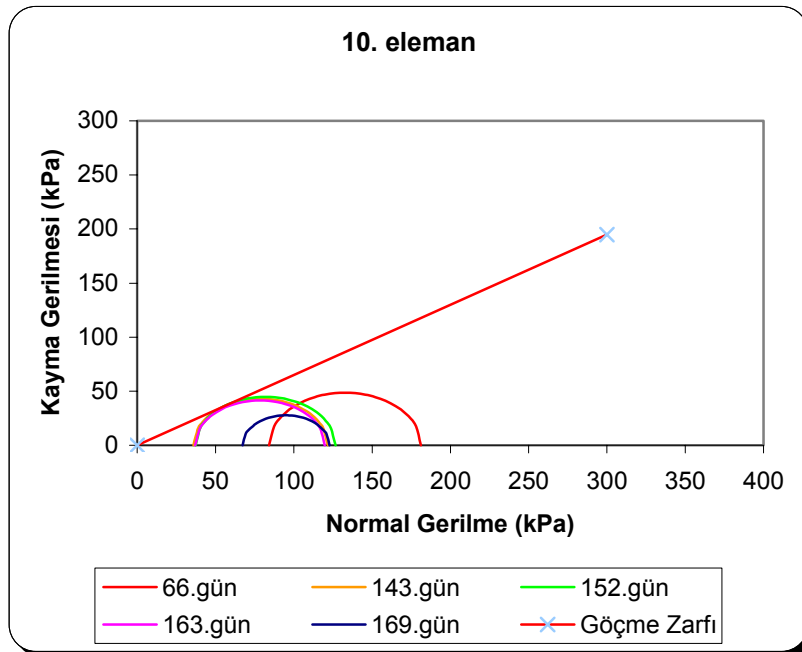
Tablo 4.4 143. Güne Ait Gerilme Değerleri

Eleman no	Yatay Deformasyon	Düşey Deformasyon	Duvar Arkası ϕ_m (R ϵ)	R ϵ	K _(Rϵ)	σ'_v (kPa)	u	σ'_v statik (kPa)	Δu (kPa)	σ_v (kPa)	σ_h (kPa)
1	-0,01653	0,00100	33	-1,00	0,29	31,68	0,00	31,68	0,00	31,68	9,34
2	-0,00479	0,00226	33	-1,00	0,29	31,68	0,00	31,68	0,00	31,68	9,34
3	-0,00404	0,00251	33	-1,00	0,29	31,68	0,00	31,68	0,00	31,68	9,34
4	-0,00931	0,00326	33	-1,00	0,29	78,00	14,95	92,95			
5	-0,00430	0,00500	32	-0,86	0,31	78,00	14,95	92,95			
6	-0,00523	0,00374	33	-1,00	0,29	78,00	14,95	92,95			
7	-0,00631	0,00374	33	-1,00	0,29	103,97	44,85	148,82	55,68	93,14	27,46
8	-0,00321	0,00374	32	-0,86	0,31	103,97	44,85	148,82	55,68	93,14	28,90
9	-0,00490	0,00249	33	-1,00	0,29	103,97	44,85	148,82			
10	-0,00366	0,00251	33	-1,00	0,29	129,60	74,75	204,35	82,56	121,79	35,90
11	-0,00276	0,00190	33	-1,00	0,29	129,60	74,75	204,35	82,56	121,79	35,90
12	-0,00163	0,00126	33	-1,00	0,29	129,60	74,75	204,35			
13	-0,00106	0,00125	32	-0,85	0,31	175,68	104,65	280,33	109,44	170,89	53,23
14	-0,00138	0,00100	33	-1,00	0,29	175,68	104,65	280,33	109,44	170,89	50,38
15	0,00000	0,00025	22	0,00	0,46	175,68	104,65	280,33			

Elde edilen gerilme değerleri ile her elemana ait Mohr gerilme daireleri çizilmiştir. Burada 7. ve 10. elemanlar için bulunan Mohr daireleri şekil 4.27 ve 4.28’de verilmiştir. Diğer elemanlara ait Mohr gerilme daireleri ektedir.



şekil 4.27 7. Elemandaki Gerilme Mohr Daireleri



şekil 4.28 10. Elemandaki Gerilme Mohr Daireleri

5 TARTIŞMA VE SONUÇ

Derin kazıların desteklenmesinde kullanılan yatay destekli duvar sistemlerine etkileyen yükler ve zeminde buna bağlı olarak gelişen değişiklikler geoteknik mühendisliğinin en önemli zemin-yapı etkileşim problemlerindendir. Konunun uygulamadaki ağırlığı sebebiyle çözümü destekleyen yaklaşım, yöntem ve grafikler çeşitli ülke standart ve kodlarında yer almaktadır. Söz konusu grafikler yapının tüm aşamalarındaki gerilme değerlerini kapsayacak şekilde öncelikle arazide gerçek destek sistemlerinde veya laboratuvarında yapılmış olan modeller üzerinde yapılan ölçümler sonucunda ortaya çıkmıştır. Ne var ki, bu grafikler ile yapının herhangi bir aşamasındaki gerçek yükleme durumunu belirlemek mümkün değildir. Destekleme sistemi üzerinde yapılmış olan ölçümler, yatay desteklerin yerleştirilmesi ve ön gerilme uygulanan aşamalarda destekleme sistemine aktarılan yüklerin arttığını, hafriyat yapılan aşamalarda ise gevşemeden dolayı bu yüklerin azaldığını göstermiştir. Son yıllarda, sonlu elemanlar modelleri ve bilgisayar yöntemlerinin gelişmesine bağlı olarak yapının çeşitli aşamalarındaki gerilmeler ve yükler tespit edilmeye çalışılmaktadır. Ancak gerçek yük dağılımlarını teorik olarak çözmek amacıyla yapılan çalışmalara literatürde daha az rastlanılmaktadır.

Bu çalışmada, söz konusu uygulamadan elde edilen veriler ışığında, destek sisteminin (palplanş, kazık vs.) yerleştirilmeye başlanmasıyla beraber zemin parametrelerinin değişim gösterdiği söylenebilir. Bu süreçte arazi datalarından elde edilen sonuçta göre orta ve yumuşak katı killerde boşluk suyu basıncı teoride olduğu gibi pozitif olmaktadır. Zemin kütlelerindeki davranışın etkileri, destek sisteminin yerleştirilmesi ve kazı başlangıcı arasında geçen süreye göre değişebilmektedir. Yukarıda kısaca aktarılmaya çalışılan değerlendirmeler, arazi ölçümlerinin önemine işaret etmektedir.

İmalatın her aşamasında arka zeminde oluşan yatay deformasyonların, düşey deformasyonların ve boşluk suyu basınçlarının ölçülmesi ve elde edilen değerlerin

arazide gelişen davranışı yorumlama yetisine sahip yöntemlerle değerlendirilmesi, destekleme sistemlerinin güvenli ve ekonomik inşası açısından önemlidir. Bu çalışmada arazi ölçüm verilerinin doğru değerlendirilerek doğru yorumlanmasının sağlanması amacıyla yeni yaklaşımlar geliştirilmeye çalışılmıştır. Deformasyonların davranışı en iyi ifade eden göstergeler olarak değerlendirilmesi düşünülmüştür. Bu çalışmada belirlenen iki yaklaşım

1. Deformasyonların doğrudan davranışı tanımlamak için kullanılması
2. Deformasyonlardan gerilmeler elde edilerek, bu gerilmelerle davranışın yorumlanması

olarak tanımlanmıştır.

Her iki yaklaşım için duvar arkasındaki zemin öncelikle 18 bölgeye bölünmüş ve her bölgedeki davranış değişiklikleri araştırılmıştır. Böylece bütünsel davranışı oluşturan küçük bölgelerdeki davranışın ayrı ayrı analizi ve aralarındaki etkileşimi daha iyi görmek mümkün olmuştur.

Birinci yaklaşım için seçilen küçük bölgelerdeki deformasyon davranışı Mohr birim deformasyon daireleri ile takip edilmiş, ikinci yaklaşım içinse her eleman için yatay toprak basıncı katsayısı değerleri yatay ve düşey deformasyon oranlarına bağlı olarak bulunmuş ve bu K değerleri kullanılarak, gerilme değerleri elde edilmiştir. Böylece davranış, ölçülen deformasyonlardan elde edilen gerilmelerle tanımlanmıştır. Her iki yöntemle benzer davranış şekilleri elde edilmiş ve duvar arkasındaki zemin davranışı bütünsel ve bölgesel olarak oldukça iyi bir şekilde yansıtılabilmektedir.

Bu çalışmada konu olan inşaatın farklı aşamalarda, değişik yükler altındaki zemin parametrelerindeki değişim, oluşturulan 18 elemanla bölgesel ve bütünsel olarak detaylı bir şekilde incelemiştir. Zeminde meydana gelen yatay ve düşey yer değiştirmeler arazi ölçümlerinden elde edilmiştir. Bu ölçümlerden elde edilen değerler Fino ve diğ. (1989) tarafından yapılan bir çalışmadan alınmıştır. Fino ve diğ. (1989) yaptığı çalışmada yer değiştirmelerden elde ettikleri yanal ve düşey birim deformasyon grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden yine aynı çalışmada belirtilen formüller yardımıyla yatay ve düşey yer değiştirmeler tekrar hesaplanmıştır. Bu yer değiştirmeler kullanılarak yatay toprak

basıncının, içsel sürtünme açısının ve deformasyon oranının değişimleri inşaat aşamalarındaki kritik günler için incelenmiştir. Mobilize olan içsel sürtünme açılarının ve toprak basıncı katsayılarının değişimleri, her bir eleman için ve her aşamadaki yükler altında grafiksel olarak sunulmuştur. Elde edilen veriler kullanılarak zemin davranışı mohr daireleri ile gösterilmeye çalışılmıştır. Bu bağlamda, elde edilen deformasyon değerleri kullanılarak yanal ve düşey normal birim deformasyon değerleri ile kayma birim deformasyon değerleri bulunmuştur. Bu değerler yardımı ile de mohr birim deformasyon daireleri çizilerek zemin davranışı modellenmiş ve göçme zarfları çizilmiştir. Daha sonra Finno ve diğ.(1989) tarafından aynı çalışma için yayınlanan başka bir makaleden alınan efektif gerilme ve boşluk suyu basınçları ile bu çalışma içerisinde hesaplanmış olan yanal toprak basıncı katsayıları kullanılarak efektif gerilme değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan yatay ve düşey efektif gerilmeler yardımı ile yine mohr gerilme daireleri çizilmiş ve zemin davranışı efektif gerilmelere göre tekrar yorumlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. SAĞLAMER, A., (1986), 1. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu “İstanbul’da Şehir İçerisinde Yapılan Derin Kazılar”, syf 283-288, 13-15 Ekim, Ankara
2. HATİPOĞLU, B., (1992), “Desteklenmiş Derin Kazılarda Oluşan Hareketlerin İncelenmesi” Yük. Lisans, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
3. KOÇYİĞİT, F., (2003), “Kazı Duvarlarının ve Şevlerin Ankraj sistemleriyle Islahı”, İ.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
4. SAĞLAMER, A., (1985), Derin Kazılar ve İksa Metodları Sempozyumu “Derin Kazıların Sorunları ve Destekleme Sistemleri”, Boğaziçi Üniversitesi
5. DURGUNOĞLU, T., KARADAYILAR, T., KULAÇ, F. H., İKİZ, S., ÖGE, S., (1994), Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi “Esnek İstinat Yapıları Üzerine Vaka Analizleri”, ODTÜ, Ankara
6. DURLU, M., (1988), “Derin Kazılar ve Destekleme Yöntemleri” Yük. Lisans, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
7. DUNNICLIFF, J., (1988), “Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance”, John Wiley and Sons
8. İNCE, C.D., (1992), “Derin Kazı Destekleme Sistemlerinde Yatay Deformasyonların Belirlenmesi” İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. ŞEN, A., D., (1998), “Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminlerde Stabilitate ve Deformasyon Problemlerinin İncelenmesi” İ.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

