

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUKARI CEYHAN (KAHRAMANMARAŞ) HAVZASINDAKİ BİR BARAJIN
EKSEN YERİ KAZILARINA BAĞLI OLUŞAN DURAYSIZLIĞIN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Burcu ERSOY

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeolojisi Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUKARI CEYHAN (KAHRAMANMARAŞ) HAVZASINDAKİ BİR BARAJIN
EKSEN YERİ KAZILARINA BAĞLI OLUŞAN DURAYSIZLIĞIN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Burcu ERSOY
(505111323)**

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505111323 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Burcu ERSOY**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YUKARI CEYHAN (KAHRAMANMARAŞ) HAVZASINDAKİ BİR BARAJIN EKSEN YERİ KAZILARINA BAĞLI OLUŞAN DURAYSIZLIĞIN DEĞERLENDİRİLMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Remzi Karagüzel**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa Yıldırım
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarım sırasında beni yönlendiren değerli danışman hocam Doç. Dr. Yılmaz MAHMUTOĞLU'na, tezimin konusunu oluşturan proje kapsamında görev aldığım süre boyunca ve mesleki gelişimimde çok önemli rol oynayan sayın Ronald HASELSTEINER'e, çalışmalarım sırasında verdiği değerli katkılar için iş arkadaşım Sacit AKBAŞ'a ve bugüne kadar verdikleri destek için aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Burcu Ersoy
Jeofizik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı	1
1.2 Proje Tanıtımı.....	1
1.3 İnceleme Alanı	3
1.3.1 Proje sahasının yeri ve coğrafi konumu	3
1.3.2 İklimsel özellikleri	3
1.3.3 Doğal kaynaklar	3
1.3.4 Sosyo-ekonomik yapı.....	4
1.3.5 Havzanın hidrolojisi.....	5
2. GENEL JEOLJİ.....	7
2.1 Stratigrafik Jeoloji	7
2.1.1 Berit metaofiyoliti (Ksp).....	7
2.1.2 Metafiliş (kızılkaya metamorfiti) (Kmf)	8
2.1.3 Kireçtaşı (maden karmaşığı) (Ekçt)	8
2.1.4 Alüvyon (Qal)	8
2.1.5 Yamaç molozu (Qym).....	9
2.1.6 Toprak örtü (TÖ).....	9
2.2 Yapısal Jeoloji	11
2.3 Hidrojeoloji	11
2.4 Deprem Durumu.....	11
3. BARAJ EKSEN YERİNDE YAPILAN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ	
ARAŞTIRMALARI	13
3.1 Araştırma Sondajları	13
3.2 Basınçlı Su Deneyi	15
3.2.1 Lugeon yönteminin uygulaması ve değerlendirmesi	15
3.2.2 Araştırma sondajlarından yapılan basınçlı su deneyi sonuçları	18
3.3 Laboratuvar Deneyleri.....	21
3.3.1 Nokta yükleme deneyi	22
3.3.2 Tek eksenli basınç deneyi	26
3.3.3 Birim hacim ağırlık deneyi	27
3.3.4 Deney sonuçları.....	28
4. EKSEN YERİNDE KARŞILAŞILAN DURAYSIZLIĞIN NEDENLERİ,	
TÜRÜ VE MEKANİZMASI.....	31
4.1 Yamaç Duraysızlığı.....	31
4.2 Durum Belirleme ve İzleme Amaçlı Sondaj Çalışmaları.....	36

4.3 Arazi Çalışmaları.....	39
4.3.1 Schmidt çekici ölçümleri.....	39
4.3.2 Laboratuvar deneyleri	45
4.3.3 İnklinometre ölçümleri.....	48
5. DURAYSIZLIK SAĞLANMASINA YÖNELİK ÖNLEMİN ANALİZİ VE	
BOYUTLANDIRILMASI	53
5.1 Uygulanan Destekleme Yöntemi ve Elemanları	53
5.2 Yamaç Hareketlerinin Modellenmesi ve Çözümü	58
5.2.1 Optimizasyon için temel kriterler.....	58
5.2.2 Sahadaki uygulamanın analizi.....	61
5.2.3 Jeolojik modelin 2 tabakalı olması durumu için yapılan çözüm.....	65
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	73
ÖZGEÇMİŞ.....	89

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
BST	: Basınçlı Su Deneyi
ÇED	: Çevresel Etki Değerlendirme
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri
Ekçt	: Eosen Kireçtaşı
FF	: Fault Frequency – Çatlak Sıklığı
ISRM	: International Society for Rock Mechanics
Kmf	: Kızılkaya Metamorfizi
Ksp	: Peridotit-Gabro-Serpantinit
Qal	: Kuvaterner Alüvyon
Qym	: Kuvaterner Yamaç Molozu
RQD	: Rock Quality Designation – Kaya Kalite Değeri
TCR	: Total Core Recovery – Toplam Karot Yüzdesi
TÖ	: Toprak Örtüsü
UCS	: Uniaxial Compressive Strength – Tek Eksenli Basınç
USBR	: United States Bureau of Reclamation
WD	: Weathering Degree – Ayrışma Derecesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Çalışma alanı ve civarındaki formasyonların dizilimi.....	7
Çizelge 3.1 : Baraj yerinde açılan araştırma sondajları.....	13
Çizelge 3.2 : Lugeon sınıflaması.....	18
Çizelge 3.3 : Kuyuların geçirimsizlik durumları.....	19
Çizelge 3.4 : Nokta yükleme dayanımı sınıflaması.	24
Çizelge 3.5 : Nokta yükleme deney sonuçları.....	25
Çizelge 3.6 : Tek eksenli basınç sınıflaması.	28
Çizelge 3.7 : Yapılan laboratuvar deneyleri.....	29
Çizelge 4.1 : Baraj yerinde açılan yeni sondaj kuyuları.....	38
Çizelge 4.2 : RQD sınıflaması.	39
Çizelge 4.3 : Schmidt çekici kaya sertliğinin sınıflandırılması.....	41
Çizelge 4.4 : Sahada yapılan schmidt çekici deney sonuçları.....	43
Çizelge 4.5 : Sertlik değerlerine göre hesaplanan basınç mukavemeti değerleri.....	44
Çizelge 4.6 : Laboratuvarda yapılan kaya mekaniği deney sonuçları.....	48
Çizelge 4.7 : İnklinometre kuyularının gözlem özeti.....	51
Çizelge 5.1 : Analiz sırasında projeci tarafından kullanılan parametreler.	62
Çizelge 5.2 : Alternatif çözüm ve sahadaki uygulamanın karşılaştırılması.	68

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Projede yer alan yapıların yerleşim planı (ölçeksiz).....	2
Şekil 2.1 : İnceleme alanının ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti.....	10
Şekil 3.1 : Sağ yakada açılan sondaj lokasyonları (Bakış yönü: kuzey batıdır.).	15
Şekil 3.2 : Lugeon deneyinin yapılışı.....	16
Şekil 3.3 : Lugeon deneyinde gerçek basıncın hesaplanması.	17
Şekil 3.4 : Tij ve maşonlardaki yük kaybını gösteren abak.	17
Şekil 3.5 : Baraj yeri sol sahildeki üç sondaja ait lugeon değerleri.	20
Şekil 3.6 : SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajlarının lugeon-derinlik değişimi.	21
Şekil 3.7 : Boyut düzeltme faktör grafiği.....	24
Şekil 3.8 : Nokta yükleme deney sonuçlarının dağılımı.	26
Şekil 4.1 : Sol sahilde meydana gelen duraysızlığın görüldüğü alan.....	33
Şekil 4.2 : Sol sahilde gözlenen heyelan izleri.....	33
Şekil 4.3 : Sol yakada hareketli yamaç molozu bloğunun içinde izlenen çatlaklar. ...	34
Şekil 4.4 : Sol yakada gözlenen heyelan taç bölgesi çatlakları ve heyelan aynası. ...	34
Şekil 4.5 : Taç bölgesi arkasında gelişen çekme çatlakları.....	35
Şekil 4.6 : Heyelanlı bölgede yamaç molozunun altında bulunan metafiliz birimi. ...	36
Şekil 4.7 : Sol sahilde açılan eski ve yeni sondaj lokasyonları.....	39
Şekil 4.8 : Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı ilişkisi.	42
Şekil 4.9 : Uygulamanın yapıldığı schmidt çekici.	44
Şekil 4.10 : Metafiliz birimi (HSK-1, 34,5-42,5 m).....	46
Şekil 4.11 : Metafiliz birimi (YHSK-2, 14,45-18,45 m).....	46
Şekil 4.12 : Yamaç molozu ve metafiliz birimi (HSK-3, 0-13 m).	46
Şekil 4.13 : Laboratuvar deneyi için alınan metafiliz örneği (SK-3, 5,5-6 m).....	47
Şekil 4.14 : Laboratuvar deneyi için alınan metafiliz örneği (SK-3, 4,7-5 m).....	47
Şekil 4.15 : Yamaç hareketinin olduğu alan ve inklinometre kuyularının yerleri.	51
Şekil 5.1 : Öngermeli ankrajlar kısımları.....	54
Şekil 5.2 : Çelik hasır ve püskürtme betonu uygulaması.	56
Şekil 5.3 : Şev yüzeyine uygulanan kademeli ankrajlar.	56
Şekil 5.4 : Gövde dolgusu ile beraber devam eden ankraj uygulaması.	57
Şekil 5.5 : Sol sahildeki tamamlanan öngermeli ankraj uygulaması.	57
Şekil 5.6 : Sol sahilde tamamlanan öngermeli ankraj uygulaması.....	58
Şekil 5.7 : Geri analizde kullanılan sayısal model.	61
Şekil 5.8 : Proje tarafından geliştirilen model.....	63
Şekil 5.9 : Sabit yük seçeneğine göre yapılan analiz.	64
Şekil 5.10 : Değişken yük seçeneğine göre yapılan analizin sonucu.....	65
Şekil 5.11 : Alternatif çözüm için geliştirilen model.	66
Şekil 5.12 : “Variable load” (değişken yük) alternatif.....	67

YUKARI CEYHAN (KAHRAMANMARAŞ) HAVZASINDAKİ BİR BARAJIN EKSEN YERİ KAZILARINA BAĞLI OLUŞAN DURAYSIZLIĞIN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Türkiye hidroelektrik enerji üretim potansiyeli yüksek olan ve birçok projenin gelişim sürecinde bulunduğu bir ülkedir. İrili ufaklı birçok önemli proje tamamlanıp faaliyete geçmiş olmasına rağmen halen planlama, tasarım ve inşaat halinde olan birçok proje bulunmaktadır. Projeler için yukarıda bahsedilen aşamaların kat edilmesinde ve yapıların nihai hallerini almalarında mühendislik jeolojisinin çok büyük önemi vardır. Proje tasarım ve inşaatı başlamadan önce gerekli olan bütün mühendislik jeolojisi çalışmaları (haritalamalar, sondajlar, arazi ve laboratuvar deneyleri, vb.) yapılmalı, proje tasarımı ve inşaatı buna göre hayata geçirilmelidir. Arazi koşulları doğru ve yeterli düzeyde belirlenmediği durumlarda proje alanında beklenmedik jeolojik problemlerle karşılaşılabilir. İnşaat aşamasında karşılaşılan bu problemler, bir yandan projeye beklenmedik riskler getirirken, diğer yandan projenin maliyetini ve tamamlanma süresini etkiler.

Mühendislik jeolojisi çalışmaları yapılacak olan projelerin temelini oluşturmaktadır. Projelerin planlama aşamasında yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları proje alanı hakkında tasarım için gerekli olan bilgileri verir. Bu bilgiler ışığında yapılan tasarım ile proje inşaatları, bütçesi ve tamamlanma süresi şekil alır. Bu nedenle mühendislik jeoloji çalışmaları büyük bir titizlik ve detay içerisinde, projelerin planlama aşamasında yapılmalıdır.

Bu çalışma, Yukarı Ceyhan havzasında projelendirilen bir barajın eksen yerinde meydana gelmiş olan heyelan probleminin çözümüne yönelik yapılan araştırma ve değerlendirmeleri içermektedir. Yukarıda önemi vurgulanan mühendislik jeoloji çalışmalarının eksikliği, baraj projesinin inşası aşamasında sıkıntılar yaşanmasına neden olmuştur. Projenin planlama aşamasında eksik yapılan saha araştırmaları projeye ek maliyet getirmekle beraber, projenin hayata geçirilme süresini de olumsuz yönde etkilemiştir.

Baraj yapıları detaylı olarak projelendirilmeden önce sahada mühendislik jeolojisi araştırmaları yapılmıştır. Bu kapsamda gerek baraj aks yeri gerekse diğer yapıların bulunduğu alanlarda sondajlar açılmış, bu sondajlara ait karotlardan numuneler seçilerek laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Bunlara ek olarak eksen yerindeki geçirgenlik durumunu belirlemek amacı ile basınçlı su deneyi yapılmıştır.

Yapılan arazi deneylerini takiben proje kapsamında inşa edilecek olan yapıların detay tasarımları yapılmış ve inşaat aşamasına geçilmiştir. Baraj aks yerini inşaat koşullarına hazırlamak amacı ile sol sahilde yapılan yamaç kazısı sırasında heyelan meydana gelmiştir. Kazı çalışmaları başlamadan önce sahada şiddetli yağış olmuş ve zemin suya doygun hale gelmiştir. Buna ek olarak eksen yerinde yapılan kazı çalışmaları da sol yamaçta pasif durumda bulunan heyelanın, aktif hale gelmesine neden olmuştur. Bu olaydan sonra hem güvenlik hem de heyelan sınırlarının detaylı araştırılması için baraj yerindeki çalışmalar durdurulmuştur. Meydana gelen

duraysızlık probleminin proje planlaması sırasında ortaya çıkarılamamasının iki önemli sebebi vardır: bunlardan ilki yapılmış olan sondajların iyi irdelenmemiş olması, bir diğer sebep ise laboratuvar deneyleri için seçilen numunelerin baraj eksen yerinde yapılan sondajlardan alınmamış olmasıdır.

Durdurulan inşaat çalışmaları sonrasında, heyelanın meydana geldiği ve etkilediği saha sınırları içerisinde detaylı saha gözlemleri yapılmıştır. Arazi incelemeleri sonucunda sahada ilave sondaj ve laboratuvar deneyleri yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan bütün deney sonuçları göstermektedir ki; eksen yerini oluşturan metafiliz biriminin dayanımı heyelan sahasında düşüktür (34 MPa). Ana kayanın daha sağlam olan kısımlarından numune alınarak Schmidt çekici deneyi yapılmıştır. Bu deney ile ana kayayı oluşturan en sağlam tabakaların alabileceği dayanım değeri belirlenmiştir.

Sahadaki heyelanın hareket yönü ve hızını belirlemek amacı ile sekiz adet inklinometre kuyusu açılmıştır. Yaklaşık bir yıllık süre içerisinde inklinometre okumaları yapılarak heyelan sahasındaki hareket izlenmiştir. Okuma sonuçlarından hem hareketin miktarı ve yönü hem de yaklaşık kayma derinliği belirlenmiştir. İzlemelerden hareketin miktarının yaklaşık olarak 15-20 mm/yıl mertebesinde olduğu saptanmıştır. Kayma derinliği ise yaklaşık olarak 20-25 m derinliktedir. Ancak kurulmuş olan bütün inklinometre kuyularından istenen veriler elde edilememiştir. Bazılarında sağlıklı okuma yapılamamış, bazılarında ise hareketin fazla olması, kuyunun göçmesine neden olmuştur.

Tez kapsamında projeci tarafından heyelanı destekleme amacıyla yapılan tasarım irdelenmiştir. Projecinin yaptığı tasarım üzerinde optimizasyon çalışması yapılarak farklı alternatif çözümler geliştirilmiştir. Gerek irdelenen tasarım, gerekse de alternatif çözümlerin geliştirilmesi sırasında SLOPE/W uygulaması kullanılmıştır. SLOPE/W, GEO-SLOPE International tarafından üretilmiş olan ve dağıtımı yapılan GeoStudio yazılım programının bir alt uygulaması olup iki boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak analizler gerçekleştirilmektedir.

Bu kapsamda öncelikle projecinin tasarım aşamasında yapmış olduğu kabuller değerlendirilmiştir. Projeci tarafından tasarımda kullanılan mühendislik jeolojisi sayısal modelinde ortam üç tabakalı olarak tanımlanmıştır. Bu birimler yukarıdan aşağı doğru yamaç molozu, geçiş zonu (ayırışma zonu, weathered zone), ve metafilizdir. SLOPE/W programı gereken dayanım parametreleri ve uygulama projesinde verilen ankraj özellikleri tanımlandıktan sonra çalıştırılmıştır. İlk aşamada çalıştırılan model için, projede belirlenen ankraj yükü projeci tarafından kabul edildiği şekilde 469 kN olarak alınmıştır. Bu analizden güvenlik katsayısının 4,27 olduğu belirlenmiştir. Ancak modelin verdiği diğer bir sonuç da modelde tanımlanmış olan boylardaki dört ankrajın, 6 m olan kök bölgesinin, 469 kN'luk ankraj yükünü taşıyamıyor olmasıdır. 469 kN'luk ankraj yükünü bu ankrajların taşıyabilmesi için kök bölgesi uzunluklarının, programın hesapladığı şekilde 14,9 m olması gerekmektedir. Bu noktada SLOPE/W programının "Variable Load" (Değişken Yük) özelliği kullanılmış ve 6 m'lik kök bölgesi uzunluğu için ankraj yükünün kaç olması gerektiği hesaplanmıştır. Yeni ankraj yükleri orijinal kabul edilen değerin yaklaşık üçte biri mertebelerinde bulunmuş, buna rağmen hesaplanan güvenlik katsayısının minimum değerlerin üzerinde olduğu anlaşılmıştır.

Bu iki analizin sonuçlarından elde edilen bilgiler doğrultusunda yeni kabuller yapılmış ve optimizasyon çalışmasına başlanmıştır. Yeniden yapılan değerlendirmede projeci tarafından üç tabakalı alınan model, iki tabakalı kabul

edilmiştir. Bu kapsamda yamaç molozu ilk tabaka olarak alınmış, projeci tarafından geçiş zonu olarak kabul edilen birim ise metafiliz birimine dâhil edilmiştir. Projeci tarafından dört ankraj için seçilmiş olan ankraj boyları kısaltılmış ve kök bölge uzunlukları ise kıyaslama yapabilmek amacıyla 6 m olarak korunmuştur.

Bu değerlendirmeler sonucunda;

- Projenin planlama aşamasında yapılan mühendislik jeolojisi çalışmaları yeterli yapılmadığından ve arazi koşulları detaylı olarak belirlenmediğinden sol sahilde yamaçta askıda bulunan heyelanın aktif hale getirildiği belirlenmiştir. İnşaat başlangıç aşamasında karşılaşılan bu problem, bir yandan projeye beklenmedik riskler getirmiş, diğer yandan da projenin maliyetini ve tamamlanma süresini etkilemiştir.
- Heyelan sorununun meydana gelmesinden sonra sahada yapılan ilave sondaj ve deneyler sahadaki formasyonların jeomekanik özellikleri ile ilgili daha detaylı bilgi vermiştir.
- Heyelanın yönü, hızı ve ortalama derinliği inklinometre okumaları yardımıyla belirlenmiştir.
- Projeci tarafından tasarlanan destekleme sistemi için alınan kabullerde gereksiz bir şekilde güvenli tarafta kalındığı saptanmıştır. Yapılan kabuller sırasında bazı tutarsızlıklar söz konusudur. Bunlardan ilki mühendislik jeolojisi modelinin yanlış oluşturulmasıdır. Geçiş zonu için alınan dayanım parametreleri aslında zayıf durumda olan ana kayanın (metafiliz) özelliklerini yansıtmaktadır. Ankraj tasarımı yapılırken amaç, tasarlanan dört ankrajın kök bölgesinin geçiş zonu altında bulunan sağlam kayaya (metafiliz) saplanmasıdır. Bütün bu nedenlerden ötürü; tasarımı yapılan dört ankrajın boyu olması gerekenden daha uzun seçilmiştir. Ankraj boyları gereğinden fazla tutularak maliyet artmıştır. Projeci tarafından yapılan diğer bir yanlış ise seçilen ankraj yüküdür. Çünkü seçilen ankraj yükü, 6 m'lik kök bölgesi tarafından taşımamaktadır. 6 m'lik kök bölgesi uzunluğu için daha düşük bir ankraj yükünün seçilebileceği anlaşılmıştır.
- Yapılan değerlendirme sonucunda daha kısa ankraj boyu ve daha az ankraj yükü ile ortam minimum güvenlik katsayısını sağlayacak şekilde yeniden dizayn edilmiş ve toplam ankraj uzunluklarında (kök bölgesi aynı kalmak suretiyle) yüzde ellilere varan azalmanın olabileceği görülmüştür.
- Projenin başlangıç aşamasında eksik yapılmış olan mühendislik jeolojisi çalışmaları nedeni ile kaybedilen zaman ve ilave maliyetler, projeciye destekleme sistemi tasarımı sırasında gereksiz güvenli tarafta kalarak, risk koşullarını ortadan kaldırmaya itmiştir. Oysaki sahadan elde edilen ilave bilgiler ışığında hem maliyet hem de güvenlik açısından optimum sonuçlar elde edilebileceği görülmüştür.
- Sonuç olarak; doğru ve yeterli mühendislik jeolojisi çalışmaları hem projenin planlama hem de uygulama aşamalarında çok önem taşımaktadır. Projenin planlama ya da uygulama aşamalarında eksik yapılan çalışmalar projeye ilave maliyet getirmektedir.

ASSESSMENT OF THE STABILIZATION PROBLEM OCCURED EXCAVATION AT A DAM SITE IN UPSTREAM BASEN OF CEYHAN RIVER

SUMMARY

In Turkey, a significant number of hydropower projects are under planning, design, or construction stages. The geological engineering investigations comprise one of the most important parts of the project planning. The necessary geological investigations should be performed before the construction stage of the projects. Based on the investigation results, the locations of the structures are finalized and the design stage of the project begins. The geological risks at project areas increase if there is not sufficient number of geological investigations that cover the entire project area. Accordingly, unexpected geological problems may occur at project areas that may cause project budget increases and/or delay of the completion of the project.

Several geological investigations performed at the site before the design of the proposed structures. Test borings and laboratory and in-situ tests were conducted to define the geological conditions at the site. In addition, water pressure tests were performed in the test borings to determine the permeability values of the bedrock formation.

Based upon the site investigations, proposed structures were designed and the construction began. The construction of the project started with the excavation of the slopes and access roads. The slope excavation works was ongoing at dam axis area to prepare the slopes for dam body filling works. A landslide occurred which took place at the left bank of the dam axis after heavy rainfalls at the beginning of 2010. The works at the left abutment were stopped due to security reasons. As pointed out above, geological investigations are crucial part of the project planning. The landslide area could not be figured out during the planning stage due to lack of site investigations and misinterpretation of the existing ones.

Immediately after the landslide occurred, a site visit performed to the landslide area. The affected areas were observed to define the landslide borders. The situation at the left bank revealed a highly unstable sliding mass, which has considerable amount of deformations and cracks. The reactivation of similar landslides cannot be ignored especially after heavy rain events.

Based upon site visit findings, additional investigations (new borings and laboratory tests) were recommended to get more information about the geological conditions. The results of laboratory tests showed that the strength parameter of bedrock (meta-flysch) was around 34 MPa at the landslide area, which is low-medium strength, based on uniaxial compressive strength (UCS) classification. In addition to the laboratory tests, Schmidt hammer tests were performed to define the maximum strength characteristic of the bedrock. The maximum UCS estimated by using the Schmidt rebound value was around 146 MPa, which falls into high-strength rock category.

Eight inclinometers installed to observe the speed and direction of the landslide zone. One-year-long inclinometer readings provided detailed information about the landslide zone. The average movement was measured to be 15-20 mm. Based on the readings of all inclinometers, the depth of slip surface was estimated to be around 20 to 25 m.

It was assumed that all site investigations have been taken into consideration by the designer during the design of left bank stabilization. Tieback anchor installation was considered for the stabilization of the failed slope. The application drawings and methodology were prepared by the designer. Site application of the improvement initiated with the excavation of the slopes to the limits defined in the design drawings. The slope supported with two stages of steel mesh and shot-crete in order to allow the installation of the tieback anchors.

The applied solution for the stabilization of left bank was debated in this study. The current design that was prepared by the designer was run by using SLOPE/W software in order to mimic the existing conditions. The assumptions of the designer were taken into consideration for the first model. Three different layers designated to the model, which were slope wash, transition zone, and meta-flysch from ground to bottom. The strength parameters of the layers and the characteristics of the tieback anchors given in the detail design drawings were input into the model. “Constant load” option of SLOPE/W program used to apply the anchor load of 469 kN that was given by the designer. The factor of safety was estimated to be 4.27, which is significantly higher than the allowable limits. The other result that was observed was the lack of the bond length to carry the designated tieback load. A bond length of 14.9 m was required for that purpose, which was selected as only 6 m by the designer. Whenever “Variable Load” option of SLOPE/W program used to determine the load that can be carried by a 6-m-long bonded zone, it was realized that the design loads drop almost one-third of the design values. Based on these observations, optimization study was performed to find the proper anchor length and associated load.

Two different layers designated to the model, which is different from the assumption of the designer. The thickness of the transition zone was selected quite high by the designer. This conclusion was not supported by any of the boring results. The strength parameters of the transition zone used for the entire meta-flysch zone in the optimization model. The length of the tieback anchors was shortened, but the bond length was kept as 6 m in order to have a meaningful comparison.

Based on all these analysis and assessments;

- Unexpected landslide problem was occurred at the left bank of dam axis due to the lack of site investigation and misinterpretation of the project data. Landslide problem, which occurred at the beginning of the construction period, adversely affected the project cost and completion time.
- Additional borings and investigations that were performed after the landslide gave detailed information about the geological formations at the site.
- The direction, speed, and slip surface of the landslide zone were defined based upon the inclinometer readings.
- The assumptions that were used for the design were on the conservative side. Although the selected section includes two layers based on test borings, three-layer solution was assumed by the designer, which forced the designer

to lengthen the tieback anchors up until the strongest formation. In addition, the thickness of the transition zone was very high without sufficient supporting data. Therefore, the total length of the tieback anchors were unnecessarily increased which affects the project cost directly. This was one of the considerations for the optimization study. The current model optimized by decreasing the total length and the load of anchors as well until the minimum allowable factor of safety is satisfied. Total length of the anchors was decreased around 50 percent.

- Project budget increase and schedule delay due to the landslide problem at dam axis at the beginning of the project forced the designer to choose rather a conservative design for the stabilization of the left bank. However, optimum solution could be found based on the additional site investigations. This case study shows the importance of the geological investigations during the planning stage of the projects. If the proper investigations are conducted at the site on time and the results are evaluated with care, the geological risk that can affect the projects in terms of economy and schedule may be minimized.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Bu tezin amacı, Ceyhan nehri üzerinde inşası gerçekleşmiş olan bir baraj projesinin eksen yeri yamaç kazıları sırasında meydana gelen duraysızlık probleminin boyutlarının ve yamacın stabilitesinin sağlanması için gereken uygulamaların belirlenmesidir.

Proje kapsamında yapılan araştırmaların ışığında gerekli değerlendirmeler yapılarak heyelanın stabilitesini sağlayacak yeni bir destekleme sistemi ortaya konulmuştur. Ayrıca yapılan bu uygulamaya alternatif olabilecek çözümler üzerinde durulmuştur.

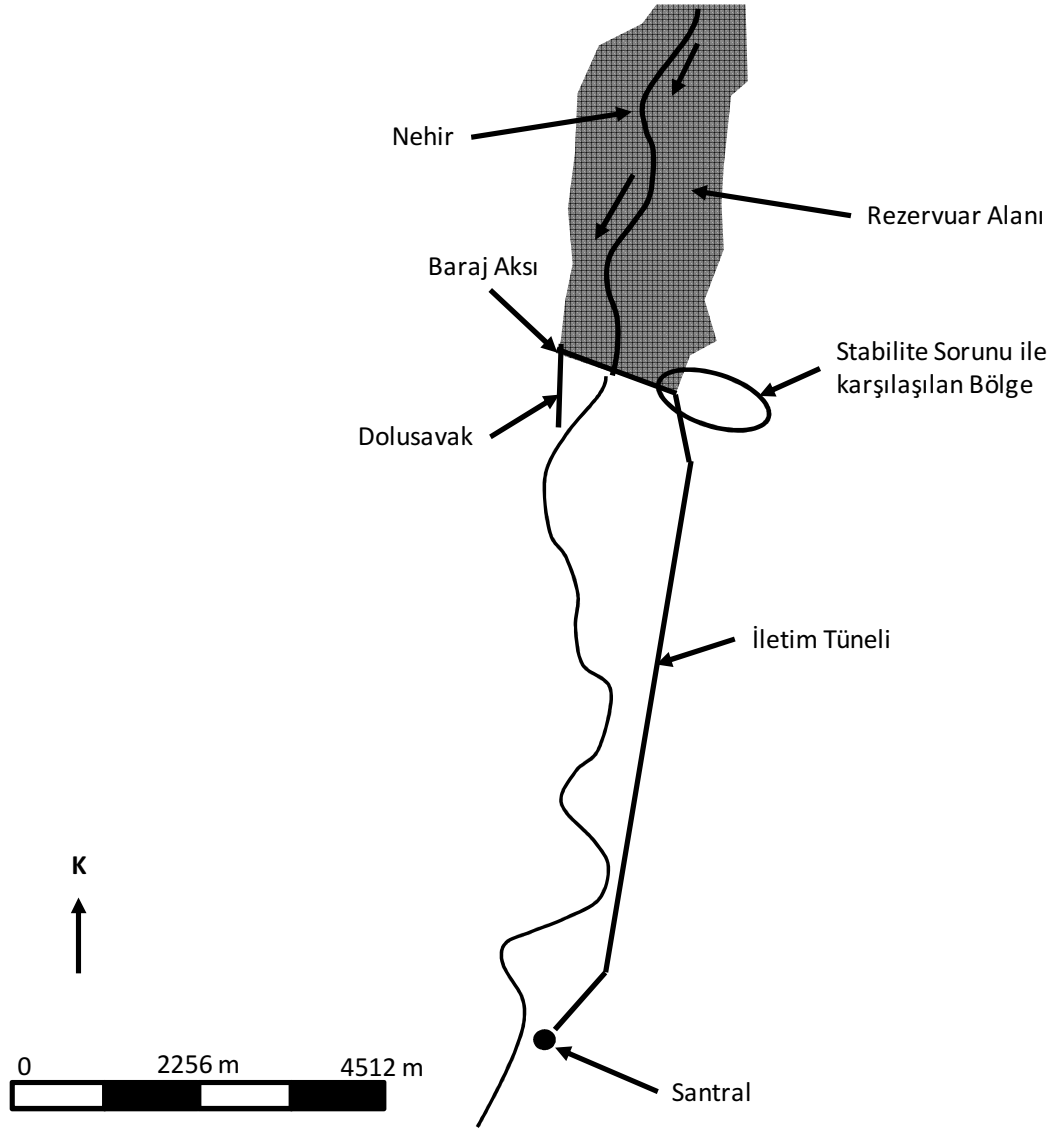
Bu amaçla öncelikle sahada açılan mevcut sondajlar ve laboratuvar deneyleri değerlendirilmiş ve eksik görülen alanlarda ilave sondaj ve deneyler önerilmiştir. İlave araştırmalar sırasında heyelanın yönü ve hareket miktarını araştırmak amacı ile inklinometre kuyuları açılmış, düzenli yapılan okumalar ile heyelan sahası ile ilgili detaylı bilgiler elde edilmiştir. Yapılmış olan tüm bu ilave araştırmaların ışığında heyelanın ve yamacı oluşturan birimlerin karakteristik özellikleri belirlenmiş ve bölgede stabilizasyonunu sağlayacak bir destek tasarımı yapılmıştır. Ayrıca sahada yapılmış olan uygulamadan yola çıkarak alternatif bir çözüm geliştirilmiş ve sahadaki uygulama ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla, mevcut saha araştırmalarından elde edilen birimlerin karakteristik özellikleri ile GeoStudio yazılımının alt programlarından bir olan SLOPE/W programı kullanılarak alternatif analizler yapılmıştır.

