

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ANKARA, ÇUBUK KURUÇAY BARAJ YERİNDEKİ ÇÖKELLERİN
JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN VE
YAMAÇ STABİLİTESİNİN İNCELENMESİ

AŞİYAN DOĞRU

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2005

Her hakkı saklıdır

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ANKARA, ÇUBUK KURUÇAY BARAJ YERİNDEKİ ÇÖKELLERİN JEOTEKNİK
ÖZELLİKLERİNİN VE YAMAÇ STABİLİTESİNİN İNCELENMESİ**

AŞIYAN DOĞRU

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2005

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ANKARA ÇUBUK KURUÇAY BARAJ YERİNDEKİ ÇÖKELLERİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN VE YAMAÇ STABİLİTESİNİN İNCELENMESİ

Aşyan DOĞRU

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep KILIÇ

Bu tez çalışmasında, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Ankara ili, Çubuk Projesi kapsamında yapımı planlanan Kuruçay Baraj yerindeki birimler jeoteknik açıdan değerlendirilmiş ve baraj eksen yerinde görülen heyelanın duraylılık analizi yapılmıştır.

Bu amaçla, baraj yerinin mühendislik jeolojisi haritası ve kesiti yapılmıştır. Jeoteknik sondajlar sırasında Lugeon ve presiyometre deneyleri yapılmıştır. Sondaj ve araştırma çukurlarından alınan örnekler laboratuarda incelenmiştir. Zeminin konsolidasyonlu-drenajsız koşullarda makaslama deneyi yapılarak, artık kohezyon 8 kPa, artık içsel sürtünme açısı 21° ve doruk kohezyon 15 kPa, doruk içsel sürtünme açısı 25° bulunmuştur. Presiyometre deney sonuçlarına göre baraj yerinin izin verilebilir taşıma gücü 400 kPa ile 724 kPa arasında, oturma miktarı 1.74 cm ile 2.40 cm arasında değişmektedir. Lugeon deneyi sonucuna göre baraj eksen yerindeki zeminler “çok geçirimli”, “geçirimli”, “az geçirimli” ve “geçirimsiz” dir.

Baraj eksen yeri sağ sahilinde dairesel kayma şeklinde gelişen 45 m x 102 m boyutlarında heyelanlar mevcuttur. Heyelanın duraylılık analizleri “GGU Stability” programı ile Bishop (1955) yöntemine göre statik koşullar için yapılmıştır. Geriye dönük analizlere göre kritik denge durumunu sağlayan artık kohezyon 3 kPa, artık içsel sürtünme açısı 22° bulunmuştur. Kazı şevlerinin yüksekliği 45 m hesaplanmıştır.

2005, 71 sayfa.

ANAHTAR KELİMELER: Kuruçay barajı, Jeoteknik sondaj, Presiyometre, Makaslama dayanımı, Heyelan, Duraylılık analizi, Kritik şev yüksekliği.

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF THE DEPOSITS AND THE SLOPE STABILITY AT THE KURUÇAY DAM SITE, ÇUBUK- ANKARA

Aşiyen DOĞRU

**Ankara University
Graduate School of Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Recep KILIÇ

In this thesis study; geotechnical evaluation of the Kuruçay dam, that is planned to be constructed in scope of DSI's Çubuk project has been carried out and stability of the landslides existing at the dam axis has been analysed.

For this reason, engineering geological map and cross-section of the dam site have been prepared. Lugeon and pressuremeter tests have been utilised within the geotechnical boreholes. The representative samples obtained from the trial pits and drillings have been tested in the laboratory. Shear strength of the samples have been determined by shear box tests under consolidated-undrained conditions. Residual cohesion has been calculated as 8 kPa, while residual internal friction angle is 21°, peak cohesion is 15 kPa and peak internal friction angle is 25°. The allowable bearing capacity of the soil at the dam site ranges between 400 kPa and 724 kPa, settlement is between 1.74 cm and 2.40 cm according to the pressuremeter test results. The soils at the dam site is “very permeable”, “permeable”, “low permeable” and “impermeable” as the result of Lugeon tests.

A circular landslide with dimensions of 45m ×102 m has been detected on the right bank of the dam site. The stability of this landslide has been investigated by the “GGU Stability” software according to Bishop (1955) method under static conditions. The landslide has been back analysed, residual cohesion at limit equilibrium providing is 3 kPa and residual internal friction angle is 22°. The height of the excavation slopes have been calculated as 45 m.

2005, 71 pages.

Key Words: Kuruçay dam, Geotechnical borehole, Pressuremeter, Shear strength, Landslide, Stability analysis, Critical slope height.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında değerli görüşlerini ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Recep KILIÇ' a teşekkürlerimi ve en derin saygılarımı sunarım.

Tez çalışması sırasında doküman temininde kolaylık sağlayan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne, Dr. Ayhan KOÇBAY'a, Jeoloji Yüksek Mühendisi Tayfun SEL'e ve Atilla TURABİK'e teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışması süresince desteğini esirgemeyen Dr. R. Pelin BİLGEHAN'a ve Araş. Gör. Koray ULAMIŞ'a sonsuz teşekkür ederim.

XRD analizlerimin yorumlanmasında yardımlarını gördüğüm Yard. Doç. Dr. Zehra KARAKAŞ' a çok teşekkür ederim.

Yüksek lisansım sırasında her konuda yanımda olduklarını bildiğim, yardım ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Merih MEYDAN ve Jeoloji Mühendisi Mustafa ÇANGA'ya sonsuz teşekkür ederim. Arazi çalışmalarımda yardımını gördüğüm Jeoloji Mühendisi Metin YURDAKUL'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda yardımını gördüğüm Gazi Üniversitesi Yapı Eğitimi Bölümü Araş. Gör. Nihat IŞIK'a teşekkür ederim.

Tez jürimde bulunan değerli hocalarım Doç. Dr. Tamer TOPAL ve Doç. Dr. Mehmet ÇELİK'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

En değerli varlığım olan Ailem'e tez çalışmam sırasında her zaman yanımda olduklarını hissettirdikleri ve gösterdikleri destek, sabır, anlayış için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Aşiyen DOĞRU

Ankara, Ekim 2005

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1.GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	1
1.2. Materyal ve Yöntem	2
1.3. Önceki Çalışmalar	2
1.4. İnceleme Alanının Yeri ve Ulaşım	3
1.5. İklim ve Bitki Örtüsü	4
1.6. Yüzey ve Yeraltısuyu	5
2. JEOLOJİ	6
2.1. Stratigrafi	6
2.1.1.Kösrelik Formasyonu	6
2.1.2. Kızılçukur Formasyonu	7
2.1.3. Karapınar Formasyonu	8
2.1.4. Tekke Volkanitleri	9
2.1.5. Alüvyon	12
2.2. Yapısal Jeoloji	12
2.3 Depremsellik	12
3. ARAZİ ÇALIŞMALARI	14
3.1 Jeoteknik Sondajlar	14
3.2 Araştırma Çukurları	15
3.3 Arazi Deneyleri	15
3.3.1. Presiyometre deneyi	15
3.3.2 Lugeon basınçlı su deneyi	17

4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI	18
4.1. İndeks ve Jeoteknik Özellikler	18
4.1.1. Doğal su içeriği.....	18
4.1.2. Atterberg limitleri.....	18
4.1.3. Tane boyu dağılımı.....	19
4.1.4. Likidite indisi.....	19
4.1.5. Kıvam indisi.....	19
4.1.6. Makaslama dayanımı	19
4.2. Mineralojik Özellikler	21
5. JEOTEKNİK DEĞERLENDİRMELER	22
6. BARAJ EKSEN YERİNİN DURAYLILIĞI	41
6.1. Heyelanın Morfolojisi.....	41
6.2. Heyelanın Duraylılık Analizleri.....	45
6.3. Kritik Şev Yüksekliğinin Hesaplanması.....	47
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	49
KAYNAKLAR	52
EK 1 Deney Sonuçları Çizelgesi	54
EK 2 XRD Grafikleri	55
EK 3 Presiyometre Logu	64
EK 4 Presiyometre Deneyi Grafiği	67
ÖZGEÇMİŞ	70

SİMGELER DİZİNİ

AÇ	Araştırma çukuru
α	Zeminin cinsine ve E/ P _L oranına bağlı katsayısı
c	Kohezyon
CL	Düşük Plastisiteli İnorganik Kil
c _p	Doruk kohezyon
c _r	Artık kohezyon
Df	Temel derinliği
Δh	Yatay deformasyon
Δl	Makaslama yer değiştirmesi
E _p	Menard elastik modül
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ϕ_r	Artık içsel sürtünme açısı
ϕ_p	Doruk içsel sürtünme açısı
GC	Killi çakıl
γ_d	Kuru birim ağırlığı
γ_n	Tabii birim ağırlığı
γ_{sat}	Doğgun birim ağırlığı
h	Örtü tabakasının kalınlığı
k	Taşıma gücü faktörü
K	Kıvam indisi
LI	Likidite indisi
LL	Likit limit
$\lambda_2-\lambda_3$	Temelin L/B oranına bağlı şekil faktörü
μ	Zeminin poisson oranı
N	Eksenel kuvvet
P _L	Limit basınç
ω_n	Doğal su içeriği
q _o	Sürsaj yükü
q _u	Zeminin taşıma gücü
P	Taşıma basıncı veya proje yükü
PI	Plastisite indisi
PL	Plastik limit
P _L *	Net Limit basınç
P _L	Limit basınç
P _o	Deney seviyesindeki yatay içsel basınç
P _L -P _o	Net limit basınç
R	Temel yarı çapı
R _o	Röper çapı
S	Oturma miktarı
SC	Killi kum
SK2	Sondaj kuyusu ve numarası
SPT	Standart Penetrasyon Testi

σ	Normal gerilme
T	Makaslama kuvveti
τ	Makaslama gerilmesi
XRD	X Işınları Kırınım Analizi
YASS	Yeraltı suyu seviyesi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Kuruçay barajı yer belirleme haritası.....	4
Şekil 2.1 İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti	7
Şekil 2.2 Kızılçukur formasyonundaki kıltaşı ve çakıltaşı araldanmalı bloklar	8
Şekil 2.3 Kıltaşı ve çakıltaşı araldanmalı blokların yakından görünüşü	8
Şekil 2.4 Miyosen çökelleri ile üzerindeki volkanitlerin görünüşü.....	9
Şekil 2.5 Tekke volkanitlerindeki aglomeranın görünüşü	9
Şekil 2.6 Tekke volkanitlerindeki aglomeranın yakından görünüşü.....	10
Şekil 2.7 Tekke volkanitlerindeki andezitin görünüşü.....	10
Şekil 2.8 Kuruçay barajı yağış havzası genel jeoloji haritası	11
Şekil 2.9 İnceleme alanının deprem bölgeleri haritasındaki yeri.....	13
Şekil 5.1 Kuruçay barajı eksen yeri mühendislik jeolojisi kesiti ve sondaj yerleri.....	23
Şekil 5.2 Araştırma çukurlarının numarası, derinliği ve numune alınan seviyeleri gösteren kesit.....	25
Şekil 5.3 CL grubu zeminlerin plastiste kartındaki yeri.....	27
Şekil 5.4 Killi kumun (SC) makaslama gerilmesi-normal gerilme ilişkisi.....	28
Şekil 5.5 Killi kumun makaslama gerilmesi-makaslama yer değiştirme ilişkisi.....	28
Şekil 5.6 Presiyometre deneyinde temel türüne göre taşıma gücü faktörünün hesaplanması.....	32
Şekil 5.7 Kuruçay barajı eksen yerinin Lugeon değerlerine göre geçirimsizliği.....	40
Şekil 6.1 Kuruçay baraj eksen yeri mühendislik jeolojisi haritası.....	41
Şekil 6.2 Kuruçay baraj eksen yeri sağ yamacındaki heyelanın mühendislik jeolojisi kesiti.....	42
Şekil 6.3 Birinci ve ikinci heyelanın uzunluğu(L) ve derinliği (D).....	43
Şekil 6.4 Baraj yeri sağ sahilindeki heyelanın 2005 yılına ait görüntüsü.....	43
Şekil 6.5 İkincil heyelanın ayna kısmı	44
Şekil 6.6 Olası kayma yüzeyi.....	44
Şekil 6.7 Olası kayma yüzeyinin yakından görünüşü	45

Şekil 6.8 Statik koşullar için GS'nin 1 olduğu kayma dairesi.....	46
Şekil 6.9 Heyelanın geriye dönük analizinden elde edilen $c-\phi$ grafiği.....	47
Şekil 6.10 Duraylılık sayısının bulunmasında kullanılan Taylor grafiği.....	48

1. GİRİŞ

Genel olarak, vadilerin kapatılmasıyla yapılan ve 15 metreden yüksek su depolayan yapılar baraj olarak tanımlanır. Barajlar, enerji üretmek, yerleşim merkezlerine içme, kullanma suyu sağlamak, taşkın önlemek ve sulama suyu temini amacıyla inşa edilirler. Baraj yerinin, geçirimsizliği, taşıma gücü, göl alanı ve yamaçların duraylılığı gibi mühendislik jeolojisi özelliklerinin önceden belirlenmesi muhtemel hasarların önlenmesi bakımından önem taşımaktadır.

Kuruçay barajı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Çubuk Projesi kapsamında yapılması planlanan sulama amaçlı toprak dolgu bir barajdır. 992 m talveg kotunda yer alan barajda, en düşük su kotu 1000.75 m, en yüksek su kotu 1033.50 m, taşkın su kotu ise 1035.15 m'dir. Genişliği 8 m ve uzunluğu 460 m olan kretin kotu 1035.50 m'dir. Barajın talvegten yüksekliği 43.50 m, temelden yüksekliği ise 55 m'dir. Barajın ölü hacmi 0.706 hm³, aktif hacmi 13.88 hm³, toplam hacmi 14.59 hm³'tür (Dolsar 2003).

Kuruçay barajının ilk eksen yeri, sağ sahilde heyelan tehlikesi olduğundan bu eksen yerinden vazgeçilerek yaklaşık 500 m akış aşağısında yeni eksen yeri belirlenmiştir. Bu tez kapsamında yeni eksen yerindeki mühendislik jeolojisi problemleri incelenmiştir.

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmanın amacı, Kuruçay baraj yerindeki birimlerin jeoteknik özellikleri ve yamaçların duraylılığını inceleyerek baraj inşaatı ve sonrasında karşılaşılabilecek problemlere çözüm önerilerini araştırmaktır. Bu kapsamda baraj yerinde Dolsar tarafından yapılan jeoteknik amaçlı sondajlardan yararlanılmıştır. Sondaj sırasında alınan karotlar yeniden incelenerek birimler tanımlanmıştır.

Baraj yeri ve beslenme alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası yapılmıştır. Baraj yerinin 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası ve sondajlardan geçen mühendislik jeolojisi kesiti hazırlanmıştır.

SPT deneylerinin yapılamadığı zeminlerde sulu ilerleme yapılarak karot örnekleri alınmıştır. Karot örneklerinden alınan örselenmiş örnekler üzerinde sadece sınıflama deneyleri yapılmıştır.

Baraj eksen yeri sağ sahilindeki heyelan 2003, 2004 ve 2005 yıllarında gözlenmiştir. Araştırma çukurlarından alınan örselenmemiş örneklerden makaslama deneyi ile doruk ve artık kohezyon ve içsel sürtünme açıları belirlenmiştir.

İki adet kayma yüzeyi dikkate alınarak geriye dönük analizler yapılmıştır. Elde edilen verilere bağlı olarak kazı sırasında alınabilecek önlemler araştırılmıştır.

1.2 Materyal ve Yöntem

Baraj yeri ve yamaçlarda 5 adet toplam 175 m temel sondajı Dolsar Mühendislik ve Limited Şirketi tarafından yapılmıştır (Dolsar 2003). Sondaj sırasında alüvyonda SPT yapılarak örselenmiş örnekler alınmıştır. Ayrıca tez çalışması kapsamında 3 adet araştırma çukuru açılarak örselenmiş ve örselenmemiş örnekler alınmıştır. Deneyler Ankara Üniversitesi, Mühendislik Jeolojisi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarında, Zemin Mekaniğinde Laboratuvar Deneyleri Standardı (TS 1900) ve ilgili ASTM Standardına uygun olarak yapılmıştır. Ayrıca kaymanın olduğu killi seviyelerden alınan örneklerin mineralojik bileşimi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Laboratuvar'ındaki Rigaku-Geigerflex XRD cihazında tüm kayaç analizi ile belirlenmiştir. Kuruçay barajı sağ sahilinde görülen heyelanın Civilservice GMBH DP GGU-Stability programı ile duraylılık analizi yapılmıştır.

1.3 Önceki Çalışmalar

DSİ (1979), Çubuk ovasındaki yeraltı suyunun derinlik, miktar ve kalitesini belirlemek amacıyla hidrojeolojik inceleme yapmıştır.

Kılıç (1984), doktora tezi çalışmasında Çubuk I barajındaki siltasyonu inceleme sırasında beslenme alanı olan Çubuk havzasının jeoloji haritasını yapmıştır.

Baraj gölüne en fazla malzemenin Neojen ve Kuvaterner birimlerden geldiğini belirterek havzadaki aşınma ile gölde depolama ilişkisini incelemiştir. Ayrıca baraj gölünde depolanan malzemenin birleşik zemin sınıflama sistemine göre sınıflamasını yaparak depolama-zaman ilişkisini incelemiştir.

DSİ (1987a), Çubuk çayına bağlı yan derelerde Kuruçay barajının da içinde bulunduğu yapımı tasarlanan içme ve sulama suyu amaçlı yapıların mühendislik jeolojisi ön incelemesini yapmıştır.

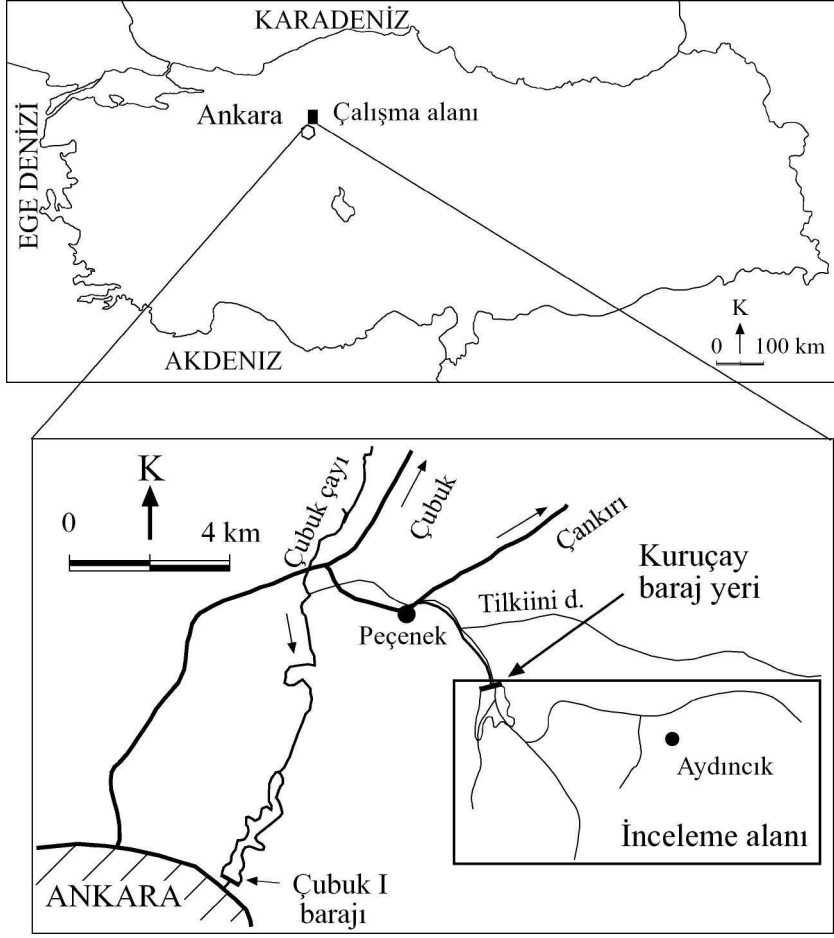
DSİ (1987b), Çubuk projesindeki gölet ve barajlarda kullanılacak doğal yapı gereçlerinin temini amaçlı yaptığı çalışmada Kuruçay barajı yapımında kullanılacak geçirimsiz, yarı geçirimli, geçirimli malzeme ile kaya malzeme alanlarını tespit etmiştir.

Dolsar Mühendislik (2003) tarafından Ankara-Çubuk projesinin mühendislik çalışmaları yapılarak planlama ara raporu hazırlanmıştır.

İnceleme alanında tez kapsamında yapılan çalışmaya rastlanmamıştır.

1.4 İnceleme Alanının Yeri ve Ulaşım

İnceleme alanı, 1/25000 ölçekli Bolu H29c3 ve Çankırı H30d4 nolu topoğrafik haritalarında yer alır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1 Kuruçay barajı yer belirleme haritası

İnceleme alanı Ankara'ya 25 km uzaklıktadır. Baraj yerine, Ankara-Çankırı karayolunun Çubuk kavşağından itibaren üçüncü kilometresinden sağa dönülerek 3.5 km'lik stabilize bir yol ile ulaşılmaktadır.

1.5 İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanı, Sakarya nehri yağış havzasında ve İç Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Bölge, karasal iklim karakterini taşımaktadır. Yazlar sıcak ve kurak; kışlar soğuk ve serttir. En yüksek sıcaklık Temmuz ayında, en düşük sıcaklık Ocak ayında gözlenmektedir. Havzanın yıllık ortalama sıcaklığı 10 °C civarındadır. Yıllık toplam yağış ortalaması 450 mm civarındadır. Yılda en çok yağış Nisan ve Mayıs aylarında düşmektedir.

1.6 Yüzey ve Yeraltı Suları

Bölgede yüzey suları olarak, Çubuk çayına katılan Akyurt dere, Kuruçay dere, Koyunözü dere, Bağkuzu dere ve Kozlu dereleri yer almaktadır. Çubuk çayı, Ankara çayı ile birleşerek Sakarya nehrine karışır. Çubuk çayı beslenme alanı ülkemizde en fazla sediment verimine sahip havzalardan birisidir ve yıllık verimi ortalama 372 ton/yıl/ km² dir (Kılıç 1984).

Çubuk ovası yeraltı suyu potansiyeli 9 hm³/yıl'dır (DSİ 1979). Yıllık emniyetli yeraltı suyu veriminin 5 hm³/yıl civarındaki miktarı ASKİ ve DSİ kuyuları tarafından kullanılmaktadır. Çubuk ovasında açılmış sondaj kuyularında iki farklı kalitede yeraltı suyu bulunmaktadır. Çubuk çayının beslediği alüvyon akiferden alınan sular oldukça iyi kalitede olup genellikle C₂S₁ sulama suyu sınıfındadır.

