

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARDA ÖLÇÜLEN
DEPLASMANLARIN TAHMİN EDİLEN
DEPLASMANLARLA KARŞILAŞTIRILMASI**

Prof. Dr. Gökhan BAYKAL

Gökhan Baykal

İnşaat Müh. Barış BAYRAKTAR

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında

Hazırlanan

106270

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106270

Tez Danışmanı

: Yrd. Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN (YTÜ)

Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN

Kutay Özaydın

**T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 2001

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	i
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ZEMİN ÇİVİSİ.....	4
2.1 Fiziksel Tarif.....	4
2.2 Tarihçesi ve Gelişimi.....	4
3. UYGULAMALAR.....	8
3.1 Zemin Çivisinin Avantajları.....	8
3.2 Uygun Saha Koşulları.....	9
3.2.1 Zemin Koşulları.....	9
3.2.2 Zemin Suyu.....	11
3.2.3 Kazı Derinliği.....	11
3.2.4 Yerleşimin Sık Olduğu Yerler.....	11
3.3 Genel ve Özel Uygulamalar.....	12
3.3.1 Genel Kabuller.....	12
3.3.2 Özel Uygulamalar.....	13
3.4 Maliyet Durumu.....	13
4. MEKANİZMA ve DAVRANIŞI.....	16
4.1 Takviyeli Zemin Malzemesi Konsepti.....	16
4.2 Zemin- Çivi Sürtünmesi.....	16
4.2.1 Yanal Sürtünme.....	16
4.2.2 Çivilere Etkiyen Yanal Toprak Basıncı.....	21
4.3 Çivi- Zemin- Yüzey Kaplaması Etkileşimi.....	22
4.4 Çekme Kuvveti Dağılımında Yüzeylerin Etkisi.....	22

4.5	Zemin Çivili Duvarların Davranışları.....	24
4.6	Deformasyon ve Deplasman.....	28
4.7	Çivinin Eğilme ve Kesmeye Karşı Tepkisi.....	31
4.8	Zemin Çivili Duvarların Göçme Modları.....	31
5.	ALETSEL GÖZLEM.....	38
5.1	İnclinometre.....	39
5.2	Zemin Çivisi Gerilim (Uzama) Ölçerleri.....	41
5.3	Çivi Başındaki Yük Hücreleri.....	42
6.	HESAP YÖNTEMLERİ.....	44
6.1	Tasarım Parametreleri.....	44
6.1.1	Çivi Boyunun Etkileri, Ara Mesafeler ve Eğim.....	44
6.1.2	Duvar Eğiminin Etkisi.....	46
6.1.3	Zemin Tabakalarının Etkisi.....	46
6.1.4	Çivilerin Dağılımının Etkileri.....	46
6.2	Genel Analiz Metodları.....	47
6.2.1	Limit Denge Metodları.....	48
6.2.1.1	Alman Metodu.....	48
6.2.1.2	Davids Metodu.....	51
6.2.1.3	Fransız Metodu.....	56
6.2.2	Kinematik Limit Analiz Metodu.....	58
6.2.2.1	Çivilerin Sıyırılması Yoluyla Göçme.....	60
6.2.2.2	Donatının Kırılmasıyla Meydana Gelen Göçme.....	61
7.	UYGULAMA ÖRNEĞİ: TEKFEN TOWERS ZEMİN ÇİVİLİ DERİN KAZI İKSASI	65
7.1	İşin Tanımı.....	65
7.2	Arazi Çalışmaları ve Zemin Yapısı.....	65
7.3	İksa Sistemi.....	67
7.4	Genel Jeoloji ve Tektonizma.....	67
7.5	Tasarımda Kullanılan Malzemeler.....	68
7.5.1	Zemin Çivisi	68
7.5.2	Püskürtme Beton.....	70
7.5.3	Hasır Çelik.....	70
7.6	Aletsel Gözlem.....	70
8	FLAC PROGRAMI.....	78

8.2	Explicit Sonlu Farklar Metodu.....	79
8.3	Explicit, Zaman Adımlı Tasarım.....	80
8.4	Kesitlerin Modellenmesinde Kullanılan Parametreler.....	81
8.4.2	Püskürtme betonun Modellenmesi.....	81
8.4.3	Çivilerin Modellenmesi.....	82
8.4.3.1	Enjeksiyonun Kayma Davranışı.....	82
8.4.3.2	Enjeksiyon Arayüzeyindeki Normal Davranış.....	84
8.4.3.3	Kablo Elemanı Özellikleri.....	84
8.4.4	Zemin/ Formasyon Modellenmesi.....	87
9.	ANALİZ SONUÇLARI.....	89
	KAYNAKLAR.....	94
	EKLER	100
Ek 1	Kesit1 Data Dosyası ve Analiz Sonuçları.....	101
Ek 2	Kesit2 Data Dosyası ve Analiz Sonuçları	123
Ek 3	Kesit3 Data Dosyası ve Analiz Sonuçları	141
	ÖZGEÇMİŞ.....	157

SİMGE LİSTESİ

A_s	Çivinin kesit alanı
c	Zemin kohezyon katsayısı
c_i	I elemanının kohezyonu
dT	Çivinin çekme kuvvetinde dL uzunluğunda meydana gelen değişme
d	Çivi donatısının çapı
D	Çivinin çapı
EI	Çivinin eğilme rijitliği
f_l	Arayüzey yanal limit kesme mukavemeti
f_y	Donatının akma mukavemeti
F_{all}	Çivinin izin verilen çekme gerilmesi
F_M	Çivinin plastik momentine dayalı emniyet katsayısı
F_P	Sıyırılma emniyet katsayısı
F_{Sc}	Kohezyona bağlı emniyet katsayısı
$F_{S\phi}$	İçsel sürtünme açısına bağlı emniyet katsayısı
h	Çivinin üzerinde kalan yükün yüksekliği
H	Duvar yüksekliği
i	Tabaka sayısı
k_h	Yatay kuvvet katsayısı
K	Etki katsayısı
K_h	Yanal zemin itkisi modülü
K_o	Sükunetteki yanal toprak basıncı
l_o	Çivinin bağıl rijitliğini karakterize eden yük transfer uzunluğu
L	Çivi uzunluğu
L_2	Toptan göçme yayının uzunluğu
m	Eğim
M_{max}	Maksimum eğilme momenti
M_p	Çivinin eğilme dayanımı
n	Çivi kademelerinin sayısı
N_q	Yükleme kapasitesi
N_1	1 ve 2 elemanı arasında oluşan yanal toprak basıncının bileşkesi

P	p-y analizi ile elde edilen çubuk üzerindeki pasif basınç
Q	Çivinin birim boyuna etki eden kesme kuvveti
s(o)	t = 1 saat anında meydana gelen deplasman
s(t)	t anında meydana gelen deplasman
S_D	Toplam sürme kuvveti
S_h	Çivilerin yatay ara mesafesi
S_R	Toplam direnç kuvveti
S_v	Çivilerin düşey ara mesafesi
S₁	1 ve 2 elemanı arasındaki teğetsel kuvvet
T_c	Maksimum kesme kuvveti
T_m	Harekete geçen kesme kuvveti
T_p	Sıyrılma kuvveti
TS	Normalize edilmiş maksimum kesme kuvveti
Vf	Kesme kuvveti
W₁	1 elemanının ağırlığı
W₂	2 elemanının ağırlığı
Z	Yüzeyden olan derinlik
α	Adezyon azaltma faktörü
α₃	Güçlendirilmiş bölgenin eğim açısı
α₅	Güçlendirilmemiş bölgenin eğim açısı
φ	İçsel sürtünme açısı
φ_i	I elemanının içsel sürtünme açısı
η	Duvarın eğim açısı
λ	Duvarın üst noktasının arkasındaki yatay mesafe
θ	Çivilerin eğimi
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
σ_{vo}	Çivinin üzerine etki eden düşey maksimum gerilme
Δσ	Çiviye etki eden normal gerilmenin artışı
τ	Zemin-enjeksiyon arayüzeyinde harekete geçen kayma gerilmesi

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	Zemin çivili sistemin tipik kesiti.....	6
Şekil 2.2	Brunel'in Thames Nehri tünel onarımında kullandığı zemin çivili iksa.....	6
Şekil 3.1	Zemin çivisinin tipik uygulamaları.....	14
Şekil 3.2	Schwing tarafından bahsedilen Almanya da zemin çivili taş duvar.....	15
Şekil 4.1	Sıkıştırılmış granüler zeminlerde zemin çivi etkileşimi.....	19
Şekil 4.2	Su Muhtevasının çivilere etki eden çekme kuvvetlerine etkisi.....	19
Şekil 4.3	Sürülme metoduyla yapılmış çivilerin çekme testleri.....	20
Şekil 4.4	Şev yüzeyinin takviyeli çekme kuvvetleri dağılımına etkisi.....	23
Şekil 4.5	Maksimum çekme kuvveti oluşumunun yeri.....	23
Şekil 4.6	Şev yüzey kaplaması tipleri ve çivili şevlerin deformasyon modları.....	24
Şekil 4.7	Zemin çivisinin davranışı.....	26
Şekil 4.8	Zemin çivili duvarlarda çekme kuvveti dağılımı.....	27
Şekil 4.9	Zemin çivisi tarihinde ilk bilimsel test edilmiş duvarın deplasmanları.....	29
Şekil 4.10	Krip deplasmanlarının çift logaritmik gösterilmesi.....	30
Şekil 4.11	Zemin çivili iksada meydana gelen deformasyon.....	32
Şekil 4.12	Zemin çivili duvarların yanal deplasmanları.....	33
Şekil 4.13	Zemin çivisine etki eden kuvvetler.....	34
Şekil 4.14	Olası iç, dış ve karma göçme zaafiyet durumları.....	35
Şekil 4.15	Zemin çivili duvarların olası içsel göçme durumları.....	36
Şekil 4.16	Zemin çivili duvarların olası göçme modları.....	37
Şekil 5.1	Tipik inklinometre kesiti.....	40
Şekil 5.2	İnklinometre ölçüm prensipleri.....	41
Şekil 6.1	Çivi uzunluğunun duvarın stabilitesine etkisi.....	45
Şekil 6.2	Çivi aralığının duvarın stabilitesine olan etkisi.....	45
Şekil 6.3	Çivi eğiminin çivili duvarın stabilitesine etkisi.....	46
Şekil 6.4	Duvar eğiminin çivili duvarların stabilitesine etkisi.....	47
Şekil 6.5	Tabakalı zeminin zemin çivili duvarlara etkisi.....	49
Şekil 6.6	Çivi güvenlik faktörlerinin çivi pozisyonuna olan etkisi.....	49
Şekil 6.7	Alman metodu tasarımı.....	50

Şekil 6.8	Alman modeline göre performans ve kayma modu.....	51
Şekil 6.9	Davids metodunun tahmini	53
Şekil 6.10	Stabilite eğimi analiz metodu.....	54
Şekil 6.11	Göçme modu kinematik limit analiz metodu.....	63
Şekil 6.12	Çok esnek çiviler için tasarım grafikleri.....	64
Şekil 7.1	Kazı sahasının planı ve sondaj noktaları.....	66
Şekil 7.2	Tasarımda kullanılan zemin çivisinin tipik görünümü.....	69
Şekil 7.3	A1 inkosu diyagramı.....	73
Şekil 7.4	A2 inkosu diyagramı.....	74
Şekil 7.5	A4 inkosu diyagramı.....	75
Şekil 7.6	A6 inkosu diyagramı.....	76
Şekil 7.5	A7 inkosu diyagramı.....	77
Şekil 8.1	Explicit hesap döngüsü.....	81
Şekil 8.2	Kablo elemanının mekanik davranışı.....	83
Şekil 9.1	Doğu cephesinde analizi yapılan kesit.....	92
Şekil 9.2	Doğu cephesindeki deplasmanların karşılaştırılması.....	93
Şekil 9.3	Güney cephesinde analizi yapılan kesit.....	94
Şekil 9.4	Güney cephesindeki deplasmanların karşılaştırılması.....	95
Şekil 9.5	Batı cephesinde analizi yapılan kesit.....	96
Şekil 9.6	Batı cephesindeki deplasmanların karşılaştırılması.....	97

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1	Zemin takviye sistemlerinin uygulama ve amaçları.....	2
Çizelge 1.2	Zemine yerleştirilen donatılara etki eden başlıca kuvvetler.....	3
Çizelge 3.1	Zemin çivili iksa seçim kriterleri.....	10
Çizelge 4.1	Granüler zeminler için nihai aderans gerilimi.....	20
Çizelge 4.2	Kohezyonlu zeminler için nihai aderans gerilimi	21
Çizelge 4.3	Kaya formasyonları için nihai aderans gerilimi.....	21
Çizelge 4.4	İçsel ve dışsal etkilerle oluşan göçme modları.....	36
Çizelge 7.1	Sondaj kuyularının derinlikleri.....	65
Çizelge 7.2	Cephelerde oluşan maksimum deplasmanlar	72
Çizelge 8.1	Grovakın teknik özellikleri.....	87
Çizelge 8.2	Tasarımda kullanılan parametreler.....	87

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Zemin Çivili Duvarlarda Ölçülen Deplasmanların Tahmin Edilen Deplasmanlarla Karşılaştırılması sahada yapılan aletsel gözlemler ve FLAC adlı paket programda elde edilen deplasmanlarla yapılmıştır.

Bu çalışma sırasında değerli bilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN' e teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım sırasında bana yardım eden İnş. Yük. Müh. Taşkın TARI, İnş. Yük. Müh. Serpil YILMAZ, İnş. Müh. M. Cafer KASIMOĞULLARI' na teşekkür ederim. Aileme de bu çalışma süresince bana vermiş olduğu destek, gösterdiği anlayış ve sabırdan dolayı teşekkür ederim.



ÖZET

Bu tez kapsamında, son yıllarda ülkemizde de geniş uygulama alanı bulan derin kazı uygulamalarında zeminin yatay donatılar kullanılarak güçlendirilmesi metodlarından biri olan zemin çivili iksa metodu hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Zemin çivili iksa sistemleri diğer iksa sistemlerinden daha hızlı uygulanabilmesi ve ekonomik olması sebebiyle sıkça tercih edilen ve uygulanan bir yöntem olmuştur.

Bu çalışmada zemin çivisi ile ilgili detaylı bir literatür araştırması ile zemin çivisi uygulamasının iksa sistemi olarak yapıldığı bir vaka analizine yer verilmiştir. Tekfen Towers projesi kapsamında imal edilen zemin çivili derin kazı iksasının sonlu farklar yöntemi kullanılarak modellenmesi yapıp analiz sonuçlarından elde edilen yatay deplasman değerleri sahada yerinde yapılan inklinometrik okumalar ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak derin kazının ve kazı destek sisteminin modellenmesinde şu an dünya genelinde çok popüler olan ve akademik ve uygulama amaçlı olarak kullanılan FLAC isimli geoteknik analiz programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin çivisi, inklinometrik gözlem, sonlu farklar metodu, kazı destekleme sistemi, FLAC programı.



ABSTRACT

In this thesis, a detailed study for a deep excavation retaining system reinforces the soil by means of lateral reinforcements; namely the soil nailing system – which has found a wide application area in Turkey recently as well as throughout the world – has been performed. Soil nailed retaining system has gained an increasing popularity depending on its construction speed and economy.

In this study a detailed literature review about soil nailing system has been performed and a case study where soil nailing has been implemented as the retaining system has been investigated. For the Tekfen Tower project, the retaining system has been modeled by using a computer program utilising finite difference method and afterwards lateral displacements that would be occurring at the walls of the retaining system were calculated. These calculated values were compared with the actual values measured via inclinometers at the site. In modelling the retaining system and calculating the lateral displacements, a software program named as FLAC which uses finite difference method has been utilised.

Keywords: Soil nailing, inclinometers, finite difference, retaining system, FLAC



1. GİRİŞ

Erozyon kontrolü ve zeminin mukavemetini arttırmak amacıyla zemine birtakım materyallerin dahil edilme düşüncesi yeni olmayıp bu konuda çalışan araştırmacılar, zeminin mühendislik özelliklerinin artırılması için zemine çelik çubuk, ahşap kazık, ahşap kiriş, metal gibi malzemelerin yerleştirilerek yapılmış uygulamalardan birçok dökümantasyon elde etmişlerdir. Bu bağlamda son 20 yıl içerisinde zemin özelliklerinin iyileştirilmesi doğrultusunda birçok teknikler geliştirilmiştir.

Zemin takviye teknikleri iki ana grup altında toplanabilir. Bu teknikler;

- Dolguların takviye edilmesi tekniği
- Zeminin yerinde takviye edilmesi tekniği

İlk grup Fransız tekniği olarak bilinir ve doldurulmuş karışık zeminin yatay membranlar veya şeritlerle takviyesi tekniğidir. 1963 yılında Fransız mühendis Henri Vidal tarafından bulunan bu teknik, önemli mühendislik yapılarının inşasında karışık zemin yapısına çekme kuvvetlerini karşılayacak elemanların yerleştirilmesi tekniği olarak tanımlanabilir. Fransız mimar ve mucit Henri Vidal, modern zemin takviye tekniklerinin geliştirilmesine öncülük ederek 1966 yılında A.B.D.' de 'Reinforced Earth' adıyla patentli Toprakarme sistemini geliştirdi (William ve Bell, 1979).

Dolguların takviyesine benzer şekilde, yerinde takviye teknikleriyle zemine birtakım geoteknik materyallerin yerleştirilmesiyle zeminin kayma direncinin artırılması da eski bir uygulama tekniğidir. Bu metodların ana prensibi, doğal zeminin içine çekme, kayma, eğilme ve sıkıştırma kuvvetleriyle zeminin stabilitesini sağlayacak ve hareketlerini mesnetleyecek malzemelerin yerleştirilmesidir.

Mevcut takviye teknikleri şöyledir;

- Zemin çivisi; Zemin çivisi, kazı sırasında ve sonrasında zeminde oluşacak olan deplasmanların kontrol altında tutulması ve zemin yükünün azaltılması amacıyla sık aralıklarla zemine çelik çubukların yerleştirilmesi tekniğidir.
- Mini kazıklar; Mini kazıklar genel olarak zemin çivisinin bir çeşiti olup tek fark mini kazığın yük taşıyabilmesidir.
- Öngermeli ankrajlar; Ankrajlar istinat yapılarında ve kaya şevlerinin stabilizasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Zemin şevlerinin stabilizasyonunda kullanılma potansiyeli

olmasına rağmen bu uygulama alanında yaygın olarak kullanılmamaktadır.

- Zemin takviyesi yerinde uygulama teknikleri Tablo 1.1. de gösterilmektedir (Schlosser ve Juran, 1979).

Çizelge 1.1 Zemin takviye sistemlerinin uygulama ve amaçları

Uygulama ve amaç	Takviye tipi		
	Zemin Çivisi	Mini Kazık	Öngermeli Ankraj
Taşıma kapasitesini arttırmak		XXX	
Şev stabilizasyonu	XX	XX	(X)
Derin kazı stabilitesi	XXX	X	XXX
Oturmaların azaltılması		XX	

Takviye tekniklerinin tasarımındaki ana prensip; donatılarda oluşan çekme kuvvetlerinin zemin-donatı arayüzeyinde oluşan sürtünmeye transfer edilerek karşı konulmasıdır. Bu sistemler, yanal veya düşey yapısal sağlanmasında kullanılmaktadır. Diğer taraftan, zemin takviyesi sistemlerinin davranışları donatılara etki eden başlıca yüklere bağlı olursa bu sistemlerin arasında temel farklılıklar meydana gelir. Birbirinden farklı başlıca zemin takviye metodlarından oluşan başlıca etkilerin belirtileri Çizelge 1.2' de gösterilmektedir.

Aşağıda sıralanan zemin takviyesi teknikleri arasında zemin çivisi tekniğinde son 20 yılda çok hızlı ilerlemeler kaydedilmiştir. Bunun yanında, zaman içinde müteahhitler ve araştırmacılar zemin çivisi tekniğini uygulamanın avantajlarını keşfettiler ve böylece zemin çivisi tekniği hem uygulama hem de teorik açıdan bir kimlik kazanmıştır.

Zemin çivileme tekniğinin temel düşüncesi zemine sık aralıklarla donatılar yerleştirilerek kazı süresince ve sonrasında oluşan deplasmanları engellemek ve yanal basıncı sınırlamaktır. Bu teknik aslında Rabcewicz (1964-65) tarafından tanımlanan Yeni Avusturya Tünel Metodunun bir uygulamasıdır. Zemin çivisi diğer tekniklere göre daha yeni bir teknik olmasına rağmen demiryollarının stabilizasyonu, yol inşaatlarında yarma şevlerinin stabilizasyonunda, heyelan eden şevlerin stabilizasyonunda, stabil olmayan şevlerdeki tünel girişlerinin stabilizasyonu gibi inşaat mühendisliği uygulamalarında tercih edilen bir metod olmuştur.

Türkiye' de yerleşimin sık olduğu yerlerde daha fazla yer elde edebilmek amacıyla derin kazı-

Çizelge 1.2 Zemine yerleştirilen donatılara etki eden başlıca kuvvetler (Schlosser, 1982)

Sistemler ve Başlıca Etkiler	Zemin Çivisi	Mini Kazık	Zemin Ankrajları
Çekme	*	*	*
Basınç		*	
Kayma	*		*
Eğilme	*	*	

lara olan talebin son 10 yıl içerisinde artması sebebiyle derin kazı iksa sistemi olarak zemin çivisi de sıkça uygulanan bir sistem olmuştur. Sistemin ekonomik ve uygulama açısından hızlı bir teknik olması, derin kazılarda kalıcı veya geçici iksa sistemi olarak zemin çivisi tekniğini önemli bir alternatif haline getirmiştir. Bu bağlamda İstanbul grovakında zemin çivisi ile inşa edilmiş olan bir vaka ele alınacaktır ve inklinometrik gözlemler neticesinde elde edilmiş olan deplasmanlar bir yazılım programı olan FLAC programında yapılan analizler neticesinde elde edilen deplasmanlarla karşılaştırılacaktır.

2 ZEMİN ÇİVİSİ

2.1 Fiziksel Tarif

Zemin çivileri, arazi güçlendirmek için kullanılan yapı teknikleri arasında, hem teoride hem pratikte sağlam ve belirgin bir kimlik kazandı. Bu teknikle, heyelan etmeye müsait şevlerde ya da derin kazılarda zeminin stabilitesi sağlanır. Normal olarak yatay destek sisteminin yerleştirilmesi ile bu sorun çözüldü. Bu sistem, genellikle çivi olarak bilinen yanyana dizilmiş, dayanıklı pasif ilavelerin zemine yerleştirilip zemin kütlelerinin kayma mukavemetini arttırmasıyla başarılıdır. İlaveler genellikle çelikten ya da gerekli çekme dayanımını sağlayabilecek materyallerden yapılır; örnek fiberglastan yapılır.

Pasif ek terimi imalat yöntemi esnasında ön gerilme olmayan çiviler için kullanılır. Bu teknik, çubukların öngerilme olmaksızın ve eklerin yoğunluğu ankraj sistemine oranla daha yüksek olarak tanımlanır.

Sistem uygulamada çok esnek ve herhangi bir versiyonu, belirli proje gereksinimleri için planlanabilir. Ancak tipik bir uygulama, doğal zeminin kendisi, çiviler ve kaplamalardan oluşabilir. Çiviler ya her kazı kademesinde zemine açılan deliklere yerleştirilip enjeksiyonla doldurulur ya da zeminin durumuna bağlı olarak zemine çakılarak yerleştirilir. İlk durumda ilavelerin rijitliği oldukça yüksek olabilir ve çubuklar kesme kuvvetine ve eğilme momentine dayanabilir. Çivilere bağlanan yüzey kaplaması, şev eğiminin bazı kritik değerleri geçtiği durumlarda veya çevresel koşulların zemin yüzeyinde bozulmaya neden olduğu durumlarda kullanılır. Şekil 2.1’de tipik bir zemin çivili iksa sisteminin en kesiti gösterilmektedir.

2.2 Tarihçesi ve Gelişimi

Zemin çivisinin varoluşunun kanıtı 1835 yılına kadar dayanmaktadır. Londra’daki Rotherhithe ve Wapping caddeleri arasındaki tünelin, Thames nehrinin altından yapımında, zemin çivisinin kullanıldığı Shempton tarafından belgelenmiştir (1994). Londra Köprüsünden akıntı yönünde 1,5 mil uzaklıktaki, başlangıçta yaya yolu olarak 1843’te kullanılan tünel, daha sonra 1869’da demiryolu trafiğine açıldı. Tünel günümüzde Londra metrosunun bir parçası olarak kullanılıyor. Projenin tünel inşaatı boyunca baş mühendisi Thames Tünel Şirketine Marc Sambrad Brunel (1749- 1846) dir. 1827’deki yumuşak zemin tüneli inşaatı boyunca, tünel kalkanı birkaç kere çöktü. Proje için ayrılan fon sonradan tükenince, tüneldeki çalışma 1835 yılına kadar tekrar başlayamadı. Tünel kalkanı çökme yüzünden zarar gördü. Çökmeden sonra tünel kil ve çakıl torbaları kullanılarak içeriye akışı önlemek amacıyla kapatıldı. Tünel

kalkanının yeri değiştirilirken, yeni tünel kalkanı döşenene kadar, onarılan tüneli destekleyecek bir sistem kullanmak zorundaydı. Brunel ve yardımcısı Bearnish kütük ve düz demir borulardan oluşan bir destek sistemi dizayn ettiler (Şekil 2.2).

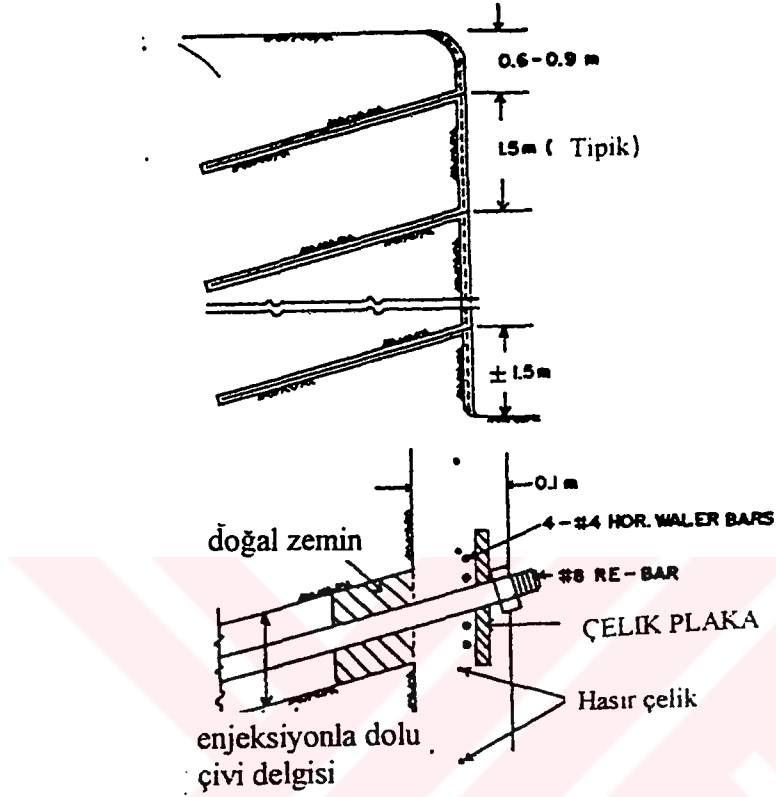
Yapılan çekme deneylerinde, içsel sürtünme açısının 20° olduğu zeminde yapılan deneyde 1.8 m uzunluğunda 12 mm et kalınlığında ve 100 mm genişliğindeki elemanların dayanma gücünün 1456 lbs olduğu görülmüştür. İnşa edilen duvarda, test edilen elemanlarla aynı ölçülerde olan fakat 2.5 m uzunluğundaki elemanlar kullanmıştır.Çivileme tekniği gittikçe daha iyi performans gösterdiği için Brunel daha sonra, tünel operasyonlarında da kullanılmasını sağladı. Uygulamalar son zamanlardaki zemin çivilemesinden farklı olmasına rağmen, toprak basıncını sınırlama ve deformasyon kontrolünü sağlamak açısından aynıdır.

Ayrıca Hayashi et al (1992), bu tekniğin 1960'dan beri Japonya'da "nuiji"(zemin dikişi) veya "sashikin" (çelik boru enjekte etme) adları ile doğal şevlerin ve tünel girişlerinin stabilitesini sağlamak amacıyla kullanılmakta olduğunu belirtmiştir.

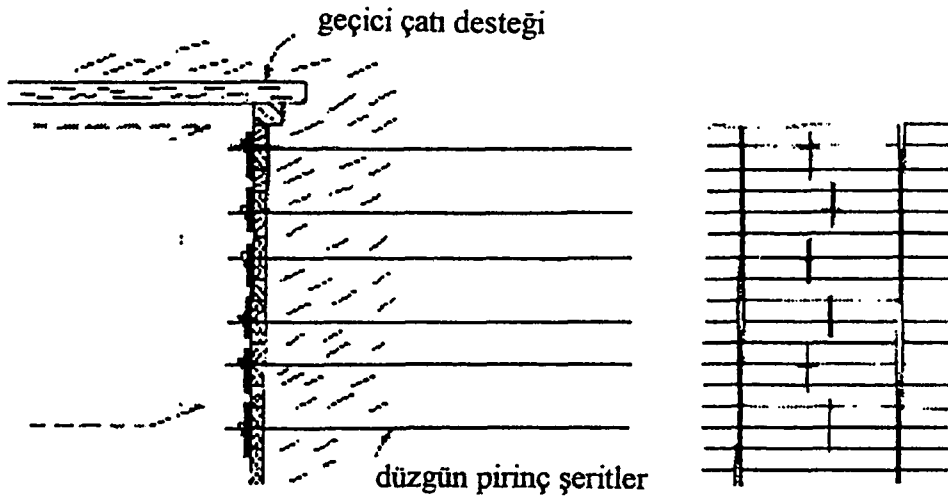
Fakat, "Zemin çivisi" adıyla, dik şevlerin ve kesmelerin çelik çubuklar ile doğal zemine yerleştirerek stabil duruma getirilmesi ilk defa Fransa'da (Rabejac et 1974) gerçekleştirildi. Bouggués ve Solentaneke adlı müteahhit, 1972 yılında, Versailles teki Fransız ulusal Tren yolu hattını genişletmekle ilgili olarak, 18 metre yüksekliğinde 1,5/4 eğimli Fontamebleau kumu ile çimentolanmış bir duvar inşa ettiler. Çiviler önceden açılan deliklere oldukça yakın yerleştirildiler ve çimento enjeksiyonu ile dolduruldular. İki yıl sonra, Paris metrosu kazısında Bouggués 40- 49 mm çaplı çubukları kullanmıştır.

Bundan sonra Fransa ve Bruce te al 'de bu tekniğin uygulanmasında gerçek gelişmeler oldu. (1986,1987a ve 1987b) 1970 'in başlarında Fransa'da zemin çivilemenin, modern zamanın başlangıcına kadar izini süren geniş kapsamlı çalışmalar yayınlandı. Bu uygulamalar, zemini taşıyan elemandan daha çok taşınan eleman olarak gören Yeni Avusturya Tünel Metodunun gelişmesine bağlandı.

1970'li yılların ortalarında başlayan araştırma çalışmaları Fransa, Kanada ve Almanya'da sürdürüldü. İlk önemli zemin çivileme araştırma programı Almanya'da Karlsruhe Üniversitesi ve müteahhit Baver tarafından üstlenildi. Araştırma ve geliştirme Projesi "Badenvernageung" 1975'te Stocker (1976) ve Gassler(1977)' in söz ettiği zemin çivileme tekniğinin pratik uygulamalar için geliştirilmesi için başladı. Fransa'daki zemin çivileme tekniğinin kullanılmasının artması sonucuna bağlı olarak, yukarıda anlatılan ilk uygulamaları takip ederek, 1986'da Fransızlar "Cloutterre" adlı kendi deneysel programını başlattılar.



Şekil 2.1 Zemin çivili sistemin tipik kesiti



Şekil 2.2. Brunel'in Thames Nehri tünel onarımında kullandığı zemin çivili iksa sistemi (Skempton, 1994)

Son 20 yıl içinde doğal zeminleri, çelik çubuk ve ahşap çivilerle takviye etme tekniklerinde hızlı gelişmeler meydana geldi. Böylece, zemin çivisi hem teoride hem de pratikte sağlam ve belirgin bir kimlik kazandı. Zemin çivisi fikri yeni tasarım görüşlerine ve yeni tekniklere ihtiyaç duymaktadır. Zemin çivili duvarların sağlamlık hesaplamaları için ilk fikirler Stocker, Körber, Gassler, Gudehus, (stocker et al 1979), Shen Bang, (shen et al, 1981), Gassler ve Gudehus (1981, 1983) tarafından geliştirilmiştir.

Bugünkü zemin çivileme tekniğinin temel düşüncesi Rabcewicz (1964-1965) tarafından geliştirilen Yeni Avusturya Tünel Metod (NATM)' undan veya mini kazık teknolojisi gibi doğal zemin iyileştirme tekniklerinden almaktadır. Bugünkü zemin çivileme tekniği Avrupa, Kuzey ve Güney Amerika, Avustralya ve Pasifik kıyılarında uygulanmaktadır.

Avrupa bu teknikle 1972'de tanışırken, Portland'da Kulchin Associates Inc. ve Albert K. Leung Associates' in 1976 yılında bir konsorsiyum oluşturarak The Goog Samaritan Hastanesinin ek binasının inşaatında yaptıkları derin kazı, Amerika'daki ilk zemin çivisi uygulaması olarak ilan edildi (Engineering News Record, 1976). Fakat bu alandaki rekabet yeniliklere özendirmeyi sağlıyordu. Bu nedenle Amerikalı müteahhitlerle zemin çivisi uzmanı yabancı müteahhitler arasında sıkı ilişki oluştu. 1981 yılında Federal Otoyol Yönetimi (FHWA) zemin çivileme araştırmaları için bir fon oluşturdu. Amerikan Eyalet Otoyol ortaklığı ve FHWA ile birlikte taşımacılık memurları "Tabii şevlerin ve Toprak setlerinin Takviyesi" adıyla zemin çivileme de dahil olmak üzere zeminlerin donatılarla takviyesindeki sanatı içeren bir rapor yayınladılar. Fakat Amerikan başvuruları genelde önemli para tasarrufunu potansiyel gören, yenilikçi müteahhitlerin kişisel teşebbüsleridir. Çoğu durumda donatılı zemin fiyatları kazıklı takviye yöntemlerine nazaran %30 daha ucuzdu.

Ekonomik tarafı, metodun en önemli bağlayıcı özelliklerinden biriydi. Buna ek olarak, uygulama esnasındaki esnekliği, kent çevresi için kullanılan küçük inşaat makineleri ile yapılabilmesi ve özel kullanımlara tamamen uyumlu olması, zemin çivisine son yıllarda hem teoride hem de pratikte farklı bir özellik kazandırdı.

3 UYGULAMALAR

3.1 Zemin Çivisinin Avantajları

Zemin çivili yapılar birçok açıdan çok etkileyici özelliklere sahiptir. Sahip olduğu bu özellikler zemin çivili sistemi diğer iksa sistemlerinden daha önemli hale getirmiştir.

Zemin çivisini diğer sistemlerden daha etkili kılan özellikler ;

- Zemin çivili sistemle aynı zemin şartlarında diğer iksa sistemlerine oranla daha ekonomiktir. Her ne kadar sistemin ekonomik olarak inşa edilmesi müteahhitin uzmanlığına ve uygun delgi ve shotcrete ekipmanının kullanılmasına bağlı olsa da, zemin çivili sistem kazıklı ön germeli ankrajlı sistemlere oranla %15-25 arasında bir kazanç sağlamaktadır.
- Sistemin uygulama açısından esnek olması değişik zemin ve kazı koşullarına rahatlıkla adapte edilmesini sağlamaktadır. Tasarım değişiklikleri ve tasarımın şantiye koşullarına uygun hale getirilmesi uygulama sırasında rahatlıkla yapılabilmektedir.
- Çalışma alanının kısıtlı olduğu yerlerde hafif ekipmanlar kullanılarak uygulanabilen bir sistem olması klasik iksa sistemlerine göre önemli bir avantajdır. Böylece hafif ekipmanın kullanılması da maliyetin düşmesine bir nedendir.
- Zemin çivili sistem diğer sistemlere oranla imalat süresi açısından da hızlıdır. Kazıklı ve öngermeli ankrajlı bir sistemle karşılaştığımızda, kazıkların imal edilmesinde geçen süre kadar bir zaman kazancı elde edildiği görülmektedir.
- Zemin çivili sistemde çok sayıda çivi bulunmasından dolayı bu çivilerden birinin göçmesi sistemin stabilitesi açısından bir tehlike arz etmez.
- Sistemde meydana gelen deformasyonlar ilave çivilemeler yapılarak kontrol altına alınabilir.

Bunun yanında zemin çivisinin diğer sistemlere göre sahip olduğu dezavantajlar da şöyledir;

- Zemin suyu drenaj sistemlerinin kurulması ve uzun süre faydalı olarak kullanılmasının güçlüğü.
- Kohezyonlu zeminlerde kripten dolayı daha düşük yükler altında dahi çivi kapasitesinin yeterli olmadığı durumlarda.
- Yanal deplasmanlar öngermeli ankrajlı sistemlere oranla daha büyük olur ve bu da kazı sahasına yakın yapılarda bozulmalara neden olur.
- Shotcrete' li yüzey kaplamasının donma-çözülme etkisine dayanıklılığı kesin olarak ka-

nıtlanamamıştır.

Yukarıda sayılan dezavantajlar saha şartlarına uygun olarak yapılmış iyi bir tasarımla elemine edilebilir. Bu sistemin ekonomik oluşu ve hızlı bir şekilde imal edilebilmesi toprakarme, öngermeli ankrajlı kazıklı iksa ve payandalı istinat duvarları gibi sistemlerin yerini almasını sağlamaktadır.

3.2. Uygun Saha Koşulları

Zemin çivisi bütün iksa yapılarına uygulanamaz. Saha koşulları çok iyi etüd edilerek ve sistemin uygulanabilirliği göz önünde bulundurularak bir değerlendirme yapılmalıdır. Zemin çivisinin bazı sınırlamaları ;

- Zemin koşulları
- Yeraltı suyu koşulları
- Kazının derinliği ve şehir içinde yeraltı ve yerüstü yapıların durumu

Bu sınırlamalara aşağıdaki başlıklar altında kısaca değinilecek ve Çizelge 3.1'de zemin çivili iksa sistemi seçim kriterleri diyagramı gösterilmektedir

3.2.1 Zemin Koşulları

Zemin çivisi uygulanacak olan zeminin, en azından 1-2 gün kendi stabilitesini koruyabilecek kohezyona sahip olması gerekir. Böyle bir durumda açılan çivi deliklerinin yıkıntı yapmadan da durabilmesi gerekmektedir. Genel olarak dik bir yarmanın saatlerce stabil kalması için şu zemin koşullarının sağlanması gerekmektedir; doğal çimentolanmış kumlar ve çakıllar, doğal kohezyonlu siltler ve killer, kapiler kohezyonlu kumlar ve çakıllı kumlar.

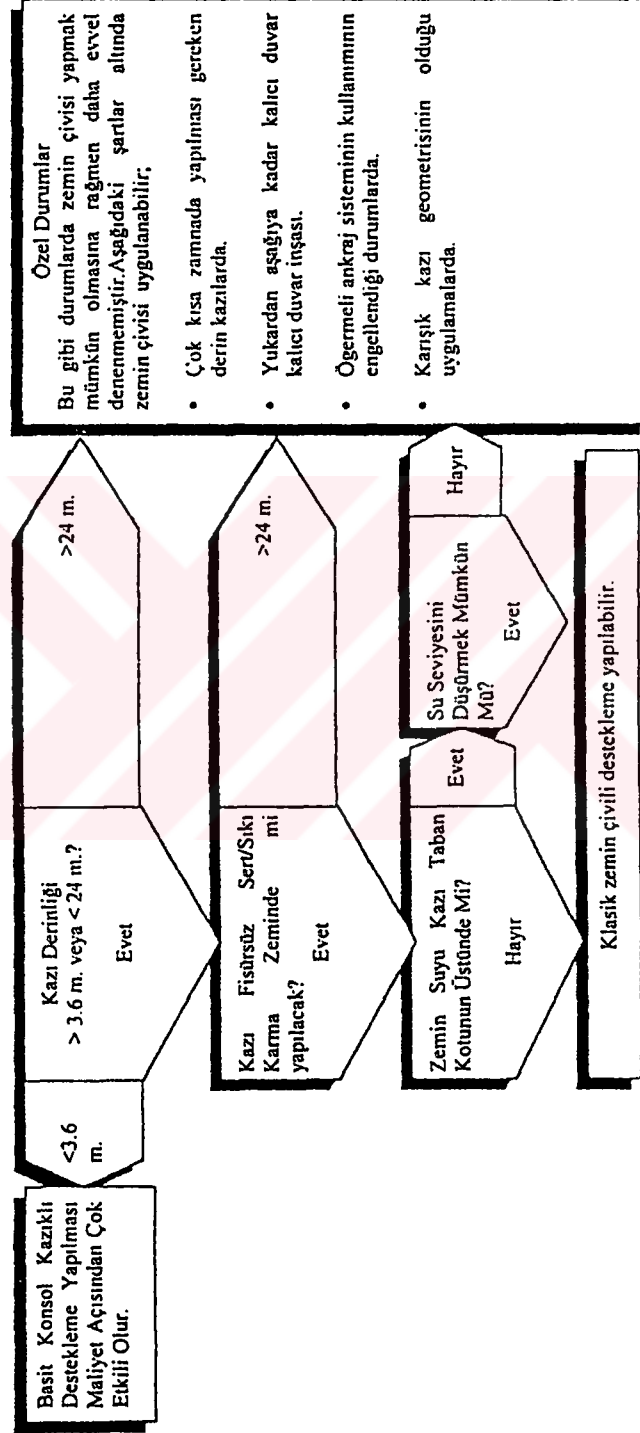
Zemin çivisi için ideal olan zeminler;

- Ayrışmış kaya
- Kohezyonlu zeminler (krip durumu olmayan siltler ve düşük plastisiteli killer)
- Çimentolanmış kumlar ve çakıllar
- Buzullar tarafından taşınmış düzgün granülmetrili çakıllı kumlar
- Kapiler kohezyonu 3-5 kpa olan ve % 5-6 su muhtevası olan ince, orta ve iri daneli homojen kumlar (Jekyy, 1992).

Zemin çivisi uygulaması için uygun olmayan zemin koşulları şöyledir;

- SPT değeri $N_{SPT} < 10$ veya relatif sıklık değeri $D_R < \%30$ olan gevşek granüler zeminler

Çizelge 3.1 Zemin çivili iksa sistemi seçim kriterleri



(Elias, Juran; 1989)

- Kapiler kohezyonu olmayan veya çimentolanmamış temiz kaba kum
- Kazı yüzeyinde basınçlı yeraltı suyu olan dik kazılarda
- Üniformluk katsayısı $C_u < 2$ olan kohezyonsuz zeminler
- Drenajsız kayma mukavemeti $q_u < 50$ kpa olan iyi derecelenmiş kohezyonlu zeminler ve $I_p > 20$ olan yumuşak plastik killer (Christopher, 1988)
- Yüksek oranda cüruf, kül ve endüstriyel atık içeren korozif etkisi yüksek zeminler
- Likit limiti $L_L > 50$ ve likitlik endeksi $I_L > 0.2$ veya rölatif konsistansı $I_c < 0.8$ olan zeminler (Alman ve Fransız standartları)

3.2.2 Zemin Suyu

Çivileme sistemi diğer sistemlere oranla zemin suyunun durumu açısından daha hassastır, özellikle borulanma yoluyla zeminin kaybı ve kazı yüzeyinden akan suyun etkisiyle çivileme yüzeyinin erozyona uğraması gibi durumlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Genel olarak sızıntı basıncının ve sızıntı hacminin düşük olduğu durumlarda shotcrete'in arkasında bulunan drenaj malzemeleri suyun kontrolünü sağlar. Buna karşılık sızıntı basıncı yüksekse sahadaki zemin suyu seviyesi kazıdan önce düşürülerek kontrol altına alınmalıdır.

3.2.3 Kazı Derinliği

Günümüze kadar yapılan zemin çivisi uygulamalarında görülen şudur ki, zemin çivisi uygulamaları A.B.D.'de 18 m. Avrupa'da 21 m. derinlikle sınırlandırılmıştır. Doğal olarak bu sistemi daha derin kazılarda kullanmak için bir sakınca yoktur fakat diğer derin kazı teknikleriyle karşılaştırıldığında 21-24 m. derinlikten sonra zemin çivisi sistemi pek ekonomik olmayabilir.

3.2.4 Yerleşimin Sık Olduğu Yerler

Şehirlerde yapılaşmanın yoğun olduğu yerlerde çivi delgilerinin sıklığı mevcut yapılar tarafından engellenebilir. Bunun yanında zemin çivisi pasif bir iksa sistemi olduğundan çivilere öngerme uygulanmaz ve çiviler kazı derinliği arttıkça oluşan deformasyonlar neticesinde çalışmaya başlarlar. Bu durumdan mütevellit yapılaşmanın yoğun olduğu yerleşim bölgelerinde yapılacak olan derin kazılarda zemin çivili sistem uygun değildir. Zemin çivili sistemlerde meydana gelen deplasmanların %0.1 H ile %0.4 H arasında değiştiği yapılan uy -

gulamalarda tespit edilmiştir.

3.3 GENEL ve ÖZEL UYGULAMALAR

3.3.1 Genel Kabüller

Zemin çivisi uygulamalarında shotcrete ile yapılan kaplama yüzeyinin kalınlığı, zemin koşullarına, duvarın yüksekliğine ve sistemin kullanım ömrüne bağlı olarak (geçici ya da kalıcı iksa sistemi) 8cm. ile 20 cm. arasındadır. Zemin çivisinde kullanılan çelik donatının çapı yapılan uygulamaların çoğunda 20-28 mm. arasındadır ve 1 m² ye düşen çivi adedi ise 0.5 ile 1 adet çivi arasında değişmektedir. (Gassler, 1990)

Uygulamalarda kullanılan çivileme teknikleri sahadaki zemin koşullarına ve şev –kazı yüzeyi– eğimine bağlıdır. Zemin çivisi uygulamaları genel olarak doğal şevlerin kalıcı ve geçici olarak stabilizasyonu, derin kazıların geçici olarak takviyesi, otoyol, tünel ve demiryolları yarma şevlerinin kalıcı ya da geçici olarak desteklenmesi için kullanılmaktadır.

Günümüzde zemin çivisinin ana uygulama alanları, yapı şantiyelerinde derin kazıların geçici olarak desteklenmesi ve ulaşım koridorlarının şev stabilizasyonlarıdır. Kalıcı zemin çivisi uygulaması sayıca daha az yapılmaktadır, fakat uygun zeminlerde kalıcı sistem olarak zemin çivisinin kullanılması zaman ve ekonomi açısından faydalıdır. İstinat yapılarında zemin çivisi uygulamaları çivilerin yaklaşık yatay olarak uygulanmasından dolayı çiviler çekme kuvvetlerine maruz kalarak istinat yapılarının toprakarme gibi çalışmasını sağlamaktadır. Böyle durumlarda çivi ile zemin arasındaki yatay sürtünme etkili parametredir.

Zemin çivisinin zayıf kayalarda ve zeminlerde dik ve dike yakın kazılar yapılmasına elverişli olması ve sadece shotcrete kalınlığı kadar bir mesafenin bina sınırından bırakılması hem hafriyat miktarının azalmasını hem de inşa edilecek olan yapının temel alanında -başka bir sistem uygulanması durumunda- meydana gelecek olan yer kaybının engellenmesini sağlamaktadır.

Zemin çivisi farklı stratigrafiye sahip heyelan eden dik arazilerde inşa edilen tünel girişlerinin stabilizasyonunda da kullanılmaktadır. Zemin çivisinin bir başka kullanım alanı ise köprü ayağı inşasıdır. Bu tür uygulamalarda ise çiviler yerinde dökme veya önceden hazırlanmış ve kazı yüzeyine yerleştirilmiş diyafram duvarlar üzerinden yapılır.

Zemin çivisinin bir başka rutin uygulaması da az ya da hiç deplasman yapmamış fakat olası kayma yüzeyi boyunca emniyet katsayısı kabul edilemeyecek kadar az olan ve kolaylıkla

kayma zonunda hareket meydana gelebilecek şevlerin ve krip hareketi gözlenen zeminlerin stabilizasyonudur. Bu tip vakalarda çiviler kayma yüzeyine dik olarak yerleştirilirler ve böylece çivilerde kesme kuvveti ve eğilme momenti meydana gelir. Ayrıca zemin suyunun durumu çok iyi incelenmelidir, çivilere yapılan enjeksiyon ile zemin suyunun akımı engellenip boşluk suyu basınçlarının oluşmasına neden olursa şevin olası kayma yüzeyi gerilimi artar şevin stabilitesi daha kritik hale gelir. Şekil 3.2’de zemin çivisinin tipik uygulamaları gösterilmektedir.

3.3.2. Özel Uygulamalar

Zemin çivisi uygulamaları yapılan kazının amacına ve tabii zeminin kuvvetlendirilmesine bağlı olarak genişlemektedir. Ayrıca zemin çivisi tekniği eski, yıkılmakta olan taş duvarların restorasyonunda ve ankrajlarının korozyonundan dolayı yıkılma tehlikesi olan duvarlarda kullanılmaktadır. Böyle duvarları yıkmak yerine zemin çivisi ile aktif toprak basıncının etkisini zemin çivisi ile azaltmak çok daha etkili ve uygun bir çözüm yöntemidir.

Schwing ve Gudehus (1988) bu tekniğin istinat yapılarının stabilizasyonunda kullanılabileceğini doğrulamışlardır. İstinat yapılarının yıkılmadan zemin çivisi tekniği ile onarılması ‘teknik ve ekonomik açıdan faydalı olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.3’de Schwing (1990) tarafından Almanya’da zemin çivisi kullanılarak onarılmış taş duvar gösterilmektedir.

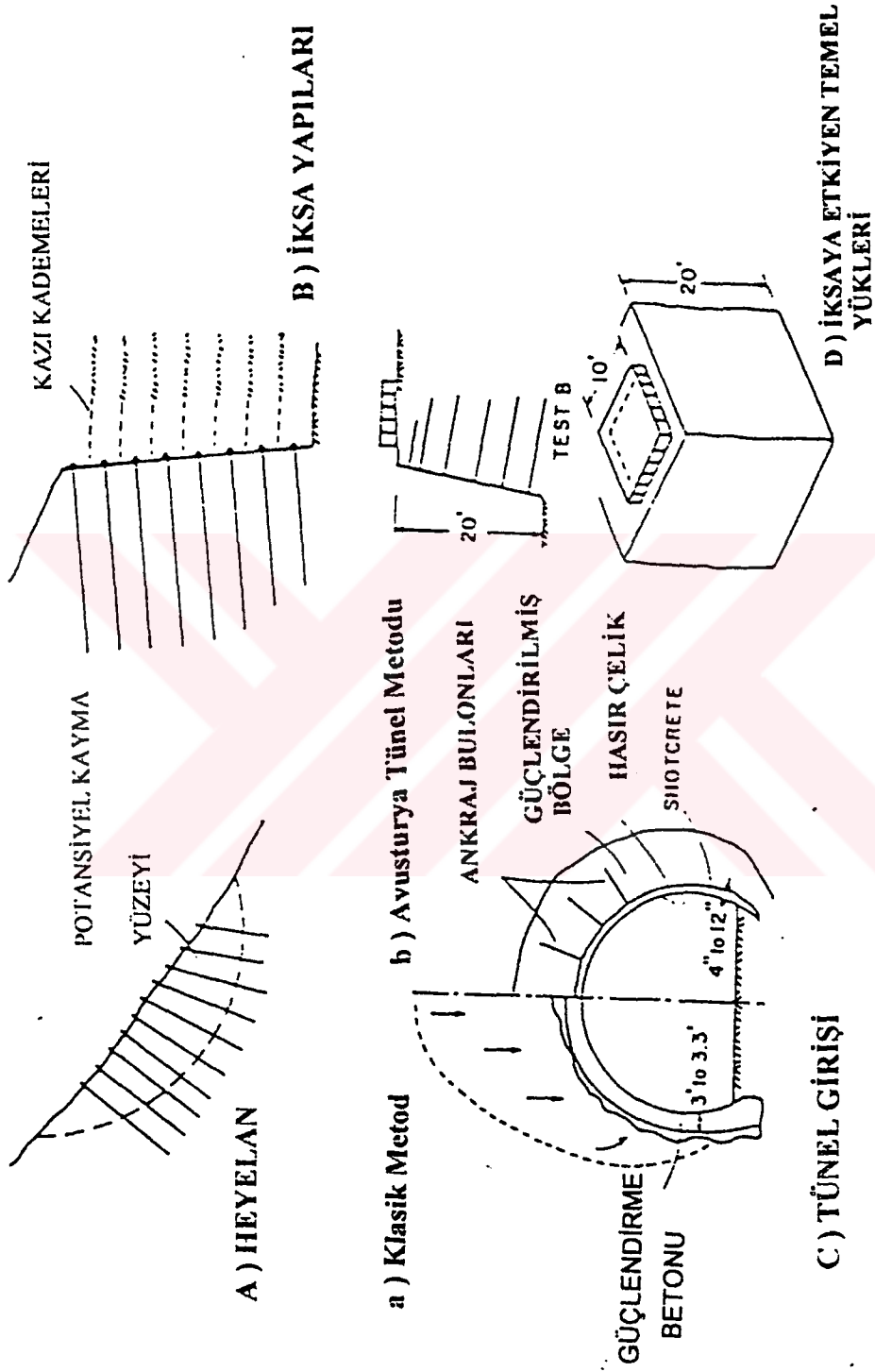
3.4. Maliyet Durumu

Zemin çivisinin maliyeti; zemin cinsi, şantiyenin ulaşım koşulları, oluşturulacak duvarın boyutları, duvar yüzeyinin tipine, korozyondan korunma seviyesine, uygulamanın kalıcı veya geçici uygulama oluşu ve müteahhit şirketin bu gibi uygulamalardaki uzmanlığı gibi birçok faktörün fonksiyonudur

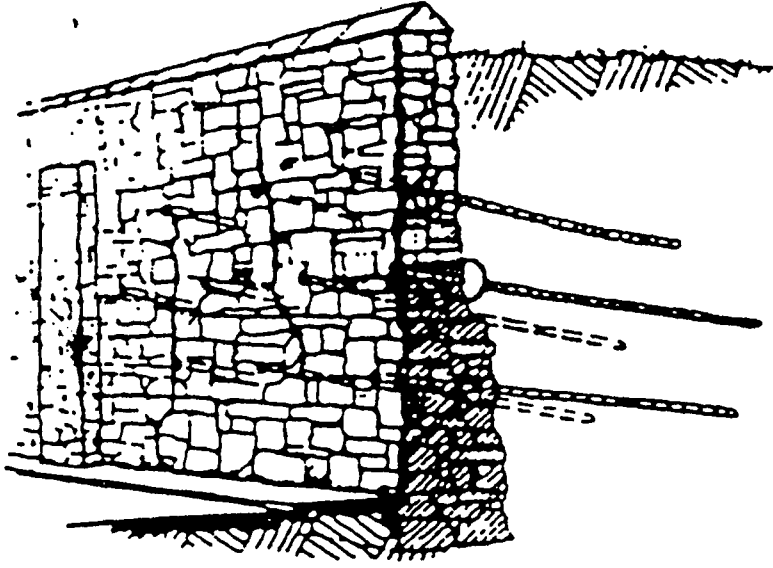
Avrupa’ da zemin çivisinin benzer sistemlerle karşılaştırıldığında %20 daha ekonomik olduğu bildirilmektedir.

