

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

UZUNKAYA (RİZE) HEYELANININ GEOTEKNİK İNCELEMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Müh. Gülşen KAYNAK

TEMMUZ 2007
TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİ DALI

UZUNKAYA (RİZE) HEYELANININ GEOTEKNİK İNCELEMESİ

İnşaat Müh. Gülşen KAYNAK

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.06.2007
Tezin Savunma Tarihi : 11.07.2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT**

Enstitü Müdürü: Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Rize ve çevresinin arazi yapısı ve meteorolojik koşulları bakımından bu yörede çalışan inşaat mühendislerinin karşılaştıkları en önemli problemlerden biri heyelanlardır. 19.09.2005 yılında Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Yapım Başmühendisliği'nde Rize'de Yol Yapım Kontrol Mühendisliği görevime başladığıktan sonra kendi çalışma hayatım boyunca da, bu problemle projelerin uygulaması aşamasında her zaman karşılaştım. Bu nedenle bu yörede çalışan biri olarak mühendislik birikimime katkısı olacağını düşünerek bu konuda çalışmaya karar verdim. Bu yörede bu tür problemlerle çok kez karşılaşmış ve çözümlerin uygulama aşamasında ve elde edilen sonuçlar konusunda tecrübeli olan meslektaş büyüklerim Yol Yapım Kontrol Şefi İnşaat Yüksek Mühendisi Sayın Hakan DAHİL ve Araştırma Başmühendisliği'nden Jeoloji Mühendisi Sayın Aytuna SAYIN'ın önerisi ile değerli hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN yönetiminde tez konusu olarak aktif bir heyelan sahası olan Uzunkaya heyelanını seçtim.

Çalışmalarım sırasında yardımlarından faydalandığım değerli yönetici hocam Sayın Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN'e ve bölüm hocalarıma, bilgi, veri ve teknik desteğinden faydalandığım çalıştığım kurum olan Karayollarına, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş.'ye, tecrübelerinden faydalandığım meslektaş büyüklerim Sayın Aytuna SAYIN'a, Hakan DAHİL'e ve adını saymadığım tüm meslektaşlarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışma hayatıyla birlikte yürüttüğüm tez çalışmalarım sırasında manevi desteklerini esirgemeyen aileme, müstakbel eşim Serhat ÇINAR'a, çalışma arkadaşım ve büyüğüm Hakan DAHİL'e, de manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Gülşen KAYNAK
Trabzon 2007

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Şevlerde Kitle Hareketleri Ve Heyelan Tanımları	1
1.3. Kitle Hareketlerinin Sınıflandırılması Ve Türleri.....	2
1.3.1. Düşme.....	3
1.3.2. Devrilme.....	4
1.3.3. Akma.....	5
1.3.4. Kayma.....	6
1.3.5. Yanal Yayılma.....	8
1.3.6. Karmaşık Hareketler.....	8
1.4. Kitle Hareketlerinin Nedenleri.....	8
1.5. Kitle Hareketlerinin İncelenmesi.....	10
1.5.1. Ön Çalışmalar.....	10
1.5.2. Arazi Çalışmaları.....	11
1.5.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	14
1.6. Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi.....	15
1.7. Şevlerin Stabilizasyonu.....	21
1.7.1. Ripaj Yapılması.....	22
1.7.2. Kazı Yapılması.....	22
1.7.3. Drenaj.....	23
1.7.3.1. Yüzey Drenajı.....	24
1.7.3.2. Yeraltı Drenajı.....	25
1.7.4. İstinat Yapıları.....	27
1.7.5. Zemin Ankrajları.....	31

1.7.6.	Zemin Çivisi.....	32
1.7.7.	Kazık Yöntemleri.....	33
1.7.8	Bitkilendirme.....	36
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	37
2.1.	Uzunkaya Heyelanı'nın İncelenmesi.....	37
2.1.1.	Ön Bilgiler.....	37
2.1.2.	Ön Çalışmalar.....	40
2.1.3.	İnceleme Alanının Jeolojisi.....	41
2.1.4.	Yerinde Yapılan Araştırmalar.....	43
2.1.5.	Yerinde (İn-Situ) Deneyler.....	43
2.1.6.	Laboratuar Deneyleri.....	44
2.1.7.	Deney Sonuçlarının Sunulması.....	44
2.1.8.	Yeraltı Suyu Durumu.....	46
2.1.9.	Depremsellik.....	47
3.	DEĞERLENDİRMELER.....	48
3.1.	Stabilite Analizleri.....	49
3.2.	Slope/W Programı.....	49
3.3.	Slope/W İle Problemin Analizi.....	50
4.	SONUÇLAR.....	52
5.	ÖNERİLER.....	54
6.	KAYNAKLAR.....	55
7.	EKLER.....	57
	ÖZGEÇMİŞ	
	YÜKSEL PROJE İZİN YAZISI	

ÖZET

Kitle hareketleri ya da heyelan olarak adlandırdığımız yamaç veya şev hareketleri, nedenleri, oluşumları ve sonuçları bakımından bölgesel özellik taşıyan doğal afetlerdir. Oluşum nedenleri göz önünde bulundurulduğunda, özellikle Doğu Karadeniz Bölgesi jeolojik, jeodezik ve özellikle de meteorolojik koşullar bakımından kitle hareketlerinin oluşumuna fazlaca yatkınlık arz etmektedir.

Bu çalışmada, Karadeniz Sahil Yolu, İyidere-Çayeli Kesimi, Derepazarı İlçesi Uzunkaya Mevkii' sol yarma şevinde meydana gelen kitle hareketi incelenmiştir.

Bu amaçla, hareket sonrasında yerinde yapılan gözlemlerden sonra araştırma programı yapılmıştır. Ön çalışmalar kapsamında; saha ile ilgili önceki çalışmalar incelenmiş, yerinde geoteknik incelemeler yapılmış, sahanın jeolojik-geoteknik planı hazırlanarak deneysel veriler için sondaj yerleri belirlenmiştir. Sahanın geometrisini elde etmek için jeodezik kesitler çıkartılmıştır.

Sahada yapılacak araştırmalar kapsamında; arazide belirlenen yerlerde sondajlar, standart penetrasyon deneyleri, presiyometre deneyleri yapılmıştır. Sondajlardan elde edilen zemin ve kaya örnekleri üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

Araştırmalardan elde edilen verilere dayanılarak sondaj logları ve tablolar hazırlanmıştır. Kritik kesit belirlenerek jeolojik kesit hazırlanmış ve bu kesit üzerinde stabilite analizleri bilgisayar programı ile yapılmıştır. Stabilite analizleri, sahanın jeolojik ve topoğrafik yapısı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiş ve sahanın ıslahına yönelik geoteknik çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Heyelan İncelemesi, Şev Stabilizasyonu, Zemin Çivisi

SUMMARY

Geotechnical Exploration of Uzunkaya (Rize) Landslide

Hillside or slope movement namely landside or mass movement has regional characteristic in causes, occurrence and results is natural disaster. When we take into consideration of the causes of slope and hillside movement, especially Eastern Black Sea Region is highly susceptible to the formation of mass movement due to the geological, geodesic and especially meteorological conditions.

In this study, the mass movement in the left slope of the Black Sea Coast Road, Iyidere-Cayeli Section , Derepaazarı , Uzunkaya field has been investigated.

For this purpose, the research program was done after the mass movement observations at the field.

Within the context of preliminary work, the prior works related with the field was examined, geotechnical investigation was made, geological and geotechnical plans were concocted and boring places was determined for experimental data. To get field's geometry geodetic cross sections was produced. Within the context of field work borings, standart penetration tests and pressuremeter tests were done. Laboratory test were carried out on the disturbed and undisturbed samples gained from borings. On the basis of attainments data from research, boring logs and tables were prepared.

Geological cross section has been prepared by defining critical cross section and stability analysis whereby computer program was prepared on this cross section. Stability analysis have been evaluated considering geological and geodetic structure of the field and some geotechnical solution proposals are offered for the reclamation of the field.

Key words: Landslide Study, Slope Stabilization, Soil Nail

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.	Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler.....4
Şekil 2.	Devrilme türleri.....5
Şekil 3.	Bazı akma biçimleri.....6
Şekil 4.	Dairesel kayma.....7
Şekil 5.	Eğri yüzeyli kayma.....7
Şekil 6.	Bazı kayma şekilleri.....7
Şekil 7.	Yanal yayılma..... 8
Şekil 8.	Kitle hareketi nedenleri.....10
Şekil 9.	Ektonsometre (a) ve yer değiştirme levhası (b).....13
Şekil 10.	Heyelan bölgesinde gözlem ve ölçüm yerleri.....14
Şekil 11.	Dilim yöntemlerinde kuvvetler.....20
Şekil 12.	Şev geometrisinin düzenlenmesi.....23
Şekil 13.	Palyeli (Kademeli) yarma kesitte drenaj hendekleri.....24
Şekil 14.	Enine ve boyuna yatay dren, düşey drenlerin bir arada gösterimi.....26
Şekil 15.	Tabakalı zemin yapılarında düşey dren, yatay dren, yüzeysel ve yüzey altı hendekleri.....26
Şekil 16.	Klasik istinat duvarı türleri.....27
Şekil 17.	Donatılı zemin istinat duvarları.....29
Şekil 18.	Gabyon istinat duvarı 30
Şekil 19.	Paplanş perdeleri.....31
Şekil 20.	Zemin ankrajının kısımları..... 32
Şekil 21.	Zemin çivisi örnek uygulama kesiti.....33
Şekil 22.	Yamaçta pasif kazık uygulaması.....34
Şekil 23.	Mikro kazık uygulaması.....35
Şekil 24.	Şevde taş kazık uygulaması.....36
Şekil 25.	İnceleme alanının yer bulduru haritası.....37
Şekil 26.	Yolun sağ yarma şevinde oluşan ve geriye doğru ilerleme potansiyeli olan heyelan sahasının konumu.....38
Şekil 27.	Heyelanın taç kısmında oluşan gerilme (çekme) çatlağı.....38
Şekil 28.	Heyelan sahasının yakından görünümü.....39

Şekil 29.	Heyelan hareketinin oluştuğu sahanın üst kısmındaki arazide oluşan ve geriye doğru gelişen gerilme çatlakları.....	40
Şekil 30.	İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	42
Şekil 31.	Rize İli'nin depremselliği.....	47

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.	Varnes heyelan sınıflandırma sistemi.....3
Tablo 2.	Yamaç ve Şevlerde Güvenlik Sayılar.....18
Tablo 3.	Analiz metotları.....20
Tablo 4.	Temel Sondajları Bilgi Tablosu.....43
Tablo 5.	Bilgisayar Analizlerinden Elde Edilen Güvenlik Sayıları.....51
Ek Tablo 1-17.	Uzunkaya yarması sondaj logları.....58
Ek Tablo 18–20.	Uzunkaya Yarması Standart Penetrasyon Deneyi Presiyometre Deneyi Sonuçları.....75
Ek Tablo 21–22	Uzunkaya Yarması Laboratuar deneyleri sonuçları.....78

SEMBOLLER DİZİNİ

c	: Kohezyon
m_b, s ve a	: kaya kütlesinin bileşimine, yapısına ve yüzey özelliklerine bağlı sabitler
M_d	: Harekete zorlayan kuvvetler
M_r	: Harekete direnen kuvvetler
u_w	: boşluk suyu basıncı
Φ	: İçsel sürtünme açısı
σ_1	: En büyük asal gerilme
σ_3	: En küçük asal gerilme
σ_c	: Kayaç malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı
σ	: Normal gerilme
τ	: Mohr-Coulomb kayma mukavemeti

1.GENEL BİLGİLER

1.1.Giriş

Birçok disipline konu olmasına rağmen genelde inşaat mühendisliği, özelde geoteknik mühendisliği, mühendislik jeolojisi literatüründe yamaçların doğal durumlarının bozulması sonucu oluşan hareketlere kitle hareketleri, kütle hareketleri ya da yaygın olarak heyelan denilmektedir. Kitle hareketleri ya da heyelanlar, afetler şeklinde insanları etkilemeye başladıktan sonra mühendislik konusu olmuştur. Zaman içerisinde yapılan araştırmalarla birçok tanımlama, sınıflama ve çözüm yolları geliştirilmiştir. Ancak; birçok doğal afet şeklinde olduğu gibi oluşumunda etkili olan parametrelerin çokluğu, özellikle heyelanların olduğu yerkabuğunun izotrop bir ortam olmayışından dolayı, bu hareketler üzerinde araştırmalar ve ıslahına yönelik çözüm araştırmaları hala sürmektedir.

Bu çalışmada Karadeniz Sahil Devlet Yolu, İyidere-Çayeli Kesimi, Uzunkaya Mevkii Km:118+700–118+850 arasında yol yapım çalışmaları sırasında yarma şevinde meydana gelen kitle hareketi incelenmiş ve ıslahına yönelik çözüm önerileri sunulmuştur.

1.2. Şevlerde Kitle Hareketleri ve Heyelan Tanımları

Geotekniğin incelediği problemlerden biri de yamaç ve şevlerin stabilitesidir. Geoteknikle ilgili Türkçe kaynaklarda şev ve yamaç tanımı birçok şekilde yapılmış olup genel olarak; bir zemin kitlesinin bir yatay düzleme göre açı yapan herhangi bir yüzeyine şev adı verilmektedir. Yamaç ve şevlerin stabilitesinin incelenmesinde farklılık bulunmamasına rağmen, insan katkısı olmaksızın oluşmuş olanlarına yamaç, insan eliyle yarma veya dolgu sonucu oluşturulanlarına da yarma veya dolgu şevi ya da yapay şev adı verilmektedir. Şevlerin stabilitesinin bozulması sonucu ortaya çıkan olaylara genel olarak, şevlerde kitle hareketleri, heyelanlar, özel olarak da akma, kopma, devrilme, kayma gibi isimler verilmektedir. Bazı kaynaklarda heyelan; doğal şevlerin hareketi, olarak tanımlanmaktadır. TSE 8853'te; belli bir zaman içinde yamacın ilk geometrisini gözle görünür biçimde kaybetmesine, üzerindeki ya da önündeki mühendislik yapılarının güvenliğini kaybetmesine veya işlevini yitirmesine sebep olan kütle hareketleri, heyelan olarak tanımlanmaktadır. Kitle hareketlerini sınıflandıran bir başka kaynakta; toprak taş veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, aşağıya ve dışarıya doğru hissedilebilir bir şekilde hareket etmesine, heyelan

denilmektedir[3]. Stabilite analizlerinde farklılık olmadığı belirtilerek, yamaç veya şevlerin dengesini kaybederek kayması olayına heyelan denilmektedir[4]. Birçok heyelan tanımından yola çıkarak, heyelan; doğal kaya, zemin, yapay dolgu veya bunların bir ya da bir kaçının birleşiminden oluşan şev malzemesinin, yerçekimi, jeoloji ve su içeriği gibi doğal faktörler ile doğal olmayan çeşitli faktörlerin etkisi altında eğim yönünde çoğunlukla dairesel ya da düzlemsel bir yüzey üzerindeki hareketiyle sonuçlanan sürece verilen isimdir[2]. Ancak stabilite problemlerinin analizlerinde bir ayırım yapılmamaktadır. Stabilite denildiğinde yamaç ve şevlerin mevcut koşullarda durumlarını korumaları anlaşılmaktadır.

Şevlerdeki kitle hareketleri ile ilgili, hareket şekli ve hareket eden malzeme gibi parametreler göz önünde bulundurularak çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır.

1.3. Kitle Hareketlerinin Sınıflandırılması ve Türleri

Şevlerdeki kitle hareketlerini analiz eden birçok çalışmada hareket şekli ve hareket eden malzeme gibi parametreler göz önünde bulundurularak çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır.

Bu sınıflandırmalarda kullanılan parametreler şöyle sıralanmıştır [3]:

- a. Hareketin türü, miktarı ve hızı
- b. Hareket eden malzemenin türü, dizilişi, yaşı
- c. Hareket eden kitlenin şekli
- d. Su miktarı
- e. Hareket edenle alttaki temel arasındaki bağıntı
- f. Hareketin nedenleri
- g. Kohezyon (c) ve içsel sürtünme (F) karakteristiği

Birçok sınıflandırma bulunmasına rağmen en yaygın olanı Tablo 1’de yer alan Varnes (1978) ‘dir.

Tablo 1. Varnes heyelan sınıflandırma sistemi [2]

HAREKET TÜRÜ		Malzemenin türü		
		<u>KAYACLAR</u>	ZEMİNLER	
			İri Daneli	İnce Daneli
<u>DÜŞME</u>		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi	Zemin Düşmesi
<u>DEVİRİLME</u>		Kaya Devrilmesi	Molozda Devrilme	Zeminde Devrilme
<u>AKMA</u>	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz Kripi	Zemin Kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz Akması	Zemin Akması
<u>KAYMA</u>	Ötelenmeli	Kayada Blok Türü Ötelenme	Zeminde Ve Molozda Blok Türü Ötelenme	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönel Kayma	Zeminde Ve Molozda Dönel Kayma	
<u>YANAL YAYILMA</u>		Kaya Yayılması	Zemin Veya Moloz Yayılması	
<u>KARMAŞIK</u>		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

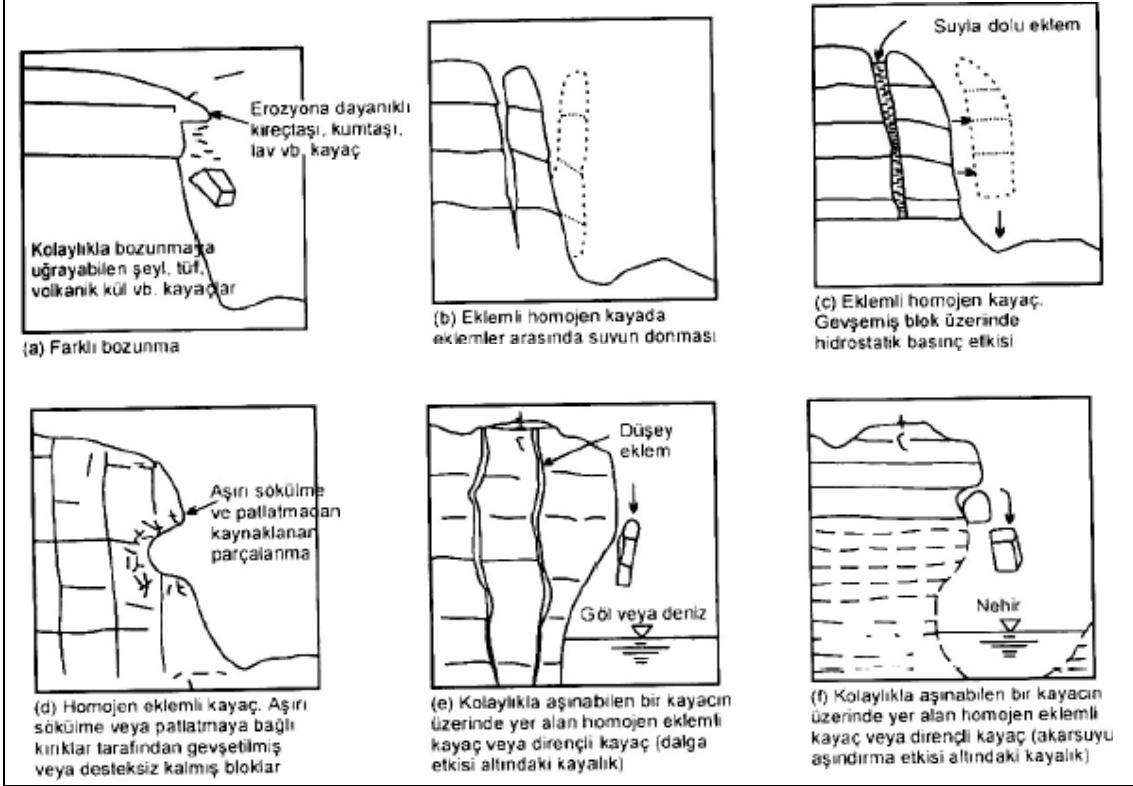
Buna göre şevlerde stabilite kayıplarıyla sonuçlanan hareketler altı ana grupta incelenmiştir.