10. **HANNA, T.H., (1973),** “*Foundation Instrumentation Trans Tech Publication*”.
First Edition
11. **ATKINSON, J., H., (1981),** “*Foundation and Slopes*” Mc Graw – Hill Book
company, ISBN 0-07-084118-7
12. **ÖZAYDIN, K., (1997),** “*Zemin Mekaniği*” Birsen Yayınevi, İstanbul
13. **KUMBASAR, V., KİP, F., (1999),** “*Zemin Mekaniği Problemleri*” Çağlayan
Kitapevi, İstanbul
14. **ZHANG, J. M., SHAMOTO, Y., TOKIMATSU, K., (1998),** “*Evaluation Of Earth
Pressure Under Any Lateral Deformation*” Soils and Foundations Vol. 38, No. 1, 15-
33, Mar. 1998, Japanese Geotechnical Society
15. **FINNO, R. J, NERBY, S.M, (1989),** Journal of Geotechnical Engineering
“*Saturated Clay Response During Braced Cut Construction*”, Vol 115 No 8 ASCE,
ISSN 0733-9410/89/0008-1065 Paper No 23728
16. **FINNO, R. J, ATMATZIDIS, D., K, PERKINS, S., B (1989),** Journal of
Geotechnical Engineering, “*Observed Performance of a Deep excavation in Clay*”,
Vol 115 No 8 ASCE, ISSN 0733-9410/89/0008-1045 Paper No 23729

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1997 yılında Koca Mustafa Paşa Lisesi'nden mezun oldu. 1997 yılında İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başladı. Yazar, lisans öğreniminin 3. ve 4. sınıflarında geoteknik anabilim dalında öğrenci asistan olarak çalıştı. Lisans öğrenimini 2001 yılında tamamlayarak İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2001 yılında aynı Enstitünün İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı.

EKLER

A – Yatay Deformasyonlar

B – Düşey Deformasyonlar

C – Zemin Parametreleri

D – Birim Deformasyonlara Göre Mohr Daireleri

E – Gerilmelere Göre Mohr Daireleri

A – Yatay Deformasyonlar

Tablo A.1 66. Gün Yatay Deformasyon Değerleri

66. gün

Derinlik (m)	SI - 3 (cm)	ϵ_h	L ₂₃ (cm)	SI - 2 (cm)	ϵ_h	L ₂₁ (cm)	SI 1(cm)	ϵ_h	L _{1d} (cm)	Duvar (cm)
0	0,8	0,0	343	0,8	0,25	330	0,0	0,00	350	0,00
3	1,2	0,0	343	1,2	0,25	330	0,4	0,10	350	0,00
6	3,5	0,0	343	3,5	0,25	330	2,6	0,75	350	0,00
9	2,8	0,0	343	2,8	0,25	330	1,9	0,55	350	0,00
12	1,0	0,0	343	1,0	0,04	330	0,9	0,25	350	0,00
15	0,9	0,0	343	0,9	0,00	330	0,9	0,25	350	0,00
18	0,9	0,0	343	0,9	0,00	330	0,9	0,25	350	0,00

Tablo A.2 143. Gün Yatay Deformasyon Değerleri

Derinlik (m)	SI - 3 (cm)	ϵ_h	L ₂₃ (cm)	SI - 2 (cm)	ϵ_h	L ₂₁ (cm)	SI 1(cm)	ϵ_h	L _{1d} (cm)	Duvar (cm)
0,00	3,15	-0,4	343	4,57	-0,5	330	6,10	-2,2	350	13,75
0,61	3,05	-0,3	343	4,17	-0,5	330	5,79	-1,8	350	12,10
1,22	2,74	-0,4	343	4,06	-0,5	330	5,59	-1,7	350	11,55
1,83	2,24	-0,5	343	3,96	-0,4	330	5,18	-1,5	350	10,45
2,44	2,03	-0,5	343	3,66	-0,4	330	5,08	-1,2	350	9,35
3,05	1,93	-0,4	343	3,25	-0,5	330	4,88	-1,1	350	8,80
3,66	1,52	-0,4	343	3,05	-0,4	330	4,37	-1,1	350	8,25
4,27	1,02	-0,6	343	2,95	-0,3	330	4,06	-1,0	350	7,70
4,88	0,51	-0,7	343	2,84	-0,3	330	3,96	-0,9	350	7,15
5,49	0,00	-0,7	343	2,54	-0,4	330	3,76	-0,8	350	6,60
6,10	0,00	-0,7	343	2,24	-0,4	330	3,45	-0,7	350	6,05
6,71	0,00	-0,6	343	2,03	-0,3	330	3,15	-0,7	350	5,50
7,32	0,00	-0,6	343	2,03	-0,3	330	3,05	-0,5	350	4,95
7,92	0,00	-0,5	343	1,83	-0,3	330	2,84	-0,5	350	4,68
8,53	0,00	-0,4	343	1,52	-0,2	330	2,13	-0,6	350	4,13
9,14	0,00	-0,3	343	1,12	-0,3	330	2,03	-0,5	350	3,85
9,75	0,00	-0,3	343	1,02	-0,3	330	1,93	-0,4	350	3,30
10,36	0,00	-0,3	343	0,91	-0,2	330	1,52	-0,4	350	2,75
10,97	0,00	-0,2	343	0,81	-0,1	330	1,12	-0,3	350	2,31
11,58	0,00	0,0	343	0,00	-0,3	330	1,02	-0,3	350	2,20
12,19	0,00	0,0	343	0,00	-0,3	330	0,91	-0,2	350	1,65
12,80	0,00	0,0	343	0,00	-0,1	330	0,41	-0,3	350	1,54
13,41	0,00	0,0	343	0,00	0,0	330	0,00	-0,3	350	1,10
14,02	0,00	0,0	343	0,00	0,0	330	0,00	-0,2	350	0,55
14,63	0,00	0,0	343	0,00	0,0	330	0,00	-0,1	350	0,28
15,24	0,00	0,0	343	0,00	0,0	330	0,00	0,0	350	0,00

Tablo A.3 152. Gün Yatay Deformasyon Değerleri

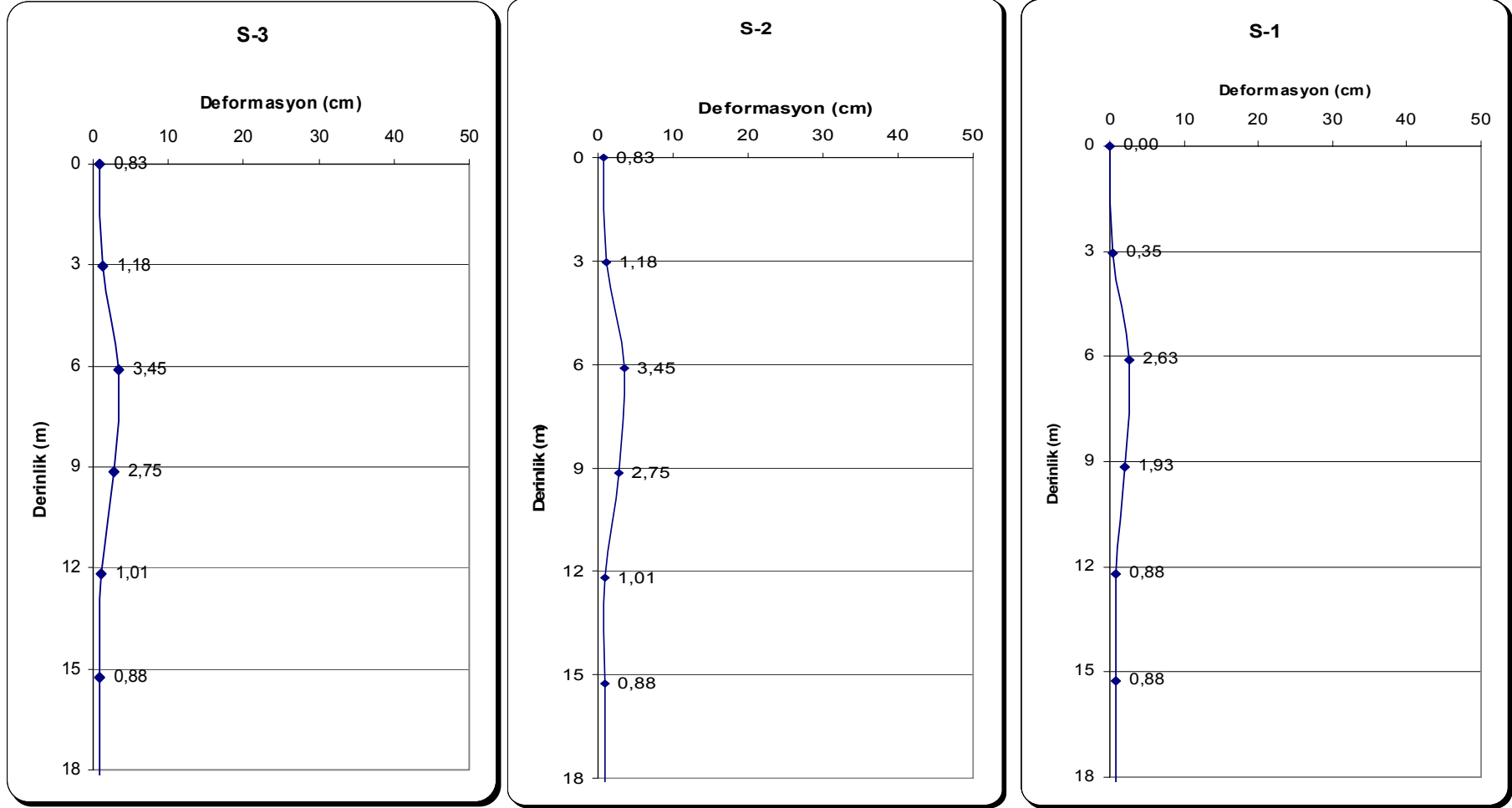
Derinlik (m)	SI - 3 (cm)	ϵ_h	L ₂₃ (cm)	SI - 2 (cm)	ϵ_h	L ₂₁ (cm)	SI 1(cm)	ϵ_h	L _{1d} (cm)	Duvar (cm)
0,00	13,00	0,0	343	13,00	-0,3	330	14,00	4,0	350	0,00
0,61	10,00	-0,8	343	12,60	-0,4	330	13,80	3,9	350	0,00
1,22	7,00	-1,5	343	12,20	-0,3	330	13,30	3,1	350	2,40
1,83	6,00	-1,8	343	12,10	-0,3	330	13,00	2,8	350	3,36
2,44	4,00	-2,3	343	12,00	-0,3	330	13,00	1,9	350	6,24
3,05	3,50	-2,5	343	12,00	-0,3	330	13,00	1,4	350	8,16
3,66	3,00	-2,6	343	11,90	-0,3	330	13,00	1,0	350	9,60
4,27	2,90	-2,6	343	11,90	-0,3	330	12,80	0,5	350	11,04
4,88	2,30	-2,8	343	11,80	-0,4	330	13,00	0,1	350	12,48
5,49	2,00	-2,8	343	11,50	-0,5	330	13,10	-0,2	350	13,92
6,10	1,90	-2,7	343	11,10	-0,9	330	14,00	-0,1	350	14,40
6,71	1,50	-2,7	343	10,90	-1,2	330	14,70	-0,2	350	15,36
7,32	1,30	-2,3	343	9,30	-1,6	330	14,50	-0,5	350	16,32
7,92	1,00	-1,7	343	7,00	-2,1	330	14,00	-0,8	350	16,80
8,53	1,00	-1,2	343	5,00	-2,5	330	13,40	-1,0	350	16,80
9,14	0,50	-0,9	343	3,50	-2,7	330	12,50	-1,2	350	16,80
9,75	0,00	-0,9	343	3,00	-2,4	330	11,00	-1,5	350	16,32
10,36	0,00	-0,6	343	2,00	-2,1	330	9,00	-2,0	350	15,84
10,97	0,00	-0,5	343	1,80	-1,7	330	7,50	-2,1	350	14,88
11,58	0,00	-0,4	343	1,50	-1,4	330	6,00	-2,1	350	13,44
12,19	0,00	-0,3	343	1,00	-1,1	330	4,50	-2,1	350	12,00
12,80	0,00	-0,3	343	1,00	-0,8	330	3,50	-1,9	350	10,08
13,41	0,00	-0,1	343	0,50	-0,8	330	3,00	-1,5	350	8,16
14,02	0,00	0,0	343	0,00	-0,6	330	2,00	-1,2	350	6,24
14,63	0,00	0,0	343	0,00	-0,5	330	1,50	-0,7	350	3,84
15,24	0,00	0,0	343	0,00	-0,2	330	0,50	-0,5	350	2,40

