

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DESTEKLİ İKSA PERDELERİNDE ÖLÇÜLEN VE
TAHMİN EDİLEN DEPLASMANLARIN
KARŞILAŞTIRILMASI

106433

İnş. Müh. Doğan ÇETİN

106433

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM

Prof. Dr. Kadir ÇAYDIN

Prof. Dr. Arife İNCEKİ

Tez Danışmanı

: Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM

İSTANBUL, 2001

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vi
ÖNSÖZ.....	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1.GİRİŞ	1
2.DESTEKLİ KAZILAR.....	2
2.1 Kazı Problemlerinin Önemi.....	4
2.2 Yeraltı Suyunun Rolü.....	4
2.3 Kazı Yakınında Gerilme ve Özellikleri.....	6
2.4 Kazı Mühendisliği.....	7
2.5 Analiz Metodları.....	8
2.6 Destek Yükleri ve Duvar Hareketleri.....	9
2.7 Alternatif Destek Sistemleri.....	10
2.8 Destekli Derin Kazıların Gözlemlenmesi.....	11
2.8.1 İnklinometrenin kullanımı.....	13
2.8.2 İnklinometrenin kullanım alanları.....	13
2.8.3 İnklinometrenin çalışma yöntemi.....	13
2.8.4 İnklinometre borusunun yerleştirilmesi.....	15
2.8.5 İnklinometrenin gözlem sonuçlarının değerlendirilmesi.....	19
3.DESTEKLİ KAZI UYGULAMA ÖRNEĞİ:ADANA HAFİF RAYLI TAŞIMA SİSTEMİ VİLAYET-ÇİFTE MİNARE ARASI AÇ-KAPA TÜNELLERİ	21
3.1 İşin Tanımı.....	21
3.2 Arazi Çalışmaları.....	21
3.3 Laboratuvar Çalışmaları.....	22
3.4 Yeraltı Suyu Durumu.....	22
3.5 Zemin Profili.....	22
3.5.1 Taraça-kaliçi.....	23
3.5.2 Kaliçi.....	23
3.5.3 Alüvyon.....	24
3.5.4 Yapay dolgu.....	24
4. PLAXİS PROGRAMI.....	26
5.DEPLASMAN ANALİZLERİ.....	30
5.1 Birinci Kesit Km:7+900 ile 8+116 Arası Analizler.....	30
5.1.1 Kullanılan malzeme özellikleri.....	31

5.1.2	Zemin tabakalarının ve parametrelerinin tanımlanması.....	31
5.1.2.1	Alüvyon tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi.....	32
5.1.2.2	Kaliçi tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi	39
5.1.2.3	Taraça tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi.....	39
5.2	İkinci Kesit 8+118 ile 8+245 Arası Analizler.....	42
5.2.1	Kullanılan malzeme özellikleri.....	42
5.2.2	Zemin tabakaları ve parametrelerinin tanımlanması.....	42
5.2.2.1	Alüvyon tabakasının zemin parametrelerinin tanımlanması.....	43
5.2.2.2	Kaliçi tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi.....	45
5.2.2.3	Taraça tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi.....	45
6	ANALİZ SONUÇLARI	48
	KAYNAKLAR.....	50
	EKLER	51
	Ek 1 Birinci Kesit Analiz ve Deplasman Grafikleri	
	Ek 2 İkinci Kesit Analiz ve Deplasman Grafikleri Sondaj Logları	
	Ek 3 Sondaj Logları ve Laboratuar Sonuçları	
	Ek 4 Güzergah planı	

ÖZGEÇMİŞ

SİMGE LİSTESİ

Q_r - Q_k	Taraça-Kaliçi zemin tabakası
Q_k	Kaliçi zemin tabakası
Q_{al}	Alüvyon zemin tabakası
w_n	Doğal su İçeriği
PI	Plastisite indisi
LL	Likit limit
PL	Plastik limit
N	Standart penetrasyon deneyi değeri
N_d	Düzeltilmiş standart penetrasyon deneyi değeri
N_{ort}	Ortalama standart penetrasyon deneyi değeri
γ_n	Doğal birim hacim ağırlığı
q_u	Serbest basınç değeri
γ_s	Özgül ağırlık
\emptyset	İçsel sürtünme açısı
c_u	Drenajsız kayma mukaveti
E_u	Drenajsız elastisite modülü
E'	Drenajlı elastisite modülü
q_c	Koni penetrasyon uç direnci
σ_v'	Efektif düşey gerilme
γ_d	Suya doymun birim hacim ağırlık
γ_k	Kuru halde birim hacim ağırlık
ν	Poisson oranı
K_0	Sükunette toprak basıncı katsayısı
K_a	Aktik toprak basıncı katsayısı
e	Boşluk oranı

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Kazı yakınında zemin gerilmeleri.....	5
Şekil 2.2 Kazı yakınındaki zemin elementinde gerilme izleri.....	7
Şekil 2.3 Destek yüklerinin hesaplanması için önerilen yanal gerilme dağılımları.....	10
Şekil 2.4 Kesişen kazık planı.....	11
Şekil 2.5 İnklinometrenin çalışma yöntemi.....	14
Şekil 2.6 İnklinometre borusunun üstten görünüşü.....	16
Şekil 2.7 Toplam deplasmanlar grafiği.....	20
Şekil 4.1 Analizlerde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları.....	29
Şekil 5.1 Km: 7+900 ile 8+116 arası zemin ve destek sistemi profili.....	46
Şekil 5.2 Km: 8+118 ile 8+245 arası zemin ve destek sistemi profili.....	47



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Kazı yakınındaki zeminin gerilme ve özellikleri.....	7
Çizelge 2.2	Destekli kazılarda analiz yöntemleri.....	8
Çizelge 3.1	Sondajların tanımlanması.....	21
Çizelge 5.1	Birinci kesit malzeme özellikleri.....	31
Çizelge 5.2	Birinci kesit malzeme parametreleri.....	31
Çizelge 5.3	Özgül yoğunluk değerleri.....	32
Çizelge 5.4	Çeşitli zeminler için G_s değerleri.....	32
Çizelge 5.5	Çeşitli zeminler için boşluk oranı, porozite, birim hacim ağırlık değerleri....	33
Çizelge 5.6	Düzeltilmiş SPT sayıları.....	34
Çizelge 5.7	$N-q_c$ korelasyonları.....	35
Çizelge 5.8	E_s-q_c korelasyonları.....	35
Çizelge 5.9	AASHTO'ya göre E ve v değerleri	36
Çizelge 5.10	$N-c_u$ korelasyonları.....	37
Çizelge 5.11	$N-q_u$ korelasyonları.....	37
Çizelge 5.12	$N-q_u$ korelasyonları.....	37
Çizelge 5.13	$N-c_u$ korelasyonları.....	38
Çizelge 5.14	E_u-c_u korelasyonları.....	38
Çizelge 5.15	Kohezyonsuz zeminlerde ϕ değerleri.....	40
Çizelge 5.16	N değerlerine göre yaklaşık ϕ değerleri.....	41
Çizelge 5.17	Drenajlı poisson oranları.....	41
Çizelge 5.18	İkinci kesit malzeme özellikleri.....	42
Çizelge 5.19	İkinci kesit malzeme parametreleri.....	43
Çizelge 5.20	Drenajlı elastisite modülü değerleri.....	43
Çizelge 5.21	İkinci kesit düzeltilmiş SPT değerleri.....	44
Çizelge 5.22	Kil zeminler için E değerleri.....	44
Çizelge 5.23	Granüler zeminler için ϕ' değerleri.....	45
Çizelge 5.24	Kohezyonlu zeminler için ϕ' değerleri.....	45

ÖNSÖZ

Bu çalışmada Destekli Kazılarla ilgili analiz yöntemleri, zemin tabakaları için parametre seçiminin nasıl olması gerektiği ve arazi aletsel gözlemleri ile analizler sonucu bulunan sonuçların karşılaştırılması konuları üzerinde durulmuştur.

Bu çalışma sırasında değerli bilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr.Sayın Sönmez YILDIRIM' a teşekkürlerimi sunarım. Çalışmamın deplasman analizleri bölümünde plaxis programı konusunda bana her zaman yardım eden ve karşılaştığım problemlerde daima bana yol gösteren Arş.Gör.Dr. Sayın Havvanur KILIÇ'a, uygulama projesi ile ilgili döküman ve bilgileri elde etmemde bana yardımcı olan Jeoloji Yük. Müh. Sayın Can SAVUN' a, Jeoloji Müh. Sayın Cafer CENGİZ'e, İnş.Yük.Müh. Sayın Soner BATUMAN'a teşekkür ederim. Aileme özellikle babam İsrail ÇETİN' e bu çalışma süresince bana vermiş olduğu destek, gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı teşekkür ederim. Zaman zaman görüş ve yardımlarına başvurduğum Arş.Gör. Sayın Pelin Tohumcu' ya teşekkür ederim.



ÖZET

Bu tez kapsamında son yıllarda ülkemizde de geniş uygulama alanı bulmaya başlayan derin kazı konusunda temel konulara değinilmiştir. Bu çalışmada yeni kurallar ve kavramlar ortaya koymak yerine derin kazı konusunda ihmal edilen temel konular irdelenmiştir. Derin kazı bir gereksinimden doğduğuna göre konuya ilişkin geoteknik sorunların giderilmesi gerekmektedir. Bu gereksinimin ortaya çıkmasıyla bilimadamları da konu üzerinde çalışmışlar ve 20. yüzyılın başlarından günümüze dek kapsamlı araştırmalar ortaya koymuşlardır. Bu çalışmalar ışığında temel konular üzerinde yapılan bir çalışma sunulmaktadır.

Bu çalışmada derin kazı problemleri ele alınmaktadır. Bunlardan bazıları; yeraltı suyu kontrolü ve yeraltı suyunun derin kazılardaki rolü, kazı arkasında ve yakınındaki zemin davranışları ve özellikleri, derin kazı problemlerinin analizinde nasıl yöntemler izlenmesi gerektiği şeklinde sıralanabilir.

Çalışmayı uygulamadan bir örnek ile desteklenmiştir. Uygulama örneği olarak; Adana Hafif Raylı Taşıma Sistemi Projesi kapsamında olan Vilayet İstasyonu ile Çifte Minare İstasyonu arasında yer alan yaklaşık 800 m aç-kapa tünelleridir. Boru destekli kesişen ve aralıklı fore kazıklı iksa sisteminde sahada oluşan deplasmanlar ile tasarım da bulunan deplasmanların karşılaştırılma

sı yapılmıştır. Bu proje de yer alan geoteknik veriler, bu veriler ışığında değerlendirmeler, sondaj logları, izlenen analiz yöntemi ve elde edilen sonuçlar bu çalışmada sunulmaktadır.

ABSTRACT

In this study, basic subjects have been discussed about deep excavations which became a very common application in practice in our country recently. Therefore, in this study instead of finding out and proposing new rules and concepts, it is thought to look in the basic subjects which are not taken into account in the applications. As the deep excavation is a result of a necessity, geotechnical problems which is related to deep excavating must be sorted out. With the necessity occurring about this subject, detailed and comprehensive investigations were made by many researchers concerning in deep excavations.

This study consists of deep excavation problems which are the importance and control of ground water in deep excavating, the properties and the behaviour of soil in the vicinity and at the back of the excavation, the methods that should be followed during deep excavation analysis.

The study was supported by Adana Light Railway System Project which involves approximately 800m long cut and cover tunnels.

As a last part of the study the displacements which took place in the field were compared with the displacements predicted in the analysis using PLAXIS finite element method. Geotechnical inputs, boring logs, method of analysis, interpretation and results of the analysis are also in the content of this study.



1.GİRİŞ

İnşaat Mühendisliği uygulamalarında her projede zeminlerle ilgili problemler ortaya çıkabilmektedir.Yeterli bilgi ve deneyime sahip olunmazsa bu problemler bir çok durumlarda karmaşık ve şaşırtıcı bir durum doğurmaktadır. Bu problemlerin başında artan kentleşme sonucunda yer darlığı nedeniyle başvuru alan destekli derin kazılar ve bu kazılar esnasında ortaya çıkan sorunlar yer almaktadır. Bu sorunları oluşturan nedenler arasında zemin özelliklerinin bilinmemesi, yeraltı suyu faktörünün yeterli derecede dikkatli analiz edilmemesi,çeşitli nedenlerle yapılan yanlış destek sistemi seçimleri ,seçim doğru olsa dahi uygulama sırasındaki hatalar vb yer almaktadır.

20. yüzyılın başlarından itibaren sanayi devriminin bir sonucu olarak hızlı bir kentleşme yaşanmıştır. Bunun neticesinde daralan alanları iyi değerlendirmek için yerleşim binaları,taşıma yapılarını yeraltına yapmak gereği doğmuştur. Bu gereksinimlerde derin kazı mühendisliği alanının açılmasına neden olmuştur. Yaşanılan deneyimlerle derin kazı konusunun hayli önemli ve uzmanlık isteyen bir dal olduğu ortaya çıkmıştır. Bu konuda yapılacak en ufak bir yanlış hem can hem de mal kaybına yolaçacağı açıktır. Bilimadamları bu konu da laboratuvar ve saha çalışmaları ile veriler elde etmişler ve bunları uygulama alanlarında deneyerek eksik yönleri saptamaya çalışmışlardır. Derin kazı mühendisliği bilimadamlarının ortaya koyduğu çalışmaları çok iyi özümseme ve saha gözlemlerini çok iyi saptama ve değerlendirme ilkelerinin birleşimidir.

Kazı esnasında kazı aynası arkasında gerilme artışları gerçekleşmektedir. Bu gerilme artışlarını karşılayabilmek için de destek ve dayanak yapılarına gerek vardır. Bu konuyla ilgili ana hatlar çerçevesinde bilgi verilecek, problemler irdelenecek, problemlerin analizi ve çözüm yolları araştırılacaktır.

2. DESTEKLİ KAZILAR

Aşağıda destekli kazılarda kullanılan birkaç analitik analiz yöntemi, analiz aşamasında öngörülen performans ile saha şartlarında oluşan performansın karşılaştırılması, zemin parametrelerinin bu performansa olan etkilerinin tartışması yapılmaktadır.

Kazı, su ve zemin kütlelerinin belli bir düzende kaldırılması olayıdır. Yapının yapım aşamasına yardımcı olmak amacıyla; eğer yer altı su seviyesi kazı alt kotunun üstünde ise bu su kazı içinden uzaklaştırılmalı veya kazı alt kotunun altına indirilmelidir. Toplam gerilme davranışını sınırlayan herhangi bir önlem yoksa ve zemin suyu uzaklaştırılmış ise sonuçta etraftaki zemin hareket etmektedir. Problemin çözüm yolunda istenilen; ekonomik ve güvenli bir çözümdür. Tasarım aşamasında öngörülen bütün unsurların aşırı hareket olmaması için yeterli performansa sahip olması gereklidir. Tasarım aşamasında beklenmedik durumlar için ilave limitler her zaman düşünülmeli ve güvenlik sayıları bu beklenmedik durumlara göre seçilmelidir. Bu limitler eğer kazıya bitişik binalar ve hizmet kuruluşları varsa daha özenli biçimde seçilmelidir. Aşağıda kazı esnasında zemin hareketlerine etki eden etkenler sıralanmıştır.

1. Yapılacak kazının boyutları
2. Zemin özellikleri
3. Zemin suyu durumu ve kontrolü
4. Zaman
5. Seçilen destek sistemi
6. Kazı ve destek sistem düzeni
7. Yakındaki binalar ve hizmet kuruluşları konumu
8. Kısa süreli sürsarj yükleri

Büyük boyutlarda yapılan kazılarda yani kazı derinliğinin ve kazı yanal boyutlarının fazla olduğu kazılarda zeminin ve teşkil edilen duvarın hareketi de büyük olur. Bu şekilde kazı boyutları fazla ve destek sistemi ve destek sistemi düzeni yeterli değilse kazı esnasında istenmeyen durumlarla karşılaşılabilir.

Üç etkenin(zemin parametreleri,zemin suyu durumu ve kontrolü,zaman) etkisi kazı esnasında birbiriyle yakından ilgilidir. Eğer hızlı bir kazı söz konusu ise zemin davranış tarzı drenajsız durum olarak tanımlanabilir.Eğer kazı yavaş bir hızla yapılıyorsa zemin davranış tarzı drenalı durum olarak tanımlanabilir. Ancak; kazı hızı saha koşulları, zemin özellikleri, iklim koşulları, ekonomik durum açılarından bakıldığında göreceli bir kavramdır. Bu nedenle kazı için uygun bir kazı süresi tanımlanmalı ve kazı davranışı da kısmen drenajlı olarak kabul

edilmelidir. Pratikte çokça başvurulan bir görüş olarak; tipik kazılar için kum, çakıl gibi granüler zeminlerde drenajlı durum, kohezyonlu zeminlerde ise drenajsız durum gözönüne alınır. Kohezyonlu zemin özelliğine yakın zeminlerde ve siltli zeminlerde ise kısmen drenajlı durum sözkonusudur.

Destek sisteminin rijitliği kazı esnasında zemin hareketinin gözlenmesinde oldukça etkilidir. Eğer; destek sistemi olarak ağır betonarme kesitler, ağır çelik kesitler kullanılmış ve bu destek kesitleri yakın ve sık aralarla kullanılmış ise destek sistemi çok rijit bir yapıya kavuşur. Ancak; bunun çözümün ekonomiklik ilkesine ters düşeceği ve sahada uygulama zorlukları ile karşılaşılacağı göz önünde tutulmalıdır. Doğru bir düzen olarak önce zeminin kaldırılması ve arkasından desteklerin konulması zemin hareketlerinin sınırlandırılmasında önemli bir etkisi vardır. Genellikle desteklerin konulması aşamasında destek bölgesi ve yakınlarında göreceli olarak küçük hareketler meydana gelebilir. Bu yüzden zemin ve teşkil edilen duvar hareketlerini belli bir düzeyde tutmak için destekler yerlerine mümkün olan en kısa sürede en az kazı yaparak yerleştirilmelidir. Bununla birlikte destek sistemi minimum hareketlere izin verebilecek kadar da esnek olabilmelidir(göreceli rijitlik).

Kazı teknik açıdan mümkün olan en kısa sürede yapılmalıdır. Örnek olarak aşırı konsolide kil zeminde kazı esnasında zemin gerilmeleri zamanla önemli derecede artar, bunun sonucu olarak zamanla kopma olasılığı artar. Ayrıca zemin suyu uzun zaman kazı dip kotunun altında tutulursa büyük konsolidasyon oturmaları görülebilir.

Kazıya yakın veya bitişik binalar ,hizmet kuruluşları zemin ve duvar hareketlerine etki eder. Genelde bina yükleri kazı sınırına olan uzaklıkları dikkate alınarak o uzaklıkta etki eden sürsarj yükü olarak değerlendirilirler.

Eğer kazı yakınlarından geçen ve ağır bir trafiğe maruz bir yol sözkonusu ise bu da kazı davranışına etki eden etkenler arasındadır.

Bitişik binaları koruma ,zemin suyu kontrolü gibi önemli kavramların yanında zeminin kaldırılması ve destek sistemi daha az öneme sahiptir. Zemin mühendisi destekli kazıyla yalnız güvenli bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla değil aynı zamanda bitişik bina,yol vb yapılara zarar vermemek amacıyla yapar. Herhangi bir zarar verme durumunda yüklenilecek sorumluluk çok önemli külfetler getirecektir.

2.1. Kazı Problemlerinin Önemi

Özellikle yoğun yerleşim olan bölgelerde yerleşim sahaları azaldığı için büyük şehirlerde geçici derin kazılar çok önemli ve artan bir öneme sahiptir. Hizmet binaları, yüksek katlı yerleşim binaları ve iş merkezleri, taşıma yapıları (özellikle metro) için kentsel bölgelerde büyük boyutlu kazılara sıkça rastlamak mümkündür. Diğer taraftan çoğunlukla kentsel bölgelerde ki alanların büyük çoğunluğu zayıf zeminler üzerinde bulunmaktadır. Bu nedenle desteksiz derin kazı yapma olanağı çoğunlukla yoktur. Sorumsuzca yapılan denemelerde de zaman zaman zararlarla karşılaşmaktadır. Bu şekilde dar kentsel alanlarda yapılacak kazılar için yukarıda ortaya konan kazıya etki eden parametreler çok dikkatlice analiz edilmeli ve destek sistemleri belirlenmelidir.

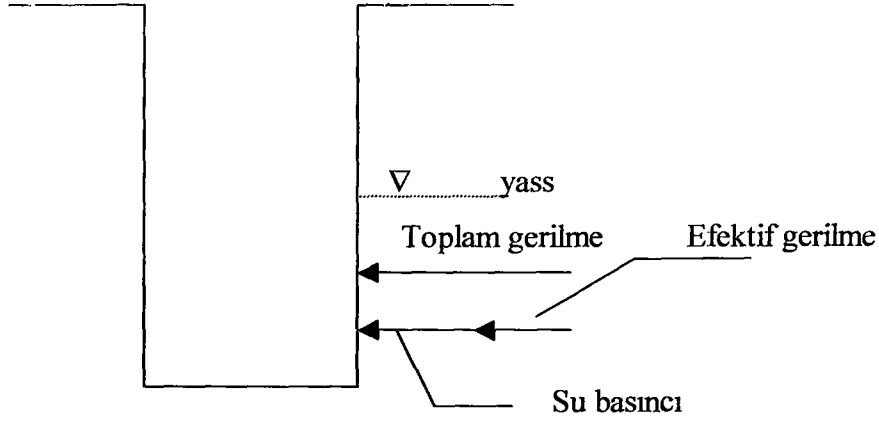
2.2 Yeraltı Suyunun Rolü

Destekli kazılarda yeraltı suyu üç önemli rol oynamaktadır.

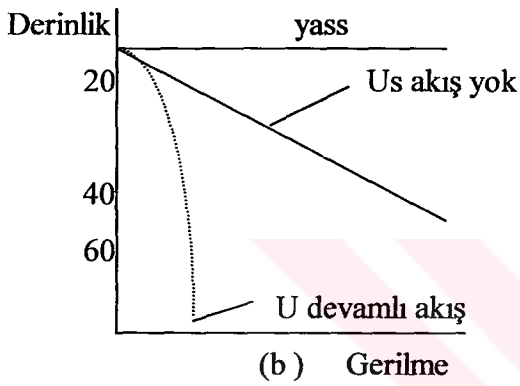
1. Yeraltı suyu duvar arkasında gerilme durumu açısından olumsuz rol oynamaktadır. Duvar arkası gerilme gerilmelerinde büyük artışlara neden olduğu için destek sistemi tasarımında mutlaka gözönüne alınması gereklidir.
2. Yeraltı suyu efektif gerilmelerin değişiminde rol oynamaktadır. Zemin suyu basıncında azalma olursa bu efektif gerilmelerin artmasına neden olur. Efektif gerilme artışı da çevre zeminde oturma anlamına gelmektedir.
3. Zemin suyunda akıntı söz konusu ise bu zeminin kazı içine taşınmasına neden olur. Bu taşınma nedeniyle destek sisteminin güvenliği tehlikeye girebilir (özellikle kumlu zeminlerde borulanma).

Toplam gerilme kavramı iki öğeden oluşur. Efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı Şekil 2.1' de efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı bileşenlerinin gerilme dağılımları gösterilmiştir. Geçirimsiz bir duvarın geçirimsizliğinin mükemmel olması için geçirimsiz zemine kadar yeterince girmesi gereklidir. Devamlı akışın söz konusu olduğu durumlarda eğer duvar geçirimsiz zemine girmemişse akış halindeki su zemini kazı içine doğru sürükleyecek ve destek sisteminin güvenliğini tehlikeye sokacaktır. Statik bir su durumu varsa basınç dağılım çizgileri duvara doğrudur. Karışık bir durum olan kazı içine su akışı analizi çok dikkatli şekilde yapılmalıdır.

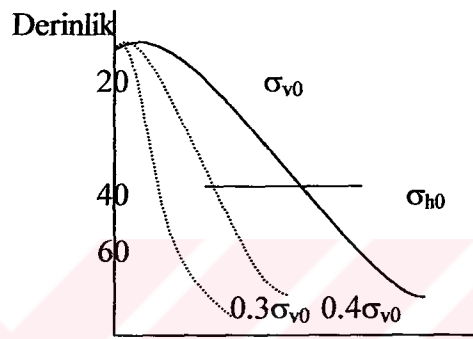
Destekli kazı mühendisliğinde en önemli aşamalardan biri de bu akış analizidir.



(a)



(b) Gerilme



(c) Gerilme

Şekil 2.1 Kazı yakınında zemin gerilmeleri

Ancak;bu değeriendirmeyi güçleştiren değişik etkenler vardır. Bu etkenler aşağıda verilmiştir.

1. Yerinde zeminin permeabilitesini belirlemenin güçlüğü
2. Duvar sızıntısının saptanması zorluğu
3. Duvara paralel akışların olması
4. Boşluk suyu basıncında meydana gelebilecek ani yükselmelerin toplam gerilmede de artışa neden olması ve bunu belirleme güçlüğü.
5. Kazı zamanının ve bu nedenle oluşacak konsolidasyon oturma derecesinin tahmin zorluğu.

Genellikle zemin statik basıncın su basıncından fazla olduğu sanılmaktadır. Oysa su basıncı zemin statik basıncından çok daha büyük olabilmektedir. Kazı arkasında su basıncının artması su geçirimsizlik amacıyla yapılan duvarın akıntısının önünü kesmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır.

Kazı esnasında duvar arkasındaki efektif gerilme aşağıda verilen bağıntı ile bulunabilir.

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = \sum(\gamma_t \Delta z) - u \quad (2.1)$$

U geçirimsiz duvar arkasındaki boşluk suyu basıncıdır. Şekil 2.1(c) 'de düşey efektif gerilme dağılımı gösterilmiştir. Yatay efektif basınç;

$$(\sigma'_{ho}) = 0.3-0.4 \sigma'_{vo} \quad (2.2)$$

eşitliği ile tahmin edilebilir. Normal konsolide zeminlerde sükunette(K_0) yatay gerilme dağılımı yaklaşık

$$\sigma'_{ho} = 0.4 \sigma'_{vo} \quad (2.3).$$

eşitliği ile tahmin edilebilir. Bundan görüldüğü üzere su basıncı toplam gerilmenin önemli bir bölümünü teşkil etmektedir. Efektif gerilme su basıncına doğrudan bağlıdır. Kalıcı dayanma yapıları için su basıncının gözönüne alınması gereklidir. Zaman içerisinde su gerilmesinin etkisi devam etmektedir. Geçici yapılarda pratik çözüm olarak ;

1. Tam drenajlı durum gözetenirbilir yani su basıncı basıncı ihmal edilebilir.
2. Drenajsız gerilmelerin toplam gerilme cinsinden ele alınabilir.

2.3 Kazı Yakınında Gerilme ve Özellikleri

Şekil 2.2 kazı sınırları yakınındaki zemin elemanlarının gerilme ve gerilme özelliklerini göstermektedir. Bu değerlendirilirken aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır.

1. Yatay zemin hareketleri ile duvar hareketleri yakından ilgilidir.
2. Boşluk suyu basıncındaki değişimler önemlidir
3. Yatay ve düşey gerilmelerdeki değişimler.