1. Düşme
2. Devrilme
3. Akma
4. Kayma
5. Yanal yayılma
6. Karmaşık

1.3.1. Düşme

Kaya ve kaya parçacıklarının, çok dik kazı şevleri veya yamaçlardan ani kopmalarıyla oluşan kitle hareketidir. Ana kitleden ayrılmalar, çatlaklar, eklemler, tabaka düzlemleri gibi süreksizlikler boyunca oluşur ve hareket serbest düşme, sekme, yuvarlanma şeklinde gerçekleşebilir[5]. Yerçekimi, şev topuğunun rüzgâr hareketleri, nehir erozyonu ve kazılar

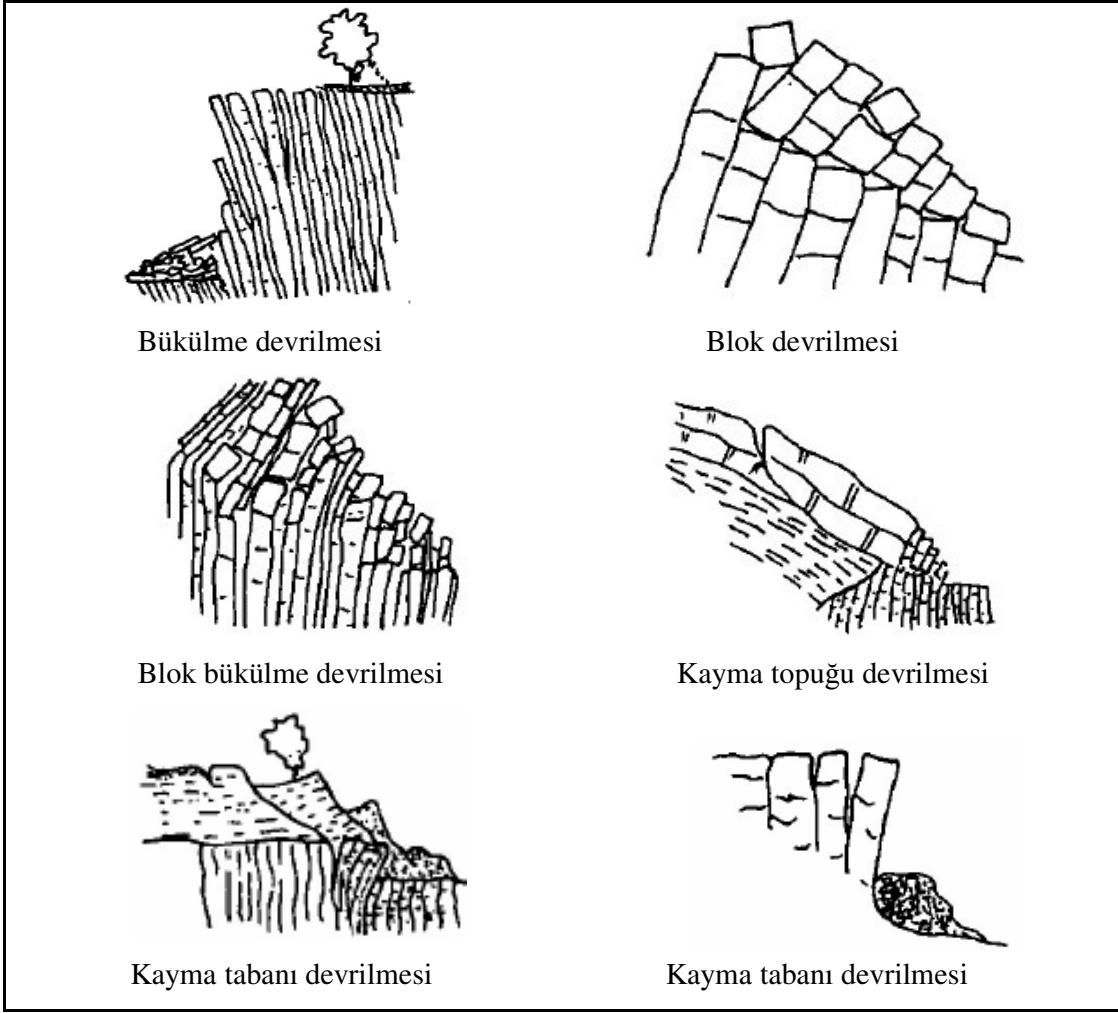
gibi sebeplerle oyulmasıyla zemin kitlesinin askıda kalması, çatlaklarda biriken suların donmasıyla oluşacak gerilmenin itki kuvveti, kurak bölgelerdeki sıcaklık değişimleri düşme hareketine sebep olabilecek etkilere [6]. Düşme olayında rol oynayan önemli etkenlerden biride, olayın görüldüğü yerdeki kayaların litolojik ve yapısal özellikleridir. Farklı litolojideki birimlerde farklı aşınma sonucunda düşme türündeki kitle hareketleri sıkça görülür. Şekil 1’de farklı düşme türündeki hareketler görülmektedir.



Şekil 1. Kaya kütlelerinde kaya düşmesine neden olan süreçler [2]

1.3.2. Devrilme

Birim ya da blokların bir nokta etrafında öne doğru dönmesi sonucu oluşan harekettir. Düşey kazılarda toprağın göçmesinden düşeye yakın çatlak sistemli kaya blokların devrilmesine kadar değişik karakter gösteren devrilme olayının kökeni blokların ağırlık vektörünün taban dışına düşmesi olarak tanımlanmıştır [7]. Doğada çeşitli devrilme türleri (Şekil 2) saptanmıştır. Bükülme devrilmesi, Blok Devrilmesi veya her ikisinin karışımı olan farklı devrilme türleri oluşabilir.



Şekil 2. Devrilme türleri [2]

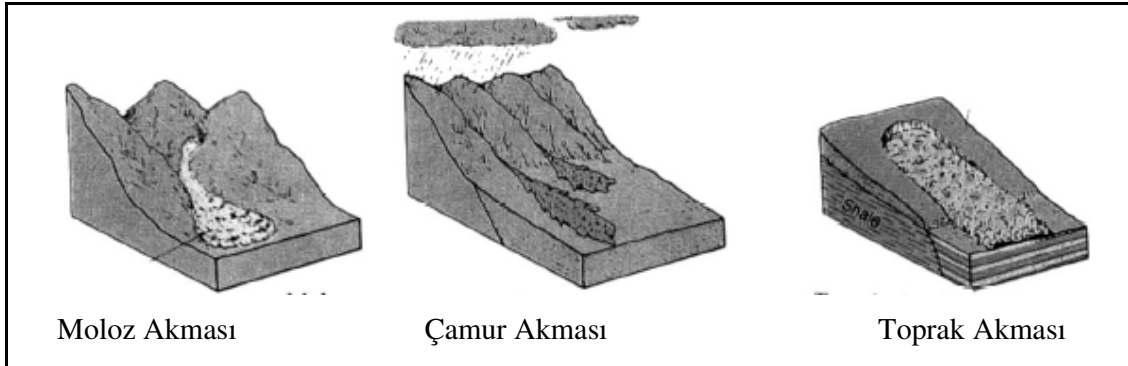
1.3.3. Akma

Toprak ya da taş-toprak karışımı, ayrışmış yüzeysel örtü, içerisinde bulunan su miktarına göre, bazen bir sıvı gibi akar, bazen de çok yavaş fakat sürekli yer değiştirir ve zemin içerisinde bir deformasyon oluşur[3].

Akma, içsel deformasyonları kaymalardan fazla olan kitle hareketleri olarak tanımlanmaktadır[6]. Malzemenin akma hızına göre yavaş ya da hızlı akma denir. Yamaç ve şevlerde yüzeysel kısmın çok yavaş ve sürekli olarak yer değiştirmesine yavaş akma (krip) adı verilir. Akan malzeme türüne göre de kaya-blok, moloz, toprak akması, ya da kribi denir. Su miktarının çok fazla artması halinde ise topraklar çamur akması şekline dönüşür.

Toprak kribinde en önemli faktör danelerin su ile ıslanıp kurumasıdır. Bu esnada su alıp şişen daneler yerçekiminin etkisi ile yamaç eğimine dik olarak hareket ederler. Moloz kribinde ise etkili olan faktör; molozu oluşturan blok ve parçalar arasındaki suyun donup-erimesidir. Molozlarda krike neden olan bir diğer faktör ise danelerin biçimidir. Molozun yassı danelerden oluşması hareketi kolaylaştırır. Kaya kribi ise, yamaçlardaki bloklu kayaların, yamaç dışına eğimli yüzeyi üzerinde, bu düzlem boyunca yamaç aşağı hareket etmesidir. Bu hareket hızı bakımından krike benzer. Kaya kribinde de hareketin nedeni iklim koşullarına bağlı olarak, süreksizliklerdeki suyun donma-erimesi, genleşme büzülme ve bitki köklerinin büyümesidir. Ayrıca tabakalı kayalarda ince killi ara tabakaların bulunması ve su, hareketin oluşumunda önemli rol oynar.

Kribin olduğu toprak, taş-toprak karışımı ya da ayrışma sonucu gevşemiş bloklu kısımlar, suyun artması, buna bağlı olarak boşluk suyu basıncının artması, doğal ve yapay titreşimler nedeni ile alttaki kısmen ya da tamamen geçirimsiz temel üzerinde gözle görülebilecek bir hızla yamaç aşağıya hareket ederler. Su miktarı arttıkça hız artar. Buna hızlı akma denir. Suyun artması ile suya karşı hassas killi zeminler çamur, kumlu zeminler ise kum akması şeklini alır. Bu tip olayların buzla kaplı sahalarda görülenlerine soliflüksiyon denir. Şekil 3'te şekil gösterildiği gibi, akma çeşitleri malzeme türüne göre isimlendirilebilirler[8].

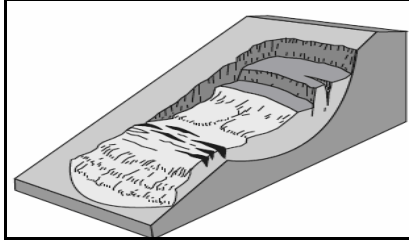


Şekil 3. Bazı akma biçimleri [2]

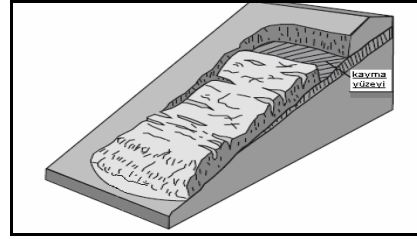
1.3.4. Kayma

Kayma, şevi oluşturan malzemedeki, belirgin bir yüzey boyunca ve makaslama yenilmesine bağlı olarak, kazı boşluğuna doğru dönel veya ötelenmeli (düzlem üzerinde) bir hareket sonucu meydana gelen bir duraysızlık türüdür. Şevlerde karşılaşılan en yaygın

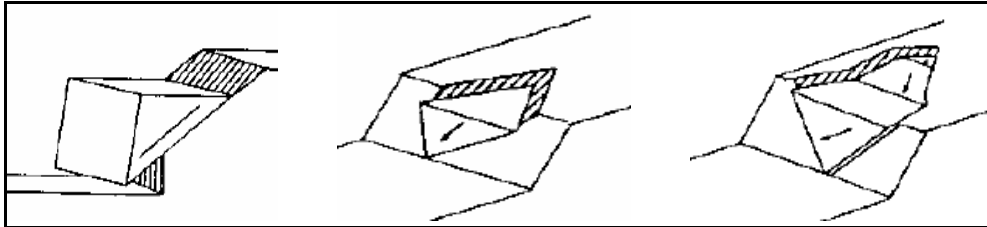
duraysızlık türü olan kaymalar, dönел ve ötelenmeli olarak iki şekilde gelişirler [9]. Bu olay daha çok yatay ya da eğik tabakalı, aynı ya da farklı litolojilerdeki arazide oluşur. Arkada eğimli tabakaların aşağı kısımlarında yapılan kazı ya da aşınma nedeniyle asılı vaziyette olan kitlenin ağırlığı, içsel sürtünmeden fazla olduğu andan itibaren, yamaç harekete başlar. Bu gibi hallerde içsel sürtünme asgariye düşer. Burada harekete karşı koyan kuvvet içsel sürtünme direncidir. Daneleri çimentolayan malzeme ve içsel sürtünme direnci yavaş yavaş ya da devamlı yağış etkisiyle birden bire azalır; yapışma direnci küçülür; genişlemeler, yeryüzüne dik çatlaklar oluşur ve sonunda denge bozulur; kesme direnci azalır; tabaka kayması meydana gelir[3]. Literatürde kaymalar, kayma yüzeyinin ve hareketin şekline göre; dönmeli(dairesel) kaymalar (Şekil 4), eğri yüzeyli kaymalar (Şekil 5), ötelenmeli(düzlemsel) kayma, tek düzlemde düzlemsel, kesişen iki düzlemde düzlemsel(kama şeklinde) kaymalar (Şekil 6) gibi isimlerle adlandırılmışlardır. Düzlemsel kayma; kayalarda kayanın içerdiği, yamaç dışına eğimli fay, çatlak, tabaka vb yüzeylerde oluşur. Zeminlerde ise daha çok yayılma şeklinde olur[8]. Dairesel(dönmeli, eğri yüzeyli) kayma; kil, silt, kum vb türdeki zeminlerin yanı sıra, akarsu kanallarında, yol yarmalarında, dolgularda, atık yığınlarında ve ileri derecede eklemlili kaya kütlelerinde veya ileri derecede ayrılmış kaya kütlelerinde meydana gelir[2].



Şekil 4. Dairesel kayma [12]



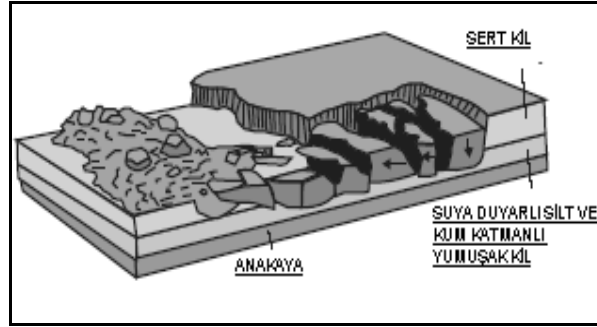
Şekil 5. Eğri yüzeyli kayma [12]



Şekil 6. Bazı kayma şekilleri

1.3.5. Yanal Yayılma

Kesme ve çekme nedeniyle oluşan yer değiştirmelerin birlikte izlendiği bir kitle hareketidir. Kayma hareketinden farklı belirgin bir kayma yüzeyine sahip olmamasıdır. Plastik ve sıvılaşmada meydana gelir[4]. Yumuşak malzeme şevin dışına doğru plastik bir davranış sergiler ve akma şeklinde harekete bağlı olarak alttaki sert malzemede bloklara ayrılır ve plastik malzeme tarafından taşınarak Şekil 7. de görüldüğü gibi bu harekete katılır[2].



Şekil 7. Yanal yayılma [12]

1.3.6. Karmaşık Hareketler

Birden fazla türde kitle hareketinin görüldüğü olaylara karmaşık kitle hareketi denir. Örneğin, devrilme türü bir hareket kaya düşmesine, daha sonra da kaya akmasına, kaya kayması ise kaya düşmesine dönüşebilir. Killi, siltli zeminlerde meydana gelen heyelan daha sonra çamur akmasını meydana getirebilir. Bu nedenle kitle hareketleri incelenirken, hareketin şekline, hareket eden malzemenin türü ve su içeriğine göre, olayları sırasıyla izlemek, isimlendirmek ve duruma göre önlem almak gerekir[8].

1.4. Kitle Hareketlerinin Nedenleri

Yeryüzünün ve üzerindeki yapıların şeklini, konumunu değiştiren kitle hareketlerinin ana nedeni yerçekimidir. Kitle hareketleri incelendiğinde, hareketi çabuklaştıran ve kolaylaştıran bir takım doğal ve yapay nedenler vardır. Kitlelerin dengesinde etkili olan faktörlerin bir kısmı kitleye ait özelliklerden, bir kısmı ise kitleye müdahaleden kaynaklanmaktadır. Her iki durumda da kitlede gerilme artışları ya da direnç azalmaları oluşmaktadır[8]. Terzaghi (1950) heyelana neden olan faktörleri, kitlede gerilme artışına neden olan (örn. Şev geometrisinin değiştirilmesi, şev topuğundaki yükün kaldırılması, şevin baş kısmının yüklenmesi, titreşimler, su etkisi) dış faktörler ve kayma direnci

azalmasına neden olan iç nedenler olarak ayırmıştır. Şev hareketlerinin sebepleri stabiliteyi bozan ve hareketi tetikleyen olarak incelenebilir[10]. Hareketin oluşumu bir süreç olduğundan, stabilitenin bozulmasından olayın sonuçlanmasına kadar birçok nedenin etkileşimi bir arada düşünülmelidir. Nedenlerin sınıflandırılması iç ve dış nedenler [3], yapay ve doğal nedenler[8],hazırlayıcı ve tetikleyici nedenler[10] gibi çeşitli şekillerde yapılmıştır. Ana faktörler şöyle sıralanabilir[2];

- Şev açısı (Topoğrafya)
- Yağış (ani ve uzun süreli yoğun yağış, ani kar erimesi)
- Tekrar aktivite kazanabilecek eski heyelan kütlelerinin varlığı
- Ana kaya ve üzerindeki konsolide olmamış birimlerin litolojik özellikleri(jeoloji)

Dış nedenler[3];

- Şev ve yamaç eteklerinde yapılan kazılar
- Şev ve yamaç topuklarının sular tarafından oyulması
- Aşınma ile şev eğiminin artması, yani şev yüksekliğinin ve şev açısının değişmesi
- Zemine doğal ve yapay olarak ek yüklerin yüklenmesi
- Zemin üstündeki bitki örtüsünün kaldırılması, yüzey sularının sızmasının kolaylaştırılması
- Çatlak ve fissürlerde suların donması
- Depremler
- Yapay patlamalar ve sarsıntılar

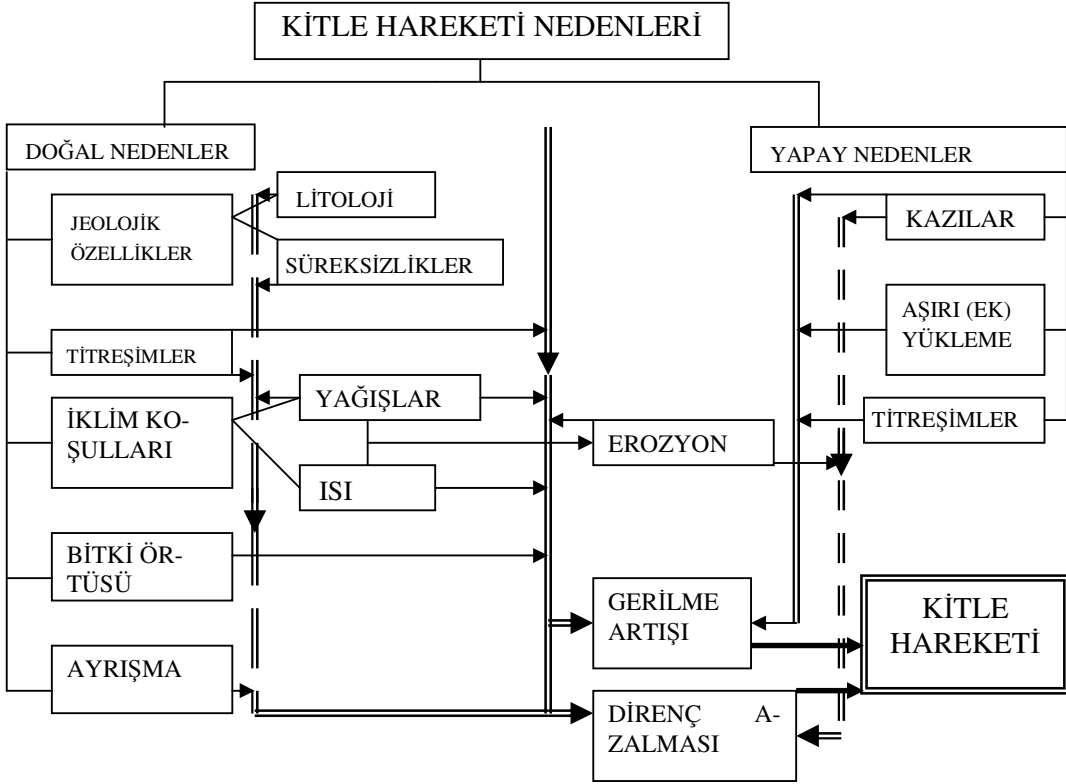
İç nedenler;

- Boşluk suyu basıncının artması
- Şev ve malzeme kohezyonunun azalması
- Kabarma ve şişme basınçları olarak sıralanmıştır.

Kitle hareketlerinin nedenleri, harekete etkileri (hazırlayıcı veya tetikleyici) veya kaynağına (jeolojik, morfolojik, fiziksel, insanların oluşturduğu) göre de sınıflandırılmıştır[10]. Burada, jeolojik faktörler; şev malzemesinin özellikleri (mukavemeti, çatlak, eklem, tabaka, fay, geçirimsizlik gibi), morfolojik özellikler; şev veya şev malzemesinde oluşan yer değiştirmeler (tektonik, volkanik, buzul, akarsu, rüzgâr erozyonu, donma-çözülme, şişme kabarma hareketleri gibi), fiziksel özellikler; ani yağışlar,

patlamalar, insan müdahaleleri; çeşitli şekillerde (kazı, su seviyesinin değiştirilmesi, bitki örtüsünün değiştirilmesi gibi) şevin doğal durumunun bozulması olarak açıklanmıştır.

Kitle hareketinde etkili faktörlerin hangi yönde etkidiği Şekil 8’de anlatılmıştır[8].



Şekil 8. Kitle hareketi nedenleri[8]

1.5. Kitle Hareketlerinin İncelenmesi

Doğanın ve üzerine inşa edilen yapıların şeklini değiştiren, yıkılmasına ve kullanılmaz hale gelmesine neden olan kitle hareketleri değişik yönlerden incelenmektedir. Bu incelemeleri, ön araştırmalar, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları, büro çalışmaları şeklinde ayırabiliriz.

1.5.1. Ön Çalışmalar

İncelenmesi istenen sahaya gitmeden, o saha hakkında ilk bilgiler, daha önce yapılmış çalışmaların gözden geçirilmesi ile toplanır. Kitle hareketlerinin incelenmesinde, genellikle 1/5000–1/25000 ölçekli topografik haritalar kullanılır. Bu haritalar üzerinde kitle hareketlerinin sınırları, belirtileri, çeşitli kısımları takeometrik olarak işlenmesi gerekir. Jeolojik raporlardan çalışma alanının jeolojik, petrografik, litolojik, hidrojeolojik ve

paleontolojik özellikleri hakkında bilgi toplanır[8]. Yüzey şekilleri, yükseklik, topografya, yüzeyinin eğimi, heyelan topografyasının özelliği ve erozyon şekilleri, hava fotoğrafları üzerinde incelenir, heyelanların genel görünüşü ve yayılışı bulunur[2]. Çalışma programı hazırlanır ve arazi çalışmalarına geçilir.

1.5.2. Arazi Çalışmaları

Arazide yapılacak çalışmalarla, heyelanın oluştuğu sahanın topoğrafik, jeolojik, litolojik, yapısı, iklim ve bitki örtüsü, yeraltı su durumu, yüzeysel suların durumu, doğal ve yapay titreşimler gibi durumlar araştırılır. Bunun için, arazide sondaj çalışmaları ve alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden yararlanarak laboratuvar deneyleri veya arazi deneyleri yapılır.

1. Topografyanın belirlenmesi:

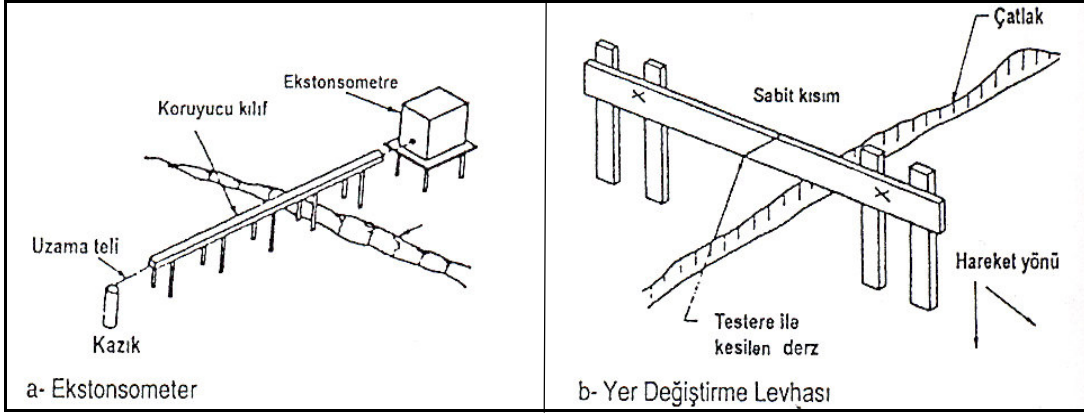
Kitle hareketinin oluştuğu sahanın yüzey şekilleri, yükseklikler, topografya yüzeyinin eğimi, erozyon şekilleri, heyelan topografyası incelenerek heyelanın genel görünüşü ve yayılışı bulunur. Bu bilgileri içeren haritalar, kesitler hazırlanır. Arazi ölçümlerinden ve üç boyutlu görüş sağlayan uygun ölçekli hava fotoğraflarından faydalanılır.