Tablo A.4 163. Gün Yatay Deformasyon Değerleri

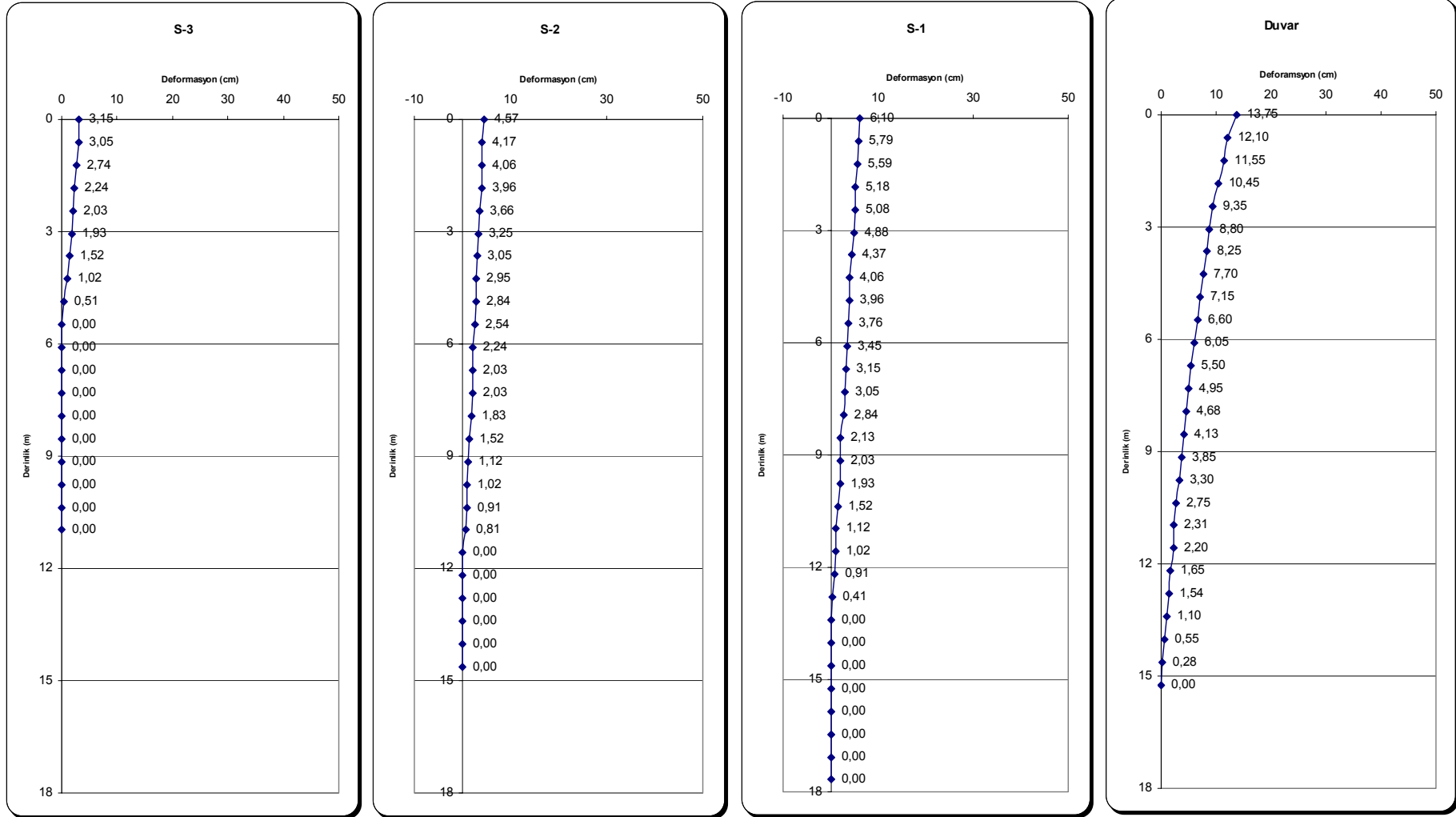
Derinlik (m)	SI - 3 (cm)	ϵ_h	L ₂₃ (cm)	SI - 2 (cm)	ϵ_h	L ₂₁ (cm)	SI 1 (cm)	ϵ_h	L _{1d} (cm)	Duvar (cm)
0,00	20,00	0,9	343	17,00	0,2	330	16,50	4,7	350	0,00
0,61	16,50	0,1	343	16,10	0,0	330	16,00	4,1	350	1,81
1,22	14,00	-0,6	343	15,90	0,1	330	15,50	3,4	350	3,63
1,83	12,00	-1,0	343	15,30	-0,1	330	15,50	3,1	350	4,54
2,44	10,50	-1,3	343	15,00	-0,1	330	15,40	2,7	350	5,99
3,05	9,50	-1,6	343	15,00	-0,1	330	15,30	2,3	350	7,26
3,66	8,50	-1,9	343	15,00	0,0	330	15,00	2,0	350	8,16
4,27	8,00	-2,0	343	15,00	0,0	330	15,00	1,7	350	9,07
4,88	7,50	-2,2	343	15,10	0,0	330	15,00	1,3	350	10,43
5,49	7,50	-2,3	343	15,50	0,0	330	15,50	1,1	350	11,79
6,10	7,30	-2,4	343	15,50	-0,3	330	16,50	1,2	350	12,47
6,71	6,90	-2,4	343	15,00	-0,9	330	18,00	1,3	350	13,61
7,32	6,00	-2,3	343	14,00	-0,9	330	17,00	0,6	350	14,74
7,92	5,00	-1,7	343	11,00	-1,8	330	17,00	0,4	350	15,65
8,53	4,00	-1,5	343	9,00	-2,4	330	17,00	0,1	350	16,55
9,14	2,50	-1,5	343	7,50	-2,6	330	16,00	-0,4	350	17,23
9,75	1,00	-1,6	343	6,50	-2,4	330	14,50	-0,9	350	17,69
10,36	0,00	-1,6	343	5,50	-2,3	330	13,00	-1,5	350	18,14
10,97	0,00	-1,5	343	5,00	-1,5	330	10,00	-2,3	350	18,14
11,58	0,00	-1,2	343	4,10	-1,3	330	8,50	-2,7	350	17,91
12,19	0,00	-1,0	343	3,50	-1,2	330	7,50	-2,9	350	17,69
12,80	0,00	-0,7	343	2,50	-1,2	330	6,50	-2,9	350	16,78
13,41	0,00	-0,4	343	1,50	-1,2	330	5,50	-3,0	350	16,10
14,02	0,00	0,0	343	0,00	-1,5	330	5,00	-3,0	350	15,42
14,63	0,00	0,0	343	0,00	-0,9	330	3,00	-3,2	350	14,06
15,24	0,00	0,0	343	0,00	-0,6	330	2,00	-3,0	350	12,47