Kalıcı sistemlerin maliyetinde en önemli unsur yüzey kaplamasıdır. 100 mm. kalınlığındaki bir shotcrete yüzeyinin üzerine yapılacak olan yerinde imalat yada prefabrik beton duvar toplam duvar maliyetinin %40-50 sini oluşturur.

Eğer zemin çivisi yapımına uygun bir zeminde bu sistem uygulanırsa, öngermeli ankrajlara ve yerinde imalat iksa sistemlerine oranla %10-30 arasında daha kazançlı bir sistem olduğu A.B.D. de otoyollarda uygulanan projelerde elde edilen bilgilere göre tespit edilmiştir.



Şekil 3.2 Zemin çivisinin tipik uygulamaları (Juran, Elias, 1988)



Şekil 3.3 Zemin çivisi uygulanarak onarılan taş duvar (Schwing, 1990)

4. MEKANİZMA VE DAVRANIŞI

4.1. Takviyeli Zemin Malzemesi Kavramı

Zemin çivili kütle bir takviyeli zemin malzemesi kavramı gözönüne getiriyor. Böyle bir yapı aşağıdaki özellikleri içerir. (Schlosser et al, 1983)

- Zemin ve ilave edilen malzeme arasındaki yük transferi ilave malzeme boyunca sürekli oluşur. Yani, yük transfer mekanizması takviyeli olmalıdır, ankrajlı değil.
- İlave toprak kütlesi içine düzgün bir şekilde yayılmalıdır.

Böyle bir konsepti sunarken, çivili zemin kütle ankrajlı yapıdan farklılaşır. Aralarındaki önemli fark, yer ve gerilimin dağılımıdır. Ankrajlı yapılarda, gerilim ek malzemenin ucuna, toprak ile arasına transfer edilmiştir. Her iki uçta da çekme donatısı, plaka veya blok gibi bir ankraj elemanına bağlanmıştır. Bu eleman, sıkıştırma ve kayma gerilimini zemine iletir (Hueckel ve Kwasniewski, 1961). Bir yandan da, çivili yapılarda gerilim ek malzeme boyunca çivi ve zemin arasına transfer edilmiştir. Sonuç olarak, çivili yapılar zeminin davranışını ve bununla beraber yapısını geliştirirken, ankrajlı yapılar yapının davranışını zeminin kendisi hariç geliştirir.

Takviyeli zemin duvarıyla, çivili toprağın karşılaştırılmasında kuruluş aşamalarına, takviyenin rijitliğine, takviyeli zeminin doğasıyla ilgili farklılıklara rağmen, göreceli olarak iki yapının davranışları benzerdir. Zemin çivisi malzemesinde ana konu, bütün lineer takviyeler boyunca gelişen sürtünme ve oluşan çekme kuvvetleri ve iki yönlü deformasyonların gerilmesi oluyor.

4.2 Zemin-Çivi Sürtünmesi

Zemin çivili yapılarda, donatı malzemesi özellikle, yanal sürtünme ve yanal zemin direnci olmak üzere iki mekanizmadan oluşur. Bu iki mekanizma takviyeli eğilme rijitliğiyle yönetilir. Sürtünmenin gelişimi için önemli olanlar; takviyeli zemin kütlelerine etki eden düşey efektif gerilme, yanal toprak basıncı katsayısı ve dane boyutu, dane çapı dağılımı, parçaçık şekli, yoğunluk, su muhtevası ve kohezyondan oluşan zemin özellikleridir.

4.2.1 Yanal Sürtünme

Yanal sürtünme prosesinde, çekme kuvvetleri donatı üzerinde mobilize olmuşlardır. Aktif bölgedeki mobilize olan çekme kuvvetleri zemin-çivi arayüzeyinde oluşan direnç bölgesine

kadar transfer edilmiştir. Çekme kuvvetlerinin mobilizasyonu süresince, takviyenin yakın çevresindeki yoğunlaşmış zemin kayma gerilimi etkisi altında hacim içinde artmaya doğru yönelir. Bu yönelme, çiviye çevreleyen zemin tarafından kısıtlanır, beraberinde de takviyenin yüzeyinde oluşan direnç gerilmesinde bir artışa sebebiyet verir.

Schlosser ve Guilloux (1979) granüler bir malzeme içindeki zemin-çivi sürtünmesinin çoğunlukla zeminin genişlemesine bağlı olduğunu gösterdiler. Genişleme etkisi maksimum kesme gerilimi değerlerini göreceli gevşek kum için 100 kPa' dan aşağı, sıkı granüler zemin için 600 kPa' a kadar çıkartıyor (Guilloux et al, 1983). Şekil 4.1'de zeminin genişleme davranışını ve sürtünmenin üç boyutlu görünüşünü gösterilmektedir.

Temel ankrajlarına benzer olarak, yük dağılım mekanizması ve çivilerin maksimum çekme direnci başlıca zemin tipine ve çivileme tekniklerine bağlıdır. Schlosser (1983) gösteriyor ki çivilere etki eden $\Delta\sigma_0$ normal gerilmedeki artış, sınırlanmış gerilime bağlı ve başlangıçtaki normal gerilmenin (σ_0) maksimum 10 katı kadar artış gösterir bu durum $\sigma_0 < 100$ kPa için geçerlidir ve σ_0 değeri yüksek oranda çivinin yapılış metoduna bağlıdır. Böylece, yerleştirilen yatay ilaveler için örtü basıncı γ_z' ye yaklaşır. Bunun yanında, σ_0 değeri çok düşük olabilir ve enjeksiyonla çevrilmiş donatının derinliğiyle yaklaşık olarak sabittir. Buna rağmen, dikkat edilmelidir ki, zemin çivilerinde, çivinin başlangıçtaki normal gerilmesinin belirlenmesi yapının geometrisi ve çivinin eğiminden dolayı zordur. Enjeksiyonlu çivi için kuyu açılması, açılan kuyuyu çevreleyen zeminde ters bir yükleme oluşturur. Bu durumda, zemin-çivi etkileşimi enjeksiyonla zeminin yeniden yoğunlaşmasına bağlıdır. Oluşan enjeksiyon etkisi, jet-groutlu çivilerde ağırlıklı olarak bahsedilir. Bu teknik, çiviye çevreleyen zemin ve bu zeminin içine işleyen enjeksiyon arasında karşılıklı kilitleme mekanizması oluşturur. Böylece efektif çivi çapında önemli artış meydana gelir. Çiviye çevreleyen zeminin yeniden yoğunlaşmasını sağlar ki böylece zemin çivisinin çekme direncini geliştirir. Sahalarda gerçekleştirilen jet groutlu çivilerin çekme (pull-out) deneylerinde nihai kayma gerilmelerinin kumda 400 kPa ve kumlu çakıllarda 1000 kPa değerlerine ulaştığı ispatlanmıştır.

Kohezyonlu ve sürtünmeli orta sıklıktaki zemin durumunda, zemin-çivi sürtünmesi ağırlıklı olarak zeminin su muhtevasına bağlıdır. Suyun arayüzeylerde bulunması özellikle plastik zeminlerde yağlanma etkisi oluşturmaktadır, bu sebepten dolayı çivinin çekme direnci önemli ölçüde azalmaktadır. Çok killi çakıl içine yerleştirilmiş nervürlü şeritler üzerinde yapılan çekme testlerinde, su muhtevasının zeminin optimum su muhtevasından fazla olduğu durumlarda sürtünme katsayısında bir azalmaya ve dolayısıyla da çivilerde mobilize olan

çekme geriliminde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Bu Şekil 4.2 de gösterilmiştir. İnce daneli zeminlerde, maksimum kayma gerilmesi 50-100 kPa arasında olur. Bu, zemin suya doygun hale geldiği durumlarda zemin-ilave sürtünmesinin sadece drenajsız kayma mukavemetine bağlı geliştiğinde olur. Bu yüzden, su muhtevası ince daneli zeminlerde yapılacak olan zemin çivili iksa tasarımı için önmeli bir parametredir.

Zemin içindeki takviye bölmesinin bölgesel dengesi gösteriyor ki, çivi uzunluğunca çekmenin değişme oranı mobilize kesme kuvvetinin o noktadaki birim uzunluğa eşittir ve matematiksel olarak şöyle ifade edilir;

$$dT/dL = \Pi. D. \tau = Q \quad (4.1)$$

dT : dL uzunluğunca çivi çekmesindeki değişme

D : çivi delme deliğinin dış çapı (çelik bar ve enjeksiyon)

τ : grout-temel ara yüzeyindeki mobilize kesme gerilimi

Q : çivi uzunluğu boyunca birim boyda mobilize kesme kuvveti (çekme direnci pull-out)

Fransız Ulusal Proje Clouterre raporu gösteriyor ki, nihai çekme direnci özel uygulama tekniği ve sabit zemin tipi için yüzeyden olan derinlikten göreceli olarak bağımsızdır. Cartier ve Gigan (1983) bunu kendi çekme testleri ile ispat etmişlerdir.

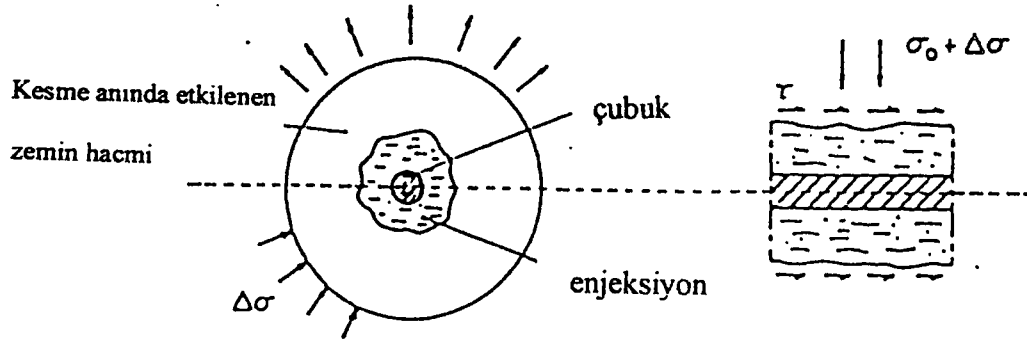
Sıkı granüler zeminlerdeki sürülerek yapılmış çivilerin çekme direnci Cartier ve Gigan (1983) tarafından Takviyeli Zemin duvarları için dizayn tavsiyeleriyle korelasyonu yapıldı. Bu tavsiyeler, bir açık sürtünme katsayısı konseptini kullanır. Aşağıdaki denklemden türetilmiştir.

$$\tau_{ult} = \gamma. h. \mu^* \quad (4.2)$$

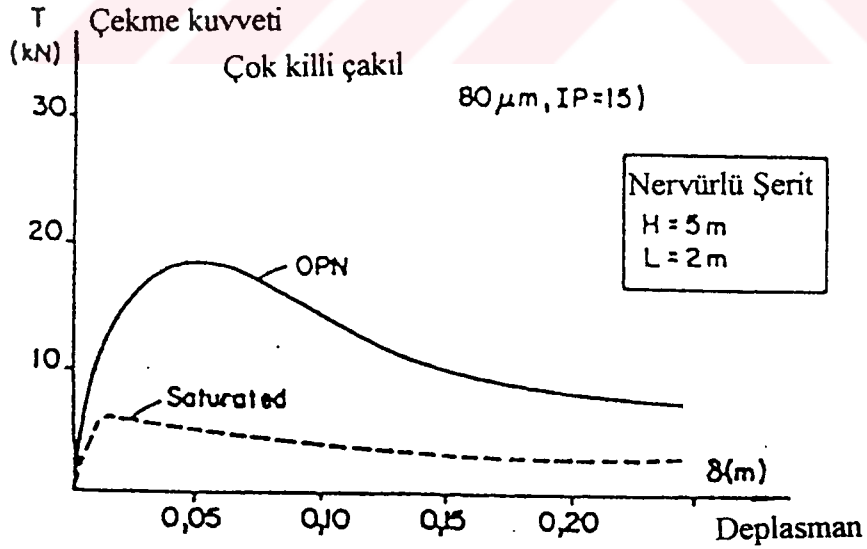
Burada γ zeminin birim ağırlığı, h çivinin üzerindeki zeminin yüksekliği ve μ^* ise görünen sürtünme katsayısıdır.

Şekil 4.3 de gösterildiği gibi, görünen sürtünme katsayısı Toprakarme duvarlarında genellikle kullanılan dizayna bağlı olarak granüler dolguya yerleştirilen nervürlü metal şeritlerin üzerinde yapılan çekme deneylerinden elde edilmiştir. Göreceli düşük bir derinlikte, sınırlı büyüme etkisine bağlı olarak, μ^* değeri 1'den büyüktür ve derinlikle azalarak $\tan(\Phi)$ değerine ulaşır.

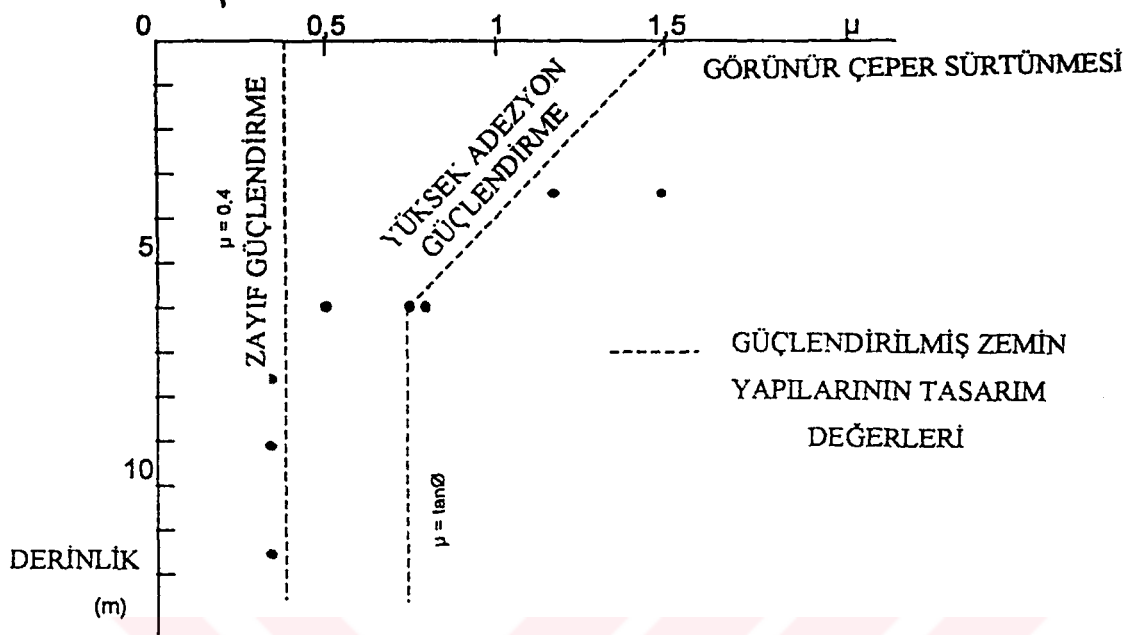
İçsel sürtünme açısıyla bazı korelasyonlar, yanal sürtünme parametrelerini tahmin etmek için kullanılabilir fakat bu çok önemli değişkenin doğru tahmin edilmesi için, in-situ çekme testi -



Şekil 4.1 Sıkıştırılmış granüler zeminlerde zemin- çivi etkileşim mekanizması (Schlosser, 1982)



Şekil 4.2 Su muhtevasının çivilere etki eden çekme kuvvetlerine etkisi (Schlosser, 1982)



Şekil 4.3 Sürülme metoduyla yapılmış çivilerin çekme testleri (Cartier ve Gigan, 1983)

nin gerçek koşullarla ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bölgesel tecrübe ve yapılan bir takım pratikler sayesinde çivinin çekme direnci tahmin edilerek tasarımda kullanılabilir. Literatür verileri aşağıdaki tabloları öneriyor. Bu tablolar "Zemin Çivili Duvarların dizayn ve inşası için elle dizayn" kitabından alınmıştır (FHWA-SA-96-069).

Kohezyonlu zeminlerde tremi kullanılarak enjeksiyonu yapılan çivilerde nihai çekme direnci ortalama drenajsız kayma mukavemetinin 0,25 den 0,75 katlarına kadar alınabilir.

Çizelge 4.1 Granüler zeminler için nihai aderans gerilimi (FHWA-SA-96-069)

Yapım Metodu	Zemin Tipi	En Yüksek Bağ Gerilimi (kN/m ²)
Açık Delik	Plastik olmayan silt	20-30
	Orta sıkı kum ve siltli kum/ kumlu silt	50-75
	Sıkı siltli kum ve çakıl	80-100
	Çok sıkı siltli kum ve çakıl	120-240

Çizelge 4.2 Kohezyonlu zeminler için nihai aderans gerilimi (FHWA-SA-96-069)

Yapım Metodu	Zemin Tipi	En Yüksek Bağ Gerilimi (kN/m ²)
Açık Delik	Lös	25-75
	Katı kil	40-60
	Katı killi silt	40-100
	Katı kumlu silt	100-200

Çizelge 4.3 Kaya formasyonları için nihai aderans gerilimi (FHWA-SA-96-069)

Yapım Metodu	Zemin Tipi	En Yüksek Bağ Gerilimi (kN/m ²)
Rotarili Delgi	Kireçtaşı	300-400
	Fillit	100-300
	Chalk	500-600
	Yumuşak Dolomit	400-600
	Fisürlü Dolomit	600-1000
	Ayrışmış Kumtaşı	200-300
	Ayrışmış Şeyl	100-150
	Ayrışmış Şist	100-175
	Bazalt	500-600

4.2.2 Çivilere Etkiyen Yanal Toprak Basıncı

Çivilerdeki zemin basıncının gelişimi zemindeki kayma düzlemiyle ilgili olduğu kadar çivi malzemesinin rijitliğiyle de alakalıdır. Pasif direnç zemin- çivi hareketinin doğrultusuna dik olan yüzeyde oluşur. Çivi, eğilme momentleri olduğu kadar çekme ve kesme kuvvetlerine de direnç göstermelidir. Bu tip zemin-çivi etkileşimi şev stabilizasyonunda kullanılan zemin çivilerinde mobilize olur. Zemin çivili iksalarda çivi üzerinde iki taraflı zemin basıncının mobilizasyonu da olur gibi gözüküyor ama bu sürtünmeden küçüktür ve güvenlik katsayısına göre düşük değerlerdedir.

Juran (1981) göçme yüzeyine dik olarak yerleştirilmiş olan pasif donatıların takviye ettiği alüvyonel zeminlerde kesme deneyleri yapmıştır. Sonuçlar gösterdi ki, iki taraflı zemin basıncı mobilizasyonu için gereken basınç, zemin-çivi sürtünmesini oluşturan basınçtan yaklaşık olarak bir birim kadar daha yüksektir. Buna rağmen Schlosser gösterdi ki, 2-3 cm çaplı silindirik çelik çubuklardan inşa edilen etrafi 10 -15 cm çaplı enjeksiyon ile çevrelenmiş olan bir çivileme durumunda ise maksimum kesme kuvveti pratik değerleri ihmal edilemez (10-50 kN). Bunlar ufak 5 mm lik yer değiştirmelerden elde edilir.

4.3 Çivi-Zemin-Yüzey Kaplaması Etkileşimi

Zemin çivili takviye sistemleri yüzey kaplaması olmadan kullanılsa da (Pedley ve Pugh, 1992), yüzey kaplamaları hafriyat ve çivi imalatıyla beraber gelişti ve çiviler yapısal olarak dış yüzeye bağlandı. Kazı esnasında zeminde yanal deformasyonlar oluşurken, zemin basınçları zemin-yüzey kaplaması ara yüzeyinde gelişir. Bu yüzey basınçları çivilerin başındaki çekme yüklerinin nedenidir ve yüzeye çivi arasındaki birleşme noktasında eşit büyüklükte zıt yönde etki yaparlar. Ne yazık ki, zayıf saha gözlem verileri yüzünden zemin çivisi uygulamalarında oluşa yüzey yüklerinin büyüklüğü hakkında fazla bir bilgi yoktur. Çivi başlarında oluşan kuvvetlerle ilgili en güvenilir bilgi ise çivi başlarına koyulan yük hücrelerinden elde edilir. Fakat bu yöntemle elde edilmiş bilgi oldukça azdır.

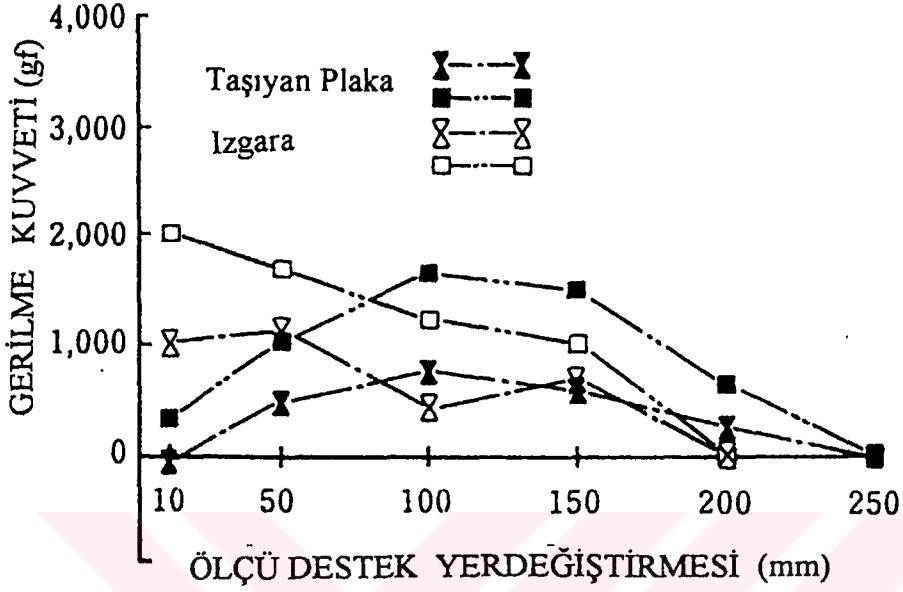
Gassler ve Gudehus (1981) deneysel bir duvar için shotcrete-zemin ara yüzeyinde yerleştirilen Glötl hücrelerinin zemin basıncı ölçümlerinin sonuçlarını raporlamışlardır. Kendi ağırlığı altındaki yüklemde, denk yüzey basıncı Coulomb aktif değerinin yüzde ellisi kadar rapor edilmiştir. Dağılım üçgenselden çok uniform dağılıma yakındır ve sonda da önemli oranda azalır. Sürşarj yük uygulandığı zaman, çıkan zemin basıncı Coulomb aktif değerinin yüzde yetmişine erişiyor. Gözlemlere dayanarak, shotcrete kaplı yüzeyler ve çivi başları düşen zemin basıncına göre boyutlandırılmalıdır.

4.4 Çekme Kuvveti Dağılımında Yüzeylerin Etkisi

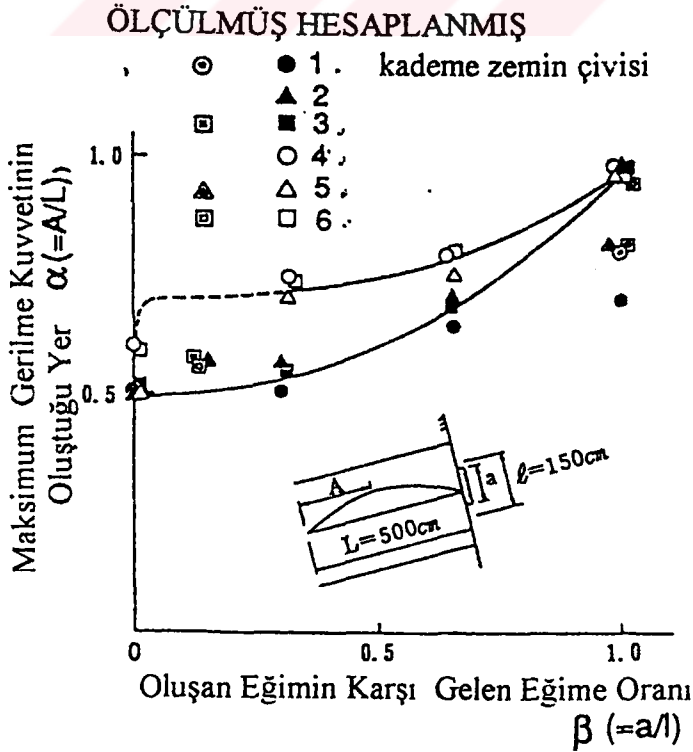
Muramatsu (1992), çivilerde şev deformasyonu sonucunda oluşan çekme kuvvetlerinin gerilmeye birlikte azaldığını ve kayan yüzeye ters olarak şev yüzeyinin de rahatladığını bildirmiştir. Çivilerde oluşan çekme kuvvetlerinin dağılımı değişik yüzey tipleri için şekil 4.4 de gösterilmiştir. Bu şekil, ızgara kalasları ve yüklem plakası kullanılan durumlarda şev yüzeyinde çivinin 6. kademesinde oluşan çekme kuvvetinin dağılımını karşılaştırıyor. Şev yüzeyi için yüklem plakası kullanıldığı durumunda, çekme kuvveti simetrik olarak dağılıyor. Dağılımın şekli ise ızgara kalas kullanılırken şev yüzeyine doğru ötelenen çekme kuvvetinin maksimum değerine göre değişir. Benzer bir trend de değişik durumlarda ve kademelerin takviyelerinde de görülür. Takviyedeki maksimum çekme kuvvetinin oluşumunda yer değiştirme, ötelemenin başlangıçta oluşumu sevi işgal eden şev yüzeyinin alana oranıyla alakası tartışılmaktadır.

Şekil 4.5'te şev kaplaması ile çivilerde oluşan çekme kuvvetleri dağılımının oranı ile küçük ölçekli model testlerindeki değerlerle hesaplanan ve tam ölçekli saha testlerinden elde edilen değerler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Oran arttıkça, maksimum çekme kuvveti de yüzey

kaplamasına doğru ötelenir.



Şekil 4.4 Şev kaplamasının çivilerdeki çekme kuvveti dağılımına etkisi (Muramatsu, 1992)

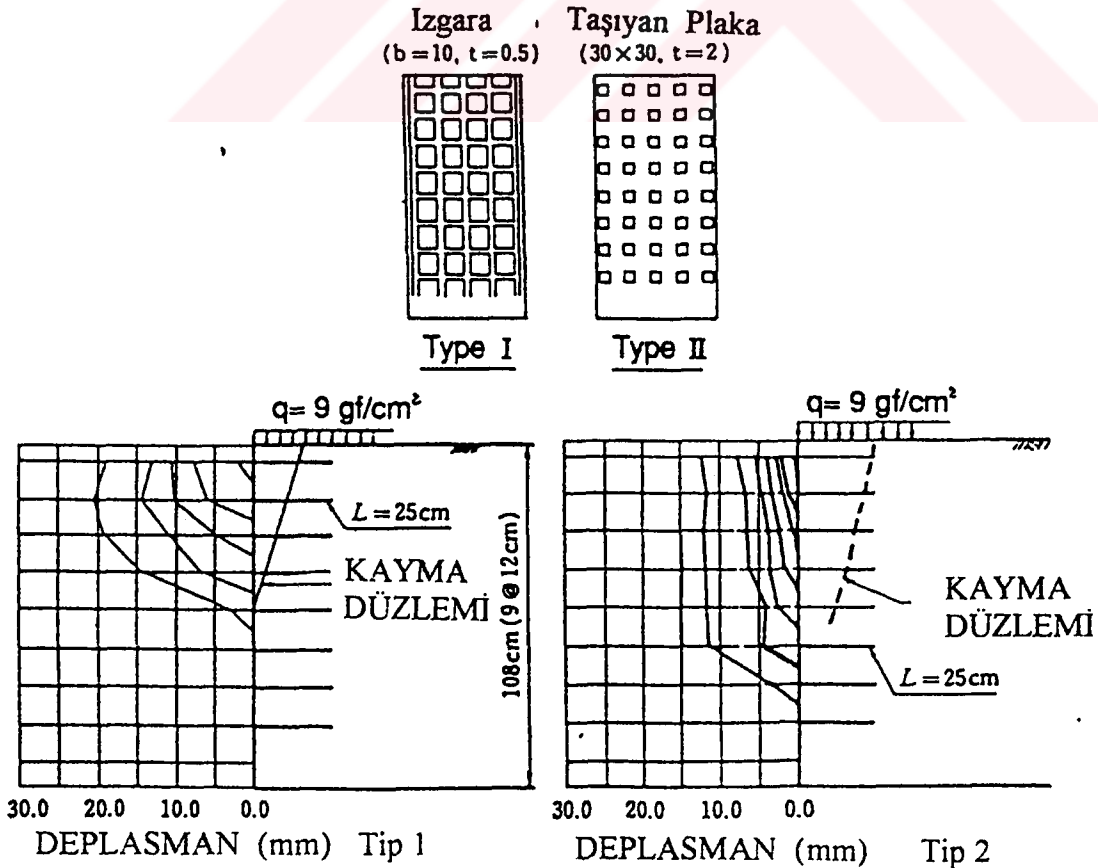


Şekil 4.5 Maksimum çekme kuvveti oluşumunun yeri (Muramatsu, 1992)

Küçük ölçekli laboratuvar model testleri (kesmeyle ortaya çıkan gerilimi gösterir) ve Muramatsu tarafından (1992) değişik yüzey yapıları, değişik deformasyon modları ve kaygan yüzeyler kullanılarak yapılan tam ölçekli saha testleri farklı takviye desenlerine rağmen tamamıyla aynıdır. Şekil 4.6'da ızgara kalasları ve yükleme plakasından oluşan iki tip yüzey ve bu yüzeylerde oluşan deformasyon modları gösterilmektedir. Şekilde, oluşan kayma düzlemleri formları ve basamaklı saha kazılarını temsil eden noktalardaki kayma düzlemlerinin şev yüzeyindeki deplasmanları da gösterilmiştir. Takviye tipleri her iki durumda da aynı olmasına rağmen, değişik deformasyon modları gözlenmiştir. Ayrıca, kayma düzleminin oluştuğu yerler ve oluştukları yükseklikler farklıdır. Şev kaplaması olarak kafes kullanılması durumunda ise deformasyonun sınırlandığı gözlemlendi.

4.5 Zemin Çivili Duvarların Davranışları

Zemin çivili duvarlardaki davranışın en önemli özelliği takviyelerdeki çekme kuvvetinin gelişimi ve bununla beraber yapının iki taraflı deformasyonun sınırlanmasıdır. Yukarıdan aşağı doğru inşa sırasında, zemin çivili bölge duvarın üst ucundan dışına doğru dönme eğilimi gösterir. Böylece, maksimum yatay hareketler duvarın tepesinde oluşur ve alt tarafına doğru kademeli olarak azalır. Yüzeyde yerleşmelerde olur ve bunlar yukarıdaki hareketle benzerdir.



Şekil 4.6 Şev yüzey kaplaması tipleri ve çivili şevlerin deformasyon modları (Muramatsu, 1992)

Takviyedeki maksimum çekme kuvvetlerini dikkate alarak, takviyeli toprak kütle iki bölgeye ayrılabilir, aktif bölge ve pasif bölge (Schlosser 1971). İki bölge arasındaki sınır çivili kütle içindeki potansiyel kayma yüzeyidir. Hareket eden bölge aktif bölge olarak bilinir ve şev yüzeyi ile potansiyel kayma yüzeyi arasındadır. Bozulmayan bölge ise pasif bölge olarak bilinip, potansiyel kayma yüzeyinin arkasında kalan bölümdür.

Aktif bölgede, kayma gerilmesi kaplaya doğru yönelirken çivideki çekme kuvvetine bir artış verir ve takviyeyi de dışa çekme eğilime sahip olur. Pasif bölgede, kayma gerilmesi mobilize olup çivilerin aktif bölgeye doğru çekilmesini engeller. Bu hareket genel haliyle Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, çivilerde mobilize olan çekme kuvvetleri aktif bölgeden daha dirençli pasif bölgeye zemin- çivi boyunca oluşan sürtünmeyle transfer olurlar.

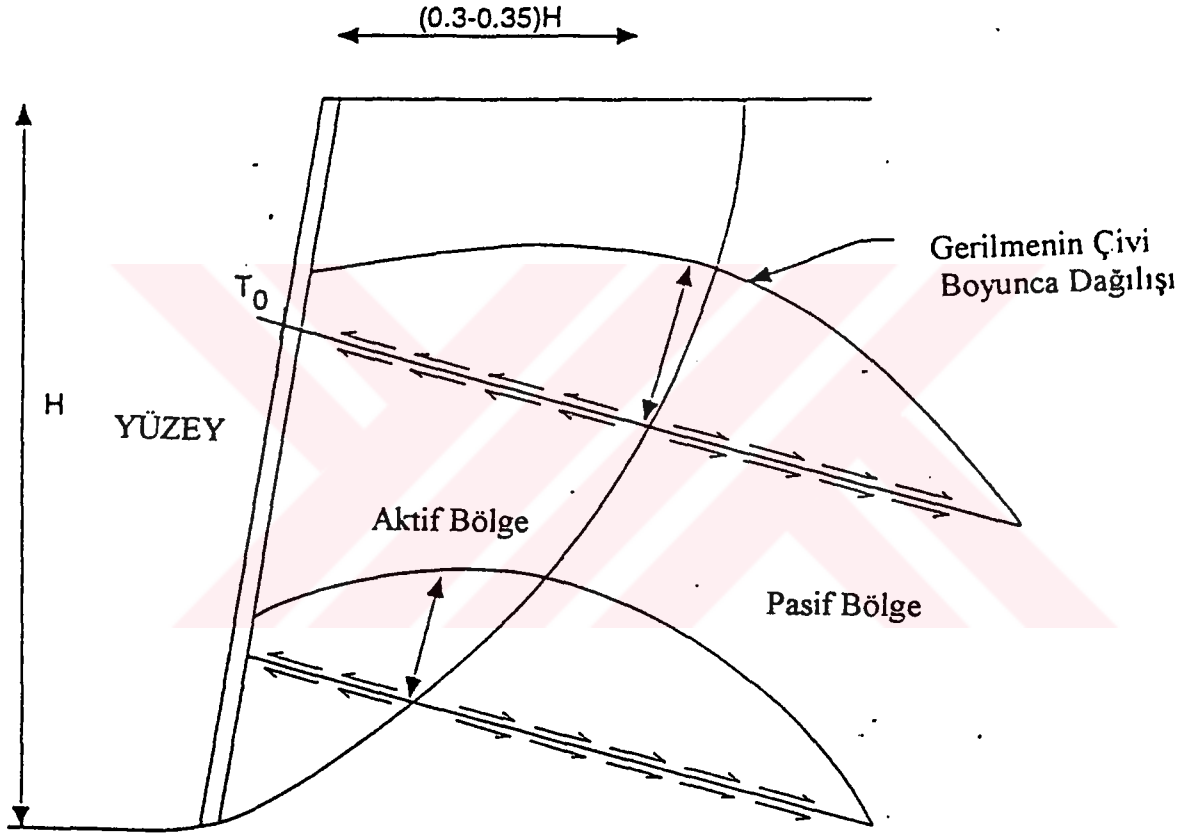
Aktif bölge pasif bölgeden uzağa kaçmaya göre hareket ettiği için ve çivilerin çekme direnci pasif bölgede olduğu için, maksimum çekme kuvvetinin yeri çivili zeminde, zemin çivisinin aktifden pasif bölgeye geçtiği yerde olabilir. Laboratuvar testlerinde (Juran et al. 1984) maksimum çekme kuvvetinin topraktaki potansiyel kayma yüzeyiyle çakıştığı gözlenmiştir.

Şekil 4.8’de maksimum çekme kuvvetinin şeklini ve Toprakarme duvarlardaki tam ölçekli deneylerden elde edilen takviye boyunca çekme kuvvetlerinin dağılımını gösteriyor. Bu sonuçlarla klasik iksa yapılarındaki sonuçlarla büyük benzerlik var. Buna rağmen, çubukların eğiminin aktif bölgeyi genişletme eğilimi vardır.

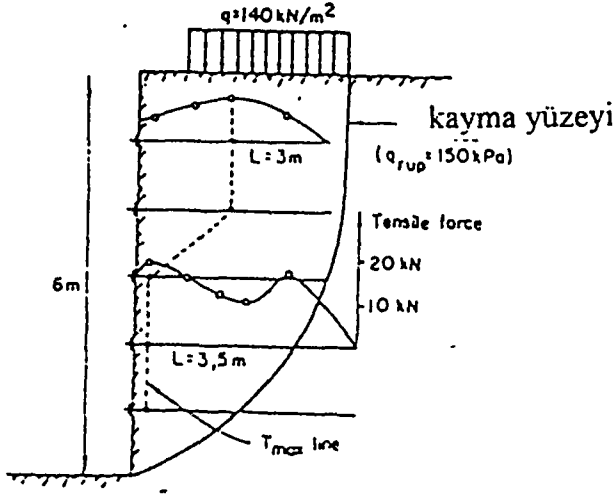
Yüzeyde, ki çoğunlukla shotcrete olur, çubuklardaki çekme kuvvetleri genellikle, kazıyı takip eden çivi uygulamasında gelişen çivi yüklerinin azalmaya yönelten maksimum çivi yükünün, çivi yüküne oranıyla maksimum çekme kuvveti düşük olarak karşılaştırılır.

Clouterre Raporu (1991) çoğu çivi çekme yüklemelerinin, çivinin yerleştirilmesini takip eden ilk üç kazı kademeleri süresinde meydana geldiğini belirtir. Sonuç olarak, duvarın alt tarafındaki çiviler yapının tamamında çoğunlukla daha az yük alır çünkü çivi gerilmelerini mobilize eden zemin-çivi arayüz kayma gerilmelerinin tamamını oluşturan alt kademedeki çivilerin çevresinde yeterli deformasyon meydana gelmemektedir. Alt sıra çivileri, yapının ardından hemen tamamıyla yüksüz hale gelir ve sadece yerin içinde oluşabilen uzun vadeli deformasyonlar yüzünden gerilmeler meydana getirebilir. Potansiyel zayıf yüzeyle çakışan maksimum gerilim çizgisi duvarın üst tarafındaki dış yüzeye dik ya da paraleldir ve aktif zon Coulomb aralığından küçüktür. Bundan başka, muhteviyatın sertliği Rankine’nin teorisinde tahmin edilenden çok farklı olarak toprak basıncı üzerindeki dağılımında değişiklik yapar.

Dağılım üst kısımda K_0 'a yakındır ve alt kısımda K_a 'ya yaklaşır (Şekil 4.8d).

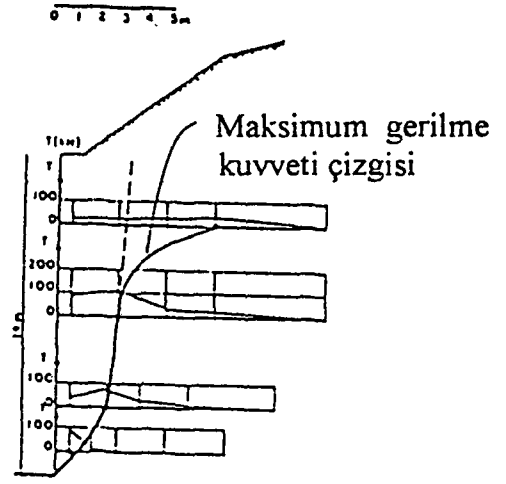


Şekil 4.7 Zemin çivisinin davranışı



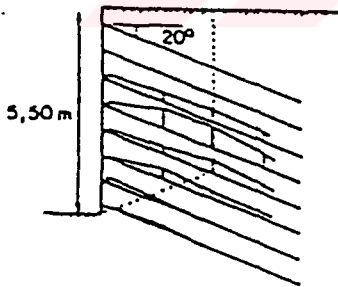
STOCKER (1979)

(a)



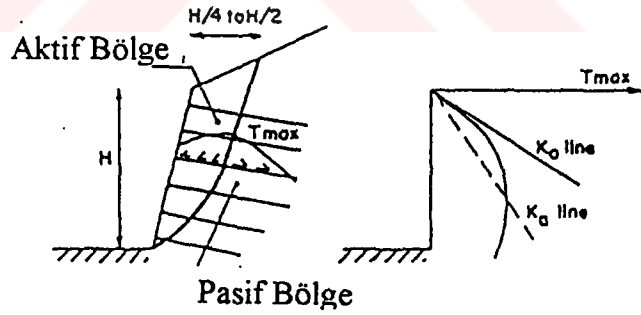
SCHLOSSER (1983)

(b)



CARTIER and GIGAN (1983)

(c)



(d)

Şekil 4.8 Zemin çivili duvarlarda çekme kuvveti dağılımı (Schlosser, 1982)

Çivilerin yanal deplasmanları engellemesi durumuna bağlı olarak, maksimum gerilim kuvvetlerinin derinlikle dağılımı duvarın üstündeki K_0 'a yakındır fakat, çivilerin yüzeylerinin çevresindeki zeminin kayma gerilimlerinin gelişimine bağlı olarak azalma ve yaklaşık olarak sabit olma eğilimine sahiptir. Bu mekanizma, zemini gelişerek aktif gerilim haline ulaştıran, genelde hafifçe topuğu etrafında dönen klasik sert istinat duvarlarındakinden çok farklıdır.

4.6 Deformasyon ve Deplasman

Artan kazıklı toprak duvar yapımı eş zamanlı yanal basınç ve oturmalara neden olur. Şekil 4.9'da zemin çivili duvarın tipik deplasman modelini gösterilmektedir. Yukarıdan aşağıya doğru yapım işleminin sonucu olarak, inşa edilen duvarın üstüne yakın yerde, yatay ve düşey deplasmanlar maksimum değerlere ulaşırlar. Bu yapı deplasmanları duvar yüzeyinden geriye olan uzaklıkla büyüklük olarak azalmaya yönelirler ve çivilerin uçlarında üzerindeki yüzey lokasyonunda, tipik duvar dış yüzeyi deplasmanlarının birkaç katları düzenindedirler.

Gassler (1976) tarafından ortaya konan zemin çivisi tarihinde ilk bilimsel olarak test edilmiş duvarın sürünme deformasyonu veya deplasmanlarının ölçümleri, zemin çivili duvarın çift logaritmik kural izlediğini göstermiştir (Şekil 4.10). Krip etkileri daha yüksek yüklemelerle düzenli olarak artarken, yüzey yüklemelerinin altında dış yüzey ikinci çivi sırasındaki en büyük deplasmanla ani artmaya başlar.

Çift logaritmik kural şöyle ifade edilebilir;

$s(t)$ t zamanındaki deplasman,

$s(o)$ $t=1$ h zamanındaki deplasman

m doğrunun gradyanı iken

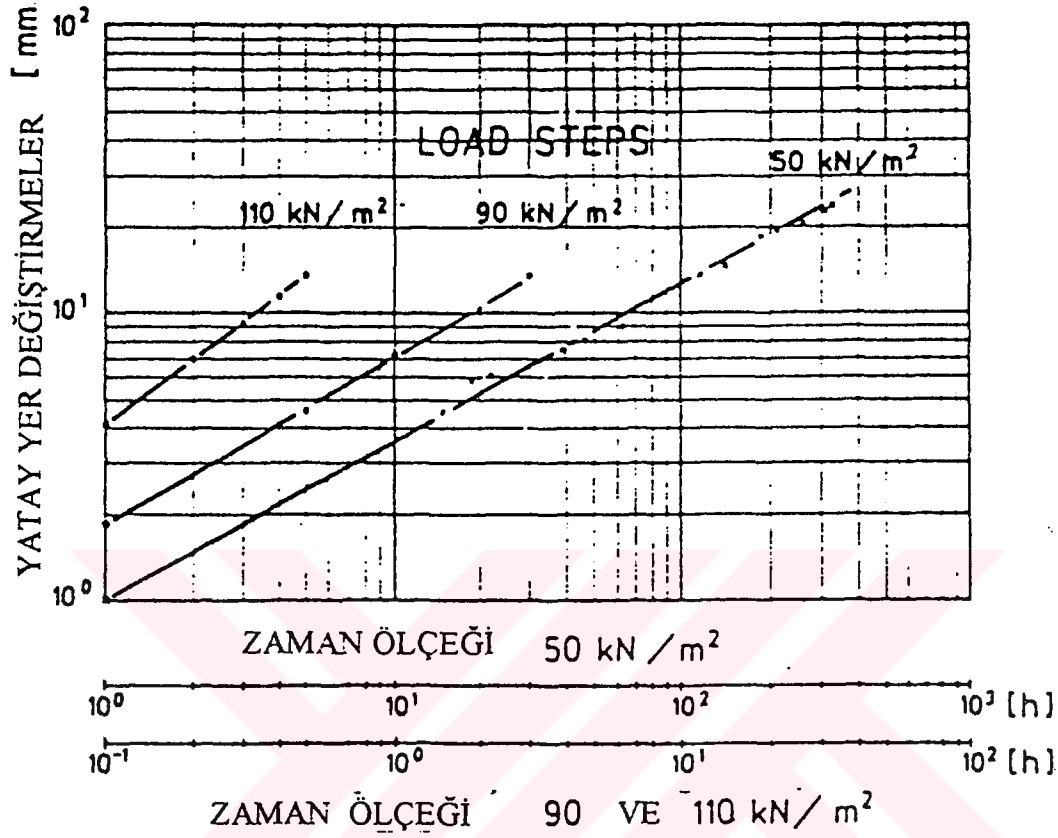
$$s(t)=\exp(\ln(s(o))+m*\ln t) \quad (4.3)$$

Şekil 4.11'de yüzey deplasmanlarının farklı zemin tiplerinde zemin çivili duvarlarda dış yüzeyden uzaklıkla azaldığı davranışı tasarlamak için Clouterre önerilerini gösterir.

Matematiksel ifade şöyle belirtilmiştir ;

$$\lambda=H[1-\tan \eta] K \quad (4.4)$$

λ ; Yapım etkili duvar deformasyonu tarafından etkilenebilen duvarın üstünün gerisindeki yatay uzaklık.



Şekil 4.10. Krip deplasmanlarının çift logaritmik gösterimi (Gassler,1992)

Çivilerin uzun vadeli performansları birincil olarak zemin-çivi sisteminin krip potansiyeline bağlıdır. Teorik olarak krip, sistemin üç ana bileşeninde gelişebilir; çiviye çevreleyen zemin, enjeksiyon ve çelik. Bununla birlikte, pratikte, çimento enjeksiyonunun ve çeliğin krip deformasyonları, ince daneli killi zeminlerde büyük deformasyonlar oluşturabilirken, önemsiz bulunmuştur. Duvar deplasmanlarının aletsel gözlemleri, zemin cinsine bağlı olarak ve ilave yükler sebebiyle duvarın tabanına yakın çivilerde zaman içinde süregelen hareketlerin oluşmaya yönelebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, birçok örnekte, çivilerin süregelen biçimi prensip olarak, inklinometre verilerinin sıfırdan duvarın zamana bağlı minimal deformasyonlarını gösterebileceği gibi, krip hareketi yapan enjeksiyon bozukluğundan çelik çivilerin yüklerinin yeniden dağılımıyla birleştirilmiştir. Günümüzde bazı araştırmacılar tarafından önerilen deneysel tahminlerden başka, direkt olarak zemin çivili duvarların deplasmanları hesaplanması için nihai metod yoktur. Denklem (4.2) krip deplasmanlarını çift

logaritmik kuralla gösterir (Gassler, 1992). İlaveler, zemin çivisi uygulaması süresince öngörülmesi olmadığı gibi, bu pasif ilavelerde çekme kuvvetlerinin mobilizasyonu için deplasman meydana gelmesi gereklidir. Zemin çivili duvarlar için ölçülen deplasmanlar, Schlosser (1992)'in belirttiği gibi tüm duvar yüksekliğinin %0,1'den %0,4'e aralığındadır (Şekil 4.12).

4.7 Çivinin Eğilme ve Kesme Kuvvet Tepkisi

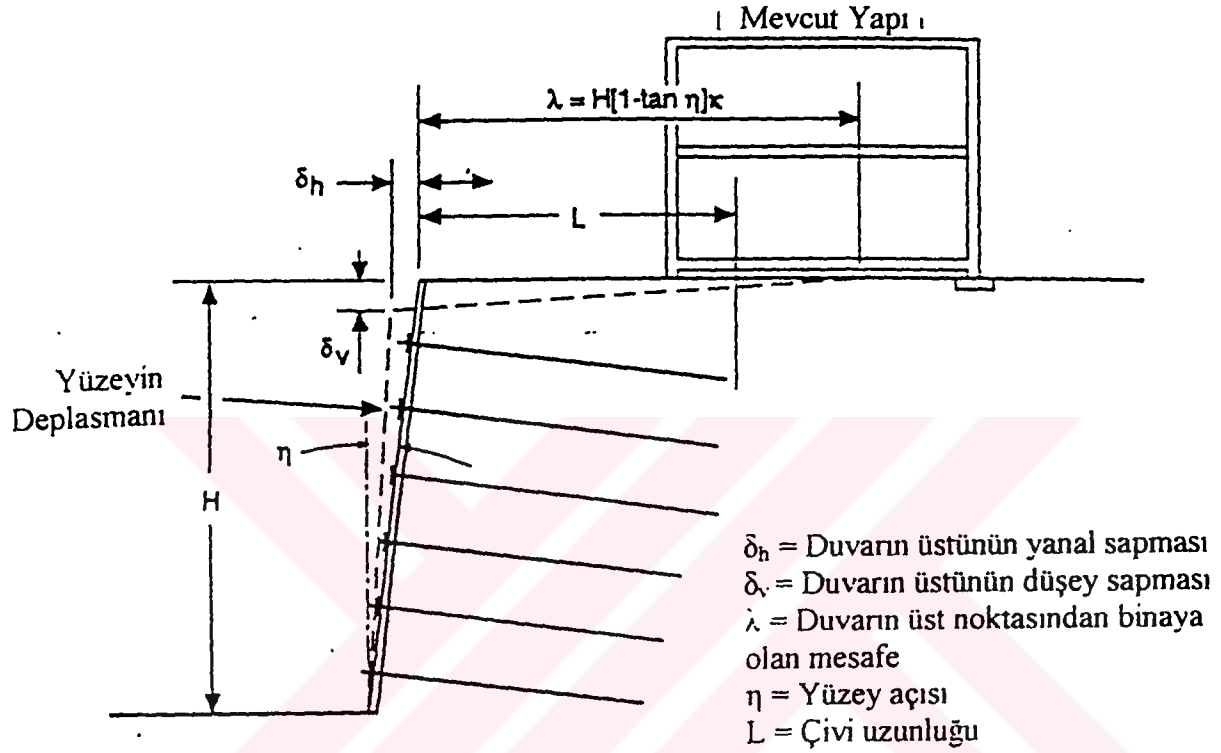
Kazı işleminde zemin çivisinde kuvvet mobilize edildiğinde, zemin çivisi Şekil 4.13. te gösterilen çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu konuda, bütün tasarım teorileri hemfikirdir. Fakat, çoğu tartışma odakları, eğilme mukavemetinin tasarım teorilerine dahil edilip edilmemesi hususunda hemfikir değildir (Şekil 4.13.b). Bazı araştırmacılar analizlere eğilme mukavemetinin etkilerini dahil etmenin konuyu daha karışık yaptığına, bunun için sadece çekme kuvvetlerinin dikkate alınması gerektiğine inanırlar. Bu fikre karşı olarak bazıları, eğilme mukavemetinin etkilerini dikkate almamanın tutarsız ve ekonomik olmayan tasarımlara neden olabileceğine inanır. Burada, aslında zemin çivili sisteme etkyen eğilme mukavemetini ölçmeye çalışanlar ortaya çıkar. Gassler (1990) birinin çivilerin gerilimde kesme ya da eğilme halinde olası ikinci bir fayda olarak dahil etmesi gerektiğini belirtmiştir.

4.8. Zemin Çivili Duvarların Göçme Modları

Zemin çivili istinat duvarları için göçme durumları, çivilerde, dış yüzeyde ya da ikisinde birden olan zaafı içeren içsel göçme durumları ve özellikle çivilerle kesişmeyen ve çivili zemin bloğunun fiziksel limitlerinin ötesine uzanan karma zaafiyet durumları diye adlandırılan dıştan göçme durumlarını içerir. Schlosser (1992), iç ve dış göçme durumlarına ek olarak, karma göçme durumlarının da göz önünde bulundurulması gerektiğine işaret etmiştir. Şekil 14.4'te olası iç, dış ve karma göçme durumlarını gösterilmektedir.

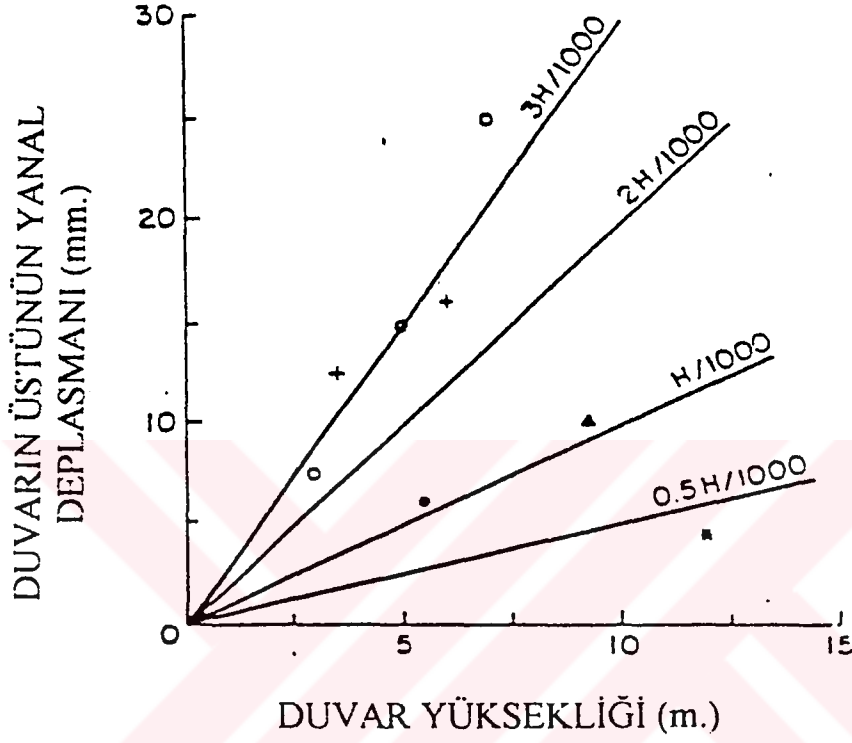
Zemin çivili duvarlarda meydana gelebilen içsel göçme zaafiyetinin üç olasılığı Şekil 4.15 te şematik olarak gösterilmiştir. Yüksek çekme mukavemetli uzun çivili ve mukavemetli yüzey kaplamalı (ya da çivi-dış yüzey bağlantısı) sistem durumunda, duvarın yüksek olasılıkla göçme durumu, dış yüzeyin ya da bağlantının göçmesi ve sonra, çivilerin çivili zemin kütlelerinin aktif zonundaki kısmında oluşmak üzere çıkması içindir (Şekil 4.15a). Yüksek çekme mukavemeti çivinin gerilme zaafını (kopma) önler ve uzun çivi boyu dirençli zonun çivilerin dışarı çekilmesini önler.