2. Hareketin meydana geldiği zemin koşullarının belirlenmesi:

Kitle hareketinin oluştuğu sahanın kayaç ya da zemin türü, kayaç ya da zeminlerin içerdiği tabaka, çatlak, fay, fissür gibi süreksizliklerin kalınlıkları, açıklıkları, dolgu türü ve kalınlıkları, doğrultu ve eğimleri araştırılır. Ayrıca yeraltı ve yüzeysel su durumu (akarsu çeşme ve kaynaklar), kayaç ya da zeminlerin suya karşı hassasiyetleri incelenir. Bütün bu hususlar harita ve kesitlerde işaretlenir. Hareket eden kitlenin genel sınırları, hızı yönü, miktarı ve tipi ortaya konmaya çalışılır. Kayma derinliği, şekli ile meydana gelen gerilme, enine ve boyuna çatlakların yerleri, derinlikleri, açıklıkları araştırılır. Yer değiştirme miktarları, yapılarda (bina, yol, baraj vb.) oluşan deformasyonlar incelenir. Tüm bu değişiklikler ölçümler yapılarak haritalara geçirilir. Hareket eden kitle ve civarındaki kaynak ve çeşmelerin debileri, yeraltı su seviyesi akış yönü ve hızı incelenir. Sahanın sismik durumu ile saha yakınında yapılan patlatmaların, yoldan geçen araçların oluşturduğu titreşimler ve bu titreşimlerin hareketin başlamasına neden olup olmayacağı araştırılır[8]. Heyelan bölgesinde yapılacak sondajlar zeminin tanımlanması için gereklidir. Heyelan bölgesinin büyüklüğüne ve heyelan tehlikesine bağlı olarak sondaj sayısı belirlense de en az 4 adet sondaj gereklidir. Bunların 3 tanesi muhtemel heyelan aksı üzerinde, 1 tanesi

heyelanın taç bölgesinin üstünde yapılmalı ve derinlikleri muhtemel kayma yüzeyinin en az 3 ile 5 m derinliğine kadar veya sağlam kayanın en az 3m altına kadar olmalıdır[1]. Sondaj kuyularında özellikle muhtemel kayma yüzeyinde arazi Vane kayma deneyi, piyezometre ile boşluk suyu basıncı, SPT veya CPT deneyi yapılmalıdır[1]. Bunlarla birlikte, yarma ve araştırma çukuru açılması, jeofizik yöntemlere de başvurulur. Bu yöntemlerle sahadaki bitkisel toprağın derinliği, hareket eden kitlenin hacmi, kayma yüzeyi derinliği ve şekli, hareket eden malzemenin ve sağlam kısmın taşıma gücü, yeraltı suyunun durumu belirlenir[8]. Ayrıca alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelerden laboratuvar deneyleri yapılır. Yeraltı suyunun varlığı hareketin oluşmasında önemli bir etken olduğundan dolayı ölçümler yapılarak yeraltı suyu seviyesi, mevsimsel değişimi, beslenmesi, basıncı akım şartları ve yönü gibi bilgiler toplanmalıdır. Yeraltı suyu ölçümleri, seviyesinin en yüksek olduğu dönemlerde en az iki ay süreyle derinlik, debi ve basınçları ölçülmelidir. Heyelanların geoteknik etütleri diğer etütlerden çok farklı olmamakla birlikte daha sık aralıktaki ve muhtemel kayma yüzeyi üzerinde yapılarak stabilite analizleri için gerekli parametrelerin toplanması amacıyla yapılır. Potansiyel heyelana sahip bölgelerde heyelanın aktivitesini ölçmek ve/veya belirlemek amacıyla birtakım ölçümler yapılır. Bu arazi ölçümleri ile kayan kitlenin eğim veya yer değiştirmesi gerek miktar gerekse hız olarak saptanabilmektedir. Bu amaçla; Şekil 10'daki gibi ekstonsometre, eğilme ölçer, inklinometre, yer değiştirme levhası, yer değiştirme kazıkları kullanılır. Ekstonsometre heyelanın oluşturduğu çatlaklar üzerine kayma yönüne paralel olarak yerleştirilir. Özellikle taç bölgesinde yer alan ana heyelan çatlağı üzerine konulmalı ve orta bölgelerde görünür çatlaklar veya basamaklar var ise buralar da ekstonsometre konulmalıdır. Bunun için zemine sağlamca bir kazık çakılmalı ve en fazla 20 m öteye yer değiştirmeleri kaydeden ekstonsometre cihazı (Şekil 9) konulmalıdır. Kazık ile ekstonsometre arasındaki belirgin bir tel vasıtasıyla yer değiştirme miktarı ölçülebilmektedir ancak kot farkı 5m'den fazla olmamalıdır. Daha basit bir araç olan yer değiştirme levhası ise, çatlağın her iki tarafına yatay eğilme yapmayacak şekilde kazıklar zemine çakılıp arasına bir ahşap levha yerleştirilerek tesis edilir. Ahşap levha üzerinde başlangıç ara mesafesi belli olan iki nokta işaretlenir ve belirli aralıklarla genişleme miktarı ölçülür. Genleşme miktarı 0,2mm hassasiyetle ölçülebilmeli ve çok uzun süreli gözlem yapılmalıdır. Potansiyel heyelan bölgelerinin aktivitelerinin tayini için inklinometre cihazı da kullanılmaktadır. Oldukça esnek tüpler tam dikey olarak çakılır ve içlerine inklinometre cihazı yerleştirilerek zeminin

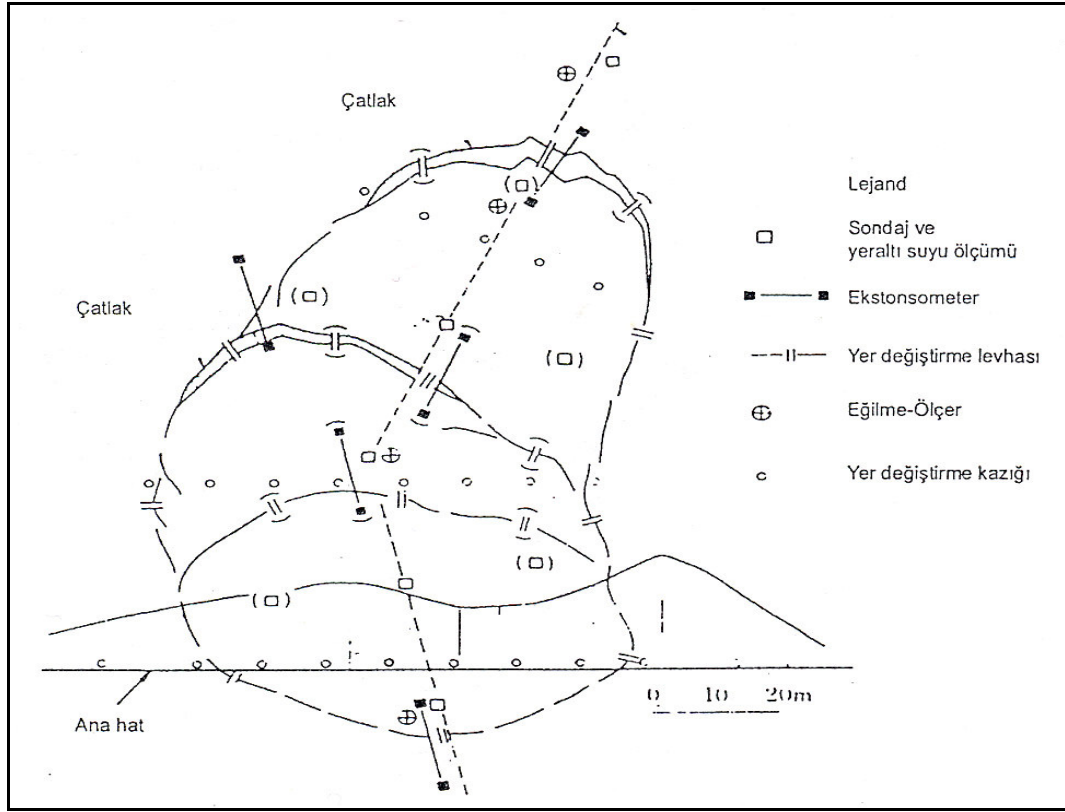
belirli derinliklerdeki yatay yer değiştirme miktarı ölçülür. Deforme olmuş esnek tüp içindeki inklinometre cihazının elektronik duyargaları ile yatay yer değiştirme miktarları saptanmaktadır[1].



Şekil 9. Ekstonsometre (a) ve yer değiştirme levhası (b) [1]

3. Sahanın iklim ve bitki örtüsünün araştırılması:

Kitle hareketlerinin oluşmasında büyük etkisi olan iklim parametrelerinin yağış ve sıcaklık durumu araştırılır. Yağışların türü, miktarı hızı ve süresi, bölge sıcaklığının günlük ve mevsimlik değişmeleri ile buharlaşma ortalamaları bulunur. İklim parametrelerine bağlı olarak sahanın bitki örtüsü ve bitki örtüsünü oluşturan bitki türleri ile bunların kök derinlikleri ve su emme özellikleri belirlenir.



Şekil 10. Heyelan bölgesinde gözlem ve ölçüm yerleri [1]

1.5.3. Laboratuvar Çalışmaları

Arazide yapılan araştırmalar esnasında alınan örselenmiş ve/veya örselenmemiş örnekler incelenir. Kayaç veya zeminlerin türleri, dane boyutları ve yüzdeleri, mineralojik ve kimyasal bileşimleri, içerdikleri fosiller ve buna bağlı olarak yaşları, ayrışma durumları ile suya karşı hassasiyetleri araştırılır.

Geoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla, araziden alınan örselenmemiş örneklerden veya laboratuvar ortamında hazırlanacak örneklerden yararlanılır. Kayaç ya da zeminlerin fiziksel özellikleri (birim hacim ağırlık, su içeriği, su emmesi, porozite ve boşluk oranı, Atterbeg limitleri) belirlenir. Mekanik özelliklerini (basınç, çekme, üç eksenli basınç dayanımları, kohezyon ve içsel sürtünme açısı, sıkışma değerleri) belirlemek için laboratuvar deneyleri yapılır. Tüm doküman, arazi ve laboratuvar araştırmaları sonucunda elde edilen bilgiler bir araya toplanır. Elde edilen bilgileri ortaya koyacak haritalar hazırlanır. Enine ve boyuna kesitler çıkarılır. Harita ve kesitlerde sahayı oluşturan kayaç ve zeminlerin türleri, düşey ve yatay yönde yayılımları, kalınlıkları, hareket eden kitlenin sınırları, kayma yüzeyi derinliği ve şekli, kaymayı oluşturan nedenler, kayan malzeme

miktarı, meydana gelen ya da gelebilecek zararlar belirlenir. Ayrıca oluşmuş ya da oluşabilecek kitle hareketinin önlenme yolları araştırılıp uygun çözümler ortaya konmalıdır.

1.6. Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi

Şevlerin kendi ağırlıkları ve ek yüklemeler altında (kazı makinelerinin taban basınçları, bina temelleriyle aktarılan yükler, yeraltı suyunun oluşturduğu boşluk suyu basıncı, patlayıcı madde atımı, kazı/sıkıştırma makinelerinin vibrasyonu, fayların yırtılmasından kaynaklanan yüklemeler vb.), kayma göçme hareketine karşı sergiledikleri yapısal performansla kısaca şev stabilitesi denir. Eğer şevde belirgin bir kayma hareketi/göçme söz konusu ise (şev denge konumundan uzaklaştığında) böyle şevlere duraysız (labil) şevler denir. [13] Türkçe literatürde, şev stabilitesi anlamında şevlerin duraylılığı da kullanılmaktadır. Yamaçların ve insanlar tarafından yapılmış yarma veya dolgu şevlerinin duraylılığının değerlendirilebilmesi için göçmeye karşı güvenliliklerinin bilinmesi gerekir. Güvenliliği araştırılan bir şevin, duraylılığını ortaya koymak için göçmeye neden olan ve karşı koyan parametreler belirlenmelidir. Bu parametreler sahayı oluşturan malzemelere bağlıdır. Genel olarak; sahayı oluşturan malzemeler zemin ve kaya ortamlar olarak ayrılırlar.

Zeminler; kayaların ayrışması-bozuşması ile yerinde veya başka yerde toplanması sonucu, kayalar; ısı ve basıncın etkisi ile kristal ve tanelerin birbirine kenetlenmesi veya çimento gibi tutucularla birbirine bağlanması sonucu oluşurlar.

Zeminler; iri daneli (kohezyonsuz), ince daneli (kohezyonlu) olarak iki grupta incelenirler. Kohezyon; şevlerin kayma direncinin belirlenmesinde içsel sürtünme açısı ile birlikte etkili olan iki önemli parametreden biridir. Araştırma çalışmaları sırasında, zeminlerin sınıflandırılmasında en çok birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS; United Soil Classification System) kullanılır. Bu sistemde, iri daneli zeminler; 4 nolu eleğin üstünde kalan boyuttaki malzemeler çakıl, 200 nolu elek üstünde kalan boyuttaki malzemeler kum, 200 nolu elekten geçen boyuttaki malzemelerde ince daneli olarak kabul edilen kil-silt olarak adlandırılırlar. Zeminlerin kayma direncinde etkili olan içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri; laboratuvar ve arazi deneylerinden, literatürden, önceki çalışmalardan elde edilebilir.

Kayaların tüm özelliklerine göre standart bir sınıflandırma sistemi henüz belirlenmemiş olup bu amaçla birçok sınıflandırma sistemleri geliştirilmiştir.

Kayaların sınıflandırılması, yapılan sondajlar sonucunda elde edilen numunelerden yararlanarak RQD (Rock Quality Designation) Kaya Kalitesi Tanımlaması, CR (Core Recovery) Karot Verimi, R(Recovery) Verim, RMR (Rock Mass Rating) Kaya Kütle Puanlaması, GSI (Geological Strength Index) Jeolojik Dayanım İndisi, Tek Eksenli Basınç Dayanımı değerleriyle yapılabilir.

Kaya kalitesi tanımlaması; RQD(Rock Quality Designation) 10 cm den uzun karotların toplam uzunluğunun sondaj derinliğine oranı olup yüzde cinsinden ifade edilir.

$$RQD = \frac{10 \text{ cm'den daha uzun karotların toplamı}}{\text{sondaj derinliği}} \times 100 \quad (1)$$

$$CR = \frac{\text{numune uzunluğu}}{\text{karotiyeer uzunluğu}} \times 100 \quad (2)$$

$$R = \frac{\text{toplam karot uzunluğu}}{\text{sondajderinliği}} \times 100 \quad (3)$$

RMR; kayanın mukavemeti, RQD, çatlakların aralığı ve yerleşimi, yeraltı suyu durumu, derzlerin dağılımı göz önünde bulundurularak yapılan derecelendirme ile elde edilen sınıflandırma sistemidir.

Tüm kaya sınıflandırma sistemlerinin ortak noktası; tek eksenli basınç dayanımları, süreksizlikleri ve ilgili parametreleri, su durumu ve eklem setlerinin konumlarıdır. Ayrıca tüm sınıflama sistemleri birbirleriyle bilgi alış verişi yaparlar.

Kayaçlar küçük ölçekte dikkate alındıklarında, kayaç malzemesi önem kazanırken, ölçek büyüdüğünde eklemli kaya kütesine geçiş söz konusudur. İleri derecede eklemli kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin daha pratik şekilde belirlenebileceği yöntemlerin geliştirilmesi gerekmiştir.

Hoek-Brown çalışmaları sonucunda kayalarda, göçme anında oluşan en büyük asal gerilme (σ_1) ile en küçük asal gerilme (σ_3), arasındaki ilişkinin eğrisel olduğunu belirlemişler ve göçme ölçütünü aşağıdaki bağıntıyla ifade etmişlerdir.

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \left[m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right] \quad (4)$$

σ_1 : en büyük asal gerilme

σ_3 : en küçük etkin asal gerilme

σ_c : kayaç malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı

m_b , s ve a : kaya kütlelerinin bileşimine, yapısına ve yüzey özelliklerine bağlı sabitler

GSI sınıflama sisteminde; kaya kütlelerinin kayacın içerdiği süreksizliklerin neden olduğu bloklanma durumuna ve süreksizlik yüzeyi koşullarına göre yer aldıkları sınıfa ait GSI değeri belirlenmektedir. Kaya kütlelerinin görsel olarak tanımlanmasına dayalı bir sistem olan jeolojik dayanım indisi (GSI) kayaç malzemeleri için 85 değerini alırken çok düşük kaliteli kaya kütleleri için 10 değerine kadar düşmektedir.

Hoek-Brown Yenilme Ölçütü ve GSI sistemi iç içe bir bütün olup duraylılık, temel tasarımı gibi mühendislik uygulamalarına doğrudan uygulanabilmektedir.

Bu ölçütlerden yararlanılarak kaya olarak tanımlanmış ortamlar için stabilite analizlerinde kullanılacak parametreler belirlenmektedir.

Genel olarak; şev oluşturan malzemelerin geoteknik parametrelerinden şevin dengesine bağlı olarak güvenlik sayısı kriteri belirlenerek şevin ne kadar stabil (duraylı) olduğu değerlendirilir.

$$\text{Güvenlik sayısı; } G.S = \frac{\text{harekete direnen kuvvetler}}{\text{harekete zorlayan kuvvetler}} \quad (5)$$

Şev stabilite analizlerinde, sınır denge durumunda denge denklemleri kullanılarak güvenlik sayısı belirlenir. Hesaplamalar, olası kayma yüzeyleri boyunca oluşabilecek kayma gerilmeleri ile o yüzeyde oluşan kayma direncinin dengesine dayanır ve denge (stabil olma) durumunda güvenlik sayısının 1'e eşit veya 1'den büyük olması istenir.

Tablo 2. Yamaç ve şevlerde güvenlik sayıları [14]

Şart	Güvenlik Sayısı			
	Toplam gerilme		Efektif gerilme	Deprem
Dolgularda yapım sonu	1.50		-	-
Yarmalar	1.50		1.25	1.0
Barajda sızıntı	1.50		1.25	-
Laboratuvar maksimum direnç parametreleri	1.50		1.35	1.10
kullanımı ile				
Kalıcı dirence göre	-		1.20	1.10
Uzun vadede duraylılık	-		1.20	-
Yamaç üzerinde yapı bulunması	1.8		1.50	1.20
Fissürlü killer	-		1.50	-

Güvenlik sayısının hesaplanmasında kullanılan yöntemlere sınır denge yöntemleri denilmektedir. Bu yöntemlerde, zemin kitlesi içinde kayma veya göçmeye neden olan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini ortaya koyan hipotezlerden Mohr-Coulomb kayma eşitliği yaygın olarak kullanılır.

$$\tau=c+\sigma\tan\phi \quad (6)$$

Burada; c, zemine ait görünür kohezyon, ϕ , zeminin içsel sürtünme açısı zeminin kayma direnci parametreleridir. Eşitlik ilk kez 1777'da Coulomb tarafından herhangi bir düzlem üzerinde doğacak kayma gerilmelerinin ifadesi olarak yayınlanmış ve kırılma gerilmelerinin dağılımını dairelerle tanımlayan Mohr (1900) 'dan sonra Mohr-Coulomb Kayma Kriteri olarak anılmaktadır. Daha sonra geliştirilerek kullanılan bu kritere göre; zeminin kayma direnci (τ), göçme (kırılma) anında kayma yüzeyine etkiyen normal gerilmeye (σ), zeminin drenaj ve konsolidasyon koşullarından etkilenen kayma direnci parametrelerine bağlı olarak değişir. Zemine etkiyen toplam gerilme, zemin daneleri ve boşluk suyu basıncı aracılığıyla iletilen gerilmelerdir. Efektif gerilme, toplam gerilmeler ile boşluk suyu basıncı arasındaki farktır. Bir başka deyişle, zemin danelerinin ilettiği kuvvetlerin toplam alana bölünmesiyle elde edilir.

$$\tau=c+(\sigma-u_w)\tan\phi=c+\sigma' \tan\phi \quad (7)$$

Bu eşitlikte kohezyon (c) değeri, çakıl kum gibi daneli zeminlerde ve organik olmayan siltlerde sıfır, normal konsolide killerde sıfıra yakın, aşırı konsolide killerde ise sıfıra yakındır. İçsel sürtünme açısının (ϕ) değerleri, dane şekline, zemin türüne ve sıklığına bağlı olarak değişir. Efektif gerilme, zeminin drenaj koşullarına bağlı olarak değişir. Drenajlı durumda, uygulanan yüklerle aşırı boşluk basıncı gelişmeyecek, zeminin

konsolide olmasına izin verecek şekilde yüklerin zemin kütesine yavaşça uygulanması ve bu yüklerin zemin drene olabilecek kadar uzun kalması sonucunda oluşur. Drenajsız durumda boşluk suyu drene olamayacağından boşluk suyu basıncının artmasına neden olur. Drenajlı koşullarda elde edilen dayanım, efektif gerilmede değişiklik olmayan, drenajsız dayanımda su içeriğinde değişiklik olmadan elde edilen dayanımdır. Zeminde drenaj için gerekli zaman kum ve çakıllarda dakikalarla, killerde onlarca hatta yüzlerce yıllara bağlı olarak değişebilir. Dolayısıyla şevlerin stabilitesi için zeminin kayma mukavemeti parametreleri ve yeraltı suyu durumu önemlidir.