Tablo A.5 169. Gün Yatay Deformasyon Değerleri

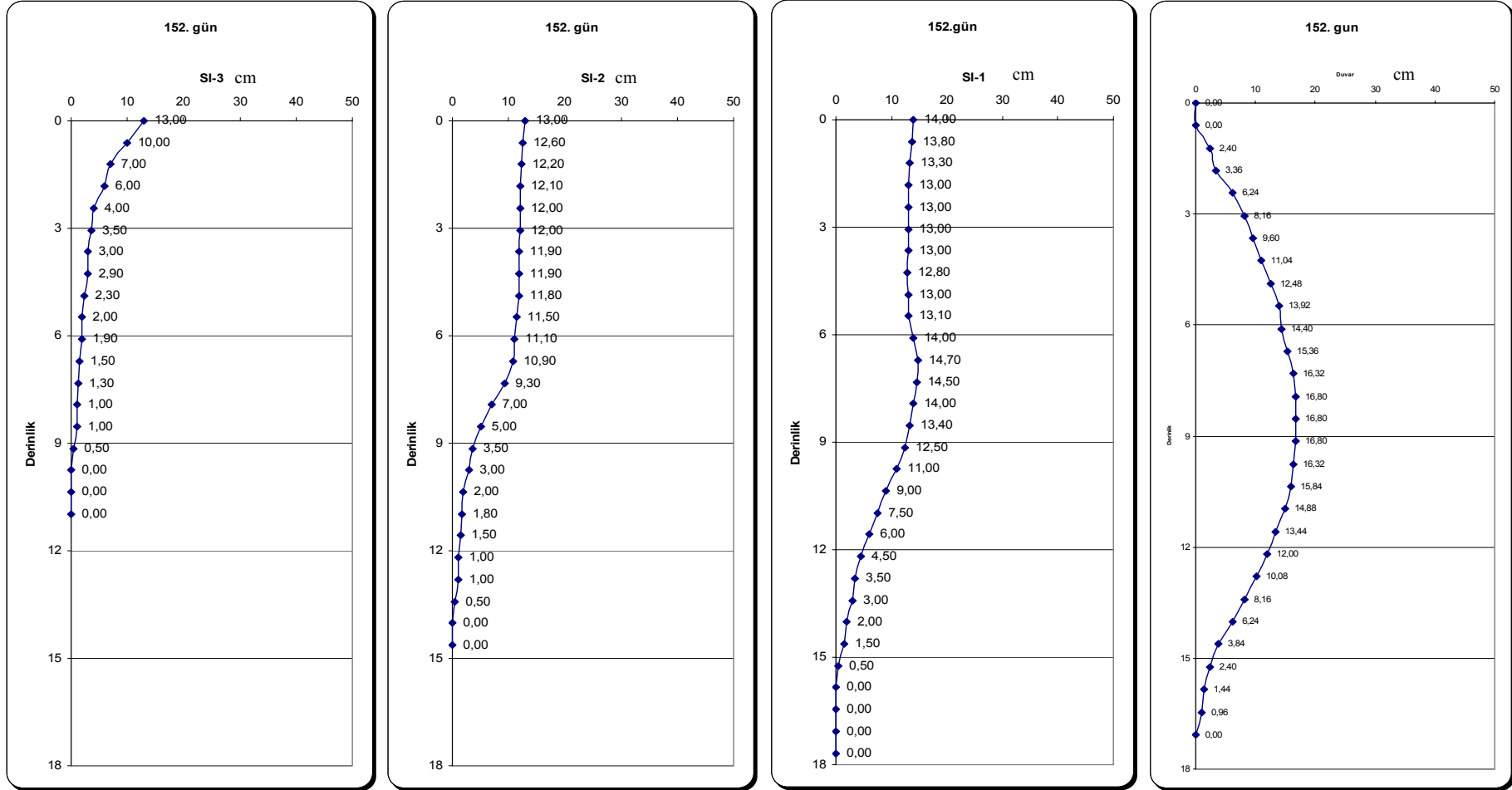
Derinlik (m)	SI - 3 (cm)	ϵ_h	L ₂₃ (cm)	SI - 2 (cm)	ϵ_h	L ₂₁ (cm)	SI 1 (cm)	ϵ_h	L _{1d} (cm)	Duvar (cm)
0,00	21,45	0,6	343	19,50	0,0	330	19,50	5,6	350	0,00
0,61	17,75	-0,1	343	17,94	-0,5	330	19,50	5,1	350	1,53
1,22	15,60	-0,6	343	17,55	-0,6	330	19,50	4,7	350	3,06
1,83	13,65	-1,1	343	17,55	-0,6	330	19,50	4,3	350	4,34
2,44	11,70	-1,6	343	17,36	-0,6	330	19,31	3,8	350	5,87
3,05	10,73	-1,9	343	17,36	-0,5	330	19,11	3,4	350	7,14
3,66	9,75	-2,3	343	17,55	-0,4	330	18,92	3,1	350	8,16
4,27	9,75	-2,3	343	17,75	-0,5	330	19,31	2,7	350	9,69
4,88	9,75	-2,3	343	17,55	-0,6	330	19,50	2,5	350	10,71
5,49	9,75	-2,3	343	17,75	-0,8	330	20,48	2,5	350	11,73
6,10	9,56	-2,4	343	17,75	-1,1	330	21,45	2,5	350	12,75
6,71	8,78	-2,5	343	17,36	-1,5	330	22,43	2,5	350	13,77
7,32	7,80	-2,3	343	15,60	-2,2	330	22,82	2,4	350	14,54
7,92	6,83	-2,3	343	14,63	-2,7	330	23,40	2,3	350	15,30
8,53	4,88	-2,0	343	11,70	-3,5	330	23,40	2,1	350	16,07
9,14	2,93	-2,5	343	11,51	-3,3	330	22,43	1,7	350	16,58
9,75	1,95	-2,6	343	10,73	-3,3	330	21,65	1,3	350	17,09
10,36	0,98	-2,6	343	9,95	-2,9	330	19,50	0,6	350	17,34
10,97	0,00	-2,8	343	9,75	-2,4	330	17,55	0,1	350	17,34
11,58	0,00	-2,8	343	9,75	-2,1	330	16,77	-0,2	350	17,34
12,19	0,00	-2,3	343	7,80	-2,4	330	15,80	-0,3	350	16,83
12,80	0,00	-2,0	343	6,83	-2,1	330	13,85	-0,7	350	16,32
13,41	0,00	-0,6	343	1,95	-3,5	330	13,46	-0,5	350	15,30
14,02	0,00	-0,3	343	0,98	-3,3	330	11,90	-0,6	350	14,03
14,63	0,00	0,0	343	0,00	-3,0	330	9,95	-0,7	350	12,50
15,24	0,00	0,0	343	0,00	-2,4	330	7,80	-0,8	350	10,46
15,84	0,00	0,0	343	0,00	-1,2	330	3,90	-1,1	350	7,91
16,45	0,00	0,0	343	0,00	-0,6	330	1,95	-1,2	350	6,12
17,06	0,00	0,0	343	0,00	-0,3	330	0,98	-0,9	350	4,08
17,67	0,00	0,0	343	0,00	0,0	330	0,00	-0,9	350	3,06
18,28	0,00	0,0	343	0,00	0,0	330	0,00	-0,4	350	1,53



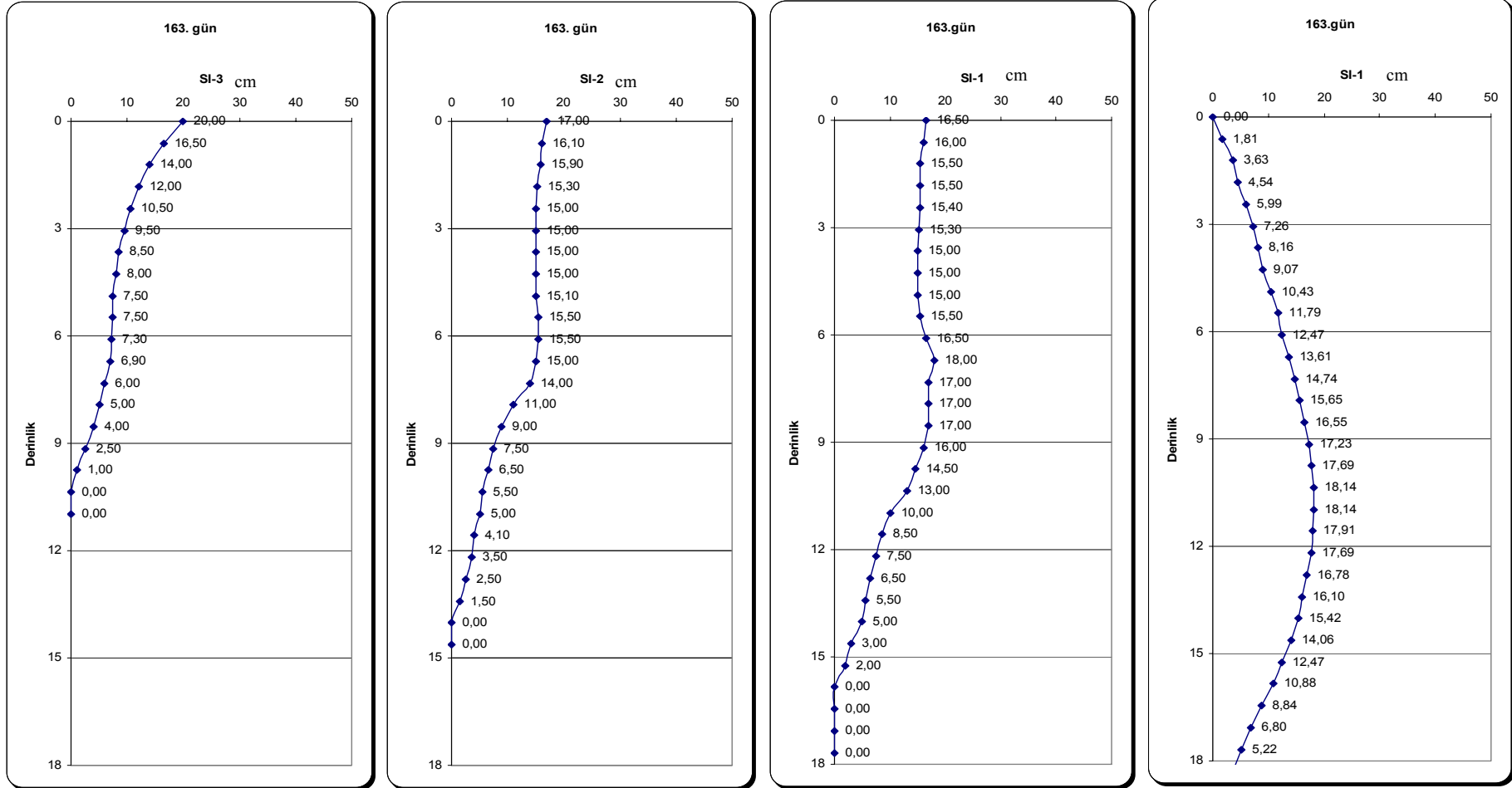
Şekil A-1 66. Gün Yatay Deformasyon Grafikleri



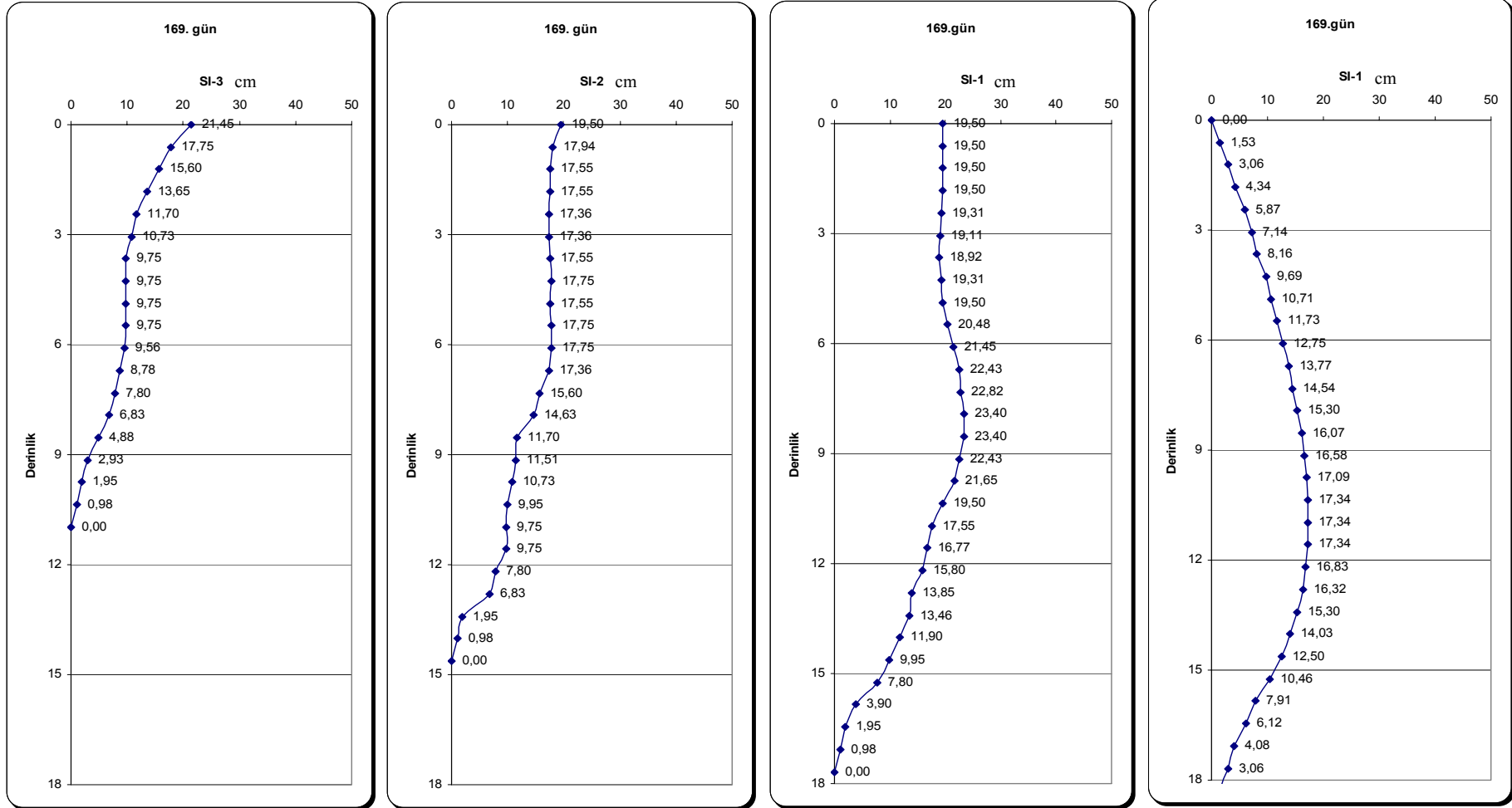
Şekil A.2 143. Gün Yatay Deformasyon Grafikleri