1.2 Proje Tanıtımı

Tezin konusunu oluşturan baraj projesi sulama ve enerji üretimi amaçlı tasarlanmıştır. Bu kapsamda projede önerilen tesisler; baraj gövdesi, dolusavak yapısı, memba batardosu, derivasyon sistemi, enerji iletim tüneli, cebri boru, santral binası, kuyruk suyu kanalı ve şalt sahasıdır. Projedeki yapıların birbirlerine göre konumları Şekil 1.1’de şematik olarak gösterilmiştir (Haselsteiner, 2011).

Baraj yapımının tamamlanması ile membada depolanan su iletim tüneli ile santral binasına iletilecektir.

Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporunda rezervuardan projenin mansabındaki yaşamın devamlılığını sağlamak için can suyu bırakılması öngörülmüştür. Proje kapsamında değerlendirilmiş ve bırakılacak olan can suyunu da enerjiye çevrilmesi için etek santrali öngörülmüştür.



Şekil 1.1 : Projede yer alan yapıların yerleşim planı (ölçeksiz).

1.3 İnceleme Alanı

1.3.1 Proje sahasının yeri ve coğrafi konumu

Baraj projesi, Akdeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Geçiş Bölgesi'nde, Kahramanmaraş ili sınırlarında bulunan, Yukarı Ceyhan Havzası'nda yer almaktadır. Ceyhan havzası, hem sulama ve hem de hidroelektrik enerji üretimi açısından ülkemizin önemli potansiyele sahip havzalarından biridir.

Proje yerine ulaşım genel olarak asfalt yol ile sağlanmakta olup, yaklaşık son 25 km'lik yol ise stabilize köy yolu şeklindedir. Asfalt yol her mevsim ulaşımına açık olup stabilize köy yollarından ulaşım özellikle kış aylarında güçlüklerle sağlanabilmektedir.

1.3.2 İklimsel özellikleri

Ceyhan Havzası, Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi olmak üzere üç ayrı coğrafi bölgenin birbirine en çok yaklaştığı alanda yer alır. Coğrafi konumu ve diğer faktörlerin de etkisi ile üç farklı iklim tipi arasında 'Bozulmuş Akdeniz İklimi'ne daha yakın bir iklim özelliği gösterir.

Proje alanında yıllık ortalama sıcaklık değeri yaklaşık 12°C'dir. Ortalama sıcaklıklar güneyden - kuzeye, batıdan - doğuya doğru yükseltiye bağlı olarak karasallığın da etkisiyle bariz bir şekilde azalma göstermektedir.

Bölgede yağışlar yıl içerisinde oldukça farklılık göstermektedir. Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında yağış yok denecek kadar azdır.

1.3.3 Doğal kaynaklar

Kahramanmaraş maden bakımından çok zengindir. Barit, Türkoğlu ilçesinde çıkarılmaktadır. Elbistan'ın Bıçakçılar, Murata ve Nargele köylerinde demir yatakları vardır. Afşin-Elbistan arasında 100 km²'lik bir sahada düşük kalorili linyit yatakları mevcuttur. Çıkarılan linyit kömürü Türkiye'nin en büyük kamu yatırımlarından olan Afşin-Elbistan Termik Santralinin 1984'te devreye giren ünitelerinde kullanılmaktadır. Linyit rezervi 3,5 milyar tondur. Ülkenin en zengin linyit havzasıdır. Göksun ilçesinde zengin mermer yatakları bulunur. Türkiye'nin en zengin çimento toprağı bu bölgededir.

Kahramanmaraş'ta ayrıca krom, mâden kömürü, çinko, bakır, mangenez, manyezit, talk, oniks, kurşun, grafit, amyant ve pirit mâdenleri de çıkarılır (Url-1).

1.3.4 Sosyo-ekonomik yapı

2014 Yılı Adrese dayalı Genel Nüfus Sayımı sonuçlarına göre, il genelinin toplam nüfusu 1.089.038'tür. 2013 yılından bu yana nüfus artış hızı % 1,24 olup, toplamda 13.332 kişilik bir artış meydana gelmiştir. İl genelinde km²'ye düşen insan sayısı ortalama 75 kişidir. Nüfus yoğunluğu açısından, Onikişubat ilçesi 371.394 kişi ile nüfus yoğunluğu en fazla olan ilçe iken, Ekinözü, 12.526 kişi ile en az nüfus yoğunluğu olan ilçedir (Url-2).

2012-2013 eğitim öğretim yılında resmi ve özel okullarda toplam 223.844 öğrenciye, 12.265 öğretmen tarafından eğitim verilmektedir. Yüksek öğretim kapsamında; Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde, 9 Fakülte, 8 Meslek Yüksekokulu, 2 Yüksekokul (4 Yıllık), 3 Enstitü, 14 Araştırma ve Uygulama Merkezi bulunmaktadır. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesinde 2010-2011 Eğitim-Öğretim yılında 17.000 öğrenci, 809 akademik personel (52 profesör, 94 doçent, 184 yardımcı doçent, 188 öğretim görevlisi, 74 okutman, 202 araştırma görevlisi ve 15 uzman) ile eğitim faaliyetleri sürmektedir (Url-3).

İlde 7 Devlet Hastanesi, 2 SSK Hastanesi, 1 Üniversite Hastanesi, 2 Özel Hastane, 2 Verem Savaş Dispanseri, 2 Halk Sağlığı Laboratuvarı, 4 Sağlık Meslek Lisesi, 106 Sağlık Ocağı, 592 adet Sağlık evi 3 adet AÇSAP Merkezi ve Sağlık Müdürlüğü bünyesinde 13 Şube Müdürlüğü ile halka sağlık hizmeti verilmektedir (Url-4).

Kahramanmaraş topraklarını örten bitki varlığı, farklı özellikler gösteren bir yapıya sahiptir. Kahramanmaraş'ın kuzey ve kuzeydoğu kısımlarında İç Anadolu iklimi hüküm sürdüğü için buralarda daha çok şeker pancarı, buğday ve bakliyat yetişir. Hâlbuki güney ve güneybatı kısımları Doğu Akdeniz Bölgesi'nde olduğu için bitki örtüsü maki topluluğu şeklindedir. Toplam 1.432.700 hektar olan il yüzölçümünün %33,30'u olan 477.141 hektarlık bölümü tarım alanı, %35,24'ü olan 504.815 hektarlık bölümü orman ve fundalık alan, %18,29'u olan 262.017 hektarlık bölümü çayır ve mera, %13,17'si olan 188.727 hektarlık bölümü tarım dışı arazidir. İlde sulanabilir arazi 131.791 hektar, sulanmayan arazi ise 221.583 hektardır.

İlde hayvancılık genelde düşük kapasiteli olup, Elbistan İlçesinde yoğun bir şekilde

besicilik yapılmaktadır. Diğer ilçelerde düşük kapasiteli besicilik yapılmaktadır. Süt sığırcılığı ise düşük kapasiteli aile işletmeciliği şeklinde yapılmaktadır.

İl genelinde 726.096 adet küçükbaş, 117.285 adet büyükbaş hayvan varlığı mevcut olup, 158.551 ton süt üretimi gerçekleştirilmiştir. İl geneli iç su balıkçılığı açısından zengin bir potansiyele sahiptir. Hâlihazırda toplam 20 adet alabalık üretim işletmesi faaliyet göstermekte olup, bunların 16 adet karada beton havuzlarda, 4 adedi de baraj göllerinde yüzer ağ kafeslerde alabalık üretimi yapılmaktadır. Toplam kapasite ise 804,2 ton/yıldır.

Kahramanmaraş'ta sanayileşme, genel itibariyle tekstil sektörü alanında gerçekleşmiştir. Bununla birlikte, geçmişten gelen küçük el sanatlarından; bakırcılık ve alüminyumculuğun uzantısı olarak çelik mutfak eşyaları sektörü de aynı sanayileşme eğiliminden payını oldukça önemli ölçüde almıştır. Sektör büyüklüğü açısından, tekstil sanayinden sonra ikinci sırada Çelik Eşya Sanayi yer almaktadır. Kentin en önemli sektörlerinden biri olan toz ve pul biberçilik de sanayileşmeye paralel olarak gelişme eğilimindedir. Kahramanmaraş'ın ün kazanmasına yol açan dondurma sektörü en hızlı gelişen sektörler arasındadır (Url-5).

1.3.5 Havzanın hidrolojisi

Barajların su potansiyeline etki edebilecek önemli bir yeraltı su kaynağı bulunmamaktadır. Projenin en önemli yerüstü su kaynağı Ceyhan Nehridir. Bu nehir, mansapta mevcut barajlardan geçtikten sonra Akdeniz'e dökülmektedir. Planlanan tesislerin membasında Ceyhan Nehrinin, Göksun kolu, Hurman Suyu kolu, Söğütlü Çayı kolu, Sarsap Çayı kolu ve Nergele Deresi kolu bulunmaktadır.

Bölgede buharlaşma ölçümü Kahramanmaraş Devlet Meteoroloji İşlerinde (DMİ) yapılmaktadır. Tüm barajlar Elbistan'a yakın olduğundan Elbistan DMİ sıcaklık ve yağış değerleri kullanılmıştır. Baraj göl kotlarına göre Elbistan DMİ sıcaklık değerleri 100 m yükseklikte 0,5°C ısı azalması olacağı dikkate alınarak baraj göl alanına taşınmıştır. Buharlaşma verileri Kahramanmaraş DMİ'de olduğu için Kahramanmaraş DMİ sıcaklık buharlaşma korelasyon denklemi çıkarılmış ve her baraj gölü için hesaplanan sıcaklık değerlerine göre, baraj gölleri aylık toplam buharlaşma değerleri bulunmuştur. Su temini çalışmalarında, 2005; 2006, 2009, 2015 ve 2019 Nolu EİE ve 20-51 Nolu DSİ akım gözlem istasyonlarından yararlanılmıştır.

2. GENEL JEOLojİ

2.1 Stratigrafik Jeoloji

Baraj göl alanı ve eksen yeri ile santral binasını da içine alan inceleme alanının jeoloji haritası EK D’de verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi çalışma alanı ve civarındaki birimlerin bölgenin genel stratigrafisindeki yerlerine göre oluşumu Çizelge 2.1’deki şekilde sıralanmaktadır. Detaylı stratigrafik kesit ise Şekil 2.1’de verilmiştir. Her bir formasyon ile ilgili açıklamalar alt başlıklarda verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Çalışma alanı ve civarındaki formasyonların dizilimi.

Jeolojik Birim	Yaş
Yamaç Molozu (Qym)	Kuvaterner
Alüvyon (Qal)	Kuvaterner
Kireçtaşı (Ekçt)	Eosen
Metafiliz (Kmf)	Üst Kretase
Berit Metamorfiti (Ksp)	Kretase

2.1.1 Berit metaofiyoliti (Ksp)

Göl alanında, enerji tüneli güzergâhının belli bir bölümünde, cebri boru güzergâhında ve santral yerinde mostra vermektedir. Genel olarak peridotit, gabro ve serpantinitten meydana gelen birim haritalama yapılırken iki bölüme ayrılarak incelenmiştir.

Serpantinit, serpantinleşmiş harzburgitten oluşan (Ksp1) litolojiler göl alanında mostra vermektedir. Birimin bu kısmı serpantinit, serpantinleşmiş harzburgit, harzburgit ve çok az dunitten meydana gelmektedir. İleri derecede metamorfizma geçirmiş olan birim yer yer gabro-diyabaz daykları ile kesilmiştir. Ayrıca birim içerisinde yer yer kıvrımlanmalar, kendi içinde bindirmeler ve makaslanma zonları meydana gelmiştir. Makaslama zonlarında yer yer killeşmeler gözlenmiştir.

Ksp2 olarak ayrılan ikinci birim ise tünel güzergâhında mostra vermektedir. Genelde metagabro ve metaperidotitten oluşmaktadır. Ayrıca yer yer serpantinit blokları da

görülen birim genel olarak sağlam karakterlidir. Birim içerisinde metagabro ve metaperidotitler arasında bindirme zonu gelişmiştir (Baydar, 1989).

2.1.2 Metafiliş (kızılkaya metamorfiti) (Kmf)

İnceleme alanında hâkim birim olan Kızılkaya metamorfiti, baraj yerinin tamamında, göl alanının büyük kısmında ayrıca enerji tünelinin bir bölümünde mostra verir. Birim altta yastık yapılı metabazit ve üstte pelitik kökenli şist-fillat litolojilerinden oluşur. Metabazitler, yeşil-koyu yeşil renkli, kötü yapraklanmalı veya somdur. Üstte yer alan metapelitik kesim ise altta açık yeşil, gri, alacalı renkli benekli şistlerle temsil edilir. Daha üstte önce kahvemsî kırmızı sonra açık gri renkli metapelitik şistler yer alır. Yapraklanma düzlemleri arasında sık olarak ikincil kuvars damarları görülür. En üstte ise koyu gri renkli, iyi yapraklanmalı, çoğunlukla altere fillatlar yer alır.

Birimin inceleme alanında tabanı görülmeyp üzerine ise Eosen yaşlı kireçtaşı (Maden karmaşığı) ile Kretase yaşlı Peridotit-Gabro-Serpantinit (Berit metaofiyoliti) bindirmeyle gelir (Baydar, 1989).

2.1.3 Kireçtaşı (maden karmaşığı) (Ekçt)

Eosen yaşlı Maden Karmaşığı alttan üste doğru kireçtaşı, kalkşist, şist, aglomera ve volkanik kayalarla bunları kesen yarı derinlik magmatik kayalarından oluşmaktadır. Maden Karmaşığı, inceleme alanında ise pelajik kireçtaşı ve gri renkli mikritik kireçtaşı olarak gözlenmektedir. Pelajik kireçtaşları kırmızı-bordo renkli, ince katmanlı, bazı kesimlerde lamine, sert, köşeli kırıklı ve kalsit damarlıdır (Baydar, 1989).

Birim, inceleme alanında Üst Kretase yaşlı metafilisler (Kızılkaya metamorfiti) üzerine bindirmeyle gelmektedir (Baydar, 1989).

2.1.4 Alüvyon (Qal)

Ana ve yan derelerin yataklarında bulunan kötü dereceli, taneleri polijenik kökenli, güncel depozitlerdir. Genelde silt-kum-çakıl ve yer yer de kil ve bloklardan oluşmaktadır. Özellikle ana nehrin yatak eğiminin fazla olduğu yerlerde blok boyutundaki malzemeler daha çok görülmektedir. Baraj eksen yerinde kalınlığın 25 m civarındadır.

2.1.5 Yamaç molozu (Qym)

İnceleme alanındaki tepelerin eteklerinde, ana kayanın atmosferik şartlar, yüzeysel ayrışma, ezilme ve dağılmalar sonucunda ayrılmış ve parçalanmış üst seviyelerinin döküntüsü şeklinde görülmektedir. Kalınlıkları genelde 0,5-3 m, santral yerinde ise 5-6 m civarındadır.

2.1.6 Toprak örtü (TÖ)

Genelde kahve renkli, bol çakıllı, killi ve az kumlu olup yamaç molozu ve alüvyon üzerindeki tarım yapılan arazileri oluşturmaktadır. Kalınlıkları 0,5-3 m arasında değişmektedir.

U.SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ			
SENOZOYİK								
KUVATERNER								
Toprak Örtü					TÖ		Toprak Örtü Kahve renkli, bol çakıllı, kil ve az kumludur.	
Yamaç Molozu					Qym		Yamaç Molozu Ana kayanın atmosferik şartlar nedeniyle ayrılmış ve parçalanmış üst seviyelerinin döküntüsü şeklindedir.	
Alüvyon					Qal		Alüvyon Genelde silt-kum-çakıl yer yer de kil ve bloklardan oluşan köşü dereceli, potijenik elemanlı, güncel depozitlerdir.	
TERŞİYER					TEKTONİK DOKANAK			
EOSEN					Kireçtaşı (Maden Karmasıgı)	Ekçt		Kireçtaşı Kırmızı-bordo renkli, ince katmanlı, bazı kesimlerde laminalı, sert, köşeli kırıklı ve kalsit damarlı pelajik kireçtaşı ile gri renkli mikritik kireçtaştan oluşmaktadır.
					TEKTONİK DOKANAK			
MESOZOYİK								
KRETASE								
ÜST					Metafillig (Kızılkaya Metamorfıllı)	Kmf		Metafillig Birim aitta yastık yapıli metabazit ve üstte pelitik kökenli gıst-fıllat lıtoıolılarından oluşur.
					TEKTONİK DOKANAK			
Peridotit-Gabro-Serpantinıt (Eserli Metamorfıllı)					Ksp		Peridotit-Gabro-Serpantinıt Genelde metagabro ve metaperidotitten yer yer serpantinıt bloklarından oluşmaktadır.	

Şekil 2.1 : İnceleme alanının ölçeksiz stratigrafik dikme kesiti.

2.2 Yapısal Jeoloji

İnceleme alanında izlenebilen en önemli yapısal öge, Orta Eosen'den daha genç olduğu düşünülen ve dere boyunca yer alan, yaklaşık D-B doğrultulu, yanal atımlı faydır (Yiğitbaş, 1989). Bu fay ile Berit metaofiyoliti, Kızılkaya metamorfiti ve Maden karmaşığına ait kaya birimleri karşı karşıya gelmiştir.

İnceleme alanı yakınlarında birbirinden farklı bindirmeler bulunmaktadır. Bunlardan ilki Maden karmaşığına ait kaya birimlerinin Kızılkaya metamorfiğine ait birimler üzerine bindirmesidir. Yine inceleme alanında yer alan Berit metaofiyolitine ait kaya birimleri Kızılkaya metamorfitine ait birimler üzerine bindirmeyle gelmiştir. Ayrıca Berit metaofiyolitine ait peridotit ve gabro birimleri de kendi içerisinde birbirleri üzerine bindirmişlerdir (Yiğitbaş, 1989).

Genel olarak inceleme alanında yer alan tüm birimlerde, tektonizmanın etkisiyle irili ufaklı kıvrımlar, eklem sistemleri ve makaslanma zonları sıklıkla izlenebilmektedir.

2.3 Hidrojeoloji

İnceleme alanı ve civarında yer alan birimlerin büyük çoğunluğu (Alüvyon ve Eosen yaşlı Kireçtaşları hariç), litolojik özellikleri itibariyle geçirimsiz olup akifer özelliği taşımaz. Ancak bu birimlerin üst kesimlerinde gelişmiş kırık ve çatlaklarından, yağışlara bağlı olarak çok küçük debili (1–2 lt/s) mevsimlik boşalmalar görülebilmektedir. İnceleme alanında özellikle baraj yerinde yer alan alüvyonlar suya doymun olup iyi bir akiferdir. Eosen yaşlı kireçtaşları ise yayılımın ve kalınlığının az olması nedeniyle proje sahasında önemli bir akifer olarak değerlendirilmemiştir.

2.4 Deprem Durumu

İnceleme alanı ve çevresi, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre 2. derece deprem bölgesi içerisinde yer almaktadır. 2. Derece deprem bölgelerinde beklenen ivme değeri 0,30 g ile 0,40 g arasındadır (Biricik, 2001).

3. BARAJ EKSEN YERİNDE YAPILAN MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ ARAŞTIRMALARI

Baraj eksen yerinde, geçirimsizliği, duraylılığı, yeraltı suyu durumunu ve taşıma gücünü tespit etmek amacıyla 18 adet temel araştırma sondaj kuyusu açılmıştır.

Açılan araştırma sondajlarının bazılarında farklı derinliklerde basınçlı su deneyi (BST) ve presiyometre deneyi yapılmıştır. Temel sondajlarından alınan örnekler üzerinde laboratuvar ortamında nokta yükleme ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

Yukarıda bahsedilen çalışmaların detayları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

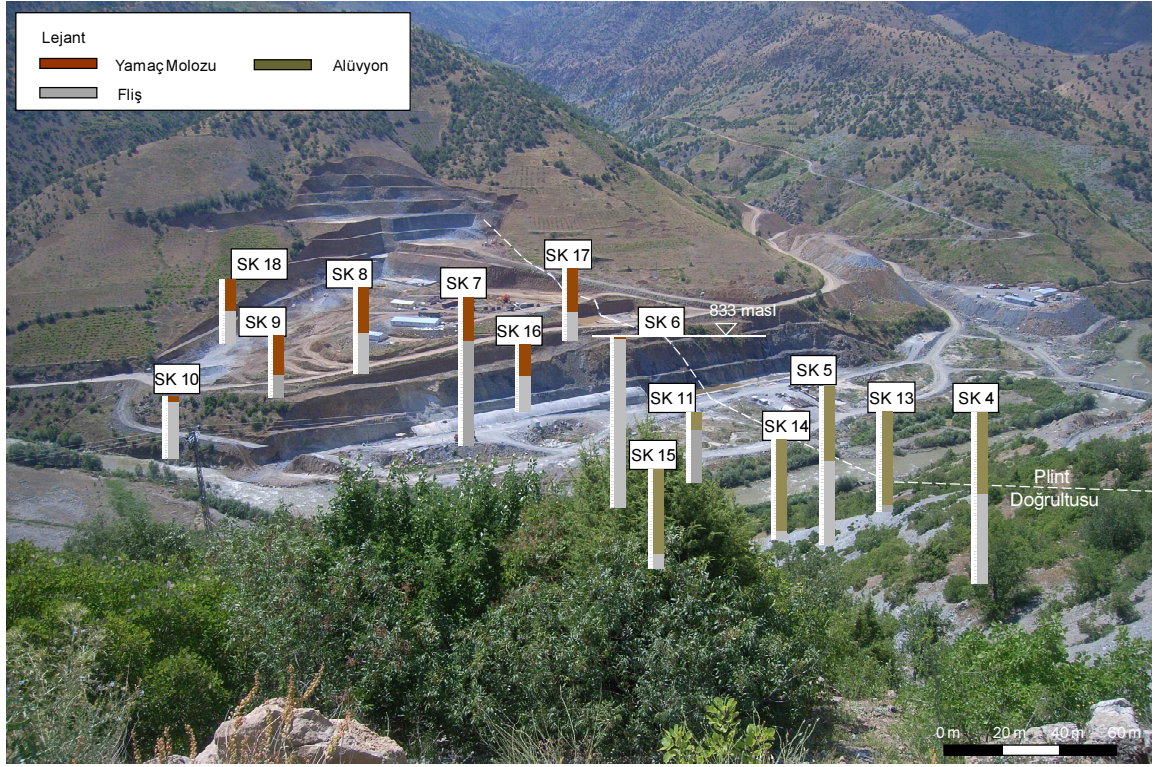
3.1 Araştırma Sondajları

Baraj yerinde açılan temel araştırma sondajlarından, üç adedi sol sahilde (SK-1, SK-2 ve SK-3), dört adedi sağ sahilde (SK-6, SK-7, SK-11 ve SK-16), altı adedi talvegde (SK-4, SK-5, SK-12, SK-13, SK-14 ve SK-15) ve beş adedi dolusavakta (SK-8, SK-9, SK-10, SK-17 ve SK-18) açılmıştır. Açılan sondajların toplam derinliği 730 m'dir. Sondajlara ait genel bilgiler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Sondajların inceleme alanındaki yerleri EK A'da verilen temsili lokasyon haritası üzerinde gösterilmiştir. Sağ sahilde ve talvegde açılan sondaj lokasyonlarının konumu Şekil 3.1'de aynen gösterilmiştir. SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajları sol sahilde yer aldığından Şekil 3.1'de verilememiştir.

Çizelge 3.1 : Baraj yerinde açılan araştırma sondajları.

Kuyu Adı	Kuyu Yeri	Derinlik [m]	Kesilen Formasyonlar
SK-1	Sol Sahil	60	0-7,5 m Yamaç Molozu 7,5-60 m Metafiliş
SK-2	Sol Sahil	50	0-12 m Yamaç Molozu 12-50 m Metafiliş

Kuyu Adı	Kuyu Yeri	Derinlik [m]	Kesilen Formasyonlar
SK-3	Sol Sahil	50	0-50 m Metafiliş
SK-4	Sağ Sahil Talveg	60	0-32 m Alüvyon 32-60 m Metafiliş
SK-5	Sağ Sahil Talveg	50	0-26 m Alüvyon 26-50 m Metafiliş
SK-6	Sağ Sahil	60	0-1,70 m Yamaç Molozu 1,70-60 m Metafiliş
SK-7	Sağ Sahil	50	0-16 m Yamaç Molozu 16-50 m Metafiliş
SK-8	Dolusavak	30	0-30 m Yamaç Molozu 30-50 m Metafiliş
SK-9	Dolusavak	20,50	0-13 m Yamaç Molozu 13-20,50 m Metafiliş
SK-10	Dolusavak	25	0-2 m Yamaç Molozu 2-25 m Metafiliş
SK-11	Sağ Sahil Kondüvi Güzergâhı	25,50	0-6,5 m Yamaç Molozu 6,5-25,50 m Metafiliş
SK-12	Sol Sahil Talveg	40	0-33 m Yamaç Molozu 33-40 m Metafiliş
SK-13	Sağ Sahil Talveg	42	0-34 m Alüvyon 34-42 m Metafiliş
SK-14	Sağ Sahil Talveg	44	0-33,8 m Alüvyon 33,8-44 m Metafiliş
SK-15	Sağ Sahil Talveg	44	0-32m Alüvyon 32-44 m Metafiliş
SK-16	Sağ Sahil	28	0-13 m Yamaç Molozu 13-28 m Metafiliş
SK-17	Dolusavak Yaklaşım Kanalı	28	0-17 m Yamaç Molozu 17-28 m Metafiliş
SK-18	Dolusavak	26	0-13m Yamaç Molozu 13-26 m Metafiliş



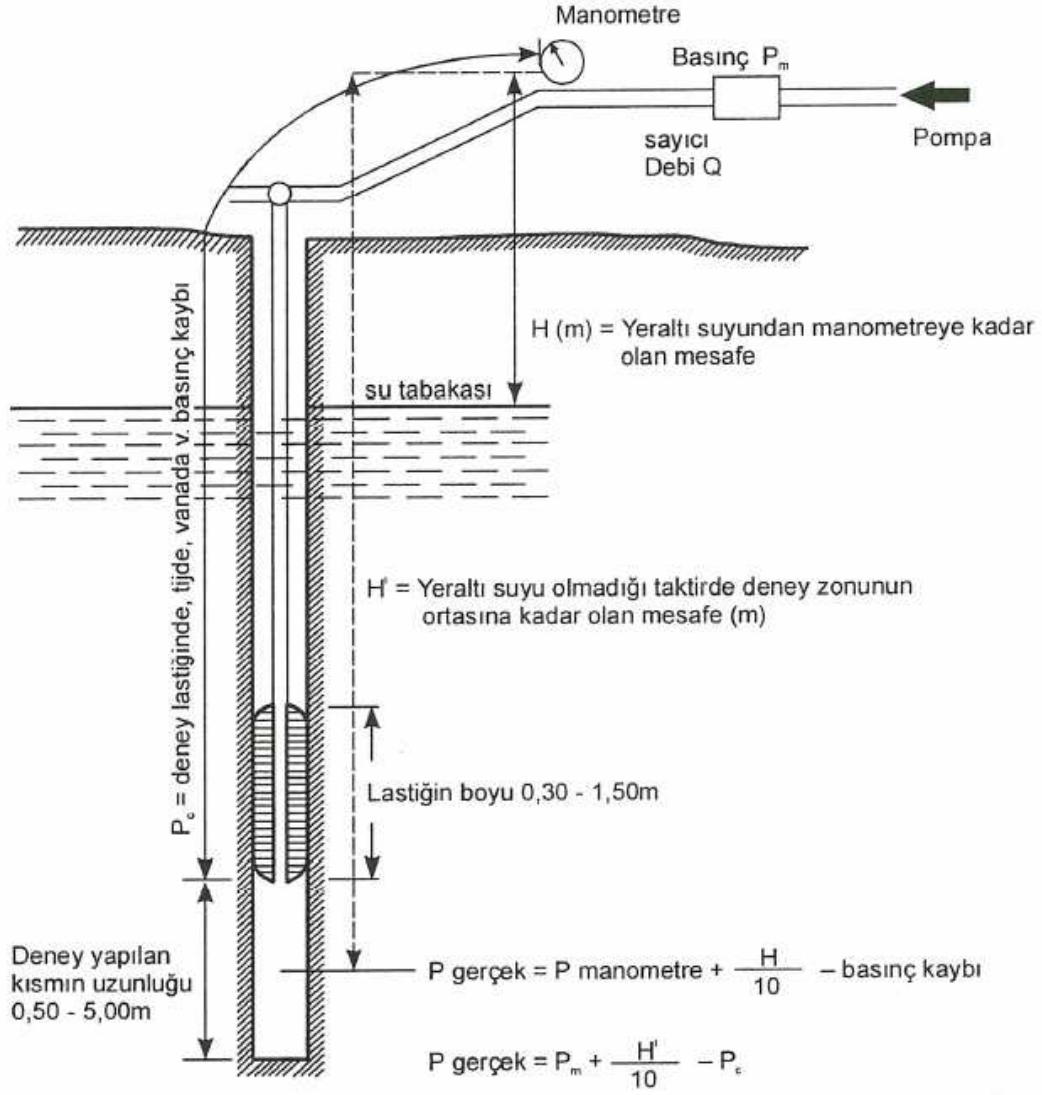
Şekil 3.1 : Sağ yakada açılan sondaj lokasyonları (Bakış yönü: kuzey batıdır.).

3.2 Basınçlı Su Deneyi

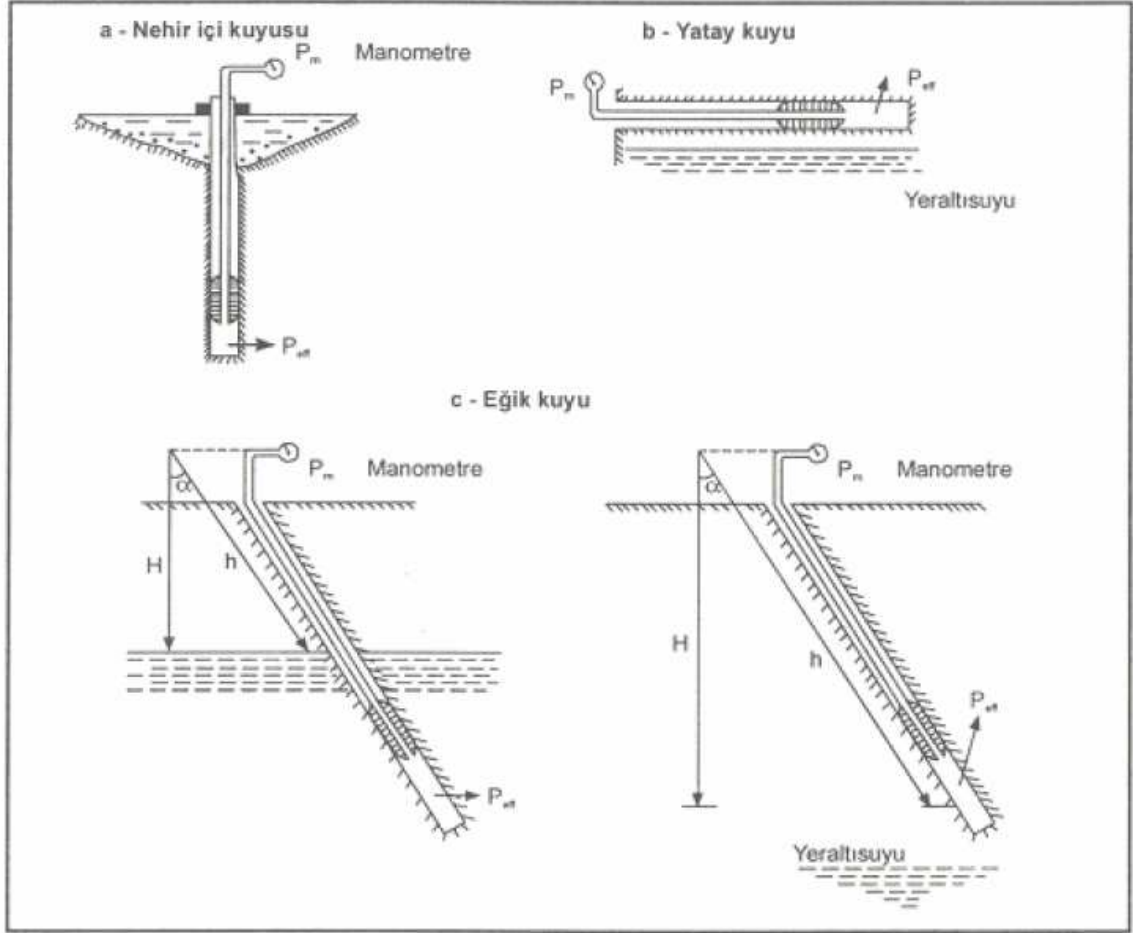
Genellikle kaya ortamlarda açılan sondaj kuyularında farklı derinliklerde yapılır. Kayaların geçirimsizliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılırlar.