İnşa edilen şevlerde ve heyelanlarda stabilite analizi yapılırken güvenlik sayısı hesaplamalarında, zeminin sınır denge koşullarına dayalı metotlar kullanılarak değerlendirmeler yapılır. Analizlerde, yeri ve şekli önceden kabul edilerek kayma bölgesindeki kitlenin dengede kalması ve göçmenin oluşmaması için gerekli güvenlik sayısı, kayma direncinin bu dirence karşı koyan kuvvetlere oranı olarak denge denklemleri yardımıyla hesaplanır. Bunun için zaman içerisinde birçok yöntem geliştirilmiştir. Bugün uygulamada kullanılan yöntemler, oluşmuş veya olası bir göçme yüzeyi boyunca denge denklemleri yazılarak göçmeye yol açacak gerime durumunu ortaya koymak için bir göçme kriteri oluşturulan limit denge analizlerine dayanmaktadır. Literatürde bu yöntemler sınıflandırılırken, kayan kitlenin dilimlere ayrılarak her bir dilimin dengesinden yola çıkan dilim yöntemleri veya kayan yüzeyin şekline göre sınıflandırılmaktadır. Genel olarak; tek serbest cisim diyagramıyla sonsuz uzun şevde analiz, dilim yöntemleri, abaklar ve bu yöntemleri kullanan bilgisayar programları yardımıyla güvenlik sayıları elde edilebilmektedir.

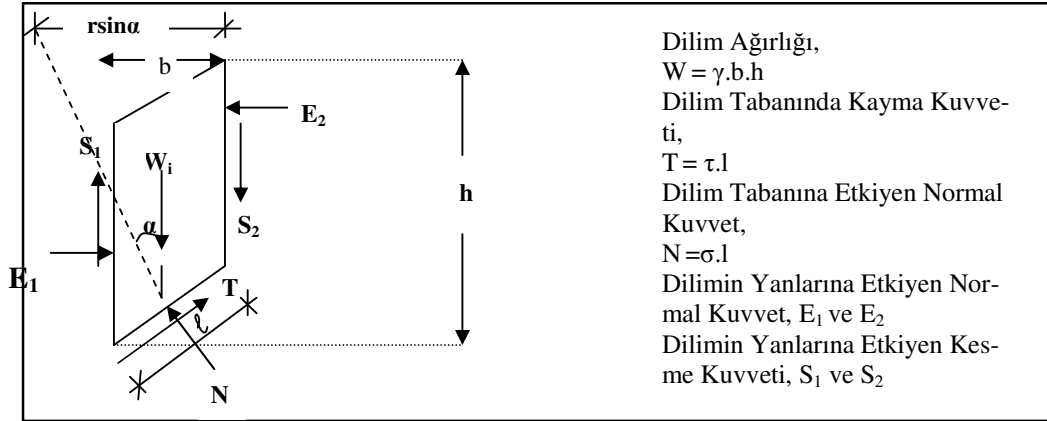
Sonsuz şev yaklaşımında; kayma olasılığı bulunan tabaka kalınlığının yamaç yüksekliğine göre çok küçük olması durumunda şevin tüm yönlerde sonsuz uzanımlı olduğu ve kaymanın şev yüzeyine paralel bir düzlemde geliştiği kabul edilir. Denge denklemleri, dikdörtgen bir blok göz önüne alınarak yazılır. Dilim yöntemlerinde; kayma yüzeyinin üzerinde kalan zemin kitlesi belirli sayıdaki dilimlere bölünmektedir. Bu yöntemlerin bazılarında kayma yüzeyi dairesel kabul edilirken bazılarında dairesel olmayan yüzeyler kullanılır.

Limit denge analiz yöntemleri sağladıkları statik denge koşulu sayısına ($\Sigma X=0$, $\Sigma Y=0$, $\Sigma M=0$, kuvvet veya moment dengesi) bağlı olarak uygulama kolaylığı bakımından sınıflandırılmaktadır. Bunlara ait karşılaştırma tablo 3'te verilmektedir.

Tablo 3. Analiz metotları

Metot	Kayma Yüzeği	Toplam Moment Dengesi	Toplam Kuvvet Dengesi	Dilimler Arası Kuvvetlerde Yapılan Kabuller
İsveç Dilim Yöntemi	Dairesel	*		Dilimler arası Kuvvetlerin Bileşkesi Dilim Tabanına Paralel
Kama Analizi	Dairesel Değil		*	Belirli Eğim
Sonsuz Şev Analizi	Dairesel Değil		*	Şeve Paralel
Bishop Yöntemi	Genel	*		Paralel
Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi	Genel		*	Paralel
Genel Janbu	Genel	*	*	Belirli İtke Çizgisi
Spencer Yöntemi	Genel	*	*	Sabit Eğim
Morgenstern-Price Yöntemi	Genel	*	*	$X/E=\lambda f(x)$
Genel Dilim Yöntemi	Genel	*	*	$X/E=\lambda f(x)$

Tablo 3'te de görüldüğü üzere dilim yöntemleri arasındaki fark; dilimler arası kuvvetlerde yapılan kabuller ve güvenlik sayısı hesaplanırken kullanılan denge denklemlerine dayanmaktadır. Şekil 11'de dilim metodlarında dilimlere etkiyen kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 11. Dilim yöntemlerinde kuvvetler

Dilim yöntemlerinden ilk kullanılanı, literatürde Basit Dilim Metodu (Ordinary Method of Slices) veya Fellenius Metodu (1936) olarak adlandırılan ve tablo 3'te İsveç Dilim Metodu olarak geçen metottur. İsveç Dilim Metodu ile güvenlik sayısının

hesaplamasında, şekil 11’de gösterilen her bir dilime etkiyen kuvvetlerin deneme kayma dairesinin merkezine göre momentlerinin dengesine dayanır. Denge denklemlerinde (8) dilimler arası kuvvetler (E_1, E_2 ve S_1, S_2) hesaba katılmaz.

$$GS = \frac{M_r}{M_d}, \quad GS = \frac{\sum \tau l_i}{\sum W \sin \alpha}, \quad GS = \frac{cL + \tan \phi \sum (W \cos \alpha)}{\sum W \sin \alpha} \quad (8)$$

Basitleştirilmiş Bishop Metodu’nda dilimler arası kesme kuvvetleri (S_1, S_2) göz ardı edilir ve dilimler arası normal kuvvetler ($E_1 = E_2 > 0$) birbirine eşit kabul edilir. Denge denklemleri, dilim tabanına etkiyen kuvvetlerin momentinin dengesine dayalıdır.

Basitleştirilmiş Janbu Metodu’nda (1956), dilimler arası kesme kuvveti denge denklemlerine katılmaz ve Basit Dilim Metodu ve Bishop Metodu’ndan farklı olarak dilime etkiyen kuvvetlerin dengesinden güvenlik sayısı hesaplanır.

Spencer Metodu’nda (1967) dilim kenarlarına etkiyen kesme kuvvetinin, normal kuvvete oranının, sabit olduğu varsayılmaktadır. Güvenlik sayısının bulunması için hem moment dengesi hem de kuvvetlerin dengesinden yararlanılmaktadır.

1.7. Şevlerin Stabilizasyonu

Yamaç veya şevlerde çeşitli nedenlerle meydana gelen kitle hareketleri, büyüklüğü oranında, can ve mal kaybına yol açarak ya da mühendislik yapılarında hasarlara neden olarak, oluştuğu yerdeki insan yaşamını olumsuz etkilediğinden araştırma konusu olmuştur. Kitle hareketleri, bir başka deyişle heyelanlar çeşitli yönleriyle farklı disiplinlerin inceleme alanında yer almaktadır. Ancak; inşaat mühendisliğinde, özellikle de geoteknik mühendisliğinde kitle hareketinin sayısal analizi ile değerlendirilmesi sonucunda hareketin durdurulması ve sahanın iyileştirilmesine yönelik yapılacak çalışmalar önemli yer tutmaktadır. Kitle hareketinin oluşması veya oluşma ihtimalinin fark edilmesinden itibaren başlayan araştırma ve inceleme sürecinin sonunda, oluşan veya oluşacak hareketin neden olacağı olumsuzlukları engellemek için, hareketin ve sahanın karakterine göre, zaman içerisinde sahanın stabilizasyonu, “ıslahı” için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve uygulanır olmuştur.

Heyelan sahalarının ıslahı için uygulanacak yöntem seçiminde

- Sahanın yapısal ve geometrik özellikleri
- Yüzey ve yeraltı su rejimleri

- Stabilizasyonun amacı ve uygulama süresi
- Arazi koşulları
- Teknolojik imkânlar
- Arazinin ekonomik değeri ve yöntemin maliyeti

gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır.

Heyelanla mücadele etmede en ekonomik ve en etki çözüm heyelanlı sahadan uzaklaşmaktır. Ancak sahanın kullanılması zorunlu ise heyelanın etkilerinin önlemede alınacak tedbirler şöyle sıralanabilir [1].

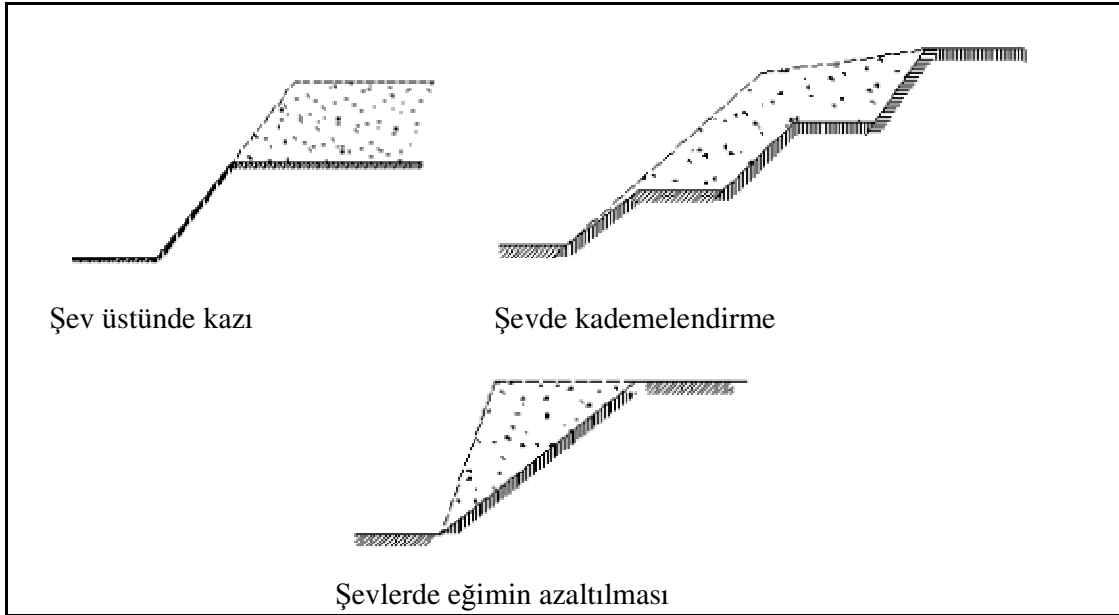
- Heyelan sahasından ripaj yapılarak uzaklaşılması
- Kazı yapılması
- Drenaj önlemleri
- Şev güçlendirme yöntemleri
- Dayanma yapıları
- Bitkilendirme

1.7.1. Heyelanlı Sahadan Kaçınma (Ripaj Yapılması)

Yol eksenin geçtiği güzergahın değiştirilmesine ripaj denir. Heyelanlı saha yol güzergâhı üzerinde bulunuyorsa ve mühendislik önlemleriyle iyileştirilemiyorsa ya da iyileştirme yönteminin maliyeti yeni bir güzergâh oluşturmaktan daha fazla ise, heyelanın etkilerinden uzaklaşacak şekilde ripaj yapılması heyelan tehdidine karşı alınacak önlemlerdendir.

1.7.2. Kazı Yapılması

Bir şevin, baş kısmında kazı yapılarak şev yüksekliğinin azaltılması ile kaydırmaya çalışan kuvvetler azaltılıp, stabilizasyonu sağlanabilir. Ayrıca şevin yatırılarak eğimi azaltılması ile (Şekil 12) kayma yüzeyinin yarıçapı arttığından kayma direnci ve kayma dairesi derinliği de artacak bu da stabilizeye katkı sağlayacaktır. Şevin kademelendirilmesi ve stabil olmayan zeminlerin tamamen kazılıp atılması gibi metotlar da (Şekil 12) şev stabilizasyonunda kullanılır. Kademelendirme metoduyla; yüksek bir şevin eğimini tamamen değiştirme yerine stabil olan, daha az yükseklikte birkaç şeve dönüştürerek stabilizasyon sağlanabilir.



Şekil 12. Şev geometrisinin düzenlenmesi

1.7.3. Drenaj

Yeraltı su tablasının yükselmesi, sızma, yağış veya kar erimesi gibi sebeplerden ötürü şev malzemesinin su içeriğinin artmasına neden olur. Zeminde artan su içeriği, kohezyonsuz zeminlerin sürtünme direncinin azalmasına, kohezyonlu zeminlerde şişme potansiyelinden ötürü ilave gerilmelerin artmasına ve efektif kohezyonun azalmasına ayrıca yeraltı suyunun yaratacağı yatay toprak basıncı nedeniyle kaymaya çalışana kuvvetlerin artmasına ve kayma direncinin azalmasına neden olur. [1,15] Yüzey suları şevdeki toplam gerilmelerde ortaya çıkardığı artışlar ve yüzey aşındırmaları ile şevi etkiler. Zemine giren su ise şevdeki kapiler kuvvetleri ortadan kaldırarak, doğal çimentolaşmayı çözer ve akışa geçen su ile piyezometrik kotu artırarak şev güvenliğini azaltır, yüzey aşındırmaları da erozyona neden olur [16].

Drenaj, gerek tek başına gerekse diğer stabilizasyon metodlarıyla birlikte kullanıldığında şev duraylılığına olumlu yönde katkıda bulunan ekonomik bir yöntemdir.

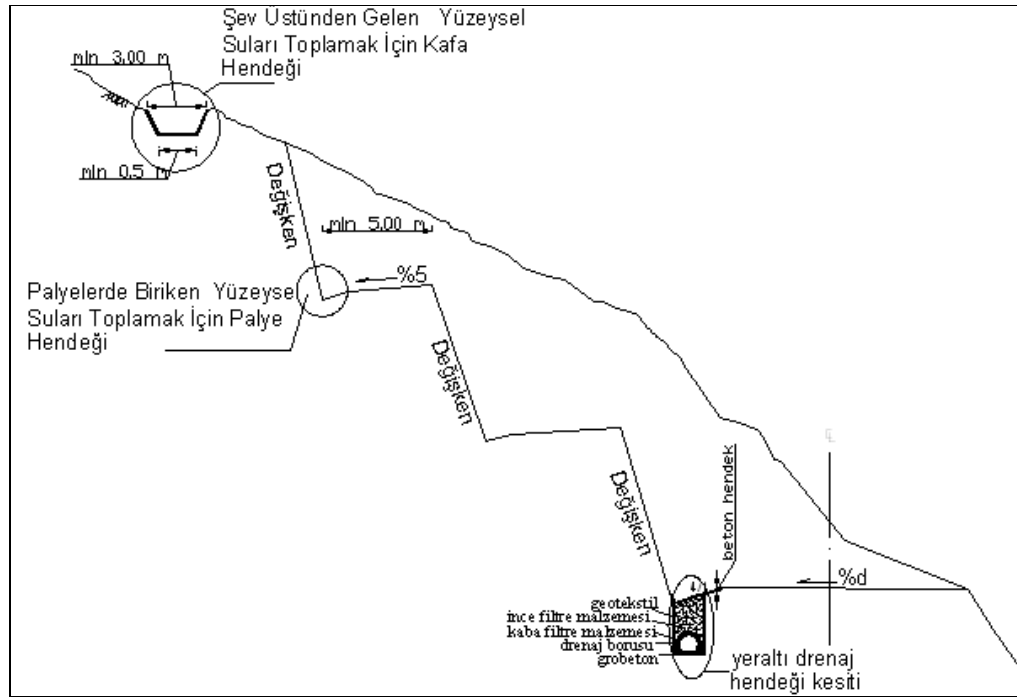
1) Zemindeki boşluk suyu basıncını azaltmak suretiyle efektif gerilmeyi ve kesme dayanımını artırır.

2) Çatlaklardaki su basıncından ileri gelen kaydırıcı kuvvetleri azaltmak suretiyle denge için gerekli kesme mukavemetini artırır [15].

1.7.3.1. Yüzeysel Drenajı

Yüzeysel drenajı; yağışlardan ötürü yüzeyde akışa geçen suların birikmesinin önlenmesi ve yüzey akışının kayma alanından uzaklaştırılması, kayan kütle içerisinde yeraltı su seviyesinin ve böylece boşluk suyu basınçlarının azalmasına yardımcı olmaktadır. Heyelan yüzeyinin geçirimsizliğinin artırılması, su akışının hızlandırılması, yüzeyi çimlendirmek, çimento harcı veya bitümlü malzeme ile kaplamak yüzey drenajı açısından faydalı olabilir.

Yüzeysel drenaj yapıları, menfezler (kutu ve büz) kafa hendeği, topuk hendeği, düşüm olukları gibi düzenlenebilir. Kafa ve topuk hendekleri (Şekil 13), yüksek yarma şevlerinden veya palyeli şevlerden gelecek yüzeysel yağmur sularını toplayarak şevden uzaklaştırmak için yapılan drenaj yapılarıdır. Beton veya taş kaplamalı olabileceği gibi kaplamasız da yapılabilir. Düşüm olukları, hendeklerde biriken suyu uzaklaştırmak için yapılan yüzeysel drenaj yapılarıdır.



Şekil 13. Kademeli yarma kesitte drenaj hendekleri

1.7.3.2. Yeraltı Drenajı

Yeraltı drenajı, drenajı yapılacak araziye yerleştirilen şekil 14 teki gibi yatay enine ve boyuna dren yapıları, düşey dren yapıları veya bunlarla bağlantılı dren boruları ile gerçekleştirilir.

Yüzey altı drenaj yapıları;

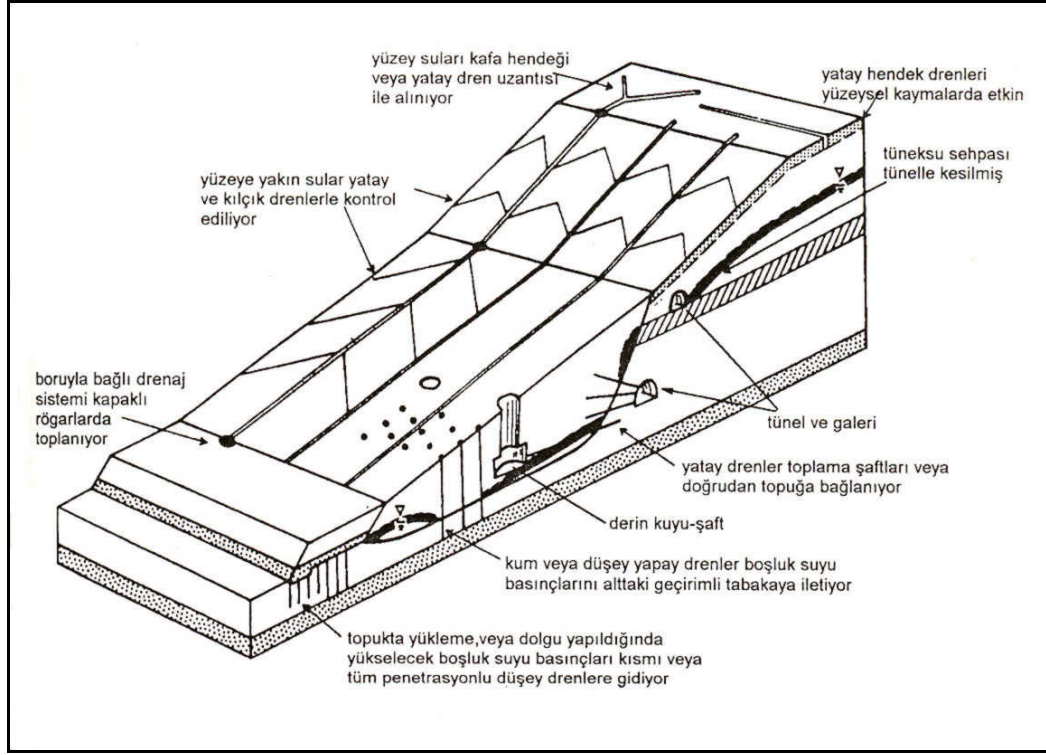
- Su tablasının yüksekliğini kontrol altına almak
- Yeraltı suyunun düşey hareketini (hem yüzeyden yağışla gelen suyu hem de kapilarite ile alt kısımlardan gelen suyu) kontrol altına almak
- Yeraltı suyunun yatay hareketinin kontrol altına almak
- Yeraltı suyunu yol sanat yapılarından uzaklaştırarak stabiliteyi sağlamak amacıyla yapılır.

Zemine uygulanacak drenaj sistemine karar vermeden önce arazinin, topografyasına, yeraltı suyunun yüksekliğine ve mevsimsel değişimine, zemin tabaklanmasına ve zemin özelliklerine (geçirgenliğine), meteorolojik verilere dikkat edilerek bir genel değerlendirme yapılmalıdır.

- Yüzeysel ve yeraltı drenajı birlikte düşünülmeli
- Yer altı drenajı zemindeki süzülmei sağlayabilecek yerde, derinlikte ve optimum aralıklarda olması sağlanmalı
- Su seviyesi dren derinliği borunca en hızlı şekilde düşürülmeli
- Drenlerde zemindeki suyu dren edebilecek permeabiliteye sahip uygun dren malzemesinin seçilmesi, yeraltı drenajından istenilen verimin alınması için gereklidir [16].