2. JEOLOJİ

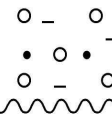


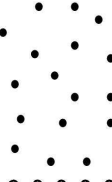

2.1 Stratigrafi

İnceleme alanında temeli metaçakıltası, metakumtaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, kireçtaşı ile volkarenit, aglomera, metavolkanit ve metatüfitten oluşan Orta-Üst Triyas yaşlı Kösrelik Formasyonu oluşturur. Bu formasyonu, Paleosen yaşlı, çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşından oluşan Kızılçukur Formasyonu uyumsuz olarak örtmektedir. Bunun üzerine uyumsuzlukla çakıltası, kumtaşı, siltaşı ardalanması ve marn, tuf ve killi kireçtaşından oluşan Alt-Orta Miyosen yaşlı Karapınar Formasyonu gelmektedir. Bu birimi, andezit, trakiandezit, bazalt, tuf, aglomera ve dasitten oluşan Üst Miyosen yaşlı Tekke Volkanitleri uyumsuz olarak üzerler. En üstte ise uyumsuzlukla çakıl, kum ve siltten oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon yer alır (Şekil 2.1).

2.1.1 Kösrelik formasyonu (Trael)

Kuruçay barajı beslenme alanının doğusunda görülmektedir (Şekil 2.8). Birim alttan üste doğru metamorfizması azalan ve kısmen ilksel halini korumuş ve yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış metaçakıltası, metakumtaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, kireçtaşı ile volkarenit, aglomera, metavolkanit ve metatüfitten oluşur. Genelde egemen kayalar metakumtaşı ve şistlerdir.

Formasyon sarı, boz, kahverengi ve gri renkte ince-orta tabakalı ve kıvrımlıdır. Formasyon içindeki fosil bulgularına göre birimin yaşı Orta-Üst Triyastır (Akyürek vd. 1979b, 1980).

Üst Sistem	Sistem	Seri	Formasyon	Simge	Litoloji	Açıklama
SENOZOYİK	KUVATERNER			Qal		Çakıl, kum, silt
	NEOJEN	ÜST MİYOSEN	TEKKE	Tt		Andezit, trakiandezit, bazalt, tuf, aglomera, dasit
		ALT-ORTA MİYOSEN	KARAPINAR	Tk		Çakıltaş, kumtaş, silttaş, marn, tuf, killi kireçtaş
	PALEOJEN	PALEOSEN	KIZILÇUKUR	Tk1		Çakıltaş, kumtaş, kireçtaş, kiltaş
MESOZOYİK	TRİYAS	ORTA-ÜST	KÖSRELİK	Treael		Metakumtaş, metaçakıltaş, metaçamurtaş, kumlu kireçtaş, kumtaş, kireçtaş, volkarenit, aglomera, metavolkanit, metatüfit

Şekil 2.1 İnceleme alanının stratigrafik dikme kesiti (ölçeksiz)

2.1.2 Kızılçukur Formasyonu (Tk1)

Kızılçukur Formasyonu çakıltaş, kumtaş, kireçtaş ve kiltaşından oluşur. Çakıltaşları kırmızı, siyah renkli, kötü boylanmalı ve kalın tabakalıdır (Şekil 2.2-2.3). Kumtaşları, ince-orta tabakalı, makrofosil parçalıdır. Formasyona ait kireçtaşlarında bulunan fosillere göre birime Paleosen yaşı verilmiştir (Hakyemez vd. 1986).



Şekil 2.2 Kızılçukur Formasyonundaki kiltası ve çakıltaşı ardalanmalı bloklar (GB'dan KD'ya bakış)

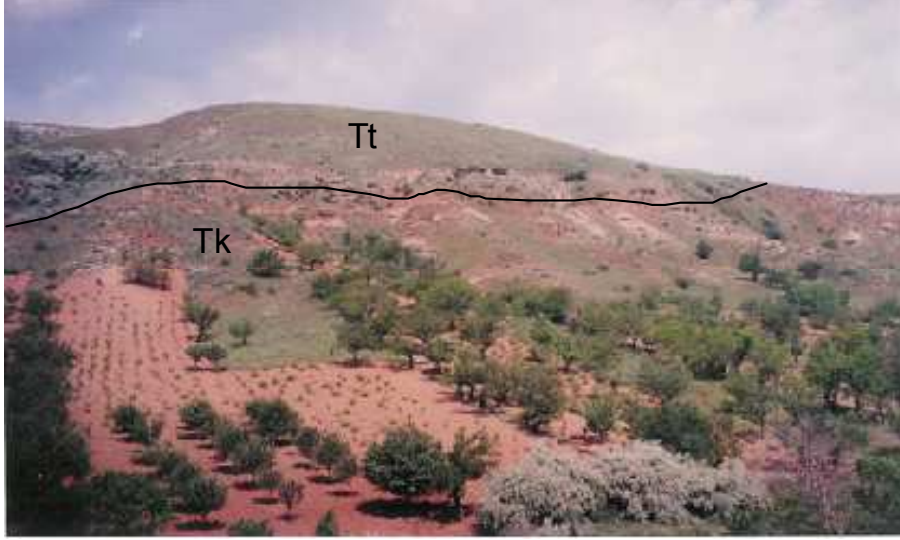


Şekil 2.3 Kiltası ve çakıltaşı ardalanmalı blokların yakından görünüşü (GB'dan KD'ya bakış)

2.1.3 Karapınar Formasyonu (Tk)

Formasyon çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ardalanmasından, daha az olarak da marn, tuf ve killi kireçtaşıdan oluşur (Şekil 2.4). Çakıltaşları kırmızı renkli, kötü boylanmalı, az tutturulmuş, orta-kalın tabakalıdır. Çakıltaşları ve kumtaşları karbonat ve kil çimentoludur. Formasyon kendinden yaşlı birimler üzerine uyumsuz olarak gelir.

Formasyon fosil içeriği bakımından fakirdir. Bulunabilen fosillere göre birimin yaşı Alt-Orta Miyosen'dir (Akyürek vd. 1980, 1984).



Şekil 2.4 Alt-Orta Miyosen çökelleri ile üzerindeki st Miyosen volkanitlerinin görünüşü (B'dan D'ya bakış)

2.1.4 Tekke Volkanitleri (Tt)

Formasyon, andezit, trakiandezit, bazalt, daha az tf, aglomera ve dasitten oluşur (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Tekke volkanitlerindeki aglomeranın görünüşü (Batıdan Doğuya bakış)

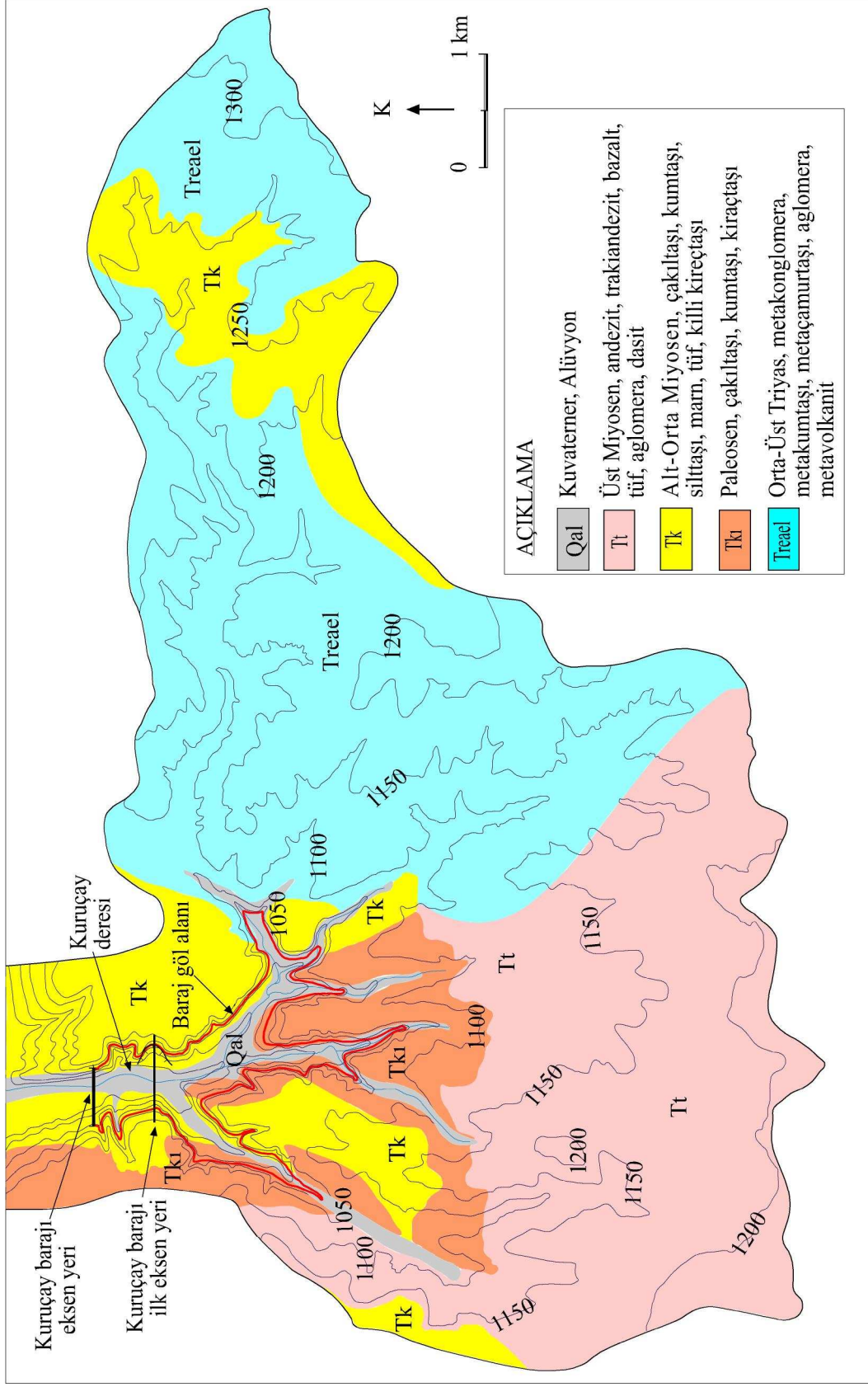
Andezitler, kırmızı, pembe, boz ve siyah renklidir. Andezitlerde akma izlerine sıkça rastlanır. Tüfler, gri ve beyaz renklidir. Çok ince taneli olan tüfler, andezit ve aglomera arasında düzeyler halinde görülür ve aralarında andezit parçaları içerir. Açık gri renkli aglomeralar, kum-orta ve iri çakıl boyutlarında andezit parçalarından oluşur, yer yer bloklulu olup kabuklanma şeklinde ayrışma gösterirler (Şekil 2.6). Tekke volkanitleri, yanal devamlılıklarında andezit (Şekil 2.7), trakiandezit ve bazalt gibi değişik mineralojik bileşimlerin geçişlerini göstermektedir (Akyürek vd. 1982, 1984).



Şekil 2.6. Tekke volkanitlerindeki aglomeranın yakından görünüşü



Şekil 2.7 Tekke volkanitlerindeki andezitin görünüşü (KD'dan GB'ya bakış)



Şekil 2.8 Kuruçay barajı yağış havzası jeoloji haritası (MTA 1988'den değiştirilerek)

2.1.5 Alüvyon (Qal)

Alüvyonlar, Kuruçay deresi ve onun yan kollarının getirdiği çeşitli kayalardan türemiş değişik boyuttaki az miktarda blok ve çakıl ile kum, silt ve kilden oluşmuştur. Alüvyonun kalınlığı dere yatağında yaklaşık 6.0 m'dir (Dolsar 2003).

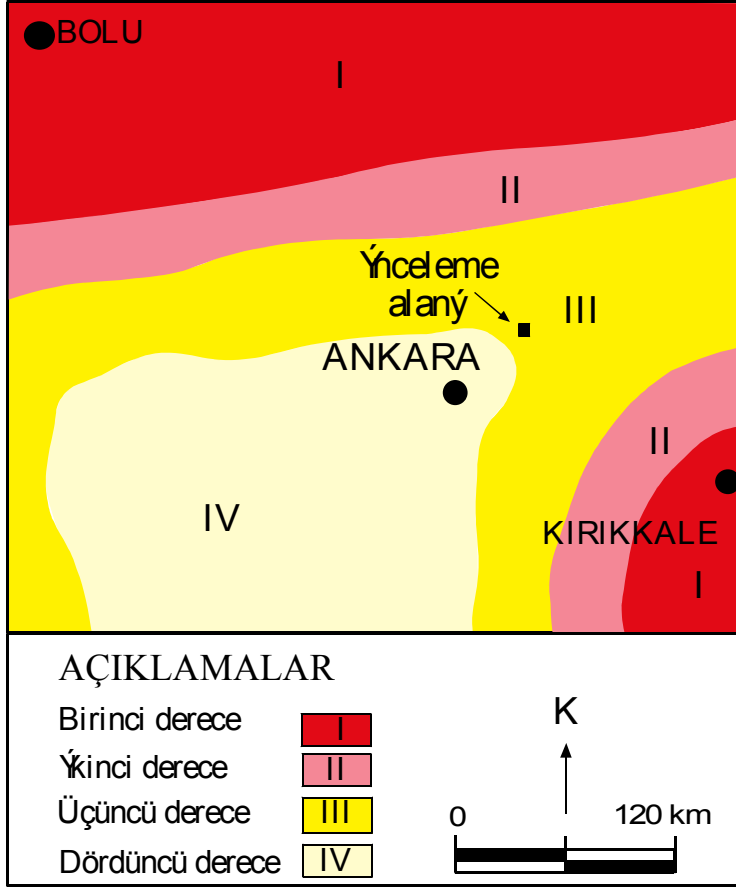
2.2 Yapısal Jeoloji

Bölgesel olarak, proje alanı Kuzey Anadolu Fayı (KAF)'ın güneyinde Anatolit tektonik kuşağı içerisinde yer alır. Tektonik yapısını Alpin Orojenik evresinde kazanmıştır. Bölgede Paleotetis okyanusunun izlerine, proje alanı dışında yüzeylenen Ankara Grubunu oluşturan kaya türlerinde, Neotetis okyanusunun izlerine ise bölgede yaygın olarak gözlenen Eldivan Ofiyolit Kompleksini oluşturan türlerinde rastlanır.

Çubuk ovası, havzanın doğusunda ve batısında, Kuzey-Güney doğrultulu iki adet gömülü düşey atımlı faya bağlı olarak gelişmiştir. Miyosende oluşan bu faylar jeofizik inceleme ile açığa çıkarılmıştır. 1.fay Bağdüz Köyü'nün güneyinden başlayıp Taşpınar'dan geçmekte ve Gücük Köyü kuzeyinde sona ermektedir. 2. fay Dumlupınar Köyü güneydoğusundan başlayıp Melikşah Köyü kuzeyinde sona ermektedir. Bu faylar nedeniyle Çubuk ovasının bir çöküntü ovası olduğu anlaşılmaktadır (DSİ 1979). Paleosen ve Neojen formasyonlarında yataya yakın bir tabakalanma vardır. Bunların dışında herhangi bir faylanma ve benzeri bir yapısal durum gözlenmemiştir.

2.3 Depremsellik

İnceleme alanı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın Deprem Bölgeleri Haritasına göre üçüncü derece deprem bölgesinde bulunmaktadır (DAD 1996). İnceleme alanının deprem bölgeleri haritasındaki konumu Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Proje alanı Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAF) yaklaşık 85 km güneyinde yer almaktadır.



Şekil 2.9 İnceleme alanının deprem bölgeleri haritasındaki yeri (DAD 1996)

3. ARAZİ ÇALIŞMALARI

Kuruçay baraj yerindeki jeoteknik amaçlı sondajlar, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Dolsar Mühendislik Limited Şirketi tarafından yapılmıştır. Arazi çalışmalarında Kuruçay barajı beslenme alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası ve baraj eksen yerinin 1/5000 ölçekli mühendislik jeolojisi haritası yapılmıştır.

Baraj eksen yerinde yapılan jeoteknik amaçlı sondajlar sırasında iri taneli zeminlerin sıklığını, ince taneli zeminlerin kıvamını belirlemek amacıyla Standart Penetrasyon Testi (SPT) yapılmış ve örselenmiş örnekler alınmıştır (Dolsar 2003). Kuyu içinde Presiyometre deneyi yapılarak temel zeminin taşıma gücü ve proje yükü altında oluşacak oturma miktarları hesaplanmıştır. Baraj yerinin geçirimsizliğini belirlemek amacıyla Lugeon deneyi yapılmıştır. Ayrıca 3 adet araştırma çukurları açılarak örselenmemiş ve örselenmiş örnekler alınmıştır.

3.1 Jeoteknik Sondajlar

Baraj ekseninde, Dolsar Mühendislik tarafından derinlikleri 25-40 m arasında değişen toplam 175 m derinliğinde 5 adet sondaj yapılmıştır. Sondajların numarası, kotu, koordinatı, derinliği ve yeraltı suyu seviyeleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sondajların numarası, kotu, koordinatı, derinliği ve yeraltı su seviyesi

Sondaj no	Kot (m)	Koordinat		Derinlik (m)	YASS (m) (Nisan 2003)
		X	Y		
SK1	1044.37	4 435 275,45	500 596,15	40.00	15.00
SK2	1004.24	4 435 318,11	500 786,61	30.00	9.00
SK3	1001.41	4 435 329,86	500 820,29	25.00	8.75
SK4	992.00	4 435 356,81	500 899,30	40.00	3.75
SK5	1038.00	4 435 397,32	501 023,00	40.00	20.00

Sondaj sırasında SK 1 nolu kuyuda 3, SK 2 nolu kuyuda 2, SK 3 nolu kuyuda 2, SK 4 nolu kuyuda 1 ve SK 5 nolu kuyuda 2 adet olmak üzere toplam 10 adet SPT yapılarak örselenmiş örnekler alınmıştır.

Örselenmemiş örnekler ise Shelby tüpü ile SK 3 nolu sondajdan 2 adet alınabilmektedir. SPT yapılamayan sert veya çok sıkı zeminlerde karotlu ilerleme yapılmıştır.

3.2 Araştırma Çukurları

Baraj eksen yeri sol sahilinde 1 adet, sağ sahilde 2 adet olmak üzere traktör ters kepçe yardımıyla Çizelge 3.2' de numarası, kotu ve derinliği belirtilen 3 adet araştırma çukuru açılmıştır.

1 nolu araştırma çukurundan 3 adet örselenmiş örnek, 2 nolu araştırma çukurundan hidrolik baskıyla 2 adet örselenmemiş örnek ile 3 adet örselenmiş örnek ve 3 nolu araştırma çukurundan 3 adet örselenmiş örnek alınmıştır.

Çizelge 3.2 Araştırma çukurlarının numarası, kotu ve derinliği

Araştırma çukuru nosu	Kotu	Derinliği(m)
AÇ 1	1000.00	5.00
AÇ2	992.00	4.10
AÇ3	1010.00	5.20

3.3 Arazi Deneyleri

3.3.1 Presiyometre deneyi

Presiyometre deneyi, sondaj kuyularında uygulanan bir arazi deneyidir. Zeminin dayanım ve deformasyonunu ölçmek amacıyla Menard (1956) tarafından geliştirilmiştir. Menard Presiyometresi üç hücreli bir proptan oluşmaktadır.

Üst ve alt hücreler koruyucu hücre, ortadaki ise ölçüm hücresidir. Prop hücreleri sıvı ya da gazla genişletilebilir.

Koruyucu hücre, ölçüm hücresine gelecek etkileri azaltmak için genişletilir. Deneyde uygulanan yöntemin esası, açılan bir sondaj kuyusu içinde zemine ışınsal basınç uygulanması ve uygulanan basıncın zeminde oluşturduğu şekil değiştirmelerin ölçülmesidir.

Basınç, sondaj kuyusu içerisine indirilen silindirik lastik prop yardımıyla uygulanır. Bunun, zeminin şeklini değiştirerek genişlemesi, hacimsel şekil değiştirme olarak ölçülür.

Artan basınca karşılık hücredeki hacim artışı ölçülür. Bu yöntemle, zemin yenilinceye kadar devam edilir. Genişlemiş toplam boşluk hacmi, ilk boşluk hacminin iki katı olduğunda zeminin yenileceği göz önünde bulundurulur. Deney bittikten sonra prop eski haline döndürülerek başka bir derinlikteki deney için ilerlenir.

Presiyometre deney sonuçları, basınç-hacim ilişkisi ile gösterilir (Ek 4). Deney ile zeminin Limit Basıncı (P_L) ve Menard Elastik Modülü (E_p) elde edilir. Elde edilen P_L ve E_p değerleri kullanılarak temel boyutlarına ve temel derinliğine bağlı temel zeminin taşıma gücü (q_u) ve proje yükü altında oluşacak oturma miktarları (S) hesaplanır (DSİ 2000).

3.3.2 Lugeon basınçlı su deneyi

Araştırma ve enjeksiyon kuyularında basınçlı su deneyleri yapılarak kayanın geçirimsizliği hakkında bilgi edinilir. Farklı basınçlar altında deney zonunda kayaya sızan suyun debileri ölçülür. Bir Lugeon birimi, 10 atmosfer basınç altında, 1 dakikada, 1 metre uzunluktaki zonda litre cinsinden sızan su miktarıdır. Lugeon deneyleri 1, 2, 3, 5, 10 metrelik zonlarda yapılabilir. Onar dakika süreyle artan ve azalan 2-4-6-8-10-8-6-4-2 veya 3-6-10-6-3 şeklinde atmosferik basınçlar uygulanır. Deneye başlamadan önce pompa kapasitesi ve yeraltı suyu seviyesi ölçülür.

Her basınç kademesinde 10 dakikadaki kaçak miktarları kaydedilir. Yamaç molozunda ve alüvyonda basınçlı su deneyi yapılmaz (Lugeon 1933). Lugeon değerlerine göre kayanın geçirimsizlik sınıflaması Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Lugeon değerlerine göre geçirimsizlik sınıflaması (Lugeon 1933)

Lugeon birimi, l/m/dak	Kaya sınıfı
<1	Geçirimsiz
1-5	Az geçirimli
5-25	Geçirimli
>25	Çok geçirimli

Basınçlı su deneyi sırasında suyun tümü kaçmış ve basınç yükselmemişse Lugeon değeri sonsuz kabul edilmektedir.

4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

4.1 İndeks ve Jeoteknik Özellikler

Sondajların farklı derinliklerinden birimleri temsil eden 10 adet örselenmiş örnek, araştırma çukurlarından alınan 8 adet örselenmiş örnek ile heyelan yüzeyinden alınan 5 adet örselenmemiş örneğin indeks ve jeoteknik özellikleri, Ankara Üniversitesi Mühendislik Jeolojisi Uygulama ve Araştırma Laboratuvarı'nda Türk Standartları (TS), American Society of Testing and Materials (ASTM) ve British Standard (BS)'a göre incelenmiştir.