Şekil 4.15.b yüksek çekme mukavemetli fakat daha sınırlı uzunluk ve dirençli zondaki çekme



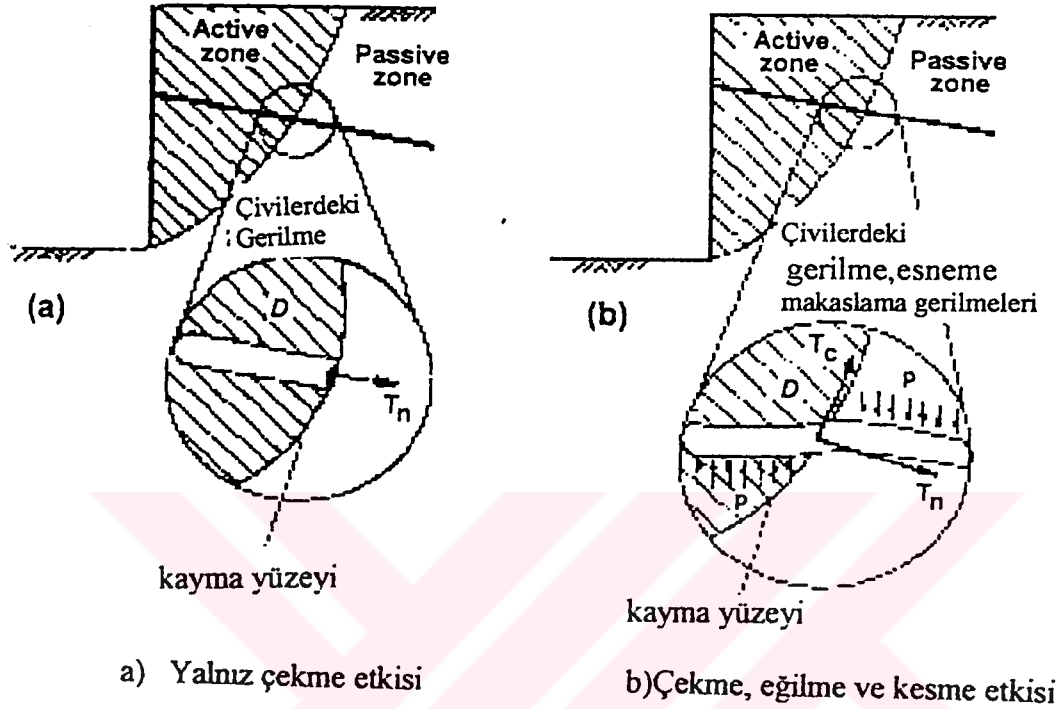
Zemin Tipi	Ayrışmış Kayaçlar Katı Zeminler	Kumlu Zeminler	Killi Zeminler
$\delta_h - \delta_v$ Katsayısı	$H / 1000$ 0.8	$2H / 1000$ 1.25	$3H / 1000$ 1.5

Şekil 4.11. Zemin çivili iksada meydana gelen deformasyon (Clouterre, 1991)



	ZEMİN	ÇİVİ	REFERANS
+	Orta iri kum	sürme	Gassler, 1981
▲	Siltli kum (SM)	enjeksiyonlu	Shen, 1981
●	İnce kum (SP)	sürme	Cartier ve Gigan, 1983
*	residüel killi silt, ayrışmış şeyl, kumtaşı	enjeksiyonlu	Juran ve Elias, 1986
o	fontainbleau kum (SP)	enjeksiyonlu	Plumelle, 1986

Şekil 4.12 Zemin çivili duvarların yatay deplasmanı (Juran, 1987)



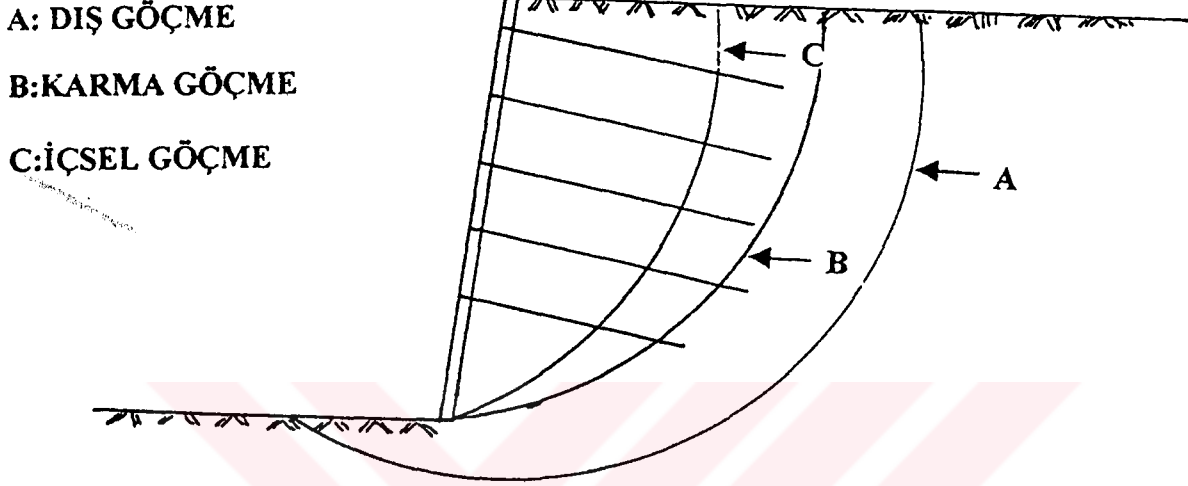
Şekil 4.13. Zemin çivisine etki eden kuvvetler (Otigao'dan uyarlandığı gibi, 1995)

direnci aktif zondaki çivilerin çekme mukavemeti ve dış yüzey mukavemeti/çekme direncinin ikisinden de küçük olan çivili zemini göstermektedir. Bu durumda, takviyelerin kesme veya çekme göçmesi görülecektir; dirençli zondaki takviyenin bölümü yeterince uzun olmadığından zemin-çivi arayüzeyi boyunca yanal sürtünme meydana gelen çekme kuvvetine karşı gelebilir. Blondeau (1984) literatürde kayıtlı zemin çivili istinat yapılarındaki göçmelerin çoğunun çivinin sıyrılarak çıkması sonucu olduğunu belirtir.

Normal çekme dayanımlı uzun çiviler ve yüksek mukavemetli yüzey kaplamalı sistemlerde, çivilerde çekme göçmesi (kırılma) oluşur; çivilerdeki çekme kuvvetleri, büyük yer değiştirme ve yapının olası göçmesine yol açar, donatılar haddinden fazla uzayacak ya da kırılacak kadar çok büyük olduğunda meydana gelir. (Şekil 4.15.c)

Karma göçme durumunda, çivinin kopması, çivinin sıyrılması, duvarın yüzey kaplamasının göçmesi ya da yüzey kaplamasının çiviyle bağlantısı düşünülmelidir. Kayma yüzeyiyle

kesilen bir çivinin iki faydalı etkisi vardır. Dairesel göçme yüzeylerde, muhteviyattaki gerilim kuvvetinin tanjansiyel bileşeni, takviyesiz durumla kıyaslandığında, direnç momentini artırır ve kayma yüzeyi boyunca çivinin çevresinde normal gerilme artar.

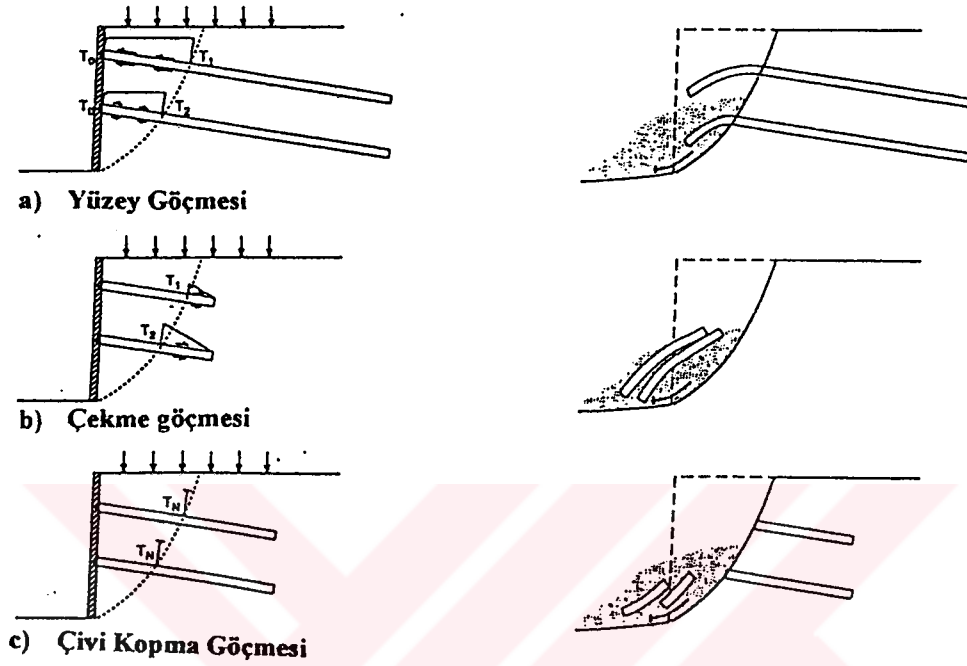


Şekil 4.14. Olası iç, dış ve karma zaafiyet durumları. (Schlosser, 1992)

Dış göçme durumları bölgesel yerçekimi ya da konsol çalışan istinat yapıları ile ilişkili olanları içerir ve Şekil 4.16'daki hususları kapsayabilir :

- Zemin çivili kütlelerin devrilmesi
- Takviyeli kütlelerin arkasındaki güçlendirilmiş zeminin yanal toprak basıncı altında, istinat yapısının tabanı boyunca yatay kayması.
- Kombine yapının kendi ağırlığı ve yanal toprak basıncı yüklemesi altında devrilmeye ilişkili olarak istinat yapısının yapı taşıma zaafı.
- İstinat yapısının bulunduğu yerdeki şevin toptan stabilitesi.

Ayrıca, dış yüzeyin kazı esnasındaki lokal stabilitesi, zemin çivili duvarlardaki en önemli hususlardan biridir. Bu zaaf durumu genel stabilite analizlerine uygun değildir ve tasarım boyunca, dış yüzeyin desteksiz olarak çivi ve dış yüzey konstrüksiyonu yerleştirilmesi için yeterli süre boyunca dayanabileceğini göstermek için, arazi testleriyle tipik olarak belirtilmiştir. Dış yüzeyin belki kazı üst nokyasına kadar uzayan lokal değişimi, düşük yoğunluklu/yüksek oranda boşluklu malzemenin rastlanılabileceği sığ derinliklerde daha yaygındır. Çizelge 4.4'te iç ve dış zaafllara karşı Hong Kong'daki mühendislerin kullandığı tipik önerilen sağlamlık faktörleri gösterilmiştir. (Powell, 1990)



Şekil 4.15. Zemin çivili duvarların olası içsel göçme durumları.

Çizelge 4.4 İçsel ve dışsal etkilerle oluşan göçme modları için emniyet faktörleri (Powell, 1990)

İÇSEL GÖÇME MODLARI		DIŞ ETKİLERDEN OLUŞAN GÖÇME MODLARI	
Göçme Mekanizması	Minimum Emniyet Katsayısı	Göçme Mekanizması	Minimum Emniyet Katsayısı
Sıyırılma	çivi/zemin için; 2	Dönme	2.0
	çelik/enjeksiyon; 2	Kayma	1.5
Kopma	$f_{max} \leq 0.55 f_y$	Taşıma Gücü	3.0
Çivi kafası ve duvar yüzeyi	3	Şevin Toptan Göçmesi	1.4

DEVRİLME	
KAYMA	
TAŞIMA KAPASİTESİ	
TOPTAN GÖÇME	

Şekil 4.16 Zemin çivili duvarların olası göçme modları (Powell,1990)

5. ALETSEL GÖZLEM

Tüm dünyada yüzlerce zemin çivili sistemler yapılmasına rağmen bu uygulamalardan tasarım prosedürlerinde faydalanılmak üzere elde edilmiş aletsel gözlem yapılmış uygulama sayısı azdır. Zemin çivili iksaların performanslarının ölçümüyle tasarımda da iyileştirmeye gidilebilir. Sonuç olarak ileride yapılacak olan zemin çivili sistemlerinin davranışlarının tahmini açısından performans ölçümü yapılması önemlidir. Bu durumda özel bir proje için yapılmış zemin çivili bir sistemin yaptığı deformasyonların ölçülmesi ile hareketlerin yaptığı açı dataları elde edilir ve böylece yapının emniyeti de değerlendirilir. Deformasyonların eğilimine göre göçme tehlikesine karşı gelen ölçüm değerleri elde edilebilir.

Kazı süresince okuma alınması bütün duvarın davranışı hakkında bilgi toplamak amacıyla yapılır. Ayrıca aşağıdaki sebeplerden biri veya fazlası için ölçüm daha kapsamlı ve uzun olacak şekilde yapılmalıdır.

- İnşaat süresince deformasyonların emniyetli olup olmadığının takibiyle, tasarım gerilme seviyelerinin ispatı için
- Emniyet ve ekonomi için tasarımda yapılacak değişikliklere olanak sağlamak için
- Zemin çivili sistemle ilgili olarak bilgi edinmek ve ileriki zamanlarda benzer zemin koşullarında inşa edilecek zemin çivili sistemle alakalı data ve referans oluşturmak için
- Uzun dönemli aletsel gözlem neticesinde gelecekte oluşabilecek depremler hakkında öngörüle bulunmak amacıyla sismik aletsel gözlemler yapılması.

Tipik bir ölçüm ve gözlem programı aşağıda sıralanan durumlar incelenmelidir.

- Yüzey elemanın yatay hareketlerini
- Bütün yapının yüzeyinde oluşan düşey deplasmanları
- Yüzey elemanlarının lokal hareketlerini
- Dolgunun drenaj davranışını
- Zemin çivisi ile desteklenen yapının ve bu yapıya komşu yapıların davranışını

Aletsel gözlemlerin en çok kullanılanları; inklinometre, gerilme ölçer ve yük hücreleridir. Zemin çivili sistemlerde daha çok inklinometrik gözlem yapılmaktadır. Kalıcı sistemlerde inşaat öncesi daha kapsamlı aletsel gözlem programı hazırlanmalıdır. Geniş kapsamlı aletsel gözlem Şekil 5.1'de gösterilmektedir.

5.1 İnklinometre

Zemin çivili yapıların aletsel gözleminde en etkili yöntem, yapının kazı esnasında yaptığı yanal deplasmanların takip edildiği inklinometrik gözlemdir. Çünkü literatürde yer alan göçmelerin büyük çoğunluğu aşırı yatay deplasmanlardan meydana gelmiştir. Bu sebeple yatay deplasmanların gözlemlenmesine önem verilmelidir.

İnklinometrik gözlem bir borunun içine yerleştirilen probun, borunun normaline göre yapmış olduğu deformasyonları tespit ederek yapılır. Prob'ta yer çekimine duyarlı çevirgeç bulunmaktadır ve bu çevirgeç ile probun düşeyle yaptığı açı ölçülür. Probu yerleştirildiği boru plastik veya alüminyum gibi malzemeden yapılmış olup açılan sondaj deliğinin içine yerleştirilir. Referansların çoğunda inklinometreler şev inkosu, prob inkosu ve şev göstergesi olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak inko sistemleri dört bileşenden oluşur. Bunlar;

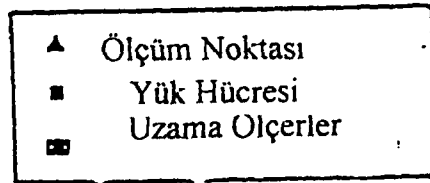
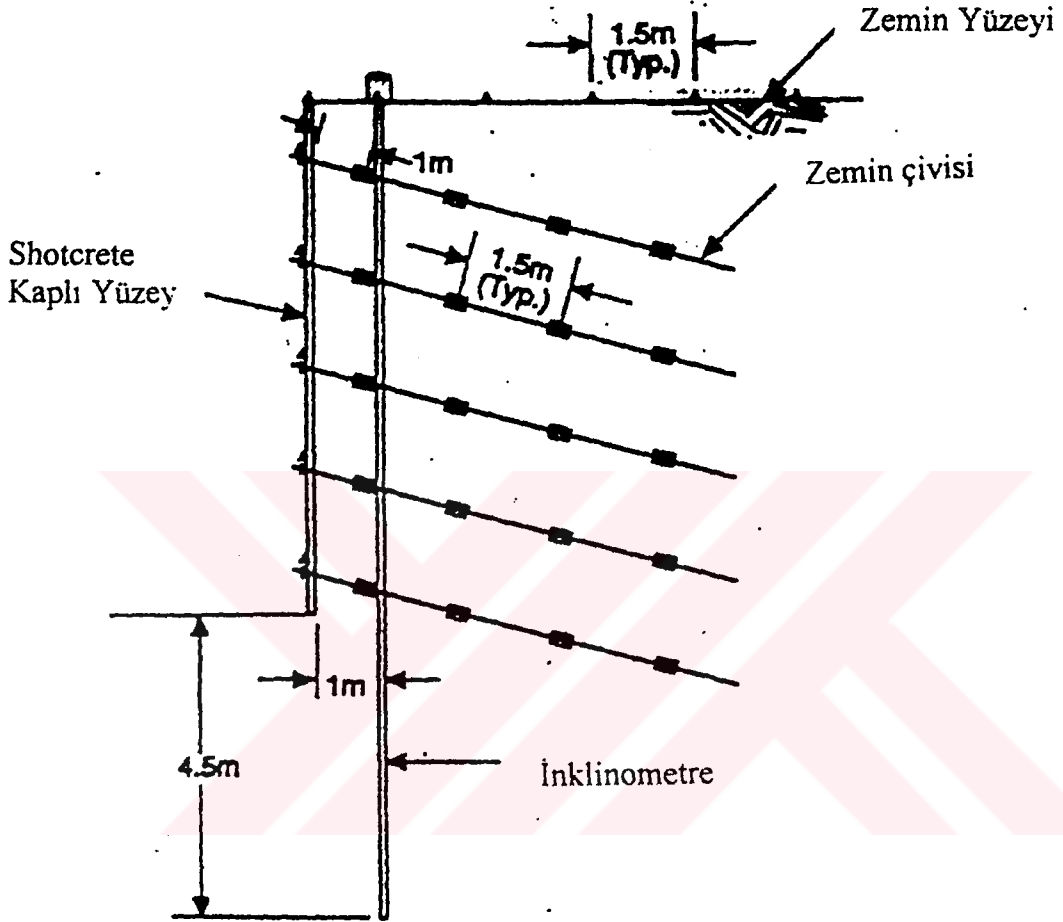
- Sürekli bir şekilde yerleştirilmiş plastik, alüminyum veya çelikten yapılmış bir kılavuz borudur. Kılavuz borunun iç kısmında probun yönünü sabitleyip kontrol altına almak için kanallar vardır.
- Portatif, yer çekimine duyarlı çevirgeci bulunan prob
- Probu eğimini gösteren ve güç ünitesi görevi gören portatif bir data toplayıcısı
- Data toplayıcısı ile prob arasındaki bağlantıyı sağlayacak bir kablo

Şekil 5.2'de düşeye yakın diklikte bulunan bir kılavuz kılıfta yapılan inko operasyonunun temel prensipleri görülmektedir. Kılıf yerleştirildikten sonra prob kılıfın tabanına kadar indirilir ve bir eğim okuması alınır. Benzer şekilde prob yukarı doğru çekildikçe belirli aralıklarda okuma alınmaya devam edilir. Bu okumalar ilk okuma değerleriyle karşılaştırılır ve böylece kılıfın bir doğrultuda yapmış olduğu yatay deplasman değerleri elde edilir.

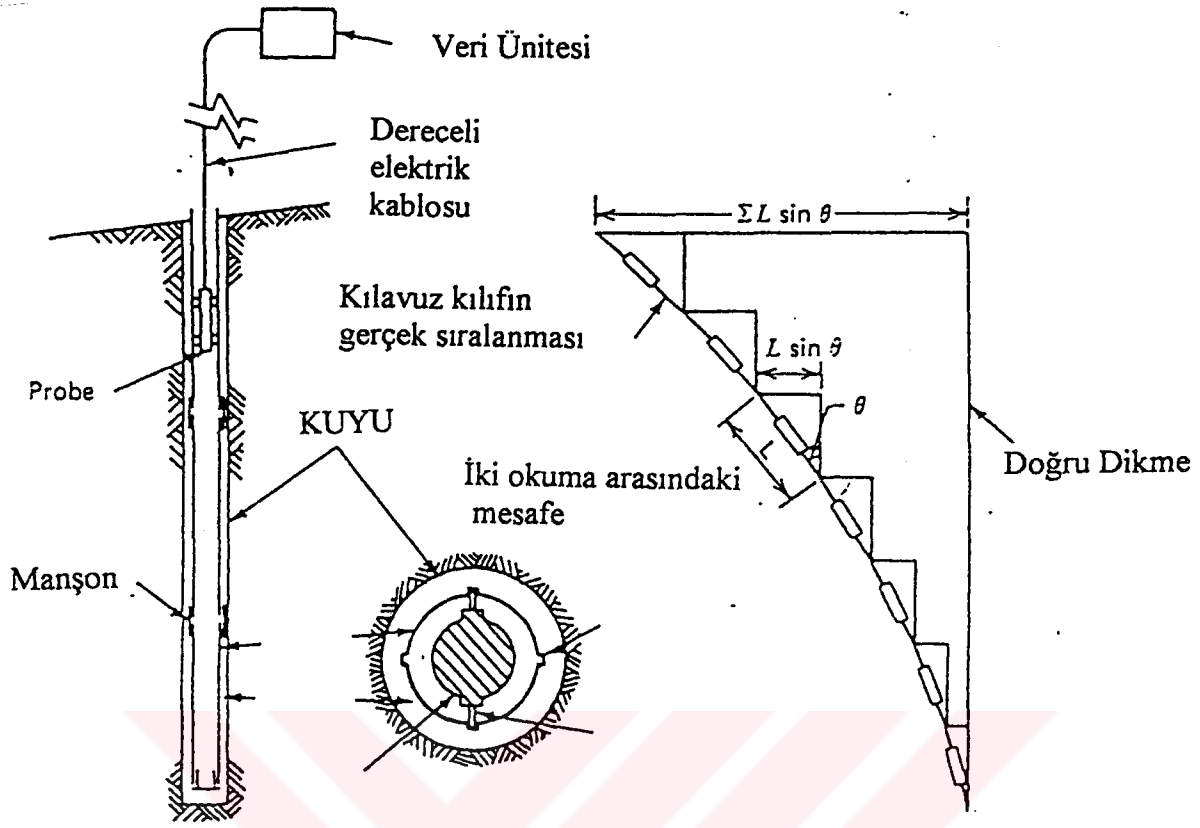
Seçilecek olan kılıfın tipi zemin ve kaya hareketine uyumlu olmalıdır. İnklinometre kılıflarının uygun olan tipleri plastik, alüminyum alaşım ve fiberglas olup bunlar birbirlerine rijit veya teleskopik kaplinlerle bağlanır. Çelik kılıflar da kullanılabilir fakat bu tip kılıflar daha az sıklıkta kullanılmaktadır.

Kılıf tipinin seçimi aşağıda belirtilen sınırlamalar doğrultusunda yapılmalıdır.

- Eğer beklenen aksiyel basınç veya uzama %1' den fazla ise kılıfa zarar gelmemesi için teleskopik kaplin kullanılmalıdır.



Şekil 5.1 Tipik aletsel gözlem kesiti



Şekil 5.2 İnklinometre ölçüm prensipleri

- Yumuşak zemine kılıf yerleştirildiği zaman farklı kayma bölgelerindeki deformasyonlar zeminin kılıf etrafında akmasına neden olabileceğinden lokal uyumsuzluklar meydana gelebilir. Böylece okunan değerler gerçek değerleri vermeyebilir. Bu tür problemlere neden olacak zeminlerde büyük çaplı kılıf ile küçük çaplı prob kullanılmalıdır.
- Eğer ölçümlerde maksimum hassasiyet gerekiyorsa büyük çaplı kılıf kullanılmalıdır.
- Plastik kılıflar ısıya maruz kaldığında yapısal bozulmalar meydana gelir.
- Çapın sınırlı olduğu yerlerde kılıf çapından büyük çapta olmayan kaplinler kullanılmalıdır.
- PH değeri 10' dan büyük olan ve alkali bulunan zemin koşullarında plastik kılıf tercih edilmelidir.
- Kılıf seçiminde maliyet te göz önünde bulundurulması gereken bir kriterdir.

5.2 Zemin Çivisi Gerilim Ölçerleri

Zemin çivili sistemlerde gerilim ölçerlerle yapılan aletsel gözlemlerde kazı kademelerince ve bunun takip eden zemin çivili yapının tamamlanması süresince çivilerde oluşan yük

dağılımının ölçümü ve değerlendirilmesi yapılır. Çivilere tek tek gerilim ölçer yerleştirilmesiyle çivi kuvvetlerinin gelişimi ve dağılımı ölçülebilir.

Gerilim ölçerlerin yerleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Isı düzeltmelerinin yapılabilmesi için her bir gerilim ölçerin yakınına ısı sensörleri yerleştirilmelidir. İksa yüzeyine yakın yerlerde bu daha da önemlidir.
- Eğilme ve ortalama gerilme ölçümü yapabilmek için çivinin üzerindeki her bir ölçüm merkezine çift olarak düşeyden 180° açı yapacak şekilde yerleştirilmelidir.
- Gerilim ölçerin kurulumu tamamlandıktan sonra, aletin etrafına yumuşak ve su geçirirmeyen bir madde sarılmalı ve suyun içeri nüfus etmediğinden emin olunmalıdır.
- Sinyal kablolarının çivinin yerleştirilmesi sırasında oluşacak darbelerden korunması için plastik tüp içinden geçirilmelidir.

Çivi ve enjeksiyondaki uzamaları ölçmek kolayca gerçekleştirilmesine rağmen bu ölçümlerin çok hassa olarak zemin çivisine etkiyen yüklere çevirmek zordur. Bunun sebebi, enjeksiyonun da çekme mukavemetine sahip olması ve toplam yükün bir kısmının enjeksiyon mukavemeti tarafında karşılanmasıdır. Bu yükün büyük kısmı enjeksiyonun içindeki deformasyonel özelliklerine ve enjeksiyon ile zemin arasındaki etkileşime bağlıdır. Enjeksiyon içindeki etkileşimden kaynaklanan data değerlendirme problemlerini ortadan kaldırmak için ölçüm aletlerinin olduğu yerlerdeki enjeksiyonun kırılmasının sağlayacak mekanik aparatlar kullanılmalıdır. Böylece bu bölgedeki yükün tamamını çiviye taşıtırmak mümkün olur.

5.3 Çivi Başındaki Yük Hücreleri

Çivili yüzeyde oluşan yükler hakkında bilgi almak için çivilerin başlarına plakanın altına gelecek şekilde yük hücresi yerleştirilir. Yük hücresi kurulurken şu aşamalara dikkat edilir;

- Yük hücreleri ısıya duyarlı ise, ısı düzeltmeleri için her bir hücreye ısı sensörleri yerleştirilir.
- Yük hücresinin aksı eksantirik, yanal veya herhangi bir üniform olmayan yük uygulamasına maruz kalmaması için çiviyle aynı doğrultuda olmalıdır.
- Yük hücreleri imalat sırasında oluşabilecek hasarlardan korunmalı ve sinyal kabloları plastik tüplerle koruma altına alınmalıdır.
- Yükleme altında kalan alan sağlam olmalıdır böylece hücrenin altında kalan bölgenin sünekliliğinden kaynaklanan yük kaybı meydana gelmez. Çabuk priz alan çimento harcı

ve minimum 12 mm kalınlığındaki yükleme plakaları kullanılmalıdır.



6. HESAP YÖNTEMLERİ

6.1. Tasarım Parametreleri

Zemin çivisi, günümüzde birçok ülkede (A.B.D., Fransa, Almanya, Japonya v.b.) çok yönlü ve yaygın olarak kullanılan şev stabilizasyonu ve derin kazı takviye sistemidir. Zemin çivisi uygulama yöntemi açısından çok kullanışlı ve basittir fakat uygulamadaki bu aldatıcı basitliği zemin çivisinin tasarım prosedüründeki karmaşıklığını maskeleymektedir. Zemin çivisinin iksa sistemi olarak tasarımındaki parametrik çalışmalar Shen (1992) ve Bernardi (1992) tarafından yapılmıştır. Hesap tekniği birçok parametre içermesine rağmen genel anlamda kesin olarak istenileni karşılamamaktadır. Bunun yanında pratik uygulamalar için yapılan basit yaklaşımlarda bulunulabilmektedir.

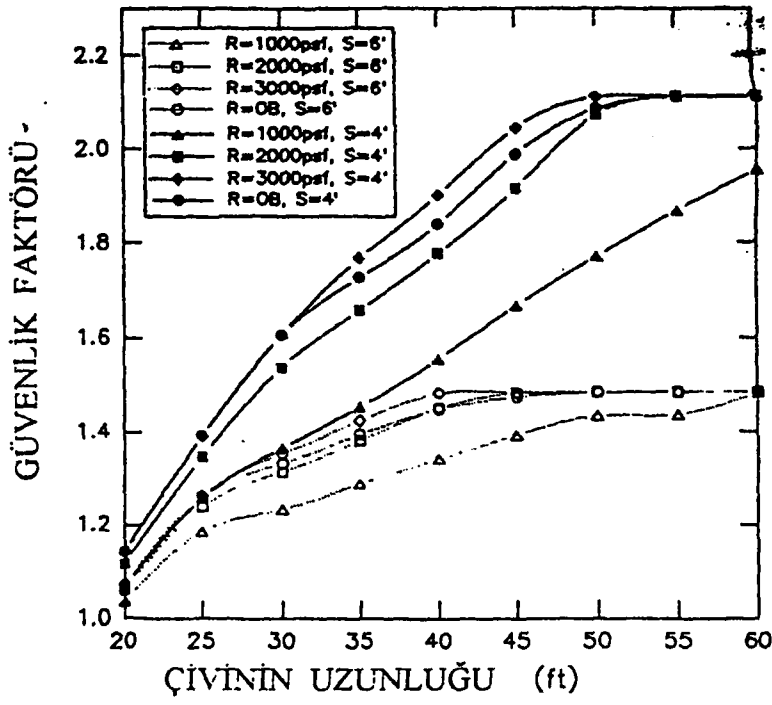
Shen (1992), zemin çivili duvarların bütün emniyet katsayılarını etkileyen birçok parametrenin etkilerini tanımlayan bir analitik parametrik çalışma yapmıştır. Bu parametrelerin etkileri aşağıdaki başlıklar altında incelenmiştir.

6.1.1. Çivi Boyunun Etkileri, Ara Mesafeler ve Eğim

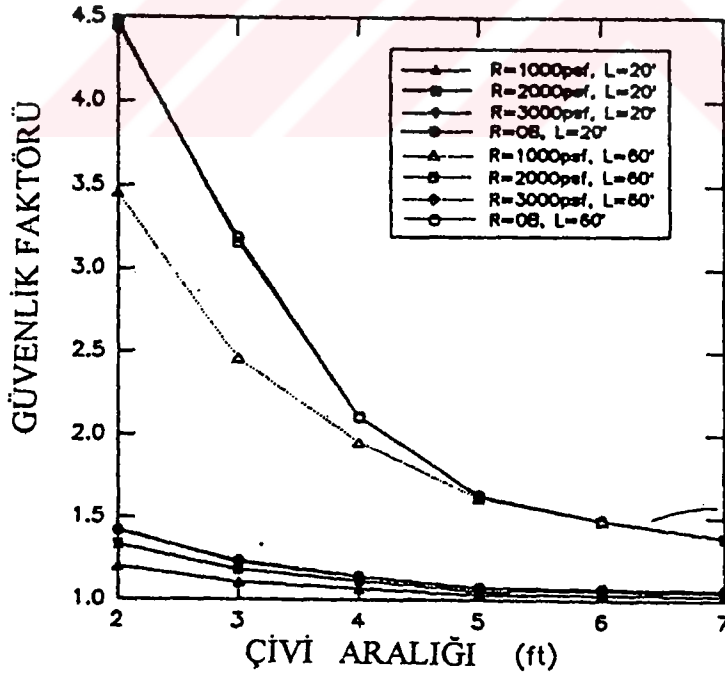
Çivi boyunun etkileri Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Çivinin boyunu uzatmakla emniyet katsayısını da arttırmış oluruz. Çivi donatılarının akma sınırından dolayı çivi boylarının daha da artması sebebiyle emniyet katsayısı az ya da çok sabit hale gelir. Ayrıca, çivilerin arasındaki mesafelerde emniyet katsayısı kısa çivilerde daha az etkilidir. Kısa çivilerin çekmeye çalışırken oluşan göçme mekanizması da uzun çivilerin kopmasının yerini alır.

Zemin çivilerin ara mesafelerinin azaltılması, çivilerin kendi aralarındaki ve zeminle olan etkileşimini artırır. Bu da çivilerin çekme kuvvetlerinde direkt bir artış meydana getirir. Çivileme ara mesafeleri arttırılırsa çivi çekme gerilmelerinin emniyet katsayısına olan etkisi çok azalır. Böylece artan ara mesafelerle Şekil 6.2'de görülen eğriler daha doğrusal hale gelir.

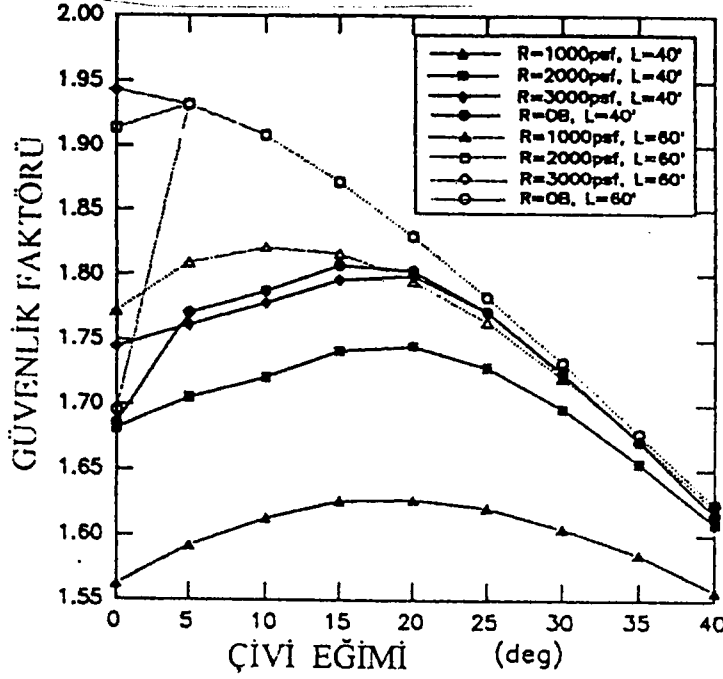
Çivi eğim açısının etkileri Şekil 6.3'te görülmektedir. Çalışmaların neticesinde görülmektedir ki , çivi eğim açısının emniyet katsayısı açısından en büyük olduğu açı aralığı yaklaşık 5^0 ile 20^0 arasındadır. Ayrıca çivi boyu arttıkça ideal çivi eğim açısı düşmektedir. Bunlarla beraber yapılan araştırmalar neticesinde duvar yüksekliği (H) ile çivi boyu (L) arasında lineer bir ilişki tespit edilmiştir. Bu bağlantı da, zemin çeşidi, ara mesafe (i), duvarın eğimi (δ) ve çivinin eğiminin bir fonksiyonudur. Bruce ve Jewel (1987), çalışmaları sonucu H/L oranının 0.3 ile 0.5 arasında olması gerektiğini bulmuşlardır.



Şekil 6.1 Çivi uzunluğunun duvarın stabilitesine etkisi (Shen, 1992)



Şekil 6.2 Çivi aralığının duvarın stabilitesine olan etkisi (Shen, 1992)



Şekil 6.3 Çivi eğiminin çivili duvarın stabilitesine etkisi (Shen, 1992)

6.1.2 Duvar Eğiminin Etkisi

Duvarın eğimini arttırmak çivinin etkili uzunluğunu artırır ve ve şevi hareket ettirecek olan kuvvetlerin etkisini azaltır. Böylece, duvar eğiminin artırılması emniyet katsayısının artmasına neden olur.

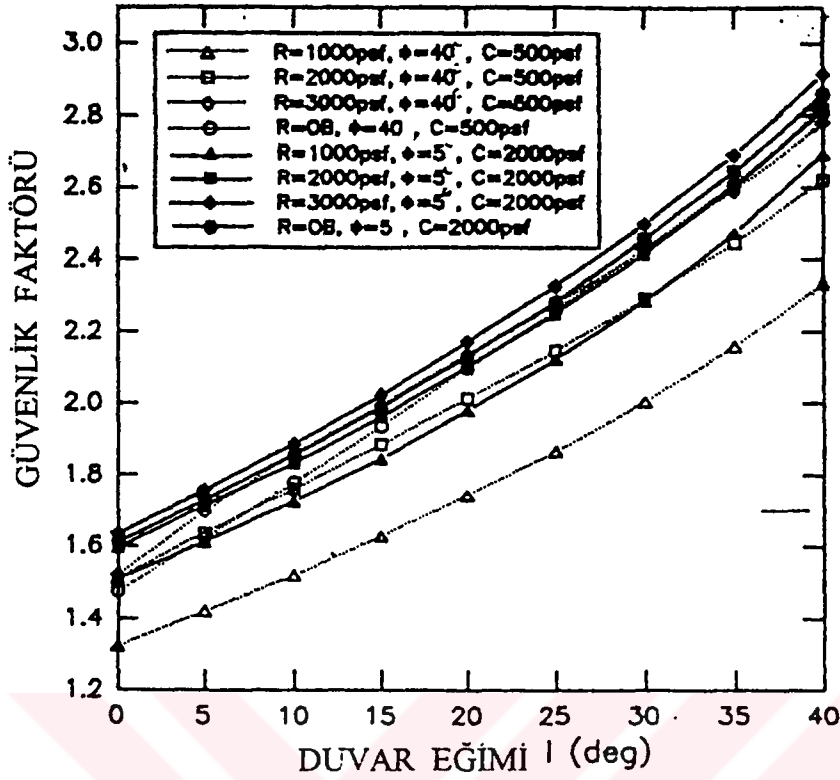
Şekil 6.4'te görüldüğü gibi duvar eğiminin 0° den 40° ye arttırılmasında emniyet katsayısı da yaklaşık lineer olarak artmaktadır.

6.1.3 Zemin Tabakalanmasının Etkileri

Güçlendirilmiş zemin kütesinin düşük kesimlerinde yer alan çiviler olası kayma yüzeyinden daha ileri uzanan etkili çivi boylarına sahiptir ve bu çivilerde yüksek çekme kuvvetleri oluşur. Buradan anlaşılan zemin çivili bir duvarın stabilitesinde kazı tabanına yakın oluşan kayma mukavemeti, kazının üst kotlarındaki mukavemetten daha etkilidir ve bu çalışma Şekil 6.5'te gösterilmektedir. Eğer kazı yapılan zemin farklı zeminlerin tabakalaşmasından oluşuyorsa, zemin çivili sistemin stabilitesi en çok kazı tabanına yakın zeminin özelliklerinden etkilenmektedir.

6.1.4 Çivilerin Dağılımının Etkileri

Çivileme pozisyonunun emniyet katsayısı üzerindeki etkileri Bernardi (1992)'nin yaptığı 400 den fazla çalışma neticesinde Şekil 6.6' da gösterilmektedir. Bu etkiler, çivi emniyet katsayısına (f_a) karşılık kazının üst kotundan (d_t) ya da kazı taban kotundan (d_b) olan mesafe



Şekil 6.4 Duvar eğiminin çivili duvarların stabilitesine etkisi (Shen,1992)

ile etkileşimi gösterilmektedir. Görüldüğü üzere $f_a = 2$ gibi kabul edilebilir bir değer etrafında işaretlenmiş bir etkisi bulunmakta bu kanıt ayrıca parametrik analizlerde etkili bir açıklamaya ihtiyaç duymaktadır.

6.2 Genel Analiz Metodları

Genel olarak zemin çivisi tasarımında iki model vardır. Bunlardan biri; bir kayma yüzeyinin kabul edildiği ve limit durumda kayma kütesinin stabilitesinin hesaplandığı limit-kuvvet denge modeli, diğeri ise; çalışma gerilmeleri modeli olup çivi yüklerinin, zeminin mukavemetine ve çivinin rijitliğine bağlı olarak öngörüldüğü ve stabilite analizinin yapıldığı kinematik limit analiz modeli dir.

Limit-kuvvet denge metodu dizayn için zeminin karakteristik kayma mukavemetine, çivilerin çekme dayanımına ve çivilerde oluşan maksimum çekme ve kayma kuvvetlerinin kesin olarak hesaplanamamasından dolayı global bir emniyet katsayısı belirler. Bu nedenle bu metodlardan yalnız bir tanesi güçlendirilmiş zemin kütesinin lokal stabilitesini değerlendirememektedir. Bununla beraber kinematik limit analiz metodu, çivi kuvvetlerinin hesaplanmasını ve dolayısıyla her takviye kademesindeki lokal stabilitenin değerlendirilmesine imkan sağlamaktadır.

6.2.1. Limit Denge Metodları

Limit denge metodları bilinear kayma yüzeyi varsayılarak Stocker (1979) tarafından ve parabolik kayma yüzeyi varsayılarak Shen (1981) tarafından geliştirilmiştir. Schlosser (1983), zemin-donatı etkileşiminin temel iki mekanizmasını (yanal sürtünme ve normal zemin reaksiyonu) birleştirerek genel bir çözüm elde etmiştir. İlk olarak bahsedilen çözümler ile sadece donatıların çekme gerilmeleri ve sıyrıma kapasiteleri hesaplanırken, Schlosser' in hesap metodu ile donatıların çekme ve kayma dirençleri aynı zamanda eğilme rijitlikleri de hesaplanmaktadır. Schlosser ve Unterreiner (1991), zemin çivisi hesaplamalarında kullanılan iki temel limit denge metodunu bulmuşlardır.

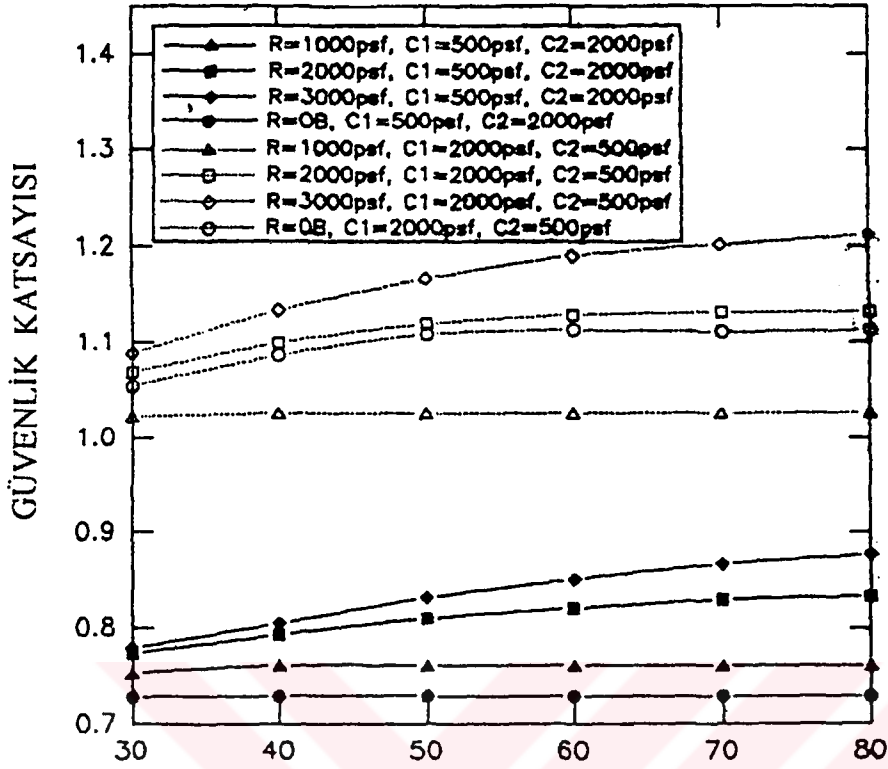
- Klasik limit denge metodu; zemin kütlelerinin bütün dengesinin ispatlayan metoddur. Zemin kütlesi potansiyel kayma kütlesi tarafından sınırlandırılmış olup yerçekimi kuvveti ve dış kuvvetlerin etkisinde kalıp zemin içinde oluşan gerilmeler ve zemine yapılan güçlendirme ile dengelenen güçlendirmede harekete geçen kuvvetler, güçlendirmede kullanılan malzemenin göçme kriterlerine göre ve zemin ile zemin takviyesi elemanlarının etkileşim mekanizması da gözönünde bulundurularak hesaplanır.
- Limit analiz metodu; bu metodla zemin kütlesi parçalara ayrılır ve bu parçaların tek tek statik dengesini bulmak için kinematik yaklaşımlar kullanılır. Yerçekimi kuvveti ve dış kuvvetler etkisinde kalan parça ile zeminde içsel sürtünmeden kaynaklanan gerilmelerin olduğu ve kuvvetlendirme elemanlarında meydana gelen gerilmelerin olduğu ve tek veya bütün potansiyel kayma yüzeyi tarafından sınırlanan parça.

İki metod da zeminin sınır kuvvetlerinin ve çivilerin sınır kuvvetlerinin aynı anda harekete geçmeye mümkün olduklarını kabul eder. Zeminin ve zemin çivi dirençlerinin aynı andan harekete geçmeleri bir kabuldür. Bu zemin çivili yapıda gerçek ve karışık göçme durumlarının yaklaşık olarak hesaplanması için tek yoldur. Bütün limit denge metoduyla mobilize olmuş bir çivili kütlede çivilere tek tek etki eden kuvvetlerin bulunmasında etkisi yoktur. Bundan dolayı kütlede meydana gelecek deformasyonların limit değerlerde kalmasını sağlamak için çivilerin yerleşimini optimize etmek bu metodla mümkün değildir. Aşağıda limit denge metodları anlatılmaktadır.

6.2.1.1 Alman Metodu

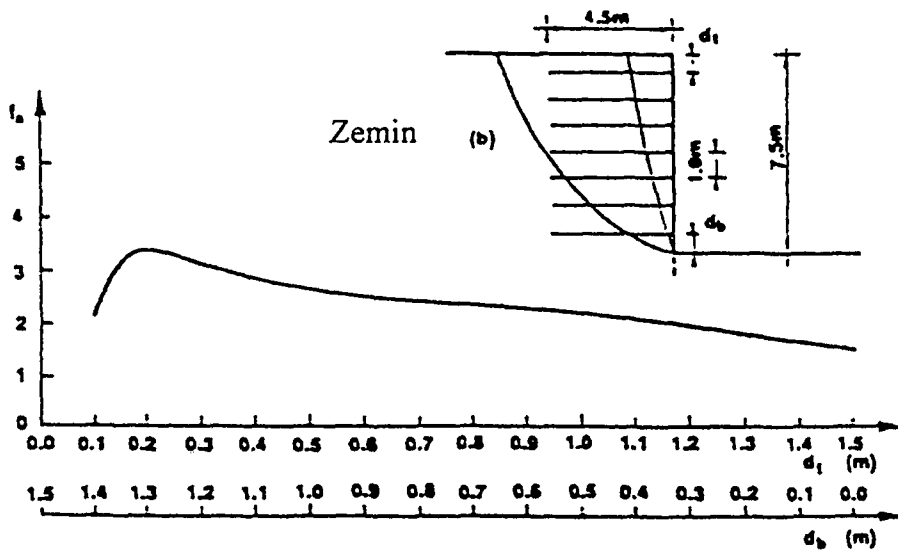
Metod Stocker tarafından geliştirildi (1979). Metodun genel tasarım kabulleri aşağıda özetlen diği gibidir.

- Göçmeyi (iki doğrusal) kazı tabanına doğru, bilinear kayma yüzeyi olarak kabul eder.



ÇİVİLERİN SINIR KUVVETLERİ (kpsi)
 C1 = Alt toprak tabakasının kohezyonu
 C2 = Üst toprak basıncının

Şekil 6.5 Tabakalı zeminin zemin çivili duvarlara etkisi (Shen, 1992)



Şekil 6.6 Çivi güvenlik faktörlerinin çivi pozisyonuna olan etkisi (Shen, 1992)

- Metod çivilerin sadece çekme direncini ve sıyrılma kapasitesini göz önüne alır.
- Kayma direnci bütünüyle, sadece potansiyel kayma yüzeyi boyunca etkilidir.

Metod genel bir emniyet katsayısı belirler;

$$FS = \frac{\sum T_i}{\sum T_{max}} \quad (6.1)$$

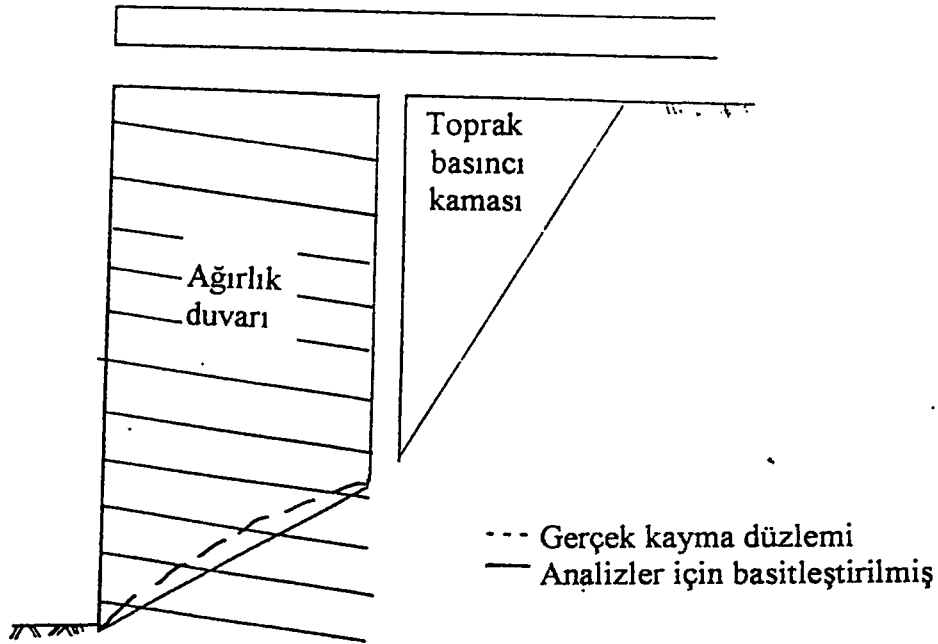
$\sum T_L$: Direnç kuvvetleri toplamı

$\sum T_{max}$: Dengeyi oluşturan kuvvetler (dengeyi sağlamak için mobilize olan çivi kuvvetleri)

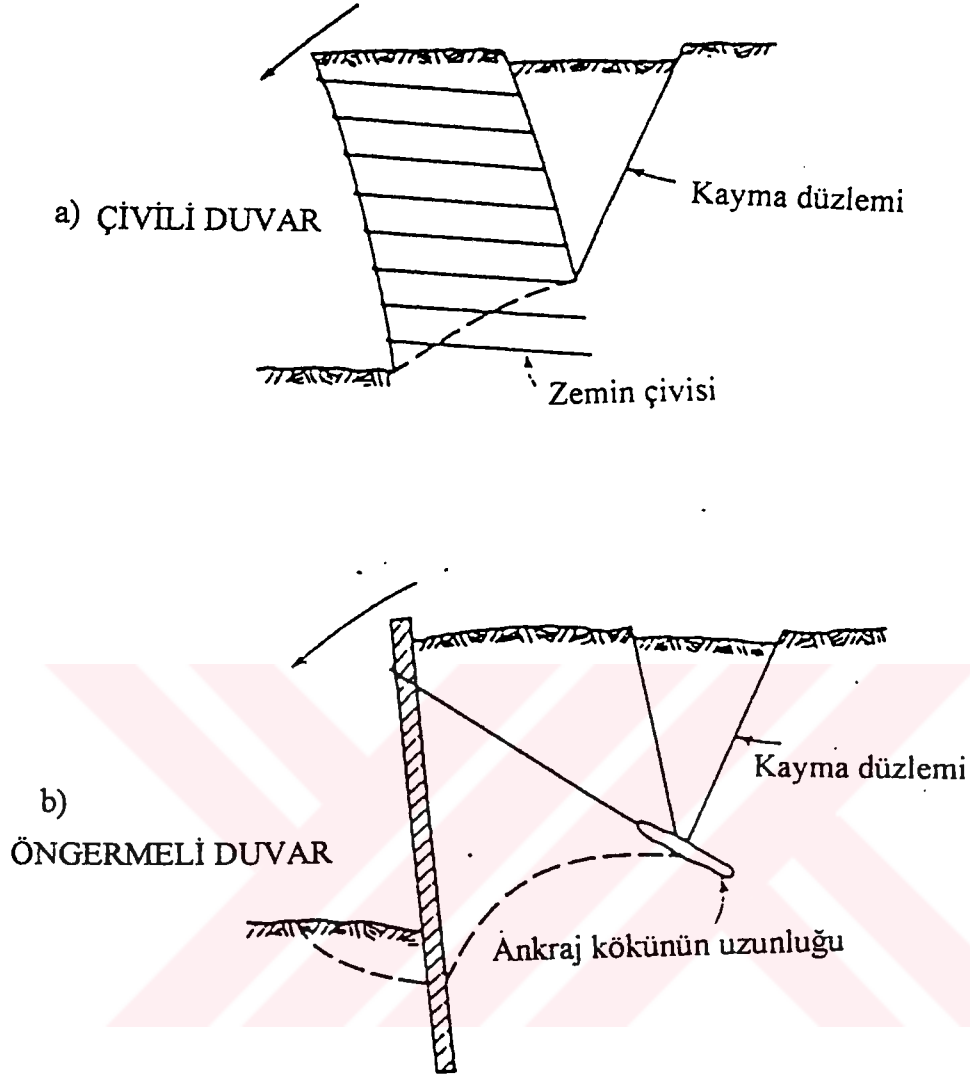
Şekil 6.7'de görüldüğü gibi, Alman modelinde yapı iki parçaya ayrılır. Parçalardan biri, çivilerin olduğu Ağırlık duvarıdır. İkinci parça da Ağırlık duvarının arkasında yer alan ve aktif toprak basıncı kamasını oluşturan parçadır. Kural olarak zemin iyileştirilmiştir ve bundan dolayı ağırlık duvarı olarak kabul edilebilir. Ağırlık duvarı modeli Gassler ve Gudehus tarafından tanımlanmıştır (Karlsruhe üniversitesi, Almanya1981).

Bu modelin sürekli olarak en kritik kayma yüzeyini gösterdiğini ispatlamak için model testleri Karlsruhe Üniversitesinde yürütüldü.

Denk gelen performans modu Şekil 6.8' de verilen devrilme mekanizması şeklinde karakterize edilmiştir.



Şekil 6.7 Alman metodu tasarımı



Şekil 6.8 Alman modeline göre performans ve kayma modu

Testi yürüten Gaasler ve Gudehus zemin modellerini karakterize etmek için yatay bir yüzey kullandılar ve büyük ölçekli bir ağırlık ortamının oluşturulması için santrifüjün içine yerleştirildi. Yüklemeler yapı, trafik yükü veya çivili duvarın üst kotundan ileriye doğru uzanan bir şevin simülasyonu olarak uygulanmıştır.

Bu modelde çiviler zemin iyileştirilmesinde katkısı bulunan ve kabul edilen kayma yüzeyini kesip kesmediği dikkate alınmayan ankrajlar olarak çalışmaktadır.