3.2.1 Lugeon yönteminin uygulaması ve değerlendirilmesi

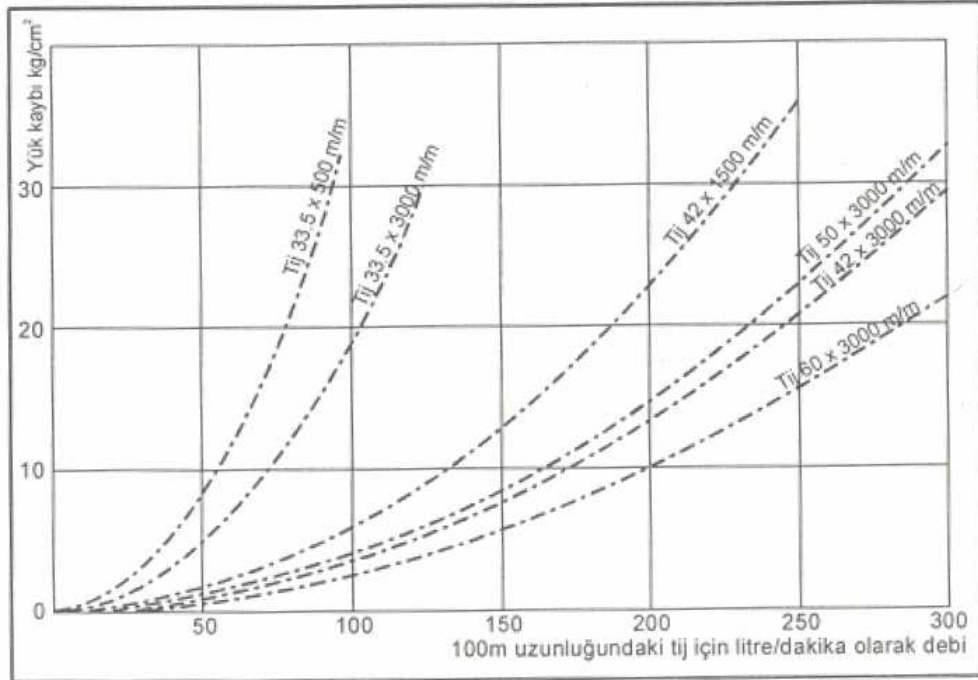
Kayada yapılan basınçlı su deney sonuçlarının değerlendirilmesinde en çok kullanılan yöntem Lugeon yöntemidir. Deneyin yapılışı Şekil 3.2’de verilmiştir. Lugeon, 10 atmosfer basınç altında 1 dakikada, 1 metrelik deney zonunda litre olarak zemine verilen su miktarıdır. Lugeon birimi hesaplanırken gerçek basınç değeri kullanılır. Gerçek basıncı (Peff) bulabilmek için manometrede okunan basınca (Pm) yer altı suyu tablası üzerindeki statik yükü ($H/10$) eklemek, deney zone başlangıcı ile manometre arasındaki yük kaybını (Pc) ise elde edilen değerden çıkartmak gerekir (Url-6). Kuyuların konumlarına göre manometreden gerçek basınç değer okumalarına ilişkin yöntem Şekil 3.3’de verilmiştir. Tij ve maşonlardaki yük kaybını gösteren abak Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Lugeon deneyinin yapılışı.



Şekil 3.3 : Lugeon deneyinde gerçek basıncın hesaplanması.



Şekil 3.4 : Tij ve maşonlardaki yük kaybını gösteren abak.

Deney yapıldıktan sonra her deney zone için Lugeon eğrileri çizilir, bu eğri üzerinde 10 atmosfer hakiki basınca karşılık gelen emilme katsayısı (1 m de 1 dakikada litre olarak emilen su miktarı), deney zonunun Lugeon birimi olarak geçirimsizliğidir. Çeşitli nedenlerle deney sırasında 10 atmosfer basınç uygulanamaması durumunda deney sonuçları 3.1’de verilen eşitlik ile değerlendirilir.

$$LU = \frac{Q \cdot 10}{P \cdot L} \quad (3.1)$$

LU = lugeon (l/dak/m)

Q = Kuyuya verilen su miktarı (l/dak)

L = kademe boyu (m)

P = Uygulanan gerçek basınç (kg/cm)

Lugeon deneyi sonucunda elde edilen değerlere göre kayaçların geçirimsizliği konusunda bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflama Çizelge 3.2’de verilmiştir (Doğru, 2005).

Çizelge 3.2 : Lugeon sınıflaması.

Lugeon	Niteliği
< 1	Geçirimsiz
1-5	Az Geçirimli
5-25	Geçirimli
> 25	Çok Geçirimli

3.2.2 Araştırma sondajlarından yapılan basınçlı su deneyi sonuçları

Baraj yerinde açılan temel sondaj kuyularında, baraj yerinin geçirimsizliğinin tespit edilebilmesi amacıyla lastik tutturulabilen seviyelerde basınçlı su deneyleri yapılmıştır. Lugeon yöntemi uygulanarak değerlendirilen deney sonuçları Çizelge 3.3’de verilmiştir. Yapılan basınçlı su deneyi sırasında her bir kuyu için 2 m’de bir lugeon değerleri hesaplanmıştır. Çizelge 3.3’de verilen değerlendirme sonuçlarının hazırlanması sırasında, Çizelge 3.2’de verilen Lugeon sınıflama tablosu kullanılmıştır. Deney sonuçlarında elde edilen Lugeon değerlerinin derinlikle değişimleri izlenerek, sınıflama tablosunda kaldıkları aralıklar belirlenmiş ve bu doğrultuda derinliğe bağlı olan geçirgenlik durumları ortaya konulmuştur. Deneyin sahada uygulanması sırasında bazı kuyularda sonuç alınamamıştır. Bu nedenle bu kuyular ile ilgili Çizelge 3.3’de herhangi bir sonuç belirtilmemiştir. Ancak

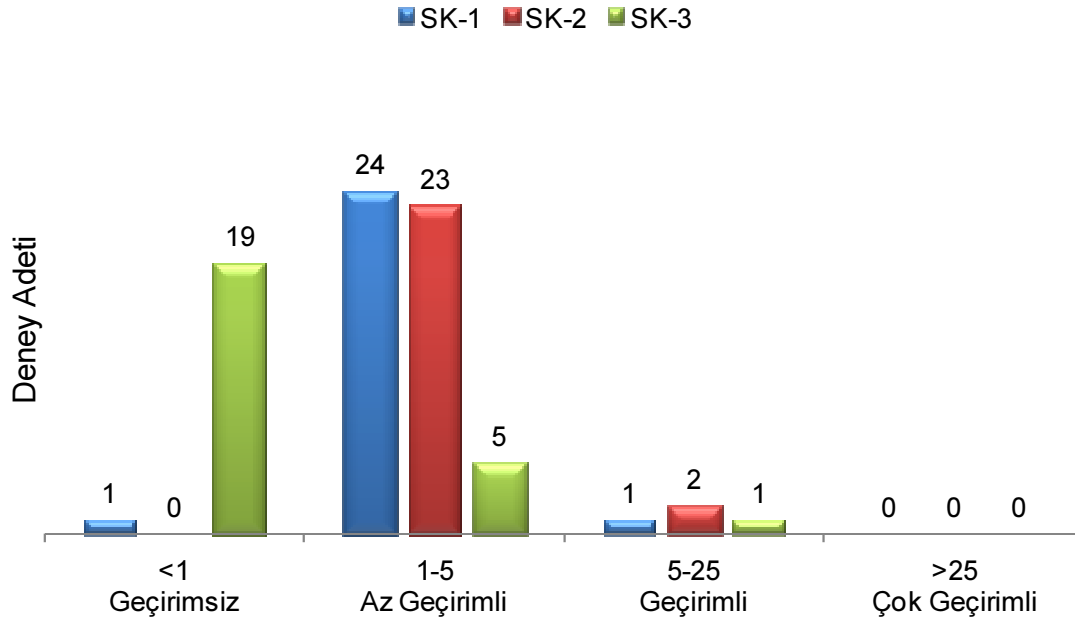
bahsedilen bu sondajlar lokasyon açısından duraysızlık probleminin meydana geldiği alana uzak bir mesafede bulunmaktadır. Bun nedenle değerlendirmeler sırasında göz önüne alınmamıştır.

Çizelge 3.3 : Kuyuların geçirimlilik durumları.

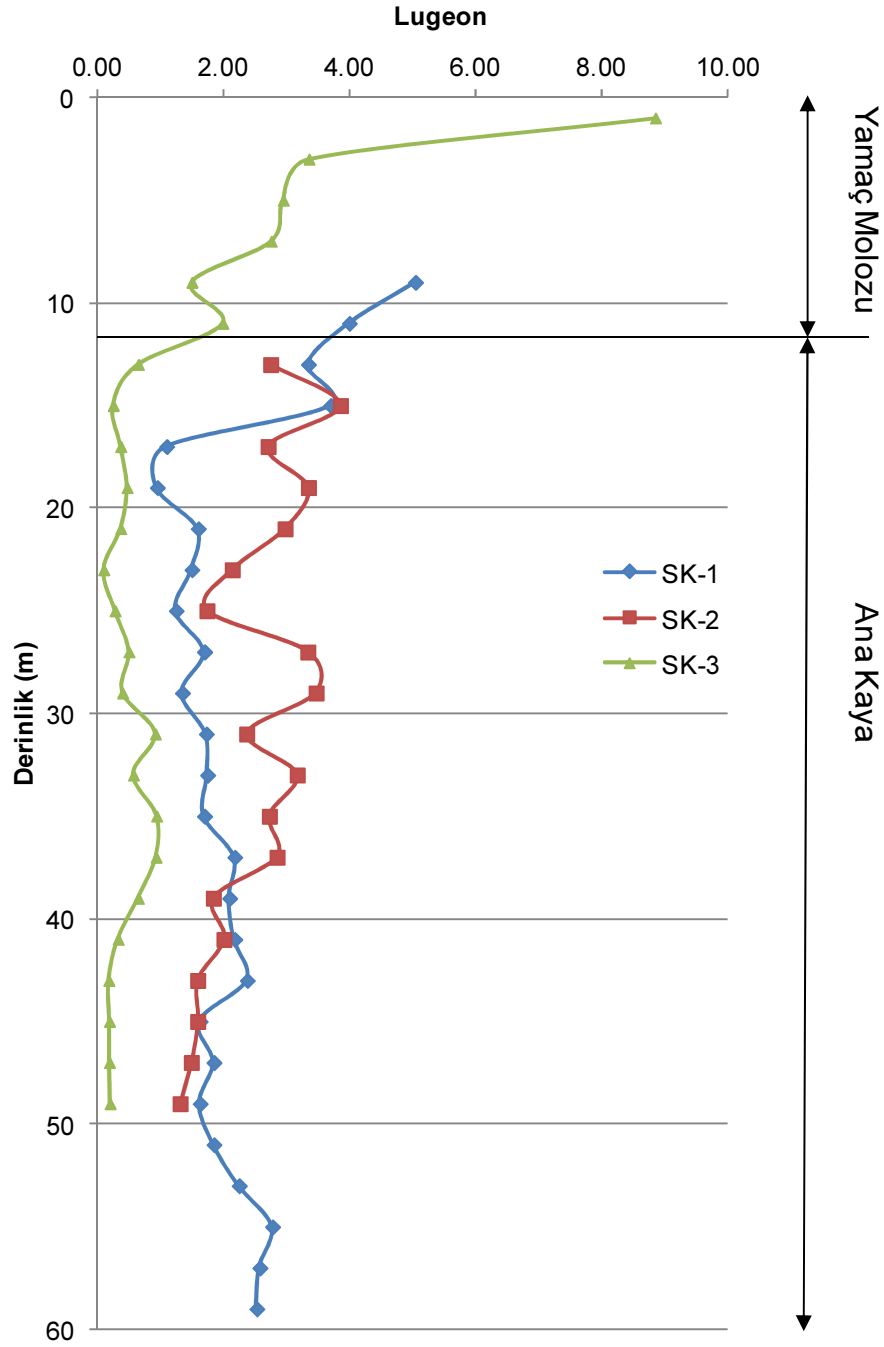
Kuyu Adı	Derinlik [m]	Lugeon [lt/m/dak]	Geçirimlilik Durumu
SK-1	0-10	6,15	Geçirimli
	10-60	1,63	Az Geçirimli
SK-2	0-50	2,85	Az Geçirimli
SK-3	0-2	8,86	Geçirimli
	2-12	2,95	Az Geçirimli
	12-50	0,57	Geçirimsiz
SK-4	32-60	0,10	Geçirimsiz
SK-5	28-50	0,47	Geçirimsiz
SK-6	5-19	4,37	Az Geçirimli
	19-60	0,95	Geçirimsiz
SK-7	17-50	0,32	Geçirimsiz
SK-8	20-30	0,22	Geçirimsiz
SK-9	-	-	-
SK-10	2-25	0,49	Geçirimsiz
SK-11	14-25	0,92	Geçirimsiz
SK-12	31,5-40	0,25	Geçirimsiz
SK-13	-	-	-
SK-14	-	-	-
SK-15	-	-	-
SK-16	-	-	-
SK-17	-	-	-
SK-18	-	-	-

Barajın sol sahilinde duraylılık sorununun yaşandığı alana en yakın olan üç sondaj (SK-1, SK-2 ve SK-3) seçilerek geçirimsizlik sonuçları değerlendirilmiştir. Şekil 3.5’de verilen diyagramda görüleceği üzere bu üç sondaj kuyusundan elde edilen sonuçlara göre eksen yerinin az geçirimli olduğu anlaşılr. Öte yandan Şekil 3.6’de verilen grafiğe göre de geçirimsizlik durumunun her üç sondajda da derinlik arttıkça azaldığı görülmektedir.

Yamaçlarda meydana gelen kütle hareketlerini etkileyen faktörlerden en önemli olanı ortamdaki su varlığıdır. Seçilmiş olan üç sondajın derine inildikçe değişimi incelendiğinde; özellikle SK-1 sondajının ilk 10 m’de Lugeon değeri açısından geçirimli bir ortam olduğu gözlenmektedir. Bu durum da sol yamaçtaki, duraysızlık sorununun yaşandığı kesimin kalınlığını gösterir.



Şekil 3.5 : Baraj yeri sol sahildeki üç sondaja ait lugeon değerleri.



Şekil 3.6 : SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajlarının lugeon-derinlik değişimi.

3.3 Laboratuvar Deneyleri

Araştırma sondajlarını gerçekleştiren firması tarafından seçilen numuneler, özel laboratuara gönderilmiştir. Alınan karot örnekleri üzerinde laboratuvar deneyi yapılmıştır. Laboratuvar ortamında; birim hacim ağırlık, nokta yükleme ve tek eksenli basınç olarak uygulanmıştır. Ancak üzerinde deney yapılan numunelerin,

duraysızlık sorununun meydana geldiği alandan alınmaması nedeni ile heyelanlı bölgeyi temsil etmediği düşünülmüştür. Bu nedenle yalnızca bölgedeki kayaçlar hakkında bir fikir verdiği anlaşılmıştır.

3.3.1 Nokta yükleme deneyi

Nokta yükü dayanım indeksi kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılmaktadır. Tek eksenli sıkışma ve çekilme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde yararlanılmakla birlikte, günümüzde bu amaçla kullanılmaması yönünde bir eğilim mevcuttur.

Standart bir nokta yükleme aleti aşağıdaki parçalardan oluşur:

- Yükleme Pompası
- Yük Göstergesi
- Gövde
- Konik Başlıklar (yükü örneğe aktarmak için kullanılır ve sertleştirilmiş çelikten imal edilir.)
- Konik başlıklar arasındaki mesafeyi ölçmek için gövdeye monteli metal cetvel

Bu deney için silindirik karot örneklerinin yanı sıra, blok ve düzensiz şekilli örnekler de kullanılabilir. Karot örneği, konik yükleme başlıklarının arasında karot eksenine dik veya paralel konumda yerleştirilebilir. Bu nedenle nokta yükleme deneyi üç farklı şekilde yapılabilmektedir.

- Çapsal deney (karot eksenine dik yönde yükleme): Boy/çap oranı 1'den büyük karot numuneleri üzerinde uygulanır. ($L/D > 1$; tercihen $L/D = 1,0-1,4$).
- Eksenel deney (karot eksenine paralel yönde yükleme): Çap/boy oranı $D/L = 0,3-1,0$ arasında olan karot örnekleri üzerinde uygulanır.
- Blok ve düzensiz örneklerde deney: 50 ± 35 mm boyutundaki blok ve düzensiz şekilli örnekler bu tür deney için uygundur. Kalınlık (D) ve genişlik (W) oranı 0,3 ile 1,0 arasında, tercihen 1'e yakın olmalıdır.

Numune boyutları kumpas ile ölçüldükten sonra konik uçların arasına deney yöntemine uygun şekilde (çapsal deneyde karotun eksinine dik yönde, eksenel deneyde paralel yönde) yerleştirilir. Konik uçlar ile örnek arasında açıklık kalmaması için pompa kullanılarak silindirik yükleme tablası yükseltilir. Örnek 10-60 saniye arasında yenilecek şekilde yükleme yapılır ve yenilme anındaki yük (P), yük göstergesinden kaydedilir.

Yenilme anında oluşan kırık, numune yüzeyinde tek bir yükleme noktasından geçiyorsa deney iptal edilir. Kayaç örneği heterojen ve anizotrop ise, deney en az 10 örnek üzerinde uygulanmalıdır.

Nokta yük dayanım indeksi düzeltilmemiş değeri 3.2’de verilen eşitlikten hesaplanır.

$$I_s = P/De^2 \quad (3.2)$$

P = Yenilme Yüğü

De = Eşdeğer karot çapı

- Çapsal Deneyde; $De^2 = D^2$
- Eksenel Deney, blok ve düzensiz blok örneklerinde ise; $De^2 = 4A / \pi$ (A=WD, konik başlıkların temas noktalarından geçen örneğin en küçük kesit alanı) değerini almaktadır.

I_s değeri; çapsal deneyde D’nin diğer deney türlerinde ise De’nin fonksiyonu olarak değişmektedir. Bu nedenle I_s değerinin standart bir karot çapına (D=50 mm) göre düzeltilmesi gerekir. Düzeltilmiş nokta- yükü dayanım indeksi ($I_s(50)$) 3.3’de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanır.

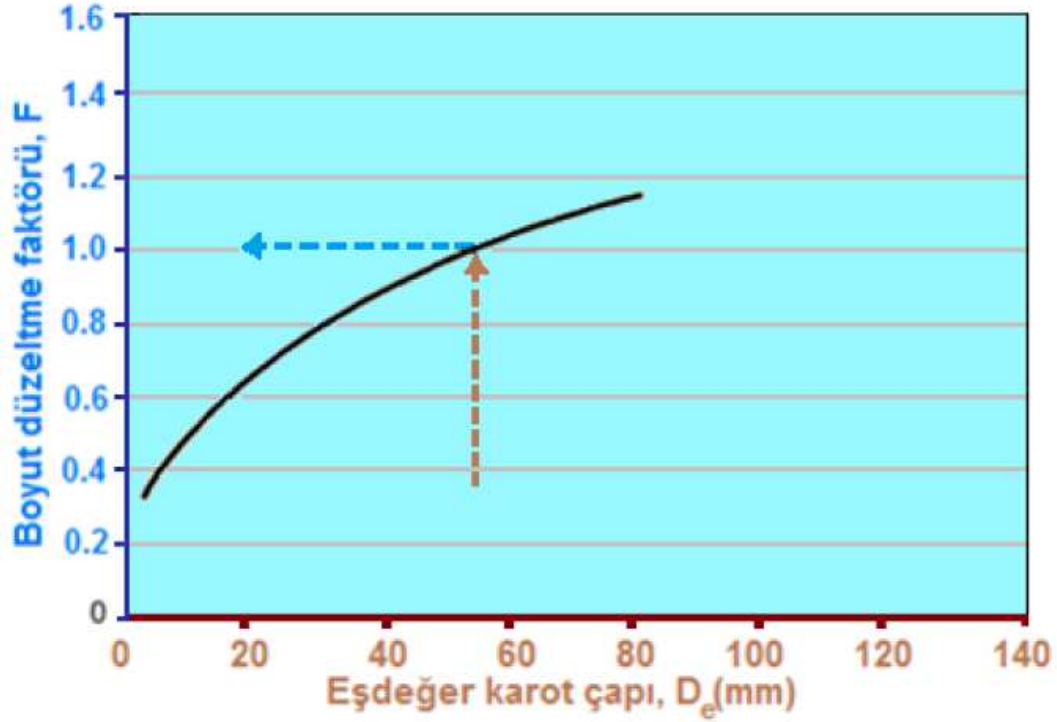
$$I_s(50) = F I_s \quad (3.3)$$

$$F = De/50^{0.45} \quad (3.4)$$

F =Boyut Düzeltme Faktörü

De = Eşdeğer karot çapı (mm)

Boyut düzeltme faktörü (F), 3.4’de verilen eşitlikten hesaplanabileceği gibi Şekil 3.7’de verilen grafikten de okunabilir (Emir, 2014).



Şekil 3.7 : Boyut düzeltme faktör grafiği.

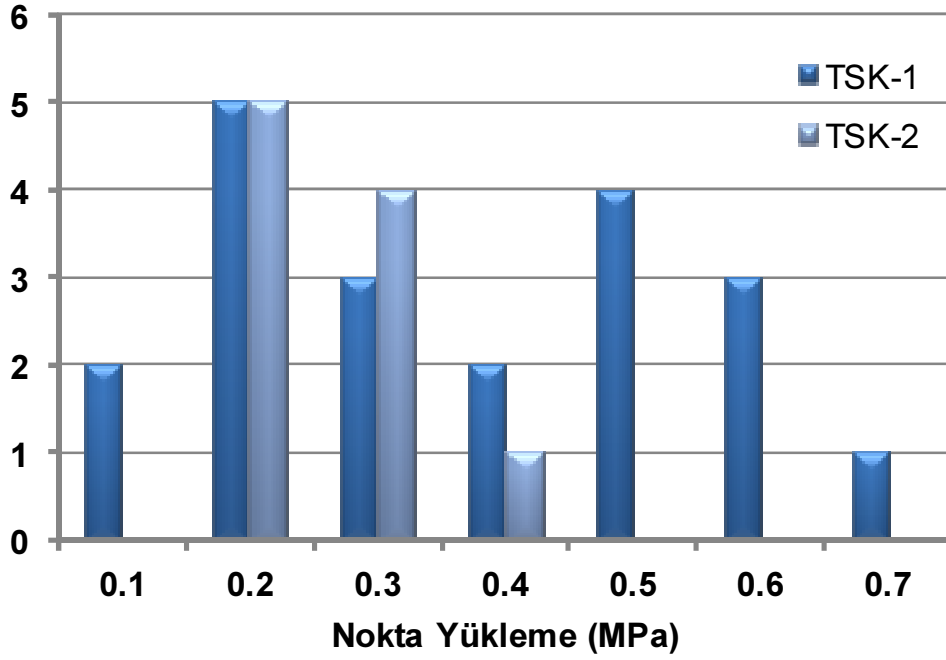
Sahadan alınan numuneler üzerinde yapılan nokta yükleme deneylerinden, inceleme alanına en yakın olanlar (TSK-1 ve TSK-2) seçilmiştir. TSK-1 ve TSK-2 numuneleri üzerinde en az 10 kez uygulanan deney sonuçları Çizelge 3.5’de verilmiştir. Sonuçların tamamı 1 MPa altında kalmaktadır. Bu durum üzerinde deney yapılan numunelerin çok zayıf olduğunu göstermektedir. Yapılan değerlendirme Çizelge 3.4’de verilen sınıflamaya göre yapılmıştır. Şekil 3.8’de verilen diyagramda nokta yükleme deneylerinin sondajlara göre dağılımı verilmiştir.

Çizelge 3.4 : Nokta yükleme dayanımı sınıflaması.

Nokta Yükleme [MPa]	Niteliği
1	Çok Az Dayanımlı
1-2	Az Dayanımlı
2-4	Orta Dayanımlı
4-8	Çok Dayanımlı
> 8	Çok Fazla Dayanımlı

Çizelge 3.5 : Nokta yükleme deney sonuçları.

Kuyu Adı	Nokta Yükleme Dayanımı [kg/cm ²]	Derinlik [m]
TSK-1	2	24.5
TSK-1	2	24.5
TSK-1	3	24.5
TSK-1	3	24.5
TSK-1	2	24.5
TSK-1	1	24.5
TSK-1	2	24.5
TSK-1	2	24.5
TSK-1	3	24.5
TSK-1	2	24.5
TSK-1	1	28.5
TSK-1	5	28.5
TSK-1	5	28.5
TSK-1	4	28.5
TSK-1	7	28.5
TSK-1	5	28.5
TSK-1	4	28.5
TSK-1	6	28.5
TSK-1	5	28.5
TSK-1	6	28.5
TSK-2	6	43
TSK-2	2	43
TSK-2	2	43
TSK-2	3	43
TSK-2	2	43
TSK-2	3	43
TSK-2	2	43
TSK-2	3	43
TSK-2	3	43
TSK-2	4	43



Şekil 3.8 : Nokta yükleme deney sonuçlarının dağılımı.

3.3.2 Tek eksenli basınç deneyi

Basınç dayanımı, malzemenin ne kadar yüke karşı koyabileceğini, yani yük altında kırılmaya karşı dayanımını ifade eder. Deney, tabakalanmaya dik veya paralel yönde uygulanabilir. En az 5 örnekte deney yapılarak ortalama rakamlar bulunmalıdır. Deney için, boyu çapının 2.5-3.0 katı olan silindirik karotlar kullanılır. Basınç uygulanan yüzeyler tam düzlem ve birbirine paralel olacak şekilde düzeltilir. İki yüzey arasındaki paralellikte hata payı en fazla bir derece olmalıdır. Örneklerin üç değişik durumunda deney yapılabilir.

- Tabii haldeki basınç mukavemeti: Örnek hazırlandıktan sonra en az 48 saat süre ile deneyin yapılacağı odada ($20 \pm 5^\circ\text{C}$ de) açıkta bekletildikten sonra ölçülen mukavemet.
- Kuru haldeki basınç mukavemeti: Örnek 48 saat süre ile kurutulup, soğuduktan sonra elde edilen mukavemet
- c. Doygun basınç mukavemeti: $20 \pm 5^\circ\text{C}$ deki suyun içinde örnek en az 48 saat bekletilir ve doymuş hale geldiğindeki mukavemeti bulunur.

Presin tablaları arasına yerleştirilen örnek üzerine kırılıncaya kadar yük uygulanır. Yük, saniyede ortalama $10-12 \text{ kg/cm}^2$ olacak şekilde sürekli ve uniform olarak

artırılır. Kırılma anında göstergeden okunan rakam kullanılarak, ($\sigma=P/A$) ile gerilme değeri bulunur.

3.3.3 Birim hacim ağırlık deneyi

Malzemenin gevşek ve sıkışık olarak işgal edeceği hacmi saptamaktır. Malzemenin kap içindeki net ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle hesaplanır ve birimi kg/m^3 olarak verilir. Malzemenin kompasitesi ve işlenme esası bu deneyle anlaşılır.

Standart birim hacim ağırlık deneyi aşağıdaki parçalardan oluşur:

- Etüv
- Terazi (30 kg çekerli 10 g duyarlı)
- Deney ölçü kabı: kap su geçirmez, kullanma sırasında biçimi bozulmayacak kadar dayanıklı metalden yapılmış, karşılıklı iki kulpu bulunan silindir biçimli değişik hacimlere sahip kaplardır.
- El küreği
- Çelik sıyırma cetveli
- Çelik sıkıştırma çubuğu: ucu yarım küre şeklinde yuvarlatılmış 600mm boyunda, 16mm çapında

Deneyde kullanılacak numune miktarı en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak değişir. Malzemeyi tam temsil eden numune alınır. Etüvde 105° 'de değişmez ağırlığa kadar kurutulur.

Değişmez ağırlık: belli bir sıcaklıkta bekletilen agreganın 2 saat ara ile yapılan ardışık tartımında % 0,5'den fazla ağırlık değişmesi saptanmayan ağırlıdır.

Hava kuruğu: ortam sıcaklığında ve ortam koşullarında bekletilen agreganın değişmez ağırlığa erişmesi durumudur.

Deney ölçü kabı malzeme tane büyüklüğüne göre seçimi yapılır. Boş kabın ağırlığı tartılır ve M_1 olarak kaydedilir. Malzeme el küreği ile kap kenarından çevresinde dönmeli olarak (ölçü kabı üst yüzeyinden en fazla 5cm yükseklikten dökülmelidir) bir miktar taşacak şekilde doldurulur. Ölçü kabı, yüzeyindeki fazla malzeme çelik cetvel ile dikkatlice sıyırılarak üst yüzey düzlenir. Gevşek malzeme ile dolu ölçü kabı tartılır ve M_2 olarak kaydedilir. Deney en az 3 kez yeni malzemelerle yapılır ve

ortalama alınır. Gevşek birim hacim ağırlık değerinin hesaplanması sırasında kullanılan eşitlik 3.5’de verilmiştir.

$$Bg = M2 - M1/V \quad (3.5)$$

Bg = Gevşek Birim Ağırlık
(kg/m³, g/dm³)

M1 = Ölçü Kabının Boş Ağırlığı (g)

M2 = Ölçü Kabı + Gevşek
Agrega ağırlığı (g)

V = Ölçü Kabının İç Hacmi (dm³)

3.3.4 Deney sonuçları

Nokta yükleme deneyinde olduğu gibi; yapılmış olan diğer laboratuvar deneyleri de yetersiz kalmaktadır. Sadece iki sondaja ait olan numuneler üzerinde deneyler uygulanmıştır. Bu sondajlar TSK-2 ve TSK-3 sondajlarıdır. Bu sondajların değerlendirilmesi sırasında kullanılan tek eksenli basınç değerlerinin değerlendirme tablosu Çizelge 3.6’de detaylı verilmiştir (Ulusay, 2007). Çizelge 3.7’de yapılmış olan tek eksenli basınç deneyinin sonuçları verilmiştir. Sonuçlara göre; tek eksenli basınç deneyi için elde edilen değerler her iki numune için de 25 MPa’ın altında kalmaktadır. Aynı şekilde bu durum da seçilen numunelerin zayıf dayanıma sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.6 : Tek eksenli basınç sınıflaması.

Tek Eksenli Basınç [MPa]	Niteliği
< 25	Çok Az Dayanımlı
25-50	Az Dayanımlı
50-100	Orta Dayanımlı
100-200	Çok Dayanımlı
> 200	Çok Fazla Dayanımlı

Çizelge 3.7 : Yapılan laboratuvar deneyleri.

Kuyu	Derinlik [m]	Tek Eksenli Basınç [MPa]	Birim Hacim Ağırlık [kN/m ³]	Elastisite Modülü [GPa]	Poisson Oranı
TSK-2	52	10,5	26	21,34	0,23
TSK-3	34,5	13,9	30	24,25	0,24

Yukarıdaki bölümlerde bahsedilen ve sahada uygulanan bütün bu çalışmalar doğrultusunda proje yapılarının dizaynları yapılmış ve yamaçlar şevlendirilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği şekilde eksik yapılan deneyler ve yorumlamalardaki yanlışlıklar nedeni ile inceleme alanında inşaatın başladığı sırada, baraj aksı sol sahilinde duraysızlık sorunu yaşanmıştır. Bu durum projeye ilave maddi bir yük getirmekle beraber, zaman açısından da gecikme yaratmıştır. Bir sonraki bölümlerde sahada meydana gelen sorun ile karşılaşıldıktan sonra yapılan çalışmalardan bahsedilecektir.