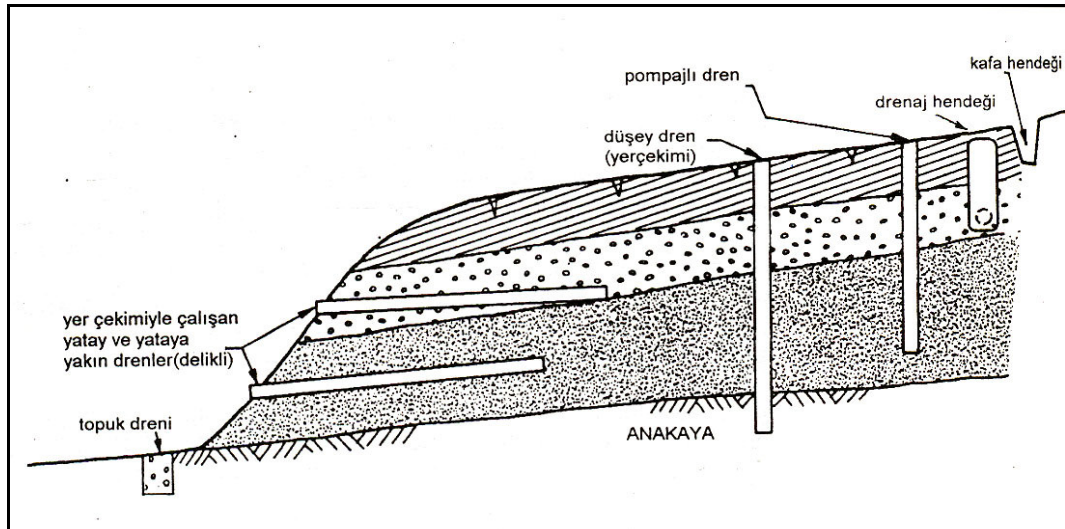
Sondaj makineleri ile uygun aralıklarda zemine delikler delindikten sonra deliklere perfore dren boruları çakılarak enine dren yapısı oluşturulur. Genellikle yeraltı suyunun yerçekimi ile drene olmasına izin verecek şekilde şev yukarı yönde hafifçe eğimlidirler. Bazı drenlerin çok su topladığı bazılarının ise su toplamadığı durumlara sıkça rastlanır. Akışlar, genellikle dren yerleştirme işleminden sonra zamanla azalmakta ve mevsimsel olarak dalgalanma göstermektedir [15].

Boyuna yüzey altı drenaj yapıları belirli bir derinlik ve genişlikte açılan hendeklere yerleştirilen uygun dren malzemesi (filtre) ile dren borularından ibarettir.



Şekil 14. Enine ve boyuna yatay dren, düşey drenlerin bir arada gösterimi

Geçirgenliği değişken katmanların yatay olarak istiflendiği durumlarda yatay drenler etkin olmayabilir. Şekil 15'deki gibi katmanları kesen düşey drenler daha etkili olur.

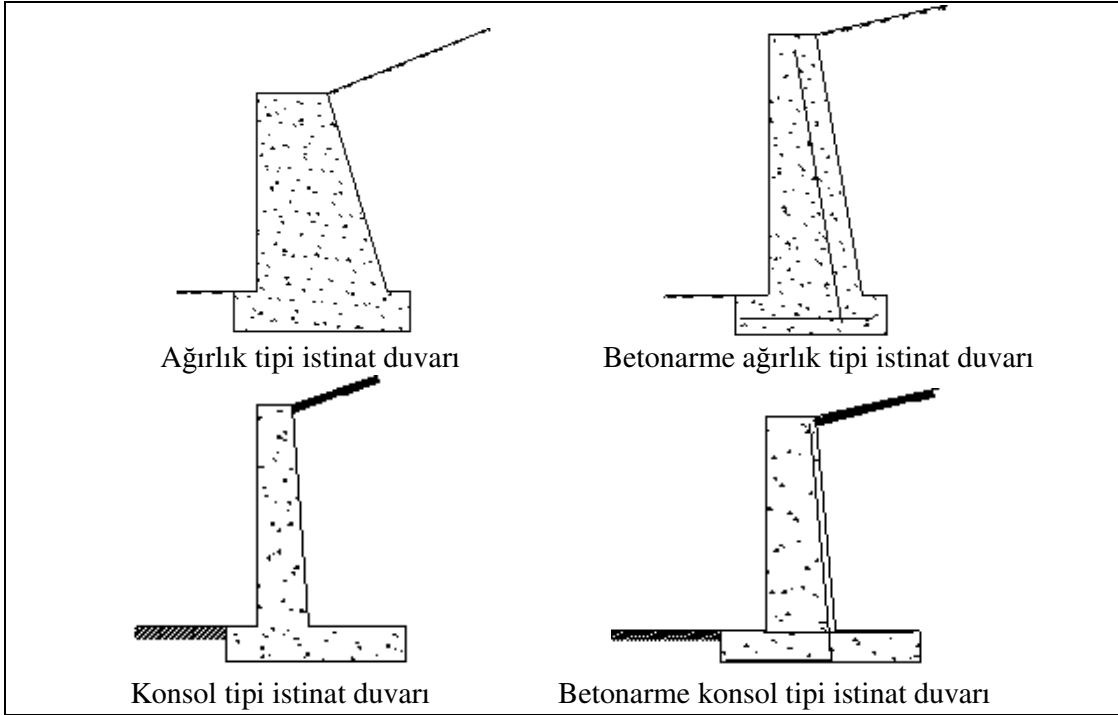


Şekil 15. Tabakalı zemin yapılarında düşey dren, yatay dren, yüzeyel ve yüzey altı hendekleri

Yüzey altı drenaj sistemi ile toplanan yeraltı suları arazinin uygun bir yerinden, Şekil 15'deki gibi genellikle en düşük kotta yüzeysel drenaj sistemine (topuk dreni, hendeği) deşarj edilir.

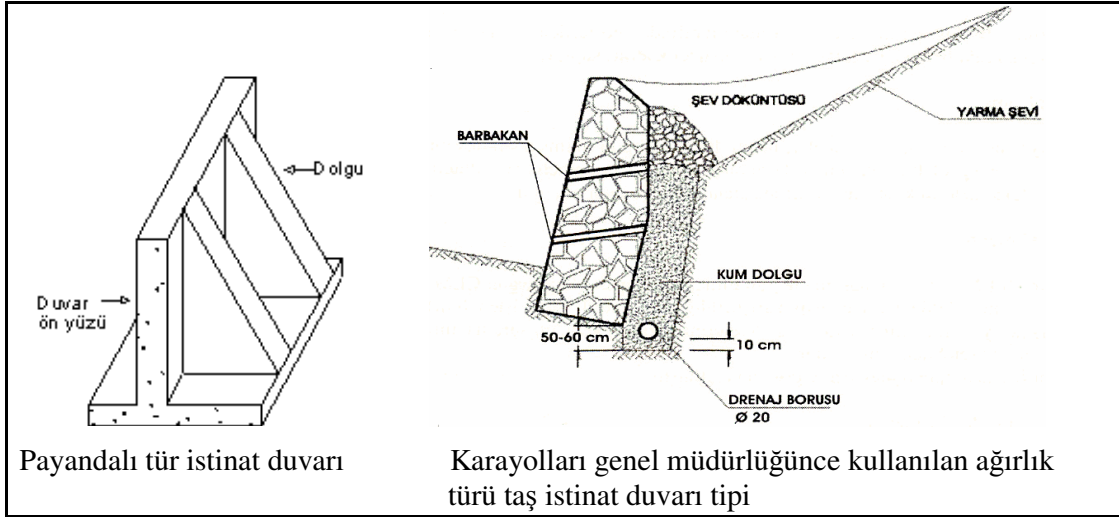
1.7.4. İstinat Yapıları

İstinat yapıları, kitle hareketi oluşma ihtimali olan yamaçlarda, yamacı harekete geçirici kuvvetleri dengelemek maksadıyla yapılır. Yamaç eteğinde kazı yapılarak oluşturulan yarma şevlerinin ve mühendislik yapılarında sonradan oluşturulan dolgu şevlerinin desteklenerek hareketini önlemek için istinat yapıları yapılır. İstinat yapıları çok farklı malzemelerden çok farklı tekniklerle inşa edilebilirler. Klasik tip istinat duvarları ve yeni tip istinat yapıları şeklinde gruplandırılabilirler. Klasik istinat duvarları, rijid yapılar olup boyutlandırmada; zeminden gelen yanal basınçlara kendi ağırlıkları ile direnen ağırlık türü (beton veya kargir), konsol türü veya betonarme türü, payandalı tip olmak üzere Şekil 16'daki gibi çeşitli tiplerde yapılmaktadır.



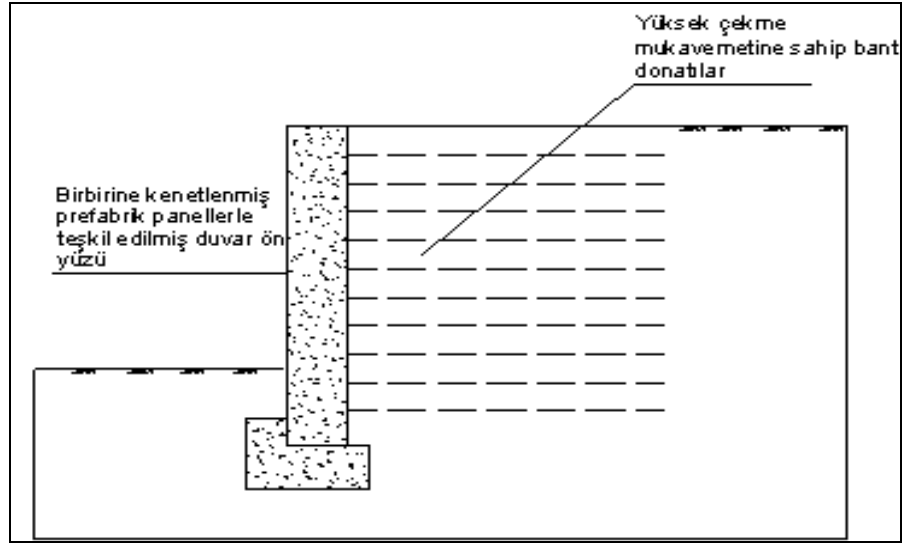
Şekil 16. Klasik istinat duvarı türleri

Şekil 16'nın devamı



Ağırlık istinat duvarları, gibi yatay zemin basınçlarına kendi ağırlıkları ile karşı koyarak dengeyi sağlayan ve genelde moloz taş veya kütle beton ile inşa edilen duvarlardır. Konsol istinat duvarları, arka dolgunun ağırlığından da faydalanarak, zeminden gelen yanıl basınçları konsol gibi çalışarak karşılarlar. Payandalı istinat duvarları, konsol duvarlar gibi çalışırlar ve gerekli duvar yüksekliğinin konsol duvar yapımı için çok yüksek olması durumunda tercih edilirler.

Yeni tip istinat duvarları, son yıllarda yeni malzeme tekniklerin geliştirilmesi ile uygulanır olmuştur. Gabyonlar, geosentetikli duvarlar, sandık istinat duvarları, arka dolgusu donatılı zemin olan perde duvarlar, paplanş perdeleri, kazıklı istinat duvarları, zemin çivili veya ankrajlı duvarlar yeni tip olarak sayılabilir.



Şekil 17. Donatılı zemin istinat duvarları

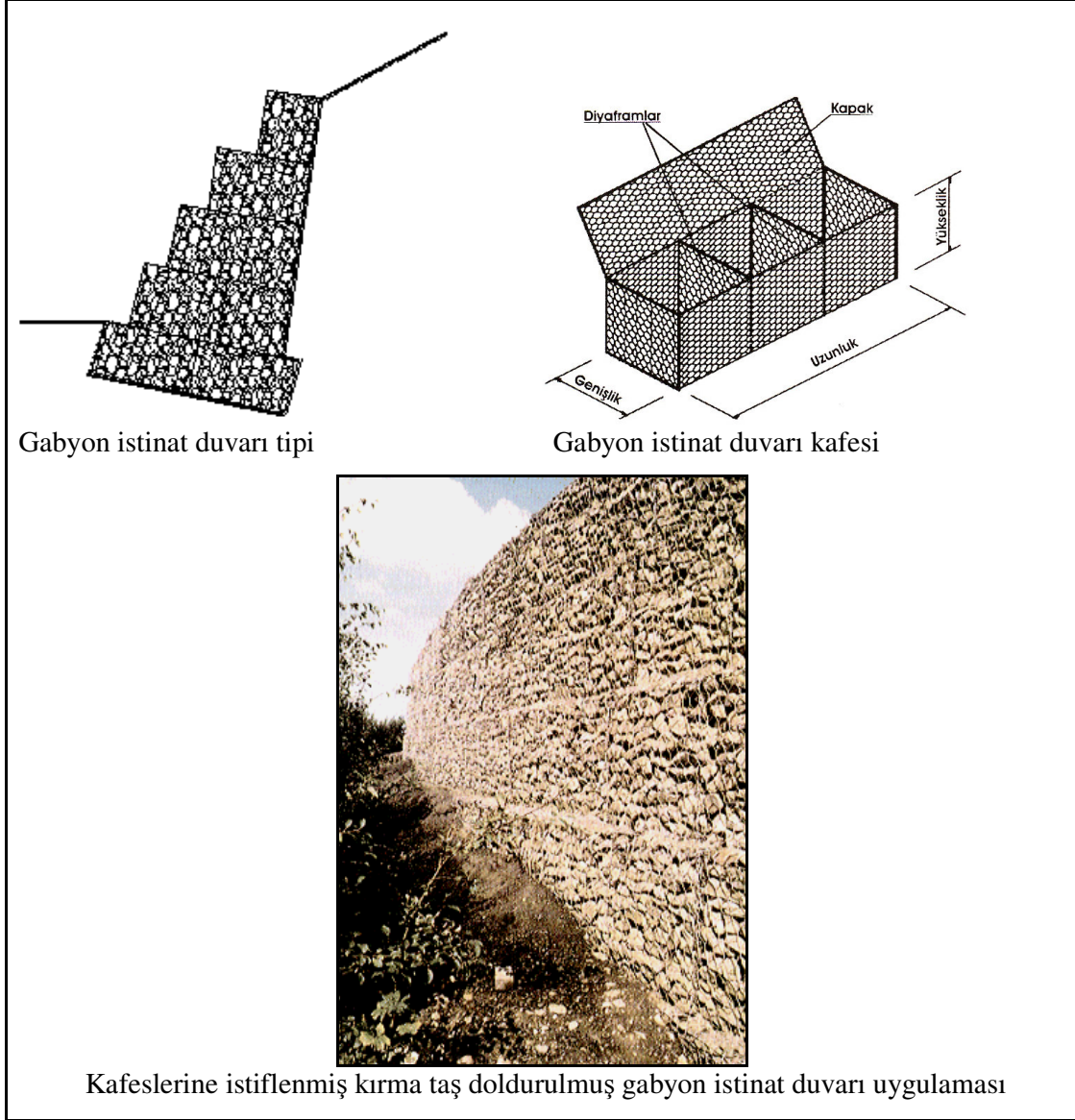
Donatılı zemin istinat duvarı yapımında, klasik istinat duvarlarından farklı olarak yana ve üst üste kolayca monte edilebilen panolar donatı adı verilen yüksek sürtünme kuvveti ve çekme mukavemetine sahip bantlar ile zemine ankre edilirler. Donatılı zemin metodu ile istinat duvarı yapımının işlem sırası şöyledir;

- Temel kazısı ve temel inşaatı yapılır
- Birinci sıra beton plaklar yerleştirilir ve dolgu sırasında devrilmemesi için iksa ile sabitlenir
- İlk tabaka dolgu malzemesi serilip sıkıştırılır
- Sıkıştırılan tabakanın üzerine donatılar yerleştirilip uçları prefabrik beton plakaya bağlanır
- Serilen donatılar üzerine ikinci tabaka dolgu malzemesi serilir ve sıkıştırılarak birinci sıra beton plakların döşenmesi tamamlanır

bu işlem sırası takip edilerek duvarın inşası tamamlanır.

Gabyon istinat duvarları, Şekil 18'de şematik olarak gösterildiği gibi yumuşak çelikten kümes teli gibi örgülü tellerin inşaat yerinde kutular haline getirilip içerlerinin iri bloklu dere malzemesi veya taş konularak doldurulması ile elde edilen belirli boyut ve ağırlıktaki blokların üst üste konulması ile yapılırlar. Kâgir beton ve betonarme yapılar işçilik ve malzeme yönünden daha pahalıdır, inşası için uzun süre ve uygun hava koşulları gereklidir. Gabyonlarda bu tür problemler yoktur ve permeabilite olanaklarının iyi olması,

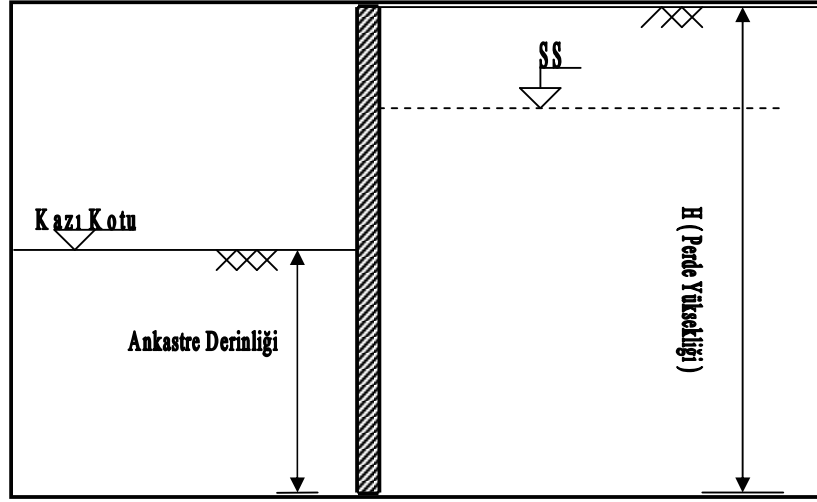
bitkilendirme olanağının bulunması estetik görünüm sağladığından yerine göre tercih edilirler.



Şekil 18. Gabyon istinat duvarı

Sandık veya kafes istinat duvarları, beton kirişler ile örülerek elde edilirler. Sandık istinat duvarlarının dolgusu için kaba çakıl, kırmataş veya kaya parçaları kullanılabilir. Bu tip duvarların temeli basit betonarme veya beton olarak yapılabilir. Duvarın altına bir dren hendeği ve deşarj borusu konularak drenaj sağlanabilir.

Yatay basınçların çelik ve betonarme gibi yüksek mukavemetli yapı malzemelerinden imal edilmiş esnek elemanlarca taşındığı esnek dayanma yapılarına perdeler veya şekil 19'daki paplanş perdeleri denir.

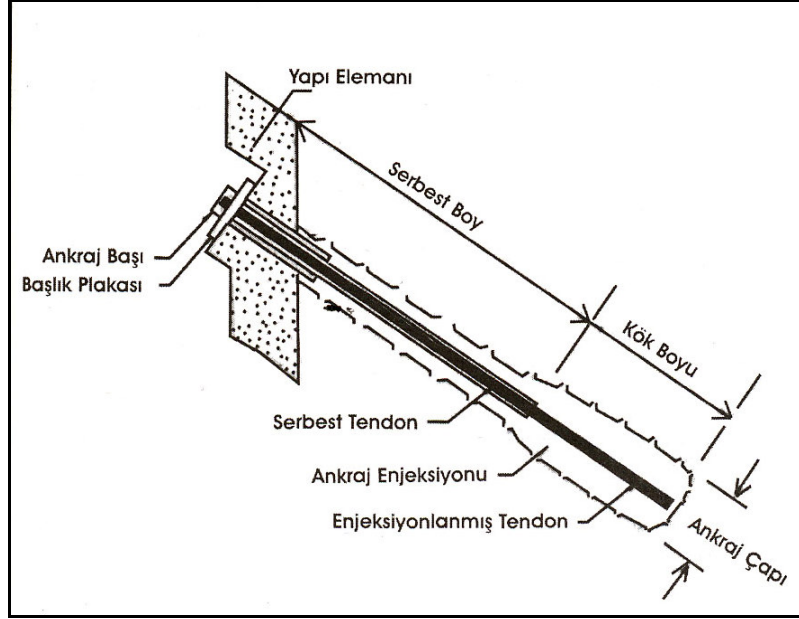


Şekil 19. Paplanş perdeleri

1.7.5. Zemin Ankrajları

Şevlerin veya heyelanlı bölgelerin çekme çubuklarıyla stabil hale dönüştürülmesinde zemin ankrajı kullanılmaktadır. Ankraj yapılan şevlerin potansiyel kayma yüzeyi üzerinde normal kuvvetler artmakta ve potansiyel kayma kitlesi stabil zemin kitlesine bağlanarak şevin stabilitesi sağlanabilmektedir. Zemin veya kaya içerisine yerleştirilip çimento enjeksiyonu uygulandıktan sonra öngermeye tabi tutulan donatıların çekme gerilmelerini zemine veya kayaya ileterek stabilitenin artırılması işlemine ankraj denir. Zeminde açılan deliklere yüksek mukavemetli tek çubuk ya da çubuk demeti yerleştirildikten sonra çimento şerbeti ile zemine ankre edilir ve bir ucu da duvara veya hasır çelikli püskürtme betona tutturulur. Ankraj kafasının potansiyel kayma yüzeyinin belli bir miktar arkasında olacak şekilde yerleştirilmesi ile kayan zemin kitlesi stabil zemin kitlesine bağlanır. Böylece ankraj kafa bölgesinden serbest uzunluğuna yani yük taşımayan bölgeye herhangi bir yük transferi olmayacaktır. Ankrajlarda yük taşıyan kısım ankraj kafası ve ankraj başlığıdır. Ankraj dizaynında ankraja etkiyen kuvvetlerin tespit edilmesi gerekir. Ankrajlı istinat duvarları ve şev stabilizasyonunda ankraja etkiyen kuvvetler olarak; istinat duvarına etkiyen yatay toprak basıncı ve şevde veya heyelanda zemin kitlesini kaydırmaya çalışan

toplam yatay itki göz önüne alınacaktır. Şekil 22'de zemin ankrajının kısımları görülmektedir.