6.2.1.2. Davids Metodu

Çivilerin dirençlerini gözönüne alarak zemin kütlelerinin stabilitesini bulmaya yarayan klasik bir denge analiz metodudur. Çivilerde oluşan çekme kuvvetleri kayma düzlemi boyunca

normal ve teğetsel bileşenlerine ayrılır. Oluşan çivi kuvvetleri, çiviye etkiyen normal ve teğetsel gerilmelerden veya sahada yapılmış çivi çekme testinden elde edilen veriler doğrultusunda sürtünme direncinden hesaplanır.

Bu metodda kayma yüzeyi parabolik olarak ve kazının bittiği noktadan geçecek şekilde kabul edilir. Kabul edilen kayma yüzeyi ve serbest gövde diyagramı Şekil 6.9'da gösterilmektedir. Tasarım Shen (1992) tarafından geliştirilmiştir. Prensipleri şöyledir;

- Olası kayma yüzeyi kazı tabanından geçen parabolik bir yüzeydir.
- Zemin tabakalanması yataydır.
- Çivilerin hepsi aynı açı ile yapılmıştır.
- Herhangi bir zamanda aynı oranda kohezyon ve sürtünme mobilize olur.
- Sadece çekme gerilmesi ve çekme kapasitesi hesaba katılır.

1 elemanın denge denklemleri (çivili bölge);

$$N_2 = (W_1 - S_1) \cos \alpha_3 - (N_1 + k_h W_1) \sin \alpha_3 \quad (6.2)$$

$$S_2 = (W_1 - S_1) \sin \alpha_3 + (N_1 + k_h W_1) \cos \alpha_3 \quad (6.3)$$

W_1 : Eleman 1'in ağırlığı

S_1 : Eleman 1 ve 2 arasındaki teğetsel kuvvet

N_1 : eleman 1 ve 2 arasında oluşan yanıl toprak basıncı

α_3 : S_2 'nin eğim açısı

k_h : Yatay itki katsayısı

2 elemanın denge denklemleri (çivisiz bölge);

$$N_3 = (W_2 + S_1) \cos \alpha_5 + (N_1 - k_h W_2) \sin \alpha_5 \quad (6.4)$$

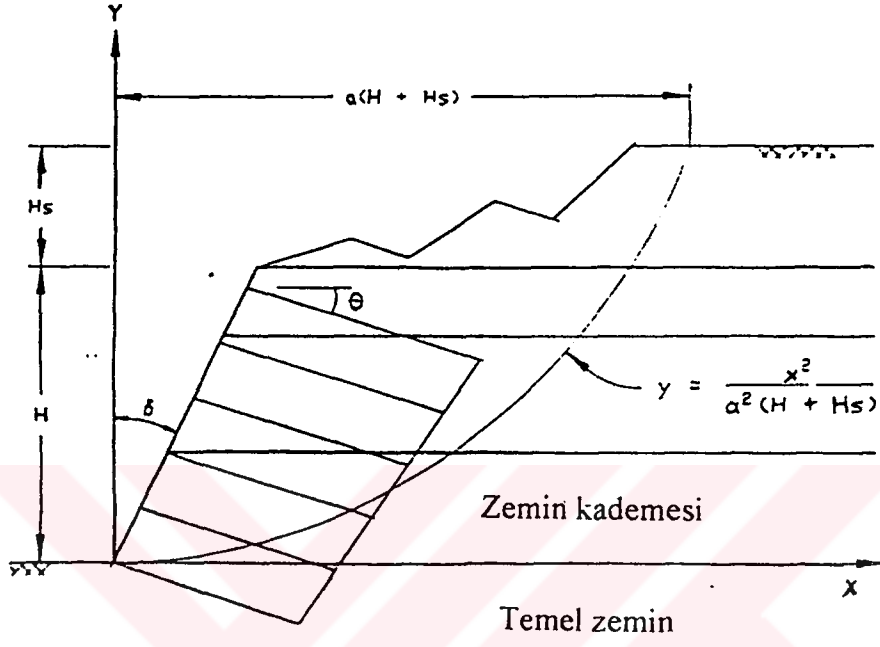
$$S_1 = (W_2 + S_1) \sin \alpha_5 - (N_1 - k_h W_2) \cos \alpha_5 \quad (6.5)$$

W_2 : Eleman 2'nin ağırlığı

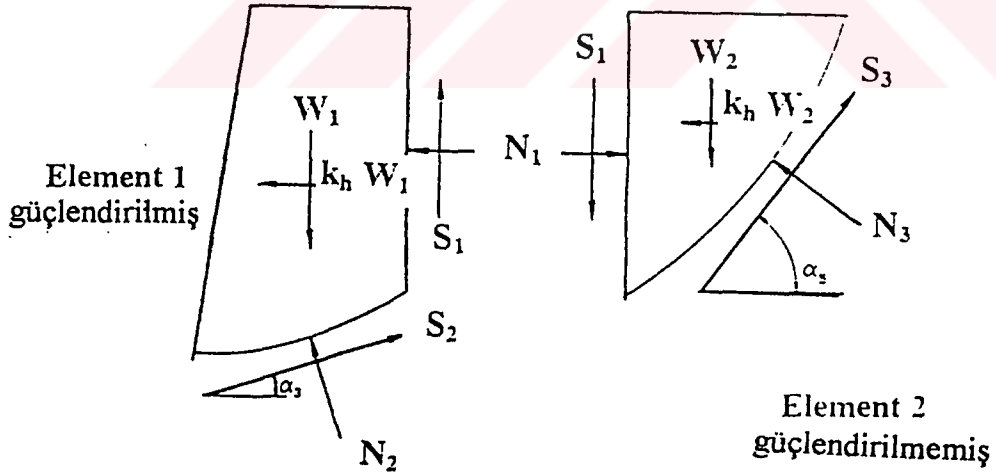
S_1 : Eleman 1 ve 2 arasındaki teğetsel kuvvet

α_5 : S_3 'ün eğim açısı

Eleman 1 ve 2 potansiyel kayma yüzeyin açılarının farklılığından dolayı farklı emniyet katsayılarına sahip olabilirler. Bu uyumsuzluk (S_D) itki kuvvet ile direnç kuvvetini (S_R)

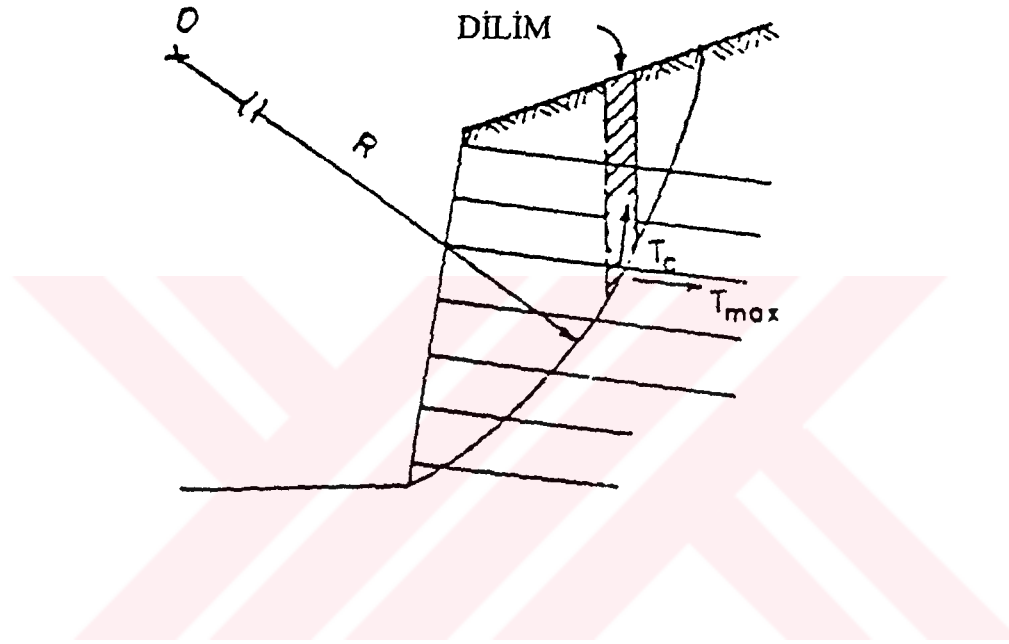


a) Kabul edilen kayma yüzeyi

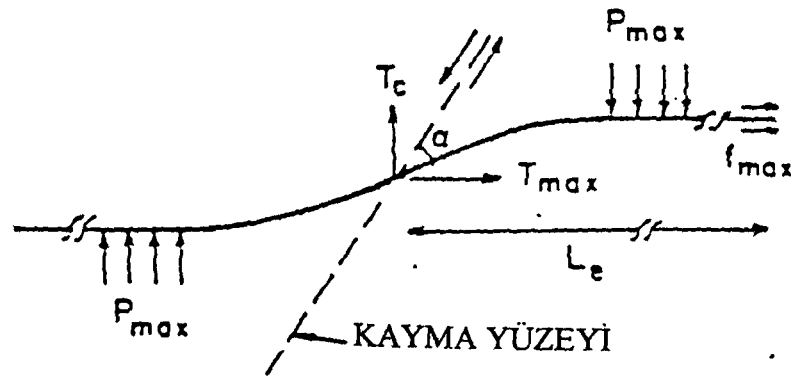


b) Free body diagram

Şekil 6.9 Davids metodunun tahminleri



ÇUBUK İÇİNDEKİ KUVVETLER



Şekil 6.10 Stabilite eğimi analiz metodu

formüle ederek ortadan kaldırılabilir. Bu kuvvetlerde elemanların tek tek itki ve direnç kuvvetlerinin vektörel toplamından alınabilir.

$$S_D = (S_{DX}^2 + S_{DY}^2)^{1/2} \quad (6.6)$$

$$\tan \alpha_D = S_{DY}/S_{DX} \quad (6.7)$$

$$S_{DX} = S_2 \cdot \cos \alpha_3 + S_3 \cdot \cos \alpha_5 \quad (6.8)$$

$$S_{DY} = S_2 \cdot \sin \alpha_3 + S_3 \cdot \sin \alpha_5 \quad (6.9)$$

$$S_R = (S_{RX}^2 + S_{RY}^2)^{1/2} \quad (6.10)$$

$$\tan \alpha_R = S_{RY}/S_{RX} \quad (6.11)$$

böylece;

$$S_{RX} = (c_1' L_3 + T_T + N_2' \tan \varphi_1) \cos \alpha_3 + (c_2' L_2 + N_3 \tan \varphi_2) \cos \alpha_5 \quad (6.12)$$

$$S_{RY} = (c_1' L_3 + T_T + N_2' \tan \varphi_1) \sin \alpha_3 + (c_2' L_2 + N_3 \tan \varphi_2) \sin \alpha_5 \quad (6.13)$$

c_i' : i elemanı için oluşan kohezyon $I=c_i/FS_c$

FS_c : Kohezyona bağlı emniyet katsayısı

φ_i : i elemanı için oluşan sürtünme açısı; $\varphi_i = \tan^{-1} (\tan \varphi_i / FS_\varphi)$

FS_φ : Sürtünmeye bağlı emniyet katsayısı

N_2' : $N_2 + T_N$

T_N : $\sum T_i \sin(90 - \alpha_3 - \theta)$

$\sum T_i$: Kayma yüzeyi ölçüsünde kalan çivilerin aksenal kuvvetleri toplamı

T_T : $\sum T_i \sin(90 - \alpha_3 - \theta)$

L_2 : Bütün kayma yüzeyinin boyu

θ : Çivilerin eğim açısı

Sonuç olarak Direnç kuvvetleriyle İtki kuvvetleri arasında bir emniyet katsayısı hesaplanır.

$$FS = \frac{S_R \cos(\alpha_R - \alpha_D)}{S_D} \quad (6.14)$$

İstenilen emniyet katsayısı ise ;

$$FS_C = FS_\phi = FS \quad (6.15)$$

6.2.1.3 Fransız Metodu

Schlosser (1983) iki temel zemin-çivi etkileşimi (örnek: yanal sürtünme ve pasif zemin reaksiyonu) birleştirerek genel bir çözüm bulmuştur. Bu çözüm metodu çivilerin eğilme rijitliklerinin etkisini, kesme ve çekme direncini hesaba katar. Şevin stabilitesini, özel bir dilimleme metodu kullanılarak dairesel veya dairesel olmayan kayma yüzeyleri boyunca verilen kesitin emniyet katsayısının hesaplanması sonucu bulunur.

Modifiye edilmiş bir şev stabilitesi dilimleri metodu kullanılarak yürütülen multi kriter analiz prosüdüğü :

- Zemin kayma mukavemetini
- Çivinin çekme direncini
- Potansiyel kayma yüzeyinin her iki tarafındaki pasif zemin direncinin çiviye olan etkisi
- Çekme ve kesme kuvvetine maruz kalacak olan çivinin mukavemeti

Bu multi kriterli analiz şekilde gösterilen dört göçme modu hesaba katılarak oluşturulmuştur. Zeminin kayma direnci Mohr-Coulomb bağıntısı kullanılarak tanımlanmıştır.

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan\phi \quad (6.16)$$

c kohezyon, ϕ içsel sürtünme açısını gösterir.

Çivinin sıyrılma direncini değerlendirirken harekete geçmiş olan çekme kuvveti T_m kayma yüzeyinin gerisinde kalan direnç bölgesindeki çivi ile zemin arasındaki efektif sürtünme kuvveti ile dengelenmektedir. Çapı D olan bir dairesel çivi, limit ara yüzey yanal kesme gerilmesi f_1 tüm çivi boyunca sabit olduğu varsayılarak T_p ' nin sıyrılma direnci ve mobilize olmuş çekme kuvveti T_m olduğu bir ortamda şu değerlendirme yapılır:

$$T_m < \pi \cdot D \cdot L_v \cdot f_1 = T_p \quad (6.17)$$

Bağıl rijitliği olan bir çivi ile zemin arasındaki etkileşim çivi üzerinde ilerleyen bir mobilizasyonu olan pasif yanal toprak basıncı olarak neticelenebilir. Maksimum kesme kuvveti T_{cl} , çivinin kayma yüzeyi ile kesiştiği noktada harekete geçer ve :

$$T_{cl} = \frac{1}{2} \cdot P \cdot D \cdot I_0 \quad (6.18)$$

P : Çubuk üzerindeki basınç (p-y analizi ile hesaplanmış)

I_0 : Çivinin ve zemin rölatif rijitliğine karşılık gelen parametre

$$I_0 = \sqrt{(4EI) / (K_h D)} \quad (6.19)$$

EI : Eğilme rijitliği (çivinin)

K_h : Yanal toprak basıncı katsayısı

Genel olarak zemin çivili yapılarda çivi boyu (L) transfer boyunun (I_0) üç katından daha uzundur. Teorik olarak çiviler sonsuz uzun olarak hesaba katılabilir ve zemin deplasmanı böylece çivinin iki ekstremi arasındaki mesafe olan $2y'$ ye eşittir.

Maksimum eğilme momenti çubuk ile kayma yüzeyinin kesiştiği noktadan ($X=\pi/4 \cdot I_0$) mesafede oluşup:

$$M_{max} = (0.16) \cdot P \cdot D \cdot I_0^2 < M_p \quad (6.20)$$

M_p : Eğilme momenti

Kesme kuvvetine maruz kalan çivinin mukavemetini bulmak için Tresca'nın kayma kriterinden faydalanıp:

$$\left(\frac{T^2}{R_n^2} + \frac{V^2}{R_c^2} \right) < 1 \quad (6.21)$$

R_n : Çivinin çekme mukavemeti

R_c : Çivinin kesme mukavemeti;= $R_n/2$

Kesme ve çekme kuvvetleri T_f , V_f çivinin α açısına bağlı olarak potansiyel kayma yüzeyinde oluşur. Maksimum plastik iç kriterine göre Tresca göçme kriteri T_f ve V_f :

$$V_f = \frac{R_c}{\sqrt{1 + 4 \cdot \tan^2\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}} \quad (6.22)$$

$$T_f = 4 \cdot V_f \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \quad (6.23)$$

şeklinde hesaplanır.

6.18 ve 6.19 eşitliklerinden görüldüğü gibi $\alpha = 0$ olduğu durumda sadece çekme oluşur., $\alpha = \pi/2$ durumunda ise sadece kesme kuvveti oluşur.

İstenilen emniyet katsayısı;

$$FS_C = FS_\phi = FS_L = FS \quad (6.24)$$

Şeklinde bulunur. Stabilite için $FS = 1.5$ olmalıdır.

6.2.2 Kinematik Limit Analizi

Juran ve Beech tarafından 1984'te geliştirilen bu tasarım metodu ana dizayn parametrelerini ve yapı geometrisinin çivilerde oluşan direnç kuvveti üzerindeki etkilerin değerlendirmesine imkan tanır.

Tasarım kabulleri şöyle sıralanmaktadır (Şekil 6.11).

- Göçme aktif zonun rijit yapı gibi rotasyonu ile oluşur, log spiral göçme yüzeyi tarafından sınırlanmıştır.
- Göçme anında ki maksimum çekme ve kesme kuvvetlerinin geometrik yerleri zemindeki oluşan göçme yüzeyi ile çalışır.
- Zemin kayma direnci Coulomb kayma kriterine göre bütünüyle göçme yüzeyinde harekete geçer.
- Aktif zon ile direnç zonu birbirlerinden ince bir zemin tabakasıyla ayrılır.
- Dilimlerin yatay kuvvet bileşenleri (E_h) birbirlerine eşit alınır.
- Zemin çivili kütlelerin üzerinde yer alan şev ya da sürşarj yükün çivilere olan etkisi kayma yüzeyi doğrultusunda lineer olarak azalır.

Çivilerin eğilme rijitliklerinin çivilerin deformasyonu ve oluşan direnç kuvvetleri üzerindeki etkileri Juran (1990) tarafından aşağıdaki örnek çalışmalarda analiz edilmiştir.

- Yalnızca çekme kuvvetine karşı koyan esnek çiviler
- Çekme ve kayma kuvvetlerine maruz kalan ve imalat süresine deformasyona uğramayan aşırı rijit çiviler
- Sonlu eğilme rijitliğinin deformasyonlarını ve oluşan kesme kuvvetlerinin etkilediği çiviler

Esnek çiviler için ($L > 3 l_0$) elastik çözüm çıkarılmıştır, yüksek eğilme rijitliği olan ($L_0 \geq L$) çivilere rijit çivilerin hesabı formüle edildi. Göçme anında ulaşılan maksimum çivi deformasyonu ($d\beta$)

$$d\beta = \left(\frac{2T_c}{K_s \cdot D \cdot l_0^2} \right) \quad (6.25)$$

T_c : Maksimum kesme kuvveti

K_s : Yanal zemin reaksiyon modülü

D : Çivinin çapı

l_0 : Çivinin bağlı karakterini belirleyen transfer uzunluğu

Normalize edilmiş maksimum kesme kuvveti (TS):

$$TS = \left(\frac{T_c}{\gamma \cdot H \cdot S_v \cdot S_h} \right) \quad (6.26)$$

γ : Birim hacim ağırlık

H : Duvar yüksekliği

Böylece $d\beta$ ' nin boyutsuz çözümü:

$$d\beta = \frac{2 \cdot TS}{N} \quad (6.27)$$

$$N = \left(\frac{K_s \cdot D}{\gamma \cdot H} \right) \cdot \left(\frac{l_0^2}{S_v \cdot S_H} \right) \quad (6.28)$$

şeklinde elde edilir (6.27)

Elastik çivide oluşan maksimum eğilme momenti;

$$M_{\max} = (0.32) \cdot T_c \cdot l_0 \quad (6.29)$$

Boyutsuz çözüm elde etmek için;

$$\frac{M_{\max} / l_0}{\gamma \cdot H \cdot S_H \cdot S_v} = 0.32 \cdot TS \quad (6.30)$$

Bu analizde normal düzleminde etkili olan kayma gerilmesi kuvveti (τ_n) ve normal gerilme (σ_n) formülleri;

$$\tau_n = 1/2 \cdot \cot(2(\alpha - \beta_{\text{mod}})) \cdot \sigma_n \quad (6.31)$$

$$\beta = \beta - d\beta \quad (6.32)$$

β : ilk gerilme eğimi

Kinematik metoduyla çivilerin stabilitesinin tasarımında iki ana göçme kriteri gözönünde bulundurulur.

6.2.2.1 Çivilerin Sıyırılması Yoluyla Göçme

$$TN = \frac{T_{\text{max}}}{\gamma \cdot H \cdot S_v \cdot S_h} \leq \left(\frac{\lambda \cdot D}{FS_L} \right) \cdot \int_{L_a}^0 f_{\text{max}} \cdot d_l \quad (6.33)$$

L_a : Aderans boyu

f_1 : Limit ana yüzey kayma gerilmesi

λ : dairesel çiviler için π

: yatay şerit donatı için 2

F_p : Sıyırılmaya karşı emniyet katsayısı

Eşitliği düzenlersek;

$$\frac{L}{H} \geq \frac{S}{H} + \left(\frac{TN}{\lambda} \cdot \frac{F_p}{\mu} \right) \quad (6.34)$$

$$\mu = \frac{f_1 \cdot D}{\gamma \cdot S_v \cdot S_H} \quad (6.35)$$

6.35 denklemi bütün donatıların sıyırılması durumunda kullanılacak bir tasarım kriteridir.

6.2.2.2 Donatının Kırılmasıyla Meydana Gelen Göçme

Esnek çiviler için;

$$\frac{F_{all} \cdot A_s}{\gamma \cdot H \cdot S_v \cdot S_H} \geq TN \quad (6.36)$$

F_{all} : Çivilerin izin verilebilir çekme gerilmesi

A_s : Çivinin kesit alanı

Çekme ve kayma göçmesi durumu için Juran (1990) tarafından bulunan tasarım kriteri;

$$\frac{F_{all} \cdot A_s}{\gamma \cdot H \cdot S_v \cdot S_H} \geq K_{eq} \quad (6.37)$$

$$K_{eq} = \sqrt{(TN)^2 + 4 \cdot (TS)^2} \quad (6.38)$$

Aşırı eğilme durumuna bağlı tasarım kriteri;

$$M_p > (FS_M) \cdot M_{max} = (0.32) \cdot (FS_M) \cdot T_e \cdot l_0 \quad (6.39)$$

$$\frac{(M_p / l_0)}{\gamma \cdot H \cdot S_v \cdot S_H} \geq (F_M) \cdot \frac{(0.32) \cdot T_e}{\gamma \cdot H \cdot S_v \cdot S_H} = (F_M) \cdot (0.32) \cdot TS \quad (6.40)$$

M_p : Çivinin plastik eğilme momenti

F_M : Çivinin plastik eğilme momentine bağlı emniyet katsayısı (eğer limit çivi kuvveti izin verilebilir çekme gerilmesi ise $F_m = 1$ olarak kullanılabilir)

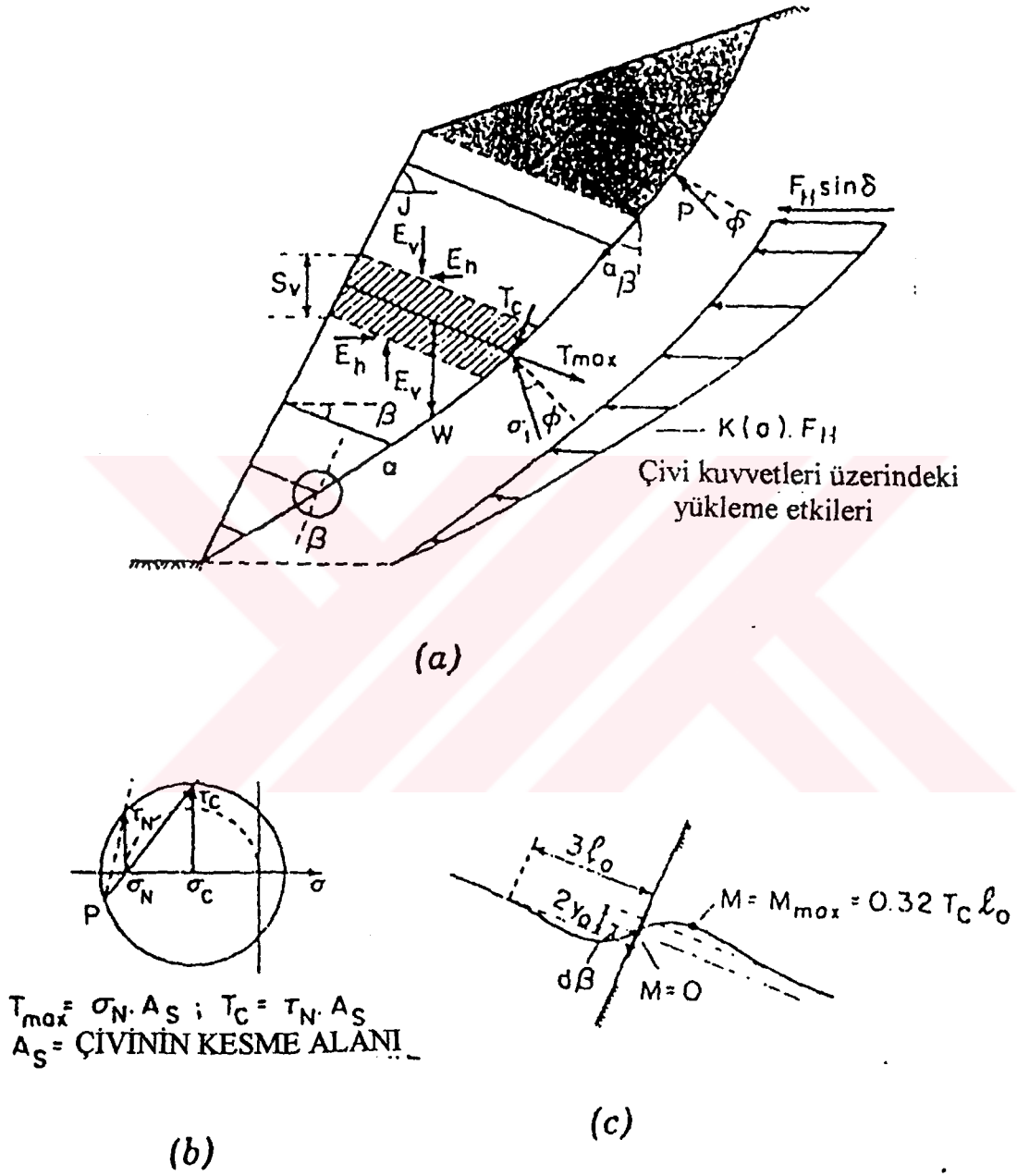
Çivi tasarımında sıkça kullanılan tasarım tabloları Şekil 6.12'de verilmiştir. Bu tablolar kullanılarak iteratif tasarım yapılabilir. Zemin özellikleri ve yapının geometrisine göre çivi tipi seçilir. S/H oranı bulunarak tablodan TN ve TS elde edilir. Bundan sonra 6.37 ve 6.40 formüllerinden çivilerin aşırı eğilme ve kırılmaya dayanıklı olup olmadıkları kontrol edilir. Dördüncü aşama olarak da sahada uygulanan sıyırılma testleri ve saha testlerinden elde edilen verilerden yapılan korelasyonlarla ve 6.35 formüllerinden μ' nün hesaplanmasıyla ve duvarın geometrisi (L/H) kullanılarak ara yüzey parametreleri F_p bulunur. Sonuç olarak yapının geometrisi için (L/H) global emniyet katsayısı;

$$FS = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{\sum_{i=1}^n T_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{L}{H} - \left(\frac{S}{H} \right)_i \right) \cdot \pi \cdot \mu_i}{\sum_{i=1}^n (TN)_i} \quad (6.41)$$

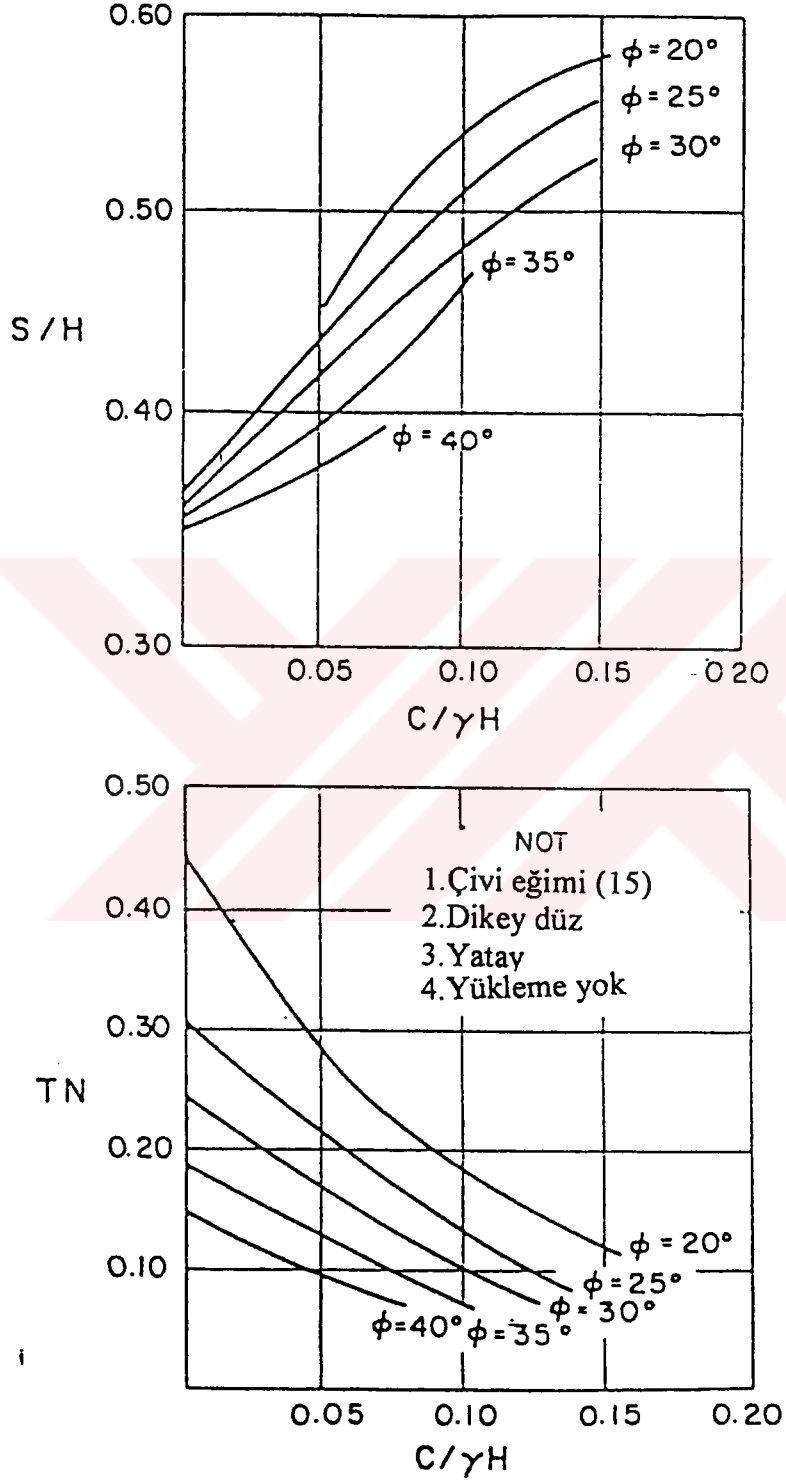
n : Çivi kademelerinin adedi

i : kademe sayısı

Bunun yanında global emniyet katsayısı kabulü, model duvarlar üzerinde denenen sıyrılma yoluyla göçme mekanizmasıyla birbirine uymamaktadır. Bundan dolayı Juran (1990) zemin çivisi tasarımında emniyetli yolun her çivi kademesi için analiz yapılması olduğunu belirtmiştir.



Şekil 6.11 Göçme modu kinematik limit analiz metodu (Juran, 1990)



Şekil 6.12 Çok esnek çiviler için tasarım grafikleri (Juran, 1990)

7. UYGULAMA ÖRNEĞİ: TEKFEN TOWERS ZEMİN ÇİVİLİ DERİN KAZI İKSASI

7.1 İşin Tanımı

Bu çalışmada İstanbul 4. Levent' te Büyükdere Caddesine cephesi 40.0 m. olan ve doğu- batı doğrultusunda uzunluğu 215.0 m.olan dikdörtgen biçimli arsanın zemin çivili iksa ile desteklenmesi incelenmektedir. Plan ve kesitlere göre Büyükdere caddesinde mevcut zemin yüzü kotu 129.0 m., Batı sınırında 118.0 m.dir. Büyükdere Caddesi tarafında 5 bodrum +2 katlı bir giriş yapısından sonra inşa edilecek kule iş merkezi 5 Bodrum katı üzerine 27 kat olarak inşa edilecek, en üstte makine dairesi ve çatı ile birlikte kule üstü zemine göre 117.0 m. yükseklikte olacaktır. En alt bodrum katı döşeme üst kotları 112.45 m. olarak tasarlanmıştır. Kuleden sonra fast food servisi, büro ve mağaza yapıları üst kotu 131.0 m. olarak düzenlenmekte bunlar için kazı taban kotu 104.00 m. kotuna kadar indirilmektedir.

Özetle mevcut zemin kotları göz önüne alındığında giriş yapısı ve kule altında önce 25.0 m. olan kazı derinliği giderek 21.0 m.'ye düşmekte , kuleden sonra derinleşerek 25.0 m. ye ulaşan kazı derinliği daha sonra azalarak 19.0 m. ye ve batı sınırından 16.0 m'ye düşmektedir.

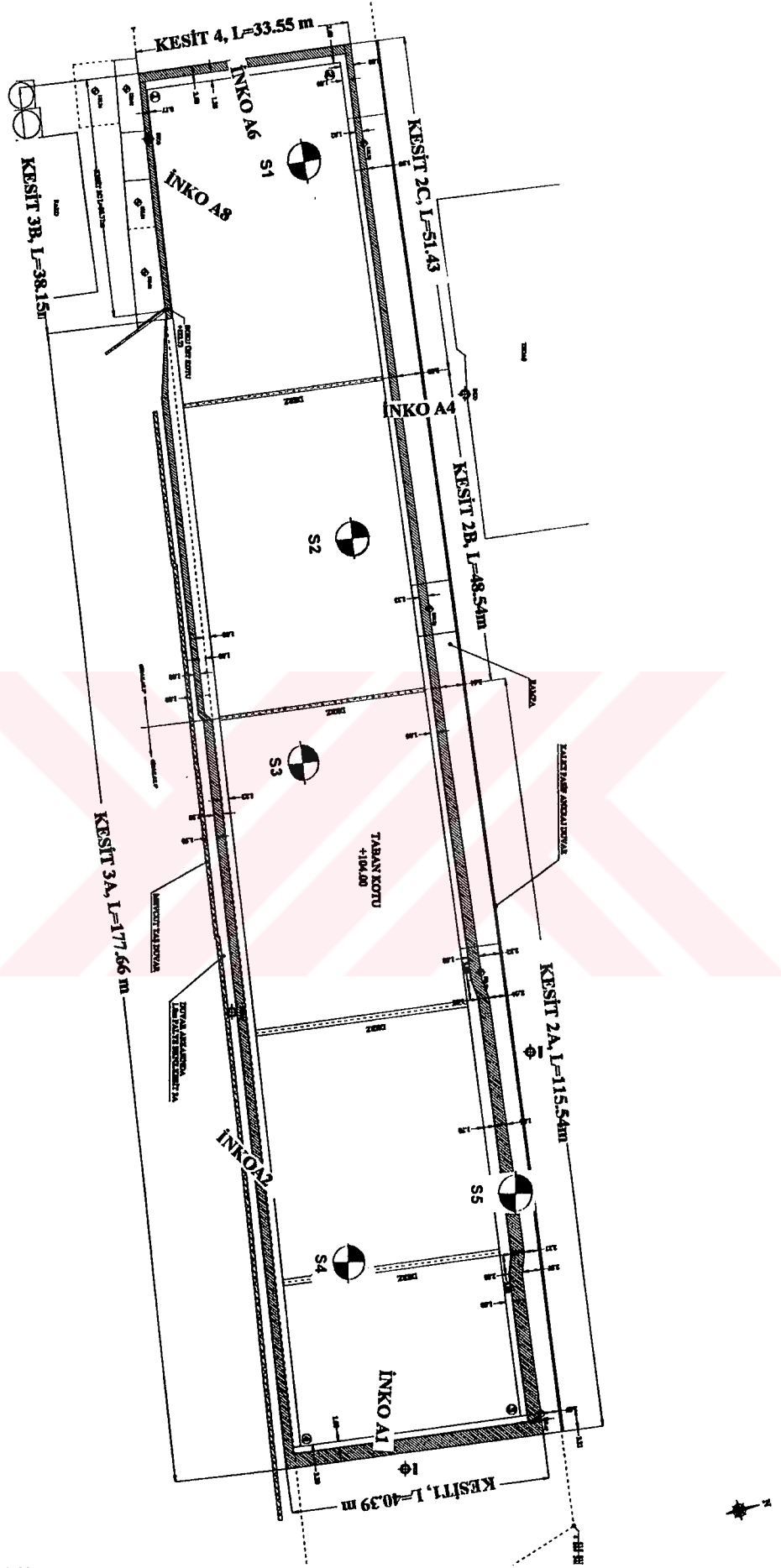
7.2 Arazi Çalışmaları ve Zemin Yapısı

Temel zemini özelliklerini belirlemek amacıyla yerleri Şekil 7.1'de gösterilen 5 adet zemin etüd sondajı yapılmıştır. Bunlara ilişkin özet bilgiler Çizelge 7.1'de verilmektedir.

Çizelge 7.1 Sondaj kuyularının derinlikleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Yeraltı Su Derinliği
S1	37.50	15.20
S2	38.50	14.70
S3	30.00	16.20
S4	25.00	15.80
S5	19.00	3.20

Bu sondajlardan S1 ve S2 Kulenin doğu sınırında açılmıştır ve burada kazı derinliği 19.0-16.0 m. civarındadır. S3, S4, S5 Sondajları kule yapısından sonra sırasıyla kazının 25.0 m ve 21.0 m yapılacak yerlere karşılık gelmektedir. Hemen tüm sondajlarda en üstte kalınlığı 1.0 m. – 3.5 m. arasında değişen killi , kumlu , yer yer taş ve bloklu bir dolgu yer almaktadır. Bunun



Şekil 7.1 Kazı sahasının planı ve sondaj noktaları (Zetaş,2000)

altında 4.20 m. ile 5.50 m. arasında değişen derinliklere kadar yörenin yerel zeminini oluşturan Trakya formasyonunun tümüyle ayrışarak killeşen kesimleri yer almaktadır. Bu derinliklerden sonra sondaj derinliği sonuna kadar geçilen birimler çatlaklı, kil bantlı altere grovak olarak adlandırılmıştır. Sondajlardan elde edilen karotlar üzerinde tanımlanan toplam karot yüzdeleri altere grovak için S1 de %30-55, S2 de %17-80, S3 de %22-96, S4 de %10-93 ve S5 de %55-96 gibi oldukça büyük bir aralıkta değişmiştir. Bu sondajlardan alınan birim için RQD değerleri S1 de %0-14, S2 de %0, S3 de %0-53 , S4 de %0-73, S5 de %0-67 olmuştur. Tüm bu değerler altere grovak olarak tariflendirilen birimin heterojen oluşunun bir göstergesidir.

İksa projesi yönünden üstte yer alan dolgu ve ayrışmış zeminin benzer geoteknik özellikleri olduğu düşünülerek arazi zemin profilinin aşağıdaki gibi modellenebileceği kanaatine varılmıştır.

<u>Derinlik</u>	<u>Zemin Türü</u>
0- 5	Dolgu + Ayrışmış grovak
>5	Çatlaklı, altere grovak

7.3 İksa Sistemi

Tekfen Tower projesinde tasarlanan yapıların temelleri +104.0 m. kotunda inşa edilecektir. Yapının zemin katlarının kotları sahanın doğusunda +129.0 m kotunda olup sahanın batısına doğru gidildikçe azalarak +122.0 m. kotuna inecektir. Giriş kat kotlarındaki bu farklılıktan dolayı minimum ve maksimum kazı yükseklikleri de 18.0 m. ile 25.0 m. olacaktır.

Raporda belirtildiği gibi iki yanında ilaç fabrikası ve elektrik üniteleri gibi önemli yapılar bulunan ve yol cephesinde yoğun bir trafik bulunan bir alanda derinliği 25.0 m.yi bulacak dikey kazılar yapmak gerekmektedir. Bu durumda yanal toprak basınçlarına dayanabilecek ve kazı yapılan şevin stabilitesini sağlayacak bir iksa sisteminin seçilmesi büyük önem taşımaktadır. Bunun yanında kazının büyüklüğü sebebiyle inşa edilecek olan iksa sisteminin ekonomik olması da büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple kazı yapılan yüzeylerin stabilitesini sağlamak amacıyla zemin çivili iksa sistemi tercih edilmiştir.

7.4 Genel Jeoloji ve Tektonizma

Çalışma alanı 1:500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası' nda İstanbul Paftası içerisinde yer almaktadır. İstanbul bölgesi üzerinde paleozoyik, mesozoyik seneozoyik yaşlı birimlerin

yüzeleendiği görölür. En alt birimler paleozoyik yaşı formasyonlardır. Paleozoyik yaşı birimler transgressif bir seridir. Bunları silttaşı, kumtaşı, kiltası ve grovaktan oluşan çökeller oluşturur. Ayrıca İstanbul çevresinde paleozoyik yaşı çökeller yer yer granit, diorit, diabaz, andezit ve asit volkanitleri tarafından kesilmişlerdir.

İstanbul bölgesinde çeşitli büyüklükte fay tespit edilmiştir. Bunların çoğunluğu NW- SE doğrultuludur ve fayların tamamına yakını eđim atımlı normal faylardır. İstanbul bölgesindeki yaklaşık E- W doğrultulu fayların çoğunlukla kuzeydeki blokları yükselmiş veya güneydeki blokları alçalmıştır. Bölge deprensellik ačíısından incelendiğinde, bölgede daha önce olmuş ve günümüzde olabilecek depremler Kuzey Anadolu Fay zonu tarafından denetlenmektedir.

7.5 Tasarımda Kullanılan Malzemeler

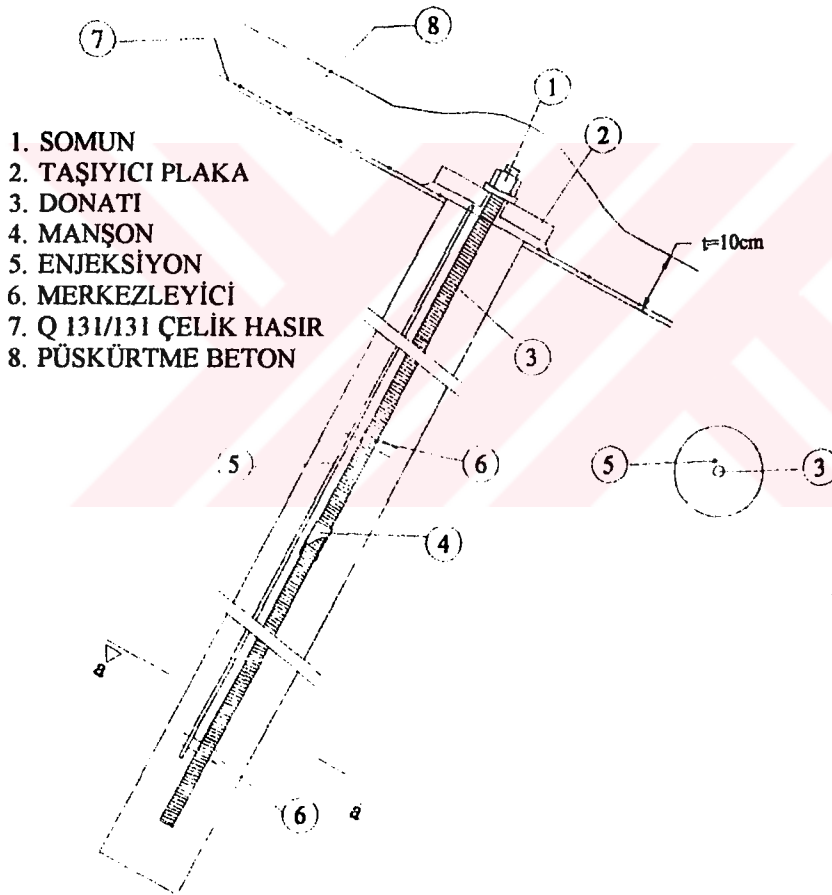
İksa sisteminde kullanılan malzemeler aşağıda detaylı olarak anlatılmaktadır:

7.5.1 Zemin Çivisi

Zemin çivisi, kazı sebebiyle oluşan yanal itki kuvvetlerini kayma yüzeyinin arkasında yer alan pasif bölgeye ileten bir ankraj çeşitidir. Zemin çivisi ile öngermeli ankraj arasındaki fark, zemin çivisinin ön yüklemesiz olması ve çekme kuvvetlerinin zeminde meydana gelen deformasyonlar neticesinde oluşmasıdır.

Zemin çivisi aşağıda açıklanan elemanlardan meydana gelmektedir (Şekil 7.2)

- Çelik çubuk : Zemin çivileri StIIIa tipi çelik barlardan oluşur. İksa sisteminin üst sıralarında $\Phi 32$ mm. alt sıralarında ise $\Phi 40$ mm. lik çelik barlar kullanılmıştır.
- Ankraj plakası: Ankraj plakası olarak 200mm. x 200mm. ebatlarında ve 10mm. kalınlığında Fe37 çelik palaka kullanılmıştır.
- Somun: Somun ankraj çubuğunu ankraj palakasına bağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Fe37 özelliğinde olması gerekmektedir.
- Dış enjeksiyon tüpü: PVC bir tüptür , çivinin etrafına spiral bir şekilde sarılarak enjeksiyonun akışını sağlar ve enjeksiyonun çivi delgisinin en sonundan başlayarak tamamını doldurmaya yarar. Tüp minimum 20mm çapında ve 10 atm basınca dayanıklı olmalıdır. Zemin çivilerinin 6.0 m den uzun olduğu uygulamalarda iki adet tüp kullanılmalıdır. Bu tüplerden biri çivinin uzunluğunca diğerisi ise çivi uzunluğunun yarısı kadar olmalıdır. İç enjeksiyon tüpü: Kalıcı zemin çivisi uygulamalarında polietilen tüpün



Şekil 7.2 Tasarımda kullanılan zemin çivisinin tipik görünümü

içinde yer alıp çelik çubuğun etrafına sarılan PVC tüptür. Minimum 20 mm çapında ve 10. atm basınca dayanıklı olmalıdır

- Merkezleyici: Zemin çivisi çelik barını delginin ortasında merkezleyip enjeksiyonun çelik çubuğun etrafına dolmasını sağlayan PVC den yapılan elemandır.
- Dişli polietilen tüp: Kalıcı zemin çivisi uygulamalarında kullanılan iç ve dış enjeksiyon tüplerinin arasında yer alan koruyucu tüptür.

7.5.2 Püskürtme Beton

Püskürtme betonunda Su/Çimento oranı $s/\ç=1/1$ olmalıdır. Çimento olarak PÇ 42.5 kullanılmalıdır. Zorunlu olmadığı müddetçe plastifiyan kullanılmamalıdır. Plastifiyan kullanıldığı zaman kullanılan malzeme asidik veya bazik olmayıp pH değeri 5-9 olmalıdır. Püskürtme beton kuru karışım ve yaş karışım olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Agregada dane boyutu 16 mm den büyük olmamalıdır. Püskürtme beton karışımlarında çimento dozajı minimum 390 kg/m^3 olmalıdır (FHWA-SA-96-069). Uygulamalarda görülen şu ki 400 kg/m^3 dozajlı beton karışımı püskürtülme ve yapışma açısından en olumlu sonucu vermektedir. Labaratuvarında yapılan basınç deneylerinde 400 dozlu püskürtme betonun 28 günlük mukavemeti 20 Mpa dan büyük sonuçlar vermiştir.

7.5.3 Hasır Çelik

Tekfen Towers projesinde Q131/131 hasır çelik kullanılmıştır. Q131/131 hasır çeliğin özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Hasır çeliğin boyu ve eni: 5.00 m x 2.15 m
- Hasır çeliğin açıklıkları: 150 mm x 150 mm
- Çelik çubukların çapı : 5 mm
- Donatı alanı: $1.31 \text{ cm}^2/\text{m}$ (her iki doğrultuda)
- Ağırlık: 2.06 kg/m^2 ve $21.71 \text{ kg/hasır çelik plakası}$

7.6 Aletsel Gözlemler

Tekfen Towers projesinin inşaatı süresince, kazının emniyetini kontrol etmek, inşaat maliyetlerini minimum düzeyde tutabilmek ve daha çok veri elde edip yanal deplasmanları kontrol edebilmek amacıyla aletsel gözlemler yapılmıştır. Kazı esnasında aletsel gözlemlerin yapılmasının nedeni kazı ilerledikçe meydana gelen deplasmanların kontrol edilip gereken acil kararların alınmasıdır (Peck, 1973). Yapılan gözlemler sonucunda meydana gelen

deplasmanlardan dolayı müdahale söz konusu olursa bu müdahale uygun görülen tasarıma dayandırılarak yapılmalıdır. Bir inşaatta özellikle de bu tür derin kazı projelerinde en önemli husus kazının emniyetidir bu sebepten dolayı bu tür derin kazı işlerinde aletsel gözlemler yapmak kazının emniyetli bir şekilde yapılmasının sağlamak açısından şarttır.

Tekfen Towers projesinde toplam kazı alanı daha büyük olmasına rağmen en ekonomik çözümün elde edilebilmesi için iksa kesitleri, minimum emniyet katsayısını sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Zemin çivili iksa sistemi diğer iksa sistemlerine oranla uygulama açısından daha esnek olması sebebiyle kazı esnasında başlangıçta yapılan tasarımda bir takım revizyonlar yapılmasına elverişlidir. Zemin çivili iksa sisteminin bu özelliğinden dolayı iksa yüzeylerinde yanal yüklerden meydana gelen deplasmanlardan dolayı ilave çiviler yapılması kolaydır. Zemin çivili iksalarda bu tip deformasyonların gözlemlenebilmesi ve bu deformasyonların emniyetli sınırlarda olup olmadığını takip edebilmek için kazının başlangıcından sonuna kadar düzenli olarak okumalar alınmalıdır. Bunun yanında zemin çivili iksa sistemlerinde çivilerin çekme kuvveti olarak sistemi çalışır hale getirmesi için bir miktar deplasman yapmaları gerekmektedir ve bu deplasmanlar inklinometrik gözlemlerle takip edilmelidir.

Tekfen Towers projesinde arazinin topoğrafyası nedeniyle cephelerin farklı derinlikte olmasından dolayı kazının üç cephesine toplam beş adet inklinometrik gözlem borusu yerleştirilmiştir. Borular kazı yüzeyin çok yakın noktalarına yerleştirilmiştir. İnklinometrik gözlem çukurlarının derinlikleri 20.50 m. ile 29.50 m. arasında değişmektedir.

Kazı sahasının kuzey cephesine A2 ve A4 olarak tanımlanan iki adet, güney cephesine A6 ve A7 olarak tanımlanan iki adet ve kısa olan doğu cephesine de A1 olarak tanımlanan bir adet inklinometrik gözlem boruları yerleştirilmiştir.

İnklinometrik gözlem için kuyulardan alınan okumalar kazı kademeleri ilerledikçe yani derinlik arttıkça düzenli olarak alınmıştır. Kazı tamamlandığında elde edilen veriler doğrultusunda en büyük deplasman A1 inkesunda 45 mm. okunmuştur ve bu değer o cephedeki iksanın toplam yüksekliğinin %0.18 ine denk gelmektedir. Minimum deplasman da A4 inkesunda 10 mm. olarak okunmuştur ve bu değer cephedeki iksanın toplam yüksekliğinin %0.05 ine eşittir. Bu değerler diğer zemin çivili iksalarda gözlemlenen izin verilebilir maksimum değer %0.5 in altında olduğundan oldukça emniyetlidir.

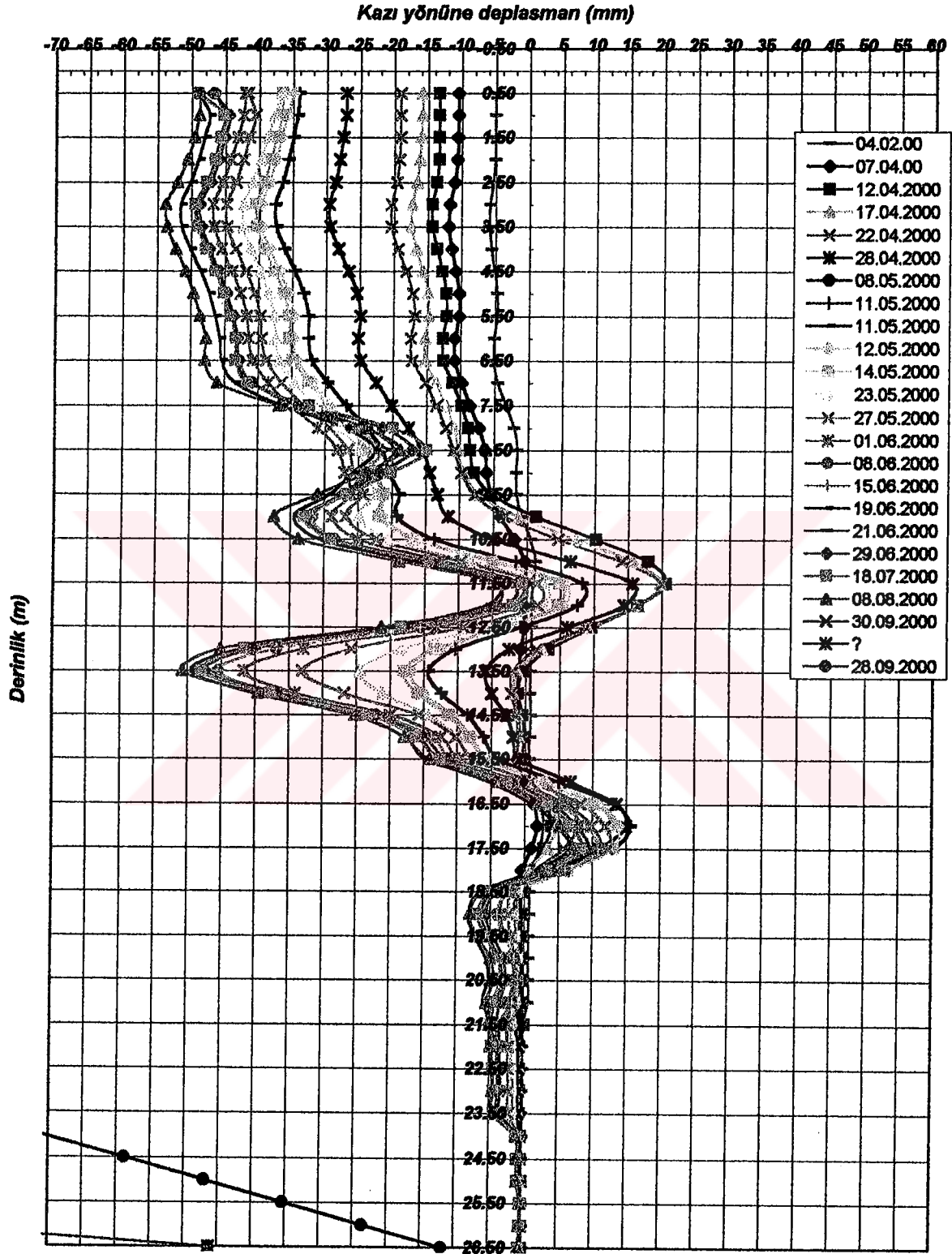
Ayrıca grafiklerden görüldüğü gibi meydana gelen yatay deplasman kazı derinliği arttıkça azalmaktadır ve kazı derinliği arttıkça yatay deplasman artmaktadır. Cephelerde meydana

gelen maksimum deplasmanlar Çizelge 7.1 de verilmiştir. Bu tablodan da görüldüğü gibi meydana gelen deplasmanların uç değerleri duvar yüksekliklerinin %0.05 ile %0.18 i arasında değişmektedir. Bu deplasman değerleri yayımlanmış olan başka zemin çivili iksaların deplasmanlarında gözlemlenen ve izin verilen maksimum değer olan iksa yüksekliğinin %0.5 sonucuyla örtüşmektedir. Neticelerden görüldüğü gibi A1 inkosunda meydana gelen deplasman diğer inkolarda meydana gelen deplasmanın çok üzerindedir bunun sebebi de A1 inkosunun bulunduğu doğu cephesinde grovakın daha zayıf olmasıdır.