Zeminin, doğal su içeriği (ω_n), tane boyu dağılımı, tabii birim ağırlığı (γ_n), doymun birim ağırlığı (γ_{sat}) ve kuru birim ağırlığı (γ_d), Atterberg limitleri (LL, PL, PI), Likidite indisi (LI), Kıvam indisi (K), makaslama dayanım parametreleri (c_p , ϕ_p , c_r , ϕ_r) değerleri belirlenmiştir.

4.1.1 Doğal su içeriği

Araştırma çukurlarından alınan 8 adet ve heyelan yüzeyinden alınan 5 adet numunenin su içeriği ASTM D2216 standardına uygun olarak belirlenmiş ve Ek 1' deki deney sonuç çizelgesinde verilmiştir. Su içeriği iri taneli zeminlerde %6 ile %24 arasında, ince taneli zeminlerde %18-%25 arasında değişmektedir.

4.1.2 Atterberg limitleri (LL, PL, PI)

Araştırma çukurlarından alınan 8 adet, sondajlardan alınan 10 adet numunenin likit limit ve plastik limitleri ASTM D4318'e uygun olarak belirlenmiş ve Ek 1' deki deney sonuç

izelgesinde verilmiştir. Zemin rneklerinin likit limitleri %21-%48, plastik limitleri %5-%29, plastisite indisleri ise %6-%24 arasında değişmektedir.

4.1.3 Tane boyu dağılımı

Zemin rneklerinden ASTM D422'ye uygun olarak ıslak elek analizi yapılmış ve tane boyu dağılımı belirlenmiştir. Toplam 19 rneğin tane boyu dağılımı eğrisi çizilmiş ve Ek 1'deki deney sonuç çizelgesinde verilmiştir.

4.1.4 Likidite indisi

Zeminin kıvamının belirlenmesinde araştırma çukurlarından alınan 4 adet ince taneli zemin örneğinin Likidite İndisi belirlenmiştir. Sonuçlar Ek 1' deki deney sonuç çizelgesinde verilmiştir. Likidite indisleri % -0.55 ile 0 arasında değişmektedir.

4.1.5 Kıvam indisi

Kıvam indisi araştırma çukurlarından alınan 4 adet ince taneli zemin rneği üzerinde belirlenmiştir. Sonuçlar Ek 1' deki deney sonuç çizelgesinde verilmiştir. Zemin rneklerinin kıvam indisleri % 0.66 ile % 1.55 arasında değişmektedir.

4.1.6 Makaslama dayanımı

Zeminlerin makaslama dayanımı, zemine uygulanan sürekli yer değiştirmeler altında zemin tanelerinin birbirine göre rölatif hareketlerine karşı gösterdikleri dirençtir.

Zeminin belirli koşullar altında makaslama dayanımı, makaslama deneyi ile belirlenir. Makaslama deneyi, hem kohezyonlu hem de kohezyonsuz zeminlerde örneğin konsolide olup olmamasına ve drene olup olmamasına göre farklı koşullarda yapılır. Konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) deney için makaslama kuvveti, örneğin, uygulanan aksenal yük altında konsolide olmasına izin verilmeden uygulanır. Konsolidasyonlu-drenajsız (CU) deneyde makaslama kuvveti, numunenin uygulanan aksenal yük altında konsolide olması beklendikten sonra uygulanır. Konsolidasyonlu-drenajlı (CD) deneyde ise konsolidasyona izin verilmesinin yanında makaslama kuvveti de oldukça yavaş uygulanarak boşluk suyunun da drene olmasına izin verilir (Çetin vd. 2002).

Makaslama deneyinde, örselenmemiş zemin örneği dairesel veya kare kesitli ve iki parçadan oluşan bir kutu içine yerleştirilir. Örnek üzerine düşey bir N kuvveti uygulanır. Örneğin kırıldığı ana kadar, numuneye artan makaslama kuvveti, T uygulanır. Bu sırada oluşan makaslama yer değiştirmesi Δl ve kalınlıktaki deformasyon Δh kaydedilir. Bu işlem farklı N kuvvetleri uygulanarak tekrarlanır (Das 1998).

Normal gerilme, uygulanan düşey yükün örneğin ilk kesit alanına bölünmesiyle bulunur. Makaslama kuvveti, yük ölçme halkası kalibrasyonu ve yük ölçme okumasının çarpılmasıyla bulunur. Bulunan bu yük değerleri numunenin kesit alanına bölünerek makaslama gerilmesi bulunur.

Bulunan değerlerle, x ekseninde normal gerilmelerin (σ), y ekseninde makaslama gerilmelerinin (τ) olduğu τ - σ ilişkisi elde edilir. Elde edilen doğrunun y eksenini kestiği nokta zeminin kohezyonu (c), eğimi ise içsel sürtünme açısı (ϕ) dır.

Baraj eksen yeri sağ yamacındaki heyelanın kayma yüzeyinden alınan 5 adet örselenmemiş örnek laboratuvarında ASTM D 3080 standardına uygun olarak CU şartlarda makaslama deneyi ile incelenmiştir. τ - σ ilişkisinden bulunan içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) değerleri Ek 1'deki deney sonuç çizelgesinde verilmiştir.

4.2 Mineralojik Özellikler

Sondaj sırasında SK3 SPT7’den alınan SC-SM grubu numune ile araştırma çukurundan alınan CL grubu AÇ3 N4 örnekleri toz haline getirilip, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Laboratuvar’ındaki Rigaku-Geigerflex XRD cihazında tüm kayaç analizi yapılmıştır. XRD analiz sonuçlarına göre örneklerde, smektit, kuvars, kalsit, feldispat, amorf slika, illit, klorit mineralleri tespit edilmiştir. Örneklerin kil minerallerince zengin olması nedeniyle kil mineral tiplerini belirlemek amacıyla normal, fırınlanmış ve etilen glikolle doyurularak kil fraksiyonu çekimleri gerçekleştirilmiştir. Klorit minerali 14 A° daki piki, illit ise 10 A° daki piki ile tanımlanmıştır. Etilen glikolle muamele edilen örnekte smektit minerali 17 A°’da pik vermiştir. 350°C’de ısıtıldığında da kaolinitin 7 A°’daki pikinin yıkıldığı gözlenmiştir. Numunelerin alındığı derinlik, zemin grubu ve mineralojik bileşimi çoktan aza doğru Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kum ve kil örneklerinin XRD analiz sonuçlarına göre çoktan aza doğru mineralojik bileşimi

Numune	Derinlik(m)	Mineraller	Zemin grubu
SK3 SPT7	11.00-11.30	Kuvars, feldispat, klorit, illit, kaolinit, smektit	SC-SM
AÇ3 N4	4.00-4.15	Smektit, kuvars, kalsit, feldispat, kaolinit, amorf slika, illit, klorit	CL

Ankara’nın kuzey doğusunda ve inceleme alanının batısında andezit, andezitik tüf, traki-andezitlerle temsil olunan Tekke volkanitleri yer yer hidrotermal alterasyon ürünü kil mineralleşmeleri içerirler (Besbelli ve Varol 2002). Tekke volkanitlerinin hidrotermal ayrışma sonucu meydana gelen kil mineralleri kaolinit, montmorillonit ve illittir. Örneklerin XRD analizi sonuçlarına göre kil minerallerinden kaolinit, illit, smektit ve kloritin Tekke volkanitlerinin ayrışması sonucu oluştuğu görülmektedir. Bununla birlikte kil dışı minerallerden kuvars, amorf silika, feldispat ve kalsit bulunmaktadır (Karakaş 2005).

5. JEOTEKNİK DEĞERLENDİRME

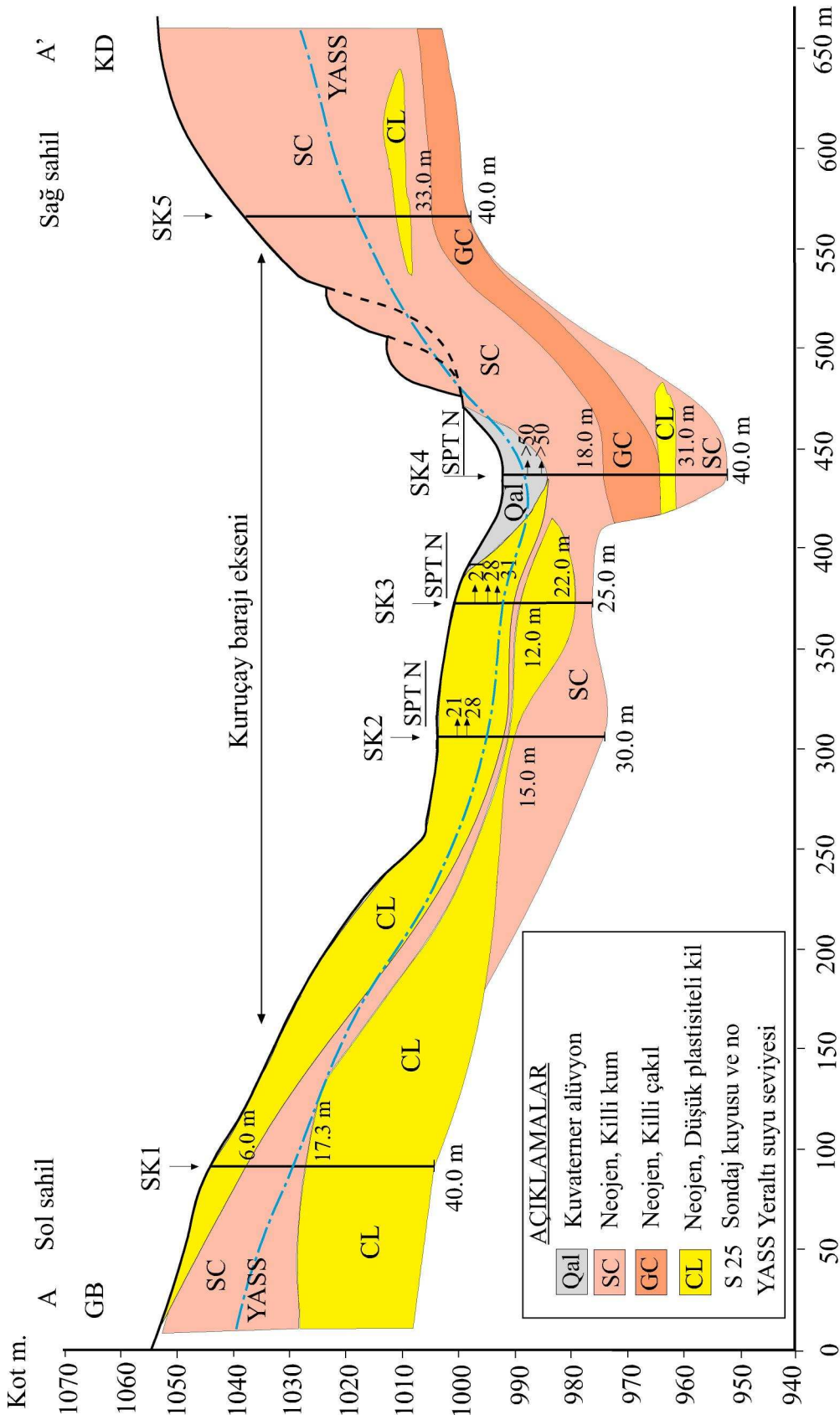
Dolsar Mühendislik tarafından yapılan jeoteknik amaçlı sondajlara ait karot sandıkları tarafımdan yeniden incelenerek belirli seviyelere ait örnekler alınmıştır. Bu örnekler, laboratuvar incelemeleri sonucunda Birleşik Zemin Sınıflamasına (USCS) göre sınıflandırılmıştır (TS 1997). SK1, SK2, SK3, SK4, SK5 numaralı sondajlarda killi çakıl (GC), killi kum (SC) ve düşük plastisiteli kil (CL) grubu zeminler bulunmaktadır. Şekil 5.1’de verilen baraj eksen yeri mühendislik jeolojisi kesiti üzerinde zemin gruplarının dağılımı, yeraltı suyu seviyesi ve heyelanlar gösterilmiştir.

SK1 numaralı sondaj 40 m derinliğinde olup, 0.00 - 6.00 m arası CL, 6.00 - 17.30 m arası SC, 17.30-40.00 m arası CL grubu zemin kesilmiştir. Kuyuda yeraltı suyuna 15.00 m de rastlanmıştır.

30 m derinliğindeki SK2 numaralı sondajda 0.00 - 13 m arası CL, 13.00 – 14.00 m arası SC, 14.00 – 15.00 m arası CL, 15.00 – 30.00 m arası SC grubu zemin kesilmiştir, sondajda yeraltı suyu seviyesi 9.00 m derinliğe kadardır. Bu kuyuda sondaj sırasında SPT deneyi yapılarak darbe adetleri 3.5-4.0 m derinliğinde 21 ve 5.50-6.00 derinliğinde 28 dir.

SK3 numaralı 25.00 m derinliğindeki kuyuda 0 - 11.00 m arasında CL, 11.00 - 12.00 m arasında SC, 12.00 - 22.00 m arasında CL, 22.00- 25.00m arasında SC grubu zemine rastlanmıştır. Kuyuda yeraltı suyu seviyesi 8.75 m dir. Ölçülebilen SPT N darbe sayısı 2.00 - 2.50 m arasında 21, 4.00 - 4.50 m derinliğinde 24, 7.00 - 7.50 m derinliğinde 31 dir.

SK4 numaralı sondaj kuyusunda 0.00 - 18.00 m arasında SC, 18.00 – 28.00 m arası GC, 28.00 – 31.00 m arası CL, 31.00 – 40.00 m arası SC grubu zemin mevcuttur. YASS 3.75 m dir. SPT N darbe sayısı 6.00 - 6.50 m arasında ve 7.50 - 8.00 m arasında ölçülebilmüş ve 50’den büyük olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.1 Kuruçay barajı eksen yeri mühendislik jeolojisi kesiti ve sondaj yerleri

SK 5 numaralı ve 40 m derinliğindeki sondaj kuyusunda ise 0.00 - 26.50 m arasında SC, 26.50 - 28.30 m arasında CL, 28.30 - 33.00 m arasında SC ve 33.00 - 40.00 m arasında GC grubu zemin mevcuttur. Yeraltı suyu seviyesi 20.00 m'dir.

SPT, CL türü ince taneli Neojen birimlerde ve alüvyon birimlerde yapılabilmektedir. SK2 ve SK3 numaralı sondajlarda CL türü zeminlerin SPT darbe adedi 21, 28 ve 31 olup, CL grubu zeminin kıvamı "çok katı" ve "sert" kıvamdadır. SK4 numaralı sondajda alüvyona ait SC türü zeminin SPT darbe adetleri 50'nin üstünde olup, "çok sıkı"dır (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1 SPT darbe sayılarına göre ince taneli zeminlerin kıvamı ve iri taneli zeminlerin sıklığı (Skempton 1986)

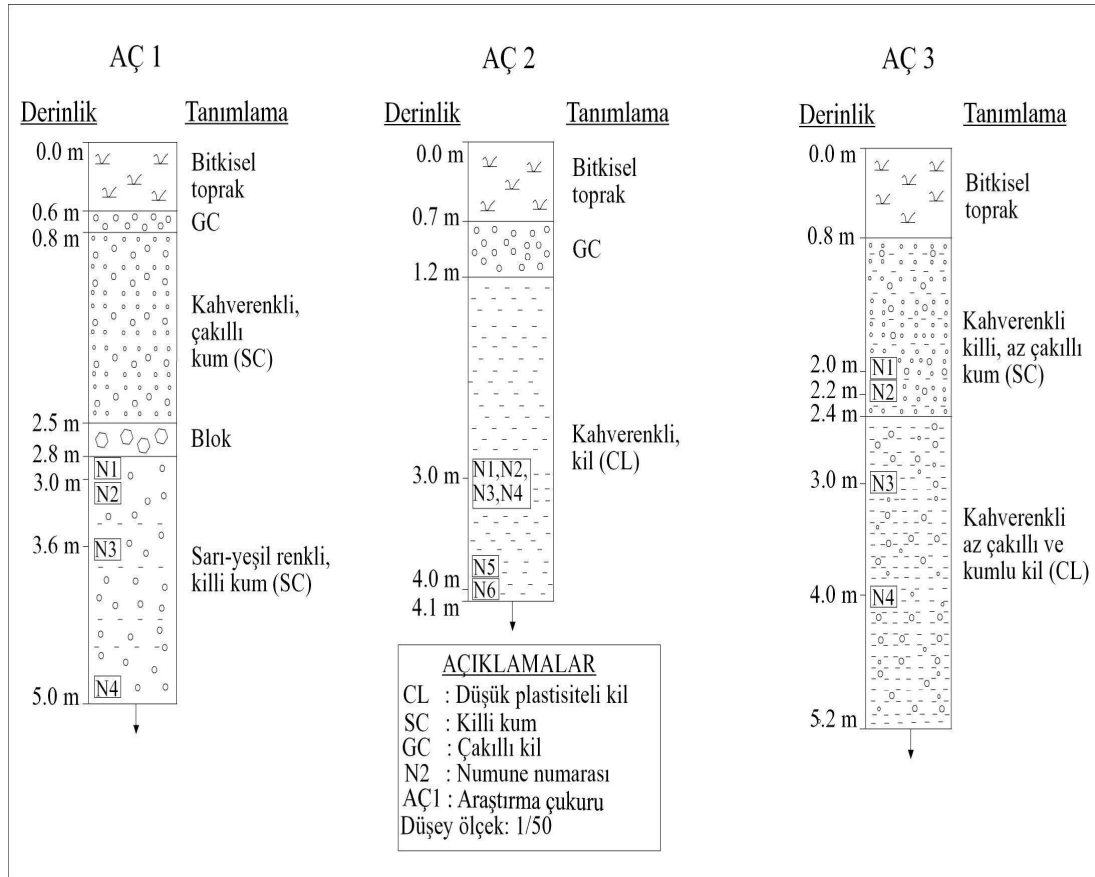
İnce taneli		İri taneli	
SPT N	Kıvamı	SPT N	Sıklığı
0-2	Çok yumuşak	0-4	Çok gevşek
3-4	Yumuşak	5-10	Gevşek
5-8	Orta katı	11-30	Orta sıkı
9-15	Katı	31-50	Sıkı
16-30	Çok katı	>50	Çok sıkı
>30	Sert		

Baraj yeri sol sahilinde 5.00 m derinliğinde 1 adet ve sağ sahilinde 4.10 m – 5.20 m derinliklerinde 2 adet olmak üzere toplam 3 adet araştırma çukuru açılmıştır. Açılan çukurların numarası, derinliği ve numune alınan seviyeler Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Araştırma çukurlarından alınan örnekler Birleşik Zemin Sınıflamasına (USCS) göre sınıflandırılarak killi kum (SC), düşük plastisiteli kil (CL) ve killi çakıl (GC) grubu zeminler gözlenmiştir. Araştırma çukurlarında yeraltı suyuna rastlanmamıştır.

AÇ 1 numaralı 5 m derinliğindeki araştırma çukurunda 0-0.60 m arası bitkisel toprak, 0.60-0.80 m arası GC, 0.80-2.50 m arası SC, 2.50-2.80 m arası bloklu seviye, 2.80-5.00 m arası SC grubu zemin mevcuttur. AÇ 1'de 2.80-5.00 m derinlikteki SC grubu zeminlerden N1, N2, N3 ve N4 nolu örselenmiş örnekler alınmıştır.

4.10 m derinliğinde açılan AÇ 2 numaralı araştırma çukurunda 0.00 - 0.70 m bitkisel toprak, 0.70 - 1.20 m arası GC ve 1.20 m ile 4.10 m arasında CL grubu zemin kesilmiştir. 3.00 m derinliğindeki CL grubu zeminden AÇ 2’de N1, N2, N3 nolu örselenmemiş örnekler ile N4 nolu örselenmiş örnek ve 4.00-4.10 m arasında ise N5 ve N6 nolu örselenmiş örnekler alınmıştır.

5.20 m derinliğindeki AÇ 3 numaralı araştırma çukurunda 0.00 - 0.80 m bitkisel toprak, 0.80 - 2.40 m arası SC ve 2.50 – 5.20 m arasında CL grubu zemin mevcuttur. AÇ 3’de 2.00-2.40 m arasındaki SC grubu zeminden N1, N2 nolu örselenmiş örnekler ve 3.00-5.20 m derinliğindeki Cl grubu zeminden N3, N4 nolu örselenmiş örnekler alınmıştır.



Şekil 5.2 Araştırma çukurlarının numarası, derinliği ve numune alınan seviyeleri gösteren kesit

Sınıflama ve İndeks Özellikleri

Sondaj kuyularından ve araştırma çukurlarından alınan iri taneli SC ve GC grubu zeminlere ait jeoteknik özelliklerin en az, en çok ve ortalama değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir.

SC ve GC grubu zeminlerin doğal su içeriği % 16 ile %24 arasında, doğal birim ağırlığı 18.77 kN/m³ ile 19.82 kN/m³ arasında, doymuş birim ağırlığı 18.02 kN/m³ ile 19.57 kN/m³ arasında, γ_s 15.15 kN/m³ ile 15.88 kN/m³ arasında değişmektedir. 4 nolu elek üstünde kalan %0 ile %40 arasında, 200 nolu elekten geçen %4 ile %42 arasında değişmektedir.

Çizelge 5.2 SC ve GC zemin gruplarının jeoteknik özelliklerinin en az, en çok ve ortalama değerleri

Özellikler	Örnek sayısı	SC-GC				
		En az	En çok	Ort	Standart sapma	Standart hata
Doğal su içeriği (ω_n)	5	16	24	21.8	7.39	2.61
Tabii birim ağırlığı (γ_n)	5	18.77	19.82	19.36	-	-
Doymuş birim ağırlığı (γ_{sat})	5	18.02	19.57	19.01	-	-
Kuru birim ağırlığı (γ_s)	5	15.15	15.88	15.56	-	-
4 nolu elek üstü %	11	0	40	15	9.80	2.50
200 nolu elek altı %	11	4	42	16	14.95	3.74

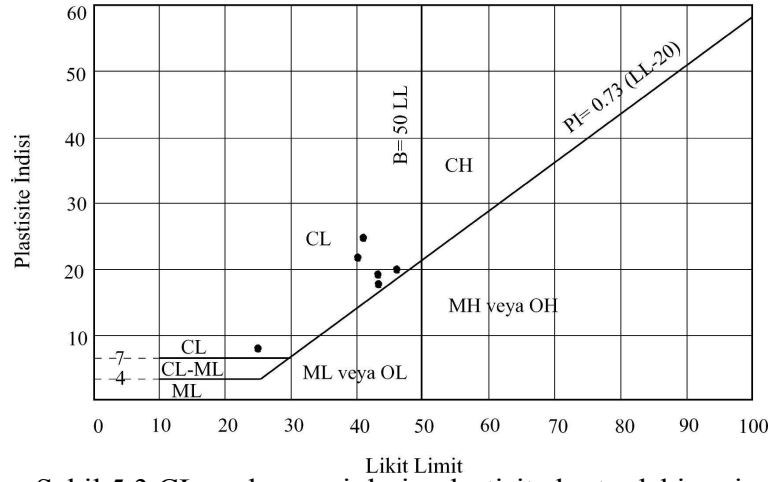
CL grubu zeminlerin jeoteknik özelliklerinin en az, en çok ve ortalama değerleri Çizelge 5.3’ de verilmiştir.