Şekil A.3 152. Gün Yatay Deformasyon Grafikleri



Şekil A.4 163. Gün Yatay Deformasyon Grafikleri



Şekil A.5 169. Gün Yatay Deformasyon Grafikleri

B- Düşey Deformasyonlar

Tablo B.1 66. Gün Düşey Deformasyon Değerleri

		Derinlik h (m)						
		yüzey	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m	18 m
Deplasmanlar (cm)	Duvar (0 m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	E-1 (3.7 m)	0,24	0,40	0,40	0,09	0,00	0,21	0,70
	E-2 (5.47 m)	-0,21	0,00	0,00	0,00	0,09	0,40	0,85
	E-3 (10.16 m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tablo B.2 143. Gün Düşey Deformasyon Değerleri

		Derinlik h (m)						
		yüzey	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m	18 m
Deplasmanlar (cm)	Duvar (0 m)	2,29	2,29	1,83	1,07	0,30	0,00	0,00
	E-1 (3.7 m)	4,88	4,27	2,74	1,22	0,46	0,00	0,00
	E-2 (5.47 m)	3,60	2,83	1,31	0,55	0,15	0,00	0,00
	E-3 (10.16 m)	2,65	1,89	1,13	0,37	0,00	0,00	0,00

Tablo B.3 152 Gün Düşey Deformasyon Değerleri

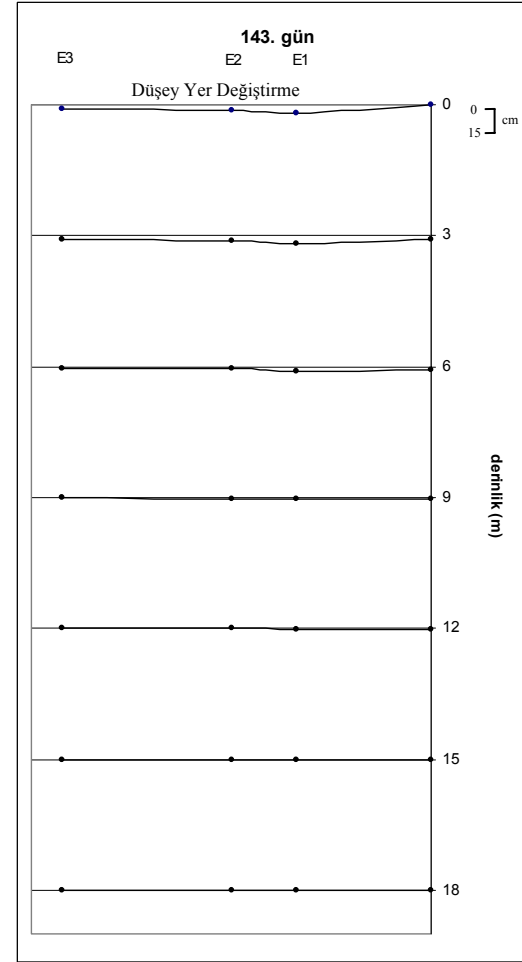
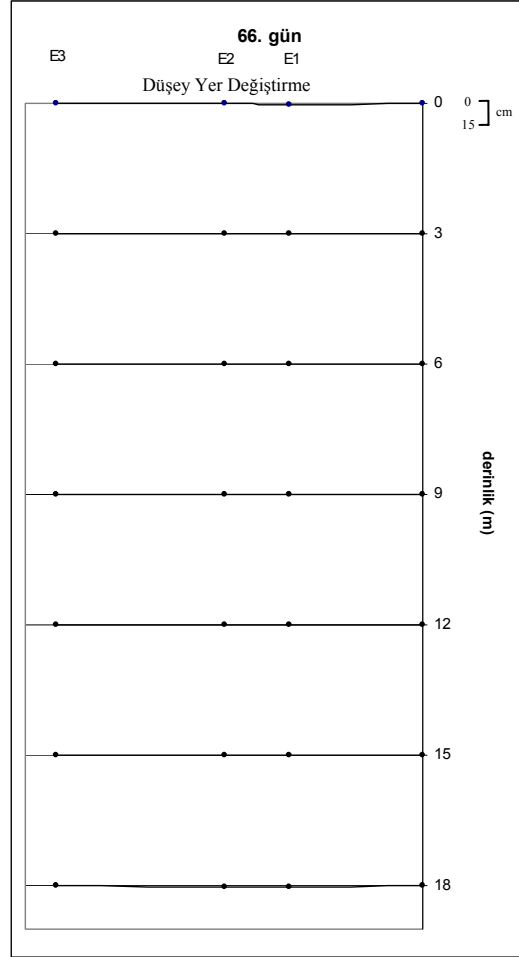
		Derinlik h (m)						
		yüzey	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m	18 m
Deplasmanlar (cm)	Duvar (0 m)	9,75	9,45	7,92	4,88	1,83	0,30	0,00
	E-1 (3.7 m)	16,76	15,24	12,19	7,62	3,05	0,76	0,00
	E-2 (5.47 m)	17,22	15,70	12,04	5,94	2,13	0,61	0,00
	E-3 (10.16 m)	11,43	10,21	7,62	4,57	1,52	0,00	0,00

Tablo B.4 163. Gün Düşey Deformasyon Değerleri

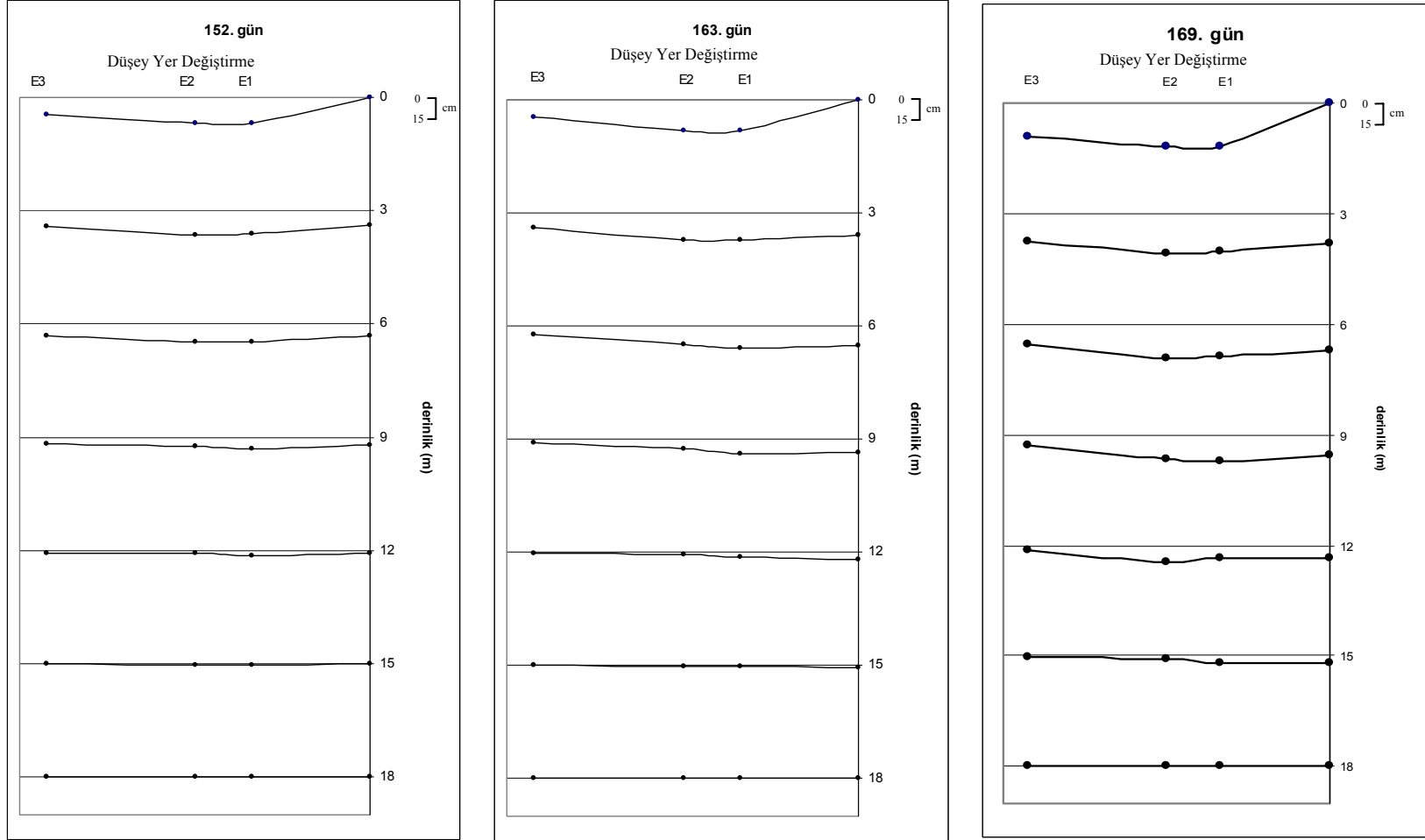
		Derinlik h (m)						
		yüzey	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m	18 m
Deplasmanlar (cm)	Duvar (0 m)	16,15	14,94	12,80	9,14	4,57	1,52	0,00
	E-1 (3.7 m)	20,12	17,98	14,33	9,75	2,90	0,61	0,00
	E-2 (5.47 m)	20,57	17,83	12,50	6,40	1,83	0,30	0,00
	E-3 (10.16 m)	11,43	9,91	5,33	2,29	0,76	0,00	0,00

Tablo B.5 169 Gün Düşey Deformasyon Değerleri

		Derinlik h (m)						
		yüzey	3 m	6 m	9 m	12 m	15 m	18 m
Deplasmanlar (cm)	Duvar (0 m)	21,79	20,27	17,22	13,41	9,14	4,57	0,00
	E-1 (3.7 m)	28,86	25,82	22,25	17,98	8,84	4,27	0,00
	E-2 (5.47 m)	30,18	27,13	23,26	17,16	11,06	2,53	0,00
	E-3 (10.16 m)	22,46	19,42	13,32	7,22	2,65	0,67	0,00



Şekil B.1 Palplanşın Yerleştirilmesi İle İlk Kazı Yapılması Arasındaki Düşey Deformasyon Grafikleri



Şekil B.2 İlk Desteğin Yerleştirilmesi İle İnşaatın Son Aşamasına Kadar Olan Kısımdaki Düşey Deformasyon Grafikleri

C – Zemin Parametreleri

Tablo C.1 66. Gün Zemin Parametreleri

Eleman no	Yatay Birim Deformasyon (ϵ_h)	Düsey Birim Deformasyon (ϵ_v)	Duvar Arkası ϕ_m (R_ϵ)	Duvar Arkası ϕ_m (R)	R_ϵ Hesaplanan	R_ϵ	R	ϕ	$\sin\phi$	$K_{(R_\epsilon)}$	$K_{(R)}$
1	0,00057	-0,00026	28	28	-0,46	-0,46	2,46	33	0,54	2,75	2,75
2	0,00242	-0,00061	25	25	-0,25	-0,25	2,25	33	0,54	2,50	2,50
3	0,00000	-0,00034	22	22	0,00	0,00	2,00	33	0,54	2,20	2,20
4	0,00429	0,00000	22	22	0,00	0,00	2,00	33	0,54	2,20	2,20
5	0,00258	0,00000	22	22	0,00	0,00	2,00	33	0,54	2,20	2,20
6	0,00000	0,00000	22	22	0,00	0,00	0,00	33	0,54	1,00	1,00
7	0,00643	0,00051	21	21	0,08	0,08	1,92	33	0,54	2,10	2,10
8	0,00273	0,00051	19	19	0,19	0,19	1,81	33	0,54	1,97	1,97
9	0,00000	0,00000	22	22	0,00	0,00	0,00	33	0,54	1,00	1,00
10	0,00400	0,00015	21	21	0,04	0,04	1,96	33	0,54	2,15	2,15
11	0,00152	0,00000	22	22	0,00	0,00	2,00	33	0,54	2,20	2,20
12	0,00000	-0,00015	22	22	0,00	0,00	2,00	33	0,54	2,20	2,20
13	0,00257	-0,00034	24	24	-0,13	-0,13	2,13	33	0,54	2,36	2,36