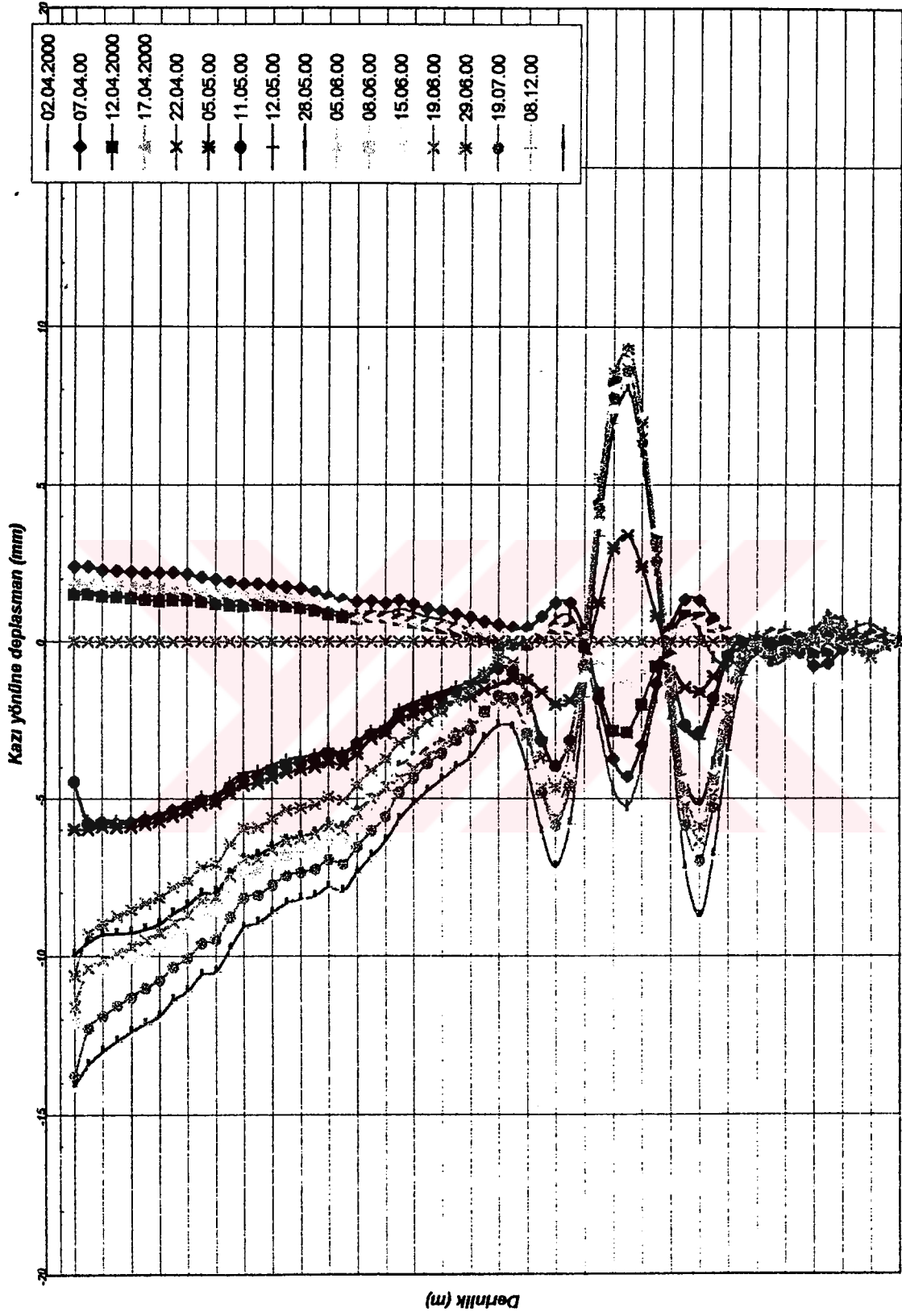
Bu proje ekonomik ve emniyetli bir tasarım yapabilmek için aletsel gözlem yapmanın ne kadar gerekli olduğunu ispatlamaktadır. Zemin araştırmaları zemin profili hakkında genel bir fikir vermektedir bir zemin araştırmasında incelenen bölgede yer alan lokal zayıf bir bölgenin tespiti oldukça zordur. Bu tür zayıf bölgeler yapılan iksa duvarlarının performansının yetersiz kalmasına neden olup tehlikeli neticeler meydana getirebilir. Aletsel gözlem yapılması durumunda imalatın her kademesinde duvarların performansı gözlemlenip gerekli olduğu takdirde duvar emniyet yada ekonomi sağlamak için değiştirilebilir. Cephelere ait inklinometrik gözlem sonuçları Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 Cephelerde oluşan maksimum deplasmanlar

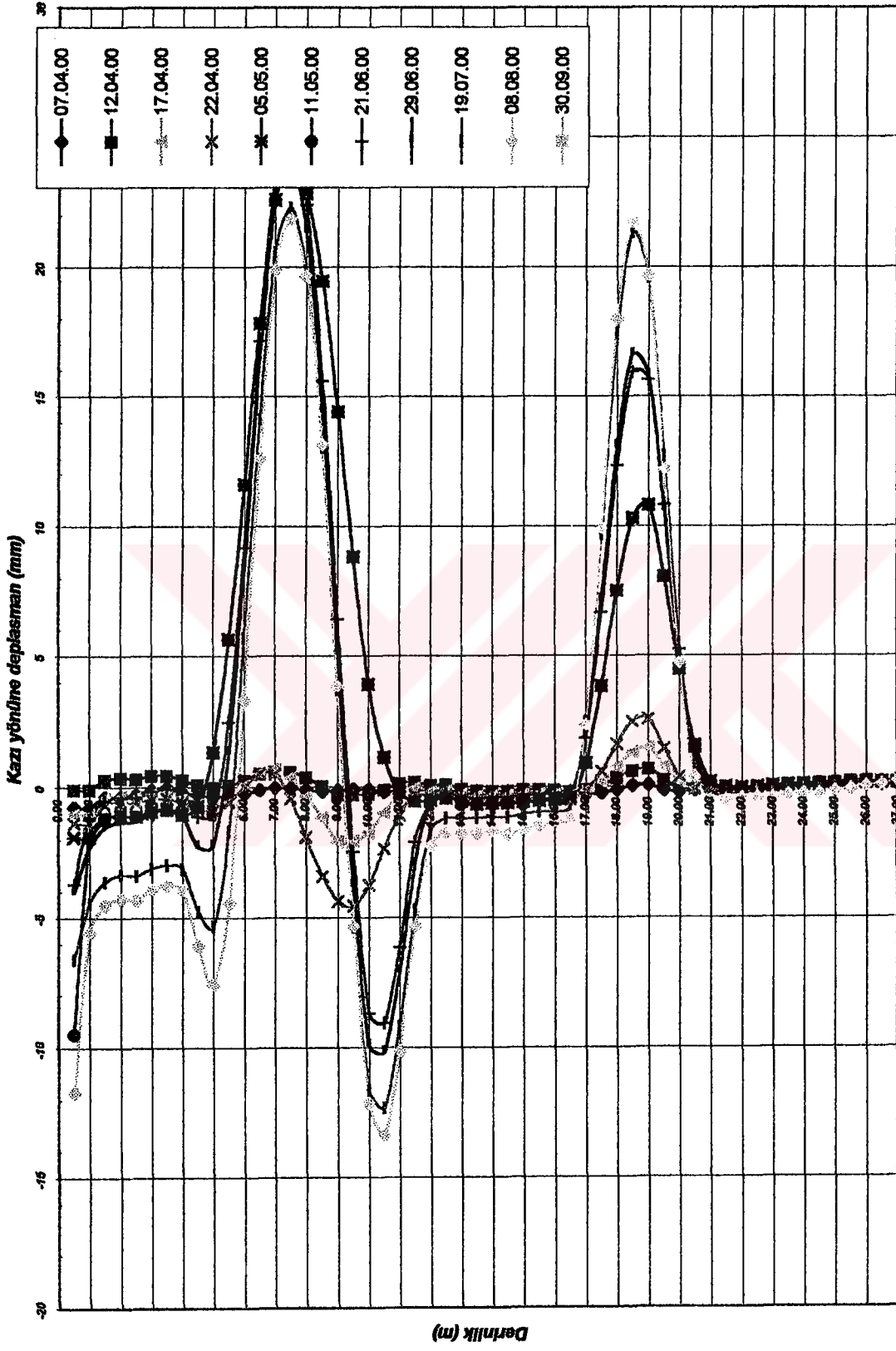
İnklinometre no	Duvar Yüksekliği (m)	En Yüksek Deplasman (mm.)	Deplasmanın Duvar Yüksekliğine Oranı
A1	25.0	45	0.18
A2	24.0	15	0.06
A4	20.0	10	0.05
A6	19.5	10	0.05
A7	24.0	20	0.08



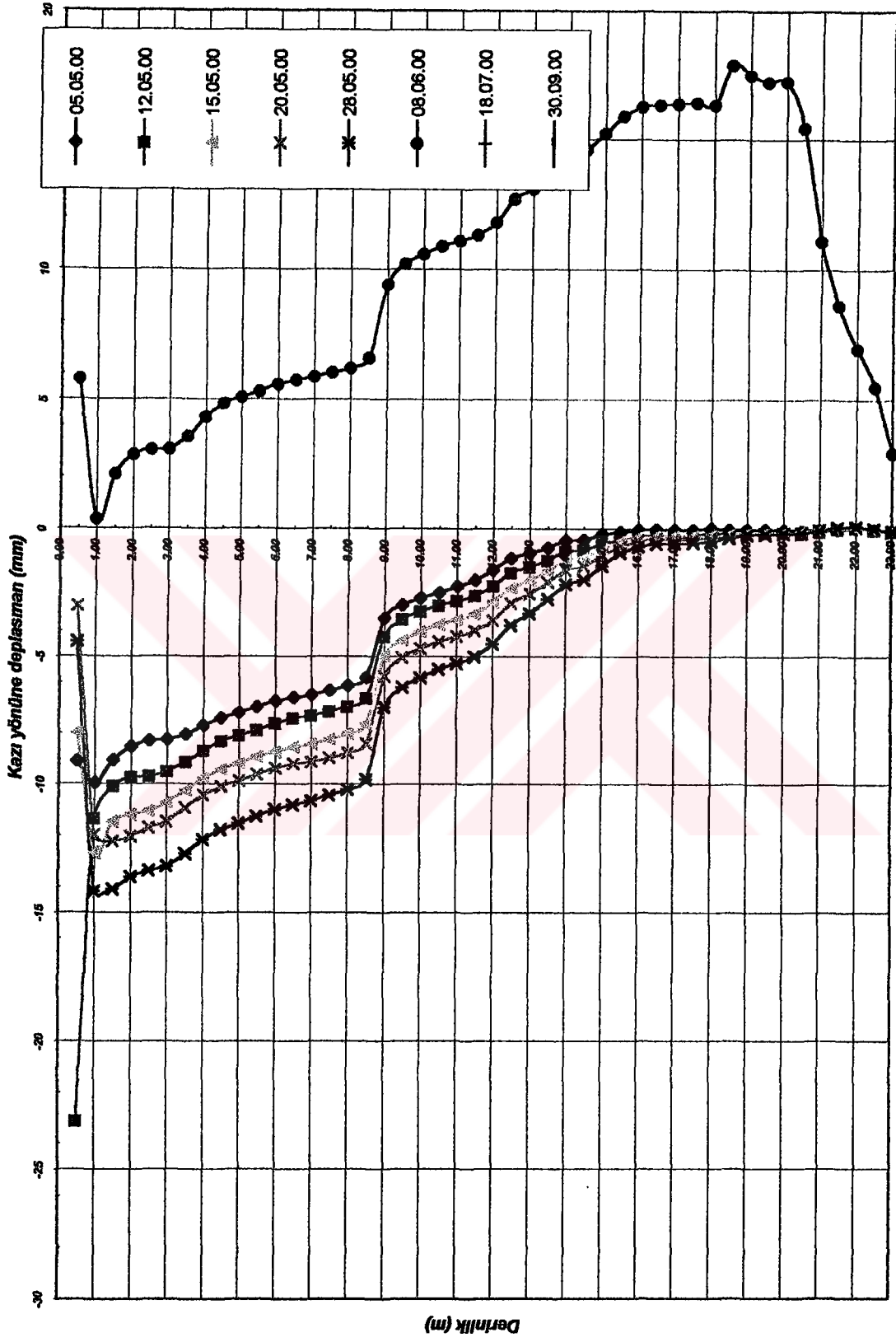
Şekil 7.3 A1 inkosunun diyagramı



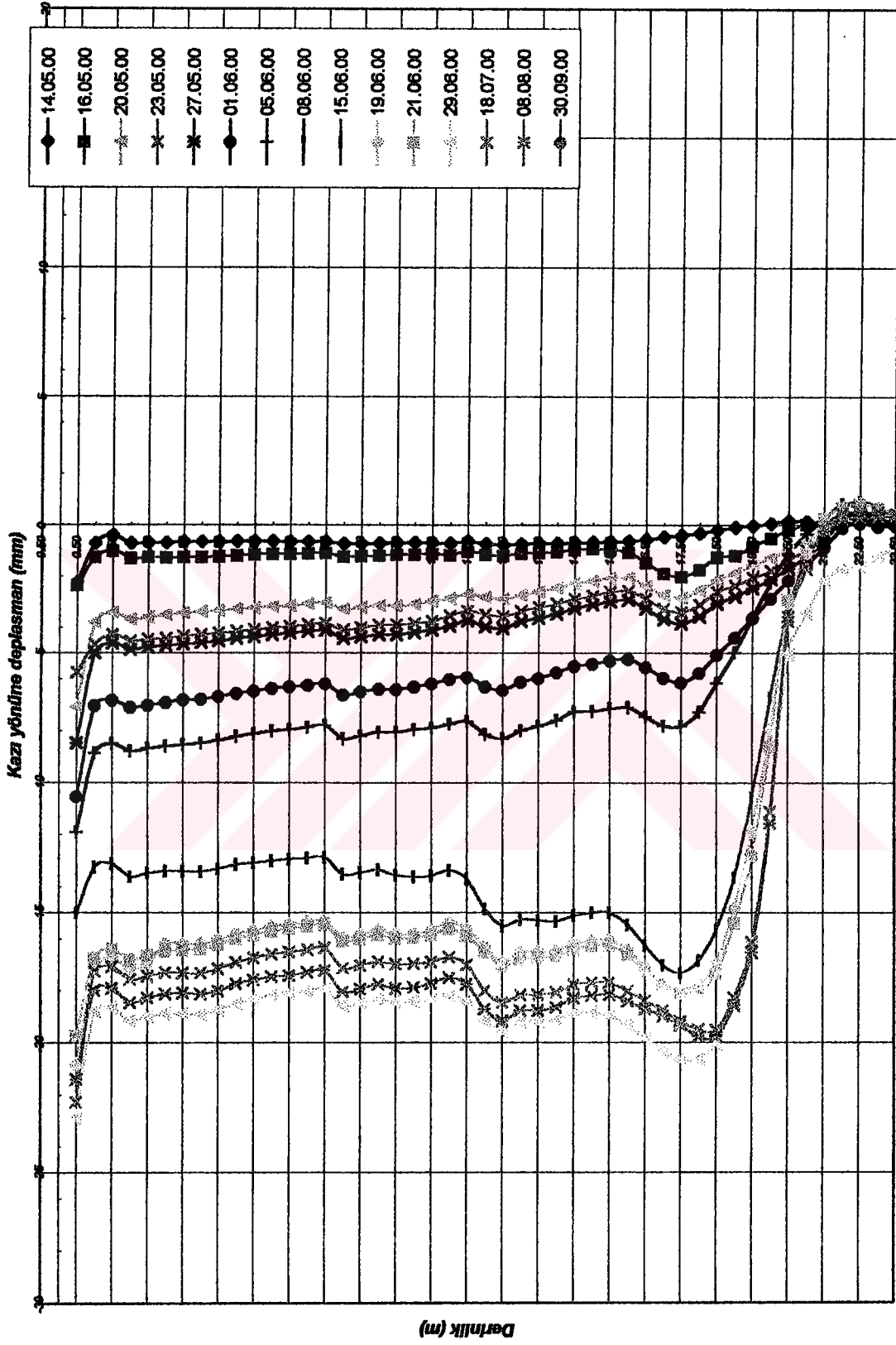
Şekil 7.4 A2 inkosunun diyagramı



Şekil 7.5 A4 inkosunun diyagramı



Şekil 7.6 A6 inkosunun diyagramı



Şekil 7.7 A7 inkosunun diyagramı

8 FLAC PROGRAMI

FLAC mühendislik mekaniği problemlerini çözmek için yazılmış olan iki boyutlu explicit yöntemli bir sonlu farklar programıdır. Bu program akma sınırını aşan gerilmeler altında kaldığında plastik deformasyona maruz kalabilen zemin, kaya veya diğer tanımlı materyallerden meydana gelen yapıların yük altındaki davranışlarını modelleyebilmektedir. Program içerisinde materyaller elemanlar veya alanlar olarak tanımlanmakta olup kullanıcı tarafından analiz edilmekte olan problemin geometrisine esnek yapılu gridler yardımı ile adapte edilirler. Etki eden kuvvetler altında ve ilgili modeldeki sınır koşulları dikkate alınarak her bir eleman önceden tanımlanan lineer veya non-lineer gerilme/uzama modeli çerçevesinde davranış gösterir. Problemin çözümü esnasında materyaller akma sınırını geçip akma deplasmanlar açısından akma özellikleri gösterebilir ve tanımlanan grid materyal ile birlikte büyük deformasyonlar gösterebilir (büyük deformasyon modu). Explicit Lagrangian hesaplama modeli ve mixed-discretization zoning tekniği ile plastik göçmeler ve akma sınırının ötesindeki davranışlar FLAC programı ile çok gerçekçi ve hassas bir şekilde modellenebilmektedir. Hesaplamalarda matriks çözüm kullanılmadığı için geniş iki boyutlu modeller aşırı hafıza gereksinimi olmadan çözülebilmektedir. Explicit formüllemenin zayıf kaldığı noktalar (küçük zaman adımları zorunluluğu ve ihtiyaç duyulan sönümlenme) otomatik sönümlenme ve atalet ölçeklendirme teknikleri ile göçme modunu etkilemeyecek şekilde bertaraf edilebilmektedir.

Esas olarak geoteknik ve maden mühendisliği uygulamaları için geliştirilmiş olan FLAC programı çok kompleks ve büyük boyutlu mekanik problemleri çözebilecek kapasitededir. Önceden tanımlanmış olan birçok yapısal model yüksek derecede non-lineer, geri dönüşü olmayan deplasmanlara sahip materyalleri modellemeye olanak vermektedir. Bunlara ek olarak FLAC programı kendisine özgü birçok özellik içermektedir. Bu özellikler aşağıda özetlenmektedir.

- Kayaçların süreksizliklerini ve kaymalarını modellemek için arayüzey elemanları.
- Düzlemsel-deplasman, düzlemsel-gerilme ve eksenel simetri geometri modları.
- Otomatik yeraltı suyu seviyesi hesaplamalı yeraltı suyu ve konsolidasyon problemleri.
- Yapısal desteklemeleri modellemek amacı ile tünel kaplamaları, kaya bulonları ve temel kazıkları.
- Tüm problem değişkenlerini görselleştirebilen plot opsiyonu.
- Opsiyonel dinamik analiz kapasitesi.

- Opsiyonel viskoelastik ve viskoplastik (sünme) modelleri.
- Opsiyonel termal gerilme ve boşluk suyu basıncı analiz kapasitesi.
- Boşluklu yapıya sahip modellerde su ve gazların iki yönlü akımını modelleme kapasitesi.
- Kullanıcı tarafından C++ programı kullanılarak yeni zemin/eleman modelleri türetme yeteneği.

FLAC programı ayrıca kendisine özgü ve FISH adı verilen bir programlama diline sahiptir. FISH programlama dili kullanılarak analiz edilen probleme özgü yapısal modeller ve fonksiyonlar oluşturulabilir. FISH programlama dili sonuç olarak çok özel durumların dahi FLAC programı ile çözülebilmeye olanak tanımaktadır.

FLAC programı sahip olduğu görsel menüler vasıtası ile veya direkt olarak command prompt hanesine komutlar yazılarak işletilebilir. Komutların direkt olarak girilmesi durumunda kullanıcı komutlara hakim olmak durumundadır ve bu yöntemin birçok avantajı vardır.

8.1 Explicit Sonlu Farklar Metodu

FLAC bir “Lagrangian analizi” yapan “explicit-sonlu farklar programı” olarak tariflendiğinden beri, biz ilk olarak terimleri incelemek ve nümerik modellemeyi geliştirmek için bu terimlerin birbiri ile bağıntılarını tanımlamalıyız.

Sonlu Farklar metodu, verilen ilk değerler ve sınır değerleri verilen diferansiyel denklemlerin çözümlenmesi için kullanılan, belki en eski nümerik tekniklerden biridir. Sonlu farklar metodunda, hesaplanacak eşitliklerin kurulmasında her türevlerin yerine, uzayda ayrık noktalarda, saha değişkenlerinin (gerilme yada yerdeğiştirme) yazılan cebirsel terimler koyulur.

Buna karşı, sonlu eleman metodunda, parametreler tarafından kontrol edilen öngörülen bir biçimde, baştan başa her elemanda alan nicelikleri merkezi çeşitli olan özel fonksiyonlar kullanılır. Formülasyon, enerji terimi ya da hata terimini en aza indirmek için bu parametrelerinin düzeltilmesini kapsamaktadır.

Her iki metod da çözüm için bir cebirsel eşitlik kurar. Bu eşitlikler oldukça farklı yöntemlerden elde edilseler bile, her iki metod için sonuç eşitliklerinin özdeş olduğunu göstermek kolaydır. Sonlu farklar veya sonlu elemanların bağıl değerleri hakkında tartışmak gereksizdir. Yani, sonuç veren eşitlikler aynıdır.

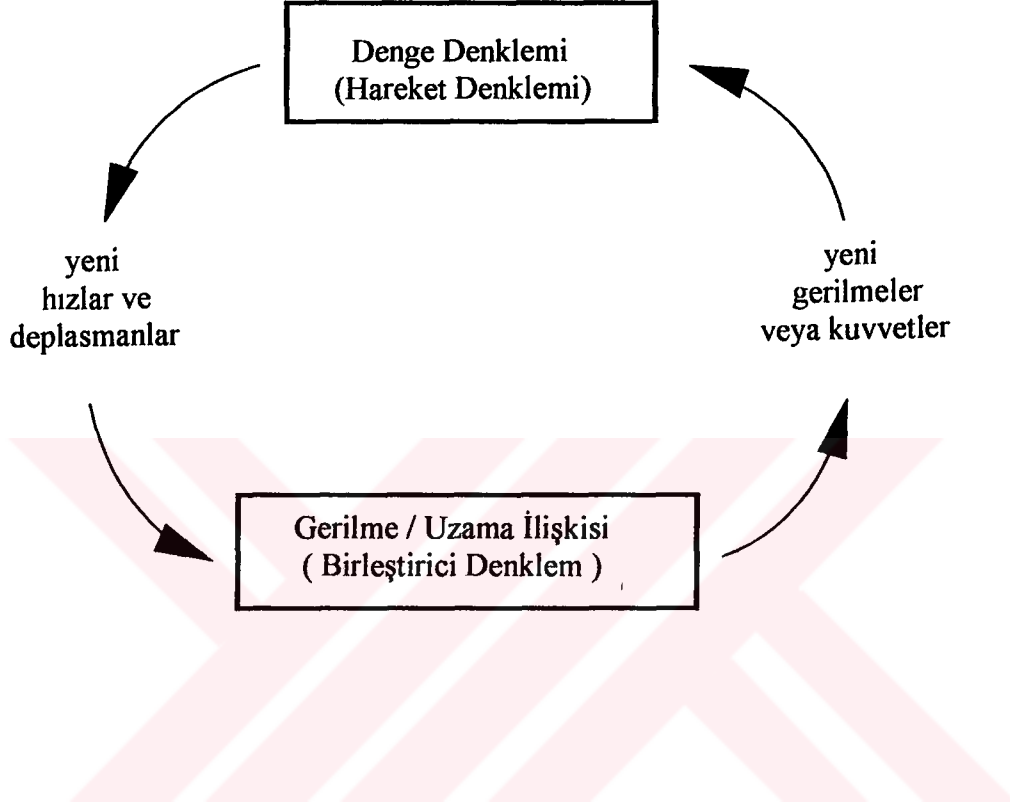
Bu nedenle, sonlu elemanlar metodu sık sık geniş bir global rijitlik matrisi içine eleman matrislerini birleştirirken, bu olayı sonlu farklar yöntemi ile normal olarak yapılmaz çünkü her adımda sonlu farklar elemanını yenilemek nispeten etkilidir. Aşağıda açıklandığı gibi, FLAC cebirsel eşitliklerin çözümlenmesinde explicit metod olarak kullanılır. Fakat dolaylı olarak, implicit matris çözümü sonlu elemanlarda daha yaygındır.

Sonuç olarak bir sürekli söylenceden kurtulunmalıdır. Bir çok insan sonlu farkların dikdörtgen biçiminde gridlerle sınırlandırıldığına inanırlar. Bu doğru değildir. Wilkins (1964), herhangi bir şekilde elemanın farklı eşitliklerini elde eden bir metod olarak hazırlamıştır. Bu metod FLAC' te kullanılmıştır. Bu sonlu farklar ve dikdörtgen matris için yanlış inanış, materyal özelliklerinin dağılımına ve sınır şekillerinin bir çok durumlarının güvenilirliğine bağlıdır. Wilkins'in metodunu kullanarak, sınırlar herhangi bir şekilde, herhangi bir eleman herhangi bir özelliğe sahip olabilir.

8.2 Expilicit, Zaman-Adımlı Tasarım

Biz FLAC programını bir problemin statik çözümleri için kullanmak istesek bile, dinamik hareket eşitliğini formüle dahil edilir. Bunu yapmamızın bir nedeni, fiziksel sistemin modellemesinin kararsız, değişken olduğunda, nümerik tasarımlarda kararlı olarak kesinleştirmesidir. Lineer olmayan materyallerde daima fiziksel kararsızlık durumu mevcuttur (Örnek; direklerin ani çökmesi gibi). Gerçek hayatta, bir sistem içindeki gerilme enerjisi, bir merkezi kaynaktan yayılan ve yok olan kinematik enerjiye dönüştürülür. FLAC bu gelişimi direkt olarak modeller. Çünkü atalet terimleri, oluşan ve dağılan kinematik enerjiyi dahil eder.

FLAC'ta somutlaştırılan genel hesaplama dizisi Şekil 8.1'de gösterilmektedir. Bu işlem kuvvetlerden ve gerilmelerden yeni hızlar ve deplasmanlar elde etmek için hareket denklemleri oluşturur. Sonra, hızlardan uzama oranları ve yeni uzama oranlarından ise yeni gerilme değerleri elde edilir. Bu döngüdeki her devir için, bir zaman birimi alınır. Önemli olan Şekil 8.1'deki her kutudaki grid değişkenlerinin yenilenmesidir. Örnek; alttaki kutu her bir eleman için daha önceden hesaplanmış hız değerlerini alır ve yeni gerilme değerlerini hesaplar. Hızlar kutunun operasyonu için donmuş olarak kabul edilir. Örnek; yeni hesaplanmış gerilmeler hızları etkilemez. Bu anlamsız görülebilir, çünkü herhangi bir yerde gerilmeye değişiklik meydana gelmesi durumunda bu durum civarda da etkili olup hızlarda değişmeye neden olur. Bununla birlikte bir elemandan diğer elemana herhangi bir bilgi akışının olamayacağı kadar dar zaman dilimi seçiyoruz.



Şekil 8.1 Explicit hesap döngüsü (FLAC)

8.3 Kesitlerin Modellenmesinde Kullanılan Parametreler

FLAC programında püskürtme betonlu kaplamayı Beam eleman olarak tanımladık. Beam elemanını oluşturduğumuz gridlerle etkileştirmek için (Grid= i,j) Struct komutu altında tanımlandı. Eğer grid ile beam elemanı aynı koordinatlara sahipse Alt komut kullanılmadığı takdirde etkileşim sağlanmaz.

Zemin çivili duvar elemanları= çiviler (cable) + Püskürtme beton (beam) + Zemin (Mohr)

8.3.1 Püskürtme Betonun Modellenmesi

Püskürtme beton Beam elemanı olarak modellendi. Püskürtme beton için alınan yapısal özellikler şöyledir;

Çelik için

Young modülü; $E= 200 \times 10^9 \text{ N/m}^2$

Poisson oranı; $\nu= 0.30$

Püskürtme betonlu yüzey kaplamasında BS 30 kalitesinde beton kullanılmıştır.

Young modülü; $E= 31.8 \times 10^9 \text{ Pa}$ ($\text{Pa} = \text{N/m}^2$)

Poisson oranı; $\nu= 0.15 - 0.20$

Yoğunluk; $\gamma= 2400 \text{ kg/m}^3$

Beam elemanı Analiz düzlemine dik ve sürekli olduğu durumlarda (örnek tünel kabuğu)

Young modülü (E) düzlem gerilme durumları için $(1-\nu^2)$ değerine bölünmelidir Denkelem 8.1.

$$E= \frac{E}{(1-\nu^2)} \quad (8.1)$$

Püskürtme beton için;

$$E= \frac{31.8 \times 10^9}{(1-0.20^2)} = 33.125 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$L= 25.0 / 50 \text{ eleman} = 0.5 \text{ m}$$

$$\text{Beton Kesit Alanı; } A= 0.15 \times 1.0 = 0.15 \text{ m}^2$$

$$\text{Atalet momenti; } I= BH^3/12 = 1.00 \times 0.15^3 / 12$$

$$I= 2.81 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

Kaplamanın ağırlığı ihmal edildi.

8.3.2 Çivilerin Modellenmesi

CABLES (Zemin çivileri) Cable elemanları olarak modellendi

8.3.2.1 Enjeksiyonun Kayma Davranışı

Enjeksiyonun kayma davranışında düğüm noktalarında yay- kayıcı yüzey sistemi olarak tanımlanır. Çivi ile enjeksiyon arayüzeyindeki ve enjeksiyon zemin arayüzeyindeki rölatif deplasmanlar nümerik olarak enjeksiyon kayma rijitliği K_{Bond} olarak tanımlanır. Şekil 8.2

$$F_s / L = K_{\text{Bond}} (u_c - u_m) \quad (8.2)$$

F_s : Enjeksiyonda oluşan kesme kuvveti

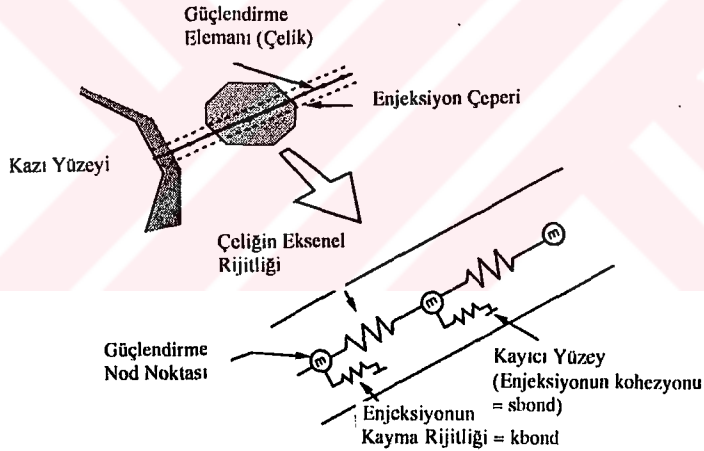
L : Eleman uzunluğu

K_{Bond} : Enjeksiyon kayma rijitliği

u_c : Kablonun aksenal deplasmanı

u_m : Zemin veya kayanın aksenal deplasmanı

Enjeksiyon boyunca etkiyen maksimum kesme kuvveti, enjeksiyonun kohezyonuna ve gerilmeye bağlı sürtünme direncinin fonksiyonudur.



Şekil 8.2 Kablo elemanının mekanik davranışı (FLAC)

Enjeksiyon kaya ara yüzeyindeki rölatif deplasmanın hesabında, kayanın, kablo nodunda kablonun aksenal istikametinde yaptığı deplasmanın hesabı için enterpolasyon şeması kullanılmaktadır. Her bir kablo nodunun ayrı ayrı FLAC bölgesinde olduğu kabul edilir. Enterpolasyon şeması, Herbir düğüm noktasının bulunduğu noda olan mesafesiyle tanımlanan

ağırlık faktörlerini kullanmaktadır. Ağırlık faktörlerinin hesabında moment dengesi kullanılmaktadır.

Aynı interpolasyon şeması, enjeksiyon kaya arayüzeyinde gelişen kuvvetlerin uygulanmasında da kullanılmaktadır.

8.3.2.2 Enjeksiyon Arayüzeyindeki Normal Davranış

Herbir kablo nodunda interpolasyonla grid hızı hesaplaması yapılır. Hız bileşeni normal ortalama aksenal kablo istikametinde direkt olarak noda transfer edilir. Net kuvvet grid ve kablo noduna ters istikamette olacak şekilde etki eder. Eğer kablonun sonlu yer değiştirmesine izin verilirse FLAC' in large-strain modunu kullanarak düz bir kablo normal yüklemeyi taşıyabilir.

8.3.2.3 Kablo Elemanı Özellikleri

FLAC programında kablo elemanı için aşağıdaki parametreler tanımlanmalıdır.

- 1) Kablonun kesit alanı
- 2) Kablonun elastisite modülü
- 3) Kablonun çekme durumundaki akma dayanımı (kuvvet cinsinden)
- 4) Kablonun basınç durumunda akma dayanımı (kuvvet cinsinden)

Kablo ile ilgili özelliklerin bulunması kolaydır fakat enjeksiyonun özelliklerinin hesaplanması zordur. Enjeksiyonun, elastik-kusursuz plastik katı malzeme olarak davrandığı kabul edilir. Rölatif kayma deplasmanı neticesinde u^t , K_{Bond} enjeksiyon rijitliğine bağlı olarak tendon yüzeyi ile delgi yüzeyi arasında F^t kesme kuvveti mobilize olur.

$$F^t = K_{Bond} \cdot u^t \quad (8.3)$$

K_{Bond} genellikle laboratuvar çekme deneyleri neticesinde elde edilebildiği gibi nümerik yoldan da hesaplanabilir.

$$K_{Bond} = 2 \pi G / 10 \ln (1+2t / D) \quad (8.4)$$

G: Enjeksiyonun kayma modülü

t : Enjeksiyonun kalınlığı

D: İyileştirme elemanının çapı

On faktörü bulunulan bölgedeki grid noktası ile delgi yüzeyi arasındaki rölatif deplasman hesabında kullanılır.

Bağlanma kohezyonu ile sürtünme açısı çekme testlerinde elde edilebilir, birim boya etki eden maksimum kesme kuvveti, tepe kayma gerilmesinden hesaplanır (St. John ve Van Dillen, 1983).

$$\tau_{\text{peak}} = \tau_1 Q_B \quad (8.5)$$

Sürtünme etkileri;

$$S_{\text{bond}} = \pi (D + 2t) \tau_{\text{peak}} \quad (8.6)$$

Formülünden hesaplanır.

Çeliğin akma dayanımı

$$\Phi 32, F_y = 420 \text{ Mpa} \times \pi \times 0.032^2 / 4 = 337 \text{ kN} = 3.37 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\Phi 40, F_y = 420 \text{ Mpa} \times \pi \times 0.040^2 / 4 = 527 \text{ kN} = 5.27 \times 10^5 \text{ N}$$

$$SH = 2.0 \text{ yatay aralık değeri için akma mukavemeti } \Phi 32, F_y = 1.69 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\Phi 40, F_y = 3.29 \times 10^5 \text{ N}$$

$$\text{Çelik çubukların kesit alanları: } A_{\Phi 32} = 8.03 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{\Phi 40} = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{Elastisite modülü; } E = 200 \times 10^9 \text{ Pa}$$

$$SH = 2.00 \text{ m için } E = 1 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

$$SH = 1.60 \text{ m için } E = 1.25 \times 10^{11} \text{ Pa}$$

Tendon yüzeyi ile delgi yüzeyi arasındaki rölatif kayma deplasmanı μ^l neticesinde, kablo boyunca oluşan kayma kuvveti F^l enjeksiyon rijitliğine (K_{BOND}) bağlıdır Denklem 8.7

$$F^l = K_{\text{BOND}} \times \mu^l \quad (8.7)$$

Rijitlik ampirik formülle hesaplanabilir

$$K_{\text{BOND}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot G}{\text{LN}(1+2t/D)} \quad (8.8)$$

t = Boşluğun kalınlığı

G = Enjeksiyonun kayma modülü

D = Delgi çapı

$G_{\text{enjeksiyon}}=9 \times 10^9$

$G_{\phi 32}=2.29 \times 10^{10}$ N/m

$G_{\phi 40}=3.49 \times 10^{10}$ N/m

Kablonun metresine etkiyen maksimum kesme kuvveti aşağıdaki formülden yaklaşık olarak bulunabilir

$$S_{\text{BOND}}= \pi \times (D+2t) \times \tau_{\text{max}} \quad (8.9)$$

Grovak için $\tau_{\text{max}}= 450$ kPa (Yüksel Proje, İstanbul Metrosu Projesi)

$S_{\text{BOND}}= 1.5543 \times 10^5$ N/m

SH=2.00 m için $S_{\text{BOND}}= 7.7715 \times 10^4$ N/m

SH=1.60 m için $S_{\text{BOND}}= 9.7143 \times 10^4$ N/m

Yukarıda bulunan S_{BOND} ve K_{BOND} değerleri enjeksiyonun kesme kuvvetine karşı davranışını modellemek amacıyla hesaplanmıştır. Enjeksiyonun birim uzunluğunda oluşan maksimum çekme kuvveti, enjeksiyonun kohezif mukavemetinin ve sürtünme direncinin bir fonksiyonudur.

Zemin çivili sistemlerde, sürtünme direnci kapasitesini bulmak amacıyla aşağıda açıklanan iki durumun irdelenmesi gerekir;

- 1) Zemin ve çivi arasındaki kohezif direnç gözönüne alınarak hesap yapılmalı.
- 2) Zemin ve çivi arasındaki kohezif ve sürtünme dirençlerinin her ikisi birden hesaba katılmalıdır.

Zemin ve çivi arasındaki kohezif direnç gözönüne alınarak hesap yapıldığı birinci durumda düşük çekme kuvvetlerinde direnç aşıldığından dolayı çiviler kazıyı desteklemeye yeterli olmayabilir. Zemin ve çivi arasındaki kohezif ve sürtünme dirençlerinin her ikisi birden hesaba katıldığı durumlarda ise çivilerin sürtünme kapasitelerinde dolayı yüksek aks gerilmeleri oluşur.

8.3.3 Zemin / Formasyon Modellemesi

Zemin modellemesinde üç tip zemin bulunmakta Çizelge 8.1;

Bulk modülü;

$$K = \frac{E}{3 \times (1-2\nu)} \quad (8.10)$$

Çizelge 8.1 Grovakin geoteknik özellikleri (Durgunoğlu, 1997)

Özellik	Örselenmemiş	Örselenmiş
Kohezyon, c (kPa)	500	-
İçsel sürtünme açısı, ϕ ($^{\circ}$)	35-40	14-18
Elastisite modülü, E (Mpa)	2000	100-400
Poisson oranı, ν	0.22	0.35
Doğal Birim Ağırlık, γ_n (kN/m ³)	25.0	20.0

Çizelge 8.2 Tasarımda kullanılan parametreler

Zemin tipi	γ (kg/m ³)	ϕ ($^{\circ}$)	c (N/m ²)	ν	K (N/ m ²)	G (N/ m ²)	E (N/ m ²)
İleri derecede ayrılmış grovak ve dolgu (0-4.0m)	1850	28	0	0.35	2.27×10^7	9.26×10^6	25×10^6
Orta derecede ayrılmış grovak (4.0-9.0 m)	1950	30	1×10^4	0.30	3.33×10^8	1.54×10^8	4×10^8
Sağlam yapıda grovak (9.0 m'nin altı)	1950	30	2×10^4	0.25	4×10^8	2.4×10^8	6×10^9

Kayma modülü;

$$G = \frac{E}{2 \times (1+\nu)} \quad (8.11)$$

Young modülü;

$$E = \frac{9 \times K \times G}{3 \times K + G} \quad (8.12)$$

Poisson oranı;

$$\nu = \frac{3 \times K - 2 \times G}{2 \times (3K + G)} \quad (8.13)$$

Formüllerinden hesaplanarak elde edilmiştir.



9 ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmanın amacı Tekfen Tower projesi kapsamında imal edilen zemin çivili derin kazı iksasının sonlu farklar yöntemi kullanılarak modellenmesi ve analiz sonuçlarından elde edilen yatay deplasman değerlerinin sahada yerinde yapılan inklinometrik okumalar ile elde edilen değerler ile karşılaştırılmasıdır. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak derin kazının ve kazı destek sisteminin modellenmesinde şu an dünya genelinde çok popüler olan akademik ve uygulama amaçlı olarak kullanılan FLAC isimli geoteknik analiz programı kullanılmıştır. FLAC programı kullanılarak yapılan analizlere paralel olarak sahada kazı esnasında meydana gelen yatay deplasmanların gözlemlenmesi inşaat öncesinde belirlenen kritik kesitlere yerleştirilen inklinometreler yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu kritik kesitler kazı derinliği, çevre yapılaşma, diğer canlı yükler ve altyapı dikkate alınarak belirlenmişlerdir.

Tüm geoteknik projelerin tasarımı aşamasında sahada yerinde karşılaşılan zeminin geoteknik/mühendislik özellikleri ile ilgili olarak sahada yerinde yapılan bir takım geoteknik testlere bağlı kalarak bir çok kabul ve varsayım yapılmak zorunda kalınmaktadır. Ortaya çıkan uygulama projesinin pratik anlamda yeterli olması, zeminin geoteknik özellikleri ile ilgili olarak yapılan bu varsayımların sahada karşılaşılan gerçek değerlere yakın olmasına bağlıdır. Aletsel gözlemler bu aşamada dizayn safhasında hesaplanan deplasmanların (dolayısı ile faydalanılan geoteknik parametrelerin) uygulama esnasında tecrübe edilen deplasmanlar ile karşılaştırılmasını olanaklı kılmakta ve sonuç olarak faydalanılan geoteknik parametrelerin geçerliliğini yansıtmaktadır. Bu sebeple, aletsel gözlemlerin gerek kazı esnasında işin sağlıklı ve güvenli bir şekilde yürütülmesi ve gerekse aynı zemin koşullarında yapılacak başka bir tasarımda kullanılmak üzere veri tabanı oluşturulması açısından büyük faydaları vardır. Aletsel gözlemler sonuç olarak geoteknik uygulamalarda ihmal edilmemesi gereken bir konudur.

Bu çalışmada, Tekfen Tower inşaatı kazı destek sistemine ait üç farklı/temsili kesit üzerinde deplasmanları belirlemeye yönelik olarak FLAC programı kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İlk yapılan analiz “Kesit 1” kesiti için gerçekleştirilmiştir. “Kesit 1” kazı sahasının doğusunda yer alan 40.39 m uzunluğunda cepheye ve 25.0 m kazı derinliğine sahip en derin kazının gerçekleştirildiği cephedir. FLAC programı ile yapılan analizlerde öncelikle ilgili kazı kesiti 0.5 x 0.5 m lik gridlerden oluşacak şekilde düğüm noktası koordinatları verilerek tanımlanmıştır ve daha önce söz konusu saha için temel mühendisliği raporları ile belirlenen geoteknik parametreler her bir zemin tabakası için programa verilmiştir. Bu işlemi takiben tanımlanan bu zemin kütesinin zaman içerisinde geoteknik oluşum esnasında yaptığı

oturma programa hesaplatılmıştır (zemin konsolide olmuştur). İkinci aşamada söz konusu kesitte yer alan zemin çivisi kotları ve başlangıç ve bitiş koordinatları, çivi malzemesinin yapısal özellikleri ve püskürtme beton kaplamanın özellikleri tanımlanarak söz konusu kesit kazı kademeleri simule edilerek FLAC programı ile analiz edilmiştir. Programa yaptırılan çözüm neticesinde zemin çivisi ile desteklenen zemin kütesinin ön kaplama yüzeyinin x ve y kartezyen koordinat sisteminde yaptığı deplasmanlar elde edilmiştir. Elde edilen bilgisayar programı sonuçlarında “Kesit 1”de hesaplanan yatay deplasman $\delta_x = 28.21$ mm’dir. Uygulama esnasında yapılan aletsel gözlemler ile belirlenen yatay deplasman ise $\delta_x = 54$ mm’dir. İksanın bu cephesinde meydana gelen yaklaşık 25 mm’lik bu deplasman farkı Şekil 9.1 de görüldüğü gibi kazının ilk 8.0 m’lik bölümünde meydana gelmiştir. Yatay deplasmanlardaki bu farkın sebebi uygulamada da müşahede edildiği gibi bu kesimde zemine nüfuz eden ve zemin çivisi delgileri esnasında da karşılaşılan kanalizasyon sularının zaman içerisinde zemini zayıflatmasıdır.

“Kesit 2” için yapılan ikinci analiz güney cephesinde 21.0 m derinliğe sahip bir kesit üzerinde yapılmıştır. Bu kesit için yapılan analizlere kazı yüzeyine yakın olan 7 m yüksekliğindeki taş duvardan kaynaklanan sürşarj etkisi de dahil edilmiştir. Bu kesitin analizi sonucunda $\delta_x = 19$ mm maksimum yatay deplasman hesaplanmıştır. Uygulama esnasında yapılan aletsel gözlemler ile belirlenen deplasman maksimum $\delta_x = 24$ mm’dir ve bu değer hesaplanan değere oldukça yakın bir değerdir.

Son olarak söz konusu derin kazı iksa sisteminin batı cephesinde yer alan “Kesit 3”ün çözümü yapılmıştır. Analizler sonucu bu kesit için hesaplanan maksimum yatay deplasman $\delta_x = 39$ mm olup, söz konusu cephede aletsel gözlemler ile belirlenen maksimum yatay deplasman değeri $\delta_x = 20$ mm ‘dir.

Tüm analizlerin gerçekleştirilmesinde faydalanılan FLAC programının terminolojisine bağlı olarak hesaplanan yatay deplasmanlara etki eden en önemli faktörlerin zemin tabakalarının elastisite modülleri, E ve poisson oranları, ν olduğu görülmüştür. Bu sebeple zemin tabakaları için hesaplanan ve direkt olarak analizlere dahil edilen E ve ν değerlerinin gerçekçi olarak seçilmesi önem kazanmaktadır.

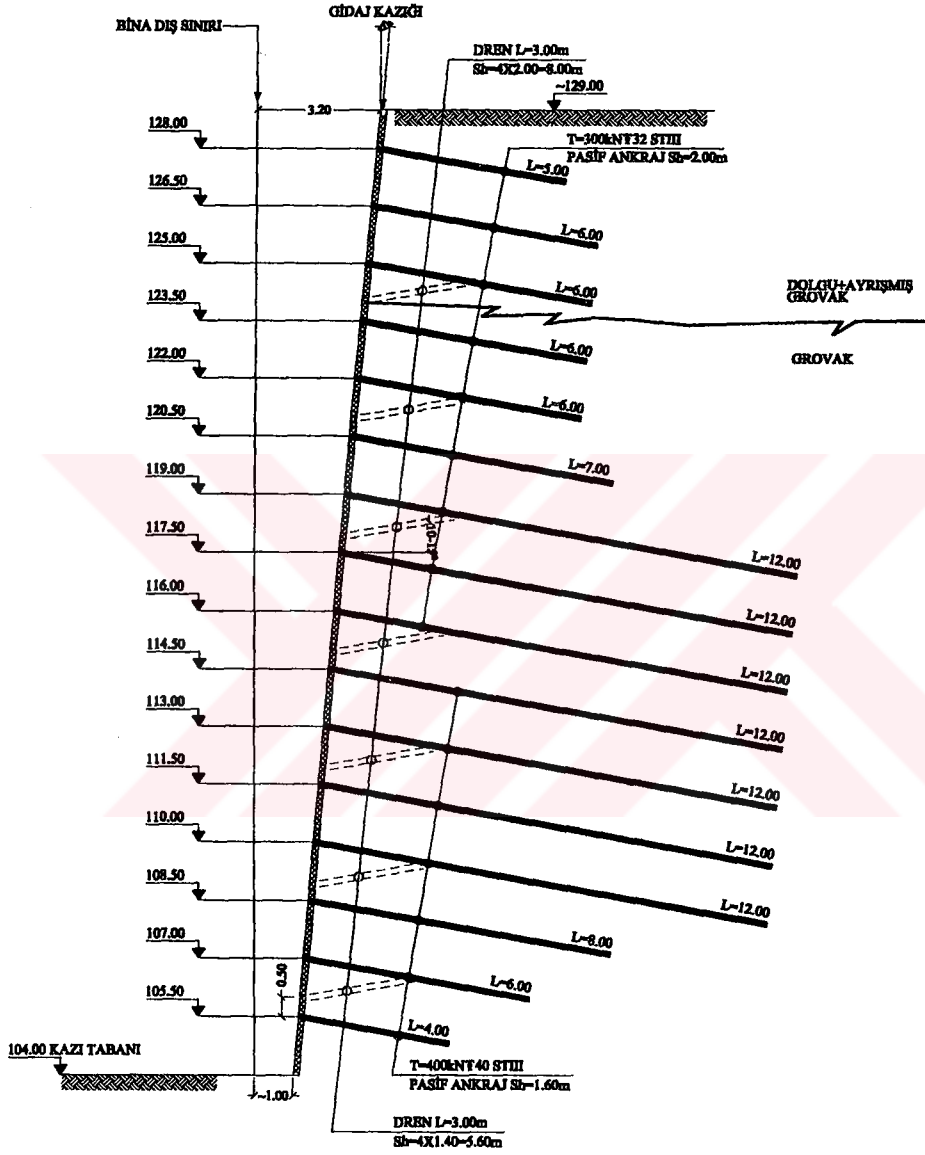
Zemin için kullanılan geoteknik parametreler haricinde kazı destek sisteminde kullanılan püskürtme beton kaplamanın kalınlığı, betonun mekanik özellikleri ve zemin çivilerinin ve enjeksiyonun mekanik özelliklerinin de hesaplanan deplasmanlar üzerinde büyük etkisi vardır. Dikkate alınması gereken diğer bir konu ise zemin çivili/pasif ankrajlı sistemlerin

esnek yapılar olması ve dolayısı ile öngermeli ankrajlı sistemlere oranla deplasmanları daha fazla tolere edebilmesidir.

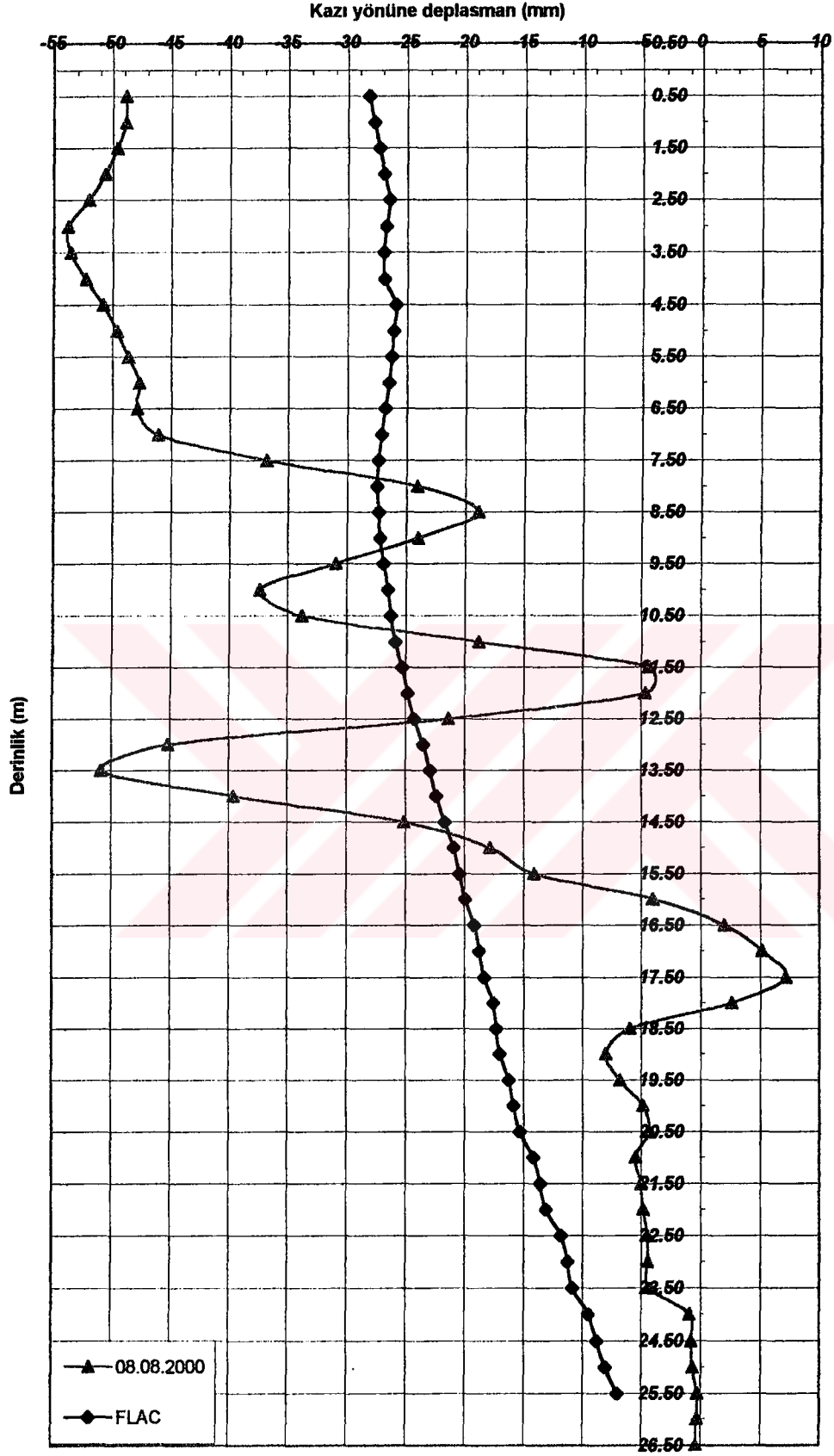
Analizi gerçekleştirilen tüm kesitlerde aynı zemin tabakalanmaları ve benzer tabakalar için aynı geoteknik parametreler kullanılmıştır. Yapılan uygulama esnasında da saha genelinde zemin koşullarının tüm kazı cephelerinde benzer koşullarda olduğu (zemin tabakalanması, tabaka tanıları ve kotları) gözlenmiştir. Hesaplanan ve aletsel gözlemler ile belirlenen deplasmanlar arasındaki küçük mertebeli farkların söz konusu kazı cephelerine özgü bir takım lokal zemin bozuklukları (tabakalanma doğrultusu ve altyapı sebebi ile zeminde biriken suların grovak ana malzemeyi ayrıştırması) sebebi ile oluştuğu düşünülmektedir.