CL grubu örneklerin doğal su içeriği % 17 ile % 25 arasında, likit limit % 26 ile % 48 arasında, plastik limit % 17 ile % 28 arasında ve plastisite indisi % 9 ile % 24 arasında değişmektedir. 4 nolu elek üstünde kalan % 0 ile % 31 arasında ve 200 nolu elekten geçen ise %52 ile % 61 arasındadır.

LI değerleri % 0.55 ile % 0.32 arasındadır. Likidite indisine göre zemin “katı” kıvamdadır. Kıvamı 0.66 ile 1.55 arasında olup “yarı katı ve katı”dır.

Çizelge 5.3. CL grubu zeminlerin jeoteknik özelliklerinin en az, en çok ve ortalama değerleri

Özellikler	Örnek sayısı	CL				
		En az	En çok	Ort	Standart sapma	Standart hata
Doğal su içeriği (ω_n) %	4	17	25	19.75	3.60	1.80
Likit Limit (LL) %	6	26	48	40.5	7.63	3.12
Plastik Limit (PL) %	6	17	28	21.83	5.04	2.06
Plastisite İndisi (PI) %	6	9	24	18.67	5.20	2.12
4 nolu elek üstü %	6	0	31	6.16	12.22	4.99
200 nolu elek altı %	6	52	61	55	3.72	1.52
Likidite İndisi (LI) %	4	-0.55	0	-0.32	-	-
Kıvam İndisi (K) %	4	0.66	1.55	1.01	-	-

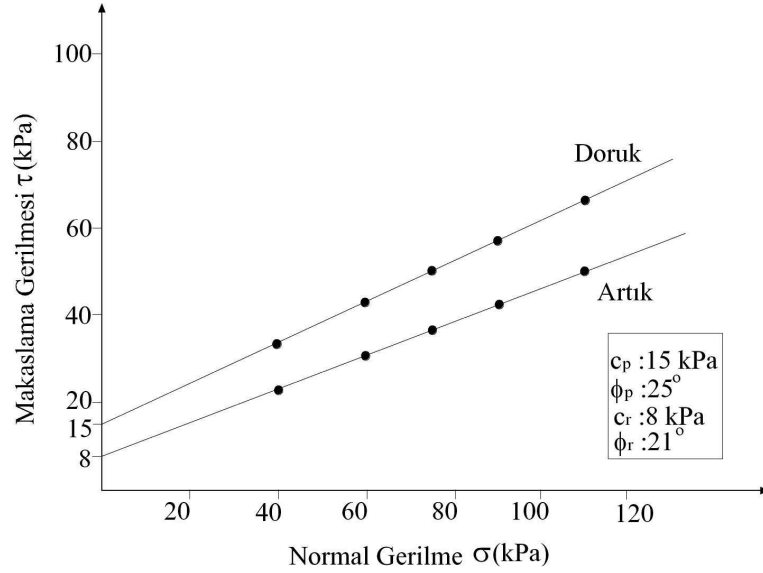


Şekil 5.3 CL grubu zeminlerin plastisite kartındaki yeri

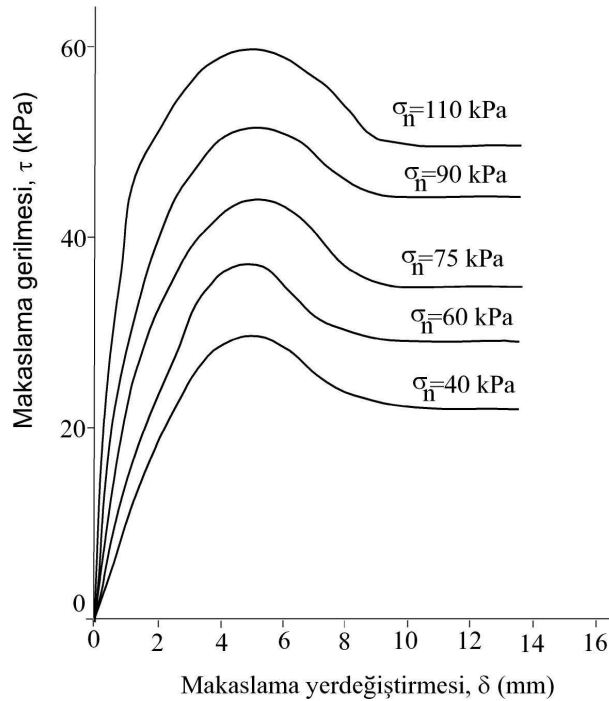
Makaslama Gerilmesi

Heyelanın kayma yüzeyinden alınan 5 adet örselenmemiş SC türü örnek, konsolidasyonlu-drenajlı (CD) şartlarda yapılamadığından, konsolidasyonlu -drenajsız (CU) şartlarda makaslama deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre makaslama gerilmesi - normal gerilme (τ - σ) ilişkisi çizilerek Şekil 5.4.'de verilmiştir. Zeminin doruk kohezyonu (c_p) 15 kPa ve doruk içsel sürtünme açısı (ϕ_p) 25°, artık

kohezyonu (c_r) 8 kPa ve artık içsel sürtünme açısı (ϕ_r) 21° bulunmuştur. Değişik normal gerilmeler altında makaslama gerilmesi - makaslama yer değiştirmesi (τ - δ) ilişkisi Şekil 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.4 Killi kumun (SC) makaslama gerilmesi - normal gerilme ilişkisi



Şekil 5.5. Killi kumun (SC) makaslama gerilmesi- makaslama yer değiştirmesi ilişkisi

Presiyometre DeneY Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Kuruçay baraj eksen yerindeki zeminin taşıma gücü ve oturma miktarı hakkında bilgi elde etmek amacıyla SK 2 ve SK 4 numaralı kuyularda presiyometre deneyi yapılmıştır (Dolsar 2003). Yapılan presiyometre deneyine ait kuyu logları EK 3’de ve presiyometre deneyi grafikleri EK 4’de verilmiştir. Presiyometre deneyi sonucunda temel zemin birimlerinin Limit basıncı (P_L) ve Menard elastik modülü (E_p) bulunmuştur. Temel derinliği ve temel genişliği bilinen yapıda limit basınçların etki alanları belirlenebilir. Limit basınçların etki alanları $P_{L1} = +3R$ ile $+R$ arasında, $P_{L2} = +R$ ile $-R$ arasında, $P_{L3} = -R$ ile $-3R$ arasında değişmektedir. Bu seviyelerdeki net limit basınçlar Eşitlik 5.1’deki gibi hesaplanır (Menard 1956).

$$P_L^* = P_L - P_o \quad (5.1)$$

P_L^* : Net limit basınç (kg/cm^2)

P_L : Uygulanan limit basınç (kg/cm^2)

P_o : DeneY seviyesindeki yatay içsel basınç (kg/cm^2)

 seviyenin geometrik ortalaması alınarak net limit basıncı bulunur ve taşıma gücü eşitliğinde hesaba katılmaktadır (Eşitlik 5.2).

$$q_1 = q_o + k(P_L - P_o) \quad (5.2)$$

q_o : Sürsaj yükü (kg/cm^2)

$P_L - P_o$: Net limit basıncı (kg/cm^2)

k : Taşıma gücü faktörü

Bulunan taşıma gücü değeri ise güvenlik faktörüne bölünerek izin verilebilir taşıma gücü hesaplanır (Eşitlik 5.3).

$$q_a = q_o + \frac{k}{3} (P_L - P_o) \quad (5.3)$$

Sol sahilde vadi tabanına yakın açılan, SK 2 numaralı sondaj kuyusunda, 1.5 m ile 30 m arasında 2 m ara ile sistematik şekilde 20 adet presiyometre deneyi yapılarak Limit basıncı (P_L) ve Net limit basıncı ($P_L - P_0$) değerleri bulunmuştur (EK 3).

Temel derinliği (D_f) 8.50 m ve temel genişliği (B) 10 m, temel genişliğinin yarısı olan R ise 5 m alınarak taşıma gücü hesaplanmıştır.

$$B=2R$$

$$10=2R \Rightarrow R=5 \text{ m}$$

EK 3’de verilen presiyometre kuyu loglarından yararlanılarak;

+3R ile +R aralığında net limit basınçların geometrik ortalaması alınarak P_{L1} hesaplanmıştır.

$$P_{L1} = \sqrt{3.08 * 5.88}$$

$$= 4.26 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

+R ile -R aralığında net limit basınçların geometrik ortalaması alınarak P_{L2} hesaplanmıştır.

$$P_{L2} = \sqrt[3]{6.08 * 11.24 * 5.26 * 17.04 * 16.12 * 17.19 * 3.06}$$

$$P_{L2} = 9,11 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

-R ile -3R aralığında net limit basınçların geometrik ortalaması alınarak P_{L3} hesaplanmıştır.

$$P_{L3} = \sqrt[3]{5 * 6.19 * 7.54 * 7.50 * 3.70}$$

$$P_{L3} = 5.44 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

Her aralık için hesaplanan net limit basınçların geometrik ortalaması alınarak net limit basınç hesaplanır.

$$P^*_{Le} = \sqrt[3]{4.26 * 9.11 * 5.44}$$

$$P^*_{Le} = 5.95 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

Temel derinliğindeki sürsaj yükü Eşitlik 5.4 ile bulunur.

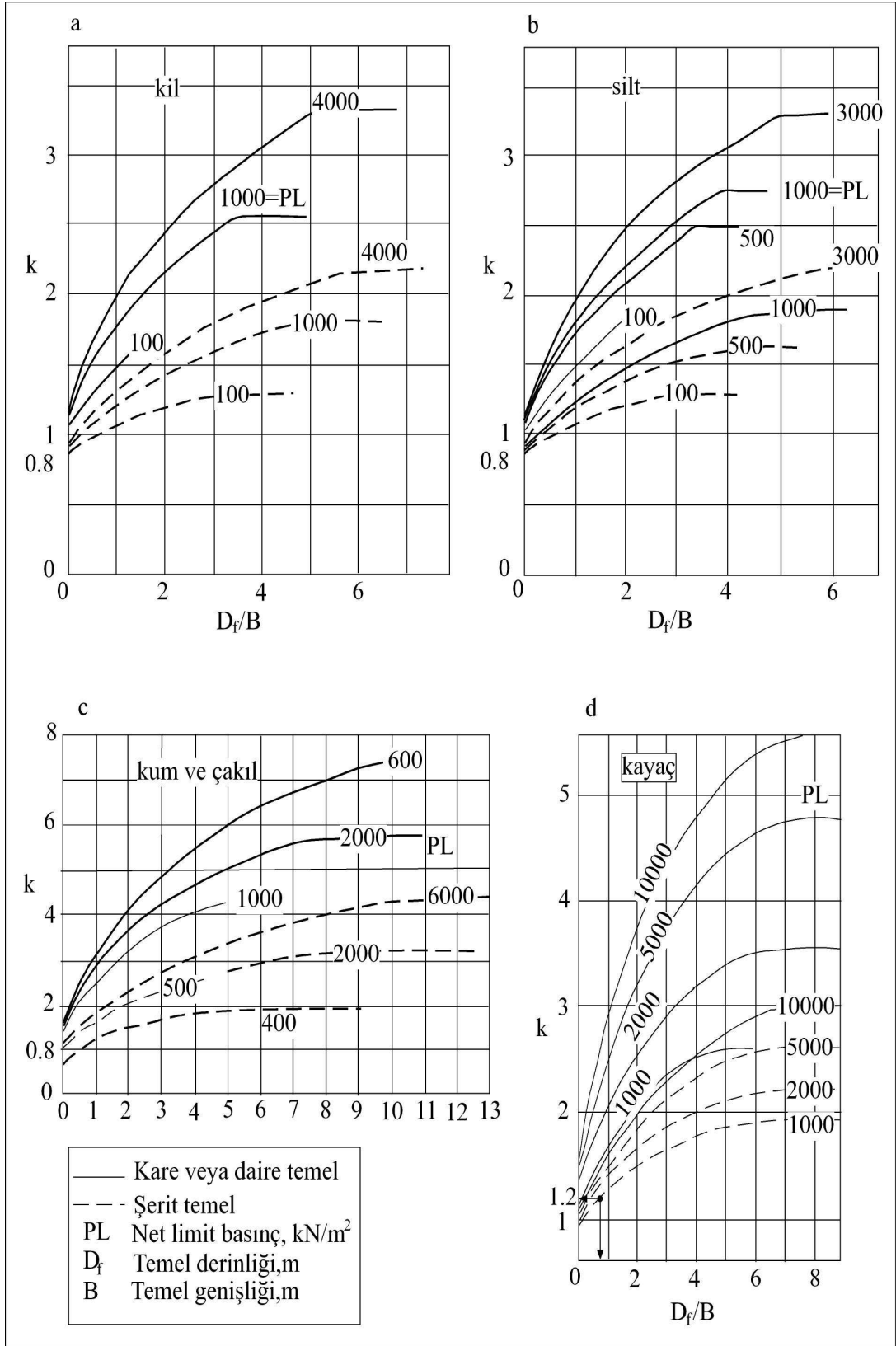
$$q_0 = \rho * h \quad (5.4)$$

ρ : Zeminin yoğunluğu (gr/cm^3)

h : Örtü tabakasının kalınlığı (m)

$$q_0 = 2 * 850 \text{ cm} = 1700 \text{ g/cm}^2 = 1.7 \text{ kg/cm}^2$$

Temel türü ile D_f/B oranına göre hazırlanan abaklar yardımıyla taşıma gücü faktörü k bulunur (Menard 1956). $D_f/B = 8.50/10 = 0.85$ Şekil 5.6 'den kaya için $k = 1.2$ alınır.



Şekil 5.6 Presiyometre deneyinde temel türüne göre taşıma gücü faktörünün hesaplanması (Menard 1956)

İzin verilebilir taşıma gücü q_a , Eşitlik 5.3'e göre;

$$q_a = q_o + \frac{k}{3} (P_L - P_o)$$

$$q_a = 1.7 + 1.2/3 * 5.95$$

$$q_a = 4.08 \text{ kg/cm}^2 \cong 400 \text{ kPa olarak bulunur.}$$

Baraj ekseninde, SK 4 numaralı sondajda, 1.5 ile 20 m arasında 2 m ara ile 13 adet presiyometre deneyi yapılmıştır. Temel derinliği (D_f) 11.50 m ve temel genişliği (B) 10 m alınmıştır. R ise 5 m'dir.

EK 3'de verilen presiyometre kuyu loglarından yararlanılarak;

+3R ile +R aralığında net limit basınçların geometrik ortalaması alınarak P_{L1} hesaplanmıştır.

$$P_{L1} = \sqrt[4]{6.24 * 6.08 * 3.20 * 3.64}$$

$$P_{L1} = 4.58 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

+R ile -R aralığında net limit basınçların geometrik ortalaması alınarak P_{L2} hesaplanmıştır.

$$P_{L2} = \sqrt[6]{17.50 * 7.64 * 3.90 * 13.54 * 17.30 * 17.34}$$

$$P_{L2} = 11.33 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

-R ile -3R aralığında net limit basınçların geometrik ortalaması alınarak P_{L3} hesaplanmıştır.

$$P_{L3} = \sqrt[3]{46.98 * 60.19 * 10.84}$$

$$P_{L3} = 31.30 \text{ kg/cm}^2 \text{ dir.}$$

Net limit basınç hesaplanan P_{L1} , P_{L2} ve P_{L3} değerlerinin geometrik ortalaması alınarak hesaplanır.

$$P *_{Le} = \sqrt[3]{4.58 * 11.33 * 31.30}$$

$$P *_{Le} = 11.75 \text{ kg/cm}^2 \text{ bulunur.}$$

Taşıma gücü faktörü k;

$$Df/B = 11.5/10 = 1.15 \text{ Şekil 5.6'dan kaya için } k = 1.3 \text{ alınır.}$$

Sürsaj yükü q_o ;

$$q_o = \rho * h$$

$$q_o = 2 \text{ g/cm}^3 * 1150 = 2300 \text{ g/cm}^2 = 2.3 \text{ kg/cm}^2$$

İzin verilebilir taşıma gücü,

$$q_a = q_o + k/3 (p_l - p_o)$$

$$q_a = 2.3 + 1,3/3 * 11.75$$

$$q_a = 7.39 \text{ kg/cm}^2 = 724 \text{ kPa} \text{ bulunur.}$$

Presiyometre deneyinden elde edilen verilerle proje yükü altında oluşacak oturmayı Eşitlik 5.5 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$S_T = S_1 + S_2 + S_3 \quad (5.5)$$

S_1 : Mikro deformasyonlarla oluşan oturma (ihmal edilebilir)

S_2 : Hacimsel değişme olmaksızın kayma deformasyonlarına bağlı oturma (E_B)

S_3 : Hacimsel değişmelere bağlı oturma (E_A)

S_2 oturması aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$S_2 = \frac{1 + \mu}{3 * E_B} * P * R_o * \left(\lambda_2 \frac{R}{R_o} \right)^\alpha \quad (5.6)$$

S3 oturması aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$S_3 = \frac{R * \alpha * \lambda_3}{4.5 * E_A} * P \quad (5.7)$$

Eşitlik 5.6 ve 5.7'de;

E_A : Elastisite modülü (hacimsel değişmelerin etkidiği bölge içindeki E)

E_B : Elastisite modülü (kayma deformasyonlarına bağlı oturma bölgesindeki E)

μ : Zeminin poisson oranı

P: Taşıma basıncı veya proje yükünden oluşan gerilme (kg/cm^2)

R_0 : Röper çapı (30 cm alınır) (probun çapının deneyin temsil ettiği çapa oranı)

R: Temel yarı çapı (m) (B/2)

α : Zeminin cinsine ve E/P_L oranına bağlı katsayı (Çizelge 5.4.)

λ_2 - λ_3 : Temelin L/B oranına bağlı şekil faktörünü (Çizelge 5.5.) ifade etmektedir.

$E_A=E_1$: Temel seviyesi ile -R arasındaki E değerleri

Kayma deformasyonlarına bağlı oturma bölgesindeki elastisite modülü (E_B) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$E_B = \frac{3.2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85 * E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}} \quad (5.8)$$

Burada;

E_2 : -R ile -2R arasındaki elastisite modülü

$E_{3/4/5}$: -3R ile -5R arasındaki elastisite modülünü ifade etmektedir.

SK 2 numaralı sondaj için EK 3'de verilen presiometre kuyu loglarına göre oturma hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

0 ile -R aralığında

$$\frac{1}{E_A} = \frac{1}{E_1} = \frac{1}{500} \left(\frac{150}{355} + \frac{150}{274} + \frac{150}{329} + \frac{50}{45} \right) \quad (R=5m=500 \text{ cm})$$

$E_1 = 197.08 \text{ kg/cm}^2$ hesaplanır.

-R, -2R aralığında

$$\frac{1}{E_2} = \frac{1}{500} \left(\frac{200}{56} + \frac{200}{55} + \frac{100}{166} \right)$$

$E_2 = 64 \text{ kg/cm}^2$ hesaplanır.

-3R, -5R aralığında

$$E_{3/4/5} = \frac{1}{1500} \left(\frac{190}{96} + \frac{190}{81} + \frac{190}{36} + \frac{190}{54} + \frac{190}{107} + \frac{190}{153} + \frac{190}{131} + \frac{170}{149} \right)$$

$E_{3/4/5} = 80.08 \text{ kg/cm}^2$

Eşitlik 5.8'e göre E_B aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_B = \frac{3.2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85 * E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}} = \frac{3.2}{\frac{1}{197} + \frac{1}{0.85 * 64} + \frac{1}{80}} = 89 \text{ kg/cm}^2 \text{ hesaplanır.}$$

Çizelge 5.4. Zemin cinsine ve E_M/P_L oranına bağlı katsayı (Menard 1956)

Kaya Tipi	Aşırı kırıklı kayalar	Diğerleri	Hafif kırıklı/aşırı ayrılmış
α	1/3	1/2	2/3

Zemin Cinsi	Kil		Silt		Kum		Kum ve Çakıl	
E_M/P_L	E_M/P_L	α	E_M/P_L	α	E_M/P_L	α	E_M/P_L	α
Aşırı Konsolide	>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normal Konsolide	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Ayrılmış	7-9	1/2				1/3		1/4

Çizelge 5.5. Temelin L/B oranına bağlı olan şekil faktörü (Menard 1956)

L/B	1		2	3	5	20
	Daire	Kare				
λ_2	1.0	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65
λ_3	1.0	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50

$$S_T = S_1 + S_2 + S_3$$

$$\mu: 0.33$$

P: Proje yükü

$$R_o: 30 \text{ cm}$$

$$R: 10/2 = 5 \text{ m} = 500 \text{ cm}$$

$$\lambda_2: 2.65 \text{ (Çizelge 5.5.)}$$

$$\lambda_3: 1.5 \text{ (Çizelge 5.5.)}$$

$$\alpha: 1/4 \text{ (Çizelge 5.4.)}$$

S1 ihmal edildiğinden;

$$S_T = S_2 + S_3$$

$$S_T = \frac{1 + \mu}{3 * E_B} * P * R_o * \left(\lambda_2 \frac{R}{R_o} \right)^\alpha + \frac{R * \alpha * \lambda_3}{4.5 * E_A} * P$$

$$S_T = \frac{1 + 0.33}{3 * 89} * P * 30 * \left(2.65 \frac{500}{30} \right)^{1/4} + \frac{500 * 1/4 * 1.5}{4.5 * 197} * P$$

$$S_T = 0.385P + 0.21P$$

$$S_T = 0.59 P$$

4.08 kg/cm²'lik proje yükü altında oturma;

$$S_T = 0.59 * 4.08 = 2.40 \text{ cm bulunur.}$$

SK 4 numaralı sondaj için EK 3'de verilen presiometre kuyu loglarına göre oturma hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

0, -R aralığında

$$\frac{1}{E_A} = \frac{1}{E_1} = \frac{1}{500} \left(\frac{170}{218} + \frac{170}{233} + \frac{160}{256} \right)$$
$$E_1 = 234.25 \text{ kg/cm}^2$$

-R, -2R aralığında

$$\frac{1}{E_2} = \frac{1}{500} \left(\frac{225}{1051} + \frac{225}{1809} + \frac{50}{311} \right)$$
$$E_2 = 1001.53 \text{ kg/cm}^2$$

-3R, -5R aralığında

0'dır.