Şekil 2.2' de duvar arkasında ve kazı alt kotunda iki adet zemin elemanının kazı esnasında ve devamlı sızıntı durumları için davranışları gösterilmiştir. Bu gerilme izleri tipik normal konsolide ve anizotropik gerilme durumlarını gösterilmektedir. Kazı yük boşaltma anlamına gelmektedir bunun göstergesi toplam gerilme izi ile belirlenir ve sonuçta kazı içindeki sınır boşluk suyu basınçlarının değişmesine neden olur. Eğer kazı yeterince uzun zaman açık kalırsa devamlı sızıntı hali gelişir ve boşluk suyu basıncı dengesi karalı akıştan elde edilir.

Çizelge 2.1' de kazı ve sürekli sızıntı durumları için gerilme ve özelliklerin değişimi verilmiştir. Element A için; zemin oturma eğilimindedir. Diğer taraftan zemin kazı dip kotu aşağısında genleşme eğilimindedir. Bu davranış kayma mukavemeti açısından A için küçük bir artış, B için küçük bir azalış demektir

1. Zemin araştırması ile zemin parametrelerini belirlemek
2. Kazı boyutlarını seçmek
3. Bitişik binaların ele alınması (boyutları, tipleri, konumları vb. özelliklerin belirlenmesi)
4. İzin verilebilir hareketlerin saptanması
5. Destek sisteminin seçimi ve yapı projelerinin yapılması
6. Kazı nedeniyle hareketlerin tahmin edilmesi
7. Tahmin edilen hareketlerle oluşan hareketlerin karşılaştırılması
8. Gerekirse destek sistemi ve yapı projelerini değiştirmek
9. Saha gözlemlerinin yapılması ve değerlendirilmesi

Tam mühendisliği; plan yapma, inceleyerek tasarım ve gözetip denetleyerek yapmak olarak tanımlanabilir. Büyük ve önemli kazılar da bunu haklı çıkarır.

Kazı esnasında en önemli adımlardan biri dokuzuncu maddedir. Saha gözlemlerini yapabilmek ve bitişikteki binalara zarar vermemek için kazı ve duvar davranışının devamlı olarak kontrol altında tutulması gereklidir. Kontrol altında tutabilmek için gerekli analizleri yapabilecek ve veri elde edilebilecek aletlerin sahada bulundurulması zorunludur. Bu verileri elde edebilecek saha çalışmalarının da zamanında yapılması gereklidir. Örnek olarak; kritik kesitlerde inklinometre yerleştirilmesi.

Bu şekilde sahada oluşabilecek durumlar hakkında önceden fikir sahibi olunabilecek ve hala imkanı varken alternatifler değerlendirilebilecek veya iyileştirme çalışmaları yapılabilecektir.

Dokuzuncu adımı sağlıklı şekilde uygulayabilmek için saha verilerini değerlendirebilecek bilir kişilere ihtiyaç vardır.

2.5. Analiz Metodları

Çizelge 2.2' de verilen liste ve tanımlamalar destekli kazılarda birkaç tasarım ve analiz metodlarıdır. Birinci bölümdeki Terzaghi-Peck, Tschbotarioff ve Navdock destek sistemi tasarımında gerçekçi tekniklerdir.

Çizelge 2.2 Destekli kazılarda analiz yöntemleri

Analiz Metodu	Bilinmesi Gereken	Hesaplanabilecek Davranışlar					
		U_s	σ'_h	σ'_v	Destek yükü	δ_x	δ_y
Terzaghi-Peck	c_u, γ, \emptyset			*	*		
Tschebotarioff	c_u, γ, \emptyset			*	*		
Navdock	c_u, γ, \emptyset			*	*		
Akım Ağı	k_h, k_v	*					
Rankine	γ, \emptyset		*				
Gerilme İzi	γ, \emptyset, K_0		*	*		*	*

Çizelgedeki U_s boşluk suyu basıncını, σ'_h yatay efektif gerilme, σ'_v düşey efektif gerilme, δ_h yatay hareket, δ_v düşey hareket, k_h ve k_v yatay ve düşey permeabilite katsayıları,

K_0 sükunetteki toprak basıncı katsayısı, c_u drenajsız kayma mukavemeti, γ birim hacim ağırlık, ϕ zeminin içsel sürtünme açısıdır.

Aşağıda Terzaghi-Peck metodunun önemli dört varsayımı verilmektedir.

1. Derin kazıdan söz edebilmek için kazı derinliğinin 7 m' den fazla olması gereklidir.
2. Su seviyesi kazı alt kotundan aşağıda sayılır. Granüler zeminlerde drenajlı durum- boşluk suyu basıncı sıfır, kohezyonlu zeminlerde drenajsız durum-toplam gerilmeler dikkate alınır.
3. Bu metod tarafından tanımlanan yanal yükler destek yüklerinin tanımlanmasında kullanılır.
4. Killerde kazı davranışı stabilite katsayısı N ile yakından ilgilidir.

$$N = \gamma H / c_u \quad (2.4)$$

c_u drenajsız kayma mukavemetidir. Belirli dilim kazılar için kilde büyük hareketler söz konusu ise $N=6-7$ 'ye karşılık gelmektedir (Peck,69)

Bu yol pratikte kum ve killer için kullanılmaktadır. Kullanılan yolun belirsiz kesimleri vardır. Bunlar aşağıda sıralanmaktadır;

1. Dolgu ve silt zeminler kil yada kum olarak mı alınacaktır ?
2. Drenajsız kayma mukavemeti c_u nasıl seçilecektir?
3. Su gerilmesi hareketleri duvar arkasında nasıl değerlendirilecektir?
4. Derinlikle değişen farklı zemin tabakaları nasıl ele alınacaktır?

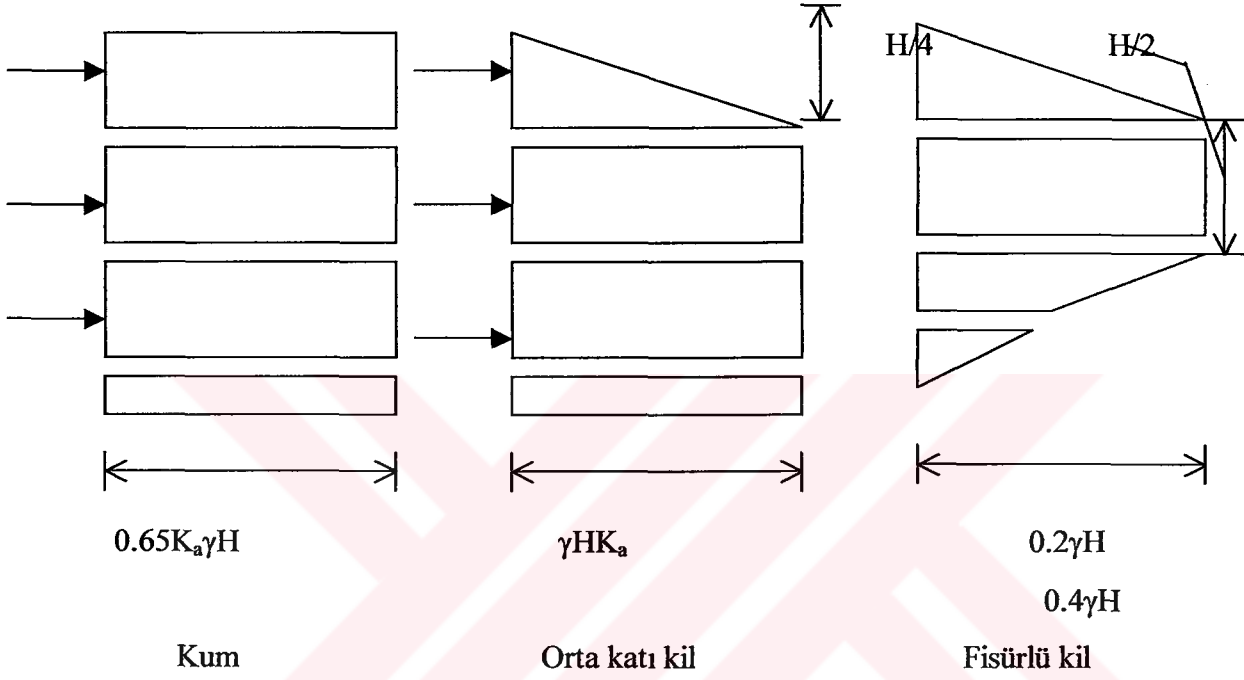
2.6 Destek Yükleri ve Duvar Hareketleri

Şekil 2.3' te Terzaghi-Peck(1967)' in destek yüklerini hesaplamak için önerilen yanal gerilme dağılımları gösterilmiştir. Yanal gerilmelerin tamamen destekler tarafından taşındığı ilkesi kullanılmaktadır. Bu yöntemde destek yükünü destek düşey mesafelerinin ortasından geçen hat için ilgili duvar kısmına etki eden gerilmelerin eşitlenmesi amaçlanmaktadır.

Yapılan analizlerde sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis Programı ile çalışılmıştır. Analizlerde saha şartlarında olduğu gibi aşama aşama inceleme gözönüne alınmıştır. Aşağıda analiz programında izlenen yol gösterilmektedir.

1. Zemin birimlerinin koordinatlarının tanımlanması
2. Duvar elemanlarının tanımlanması

3. Zemin parametrelerine göre yük dağılımının girilmesi
4. Varsa zemin suyu tanımlanması
5. Varsa geçici ve kalıcı sürşarj yüklerinin tanımlanması
6. Kazı içinde kalan kısımda kazı taban kotu altında kalan pasif etki yapan zemin yatay yatak katsayısı şeklinde tanımlanması.



Şekil 2.3 Destek yüklerinin hesaplanması için önerilen yanal gerilme dağılımları Terzaghi-Peck, (1967)

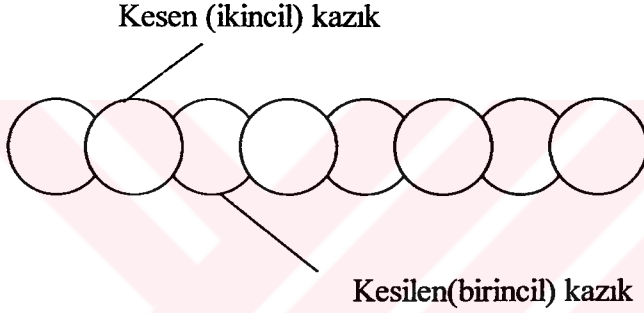
2.7 Alternatif Destek Sistemleri

Günümüzde bir derin kazının desteklenmesi konusunda seçeneğe olabilecek çok sayıda destek sistemi geliştirilmiştir. Aşağıda destek sistemleri isim olarak verilmiş, uygulama örneği olarak projede yapılmış kesişen kazık uygulamasına değinilmiştir.

- Palplanş duvarlar
- Mini kazıklı duvarlar
- Fore kazıklı duvarlar
- Kuyu tipi betonarme duvarlar
- Diyafram duvarlar
- Kesişen kazık duvarlar

2.7.1 Kesişen kazık duvarlar

Kesişen kazık duvarlar diyafram duvarların bir önceki modelidir denilebilir. Kesişen kazık duvarlar zemini desteklemek amacıyla kullanılırlar. Kazıkların arasında boşluk kalması ve bunun sonucu olarak da su tutuculuğunun azalması kesişen duvarlarda meydana gelmez. Kesişen kazık duvar imalatı için öncelikle birincil kazıkların yapımı tamamlanır, daha sonra ikincil kazıklar genellikle birincilerin yapımından bir gün sonra inşa edilmektedir(Şekil 2.4). Böylece primer kazıkların betonu kesilmeyi zorlaştırmayacak kadar sertleşmektedir. Bazı durumlarda birincil kazıkların betonu ikincil kazıkların betonundan daha düşük mukavemetli seçilebilir.



Şekil 2.4 Kesişen kazık planı

2.8 Destekli Derin Kazıların Gözlemlenmesi

Derin kazı destekleme sistemlerinin tasarımı sırasında gerek zeminin ve gerekse yapılacak yapının davranışı hakkında çeşitli varsayımlar yapılması gerekmektedir. Bu yapılarda tasarım sırasında bazı elemanların veya tüm sistemin göçme olasılığına azaltmak için güvenlik sayısı oldukça büyük tutulmaktadır. Bu gibi yapıların çoğunlukla şehir içinde yapıldığı gözönüne alınırsa herhangi bir göçme durumunda oluşacak maddi ve manevi zararların boyutları daha iyi kavranabilir. Karşılaşılan bu riskler değerlendirildiğinde desteklenmiş derin kazılarda gözlem yapmanın gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte arazi hakkında ve destekleme sistemi yeterli deneyim elde edilmişse tasarım güvenlik katsayısı yüksek seçilerek yapılmışsa ve oluşabilecek problemlerin önemli sonuçlar doğurmayacağı biliniyorsa (örneğin; kazı çevresinde aşırı deformasyonlardan etkilenecek yapılar yoksa), gözlem yapmaya gerek duyulmayabilir.

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

1. Kazının stabilitesini değerlendirmek ve inşaatın güvenlik içinde yürütülüp yürütülmediğini denetlemek .
2. Kazıdan dolayı zeminde oluşan deformasyonların (oturma , kabarma ve yatay hareket vb.) komşu yapılara , kanalizasyon ve telefon şebekesi gibi yeraltı yapılarına zarar verip vermediğini belirlemek
3. Yapılan ölçümlerle elde edilen bilgilerin değerlendirilerek inşaatın kalan bölümlerini daha güvenli veya daha ekonomik olarak tamamlamak.
4. Daha sonra yapılacak destekleme sistemlerinin hem daha güvenli hem de daha ekonomik olarak yapılmasını sağlamak için veri tabanı oluşturmak.

Di Biagio ya göre kazı destekleme sisteminin yapımında ortaya çıkabilecek temel problemler ve yapılması gereken gözlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Hatipoğlu,1992)

1. Taban kabarmasına karşı güvenlik sayısı düşük olabilir. Bunun için gözlem düzeneği taban kabarmasının gözlemlenmesine izin verecek şekilde kurulmalıdır. Kazı seviyesi kritik derinliklere ulaştıkça oturma ve kabarmalar gözlemlenmelidir. Özellikle yatay hareketlerin hızına dikkat edilmelidir.
2. Yatay desteklerin aşırı yüklenmesi tehlikesi vardır. Bunun yol açabileceği zararları ortadan kaldırmak için pratik ve ekonomik koşulların izin verdiği ölçüde yatay desteklerin yükü gözlemlenmelidir. Destek yüklerinin izin verilebilir sınırları aşması olasılığına karşı zaman kaybetmeden yenilerini yerleştirmek için yedek destekler hazır bulundurulmalıdır.
3. Yeraltı su seviyesinin izin verilebilir değerden daha aşağı düşürülmesi, geniş bir alanda ciddi konsolidasyon oturmalarına yol açabilir. Bu soruna karşı alınabilecek temel önlem geçirgen tabakalarda boşluk suyu basınçlarının ölçülmesidir.
4. Taban kabarması ve destekleme sisteminin deformasyon yapması sonucu oluşan zemin hareketleri, civardaki binalara ölçüm için referans noktaları yerleştirilmelidir. Eğer çevredeki binaların veya yeraltı yapılarının zarar görme olasılığı varsa destekleme sisteminde yeterli sayıda kesitte yatay hareket ölçümü yapılmalıdır. Böyle bir problemle karşılaşıldığı zaman inşaatın dikkatle denetlendiğini gösteren bir ölçüm programı uygulaması bina sahiplerini endişeden kurtarmada ve projenin yasal onay almasında ve kamu tarafından kabul görmesinde önemli bir araç olacaktır. Stabilitelerin denetleneceği ve aşırı hareketlerin gözlemleneceği ölçüm düzenekleri, oluşan hareketlerin nedenlerini

gösterebilecek aletlerden oluşmalıdır. Bu işlem için en uygun aygıtlar, çeşitli yönlerde ölçüm alabilmeleri ve yüksek incelikleri nedeniyle, inklinometreler olmaktadır.

2.8.1 İnklinometrenin Kullanımı

İnklinometrelerde, bir boru boyunca, yerçekimine karşı duyarlı bir prob yardımıyla borunun eksenine dik olarak gerçekleşen sapmalar trigonometrik fonksiyonların yardımıyla ölçülen deplasmanlara dönüştürülmektedir. İnklinometrenin esas kullanım amacı, yer yüzeyinden belirli derinlikte meydana gelmesi beklenen yatay deformasyonların gözlemlenmesidir. Bunun için boru genellikle düşey veya düşeye yakın bir açıyla yerleştirilir ve bu şekilde alt seviyelerdeki yatay deformasyonların ölçümüne olanak sağlar.

İnklinometrik ölçüm sistemi genel olarak dört bileşenden oluşmaktadır:

1. Deformasyonu ölçülmesi planlanan kesite dik olarak yerleştirilecek ve sürekli olarak orada kalacak plastik, alüminyum alaşımı veya fiberglas bir boru. Boru yatay deformasyonları ölçebilmek için düşey olarak yerleştirilmektedir.
2. Yerçekimine hassas bir şekilde ölçüm yapabilecek taşınabilir prob.
3. Probon ölçtüğü değerleri hafızasına kaydedecek ve aynı zamanda bir güç kaynağı olarak da kullanılacak elektronik okuma ünitesi.
4. Ölçüm yapan probun okuma ünitesiyle bağlantısını sağlayacak ölçekli bir elektrik kablosu.

2.8.2 İnklinometrelerin Kullanım Alanları

İnklinometrelerin başlıca kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir:

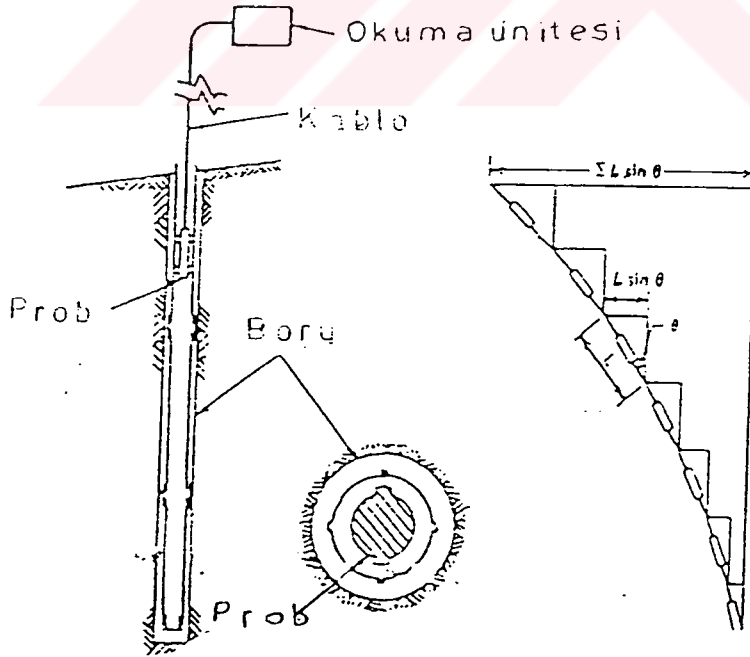
1. Şevlerde, dolgularda ve benzeri yerlerde kayma zonunun belirlenmesi.
2. Dolgu barajların, yumuşak zemin üzerinde yapılan dolguların, kazıların veya tünellerin yatay hareketlerinin hızının ve miktarının gözlemlenmesi.
3. Kazıklarda veya istinat yapılarında oluşan yatay hareketlerin gözlemlenmesi.
4. Bazı durumlarda yatay bir borudan ölçüm yapılarak dolguların veya yumuşak zemin üzerinde yapılan diğer yapıların oturmalarının gözlemlenmesi.
5. Yatay deformasyonlardan yola çıkılarak eğilme momentlerinin tayin edilmesi

2.8.3. İnklinometrelerin Çalışma Yöntemi

İnklinometrelerin çok değişik çeşitleri vardır. Bununla birlikte hepsinin genel çalışma yöntemi aynıdır. Şekil 2.5' de yaklaşık düşey bir boruda yapılan standart bir inklinometre ölçümü gösterilmiştir. Günümüzde en çok kullanılan ve en gelişmiş tür kuvvetler dengesi yöntemine dayanarak çalışan transdüserli inklinometrelerdir. Bu tip inklinometrelerde probun içinde bir transdüser bulunmaktadır. Probun düşeyden sapmasıyla bir voltaj farkı oluşmakta, ölçülen voltaj eğimle doğru orantılı olmaktadır. Kütleyle dengelemek ve dolayısıyla voltajı sıfırlamak için gerekli olan kuvvet de aynı şekilde ilgili kesitteki eğimle doğru orantılı olmaktadır. Buna göre ölçülen voltaj değerinden $\sin \theta$ değerine, oradan da prob boyu belli olduğundan δ yatay deplasmanına geçilebilmektedir.

Çift eksenli ölçüm yapabilen inklinometreler de vardır. Bu tür aygıtlarda da birbirine dik olarak yerleştirilmiş üstüste iki adet transdüser bulunmaktadır.

Bu tip inklinometrelerin tek olumlu yanı transdüserle ölçüm yapmaları değildir. Ayrıca verinin arazide otomatik olarak kaydedilmesi, ham verinin işlenmesi ve sunumu konularında da kolaylıkları vardır. Yatay borulardan oturma ölçümleri de yapılabilmektedir. Günümüzde incelikleri en yüksek inklinometrik gözlem tipi bu transdüserli tiptir.



Şekil 2.5 İnklinometrenin çalışma prensibi

2.8.4 İnklinometre Borusunun Yerleştirilmesi

2.8.4.1 İnklinometre Borusu

İnklinometre boruları yapıldıkları malzemeye göre üç tip olabilmektedir. Alüminyum, fiberglas veya ABS plastik. Her üç tür borunun da içlerinde birbirine dik açılar yapan dört adet yarık bulunmaktadır (Şekil 2.6). Bu boruların maksimum dış çapları 60 mm olmakta ve uzunlukları da standart olarak 3 m olmaktadır. Değişik malzemelerden yapılan boruların dış çapları değişebilmekte fakat hepsi de iç çapları 48 mm olarak üretilmektedir. Boruların birleştirilebilmesi için özel birleşim parçaları bulunmakta, bunların boyları 30 cm olmaktadır. Boruların birleşimi için genellikle perçinler kullanılmaktadır. Plastik boruların birleşiminde iyi bir izalasyon için yapıştırıcı ve özel bantlar kullanmanında faydası bulunmaktadır.

2.8.4.2 Borunun Yerleştirilmesi

İnklinometre borusunun yerleştirilmesinde en sık olarak kullanılan yöntem 100-200 mm çapında düşey bir kuyu delgi yapmak ve boruyu bu kuyunun içine indirmektir. Standart bir yatay deformasyon ölçümü için inklinometre borusu, deformasyon yapması beklenen kesiti kesecek şekilde düşey olarak kuyuya indirilir. Kuyu deformasyon yapması beklenen zondan daha derin olmalıdır. Bu şekilde inklinometre borusu hiç deformasyon yapmayacağı kabul edilen bir derinliğe ankastre edilecek, deforme olan kesitte ölçülecek deformasyonlar sabit bir noktaya göre göreceli deformasyonlar olacaktır. Borunun çevresi granüler dolgu veya çimento enjeksiyonu ile doldurularak bulunduğu yere sabitlenmelidir.

İnklinometre borusunun içine çimento enjeksiyonu veya herhangi bir başka yabancı madde sızıntısını engellemek için boruların birleşim yerleri ve alt kapağı çok iyi izole edilmelidir. Bu izolasyonda yapılacak herhangi bir hata borunun tamamen kullanım dışı kalmasına neden olabilir.

Boruların birbirine montajı esnasında yarıkların birbirini tam karşıladığından emin olunmalıdır. Bu işlemde yapılacak hata borunun kullanılmaması sonucuna neden olur.

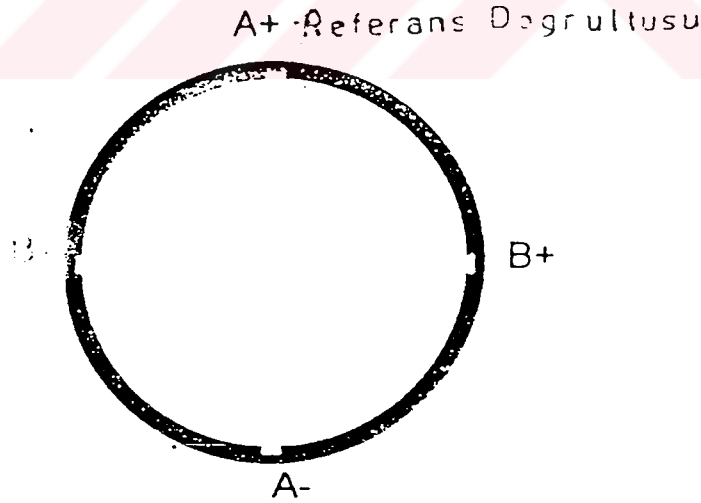
Borunun boyu 15 m' den fazla olduğu zaman burulma kontrolü de yapılmalıdır. Uç uca eklendiği zaman çok narin bir yapıya sahip olan inklinometre boruları, (özellikle de plastik borular), önemli burulma potansiyeline sahip olurlar. Bu nedenle boru kuyuya indirilirken burulma yapmamasına özen gösterilmelidir. Aksi halde ölçümlerin hatalı sonuç vermesine yol açabilir.

İnclinometre borusu yerine yerleştirildikten hemen sonra üst kapağı kapatılmalı boru koruma altına alınmalıdır.

2.8.4.3 Gözlemin Yapılması

İnclinometre borularının içinde birbirine dik açıyla duran dört adet yarık bulunmaktadır. Bu yarıklar bütün boru boyunca devam etmektedir. Bu yarıkların karşılıklı iki tanesine A yarıkları, diğer ikisine de B yarıkları isimleri verilmiştir (Şekil 2.6). İnclinometre borusu yerleştirilirken esas deformasyonun ölçüleceği A⁺ yönü ile çakıştirılması gerekmektedir. Eğer çok sayıda inclinometre borusu varsa karışıklık olmaması için tümünde A⁺ yönünün aynı yöne doğru seçilmesi daha uygun olur.

İnclinometre borusu yerleştirilip çimento enjeksiyonu prizini alır almaz ilk okuma alınmalıdır. Daha sonra yapılacak bütün ölçümler bu ilk referans ölçümüne göre değerlendirileceğinden referans ölçümü en önemli ölçümdür. Bu nedenle referans okumalarını iki kez yapmakta yarar vardır. Yapılan okumaların birbirine uyumlu olup olmadığı kontrol edilmelidir. En az iki set okumanın uyum içinde olduğu görüldüğu takdirde referans okumalarının sağlıklı bir şekilde gerçekeştirildiği varsayımı yapılabilir.



Şekil 2.6 İnclinometre borusunun üstten görünüşü

Bir okuma, ya da bir set okuma şu şekilde yapılmalıdır: Öncelikle probun tekerlekleri borunun yarıklarına oturtulur. Bu işlem yapılırken bu ilk ölçüm için probun ön yüzünün A⁺ yönü ile çakıştirılmasına dikkat edilmelidir. Borunun içine yerleştirilen prob yarıklardan hareket ederek borunun en alt noktasına kadar indirilir. Hassas ölçüm aleti olan probun yeraltı ve yerüstü arasındaki sıcaklık farkına uyum sağlaması için ilk ölçüm alınmadan önce kısa bir

süre beklenilmesinde yarar vardır. İlk ölçüm alındıktan sonra (A^+ ve B^+ değerleri) prob bir üst seviyeye çekilir ve aynı işlem tekrarlanır.

Okuma seviyeleri genellikle okuma ünitesi ile prob arasındaki bağlantıyı sağlayan elektrik kablusunun üzerinde belirlenmiştir. Karışıklığa meydan vermemek için okuma aralıklarını kablo üzerindeki aralıklarla eşit yapmakta fayda vardır. Okuma aralıkları genellikle 0.5 m. de bir yapılmaktadır. Bununla birlikte okuma aralıklarını belirlemek ölçümü yapan kişinin değerlendirmesine kalmaktadır.