Sonuç olarak, geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan tüm problemler için dikkatli ve gerçeğe yakın bir şekilde seçilen zemin parametreleri ile yapılacak olan analizler inşaat öncesinde deplasmanların tahmin edilmesi açısından büyük fayda sağlamaktadır.

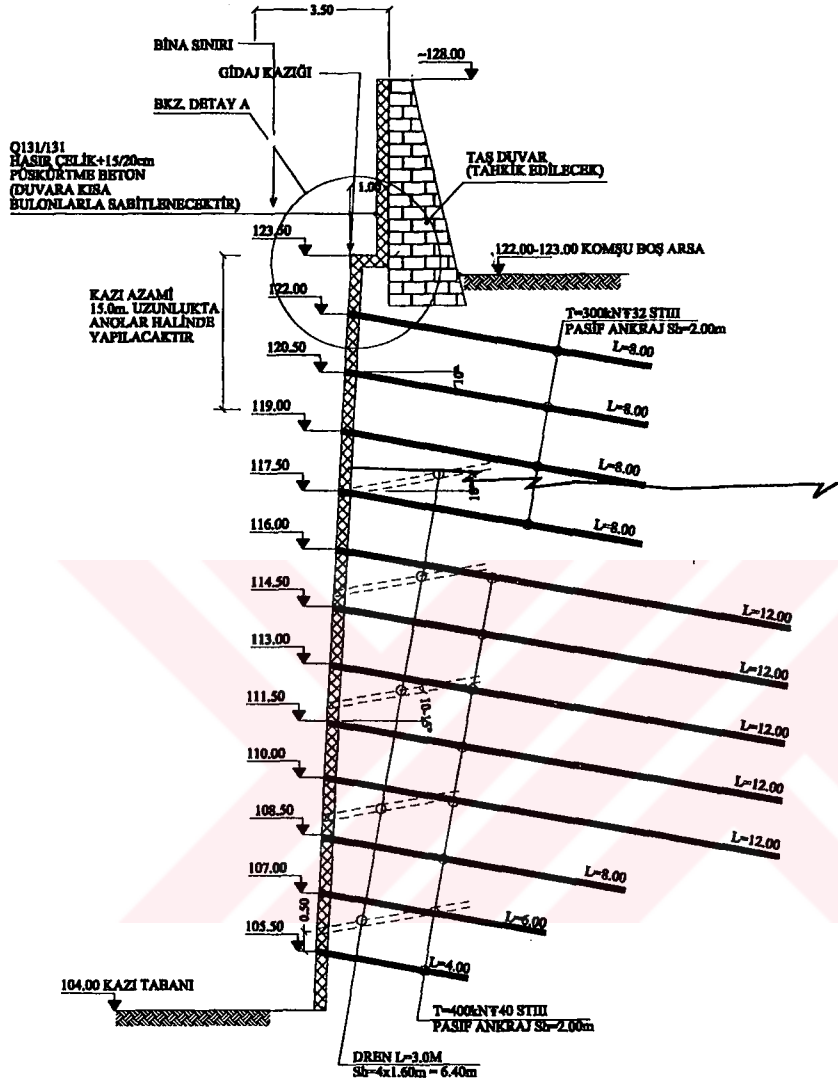




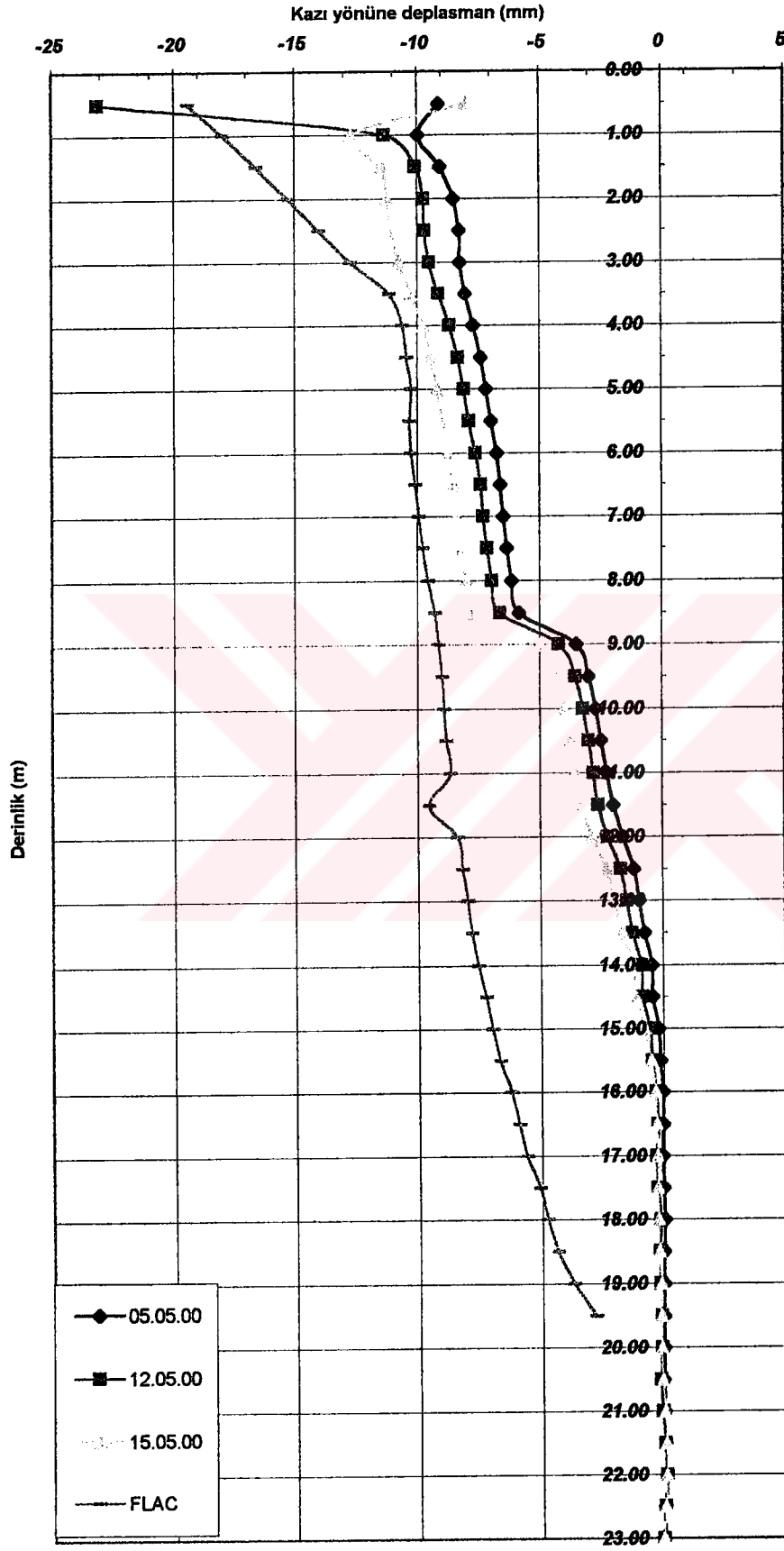
Şekil 9.1 Doğu cephesinde analizi yapılan kesit (Zetaş, 2000)



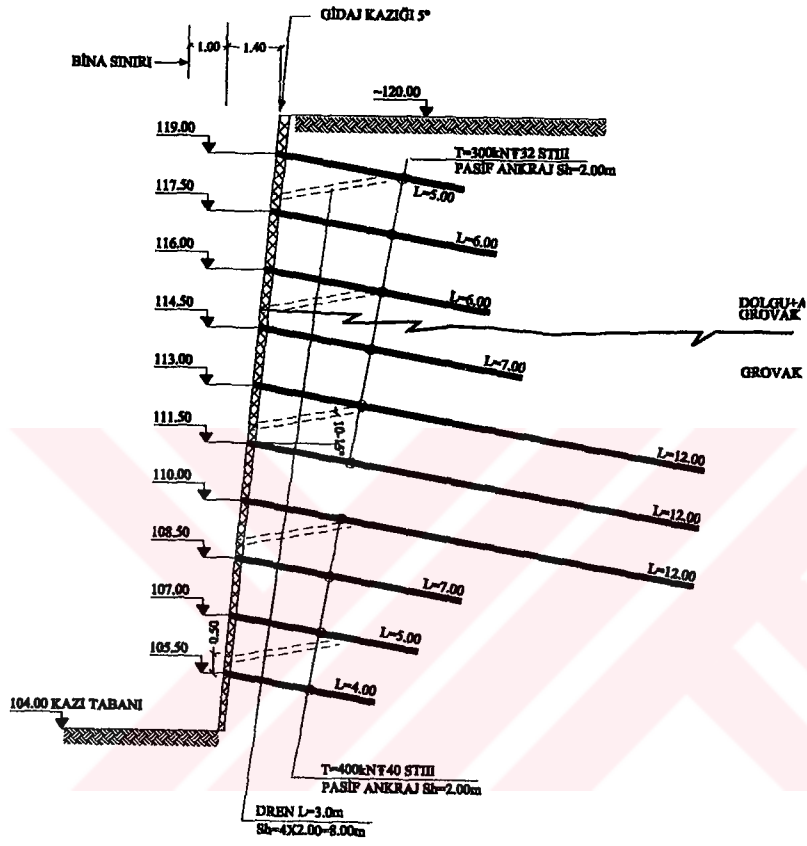
Şekil 9.2 Doğu cephesindeki deplasmanların karşılaştırılması



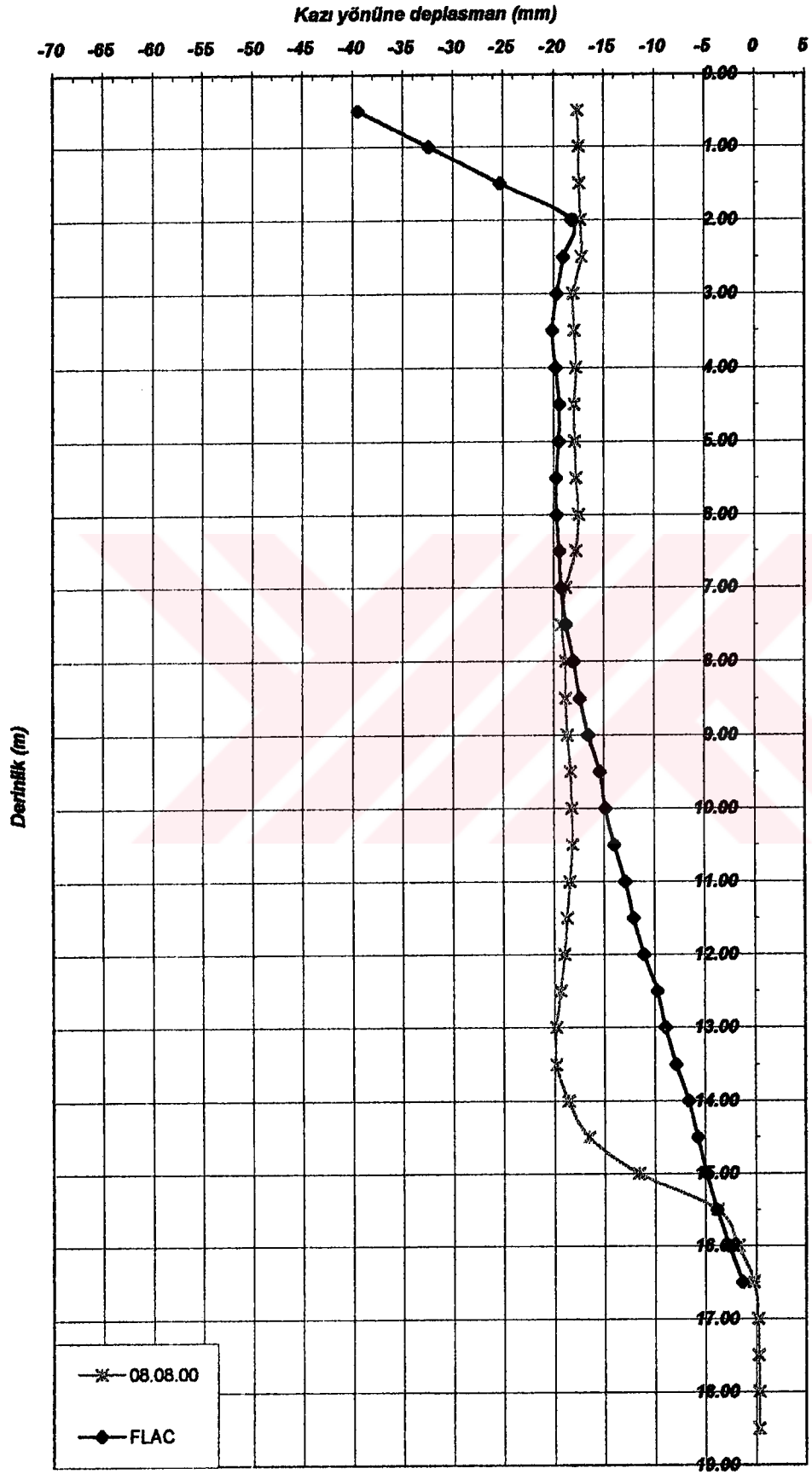
Şekil 9.3 Güney cephesi kesiti (Zetaş, 2000)



Şekil 9.4 Güney cephesi deplasman karşılaştırması



Şekil 9.5 Batı cephesi kesiti (Zetaş, 2000)



Şekil 9.6 Batı cephesi deplasman karşılaştırmaları

KAYNAKLAR

Bang, S., P.P. Kroetch ve C. K. Shen, (1992), " Analysis of Soil Nailing System", in H. Ochiai, S. Hayashi and J. Otani, Earth Reinforcement Practice, Rotterdam, 457-462.

Bruce, D. A. ve R. A. Jewell, 1986, "Soil Nailing Application and Practice- Part 1", Ground Engineering, Vol.19, 10-15.

Bruce, D. A. ve R. A. Jewell, 1986, "Soil Nailing Application and Practice- Part 2", Ground Engineering, Vol.20, 21-22.

Christopher, B. R., S. A. Gill, J. P. Giroud, I. Juran, F. Schlosser, J. K. Mitchell ve J. Dunnicliff, 1988, Reinforcement of Earth Slopes and Embankments- Design and Construction Guidelines-I, STS Consultants Ltd., Illions.

Durgunoğlu, H. T., H. F. Kulaç ve C. G. Olgun (1997), "Flexible Earh Retaining Structures- Soil Nailing", Symposium Honoring Vedat A. Yerlici, Boğaziçi Üniversitesi, 22 May 1997, 287-296

Elias, V. ve I Juran, 1989, Manual of Practice for Soil Nailing, FHWA-RD89-198, Maryland.

French National Research Project Clouterre, 1991, Recommandations Clouterre 1991, Soil Nailing Recommendations, FHWA-SA-93-026, Washington D.C., U.S.A.

Schlosser, F., 1982, "Behaviour and Design of Soil Nailing", Proceeding of the Internaional Symposium on Recent Developments in Ground Improvement Techniques, Asian Institute of Technology, Bangkok, 29 November-3 December 1982, Rotterdam, 399-413

Schlosser, F., C. Plumelle, P. Unterreiner ve J. Benoit, 1992, "Failure of A Full Scale Experimental Soil Nailed Wall by Reducing the Nail Lengths", in H. Ochiai, S. Hayashi ve J. Otani (Eds.), Earth Reinforcement Practise, pp. 531-535, A. A. Balkema, Rotterdam.

Schlosser, F., I. Juran and H. M. Jacobsen, 1983, "Soil Reinforcement", Proceedings of the Eight European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, May 1983, Vol. 2, Rotterdam, A.A. Balkema.

Schlosser, F. and P. Unterreiner, 1991, "Soil Nailing in France: Research and Practise", Proceedings of the 70th International Transportation Research Board Annual Meeting, Washington D.C., U.S.A., 13-17 January 1991.

Schwing, E., 1990, Standsicherheit historischer Stutzwande, Ph. D. Dissertation, University of Karlsruhe.

Schwing, E. and G. Gudehus, 1998, "Soil Nailing-Design and Application to Modern and Ancient Retaining Walls", Proceedings of International Geotechnical Symposium on Seto, P.,G. Won and K. Y. Choi, 1992, "Use of Soil Nailing in Stabilization of A Freeway Embankment", in H. Ochiai, S. Hayashi and J. Otani (Eds.), Earth Reinforcement Practise, pp.537-542, A. A. Balkema, Rotterdam.

Shen, C. K., S. Bang and L. R. Herrman, 1981, "Ground Movement Analysis of An Earth Support System", ASCE, Journal of the geotechnical Engineering Division, Vol. 107, No. GT12, pp.1609-1624.

Shen, C. K., Bang S. and Kroetch P. P., 1992, "Analysis of Soil Nailing System ", in H. Ochiai, S. Hayashi and J. Otani (Eds.), Earth Reinforcement Practise, pp. 457-462, A. A. Balkema, Rotterdam.

Theory and Practise of Earth Reinforcement, Fukuoka, Japan, pp.605-610, Rotterdam, A.A. Balkema.



EKLER

Ek 1 Kesit 1 Data Dosyası ve Analiz Sonuçları

Ek 2 Kesit 2 Data Dosyası ve Analiz Sonuçları

Ek 3 Kesit 3 Data Dosyası ve Analiz Sonuçları



EK 1 KESİT 1 DATA DOSYASI ve ANALİZ SONUÇLARI



***** TEK FEN TOWER KESİT#1 *****

```
>title
>;
>; Grid dimensioning
>grid 42,55
>model mohr
>;
>; Grid Generation
>gen 0,0 0,5 6,5 6,0 i=1,4 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same 0,30 8.19,30 same i=1,4 j=6,56
>gen same same 26,30 26,5 i=4,29 j=6,56
>gen same same same 26,0 i=4,29 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same same 40,5 40,0 i=29,43 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same same 40,30 same i=29,43 j=6,56
>plot hold grid
>;
>; Soil/Formation model type
>prop bulk 2.77e7 shear 9.26e6 fric 28 dens 1850 j 48,55
>prop bulk 3.33e8 shear 1.54e8 fric 30 dens 1950 j 38,47
>prop bulk 4.00e8 shear 2.40e8 fric 30 dens 1950 j 1,37
>;
>; Boundary conditions
>fix x i 1
>fix x i 43
>fix y j 1
>;
>; Initial stresses (active earth pressure)
>ini szz -26716 var 0 26716 j=48,56
>ini sxx -26716 var 0 26716 j=48,56
>ini syy -74000 var 0 74000 j=48,56
>ini szz -45620 var 0 18904 j=38,48
>ini sxx -45620 var 0 18904 j=38,48
>ini syy -171500 var 0 97500 j=38,48
>ini szz -138072 var 0 92453 j=6,38
>ini sxx -138072 var 0 92453 j=6,38
>ini syy -483500 var 0 312000 j=6,38
>ini szz -170572 var 0 32500 j=1,6
>ini sxx -170572 var 0 32500 j=1,6
>ini syy -581000 var 0 97500 j=1,6
>;
>; Gravity
>set grav 9.81
>;
>; Conditions during execution
>set large
>;
>; Displacement monitoring points
>; History of grid variable is stored for every 100 steps
>hist n 100
>; Maximum unbalanced force is stored
>hist unbal
>; Observed points
>hist xdisp i 4 j 56
>hist ydisp i 4 j 56
>hist xdisp i 4 j 50
>hist ydisp i 4 j 50
>hist xdisp i 4 j 44
>hist ydisp i 4 j 44
>hist xdisp i 4 j 38
>hist ydisp i 4 j 38
```

```

>hist xdisp i 4 j 32
>hist ydisp i 4 j 32
>hist xdisp i 4 j 26
>hist ydisp i 4 j 26
>hist xdisp i 4 j 20
>hist ydisp i 4 j 20
>hist xdisp i 4 j 14
>hist ydisp i 4 j 14
>hist xdisp i 4 j 8
>hist ydisp i 4 j 8
>;
>; Consolidate
>solve
>;
>; Save consolidated state
>save s10.sav
Creating new file
>;
>; Plot initial stresses
>plot hold sxx
>plot hold syy
>;
>; Plotting y-displacements
>plot hold yd yellow bound
>;
>; Reset displacement components to zero
>ini xdisp=0
>ini ydisp=0
>ini xvel 0 i 1 43 j 1 56
>ini yvel 0 i 1 43 j 1 56
>fix x y i 1
>fix x y i 43
>fix x y j 1
>;
>; Soil/Formation model type
>prop coh=0 j=48,55
>prop coh=1e4 j=38,47
>prop coh=2e4 j=1,37
>;
>; EXCAVATION STAGE 1
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 52 55
>title
>; Shotcrete properties
>struct prop 1 e=3.18e10 i=4.86e-4 a=0.18
>struct beam beg grid 4 56 end grid 4 55 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 55 end grid 4 54 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 54 end grid 4 53 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 53 end grid 4 52 seg 1 prop 1
>; Nail properties at the top row
>struct prop 2 a=8.03e-4 e=1e11 y=1.69e5 kbond=2.29e10 sbond=2.59e4
>struct prop 2 sfric=19 peri=0.345
>struct cable begin 8.10 29.00 end 13.02,28.13 seg 5 prop 2
>solve
>save s11.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 2
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 49 51

```

```
>title
>struct beam beg grid 4 52 end grid 4 51 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 51 end grid 4 50 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 50 end grid 4 49 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.97 27.50 end 13.88 26.46 seg 6 prop 2
>solve
>save s12.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 3
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 46 48
>title
>struct beam beg grid 4 49 end grid 4 48 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 48 end grid 4 47 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 47 end grid 4 46 seg 1 prop 1
>struct prop 3 a=8.03e-4 e=1e11 y=1.69e5 kbond=2.29e10 sbond=7.77e4
>struct prop 3 sfric=20 peri=0.345
>struct cable begin 7.84 26.00 end 13.75 24.96 seg 6 prop 3
>solve
>save s13.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 4
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 43 45
>title
>struct beam beg grid 4 46 end grid 4 45 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 45 end grid 4 44 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 44 end grid 4 43 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.71 24.50 end 13.61 23.46 seg 6 prop 3
>solve
>save s14.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 5
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 40 42
>title
>struct beam beg grid 4 43 end grid 4 42 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 42 end grid 4 41 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 41 end grid 4 40 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.57 23.00 end 13.48 21.96 seg 6 prop 3
>solve
>save s15.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 6
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 37 39
>title
>struct beam beg grid 4 40 end grid 4 39 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 39 end grid 4 38 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 38 end grid 4 37 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.44 21.50 end 14.33 20.28 seg 7 prop 3
>solve
>save s16.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 7
```

```
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 34 36
>title
>struct beam beg grid 4 37 end grid 4 36 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 36 end grid 4 35 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 35 end grid 4 34 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.31 20.00 end 19.13 17.92 seg 12 prop 3
>solve
>save s17.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 8
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 31 33
>title
>struct beam beg grid 4 34 end grid 4 33 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 33 end grid 4 32 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 32 end grid 4 31 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.18 18.50 end 19.00 16.43 seg 12 prop 3
>solve
>save s18.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 9
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 28 30
>title
>struct beam beg grid 4 31 end grid 4 30 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 30 end grid 4 29 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 29 end grid 4 28 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.05 17.00 end 18.87 14.92 seg 12 prop 3
>solve
>save s19.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 10
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 25 27
>title
>struct beam beg grid 4 28 end grid 4 27 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 27 end grid 4 26 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 26 end grid 4 25 seg 1 prop 1
>struct prop 4 a=1.25e-3 e=1.25e11 y=3.30e5 kbond=3.49e10 sbond=9.71e4
>struct prop 4 sfric=20 peri=0.345
>struct cable begin 6.92 15.50 end 18.74 13.42 seg 12 prop 4
>solve
>save s110.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 11
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 22 24
>title
>struct beam beg grid 4 25 end grid 4 24 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 24 end grid 4 23 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 23 end grid 4 22 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.79 14.00 end 18.61 11.92 seg 12 prop 4
>solve
>save s111.sav
Creating new file
```

```
>;
>; EXCAVATION STAGE 12
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 19 21
>title
>struct beam beg grid 4 22 end grid 4 21 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 21 end grid 4 20 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 20 end grid 4 19 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.66 12.50 end 18.48 10.42 seg 12 prop 4
>solve
>save s112.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 13
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 16 18
>title
>struct beam beg grid 4 19 end grid 4 18 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 18 end grid 4 17 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 17 end grid 4 16 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.52 11.00 end 18.34 8.92 seg 12 prop 4
>solve
>save s113.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 14
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 13 15
>title
>struct beam beg grid 4 16 end grid 4 15 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 15 end grid 4 14 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 14 end grid 4 13 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.39 9.50 end 14.27 8.11 seg 8 prop 4
>solve
>save s114.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 15
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 10 12
>title
>struct beam beg grid 4 13 end grid 4 12 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 12 end grid 4 11 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 11 end grid 4 10 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.26 8.00 end 12.17 6.96 seg 6 prop 4
>solve
>save s115.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 16
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 6 9
>title
>struct beam beg grid 4 10 end grid 4 9 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 9 end grid 4 8 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 8 end grid 4 7 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 7 end grid 4 6 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.13 6.50 end 10.06 5.81 seg 4 prop 4
>solve
Title: EXCAVATION - STAGE 8
```

```

>restore s19.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:10    48207    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 9
>restore s110.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:14    57917    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 10
>restore s111.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:17    66973    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 11
>restore s112.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:21    79132    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 12
>restore s113.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:26    92784    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 13
>restore s114.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:32   108005    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 14
>restore s115.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:39   129989    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 15
>restore s116.sav
The following state has been restored:
      date   time      step      grid
      23-Aug-01 14:52   166494    42 X 55
Saved with version: 4.00:234
Title: EXCAVATION - STAGE 16
>
>; output
>print struct node
Structural Nodes Summary...
  Type 1 (Free)   : 0
  Type 2 (Beam)  : 51
  Type 3 (Cable) : 154
  Type 4 (Pile)  : 0
Available Keywords: POSITION, INFORMATION, SPRING,
                  HINGE, and SLAVE

>print struct beam

```

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
184	16	199	200	1 beam	-4.874E+04	3.134E+05	-2.446E+04	8.792E-02
183	16	198	199	1 beam	-6.370E+03	3.013E+05	-2.766E+04	2.446E+04
182	16	197	198	1 beam	2.931E+04	3.452E+05	-1.296E+04	2.766E+04
181	16	189	197	1 beam	-7.570E+03	3.205E+05	-1.675E+04	1.295E+04
174	16	188	189	1 beam	5.872E+03	3.538E+05	-1.380E+04	1.675E+04
173	16	187	188	1 beam	1.360E+04	3.568E+05	-6.976E+03	1.380E+04
172	16	177	187	1 beam	-2.014E+04	3.314E+05	-1.708E+04	6.976E+03
163	16	176	177	1 beam	2.135E+02	3.619E+05	-1.697E+04	1.708E+04
162	16	175	176	1 beam	1.409E+04	3.692E+05	-9.902E+03	1.697E+04
161	16	161	175	1 beam	-1.599E+04	3.648E+05	-1.791E+04	9.901E+03
148	16	160	161	1 beam	-1.165E+03	3.730E+05	-1.849E+04	1.791E+04
147	16	159	160	1 beam	1.089E+04	3.783E+05	-1.304E+04	1.850E+04
146	16	145	159	1 beam	-1.419E+03	3.778E+05	-1.375E+04	1.304E+04
133	16	144	145	1 beam	8.256E+03	3.764E+05	-9.606E+03	1.375E+04
132	16	143	144	1 beam	1.830E+04	3.693E+05	-4.268E+02	9.606E+03
131	16	129	143	1 beam	-1.819E+04	3.354E+05	-9.557E+03	4.265E+02
118	16	128	129	1 beam	-9.218E+02	3.612E+05	-1.002E+04	9.557E+03
117	16	127	128	1 beam	1.271E+04	3.344E+05	-3.641E+03	1.002E+04
116	16	113	127	1 beam	-1.622E+04	2.973E+05	-1.179E+04	3.643E+03
103	16	112	113	1 beam	2.149E+03	3.259E+05	-1.071E+04	1.179E+04
102	16	111	112	1 beam	1.351E+04	3.050E+05	-3.929E+03	1.071E+04
101	16	97	111	1 beam	-1.739E+04	2.627E+05	-1.266E+04	3.929E+03
88	16	96	97	1 beam	-2.842E+03	2.837E+05	-1.409E+04	1.266E+04
87	16	95	96	1 beam	6.079E+03	2.693E+05	-1.104E+04	1.409E+04
86	16	81	95	1 beam	-7.403E+03	2.471E+05	-1.475E+04	1.104E+04
73	16	80	81	1 beam	2.574E+03	2.444E+05	-1.346E+04	1.475E+04
72	16	79	80	1 beam	5.729E+03	2.360E+05	-1.059E+04	1.346E+04
71	16	65	79	1 beam	-5.584E+03	2.220E+05	-1.339E+04	1.059E+04
58	16	64	65	1 beam	-8.616E+02	2.081E+05	-1.382E+04	1.339E+04
57	16	63	64	1 beam	3.282E+03	1.938E+05	-1.217E+04	1.382E+04
56	16	54	63	1 beam	-4.148E+03	1.785E+05	-1.426E+04	1.217E+04
48	16	53	54	1 beam	2.199E+03	1.624E+05	-1.315E+04	1.426E+04
47	16	52	53	1 beam	2.578E+03	1.587E+05	-1.186E+04	1.315E+04
46	16	44	52	1 beam	-4.785E+03	1.470E+05	-1.426E+04	1.186E+04
39	16	43	44	1 beam	2.710E+02	1.356E+05	-1.412E+04	1.426E+04
38	16	42	43	1 beam	5.646E+03	1.241E+05	-1.129E+04	1.413E+04
37	16	34	42	1 beam	5.369E+03	1.120E+05	-8.598E+03	1.129E+04
30	16	33	34	1 beam	1.143E+04	1.003E+05	-2.859E+03	8.598E+03
29	16	32	33	1 beam	1.804E+04	8.866E+04	6.197E+03	2.859E+03
28	16	24	32	1 beam	-1.373E+04	7.364E+04	-6.946E+02	-6.196E+03
21	16	23	24	1 beam	-5.977E+03	6.202E+04	-3.695E+03	6.947E+02
20	16	22	23	1 beam	6.903E+03	4.610E+04	-2.283E+02	3.693E+03
19	16	14	22	1 beam	-8.079E+03	2.979E+04	-4.281E+03	2.275E+02
12	16	13	14	1 beam	-7.768E+02	2.714E+04	-4.670E+03	4.280E+03
11	16	12	13	1 beam	4.705E+03	2.260E+04	-2.308E+03	4.671E+03
10	16	5	12	1 beam	-3.229E+02	1.416E+04	-2.469E+03	2.308E+03
4	16	4	5	1 beam	3.432E+03	1.248E+04	-7.475E+02	2.470E+03
3	16	3	4	1 beam	5.334E+03	9.951E+03	1.932E+03	7.452E+02
2	16	2	3	1 beam	-3.082E+03	3.779E+03	3.850E+02	-1.932E+03
1	16	1	2	1 beam	-7.674E+02	4.205E+02	-2.425E-01	-3.848E+02

>print struct cable

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
188	17	204	205	4 cable	0.000E+00	-7.004E+04	0.000E+00	0.000E+00
187	17	203	204	4 cable	0.000E+00	-1.432E+05	0.000E+00	0.000E+00

186	17	202	203	4	cable	0.000E+00	-1.797E+05	0.000E+00	0.000E+00
185	17	201	202	4	cable	0.000E+00	-5.431E+04	0.000E+00	0.000E+00
180	15	195	196	4	cable	0.000E+00	-7.061E+04	0.000E+00	0.000E+00
179	15	194	195	4	cable	0.000E+00	-1.051E+05	0.000E+00	0.000E+00
178	15	193	194	4	cable	0.000E+00	-1.458E+05	0.000E+00	0.000E+00
177	15	192	193	4	cable	0.000E+00	-1.586E+05	0.000E+00	0.000E+00
176	15	191	192	4	cable	0.000E+00	-1.645E+05	0.000E+00	0.000E+00
175	15	190	191	4	cable	0.000E+00	-4.704E+04	0.000E+00	0.000E+00
171	14	185	186	4	cable	0.000E+00	-6.466E+04	0.000E+00	0.000E+00
170	14	184	185	4	cable	0.000E+00	-8.966E+04	0.000E+00	0.000E+00
169	14	183	184	4	cable	0.000E+00	-1.105E+05	0.000E+00	0.000E+00
168	14	182	183	4	cable	0.000E+00	-1.313E+05	0.000E+00	0.000E+00
167	14	181	182	4	cable	0.000E+00	-1.521E+05	0.000E+00	0.000E+00
166	14	180	181	4	cable	0.000E+00	-1.578E+05	0.000E+00	0.000E+00
165	14	179	180	4	cable	0.000E+00	-1.532E+05	0.000E+00	0.000E+00
164	14	178	179	4	cable	0.000E+00	-4.243E+04	0.000E+00	0.000E+00
160	13	173	174	4	cable	0.000E+00	-6.122E+04	0.000E+00	0.000E+00
159	13	172	173	4	cable	0.000E+00	-1.061E+05	0.000E+00	0.000E+00
158	13	171	172	4	cable	0.000E+00	-1.121E+05	0.000E+00	0.000E+00
157	13	170	171	4	cable	0.000E+00	-1.085E+05	0.000E+00	0.000E+00
156	13	169	170	4	cable	0.000E+00	-1.107E+05	0.000E+00	0.000E+00
155	13	168	169	4	cable	0.000E+00	-1.159E+05	0.000E+00	0.000E+00
154	13	167	168	4	cable	0.000E+00	-1.269E+05	0.000E+00	0.000E+00
153	13	166	167	4	cable	0.000E+00	-1.381E+05	0.000E+00	0.000E+00
152	13	165	166	4	cable	0.000E+00	-1.429E+05	0.000E+00	0.000E+00
151	13	164	165	4	cable	0.000E+00	-1.441E+05	0.000E+00	0.000E+00
150	13	163	164	4	cable	0.000E+00	-1.324E+05	0.000E+00	0.000E+00
149	13	162	163	4	cable	0.000E+00	-2.379E+04	0.000E+00	0.000E+00
145	12	157	158	4	cable	0.000E+00	-6.074E+04	0.000E+00	0.000E+00
144	12	156	157	4	cable	0.000E+00	-8.770E+04	0.000E+00	0.000E+00
143	12	155	156	4	cable	0.000E+00	-8.569E+04	0.000E+00	0.000E+00
142	12	154	155	4	cable	0.000E+00	-9.958E+04	0.000E+00	0.000E+00
141	12	153	154	4	cable	0.000E+00	-1.169E+05	0.000E+00	0.000E+00
140	12	152	153	4	cable	0.000E+00	-1.280E+05	0.000E+00	0.000E+00
139	12	151	152	4	cable	0.000E+00	-1.320E+05	0.000E+00	0.000E+00
138	12	150	151	4	cable	0.000E+00	-1.365E+05	0.000E+00	0.000E+00
137	12	149	150	4	cable	0.000E+00	-1.423E+05	0.000E+00	0.000E+00
136	12	148	149	4	cable	0.000E+00	-1.437E+05	0.000E+00	0.000E+00
135	12	147	148	4	cable	0.000E+00	-1.505E+05	0.000E+00	0.000E+00
134	12	146	147	4	cable	0.000E+00	-4.997E+04	0.000E+00	0.000E+00
130	11	141	142	4	cable	0.000E+00	-6.060E+04	0.000E+00	0.000E+00
129	11	140	141	4	cable	0.000E+00	-8.423E+04	0.000E+00	0.000E+00
128	11	139	140	4	cable	0.000E+00	-8.886E+04	0.000E+00	0.000E+00
127	11	138	139	4	cable	0.000E+00	-1.017E+05	0.000E+00	0.000E+00
126	11	137	138	4	cable	0.000E+00	-1.177E+05	0.000E+00	0.000E+00
125	11	136	137	4	cable	0.000E+00	-1.297E+05	0.000E+00	0.000E+00
124	11	135	136	4	cable	0.000E+00	-1.335E+05	0.000E+00	0.000E+00
123	11	134	135	4	cable	0.000E+00	-1.399E+05	0.000E+00	0.000E+00
122	11	133	134	4	cable	0.000E+00	-1.443E+05	0.000E+00	0.000E+00
121	11	132	133	4	cable	0.000E+00	-1.375E+05	0.000E+00	0.000E+00
120	11	131	132	4	cable	0.000E+00	-1.266E+05	0.000E+00	0.000E+00
119	11	130	131	4	cable	0.000E+00	-5.093E+04	0.000E+00	0.000E+00
115	10	125	126	4	cable	0.000E+00	-6.030E+04	0.000E+00	0.000E+00
114	10	124	125	4	cable	0.000E+00	-9.267E+04	0.000E+00	0.000E+00
113	10	123	124	4	cable	0.000E+00	-9.923E+04	0.000E+00	0.000E+00
112	10	122	123	4	cable	0.000E+00	-1.062E+05	0.000E+00	0.000E+00
111	10	121	122	4	cable	0.000E+00	-1.157E+05	0.000E+00	0.000E+00
110	10	120	121	4	cable	0.000E+00	-1.315E+05	0.000E+00	0.000E+00
109	10	119	120	4	cable	0.000E+00	-1.418E+05	0.000E+00	0.000E+00
108	10	118	119	4	cable	0.000E+00	-1.515E+05	0.000E+00	0.000E+00

107	10	117	118	4	cable	0.000E+00	-1.475E+05	0.000E+00	0.000E+00
106	10	116	117	4	cable	0.000E+00	-1.326E+05	0.000E+00	0.000E+00
105	10	115	116	4	cable	0.000E+00	-1.172E+05	0.000E+00	0.000E+00
104	10	114	115	4	cable	0.000E+00	-5.134E+04	0.000E+00	0.000E+00
100	9	109	110	3	cable	0.000E+00	-4.927E+04	0.000E+00	0.000E+00
99	9	108	109	3	cable	0.000E+00	-6.242E+04	0.000E+00	0.000E+00
98	9	107	108	3	cable	0.000E+00	-5.408E+04	0.000E+00	0.000E+00
97	9	106	107	3	cable	0.000E+00	-5.182E+04	0.000E+00	0.000E+00
96	9	105	106	3	cable	0.000E+00	-6.020E+04	0.000E+00	0.000E+00
95	9	104	105	3	cable	0.000E+00	-7.388E+04	0.000E+00	0.000E+00
94	9	103	104	3	cable	0.000E+00	-8.059E+04	0.000E+00	0.000E+00
93	9	102	103	3	cable	0.000E+00	-8.258E+04	0.000E+00	0.000E+00
92	9	101	102	3	cable	0.000E+00	-7.877E+04	0.000E+00	0.000E+00
91	9	100	101	3	cable	0.000E+00	-7.219E+04	0.000E+00	0.000E+00
90	9	99	100	3	cable	0.000E+00	-7.038E+04	0.000E+00	0.000E+00
89	9	98	99	3	cable	0.000E+00	-3.035E+04	0.000E+00	0.000E+00
85	8	93	94	3	cable	0.000E+00	-4.778E+04	0.000E+00	0.000E+00
84	8	92	93	3	cable	0.000E+00	-7.601E+04	0.000E+00	0.000E+00
83	8	91	92	3	cable	0.000E+00	-5.775E+04	0.000E+00	0.000E+00
82	8	90	91	3	cable	0.000E+00	-5.870E+04	0.000E+00	0.000E+00
81	8	89	90	3	cable	0.000E+00	-6.993E+04	0.000E+00	0.000E+00
80	8	88	89	3	cable	0.000E+00	-8.075E+04	0.000E+00	0.000E+00
79	8	87	88	3	cable	0.000E+00	-8.118E+04	0.000E+00	0.000E+00
78	8	86	87	3	cable	0.000E+00	-7.762E+04	0.000E+00	0.000E+00
77	8	85	86	3	cable	0.000E+00	-7.486E+04	0.000E+00	0.000E+00
76	8	84	85	3	cable	0.000E+00	-6.985E+04	0.000E+00	0.000E+00
75	8	83	84	3	cable	0.000E+00	-6.608E+04	0.000E+00	0.000E+00
74	8	82	83	3	cable	0.000E+00	-1.568E+04	0.000E+00	0.000E+00
70	7	77	78	3	cable	0.000E+00	-4.683E+04	0.000E+00	0.000E+00
69	7	76	77	3	cable	0.000E+00	-1.108E+05	0.000E+00	0.000E+00
68	7	75	76	3	cable	0.000E+00	-9.701E+04	0.000E+00	0.000E+00
67	7	74	75	3	cable	0.000E+00	-8.565E+04	0.000E+00	0.000E+00
66	7	73	74	3	cable	0.000E+00	-7.834E+04	0.000E+00	0.000E+00
65	7	72	73	3	cable	0.000E+00	-7.720E+04	0.000E+00	0.000E+00
64	7	71	72	3	cable	0.000E+00	-7.013E+04	0.000E+00	0.000E+00
63	7	70	71	3	cable	0.000E+00	-6.774E+04	0.000E+00	0.000E+00
62	7	69	70	3	cable	0.000E+00	-6.477E+04	0.000E+00	0.000E+00
61	7	68	69	3	cable	0.000E+00	-5.790E+04	0.000E+00	0.000E+00
60	7	67	68	3	cable	0.000E+00	-5.233E+04	0.000E+00	0.000E+00
59	7	66	67	3	cable	0.000E+00	-1.290E+04	0.000E+00	0.000E+00
55	6	61	62	3	cable	0.000E+00	-4.580E+04	0.000E+00	0.000E+00
54	6	60	61	3	cable	0.000E+00	-5.342E+04	0.000E+00	0.000E+00
53	6	59	60	3	cable	0.000E+00	-5.461E+04	0.000E+00	0.000E+00
52	6	58	59	3	cable	0.000E+00	-4.790E+04	0.000E+00	0.000E+00
51	6	57	58	3	cable	0.000E+00	-4.188E+04	0.000E+00	0.000E+00
50	6	56	57	3	cable	0.000E+00	-4.140E+04	0.000E+00	0.000E+00
49	6	55	56	3	cable	0.000E+00	-1.221E+04	0.000E+00	0.000E+00
45	5	50	51	3	cable	0.000E+00	-3.599E+04	0.000E+00	0.000E+00
44	5	49	50	3	cable	0.000E+00	-3.377E+04	0.000E+00	0.000E+00
43	5	48	49	3	cable	0.000E+00	-3.457E+04	0.000E+00	0.000E+00
42	5	47	48	3	cable	0.000E+00	-3.436E+04	0.000E+00	0.000E+00
41	5	46	47	3	cable	0.000E+00	-3.591E+04	0.000E+00	0.000E+00
40	5	45	46	3	cable	0.000E+00	-6.318E+03	0.000E+00	0.000E+00
36	4	40	41	3	cable	0.000E+00	-3.994E+04	0.000E+00	0.000E+00
35	4	39	40	3	cable	0.000E+00	-2.762E+04	0.000E+00	0.000E+00
34	4	38	39	3	cable	0.000E+00	-3.072E+04	0.000E+00	0.000E+00
33	4	37	38	3	cable	0.000E+00	-3.435E+04	0.000E+00	0.000E+00
32	4	36	37	3	cable	0.000E+00	-3.309E+04	0.000E+00	0.000E+00
31	4	35	36	3	cable	0.000E+00	-3.929E+04	0.000E+00	0.000E+00
27	3	30	31	3	cable	0.000E+00	-4.087E+04	0.000E+00	0.000E+00

26	3	29	30	3 cable	0.000E+00	-3.547E+04	0.000E+00	0.000E+00
25	3	28	29	3 cable	0.000E+00	-2.738E+04	0.000E+00	0.000E+00
24	3	27	28	3 cable	0.000E+00	-1.991E+04	0.000E+00	0.000E+00
23	3	26	27	3 cable	0.000E+00	-1.396E+04	0.000E+00	0.000E+00
22	3	25	26	3 cable	0.000E+00	-2.605E+04	0.000E+00	0.000E+00
18	2	20	21	2 cable	0.000E+00	-1.451E+04	0.000E+00	0.000E+00
17	2	19	20	2 cable	0.000E+00	-2.832E+04	0.000E+00	0.000E+00
16	2	18	19	2 cable	0.000E+00	-1.820E+04	0.000E+00	0.000E+00
15	2	17	18	2 cable	0.000E+00	-1.346E+04	0.000E+00	0.000E+00
14	2	16	17	2 cable	0.000E+00	-1.485E+04	0.000E+00	0.000E+00
13	2	15	16	2 cable	0.000E+00	-1.219E+04	0.000E+00	0.000E+00
9	1	10	11	2 cable	0.000E+00	-1.483E+04	0.000E+00	0.000E+00
8	1	9	10	2 cable	0.000E+00	-1.690E+04	0.000E+00	0.000E+00
7	1	8	9	2 cable	0.000E+00	-1.489E+04	0.000E+00	0.000E+00
6	1	7	8	2 cable	0.000E+00	-2.048E+04	0.000E+00	0.000E+00
5	1	6	7	2 cable	0.000E+00	-1.156E+04	0.000E+00	0.000E+00

>print xd i=4 j=6,56

x displ. (multiply values below by 10⁻²)

J	I	4
56		-2.821
55		-2.777
54		-2.733
53		-2.692
52		-2.650
51		-2.679
50		-2.696
49		-2.694
48		-2.594
47		-2.612
46		-2.626
45		-2.652
44		-2.683
43		-2.710
42		-2.738
41		-2.748
40		-2.735
39		-2.719
38		-2.691
37		-2.650
36		-2.629
35		-2.589
34		-2.527
33		-2.480
32		-2.425
31		-2.351
30		-2.290
29		-2.236
28		-2.167
27		-2.088
26		-2.042
25		-1.991
24		-1.916
23		-1.875
22		-1.833
21		-1.755
20		-1.728

19	-1.702
18	-1.620
17	-1.581
16	-1.534
15	-1.413
14	-1.359
13	-1.308
12	-1.179
11	-1.123
10	-1.081
9	-0.946
8	-0.878
7	-0.808
6	-0.705

```
>print yd i=4 j=6,56  
y displ. (multiply values below by 10-2)
```

J	I	4
56		-1.283
55		-1.286
54		-1.290
53		-1.294
52		-1.297
51		-1.250
50		-1.271
49		-1.286
48		-1.259
47		-1.259
46		-1.260
45		-1.257
44		-1.255
43		-1.254
42		-1.246
41		-1.242
40		-1.243
39		-1.223
38		-1.219
37		-1.223
36		-1.215
35		-1.215
34		-1.220
33		-1.200
32		-1.198
31		-1.203
30		-1.164
29		-1.157
28		-1.160
27		-1.099
26		-1.085
25		-1.084
24		-1.017
23		-0.999
22		-0.995
21		-0.915
20		-0.890
19		-0.882
18		-0.792

17 -0.764
 16 -0.757
 15 -0.644
 14 -0.609
 13 -0.600
 12 -0.484
 11 -0.446
 10 -0.435
 9 -0.322
 8 -0.284
 7 -0.276
 6 -0.275

```

>print struct node spring
Node Shear Force Shear Disp. S Bond Normal Fce. Normal Dsp. N Bond
-----
205 -7.004E+04 -3.086E-04 yield
204 -7.314E+04 -2.100E-06 intact
203 -3.648E+04 -1.047E-06 intact
202 1.254E+05 3.599E-06 intact
201 5.433E+04 7.573E-04 yield
200
199
198
197
196 -7.061E+04 -1.375E-04 yield
195 -3.449E+04 -9.878E-07 intact
194 -4.072E+04 -1.166E-06 intact
193 -1.280E+04 -3.668E-07 intact
192 -5.815E+03 -1.675E-07 intact
191 1.175E+05 3.364E-06 intact
190 4.705E+04 1.109E-04 yield
189
188
187
186 -6.465E+04 -1.837E-04 yield
185 -2.501E+04 -7.163E-07 intact
184 -2.088E+04 -5.982E-07 intact
183 -2.076E+04 -5.946E-07 intact
182 -2.075E+04 -5.945E-07 intact
181 -5.731E+03 -1.647E-07 intact
180 4.706E+03 1.329E-07 intact
179 1.108E+05 7.256E-05 yield
178 4.261E+04 3.912E-05 yield
177
176
175
174 -6.122E+04 -3.437E-04 yield
173 -4.491E+04 -1.287E-06 intact
172 -5.986E+03 -1.715E-07 intact
171 3.625E+03 1.037E-07 intact
170 -2.147E+03 -6.158E-08 intact
169 -5.190E+03 -1.487E-07 intact
168 -1.109E+04 -3.177E-07 intact
167 -1.111E+04 -3.184E-07 intact
166 -4.806E+03 -1.382E-07 intact
165 -1.236E+03 -3.609E-08 intact
164 1.184E+04 3.377E-07 intact
163 1.086E+05 2.225E-04 yield
  
```

162 2.379E+04 1.009E-05 yield
161
160
159
158 -6.073E+04 -4.143E-04 yield
157 -2.696E+04 -7.721E-07 intact
156 2.025E+03 5.786E-08 intact
155 -1.389E+04 -3.977E-07 intact
154 -1.732E+04 -4.960E-07 intact
153 -1.115E+04 -3.193E-07 intact
152 -3.937E+03 -1.130E-07 intact
151 -4.519E+03 -1.299E-07 intact
150 -5.752E+03 -1.654E-07 intact
149 -1.397E+03 -4.074E-08 intact
148 -6.811E+03 -1.957E-07 intact
147 1.006E+05 2.879E-06 intact
146 5.009E+04 5.450E-04 yield
145
144
143
142 -6.059E+04 -2.992E-04 yield
141 -2.362E+04 -6.766E-07 intact
140 -4.615E+03 -1.323E-07 intact
139 -1.282E+04 -3.673E-07 intact
138 -1.598E+04 -4.577E-07 intact
137 -1.199E+04 -3.436E-07 intact
136 -3.835E+03 -1.102E-07 intact
135 -6.366E+03 -1.827E-07 intact
134 -4.382E+03 -1.260E-07 intact
133 6.909E+03 1.972E-07 intact
132 1.095E+04 3.126E-07 intact
131 7.564E+04 2.166E-06 intact
130 5.099E+04 4.036E-04 yield
129
128
127
126 -6.029E+04 -3.169E-04 yield
125 -3.235E+04 -9.268E-07 intact
124 -6.552E+03 -1.878E-07 intact
123 -6.976E+03 -2.001E-07 intact
122 -9.532E+03 -2.732E-07 intact
121 -1.570E+04 -4.500E-07 intact
120 -1.035E+04 -2.967E-07 intact
119 -9.715E+03 -2.787E-07 intact
118 4.026E+03 1.145E-07 intact
117 1.499E+04 4.287E-07 intact
116 1.537E+04 4.396E-07 intact
115 6.595E+04 1.888E-06 intact
114 5.132E+04 3.203E-04 yield
113
112
111
110 -4.926E+04 -3.346E-04 yield
109 -1.315E+04 -5.741E-07 intact
108 8.344E+03 3.636E-07 intact
107 2.265E+03 9.812E-08 intact
106 -8.379E+03 -3.659E-07 intact
105 -1.368E+04 -5.972E-07 intact
104 -6.704E+03 -2.929E-07 intact
103 -1.953E+03 -8.579E-08 intact

102	3.803E+03	1.653E-07	intact
101	6.591E+03	2.869E-07	intact
100	1.804E+03	7.802E-08	intact
99	4.006E+04	1.748E-06	intact
98	3.035E+04	1.184E-05	yield
97			
96			
95			
94	-4.778E+04	-7.746E-04	yield
93	-2.822E+04	-1.232E-06	intact
92	1.828E+04	7.978E-07	intact
91	-9.544E+02	-4.232E-08	intact
90	-1.122E+04	-4.902E-07	intact
89	-1.081E+04	-4.723E-07	intact
88	-4.205E+02	-1.885E-08	intact
87	3.574E+03	1.554E-07	intact
86	2.768E+03	1.201E-07	intact
85	5.000E+03	2.177E-07	intact
84	3.775E+03	1.643E-07	intact
83	5.040E+04	2.201E-06	intact
82	1.568E+04	4.176E-06	intact
81			
80			
79			
78	-4.683E+04	-1.257E-03	yield
77	-6.400E+04	-2.794E-06	intact
76	1.384E+04	6.039E-07	intact
75	1.136E+04	4.944E-07	intact
74	7.304E+03	3.174E-07	intact
73	1.132E+03	4.892E-08	intact
72	7.087E+03	3.088E-07	intact
71	2.402E+03	1.044E-07	intact
70	2.973E+03	1.294E-07	intact
69	6.900E+03	3.007E-07	intact
68	5.570E+03	2.428E-07	intact
67	3.943E+04	1.722E-06	intact
66	1.291E+04	4.005E-06	intact
65			
64			
63			
62	-4.580E+04	-1.015E-04	yield
61	-7.616E+03	-3.328E-07	intact
60	-1.181E+03	-5.179E-08	intact
59	6.708E+03	2.926E-07	intact
58	6.031E+03	2.631E-07	intact
57	5.053E+02	2.188E-08	intact
56	2.922E+04	1.276E-06	intact
55	1.221E+04	3.217E-06	intact
54			
53			
52			
51	-3.599E+04	-3.142E-06	intact
50	2.232E+03	9.732E-08	intact
49	-7.957E+02	-3.486E-08	intact
48	2.093E+02	8.982E-09	intact
47	-1.534E+03	-6.711E-08	intact
46	2.962E+04	1.293E-06	intact
45	6.320E+03	7.776E-06	intact
44			
43			

42
41 -3.994E+04 -3.492E-06 intact
40 1.233E+04 5.392E-07 intact
39 -3.087E+03 -1.351E-07 intact
38 -3.622E+03 -1.585E-07 intact
37 1.268E+03 5.533E-08 intact
36 -6.177E+03 -2.701E-07 intact
35 3.929E+04 1.399E-04 yield
34
33
32
31 -4.087E+04 -4.419E-04 yield
30 5.402E+03 2.358E-07 intact
29 8.092E+03 3.531E-07 intact
28 7.470E+03 3.260E-07 intact
27 5.952E+03 2.598E-07 intact
26 -1.209E+04 -5.279E-07 intact
25 2.605E+04 2.275E-06 intact
24
23
22
21 -1.452E+04 -1.821E-03 yield
20 -1.380E+04 -6.025E-07 intact
19 1.012E+04 4.418E-07 intact
18 4.751E+03 2.074E-07 intact
17 -1.384E+03 -6.044E-08 intact
16 2.665E+03 1.163E-07 intact
15 1.220E+04 4.679E-04 yield
14
13
12
11 -1.483E+04 -7.530E-04 yield
10 -2.067E+03 -9.036E-08 intact
9 2.002E+03 8.747E-08 intact
8 -5.572E+03 -2.435E-07 intact
7 8.909E+03 3.893E-07 intact
6 1.155E+04 9.987E-06 yield
5
4
3
2
1

>print struct

Structural Information Summary:

Nodes Present : 205
Beam Elements Present : 50
Cable Elements Present : 138
Pile Elements Present : 0
Support Elements Present : 0
Available Keywords for PRINT STRUCT are :
NODE, BEAM, CABLE, PILE, SUPPORT, and PROPERTY

>plot bou disp

>set plot emf

hard copy device is enhanced meta file (color)

>copy ll.emf

Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)

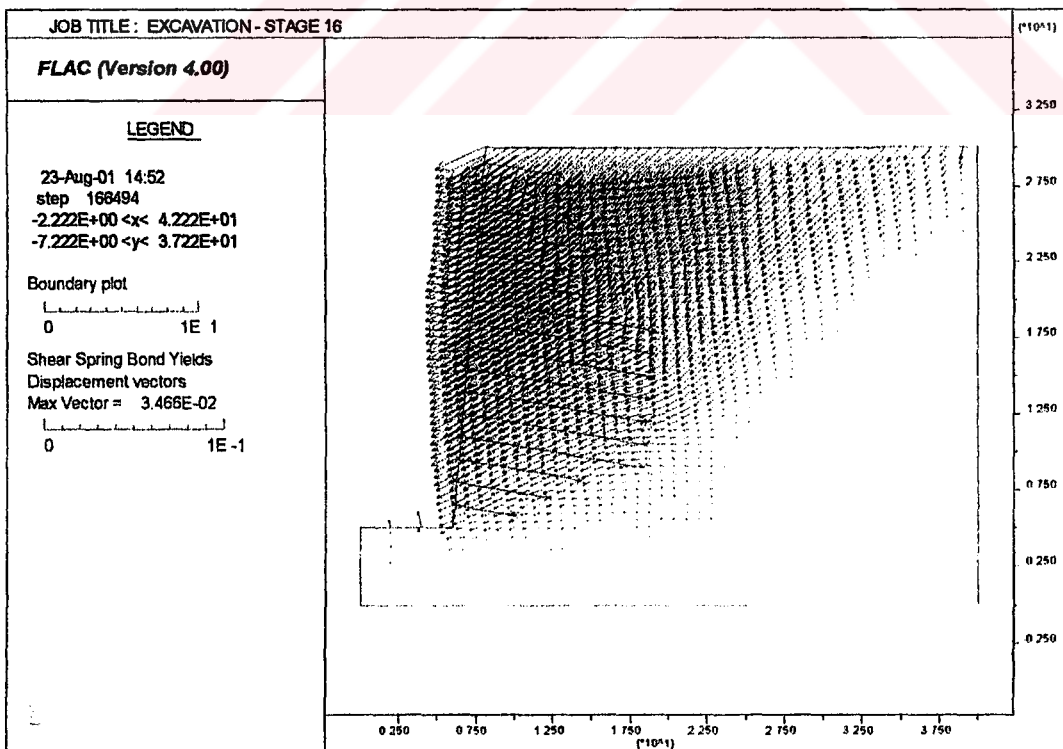
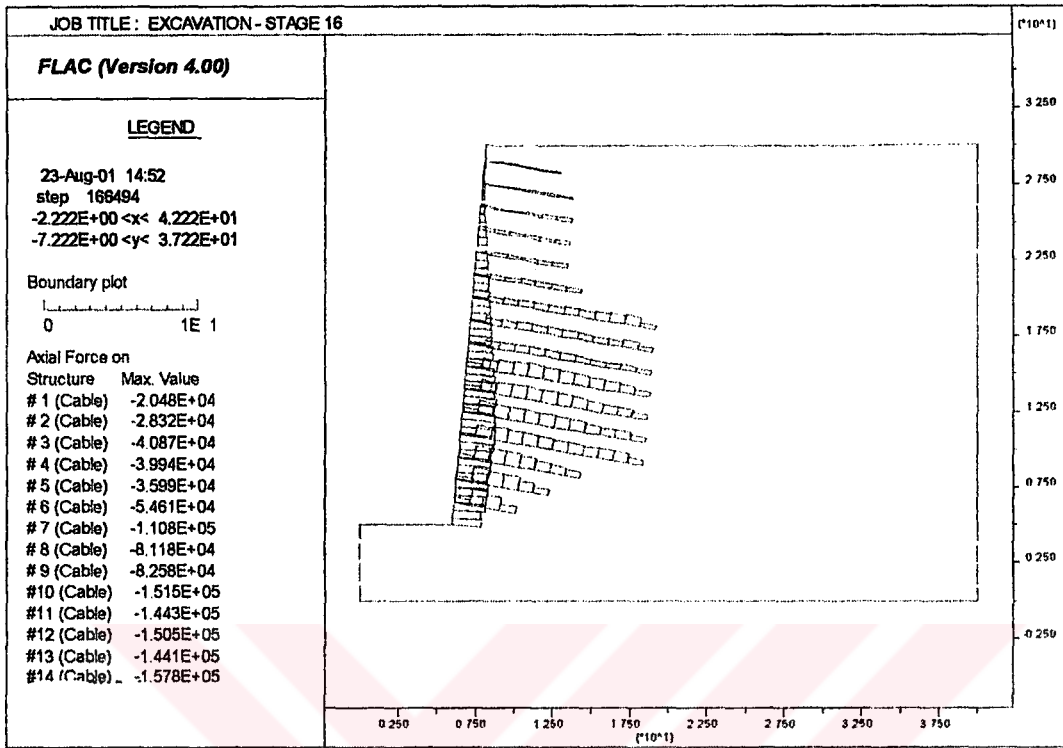
Plot destination is ll.emf

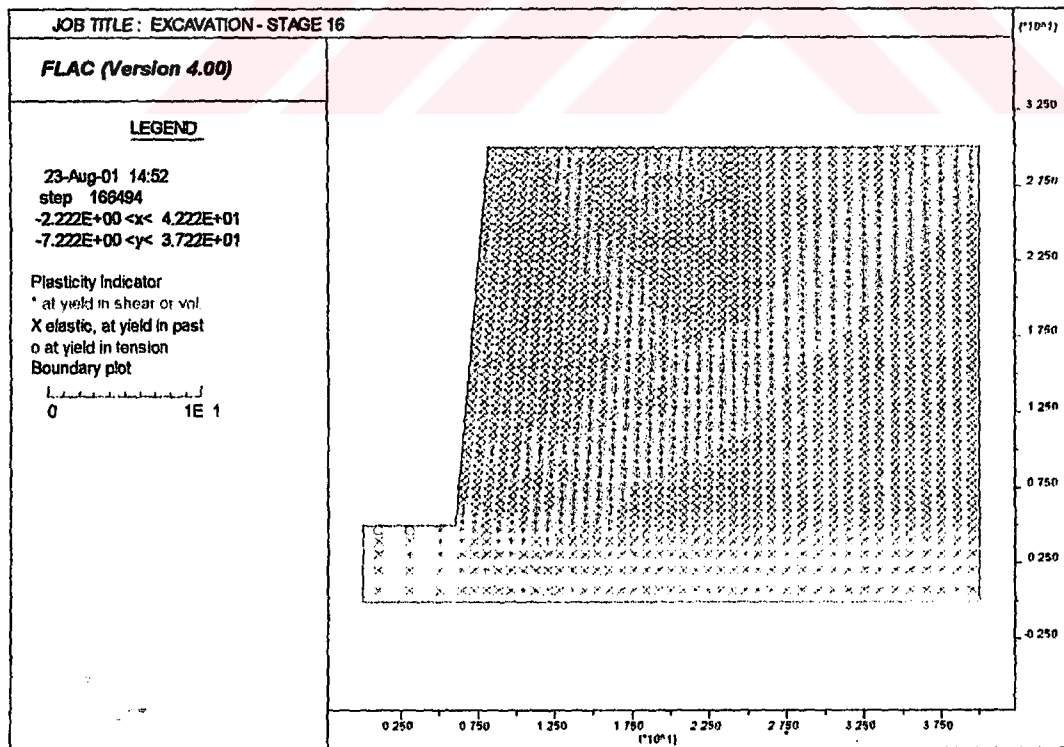
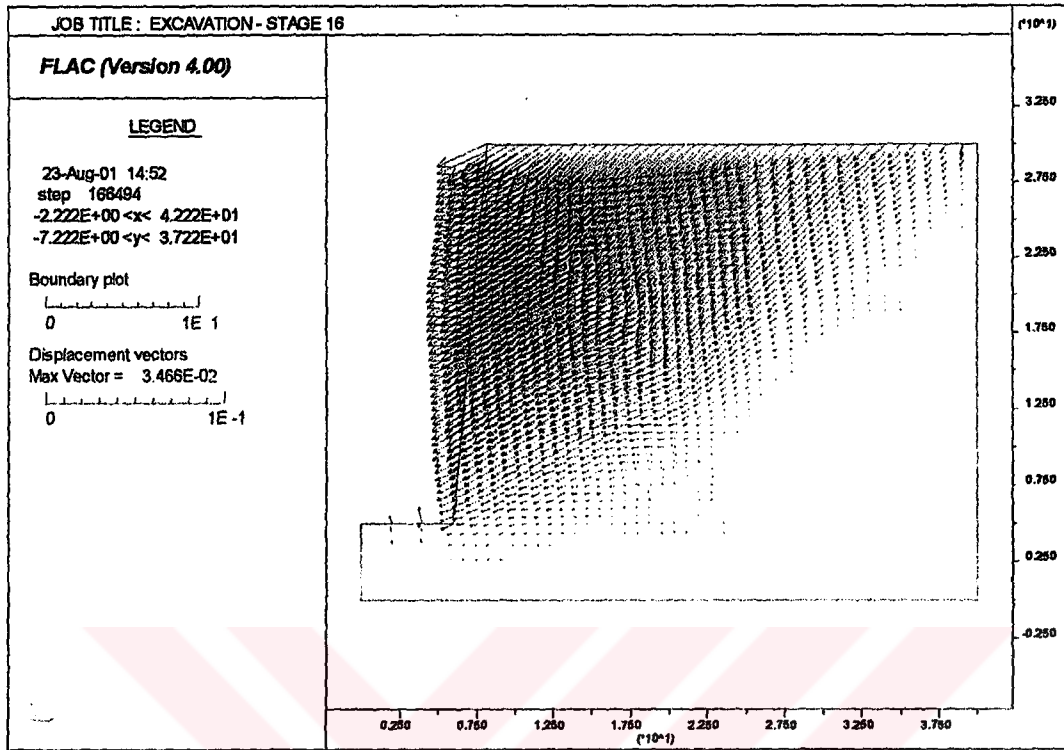
>plot plas bou

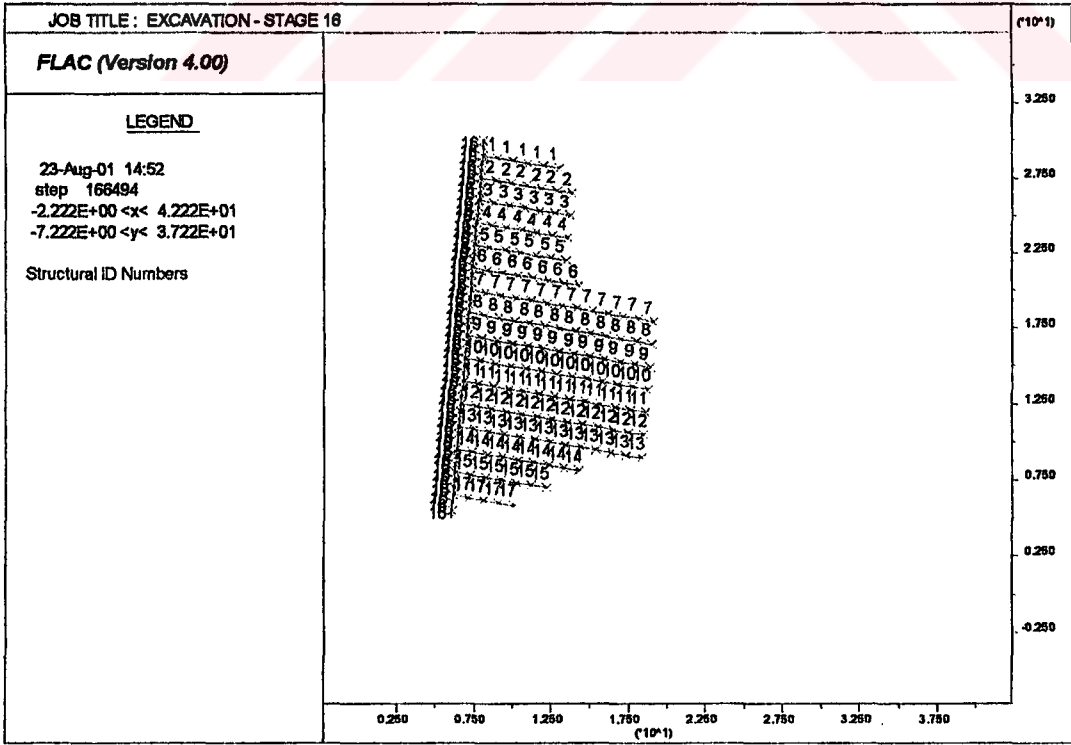
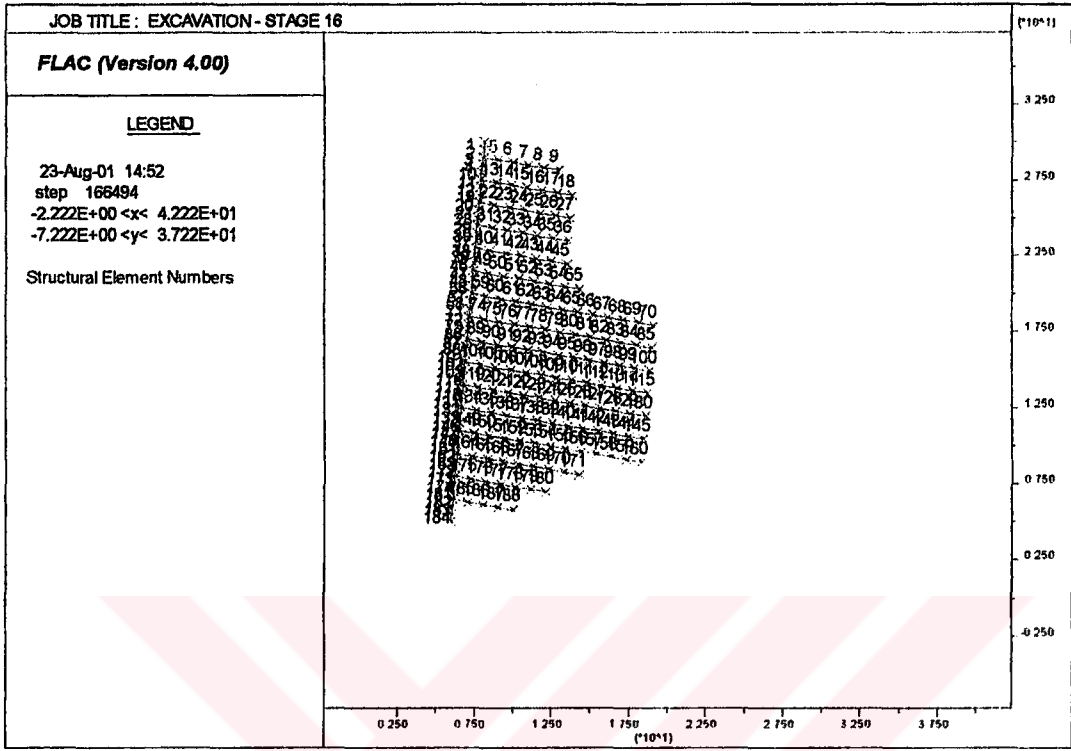
```
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 12.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 12.emf
>plot syy fill cable beam bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 13.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 13.emf
>plot sxx fill cable beam bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 14.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 14.emf
>plot xdisp fill cable beam bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 15.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 15.emf
>plot ydisp fill cable beam bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 16.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 16.emf
>plot bou struct axial
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 18.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 18.emf
>plot bou struct bond disp
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 19.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 19.emf
>plot struct element
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 110.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 110.emf
>plot struct number
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 111.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 111.emf
>plot struct node
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 112.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 112.emf
>plot beam red struct node
```

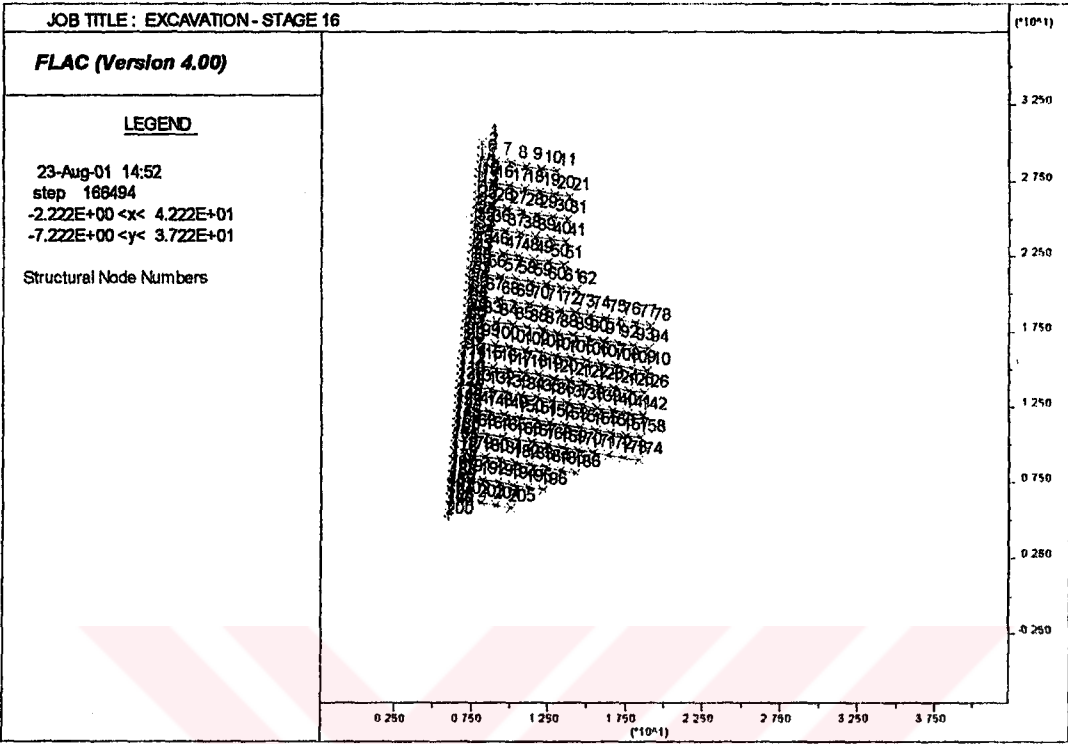
```
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 113.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 113.emf
```











EK 2 KESİT 2 DATA DOSYASI ve ANALİZ SONUÇLARI



***** TEKFEN TOWER KESİT#2 *****

```
>title
>;
>; Grid dimensioning
>grid 42,44
>model mohr
>;
>; Grid Generation
>gen 0,0 0,5 6,5 6,0 i=1,4 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same 0,24.50 7.70,24.50 same i=1,4 j=6,45
>gen same same 26,24.50 26,5 i=4,29 j=6,45
>gen same same same 26,0 i=4,29 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same same 40,5 40,0 i=29,43 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same same 40,24.50 same i=29,43 j=6,45
>plot hold grid
>;
>; Soil/Formation model type
>prop bulk 2.77e7 shear 9.26e6 fric 28 dens 1850 j 37,44
>prop bulk 3.33e8 shear 1.54e8 fric 30 dens 1950 j 27,36
>prop bulk 4.00e8 shear 2.40e8 fric 30 dens 1950 j 1,26
>mod null i 1,42 j 44
>;
>; Boundary conditions
>fix x i 1
>fix x i 43
>fix y j 1
>;
>; Initial stresses (active earth pressure)
>ini szz -26716 var 0 26716 j=37,45
>ini sxx -26716 var 0 26716 j=37,45
>ini syy -74000 var 0 74000 j=37,45
>ini szz -45620 var 0 18904 j=27,37
>ini sxx -45620 var 0 18904 j=27,37
>ini syy -171500 var 0 97500 j=27,37
>ini szz -102323 var 0 56703 j=6,27
>ini sxx -102323 var 0 56703 j=6,27
>ini syy -376250 var 0 204750 j=6,27
>ini szz -134823 var 0 32500 j=1,6
>ini sxx -134823 var 0 32500 j=1,6
>ini syy -473750 var 0 97500 j=1,6
>;
>; Applying Wall Surcharge
>apply pres 94875 from 7,44 to 9,44
>apply pres 24000 from 4,44 to 7,44
>;
>; Gravity
>set grav 9.81
>;
>; Conditions during execution
>set large
>;
>; Displacement monitoring points
>; History of grid variable is stored for every 100 steps
>hist n 100
>; Maximum unbalanced force is stored
>hist unbal
>; Observed points
>hist xdisp i 4 j 44
>hist ydisp i 4 j 44
>hist xdisp i 4 j 39
```

```

>hist ydisp i 4 j 39
>hist xdisp i 4 j 33
>hist ydisp i 4 j 33
>hist xdisp i 4 j 27
>hist ydisp i 4 j 27
>hist xdisp i 4 j 21
>hist ydisp i 4 j 21
>hist xdisp i 4 j 15
>hist ydisp i 4 j 15
>hist xdisp i 4 j 9
>hist ydisp i 4 j 9
>hist xdisp i 4 j 7
>hist ydisp i 4 j 7
>;
>; Consolidate
>solve
>;
>; Save consolidated state
>save s10.sav
Deleting existing file
>;
>; Plot initial stresses
>plot hold sxx
>plot hold syy
>;
>; Plotting y-displacements
>plot hold yd yellow bound
>;
>; Reset displacement components to zero
>ini xdisp=0
>ini ydisp=0
>ini xvel 0 i 1 43 j 1 44
>ini yvel 0 i 1 43 j 1 44
>fix x y i 1
>fix x y i 43
>fix x y j 1
>;
>; Soil/Formation model type
>prop coh=0 j=37,45
>prop coh=1e4 j=27,37
>prop coh=2e4 j=1,27
>mod null i 1,42 j 44
>;
>; EXCAVATION STAGE 1
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 41 44
>title
>; Shotcrete properties
>struct prop 1 e=3.18e10 i=4.86e-4 a=0.18
>struct beam beg grid 4 44 end grid 4 43 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 43 end grid 4 42 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 42 end grid 4 41 seg 1 prop 1
>; Nail properties at the top row
>struct prop 2 a=8.03e-4 e=1e11 y=1.69e5 kbond=2.29e10 sbond=2.59e4
>struct prop 2 sfric=19 peri=0.345
>struct cable begin 7.57 23.00 end 15.45,21.61 seg 8 prop 2
>solve
>save s11.sav
Deleting existing file
>;

```

```
>; EXCAVATION STAGE 2
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 38 40
>title
>struct beam beg grid 4 41 end grid 4 40 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 40 end grid 4 39 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 39 end grid 4 38 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.44 21.50 end 15.32 20.11 seg 8 prop 2
>solve
>save s12.sav
Deleting existing file
>;
>; EXCAVATION STAGE 3
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 35 37
>title
>struct beam beg grid 4 38 end grid 4 37 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 37 end grid 4 36 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 36 end grid 4 35 seg 1 prop 1
>struct prop 3 a=8.03e-4 e=1e11 y=1.69e5 kbond=2.29e10 sbond=7.77e4
>struct prop 3 sfric=20 peri=0.345
>struct cable begin 7.31 20.00 end 15.19 18.61 seg 8 prop 3
>solve
>save s13.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 4
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 32 34
>title
>struct beam beg grid 4 35 end grid 4 34 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 34 end grid 4 33 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 33 end grid 4 32 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.19 18.50 end 15.07 17.11 seg 8 prop 3
>solve
>save s14.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 5
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 29 31
>title
>struct beam beg grid 4 32 end grid 4 31 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 31 end grid 4 30 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 30 end grid 4 29 seg 1 prop 1
>struct prop 4 a=1.25e-3 e=1e11 y=2.64e5 kbond=2.29e10 sbond=7.77e4
>struct prop 4 sfric=20 peri=0.345
>struct cable begin 7.06 17.00 end 18.88 14.92 seg 12 prop 4
>solve
>save s15.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 6
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 26 28
>title
>struct beam beg grid 4 29 end grid 4 28 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 28 end grid 4 27 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 27 end grid 4 26 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.93 15.50 end 18.75 13.42 seg 12 prop 4
```

```
>solve
>save s16.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 7
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 23 25
>title
>struct beam beg grid 4 26 end grid 4 25 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 25 end grid 4 24 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 24 end grid 4 23 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.80 14.00 end 18.62 11.92 seg 12 prop 4
>solve
>save s17.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 8
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 20 22
>title
>struct beam beg grid 4 23 end grid 4 22 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 22 end grid 4 21 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 21 end grid 4 20 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.67 12.50 end 18.49 10.42 seg 12 prop 4
>solve
>save s18.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 9
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 17 19
>title
>struct beam beg grid 4 20 end grid 4 19 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 19 end grid 4 18 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 18 end grid 4 17 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.54 11.00 end 18.36 8.92 seg 12 prop 4
>solve
>save s19.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 10
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 14 16
>title
>struct beam beg grid 4 17 end grid 4 16 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 16 end grid 4 15 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 15 end grid 4 14 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.41 9.50 end 14.29 8.11 seg 8 prop 4
>solve
>save s110.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 11
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 11 13
>title
>struct beam beg grid 4 14 end grid 4 13 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 13 end grid 4 12 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 12 end grid 4 11 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.28 8.00 end 12.19 6.96 seg 6 prop 4
```

```

>solve
>save s111.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 12
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 6 10
>title
>struct beam beg grid 4 11 end grid 4 10 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 10 end grid 4 9 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 9 end grid 4 8 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 8 end grid 4 7 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 7 end grid 4 6 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.15 6.50 end 10.09 5.81 seg 4 prop 4

```

```

>solve
>save s112.sav
Creating new file
>;

```

```

>; output
>print struct node
Structural Nodes Summary...

```

```

Type 1 (Free) : 0
Type 2 (Beam) : 39
Type 3 (Cable) : 122
Type 4 (Pile) : 0

```

Available Keywords: POSITION, INFORMATION, SPRING, HINGE, and SLAVE

```

>print struct beam

```

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop		F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
144	12	155	156	1 beam	-3.143E+04	3.329E+05	-1.577E+04	-1.287E-01
143	12	154	155	1 beam	-5.067E+03	3.226E+05	-1.831E+04	1.577E+04
142	12	153	154	1 beam	1.716E+04	3.415E+05	-9.706E+03	1.831E+04
141	12	152	153	1 beam	-9.545E+03	3.273E+05	-1.449E+04	9.706E+03
140	12	144	152	1 beam	5.043E+03	2.832E+05	-1.197E+04	1.449E+04
133	12	143	144	1 beam	1.663E+04	3.205E+05	-3.629E+03	1.197E+04
132	12	142	143	1 beam	-1.564E+04	3.007E+05	-1.148E+04	3.629E+03
131	12	132	142	1 beam	-2.745E+03	2.738E+05	-1.285E+04	1.148E+04
122	12	131	132	1 beam	1.517E+04	3.131E+05	-5.238E+03	1.285E+04
121	12	130	131	1 beam	-1.309E+04	2.900E+05	-1.181E+04	5.238E+03
120	12	116	130	1 beam	-1.866E+02	2.663E+05	-1.190E+04	1.181E+04
107	12	115	116	1 beam	1.620E+04	2.983E+05	-3.769E+03	1.190E+04
106	12	114	115	1 beam	-1.302E+04	2.745E+05	-1.030E+04	3.769E+03
105	12	100	114	1 beam	2.423E+02	2.490E+05	-1.018E+04	1.030E+04
92	12	99	100	1 beam	1.538E+04	2.724E+05	-2.464E+03	1.018E+04
91	12	98	99	1 beam	-1.337E+04	2.506E+05	-9.174E+03	2.464E+03
90	12	84	98	1 beam	3.125E+02	2.241E+05	-9.017E+03	9.173E+03
77	12	83	84	1 beam	1.475E+04	2.399E+05	-1.617E+03	9.017E+03
76	12	82	83	1 beam	-1.332E+04	2.190E+05	-8.301E+03	1.616E+03
75	12	68	82	1 beam	2.485E+02	1.948E+05	-8.176E+03	8.300E+03
62	12	67	68	1 beam	1.451E+04	2.026E+05	-8.943E+02	8.176E+03
61	12	66	67	1 beam	-1.455E+04	1.851E+05	-8.199E+03	8.943E+02
60	12	52	66	1 beam	3.544E+02	1.568E+05	-8.021E+03	8.199E+03
47	12	51	52	1 beam	1.137E+04	1.709E+05	-2.317E+03	8.020E+03
46	12	50	51	1 beam	-1.642E+04	1.514E+05	-1.056E+04	2.317E+03
45	12	40	50	1 beam	2.875E+02	1.304E+05	-1.041E+04	1.056E+04
36	12	39	40	1 beam	1.268E+04	1.247E+05	-4.048E+03	1.041E+04
35	12	38	39	1 beam	-1.259E+04	1.046E+05	-1.037E+04	4.048E+03

34	12	28	38	1	beam	4.713E+03	8.567E+04	-8.001E+03	1.037E+04
25	12	27	28	1	beam	1.939E+04	7.316E+04	1.729E+03	8.001E+03
24	12	26	27	1	beam	-7.284E+03	5.554E+04	-1.927E+03	-1.729E+03
23	12	16	26	1	beam	2.542E+03	3.574E+04	-6.511E+02	1.927E+03
14	12	15	16	1	beam	4.743E+03	3.636E+04	1.728E+03	6.512E+02
13	12	14	15	1	beam	-2.549E+03	2.938E+04	4.487E+02	-1.729E+03
12	12	4	14	1	beam	3.005E+03	2.401E+04	1.956E+03	-4.487E+02
3	12	3	4	1	beam	3.950E+03	2.340E+04	3.939E+03	-1.956E+03
2	12	2	3	1	beam	-7.350E+03	1.640E+04	2.504E+02	-3.939E+03
1	12	1	2	1	beam	-4.986E+02	5.790E+03	1.626E-02	-2.502E+02

>print struct cable

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2		
148	13	160	161	4	cable	0.000E+00	-3.583E+04	0.000E+00	0.000E+00
147	13	159	160	4	cable	0.000E+00	-6.991E+04	0.000E+00	0.000E+00
146	13	158	159	4	cable	0.000E+00	-1.102E+05	0.000E+00	0.000E+00
145	13	157	158	4	cable	0.000E+00	-4.382E+04	0.000E+00	0.000E+00
139	11	150	151	4	cable	0.000E+00	-3.090E+04	0.000E+00	0.000E+00
138	11	149	150	4	cable	0.000E+00	-4.881E+04	0.000E+00	0.000E+00
137	11	148	149	4	cable	0.000E+00	-7.610E+04	0.000E+00	0.000E+00
136	11	147	148	4	cable	0.000E+00	-8.877E+04	0.000E+00	0.000E+00
135	11	146	147	4	cable	0.000E+00	-8.805E+04	0.000E+00	0.000E+00
134	11	145	146	4	cable	0.000E+00	-4.026E+04	0.000E+00	0.000E+00
130	10	140	141	4	cable	0.000E+00	-2.978E+04	0.000E+00	0.000E+00
129	10	139	140	4	cable	0.000E+00	-3.884E+04	0.000E+00	0.000E+00
128	10	138	139	4	cable	0.000E+00	-5.507E+04	0.000E+00	0.000E+00
127	10	137	138	4	cable	0.000E+00	-7.202E+04	0.000E+00	0.000E+00
126	10	136	137	4	cable	0.000E+00	-8.408E+04	0.000E+00	0.000E+00
125	10	135	136	4	cable	0.000E+00	-8.441E+04	0.000E+00	0.000E+00
124	10	134	135	4	cable	0.000E+00	-8.632E+04	0.000E+00	0.000E+00
123	10	133	134	4	cable	0.000E+00	-3.721E+04	0.000E+00	0.000E+00
119	9	128	129	4	cable	0.000E+00	-2.270E+04	0.000E+00	0.000E+00
118	9	127	128	4	cable	0.000E+00	-2.867E+04	0.000E+00	0.000E+00
117	9	126	127	4	cable	0.000E+00	-3.346E+04	0.000E+00	0.000E+00
116	9	125	126	4	cable	0.000E+00	-3.755E+04	0.000E+00	0.000E+00
115	9	124	125	4	cable	0.000E+00	-4.540E+04	0.000E+00	0.000E+00
114	9	123	124	4	cable	0.000E+00	-5.755E+04	0.000E+00	0.000E+00
113	9	122	123	4	cable	0.000E+00	-7.048E+04	0.000E+00	0.000E+00
112	9	121	122	4	cable	0.000E+00	-8.035E+04	0.000E+00	0.000E+00
111	9	120	121	4	cable	0.000E+00	-8.359E+04	0.000E+00	0.000E+00
110	9	119	120	4	cable	0.000E+00	-7.971E+04	0.000E+00	0.000E+00
109	9	118	119	4	cable	0.000E+00	-7.930E+04	0.000E+00	0.000E+00
108	9	117	118	4	cable	0.000E+00	-3.939E+04	0.000E+00	0.000E+00
104	8	112	113	4	cable	0.000E+00	-2.909E+04	0.000E+00	0.000E+00
103	8	111	112	4	cable	0.000E+00	-3.061E+04	0.000E+00	0.000E+00
102	8	110	111	4	cable	0.000E+00	-3.385E+04	0.000E+00	0.000E+00
101	8	109	110	4	cable	0.000E+00	-4.217E+04	0.000E+00	0.000E+00
100	8	108	109	4	cable	0.000E+00	-5.597E+04	0.000E+00	0.000E+00
99	8	107	108	4	cable	0.000E+00	-7.040E+04	0.000E+00	0.000E+00
98	8	106	107	4	cable	0.000E+00	-7.790E+04	0.000E+00	0.000E+00
97	8	105	106	4	cable	0.000E+00	-8.028E+04	0.000E+00	0.000E+00
96	8	104	105	4	cable	0.000E+00	-7.860E+04	0.000E+00	0.000E+00
95	8	103	104	4	cable	0.000E+00	-7.224E+04	0.000E+00	0.000E+00
94	8	102	103	4	cable	0.000E+00	-6.766E+04	0.000E+00	0.000E+00
93	8	101	102	4	cable	0.000E+00	-4.093E+04	0.000E+00	0.000E+00
89	7	96	97	4	cable	0.000E+00	-3.144E+04	0.000E+00	0.000E+00
88	7	95	96	4	cable	0.000E+00	-3.127E+04	0.000E+00	0.000E+00
87	7	94	95	4	cable	0.000E+00	-3.722E+04	0.000E+00	0.000E+00

86	7	93	94	4	cable	0.000E+00	-4.930E+04	0.000E+00	0.000E+00
85	7	92	93	4	cable	0.000E+00	-6.412E+04	0.000E+00	0.000E+00
84	7	91	92	4	cable	0.000E+00	-7.464E+04	0.000E+00	0.000E+00
83	7	90	91	4	cable	0.000E+00	-7.620E+04	0.000E+00	0.000E+00
82	7	89	90	4	cable	0.000E+00	-7.370E+04	0.000E+00	0.000E+00
81	7	88	89	4	cable	0.000E+00	-7.026E+04	0.000E+00	0.000E+00
80	7	87	88	4	cable	0.000E+00	-6.380E+04	0.000E+00	0.000E+00
79	7	86	87	4	cable	0.000E+00	-5.768E+04	0.000E+00	0.000E+00
78	7	85	86	4	cable	0.000E+00	-4.188E+04	0.000E+00	0.000E+00
74	6	80	81	4	cable	0.000E+00	-3.724E+04	0.000E+00	0.000E+00
73	6	79	80	4	cable	0.000E+00	-3.301E+04	0.000E+00	0.000E+00
72	6	78	79	4	cable	0.000E+00	-4.324E+04	0.000E+00	0.000E+00
71	6	77	78	4	cable	0.000E+00	-5.757E+04	0.000E+00	0.000E+00
70	6	76	77	4	cable	0.000E+00	-6.837E+04	0.000E+00	0.000E+00
69	6	75	76	4	cable	0.000E+00	-7.102E+04	0.000E+00	0.000E+00
68	6	74	75	4	cable	0.000E+00	-6.620E+04	0.000E+00	0.000E+00
67	6	73	74	4	cable	0.000E+00	-6.225E+04	0.000E+00	0.000E+00
66	6	72	73	4	cable	0.000E+00	-6.056E+04	0.000E+00	0.000E+00
65	6	71	72	4	cable	0.000E+00	-5.600E+04	0.000E+00	0.000E+00
64	6	70	71	4	cable	0.000E+00	-5.110E+04	0.000E+00	0.000E+00
63	6	69	70	4	cable	0.000E+00	-4.107E+04	0.000E+00	0.000E+00
59	5	64	65	4	cable	0.000E+00	-4.624E+04	0.000E+00	0.000E+00
58	5	63	64	4	cable	0.000E+00	-5.177E+04	0.000E+00	0.000E+00
57	5	62	63	4	cable	0.000E+00	-5.677E+04	0.000E+00	0.000E+00
56	5	61	62	4	cable	0.000E+00	-6.114E+04	0.000E+00	0.000E+00
55	5	60	61	4	cable	0.000E+00	-6.340E+04	0.000E+00	0.000E+00
54	5	59	60	4	cable	0.000E+00	-5.786E+04	0.000E+00	0.000E+00
53	5	58	59	4	cable	0.000E+00	-5.270E+04	0.000E+00	0.000E+00
52	5	57	58	4	cable	0.000E+00	-5.195E+04	0.000E+00	0.000E+00
51	5	56	57	4	cable	0.000E+00	-5.382E+04	0.000E+00	0.000E+00
50	5	55	56	4	cable	0.000E+00	-5.198E+04	0.000E+00	0.000E+00
49	5	54	55	4	cable	0.000E+00	-5.738E+04	0.000E+00	0.000E+00
48	5	53	54	4	cable	0.000E+00	-4.128E+04	0.000E+00	0.000E+00
44	4	48	49	3	cable	0.000E+00	-2.634E+04	0.000E+00	0.000E+00
43	4	47	48	3	cable	0.000E+00	-2.449E+04	0.000E+00	0.000E+00
42	4	46	47	3	cable	0.000E+00	-2.600E+04	0.000E+00	0.000E+00
41	4	45	46	3	cable	0.000E+00	-2.893E+04	0.000E+00	0.000E+00
40	4	44	45	3	cable	0.000E+00	-3.358E+04	0.000E+00	0.000E+00
39	4	43	44	3	cable	0.000E+00	-3.764E+04	0.000E+00	0.000E+00
38	4	42	43	3	cable	0.000E+00	-4.377E+04	0.000E+00	0.000E+00
37	4	41	42	3	cable	0.000E+00	-4.077E+04	0.000E+00	0.000E+00
33	3	36	37	3	cable	0.000E+00	-2.145E+04	0.000E+00	0.000E+00
32	3	35	36	3	cable	0.000E+00	-1.791E+04	0.000E+00	0.000E+00
31	3	34	35	3	cable	0.000E+00	-2.066E+04	0.000E+00	0.000E+00
30	3	33	34	3	cable	0.000E+00	-2.543E+04	0.000E+00	0.000E+00
29	3	32	33	3	cable	0.000E+00	-3.363E+04	0.000E+00	0.000E+00
28	3	31	32	3	cable	0.000E+00	-3.658E+04	0.000E+00	0.000E+00
27	3	30	31	3	cable	0.000E+00	-3.900E+04	0.000E+00	0.000E+00
26	3	29	30	3	cable	0.000E+00	-4.034E+04	0.000E+00	0.000E+00
22	2	24	25	2	cable	0.000E+00	-1.594E+04	0.000E+00	0.000E+00
21	2	23	24	2	cable	0.000E+00	-2.320E+04	0.000E+00	0.000E+00
20	2	22	23	2	cable	0.000E+00	-2.015E+04	0.000E+00	0.000E+00
19	2	21	22	2	cable	0.000E+00	-2.126E+04	0.000E+00	0.000E+00
18	2	20	21	2	cable	0.000E+00	-2.223E+04	0.000E+00	0.000E+00
17	2	19	20	2	cable	0.000E+00	-2.344E+04	0.000E+00	0.000E+00
16	2	18	19	2	cable	0.000E+00	-3.728E+04	0.000E+00	0.000E+00
15	2	17	18	2	cable	0.000E+00	-1.325E+04	0.000E+00	0.000E+00
11	1	12	13	2	cable	0.000E+00	-1.491E+04	0.000E+00	0.000E+00
10	1	11	12	2	cable	0.000E+00	-2.158E+04	0.000E+00	0.000E+00
9	1	10	11	2	cable	0.000E+00	-2.344E+04	0.000E+00	0.000E+00

8	1	9	10	2 cable	0.000E+00	-2.964E+04	0.000E+00	0.000E+00
7	1	8	9	2 cable	0.000E+00	-4.406E+04	0.000E+00	0.000E+00
6	1	7	8	2 cable	0.000E+00	-4.773E+04	0.000E+00	0.000E+00
5	1	6	7	2 cable	0.000E+00	-4.340E+04	0.000E+00	0.000E+00
4	1	5	6	2 cable	0.000E+00	-1.324E+04	0.000E+00	0.000E+00

>print xd i=4 j=6,45

x displ. (multiply values below by 10⁻²)

I	4
J	
45	
44	-1.934
43	-1.795
42	-1.658
41	-1.525
40	-1.401
39	-1.271
38	-1.113
37	-1.060
36	-1.043
35	-1.024
34	-1.030
33	-1.023
32	-1.006
31	-0.993
30	-0.976
29	-0.954
28	-0.926
27	-0.912
26	-0.897
25	-0.892
24	-0.881
23	-0.865
22	-0.852
21	-0.837
20	-0.818
19	-0.797
18	-0.779
17	-0.754
16	-0.722
15	-0.696
14	-0.665
13	-0.620
12	-0.590
11	-0.558
10	-0.507
9	-0.475
8	-0.435
7	-0.369
6	-0.281

>print yd i=4 j=6,45

y displ. (multiply values below by 10⁻³)

I	4
J	
45	
44	-4.983

43 -5.103
 42 -5.220
 41 -5.332
 40 -5.209
 39 -5.442
 38 -5.551
 37 -5.566
 36 -5.587
 35 -5.615
 34 -5.547
 33 -5.530
 32 -5.536
 31 -5.328
 30 -5.271
 29 -5.253
 28 -4.885
 27 -4.820
 26 -4.810
 25 -4.625
 24 -4.556
 23 -4.534
 22 -4.254
 21 -4.162
 20 -4.133
 19 -3.769
 18 -3.655
 17 -3.622
 16 -3.164
 15 -3.029
 14 -2.994
 13 -2.449
 12 -2.286
 11 -2.239
 10 -1.592
 9 -1.395
 8 -1.340
 7 -1.352
 6 -1.413



```

>print struct node spring
Node Shear Force Shear Disp. S Bond Normal Fce. Normal Dsp. N Bond
-----
161 -3.583E+04 -3.128E-06 intact
160 -3.408E+04 -1.488E-06 intact
159 -4.027E+04 -1.758E-06 intact
158 6.636E+04 2.897E-06 intact
157 4.383E+04 5.469E-04 yield
156
155
154
153
152
151 -3.090E+04 -2.698E-06 intact
150 -1.791E+04 -7.817E-07 intact
149 -2.729E+04 -1.191E-06 intact
148 -1.267E+04 -5.530E-07 intact
147 7.154E+02 3.072E-08 intact
146 4.779E+04 2.085E-06 intact
145 4.026E+04 4.731E-04 yield
  
```

144
143
142
141 -2.978E+04 -2.600E-06 intact
140 -9.061E+03 -3.956E-07 intact
139 -1.623E+04 -7.084E-07 intact
138 -1.695E+04 -7.400E-07 intact
137 -1.206E+04 -5.265E-07 intact
136 -3.264E+02 -1.468E-08 intact
135 -1.913E+03 -8.441E-08 intact
134 4.910E+04 2.143E-06 intact
133 3.721E+04 4.518E-04 yield
132
131
130
129 -2.270E+04 -1.982E-06 intact
128 -5.973E+03 -2.608E-07 intact
127 -4.788E+03 -2.090E-07 intact
126 -4.090E+03 -1.785E-07 intact
125 -7.845E+03 -3.425E-07 intact
124 -1.215E+04 -5.305E-07 intact
123 -1.293E+04 -5.645E-07 intact
122 -9.873E+03 -4.311E-07 intact
121 -3.239E+03 -1.418E-07 intact
120 3.881E+03 1.690E-07 intact
119 4.101E+02 1.737E-08 intact
118 3.990E+04 1.741E-06 intact
117 3.939E+04 3.253E-04 yield
116
115
114
113 -2.909E+04 -2.540E-06 intact
112 -1.515E+03 -6.614E-08 intact
111 -3.244E+03 -1.416E-07 intact
110 -8.318E+03 -3.631E-07 intact
109 -1.380E+04 -6.024E-07 intact
108 -1.443E+04 -6.300E-07 intact
107 -7.504E+03 -3.277E-07 intact
106 -2.380E+03 -1.041E-07 intact
105 1.682E+03 7.298E-08 intact
104 6.359E+03 2.770E-07 intact
103 4.579E+03 1.995E-07 intact
102 2.672E+04 1.166E-06 intact
101 4.094E+04 1.811E-04 yield
100
99
98
97 -3.143E+04 -2.745E-06 intact
96 1.651E+02 7.208E-09 intact
95 -5.951E+03 -2.598E-07 intact
94 -1.208E+04 -5.275E-07 intact
93 -1.482E+04 -6.470E-07 intact
92 -1.052E+04 -4.593E-07 intact
91 -1.556E+03 -6.813E-08 intact
90 2.493E+03 1.085E-07 intact
89 3.445E+03 1.500E-07 intact
88 6.458E+03 2.814E-07 intact
87 6.118E+03 2.667E-07 intact
86 1.580E+04 6.894E-07 intact
85 4.188E+04 6.636E-05 yield

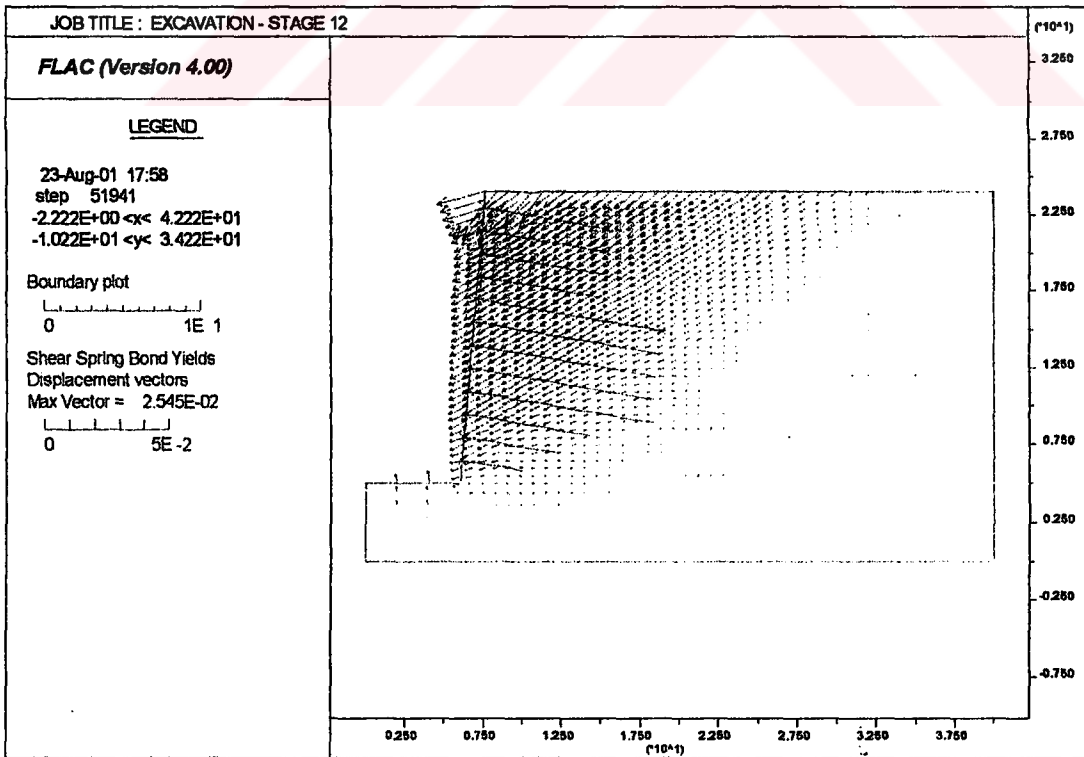
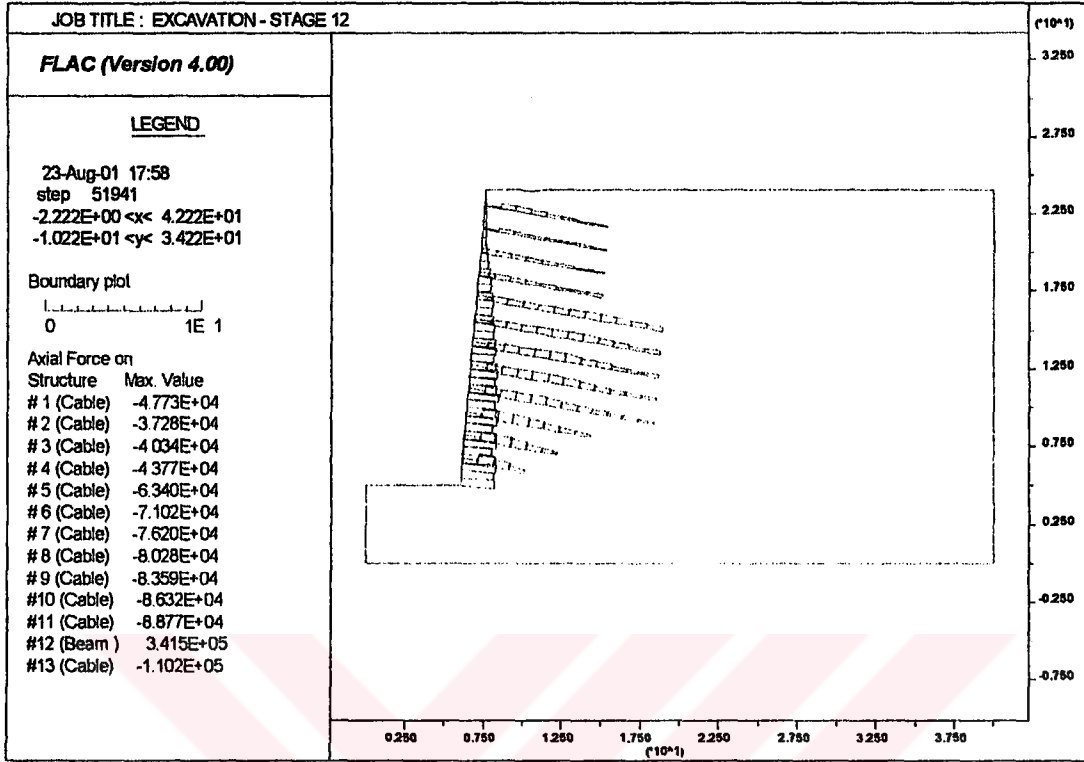
84
83
82
81 -3.724E+04 -3.252E-06 intact
80 4.234E+03 1.848E-07 intact
79 -1.023E+04 -4.467E-07 intact
78 -1.433E+04 -6.257E-07 intact
77 -1.080E+04 -4.714E-07 intact
76 -2.648E+03 -1.158E-07 intact
75 4.822E+03 2.103E-07 intact
74 3.947E+03 1.720E-07 intact
73 1.686E+03 7.337E-08 intact
72 4.557E+03 1.986E-07 intact
71 4.902E+03 2.137E-07 intact
70 1.003E+04 4.378E-07 intact
69 4.107E+04 2.147E-05 yield
68
67
66
65 -4.624E+04 -7.530E-05 yield
64 -5.526E+03 -2.413E-07 intact
63 -5.006E+03 -2.186E-07 intact
62 -4.366E+03 -1.908E-07 intact
61 -2.261E+03 -9.882E-08 intact
60 5.534E+03 2.414E-07 intact
59 5.171E+03 2.255E-07 intact
58 7.516E+02 3.268E-08 intact
57 -1.871E+03 -8.194E-08 intact
56 1.836E+03 7.985E-08 intact
55 -5.392E+03 -2.356E-07 intact
54 1.609E+04 7.022E-07 intact
53 4.128E+04 1.653E-04 yield
52
51
50
49 -2.634E+04 -2.299E-06 intact
48 1.851E+03 8.074E-08 intact
47 -1.515E+03 -6.620E-08 intact
46 -2.927E+03 -1.278E-07 intact
45 -4.643E+03 -2.028E-07 intact
44 -4.058E+03 -1.774E-07 intact
43 -6.135E+03 -2.680E-07 intact
42 3.005E+03 1.310E-07 intact
41 4.077E+04 4.876E-06 yield
40
39
38
37 -2.145E+04 -1.873E-06 intact
36 3.542E+03 1.546E-07 intact
35 -2.733E+03 -1.193E-07 intact
34 -4.774E+03 -2.085E-07 intact
33 -8.198E+03 -3.580E-07 intact
32 -2.951E+03 -1.290E-07 intact
31 -2.421E+03 -1.058E-07 intact
30 -1.338E+03 -5.850E-08 intact
29 4.034E+04 3.737E-05 yield
28
27
26
25 -1.594E+04 -2.515E-04 yield