Eşitlik 5.8.'e göre E_B aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$E_B = \frac{3.2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85 * E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}} = \frac{3.2}{\frac{1}{234.25} + \frac{1}{0.85 * 1001.53} + 0}$$

$$E_B = 587.78 \text{ kg/cm}^2$$

S1 ihmal edildiğinde

$S_T = S_2 + S_3$ olur.

Eşitlik 5.6 ve 5.7'in toplamından S_T aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S_T = \frac{1 + \mu}{3 * E_B} * P * R_o * \left(\lambda_2 \frac{R}{R_o} \right)^\alpha + \frac{R * \alpha * \lambda_3}{4.5 * E_A} * P$$

Burada;

μ : 0.33

P: Proje yükü

R_o : 30 cm

R: $10/2 = 5m = 500cm$

λ_2 : 2.65 (Çizelge 5.5)

λ_3 : 1.5 (Çizelge 5.5)

α : 1/4 (Çizelge 5.4) olarak hesaba katılır.

$$S_T = \frac{1 + 0.33}{3 * 587.78} * P * 30 * \left(2.65 \frac{500}{30} \right)^{1/4} + \frac{500 * 1/4 * 1.5}{4.5 * 234.25} * P$$

$$S_T = 0.058 P + 0.178 P$$

$$S_T = 0.236 P$$

7.39 kg/cm² lik proje yükü altında oluşan oturma;

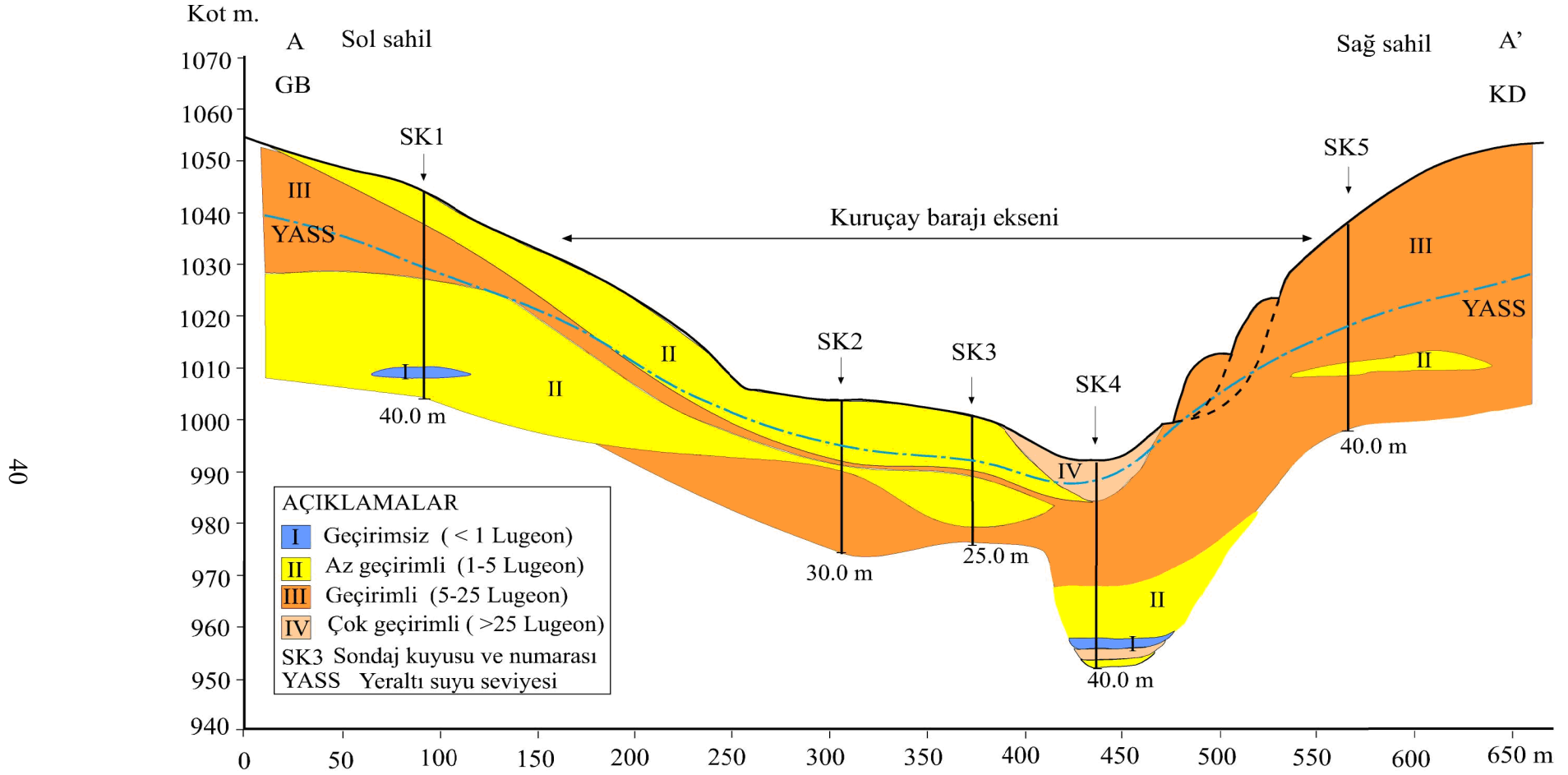
$$S_T = 0.236 * 7.39$$

$$S_T = 1.74 \text{ cm olur.}$$

Geçirimsizlik

Baraj eksen yerindeki birimlerin geçirimsizlik katsayısını ölçmek amacıyla Lugeon basınçlı su deneyi yapılmıştır. Lugeon deneyi sonuçlarına göre SK 1 numaralı kuyuda 0.00–6.00 m az geçirimsiz, 6.00 –17.30 m geçirimsiz, 17.30–33.00 m az geçirimsiz, 33.00–36.00 m geçirimsiz, 36.00–40.00 m az geçirimsizdir. SK 2 numaralı kuyuda 0.00–13.00 m az geçirimsiz, 13.00-14.00 m geçirimsiz, 14.00–15.00 m az geçirimsiz, 15.00–30.00 m geçirimsizdir (Şekil 5.7). SK 3 numaralı kuyuda Lugeon deneyi yapılamamıştır, ancak sondaj sırasında geçilen birimlere ve diğer kuyularla yapılan korelasyona göre, 0.00-11.00 m az geçirimsiz, 11.00 m-12.00 m geçirimsiz ve 12.00-22.00 m az geçirimsiz, 22.00-25.00 m geçirimsiz olduğu tahmin edilmiştir. SK 4 numaralı kuyuda 0.00 – 8.00 m çok geçirimsiz, 8.00–23.00 m geçirimsiz, 23.00–33.00 m az geçirimsiz, 33.00–36.00 m geçirimsiz, 36.00–38.00 m çok geçirimsiz, 38.00-40.00 m az geçirimsizdir. SK 5 numaralı kuyuda ise 0.00–27.00 m geçirimsiz, 27.00–29.00 m az geçirimsiz ve 29.00-40.00 m geçirimsizdir. Birimlerin geçirimsizliği, içerisindeki merceksel çakıl ve kum depolarının dağılımına bağlı olarak yakın mesafelerde değişmektedir.

Şekil 5.7 Kuruçay baraj eksen yerinin Lugeon değerlerine göre geçirimsizliği



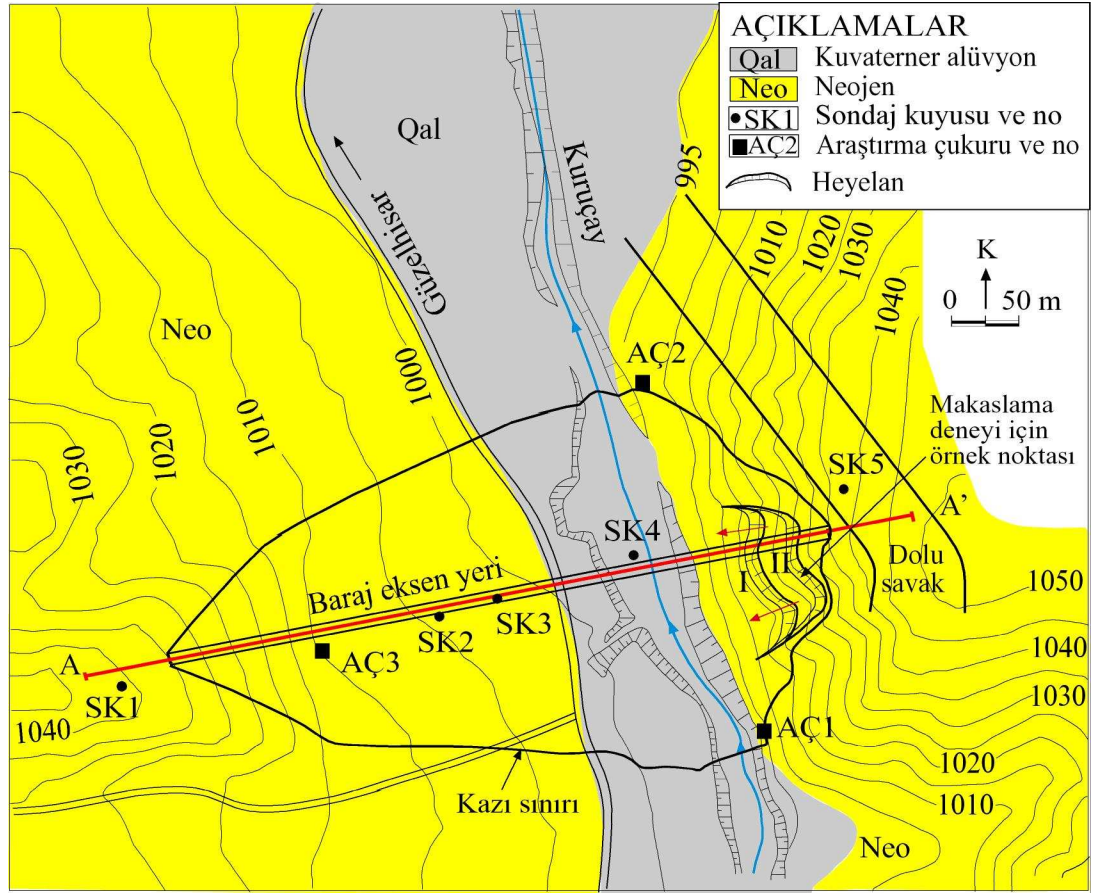
Şekil 5.7 Kuruçay baraj eksen yerinin Lugeon değerlerine göre geçirimsizliği

6. BARAJ EKSEN YERİNİN DURAYLILIĞI

İnceleme alanında Dolsar (2003) tarafından yapılan çalışmalarda, baraj eksen yerinin 1004 m talveg kotunda planlanması düşünülmüş; ancak sağ yamaçta görülen heyelan nedeniyle baraj eksen yerinin 992 m talveg kotunda yapılması planlanmıştır. Bu çalışma ilk eksen yerinin yaklaşık 500 m akış aşağısında seçilen yeni eksen yerinde yapılmıştır. Bölüm 6.1’de tanımlanan yeni eksen yeri sağ yamacındaki heyelanın duraylılık analizleri yapılmıştır.

6.1 Heyelanın Morfolojisi

Kuruçay baraj yeri sağ yamacında belirlenen heyelan Şekil 6.1’deki mühendislik jeolojisi haritasında ve Şekil 6.2 ’deki mühendislik jeolojisi kesitinde gösterilmiştir.

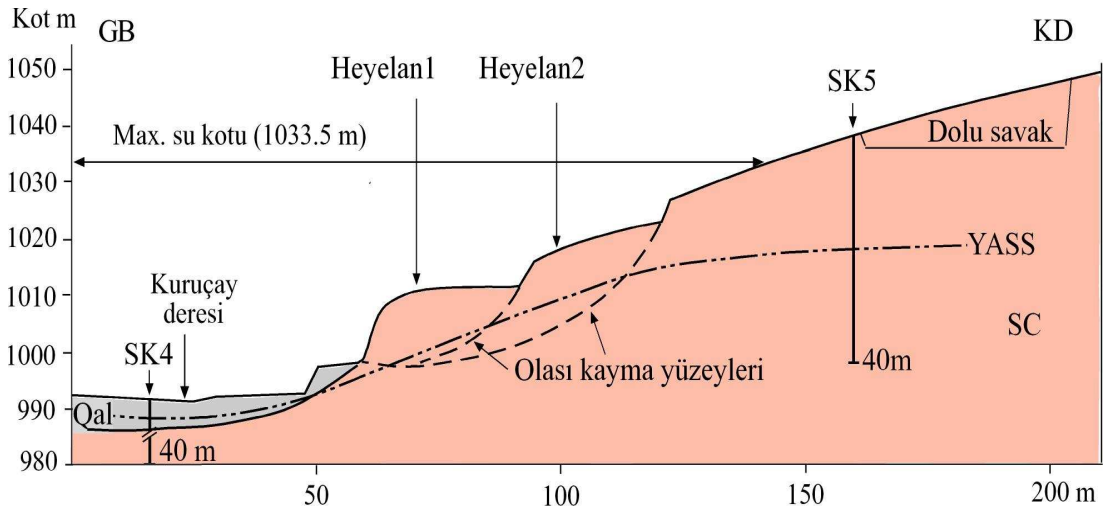


Şekil 6.1. Kuruçay baraj eksen yeri mühendislik jeolojisi haritası

Heyelan, D-B yönünde 45 m ve K-G yönünde 102 m boyutlarında olup yaklaşık 4590 m²'lik alanı kaplamaktadır. Ardışıklı iki heyelan meydana gelmiştir. Birinci heyelan kuzeydoğuda 1016 m kotunda başlayıp, güneybatıya doğru uzanarak yaklaşık 998 m kotunda sonlanmaktadır.

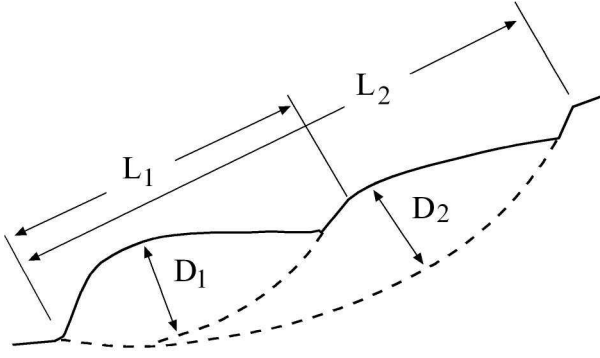
Heyelanın ayna kısmı 1016 m - 1012 m kotlarında yer almaktadır. Birinci heyelanın gerilemesiyle oluşan ikinci heyelanın esas aynası 1027 m kotundan geçmektedir. Her iki heyelanın topuğu yaklaşık 998 m kotunda sonlanmaktadır. İkinci heyelanın esas aynasının eğimi 85° batı olup 1027 m -1022 m kotları arasındadır (Şekil 6.1-6.2).

Heyelanlı alanda 50 cm kalınlığındaki yamaç molozu altında Neojen yaşlı killi kum bulunmaktadır. Kayma, killi kum içerisindeki killi seviyelerde meydana gelmektedir. Yeraltı suyu seviyesi dereye yakın kesimlerde 6 m, yamaçlarda ise 10 m' dir. Heyelanları kesen sondaj verileri olmadığından kayma yüzeyleri, heyelanların esas aynalarının eğimi, başlangıç ve bitiş noktaları dikkate alınarak tahmini olarak çizilmiştir. Birimlerin yatay ve dikey yöndeki dağılımları Şekil 6.1'deki mühendislik jeolojisi haritasında ve heyelanın meydana geldiği sağ sahilin mühendislik jeolojisi kesiti olan Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. Kuruçay baraj eksen yerinde sağ yamacındaki heyelanın mühendislik jeolojisi kesiti

Mühendislik jeolojisi kesitinde görülen birinci ve ikinci heyelanın, toplam uzunluğu (L) ve maksimum derinliği (D) Şekil 6.3’de verilmiştir. Birinci heyelanın toplam uzunluğu (L_1) 39 m, maksimum derinliği (D_1) 13.5 m’dir. İkinci heyelanın ise toplam uzunluğu (L_2) 69 m, maksimum derinliği (D_2) 12 m’dir.



Şekil 6.3 Birinci ve ikinci heyelanın uzunluğu (L) ve derinliği (D)



Şekil 6.4 Baraj yeri sağ sahilindeki heyelanın 2005 yılına ait görüntüsü (Batıdan Doğuya bakış)



Şekil 6.5 İkincil heyelanın ayna kısmı (Batıdan Doğuya bakış)



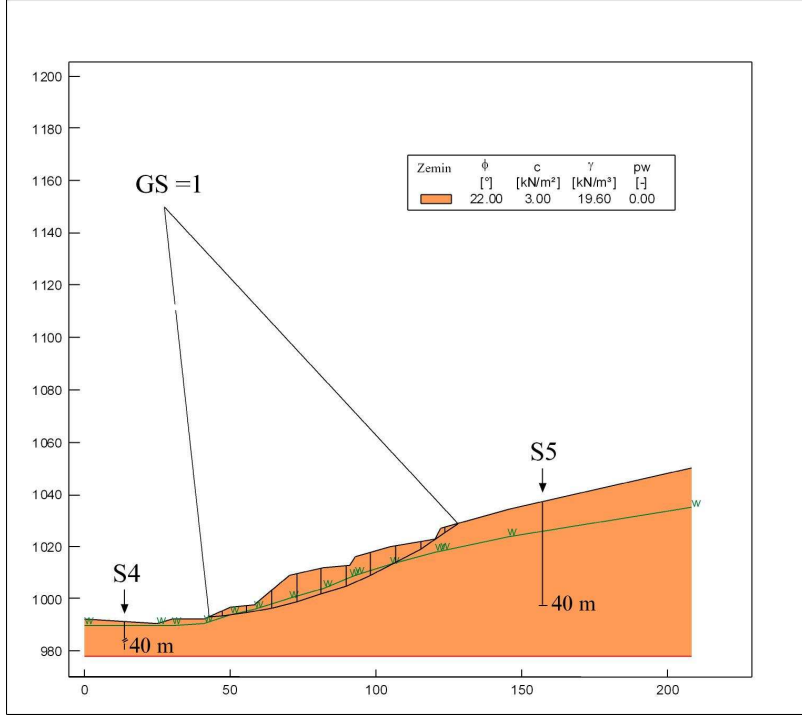
Şekil 6.6 Olası kayma yüzeyi (Batıdan Doğuya bakış)



Şekil 6.7 Olası kayma yüzeyinin yakından görünüşü

6.2 Heyelanın Duraylılık Analizleri

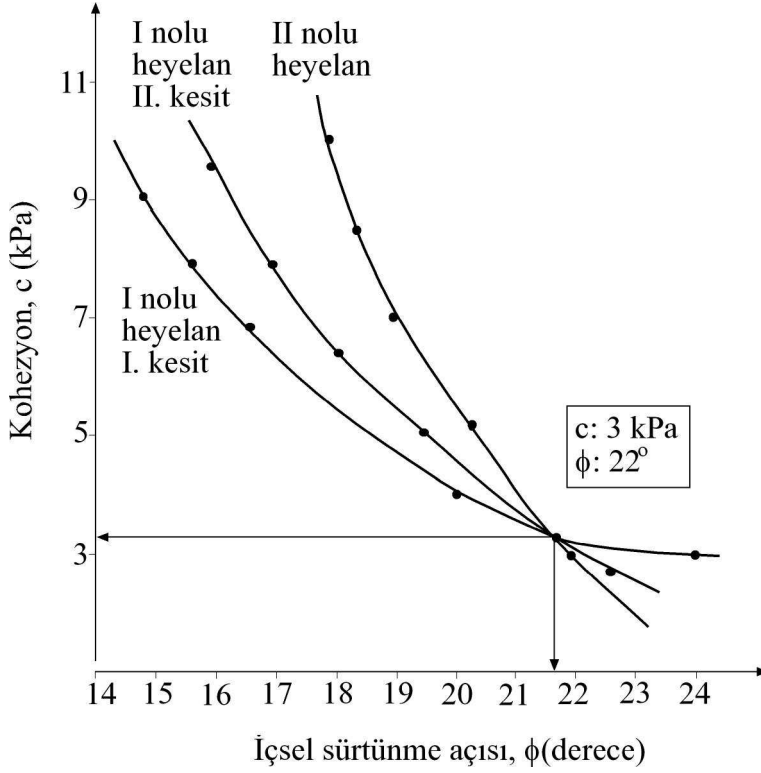
İnceleme alanındaki birinci heyelan ile ikinci heyelan dairesel kayma şeklinde gelişmektedir. Şekil 6.2’de verilen kesit hattı boyunca GGU-Stability programı ile Bishop (1955) yöntemine göre statik ve dinamik koşullar için kayma daireleri belirlenmiş ve geriye dönük duraylılık analizi yapılmıştır. Analizde killi kumun doğal birim ağırlığı 19.6 kN/m^3 , artık kohezyon 3 kPa ve artık içsel sürtünme açısı 22° alınmıştır (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 Statik koşullar için GS'nin 1 olduğu kayma dairesi

Bölüm 5'de değinilen laboratuvarında CU şartlarda yapılan kesme kutusu deneyi sonucunda doruk kohezyon değeri (c_p) 15 kPa, doruk içsel sürtünme açısı (ϕ_p) 25°, ayrıca artık kohezyon (c_r) 8 kPa, artık içsel sürtünme açısı (ϕ_r) 21° bulunmuştur.