4. EKSEN YERİNDE KARŞILAŞILAN DURAYSIZLIĞIN NEDENLERİ, TÜRÜ VE MEKANİZMASI

4.1 Yamaç Duraysızlığı

Bölüm 3’de detayları verilen çalışmalar doğrultusunda, projede yer alacak olan yapıların tasarımları yapılmıştır. Bu yapıların inşaları başlamadan önce yamaçların şevlendirilmesi ve uygun görülen sıyırma kazıları da mühendislik jeolojisi çalışmaları doğrultusunda belirlenmiştir.

Baraj gövde inşası başlamadan önce yapılması gereken yamaç şevlendirme çalışmaları için kazı işlemleri başlamıştır. Projesinde öngörülen eğimlerde yamaç kazıları yapılırken sol sahilde lokal bir heyelan meydana gelmiştir. Kazılar başlamadan önce proje alanında etkileyen yağışın, meydana gelen heyelanı tetiklediği düşünülmektedir.

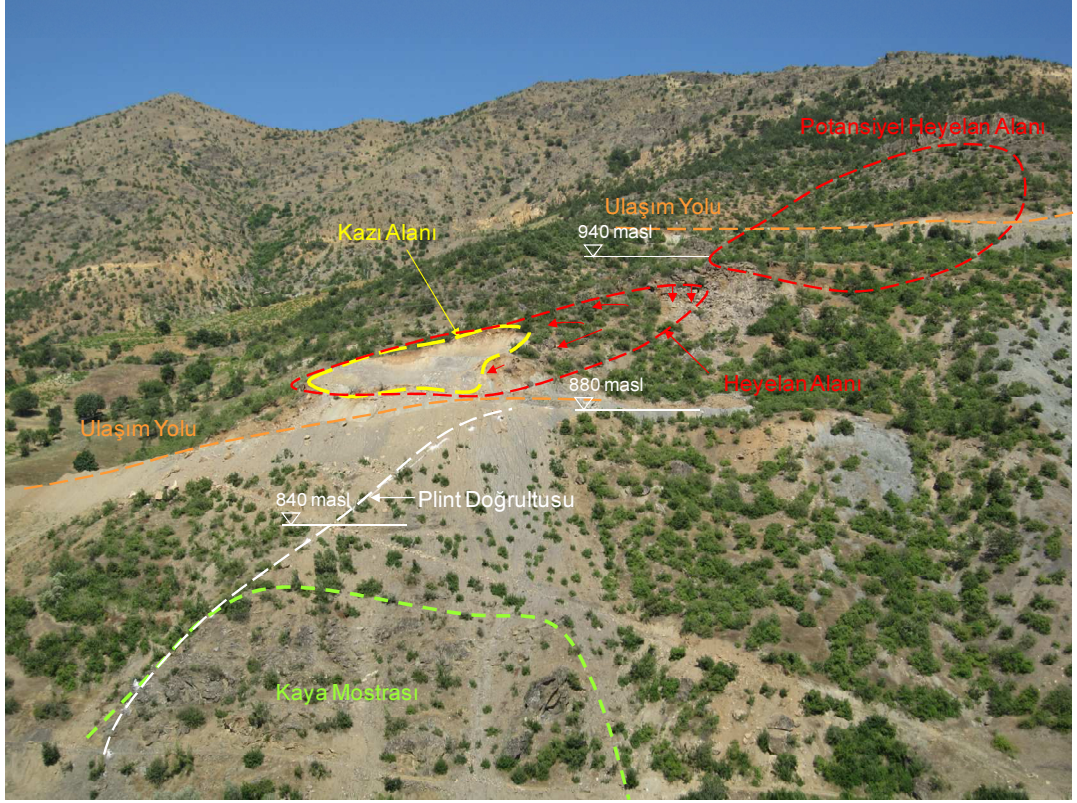
Sol sahilde heyelan probleminin meydana gelmesini takiben baraj gövdesi yerindeki bütün aktif çalışmalar hem güvenlik gerekçesi ile hem de oluşan bu sorunun çözülmesi için durdurulmuştur. Bunun üzerine 2010 yılı ortalarında sahada meydana gelen heyelan probleminin yerinde gözlenmesi için yerinde yeni incelemelerde bulunulmuştur.

Bu incelemeler sırasında heyelanın yüzeyde bıraktığı etkiler ve yüzeysel jeolojik koşullar gözlenmiştir. Bu incelemeler sırasında yapılan tespitler Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.1’de verilen fotoğraf üzerine işaretlenmiş sarı alan baraj gövdesi yamaç kazıları sırasında meydana gelen heyelan sahasını göstermektedir. Bu alanda yapılan kazı, ortamın denge durumunu bozarak üst kotta bulunan zayıf zonun hareketlenmesine yol açmıştır. Saha incelemeleri yamaçta ulaşımın mümkün olduğu bütün alanlarda yapılmış ve bu gözlemler doğrultusunda Şekil 4.1’de verilen kırmızı alanların da potansiyel heyelan sahaları olduğu belirlenmiştir. Gerek heyelan alanında gerekse yamacın diğer bölgelerinde belirlenen ve yukarıda bahsedilen kanaate varılmasında Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, ve Şekil 4.5’te verilen çekme çatlakları sebep olmuştur.

Önceki yıllarda yapılmış sondajlar; sahadaki ana kayanın metafilisten oluştuğunu göstermektedir. Ana kayanın izleri Şekil 4.1'deki yeşil alan ile temsil edilmektedir. Sahada yapılan gözlemler sırasında ana kaya olan metafilisin farklı noktalarda vermiş olduğu mostralara gözlemlenmiştir. Sahada gözlemlenen mostralardan bir örnek Şekil 4.6'de verilmiştir. Bu da ana kaya üzerini kaplamış olan yamaç molozu ve altere olmuş olan ana kaya malzemesinin, metafilis birimi üzerinde kaydığını göstermektedir. Sahada gözlenen ana kayanın mostraları incelenerek; heyelan malzemesinin yaklaşık lokasyonu ve derinliği hakkında detaylı araştırmalara geçmeden önce yeraltı koşulları hakkında bilgi edinilmiştir.

Çalışma alanının güvenlik sorununun çözümüne yönelik çalışmaların yürütülmüş, sol sahilde meydana gelen heyelanın boyutlarının belirlenmesine çalışılmıştır. Şekil 4.1'de gösterilen bölgeler içerisinde yer alan potansiyel heyelan alanında yapılan gözlemler sonucunda oluşan heyelan izlerine sahada rastlanmıştır.

Baraj inşası sonrasında proje maksimum su seviyesinde iken heyelan sahası baraj gövdesi altında kalacaktır. Heyelan sahalarının baraj gövdesinin bulunduğu alanda ve ön yüzü beton kaplama için çok önemli bir kısmı oluşturan plint yapısının altında olması, bu alanın daha detaylı bir şekilde araştırılarak gözlemlenmesi gereksinimini doğurmuştur. Bu doğrultuda sahada yeni araştırma noktaları belirlenmiş ve ilave mühendislik jeolojisi araştırmaları yapılmıştır. Eski ve yeni açılan sondajlardan uygun numuneler seçilerek laboratuarda ek deneyler yapılmıştır.



Şekil 4.1 : Sol sahilde meydana gelen duraysızlığın görüldüğü alan.



Şekil 4.2 : Sol sahilde gözlenen heyelan izleri.



Şekil 4.3 : Sol yakada hareketli yamaç molozu bloğunun içinde izlenen çatlaklar.



Şekil 4.4 : Sol yakada gözlenen heyelan taş bölgesi çatlakları ve heyelan aynası.



Şekil 4.5 : Taç bölgesi arkasında gelişen çekme çatlakları.



Şekil 4.6 : Heyelanlı bölgede yamaç molozunun altında bulunan metafiliz birimi.

4.2 Durum Belirleme ve İzleme Amaçlı Sondaj Çalışmaları

Sol sahilde başlayan yamaç kazısı sonrasında meydana gelen heyelanının durumunu ortaya çıkarmak amacı ile ilk etapta dört sondaj (HSK-1, HSK-2, HSK-3 ve HSK-4) yapılmıştır. Bu sondajların lokasyonları EK A’da verilen temsili harita ve Şekil 4.7 üzerinde görülmektedir.

Daha sonra, 2010 tarihinde, inceleme alanı ile ilgili daha detay bilgiler elde etmek için yeni sondajların ve arazi deneylerinin yapılması kararlaştırılmıştır. Bu doğrultuda Çizelge 4.1’de verilen yeni sondajlar açılmış ve sondajlardan seçilen numuneler üzerinde laboratuvar ve arazi deneyleri uygulanmıştır.

Açılan 17 yeni sondaj kuyusunun sekiz adedi alandaki aktif hareketin varlığını belirlemek, yönünü ve hızını izlemek amacı ile açılmış olup, inklinometre cihazları yerleştirilmesi sureti ile izlemeleri yapılmıştır. Bu konu ile ilgili detaylı bilgi aşağıda verilmiştir. Açılan yeni sondajlarda da yamaç molozu ve metafiliz ile karşılaşmıştır.

Sondajlardan bazıları heyelan sorununun meydana geldiği ve etkilediği alanlar içerisinde yer alması nedeni ile çalışmalar istenilen derinliğe karar ilerleyememiştir. Sondaj kuyularının göçmesi nedeni ile sonlandırılmıştır (YHSK-2 ve YHSK-3). YHSK-3 sondajı 13 m’de, ana kayaya giriş yapıldıktan 2 m sonra, sonlandırılmıştır.

Sondajlardan bazıları ile ilgili yeterli bilgi temin edilememiştir. Ancak Çizelge 4.1’de de görüleceği üzere, gerek verisi mevcut olan sondajlardan alınan bilgiler gerekse de mevcut sondajların lokasyonları güvenilir bir değerlendirme yapmak için yeterli bulunmuştur. Bu nedenle verisi olmayan sondajlar bu çalışmada kullanılmamıştır.

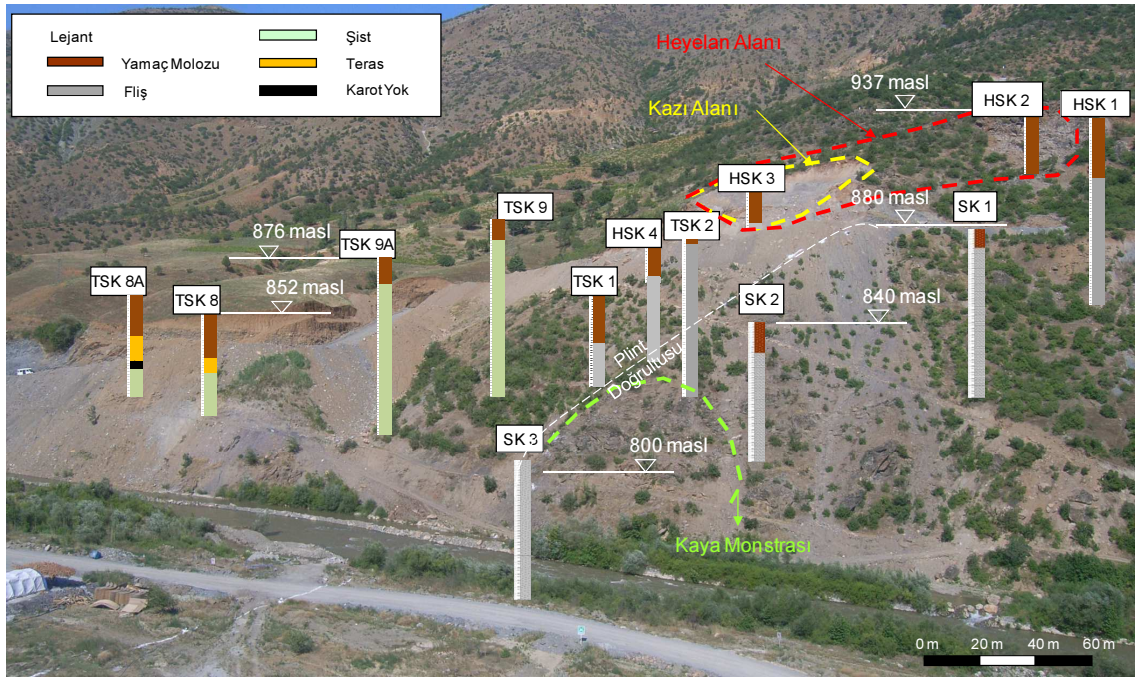
Çizelge 4.1’de, INK-1, INK-2, INK-3, INK-4, INK-5, INK-6, INK-7 ve INK-8 simgeleri ile belirtilen sondajlar inklinometre kuyularıdır. Hareketin yönünü ve hızını izlemek amacı ile açılmıştır.

Çizelge 4.1’de verilen ortalama RQD değerleri incelendiğinde sondajlarda geçilen birimler çok zayıf ve orta kaya kalitesindedir. Derecelendirilen bu kaya kalitesi Çizelge 4.2’deki sınıflama kullanılarak yapılmıştır. En iyi sonucun alındığı sondaj INK-6 sondajı olmuştur. Ancak bu sondaj hem kot olarak heyelan sahasının çok altında hem de lokasyon olarak heyelan sahasına uzak bir konumda bulunmaktadır. Bu nedenle kaya kalitesinin bu sondajda iyi çıkması beklenen bir durumdur.

Şekil 4.7’de verilen sondaj lokasyonları haritası incelendiğinde; plint güzergâhı boyunca bulunan sondajlarda yamaç molozu ve metafiliz birimleri ile karşılaşmıştır. Güzergâhta bulunan sondajlardan bazıları eski açılan sondajlardır (SK-2, SK-3, TSK-1 ve TSK-2). Sondajların ortalama RQD değerlerine bakıldığında yine ağırlıklı olarak zayıf ve orta kaya kalitesinde olduğu anlaşılır. Ortalama RQD değerleri, SK-2 için % 32, SK-3 için % 72,5, TSK-1 için % 19 ve TSK-2 için % 38’dir. En iyi RQD değerlerinin ölçüldüğü sondaj SK-3’üdür. Bunun nedeni SK-3 sondajının açılmış olduğu kottur. SK-3 sondajının bulunduğu kot, Şekil 4.7’de de görüleceği üzere kaya mostrasının gözlemlendiği kota çok yakındır. Sondajın tamamı ana kaya birimini oluşturan metafilizten oluşmaktadır. Bu nedenle hem RQD hem de TCR değerleri diğer sondajlar ile karşılaştırıldığında yüksek kalmaktadır. SK-3 sondajının kalitesinin yüksek olması nedeni ile yeni yapılan laboratuvar deneyleri için numune bu sondajdan seçilmiştir. Bu konu ile ilgili detaylı bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Baraj yerinde açılan yeni sondaj kuyuları.

Kuyu Adı	Ortalama RQD [%]	Derinlik [m]	Formasyon
HSK-1	10	65	0-21 m Yamaç Molozu 21-65 m Metafiliş
HSK-2	0	21	0-21 m Yamaç Molozu
HSK-3	5	13	0-11 m Yamaç Molozu 11-13 m Metafiliş
HSK-4	38	47	0-12,5 m Yamaç Molozu 12,5-47 m Metafiliş
YHSK-1	58	40	0-10 m Yamaç Molozu 10-40 m Metafiliş
YHSK-2	52	45	0-8,10 m Yamaç Molozu 8,10-45 m Metafiliş
YHSK-3			Güvenilir veri mevcut değil
YHSK-4			Güvenilir veri mevcut değil
YHSK-5	17	47	0-11 m Yamaç Molozu 11-47 m Metafiliş
YHSK-6			Güvenilir veri mevcut değil
YHSK-7			Güvenilir veri mevcut değil
INK-1	17	50	0-8,75 Yamaç Molozu 8,75-50 m Metafiliş
INK-2	22	50	0-2 Yamaç Molozu 2-22 m Metafiliş 22-50 m Ezilme Zonu
INK-3			Güvenilir veri mevcut değil
INK-4			Güvenilir veri mevcut değil
INK-5			Güvenilir veri mevcut değil
INK-6	72,8	50	0-9,30 Yamaç Molozu 9,30-50 m Metafiliş
INK-7			Güvenilir veri mevcut değil
INK-8			Güvenilir veri mevcut değil
YTSK-1	55	50	0-4,5 Yamaç Molozu 4,5-50 m Metafiliş
YTSK-2	50	30	0-3 Yamaç Molozu 3-30 m Metafiliş



Şekil 4.7 : Sol sahilde açılan eski ve yeni sondaj lokasyonları.

Çizelge 4.2 : RQD sınıflaması.

RQD	Kaya Kalitesi
0-25	Çok Kötü
25-50	Kötü
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi

4.3 Arazi Çalışmaları

Meydana gelen duraysızlık probleminin çözümüne yönelik sahada yapılan ilave incelemeler kapsamında Schmidt Çekici deneyi ve inklinometre ölçümleri yapılmıştır. Schmidt Çekici deneyi ile sondajlardan seçilen numuneler üzerinde laboratuvar ortamında yapılan tek eksenli basınç deneyinin sonuçları karşılaştırılmıştır. İnklinometre ölçümleri ile de açılmış olan sekiz sondaj kuyusunda hareketin yönü ve hızı tespit edilmeye çalışılmıştır.

4.3.1 Schmidt çekici ölçümleri

Kaya malzemesinin direnç özelliklerinin belirlenmesinde ve kaya kütle sınıflamalarında önemli bir parametre olan tek eksenli basınç dayanımının ölçümü ve

tahmini yaygın olarak kullanılmaktadır. Ucuz, kolay, pratik, hasarsız bir deney yöntemi olan Schmidt Çekici ile kaya ve betonların sertlik dayanımlarının tayini ve tek eksenli basınç dayanımlarını dolaylı yoldan tahmin etmesi sağlanmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı kestiriminde kullanılan Schmidt çekici gibi dolaylı yöntemler, tek eksenli basınç dayanımına kıyasla daha basit, daha hızlı, ve daha ekonomiktir. Schmidt çekici beton sertliğini test etmek için ilk olarak 1948 yılında geliştirilmiştir. Sonraları kaya dayanımını test etmede kullanılmaya başlanmıştır. Fakat Schmidt Çekici yöntemi çok yumuşak ve çok sert kayalarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Schmidt Çekici ile okunan geri tepme sayısını etkileyen etkenler; kullanılan çekiç tipi, test edilen kayacın ayrışma durumu, kayaç yüzeyindeki pürüzlülükler, kayaç yüzeyinin nem içeriği, çekicinin kalibrasyonu, örnek boyutu, uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemidir.

4.3.1.1 Uygulama ve değerlendirme

Literatürde birbirinden oldukça farklı ölçme ve değerlendirme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki detaylı olarak verilmiştir.

- **Hucka (1960)** numune üzerinde üç farklı noktada, her bir noktada on tekrar olmak üzere, Schmidt Çekici ile yaptığı deneyden elde edilen en yüksek üç değerinin ortalamasını almıştır.
- **Soiltest (1976)** numune üzerine Schmidt Çekici ile 15 farklı noktaya tek vuruş yapıp, en büyük on tanesinin ortalamasını almıştır.
- **Poole ve Farmer (1980)** numune üzerine Schmidt Çekici ile üç farklı noktanın her birine beş vuruş yapıp, bu üç noktadaki en yüksek değerlerin ortalamasını almışlardır.
- **ISRM (1981)** bu yöntemde numune üzerine Schmidt Çekici ile 20 farklı noktaya tek vuruş yapılarak, en büyük 10 vuruş değerinin ortalaması alınır.
- **USBK (1998)** bu yöntemde numune üzerine Schmidt Çekici ile on değişik yerden vuruş yapılarak ölçülen değerler okunur, en büyük beş okumanın ortalaması alınır.
- **ASTM (2001)** bu yöntemde numune üzerine Schmidt Çekici ile on farklı noktaya tek vuruş yapıp, bu vuruşların ortalaması alınarak ortalamanın 7

birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilir ve geriye kalanların ortalaması Schmidt sertlik değeri olarak alınır.

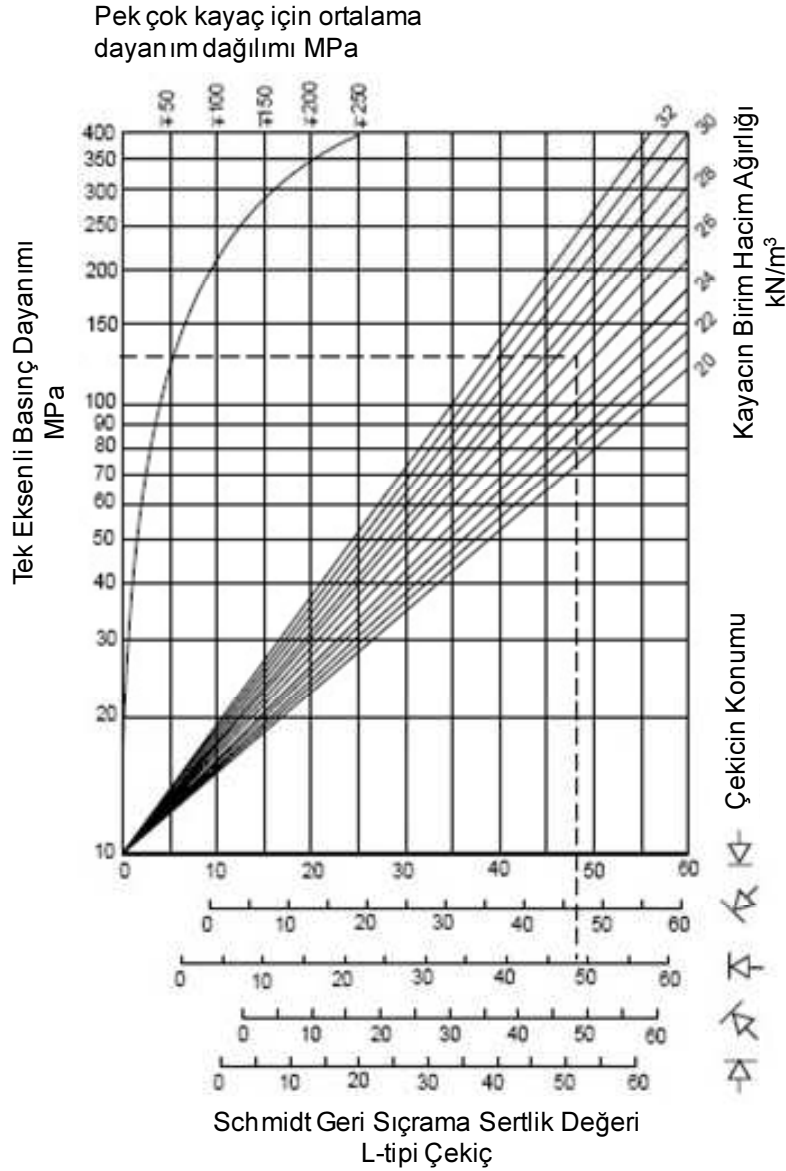
- **Sumner ve Nel (2002)** numune üzerine Schmitd Çekici ile on beş farklı noktadan vuruş değerleri okuyarak, en büyük beş değeri çıkartıp geri kalan on değerın ortalamasını almışlardır.

Yukarıda detayları verilen yöntemlerden biri seçilerek yapılan deney sonuçlarının değerlendirilmesi için ISRM 1978'e göre kayaç sertlik sınıflaması yapılmıştır. Bu sınıflamaya göre kayaçlar yumuşak, az yumuşak, az sert, sert, oldukça sert ve çok sert olarak tanımlanabilmektedir. Bu sınıflama tablosu Çizelge 4.3'de verilmiştir (Karaman,2011).

Çizelge 4.3 : Schmidt çekici kaya sertliğinin sınıflandırılması.

Schmidt Sertlik Değeri	Niteliği
0-10	Yumuşak
10-20	Az Yumuşak
20-40	Az Sert
40-50	Sert
50-60	Oldukça Sert
>60	Çok Sert

Şekil 4.8'de verilen grafikler ile değerlendirilerek Schmidt deney sonuçlarından tek eksenli basınç dayanım değerlerine geçiş yapılabilir (Akyol, 2002).



Şekil 4.8 : Schmidt sertliği ve tek eksenli sıkışma dayanımı ilişkisi.

4.3.1.2 Yerinde ölçümler

Sahada ana kayayı oluşturan metafiliz biriminin dayanım durumu ile ilgili daha detaylı bilgi almak amacı ile sahada ilave incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla RQD değeri en yüksek olan sondaj olan SK-3 seçilerek; incelemelerin yapıldığı numuneler bu sondajdan alınmıştır. SK-3 sondajında görsel olarak dayanımı düşük olan kısımlar seçilerek laboratuvar deneyleri yapılmış ve dayanım değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. SK-3 sondajı içerisinde görsel olarak dayanımı yüksek olan numuneler için ise Schmidt çekici deneyi yapılarak dolaylı yoldan dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Bu uygulamanın yapılma sebebi ana kaya olan metafiliz biriminin

dayanımının maksimum değerlerini görmektir. Arazide sertlik ölçünleri için kullanılan Schmidt Çekici Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Uygulama sırasında ISRM yöntemi seçilmiştir. SK-3 sondajı içerisinde görsel olarak dayanımı yüksek olan numuneler için Schmidt Çekici deneyi uygulanmıştır. Uygulamada; ISRM (1978)’e göre numune üzerine Schmidt Çekici ile 20 farklı noktaya tek vuruş yapılarak, en büyük 10 vuruş değerinin ortalaması alınmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Elde edilen değerlerin öncelikle ortalamaları alınmıştır. Ortalama değerler; Çizelge 4.3 verilen sınıflama doğrultusunda değerlendirilmiş, sonrasında ise Şekil 4.8’de verilen grafik yardımıyla dayanım değerleri belirtilmiştir. Bu değerlendirme sırasında araziden elde edilen Schmidt sertlik değerleri ve laboratuvar ortamında hesaplanmış olan birim hacim ağırlık değerleri kullanılmıştır. Değerlendirilen sonuçlar Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Sahada yapılan schmidt çekici deney sonuçları.

Numune No.	Derinlik Aralığı [m]		Schmidt Çekici Deneyi										Ortalama
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
SK3_SA05	5,5	6	52	47	56	42	52	57	47	56	47	55	51,1
SK3_SA12	26,3	26,4	42	44	43	52	51	44	49	48	45	46	46,4
SK3_SA16	35,4	35,6	54	45	47	50	43	52	54	53	50	51	49,9
SK3_SA17	36,5	36,8	46	55	42	45	47	50	55	46	43	47	47,6
SK3_SA19	45,4	45,5	46	47	47	45	51	47	43	47	48	45	46,6

Çizelge 4.4’de hesaplanmış olan ortalama Schmidt sertlik değerleri, ISRM (1981) sınıflama sistemine göre değerlendirildiğinde Sert-Oldukça Sert aralığında değişmektedir. Hesaplanmış olan bu ortalama sertlik değerleri ve birim hacim ağırlık değerleri kullanılarak yaklaşık olarak tek eksenli basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır. Bu doğrultuda okumalar Deere ve Miller (1966) tarafından hazırlanan ve Şekil 4.8’de verilen grafik üzerinde yapılmıştır. Hesaplanan tek eksenli basınç dayanım değerleri 100-200 MPa arasında değişmekte olup, çok dayanımlı aralığında kalmaktadır.

Çizelge 4.5 : Sertlik değerlerine göre hesaplanan basınç mukavemeti değerleri.

Numune No.	Derinlik Aralığı [m]		Ortalama Schmidt Sertlik Değeri	Birim Hacim Ağırlık [kN/m ³]	Tek Eksenli Basınç Direnci [MPa]
SK3_SA05	5,5	6	51,1	29	190
SK3_SA12	26,3	26,4	46,4	26	110
SK3_SA16	35,4	35,6	49,9	28	180
SK3_SA17	36,5	36,8	47,6	27	140
SK3_SA19	45,4	45,5	46,6	26	110



Şekil 4.9 : Uygulamanın yapıldığı schmidt çekici.

Yukarıda detayları verilen deney sonuçlarına göre; üzerinde ilave deneyler yapılan ana kaya birimi çok dayanımlıdır. Ancak daha öncede bahsedildiği şekilde seçilen numuneler RQD değerlerinin en yüksek olduğu, kot olarak ana kaya biriminin mostra verdiği SK-3 sondajının değerlerini yansıtmaktadır. SK-3 sondajından seçilen

ve dayanım olarak daha düşük olan numunelerin laboratuvar ortamında deneyleri yapılmıştır. Heyelan probleminin yaşandığı alanda analize yönelik yapılan çalışmalarda laboratuvar ortamında elde edilen dayanımı düşük ana kaya dayanım parametreleri kullanılmıştır.

4.3.2 Laboratuvar deneyleri

Yukarıdaki bölümlerde de bahsedildiği şekilde RQD değerlerinin en yüksek olduğu SK-3 sondajı arazi ve laboratuvar deneyleri için seçilmiştir. Gözle yapılan numune seçimi sırasında dayanımın düşük olduğu bölümler üzerinde laboratuvar deneyleri, yüksek olan numuneler için üzerinde Schmidt Çekici deneyi yapılmıştır. Schmidt Çekici deneyi ile ana kaya olan metafiliz biriminin maksimum dayanım parametreleri elde edilmiştir. Ancak heyelan probleminin meydana geldiği alanda bulunan metafiliz birimi dayanım açısından çok düşüktür. Bu hem yapılan saha gözlemleri sırasında hem de heyelan sahasında açılan sondajlarda görülmüştür. Ana kayanın zayıf zonlarından seçilen örnekler Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Heyelan sahasında yapılan sondajların RQD’leri güvenli numune alımına elverişli olmadığı için, RQD değerlerinin yüksek olduğu SK-3 sondajı seçilmiş ve dayanımın düşük olduğu kısımlar laboratuvar deneylerine gönderilmiştir. Seçilen numunelerden bazıları Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

Laboratuvar ortamında, numunelerin poisson oranları, elastisite modülleri ve tek eksenli basınç değerleri belirlenmiştir. Sonuçlar, Çizelge 4.6’de verilmiş olup, tek eksenli basınç dayanımları 6 MPa ile 62 MPa aralığında değişmektedir. Bu da tek eksenli basınç dayanımı sınıflamasında çok az dayanımlı-orta dayanımlı kaya sınıfına karşılık gelmektedir.



Şekil 4.10 : Metafiliş birimi (HSK-1, 34,5-42,5 m).



Şekil 4.11 : Metafiliş birimi (YHSK-2, 14,45-18,45 m).



Şekil 4.12 : Yamaç molozu ve metafiliş birimi (HSK-3, 0-13 m).



Şekil 4.13 : Laboratuvar deneyi için alınan metafiliz örneği (SK-3, 5,5-6 m).



Şekil 4.14 : Laboratuvar deneyi için alınan metafiliz örneği (SK-3, 4,7-5 m).

Çizelge 4.6 : Laboratuvarda yapılan kaya mekaniği deney sonuçları.

Numune No.	Derinlik Aralığı [m]		Tek Eksenli Basınç Direnci [MPa]	Poisson Oranı	Elastisite Modülü [MPa]
SK3_5.5-6.0_SA01_UCS+01	5,5	6	6,8	0,2	5795
SK3_3.7-4.0_SA02_UCS+02	3,7	4	38,45	-	-
SK3_4.7-5.0_SA03_UCS03	4,7	5	62,39	0,25	33386
SK3_10.2-10.4_SA06_UCS04	10,2	10,4	10,54	-	-
SK3_14.4-14.5_SA07_UCS+05	14,4	14,5	7,18	0,10	4075
SK3_24.3-24.5_SA10_UCS06	24,3	24,5	42,37	-	-
SK3_26.0-26.3_SA11_UCS+07	26	26,3	49,21	0,24	32381
SK3_35.4-35.6_SA14_UCS08	35,4	35,6	50,69	-	-
SK3_36.5-36.8_SA15_UCS+09	36,5	36,8	40,12	0,23	17207
SK3_45.2-45.4_SA18_UCS10	45,2	45,4	61,63	-	-
SK2_15.2-15.5_SA20_UCS+11	15,2	15,5	31,39	0,19	12002
SK2_38.2-38.4_SA22_UCS+12	38,2	38,4	9,75	0,11	5639

4.3.3 İnklinometre ölçümleri

Araştırma amacına bağlı olarak düşey, yatay ve eğimli olmak üzere çeşitli tipleri bulunan inklinometre cihazı; jeoteknik amaçlı araştırmalar kapsamında, barajlarda, dolgularda, yarmalarda, şevlerde, heyelanlı alanlarda, derin temel kazılarında, diyafram ve kazık duvarlarda, istinat yapılarında ve yeraltı açıklıklarında meydana gelebilecek yatay ve/veya düşey yer hareketlerinin ölçümü veya belli bir süre gözlenmesi amacıyla kullanılmaktadır.