Her seviyede okumalar alınmakta ve okuma ünitesine kaydedilmektedir. En üst seviyedeki okuma da alındıktan sonra prob borudan çıkarılır ve bu sefer 180 derece çevrilerek yeniden borunun içine yerleştirilir. Bu durumda probun ön yüzü A^- yönü ile çakıştırılmıştır. Borunun prob yeniden en alt seviyeye indirilir ve bütün seviyelerden yine yukarıda anlatıldığı gibi okumalar alınır. Bu şekilde bir set okuma tamamlanmış olur.

Çift transdüserli bir prob, aynı anda birbirine dik olan iki eksen de ölçüm yapabildiği için bu tip bir proba çalışıldığı durumda B yarıkları ile ölçüm yapmak gerekmemektedir. Tek transdüserli bir probda ise B yönü yarıkları içinde tekrarlanması gereklidir.

Bir inklinometre borusundan alınacak ölçümlerin sıklığı başta deformasyonların hızı olmak üzere değişik etkenlere bağlıdır. Bunun için ilk önce borunun yerleştirilmesinden sonra sıkı sık okumalar alınmalı, oluşan deformasyonların hızına göre optimum bir okuma sıklığı belirlenmelidir.

2.8.4.4 İnklinometrik Gözlemlerin İnceliğini Etkileyen Etkenler

İnklinometrik gözlemin inceliğini etkileyebilecek bazı etkenler aşağıdaki şekilde belirlenmektedir. Bununla birlikte unutulmamalıdır ki ölçümleri en çok etkileyebilecek etken insan etkisidir. Borunun yerleştirilmesinden okumaların alınmasına kadar, ölçümü yapan kişilerin bilgili ve deneyimli olmaları gereklidir.

2.8.4.4.1 Transdüserlerin inceliği

Üretici firmalar normal koşullarda ürettikleri transdüserlerin inceliklerini ve hata paylarını belirtmektedir. Bu hata payının ölçüm için gerekli olan hassasiyeti sağlaması önemli bir etkidir.

Transdüserin yanlışları başlıca üç katagoriye ayrılabilir. Kalibrasyon sırasında yapılabilecek yanlışlar olabilir. Bu durumda probun inceliğini önemli ölçüde etkileyecektir. Ayrıca ofset

yanlışı olabilir. Ofset yanlışı probun tam düşey durumda durması konusunda okuduğu değerdir. Bunların yanında bir de transdüserin eksenine probun tekerleklerinin ekseninde bir dönme miktarı bulunabilir. Bu da probun hassasiyetini önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

2.8.4.4.2 Probun tekerleklerinin durumu

Probun tekerlekleri iyi bir şekilde tasarlanmış olmalıdır. Uzun vadeli kullanımda yaylı oldukları için en çok tekerlekler aşınmaktadır ve zarar görmektedirler. Bu gibi bir durum olduğunda tekerleklerin kolayca değiştirilebiliyor olması gerekmektedir. Ayrıca tekerleklerin yerleştirilme konumları inklinometre borusunun yarıklarına oturabilecek şekilde uyumlu olmalıdır.

2.8.4.4.3 Borunun doğrusalığı

Yatay deplasmanların ölçülmesini sağlayan düşey boru ne kadar düşeylikten uzaklaşırsa yapılan ölçümün inceliği de azalacaktır.

2.8.4.4.4 Borunun çapı

Daha geniş çaplarda boru kullanılması ölçümün inceliğini arttırıcı yönde etki yapar. Boru çapı büyüdükçe burulma riski de azalacaktır.

2.8.4.4.5 İnklinometre kuyusunun doldurulma biçimi

Kuyunun iyi biçimde doldurulmaması borunun sabit bir konumda durmasını engelleyecektir. Bu da her okumada farklı değerlerin elde edilmesine, dolayısıyla ölçümün hatalı olmasına yol açabilir. Kuyu borunun yerleştirilmesinden hemen sonra çok iyi şekilde doldurulmalıdır. Çimento enjeksiyonu doldurma işleminde genellikle daha iyi sonuç vermektedir.

2.8.4.4.6 Borunun düzlüğü

İnklinometre borusu kuyunun içine yerleştirildiği zaman belirli bir açısal dönme yapabilmektedir. Bu dönme alüminyum borular için 30 m. de 1 dereceye varabilmektedir. Özellikle plastik borular yerleştirme işleminden önce güneş ışığı altında bırakılmamalıdır. Güneş ışığı borunun düzlüğüne olumsuz yönde etki edebilmektedir.

2.8.4.4.7 Okumaların tekrarlanabilirliği

İnklinometrelerden alınan okumalara hep aynı derinliklerden başlanmalıdır. Kablonun üzerindeki derinlikler doğru ve kalıcı şekilde işaretlenmelidir.

2.8.4.4.8 Sıcaklık etkisi

Özellikle transdüserli problemler sıcaklıktan önemli ölçüde etkilenirler. Bu durumda prob yeraltına indirildiğinde veya suya girdiğinde sıcaklık farkından dolayı okumalarda değişimler görülebilir ve hatalı okumalar yapılabilir. Prob kuyuya indirildiğinde okumaya başlanmadan önce bir süre beklenmesi sıcaklık farkından dolayı oluşabilecek hatalara karşı bir önlem olarak düşünülebilir.

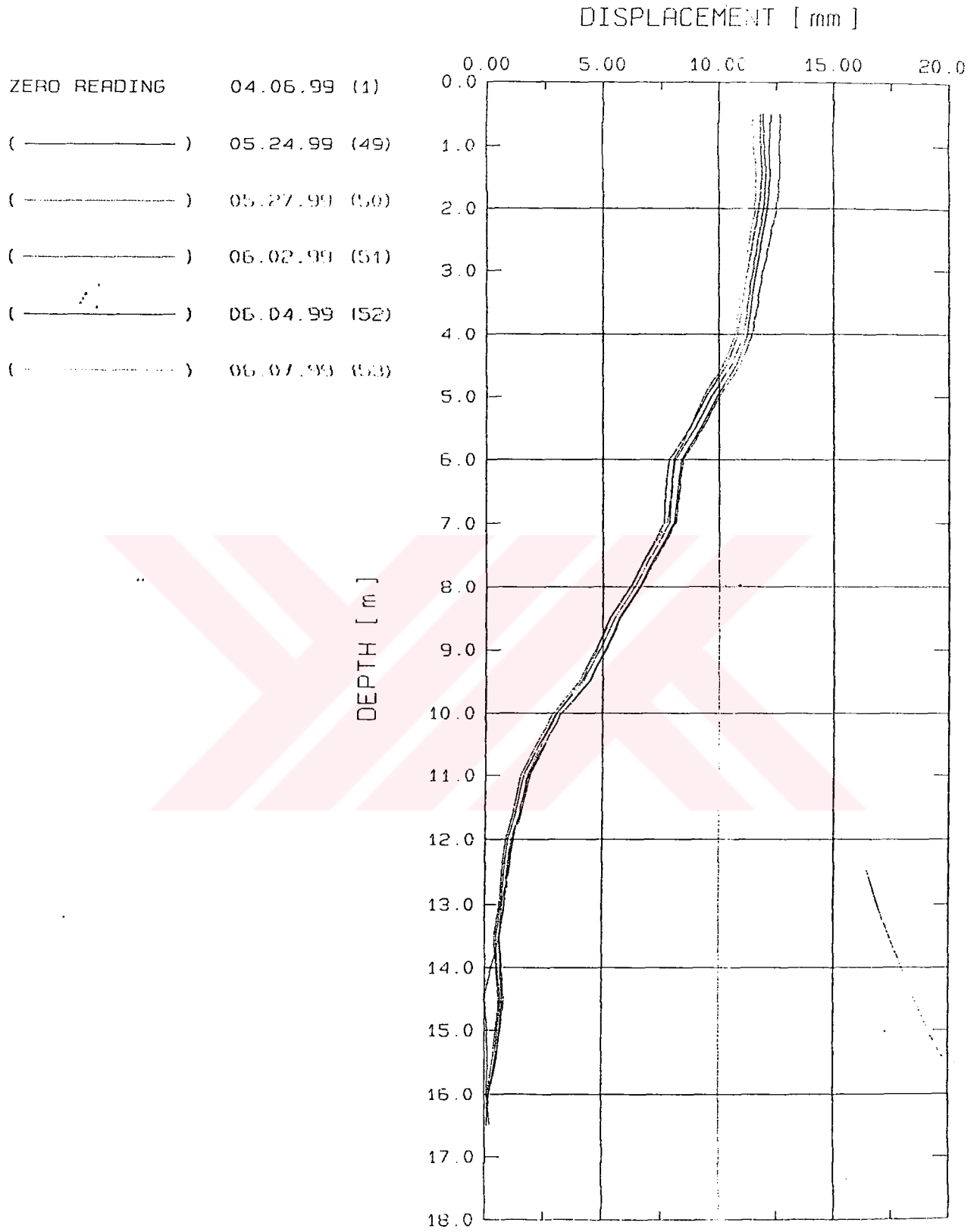
2.8.4.5 İnklinometrik Gözlem Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İnklinometrik verilerinin değerlendirilmesi için yapılacak ilk şey aynı derinlikteki okumaların toplamlarını kontrol etmektir. Bu kontrol sahada ölçümler devam ederken yapılmalıdır. Bu değerler her seviyede yaklaşık aynı olmalıdır. Bu değerlerin çok değişken olmaları yapılan ölçümün inceliğinin düşük olduğunu göstermektedir. Bu değerler doğal olarak borunun içinin durumuna, inklinometre aygıtlarının verimlerine ve ölçüm yapan kişiye göre değişmektedir. Okumalardaki küçük farklılıklar önemli bir sorun teşkil etmemektedir.

İnklinometre borusunun her 50 cm.'sinde bir deformasyonların beklendiği doğrultuda ve bu doğrultuya dik yönde yaptığı deplasmanların değeri alınan okumalarla belirlenmiş olur. Bu deformasyonlar referans okumalarında ölçülmüş bulunan deformasyonlarla karşılaştırılır ve borunun referans ölçümlerinin yapıldığı zamandan o zamana kadar yapmış olduğu deformasyon miktarı tayin edilir. İnklinometre gözleminin sonuçları genellikle grafik olarak verilmektedir. Bu şekilde değerlendirme ve deformasyonların belirlenmesi daha açık olmaktadır. Sonuçları değerlendirilmesinde kullanılacak değişik grafik türleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılan grafik türü Toplam Deplasmanlar Grafiğidir (Şekil2.7). Bu grafikte borunun en alt ucunda oluşan deformasyonlar ihmal edilerek, yani sıfır kabul edilerek, izleyen okumaların her birinde ölçülen deplasmanlar toplanarak borunun en üst ucuna kadar çıkılmaktadır. Bu şekilde her ölçüm noktasında oluşan toplam deplasman miktarları ölçülmüş olmaktadır.

Toplam Deplasmanlar Grafiği inklinometrik dataların değerlendirilmesinde en verimli bilgiyi vermekle birlikte deplasmanların kümülatif olarak hesaplanmasından dolayı hatalara karşı çok hassastır. Deplasmanlar değerlendirilirken hataların sürüklenmesi problemi olabileceği göz önüne alınmalıdır. Düşük mertebeli deformasyonlar önemli bir problem olarak değerlendirilmemeli ancak; ardışık ölçümlerle görülen deformasyonlar sistemin gerçek deformasyonları olarak düşünülmelidir.

20
RESULTANT DISPLACEMENT



Şekil 2.7 Toplam deplasmanlar grafiği

3. DESTEKLİ KAZI UYGULAMA ÖRNEĞİ: ADANA HAFİF RAYLI TAŞIMA PROJESİ VİLAYET-ÇİFTE MİNARE ARASI AÇ-KAPA TÜNELLEİ

3.1. İşin Tanımı

Bu çalışmada Fore Kazıklı-Boru Destekli İksa Sistemi incelenmektedir. İnceleme alanı ADANA HAFİF RAYLI TAŞIMA SİSTEMİ PROJESİ kapsamında yer alan Km:7+900 ile 8+700 arasındaki Aç-Kapa Tünelleri olarak belirlenmiştir.

3.2. Arazi Çalışmaları

Aşağıda 7+900 ile 9+000 arasındaki Vilayet İstasyonu ile Çifte Minare arasındaki aç-kapa tünelleri için sahada yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmektedir. İnce kenarlı (Shelby) tüplerinin zemine hidrolik baskı ile sokulması aracılığı ile alınan örselenmemiş zemin örneklerinin her iki ucu parafinlenerek korunmuş ve alınan tüm numuneler zemin mekaniği deneyleri için laboratuvara taşınmıştır.

Ayrıca sondaj kuyularına Ø50 mm lik delikli PVC boruları yerleştirilerek yeraltı suyu periyodik olarak gözlenmiştir. Sondaj logları Ek-3 te sunulmaktadır.

Çizelge 3.1 Sondajların tanımlanması

Sondaj No	Derinlik	Km
S-27	20.00	7+800
ASK-22	24.00	7+935
S-28	20.11	8+140
S-29	20.14	8+380
ASK-23	21.09	8+475
AD-1	19.54	8+625
AD-3	19.00	8+655

İnceleme alanının zemin profilinin gözlenebilmesi amacıyla sondaj çalışmaları sırasında her 1.5 m de bir ve zeminin değişim gösterdiği yerlerde SPT deneyleri yapılarak zeminin yerindeki sıklığı veya kıvamı belirlenmiştir. Örselenmiş örnekler SPT deneyleri sırasında alınmış ve cam kavanozlarda korunmuştur.

3.3 Laboratuvar Çalışmaları

İnceleme alanındaki yerel zemin birimlerinin indeks ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde aşağıdaki deneyler yapılmıştır;

- Doğal Su İçeriği (W_n)
- Doğal Birim Hacim Ağırlığı (γ_n)
- Özgül Ağırlık (γ_s)
- Boşluk Oranı (e_n)
- Tek Eksenli Basınç Dayanımı (q_u)
- Üç Eksenli Basınç Deneyi (C_u, σ_u)
- Atterberg Limitleri

Likit limit (LL)

Plastik limit (PL)

Plastisite indeksi (PI)

- Elek analizi

200 no'lu elekten geçen %

4 no'lu elekten geçen %

Bu deneyler sonucunda Birleştirilmiş Zemin Sınıflaması (USCS) tanımlanmaktadır.

3.4 Yeraltı Suyu Durumu

Bu kesimde 11 m. ile 12.50 m arasında değişen derinliklerde yeraltı suyuna rastlanmıştır.

3.5 Zemin Profili

Km:7+900 ile 8+700 arasındaki kesimin zemin profilini; Taraça-Kaliçi, Kaliçi, Alüvyon ve yapay dolgu birimleri oluşturmaktadır. Zemin profilinde gözlenen bu birimlerin geoteknik özellikleri saha sondaj verileri ve laboratuvar çalışmaları sonuçlarına dayalı olarak aşağıda açıklanmaktadır.

3.5.1 Taraça-Kaliçi (Qt-Qk)

3.5.1.1.1 Bloklu kumlu çakıl

Çalışma alanında tüm sondaj kuyularında gözlenen birim genelde gri, kahve-gri renkli kumlu çakıl, yer yer bloklu kumlu çakıl ve bloklu çakıl seviyeleri ile temsil edilmektedir. Çok sıkı, ince-iri taneli, yarı yuvarlak-yarı köşeli, sert malzemedен oluşmakta olup genelde kötü derecelenmeye sahiptir. İçerisinde %18-42 oranında ince -iri kum, %7-36 oranında ise ince taneli malzeme bulunmaktadır. Birim içerisinde yer yer kum ve kil mercceklerinede rastalanmaktadır.

Bu birime ait zemin özelliklerinin ortalama değerleri ve değişim aralıkları aşağıda verilmiştir.

- Doğal su içeriği(w_n) :%10 ($6 < w_n < 18$)
- Plastik limit(PL) :NP
- 4 nolu elek üzerinde kalan(+No.4) :%54 ($39 < +No.4 < 74$)
- 200 nolu elekten geçen(-No.200) :%15 ($7 < -No.200 < 36$)

Bu değerler ışığında Birleştirilmiş zemin sınıflaması GM, GW-GM, GP-GM olarak tespit edilmiştir.

3.5.1.1.2 Kumlu çakıl taşı (Konglomera seviyeleri)

Genelde tabana yayılmış yakın seviyelerde karşılaşılan birimdir. Gri renkli, dağınık, orta sert, az ayrılmış ve ince tanelidir. Gevşek karbonat çimentoyla tutturulmuş bu birim genelde kumlu çakıl taşı ve çakıllı kum taşı şeklindedir. Yeraltı sularının taraça malzemesi içerisinde yüzeye doğru yükselirken buharlaşması sonucunda bıraktığı karbonatın çökelerek etraftaki malzemeyi tutturması ile çakıl taşı birimleri oluşur.

3.5.2. Kaliçi (Qk)

3.5.2.1 Kumlu siltli kil/ Kumlu killi silt

Proje güzergahını bu kısmında yapılan sondajlarda 7.50-10.50 m kalınlıklarda geçilen bu birim genel olarak kırmızımsı kahverenkli, açık kahve-krem-bej renklerde çok katı-sert, kumlu siltli kil ve kumlu killi silt şeklindedir. Genellikle MH ve CH karakterindedir yoğun karbonat içeriği nedeniyle diğer birimlerden çok kolay ayrırtedilebilmektedir. Ayrıca bu birim %0-24 oranında çakıl, %7-36 oranında ise kum içermektedir.

Laboratuvar deney sonuçlarına göre belirlenen zemin özellikleri şöyledir.

• Doğal su içeriği	:%32	(26<w _n <52)
• Likit limit	:%63	(40<LL<87)
• Plastik limit	:%32	(24<PL<45)
• Plastisite indeksi	:%30	(16<PI<52)
• 4Nolu elek üzerinde kalan	:%4	(0<+No.4<24)
• 200 Nolu elekten geçen	:%77	(7<-No.200<36)
• Boşluk oranı(e _n)	:0.99	
• Doğal birim hacim ağırlık(γ _n)	:1.85 t/m ³	
• Özgül ağırlık(γ _s)	:2.71	
• Serbest basınç dayanımı(q _u)	:0.79 kg/cm ²	
• İçsel sürtünme açısı(Ø _n)	:3.5°	
• SPT, N	:46	

Bu değerler dikkate alınarak USCS CH, MH ve CL olarak tespit edilmiştir.

3.5.3 Alüvyon (Qal)

Genellikle koyu kahverengi ,az miktarda çakıl ve kum içeren siltli kil şeklindedir.Katı ve sert kıvamdadır ve orta-yüksek plastisiteye sahiptir.Zemin parametrelerinin ortalama değerleri ve değişim aralıkları şöyledir.

• Doğal su içeriği(w _n)	:%30	(26<w _n <33)
• Likit limit (LL)	:%60	(54<LL<70)
• Plastik limit (PL)	:%27	(25<PL<28)
• Plastisite ineksi (PI)	:%33	(28<PI<42)
• 4 Nolu elekte kalan	:%4	(1<+No.4<9)
• 200 Nolu elekten geçen	:%85	(74<-No.200<91)
• SPT N	:15	(7<SPT N<20)

3.5.4.Yapay Dolgu

İnceleme alanında açılan tüm sondajlarda yaklaşık 0.50-1.00 m arasında değişen kalınlıklarda geçilen bu birim ,genelde stabilize malzeme özelliğindeki yol dolgularından oluşmaktadır.

3.6 Keşif Kazık Genel Yapım Yöntemi

Adana Hafif Raylı Taşıma Sistemi kapsamında Vilayet İstasyonu ile Çifte Minare İstasyonu arasında 7+900 ile 8+700 arasında yapılan aç-kapa tünellerinde iksa perdesi uygulaması

kapsamında 100 cm çaplı toplam 1689 adet fore kazık imalatı yapılmıştır. Km: 7+900 ile 8+116 ile 8+245 ile 8+700 arasında keşişen kazık, Km: 8+118 ile 8+245 arasında ise tekil kazık yapılmıştır. Oluşturulan kazıkların keşişen veya aralıklı olmasının belirleyici rolü yeraltı suyunun varlığıdır. Keşişen kazıklar; kazık merkezinden merkezine 80 cm ara ile donatılı ve donatısız kazık olarak imal edilmiştir. Donatılı kazık aralığı eksenden eksene 160 cm dir. Kazık boyu; güzergah kilometresi ve bu kilometrede ki kazı derinliği ile ilgilidir. Önce donatısız kazıklar, 200 doz grebetona çimento ağırlığının %20 si kadar bentonit süspansiyonu ilave edilerek betonun yerinde dökülmesi ile imal edilmiştir. Bentonit kullanılmasının amacı ;

1. Betonun dayanımının düşürülerek donatılı kazık imalatı sırasında foraj kolaylığı sağlanmaktadır.
2. Bentonit doğadaki kil minarali montmorillonit içerikli olduğundan geçirimsizliğe katkıda bulunmaktadır.

Donatısız kazıklardan sonra donatılı kazıklar imaltına geçilmiştir.

Aralıklı kazıklar; kazık merkezinden merkezine 200 cm ara ile imal edilmiştir.

Kazık betonları tremi boruları yardımıyla dökülmüştür. Tremi ucu, kuyu alt kotuna indirilir ve beton döküldükçe yukarı çekilerek beton kuyu içine yerleştirilir. Beton dökme aşamasında dikkat edilmesi gereken en önemli aşama tremi borusu ucunun beton üst seviyesinden asla çıkmamasıdır. Aksi halde beton sürekliliği sağlanmamış ve hatalı imalat yapılmış olur. Dökülen betonun slump ayarı çok iyi yapılmalı, kuyu içinde rahatça yerleşebilecek akışkanlığa sahip olmalıdır. Bu akışkanlığın çeşitli alışkanlar ile sağlanması betonun mukavemetine olumlu etki yapmaktadır. Kazık imalatı yapılırken kazık yerinin belirlenmesi kazık imalatından önce imal edilen kılavuz duvar yardımıyla yapılmaktadır. Hazırlanan özel bir kalıpla kılavuz duvar imalatı yapılmaktadır. Bu klavuz duvarla kazık yerleri sahada sağlıklı bir şekilde korunabilmekte ve kazıkların kazı içine veya dışına kayması minimum düzeye indirilmektedir.

4.PLAXIS PROGRAMI

Jeolojik ortamların analizinde, ortamın karmaşık oluşu ve davranışının çok çeşitli etkenlere bağlı olması nedeni ile genellikle ampirik bağıntılardan yararlanılmaktadır. Bu durum özellikle nümerik yöntemlerin ve bilgisayarların gelişmediği, yaygınlaşmadığı dönemlerde daha yaygın görülmüştür. Geoteknik mühendisliğinin çoğu uygulamasında, geliştirilen bu bağlantıların kullanılması ile yapılan analizler genelde yaklaşık sonuçlar vermekle birlikte bazen gerçek değerlerden çok uzak sonuçlar verebilmektedir.

Geoteknik problemlerinin analizinde aynı anda birçok karakteristik özelliği göz önünde bulundurmak oldukça zordur. Ele alınan her bir ampirik bağıntı yeni kabulleri gerektirmekte, bu da problemde gerçek çözümden uzaklaşılmasına neden olmaktadır. Bu nedenle jeolojik ortamlar bir sürekli ortam gibi düşünülerek çeşitli etkiler karşısında davranışı (yükleme, sızıntı, konsolidasyon v.b.) için fiziksel bir temele dayanan teoriler ileri sürülmüştür. Bu konuya Terzaghi (1943) önderlik etmiş ve geliştirdiği konsolidasyon teorisi geoteknik mühendisliğinde bu esasa dayanan önemli bir örnek olmuştur. Geliştirilen bu teoriler genelde matematiksel olarak diferansiyel denklemlerden meydana geldiğinden kapalı çözümlere ulaşmak için bir takım basit kabuller yapmak gerekmektedir. Bu yaklaşım çoğu pratik durumlar için yeterli çözümü sağlamasına karşın jeolojik ortamların homojen olmayan yapısı, non-lineer malzeme davranışı, gelişigüzel geometrisi, içerisindeki süreksizlikler, malzeme özelliklerinin zaman ve ortamla değişimi v.b. karmaşık özellikler nedeniyle problemin gerçekçi çözümlere ulaşmasına olanak vermemektedir. Bu nedenle geomekanik problemlerin analizinde yukarıda adı geçen faktörlerin birçoğunu aynı anda göz önüne alan nümerik yöntemler geliştirilmiş olup bunların çoğu yukarıda sözü edilen teorilerin matematiksel ifadesi, diferansiyel denklemleri çözümünde nümerik analiz yöntemlerinin uygulanmasıdır. Nümerik analiz yöntemlerinin gelişmesi ve birçok özelliği aynı anda göz önüne alabilmesi bilgisayarların gelişmesine bağlı olarak gerçekleşmiştir. Sonlu Elemanlar yöntemi geoteknik mühendisliği problemlerinin analizinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir.

Sonlu elemanlar nümerik analiz yöntemi, Zeinkiewicz (1977), tarafından, matematiksel ifadelerle tanımlanan sürekli problemlerin genel çözüm yöntemi olarak tanımlanmıştır. Geoteknik problemler için matematiksel ifadeler; su akışı (boşluk suyu basıncını içeren problemler), denge eşitlikleri, sınır durumların ve deformasyonların uygunluğu ile gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi tanımlayan eşitliklerdir (Wood, 1990).

Sonlu elemanlar yöntemi nümerik analiz yöntemleri arasında bilgisayar yazılımı için en uygun formülasyona sahiptir. Bunun nedeni, karmaşık sınır koşulları ve non-lineer malzeme

davranışı, homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümünde sistematik bir programlamaya müsaade etmesidir. Diğer yandan bu yöntem mühendisliğin çok geniş bir alanında sınır değer problemlerine uygulanabilmektedir (katı cisim mekaniği, termoelastisite, termodinamik, akışkanlar mekaniği, magnetizma v.b.) (Berilgen, 1996).

Sonlu elemanlar yöntemi, sürekli bir sistemi problemin karakterine uygun sonlu elemanlara ayırarak, elde edilen elemanlar üzerinde iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimum olması ve sonra bu elemanların birleştirilmesi şeklinde bir çözüm yöntemi uygulamaktadır. Bunun sonucu olarak sınır koşulları, sisteme ait özellikler, dış yüklerin sürekli veya ani değişimleri kolayca gözönüne alınabilmektedir. Ayrıca sürekli sistemin tipik bölgelerinde eleman boyutları küçültülerek o bölgenin daha ayrıntılı incelenmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntemin diğer bir avantajı ise sınır şartlarının problemin çözüm sırasına göre en son adımda hesaplara dahil edilmesidir. Böylece çeşitli sınır şartlarını probleme uygularken başlangıçtaki yoğun hesapların tekrarına gerek kalmamaktadır.

Geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasına 1966 yılında başlanmıştır. Cloung ve Woodward (1967), dolguda gerilmeleri, yanal ve düşey hareketleri belirlemek amacıyla ve Reyes ve Deene (1966), yeraltında kayada kazı yapılması uygulamasında bu yöntemi kullanmışlardır. Geçen 34 yıllık zaman süresince bu yöntem kullanılarak teoride ve pratikte birçok avantaj sağlanmıştır. Geoteknik mühendisliği uygulamalarında sonlu elemanlar analizlerinde gerçek durumu modelleyebilmek açısından adım adım (aşamalı yükleme, aşamalı kazı) yapılmaktadır. Analizin adımlar halinde yapılabilmesi iki önemli avantaj sağlamaktadır,

1. Analizlerde dolgu yerleştirilmesi veya kaldırılması durumunda, geometri her bir adımda değişmektedir. Geometrideki değişim sonlu elemanlar ağına eleman ekleyerek veya kaldırarak modellenebilmektedir.
2. Analizlerde, zemin kütlesi içinde gerilmelerin değişimi sonucu her bir yükleme kademesinde zemin özellikleri değişmektedir.