Tablo C.2 143. Gün Zemin Parametreleri

Eleman no	Yatay Birim Deformasyon (ϵ_h)	Düsey Birim Deformasyon (ϵ_v)	Duvar Arkası ϕ_m (R_ϵ)	Duvar Arkası ϕ_m (R)	R_ϵ Hesaplanan	R_ϵ	R	ϕ	$\sin\phi$	$K_{(R_\epsilon)}$	$K_{(R)}$
1	-1,653	0,100	33	33	-16,52	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
2	-0,479	0,226	33	33	-2,11	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
3	-0,404	0,251	33	33	-1,61	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
4	-0,931	0,326	33	33	-2,85	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
5	-0,430	0,500	32	32	-0,86	-0,86	-0,86	33	0,54	0,31	0,31
6	-0,523	0,374	33	33	-1,40	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
7	-0,631	0,374	33	33	-1,69	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
8	-0,321	0,374	32	32	-0,86	-0,86	-0,86	33	0,54	0,31	0,31
9	-0,490	0,249	33	33	-1,96	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
10	-0,366	0,251	33	33	-1,46	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
11	-0,276	0,190	33	33	-1,45	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
12	-0,163	0,126	33	33	-1,29	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
13	-0,106	0,125	32	32	-0,85	-0,85	-0,85	33	0,54	0,31	0,31

Tablo C.3 152. Gün Zemin Parametreleri

Eleman no	Yatay Birim Deformasyon (ϵ_h)	Düsey Birim Deformasyon (ϵ_v)	Duvar Arkası ϕ_m ($R\epsilon$)	Duvar Arkası ϕ_m (R)	$R\epsilon$ Hesaplanan	$R\epsilon$	R	ϕ	$\sin\phi$	$K_{(R\epsilon)}$	$K_{(R)}$
1	0,02691	0,00299	20	20	0,11	0,11	1,89	33	0,54	2,06	2,06
2	-0,00303	0,00499	29	29	-0,61	-0,61	-0,61	33	0,54	0,34	0,34
3	-0,01239	0,00449	33	33	-2,76	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
4	0,00634	0,00751	5	5	0,84	0,84	0,84	33	0,54	0,84	0,84
5	-0,00591	0,01101	29	29	-0,54	-0,54	-0,54	33	0,54	0,35	0,35
6	-0,02580	0,01025	33	33	-2,52	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
7	-0,00671	0,01248	29	29	-0,54	-0,54	-0,54	33	0,54	0,35	0,35
8	-0,01803	0,01750	33	33	-1,03	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
9	-0,01778	0,01501	33	33	-1,18	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
10	-0,01686	0,01250	33	33	-1,35	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
11	-0,01894	0,01375	33	33	-1,38	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
12	-0,00583	0,01125	28	28	-0,52	-0,52	-0,52	33	0,54	0,36	0,36
13	-0,01343	0,00627	33	33	-2,14	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
14	-0,00606	0,00625	33	33	-0,97	-0,97	-0,97	33	0,54	0,30	0,30
16	-0,00271	0,00174	33	33	-1,56	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29

Tablo C.4 163. Gün Zemin Parametreleri

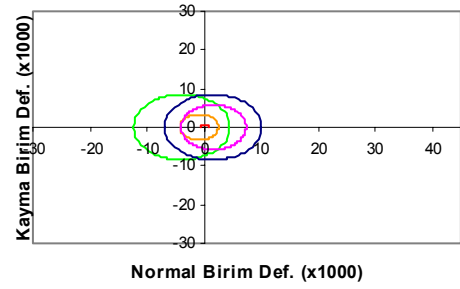
Eleman no	Yatay Birim Deformasyon (ϵ_h)	Düsey Birim Deformasyon (ϵ_v)	Duvar Arkası ϕ_m (R_ϵ)	Duvar Arkası ϕ_m (R)	R_ϵ Hesaplanan	R_ϵ	R	ϕ	$\sin\phi$	$K_{(R_\epsilon)}$	$K_{(R)}$
1	0,03506	0,00550	20	20	0,16	0,16	1,84	33	0,54	2,01	2,01
2	0,00030	0,00801	21	21	0,04	0,04	0,04	33	0,54	0,46	0,46
3	-0,00364	0,00699	28	28	-0,52	-0,52	-0,52	33	0,54	0,35	0,35
4	0,01724	0,00950	12	12	0,55	0,55	1,45	33	0,54	1,54	1,54
5	-0,00197	0,01473	24	24	-0,13	-0,13	-0,13	33	0,54	0,42	0,42
6	-0,01997	0,01626	33	33	-1,23	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
7	0,00400	0,01352	17	17	0,30	0,30	0,30	33	0,54	0,54	0,54
8	-0,01439	0,01752	31	31	-0,82	-0,82	-0,82	33	0,54	0,31	0,31
9	-0,01924	0,01499	33	33	-1,28	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
10	-0,01631	0,01873	32	32	-0,87	-0,87	-0,87	33	0,54	0,31	0,31
11	-0,01894	0,01873	33	33	-1,01	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
12	-0,01239	0,01001	33	33	-1,24	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
13	-0,02951	0,00876	33	33	-3,37	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
14	-0,00909	0,00627	33	33	-1,45	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
16	-0,02014	0,00349	33	33	-5,76	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29

Tablo C.5 169. Gün Zemin Parametreleri

Eleman no	Yatay Birim Deformasyon (ϵ_h)	Düsey Birim Deformasyon (ϵ_v)	Duvar Arkası ϕ_m (R_ϵ)	Duvar Arkası ϕ_m (R)	R_ϵ Hesaplanan	R_ϵ	R	ϕ	$\sin\phi$	$K_{(R_\epsilon)}$	$K_{(R)}$
1	0,04496	0,00748	19	19	0,17	0,17	1,83	33	0,54	2,00	2,00
2	-0,00266	0,00999	26	26	-0,27	-0,27	-0,27	33	0,54	0,40	0,40
3	-0,00682	0,00999	30	30	-0,68	-0,68	-0,68	33	0,54	0,33	0,33
4	0,02953	0,01086	16	16	0,37	0,37	1,63	33	0,54	1,76	1,76
5	-0,00827	0,01220	30	30	-0,68	-0,68	-0,68	33	0,54	0,33	0,33
6	-0,02160	0,01635	33	33	-1,32	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
7	0,02079	0,01325	10	10	0,64	0,64	1,36	33	0,54	1,43	1,43
8	-0,02216	0,01701	33	33	-1,30	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
9	-0,02445	0,02001	33	33	-1,22	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
10	0,00688	0,02200	17	17	0,31	0,31	0,31	33	0,54	0,55	0,55
11	-0,02866	0,02500	33	33	-1,15	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
12	-0,02388	0,01750	33	33	-1,36	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
13	-0,00527	0,01499	27	27	-0,35	-0,35	-0,35	33	0,54	0,38	0,38
14	-0,02393	0,02149	33	33	-1,11	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29
15	-0,01137	0,01724	30	30	-0,66	-0,66	-0,66	33	0,54	0,34	0,34
16	-0,00598	0,01450	27	27	-0,41	-0,41	-0,41	33	0,54	0,37	0,37
17	-0,01182	0,01115	33	33	-1,06	-1,00	-1,00	33	0,54	0,29	0,29

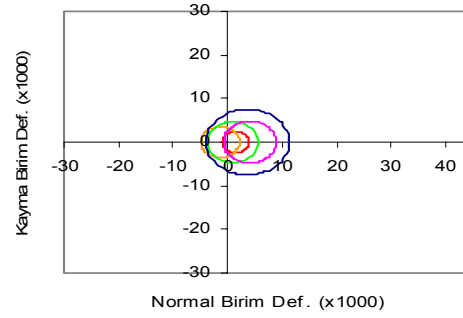
D – Birim Deformasyonlara Göre Mohr Daireleri