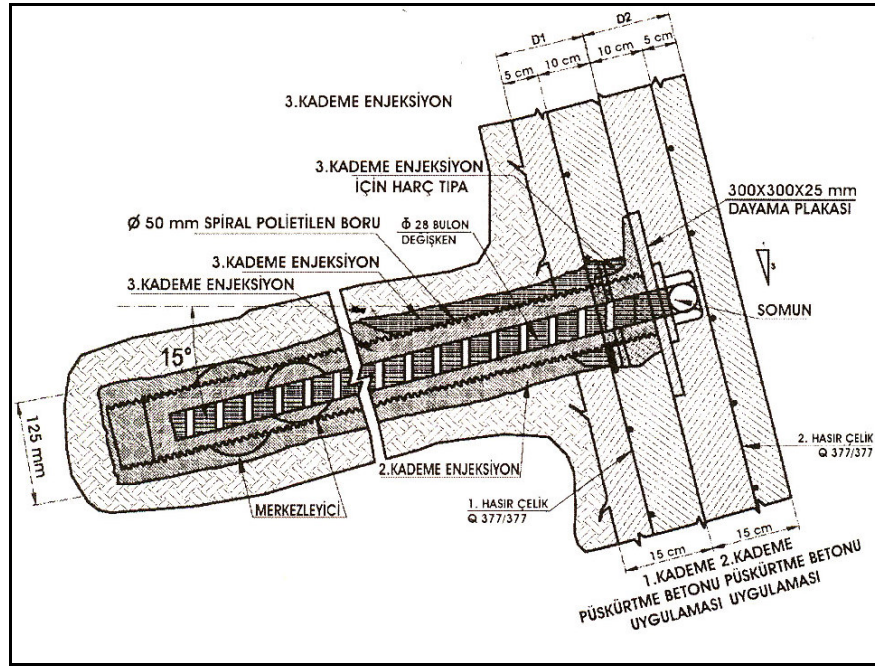


Şekil 20. Zemin ankrajının kısımları

1.7.6. Zemin Çivisi

Zemin çivisi zemin ankrajlarından farklı olarak şevlerin veya dik yarmaların stabil hale getirilmesi için kullanılan bir tekniktir. Zemin/ayırışmış kayacın kesme dayanımının artırılmasını sağlayan bir yöntemdir [19]. Şevleri zemin çivisi ile güçlendirmenin etkinliği, sürtünmeli zeminlerde, potansiyel kayma yüzeyi boyunca normal kuvvetleri ve buna bağlı olarak kesme direncini artırarak ve kaydırmaya çalışan kuvvetleri azaltarak stabilizeyi sağlamaktır[18]. Zemin çivisi, zeminin dik veya eğimli durabilecek kadar kazılmasından sonra uygulanır. Kazıdan sonra şev yüzeyi ince bir püskürtme beton tabakası ile kaplanır. Zemin çivisi zemin tipine uygun bir yöntemle zemine çakılır veya bir delgi yöntemiyle delinerek içerisine yerleştirilir. Çivi yerleştirildikten sonra delik içerisine çimento enjeksiyonu yapılır. Delik ağzında bir metal plaka çivi başına somun ile bağlanır. Genellikle çiviler öngermesiz inşa edilmekle beraber, gerektiğinde ön plaka üzerinde yer alan somun ile çiviye bir miktar öngörme de uygulanabilir. Kazı şev yüzeyi erozyona uğramasını önlemek amacıyla ön plakaları da içine alacak şekilde kaplanır. Bu kaplama, hasır çelik üzerine püskürtme betonu olabileceği gibi sadece hasır çelik veya sadece püskürtme beton, prekast panel, yerinde dökme beton plak şeklinde de

uygulanabilmektedir. Zemin çivileme tekniği, klasik istinat duvarları, donatılı istinat duvarları, ankraj, vb. stabilizasyon metotlarına göre kolaylık, çabukluk, ekonomiklik gibi açılardan daha avantajlı iken yer altı suyunu mutlak drene etme zorunluluğu ve yumuşak kohezyonlu zeminler ve sünme etkisine maruz kohezyonlu zeminlere uygulanamaması gibi dezavantajları vardır. Zemine yerleştirilen ankraj veya çiviler zeminle yaptıkları sürtünmeden dolayı oluşan çekme kuvvetlerini zemine aktararak zeminin kaymasına karşı koyan istinat yapılarıdır. Zemin çivisi ve ankraj uygulama bakımından benzese de zemin içerisindeki çalışması farklıdır. Çünkü zemin ankrağı sadece kafa bölgesinde, zemin çivisi ise tüm uzunlunda zeminle sürtünmeye çalışmaktadır. Zemin çivisi boyunca maksimum çekme kuvveti zeminin kayma yüzeyi civarında oluşmakta uçlara doğru azalmaktadır. Klasik istinat duvarları kaymaya çalışan zemin kitlesine dayanma etkisiyle karşı koyarken ankraj ve çiviler kaymaya çalışan zemin kitlesini (aktif bölge) kaymayan bölgeye (pasif bölge) tutturmaya çalışırlar.



Şekil 21. Zemin çivisi örnek uygulama kesiti (KGM)

1.7.7. Kazık Yöntemleri

Büyük kitle hareketlerini durdurmada duvarlı sistemlerin yetersiz kaldığı durumlarda, şekil 23'te şematik olarak şeve yerleşimi görülen, pasif kazık olarak da adlandırılan yanal kazıklar kullanılmaktadır. Yanal kazıklar çapı 1 m. den büyük kazıklardan, boyutları 6x4 m.

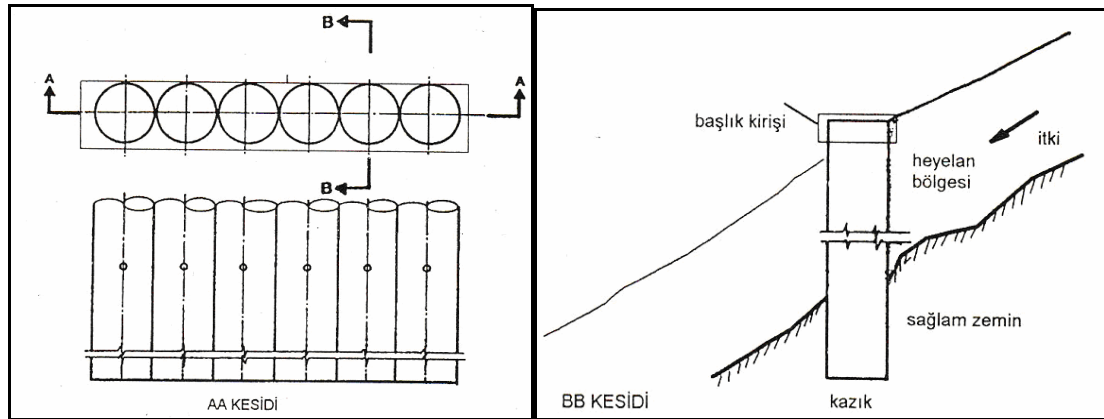
varan kesonlara kadar yapılabilen betonarme yapı elemanlarıdır. Genelde bir başlık ile birleştirilmiş, özellikle killi zeminlerde ayrık, gerektiğinde teğet, tam ankastredirler. Pasif kazığın amacı yamaçta herhangi bir kazı yapmaksızın kayan veya kayması olası kitleyi rijit bir cisimle geçip sağlam tabakaya yeterince derinlikte girerek direnen kuvvetler hızlı katkı sağlamaktır. Bunun sonucunda zemin hareketleri durdurulacak veya yavaşlayacak, limit denge yöntemlerinde hedeflenen güvenlik sayısı yükselecektir. Bir yamaca tek sıra halinde ayrık olarak uygulanmış rijit yanal kazıkların zeminden alacağı kuvvet en basit biçimde

- Zeminin türü ve kayma direnci
- Kazıkların çapı
- Kazık boyu
- Kazıkların aralıkları
- Kazıkların yamaç içindeki konumu
- Kazık sıra sayısı

gibi faktörlere bağlı olarak düşünülebilir.

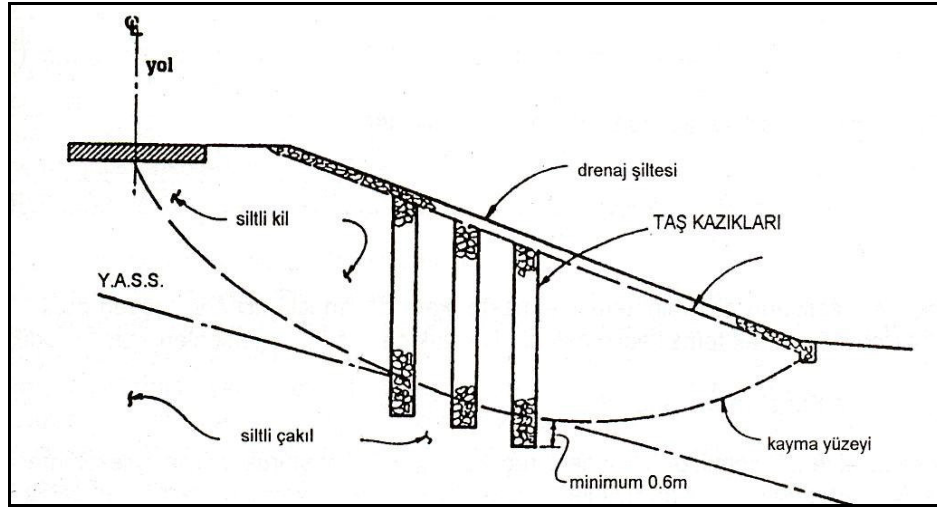
Konu bir zemin kazık etkileşimi konusu olduğundan bu etkenler uygulama sürecinin her aşamasında durumu değiştirebilmektedir. Yanal kazıkların çözümünde limit denge yöntemleri veya yatak katsayısı yöntemlerinden yararlanılabilmektedir.

Betonarme kazıklardan daha hızlı imal edilebilen ve çok daha düşük maliyetli jet-grout kolonlarının heyelan stabilizasyonunda uygulanması henüz tartışmalı bir konudur [18].



Şekil 22. Yamaçta pasif kazık uygulaması

Kazık yöntemlerinden, Şekil 24'te de şematik olarak gösterilen yöntem; mikro kazık, kök kazığı adlarıyla anılan yöntemdir. Zeminin kayma direncini artırma amaçlı zemine çapı



Şekil 24. Şevde taş kazık uygulaması

1.7.8 Bitkilendirme

Yamaç ve şevlerde ağaç ve bitkilerin varlığı stabiliteyi olumlu ve olumsuz yönlerden etkilemektedir. Bitkilendirme, şevi erozyona karşı korumakta ve zemine donatı sağlayarak bağlama şeklinde kohezyon sağlayarak sığ kaymaya karşı stabilitesini artırmaktadır. Ayrıca bitki köklerinin yağışı tutma ve buharlaşma-terleme yoluyla şevlerde boşluk suyu basınçlarını azaltarak şev stabilitesine katkıda bulunmaktadır. [15] Ancak bitki köklerinin girmesi nedeniyle şevlerde geçirimliliğin artması ve suyun zemin ortamına girişinin kolaylaşması, rüzgâr hızının artması ile zemine gelen kesme gerilmelerinin artması şev stabilitesini olumsuz etkileyen faktörlerdendir.

Heyelanlı sahaların ıslahında uygulanacak yöntemin seçiminde uygulanabilirlik yönünden kısıtlayıcı etkenler dikkate alınmalıdır. Arazinin dik ve yüksek bir yarma şevi olması durumunda yapılacak yapının boyutları, temel yapımı için gerekli kazı miktarı, malzeme miktarı, araziye makine donanım ve malzemelerin ulaştırılması için gerekli servis yollarının bulunması, yapım sürecinde şev stabilizasyonun sağlanabilmesi, yapının maliyeti, kamulaştırma maliyetleri, sahanın bulunduğu yöredeki sosyal hayatın etkilenmesi gibi birçok faktör etkilidir.

2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Uzunkaya Heyelanı'nın İncelenmesi

2.1.1. Ön Bilgiler

İnceleme konusu olarak seçilen heyelan hareketi, günümüz itibariyle devam etmekte olan “Karadeniz Sahil Yolu Projesi, İyidere – Çayeli Kesimi Yol İnşaatı” işi kapsamında, Rize İli-Derepaazarı İlçesi sınırları içinde bulunan Uzunkaya Mevkii'nde Km:118+700–118+850 arasında meydana gelmiştir.



Şekil 25 . İnceleme alanının yer bulduru haritası

İnceleme konusu olan kitle hareketi; yol yapım çalışmaları devam ederken Şekil 26'da işaret edilen mevkide, Şekil 28'de görülen sahada, yarma şevinde stabiliteyi olumsuz yönde etkileyen güncel ve potansiyel kaya (blok) düşmeleri ile birlikte eski (fossil) heyelan bölgesinde oluşmuştur. Yarma şevi eteğinde yapılan kazılar sırasında, yöreye özgü

yoğun yağış koşullarında 50 gün süren yağışlı dönem sonrasında, yarma şevinde kaya düşmesi ve çamur akması şeklinde iki ayrı hareket meydana gelmiştir. Bu hareketler sonrasında yamaçta kitle hareketleri ve üzerindeki arazide gerilme çatlakları meydana gelmiştir. Eski bir heyelan sahası olan alanda gerilme çatlaklarının olduğu kesimde (Şekil26,27) potansiyel heyelan riski doğmuştur.



Şekil 26. Yolun sağ yarma şevinde oluşan ve geriye doğru ilerleme potansiyeli olan heyelan sahasının devlet karayoluna göre konumu



Şekil 27. Heyelanın taç kısmında oluşan gerilme (çekme) çatlağı



Şekil 28. Heyelan sahasının yakından görünümü



Şekil 29. Heyelanlı sahanın üst kısmındaki arazide oluşan ve geriye doğru gelişen gerilme çatlakları

2.1.2. Ön Çalışmalar

İnceleme alanına ait önceki çalışmalar, jeolojik bilgiler ve kitle hareketi sonrasında yerinde yapılan incelemelerden sağlanan bilgiler değerlendirilmiştir. Önceki dönemlerde hazırlanmış jeolojik haritalardan ve derlenen bilgilerden yararlanılarak, heyelanlı sahada sondaj yapılan noktaları da gösteren, Ek 1'deki jeolojik-geoteknik haritalama çalışması yapılmıştır.

2.1.3. İnceleme Alanının Jeolojisi

İnceleme sahası ve yakın çevresini oluşturan formasyonların özelliklerini yaşlıdan gence doğru ana hatları ile gösteren genelleştirilmiş stratigrafik kesit Şekil 30'da sunulmaktadır. Saha, genel olarak Doğu Karadeniz Tektonik Kuşağı'nın kuzeydoğu bölümünde yer almaktadır. Bölgede genel olarak Mesozoyik-Senozoyik dönemlerinde oluşan kayalar grupları yüzeylemektedir. İnceleme alanı olan heyelan sahası içinde; taraçalar(Qt), yamaç molozu (Qym), güncel alüvyon (Qal) ve plaj kumları(Qk) tanımlanmıştır. Topografik şekiller boyunca yaygın olarak izlenen ve kalınlığı 0.50–4.00 metre arasında değişkenlik gösteren taraçalar (Qt); egemen olarak kum-çakıl, yer yer ise blok-silt-kil türü zeminlerden oluşmaktadır. Bu birime ait kırıntılar genelde bazalt, andezit, kireçtaşı kökenli, sert, yassı ve elipsoidal olup, boyutları maksimum 500 mm çoğunlukla 2–60 mm arasında değişir. Yamaç molozları (Qym); bölgenin topoğrafik özelliğinden dolayı yüksek eğimli doğal yamaçlarda ayrışan kayalar yağış, yerçekimi, topoğrafik eğim ve çoğunlukla tektonizmanın etkisiyle yamaç eteklerinde ve düzlüklerde birikmişlerdir. Doğu Karadeniz Tektonik Kuşağı içerisinde bulunan inceleme alanında bölgesel olarak genelde düşey atımlı dik veya dike yakın normal faylar yer almakta olup, bu faylar genel olarak K-G, yer yer ise KD-GB ve KB-GD doğrultularına sahiptir.

ZAMAN	DEVİR	DEVRE	FORMASYON	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA		
SENOZOYİK	TERSİYER	Kuaterner		Al	5		Alüvyon (kum, çakıl, kil)		
		MİYOSEN - PİYOSEN	Hamidiye	Pi	15		Çakıltaşı, kum, kil (Hamidiye)		
			Pazar	Mp	20		Obsidiyen (Obs)		
							Andezit lav, tuf (Ma)		
		EOSEN	Kabaköy	Ev	1000		Kumtaşı, kıltaşı, marn (Pazar)		
							Andezit-bazalt lav ve pıraklastları		
		MESOZOYİK	JURA - KRETASE	ÜST KRETASE - PALEOSEN	Bakırköy	Kr0-5a	200		Kumtaşı, marn, şeyl, killi kireçtaşı, tuf
					Çayırbağ	Kr0-4b	200		Riyolit, riyodasit lav ve pıraklastları
					Çağlayan	Kr0-3	1000		Bazalt-andezit lav ve pıraklastları
					Kızılkaya	Kr0-2	400		Riyodasit, dasit lav ve pıraklastları
Çatak	Kr0-1				1400		Bazalt-andezit lav ve pıraklastları (kumtaşı, kıltaşı, silttaşı, killi kireçtaşı)		
							Kaçkar granitoyidi (I-II)		
							Resifal kireçtaşı		
LIYAS - DOĞGER			Hamurkesen	JLh	1400		Bazalt, andezit, dasit lav ve pıraklastları (Kırmızı kumtaşı, kireçtaşı)		

Şekil 30. İnceleme alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (MTA)

2.1.4. Yerinde Yapılan Araştırmalar

Heyelan sahasının jeolojik-geoteknik açıdan detaylandırılması, heyelan mekanizmasının irdelenmesi, bu kesimde yer alan birimlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi, yeraltı su seviyesinin tespiti ve problemlerin geoteknik açısından irdelenmesi amacı ile üç noktada temel sondajları gerçekleştirilmiştir. Temel sondajları ve yerinde (in-situ) deneyler Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik araştırma Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan “Danışmanlık Hizmetlerine Ait Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (2005)” dikkate alınarak uygulanmış, zemin ve kaya (karot) örnekleri alınmış, elde edilen sonuçlar sondaj loglarına işlenmiştir. Temel sondajlarının listesi Tablo 4 de, sondajlar sonunda elde edilen bilgilerin derlendiği tablolar Ek 2’ de sunulmuştur.

Tablo 4. Temel Sondajları Bilgi Tablosu

Kuyu No	Koordinatlar			Derinlik (m)	YASS (m)
	E (Y)	N (X)	Kot (m)		
SK-1	621 800.923	4 545 032.465	58.80	49.30	12.25
SK-2	621 777.382	4 545 040.397	57.08	50.70	28.50
SK-3	621 755.923	4 545 035. 741	55.30	45.20	25.95

2.1.5. Yerinde (İn-Situ) Deneyler

İnceleme alanında standart penetrasyon deneyi ve presiyometre deneyleri yapılmıştır. Sahadaki zemin birimlerin ve kayanın zeminleşmiş üst seviyelerinin kıvam durumunu belirlemek amacıyla, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Mühendislik Hizmetleri teknik Şartnamesi ve ASTM standartlarına uygun olarak 0.50–1.50 metre aralıklarla standart penetrasyon deneyi yapılmış ve zeminden örselenmiş numuneler alınmıştır. Elde edilen veriler SPT (N) sayıları ve sondajlardan çıkan zeminlerin gösterildiği grafikler Ek 2’de sunulmuştur.

Temel sondajlarında geçilen zemin ve kaya birimlerin deformasyon özelliklerini belirlemek amacıyla presiyometre deneyleri yapılmıştır. Her sondaj için deformasyon modülü (E_p) ile limit (PI) ve net limit basınçların derinlik boyunca değişimi belirlenmiş ve deney sonuçları Ek 3’te sunulmuştur.

2.1.6. Laboratuvar Deneyleri

Temel sondajlarında, SPT deneylerinden elde edilen örselenmiş zemin ve kaya numuneleri üzerinde zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlemek amacıyla laboratuvar deneyleri ve kaya karot numuneleri üzerinde de kaya mekaniği deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar sonuçları Ek 4'teki tablolarda sunulmuştur.

2.1.7. Deney Sonuçlarının Sunulması

Uzunkaya yarması heyelan alanında yapılan jeolojik gözlemler ve temel sondaj verilerinden çıkarılan sonuçların değerlendirilmesine göre zemin profili; anakayayı temsil eden volkanik seri ve bunun üzerindeki ayrıışmış eski heyelan malzemesinden oluşmaktadır. Üstten aşağı doğru olan sıralamaya göre ayrışma sonucu oluşmuş eski heyelan malzemesi ile volkano sedimanter kumtaşı ve volkanik breşten oluşmaktadır. Heyelan alanındaki zemin koşullarının incelenmesi için yapılan temel sondajlarında geçilen zeminlerin gösterildiği sondaj logları Ek 2'de sunulmaktadır.

Kitle hareketleri, ayrışarak zeminleşmiş volkano-sedimanter kumtaşı olarak adlandırılan birimin içerisinde oluşmuş olup bu birimin özellikle üstten yaklaşık 7-10 m'lik kısmının yoğun olarak ayrışarak zeminleştiği ve arazinin topoğrafyasına paralel bir katman olduğu tespit edilmiştir. Kalınlığı 7.20–10.40 arasında değişen eski heyelan mazemesi olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, kahverengi-sarımsı, üst seviyelerde kahverengi-kırmızımsı, gevşek-orta sıkı, ince-iri taneli, yer yer molozlu bloklu çakıllı killi/ siltli kumdan oluşur. Yer yer siltli kumlu çakıl ve kumlu killi siltli seviyeler içermektedir.

Killi / Siltli Kum:

SPT (N)	:6< SPT (N)<26
Su İçeriği (W _n)	:%32<W _n <%56
Likit Limit (LL)	: %43<LL<%59
Plastik limit (PL)	: %34<PL<%40
Plastisite İndeksi(PI)	: %9 < PI < %19
4 Nolu Elek üstünde kalan	: %0 < +4 < %9
200 Nolu Elekten geçen	: %23<-200<%53
Zemin Sınıfı (USCS)	: SM ve GM
Presiyometre limit basıncı	: 2.58 kg/cm ² < P _{ln} < 4.63 kg/cm ²
Presiyometre modülü	:35 kg/cm ² <E _p <63 kg/cm ²

İnceleme alanında anakayayı temsil eden Volkanik Seri; volkano sedimanter kumtaşı ve volkanik breş türü kayaçlarda kendi içlerinde birimlere ayrılarak değerlendirilmiştir.

Sahadaki mevcut yol yarmalarında yapılan gözlemler ve sondaj verileriyle yapılan değerlendirmelerine göre; eski heyelan malzemesinin altında yer alan ve sınırı net olarak ayrılamayan seviyede volkano sedimanter kumtaşının tamamen ayrışarak zeminleşmiş, kaya dokusunu tamamen kaybetmiş kesimleri yer almaktadır. Ancak çok net olmamakla birlikte yer yer kaya dokusunun da gözlemlendiği seviyelere rastlanmıştır. Yapılan sondajlarda 3.90–7.20 kalınlıklarda geçilen seviye için ayrışmanın çok yüksek olması ve sondaj sırasındaki sirkülasyon suyuyla erimesi nedeniyle zemin tanımlamasının yapılması uygun görülmüştür. Zeminin tanımlanmasında kullanılan fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için sondaj çalışması sırasında alınan örselenmiş (SPT) numuneler üzerinde deneyler yapılmış ve sonuçları aşağıda gösterilmiştir. Zeminin heterojen yapısından dolayı SPT N değeri 14-R arasında değişmektedir. Genel olarak SM, yer yer de GM ve GP karakterinde görülmektedir.