Geoteknik mühendisliği problemlerinde sonlu elemanlar analizleri sonucunda gerilmeler, yanal ve düşey hareketler, boşluk suyu basınçları ve zemin suyu akışı v.b. belirlenmektedir. Zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışı non-lineer olduğundan geoteknik mühendisliği sonlu eleman analizlerinde bu davranışın modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapımdan önceki başlangıç gerilme durumu, zeminin non-lineer gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet

özellikleri ile yükleme aşamaları arasındaki bekleme süreleri analizlerde gerçek duruma yakın olarak belirlenmelidir (Kılıç, 2000).

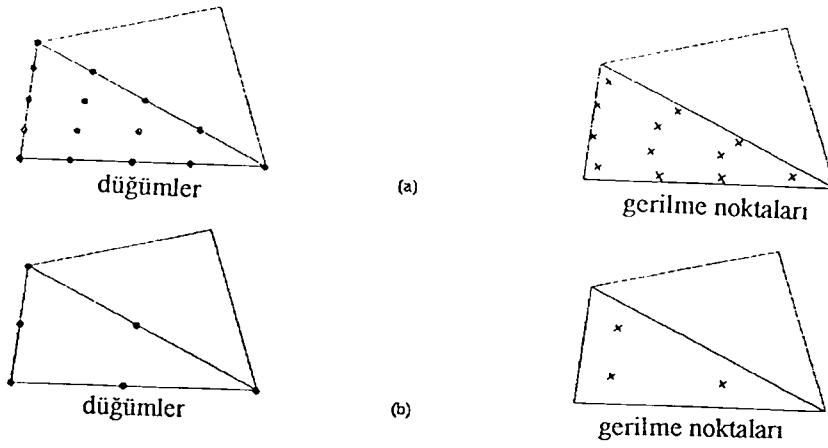
Sonlu elemanlar analiz yöntemi istinat yapılarının tasarımında önemli bir araçtır. Donatılı yapı ve temel zemini malzeme parametrelerindeki belirsizlikleri gidermek için parametrik çalışma yapılabilir ve sonuç olarak elde edilen gerilmelere, yatay ve düşey hareketlere bakılarak tasarımın yeterliliği hakkında bilgi sahibi olunabilir.

PLAXIS programı geoteknik mühendisliği problemlerinin nümerik analizi için geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır. Program, grafik bilgi girişine olanak sağlayan bir giriş programı, analizlerin gerçekleştirildiği hesap programı, analiz sonuçlarını grafik olarak sergileyebilen çıkış programı ve elde edilen sonuçlarla ilgili istenilen eğrilerin oluşturulmasına olanak sağlayan eğri programından oluşmaktadır. Program geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan deformasyon ve stabilite analizlerini gerçekleştirebilecek şekilde geliştirilmiştir.

Uygulanan sonlu elemanlar formülasyonunda deplasman (yer değiştirme) yöntemi kullanılmıştır, yani deplasmanlar esas bilinmeyen olarak kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre, bir sürekli ortam birçok elemana ayrılır ve her bir eleman üzerindeki düğüm noktaları bir serbestlik derecesine sahiptir. Deformasyon teorisinde serbestlik derecesi yer değiştirme bileşenlerine karşılık gelir. Bir eleman içerisindeki yer değiştirme vektörü $\{u\}$ ile, herhangi bir noktada $\{u\}$ deplasmanlarının düğüm noktasındaki ifadesi $\{v\}$ ile, şekil fonksiyonlarını içeren matris ise $[N]$ ile gösterilir ve deplasmanların düğüm noktasındaki ifadesi aşağıdaki eşitlikle belirtilebilir.

$$\{u\}=[N] \{v\} \quad (4.1)$$

Plaxis programında sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında üçgen elemanlar kullanılmaktadır. Bu üçgen elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı olarak seçilebilmektedir. Gerilmelerin ve göçme yüzeylerinin daha doğru hesaplanabilmesi için 15 düğüm noktalı elemanın seçilmesi daha doğru olmaktadır. Düğüm noktalarının elemanlar üzerindeki dağılımı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Analizlerde yer değiştirmeler düğüm noktalarında, gerilmeler ise Şekil 4.1'deki gerilme noktalarında hesaplanmaktadır. 6 düğüm noktalı üçgen elemanda 3 gerilme noktası, 15 düğüm noktalı üçgen elemanda ise 12 gerilme noktası vardır.



Şekil 4.1 Analizde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları.

Bu çalışmada destekli kazıların incelenmesi ve elde edilen sonuçların limit denge denklemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırması amacıyla gerçekleştirilen analizlerde 6 düğüm noktalı elemanlardan, arazi modelleri ile sonlu elemanlar modellerinin karşılaştırmasını yapmak için gerçekleştirilen analizlerde ise 15 düğüm noktalı elemanlardan faydalanılmıştır.

Programda farklı özellikteki malzemeler arasındaki etkileşimi modellemek amacıyla ara yüzey elemanlarından faydalanılmaktadır. 6 düğüm noktasından oluşan zemin elemanları kullanılması durumunda ilgili ara yüzey elemanı 3 nokta ile tanımlanmaktadır, 15 düğüm noktasından oluşan zemin elemanları kullanılması durumunda ise ilgili ara yüzey elemanı 5 düğüm noktası ile tanımlanmaktadır. Geometrik olarak ara yüzey elemanları kalınlığı olmayan malzemeler olmakla birlikte ara yüzey malzeme özelliklerinin tanımlanabilmesi açısından analizlerde elemanın virtüel bir kalınlığı varmış gibi düşünülür.

Analizlerde yapının kademeli olarak inşaatı göz önünde bulundurulabilmektedir ve bu nedenle program arazide adım adım inşa edilen destekli kazıların analizi için oldukça uygundur. Programda ayrıca güvenlik faktörünün hesaplanması amacıyla geliştirilmiş azaltma seçeneği de vardır. Burada zemin parametreleri ϕ ve c kademeli olarak azaltılarak yapının göçtüğü an belirlenmekte ve bu şekilde destekli bir kazının herhangi bir inşaat safhası, için göçmeye karşı güvenlik katsayısı belirlenebilmektedir.

Bu çalışmada analizler zemin mekaniği problemlerinin analizinde çok yaygın olarak kullanılan Mohr-Coulomb modeli ile yapılmıştır. Bu modelde plastik davranışı modellemek için c (kohezyon), ϕ (içsel sürtünme açısı) kullanılmaktadır. Elastik davranışı modellemek içinse E (elastisite modülü) ve ν (poisson oranı) kullanılmaktadır.

5.DEPLASMAN ANALİZLERİ

Bu çalışma kapsamında deplasman analizleri özellikleri yönünden tipik bulunan iki farklı kesit üzerinde yapılmıştır.

Birinci kesit projenin km 7+900 ile 8+116 arasında yer almaktadır: Bu kısımda yeraltı su seviyesi kazı tabanından yukarıda olduğundan kazı kesişen kazıklarla desteklenmiştir. Kazı derinliği ve genişliği sırasıyla 16 m ve 10 m dir.Kazık boyu 23 m. olup 100 cm çaplıdır. Donatılı kazık aralığı 1.6 m dir. Duvar mevcut yüzey kotundan 3 m ve 9 m derinlikte, 4.25 m yatay aralıklı iki sıra çelik boru ile desteklenmektedir. Uygulanan destek boyutları $\phi 800/14$ mm dir. Şekil 5.1'de Km:7+900 ile 8+116 arası tipik kesiti gösterilmektedir.

İkinci kesit km 8+118 ile 8+215 arasında yer alan kısımdır: Bu kısımda yeraltı su seviyesi kazı tabanının altında olduğundan kazı aralıklı kazıklarla desteklenmiştir. Kazı derinliği ve genişliği sırasıyla 12 m ve 11 m dir. Kazık boyu 17 m ve çapı 100 cm dir. Duvar mevcut yüzey kotundan 3 m ve 8 m derinlikte, 6 m yatay aralıklı iki sıra çelik boru ile desteklenmiştir. Destek boyutları $\phi 660/14.2$ mm dir. Şekil 5.2' de Km:8+118 ile 8+245 arası tipik kesit gösterilmektedir.

5.1 Birinci Kesit Km :7+900 ile 8+116 Arası analizler

Projenin bu kısmı Vilayet istasyonu ile bağlantı noktasıdır. Vilayet istasyonu kazık imatları aç-kapa yapısı ile istasyon yapısının özellikle bağlantı noktasındaki üst yapı detaylarının uzun süre belli olmaması nedeniyle yapılamamış, bu nedenle aç-kapa kazısı bu bölgenin 20 m gerisine kadar tamamlanıp ileriye gidilememiştir. Üst yapı detaylarının belirlenmesi sonrasında istasyon bölümünün kazıkları tamamlanmış ve hızlı bir şekilde kalan kısmın kazısı yapılarak üst yapı imalatına başlanılmıştır. Km 8+000 da bulunan inclinometre yardımıyla sistemin deplasmanlarının gözlemi yapılmıştır. İnklinometrik verilerden 8+000 da yer alan inklinometrenin sıfır okuması ile son okuması arasındaki zamanın 52 gün gibi kısa bir süre olduğu görülmüştür. Kısa sürede hızlı bir kazı sözkonusu olduğundan drenajsız analizin bu kısım için daha uygun olacağından analizler drenajsız malzeme parametreleri kullanılarak yapılmıştır.

5.1.1 Kullanılan malzeme özellikleri

Kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 5.1 de gösterilmiştir. Perdede donatılı kazıklar BS 25 donatısız kazıklar BS 14 bentonit katkılı beton kullanılmış olup destekler için se ST 37 çelik malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 Malzeme özellikleri

Malzeme	E (kPa)	EA(kN/m)	EI(kNm ²)	w(kN/m/m)	ν
Perde	180.000.000	164.900.000	10.300.000	6.5	0.15
Destek	210.000.000	7.255.500			

Çizelgedeki , E elastisite modülü, EA imal edilen kazığın ağırlık modülü, EI imal edilen kazığın rijitlik modülü, ν poisson oranı, w duvarın bir m. sinin ağırlığı olarak tanımlanabilir.

5.1.2 Zemin tabakalarının ve parametrelerinin tanımlanması

Yüzey kotundan 3 m derinliğe kadar alüvyon olarak tanımlanan zemin tabakası koyu kahverengi çok az miktarda kum içeren orta-yüksek plastisiteye sahip kil birimidir. Kaliçi olarak tanımlanan 3 m ile 12 m arasındaki zemin tabakası kahverengi çok katı siltli kil, killi silt yapısındadır. Taraça olarak tanımlanan 12 m den sonraki zemin tabakası çok sıkı ince ve iri daneli çakıl, bloklu çakıl yapısındadır. Çizelge 5.2 de hesaplarda kullanılan zemin tabakalarının parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 Malzeme parametreleri

	TİP	γ_k (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	\emptyset	C_u (kN/m ²)	E(kN/m ²)	ν
Taraça	Drenajlı	21	21	35	1	80.000	0.30
Kaliçi	Drenajlı	15	18	1	230	20.000	0.495
Alüvyon	Drenajlı	14	18	1	40	10.000	0.495

Analizlerde perde yüzeyleri geçirimsiz olarak alınmıştır. Zemin taneleri ile perde yüzeyleri arasında sürtünme katsayıları farkından dolayı ara yüzey elemanları tanımlanmıştır. Plaxis 7.2 analiz programına göre drenajsız analiz yapabilmek için zemin elemanları drenajlı olarak seçilir, zemin parametreleri ise drenajsız seçilmektedir.

5.1.2.1 Alüvyon tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi

Plaxis 7.2 analiz programına göre drenajsız analizlerde poisson oranı $\nu = 0.495$ olarak alınmalıdır. Suya doymun killerin poisson oranı $\nu = 0.5$ olarak alınması kuralından hareketle Zemin tabakasının suya doymun olduğu kabulü yapılabilir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 te kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için özgül yoğunluk değeri, G_s verilmiştir.

Çizelge 5.3 Özgül yoğunluk değerleri Bowles(1982)

Zemin Tipi	G_s Değişim Aralığı	Zemin Grubu	Ort. G_s Değeri
Çakıl	2,65-2,68	Kohezyonsuz	2,67
Kum	2,65-2,68	Kohezyonsuz	
Silt	2,65-2,68	Kohezyonlu	2,68
Kil(Yumuşak)	2,58-2,65	Kohezyonlu	
Kil(Katı)	2,68-2,75	Kohezyonlu	

Çizelge 5.4 Çeşitli zeminler için G_s değerleri Wilun ve Starzawski(1975)

Zemin Tipi	Özgül Yoğunluk, G_s	
Kohezyonsuz	Çakıl	2,65
	Kötü dereceli orta sıkı kum	2,65
	İyi dereceli siltli kum	2,65
Kohezyonlu	Kumlu kil	2,70
	Kumlu siltli kil	2,69
	Siltli kil	2,75

Suya doymun zeminler için;

$$e=w_n G_s \quad (5.1)$$

eşitliğinden yararlanılarak boşluk oranı belirlenebilir. Özgül yoğunluk değeri Çizelge 5.3 ve 5.4 'den $G_s=2,70$ alınarak γ_s değeri ;

$$\gamma_s=G_s\gamma_w \quad (5.2)$$

eşitliği ile bulunabilir. γ_s değeri hesabından sonra zeminin suya doymun haldeki birim hacim ağırlığı;

$$\gamma_d=(\gamma_s+e\gamma_w)/1+e \quad (5.3)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Zeminin kuru haldeki birim hacim ağırlığı;

$$\gamma_k=\gamma_s/1+e \quad (5.4)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Bu eşitliklerden $e=0,864$, $\gamma_s=26.487 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_d=18 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_k=14 \text{ kN/m}^3$ olarak alınmıştır.

Çizelge 5.5 Çeşitli zeminler için boşluk oranı, porozite, biriml ağırlık değerleri Kezdi (1975)

Zemin Tipi	Zemin Durumu	Porozite (%)	Boşluk Oranı, e (%)	Birim hacim Ağırlık, γ değerleri (kN/m^3)		
				Kuru	Doğal	Suya Doymun
Kumlu çakıl	Gevşek	38-42	0.61-0.72	14-17	18-20	19-21
	Sıkı	18-25	0.22-0.33	19-21	20-23	21-24
Orta sıkı kum	Gevşek	40-45	0.67-0.82	13-15	16-19	18-19
	Sıkı	25-32	0.33-0.47	17-18	18-21	20-21
Üniform kum	Gevşek	45-48	0.82-0.82	14-15	15-19	18-19
	Sıkı	33-36	0.49-0.56	17-18	18-21	20-21
Silt	Gevşek	45-55	0.82-1.22	13-15	15-19	18-19
	Sıkı	35-40	0.54-0.67	16-17	17-21	20-21
silt	Yumuşak	45-50	0.82-1.00	13-15	16-20	18-20
	Plastik	35-40	0.54-0.67	16-17	17-21	20-21
	Sıkı	30-35	0.43-0.49	18-19	18-19	18-22
Kil	Yumuşak	60-70	1.50-2.30	13-15	13-18	14-18
	Plastik	40-55	0.67-1.22	15-18	15-20	17-21
	Sıkı	30-40	0.43-0.67	18-20	17-22	19-23

Çizelge 5.5 e göre bu zemin tabakası yumuşak kil tanımlamasına göre yukarıda bulunan değerlerin uyumlu olduğu görülmektedir. Ayrıca sahada yapılan sondajlar incelenirse

sadece ASK-22 sondajında 2.50-3.00 m seviyesinde belirlenen e , boşluk oranı, γ_d ve γ_s değerlerinin bağıntılar ve çizelgeler yardımıyla bulunan değerlere yakın olduğu görülmektedir.

Zemin tabakasının E elastisite modülü değeri SPT değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Drenajsız analiz sözkonusu olduğundan bulunacak elastisite modülü değeri drenajsız elastisite modülü olmalıdır. İncelenen bu kesitin yer aldığı Km:7+900 ile 8+116 arasında yer alan ASK-22, S-27 ve S-28 sondajlarının mevcut olan loglarından manevra boyları ve derinlikleri dikkate alınarak aynı seviyedeki N değerlerin ortalamaları alınmış ve bu seviyelerdeki düşey efektif gerilmeler gözönüne alınarak bu değerler düzeltilmiştir. Düzeltme katsayısı ile ortalama N değerleri çarpılarak düzeltilmiş N değerleri elde edilmiştir. Düzeltme katsayısı için Peck, Hanson ve Thornburn(1974)'e göre ;

$$C_n = 0.77 \log 20/\sigma_v' \quad (5.5)$$

olarak tanımlanmıştır. Çizelge 5.6 da sondaj loglarına göre bulunan ve düzeltilen SPT sayıları verilmiştir.

Çizelge 5.6 Düzeltilmiş SPT sayıları

Derinlik(m)	ASK-22	S-27	S-28	N _{ort.}	σ_v' (kg/cm ²)	C _n	N _d =C _n N _{ort}
1.50-1.95	28	8	12	10.00	0.21	1,52	15,20
3.00-3.45	26	23	15	21.33	0.45	1,27	27,08
4.50-4.95	R	48	75	61.50	0.675	1,13	69,49
6.50-6.95	R	40	R	40.00	0.975	1,01	40,40
7.50-7.95	31	R	89	40.00	1.125	0,96	57,74
9.00-9.45	60		39	49.50	1.350	0,90	44,55
9.50-9.95		53		53.00	1.425	0,88	46,64
10.50-10.95	55	R	29	42.00	1.575	0,85	35,70
12.00-12.45	54	11	35	44.50	1.680	0,83	36,94
13.50-13.95	13	48	R	30.50	1.364	0,90	27,45
15.00-15.45	76	40	95	70.33	1.384	0,89	62,59
16.50-16.70	R	R	R		1.405	0,88	
18.00-18.45	88	R	R	88.00	1.426	0,88	77,44

Diğer yandan düzeltilmiş SPT sayılarına göre alüvyon biriminin ortalama düzeltilmiş N=15 olarak alınmıştır. Bu düzeltilmiş SPT sayılarından korelasyonlar kullanılarak q_c koni penetrasyon uç direnci değerleri elde edilmiştir. Çizelge 5.7 de q_c ile N değerleri arasındaki korelasyonlar verilmiştir.

Çizelge 5.7 ye göre kil içerikli zeminlerde q_c/N değeri 2 olarak alınabilir. Buna göre

$$q_c = 2N \quad (5.6)$$

Eşitliği ile $q_c=30$ kPa olarak elde edilir. Bu değer yardımıyla elastisite modülü E;

$$E_s = \alpha q_c \quad (5.7)$$

Eşitliği ile elde edilebilir. α değerleri Çizelge 5.8 de çeşitli zeminler için verilmektedir. Bu değerlerden incelenen zemin birimine uygun α değeri belirlenip elastisite modülü, E hesaplanmıştır.

Çizelge 5.7 N- q_c korelasyonları

Zemin Tanımı	q_c/N	Açıklama
Kohezyonsuz zeminler	2.5-4.00 t/ft ²	Meyerhof(1956)
Killer	2.00 kg/cm ²	Schultze ve krausenberger(1957)
Killer	2.00 kg/cm ²	Uiswannattan(1968)
Çakıllı kum kumlu çakıl	3.5-6.00 kg/cm ²	Schmertmann(1970)
Siltli veya kumlu kil	2.00 kg/cm ²	Nixon(1982)
Çakıllı kum	5.00-6.00 kg/cm ²	Sanglerat(1972)
Killer	2.00 kg/cm ²	Da Costa Nunes(1961)

Çizelge 5.8 E_s- q_c korelasyonları

Zemin Tanımı	E _s / $q_c = \alpha$	Açıklama
Yüksek ve düşük plastisiteli kil	1,00-5,00	Ricceri,Previatell(1974)
Normal konsolide kil	1,70-5,40	Skempton,meyerhoff(1953)
Yumuşak kil	6,00-8,00	Bowles(1982)
Kil	3,80	Dahlberg(1975)
Siltli katı kil	5,00-7,00	Bowles(1982)
Kohezyonlu zeminler	3,00	Casson(1969)
Grantüler zeminler	4,00-6,00	Nieuwenhuis(1979)
Sıkı çakıllı kumlar	3,00-6,00	Baldi(1981)
Kum ve çakıl	1,90	Schmertmann(1970)

Çizelge 5.8 e göre incelenen birime uygun $\alpha=4$ olarak alınırsa (5.7) Eşitliğine göre;

$$E=\alpha q_c=4*30=120 \text{ kg/cm}^2 \text{ veya } 12.000 \text{ kPa}$$

olarak bulunur. Çizelge 5.9 da AASHTO nun pratikte alınmasını önerdiği E elastisite modülü ve ν poisson oranları gösterilmektedir.

Çizelge 5.9 AASHTO ya göre E ve ν değerleri

Zemin Türü	Zemin Kıvamı	E (ksf)	ν
Kil	Yumuşak	50-300	0,4-0,5
	Orta katı	300-1000	0,4-0,5
	Katı	1000-2000	0,4-0,5
Lös		300-1200	0,1-0,3
Silt		40-400	0,3-0,35
İnce kum	Gevşek	160-240	0,25
	Orta sıkı	240-400	0,25
	Sıkı	400-600	0,25
Kum	Gevşek	200-600	0,2-0,3
	Orta sıkı	600-600	0,3-0,4
	Sıkı	1000-1600	0,3-0,4
Çakıl	Gevşek	600-1600	0,2-0,35
	Sıkı	1600-2000	0,2-0,35
	Çok Sıkı	2000-4000	0,2-0,35

Çizelge 5.9' a göre alüvyon biriminin denk geldiği yumuşak kil karşılığındaki önerilen değere göre E=50 ile 300 ksf arasında bir değer önerilmektedir. E=200 ksf seçilirse ve ksf yaklaşık olarak 50 kPa olduğundan seçilen E=10.000 kPa olarak bulunur. Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9' a göre bulunan değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu nedenle alüvyon tabakası için E=10.000 kPa olarak seçilmiştir.

Alüvyon tabakasının C_u drenajsız kayma mukavemetleri, E elastisite modülü değerinin saptanmasında olduğu gibi SPT, değerleri kullanılarak belirlenmiştir. Çizelge 5.10, Çizelge 5.11 de SPT sayıları kullanılarak verilmiş çeşitli C_u -N ve q_u -N korelasyonları görülmektedir. Serbest basınç dayanımı q_u ile drenajsız kayma mukavemeti c_u arasında

$$q_u=c_u/2 \quad (5.8)$$

bağıntısı olduğu bilinmektedir.

Çizelge 5.10 N-c_u korelasyonları

Referans	C _u Değeri
Schmertmann(1975)	N/15 tsf
Leach and Thompson(1979)	5N kPa
Stroud(1974)	4N-6N kPa
Mcmanis, Arman ve Simpson(1979)	10N kPa
Fahey ve Jevell(1974)	10N kPa
De Mello(1971)	SPT=9+6.76c _u kg/cm ²)
Hara(1974)	29N ^{0.72} kPa

Çizelge 5.11 N-q_u korelasyonları

Referans	q _u değeri	Açıklama
Terzaghi ve Peck(1967)	N/8 t/ft ²	Doygun kil
Sanglerat(1972)	N/4 kg/cm ²	
Sanglerat(1972)	N/5 kg/cm ²	Siltli kil
Sanglerat(1972)	N/7,5 kg/cm ²	Siltli kumlu kil
Peck ve Reed(1954)	0,061N+1,3 kg/cm ²	Doymamış siltli kil
Fletcher(1965)	N/6 kg/cm ²	killer

Çizelge 5.10 ve çizelge 5.11 de verilen korelasyonlara göre elimizdeki düzeltilmiş ortalama N değeri kullanılarak c_u değişim aralığı 60 kPa ile 180 kPa olarak belirlenir. Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13 de doğrudan N değerleri belirtilerek çeşitli referanslar gösterilerek q_u ve c_u değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.12 N-q_u korelasyonları

Zemin Kuvamı	SPT,N Değeri	Serbest basınç dayanımı,q _u (kg/cm ²)	
		Terzaghi-Peck(1968)	Tschebatarioff(1973)
Çok yumuşak	2	<0,25	0,30
Yumuşak	2-4	0,25-0,50	0,30-0,60
Katı	4-8	0,50-1,00	0,60-1,20
Orta katı	8-15	1,00-2,00	1,20-2,40
Çok katı	15-30	2,00-4,00	2,40
Sert	>30	>4,00	>4,50

Çizelge 5.13 N-cu
korelasyonları

Zemin Kıvamı	SPT,N Değeri	Kohezyon, c(kg/cm ²)	
		Tschebatarioff(1973)	Mccarty(1977)
Çok yumuşak	2	0,15	
Yumuşak	2-4	0,15-0,30	0,12-0,25
Katı	4-8	0,30-0,60	0,25-0,50
Orta katı	8-15	0,60-1,20	0,50-1,00
Çok katı	15-30	1,2	1,00-2,00
Sert	>30	2,25	>2,00

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13 te N değerlerine göre c_u değerleri değişim aralığı 50 kPa ile 120 kPa arasındadır. Seçilen parametrelerin uyumlu olması açısından c_u değerini, E elastisite modülü ile değerlendirerek seçmek yapılan analizin doğruluğu açısından gereklidir. Çizelge 5.14 te E_u ile c_u arasında çeşitli referanslar belirtilerek verilmiş korelasyonlar yer almaktadır.

Çizelge 5.14 E_u - c_u korelasyonları

Zemin Türü	E_u/c_u Değeri	Referans
Normal konsolide kil	250-500	Bjarrum(1964)
Yüksek plastisiteli kil	400-800	D'Appolonia(1971)
Suya doymun kil	50-1000	D'Appolonia(1971)
Suya doymun kil	40-3000	D'Appolonia(1971)
Normal konsolide hassas kil	250-1000	Balasubraniam,Brenner(1961)
Normal konsolide suya doymun kil	250-500	Ladd(1977)
Yumuşak kil	250-750	Bowles(1977)
Katı kil	750-1500	Bowles(1979)

Çizelge 5.14 de Ladd(1977), Bowles(1977) ve Bjarrum(1964)'un verdiği;

$$E_u/c_u=250 \quad (5.9)$$

Eşitliği kullanılarak $c_u = 40$ kPa olarak bulunabilir. Bu değer Çizelge 5.10, Çizelge 5.11,

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13 te verilen c_u değerinin değişim aralıklarına yakın ve uyumludur. Bu nedenle altüvyon tabakası için $c_u=40$ kPa olarak alınmıştır. Drenajsız analiz yapıldığından içsel sürtünme açısı $\phi_u=0$ olarak alınmıştır.