İnclinometre cihazı, sahada açılmış deliklerin eksenlerinden düşey sapmalarını ölçmek için kullanılan bir aygıttır. Ölçülen sapmalar, trigonometrik fonksiyonlarla ifade edilebilecek hale dönüştürülebilirler. Ardarda yapılacak olan ölçümler, stabil olmayan eğimlerin, derinliğin ve yanal hareket oranlarının belirlenmesine olanak sağlarlar.

İnclinometre cihazlarının piyasada pek çok tipi olmakla birlikte en çok kullanılan tipi “Algılayıcı Tip İnclinometre” (Probe Type Inclinometer) dir. Bu tip, bir kontrol kutusu ve bir kabloya bağlı olarak esnek bir boru (casing) içerisinde deliğe indirilen algılayıcıdan oluşur.

Algılayıcılar genellikle içerisine 90° lik arayla yerleştirilmiş dört adet yiv bulunduran esnek dairesel bir boru gerektirirler. Probe’daki elektriksel çıkış kontrol kutusuna bağlı bulunmaktadır ve yapılan ölçümleri görsel verilere ve grafik formlara dönüştürürler (Yalçınkaya, 2005).

4.3.3.1 Uygulama ve değerlendirme

İnclinometre borusu, hareket beklenen bölge ile kesişen dike yakın bir deliğe kurulur. Açılan delik, hareket beklenmeyen bölge içerisinde (zemin veya kaya ortamı olabilir) hareket beklenen bölgenin 4,5 m ilerisine kadar uzatılmalıdır. Kırıntı yığınının olabileceği delik diplerinde 1,5 m lik kayıplara müsaade edilir.

Boru, kum dolgu veya zayıf çimento enjeksiyonu içerisinde tutulur. İnclinometre boruları, 3.0 m uzunluğunda, plastik maddelerden oluşur. Yivlerin dipten tepeye kadar aynı düşeyde kalmaları için kullanılan kılavuz sağa ve sola döndürülerek kurma işlemi tamamlanır.

İnclinometre borusunun kurulduğu andaki pozisyonuna göre, bütün deplasmanların hesaplanmasına kadar, en az iki ayrı set halinde yapılacak olan ölçümlere göre borunun ilk konumunun doğruluğu sağlanır. İlk ölçümler yapıldığında borunun tepesi, zemin yüzünde, hareket beklenen bölgenin dışında bir noktaya belirlenmiş olacaktır. Ölçümlerin sıklığı çeşitli nedenlere bağlıdır, ölçüm sıklığı genellikle hareketin hızı ile ilişkilidir.

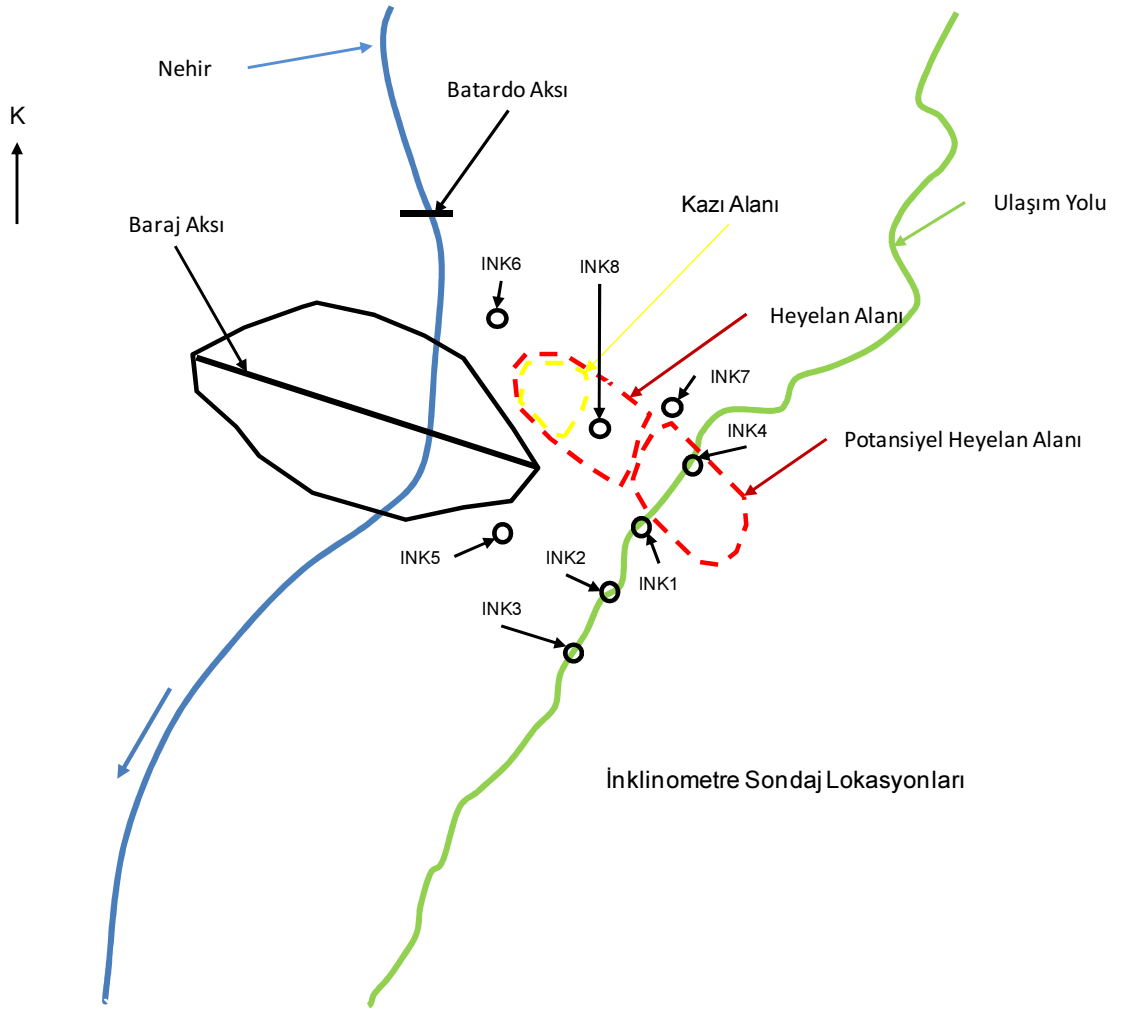
İkili algılayıcı (Bi-axial Probe) inclinometre cihazlarında, inclinometre probunun delik dibine indirdikten sonra okumalara başlamaktır. Her seferinde inclinometrenin ilk yapılan okumayla aynı derinliğe indirildiğinden emin olunmaktadır. Belirli

aralıklarla okumalar alınarak inklinometre deliğın tepesine kadar yükseltilir. Daha sonra inklinometre borudan ayrılır, kılavuz bu kez karşı yive denk gelecek şekilde 180° döndürölerek, inklinometre borusun dibine indirilir. Delik tepesine kadar okumalar aynı şekilde alınır. Bu prosedür, okumaları elde etmek için, karşılıklı bir yiv çifti için + ve – yönlerde iki kez okuma alınarak tekrar edilir.

Her set okumasının toplamları karşılaştırılarak ve boru uzunluğu boyunca tüm okumaların aritmetik ortalaması alınarak bir alan oluşturulur. Değişimler imalatçı tarafından belirlenenlerden daha büyük olduğu zaman inklinometre tekrar o derinliğe indirilerek ilave okumalar yapılmalıdır. Tekrar alınan okumaların aynı derinliklerde alınmasına dikkat edilmelidir (Ertürk,1996).

4.3.3.2 İnklinometre okumaları

Heyelan sahası için uygun destekleme sistemi belirlenmeden önce, heyelan sahasındaki hareketin gözlenmesi amacı ile sekiz adet inklinometre kuyusu açılmıştır. Bu işlemin bir başka nedeni de saha için geliştirilecek çözüm süresince heyelan sahasındaki olası hareketin yönü ve hızını izlemektir. Yerleştirilen inklinometreler ile bir senelik bir dönemde heyelan sahasındaki hareket izlenmiştir. Şekil 4.15’da verilen ölçeksiz çizimde inklinometre kuyularının lokasyonları verilmiştir.



Şekil 4.15 : Yamaç hareketinin olduğu alan ve inklinometre kuyularının yerleri.

Çizelge 4.7 : İnklinometre kuyularının gözlem özeti.

Kuyu No.	Hareketin Ortalama Derinliği [m]	Toplam Hareket Miktarı [mm/yıl]
INK-1	10	25-35
INK-2	15	15
INK-3	5	10
INK-5	10	25
INK-6	Sadece 2 kez ölçüm alınabilmektedir.	
INK-7	10	15

İnklinometre kuyularının kurulmasını takiben 1 yıl boyunca düzenli okumalar yapılmış ve sonuçlar kayıt altına alınmıştır. İlk bir aylık süreçte okuma sıklıkları 7-10 gün arasında değişmiştir. Daha sonraki aylarda ise ayda ortalama 2 kez okuma yapılacak şekilde devam etmiştir. Yapılan okuma sonuçlarının detayları EK B’de

verilmiştir. İnklinometre okumaları kullanılarak oluşturulan grafiklerde yatay eksek hareketin miktarını mm cinsinden, düşey eksen ise hareketin meydana geldiği derinliği göstermektedir. İnklinometre kuyularında belirtilen A yönü Kuzey-Güney, B yönü ise Doğu-Batı yönünü göstermektedir.

Yapılan okumalara göre hazırlanan derinlik ve hareket miktarı grafikleri herbir sondaj kuyusu için EK B’de ayrı ayrı verilmiştir. Çizelge 4.7’de verilen özet tablo incelendiğinde; hareketin miktarının en az olduğu kuyular INK-2, INK-3, ve INK-7’dir. Şekil 4.15’de verilen temsili görünümde bu kuyuların yerlerine bakıldığında mevcut heyelan alanının dışında kalmaktadır. Anılan çizelgede verilen hareket miktarları bir yıllık süreye karşılık gelmektedir.

INK-6 kuyusunda bir senelik süreç boyunca yalnızca iki kez ölçüm alınabilmektedir. Bu nedenle bu kuyuya ait olan okumalar güvenli bulunmamış ve değerlendirmede göz önüne alınmamıştır. Aynı şekilde, INK-8 kuyusundan çok yeterli bilgi alınamamıştır. Bunun sebebi meydana gelen kaymalar ile kuyuda göçme oluşmasıdır.

En çok hareketin gözlemlendiği kuyular; INK-1, INK-4, ve INK-5’dir. Ölçüm süresi göz önüne alındığında bir senelik bir süre içerisinde 25 mm’lik hareket çok fazla değildir. Aynı zamanda hareketin meydana geldiği derinlik de çok fazla değildir. Her iki sondajın lokasyonları kontrol edildiğinde de heyelan sınırının dışında yer almaktadırlar. Bu durumda hareketin yüzeysel bir hareket olduğu ve yamaç molozu biriminde gerçekleştiği söylenebilir. Ancak INK-4 kuyusundan alınan bilgiler önem taşımaktadır. INK-4 sondajı hem heyelan sınırları ile belirlenen bölge içerisinde kalmakta hem de en fazla hareketin gözlemlendiği sondaj olma özelliğini taşımaktadır. INK-4 sondajında meydana gelen en büyük hareket miktarı 60 mm olup, 50 m gibi derin bir alanda okunmuştur. Ancak bu miktardaki bir yerdeğiştirmenin kuyuda herhangi bir hasara neden olmamış olması kuşku bir durum olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle heyelanın önlenmesi için yapılan analizlerde bu kuyu göz önüne alınmamıştır. Diğer sondajlarda meydana gelen hareketler hem heyelan sınırı dışındadır hem de hareket miktarları düşüktür.

5. DURAYSIZLIK SAĞLANMASINA YÖNELİK ÖNLEMİN ANALİZİ VE BOYUTLANDIRILMASI

5.1 Uygulanan Destekleme Yöntemi ve Elemanları

Yukarıdaki bölümlerde belirtilen jeolojik çalışmalar sonucunda uygulanacak kazı şevinin eğimi ve sol sahilin desteklenmesi amacı ile projeci tarafından yeni bir tasarım yapılmıştır.

Bu doğrultuda ilk olarak ölçüm grubu tarafından, onaylı projeye uygun olarak şev kazısı ve desteklemesinin yapılacağı yerdeki mevcut saha kotlarının alımı ve kazı sınırlarının sahaya uygulaması yapılmıştır. Yaklaşık olarak 877 kotu ile 865 kotu arasında uygulanacak kazı destekleme sistemleri, kablo ankraj delgisi ve imalatlarının yapılabilirliği için kademeler şeklinde geri kazı ve destekleme çalışmaları yapılmıştır. Projede ankraj kotlarının bir metre altında çalışma platformu olacak şekilde kazılar kademeli olarak yapılmıştır. Ortamda var olan serbest malzemelerin temizliği yapılarak destekleme çalışmaları başlamıştır.

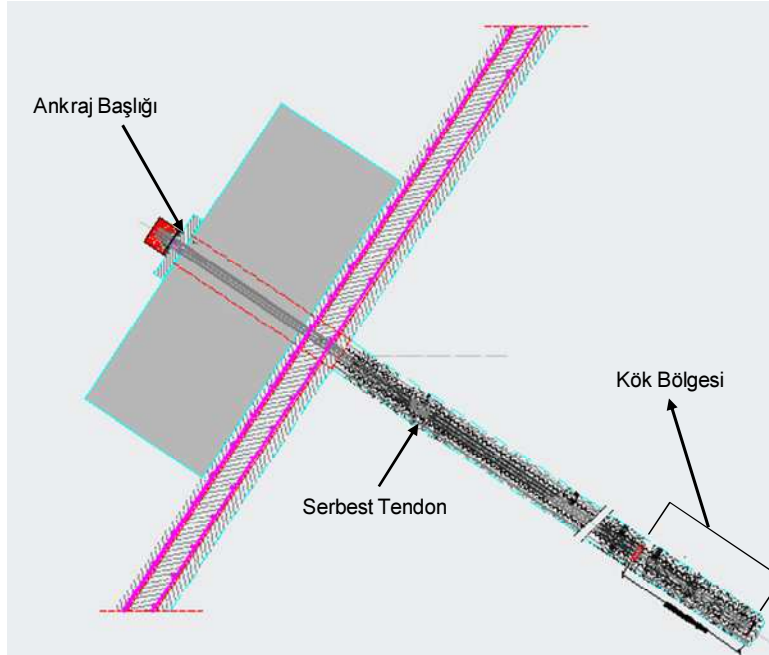
Hazırlanmış olan kazı yüzeylerine, projeye göre 5 cm kalınlığında birinci kademe püskürtme betonu atılmıştır. Atılan birinci kademe püskürtme betonu üzerine projede belirtildiği üzere birinci kat hasır çelik bağlanmış ve tamamlanan imalat üzerine, 10 cm'lik ikinci kademe püskürtme betonu atılmıştır. Bu püskürtme betonu üzerine tekrar ikinci kat hasır çelik bağlanmış ve son olarak 5 cm'lik son kademe püskürtme betonu ile destekleme tamamlanmıştır.

Bu aşamadan sonra ölçüm ekipleri, hazırlanmış olan şev yüzeyleri üzerine, projesine uygun olarak barbakan ve kablo ankraj noktalarını işaretlemiştir. Darbeli delgi yöntemi ile delik dibi tabancası kullanılarak barbakan ve kablo ankraj delgileri açılmıştır.

Barbakan delikleri için, 5 derecelik açı ile çapı 100 mm olan PVC perfore boruyu yerleştirebilmek için 115 mm çapında 12 m'lik delgi çalışması yapılmıştır. Delgi tamamlandıktan sonra kuyu içerisi hava ile iyice temizlendikten sonra 100 mm çapında PVC perfore boru kuyuya yerleştirilecek barbakan imalatı tamamlanmıştır.

Şev yüzeyinde yapılan son işlem öngermeli ankraj uygulamasıdır. Öngermeli ankrajlar üç kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlar Şekil 5.1’de verilmiştir.

- Ankraj Başlığı; Başlık plakasıyla birlikte çalışan bu kısım, ön germe kuvvetinin zemini tutan iksa yüzeyine aktarılmasını sağlar. Ankraj başlıkları, tendonu oluşturan sarmal çelik halatların tip ve adetlerine göre dizayn edilir. Ankraj tendonlarının başlık plakasına sabitlenmelerinde dişli kısaç kelepçeler-kama kullanılır.
- Serbest (Tendon) Gövde; Ankrajların kök kısmı ile başlık kısmını bağlayan, yani ön germe kuvvetini kök bölgesine aktaran ve artan gerilmeyle beraber elastik uzama gösteren kısımdır.
- Ankraj Kökü; Enjeksiyon yapılarak oluşturulan, enjeksiyon-zemin aderansıyla, ön germe kuvvetinin sağlam zemine aktarılmasını sağlayan kısımdır.



Şekil 5.1 : Öngermeli ankrajlar kısımları.

Projede belirtildiği gibi kök bölgesi 6 m olacak şekilde öngermeli ankraj halatının imalatı, ankraj delgisi başlamadan projede gösterildiği şekilde önceden dışarıda hazırlanmıştır. Delgi işlemi yapıldıktan sonra, kuyu hava ile iyice temizlenmiş ve takiben kablo ankraj deliğe yerleştirilmiştir. Germe işleminin yapılabilmesi için, kablo ankraj yerleştirilmesi sırasında, halatların ucu başlık kirişinden sonra 1,6 m dışarıda bırakılmıştır. Takiben hazırlanan çimento şerbeti ile kök bölgesindeki oluklu

borunun içerisi enjeksiyonla, havalandırma borusundan enjeksiyon gelene kadar doldurulmuştur. Daha sonra oluklu borunun dış yüzeyi ile zemin arasındaki bölgenin enjeksiyonu yapılmıştır. Bu aşamadan sonra başlık krişi imalatına geçilmiş ve başlık krişi betonu dökülmüştür. Başlık krişi betonunun istenilen dayanıma ulaşmasından sonra, kablo ankrajlara projede belirtilen test yükü uygulanarak, istenilen kilitleme yükünde kilitlenmiştir. Kilitleme yükünde tendonlar, dişli, kıskaç, kelepçeli kamalarla ankraj kafası ve plakaya sabitlenmiştir. Son olarak germe uygulamak için dışarıda bırakılan halatlar kesilmiş, pas önleyici bileklikler takılmıştır.

Sonuç olarak 98 adet öngermeli ankrajın uygulaması yapılmıştır. Bunun yanı sıra devam eden gövde dolgusu da bu alana ulaştığında destekleme sağlamıştır. Sahadaki uygulamadan örnekler şekil 5.2, şekil 5.3, şekil 5.4, şekil 5.5, ve şekil 5.6'de verilmiştir.

Sahada yapılan uygulama yukarıda sıralanan işlemlerle adım adım yapılmıştır. Gerek projelendirme gerekse de uygulama sürecinde yapılan işlem aşamaları kontrol edilmiştir. Saha koşulları, yapılan ilave araştırmalar, ana kaya parametreleri göz önüne alındığında sahada uygulanan proje aşırı güvenli tarafta kalınarak yapılmıştır. Güvenlik katsayısının aşırı yüksek tutulması nedeni ile uygulanan ankraj boylarının çok uzun seçildiği düşünülmektedir. Böylece bu çalışmanın da ana konusunu oluşturan alternatif bir çözüm yoluna gidilmiştir. Bu amaç ile yapılan çalışmalar bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 5.2 : Çelik hasır ve püskürtme betonu uygulaması.



Şekil 5.3 : Şev yüzeyine uygulanan kademeli ankrajlar.



Şekil 5.4 : Gövde dolgusu ile beraber devam eden ankraj uygulaması.



Şekil 5.5 : Sol sahildeki tamamlanan öngermeli ankraj uygulaması.



Şekil 5.6 : Sol sahilde tamamlanan öngermeli ankraj uygulaması.

5.2 Yamaç Hareketlerinin Modellenmesi ve Çözümü

Gerek irdelenen tasarım, gerekse de alternatif çözümlerin geliştirilmesi sırasında SLOPE/W uygulaması kullanılmıştır. SLOPE/W, GEO-SLOPE International tarafından üretilmiş olan ve dağıtımı yapılan GeoStudio yazılım programının bir alt uygulaması olup iki boyutlu sonlu elemanlar metodunu kullanarak analizleri gerçekleştirmektedir.

5.2.1 Optimizasyon için temel kriterler

Yukarıdaki bölümde de bahsedildiği şekilde sahada, öngermeli ankraj uygulaması yapılarak sol sahilde oluşan heyelan problemi stabil hale getirilmiştir. Buna ek olarak tamamlanan gövde dolgusu da heyelan alanında topuk malzemesi görevi görerek stabiliteye katkı sağlamıştır. Ancak uygulaması yapılmış olan tasarım incelendiğinde seçilen ankraj boylarının ve ankraj yüklerinin aşırı boyutlandırılmış olabileceği düşünülmüştür. Bu nedenle ortamın mühendislik jeolojisi modeli modifiye edilerek farklı çözümler yapılmıştır. İlave çalışmalar sonucunda, daha düşük maliyetlerle sol

sahilde meydana gelen heyelan sorununun çözülebileceği görülmüştür. Yapılan optimizasyon çalışmasının detayları aşağıda verilmiştir.

Optimizasyon aşaması sırasında ihtiyaç duyulan parametreleri elde etmek amacı ile sahada yapılmış olan araştırmalar kullanılmıştır. Bu doğrultuda, eski sondajlar, yeni sondajlar, eski ve yeni laboratuvar deneyleri, arazi deneyleri ve inklinometre okumaları tekrar değerlendirilmiştir. Yukarıdaki bölümlerde bahsedildiği şekilde sahada heyelan sorununa yol açan birkaç neden vardır. Bunlardan birincisi ortamda bulunan ve dayanımı zayıf olan ana kaya ve ana kayanın üzerinde stabil olmadan duran yamaç molozu birimidir. Yapılmış olan basınçlı su deneyinden yüzeye yakın kısımlar geçirimli bir yapıda olduğu anlaşılmıştır. Bu kesimde suya doygun şartların oluşabileceği anlaşılr. Bu nedenle sol sahildeki heyelanı tetikleyen diğer bir etmenin ortamdaki yeraltı suyun varlığıdır.

Bu etkenler belirlendikten sonra yapılması gereken, ortamı oluşturan birimlerin dayanım parametrelerinin belirlenmesidir. Bu amaç ile açılan bütün sondajlar değerlendirilerek, sondajların yoğunluklarına göre farklı kesitler çıkarılmıştır. Bu kesitler üzerinde heyelanın kayma dairesinin derinliği belirlenmeye çalışılmıştır. Çıkarılan bütün kesitler detaylı olarak EK C’de verilmiştir.

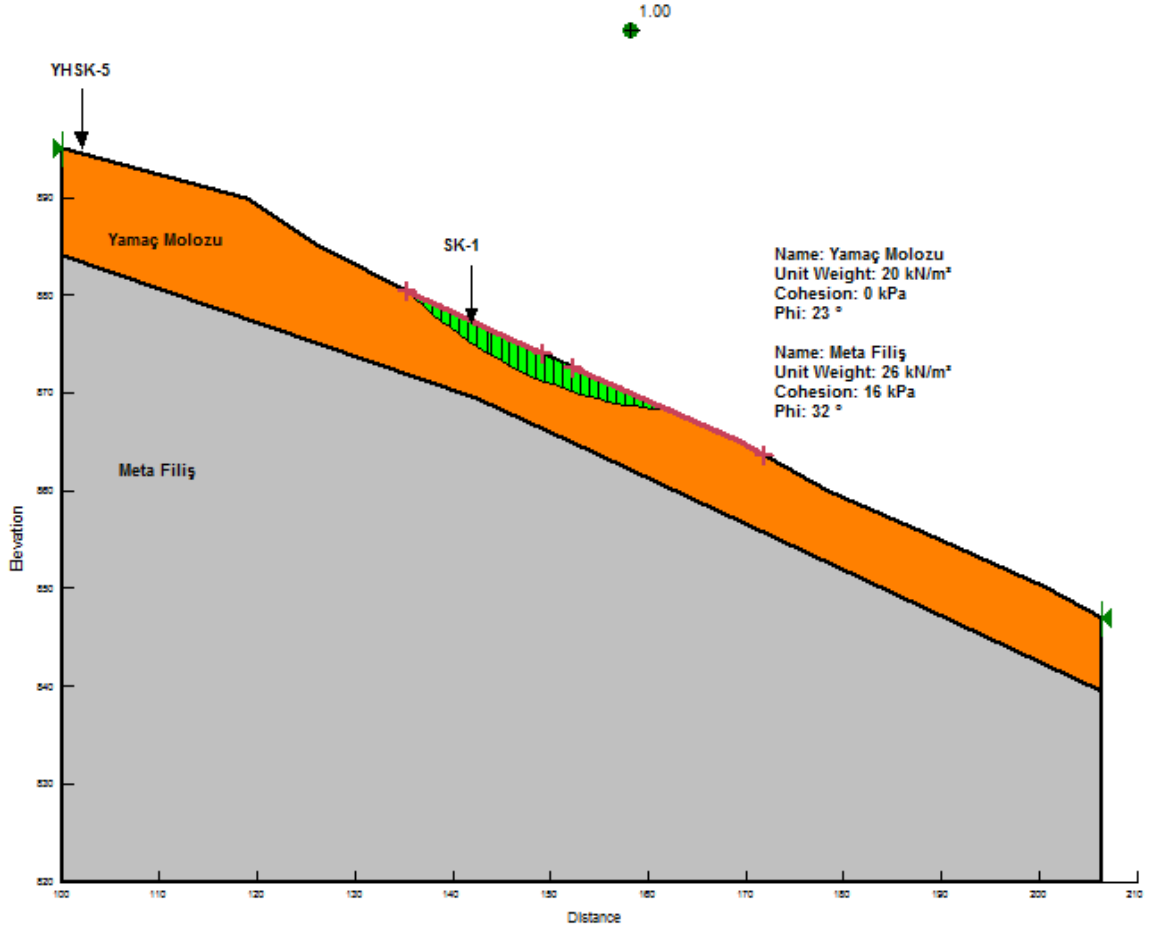
Plint yapısı altındaki birimleri yorumlamak amacı ile heyelanın hareket yönü doğrultusunda, HSK-1, SK-1, SK-2 ve SK-3 sondajları üzerinden geçen bir kesit alınmıştır (F-F’ kesiti). F-F’ kesiti (EK C) üzerinde yer alan ve bu kesite yakın olan sondajlar kullanarak yeraltı jeolojik modeli çıkarılmıştır. Kesitte de görüleceği üzere kalınlığı yaklaşık olarak 20 m olan yamaç molozunu, sahadaki ana kaya olan metafilisi örtmektedir. Sondaj loglarının yanındaki alanlarda verilen RQD (Kaya Kalite Değeri), TCR (Toplam Karot Yüzdesi), FF (Çatlak Sıklığı) ve WD (Ayrışma Derecesi) değerleri metafilis için detaylı incelendiğinde, metafilis içerisinde zayıf zonların olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle karot fotoğrafları üzerinde yapılan detaylı inceleme ile metafilis içerisindeki zayıf zonlar (Grafit) loglara işlenmiştir. Sonuç olarak heyelanın kayma dairesinin düşey yönde yaklaşık olarak 20-25 m’lik bir derinliğe ulaştığı sonucuna ulaşılmıştır. İnklinometre okumaları da bu durumu desteklemektedir. İnklinometre okumaları değerlendirildiğinde INK-4 sondajı dışında bütün sondajlarda hareket, yaklaşık 15-20 m’lik bir derinlik aralığında gerçekleşmiştir. INK-4 sondajında ise bu durum farklıdır. Bu sondaj heyelan sınırı ile belirlenen alan içerisinde kalmaktadır ve bu alanda aktif hareketin devam etmesi

nedeni ile 60 m derinliğe varan hareket söz konusu olmuştur. Diğer kuyularla karşılaştırıldığında bu kuyudaki ölçümün hatalı yapılmış olabileceği ortaya çıkmaktadır.

Laboratuvar ve arazi deneyleri için, RQD değerlerinin en yüksek olduğu sondaj seçilerek dayanım parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır. Görsel olarak seçilen numunelerden zayıf olanları laboratuvar deneyleri için gönderilirken, daha iyi dayanıma sahip olan numuneler üzerinde Schmidt deneyi yapılmıştır. Elde edilen değerlere göre metafiliz biriminin dayanımı 34 MPa olarak belirlenmiştir. Schmidt Çekici yardımıyla belirlenen değerler çok yüksek olduğundan değerlendirmede göz önüne alınmamıştır.

Tabakaların alacakları dayanım parametrelerini belirlemek amacı ile ortamın doğal durumu göz önüne alınarak geri analiz yapılmıştır. Öncelikle yamacın doğal durumdaki eğimi programa girilmiştir. Sonrasında açılan sondajlara dayanarak yeraltındaki tabakalar programa tanıtılmıştır. Yamacın doğal koşullarında duraysız hale gelebilmesi için modelde göz önünde tutulan dayanım parametreleri hesaplanmıştır. Oluşturulan model Şekil 5.7’de verilmiştir.

Yapılan geri analiz sonucunda; yamacın doğal durumda kritik denge hali için gerekli olan güvenlik katsayısı 1 olarak alınmıştır. Analiz sonuçları değerlendirilerek, metafiliz için; birim hacim ağırlık 26 kN/m^3 , kohezyon 16 kPa ve içsel sürtünme açısı 32° seçilmiştir. Yamaç molozu için ise; birim hacim ağırlık 20 kN/m^3 , kohezyon 0 kPa ve içsel sürtünme açısı 23° seçilmiştir.



Şekil 5.7 : Geri analizde kullanılan sayısal model.

5.2.2 Sahadaki uygulamanın analizi

Optimizasyon aşamasına geçilmeden önce, saha uygulamasında yapılmış olan tasarım irdelenmiştir. Bu amaç ile projeci tarafından alınan, jeolojik parametreler (jeolojik birimlerin sayısı, bu birimler için kullanılan dayanım parametreleri, vb.) ve uygulanan destekleme yapısı göz önüne alınmış ve model oluşturulmuştur. Burada amaç, tasarlanan modelde alınan güvenlik katsayısının kaç olduğu ve ankrajların hangi koşullarda çalıştırıldığı sorularının cevabına ulaşmaktır.

Bu aşamada atılan ilk adım, modeli oluşturmak için gerekli olan yamaç ve şev eğimlerinin belirlenmesi ve kesit çıkarılmasıdır. İkinci olarak ortamdaki birimler ve tabaka sayısı belirlenmiştir. Bu noktada projeci tarafından üç farklı tabakanın öngörülmüş olduğu anlaşılmıştır. Bunlar yamaç molozu, metafilis ve her iki zon arasında bulunan bir geçiş zonudur. Kesit alınan alana yakın olan YHSK-5 ve SK-1 sondajları dikkate alınmasına rağmen ortamda seçilen kalınlıkta bir geçiş (ayrışma) zonu gözlenmemiştir. Sondajlarda 1 m'yi geçmeyen bir geçiş zonu gözlemlenmiştir.