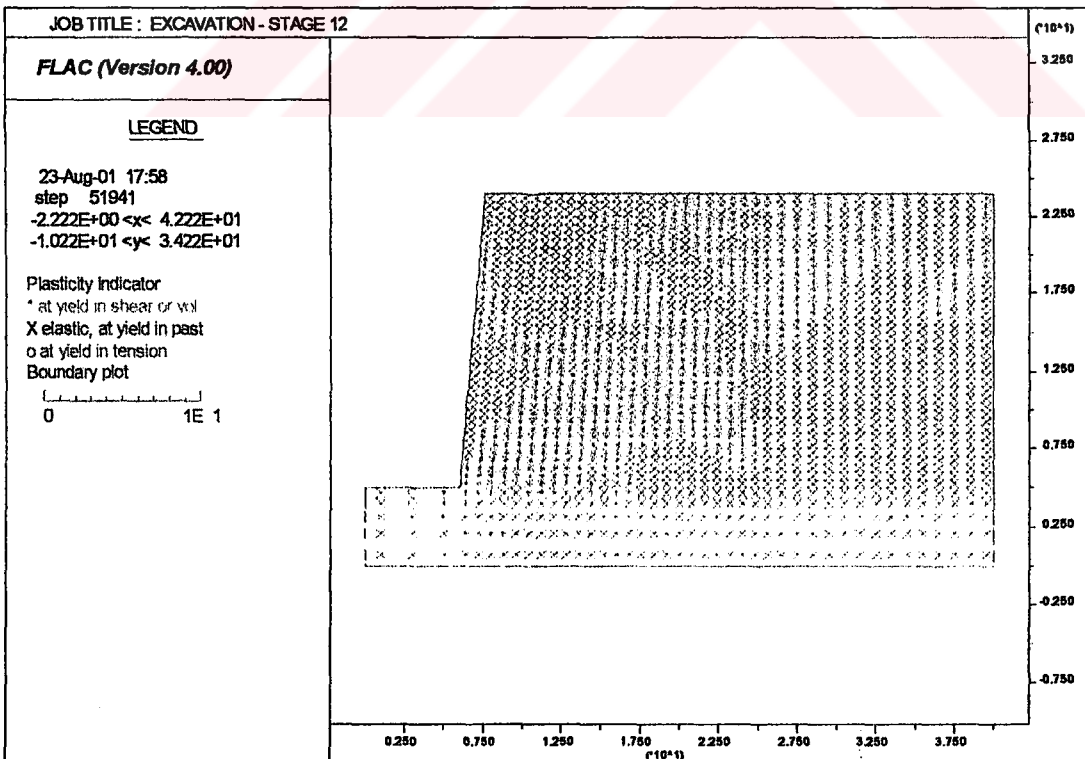
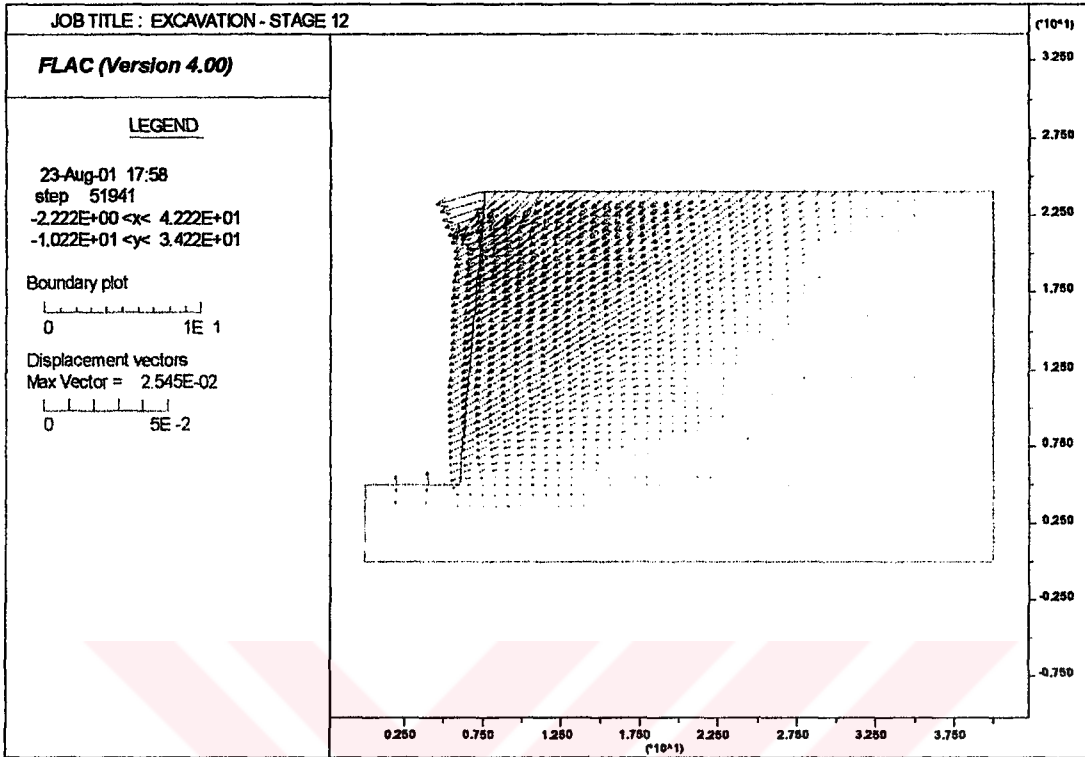
24	-7.255E+03	-3.167E-07	intact
23	3.051E+03	1.332E-07	intact
22	-1.104E+03	-4.824E-08	intact
21	-9.712E+02	-4.242E-08	intact
20	-1.207E+03	-5.270E-08	intact
19	-1.382E+04	-6.032E-07	intact
18	2.403E+04	1.049E-06	intact
17	1.325E+04	1.988E-03	yield
16			
15			
14			
13	-1.492E+04	-7.808E-05	yield
12	-6.636E+03	-2.897E-07	intact
11	-1.861E+03	-8.124E-08	intact
10	-6.145E+03	-2.683E-07	intact
9	-1.434E+04	-6.261E-07	intact
8	-3.637E+03	-1.588E-07	intact
7	4.371E+03	1.906E-07	intact
6	3.025E+04	4.085E-04	yield
5	1.325E+04	5.121E-03	yield
4			
3			
2			
1			

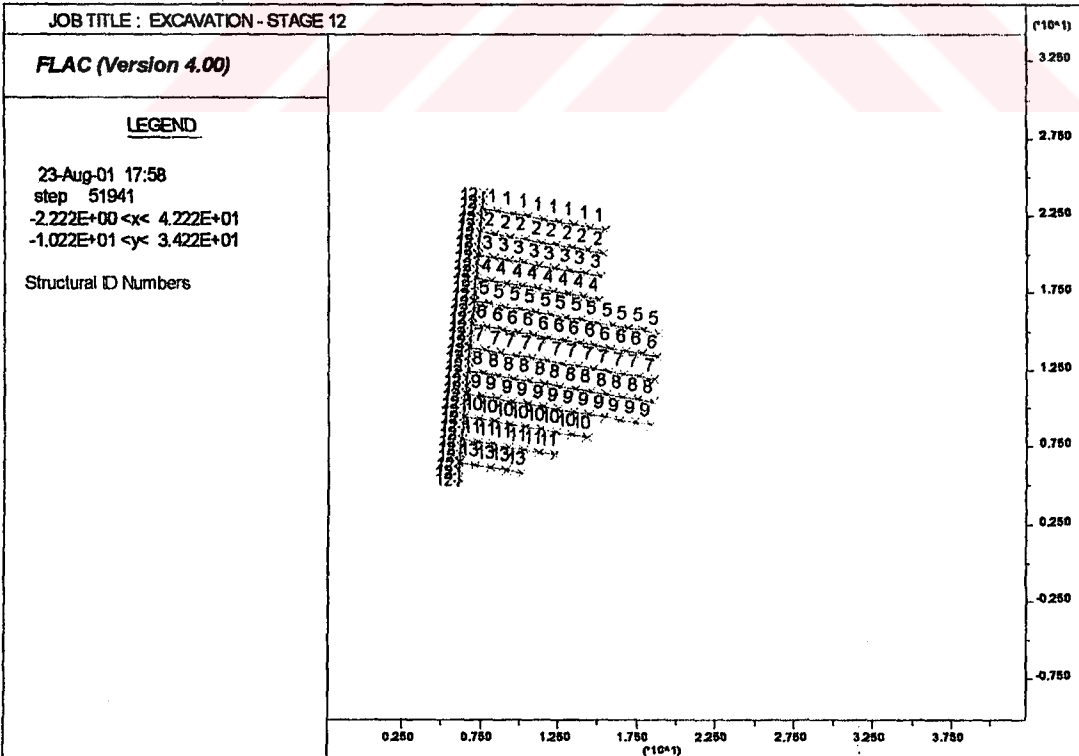
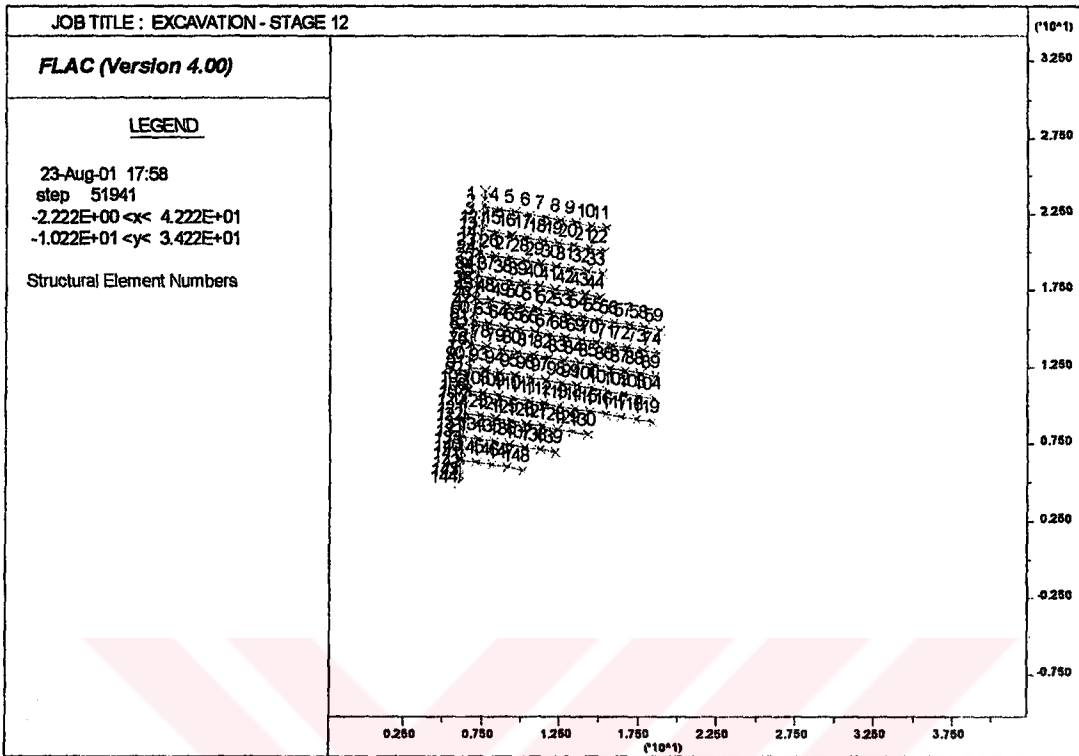
```
>print struct
Structural Information Summary:
Nodes Present           : 161
Beam Elements Present   : 38
Cable Elements Present  : 110
Pile Elements Present   : 0
Support Elements Present : 0
Available Keywords for PRINT STRUCT are :
  NODE, BEAM, CABLE, PILE, SUPPORT, and PROPERTY
```

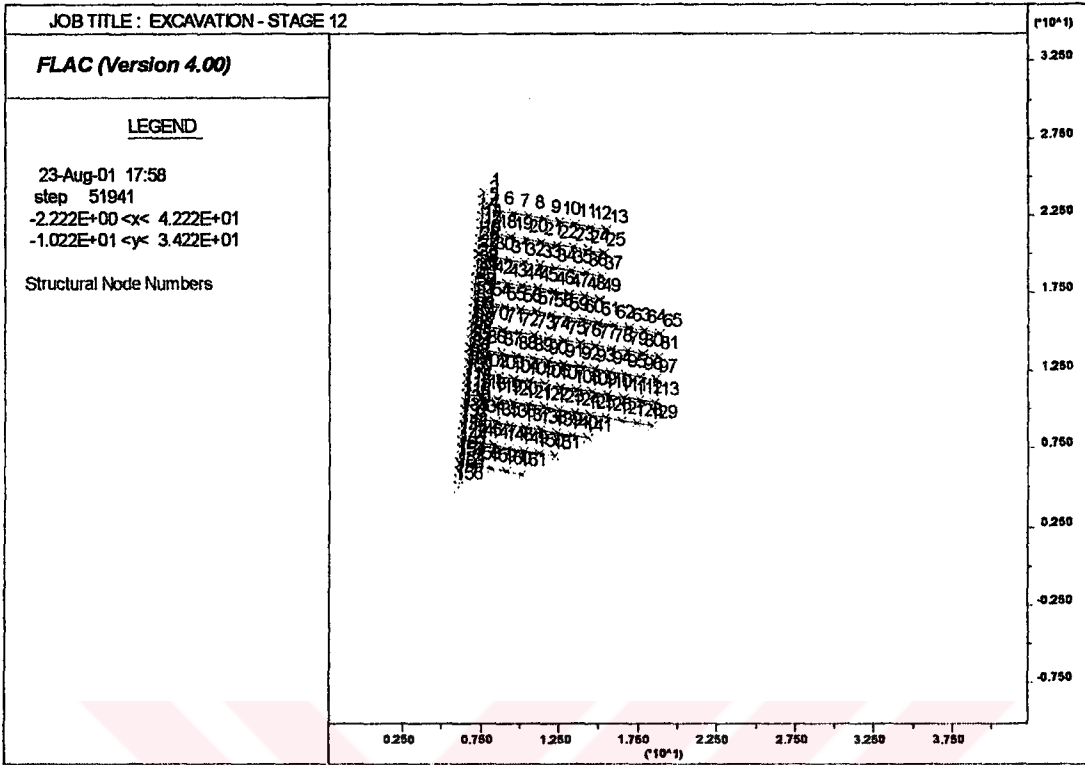
```
>plot bou disp
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 11.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 11.emf
>plot plas bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 12.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 12.emf
>plot syy fill cable beam bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 13.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 13.emf
>plot sxx fill cable beam bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 14.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 14.emf
>plot xdisp fill cable beam bou
```

```
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 15.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 15.emf
>plot ydisp fill cable beam bou
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 16.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 16.emf
>plot bou struct axial
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 18.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 18.emf
>plot bou struct bond disp
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 19.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 19.emf
>plot struct element
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 110.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 110.emf
>plot struct number
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 111.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 111.emf
>plot struct node
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 112.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 112.emf
>plot beam red struct node
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 113.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 113.emf
>
flac: !
```









EK 3 KESİT 3 DATA DOSYASI ve ANALİZ SONUÇLARI



***** TEKFEN TOWER KESİT#3 *****

```
>title
>
>; Grid dimensioning
>grid 42,37
>model mohr
>
>; Grid Generation
>gen 0,0 0,5 6,5 6,0 i=1,4 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same 0,21 7.31,21 same i=1,4 j=6,38
>gen same same 26,21 26,5 i=4,29 j=6,38
>gen same same same 26,0 i=4,29 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same same 40,5 40,0 i=29,43 j=1,6 rat 1 0.8
>gen same same 40,21 same i=29,43 j=6,38
>plot hold grid
>
>; Soil/Formation model type
>prop bulk 2.77e7 shear 9.26e6 fric 28 dens 1850 j 30,37
>prop bulk 3.33e8 shear 1.54e8 fric 30 dens 1950 j 20,29
>prop bulk 4.00e8 shear 2.40e8 fric 30 dens 1950 j 1,19
>
>; Boundary conditions
>fix x i 1
>fix x i 43
>fix y j 1
>
>; Initial stresses (active earth pressure)
>ini szz -26716 var 0 26716 j=30,38
>ini sxx -26716 var 0 26716 j=30,38
>ini syy -74000 var 0 74000 j=30,38
>ini szz -45620 var 0 18904 j=20,30
>ini sxx -45620 var 0 18904 j=20,30
>ini syy -171500 var 0 97500 j=20,30
>ini szz -79572 var 0 33952 j=6,20
>ini sxx -79572 var 0 33952 j=6,20
>ini syy -308000 var 0 136500 j=6,20
>ini szz -112072 var 0 32500 j=1,6
>ini sxx -112072 var 0 32500 j=1,6
>ini syy -405500 var 0 97500 j=1,6
>
>; Gravity
>set grav 9.81
>
>; Conditions during execution
>set large
>
>; Displacement monitoring points
>; History of grid variable is stored for every 100 steps
>hist n 100
>; Maximum unbalanced force is stored
>hist unbal
>; Observed points
>hist xdisp i 4 j 38
>hist ydisp i 4 j 38
>hist xdisp i 4 j 32
>hist ydisp i 4 j 32
>hist xdisp i 4 j 26
>hist ydisp i 4 j 26
>hist xdisp i 4 j 20
>hist ydisp i 4 j 20
```

```
>hist xdisp i 4 j 14
>hist ydisp i 4 j 14
>hist xdisp i 4 j 8
>hist ydisp i 4 j 8
>;
>; Consolidate
>solve
>;
>; Save consolidated state
>save s10.sav
Creating new file
>;
>; Plot initial stresses
>plot hold sxx
>plot hold syy
>;
>; Plotting y-displacements
>plot hold yd yellow bound
>;
>; Reset displacement components to zero
>ini xdisp=0
>ini ydisp=0
>ini xvel 0 i 1 43 j 1 38
>ini yvel 0 i 1 43 j 1 38
>fix x y i 1
>fix x y i 43
>fix x y j 1
>;
>; Soil/Formation model type
>prop coh=0 j=30,37
>prop coh=1e4 j=20,29
>prop coh=2e4 j=1,19
>;
>; EXCAVATION STAGE 1
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 35 37
>title
>; Shotcrete properties
>struct prop 1 e=3.18e10 i=4.86e-4 a=0.18
>struct beam beg grid 4 38 end grid 4 37 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 37 end grid 4 36 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 36 end grid 4 35 seg 1 prop 1
>; Nail properties at the top row
>struct prop 2 a=8.03e-4 e=1e11 y=1.69e5 kbond=2.29e10 sbond=2.59e4
>struct prop 2 sfric=19 peri=0.345
>struct cable begin 7.22 20.00 end 12.15,19.13 seg 5 prop 2
>solve
>save s11.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 2
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 32 34
>title
>struct beam beg grid 4 35 end grid 4 34 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 34 end grid 4 33 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 33 end grid 4 32 seg 1 prop 1
>struct cable begin 7.09 18.50 end 13.00 17.46 seg 6 prop 2
>solve
>save s12.sav
```

```

Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 3
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 29 31
>title
>struct beam beg grid 4 32 end grid 4 31 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 31 end grid 4 30 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 30 end grid 4 29 seg 1 prop 1
>struct prop 3 a=8.03e-4 e=1e11 y=1.69e5 kbond=2.29e10 sbond=7.77e4
>struct prop 3 sfric=20 peri=0.345
>struct cable begin 6.96 17.00 end 12.87 15.96 seg 6 prop 3
>solve
>save s13.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 4
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 26 28
>title
>struct beam beg grid 4 29 end grid 4 28 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 28 end grid 4 27 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 27 end grid 4 26 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.83 15.50 end 13.72 14.28 seg 7 prop 3
>solve
>save s14.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 5
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 23 25
>title
>struct beam beg grid 4 26 end grid 4 25 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 25 end grid 4 24 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 24 end grid 4 23 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.70 14.00 end 18.52 11.92 seg 12 prop 3
>solve
>save s15.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 6
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 20 22
>title
>struct beam beg grid 4 23 end grid 4 22 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 22 end grid 4 21 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 21 end grid 4 20 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.57 12.50 end 18.38 10.42 seg 12 prop 3
>solve
>save s16.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 7
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 17 19
>title
>struct beam beg grid 4 20 end grid 4 19 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 19 end grid 4 18 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 18 end grid 4 17 seg 1 prop 1
>struct prop 4 a=1.25e-3 e=1e11 y=2.64e5 kbond=2.29e10 sbond=7.77e4

```

```

>struct prop 4 sfric=20 peri=0.345
>struct cable begin 6.44 11.00 end 18.26 8.92 seg 12 prop 4
>solve
>save s17.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 8
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 14 16
>title
>struct beam beg grid 4 17 end grid 4 16 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 16 end grid 4 15 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 15 end grid 4 14 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.31 9.50 end 13.20 8.28 seg 7 prop 4
>solve
>save s18.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 9
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 11 13
>title
>struct beam beg grid 4 14 end grid 4 13 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 13 end grid 4 12 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 12 end grid 4 11 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.18 8.00 end 11.10 7.13 seg 5 prop 4
>solve
>save s19.sav
Creating new file
>;
>; EXCAVATION STAGE 10
>; Excavated section
>mod null i 1 3 j 6 10
>title
>struct beam beg grid 4 11 end grid 4 10 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 10 end grid 4 9 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 9 end grid 4 8 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 8 end grid 4 7 seg 1 prop 1
>struct beam beg grid 4 7 end grid 4 6 seg 1 prop 1
>struct cable begin 6.05 6.50 end 9.99 5.81 seg 4 prop 4
>solve
>save s110.sav
Creating new file
>;
>; output
>print struct node
Structural Nodes Summary...
Type 1 (Free) : 0
Type 2 (Beam) : 33
Type 3 (Cable) : 86
Type 4 (Pile) : 0
Available Keywords: POSITION, INFORMATION, SPRING,
HINGE, and SLAVE

>print struct beam

Structural element data ...
Elem ID Nod1 Nod2 Prop F-shear F-axial Mom-1 Mom-2
104 10 113 114 1 beam -1.235E+04 2.298E+05 -6.199E+03 -3.391E-02
103 10 112 113 1 beam -6.847E+03 2.228E+05 -9.634E+03 6.199E+03

```

102	10	111	112	1	beam	-4.936E+03	2.063E+05	-1.211E+04	9.633E+03
101	10	110	111	1	beam	-3.683E+03	1.924E+05	-1.396E+04	1.211E+04
100	10	103	110	1	beam	-2.337E+03	1.796E+05	-1.513E+04	1.396E+04
94	10	102	103	1	beam	-2.016E+03	1.681E+05	-1.614E+04	1.513E+04
93	10	101	102	1	beam	-1.377E+03	1.573E+05	-1.683E+04	1.614E+04
92	10	92	101	1	beam	-9.337E+02	1.469E+05	-1.730E+04	1.683E+04
84	10	91	92	1	beam	-7.585E+02	1.372E+05	-1.768E+04	1.730E+04
83	10	90	91	1	beam	-3.143E+02	1.277E+05	-1.784E+04	1.768E+04
82	10	76	90	1	beam	-5.564E+00	1.184E+05	-1.784E+04	1.784E+04
69	10	75	76	1	beam	1.348E+02	1.094E+05	-1.777E+04	1.784E+04
68	10	74	75	1	beam	5.005E+02	1.005E+05	-1.752E+04	1.777E+04
67	10	60	74	1	beam	8.873E+02	9.158E+04	-1.708E+04	1.752E+04
54	10	59	60	1	beam	-9.115E+02	9.713E+04	-1.753E+04	1.708E+04
53	10	58	59	1	beam	-8.468E+02	9.082E+04	-1.796E+04	1.753E+04
52	10	44	58	1	beam	-5.250E+02	8.441E+04	-1.822E+04	1.796E+04
39	10	43	44	1	beam	-3.309E+02	7.793E+04	-1.839E+04	1.822E+04
38	10	42	43	1	beam	5.034E-01	7.128E+04	-1.839E+04	1.839E+04
37	10	33	42	1	beam	4.786E+02	6.443E+04	-1.815E+04	1.839E+04
29	10	32	33	1	beam	1.069E+03	5.736E+04	-1.761E+04	1.815E+04
28	10	31	32	1	beam	2.082E+03	4.998E+04	-1.657E+04	1.761E+04
27	10	23	31	1	beam	3.560E+03	4.216E+04	-1.478E+04	1.657E+04
20	10	22	23	1	beam	5.761E+03	3.381E+04	-1.189E+04	1.478E+04
19	10	21	22	1	beam	3.030E+03	3.900E+04	-1.037E+04	1.189E+04
18	10	13	21	1	beam	6.545E+03	3.033E+04	-7.090E+03	1.037E+04
11	10	12	13	1	beam	6.945E+03	2.987E+04	-3.605E+03	7.090E+03
10	10	11	12	1	beam	-1.206E+03	2.106E+04	-4.210E+03	3.605E+03
9	10	4	11	1	beam	4.760E+03	1.400E+04	-1.824E+03	4.210E+03
3	10	3	4	1	beam	6.758E+03	1.230E+04	1.563E+03	1.824E+03
2	10	2	3	1	beam	-2.815E+03	4.313E+03	1.518E+02	-1.563E+03
1	10	1	2	1	beam	-3.016E+02	5.358E+02	-2.137E-03	-1.518E+02

>print struct cable

Structural element data ...

Elem ID	Nod1	Nod2	Prop	F-shear	F-axial	Mom-1	Mom-2
108	11	118	119	4 cable	0.000E+00	-2.321E+04	0.000E+00
107	11	117	118	4 cable	0.000E+00	-4.795E+04	0.000E+00
106	11	116	117	4 cable	0.000E+00	-8.174E+04	0.000E+00
105	11	115	116	4 cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
99	9	108	109	4 cable	0.000E+00	-3.165E+04	0.000E+00
98	9	107	108	4 cable	0.000E+00	-5.222E+04	0.000E+00
97	9	106	107	4 cable	0.000E+00	-6.977E+04	0.000E+00
96	9	105	106	4 cable	0.000E+00	-7.456E+04	0.000E+00
95	9	104	105	4 cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
91	8	99	100	4 cable	0.000E+00	-2.501E+04	0.000E+00
90	8	98	99	4 cable	0.000E+00	-3.700E+04	0.000E+00
89	8	97	98	4 cable	0.000E+00	-5.558E+04	0.000E+00
88	8	96	97	4 cable	0.000E+00	-6.882E+04	0.000E+00
87	8	95	96	4 cable	0.000E+00	-7.330E+04	0.000E+00
86	8	94	95	4 cable	0.000E+00	-7.375E+04	0.000E+00
85	8	93	94	4 cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
81	7	88	89	4 cable	0.000E+00	-1.546E+04	0.000E+00
80	7	87	88	4 cable	0.000E+00	-1.653E+04	0.000E+00
79	7	86	87	4 cable	0.000E+00	-1.876E+04	0.000E+00
78	7	85	86	4 cable	0.000E+00	-2.286E+04	0.000E+00
77	7	84	85	4 cable	0.000E+00	-3.046E+04	0.000E+00
76	7	83	84	4 cable	0.000E+00	-4.323E+04	0.000E+00
75	7	82	83	4 cable	0.000E+00	-5.774E+04	0.000E+00
74	7	81	82	4 cable	0.000E+00	-7.094E+04	0.000E+00
73	7	80	81	4 cable	0.000E+00	-7.692E+04	0.000E+00

72	7	79	80	4	cable	0.000E+00	-7.529E+04	0.000E+00	0.000E+00
71	7	78	79	4	cable	0.000E+00	-6.889E+04	0.000E+00	0.000E+00
70	7	77	78	4	cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
66	6	72	73	3	cable	0.000E+00	-1.649E+04	0.000E+00	0.000E+00
65	6	71	72	3	cable	0.000E+00	-1.985E+04	0.000E+00	0.000E+00
64	6	70	71	3	cable	0.000E+00	-2.243E+04	0.000E+00	0.000E+00
63	6	69	70	3	cable	0.000E+00	-2.293E+04	0.000E+00	0.000E+00
62	6	68	69	3	cable	0.000E+00	-2.810E+04	0.000E+00	0.000E+00
61	6	67	68	3	cable	0.000E+00	-3.927E+04	0.000E+00	0.000E+00
60	6	66	67	3	cable	0.000E+00	-4.774E+04	0.000E+00	0.000E+00
59	6	65	66	3	cable	0.000E+00	-4.931E+04	0.000E+00	0.000E+00
58	6	64	65	3	cable	0.000E+00	-5.002E+04	0.000E+00	0.000E+00
57	6	63	64	3	cable	0.000E+00	-5.061E+04	0.000E+00	0.000E+00
56	6	62	63	3	cable	0.000E+00	-5.247E+04	0.000E+00	0.000E+00
55	6	61	62	3	cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
51	5	56	57	3	cable	0.000E+00	-1.999E+04	0.000E+00	0.000E+00
50	5	55	56	3	cable	0.000E+00	-2.942E+04	0.000E+00	0.000E+00
49	5	54	55	3	cable	0.000E+00	-4.075E+04	0.000E+00	0.000E+00
48	5	53	54	3	cable	0.000E+00	-4.514E+04	0.000E+00	0.000E+00
47	5	52	53	3	cable	0.000E+00	-4.528E+04	0.000E+00	0.000E+00
46	5	51	52	3	cable	0.000E+00	-4.709E+04	0.000E+00	0.000E+00
45	5	50	51	3	cable	0.000E+00	-4.607E+04	0.000E+00	0.000E+00
44	5	49	50	3	cable	0.000E+00	-4.668E+04	0.000E+00	0.000E+00
43	5	48	49	3	cable	0.000E+00	-4.850E+04	0.000E+00	0.000E+00
42	5	47	48	3	cable	0.000E+00	-4.916E+04	0.000E+00	0.000E+00
41	5	46	47	3	cable	0.000E+00	-5.247E+04	0.000E+00	0.000E+00
40	5	45	46	3	cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
36	4	40	41	3	cable	0.000E+00	-3.330E+04	0.000E+00	0.000E+00
35	4	39	40	3	cable	0.000E+00	-3.327E+04	0.000E+00	0.000E+00
34	4	38	39	3	cable	0.000E+00	-3.673E+04	0.000E+00	0.000E+00
33	4	37	38	3	cable	0.000E+00	-4.210E+04	0.000E+00	0.000E+00
32	4	36	37	3	cable	0.000E+00	-4.550E+04	0.000E+00	0.000E+00
31	4	35	36	3	cable	0.000E+00	-4.168E+04	0.000E+00	0.000E+00
30	4	34	35	3	cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
26	3	29	30	3	cable	0.000E+00	-2.746E+04	0.000E+00	0.000E+00
25	3	28	29	3	cable	0.000E+00	-2.270E+04	0.000E+00	0.000E+00
24	3	27	28	3	cable	0.000E+00	-2.731E+04	0.000E+00	0.000E+00
23	3	26	27	3	cable	0.000E+00	-2.988E+04	0.000E+00	0.000E+00
22	3	25	26	3	cable	0.000E+00	-2.595E+04	0.000E+00	0.000E+00
21	3	24	25	3	cable	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
17	2	19	20	2	cable	0.000E+00	-1.574E+04	0.000E+00	0.000E+00
16	2	18	19	2	cable	0.000E+00	-2.277E+04	0.000E+00	0.000E+00
15	2	17	18	2	cable	0.000E+00	-2.038E+04	0.000E+00	0.000E+00
14	2	16	17	2	cable	0.000E+00	-2.878E+04	0.000E+00	0.000E+00
13	2	15	16	2	cable	0.000E+00	-3.467E+04	0.000E+00	0.000E+00
12	2	14	15	2	cable	0.000E+00	-1.177E+04	0.000E+00	0.000E+00
8	1	9	10	2	cable	0.000E+00	-1.435E+04	0.000E+00	0.000E+00
7	1	8	9	2	cable	0.000E+00	-2.704E+04	0.000E+00	0.000E+00
6	1	7	8	2	cable	0.000E+00	-3.021E+04	0.000E+00	0.000E+00
5	1	6	7	2	cable	0.000E+00	-3.046E+04	0.000E+00	0.000E+00
4	1	5	6	2	cable	0.000E+00	-1.313E+04	0.000E+00	0.000E+00

>print xd i=4 j=6,38

x displ. (multiply values below by 10⁻²)

I	4
J	
38	-3.946
37	-3.238
36	-2.526

```
35 -1.816
34 -1.899
33 -1.964
32 -2.010
31 -1.975
30 -1.937
29 -1.946
28 -1.970
27 -1.968
26 -1.937
25 -1.919
24 -1.872
23 -1.795
22 -1.738
21 -1.654
20 -1.541
19 -1.484
18 -1.399
17 -1.286
16 -1.208
15 -1.104
14 -0.972
13 -0.888
12 -0.785
11 -0.658
10 -0.571
9 -0.483
8 -0.379
7 -0.258
6 -0.127
```

```
>print yd i=4 j=6,38
y displ. (multiply values below by 10-3)
```

```
I 4
J
38 1.966
37 1.433
36 0.905
35 0.374
34 0.656
33 0.611
32 0.543
31 0.849
30 0.789
29 0.774
28 0.792
27 0.775
26 0.726
25 0.745
24 0.706
23 0.626
22 0.648
21 0.599
20 0.506
19 0.488
18 0.417
17 0.299
16 0.312
```

15	0.238
14	0.115
13	0.192
12	0.136
11	0.025
10	0.229
9	0.207
8	0.122
7	0.011
6	-0.126

>print struct node spring

Node	Shear Force	Shear Disp.	S Bond	Normal Fce.	Normal Dsp.	N Bond
119	-2.321E+04	-2.027E-06	intact			
118	-2.474E+04	-1.080E-06	intact			
117	-3.379E+04	-1.475E-06	intact			
116	8.174E+04	3.570E-06	intact			
115	0.000E+00	0.000E+00	none			
114						
113						
112						
111						
110						
109	-3.165E+04	-2.765E-06	intact			
108	-2.058E+04	-8.991E-07	intact			
107	-1.754E+04	-7.665E-07	intact			
106	-4.794E+03	-2.096E-07	intact			
105	7.456E+04	3.259E-06	intact			
104	0.000E+00	0.000E+00	none			
103						
102						
101						
100	-2.501E+04	-2.185E-06	intact			
99	-1.199E+04	-5.239E-07	intact			
98	-1.858E+04	-8.115E-07	intact			
97	-1.324E+04	-5.786E-07	intact			
96	-4.478E+03	-1.958E-07	intact			
95	-4.558E+02	-2.033E-08	intact			
94	7.376E+04	3.223E-06	intact			
93	0.000E+00	0.000E+00	none			
92						
91						
90						
89	-1.546E+04	-1.350E-06	intact			
88	-1.074E+03	-4.690E-08	intact			
87	-2.222E+03	-9.702E-08	intact			
86	-4.104E+03	-1.792E-07	intact			
85	-7.597E+03	-3.317E-07	intact			
84	-1.277E+04	-5.575E-07	intact			
83	-1.451E+04	-6.337E-07	intact			
82	-1.320E+04	-5.763E-07	intact			
81	-5.983E+03	-2.614E-07	intact			
80	1.635E+03	7.095E-08	intact			
79	6.396E+03	2.789E-07	intact			
78	6.889E+04	3.009E-06	intact			
77	0.000E+00	0.000E+00	none			
76						
75						

74			
73	-1.649E+04	-1.441E-06	intact
72	-3.364E+03	-1.470E-07	intact
71	-2.577E+03	-1.126E-07	intact
70	-5.022E+02	-2.195E-08	intact
69	-5.175E+03	-2.261E-07	intact
68	-1.116E+04	-4.878E-07	intact
67	-8.473E+03	-3.703E-07	intact
66	-1.571E+03	-6.882E-08	intact
65	-7.094E+02	-3.120E-08	intact
64	-5.910E+02	-2.604E-08	intact
63	-1.856E+03	-8.134E-08	intact
62	5.247E+04	2.293E-06	intact
61	0.000E+00	0.000E+00	none
60			
59			
58			
57	-1.999E+04	-1.745E-06	intact
56	-9.436E+03	-4.120E-07	intact
55	-1.133E+04	-4.946E-07	intact
54	-4.386E+03	-1.915E-07	intact
53	-1.404E+02	-6.144E-09	intact
52	-1.806E+03	-7.893E-08	intact
51	1.012E+03	4.406E-08	intact
50	-6.058E+02	-2.666E-08	intact
49	-1.821E+03	-7.967E-08	intact
48	-6.582E+02	-2.893E-08	intact
47	-3.309E+03	-1.447E-07	intact
46	5.247E+04	2.292E-06	intact
45	0.000E+00	0.000E+00	none
44			
43			
42			
41	-3.330E+04	-2.909E-06	intact
40	3.147E+01	1.285E-09	intact
39	-3.457E+03	-1.511E-07	intact
38	-5.373E+03	-2.348E-07	intact
37	-3.396E+03	-1.485E-07	intact
36	3.820E+03	1.666E-07	intact
35	4.168E+04	1.821E-06	intact
34	0.000E+00	0.000E+00	none
33			
32			
31			
30	-2.746E+04	-2.397E-06	intact
29	4.756E+03	2.075E-07	intact
28	-4.604E+03	-2.010E-07	intact
27	-2.567E+03	-1.121E-07	intact
26	3.931E+03	1.715E-07	intact
25	2.595E+04	1.133E-06	intact
24	0.000E+00	1.121E-07	none
23			
22			
21			
20	-1.574E+04	-4.647E-04	yield
19	-7.016E+03	-3.063E-07	intact
18	2.407E+03	1.050E-07	intact
17	-8.387E+03	-3.660E-07	intact
16	-5.863E+03	-2.561E-07	intact
15	2.295E+04	9.444E-04	yield

```
14  1.177E+04  1.390E-06 intact
13
12
11
10 -1.434E+04 -1.132E-03 yield
 9 -1.269E+04 -5.536E-07 intact
 8 -3.173E+03 -1.383E-07 intact
 7 -2.460E+02 -1.089E-08 intact
 6  1.734E+04  7.560E-07 intact
 5  1.313E+04  4.909E-03 yield
 4
 3
 2
 1
```

>print struct

Structural Information Summary:

```
Nodes Present      : 119
Beam Elements Present : 32
Cable Elements Present : 76
Pile Elements Present : 0
Support Elements Present : 0
```

Available Keywords for PRINT STRUCT are :

NODE, BEAM, CABLE, PILE, SUPPORT, and PROPERTY

>plot bou disp

>set plot emf

hard copy device is enhanced meta file (color)

>copy 11.emf

Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)

Plot destination is 11.emf

>plot plas bou

>set plot emf

hard copy device is enhanced meta file (color)

>copy 12.emf

Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)

Plot destination is 12.emf

>plot syy fill cable beam bou

>set plot emf

hard copy device is enhanced meta file (color)

>copy 13.emf

Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)

Plot destination is 13.emf

>plot sxx fill cable beam bou

>set plot emf

hard copy device is enhanced meta file (color)

>copy 14.emf

Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)

Plot destination is 14.emf

>plot xdisp fill cable beam bou

>set plot emf

hard copy device is enhanced meta file (color)

>copy 15.emf

Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)

Plot destination is 15.emf

>plot ydisp fill cable beam bou

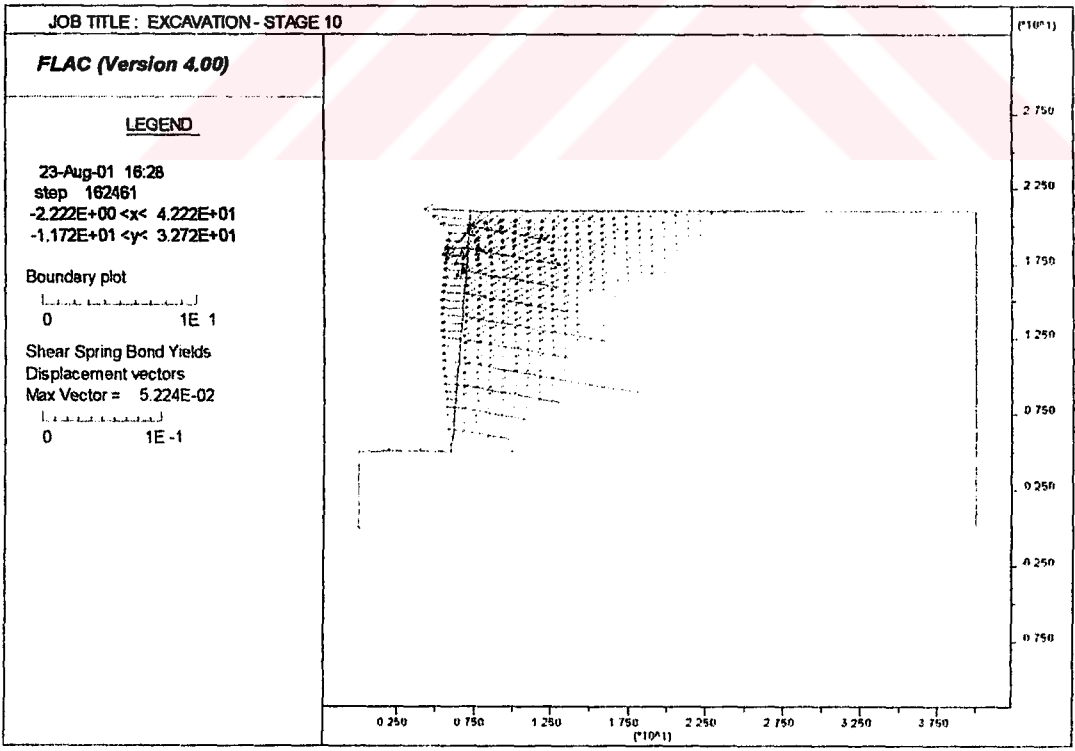
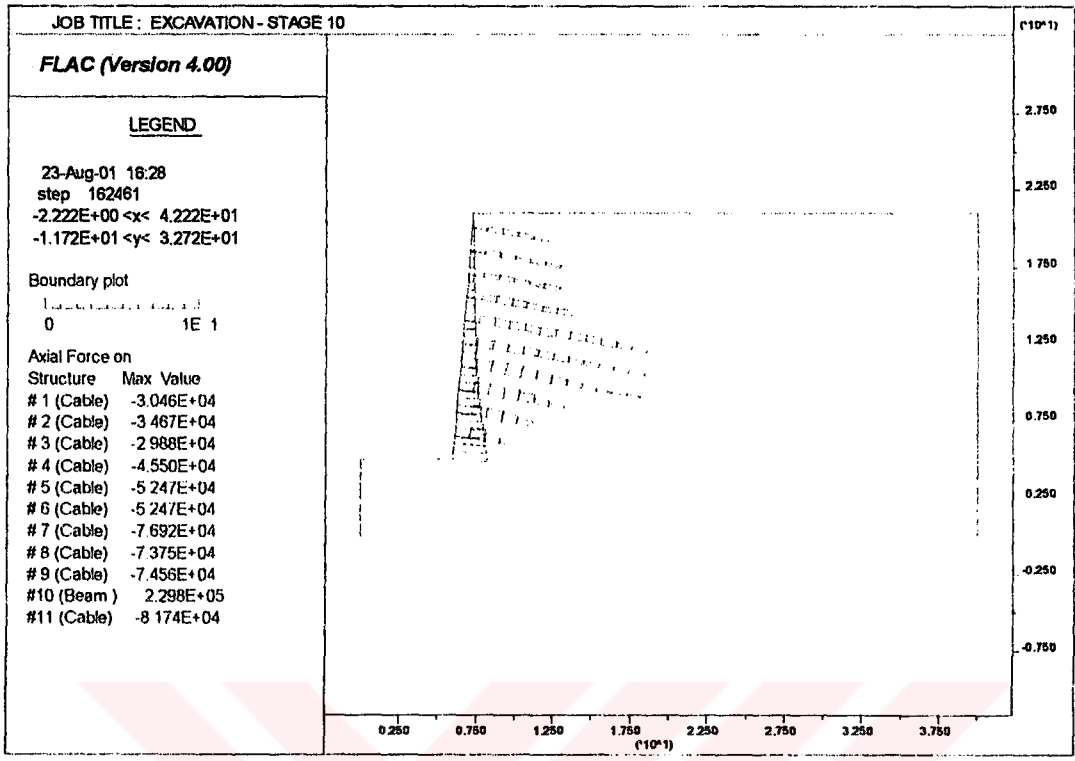
>set plot emf

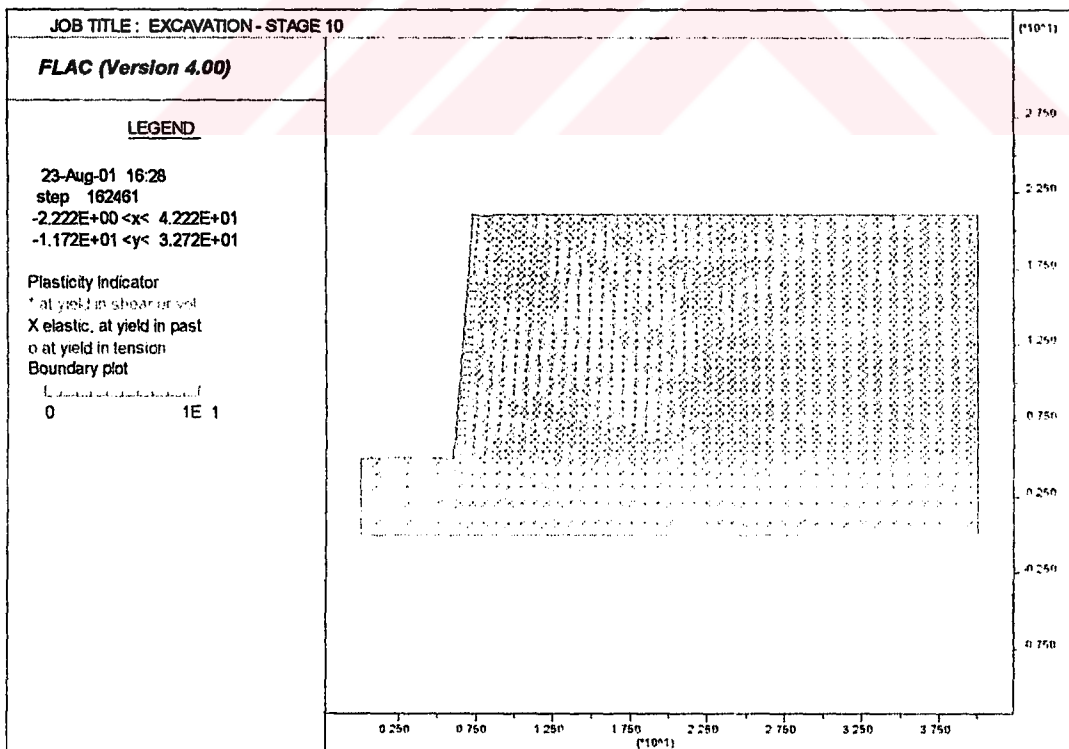
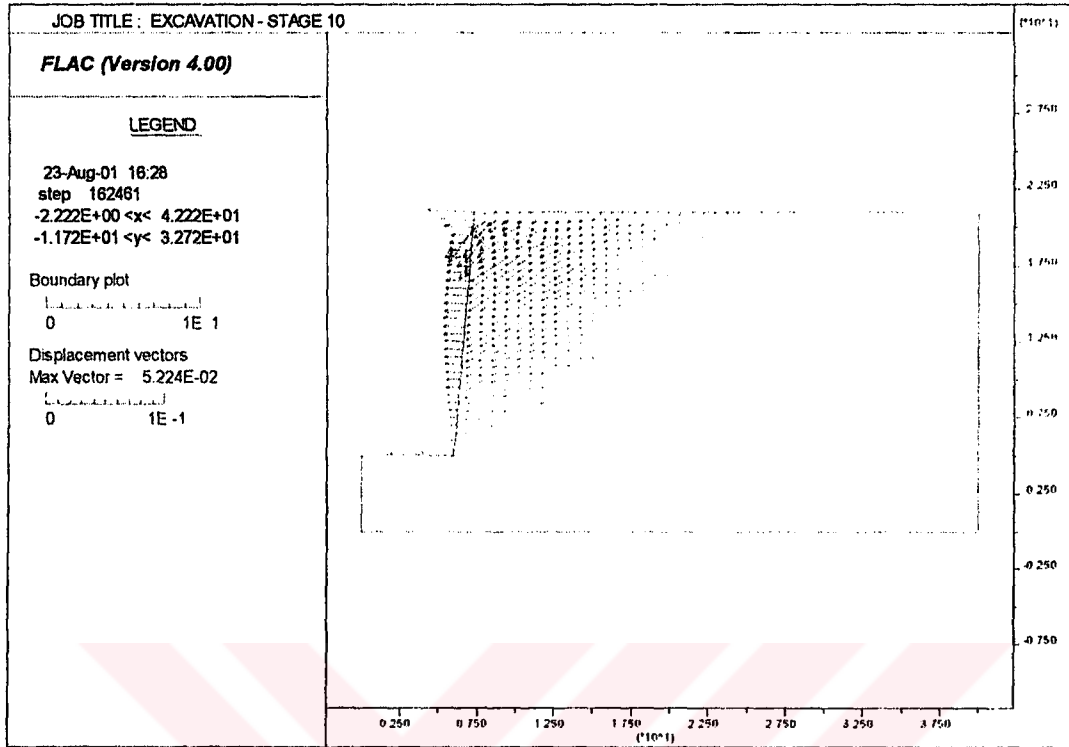
hard copy device is enhanced meta file (color)

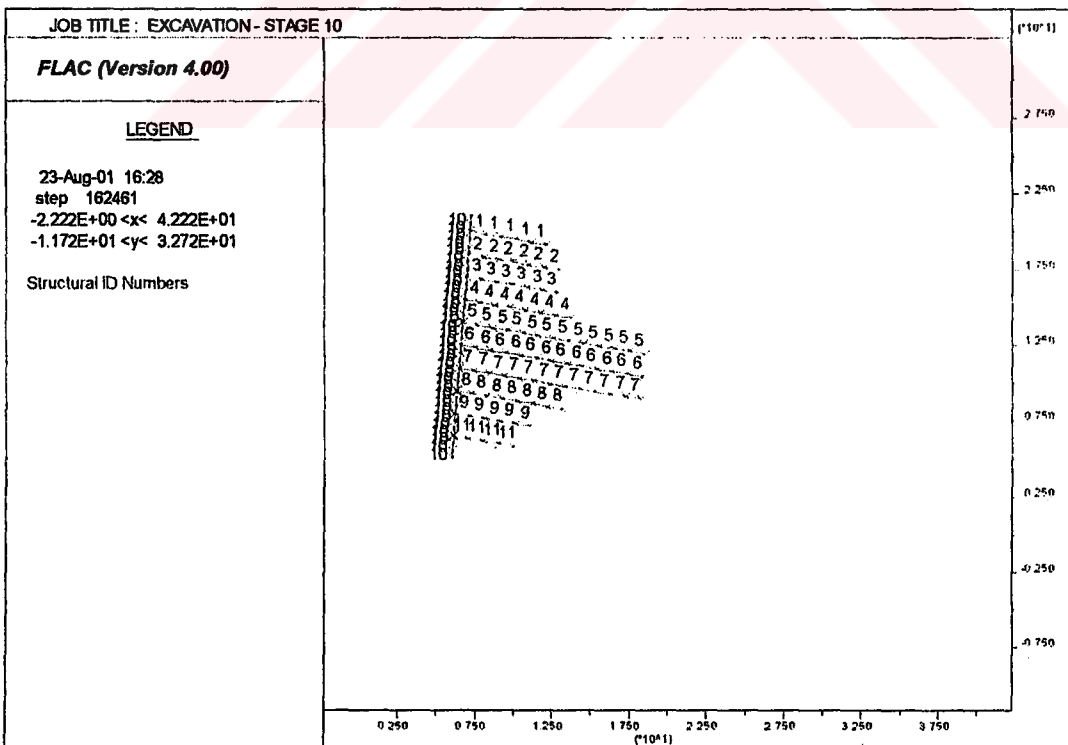
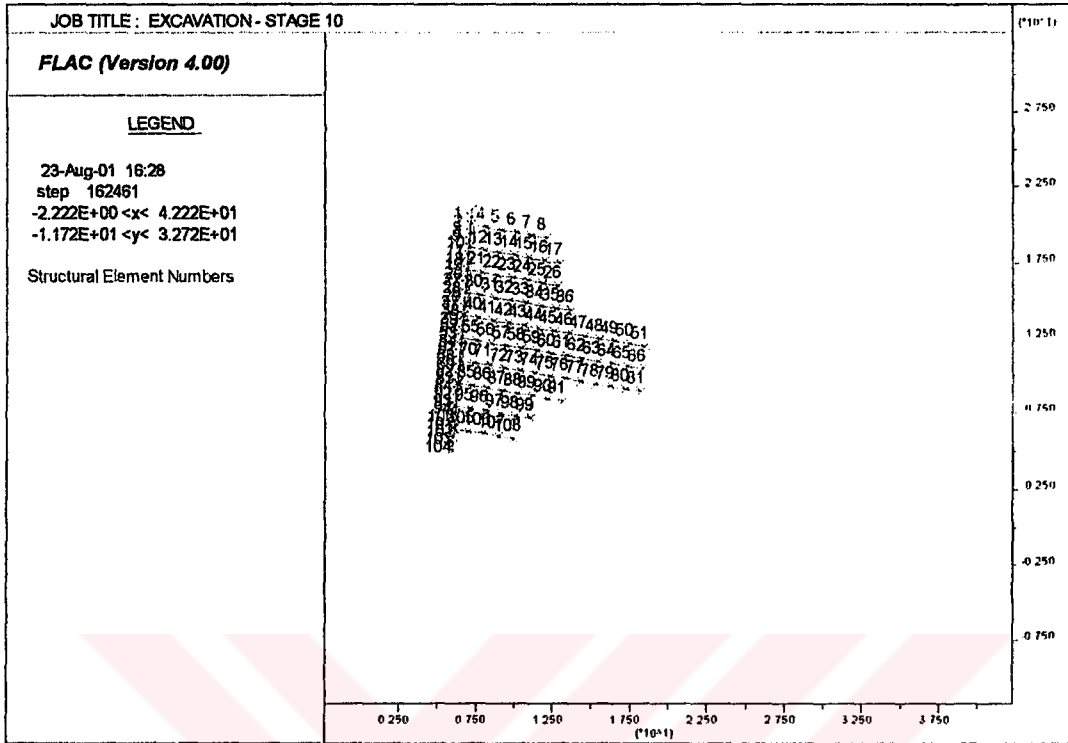
>copy 16.emf

Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)

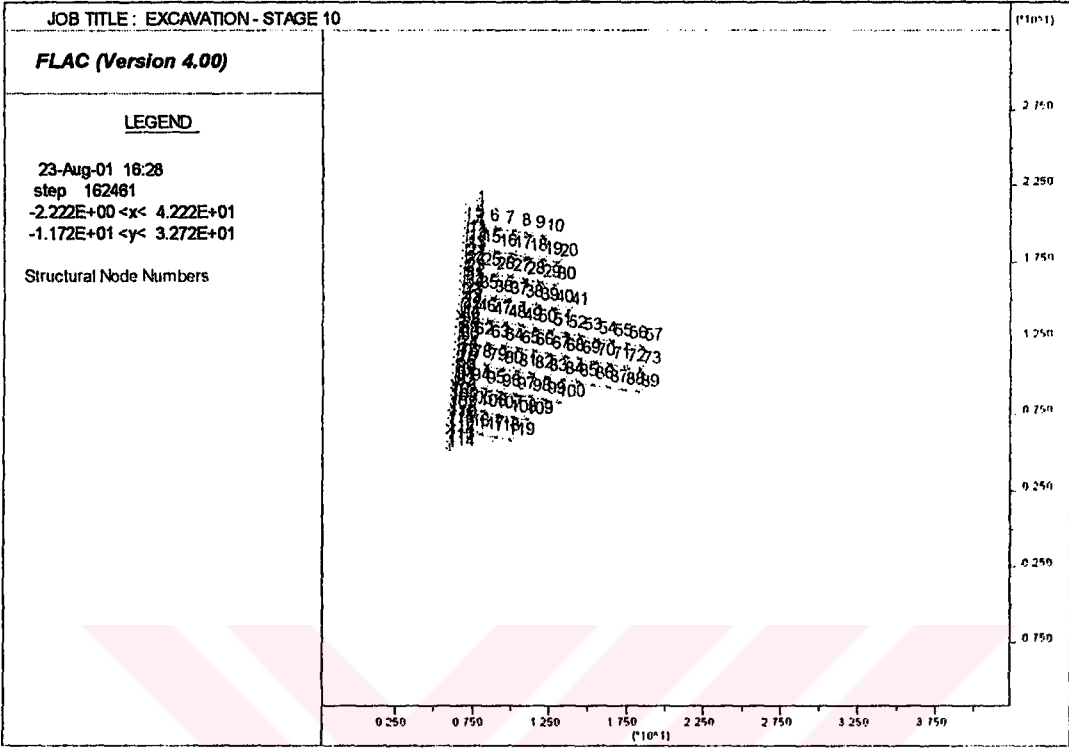
```
Plot destination is 16.emf
>plot bou struct axial
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 18.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 18.emf
>plot bou struct bond disp
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 19.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 19.emf
>plot struct element
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 110.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 110.emf
>plot struct number
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 111.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 111.emf
>plot struct node
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 112.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 112.emf
>plot beam red struct node
>set plot emf
hard copy device is enhanced meta file (color)
>copy 113.emf
Plot data is for Windows Enhanced Meta File (color)
Plot destination is 113.emf
```







T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
 DOKÜMANİSYON MERKEZİ



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.09.1975

Doğum yeri İstanbul

Lise 1990- 1993 Özel Tercüman Lisesi

Lisans 1993- 1997 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.

İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı kurumlar

1997- Devam ediyor Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş.