5.1.2.2 Kaliçi tabakasının zemin parametrelerinin seçimi

Drenajsız analiz yapılmakta olduğundan ve Plaxis 7.2 analiz programına göre $v = 0.495$ olarak alındığından zemin tabakası suya doygun olarak kabul edilmiştir. Zemin tabakasının ilk olarak özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir. Çizelge 5.3 e göre bu zemin tabakası için özgül yoğunluk değeri $G_s=2.68$ olarak alınmıştır. Denklem (5.1) e göre boşluk oranı e sondajlardan alınan örnekler üzerinde yapılan su muhtevası deneyi ile elde edilen w_n değeri ile G_s değeri kullanılarak 0.857 olarak saptanmıştır. Bu değer Çizelge 5.5 te orta katı kil için verilen $e=0.67-1.22$ değişim aralığı ile uyum göstermektedir. Denklem (5.2), (5.3) ve (5.4) e göre $\gamma_s=26$ kN/m³, $\gamma_d=18$ kN/m³ ve $\gamma_k=15$ kN/m³ olarak bulunmuştur. Çizelge 5.5 te alınan boşluk oranı karşılığında yer alan özgül ağırlık değerlerine bakılırsa hesaplanan değerler ile uyum sağladığı görülmektedir.

Kaliçi tabakasının E, elastisite modülü değeri yine SPT değerleri kullanılarak bulunmuştur. Kaliçi tabakasının Çizelge 5.6 ya göre düzeltilmiş ortalama SPT değeri $N=46$ olarak bulunmuştur. N değerleri yardımıyla Denklem (5.6) ve Çizelge 5.7 deki değerler kullanılarak q_c koni penetrasyon değerlerine ulaşılmış ve buradan da elastisite modülü değeri Denklem (5.7) kullanılarak hesap edilmiştir. Bu hesaplar sonucunda $q_c=92$ kg/cm² ve Çizelge 5.8 de Ricceri (1974), Skempton ve Meyerhoff(1953) tarafından verilen α değerlerinden ortalama bir değer olarak $\alpha=2.5$ olarak alınarak $E=23.000$ kPa olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.9 a göre orta katı-katı killer için elastisite modülü değeri $E=500$ ksf olarak seçilirse $E=25.000$ kPa değeri bulunur. Analizlerde $E=20.000$ kPa olarak alınmıştır.

Drenajsız kayma mukavemeti c_u için çizelge 5.10 da verilen c_u-N korelasyonları kullanılarak 230 kPa ile 460 kPa değer aralığı belirlenmiştir. Analizlerde alt limit değeri alınarak olarak $c_u=230$ kPa kullanılmıştır.

Drenajsız analiz sözkonusu olduğundan içsel sürtünme açısı $\phi_u=0$ olarak alınmıştır.

5.1.2.3 Taraça tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi

Bu zemin tabakasının su seviyesi altında olması nedeniyle zemin suya doygun haldedir. Çizelge 5.3 e göre zeminin özgül yoğunluğu $G_s=2.67$ olarak alınmıştır. Denklem (5.1) e göre boşluk oranı, $e=0.32$ olarak bulunur. Bulunan bu değer Çizelge 5.5 te sıkı çakıl için verilen boşluk oranı $e=0.22-0.33$ aralığına uyum göstermektedir. Denklem (5.2), (5.3) kullanılarak $\gamma_s=26$ kN/m³, $\gamma_d=22$ kN/m³ olarak bulunmuştur. Çizelge 5.5 te sıkı çakıl için $\gamma_d=19-21$ kN/m³ değerleri aralığı verilmiştir. Analizlerde $\gamma_d=21$ kN/m³ değeri kullanılmıştır.

Elastisite modülü, E değeri SPT değerleri kullanılarak ve koni penetrasyon uç direnci değeri q_c ile N değerleri arasındaki korelasyonlardan hareketle tahmin edilmiştir. Bu tabaka için Çizelge 5.6 ya göre ortalama düzeltilmiş SPT değeri $N=56$ olarak bulunmuştur. Çizelge 5.7 de Schmertmann (1970) e göre göre koni penetrasyon değeri q_c :

$$q_c = 3.5N \quad (5.10)$$

denklemlerle bulunmuştur. Denkleme göre $q_c=196$ kPa olarak bulunur. Elastisite modülü değeri Denklem (5.7) ye göre bulunacaktır. Denklemden yer alan α katsayısı Çizelge 5.8 de Baldi (1981) ve Nieuwenhuis (1979) un önerdiği katsayılar dikkate alınarak $\alpha=4$ olarak alınmıştır. Buna göre elastisite modülü değeri yaklaşık olarak $E=85.000$ kPa bulunur. Çizelge 5.9 da sıkı çakıllar için $E=80.000-100.000$ kPa aralığı önerilmektedir. Bu değerler ile denklemler yardımıyla bulunan değerler birbirine yakındır. Analizlerde taraça tabakası için $E=80.000$ kPa olarak alınmıştır.

İçsel sürtünme açısı ϕ nin Çizelge 5.15 te zemin türlerine göre seçilebilecek çeşitli değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 Kohezyonsuz zeminlerde ϕ değerleri

Zemin Türü	Mccarty (1977)		Tuma ve Hady (1973)	
	Ortalama	Maksimum	Gevşek	Sıkı
Kum ve çakıl	33-36	40-50	33-36	47-50
İyi derecelenmiş kum	32-35	40-45	30-33	40-47
Orta sıkı kum	29-32	32-35	26-30	32-38
Siltli kum	27-32	30-33	26-30	30-35
Silt	26-30	30-35		

Hatanaka ve Uchida (1996) düzeltilmiş SPT sayıları kullanılarak içsel sürtünme açısını;

$$\phi = \sqrt{N_d} + 20 \quad (5.11)$$

ile bulunmasını önermiştir.

Wolff(1989) ise içsel sürtünme açısı için

$$\phi = 27.1 + 0.3N_d - 0.00054N_d^2 \quad (5.12)$$

eşitliğini önermektedir. Çizelge 5.16 da SPT değerlerine ve zemin kıvamına göre içsel sürtünme açısı değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.16 N değerlerine göre yaklaşık
Ø değerleri Hennes(1953)

N Değeri	Zemin Kıvamı	Ø Değeri
10	Gevşek	30
20	Orta sıkı	32
30	sıkı	35
40	sıkı-çok sıkı	38
50	çok sıkı	40
60	çok çok sıkı	42

Çizelge 5.15, Çizelge 5.16, Denklem (5.11) ve (5.12) de uygun zemin türü ve SPT sayıları kullanılarak içsel sürtünme açısı için $\phi=27-42^\circ$ aralığı belirlenebilmektedir. Analizlerde $\phi=35^\circ$ değeri kullanılmıştır.

Çizelge 5.17 de referansları belirtilerek zemin türlerine göre poisson oranları verilmiştir.

Çizelge 5.17 Drenajlı poisson oranları

Zemin Grubu	Zemin Tipi	Converse	Poulos	Bowles	Cernica	Lee	Winterkorn
		1962	1975	1977	1982	1983	1975
		v	v	v	v	v	v
Kil	Yumuşak				0,4	0,3-0,4	
	Orta katı		0,3-0,35		0,3		
	Katı					0,2-0,3	
	Plastik						
	Katı plastik	0,4-0,45					
	Doygun				0,4-0,5		0,5
	Doygun olmayan				0,1-0,3		0,35-0,40
	Yumuşak N/C		0,35-0,45				
	Kumlu			0,2-0,3	0,25		
	Kumlu siltli						0,30-0,42
Çakıl ve Kum	Gevşek				0,2		
	Sıkı				0,3	0,2-0,4	

Çizelge 5.17 de çakıllı kumlu zeminler için Lee(1983) e göre poisson oranı 0,2-0,4 arasında verilmektedir. Analizlerde taraça tabakası için $\nu=0.3$ olarak alınmıştır. Bu tabaka için $c=0$ dır.

5.2 Km: 8+118 ile 8+245 Arası Analizler

Bu kısım projenin aç-kapa tünelleri acil çıkış yapılarının bulunduğu kısımdır. Üst yapı detaylarının belirlenmemesi nedeniyle dört ay üst yapı imalatı yapılamadan beklenmiştir. Zemin davranış biçimi drenajlı durumdur. Drenajlı zemin elemanı ve drenajlı zemin parametreleri kullanılmıştır. Km:8+200 de bulunan inclinometre yardımıyla iksa sisteminin deplasman gözlemleri yapılmıştır.

5.2.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri

Kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 5.18 de gösterilmiştir. Perdede donatılı kazıklar için BS 25 donatısız kazıklar içinse BS 14 bentonit katkılı beton kullanılmıştır. destekler içinse ST 37 çelik malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 5.18 Malzeme özellikleri

Malzeme	E (kPa)	EA(kN/m)	EI(kNm ²)	W(kN/m/m)	ν
Perde	180.000.000	140.000.000	8.800.000	6.5	0.15
Destek	210.000.000	6.000.000			

5.2.2 Zemin Tabakalarının ve Parametrelerinin Tanımlanması

Yüzeyden 3 m derinliğe kadar alüvyon olarak tanımlanan zemin tabakası koyu kahverengi çok az miktarda kum içeren orta-yüksek plastisiteye sahip kil birimidir. Kili olarak tanımlanan 3 m ile 12 m arasındaki zemin tabakası kahverengi çok katı siltli kil killi silt yapısında olan birimdir. Taraça olarak tanımlanan 12 m den sonraki zemin tabakası çok sıkı ince ve iri daneli çakıl, bloklu çakıl yapısında olan birimdir. Çizelge 5.19' da zemin tabakalarının parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 5.19 Malzeme parametreleri

	Tip	$\gamma_k(\text{kN/m}^3)$	$\gamma_d(\text{kN/m}^3)$	\emptyset	$C_u(\text{kN/m}^2)$	$E(\text{kN/m}^2)$	ν
Taraça	Drenajlı	21	21	35	1	80.000	0.2
Kaliçi	Drenajlı	15	18	23	1	10.000	0.33
Alüvyon	Drenajlı	14	18	20	1	6.000	0.40

Analizlerde perde yüzeyleri geçirimsiz olarak alınmıştır. Zemin taneleri ile perde yüzeyleri arasında sürtünme katsayıları farkından dolayı ara yüzey elemanları tanımlanmıştır. Plaxis 7.2 analiz programına göre drenajlı analiz yapabilmek için zemin elemanları ve zemin parametreleri drenajlı olarak seçilir.

5.2.2.1 Alüvyon tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi

Plaxis 7.2 analiz programına göre drenajlı analizlerde poisson oranı ν zemin parametreleri girildikten sonra program tarafından otomatik olarak hesaplanır.

Drenajlı durum için Çizelge 5.20 de kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için elastisite modülü E için değerler verilmiştir.

Çizelge 5.20 Drenajlı elastisite modülü değerleri Kezdi' den sonra (1975)

Zemin Tipi	Zemin Kıvamı	$E'(\text{kPa})$ Değerleri
Kohezyonlu	Yumuşak	1.400-4.200
	Orta katı	4.200-8.400
	Katı	8.400-20.000
Kohezyonsuz	Gevşek	28.000-56.000
	Orta sıkı	56.000-70.000
	Sıkı	70.000-110.000

Strout ve Butler(1975) elastisite modülü E' için;

$$E=1/mv=f_2N \quad (5.13)$$

eşitliğini önermektedir. Bu denklemdeki f_2 katsayısı zeminin plastisite indeksine bağlı olarak verilen bir katsayıdır. Alüvyon tabakası için plastisite indeksi S-29, ASK-23, AD-1 ve AD-3 sondajlarından ortalama olarak $PI=33$ olarak belirlenmiştir.

Bu plastisite indisi için Stroud ve Butler (1975) $f_2=500$ kPa değerini vermektedir. Alüvyon tabakası için S-29, ASK-23, AD-1 ve AD-3 sondajlarından aynı seviyedeki SPT sayılarının ortalaması alınarak ve üzerindeki efektif gerilmeler dikkate alınarak Denklem (5.5) ile düzeltilmesi sonucu $N=16$ olarak tespit edilmiştir. Çizelge 5.21 de düzeltilmiş SPT sayıları gösterilmektedir.

Çizelge 5.21 Düzeltilmiş SPT sayıları, N_d

Derinlik(m)	S-29	ASK-23	AD-1	AD-3	N_{ort}	σ_v' (kg/cm ²)	C_n	$N_d=C_n N_{ort}$
1.50-1.95	12	3	14	16	11.25	0.255	1,46	16.43
3.00-3.45	21	10	10	13	13.5	0.45	1,27	17.15
4.50-4.95	23	14	13	12	15.5	0.675	1,13	17.52
6.50-6.95	R	16	11	17	14.67	0.90	1,04	15.26
7.50-7.95	R	R	33	97	65	1.125	0,96	62.40
9.00-9.45	69	R	67	R	68	1.350	0,90	61.20
10.50-10.95	92	R	R	R	92	1.575	0,85	78.20
12.00-12.45	R	59	R	R	59	1.222	0,93	54.87
13.50-13.95	R	36	R	R	36	1.223	0,93	29.88
15.00-15.45	R	R	R	R		1.234	0,93	
16.50-16.70	68		R		68	1.234	0,93	63.24
18.00-18.45	R	R	R					

Denklem (5.13) e göre $E=8000$ kPa olarak bulunur. Çizelge 5.22 de kil zeminler için E değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.22 Kil zeminler için E değerleri

Zemin Tanımı	Zemin Kıvamı	Bowles(1977)	Hallam ve Wootton(1978)	Kezdi(1975)
		E' (kg/cm ²)	E' (kPa)	E' (kg/cm ²)
Kil	Çok yumuşak	3-30		3,5-30
	yumuşak	20-40	1000-2500	
	orta katı	45-90	2500-5000	
	katı	70-200		

Çizelge 5.21 ve Çizelge 5.22 ile Denklem (5.13) dikkate alınarak elastisite modülü $E=6000$ kPa olarak seçilir. Drenajlı analiz sözkonusu olduğundan $c'=0$ olarak alınmıştır.

Çizelge 5.23 ve Çizelge 5.24 te granüler ve kohezyonlu zeminler için içsel sürtünme açısı ϕ' nin değerleri verilmiştir.

Çizelge 5.23 Granüler zeminler için ϕ' değerleri

Zemin Tanımı	Zemin Tipi	ϕ'	Çok sıkı	sıkı	orta sıkı
Granüler	Çakıl	ϕ'	45-40	40-37	37-35
	Kum	ϕ'	40-38	38-35	35-32
	İyi derecelenmişkum	ϕ'	37-35	35-32	32-28
	Organik kum	ϕ'	30-25	25-22	22-18

Çizelge 5.24 Kohezyonlu zeminler için ϕ' değerleri

Zemin Tanımı	Zemin Tipi		Çok katı	katı	orta katı	Yumuşak
Kohezyonlu	Killi siltli kum	ϕ'	28-24	24-22	22-19	19-5
	Killi kumlu silt	ϕ'	26-22	22-19	19-15	15-12
	Kumlu kil	ϕ'	23-20	20-17	17-12	12-8
	Kumlu siltli kil	ϕ'	19-17	17-14	14-5	10-5

Çizelge 5.24 kullanılarak alüvyon tabakası için $\phi'=20^\circ$ olarak alınmıştır. Zemin tabakasının özgül ağırlığı Çizelge 5.5 kullanılarak belirlenmiştir. Çizelge 5.5 e göre uygun zemin tanımı karşısında bulunan değerlerden $\gamma_d=18 \text{ kN/m}^3$ ve $\gamma_k=14 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

5.2.2.2 Kaliçi tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi

Çizelge 5.20 de katı kohezyonlu zemin için $E=8.400-20.000 \text{ kPa}$ değer aralığı verilmiştir. Bu aralıktan bu tabaka için ortalama bir değer olarak $E=10.000 \text{ kPa}$ değeri seçilmiştir.

Çizelge 5.5 kullanılarak uygun zemin tanımından $\gamma_d=18 \text{ kN/m}^3$ ve $\gamma_k=15 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

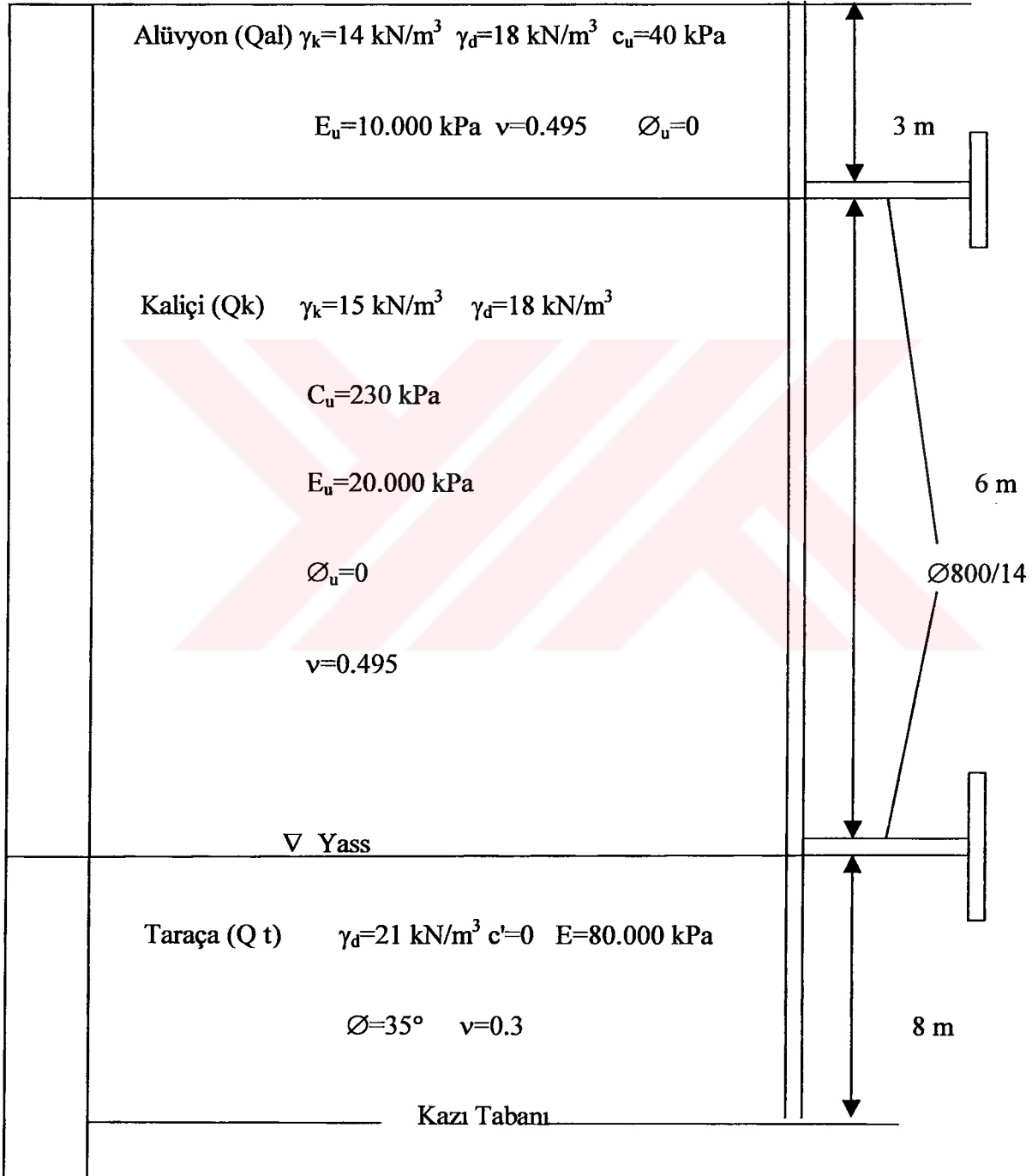
Çizelge 5.24 kullanılarak $\phi'=23^\circ$ olarak seçilmiştir. Analizlerde $c'=0$ alınmıştır.

5.2.2.3 Taraça tabakasının zemin parametrelerinin belirlenmesi

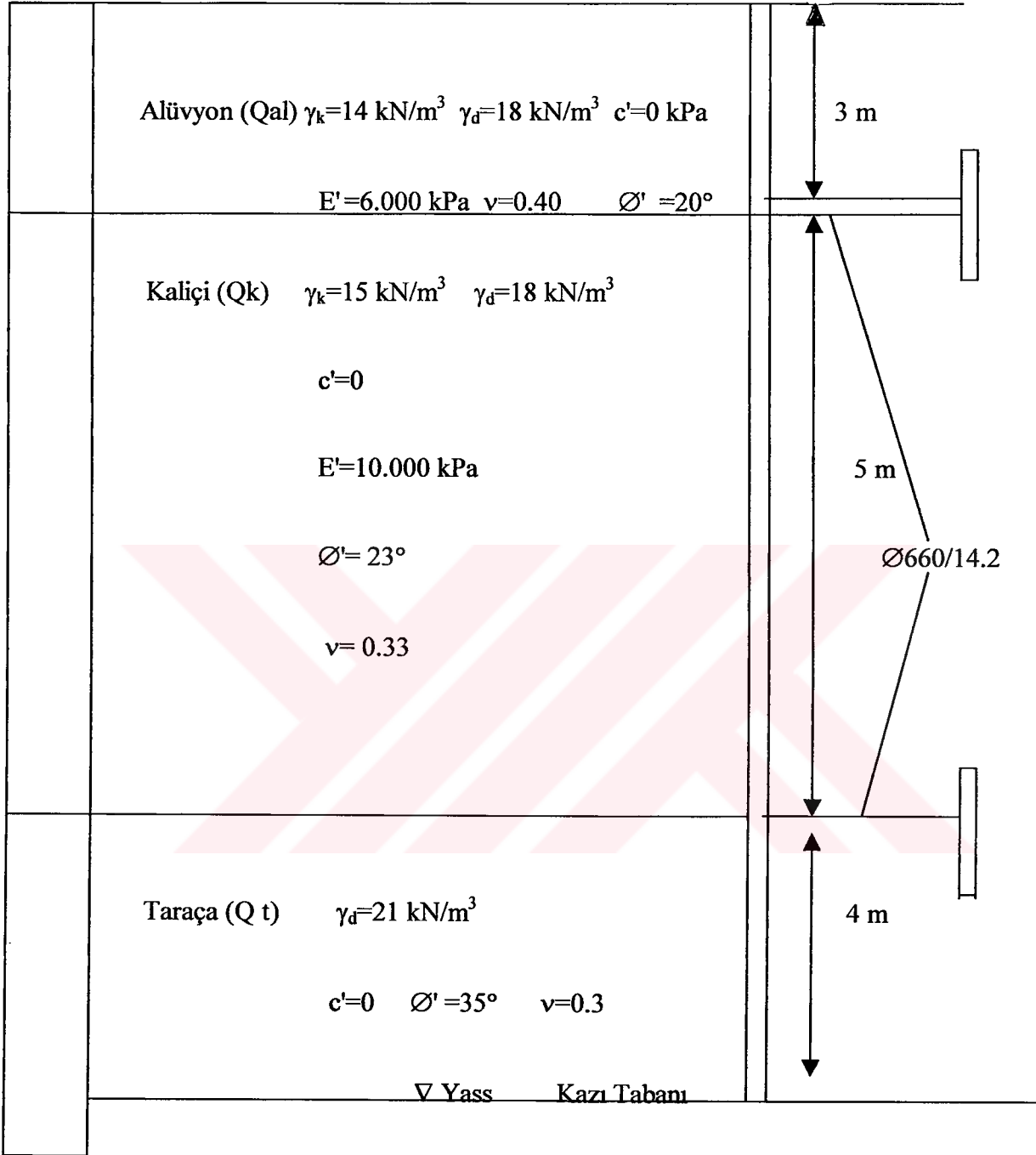
Çizelge 5.20 de kohezyonsuz sıkı zeminler için $E=70.000-110.000 \text{ kPa}$ değer aralığı verilmiştir. Bu aralıktan bu tabaka için ortalama bir değer olarak $E=80.000 \text{ kPa}$ değeri seçilmiştir.

Çizelge 5.5 kullanılarak uygun zemin tanımından $\gamma_d=21 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir. Çizelge 5.23 kullanılarak $\phi'=35^\circ$ olarak belirlenmiştir. Bu parametreler ışığında yapılan hesaplar sonucunda elde edilen sonuçlar Ek-1 ve Ek-2' de grafik ve çizelge olarak verilmiştir.

Şekil 5.1 ve Şekil 5.2 ' de incelenen kesitler için kullanılan zemin ve destek sistemi profilleri verilmiştir.



Şekil 5.1 Km:7+900 ile 8+116 arası zemin ve destek sistemi profili



Şekil 5.2 Km:8+118 ile 8+245 arası zemin ve destek sistemi profili

6. ANALİZ SONUÇLARI

Bu çalışmanın amacı Adana Hafif Raylı Taşıma Projesi kapsamında yapılan destekli derin kazının sonlu elemanlar yöntemine göre modellenmesi ve analiz sonuçlarının arazi gözlemleri ile karşılaştırılmasıdır. Sonlu elemanlar yöntemine göre kazının ve destek sisteminin modellenmesinde Plaxis isimli hazır bir program kullanılmıştır. Arazide kazının gözlemlenmesi kritik kesitlere yerleştirilen inklinometreler yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Her geoteknik projenin tasarımı aşamasında zeminle ilgili pek çok kabuller ve varsayımlar yapılmak zorunda kalınmaktadır. Yapılan bu varsayımların zeminle ilgili gerçek değerlere ne kadar yakın olduğu projede gerçekleştirilen aletsel gözlemler çerçevesinde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle aletsel gözlemin gerek yapım devam ederken işin sağlıklı şekilde yürütülmesi ve gerekse başka bir tasarımda kullanılmak üzere veri tabanı oluşturulması açısından büyük faydaları vardır ve ihmal edilmemelidir.

Bu çalışmada iki farklı kesit üzerinde deplasman analizi yapılmıştır. Birinci kesitte kazıya başlama ile üst yapıyı (betonarme kesitleri) bitirme arasındaki süre kısa olduğundan drenajsız analiz yapılmıştır. Plaxis programında drenajsız analiz yapabilmek için zemin elemanlarının drenajlı, zemin parametrelerinin drenajsız değerler seçilmesi gerekmektedir. Programın bu kuralına uygun bir yol izlenmiştir. Kazı modellenmesi saha koşullarına uygun olarak kademeler halinde modellenmiştir. Kazı çevresinde ki sürşarj yükleri, zemin parametreleri tanımlandıktan sonra hesap aşamasına geçilmiştir. Hesap sonucunda incelenen kesit için program sistemin maksimum yatay deplasmanını $\delta_x=16.82$ mm olarak bulmuştur. Aletsel gözlemler neticesinde bu kesit için ölçülen yatay deplasman $\delta_x=13.75$ mm civarındadır. -20 m. seviyesinden bir referans doğrultusu geçirilir ve bu noktadaki deplasman sıfır alınır en üst noktada deplasman $\delta_x =12.90$ mm. olarak bulunur. Görüldüğü üzere aletsel gözlemler ile analizler sonucu elde edilen deplasmanların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir.

Drenajsız analizlerde deplasmanlara etki eden en önemli faktörlerin zemin tabakalarının elastisite modülleri ve poisson oranları olduğu görülmüştür. Drenajsız kayma mukavemeti c_u nun etkisinin elastisite modülü ve poisson oranının etkisi yanında çok küçük kaldığı görülmektedir. En alt tabaka olan taraça tabakası için içsel sürtünme açısı ϕ' nin değerinde deplasman analizlerinde etkili bir unsur olduğu görülmektedir. Drenajsız analizlerde saha da

oluşan deplasmanlar ile analizlerden elde edilen deplasmanların uyumlu olması için elastisite modülü E ve poisson oranı ν ' nün değerlerinin gerçekçi seçilmesi gereklidir.