Bunun yanı sıra birinci ve ikinci heyelanın geriye dönük analizleri yapılmıştır. Her iki heyelan için farklı artık kohezyon ve artık içsel sürtünme açısı değerlerinde statik koşullar için kritik denge durumu (GS=1) sağlanmıştır Şekil 6.9'da birinci ve ikinci heyelan için artık kohezyon (c_r) 3 kPa, artık içsel sürtünme açısı (ϕ_r) 22° alınmıştır. İnceleme alanının üçüncü derece deprem bölgesi içerisinde olduğu göz önüne alınarak yatay yer ivmesi $a = 0.2g$ alınmıştır. Pseudostatik katsayı (k_h) 0.02 elde edilmiştir. Bu şartlarda yapılan dinamik analizde, statik şartlardaki GS=1 için elde edilen kayma dairesi GS=0.98 için elde edilmiştir. Buradan dinamik yükler altında emniyet katsayısının 0.02 azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.9 Heyelanın geriye dönük analizinden elde edilen c-φ grafiği

6.3 Kritik Şev Yüksekliğinin Hesaplanması

Bölüm 6.1’de tanımlanan baraj eksen yeri sağ sahilindeki heyelanlı bölgenin kazı sırasında göz önüne alınacak kritik şev yüksekliği Taylor (1937) eşitliği yardımı ile hesaplanmıştır.

$$H_{cr} = \frac{1}{N} \frac{c}{\gamma F} \quad (6.1.)$$

Eşitlikte;

H_{cr} : Kritik şev yüksekliği (m)

N: Duraylılık sayısı

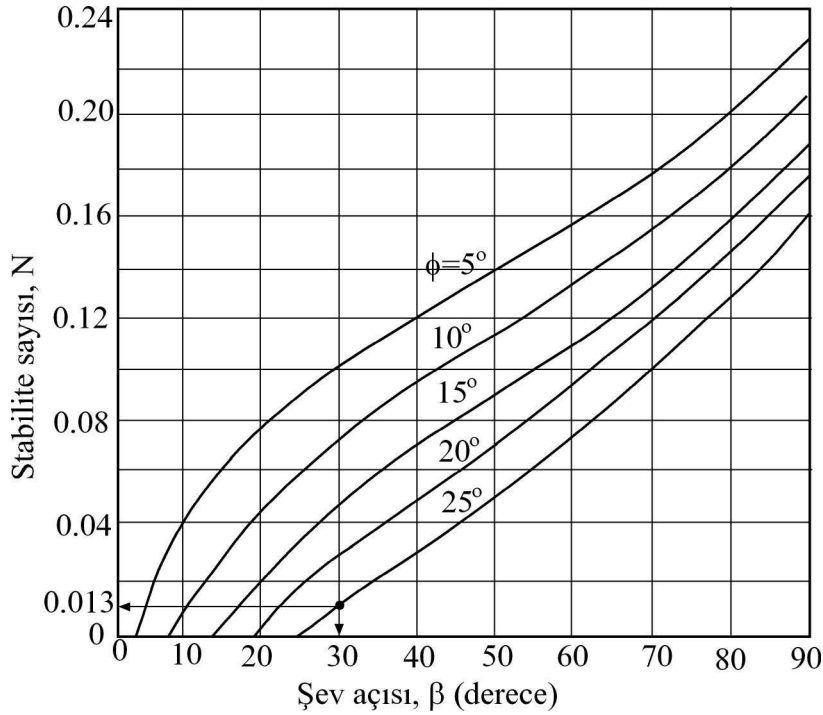
c: Kohezyon (kPa)

γ_n : Birim ağırlığı (kN/m^3)

F: Güvenlik katsayısı

- Talvegteki (992 m) alüvyon kalınlığı 6 m olup kaldırılmalıdır.
- Sağ sahil kazı şevi dolusavak yerinden itibaren talvege doğru hafriyat yapılmalıdır. Kazı derinliğinin heyelanın kayma yüzeyinin altına ineceği göz önüne alınarak sağ sahildeki şevin eğimi (β) 30° kabul edilmiştir.

Eşitlik 6.1’de makaslama deneyi sonucunda elde edilen doruk kohezyon 15 kPa ve doruk içsel sürtünme açısı 25° hesaba katılmıştır. Zeminin birim ağırlığı ise 19.6 kN/m^3 ’tür. Stabilite sayısı Şekil 6.10’daki grafikten 0.013 olarak bulunmuştur. Kazılan şevin inşaat sırasında gövde dolgusuyla dengeleneceği göz önünde bulundurularak geçici şevler için güvenlik katsayısı 1.3 kabul edildiğinde, kritik şev yüksekliği 45 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.10 Duraylılık sayısı için Taylor grafiği (Taylor 1937).

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, Kuruçay baraj yerindeki Neojen yaşlı birimlerin jeoteknik özellikleri ve baraj eksen yerindeki heyelanın duraylılık analizi yapılmıştır. Bu kapsamda arazi, laboratuvar, büro çalışmaları ve duraylılık analizinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

1. Baraj yerinde çokluk sırasına göre killi kum (SC), düşük plastisiteli kil (CL) ve killi çakıl (GC) grubu zeminler bulunmaktadır. Bu birimlerin kalınlıkları yatay ve düşey yönde değişmektedir.
2. SC ve CL grubu zeminler, XRD analizine göre smektit, kuvars, kalsit, feldispat, amorf silika, illit, klorit minerallerinden oluşmaktadır. Kuvars, kalsit, feldispat, ve amorf silikanın Neojen ve daha yaşlı birimlerden geldiği, kaolinit, illit, simektit ve kloritin Tekke volkanitlerinin bozunması sonucu oluştuğu düşünülmektedir.
3. Lugeon basınçlı su deneyi sonuçlarına göre baraj eksen yerindeki CL türü zeminler “geçirimsiz” ve “az geçirimli”, SC ve GC türü zeminler “geçirimli” ve alüvyon ise “çok geçirimli” dir. CL içerisindeki SC ve GC türü zeminlerin merceksel ve bant halinde bulunması geçirimliliği önemli oranda değiştirmektedir. Baraj eksen yerindeki zeminlerin geçirimliliği enjeksiyon yöntemi ile azaltılmalıdır.
4. Zeminlerin taşıma gücü ve oturma miktarı presiyometre deneyi ile incelenmiştir. İzin verilebilir taşıma gücü 400 kPa ile 724 kPa arasında değişmektedir. Oturma miktarı 1.74 cm ile 2.40 cm arasındadır. Bu sonuçlara göre baraj yerinde taşıma gücü ve oturma problemi beklenmemektedir.
5. Kuruçay barajı eksen yeri sağ sahilinde doğu-batı yönünde 45 m ve kuzey-güney yönünde 102 m boyutunda gerileyen tip iki adet heyelan mevcuttur.

6. Heyelanın kayma yüzeyinden alınan 5 adet örselenmemiş örnek kesme kutusu deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarına göre makaslama gerilmesi-normal gerilme grafiği (τ - σ) çizilerek doruk kohezyon (c_p) 15 kPa, doruk içsel sürtünme açısı (ϕ_p) 25° , artık kohezyon (c_r) 8 kPa ve artık içsel sürtünme açısı (ϕ_r) 21° hesaplanmıştır.

7. Birinci heyelan ve bu heyelanın gerilmesi ile oluşan ikinci heyelan dairesel kayma şeklinde gelişmektedir. Heyelanların GGU-Stability programı ile Bishop (1955) yöntemine göre statik ve dinamik koşullar için kayma daireleri belirlenmiş ve üç kesit hattı için geriye dönük duraylılık analizi yapılmıştır. Güvenlik katsayısının 1 için yapılan geriye dönük analiz sonuçlarına göre artık kohezyon 3 kPa ve artık içsel sürtünme açısı 22° elde edilmiştir.

Aynı şartlarda, üçüncü derece deprem bölgesindeki inceleme alanı için pseudostatik katsayı (k_h) 0.02 için yapılan dinamik analiz sonucunda güvenlik katsayısı 0.98 elde edilmiştir.

8. Baraj eksen yeri sağ sahilindeki heyelanlı bölgenin kazı sırasında göz önüne alınacak kritik şev yüksekliği (H_{cr}); doruk kohezyon 15 kPa ve doruk içsel sürtünme açısı 25° , şev açısı 30° , zeminin birim ağırlığı 19.6 kN/m^3 , stabilite sayısı 0.013, geçici şevler için güvenlik katsayısı 1.3 kabul edildiğinde yaklaşık 45 m hesaplanmıştır.

9.

10. Baraj gövde inşaatı sırasında kazının sağ sahilde inşaatı düşünülen dolu savak yerindeki tepeden itibaren başlayarak talvege doğru yapılması kazı ve iş güvenliği açısından daha uygun olacaktır. Kazı sırasında heyelanların kayma yüzeyleri üzerindeki zeminin tamamen sıyırılması gerekmektedir. Temel kazısından sonra gövde dolgusu işlemlerinin hemen başlaması şev güvenliği açısından önem kazanacaktır.

11. Heyelan üzerinde jeoteknik amaçlı sondaj yapılamadığından kayma dairesi kesin olarak belirlenememiştir. Kesme kutusu deneyleri drenajlı ve konsolidasyonlu olarak yapılamamıştır. Yukarıda belirtilen şartlarda incelenen eksen yeri taşıma gücü ve oturma açısından baraj yapımına uygundur. Geçirgenliğin azaltılması için enjeksiyon yapılmalıdır. Sağ sahildeki heyelanın kaldırılması ve gövde altı kazısı ile şev eğiminin azaltılması ve dolu savak taban kotunun altında kazı yapılması gerekebilecektir.

KAYNAKLAR

- Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağer, Z., Soysal, Y. ve Sunu, O. 1979b. Eldivan-Şabanözü (Çankırı) dolayında ofiyolit yerleşimine ilişkin bulgular. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 9.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağer, Z., Soysal, Y. ve Sunu, O. 1980. Eldivan-Şabanözü (Çankırı) Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) dolayının jeolojisi. MTA raporu 6741.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağer, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y. 1982. Ankara-Elmadağ- Kalecik dolayının jeolojisi: MTA Raporu 7298 (yayımlanmamış).
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağer, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y. 1984. Ankara-Elmadağ- Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri. Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları, 20.
- ASTM D 4318 (American Society for Testing and Materials), 2000. Standart Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Indexo Soils. Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D 4719. American Society for Testing and Materials), 2000. Standart Test Method for Prebored Pressuremeter Testing in Soils. Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D 422 (American Society for Testing and Materials), 1963 (2002). Standart Test Method for Practicle-Size Analysis of Soil. Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D 3080. (American Society for Testing and Materials), 2004. Direct Shear Test. Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM D 2216 (American Society for Testing and Materials), 2005. Standart Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock By Mass. Annual Book of ASTM Standarts.
- Besbelli, A. ve Varol, B. 2002. Tekke volkanitlerinde hidrotermal alterasyon ürünü kil mineralleşmeleri (Çubuk, Ankara KD). MTA Dergisi 125, sayfa 121-137.
- Bishop, A. W. 1955. The use of slip circle in the stability analysis of earth slopes. Geotechnique, 5(1), 7-17.

- Çetin, Ö., Bakır, S., Yılmaz, R., Gülkan, P., Soyöz, S., Yılmaz, T., Unutmaz, B. ve Ozan, C. 2002. Jeoteknik Amaçlı Zemin Araştırmaları ve Yüzey Zeminlerinin Karakterize Edilerek Belgelendirilmesi Konulu Eğitim Semineri Notları, 198 s.
- DAD, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Deprem Araştırma Dairesi.
- Das, B. M. 1998. Principles of Geotechnical Engineering. Fourth Edition. PWS Publishing Company. 712p, Boston.
- DSİ, 1979. Çubuk Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu. 32 s, Ankara.
- DSİ, 1987a. Çubuk Projesi Mühendislik Jeolojisi Ön İnceleme Raporu. 23 s, Ankara.
- DSİ, 1987b. Çubuk Projesi Ön İnceleme Aşaması Doğal Yapı Gereçleri Raporu. 18 s, Ankara.
- DSİ, 2000. Yerbilimcilerin Jeoteknik Semineri, Ders Notları. 340 s, Ankara.
- DOLSAR, 2003. Ankara-Çubuk Projesi Mühendislik Hizmetleri Planlama Ara Raporu. Dolsar Mühendislik Limited Şirketi. 125 sayfa, Ankara.
- Hakyemez, Y., Barkut, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, S., Can, B., Dağar, Z. ve Sözeri, B. 1986. Yapraklı- İlgaz-Çankırı-Çandır dolayının jeolojisi. MTA raporu No: Z. 7966.
- Karakaş, Z. 2005. XRD analizi sonuçlarının yorumlanması. Sözlü görüşme. A.Ü.
- Kılıç, R. 1984. Çubuk I (Ankara) Barajında Siltasyonun İncelenmesi. Doktora Tezi. 81 s. Gazi Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Lugeon, M. 1933. Barrages et Geologie, Methods de recherches terrasement et impermeabilisation. Libraire des Iniversite.
- Menard, L. 1956. The Pressuremeter. Trans Tech Publications, 615 p. Germany.
- MTA, 1988. 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Çankırı E 16 Paftası, Ankara.
- Skempton, A.W. 1986. Standart penetration test procedures and the effects in sand of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation. Geotechnique, 36 (3), 425-447.
- Taylor, D. W. 1937. Stability of Earth Slopes. Journal of the Oston Society of Civil Engineers, Vol. 24, 197-246.
- TS EN 1900, 1997. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleleri. Türk Standartları Enstitüsü, 153 s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Aşiyen DOĞRU

Doğum Yeri: Ankara

Doğum Tarihi: 01. 01 1981

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu

Lise: 50. Yıl Lisesi 1998

Lisans: Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği 2002

Yüksek Lisans Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği 2005

EKLER

EK 1 DENEY SONUÇLARI ÇİZELGESİ

EK 2 XRD GRAFİKLERİ

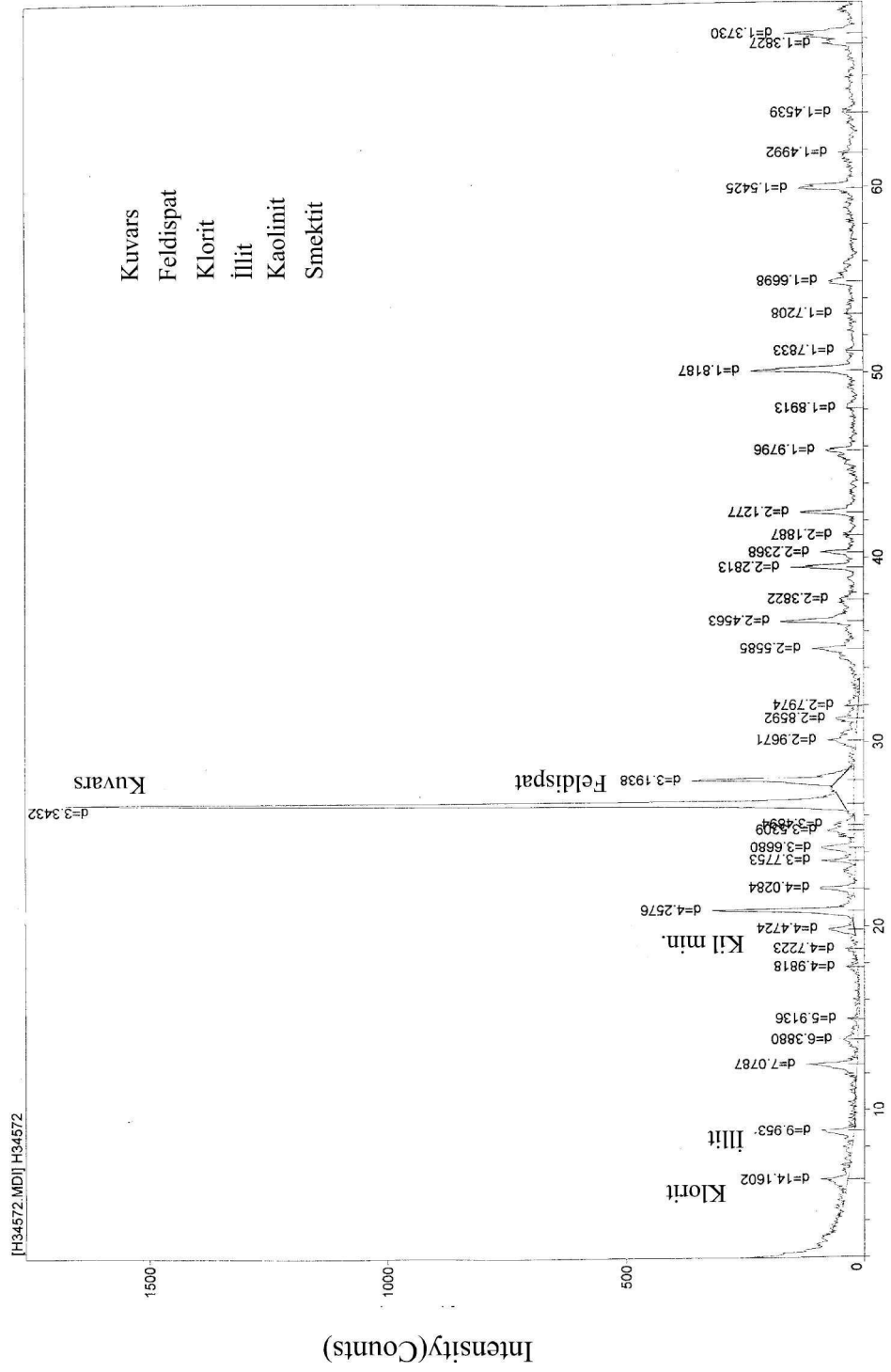
EK 3 PRESİYOMETRE LOGU

EK 4 PRESİYOMETRE DENEYİ GARFİĞİ

EK 1 Deney sonuçları çizelgesi

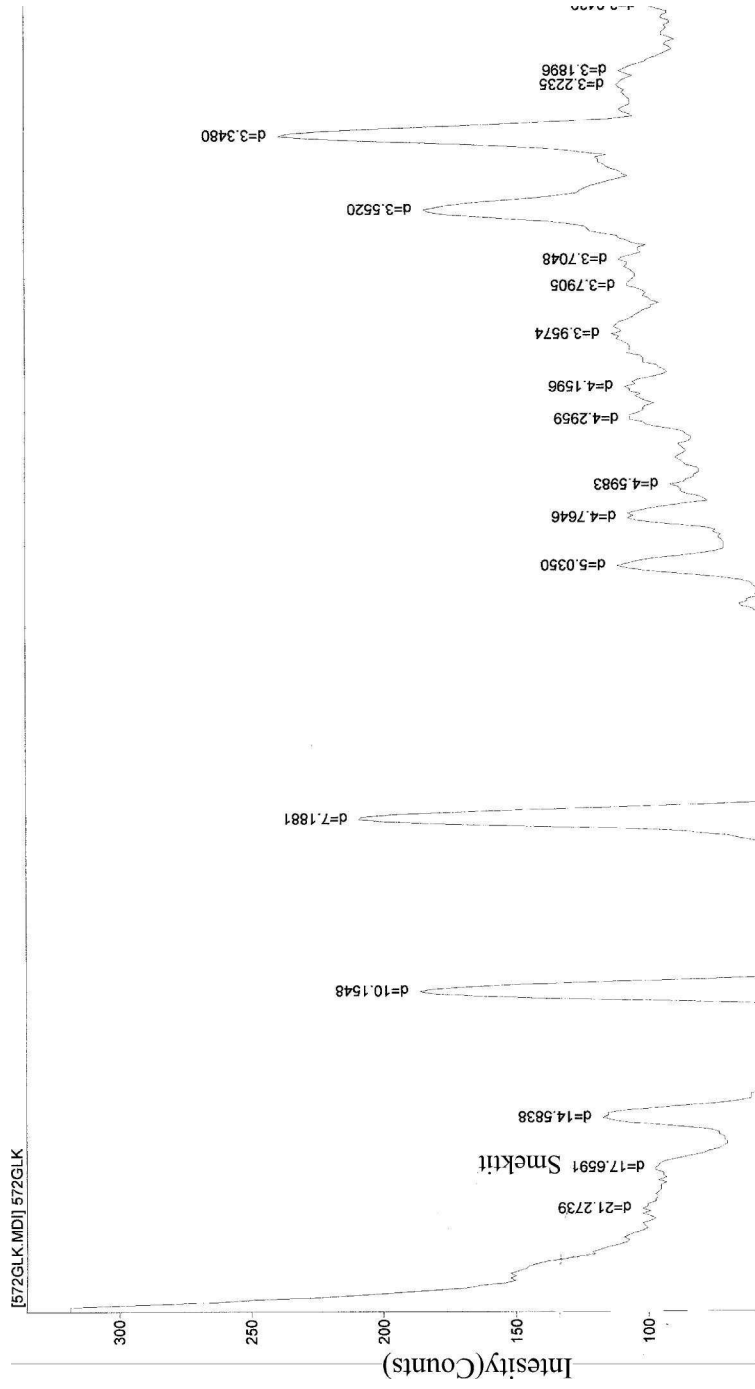
ANKARA ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ												PROJE : Kuruçay Barajı					
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ												DENEY SONUÇLARI			Tarih : 27.09.2003		
MÜHENDİSLİK JEOLOJİSİ LABORATUVARI																	
Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Doğ. su iç. ω (%)	Likidite İnd. LI %	Kıvam İnd K %	Atterberg Limitleri			Elek Analizi		Zemin gurup	Kıvamı	Kesme kutusu				
						LL%	PL%	PI%	+4	-200			c	φ	D.Tipi		
SK1	SPT4	6.00-6.50				21	5	16	4	20	SC						
	SPT7	10.30-11.00				31	16	15	0	42	SC						
	SPT10	15.30-15.60				26	15	11	15	36	SC						
SK2	SPT4	6.00-6.50				21	13	8	16	23	SC						
	SPT12	18.00-18.50				34	20	14	19	9	SC						
SK3	SPT7	11.00-11.50				20	13	7	8	28	SC						
	SPT14	23.00-23.50				26	17	9	0	53	CL						
SK4	SPT5	7.00-7.50				39	23	16	0	48	SC						
SK5	SPT16	26.50-27.00				45	27	18	0	61	ML						
	SPT18	28.10-28.30				44	25	19	1	53	CL						
AÇ1	1	2.80	6			26	16	10	11	15	SC						
	3	3.60	6			25	19	6	40	16	SC						
	4	5.00	14			28	16	12	27	25	SC						
AÇ2	4	3.00	18	0	1	40	18	22	2	61	CL	Yarı katı					
	5	4.00	19	-0.38	1.39	44	26	18	0	59	CL	Katı					
AÇ3	1	2.00	17	-0.55	1.55	48	28	20	31	54	CL	Katı					
	3	3.00	14			30	11	19	14	26	SC						
	4	4.00	25	0.33	0.66	41	17	24	3	52	CL	Plastik yumşak					
H1	1		22			40	29	11	13	53	SC		15	25	CU		
H2	2		24			40	29	11	13	53	SC		15	25	CU		
H3	3		16			40	29	11	13	53	SC		15	25	CU		
H4	4		12			43	26	17	10	44	SC		15	25	CU		
H5	5		24			43	26	17	10	44	SC		15	25	CU		