3. eleman



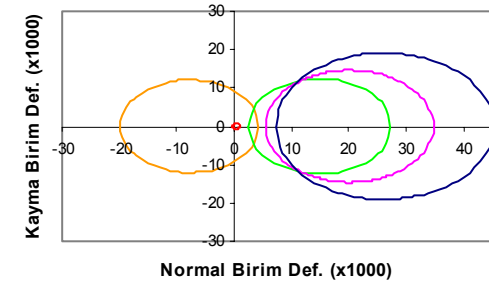
66.gün 143.gün 152.gün
163.gün 169.gün

2. eleman



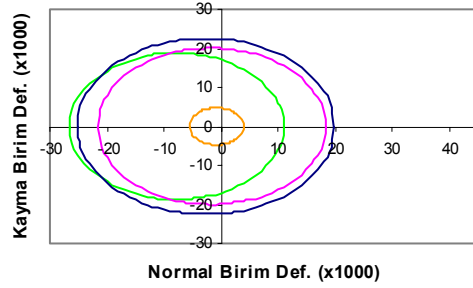
66.gün 143.gün 152.gün
163.gün 169.gün

1. eleman



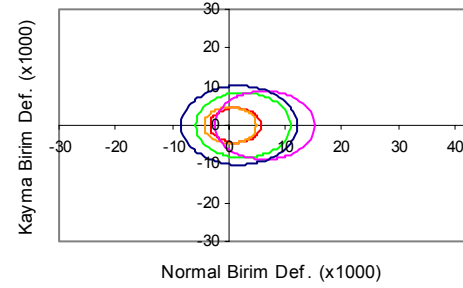
66.gün 143.gün 152.gün
163.gün 169.gün

6. eleman



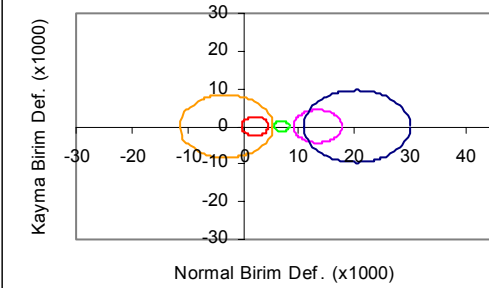
66.gün 143.gün 152.gün
163.gün 169.gün

5. eleman



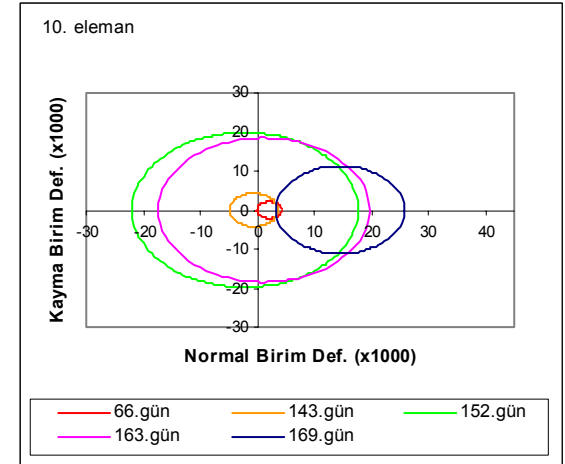
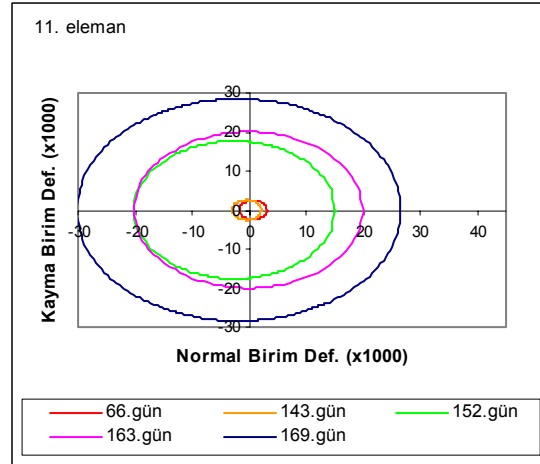
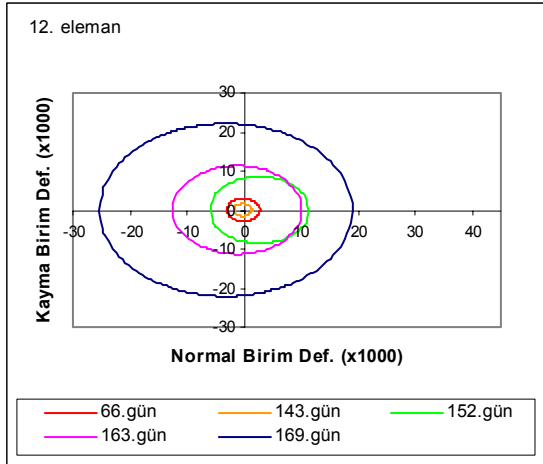
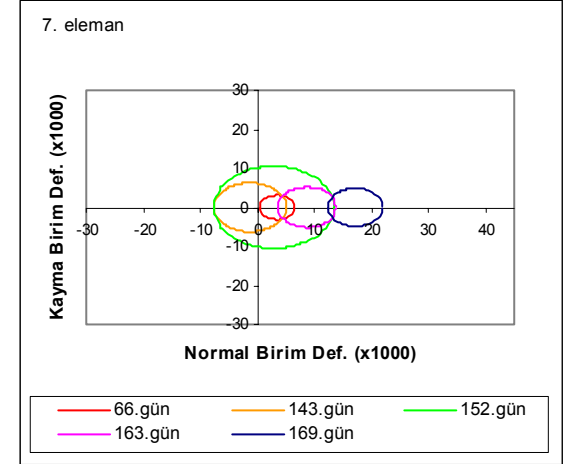
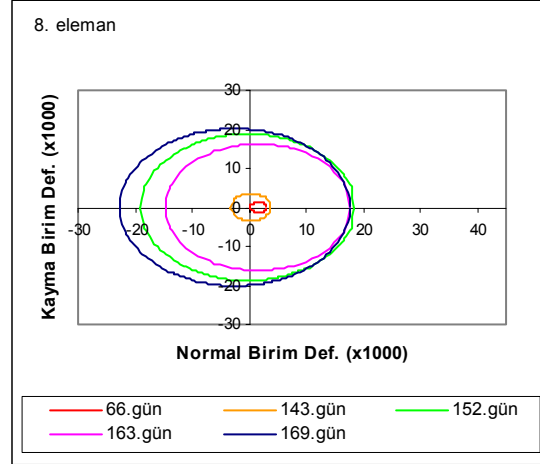
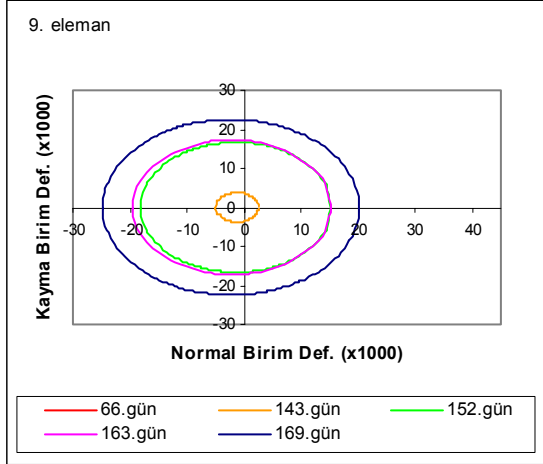
66.gün 143.gün 152.gün
163.gün 169.gün

4. eleman

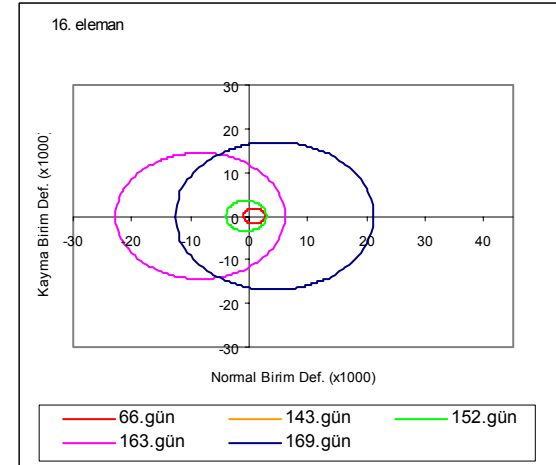
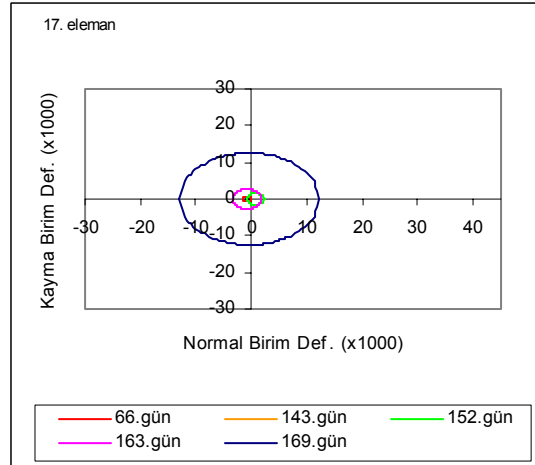
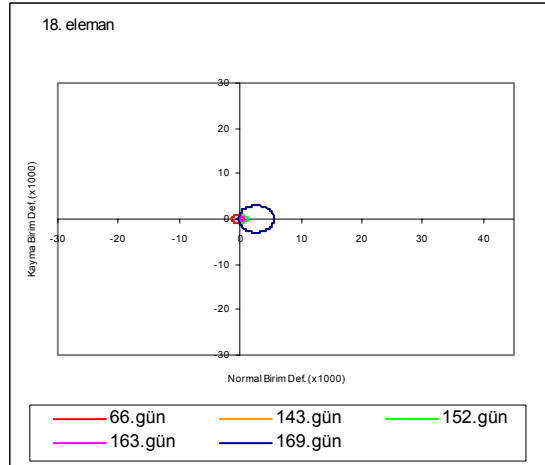
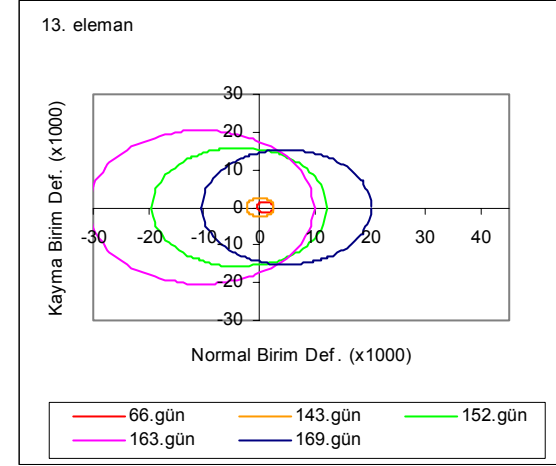
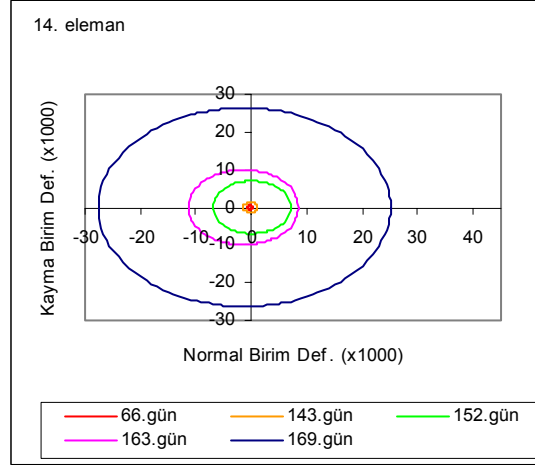
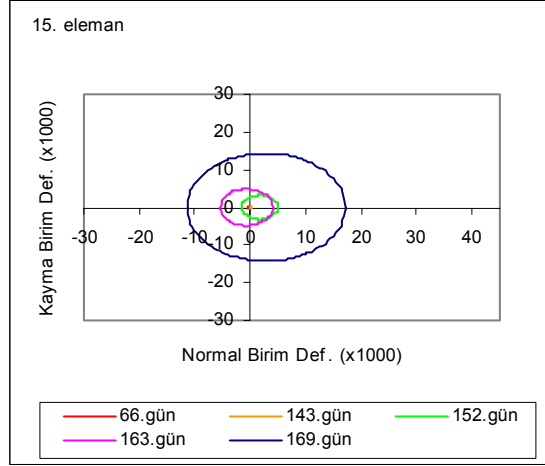


66.gün 143.gün 152.gün
163.gün 169.gün

Şekil D.1 0-6 m Arasındaki Elemanların Birim Deformasyona Göre Mohr Daireleri

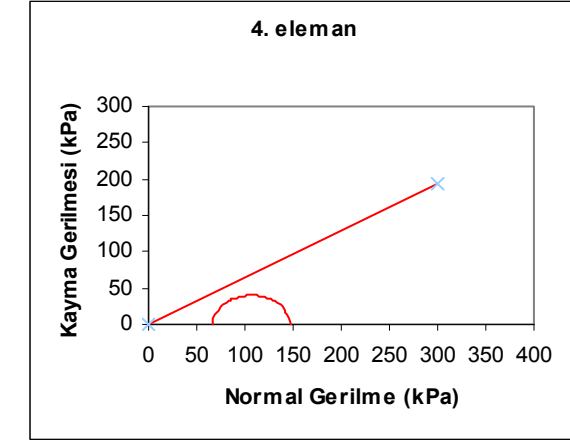
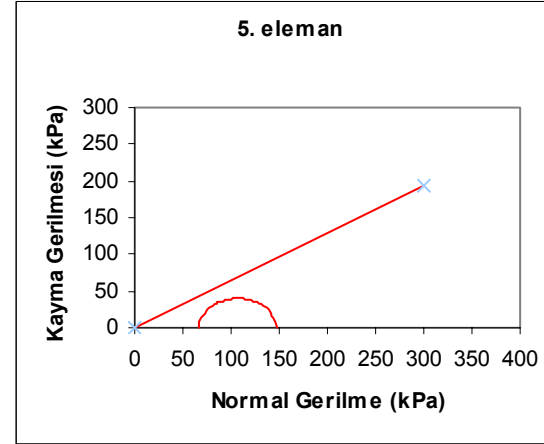
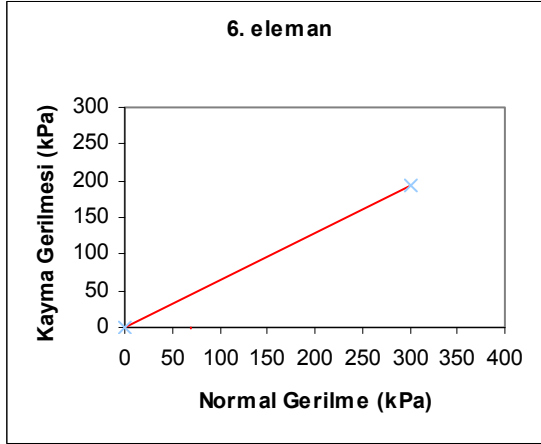
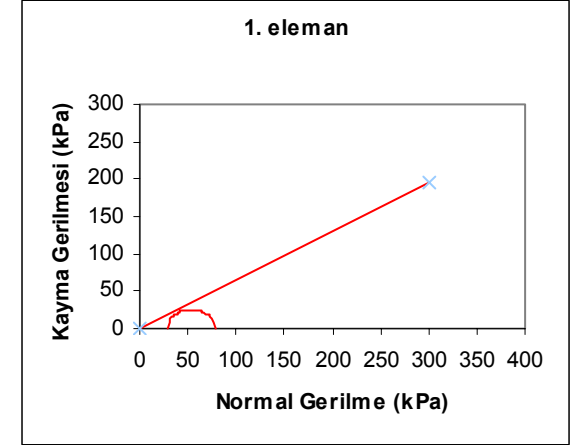
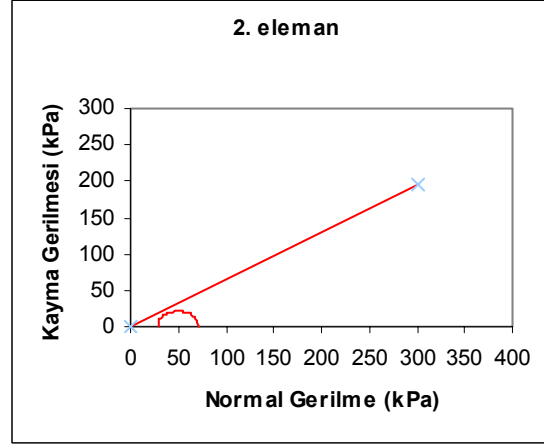
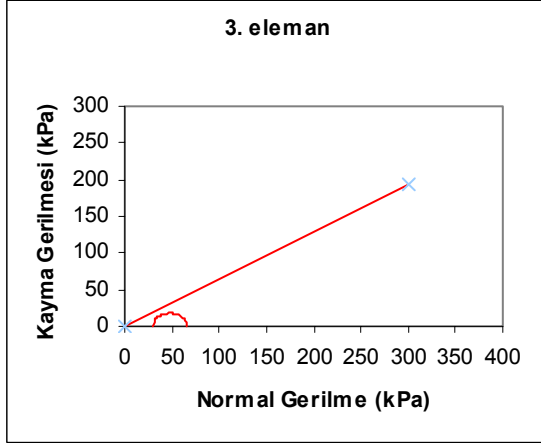