İkinci kesitte kazı süresi ile üst yapıyı(betonarme kesitler) bitirme arasındaki sürenin uzun olması nedeniyle drenajlı analiz yapılmıştır. Drenajlı analizlerde zemin elemanları ve zemin parametreleri drenajlı olarak seçilmiştir. Kazı modellenmesi saha koşullarına uygun olarak aşamalı olarak modellenmiştir. Sürşarj yükleri ve zemin parametreleri tanımlandıktan sonra hesap aşamasına geçilmiştir. Hesaplar sonucunda bu kesit için yatay deplasman $\delta_x=18.32$ mm. olarak bulunmuştur. Aletsel gözlemler sonucunda bu kesit için yatay deplasman $\delta_x=13.60$ mm. olarak belirlenmiştir. -17 m. seviyesinden referans doğrultusu geçirilir ve buradaki deplasman sıfır kabul edilerek en üst seviyede deplasman $\delta_x=16.30$ mm. olarak bulunur. Aletsel gözlem ile analizlerden elde edilen değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir.

Drenajlı analizlerde sistemin yatay deplasman değerlerine etki eden faktörlerin zemin tabakalarının E elastisite modülleri ve ϕ içsel sürtünme açısı değerleri olduğu görülmüştür. Analizler sonucunda elde edilen deplasmanların gerçekçi değerler vermesi için bu iki parametrenin gerçekçi seçilmesi gereklidir.

Her iki kesitte de aletsel gözlemler ile elde edilen yatay deplasman değerleri ile analizler sonucunda elde edilen yatay deplasman değerleri arasında küçük değer farklılıkları olduğu görülmektedir. Bu farkların modelleme ve analiz aşamalarında zemin tabakaları için yapılan varsayımlar ve kullanılan korelasyonlar sonucu olduğu tahmin edilebilir.

Zeminle ilgili parametrelerin seçimi dışında destek sisteminde kullanılan kazık çapı, kullanılan beton sınıfı, kullanılan boru desteklerinin çapı gibi faktörlerinde deplasman değerlerine etkisi olduğu açıktır. Zira kullanılan kesitler ne kadar rijit olursa oluşacak deplasmanlar da o kadar düşük olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle kesit seçimlerinde zemin koşulları dikkate alınarak gerçekçi yapılmalıdır.

Özetle geoteknik mühendisliğinde konuyla ilgili geoteknik parametre seçimi koşuluyla sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bir problemin modellenmesi deplasmanlar gibi yapım öncesi tahminde büyük yarar ve zorunluluk görülen konunun gerçeğe yakın şekilde ortaya konulması olanağı yaratılmış olmaktadır

KAYNAKLAR

Carter, M. Ve Bentley, S.P.,(1991), Correlations Of Soil Properties, Pentech Press, London

Champman, K.R., Cording, E.J. ve Schnabel, H.,(1972), 'Performance Of A Braced Excavation İn Granular And Cohesive Soils', 11-14 June. 1972, Lafayette-İndiana

Cloyton, C.R.I.,(1992), Reatining Structures, Thomas Telford, London

Djoenaidi, W.,(1985), "Compendium Of Soil Properties And Correlations-Part I", Master Of Engineering Science İn Geotechnical Engineering İn University Of Sydney, Sydney

Djoenaidi, W.,(1985), "Compendium Of Soil Properties And Correlations-Part II", Master Of Engineering Science İn Geotechnical Engineering İn University Of Sydney, Sydney

Gould, J.P.,(1970), "Letaral Pressures On Rijid Permanent Structures", State Of-The Art Papers Presented At Spcecialty Conference, 22-24 June 1970, Cornell University

Hunt, R.E.,(1986), Geotechnical Engineering Tecniques And Practies, Mc Graw Hill Book Company, Newyork

Lambe, T.W.,(1970), "Braced Excavations", State Of -The Art Papers Presented At Specialty Conference, 22-24 June 1970, Cornell University

Lambe, T.W.,(1972), "Predicting Performance Of Braced Excavations, Performance Of A Braced Excavations İn Granular And Cohesive Soils", Proceeding Of The Specialty Conference On Performance Of Earth And Earth-Supported Structures", 11-14 June 1972, Lafayette-İndiana

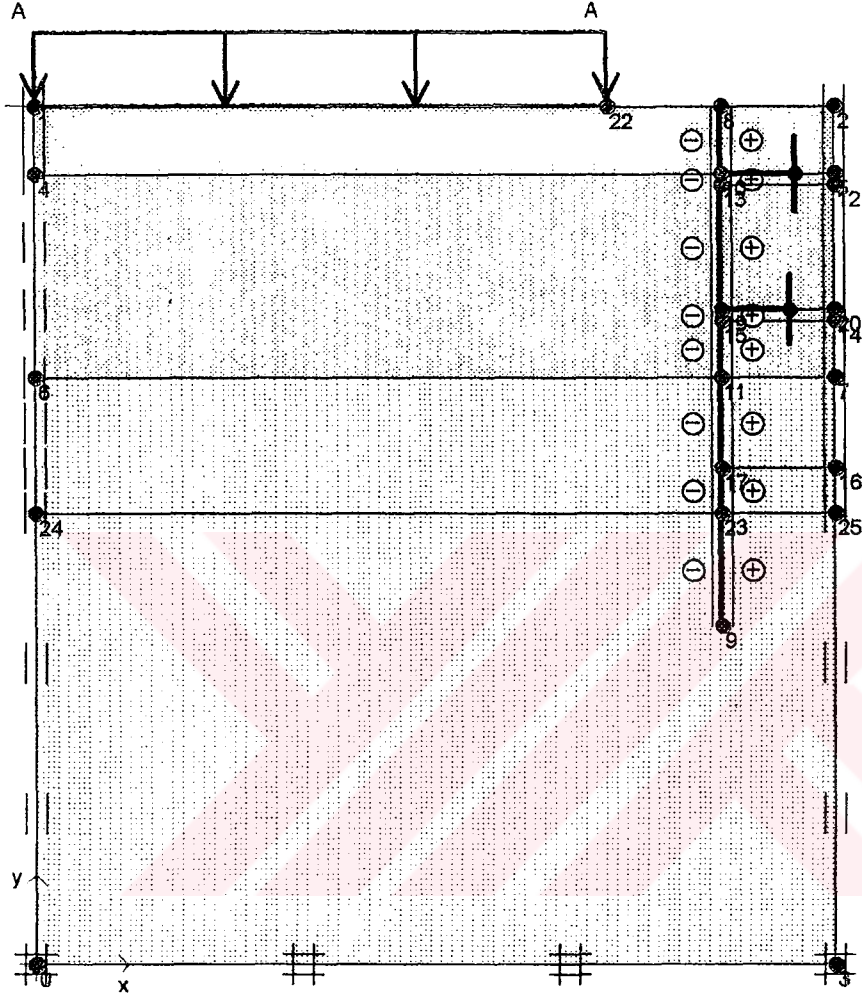
Puller, M.,(1996), Deep Excavations, Thomas Telford, London

Whitman, R.V.,(1970), "Desingn Of Earth Reatining Structures", State Of-The-Art Papers Presented At Specialty Conference, 22-24 June 1970, Cornell University

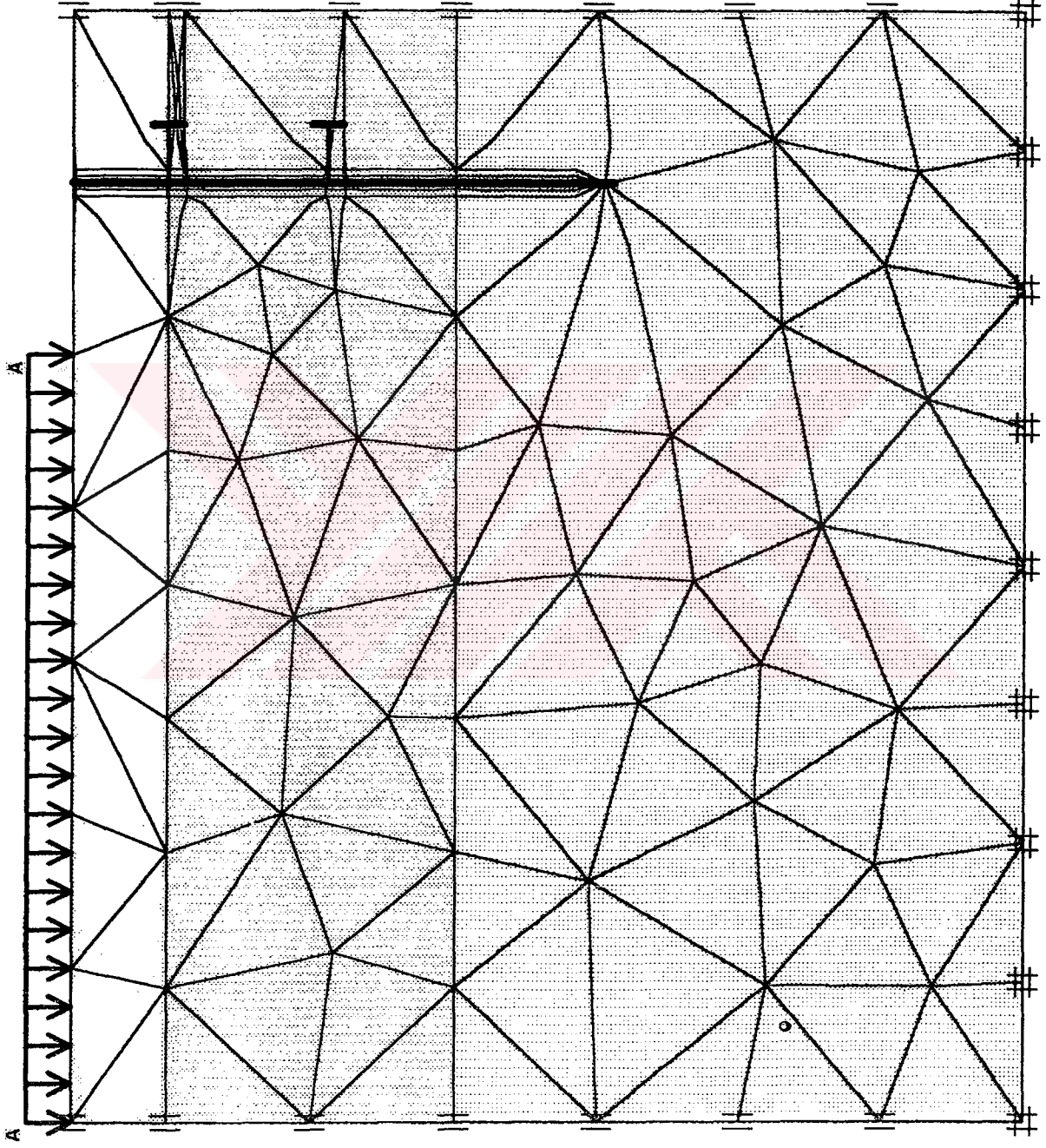


EK 1

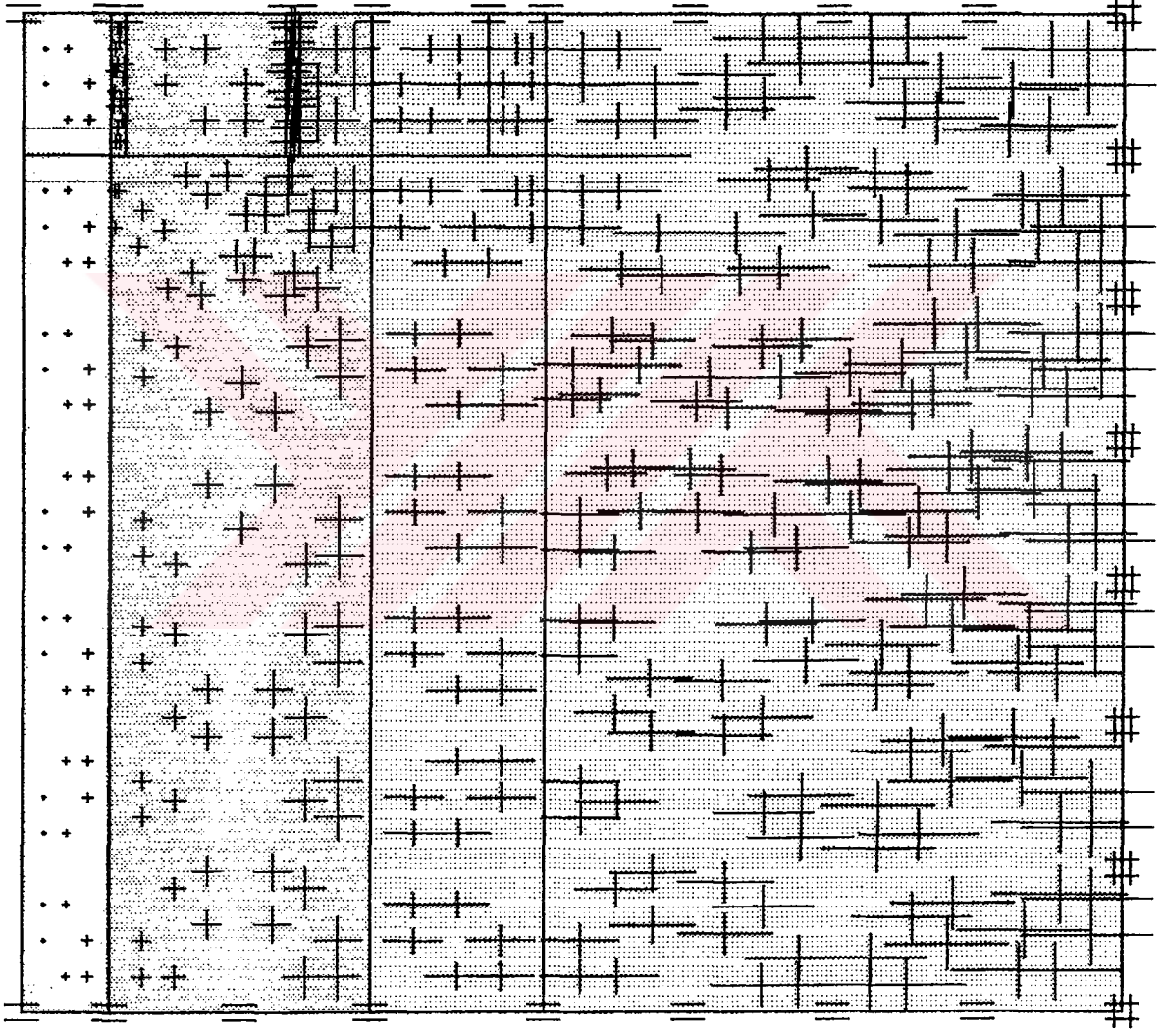
BİRİNCİ KESİT ANALİZ VE DEPLASMAN GRAFİKLERİ



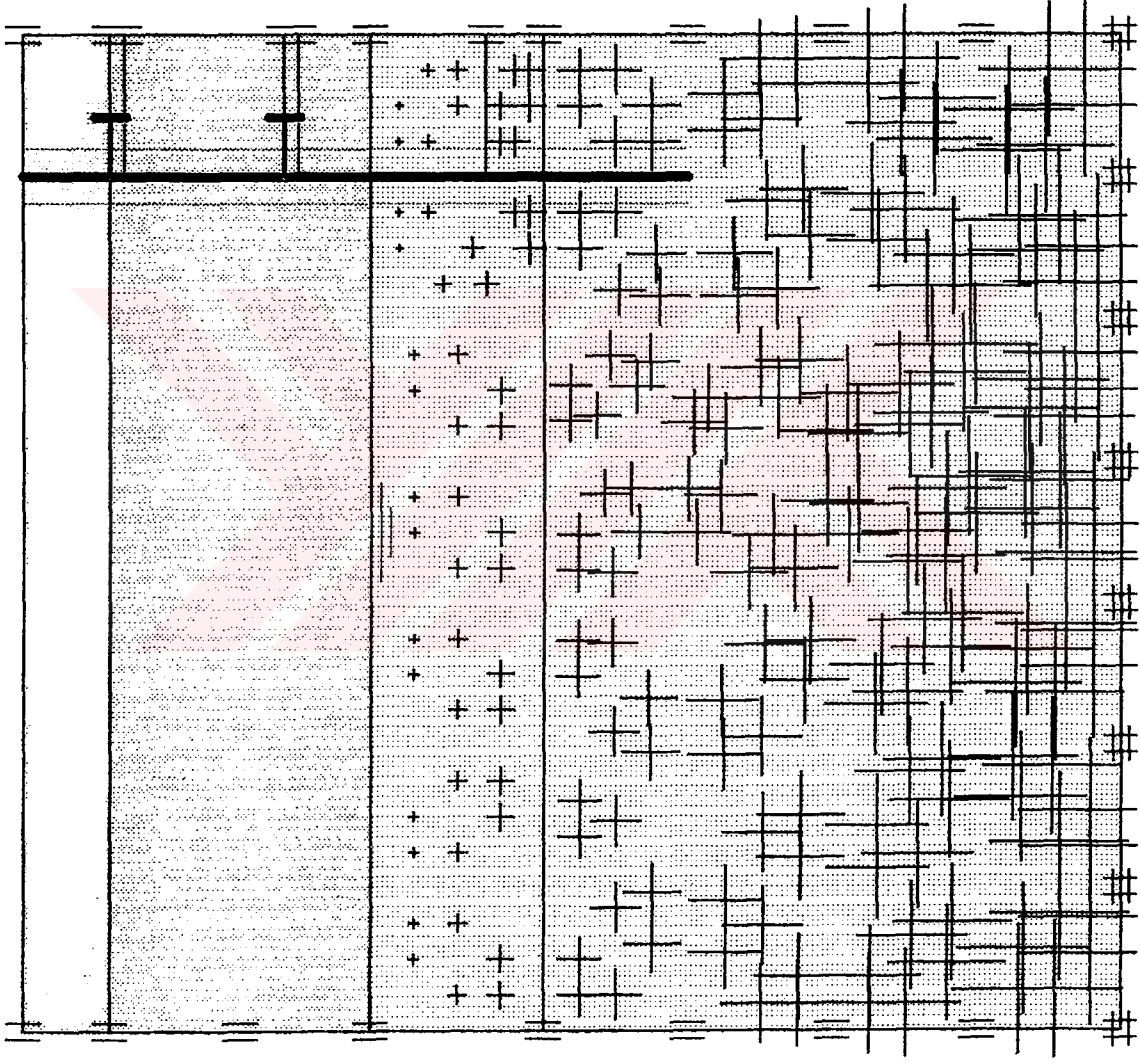
Kesit 1 için sonlu elemanlar yöntemiyle arazinin modellenmesi



Kesit 1 için sonlu elemanlar mesh diyagramı

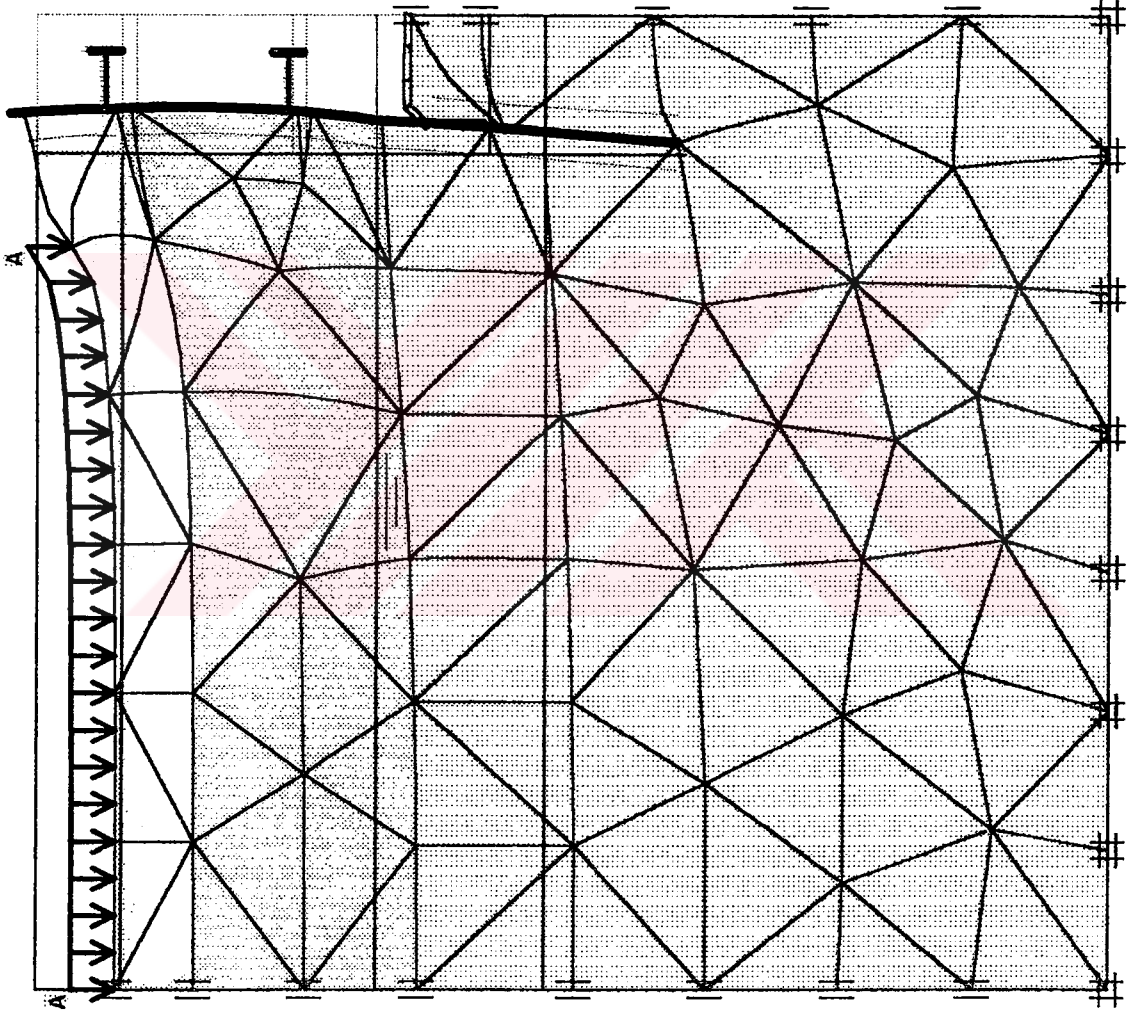


Kesit 1 için efektif gerilme dağılımı



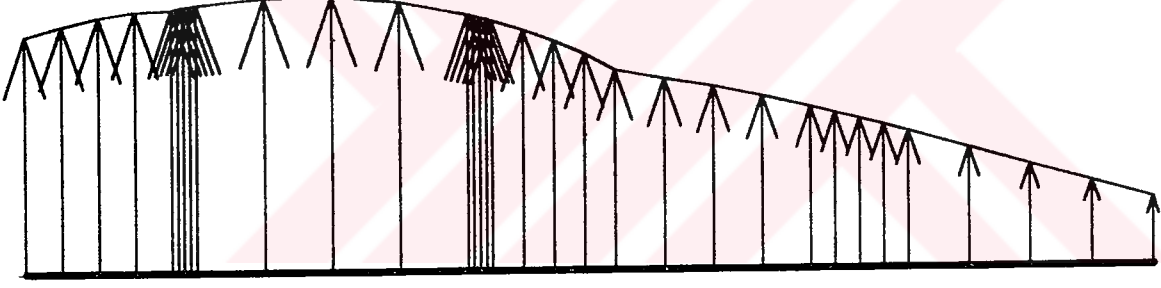
Active pore pressures

Kesit 1 için boşluk suyu basıncı dağılımı



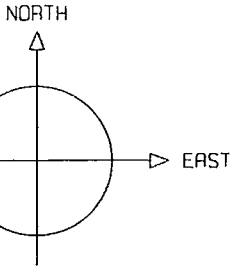
Deformed Mesh

Kesit 1 için deformasyonların 100 kez büyütülmüş durumu



Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $16.82 \cdot 10^{-3}$ m

Kesit 1 için analiz sonucunda elde edilen yatay deplasman



SISGEO

VERTICAL INCLINOMETRIC MEASURE COMPUTATION

INCLINOMETRIC TUBE: I111

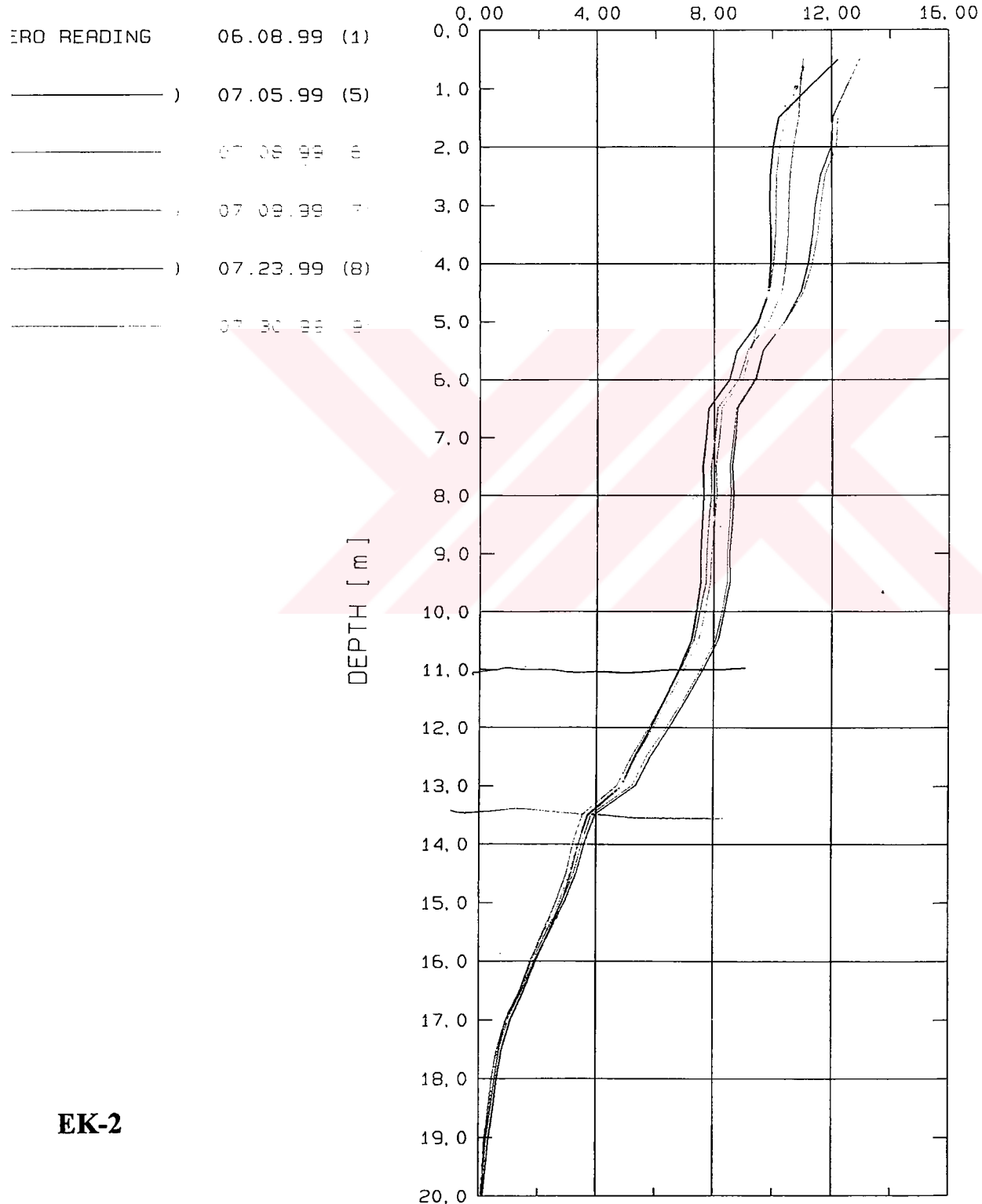
LOCATION : VILAYET

INTEGRAL DIFFERENTIAL DISPLACEMENTS

COMPUTATION FROM BOTTOM

RESULTANT DISPLACEMENT

DISPLACEMENT [mm]