SPT (N)	:14< SPT (N)<R
Su İçeriği (W)	:%13<W<%36
Likit Limit (LL)	:%0<LL<%51
Plastik limit (PL)	:%0<PL<%39
Plastisite İndisi(PI)	:%0 < PI < %14
4 Nolu Elek üstünde kalan	:%0 < +4 < %74
200 Nolu Elekten geçen	:%5<-200<%49
Zemin Sınıfı (USCS)	:SM , GM ve GP
Presiyometre limit basıncı	:4.92 kg/cm ² < Pln< 10.48 kg/cm ²
Presiyometre modülü	:59 kg/cm ² <Ep<63 kg/cm ²

Saha ve sondaj verilerinin değerlendirilmesi sonucu volkano sedimanter birimin çok veya tamamen ayrışarak zayıf veya çok zayıf dayanımlı, kaya dokusunu koruyan kum-çakıl boyutunda seviyelerin oluştuğu gözlemlenmiştir. Bu birimin içerisinde yerinde yapılan standart penetrasyon deneyi ve alınan örselenmiş numuneler üzerinde yapılan deneylerle elde edilen özelliklerin değişim aralıkları aşağıda gösterilmektedir.

SPT (N)	:27< SPT (N)<R
Su İçeriği (W)	:%25<W<%33
Likit Limit (LL)	:%0<LL<%41
Plastik limit (PL)	:%0<PL<%34

Plastisite İndisi(PI) :%0 < PI < %13

4 Nolu Elek üstünde kalan :%0 < +4 < %18

200 Nolu Elekten geçen :%5<-200<% 44

Zemin Sınıfı (USCS) :SM

Presiyometre limit basıncı :5.40 kg/cm²< Pln< 47.18 kg/cm²

Presiyometre modülü :83 kg/cm²<Ep<15 069 kg/cm²

Sondajlardan elde edilen verilere göre karot yüzdesi (TCR) ve kaya kalite değeri (RQD) ile presiyometre deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

Karot yüzdesi (TCR) :% 14<TCR< %100

Kaya kalitesi (RQD) :0%< RQD< %35

Anakayayı temsil eden en alt tabakada olarak volkanik breş tanımlanmıştır. Bu birim ayrışma derecesine bağlı olarak üst kısımlarda orta dayanımlı, az sert bir yapıya sahiptir. Ayrışma derinliğe bağlı olarak azalmaktadır. Sondajlardan elde edilen numunelerle yapılan deney sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Karot yüzdesi (TCR) : % 87<TCR< %100

Kaya kalitesi (RQD) : %45< RQD< %100

Tek eksenli basınç dayanımı : 32.50 MPa <qu <111.20 MPa

Presiyometre limit basıncı :36.71 kg/cm²< Pln< 46.32 kg/cm²

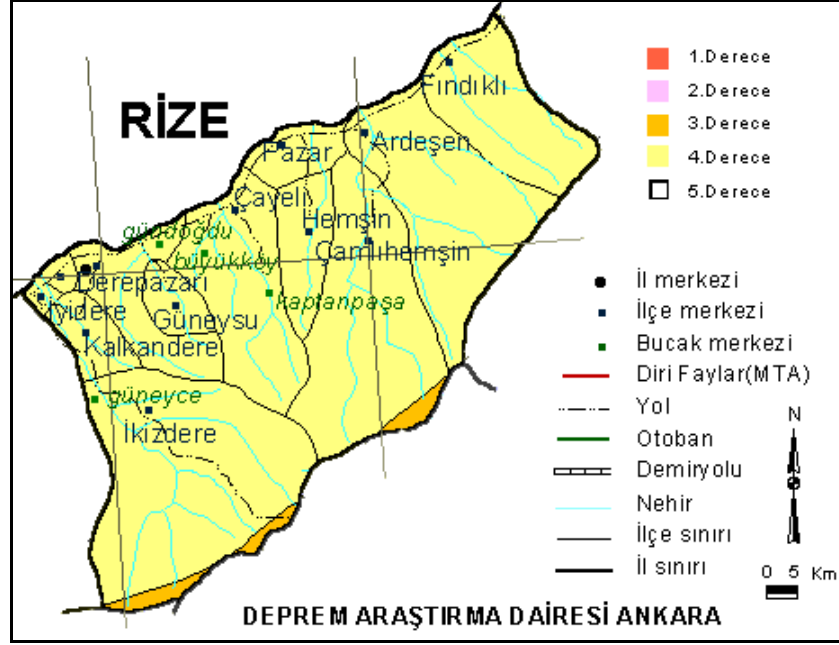
Presiyometre modülü :5702 kg/cm²<Ep<46 116 kg/cm²

2.1.8.Yeraltı Suyu Durumu

İnceleme sahasında gözlemlenen anakayayı temsil eden birimler geçirimsiz kabul edilmiş ancak bu kayalar içermiş oldukları çatlak sisteminde yeraltı suyu dolaşımına izin verirler. Sondajlarda yüzeyden derinliği 12–28 m arasında değişen derinliklerde yeraltı suyu gözlemlenmiştir. Ayrıca eski yol yarmalarında volkanik seri olarak tanımlanan birimlerin içerisindeki çatlaklardan değişik kotlarda yeraltı suyunun deşarj olduğu görülmüştür.

2.1.9. Depremsellik

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre Uzunkaya yarmasını kapsayan alan 4.derece deprem bölgesinde yer almaktadır.



Şekil 31. Rize İli'nin depremselliği

3. DEĞERLENDİRMELER

Heyelan tümüyle, ayrışarak zeminleşmiş volkano sedimanter kumtaşı türü kayaçlardan oluşmuş birim içerisinde oluşmuştur. Bu birimin özellikle en üst kesimi yoğun olarak ayrışmış olup topoğrafyaya paralel olarak üst kesimlerde zeminleşmiş bir yapıdadır. Yapılan jeolojik-geoteknik gözlem ve çalışmalardan elde edilen verilere göre; oluşan kitle hareketinin genişliği yaklaşık 90 m olup taç ve topuk bölgesi arasındaki kot farkı yaklaşık 33 m 'dir Heyelan kitlesinin kalınlığının ise yaklaşık 8–10 m arasında değiştiği belirlenmiştir.

Ön çalışmalar, yerinde ve laboratuarda yapılan çalışmalara dayanılarak, sahayı oluşturan katmanlar topografik kesit üzerine işlenerek Uzunkaya Yarması Jeolojik Kesiti hazırlanmıştır (Ek 6).

Etkin yüzey suyu ve yüzey suyunun beslediği yeraltı suyu hareketi heyelan hareketini tetikleyen önemli bir faktördür. Ayrıca yüzey ve yeraltı suyuna ek olarak, bu kesimde yer alan binalara ait sıvı atıklarında geçirimsiz tabaka üzerindeki kısımların doygun hale gelmesinde etkili olduğu düşünülmektedir.

Diğer yandan, ayrışarak zeminleşmiş volkano – sedimanter seviye içerisinde 0.5–3.50 m çapında bloklar yer almaktadır. Özellikle yağışlı mevsimlerde malzeme suya doygun hale gelmekte, şeve yakın kesimler aşağı doğru çamur ve moloz şeklinde akmaktadır. Bu da birim içindeki blokların serbest hale gelmesine ve aşağı doğru yuvarlanarak stabilite problemlerine neden olmaktadır.

Oluşan bu yeni durumda, eski heyelanın taç bölgesinde bulunan yerleşim alanını da içine alan daha büyük bir bölgeyi harekete geçirmesi, ardaşık olarak yinelenmesi ve oluşan hareketlerin bir diğerini tetiklemesi olası görülmektedir.

Heyelan sahası ile ilgili yapılan araştırmalar, gözlem ve deneylerin sonuçları ışığında heyelanın nedenleri ve oluşumu irdelenmiş, heyelanın stabilizasyonu ve Karadeniz Sahil Devlet Yolu'nda güvenliği sağlamak amacıyla alınması gereken önlemler araştırılmıştır.

Heyelanın stabilizasyonu için arazinin topoğrafik ve geoteknik koşulları dikkate alınarak yeni stabilite problemleri oluşturmamak için yapılacak destekleme yapısı tasarımında olabildiğince az kazı yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla yapımında, stabilite problemine neden olabilecek, temel hafriyatı gibi uygulamalar gerektirmeyen, stabilizasyon metotları üzerinde durulmuş, ekonomikliği ve uygulanabilirliği de göz

önünde bulundurularak şevin zemin çivisi ile desteklenmesi durumunda stabilite koşulları analiz edilmiştir. Düzensiz bir geometriye ve heterojen zemin özelliklerine sahip heyelan sahasının; genişliği değişken olan bir kademe (palye) gerisinde yüksekliği 12 m olan 1/1 ve 3/2 (h/v) eğimlerinde kazı şevleri şeklinde düzenlenmesi uygun görülmüştür. Bu şekilde şev stabilitesine katkıda bulunması, destekleme yapısının yapımında uygulama kolaylığı sağlanması ve ayrıca daha sonra oluşabilecek herhangi bir kitle hareketinin etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

3.1. Stabilite Analizleri

Arazide beliren hareketten sonra oluşan durumda topoğrafik ölçümler yapılarak kesitler alınmış ve stabilite analizlerinde kullanılacak kritik enkesit seçilerek şev geometrisi oluşturulmuştur. Kritik enkesit geometrisi Ek 5’te sunulmaktadır.

Stabilite analizlerinde kullanılacak araziye oluşturan birimlerle ilgili mekanik parametreler, arazi ve laboratuvar deneylerinin sonuçlarından elde edilen veriler değerlendirilerek belirlenmiştir. Fiziksel özellikleri, sınıflandırmaları, atterbeg limitleri değerleri, arazi deneylerinin sonuçları 2.1.6 numaralı bölümde sunulan birimlerden eski heyelan malzemesi olarak adlandırılan birimde; $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $c = 1 \text{ kN/m}^2$, $\Phi = 30^\circ$, volkano-sedimanter kumtaşı biriminde; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, $c = 5 \text{ kN/m}^2$, $\Phi = 32^\circ$ olarak alınmıştır. Kaya olan birimlerde ise kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi amacıyla “kaya kütle puanlaması”(RMR) yapılmış buna bağlı olarak da dayanım indeksi (GSI) bulunmuştur. Çok-tamamen ayrılmış kumtaşı; $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$, tek eksenli basınç dayanımı 7.0 MPa, GSI=30, az ayrılmış volkanik breş; $\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$, tek eksenli basınç dayanımı 60.0 MPa, GSI=70 olarak alınmıştır.

Şev analizinde araziden alınan kesitte, iki kademe halinde kademeli (palyeli) olarak düzenlenmiş kesitte, zemin çivisi yerleştirilmiş kademeli (palyeli) kesitte kritik kayma dairesinin yeri ve güvenlik sayıları bulunmuştur.

Stabilite analizleri için, bilgisayarda SLOPE/W programı kullanılmıştır.

3.2. Slope/W Programı

SLOPE/W limit denge metodunu kullanarak zemin ve kaya şevlerde güvenlik sayısı hesaplayan bir programdır. Windows altında çalışan bir program olduğu için grafiksel çizim olanağı ve Windows uygulamalarında olduğu gibi kullanım kolaylığı vardır. Heterojen zemin tipleri, karmaşık stragafi (tabakalanma) ve kayma yüzeyi geometrisi ve değişken boşluk suyu basıncı koşulları modellenebilmektedir. SLOPE/W’ de CAD

programlarında olduğu gibi Windows grafik kullanıcı ara yüzü sayesinde model ekrana çizilmek suretiyle oluşturulabilmektedir. SLOPE/W kendi içinde üç program aşamasından oluşmaktadır. İlk aşamada “DEFINE” sayfasında problem modellenir. “SOLVE” aşamasında sonuçlar hesaplanır. “CONTOUR” aşamasında hesaplanan sonuçlarının grafiksel gösterimi yapılır. Program başlatıldığında açılan “DEFINE” ekranında problemin çizimi CAD olanakları kullanılarak fare yardımıyla çizilir. Çizim alanının ebatları, ölçeği ve koordinat eksenlerinin merkezi ayarlanır. Çizim alanının ölçeği ve ebatları tanımlanıp problemin tanımlanacağı alanda kolaylık olması için yatay ve dikey eksenler oluşturulur. Problemin geometrisi taslak olarak çizilebilir. Çizim esnasında kolaylık olması için “grid” ızgara şeklinde bir çizim alanı oluşturulabilir ve “snap” yakalama modu seçilerek de çizim esnasında mouse sürüklendiğinde aralıkları önceden ayarlanmış grid noktalarını yakalaması sağlanabilir. Problemi tanımlamadan önce güvenlik sayısının hesap metodu (Bishop, Ordinary ve Janbu, Morgenstren-Price, Spencer gibi) seçilir. Program Bishop, Ordinary ve Janbu metodu için aynı anda güvenlik sayısı hesabı yapmakta bunun yanında diğer hesap metotları da seçilebilmektedir. Şev geometrisini oluşturmak için noktalar tanımlanır. Şevi oluşturan malzemelerin parametreleri; birim ağırlık, içsel sürtünme açısı, kohezyon tanımlanır. Şevi oluşturan zemin katmanlarının geometrisi, deneme kayma yüzeylerinin sayısı ve merkezleri, boşluk suyu basıncı koşulları, varsa dış yükler, zemin donatılarının yerleşimi, gerilme bölgesi yerleri, çizilir. Problemin tanımlanması tamamlandıktan sonra define data dosyası olarak oluşturulur. “SOLVE” programı çalıştırılarak problem çözülür. Hesaplanan sonuçların grafiksel gösterimi için “CONTOUR” programı çalıştırılır.

3.3. Slope/W İle Problemin Analizi

Kritik kesiti Slope/W'nin “define” ekranında oluşturmak için şev geometrisinin kırılma noktaları, arazinin stragrafisi tanımlanıp çizilmiştir. Sahayı oluşturan tabakaların parametreleri tanımlanmış, güvenlik sayısı hesaplarında kullanılacak dilim yöntemleri olarak Bishop, Janbu ve Ordinary yöntemleri seçilmiştir. Deneme kayma yüzeylerinin oluşturulması için daire merkezi olarak alınacak noktaların yer aldığı “grid” (ağ) aralıkları ve nokta sayısı ile tanımlanmış, kayma dairelerinin geometrik yerlerini oluşturmak içinde dairelere teğet olacak çizgiler oluşturulmuştur. Bu şekilde şevde deneme kayma dairelerinin geçirileceği aralık belirtilmiştir. Bu çalışmada bütün şevi kapsayacak şekilde daireler geçirilerek tarama yapılmıştır. 11*11 tane noktadan kayma dairelerinin merkezi

gececek şekilde grid (ağ) oluşturulmuş, dairelere 11 adet teğet çizilmiş ve bu şekilde bütün şevi tarayan 1331 tane deneme kayma dairesi geçirilmiştir. Grid üzerindeki her bir noktadan her bir çizgiye teğet olarak geçirilen kayma dairelerinin her birinde “Ordinary, Janbu, Bishop yöntemleri için güvenlik sayıları 1331 kayma dairesi için hesaplanmıştır. Kritik kayma dairesinin yerini ve güvenlik sayısını görüntülemek için “contour” programı çalıştırılmıştır. Açılan bu sayfada geçirilen bütün deneme kayma daireleri görüntülenebiliyor olsa da çalışmada yer alması için, en kritik kayma dairesine yakın on adet deneme kayma dairesi ve güvenlik sayısı ile en kritik kayma dairesi ve güvenlik sayısı görüntülenmiştir.

En kritik kayma dairesi analizlerinde statik durumda olan yamaçta, şevin kademelendirme yapılarak iki ayrı eğimde düzenlenmiş palyeli kesitinde ve zemin çivisi yerleştirilerek desteklenmiş kesitinde analizler yapılmıştır. Her bir analiz sonucunu gösteren program çıktıları Ek 7’de elde edilen güvenlik sayıları da Tablo 5’te sunulmaktadır.

Tablo 5. Bilgisayar analizlerinden elde edilen güvenlik sayıları

	Analiz Edilen Toplam Şev Yüksekliği (m)	Mevcut Yamaç Durumunda Güvenlik Sayısı	Palyeli Düzenlenmiş Şev Durumunda G.S	Zemin Çivisi İle Desteklenmiş Durumda G.S.
Bishop	24	0.759	0.827	1.670
Janbu	24	0.711	0.785	1.537
Ordinary	24	0.703	0.781	1.569

Mevcut yamaç durumunda elde edilen minimum güvenlik sayısının, şevin güvenli olabilmesi için gerekli koşul olan $G.S.=1$ ’den küçük olması stabilite koşullarının sağlanmadığını ve yamacın kritik durumda olduğunu göstermiştir. Yamacın şev yüksekliğinin düşürerek iki kademeli yarma şevi şeklinde düzenlenmiş durumunda tekrarlanan analizlerde güvenlik sayısı bir miktar artmış, fakat bu durumda da elde edilen minimum güvenlik sayısı yeterli olmadığından kritik durumun devam ettiği görülmüştür. Şevin zemin çivisi ile desteklenmiş durumunda yapılan analizlerde ise minimum güvenlik sayısı desteklenmiş şevlerde gerekli koşul olan $G.S.=1.5$ koşulunu sağladığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Karadeniz Sahil Yolu İyidere-Çayeli Kesimi dahilinde bulunan Uzunkaya Mevkii'nde yol yapım çalışmaları esnasında sağ yarma şevinde farklı tarihlerde meydana gelen kitle hareketleri sonucunda ortaya çıkan stabilite problemi analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında yeni kitle hareketi riski olan sahada araştırma ve incelemeler yapılmış ve bu çalışmalardan edinilen bilgiler ışığında şu sonuçlara varılmıştır.

a. Heyelan sahasında gerçekleştirilen arazi deneyleri, temel sondajlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler ile yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda sondaj logları hazırlanmış, önceden yayınlanmış yerel stratigrafi kesitlerinden, saha ve çevresinde yapılan jeolojik gözlemlerden ve sondaj loglarından faydalanarak araziye ait jeoloji haritası ve yamaca ait jeolojik kesit oluşturulmuştur.

b. Jeolojik gözlemler ve sondaj verilerine göre zemin profili; yukarıdan aşağıya doğru ayrılmış malzeme niteliğindeki eski heyelan malzemesi ile volkano sedimanter kumtaşı ve volkanik breşten oluşmaktadır.

c. Sahada yağışlardan sonra etkin olan yüzeysel su akışı ve üst kısımda bulunan yerleşim yerinin evsel atıklarının neden olduğu sızmalar yeraltı suyu akışını beslemektedir.

d. Kitle hareketleri, en üst tabakayı oluşturan eski heyelan malzemesinin sızmalarla doygun hale gelmesi, şeve yakın kesimlerde içerisindeki yamaç molozu bloklarının stabilitesini kaybetmesi ve yuvarlanması sonucu çamur ve moloz akmaları şeklinde oluşmaktadır. Arazide yapılan incelemelerde taç bölgesinde gözlenen yüzeysel çatlaklar yeni hareketlerin oluşması ve hareketin geriye doğru gelişerek hem üzerindeki yerleşim yeri hem de karayolundaki trafik akışı için risk olduğunu göstermiştir.

e. Yapılan stabilite analizleri sonucunda mevcut stabil yamaç durumunda güvenlik sayısı; Bishop yöntemiyle $G.S=0.759 < 1.00$, Janbu yöntemiyle $G.S.=0.711 < 1.0$, Ordinary yöntemiyle $G.S=0.703 < 1.0$ bulunmuş ve yamacın kritik durumda olduğu görülmüştür.

f. Yamacın aşağıdan yukarı doğru önce 1/1 ve 3/2 eğimlerinde ve 12 m yükseklikte iki kademeli yarma şevi halinde düzenlenmesi ile oluşan kesitte de stabilite analizleri yenilenmiş, Bishop yöntemiyle $G.S=0.827 < 1.00$, Janbu yöntemiyle $G.S.=0.785 < 1.0$, Ordinary yöntemiyle $G.S=0.781 < 1.0$ bulunmuş elde edilen güvenlik sayıları bu durumda da şevde kritik durumun oluştuğunu göstermiştir.

g. Şevin, arazinin topoğrafik ve jeolojik koşulları göz önünde bulundurularak, zemin çivisi ile desteklenerek stabilizasyonu öngörülmüş ve buna göre stabilite analizleri yenilenmiştir.

h. Zemin çivisi ile desteklenmiş şev kesitinde uygulanan stabilite analizleri sonucunda; Bishop yöntemiyle $G.S=1.670>1.50$, Janbu yöntemiyle $G.S.=1.537>1.50$, Ordinary yöntemiyle $G.S=1.569>1.50$ bulunmuş ve desteklenmiş şevlerde $G.S=1.50$ olan güvenlik kriteri için yeterli olduğu görülmüştür.

5. ÖNERİLER

a. Yarma şevinin uzun vadede stabilitesini sağlamak için arazinin jeolojik ve topoğrafik özellikleri göz önünde bulundurularak heyelan stabilizasyonu amacıyla seçilecek yapının yeni stabilite problemlerine neden olmamak için mümkün olduğunca az miktarda kazı gerektiren şekilde yapılması gerekmektedir. Bu amaçla şev yüksekliğinin ve eğiminin azaltılarak zemin tipine ve topoğrafyaya uygun olarak 1/1 ve 3/2 eğimlerinde 12. metre yüksekliğinde iki kademeli palyeli kesit olarak düzenlenmesi ve yapılacak yarma çalışmalarının araziye uygun servis yollarından şev üstünden aşağıya doğru makineli kazı şeklinde yapılması önerilmektedir.

b. Oluşturulan, şevin stabiliteyi sağlayacak şekilde uygun düşey ve yatay aralıklarda, boylarda ve tipte zemin çivisi ile güçlendirilmesi, şev yüzeylerinin hasır çelik üzerine yapılacak püskürtme beton ile kaplanarak yüzeysel su akışını şev içerisine sızması engellenmelidir.

c. Ani ve aşırı yağışların gözlemlendiği yöredeki yağış rejimini de göz önünde bulundurarak şev gerisinden gelecek yağış sularını uzaklaştırmak maksadıyla şev üstünde ve yatay drenlerin toplayacağı suyu uzaklaştırmak maksadıyla kademelerin palyelerinde uygun tipte kafa hendekleri yapılmalıdır.

d. Destekleme yapısının donatılarını, sızabilecek yüzeysel suların ve yer altı suyu hareketlerinin neden olabileceği korozyondan korumak maksadıyla ve şev stabilitesine katkısı olacağı düşünülerek topoğrafya ve zemin koşullarına uygun aralıklarla yatay drenler oluşturulmalıdır.

e. Şevde stabilizasyon önlemleri çalışmalarının öncesi, süreci, ve sonrasında da kitle hareketinin devamlılığını, oluşabilecek hareketin yönünü ve hızını belirlemek maksadıyla kitle hareketlerinin meydana geldiği eski heyelan malzemesinin içerisine inklinometreler tesis edilmesi önerilmektedir. Bu durumda olası bir harekete erken müdahale mümkün olabilecektir.