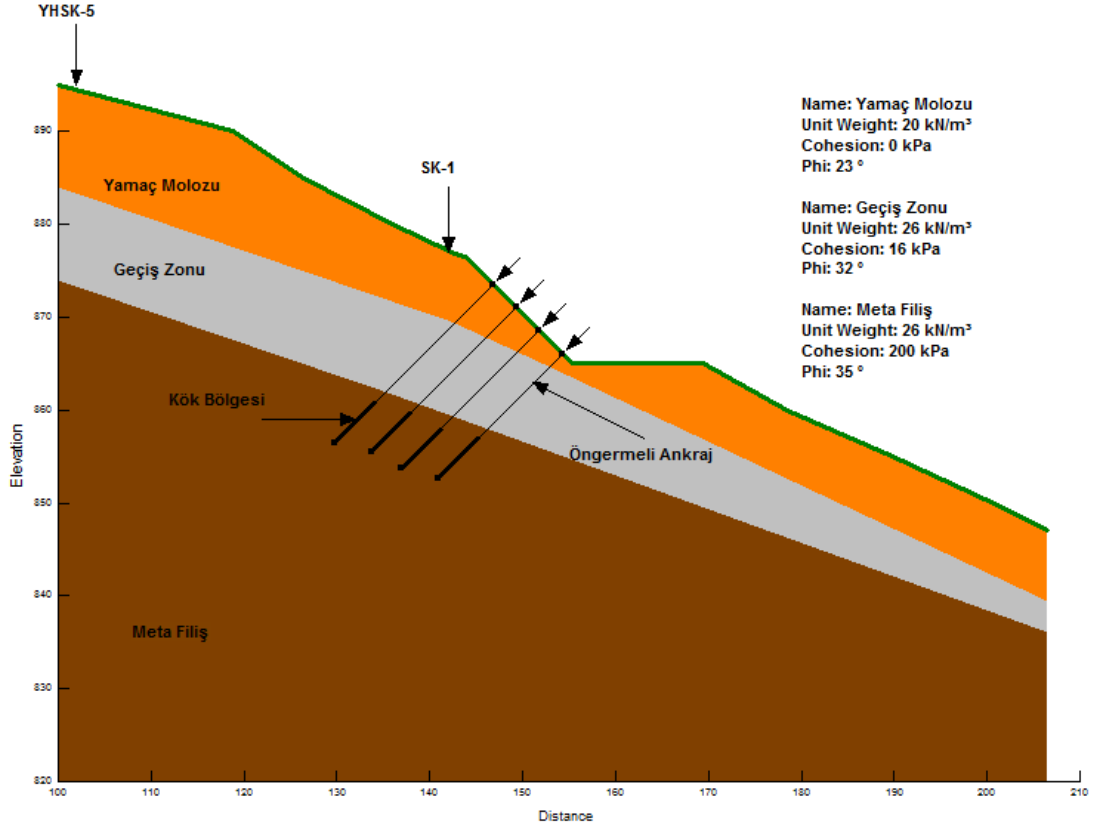
Ancak projeci tarafından geçiş zonu olarak seçilen birim kalınlığı çok fazladır ve seçilen dayanım parametreleri de, bu zonun geçiş zonu değil, zayıf dayanım özelliklerine sahip olan metafiliz kendisi olduğu izlenimini vermektedir.

Projeci tarafından yapılan çözümü irdelemek amacı ile ortam üç tabakalı kabul edilerek, modelde tanımlanmıştır. Sonraki aşamada Çizelge 5.1’de de verildiği gibi her bir tabakanın dayanım parametrelerinin girişi yapılmıştır. Çalışmada kullanılmak üzere projecinin tanımladığı yüksek dayanımlı metafiliz zonu temsil etmesi için; birim hacim ağırlık 26 kN/m^3 , kohezyon 200 kPa ve içsel sürtünme açısı 35° alınmıştır. Geçiş zonu için yukarıda zayıf metafiliz özellikleri olarak belirtilen birim hacim ağırlık 26 kN/m^3 , kohezyon 16 kPa ve içsel sürtünme açısı 32° ; yamaç molozu için ise yine yukarıda belirtilen parametreler olan birim hacim ağırlık 20 kN/m^3 , kohezyon 0 kPa ve içsel sürtünme açısı 23° kullanılmıştır.

Çizelge 5.1 : Analiz sırasında projeci tarafından kullanılan parametreler.

Birim	Birim Hacim Ağırlık [kN/m^3]	Kohezyon [kPa]	İçsel Sürtünme Açısı [$^\circ$]
Yamaç Molozu	20	0	23
Geçiş Zonu	26	16	32
Metafiliz	26	200	35

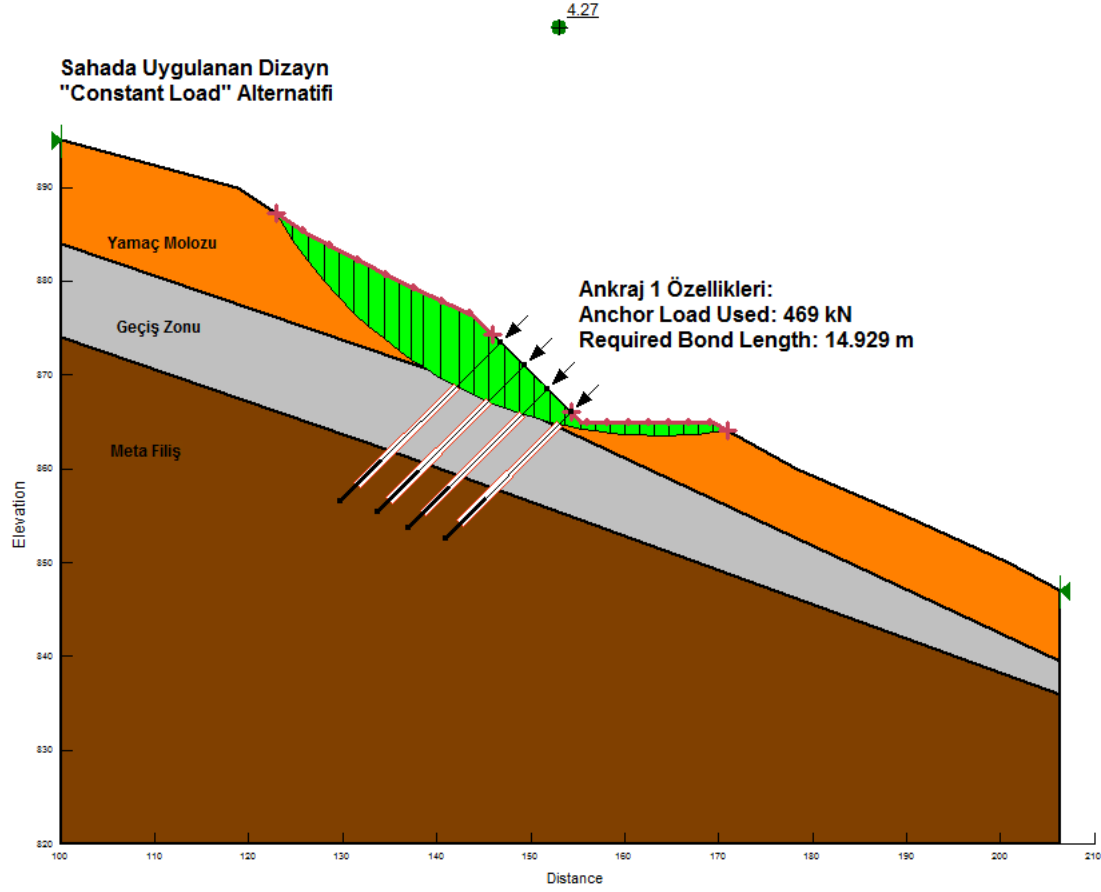
Projeci tarafından hazırlanan uygulama çizimleri baz alınarak, şev üzerine projede belirtildiği şekilde dört kademe ankraj yerleştirilmiştir. Ankrajların boyları yukarıdan aşağıya doğru sırası ile 24 m , 22 m , 21 m ve 19 m ’dir. Her birinin kök bölgesi 6 m olarak alınmıştır. Ankrajların dizayn yükü projede 469 kN olarak gösterilmiştir. Tüm bu özellikler modelde tanımlanmış ve model çalıştırılmaya hazır hale getirilmiştir. Oluşturulan model Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8 : Proje tarafından geliştirilen model.

Analizlerde kullanılan yazılımda ankraj yükleri iki farklı şekilde tanımlanabilmektedir. Bunlardan ilki “constant load” olarak adlandırılan opsiyondur ve kullanıcının öngörülen ankraj yükünü sabit bir şekilde programa girmesine olanak sağlar. Uygulama projelerinde belirtilen 469 kN sabit ankraj yükü olarak tanımlandığında Şekil 5.9’de gösterildiği gibi iki farklı durum ortaya çıkmaktadır:

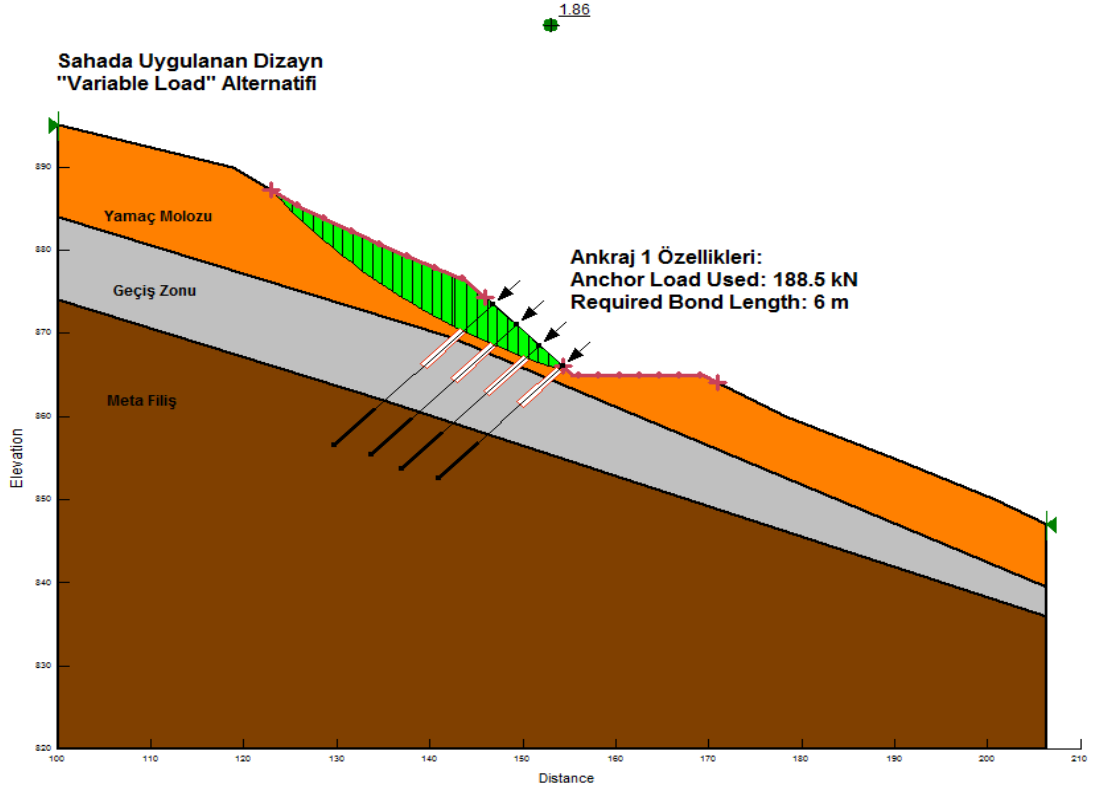
- i) Güvenlik katsayısı 4,27 gibi yüksek bir değer göz önünde tutulmuştur.
- ii) Geriye dönük analizden 469 kN’luk ankraj yükünü taşınabilmesi için 6 m olarak alınan kök bölgesi uzunluğunun 14,9 m olması gerektiği ortaya çıkmıştır.



Şekil 5.9 : Sabit yük seçeneğine göre yapılan analiz.

Yukarıda listelenen iki durumun (gerçekçi olmayan derecede yüksek güvenlik katsayısı ve öngörülenden çok daha yüksek kök uzunlukları) aynı anda sağlanamadığı dikkate alınarak, SLOPE/W programının diğer bir opsiyonu olan ve ankraj yüklerini tanımlanan kök uzunluğuna göre dağıtan “variable load” (değişken kuvvet) seçilmiş ve model bir kez daha çalıştırılmıştır. Şekil 5.10’de de gösterilen sonuçlara göre aşağıdaki bulgular elde edilmiştir:

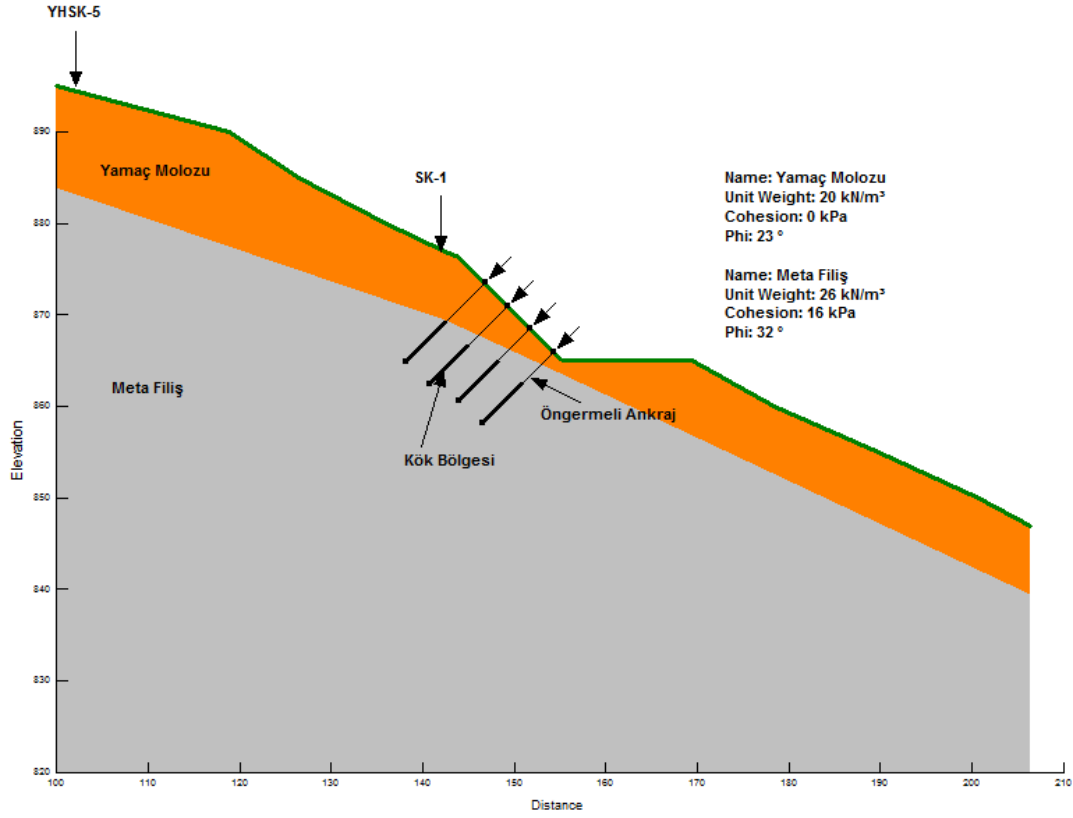
- i) Güvenlik katsayısının daha makul bir seviye olan 1,86’ya indiği görülmüştür,
- ii) Buna karşın ankraj yüklerinin verilen kök uzunluğu için 188,5 kN seviyesine indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.10 : Değişken yük seçeneğine göre yapılan analizin sonucu.

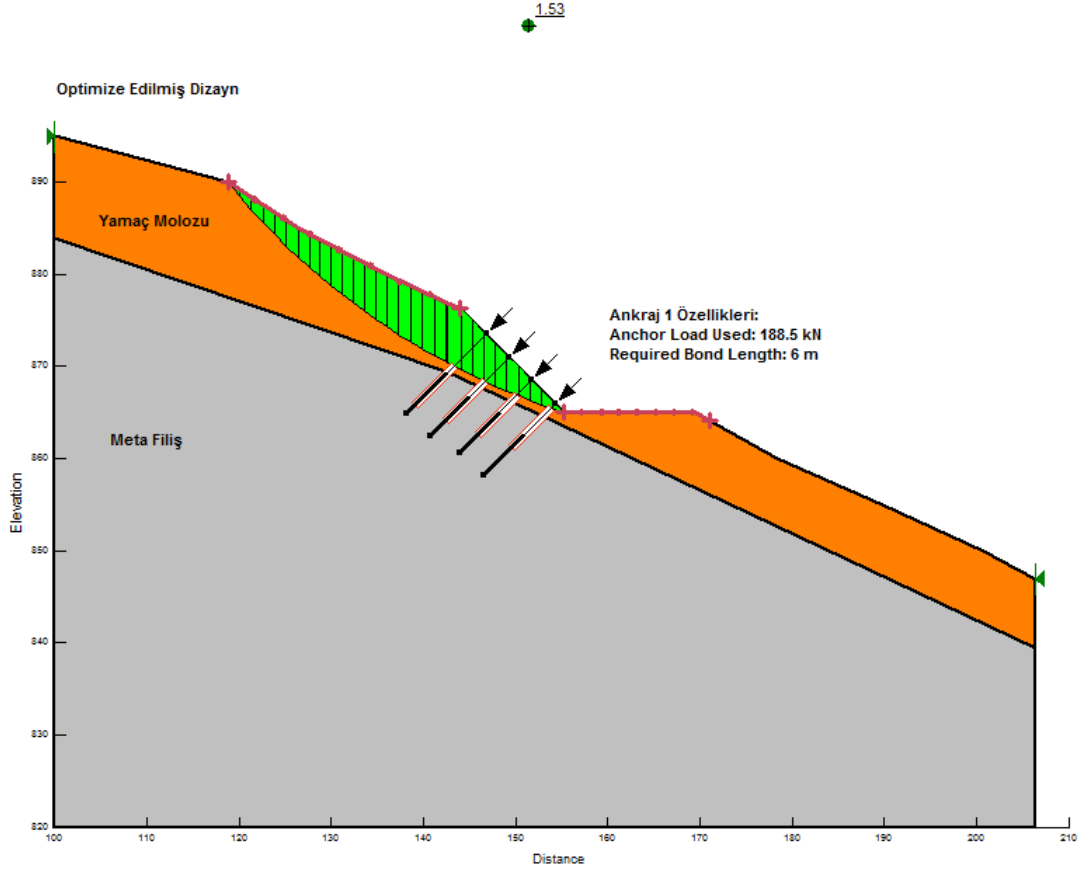
5.2.3 Jeolojik modelin 2 tabakalı olması durumu için yapılan çözüm

Bölüm 5.2.2’de belirtilen iki farklı yaklaşım, sahada yapılan uygulamanın aşırı boyutlandırıldığını (over-design) göstermektedir. Ankraj uzunluğu ya da ankraj yükünün normalden fazla alındığı anlaşılmıştır. Bu çalışma kapsamında hem ankraj yükü hem de ankraj boyu normal koşullarda kabul edilebilir bir güvenlik katsayısı olan 1,5 değerine göre optimize edilmiştir. Modelin oluşturulması aşamasında, projeci tarafından üç tabakalı olarak alınan ortam, sondajlara dayanarak iki tabakalı olarak tanımlanmıştır. Modelde göz önünde tutulan birimler yamaç molozu ve zayıf metafilist. Bunu takiben, projeci tarafından kullanılan dayanım parametreleri doğru bir kıyaslama yapılabilmesi için anılan birimler aynı şekilde modele taşınmıştır. Bu dayanım parametreleri Bölüm 5.2.1’de verilmiştir. Modelin çalıştırılmasından önceki son uygulama olarak ankraj özellikleri modele girilmiştir. Bu doğrultuda, ankrajların sayılarında bir değişiklik yapılmadan her birinin kök bölgesi orijinal tasarıma uygun olarak 6 m olarak alınmıştır. Yükler “variable load” opsiyonuna göre belirlenip, güvenlik katsayısı 1,5 olacak şekilde ankraj boyları Şekil 5.11’de gösterildiği gibi ayarlanmıştır.



Şekil 5.11 : Alternatif çözüm için geliştirilen model.

Sonuç olarak 1,5 güvenlik katsayısını sağlayacak ankraj boyları yukarıdan aşağı doğru birinci ve ikinci kademe ankrajlar için 12,1 m; üçüncü ve dördüncü kademeler için ise 11,0 m olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar Şekil 5.12’te gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : “Variable load” (değişken yük) alternatif.

Optimize edilmiş tasarımda da gösterildiği gibi projeci tarafından iki durumla alakalı gereksiz sayılabilecek yaklaşımlar yapıldığı tespit edilmiştir. Bunlar aşırı yüksek ankraj yük kabulü yapılarak güvenlik katsayısının son derece güvenli tarafta kalması ve de farz edilen yükü taşıyamayacak kadar kısa kök uzunluğu seçilmesidir. Farz edilen yükü taşıması için gerekli olan kök uzunluğunun çok daha yüksek bir değer olması gerektiği ama analiz sonuçlarında da ortaya çıktığı gibi bu seviyelerde bir uzunluğun gerçekte gereksiz olduğu gösterilmiştir. Orijinal kök uzunluğunun taşıyabileceği maksimum yük değerinin de çok daha kısa ankraj boylarını gerektirmesine rağmen yine de yeterli güvenlik katsayısını verdiği analizler ile ispatlanmıştır. Sonuç olarak her kesit başına toplam 86 m olarak tasarlanan ankraj boyunun 46,2 m’ye kadar indirilebileceği görülmüştür. Sahada uygulanan tasarım ile optimizasyon çalışmasının kıyaslanması Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.2 incelendiğinde, yapılan optimizasyon çalışmasında üç önemli kalemin değişimi sağlamıştır. Bunlardan ilki projeci tarafından yapılan dizaynda gereksiz

olarak fazla alınan güvenlik kat sayısıdır. Diğer bir kalem de ankrajlar için seçilen yüküdür. Yapılan optimizasyon çalışması ile bu alanı stabil hale getirmek için yapılabilecek optimum çözüm elde edilmiştir. Bunun için ankraj boyları kısaltılmış ve ankraj yükü düşürülmüştür. Sonuç olarak da optimum güvenlik kat sayısı elde edilmiştir (1,53).

Çizelge 5.2 : Alternatif çözüm ve sahadaki uygulamanın karşılaştırılması.

Nitelik	Uygulama	Yeniden Yapılan Analiz Sonucu
Tabaka Sayısı	3	2
Toplam Ankraj Boyu [m] [Bir kesit için]	86	46,2
Ankraj Yüğü [kN]	469	188,5
Güvenlik Katsayısı	4,27	1,53

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sahada inşaata başlama aşamasında yapılan şev kazıları sırasında meydana gelen heyelan, baraj aksında daha detaylı mühendislik jeolojisi çalışmalarının yapılması gerekliliğini doğurmuştur. Bunun üzerine sahada daha önceden yapılan sondajlar tekrar irdelenmiş ve yeni yapılacak araştırma noktalarına karar verilmiştir.

İlave araştırmaların ışığı altında genel değerlendirmeler yapılmış ve heyelan sahasının sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Bu aşamadan sonra projeci kendi değerlendirmeleri ışığında, sol sahilde stabilite sorununun meydana geldiği bu bölgeyi desteklemek için bir proje geliştirilmiş ve sahada uygulanmıştır.

Bu çalışmanın ana konusunu uygulanan projeyi gerye dönük veriler kullanarak, ortam koşullarına göre analiz etmektir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda optimizasyon çalışması için gerekli olan parametreleri belirlenmiştir. Bu parametre ve kabuller projeci tarafından geliştirilen tasarım ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sırasında ortaya çıkan farklılıklardan yola çıkarak projeci tarafından yapılan tasarım ileri bir adımda irdelenmiştir.

Analiz ve değerlendirmeler sonucunda;

- Projenin planlama aşamasında mühendislik jeolojisi çalışmalarının, yeterli düzeyde yapılmadığı ve arazi koşullarının detaylı olarak belirlenmediği anlaşılmıştır. Durum belirleme çalışmalarındaki eksiklik nedeniyle baraj temel kazıları sırasında sol sahildeki pasif heyelanın aktif hale gelmesine neden olmuştur. Kazı başlangıç aşamasında karşılaşılan bu problem, hem projeye beklenmedik riskler getirmiş, hem de projenin maliyetini ve tamamlanma süresini olumsuz etkilemiştir.
- Heyelan sorununun meydana gelmesinden sonra sahada yapılan ilave sondaj ve deneyler sahadaki formasyonların dayanımları ile ilgili daha detaylı bilgi vermiştir.
- Bölgede oluşan hareketin türü, yönü ve büyüklüğünün belirlenmesi amacıyla inklinometre kuyuları yardımıyla izleme yapılmıştır.

- Proje tarafından tasarlanan destekleme sistemi için alınan kabullerde gereksiz bir şekilde güvenli tarafta kalınmıştır. Yapılan kabuller sırasında bazı tutarsızlıklar söz konusudur. Bunlardan birincisi jeolojik modelin gerçek durumu yansıtmamasıdır. Yukarıdan aşağı doğru yamaç molozu, geçiş zonu ve metafiliz şeklinde üç tabakalı modellenen geçiş zonunun çok ince olduğu ve tabandaki ana kaya ile aynı özelliklerde olduğu görülmüştür. Sondajlarda ve arazi incelemelerinde geçiş zonu gözlemlenmemektedir. Geçiş zonu için alınan dayanım parametreleri aslında zayıf durumda olan ana kayanın (metafiliz) özelliklerini yansıtmaktadır. Ankraj tasarımı yapılırken amaç, tasarlanan dört ankrajın kök bölgesinin geçiş zonu altında bulunan sağlam kayaya (metafiliz) saplanmasıdır. Bütün bu nedenlerden ötürü; tasarımı yapılan ankrajların boyu olması gerekenden daha uzun seçilmiştir. Ankraj boyları gereğinden fazla tutularak maliyet artmıştır.
- İlave çalışmalardan elde edilen bilgilerin ışığında, optimizasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan değerlendirme sonucunda daha kısa ankraj boyu ve daha az ankraj yükü ile ortam minimum güvenlik katsayısını (1,5) sağlayacak şekilde destekleme sistemi yeniden boyutlandırılmıştır.
- Projenin başlangıç aşamasında eksik yapılmış olan mühendislik jeolojisi çalışmaları nedeni ile kaybedilen zaman süreleri ve projede çıkan ilave maliyetler, projeyi destekleme sistemi tasarımı sırasında gereksiz güvenli tarafta kalarak, risk koşullarını ortadan kaldırmaya itmiştir. Oysaki yeterli ve gerekli mühendislik jeolojisi çalışmalarından elde edilecek bilgiler ışığında hem maliyet hem de güvenlik açısından optimum sonuçların önceden görülebileceği açıktır.

Sonuç olarak; doğru yapılan mühendislik çalışmaları hem projenin planlama hem de uygulama aşamalarında çok önem taşımaktadır. Projenin planlama ya da uygulama aşamalarında eksik yapılan mühendislik çalışmaları projeye ilave maliyet getirip, bitiş süresini uzatırken; uygun mühendislik jeolojisi çalışmaları proje risklerinin ortadan kaldırılması açısından vazgeçilmez bir temeldir.

KAYNAKLAR

- Akyol, E.**, (2002). Kaya Mekaniği-I, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Denizli.
- Baydar, O.** (1989). Berit-Kandil Dağları (K.Maraş) ve Civarının Jeolojisi, *Doktora Tezi*, İstanbul.
- Biricik, S. ve Korkmaz, H.** (2001). Kahramanmaraş'ın Depremselliği, *Marmara Coğrafya Dergisi*, Cilt: 1, Sf. 53-82.
- Doğru, A.** (2005). Ankara , Çubuk Kuruçay Baraj Yerindeki Çökellerin Jeoteknik Özelliklerinin ve Yamaç Stabilitesinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara.
- Emir, E.** (2014). Kaya mekaniği Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü.
- Ertürk, E.** (1996). Şevlerde Hareketlerin İzlenmesi için İnklinometre Aletinin Kullanımı ve bir Örnek Uygulama, Mayıs.
- Geo-Slope International Ltd.** (2008). Stability Modelling with Slope/W 2007, An Engineering Methodology, *4th Edition*, Alberta, Canada.
- Haselsteiner, R., Balat V., Ersoy, B.** (2011). The Optimization of the Design of a Concrete Faced Rockfill Dam by the Application of Sand-Gravel Fill Zones, *3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk – ISGSR*.
- Karaman, K., Erçikti, B., Cihangir, F., Kesimal, A.** (2011). Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Yöntemlerinin İncelenmesi, *Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi*, Sf. 87-94.
- Kılıç, R.** (2005). Kaya Mekaniği Ders Notları, Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, *A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletme Yayınları*, No:39, Ankara.

Ulusay, R. ve Hudson, J. (2007). The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006, *Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group Ankara, Turkey.*

Url-1

<<http://www.cografya.gen.tr/tr/kahramanmaras/ekonomi.html>>, alındığı tarih: 11.04.2015.

Url-2

<<http://www.nufusu.com/il/kahramanmaras-nufusu>>, alındığı tarih: 11.04.2015.

Url-3 <<http://kahramanmaras.gov.tr/Egitim.aspx>>, alındığı tarih: 11.04.2015.

Url-4 <<http://kahramanmaras.gov.tr/Saglik.aspx>>, alındığı tarih: 11.04.2015.

Url-5

<http://kahramanmaras.tarim.gov.tr/Belgeler/Duyuru/stratejik_plan.pdf>, alındığı tarih: 11.04.2015.

Url-6 <<http://library.cu.edu.tr/tezler/5838.pdf>>, alındığı tarih: 11.04.2015.

Yalçınkaya, M., Satır, B. (2005). Tünellerde Oluşan Hareketlerin Farklı Ölçü Yöntemleri ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Belirlenmesi, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Sf. 51- 63, İstanbul.

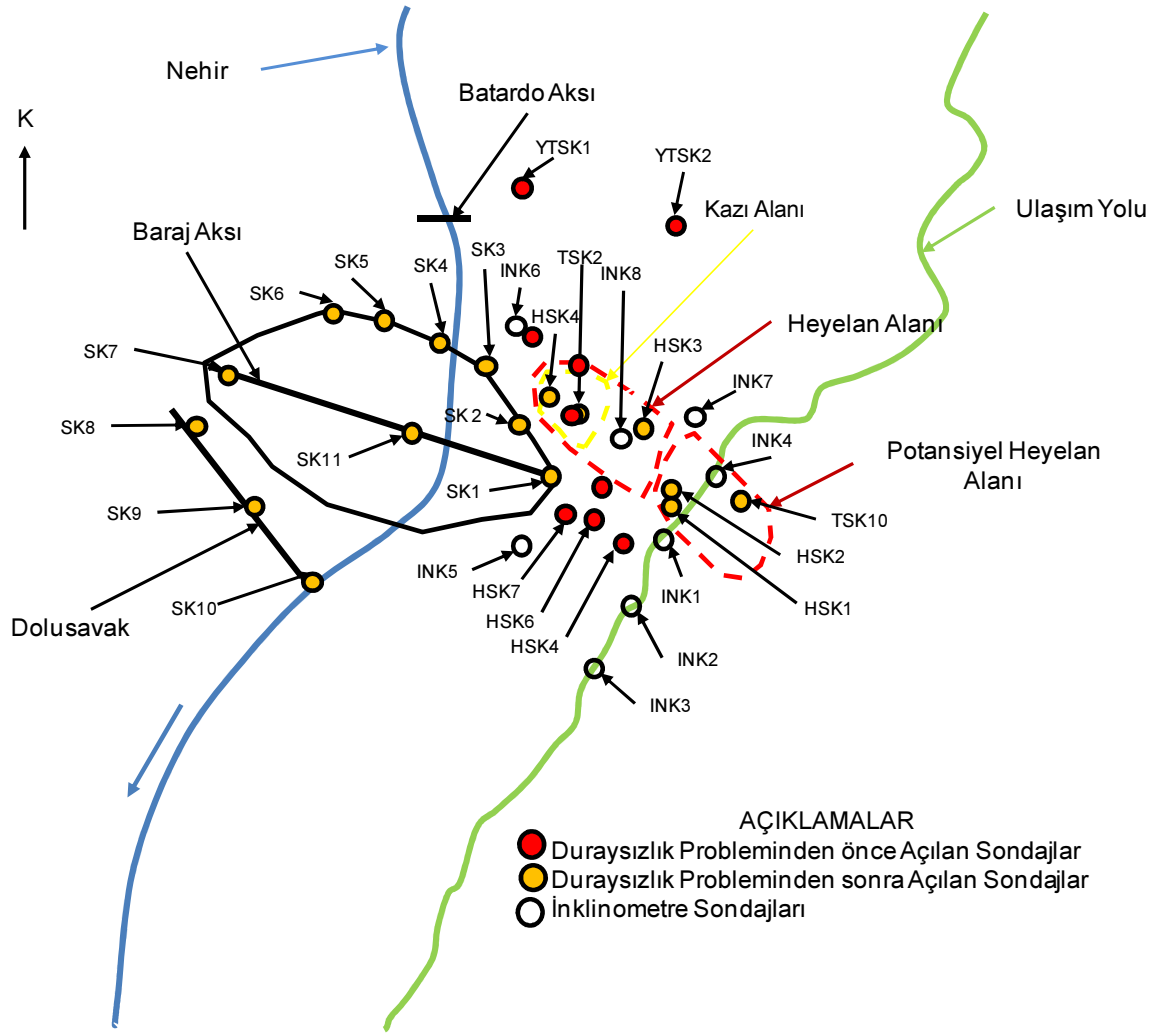
Yiğitbaş, E. (1989) Engizek Dağı (K.Maraş) Dolayındaki Tektonik Birliklerin Petrolojik İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul.