EK-2

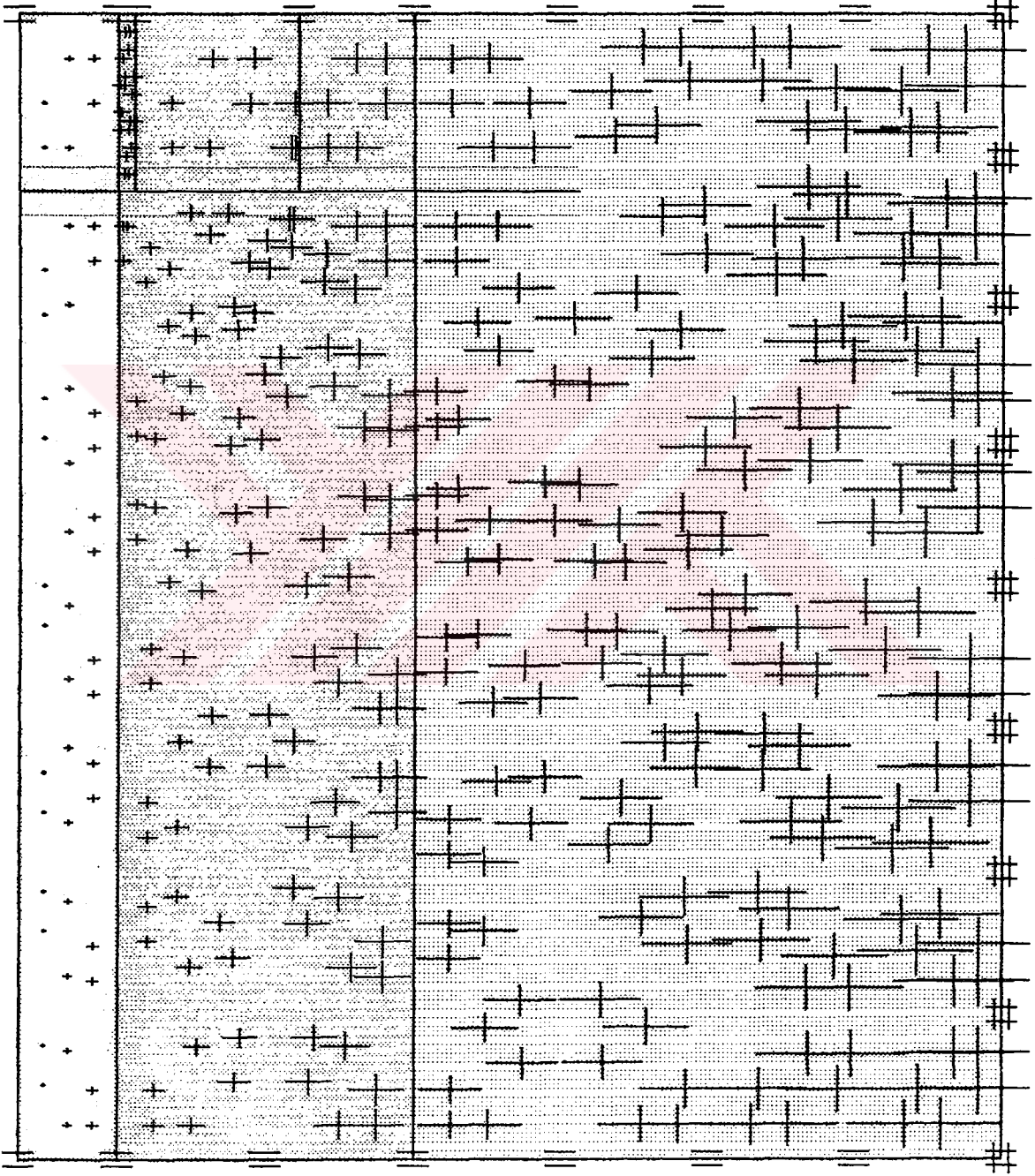
Kesit 1 için arazi ölçümleri sonucunda elde edilen deplasman

Beam	Element	Node	X	Y	Ux	Uy
			[m]	[m]	[10 ⁻³ m]	[10 ⁻³ m]
1	1	1076	30.000	38.000	14.498	8.974
	perde	1075	30.000	37.250	15.107	8.249
		1074	30.000	36.500	15.610	7.487
		1073	30.000	35.750	15.973	6.692
		1072	30.000	35.000	16.054	5.852
	2	1072	30.000	35.000	16.054	5.852
	perde	1056	30.000	34.875	16.137	5.730
		1055	30.000	34.750	16.209	5.615
		1054	30.000	34.625	16.273	5.504
		1053	30.000	34.500	16.331	5.395
	perde	1022	30.000	33.125	16.775	4.258
		1021	30.000	31.750	16.825	3.205
		1020	30.000	30.375	16.448	2.306
		1019	30.000	29.000	15.661	1.615
	4	1019	30.000	29.000	15.661	1.615
	perde	910	30.000	28.875	15.569	1.564
		909	30.000	28.750	15.474	1.514
		908	30.000	28.625	15.377	1.466
		907	30.000	28.500	15.279	1.421

Beam	Element	Node	X	Y	Ux	Uy
			[m]	[m]	[10 ⁻³ m]	[10 ⁻³ m]
	perde	798	30.000	27.875	14.695	1.226
		797	30.000	27.250	14.027	1.108
		796	30.000	26.625	13.242	1.076
		795	30.000	26.000	12.214	1.097
	6	795	30.000	26.000	12.214	1.097
	perde	732	30.000	25.000	11.698	1.212
		731	30.000	24.000	11.182	1.335
		730	30.000	23.000	10.586	1.473
		729	30.000	22.000	9.900	1.623
	perde	534	30.000	21.500	9.530	1.703
		535	30.000	21.000	9.146	1.786
		536	30.000	20.500	8.752	1.873
		533	30.000	20.000	8.349	1.963
	8	533	30.000	20.000	8.349	1.963
	perde	448	30.000	18.750	7.320	2.202
		449	30.000	17.500	6.276	2.454
		450	30.000	16.250	5.233	2.722
		451	30.000	15.000	4.206	3.015

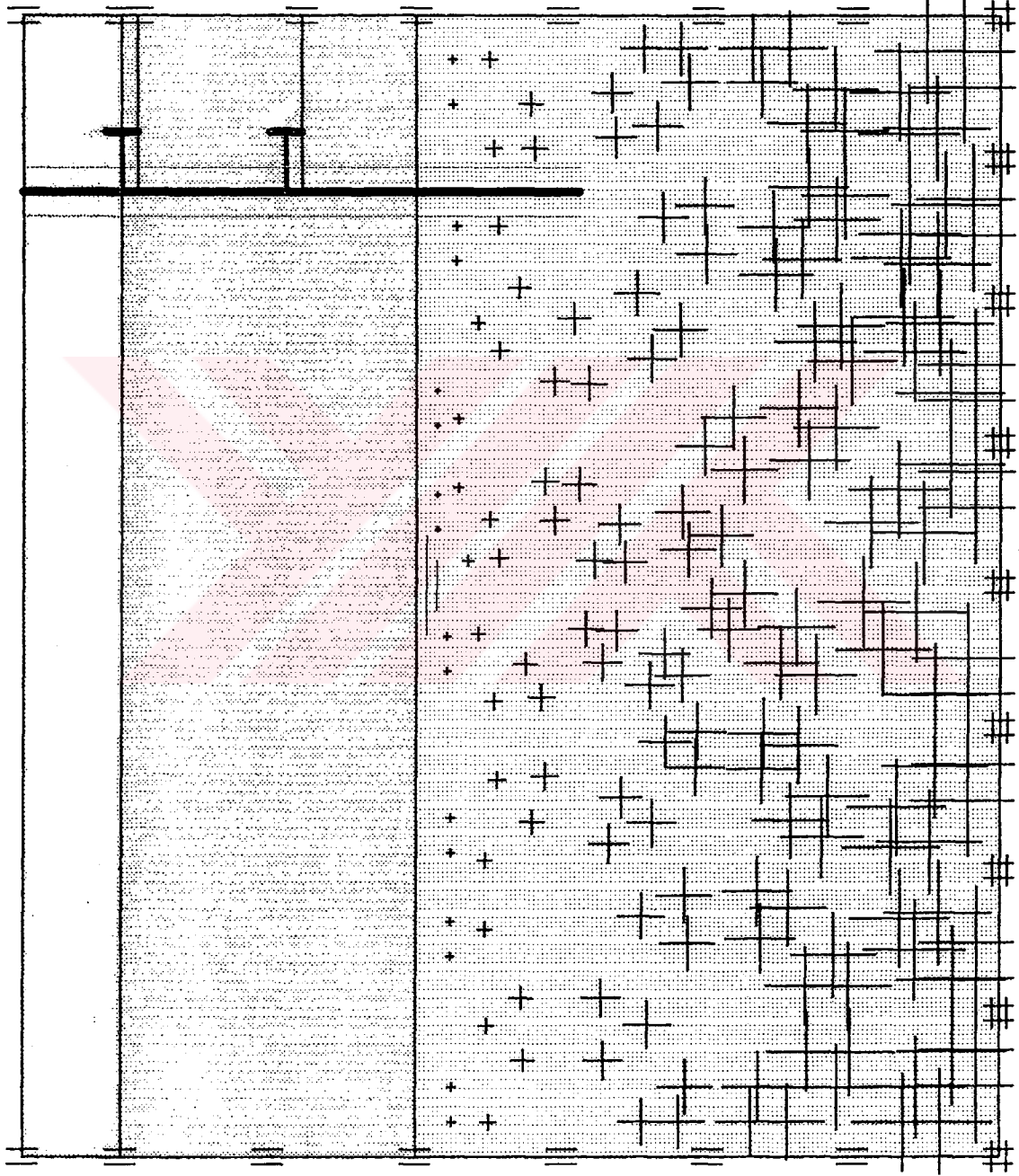
EK 2

İKİNCİ KESİT ANALİZ VE DEPLASMAN GRAFİKLERİ



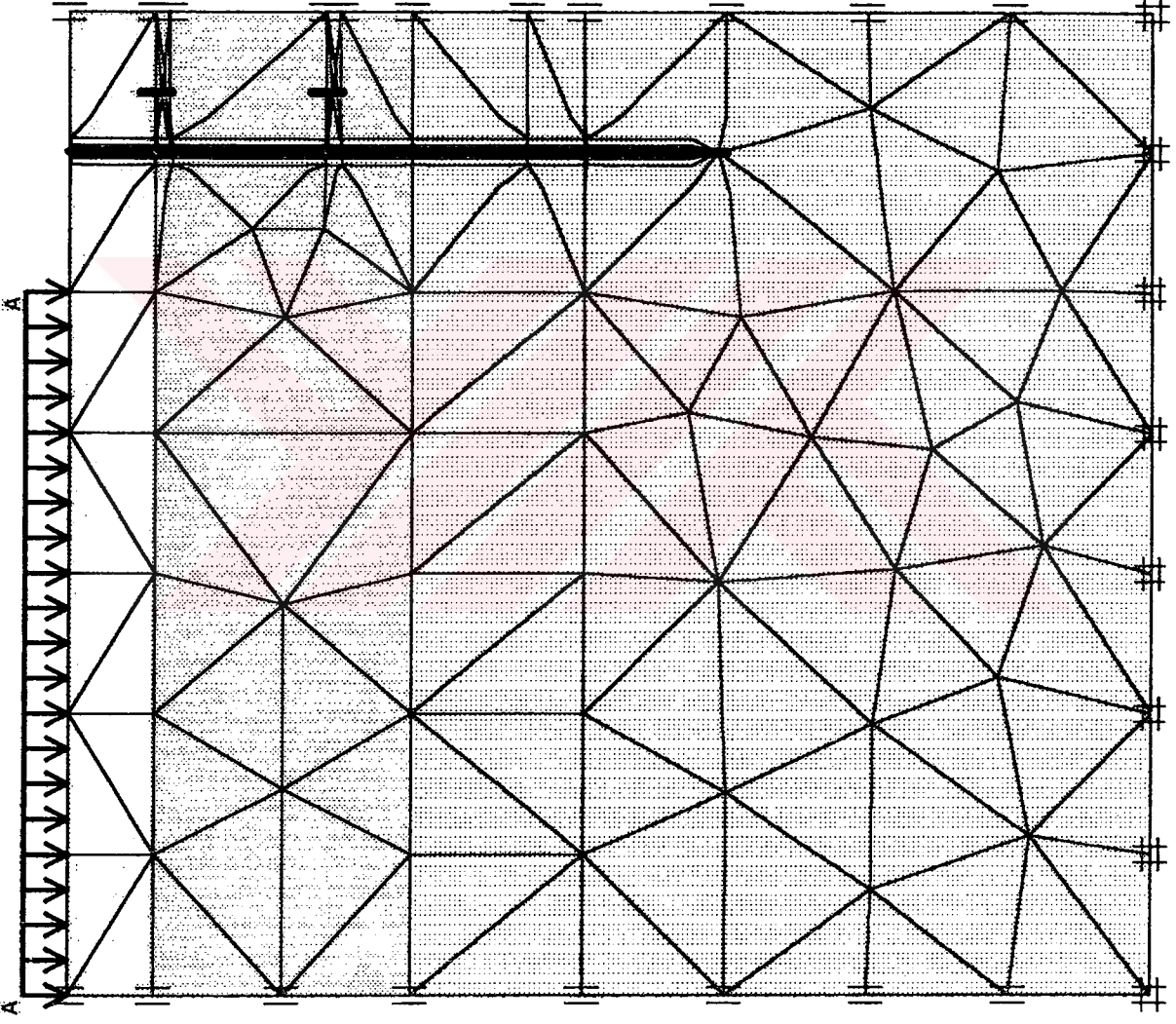
Effective stresses

Kesit 2 için efektif gerilme dağılımı

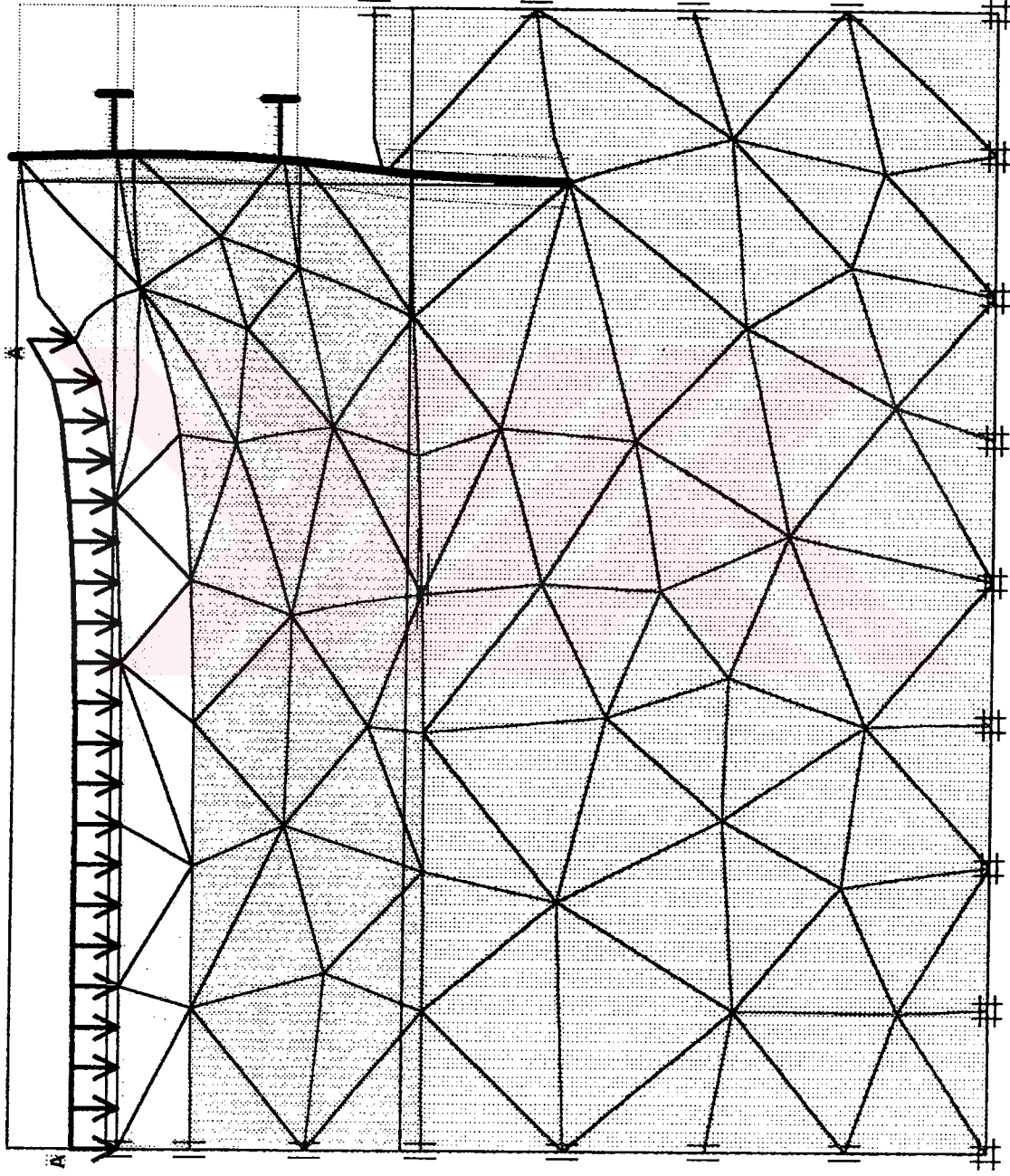


Active pore pressurés
Extrême active pore pressuré -178.47 kN/m²

Kesit 2 için boşluk suyu basıncı dağılımı

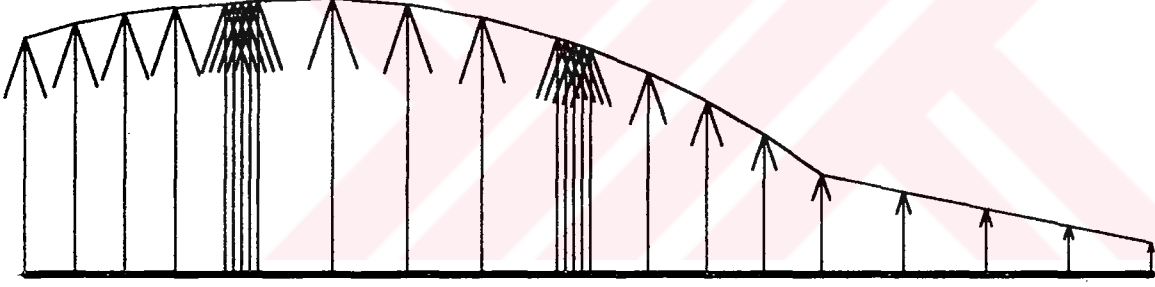


Kesit 2 için sonlu elemanlar mesh diyagramı



Deformed Mesh

Kesit 2 için deformasyonların 50 kez büyütülmüş durumu



Horizontal displacements
Extreme horizontal displacement $17.92 \cdot 10^{-3}$ m

Kesit 2 için analiz sonucunda elde edilen yatay deplasman

VERTICAL INCLINOMETRIC MEASURE COMPUTATION

INCLINOMETRIC TUBE: I333

LOCATION : KAYALI

INTEGRAL DIFFERENTIAL DISPLACEMENTS

COMPUTATION FROM BOTTOM

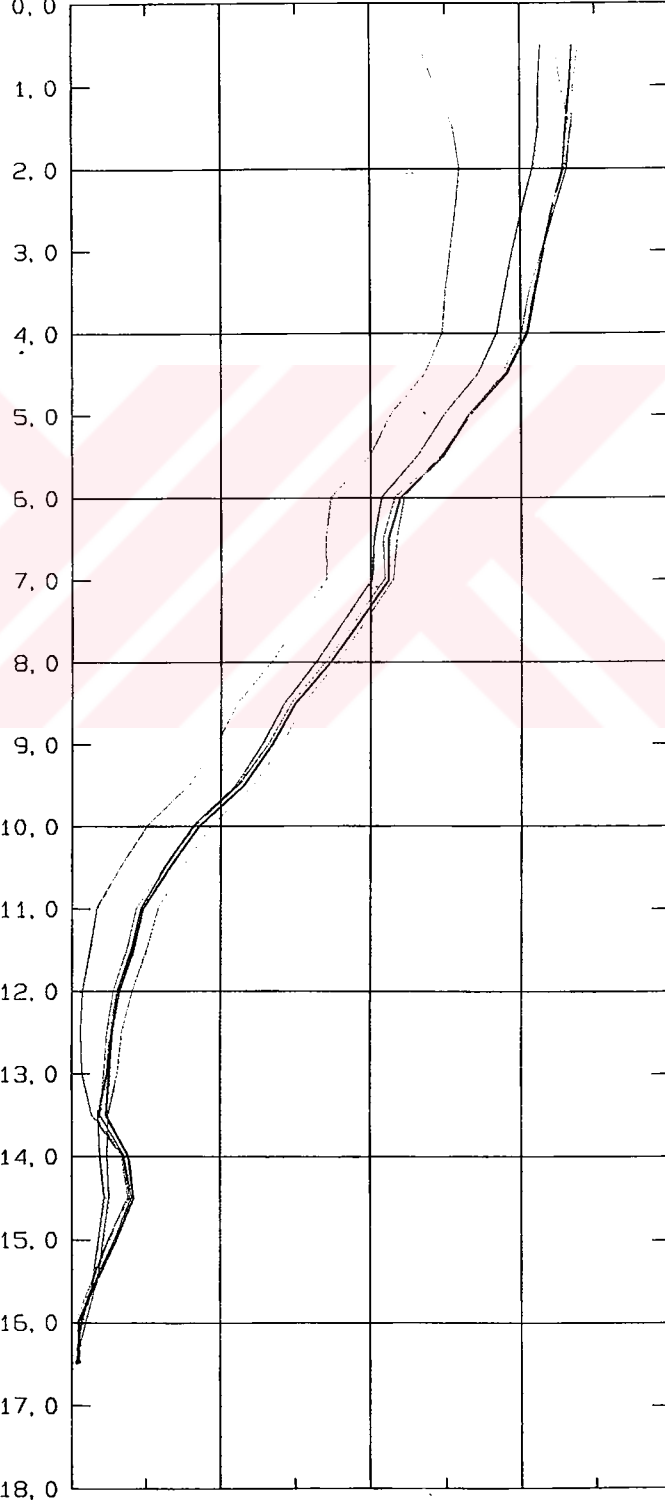
RESULTANT DISPLACEMENT

DISPLACEMENT [mm]

ERO READING

04.06.99 (1)

0.00 4.00 8.00 12.00 16.00



EK-6

Kesit 2 için arazi ölçümleri sonucunda elde edilen deplasman



EK 3

SONDAJ LOGLARI VE LABORATUAR SONUÇLARI



YÜKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş.

Ahmet Rasim Sok. No:11 06650 Çankaya-ANKARA
Tel (312) 440 60 30 Fax: (312) 440 66 77

SONDAJ LOGU / BORING LOG

SONDAJ Borehole No: S-27
SAYFA Page No: 1 / 3

PROJE ADI / Project Name	: ADANA RAYLI T.S.P	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	:
SONDAJ YERİ / Boring Location	:	YERALTI SUYU / Groundwater	: 12.40 mt.
KİLOMETRE / Chainage	:	MUH.BOR.DER. / Casing Depth	: 18.00 mt.NW.
SONDAJ DER. / Boring Depth	: 20.00 mt.	BAŞ.BİT.TAR. / Start Finish Date	: 25.2.1998 - 26.2.1998
SONDAJ KOTU / Elevation	: 22.50	KOORDİNAT / Coordinate (N-S) y	: 438875.00
SONDAJ MAK.&YÖNT./D.Rig & Met.	: Mobile Drill B-53 / Rotary	KOORDİNAT / Coordinate (E-W) x	: 4097185.54

SONDAJ DERİNLİĞİ	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRA BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ						JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA/Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%(TCR)/T. Core R.	KAROT%(SCR)/S. Core R.	ROD %
			DARBE SAYISI Numb. of Blows			GRAFİK Graph										
			0-15	15-30	30-45	N	10	20								
0									Dolgu Malzemesi.							
1									1.00mt							
2	SPT-1	1.50	4	4	4	8	8	8	Koyu kahverenkli, orta katı, kumlu siltli KİL. Nemli, yüksek plastisiteli.							
3	SPT-2	3.00	7	9	14	23	23	23	2.50mt							
4		3.45														
5	SPT-3	4.50	9	18	30	48	48	48	Kah. renkli-Açık kahverenkli, çok katı-sert, kumlu siltli KİL. Nemli, yüksek plastisiteli, karbonatlı. (Yer yer konkresyonlu).							
6		4.95														

DAYANIMLILIK / Strength			AYRIŞMA / Weathering			İNCE DANELİ / Fine Grained			İRİ DANELİ / Coarse Grained		
I DAYANIMLI	Strong		I TAZE	Fresh		N : 0-2	ÇOK YUMUŞAK	V. Soft	N : 0-4	ÇOK GEVŞEK	V. Loose
II ORTA DAYANIMLI	M. Strong		II AZ AYRIŞMIŞ	Slightly W.		N : 3-4	YUMUŞAK	Soft	N : 5-10	GEVŞEK	Loose
III ORTA ZAYIF	M. Weak		III ORTA D. AYR.	Mod. Weath.		N : 5-8	ORTA KATI	M. Stiff	N : 11-30	ORTA SIKI	M. Dense
IV ZAYIF	Weak		IV ÇOK AYR.	Slightly W.		N : 9-15	KATI	Stiff	N : 31-50	SIKI	Dense
V ÇOK ZAYIF	V. Weak		V TUMÜYLE A.	Comp. Weat.		N : 16-30	ÇOK KATI	V. Stiff	N : >50	ÇOK SIKI	V. Dense
						N : >30	SERT	Hard			
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 30 cm / Fractures			ORANLAR - Proportions					
% 0-25	ÇOK ZAYIF	V. Poor	1 SEYREK	Wide (W)	% 5	PEK AZ	Slightly	% 5	PEK AZ	Slightly	
% 25-50	ZAYIF	Poor	1-2 ORTA	Moderate (M)	% 5-15	AZ	Little	% 5-20	AZ	Little	
% 50-75	ORTA	Fair	2-1 SIK	Close (C)	% 15-35	ÇOK	Very	% 20-5	ÇOK	Very	
% 75-90	İYİ	Good	10-20	ÇOK SIKI	Intense (I)	% 35	VE	And			
% 90-100	ÇOK İYİ	Excellent	>20	PARÇALI	Crushed (Cr)						
SPT	Standart Penetrasyon Testi		K	Karot Numunesi			LOGU YAPAN			KONTROL	
D	Standart Penetration Test		P	Core Sample			Logged By			Checked	
UD	Disturbed sample			Pressiyometre Deneyi			ISIM	Talip ERBAY			
	Orselenmemiş Numune			Pressuremeter Test			Name	Jeoloji Mühendisi			
	Undisturbed Sample		VS	Veyn Deneyi			İMZA				
				Vane Shear Test			Sign				



YÜKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş.