Şekil D.2 6-12 m Arasındaki Elemanların Birim Deformasyona Göre Mohr Daireleri

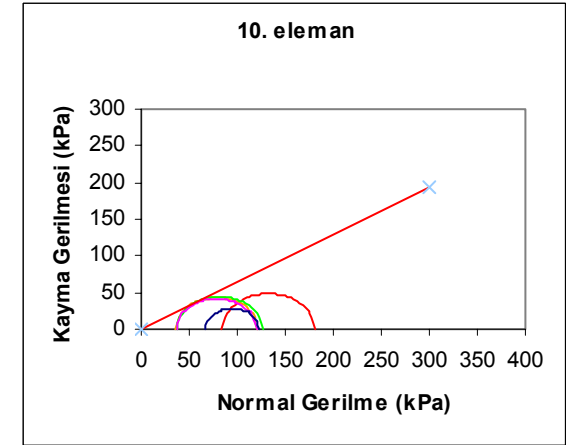
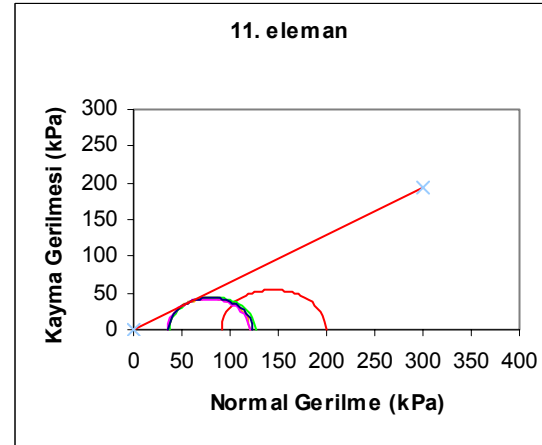
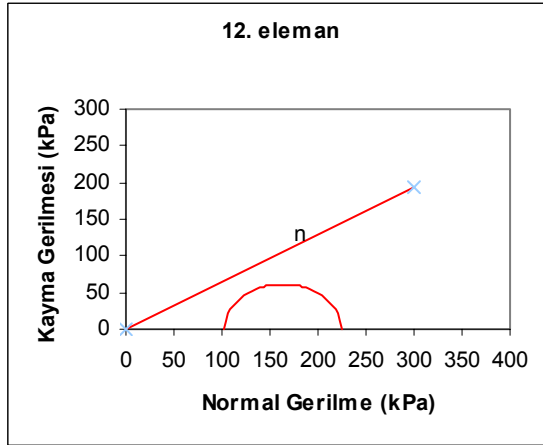
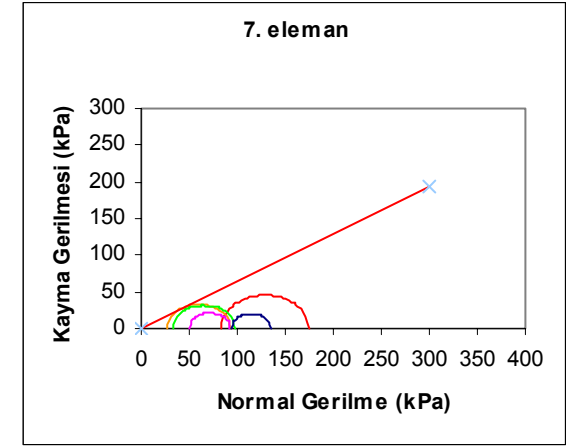
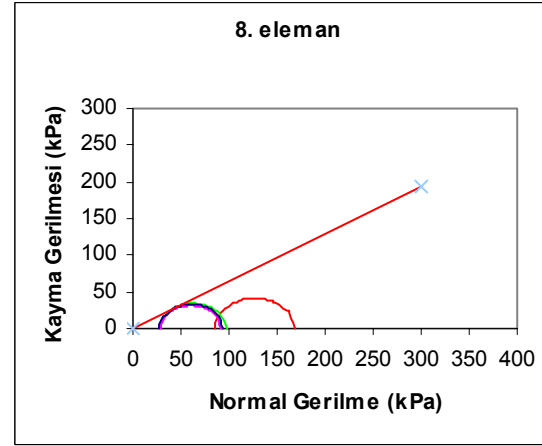
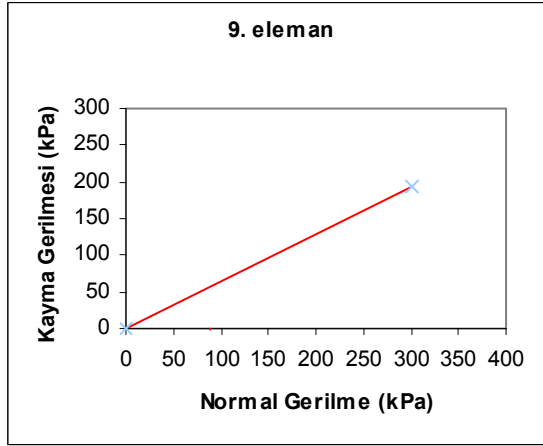


Şekil D.3 12-18 m Arasındaki Elemanların Birim Deformasyona Göre Mohr Daireleri

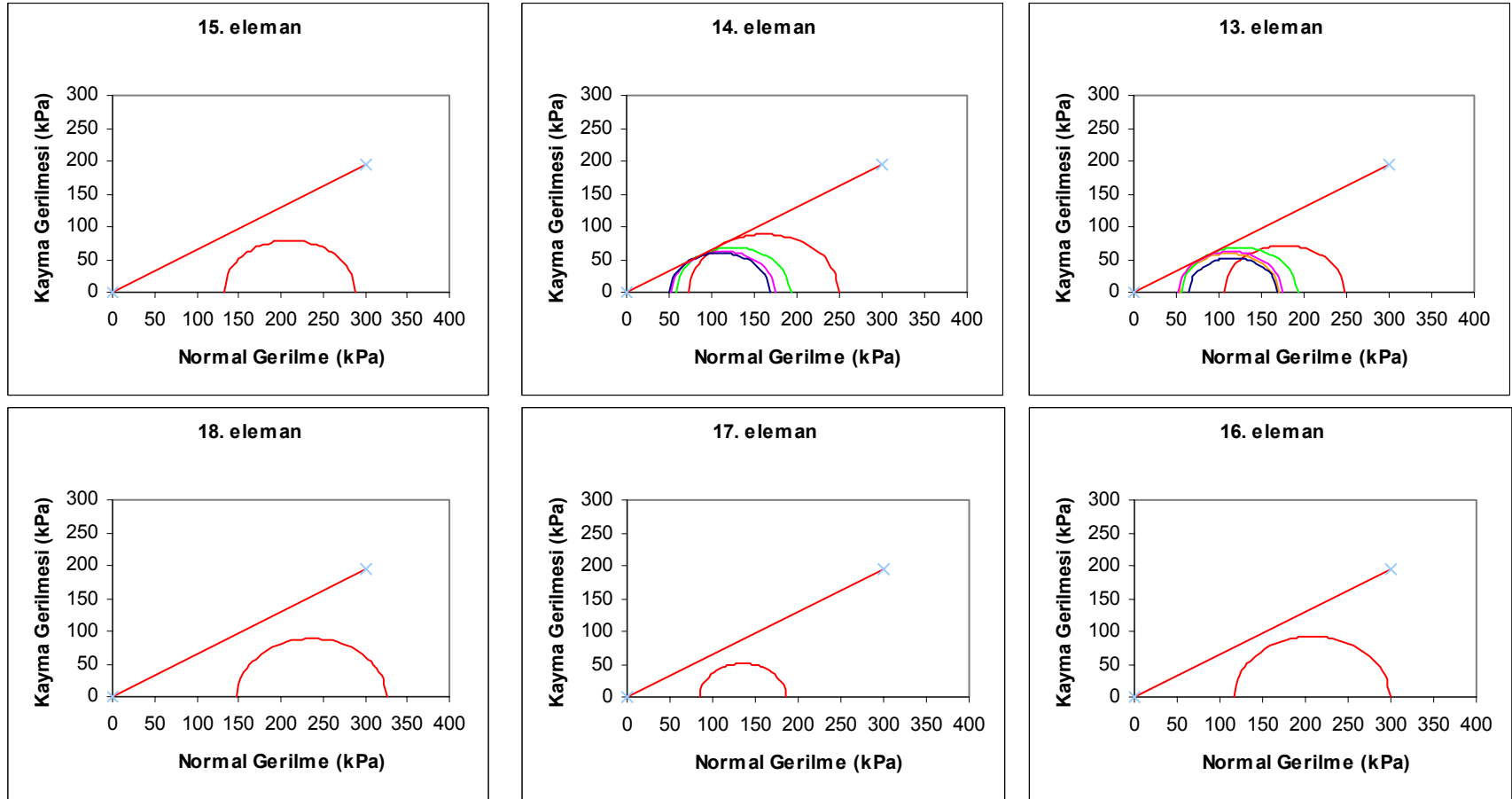
E- Gerilmelere Göre Mohr Daireleri



Şekil E.1 0-6 m Arasındaki Elemanların Mohr Gerilme Daireleri



Şekil E.2 6-12 m Arasındaki Elemanların Mohr Gerilme Daireleri



Şekil E.3 12-18 m Arasındaki Elemanların Mohr Gerilme Daireleri