EKLER

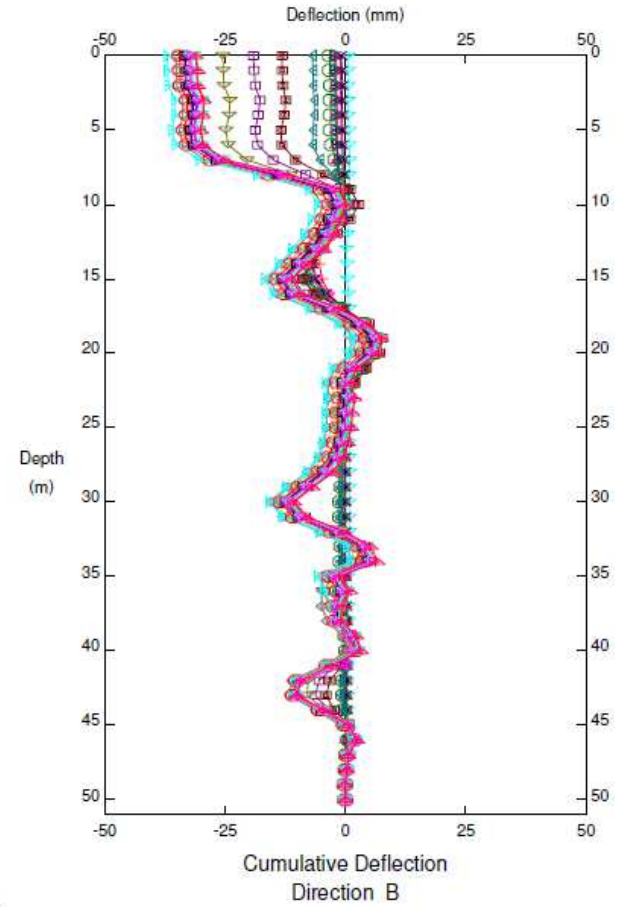
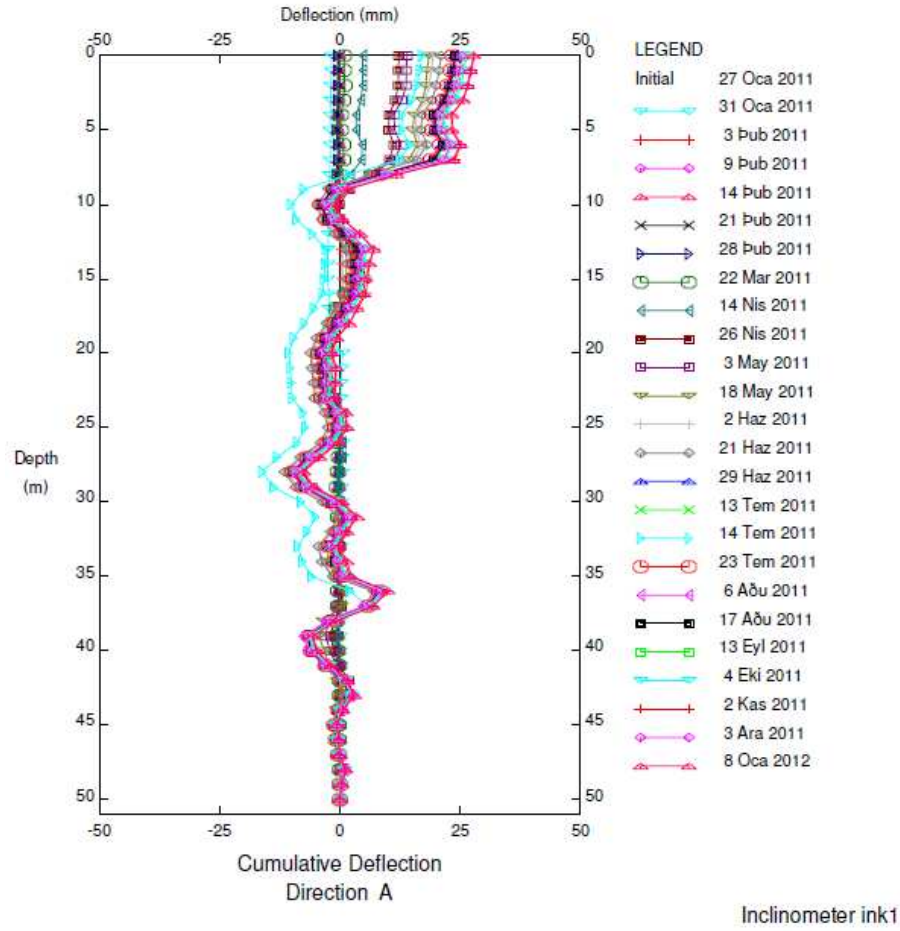
Sayfa

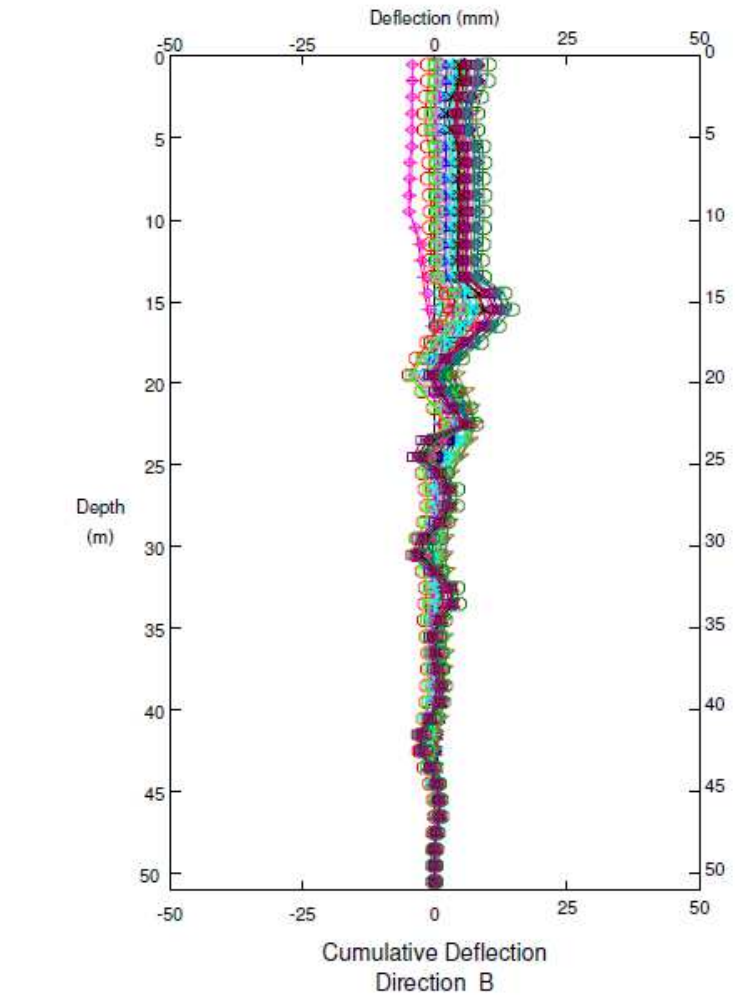
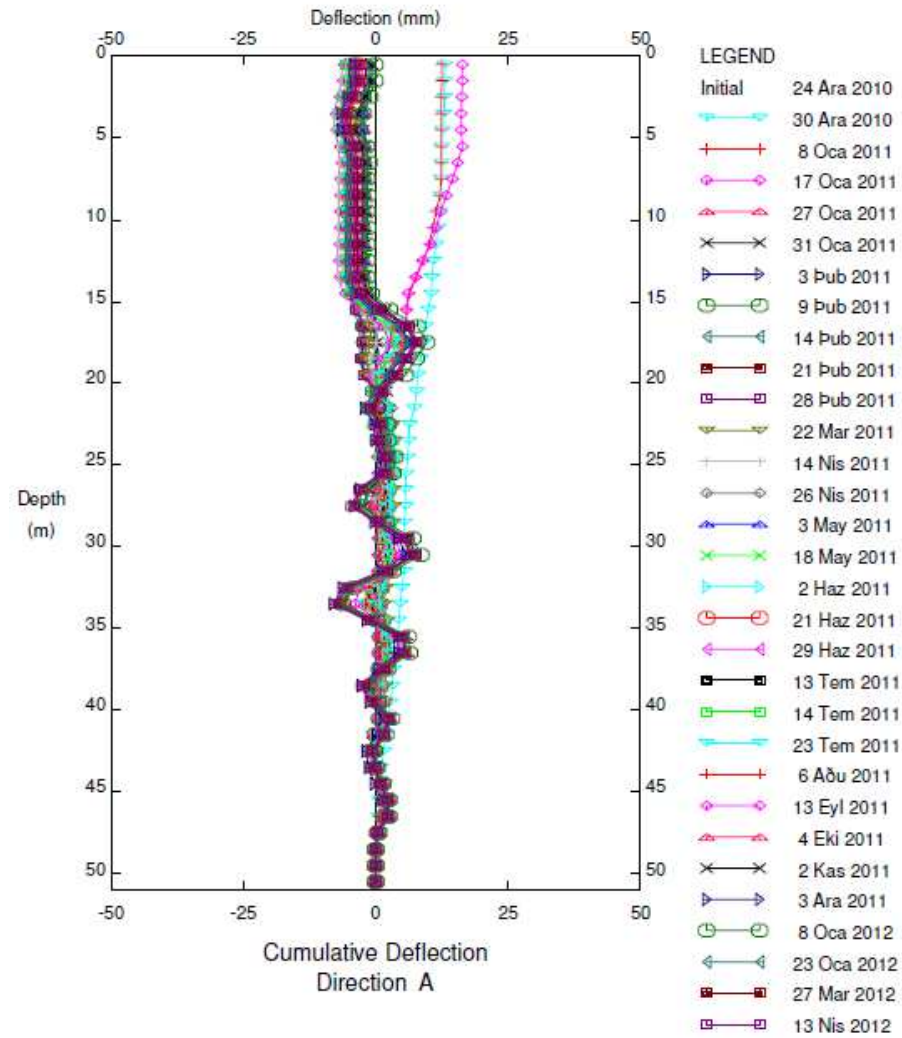
EK A : İnceleme alanına ait genel lokasyon haritası (ölçeksiz).....	74
EK B : İnklinometre kuyuları okumaları	75
EK C : İnceleme alanında alınan jeolojik kesitler (kesit E-E)	81
EK D : İnceleme alanında alınan jeolojik kesitler (kesit F-F)	83
EK E: İnceleme alanında alınan jeolojik kesitler (kesit G-G).....	85
EK F: Alanın genel jeoloji haritası.....	87

EK A : İnceleme alanına ait genel lokasyon haritası (ölçeksiz).

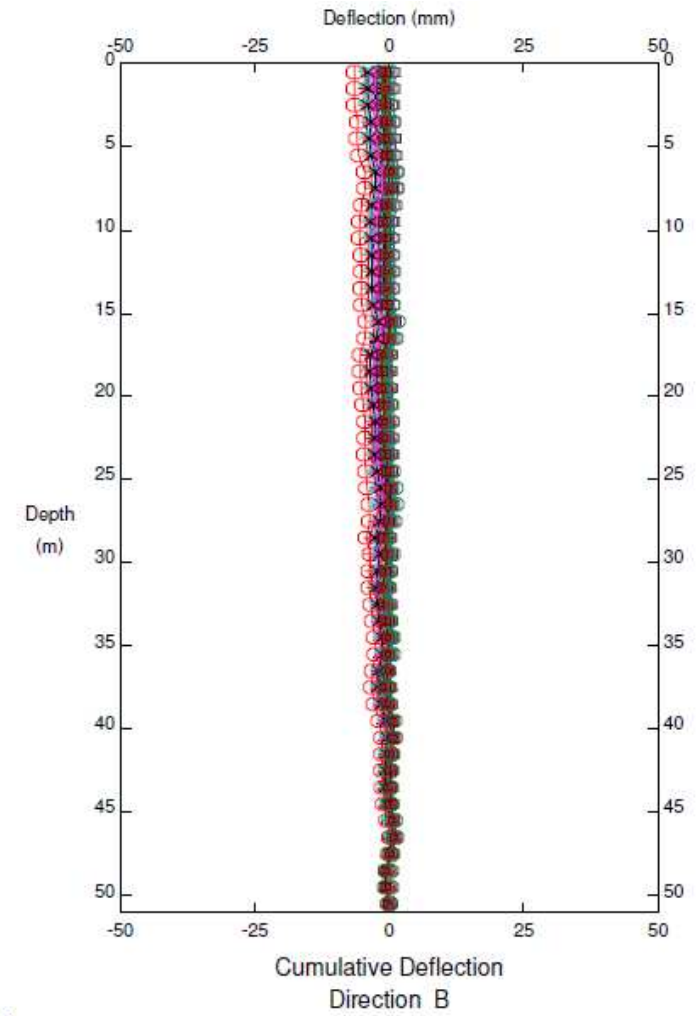
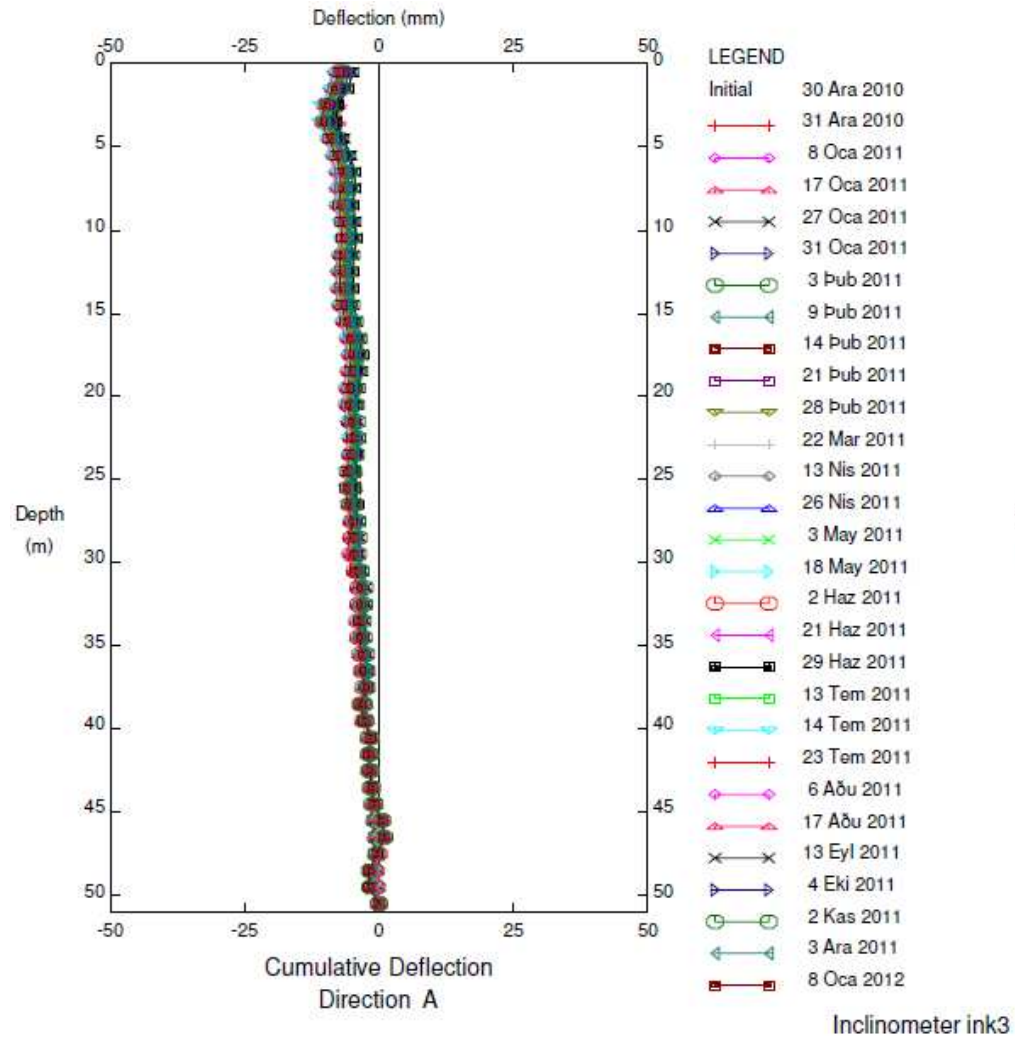


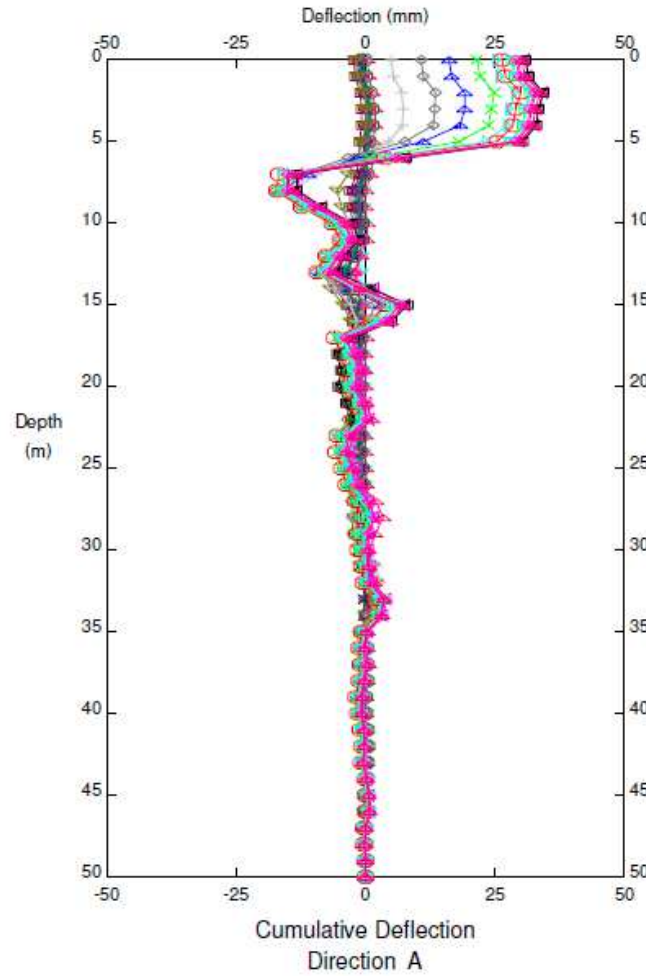
EK B : İnklinometre kuyuları okumaları





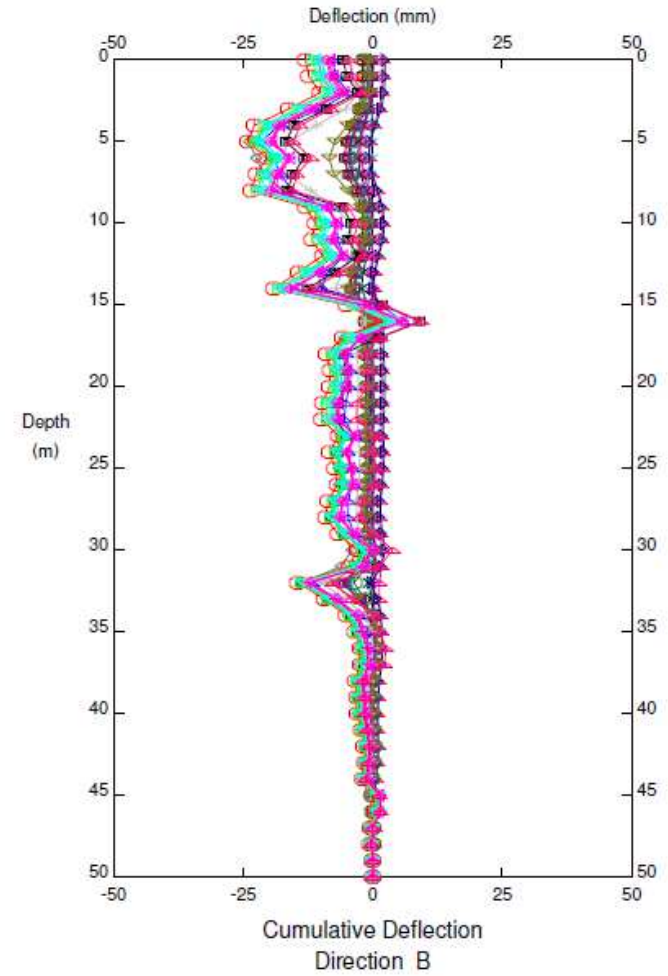
Inclinometer ink2



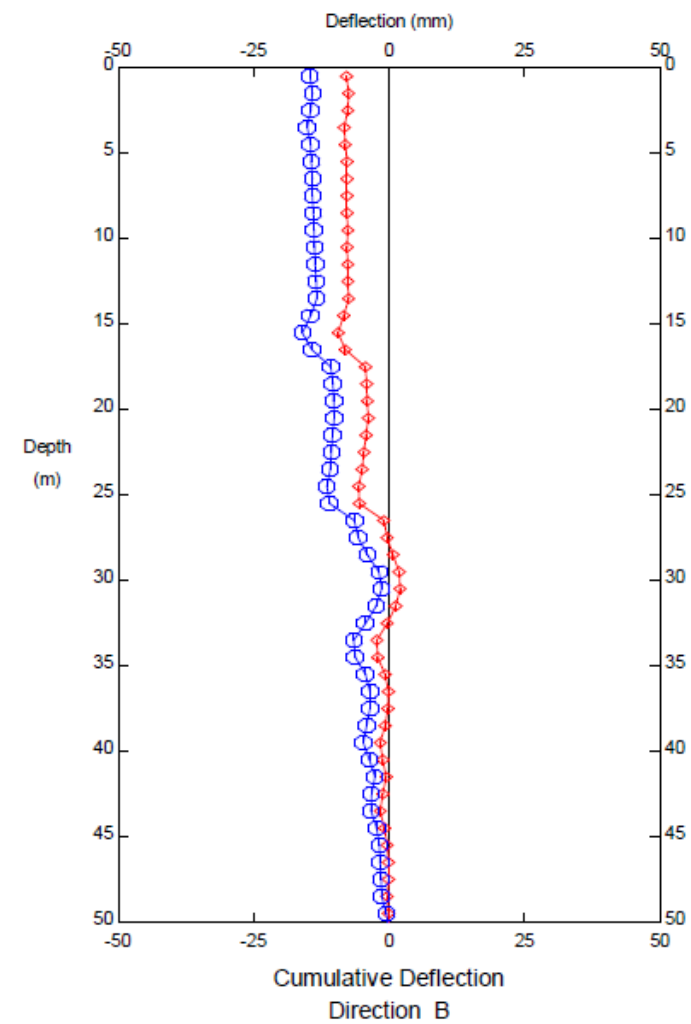
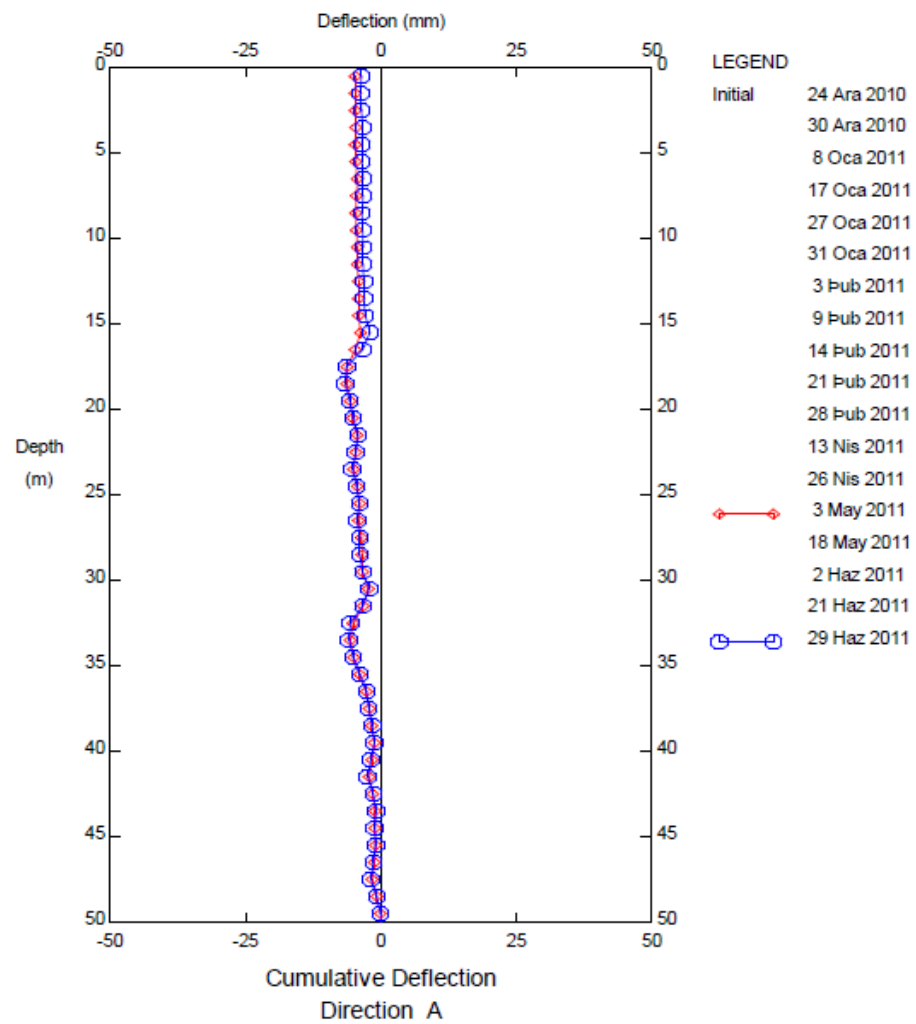


LEGEND

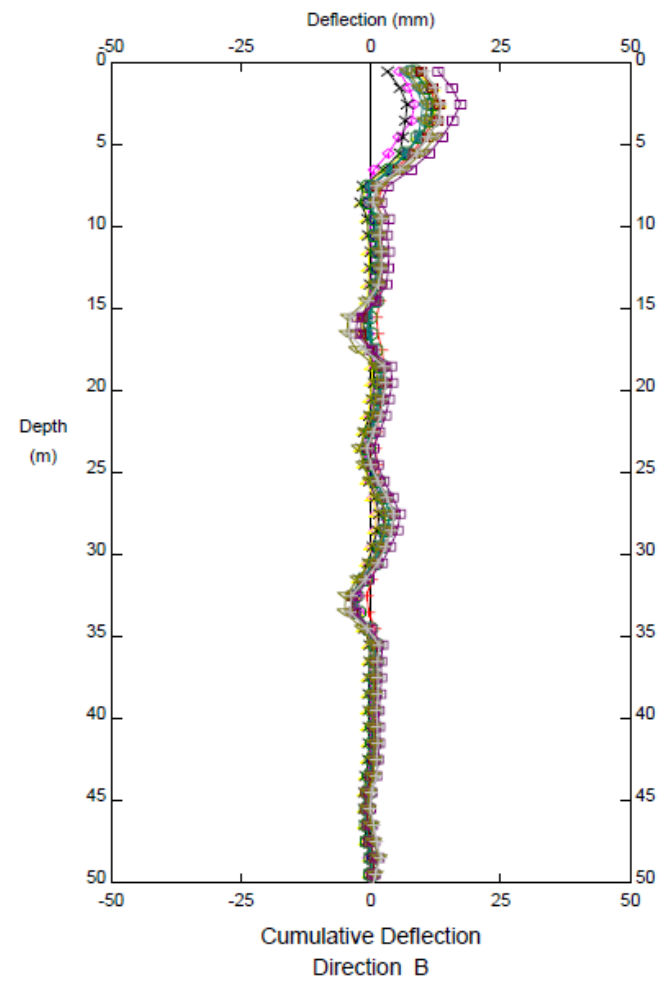
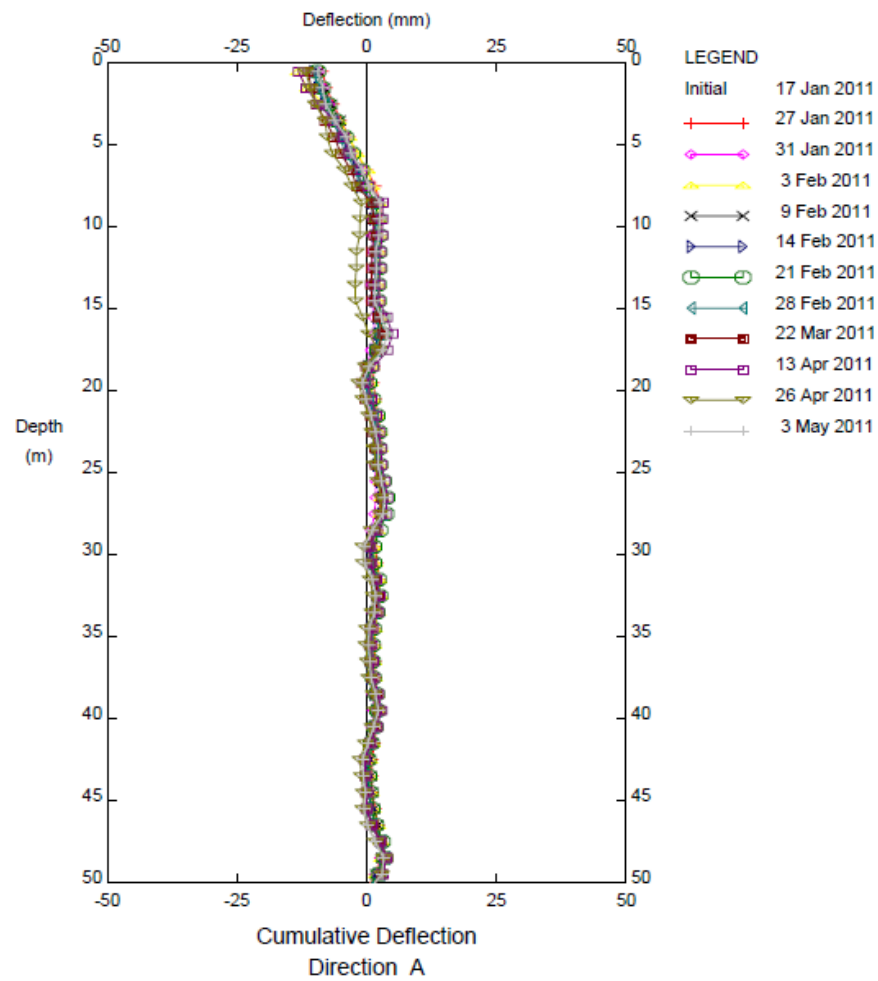
Initial	24 Ara 2010
←	30 Ara 2010
+	8 Oca 2011
◇	17 Oca 2011
△	27 Oca 2011
×	31 Oca 2011
→	3 Pub 2011
○	9 Pub 2011
←	14 Pub 2011
■	21 Pub 2011
□	28 Pub 2011
▽	22 Mar 2011
+	14 Nis 2011
◇	26 Nis 2011
→	3 May 2011
×	18 May 2011
←	2 Haz 2011
○	21 Haz 2011
△	29 Haz 2011
■	13 Tem 2011
□	14 Tem 2011
→	23 Tem 2011
+	6 Ağu 2011
◇	17 Ağu 2011
△	13 Eyl 2011