Ahmet Rasım Sok. No:11 06650 Çankaya-ANKARA
Tel: (312) 440 60 30 Fax: (312) 440 66 77

SONDAJ LOGU / BORING LOG

SONDAJ Borehole No : S-27
SAYFA Page No : 2 / 3

SONDAJ DERİNLİĞİ Boring Depth (m)	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRA BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test				GRAFİK Graph	JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA/Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%(TCRI)/T.CoreR	KAROT%(ISCR)/S.CoreR
			DARBE SAYISI Numb. of Blows		N									
			0-15	15-30	30-45	N								
6	UD-1	6.00												
	SPT-4	6.50	15	16	24	40	40							
7		6.95												
	SPT-5	7.50	19	28	50/10	R	R							
8		7.90												
	UD-2	9.00												
	SPT-6	9.50	15	24	29	53	53							
10		9.95												
	SPT-7	10.50	28	50/8		R	R							
11		10.73												
	SPT-8	12.00	12	5	6	11	11							
13		12.45												
	SPT-9	13.50	50	23	25	48	48							
14		13.95												
	SPT-10	15.00	13	13	27	40	40							
16		15.45												

10.20mt

Kahverenkli-Açık kahverenkli, çok katı-sert, kumlu siltli KİL. Nemli, yüksek plastisiteli, karbonatlı. (Yer yer konkresyonlu).

Kahve-gri renkli, çok sıkı, az killi, kumlu ÇAKIL. Islak, ince-iri taneli. % 25-30 kum, % 5-10 ince taneli malzeme içermektedir.

LOGU YAPAN
Logged By

ISIM Name Talip ERBAY
IMZA Sign Jeoloji Mühendisi

KONTROL
Checked

YUKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş.

Atmel Rasim Sok. No:11 06550 Çankaya-ANKARA
T: (312) 440 60 30 Fax: (312) 440 66 77

SONDAJ LOGU / BORING LOG

SONDAJ Borehole No: ASK-23
SAYFA Page No: 1 / 3

Proje Adı / Project Name	ADANA RAYLI T.S.P	DELİK ÇAP / Hole Diameter	
YERLİ / Boring Location		YERALTI SUYU / Groundwater	11.85 mt.
RENK / Chainage		MUH.BOR.DER. / Casing Depth	21.00 mt.
DERİNLİK / Boring Depth	21.09 m'	BAŞ.BIT.TAR. / Start Finish Date	1.4.1997 - 2.4.1997
YÜKSEKLİK / Elevation	22.78 mt.	KOORDİNAT / Coordinate (N-S) y	439322.93
ARABİ / RIG & MET. / D.Rig & Met.	Mobile Drill B-53 / Rotary	KOORDİNAT / Coordinate (E-W) x	4096647.41

KAYIT NO / Record No	KAYIT YERİ / Boring Location	KAYIT DERİNLİĞİ / Boring Depth	STANDART PENETRASYON DENEYİ / Standart Penetration Test				GRAFİK / Graph	JEOTEKNİK TANIMLAMA / Geotechnical Description	PROFİL / Profile	DAYANIMLILIK / Strength	AYRIŞMA / Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT % (TCR) / T. Core R.	KAROT % (SCR) / S. Core R.	RQD %
			DARBE SAYISI / Numb. of Blows		N										
			0-15	15-30	30-45	N									
							YAPAY DOLGU / Artificial Fill								
		85	3	1	2	3	Kahverengi-koyu kahverengi, çakıllı-kumlu KİL, nemli. Organik madde içerikli.								
		95					2.20mt								
		100	5	5	5	10	Kahverengi-koyu kahverengi, katı, kumlu-killi SİLT, nemli.								
		105					5.10mt								
		110	5	6	8	14	Koyu kahverengi, orta sıkı, siltli KUM, nemli, ince taneli.								

DAYANIMLILIK / Strength	AYRIŞMA / Weathering	İNCE DANELİ / Fine Grained	İRİ DANELİ / Coarse Grained
Strong	I TAZE / Fresh	N : 0-2 ÇOK YUMUŞAK / V. Soft	N : 0-4 ÇOK GEVŞEK / V. Loose
M.Strong	II AZ AYRIŞMIŞ / Slightly W.	N : 3-4 YUMUŞAK / Soft	N : 5-10 GEVŞEK / Loose
M.Weak	III ORTA D. AYR. / Mod. Weath.	N : 5-8 ORTA KATI / M. Stiff	N : 11-30 ORTA SIKI / M. Dense
Weak	IV ÇOK AYR. / Slightly W.	N : 9-15 KATI / Stiff	N : 31-50 SIKI / Dense
V.Weak	V TÜMÜYLE A. / Comp. Weat.	N : 16-30 ÇOK KATI / V. Stiff	N : >50 ÇOK SIKI / V. Dense
		N : >30 SERT / Hard	

KALİTESİ TANIMI - RQD	KIRIKLAR - 30 cm / Fractures	ORANLAR - Proportions
V. Poor	1 SEYREK / Wide (W)	% 5 PEK AZ / Slightly
Poor	1-2 ORTA / Moderate (M)	% 5-15 AZ / Little
Fair	2-1 SIK / Close (Cl)	% 15-35 ÇOK / Very
Good	10-20 ÇOK SIKI / Intense (I)	% 20-5 ÇOK / Very
Excellent	>20 PARÇALI / Crushed (Cr)	

Penetrasyon Testi / Penetration Test	LOGU YAPAN / Logged By	KONTROL / Checked
K Karot Numunesi / Core Sample	ISIM Talip ERBAY	
P Pressiyometre Deneyi / Pressuremeter Test	İMZA Jeoloji Mühendisi	
VSN Veyn Deneyi / Veyn Test		
VS Vane Shear Test		

YÜKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş.

İmet Rasım Sok. No:11 06650 Çankaya-ANKARA
Tel (312) 440 60 30 Fax (312) 440 66 77

SONDAJ LOGU / BORING LOG

SONDAJ Borehole No: ASK-23
SAYFA Page No: 2 / 3

STANDART PENETRASYON DENEYİ				
Standart Penetration Test				
DARBE SAYISI				GRAFİK
Numb. of Blows				
0-15	15-30	30-45	N	
				10 20 30 40 50 60
6	8	8	16	16
14	31	50/10	R	R
50/10	—	—	R	R
50/3	—	—	R	R
16	23	36	59	59
10	12	24	36	36
30	50/10	—	R	R

JEOTEKNİK TANIMLAMA
Geotechnical Description

Koyu kahverengi, orta sıkı, siltli KUM, nemli, ince taneli.

7.00mt

Kahverengi-gri renkli, sıkı-çok sıkı, killi-kumlu ÇAKIL, nemli-ıslak. İnce-iri, sert-dağılgan, yarı yuvarlak-yanı köşeli. Yer yer bloklu (16.30 - 16.60 mt arası)

Not : 11.85 mt ' ye kadar numuneler kurudur.)

PROFIL	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA/Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT % ITCRI/T. CoreR	KAROT % ISCR1/S. CoreR	ROD %
Profile						

LOGU YAPAN
Logged By

İSİM Name
Taip ERBAY
İMZA Sign
Jeoloji Mühendisi

KONTROL
Checked



YÜKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş.

Ahmet Rasim Sok. No:11 06650 Çankaya-ANKARA
Tel: (312) 440 60 30 Fax: (312) 440 66 77

SONDAJ LOGU / BORING LOG

SONDAJ No : S-29
Borehole
SAYFA No : 1 / 3
Page

PROJE ADI / Project Name	: ADANA RAYLI T.S.P.	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	:
SONDAJ YERİ / Boring Location	:	YERALTI SUYU / Groundwater	: 11.50 mt.
KILOMETRE / Chainage	:	MUH.BOR.DER. / Casing Depth	: 16.50 mt.NW
SONDAJ DER. / Boring Depth	: 20.14 mt.	BAŞ.BİT.TAR. / Start Finish Date	: 28.2.1998 - 1.3.1998
SONDAJ KOTU / Elevation	: 22.91	KOORDİNAT / Coordinate (N-S) y	: 439264.31
SONDAJ MAK.&YÖNT./D.Rig & Met.	: Mobile Drill B-53 / Rotary	KOORDİNAT / Coordinate (E-W) x	: 4096763.49

SONDAJ DERİNLİĞİ	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRA BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ				STANDART PENETRASYON DENEYİ						JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA/Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%(TCR)/T.Corer	KAROT%(SCR)/S.Corer	ROD %
			Standart Penetration Test				Standart Penetration Test													
			DARBE SAYISI Numb. of Blows				GRAFİK Graph													
			0-15	15-30	30-45	N	10	20	30	40	50	60								
	SPT-1	1.50	7	6	6	12														
		1.95																		
	SPT-2	3.00	6	9	12	21														
		3.45																		
	SPT-3	4.50	8	10	13	23														
		4.95																		

Yol Dolgusu.
1.00mt
Kahverenkli,katı-çok katı,
kumlu,siltli KİL.Nemli,orta-yüksek
plastisiteli,% 10-15 oranında ince
taneli kum içermektedir.
5.50mt
(Tanımı Sayfa 2/3 ' dedir.)

DAYANIMLILIK / Strength		AYRIŞMA / Weathering		İNCE DANELİ / Fine Grained		İRİ DANELİ/Coarse Grained	
DAYANIMLI	Strong	I	TAZE Fresh	N : 0-2	ÇOK YUMUŞAK V.Soft	N : 0-4	ÇOK GEVŞEK V.Loose
ORTA DAYANIMLI	M.Strong	II	AZ AYRIŞMIŞ Slightly W.	N : 3-4	YUMUŞAK Soft	N : 5-10	GEVŞEK Loose
ORTA ZAYIF	M.Weak	III	ORTA D. AYR. Mod. Weath.	N : 5-8	ORTA KATI M.Stiff	N : 11-30	ORTA SIKI M.Dense
ZAYIF	Weak	IV	ÇOK AYR. Slightly W.	N : 9-15	KATI Stiff	N : 31-50	SIKI Dense
ÇOK ZAYIF	V.Weak	V	TÜMÜYLE A. Comp.Weat.	N : 16-30	ÇOK KATI V.Stiff	N : >50	ÇOK SIKI V.Dense
				N : >30	SERT Hard		
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD		KIRIKLAR - 30 cm / Fractures		ORANLAR - Proportions			
ÇOK ZAYIF	V.Poor	1	SEYREK Wide (W)	% 5	PEK AZ Slightly	% 5	PEK AZ Slightly
ZAYIF	Poor	1-2	ORTA Moderate (M)	% 5-15	AZ Little	% 5-20	AZ Little
ORTA	Fair	2-1	SIK Close (Cl)	% 15-35	ÇOK Very	% 20-5	ÇOK Very
İYİ	Good	10-20	ÇOK SIKI Intense (I)	% 35	VE And		
ÇOK İYİ	Excellent	>20	PARÇALI Crushed (Cr)				
Standart Penetrasyon Testi	K	Karot Numunesi					
Standart Penetrasyon Testi	P	Core Sample					
Örselenmiş Numune		Pressiyometre Deneyi					
Disturbed sample		Pressuremeter Test					
Örselenmemiş Numune	VS	Veyn Deneyi					
Undisturbed Sample		Vane Shear Test					
				LOGU YAPAN Logged By		KONTROL Checked	
				ISIM Name	Talip ERBAY Jeoloji Mühendisi		
				İMZA Sign			



YÜKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş.

Ahmet Rasim Sok. No:11 06650 Çankaya-ANKARA
Tel: (312) 440 60 30 Fax: (312) 440 66 77

SONDAJ LOGU / BORING LOG

SONDAJ No: AD-1
Borehole No: AD-1
SAYFA No: 2 / 3
Page No: 2 / 3

MUMUN CİNSİ Sample Type	MANEVRA BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test				GRAFİK Graph	JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strengt	AYRIŞMA/Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%/TCR/T.CoreR	KAROT%/ISCR/S.CoreR	ROD %
		DARBE SAYISI Numb. of Blows												
		0-15	15-30	30-45	N									
SPT-4	6.00	4	5	6	11	11	(Tanımı Sayfa 1/3' dendir.)							
	6.45						6.70mt							
UD-1	7.00													
SPT-5	7.50	10	15	18	33	33	Kahverenkli,sert,kumlu siltli KİL.Nemli,yüksek plastisiteli, karbonatlı.							
	7.95						8.60mt							
SPT-6	9.00	45	41	26	67	67	Kahverenkli,çok sıkı,çakıllı KUM. Kuru,kaba taneli,% 10-15 oranında,ince-iri taneli, sert-dayanımlı çakıl içermektedir.							
	9.45						9.80mt							
	10.50	41	50/10		R									
	10.75													
	12.00													
	12.29	40	50/14		R		Gri renkli,çok sıkı,kumlu ÇAKIL. Islak,ince-iri taneli,yarı yuvarlak- yarı köşeli,sert,dayanımlı.% 25-30 oranında kaba taneli kum içermektedir. (Alt seviyelerde yer yer blok içermektedir.)							
	13.50													
	13.78	26	50/13		R									
	15.00													
	15.13		50/13		R									

16.00mt

LOGU YAPAN
Logged By

ISIM Talip ERBAY
Name Jeoloji Mühendisi

İMZA
Sign

KONTROL
Checked



YÜKSEL PROJE ULUSLARARASI A.Ş.

Ahmet Rasim Sok. No:11 06650 Çankaya-ANKARA
Tel: (312) 440 60 30 Fax: (312) 440 66 77

SONDAJ LOGU / BORING LOG

SONDAJ Borehole	No:	AD-3
SAYFA Page	No:	1 / 3

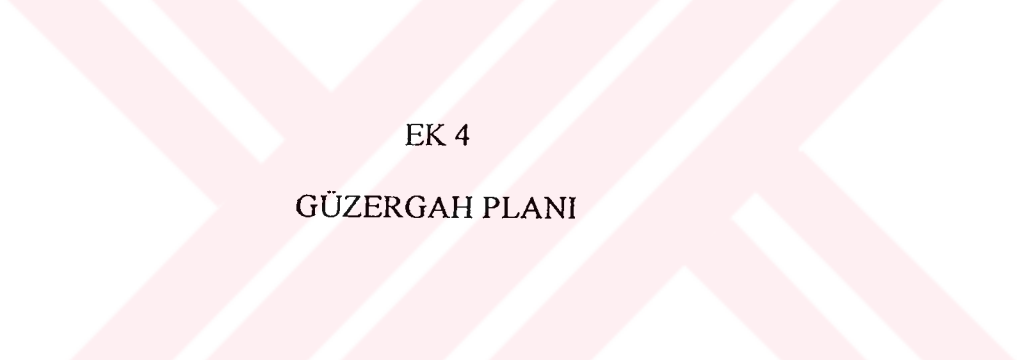
PROJE ADI / Project Name	: ADANA RAYLI T.S.P.	DELİK ÇAPI / Hole Diameter	:
SONDAJ YERİ / Boring Location	:	YERALTI SUYU / Groundwater	: 10.40 mt.
KILOMETRE / Chainage	:	MUH.BOR.DER. / Casing Depth	: 18.00 mt. NW
SONDAJ DER. / Boring Depth	: 14.00 mt.	BAŞ.BİT.TAR. / Start Finish Date	: 24.11.1997 - 25.11.1997
SONDAJ KOTU / Elevation	: 22.37 mt.	KOORDİNAT / Coordinate (N-S) y	: 439332.37
SONDAJ MAK.&YÖNT./D.Rig & Met.	: Mobile Drill B-53 / Rotary	KOORDİNAT / Coordinate (E-W) x	: 4096529.29

SONDAJ DERİNLİĞİ	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRİ BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test				GRAFİK Graph	JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA/Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%(TCR)/T.Core R.	KAROT%(SCR)/S.Core R.	ROD %	
			DARBE SAYISI Numb. of Blows		N											
			0-15	15-30	30-45	N										10
0																
1																
2	SPT-1	1.50	11	12	14	26	26	Dolgu Malzemesi ; Çakıllı killi KUM.Nemli-kuru, beton parçaları,tuğla kırıntıları,bez parçaları v.s. malzemeler gözlenmektedir.								
3	SPT-2	1.95	9	8	9	17	17									
4	SPT-3	3.00	3	4	8	12	12									
5		3.45						4.70mt								
6		4.50						Kahve-gri renkli,katı,kumlu siltli KİL.Nemli,düşük plastisiteli.								
		4.95						5.50mt								
								(Tanımı Sayfa 2/3 ' dedir.)								

DAYANIMLILIK / Strength			AYRIŞMA / Weathering			İNCE DANELİ / Fine Grained			İRİ DANELİ/Coarse Grained		
I	DAYANIMLI	Strong	I	TAZE	Fresh	N : 0-2	ÇOK YUMUŞAK	V.Sort	N : 0-4	ÇOK GEVŞEK	V.Loose
II	ORTA DAYANIMLI	M.Strong	II	AZ AYRIŞMIŞ	Slightly W.	N : 3-4	YUMUŞAK	Soft	N : 5-10	GEVŞEK	Loose
III	ORTA ZAYIF	M.Weak	III	ORTA D. AYR.	Mod. Weath.	N : 5-8	ORTA KATI	M.Stiff	N : 11-30	ORTA SIKI	M.Dense
IV	ZAYIF	Weak	IV	ÇOK AYR.	Slightly W.	N : 9-15	KATI	Stiff	N : 31-50	SIKI	Dense
V	ÇOK ZAYIF	V.Weak	V	TÜMÜYLE A.	Comp.Weat.	N : 16-30	ÇOK KATI	V.Stiff	N : >50	ÇOK SIKI	V.Dense

KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 30 cm / Fractures			ORANLAR - Proportions					
% 0-25	ÇOK ZAYIF	V.Poor	1	SEYREK	Wide (W)	% 5	PEK AZ	Slightly	% 5	PEK AZ	Slightly
% 25-50	ZAYIF	Poor	1-2	ORTA	Moderate (M)	% 5-15	AZ	Little	% 5-20	AZ	Little
% 50-75	ORTA	Fair	2-1	SIK	Close (Cl)	% 15-35	ÇOK	Very	% 20-5	ÇOK	Very
% 75-90	İYİ	Good	10-20	ÇOK SIKI	Intense (I)	% 35	VE	And			
% 90-100	ÇOK İYİ	Excellent	>20	PARÇALI	Crushed (Cr)						

SPT	Standart Penetrasyon Testi	K	Karot Numunesi	LOGU YAPAN	KONTROL
	Standart Penetrasyon Testi		Core Sample	Logged By	Checked
D	Orselenmiş Numune	P	Pressiyometre Deneyi	ISIM	
	Disturbed sample		Pressuremeter Test	Name	
UD	Orselenmemiş Numune	VS	Veyn Deneyi	İMZA	
	Undisturbed Sample		Vane Shear Test	Sign	



EK 4
GÜZERGAH PLANI

SONDAJ NO	NUMUNE		en	γ_n t/m ³	γ_s	ATTERBERG LİMİTLERİ			ELEK ANALİZİ		ZEMİN SINIFI (USC)	SERBEST BASINÇ DENEYİ qu kg/cm ²	UÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ	
	NUM NO	DERİNLİK (m)				W _n %	LL	PL	PI	+4 %			-200 %	C kg/cm ²
S-27	SPT-1	1.50-1.95	33			54	25	29	1	91	CH			
	SPT-2	3.00-3.45	28			67	27	40	4	85	CH			
	SPT-3	4.50-4.95	28			56	30	26	24	61	MH			
	UD-1	6.00-6.50	26			50	28	22	1	86	CL/CH			
	SPT-4	6.50-6.95	29			52	29	23	3	66	MH			
	SPT-5	7.50-7.90	30			63	33	30	2	72	MH			
	UD-2	9.00-9.50	52			82	45	37	3	83	MH			
	SPT-6	9.50-9.95	31			70	37	33	8	58	MH			
	SPT-7	10.50-10.73	18			-	NP	-	39	36	GM			
	SPT-8	12.00-12.45	11			-	NP	-	74	8	GP-GM			
	SPT-9	13.50-13.95	8			-	NP	-	64	9	GW-GM			
	SPT-10	15.00-15.45	8			-	NP	-	73	7	GP-GM			
ASK-22	SPT-1	1.50-1.95	16			41	20	21	-	83	CL			
	UD-1	2.50-3.00	28	0.67	2.57	69	29	40	-	91	CH	3.7	1.67	2
	SPT-3	4.50-4.77	7			-	NP	-	42	32	GM			
	SPT-4	6.00-6.35	4			-	NP	-	54	11	GP-GM			
	SPT-6	9.00-9.45	33			75	38	37	-	92	MH			
	SPT-8	12.00-12.45	33			69	37	32	16	64	MH			

YÜKSEL PROJE

ULUSLARARASI A.Ş.

Zemin Mekaniği

Laboratuvarı

YÜKSEL PROJE

ULUSLARARASI A.Ş.

ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI

DENEY

SONUÇLARI

NUMUNENİN GELDİĞİ YER :ADANA

PROJE ADI :ADANA HAFIF RAYLI SİSTEM

PROJESİ

SONDAJ NO	NUMUNE		Wh %	en	γ_n t/m ³	γ_s	ATTERBERG LİMİTLERİ				ELEK ANALİZİ		ZEMİN SINIFI (USC)	SERBEST BASINÇ DENEYİ qu kg/cm ²	UÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ	
	NUM NO	DERİNLİK (m)					LL	PL	PI	+	-	C			ϕ	
ASK-22	SPT-9	13.50-13.95	18							49	16	GM				
	SPT-12	18.00-18.45	11							53	11	GP-GM				
S-28	SPT-2	3.00-3.45	36				69	28	41	1	90	CH				
	SPT-3	4.50-4.95	33				76	30	46	3	85	CH				
	SPT-4	6.00-6.29	6				-	NP	-	58	12	GM				
	SPT-5	7.50-7.95	9				-	NP	-	60	17	GM				
	SPT-6	9.00-9.45	8				-	NP	-	67	8	GP-GM				
	SPT-7	10.50-10.95	52				75	44	31	-	72	MH				
	SPT-8	12.00-12.45	36				67	35	32	13	75	CH				
	SPT-9	13.50-13.91	9				-	NP	-	63	19	GM				
	SPT-10	15.00-15.45	10				-	NP	-	54	11	GP-GM				
	SPT-12	18.00-18.09	8				-	NP	-	54	14	GM				
	SPT-13	20.00-20.11	10				-	NP	-	41	14	GM				
S-29	SPT-2	3.00-3.45	20				38	19	19	-	90	CL				
	SPT-4	6.00-6.25	6				-	NP	-	65	15	GM				
	SPT-6	9.00-9.25	5				-	NP	-	68	9	GP-GM				
	SPT-8	12.00-12.25	7				-	NP	-	62	10	GP-GM				

YÜKSEL PROJESİ
ULUSLARARASI A.Ş.
Zemin - Kaya Mekanik
Laboratuvarı

Mine Erol

Mine EROL
Jeoloji Mühendisi

YÜKSELMEKTEKİ DENEY NUMUNENİN GELDİĞİ YER ADANA
Uluslararası A.Ş.
SONUÇLARI

PROJE ADI : ADANA HAFIF RAYLI SİSTEM
 PROJESİ

ZEMİN MEKANİĞİ LABORATUVARI

SONDAJ NO	NUMUNE		Wh %	en	γ_n t/m ³	γ_s	ATTERBERG LİMİTLERİ			ELEK ANALİZİ		ZEMİN SINIFI (USC)	SERBEST BASINÇ DENEYİ qu kg/cm ²	ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ	
	NUM NO	DERİNLİK (m)					LL	PL	PI	+4 %	-200 %			C	ϕ
S-29	SPT-11	16.50-16.95	23				52	28	24	19	59	CH			
	SPT-12	18.00-18.40	12				-	NP	-	52	16	GM			
ASK-23	SPT-1	1.50-1.95	23				38	19	19	-	93	CL			
	UD-1	4.00-4.50	19	0.53	2.10	2.70	28	18	10	-	80	CL	0.89		
	UD-2	7.00-7.50	34				30	21	9	-	96	CL			
	SPT-6	9.00-9.10	5				-	NP	-	50	11	GP-GM			
	SPT-8	12.00-12.45	7				-	NP	-	51	11	GP-GM			
	SPT-10	15.00-15.25	6				-	NP	-	61	12	GP-GM			
	SPT-12	19.50-19.58	10				-	NP	-	33	13	SM			
AD-1	SPT-1	1.50-1.95	21				35	19	16	-	96	CL			
	SPT-2	3.00-3.45	20				34	18	16	-	95	CL			
	SPT-3	4.50-4.95	17				26	15	11	-	65	CL			
	SPT-4	6.00-6.45	22				32	18	14	-	80	CL			
	UD-1	7.00-7.50	26	0.69	2.04	2.74	51	24	27	-	88	CH	2.61	1.8	3
	SPT-5	7.50-7.95	25				59	27	32	-	83	CH			
	SPT-6	9.00-9.45	7				-	NP	-	39	13	SM			
	SPT-7	10.50-10.95	3				-	NP	-	54	4	GP			

YÜKSELMEKTEKİ DENEY NUMUNENİN GELDİĞİ YER ADANA
Uluslararası A.Ş.
Zemin - Kaya Mekaniği Laboratuvarı

M. Erol

M. EROL
 Jeo. Mühendisi

SOND. NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)	SPT	S _u (%)	S _v (%)	ATTERBERG LİMITLERİ (%)		ELEK ANALİZİ (%)		ZEMİN SINIFI (İİRC)	SERBEST BAŞIŒ DENEYİ (kg/cm ²)	UÇ EKSENLİ BAŞIŒ DENEYİ (kg/cm ²)
						U ₁₀₀	U ₂₀₀	+4	-200			
	A111	12.00-12.20	11	0		NP	NP	13	0	GW		
	SPT-9	13.50-13.78	6			NP	-	56	5	GW		
	SPT-10	15.00-15.13	3			NP	-	86	2	GP		
	SPT-11	18.00-18.28	6			NP	-	60	8	GW		
	SPT-1	1.50-1.95	16			NP	-	46	35	GM		
	SPT-2	3.00-3.45	21			20	19	-	95	CL		
	SPT-3	4.50-4.95	24			20	19	-	98	CL		
	SPT-4	6.00-6.45	18			16	8	-	57	CL		
	SPT-5	7.50-7.95	3			NP	-	63	5	GP		
	SPT-6	9.00-9.29	4			NP	-	68	9	GP		
	SPT-7	10.50-10.95	5			NP	-	48	13	GM		
	SPT-8	12.00-12.42	7			NP	-	44	8	SP-SM		
	SPT-9	13.50-13.60	8			NP	-	49	10	GW-GM		
	SPT10	15.00-15.09	6			NP	-	64	7	GW-GM		
	SPT-1	1.50-1.95	11			NP	-	52	20	GM		
	SP-2	3.00-3.45	19			22	12	18	49	SC		
	SPT-3	4.50-4.95	31			18	19	-	80	CL		

YÜKSEL PİLOTLAR

YÜKSEL PİLOTLAR
Zemin İnceleme
Laboratuvarı

Muz

Miner EROL
Jeoloj Mühendisi

EK 4
GÜZERGAH PLANI

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
EĞİTİM ARAŞTIRMA VE
TEKNOLOJİLER MERKEZİ

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 01.01.1976

Doğum Yeri Ardahan

Lise 1989-1992 Ş.urfa Merkez Lisesi

Lisans 1993-1997 Yıldız Teknik Üniversitesi
İnş.Fak.İnş.Müh. Bölümü

Yüksek Lisans 1998-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat
Mühendisliği Anabilim Dalı,
Geoteknik Lisansüstü
Öğretim Programı

Çalıştığı Kurumlar 1997-1998 Cevahir Holding

1998-devam ediyor ZETAŞ Zemin Tek.Aş