EK 2 Xrd Grafikleri



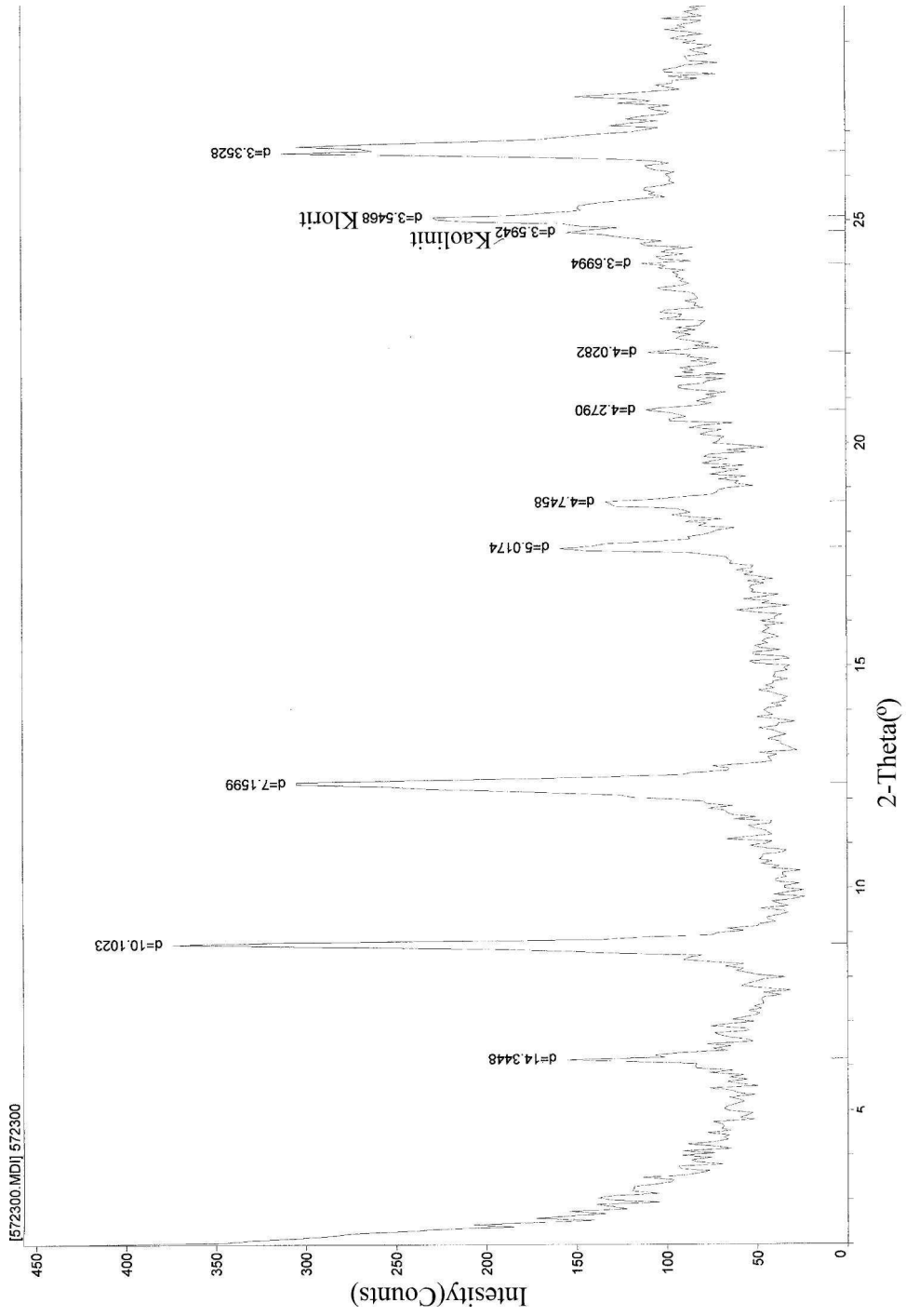
SK 3 SPT 7 numaralı örneğin XRD tüm kayaç analizi

EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



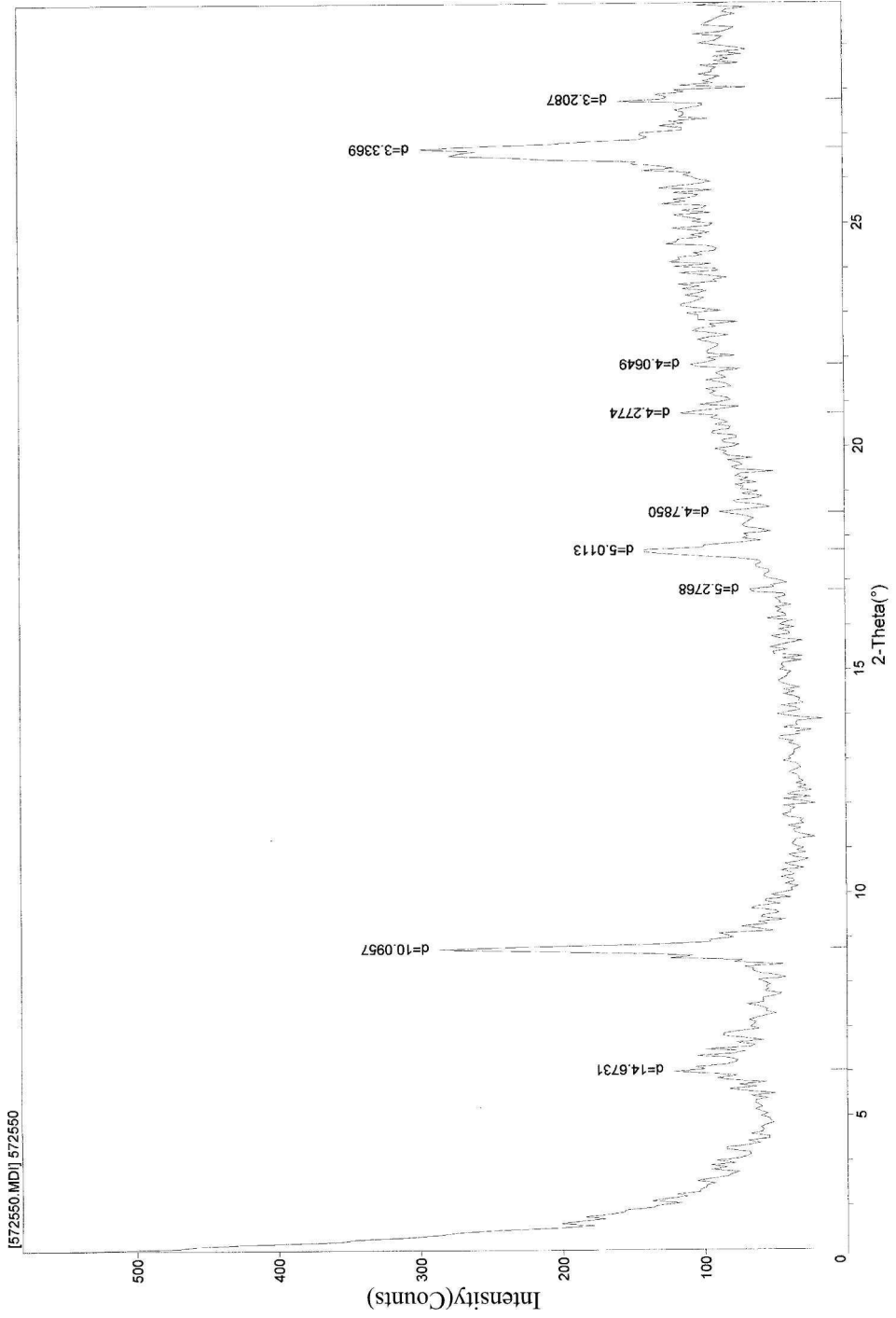
SK 3 SPT 7 numaralı örneğin XRD Glikollü çekimi

EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



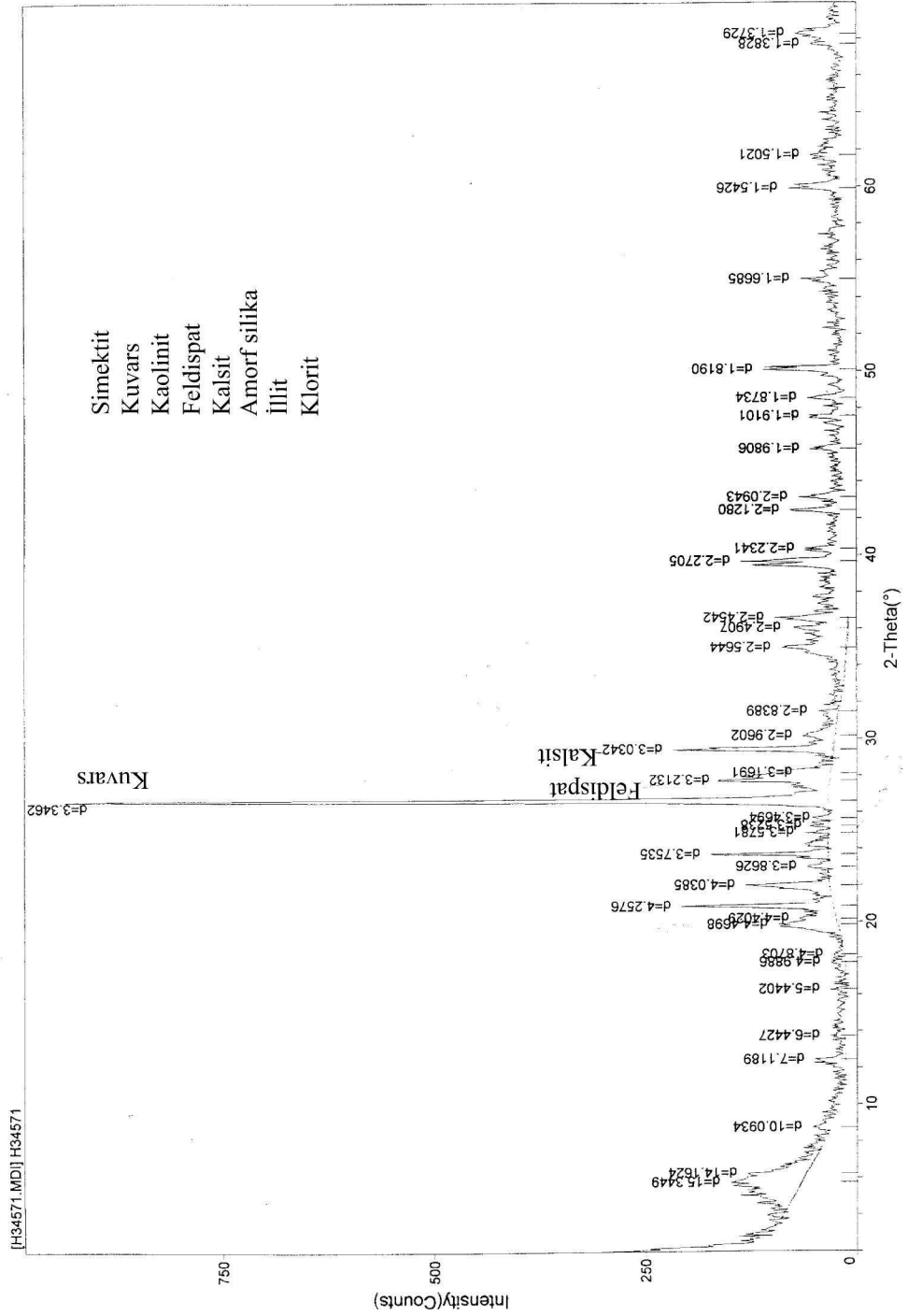
SK 3 SPT 7 numaralı örneğin XRD 300 dercede ısıtılarak yapılan çekimi

EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



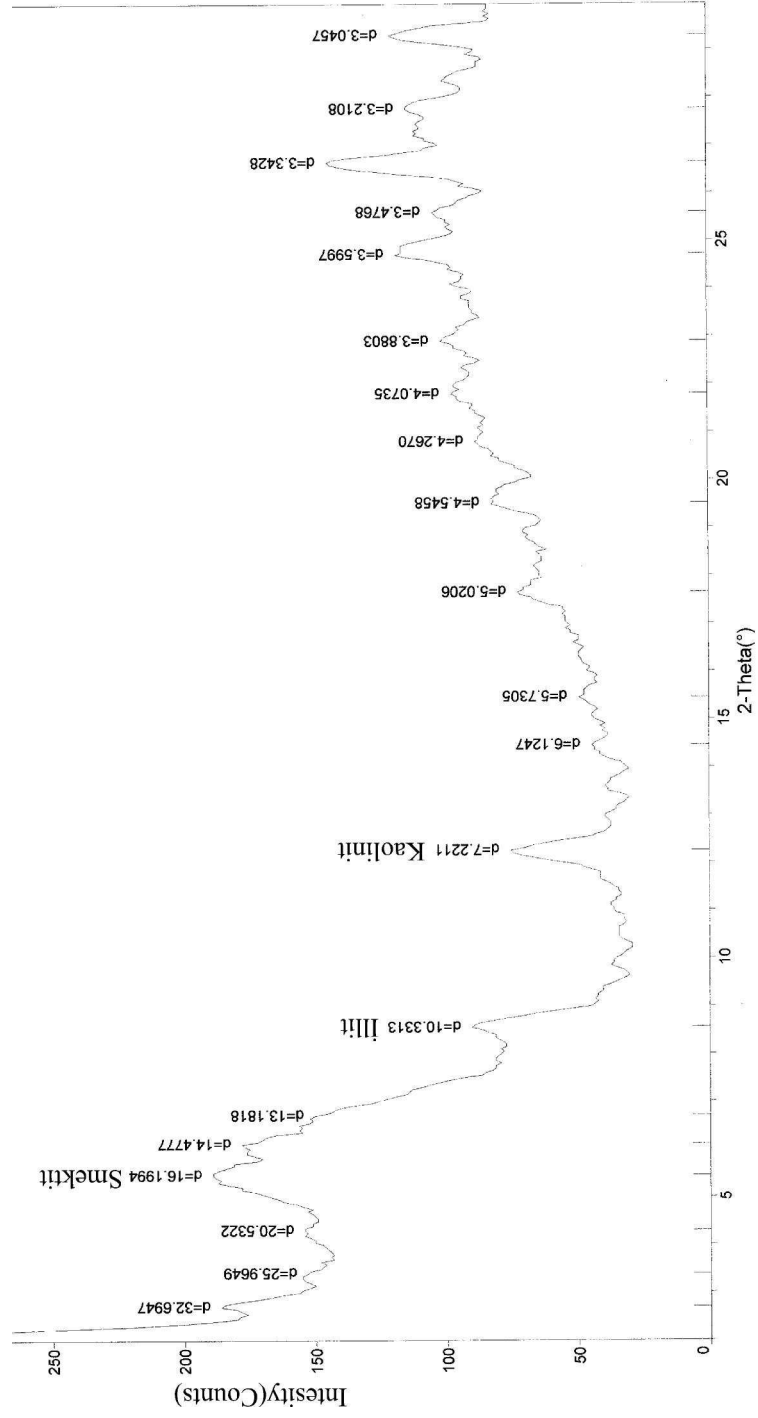
SK 3 SPT 7 numaralı örneğin XRD 550 derecede ısıtılarak yapılan çekimi

EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



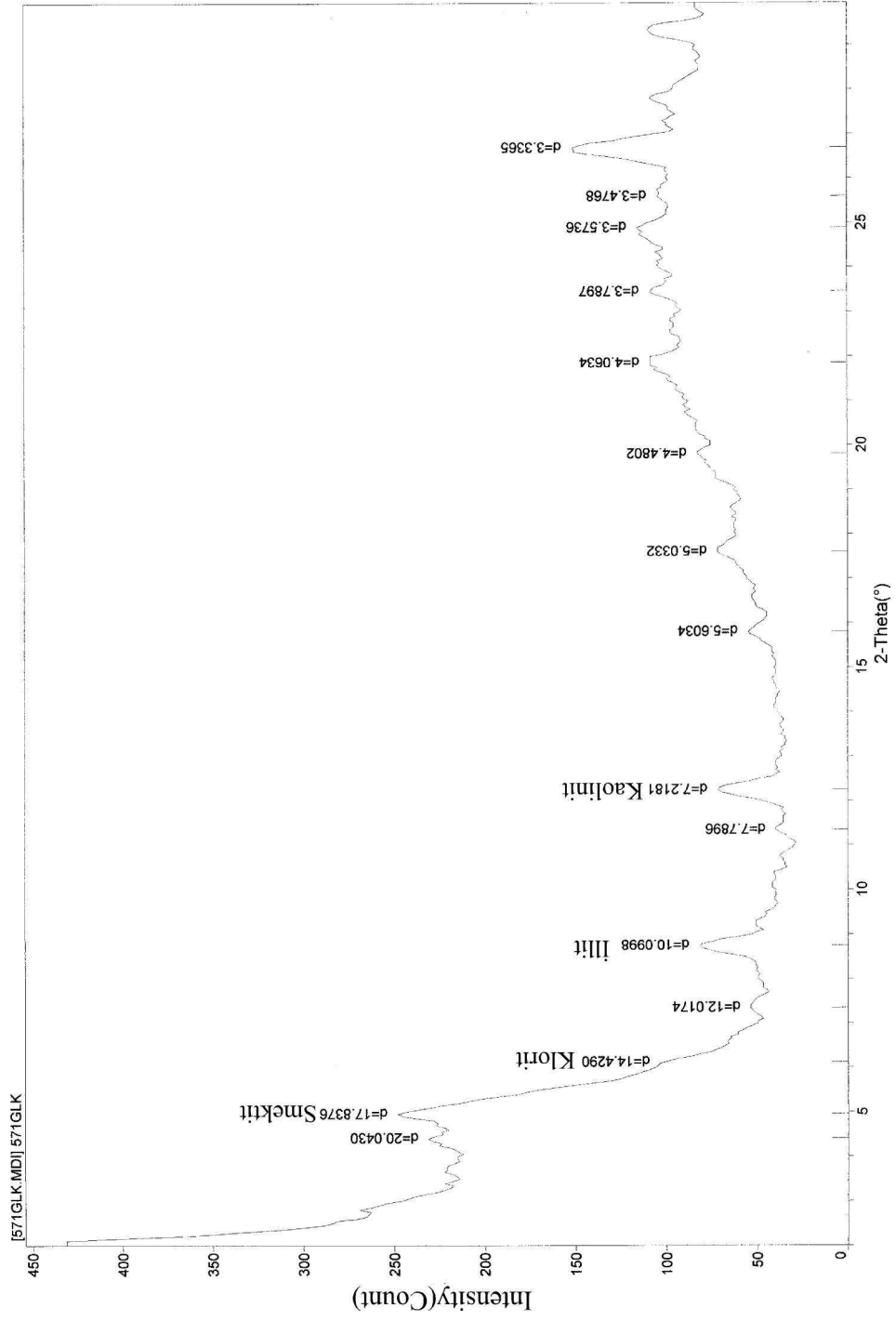
AÇ 3 N4 numaralı örneğin XRD tüm kayaç analizi

EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



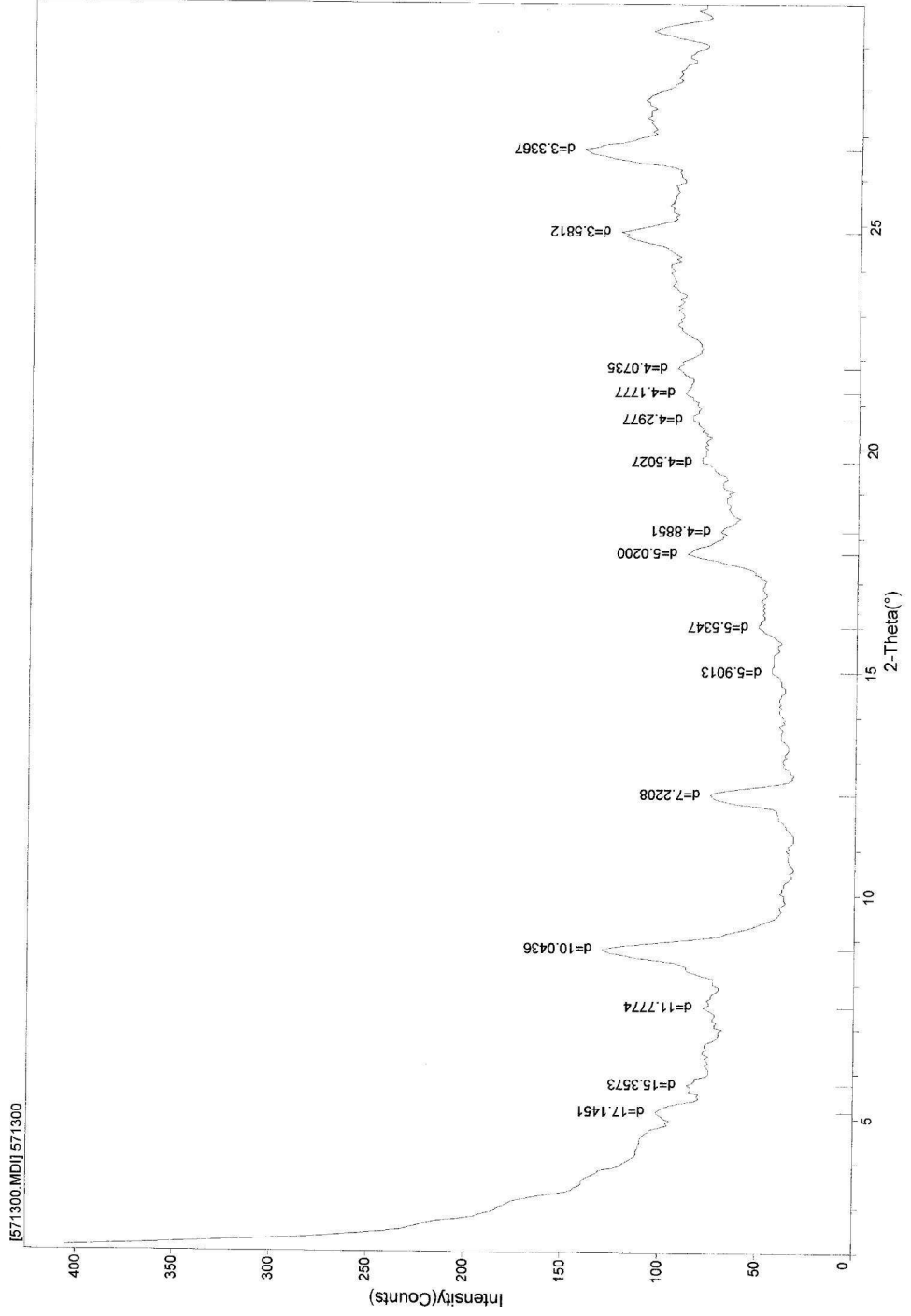
AÇ 3 4 numaralı örneğin XRD normal çekimi

EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



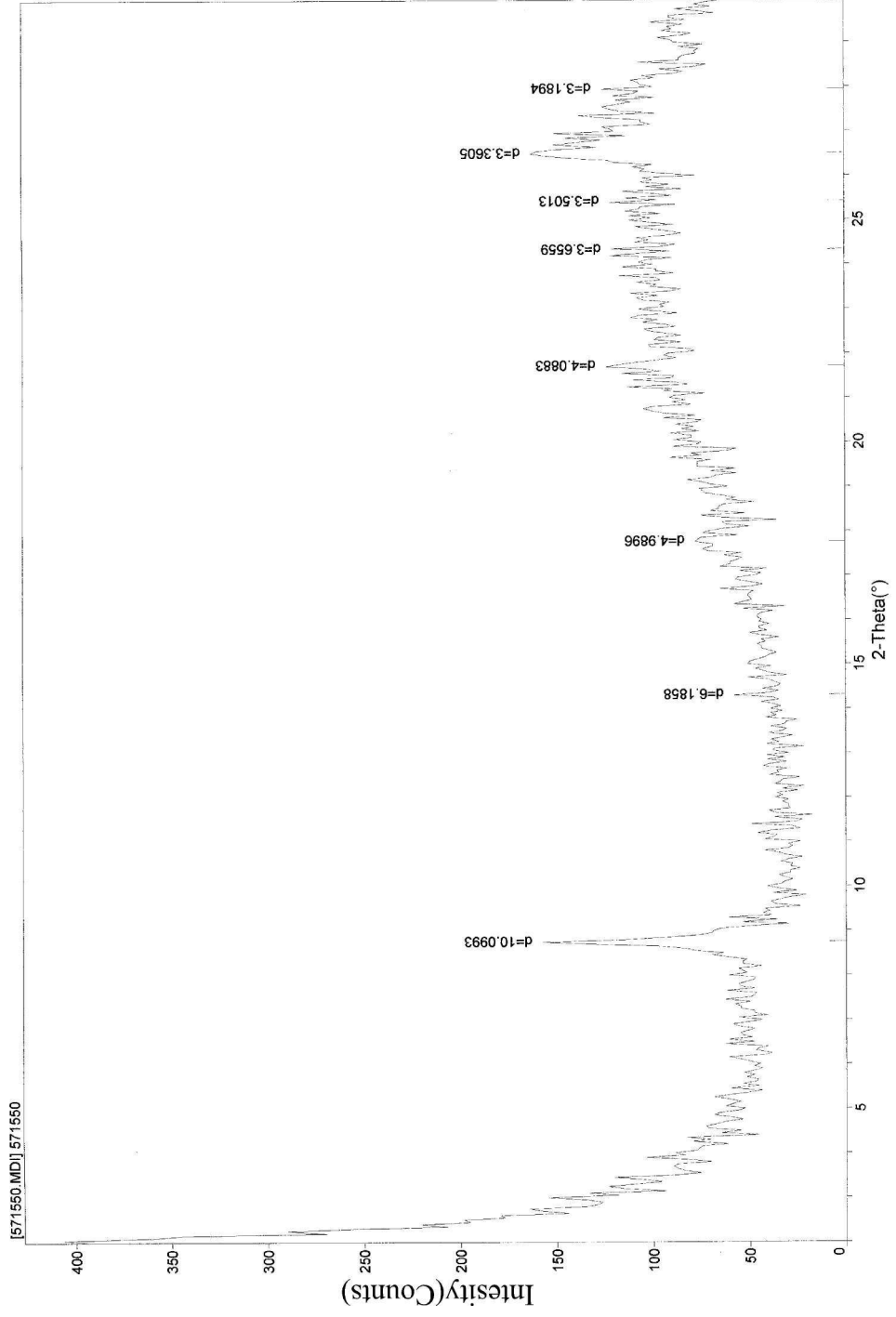
AÇ 3 N4 numaralı örneğin XRD Glikollü çekimi

EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



AÇ 3 N4 numaralı örneğin XRD 300 derecede ısıtılarak yapılan çekimi

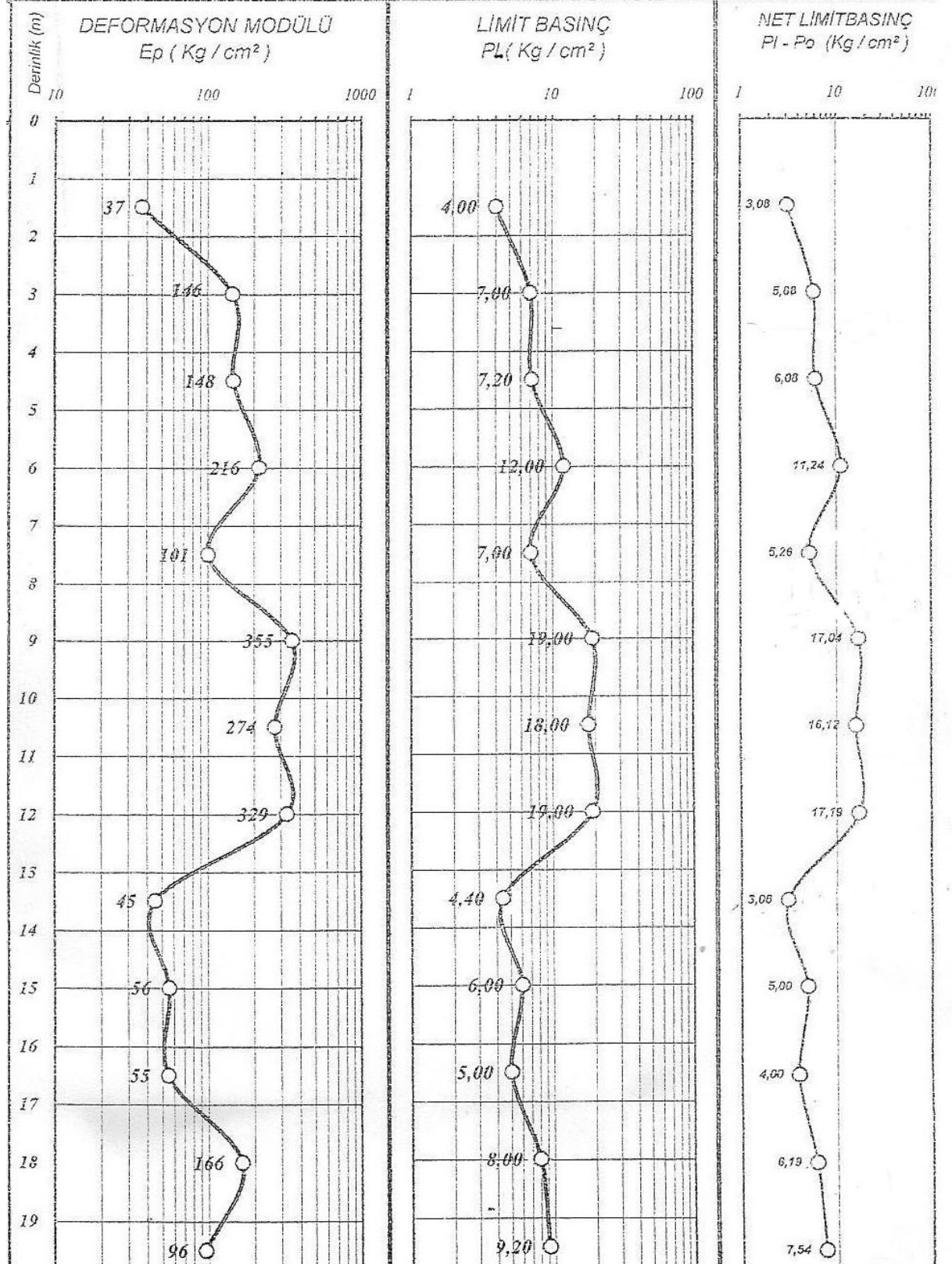
EK 2 Xrd Grafikleri (devam)



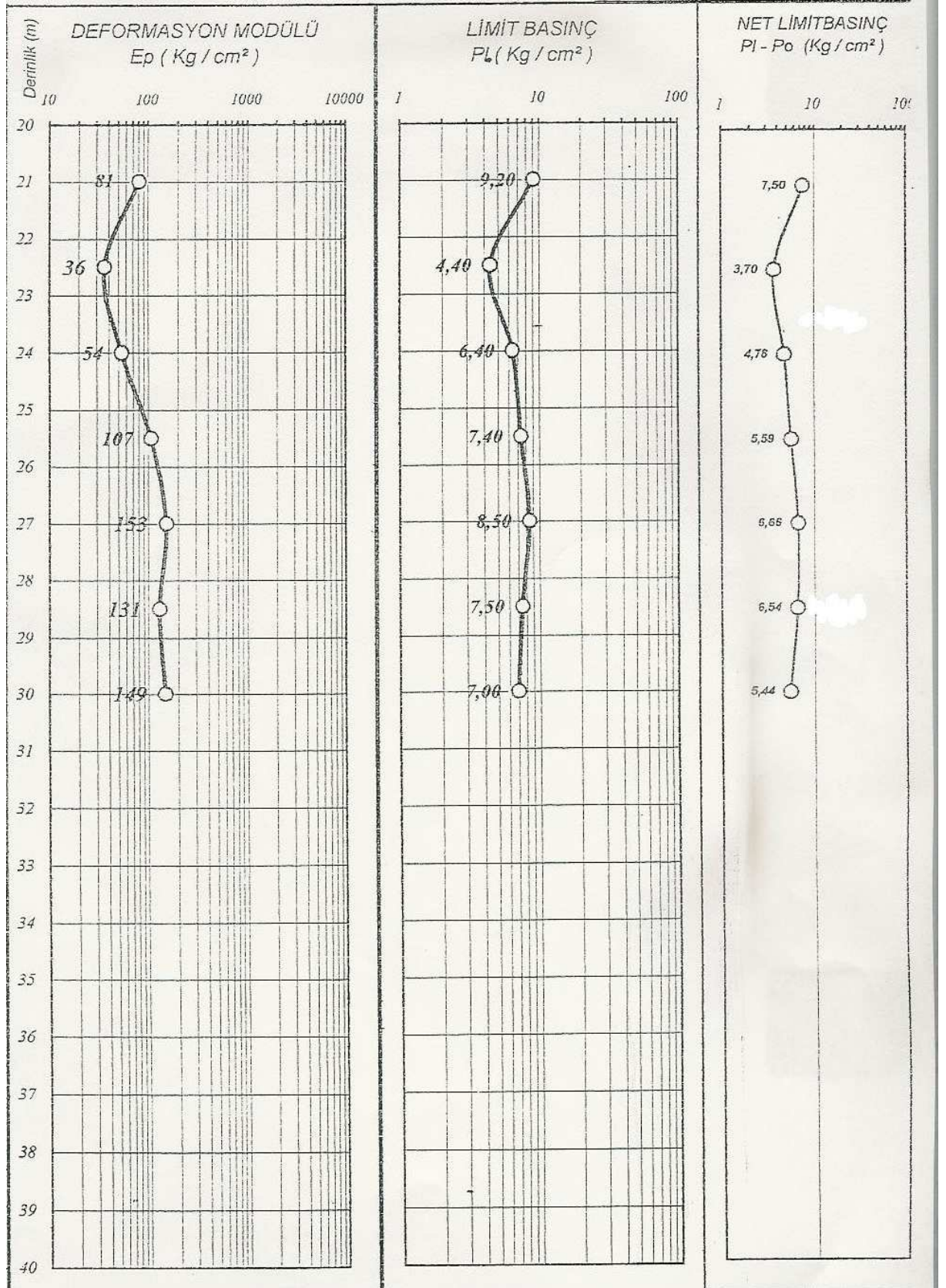
AÇ3 N4 nuralı örneğin XRD 550 derecede ısıtılarak yapılan çekimi

EK 3 Presiyometre Logu

SK 2 Numaralı kuyunun presiyometre logu

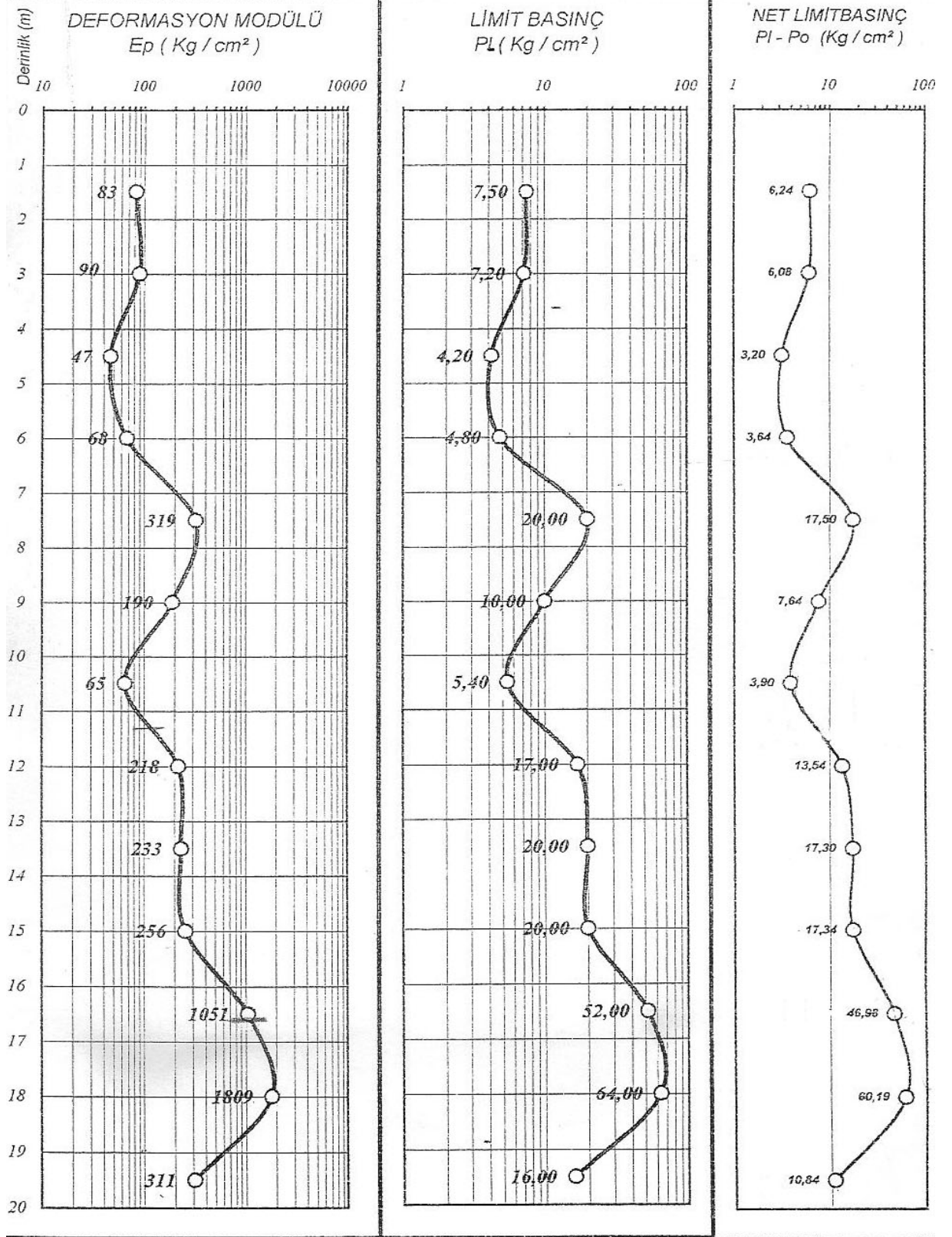


EK 3 Presiyometre Logu (devam)



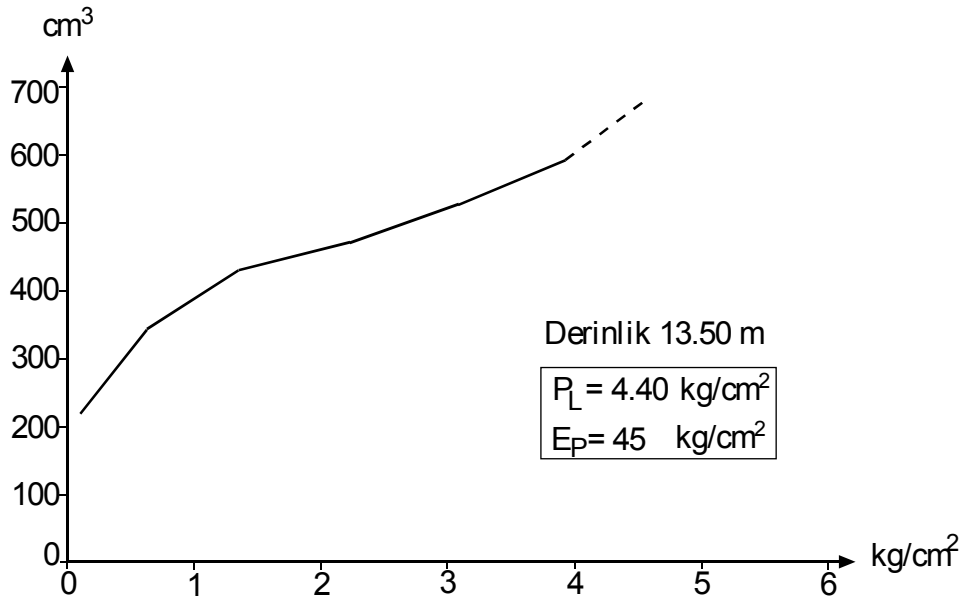
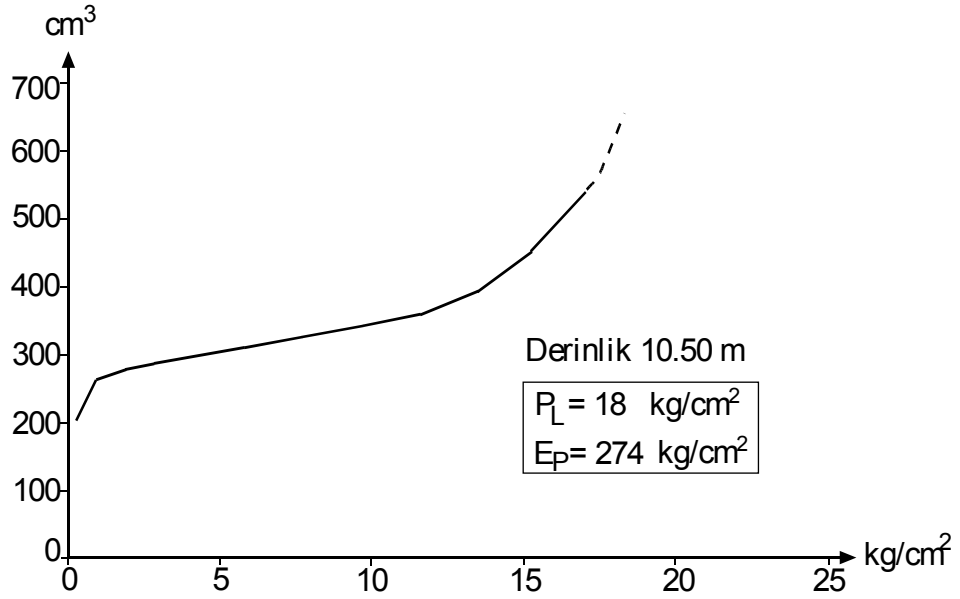
EK 3 Presiyometre Logu (devam)

SK 4 numaralı kuyunun presiyometre logu

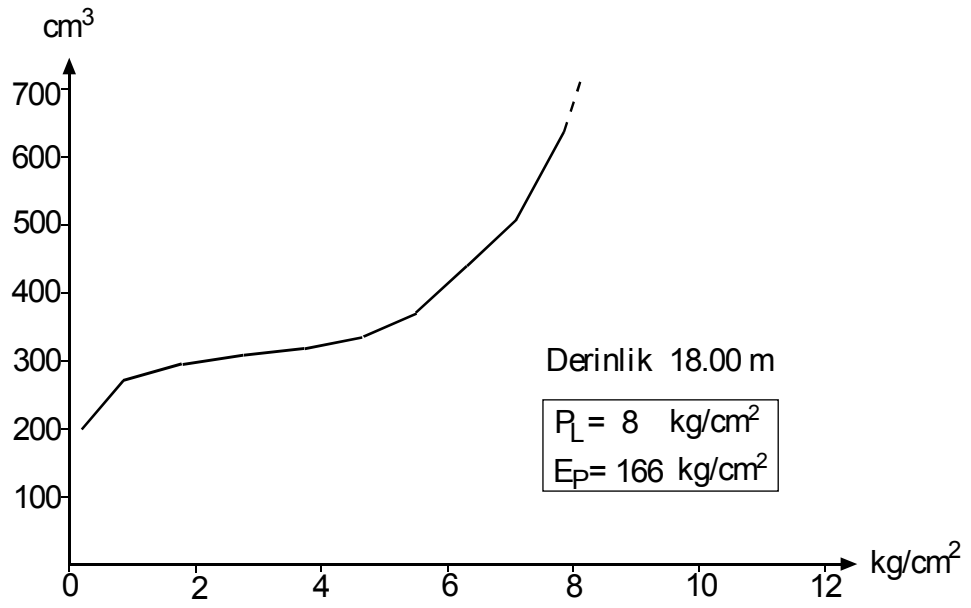


EK 4 Presiyometre Deneyi Garfiği

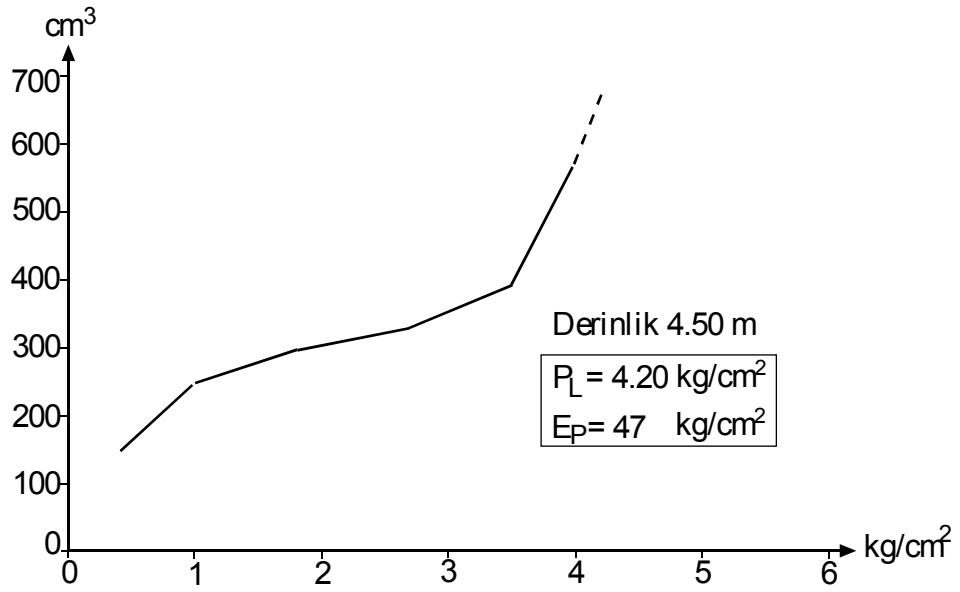
SK 2 numaralı kuyuda farklı derinliklerdeki presiyometre deneyi ile elde edilen hacim-basınç ilişkisi



EK 4 Presiyometre Deneyi Garfiği (devam)



SK 4 numaralı kuyuda farklı derinliklerdeki presiyometre deneyi ile elde edilen hacim-basınç ilişkisi



EK 4 Presiyometre Deneyi Garfiği (devam)