Inclinometer ink5

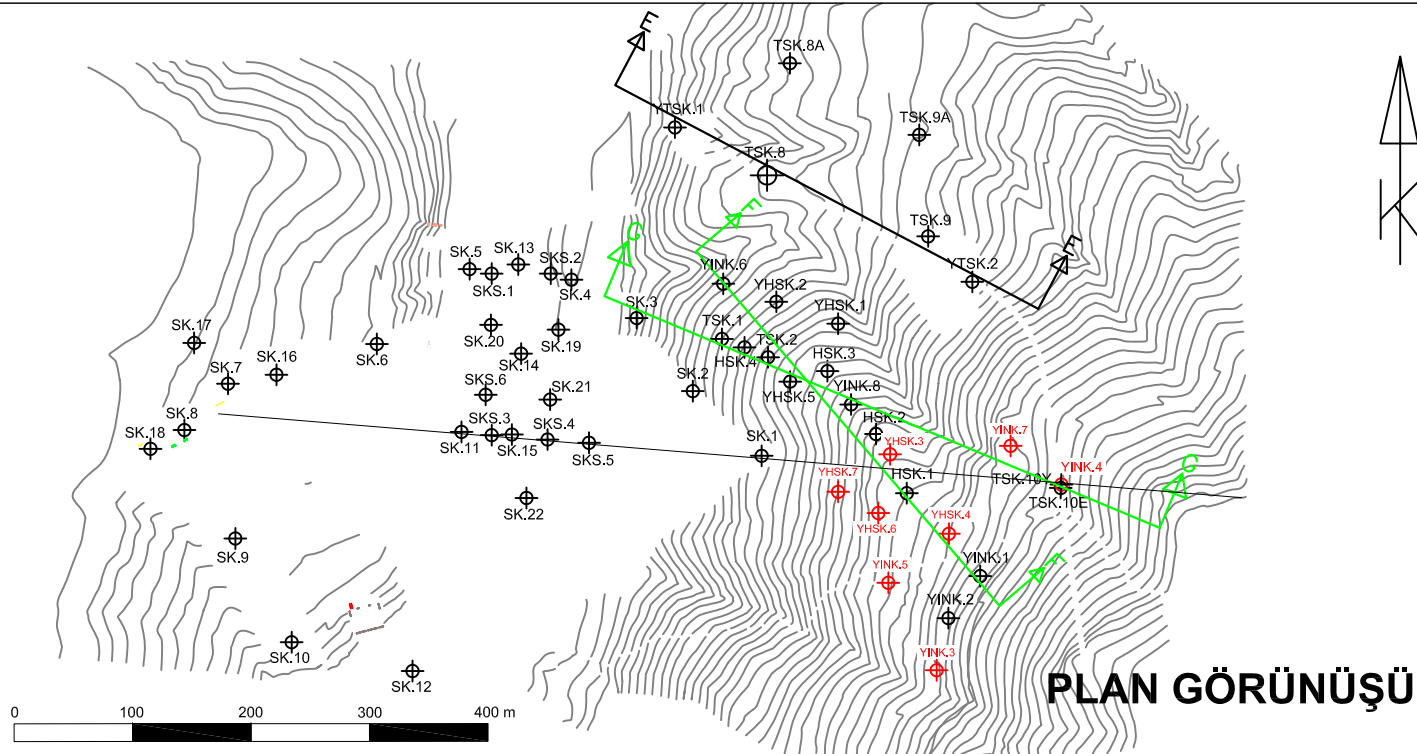
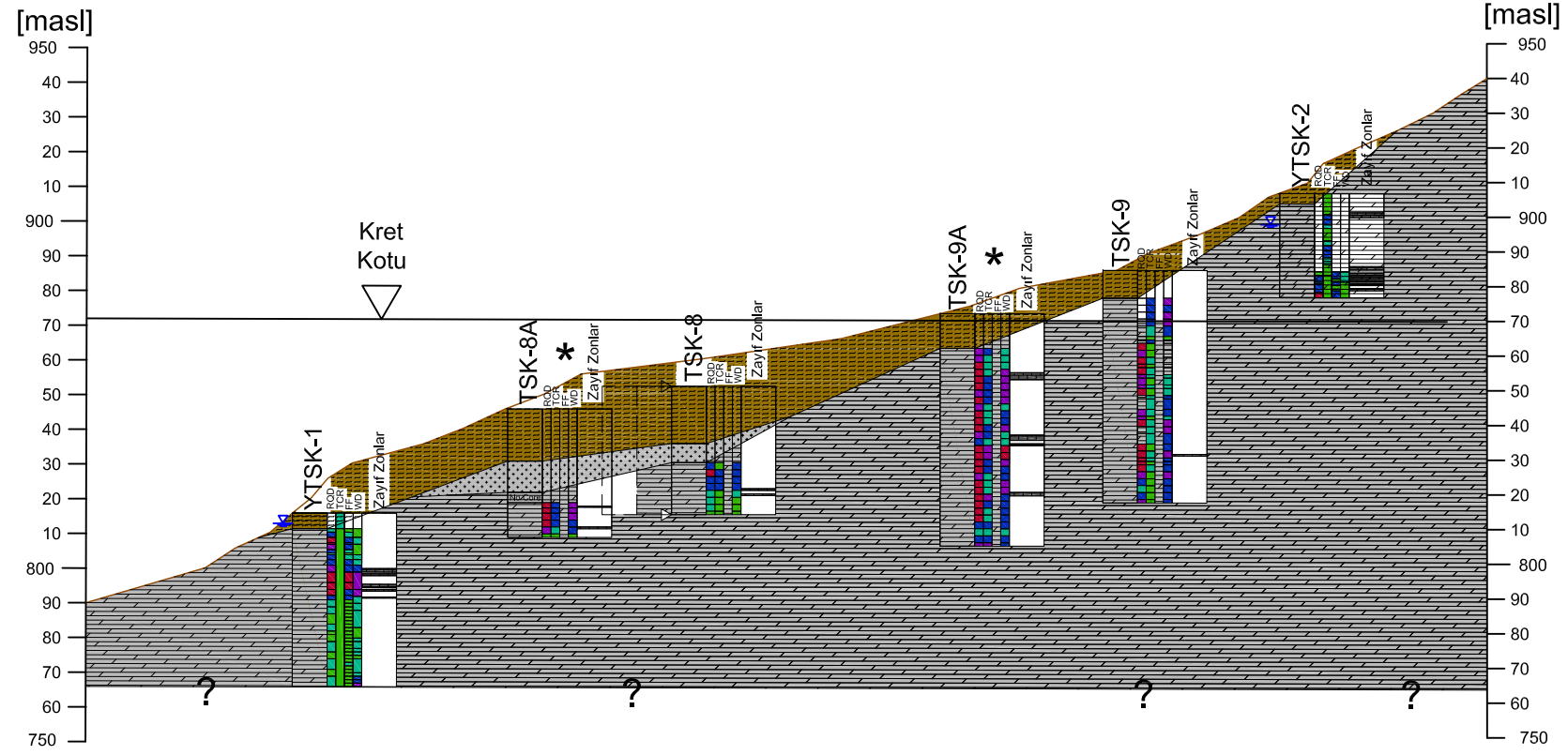


Inclinometer ink6

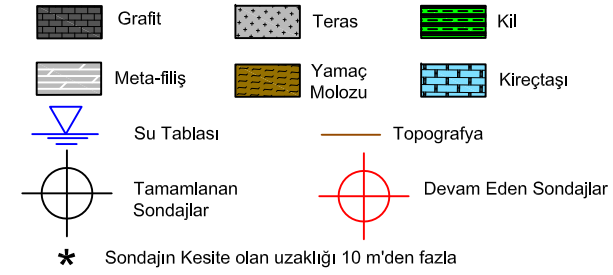


Inclinometer ink7

KESİT E-E



LEJANT



TCR: Toplam Karot Yüzdesi
RQD: Kaya Kalite Değeri
FF: Çatlak Sıklığı
UCS: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
UW: Birim Hacim Ağırlık
EM: Elastisite Modülü

WD: Ayrışma Derecesi
SPT: Standard Penetresyon Deneyi
Is: Nokta Yükleme Dayanımı
LU: Lugeon
PR: Poisson Oranı

TCR & RQD Sınıflaması

0 - 20
20 - 40
40 - 60
60 - 80
80 - 100

FF Sınıflaması

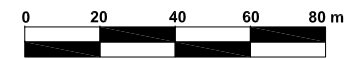
40 - 50
30 - 40
20 - 30
10 - 20
0 - 10

WD Sınıflaması

W4-W5
W3-W4
W2-W3
W1-W2
W1

EK C: İnceleme alanında alınan jeolojik kesitler (kesit E-E)

ÖLÇEK:



KESİT:

E-E

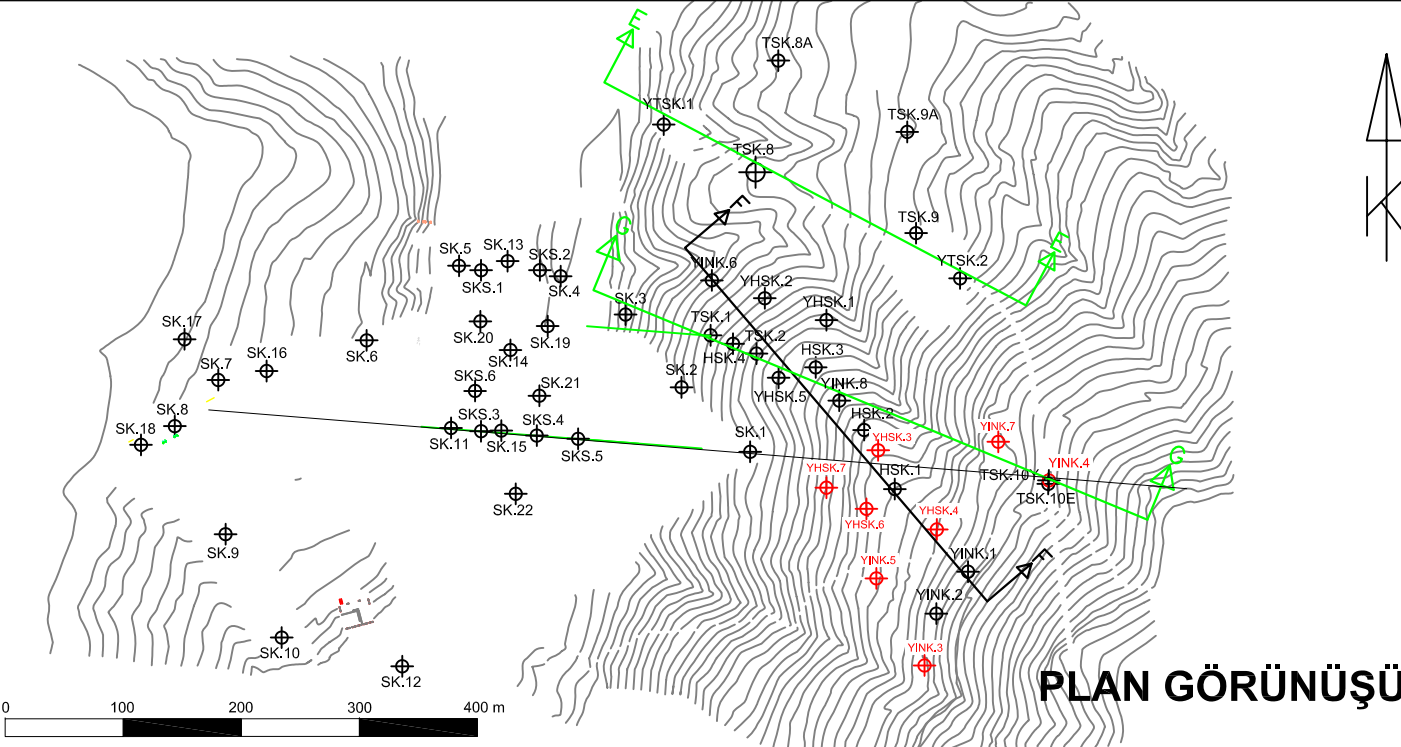
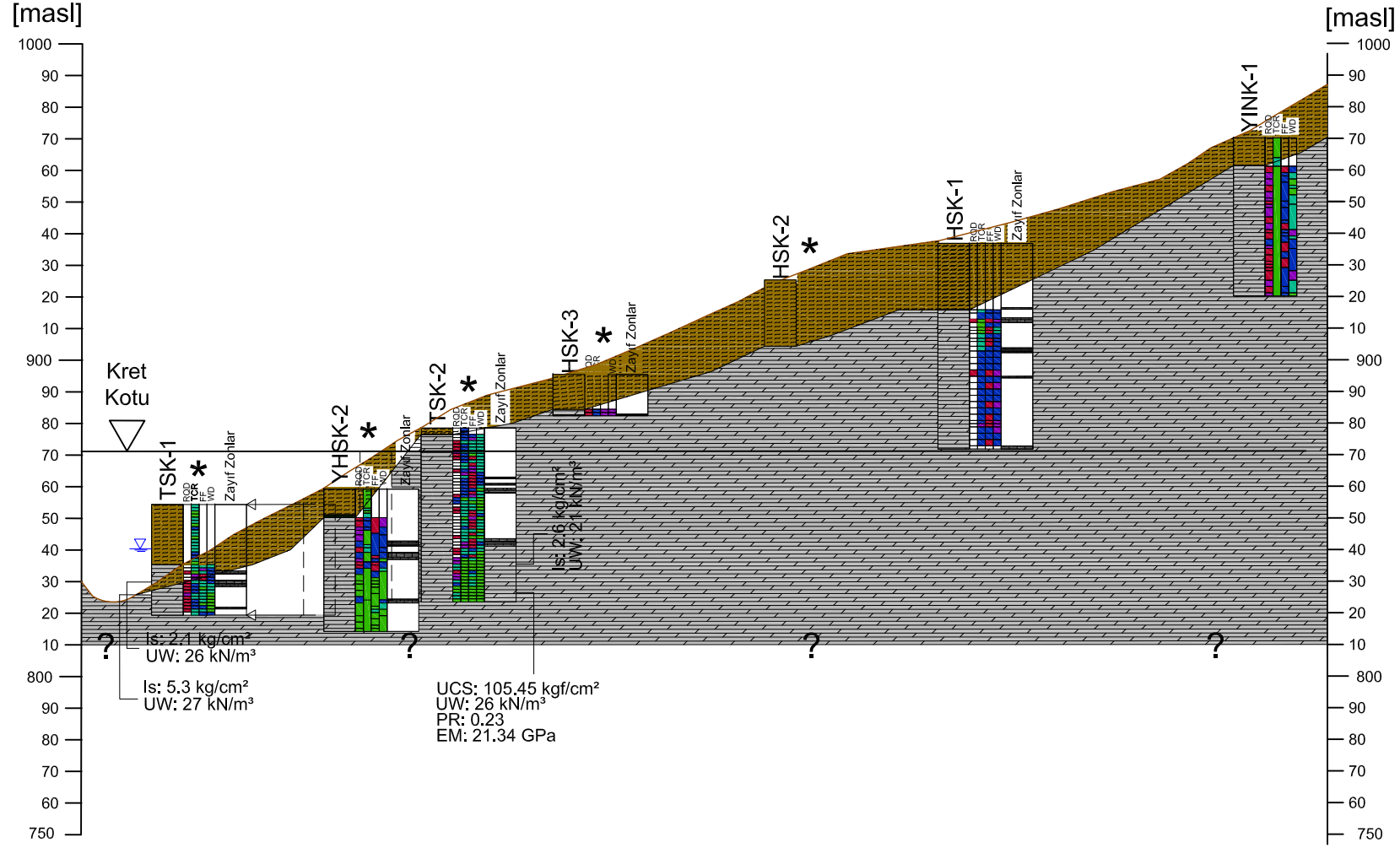
SAYFA BOYUTU:

A3

ÖLÇEK:

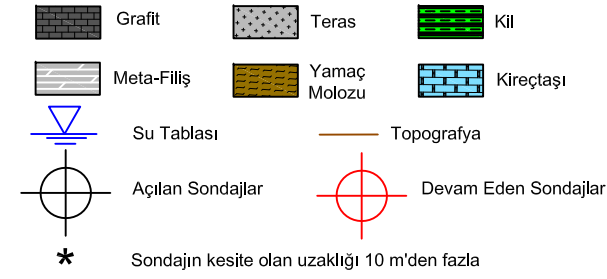
1:2000

KESİT F-F



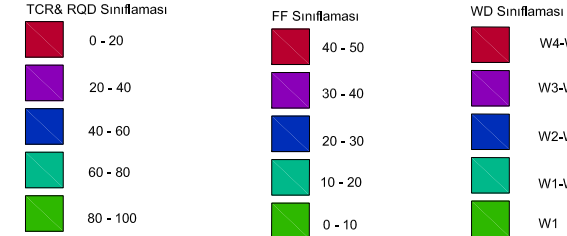
PLAN GÖRÜNÜŞÜ

LEJANT



TCR: Toplam Karot Yüzdesi
RQD: Kaya Kalite Değeri
FF: Çatlak Sıklığı
UCS: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
UW: Birim Hacim Ağırlık
EM: Elastisite Modülü

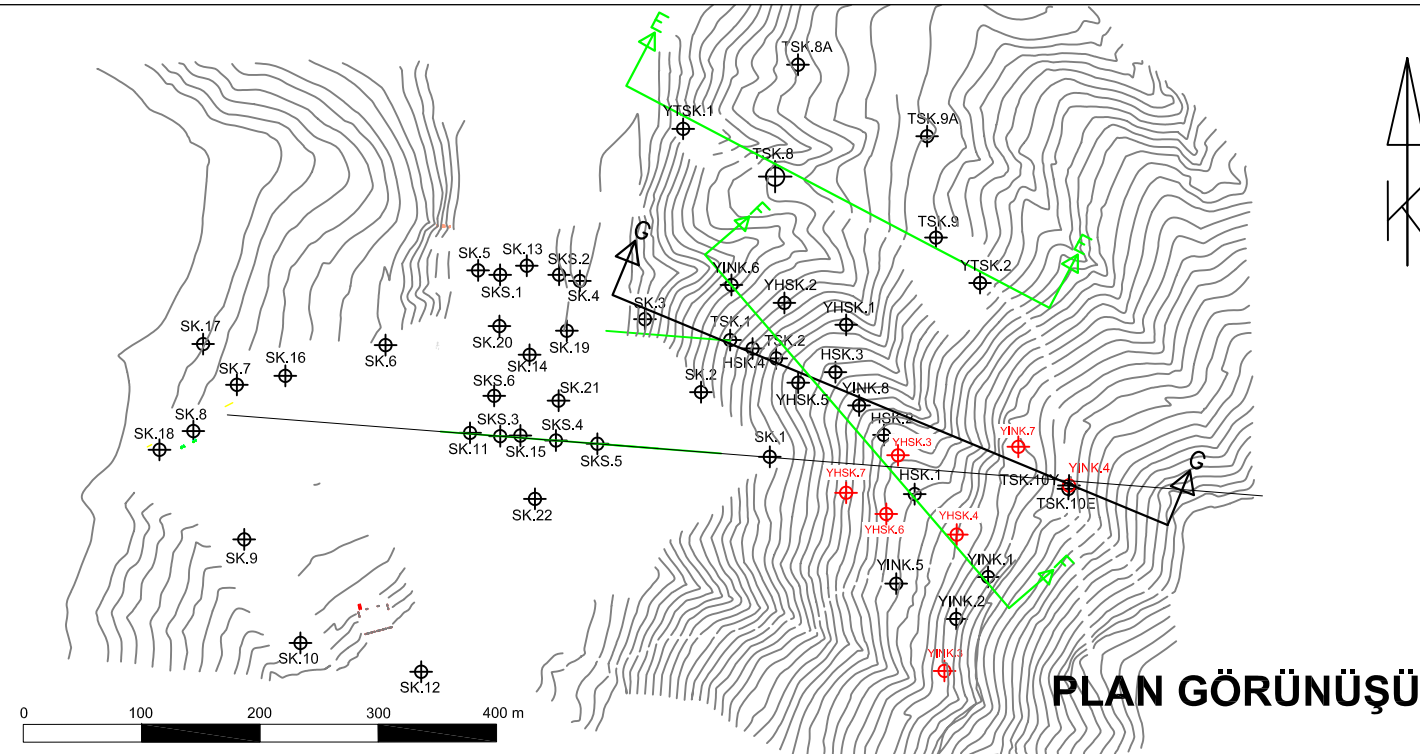
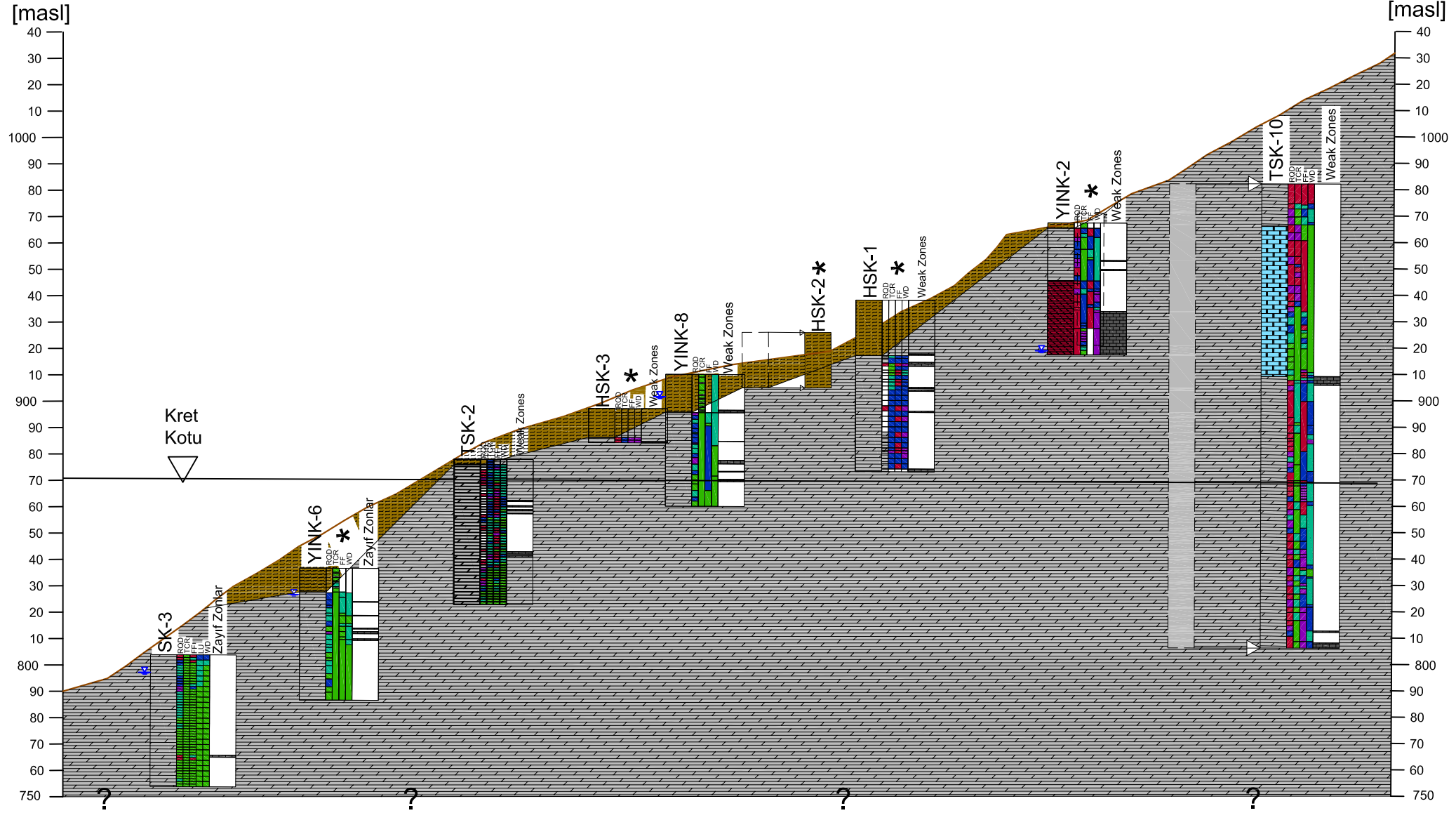
WD: Ayrışma Derecesi
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi
Is: Nokta Yükleme Dayanımı
LU: Lugeon
PR: Poisson Oranı



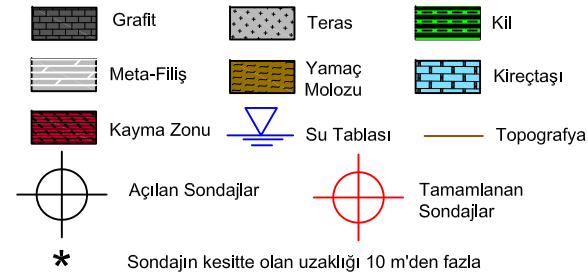
EK D: İnceleme alanında alınan jeolojik kesit (kesit F-F)

ÖLÇEK:	KESİT:	SAYFA BOYUTU:
0 20 40 60 80 m	F-F	A3
		ÖLÇEK: 1:2000

KESİT G-G

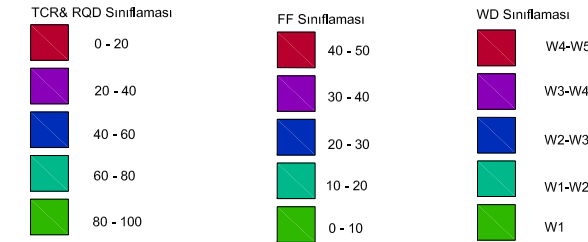


LEJANT

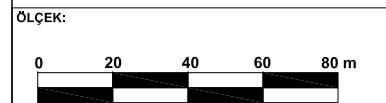


TCR: Toplam Karot Yüzdesi
RQD: Kaya Kalite Değeri
FF: Çatlak Sıklığı
UCS: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
UW: Birim Hacim Ağırlık
EM: Elastisite Modülü

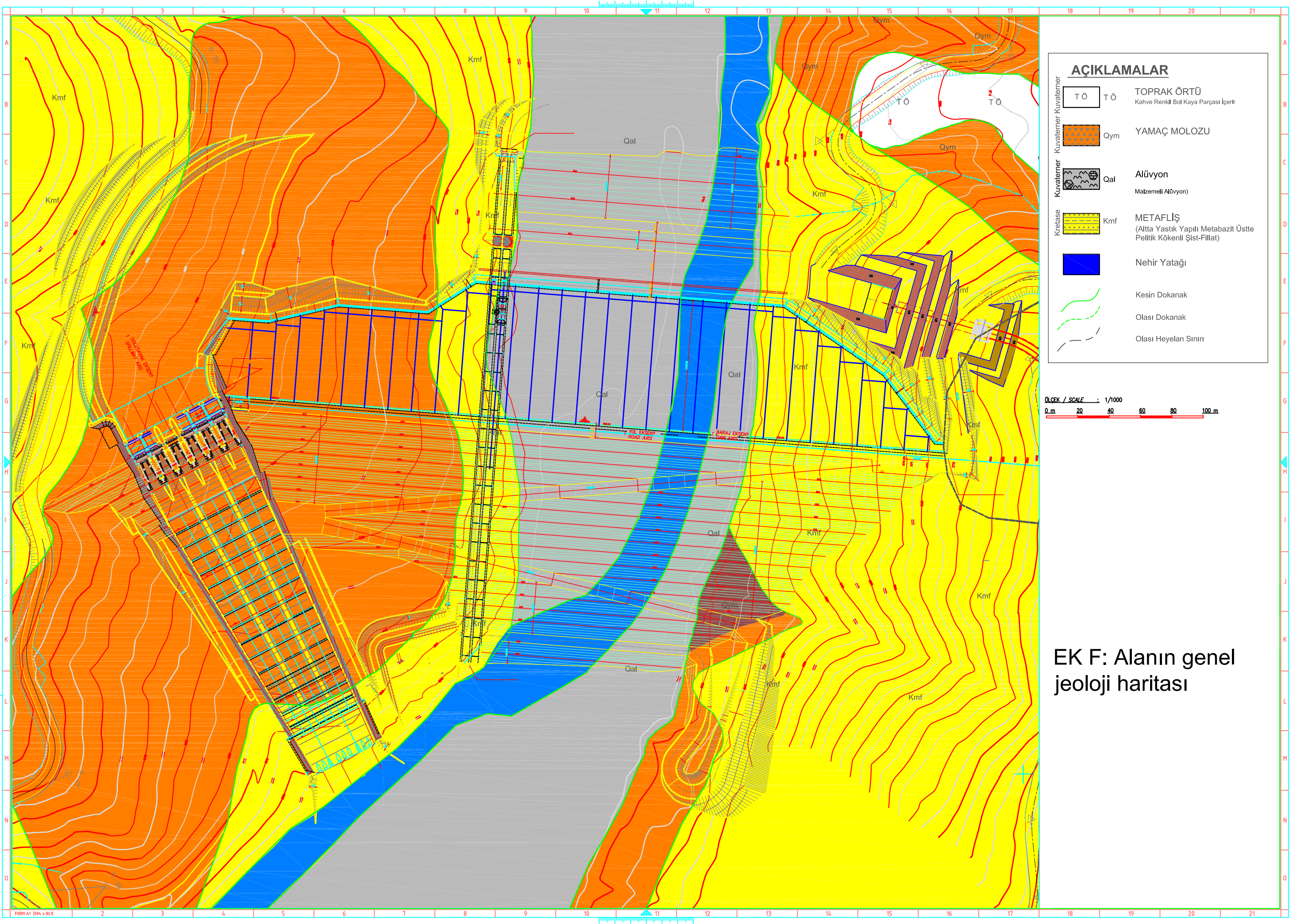
WD: Ayrışma Derecesi
SPT: Standard Penetrasyon Deneyi
İs: Nokta Yükleme Dayanımı
LU: Lugeon
PR: Poisson Oranı



EK E: İnceleme alanında alınan jeolojik kesitler (kesit G-G)



KESİT:	SAYFA BOYUTU:
G-G	A3
	ÖLÇEK:
	1:2000



AÇIKLAMALAR		
	T Ö	TOPRAK ÖRTÜ Kahve Renkli Bol Kaya Parçası İçerir
	Qym	YAMAÇ MOLOZU
	Qal	Alüvyon Malzemeli Alüvyon)
	Kmf	METAFLAŞ (Alta Yastık Yapılı Metabazit Üstte Pelitik Kökenli Şist-Fillat)
		Nehir Yatağı
		Kesin Dokanak
		Olası Dokanak
		Olası Heyelan Sınırı

ÖLÇEK / SCALE : 1/1000
0 m 20 40 60 80 100 m

EK F: Alanın genel
jeoloji haritası

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : BURCU ERSOY
Doğum Yeri ve Tarihi : SAKARYA / 14.02.1986
E-Posta : burcu.ersoy@windowslive.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : -, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Mühendislik Jeolojisi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **İş Deneyimi** : 2009 - Devam ediyor, Fichtner GmbH & Co. KG İstanbul Ofisi, Jeofizik Mühendisi

YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Ersoy, B, Haselsteiner, R., 2011, Enerji Üretimi ve Sulama Kriterlerine göre Rezervuar Kapasite Optimizasyonu, *II. Su Yapıları Konferansı – İnşaat Mühendisleri Odası 2011*
- Haselsteiner, R., Balat V., Ersoy, B., 2011, The Optimization of the Design of a Concrete Faced Rockfill Dam by the Application of Sand-Gravel Fill Zones, *3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk – ISGSR, 2011*
- Haselsteiner, R., Ersoy, B. (2011b): Die Auslegung und Wirtschaftlichkeit von Restwasserkraftanlagen bei Großprojekten in der Türkei, *Dresdner Wasserbaukolloquium, 2011*

- Haselsteiner, R., Ersoy, B. (2011a): Seepage Control of Concrete Faced in Consideration of Cracks in Surface Slab, *6th International Conference on Dam Engineering*, 15-17 February 2011
- Haselsteiner, R., Ersoy, B. (2010): Untersuchung der Bewirtschaftung eines Jahresspeichers in der Türkei zur Verifizierung und Optimierung der Energieerzeugung mit Hilfe eines Speichermodells, *Water Resources Journal, Austria*
- Ersoy, B., 2008: Sığ Yerel Yapıların Elektrik Sondaj Eğrileri Uzerindeki Etkisi, *Symposium on Geophysical and Remote Sensing in Determination of Near-Surface Structures*, 117-120