6. KAYNAKLAR

1. Tunç, A., Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2002
2. Ünsal, N., Heyelanlar ve Kitle Hareketleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 2005, www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya/heyelan.pdf
3. Erguvanlı, K., Mühendislik Jeolojisi, 4. baskı, Seç Yayın dağıtım, İstanbul, 1995
4. Aytekin, M., Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara, 2004
5. Landslide Types, Fact Sheet 2004–3072, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, July 2004, www.pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html
27 Kasım 2005
6. Connolly H., Slope Design, Meng Final Year Project Report, School of Engineering, University of Durham, www.dur.ac.uk
7. Demir G., Heyelanlar Ve Rize Yöresine Ait Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004
8. Tarhan, F., Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, 3. baskı., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2002
9. Ulusay, R., Pratik Jeoteknik Bilgiler, Teknomad, Ankara, 1989
10. Mihail E. P., Landslide Casual Factors And Landslide Remediatial Options, Illinois Institute of Technology, Chicago, USA, www.geoengineer.org/Lanslides-Popescu.pdf
11. Engineering and Design - Rock Foundations, EM 1110-1-2908
<http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/em1110-1-2908/toc.htm>
12. Yıldırım, S., Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002
13. Arıoğlu, E. ve Tokgöz, N., Çözümlü Problemlerle Şev Stabilite Analizi, Evrim Kitabevi, İstanbul, 2005
14. TSE 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi Ve Hesap Metodları, Ankara, 1991
15. Duncan, M. ve Wrihgth, S., Zemin Şevlerinin Duraylılığı, Kayabalı, K., Gazi Kitabevi, Ankara, 2005
16. Terzi, U. ve Selçuk, U., YASS'nin Drenaj Hendekleri İle Düşürülmesinin Bir Şev Duraylılığı Örneğinde İncelenmesi, II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, İstanbul, 17–19 Kasım 2004

17. Collins, B., Znidarcic, D., Stability Analysis of Rainfall Induced Landslides, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, April, 2004, ASCE, 130, 362-372
18. Önalp, A.ve Arel E., Geoteknik Bilgisi Cilt II- Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2004
19. Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi, Yayın No:267, Ankara,2006
20. Turner, J. ve Jensen, W., Landslide Stabilization Using Soil Nail and Mechanically Stabilized Earth Walls:Case Study, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, February, 2005, ASCE, 130, 141-150
21. FHWA-SA-96-069R, Manual for Design & Construction Monitoring of Soil Nail Wallls, FHWA, Washington, www.fhwa.dot.gov, 3 Aralık 2005
22. Krahn, J., Stability Modeling With Slope/W, Canada, 2004
www.eng.uwo.ca/people/tnewson/Lectures/SLOPEW%20Engineering%20Book.pdf
9 Ocak 2006
23. Karadeniz Sahil Yolu İyidere-Çayeli Kesimi Uzunkaya Yarması Jeolojik-Geoteknik Raporu, Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü, Trabzon, 2005

7.2. Ek 2
Uzunkaya yarması sondaj logları
Ek tablo 1. SK-1 sondaj logu (0-6 m)

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ Borehole No : SK-1						
PROJE ADI / Project Name : K.S.Y. İYİDERE-ÇAYELİ KES.				DELİK ÇAPI / Hole Diameter : 89.00 mm												
SONDAJ YERİ / Boring Location : UZUNKAYA YARMAŞI HEYELANI				YERALTI SUYU / Groundwater : 12.75 m												
KİLOMETRE / Chainage : 118+795.11				MUH.BOR.DER. / Casing Depth : 13.00 HW, 23.50 NW												
SONDAJ DER. / Boring Depth : 49.30 m				BAŞ.BİT.TAR. / Start Finish Date : 25.01.2005 - 31.01.2005												
SONDAJ KOTU / Elevation : 58.80 m				KOORDİNAT / Coordinate (N-S) x : 4 545 032, 465												
SONDAJ MAK.&YÖNT./D.Rig & Met. : D-500 Crealuis / ROTARY				KOORDİNAT / Coordinate (E-W) y : 621 800, 923												
SONDAJ DERİNLİĞİ Boring Depth (m)	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRİ BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test						GEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA / Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT% (TCRY/T. CoreR.	RQD %	LUGEON
			DARBE SAYISI Numb. of Blows			GRAFİK Graph										
			0 - 15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20								
0		0.25														
1	K-1															
2	SPT-1	1.50	4	4	4	8	8									
	P1	1.95														
	K-2	2.40														
3	SPT-2	3.00	3	3	3	6	6									
		3.45														
4	K-3															
	SPT-3	4.50	3	3	3	6	6									
		4.95														
	P2	5.40														
6	K-4	6.00														
DAYANIMLILIK / Strength			AYRIŞMA / Weathering			İNCE DANELİ / Fine Grained			İRİ DANELİ/Coarse Grained							
I	DAYANIMLI	Strong	I	TAZE	Fresh	N	0-2	ÇOK YUMUŞAK	V.Soft	N	0-4	ÇOK GEVŞEK	V.Loos			
II	ORTA DAYANIMLI	M.Strong	II	AZ AYRIŞMIŞ	Slightly W.	N	3-4	YUMUŞAK	Soft	N	5-10	GEVŞEK	Loose			
III	ORTA ZAYIF	M.Weak	III	ORTA D. AYR.	Mod. Weath.	N	5-8	ORTA KATI	M.Stiff	N	11-30	ORTA SIKI	M.Den			
IV	ZAYIF	Weak	IV	ÇOK AYR.	Highly W.	N	9-15	KATI	Stiff	N	31-50	SIKI	Dense			
V	ÇOK ZAYIF	V.Weak	V	TÜMÜYLE A.	Comp.Weat.	N	16-30	ÇOK KATI	V.Stiff	N	>50	ÇOK SIKI	V.Den			
						N	>30	SERT	Hard							
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 30 cm / Fractures			ORANLAR - Proportions										
% 0-25	ÇOK ZAYIF	V.Poor	1	SEYREK	Wide (W)	% 5	PEK AZ	Slightly	% 5	PEK AZ	Slightl					
% 25-50	ZAYIF	Poor	1-2	ORTA	Moderate (M)	% 5-15	AZ	Little	% 5-20	AZ	Little					
% 50-75	ORTA	Fair	2-10	SIK	Close (Cl)	% 15-35	ÇOK	Very	% 20-50	ÇOK	Very					
% 75-90	İYİ	Good	10-20	ÇOK SIKI	Intense (I)	% 35	VE	And								
% 90-100	ÇOK İYİ	Excellent	>20	PARÇALI	Crushed (Cr)											
SPT	Standart Penetrasyon Testi		K	Karot Numunesi												
	Standart Penetration Test			Core Sample												
D	Örselenmiş Numune		p	Pressiyometre Deneyi												
	Disturbed sample			Pressuremeter Test												
UD	Örselenmemiş Numune		VS	Veyn Deneyi												
	Undisturbed Sample			Vane Shear Test												

Ek tablo 5. SK-1 sondaj logu (36-46 m)

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ Borehole No : SK-1				
SONDAJ DERİNLİĞİ Boring Depth (m)	NUMUNE CİNSİ Samp. Type	MANEVRA BOYURun	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test				GEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA / Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%(TCR)/T.CoreR	RQD %	LUGEON
			DARBE SAYISI Numb. of Blows		GRAFIK Graph									
			30-45 cm	N										
36	K-26													
		36.60												
37														
38	K-27 P10													
		37.90												
39														
		39.10												
40	K-28													
		40.60												
41														
42	K-29													
		42.50												
43														
44	K-30													
		44.00												
45														
46	K-31													
		45.50												
	K-32													

Volkanik BREŞ :
Yeşilimsi gri renkli, sert, dayanımlı, az ayrılmış-taze, tüfit matrisi içinde %30-70 oranında, 0.5-30 cm arasında değişen boyutlarda, sert, dayanımlı, köşeli-yarı köşeli, volkanik kökenli kayaç parçaları (andezit, andezitik bazalt, bazalt vs.) içermektedir.

Süresizlikler; 30°-90°, açık, mat, pürüzlü, ondüleli, yer yer kil sıvalı-kalsit dolgulu, MnO-FeO sıvalı.

Ek tablo 7. SK-2 sondaj logu (0-6 m)

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ Borehole No : SK-2								
PROJE ADI / Project Name : K.S.Y. İYİDERE-ÇAYELİ KES.					DELİK ÇAPı / Hole Diameter : 89 mm													
SONDAJ YERİ / Boring Location : UZUNKAYA YARMAŞI HEYELANI					YERALTı SUYU / Groundwater : 28.50 m													
KİLOMETRE / Chainage : 118+772.73					MUH.BOR.DER. / Casing Depth : 10.50 HWV, 22.50 NW													
SONDAJ DER. / Boring Depth : 50.70 m					BAŞ.BİT.TAR. / Start Finish Date : 11.01.2005 / 17.01.2005													
SONDAJ KOTU / Elevation : 57.08 m					KOORDİNAT / Coordinate (N-S) x : 4 545 040.3977													
SONDAJ MAK.&YÖNT./D.Rig & Met. : D-500 / ROTARY					KOORDİNAT / Coordinate (E-W) y : 621 777.3818													
SONDAJ DERİNLİĞİ Boring Depth (m)	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRA BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test							GEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA / Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%(TCR)/T. Core R.	ROD %	LUGEON	
			DARBE SAYISI Numb. of Blows				GRAFİK Graph											
			0 - 15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20	30									40
0	K-1																	
1		1.50																
	SPT-1		4	5	6	11												59
2		1.95																
	P1	2.40																
3	K-2																	
	SPT-2		4	3	4	7												80
4		3.45																
	K-3																	
		4.50																
	SPT-3		4	5	7	12												
5		4.95																
	P2	5.40																
6	K-4																	
		6.00																
DAYANIMLILIK / Strength			AYRIŞMA / Weathering				İNCE DANELİ / Fine Grained				İRİ DANELİ/Coarse Grained							
I	DAYANIMLI	Strong	I	TAZE	Fresh	N :	0-2	ÇOK YUMUŞAK	V.Soft	N :	0-4	ÇOK GEVŞEK	V.Loos					
II	ORTA DAYANIMLI	M.Strong	II	AZ AYRIŞMIŞ	Slightly W.	N :	3-4	YUMUŞAK	Soft	N :	5-10	GEVŞEK	Loose					
III	ORTA ZAYIF	M.Weak	III	ORTA D. AYR.	Mod. Weath.	N :	5-8	ORTA KATI	M.Stiff	N :	11-30	ORTA SIKI	M.Den					
IV	ZAYIF	Weak	IV	ÇOK AYR.	Highly W.	N :	9-15	KATI	Stiff	N :	31-50	SIKI	Dense					
V	ÇOK ZAYIF	V.Weak	V	TÜMÜYLE A.	Comp.Weat.	N :	16-30	ÇOK KATI	V.Stiff	N :	>50	ÇOK SIKI	V.Den					
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 30 cm / Fractures				ORANLAR - Proportions											
% 0-25	ÇOK ZAYIF	V.Poor	1	SEYREK	Wide (W)	% 5	PEK AZ	Slightly	% 5	PEK AZ	Slightl							
% 25-50	ZAYIF	Poor	1-2	ORTA	Moderate (M)	% 5-15	AZ	Little	% 5-20	AZ	Little							
% 50-75	ORTA	Fair	2-10	SIK	Close (Cl)	% 15-35	ÇOK	Very	% 20-50	ÇOK	Very							
% 75-90	İYİ	Good	10-20	ÇOK SIKI	Intense (I)	% 35	VE	And										
% 90-100	ÇOK İYİ	Excellent	>20	PARÇALI	Crushed (Cr)													
SPT	Standart Penetrasyon Testi		K	Keröt Numunesi														
D	Standart Penetrasyon Testi		P	Core Sample														
UD	Örselenmiş Numune		VS	Pressiyometre Deneyi														
	Disturbed sample			Pressiyometre Test														
	Örselenmemiş Numune			Veyn Deneyi														
	Undisturbed Sample			Vane Shear Test														

Ek tablo 11. SK-2 sondaj logu (36-46 m)

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ No : SK-2				
SONDAJ DERİNLİĞİ Boring Depth (m)	NUMUNE CİNSİ Samp. Type	MANEVRA BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test				GEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA / Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROT%(TCR)/T.Corer%	RQD %	LUGEON
			DARBE SAYISI Numb. of Blows		GRAFİK Graph									
			30-45 cm	N										
36	K-25													
37		37.00									100	93		
38	K-26										100	87		
39		38.50									100	100		
40	K-27										100	100		
41		40.00									100	100		
42	K-28										100	100		
43		41.50									100	100		
44	K-29										100	100		
45		43.00									100	100		
46	K-30										100	100		
		44.50									100	100		
	K-31										100	100		
		46.00												

Volkanik BREŞ :
Yeşilimsi gri renkli, sert, dayanımlı, az ayrılmış-taze tüfit matrisi içinde %40-70 oranında maksimum 70 mm boyutlarında, sert, dayanımlı, köşeli-yarı köşeli, muhtelif volkanik kökenli kayaç parçaları içermektedir.
Süreksizlikler; 0°-90° açık, mat, pürüzlü, ondüleli, temiz-kalsit dolgulu, 0°-90° kapalı, 1-10 mm kalsit dolgulu.

Ek tablo 13. SK-3 sondaj logu (0-6 m)

SONDAJ LOGU / BORING LOG										SONDAJ Borehole No : SK-3						
PROJE ADI / Project Name : K.S.Y. İYİDERE-ÇAYELİ KES.					DELİK ÇAPI / Hole Diameter : 89.00 mm											
SONDAJ YERİ / Boring Location : UZUNKAYA YARMASI HEYELANI					YERALTI SUYU / Groundwater : 25.95 m.											
KİLOMETRE / Chainage : 118+751.50					MUH.BOR.DER. / Casing Depth : 13.00 HW, 21.00 NW											
SONDAJ DER. / Boring Depth : 45.20 m					BAŞ.BİT.TAR. / Start Finish Date : 01.02.2005 - 07.02.2005											
SONDAJ KOTU / Elevation : 55.30 m					KOORDİNAT / Coordinate (N-S) x : 4 545 035.741											
SONDAJ MAK.&YÖNT./D.Rig & Met. : D-500 Crealius / ROTARY					KOORDİNAT / Coordinate (E-W) y : 621 755.922											
SONDAJ DERİNLİĞİ Boring Depth (m)	NUMUNE ÇİNSİ Sample Type	MANEVRİ BOYU/Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standart Penetration Test						GEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK/Strength	AYRIŞMA / Weathering	KIRIK / Fracture (30cm)	KAROTY%(TCR)/T.Corer.	RQD %	LUGEON
			DARBE SAYISI Numb. of Blows			GRAFİK Graph										
			0 - 15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20								
0		0.20														
1	K-1															
2	SPT-1	1.50	3	4	7	11	11									52
3	K-2	1.95														
4	SPT-2	3.00	4	5	5	10	10									29
5	P1 K-3	3.45														
6	SPT-3	4.50	4	5	7	12	12									67
7	K-4	4.95														
8		6.00														12
DAYANIMLILIK / Strength			AYRIŞMA / Weathering			İNCE DANELİ / Fine Grained			İRİ DANELİ/Coarse Grained							
I	DAYANIMLI	Strong	I	TAZE	Fresh	N	0-2	ÇOK YUMUŞAK	V.Soft	N	0-4	ÇOK GEVŞEK	V.Loos			
II	ORTA DAYANIMLI	M.Strong	II	AZ AYRIŞMIŞ	Slightly W.	N	3-4	YUMUŞAK	Soft	N	5-10	GEVŞEK	Loose			
III	ORTA ZAYIF	M.Weak	III	ORTA D. AYR.	Mod. Weath.	N	5-8	ORTA KATI	M.Stiff	N	11-30	ORTA SIKI	M.Den			
IV	ZAYIF	Weak	IV	ÇOK AYR.	Highly W.	N	9-15	KATI	Stiff	N	31-50	SIKI	Dense			
V	ÇOK ZAYIF	V.Weak	V	TÜMÜYLE A.	Comp.Weat.	N	16-30	ÇOK KATI	V.Stiff	N	>50	ÇOK SIKI	V.Den			
KAYA KALİTESİ TANIMI - RQD			KIRIKLAR - 30 cm / Fractures			ORANLAR - Proportions										
% 0-25	ÇOK ZAYIF	V.Poor	1	SEYREK	Wide (W)	% 5	PEK AZ	Slightly	% 5	PEK AZ	Slightl					
% 25-50	ZAYIF	Poor	1-2	ORTA	Moderate (M)	% 5-15	AZ	Little	% 5-20	AZ	Little					
% 50-75	ORTA	Fair	2-10	SIK	Close (Cl)	% 15-35	ÇOK	Very	% 20-50	ÇOK	Very					
% 75-90	İYİ	Good	10-20	ÇOK SIKI	Intense (I)	% 35	VE	And								
% 90-100	ÇOK İYİ	Excellent	>20	PARÇALI	Crushed (Cr)											
SPT	Standart Penetrasyon Testi		K	Karot Numunesi												
	Standart Penetration Test			Core Sample												
D	Örselenmiş Numune		P	Pressiyometre Deneyi												
	Disturbed sample			Pressuremeter Test												
UD	Örselenmemiş Numune		VS	Veyn Deneyi												
	Undisturbed Sample			Vane Shear Test												

7.3. Ek 3

Uzunkaya Yarması Standart Penetrasyon Deneyi Ve Presiyometre Deneyi Sonuçları

Ek Tablo 18

KARADENİZ SAHİL YOLU / İYİDERE-ÇAYELİ KESİMİ UZUNKAYA YARMASI HEYELANI		SONDAJ NO / BOREHOLE NO	SK- 1	
		YASS / GWL	12.75 m	
ZEMİN TANIMI SOIL DESCR.	ZEMİN PROFİLİ SOIL PROFILE	STANDART PENETRASYON DENEYİ STANDART PENETRATION TEST	PRESİYOMETRE DENEYİ PRESSUREMETER TEST	
		N / 30 cm	DEFORMASYON MODÜLÜ MODULUS OF DEFORMATION (kg/cm2)	NET LİMİT BASINÇ NET LİMİT PRESSURE (kg/cm2)
		0 10 20 30 40 50	10 1000 100000	1,00 10,00 100,00
KİLLİ SİLTİLİ KUM	7.20 m.	8 6 6 8	63 52 79	3,13 3,73 6,15
KİLLİ SİLTİLİ KUM (Tümüyle ayrılmış volkanosedimantar kumtaşı)	13.60 m.	15 30 39	82 21654	8,83 38,11
BLOK	15.70 m.	14 R	83 210	5,40 20,05
VOLKANOSEDİMANTER KUMTAŞI	21.80 m.	27 28 41	15743	43,91
VOLKANOSEDİMANTER KUMTAŞI	23.15 m.	59	17837	37,10
VOLKANİK BREŞ			30341	36,77
Kuyu Sonu: 49.30 m.				
		50 51 52 53		

Ek Tablo 20

KARADENİZ SAHİL YOLU / İYİDERE-ÇAYELİ KESİMİ UZUNKAYA YARMASI HEYELANI		SONDAJ NO / BOREHOLE NO	SK-3
		YASS / GWL	25.95 m
ZEMİN TANIMI SOIL DESCR.	ZEMİN PROFİLİ SOIL PROFILE	STANDART PENETRASYON DENEYİ STANDART PENETRATION TEST N / 30 cm	PRESİYOMETRE DENEYİ PRESSUREMETER TEST
		DEFORMASYON MODÜLÜ MODULUS OF DEFORMATION (kg/cm ²)	NET LİMİT BASINÇ NET LİMİT PRESSURE (kg/cm ²)
KİLLİ SİLT Lİ KUM			
KİLLİ SİLT Lİ KUM (Tümüyle ayrılmış volkanosedimanter kumtaşı)			
VOLKANOSEDİMANTER KUMTAŞI			
VOLKANOSEDİMANTER KUMTAŞI			
VOLKANİK BREŞ			
VOLKANİK BREŞ			
Kuyu Sonu: 45.20 m.			

7.4. Ek 4

Uzunkaya Yarması Laboratuvar deneyleri sonuçları

Ek Tablo 21

UZUNKAYA YARMASI HEYELANI LABORATUVAR DENEY SONUÇLARI
--

NUMUNENİN			W _n %	ATTERBERG LİMİTLERİ			ELEK ANALİZİ		ZEMİN SINIFI (USCS)
SONDAJ NO	NUMUNE NO	DERİNLİK (m)		LL	PL	PI	+4 %	-200 %	
SK-1		1,50-1,95	49	54	39	15	8	38	SM
		3,00-3,45	56	57	40	17	9	28	SM
		4,50-4,95	51	56	40	16	1	37	SM
		6,00-6,45	44	51	38	13	7	34	SM
	SPT-5	7,50-7,95	42	-	NP	-	10	32	SM
	SPT-6	9,00-9,45	22	51	37	14	52	15	GM
	SPT-7	10,50-10,95	32	47	36	11	19	21	SM
	SPT-8	12,00-12,45	16	-	NP	-	66	15	GM
	SPT-9	12,50-12,95	32	47	37	10	-	35	SM
	SPT-10	13,50-13,62	27	-	NP	-	3	23	SM
	SPT-11	16,50-16,95	33	39	34	5	5	37	SM
	SPT-12	18,00-18,45	31	37	32	5	-	33	SM
	SPT-13	19,50-19,95	33	39	32	7	-	41	SM
	SPT-14	21,00-21,45	32	40	34	6	6	41	SM
SK-2	SPT-1	1,50-1,95	43	59	40	19	3	49	SM
	SPT-2	3,00-3,45	40	51	35	16	1	38	SM
	SPT-3	4,50-4,95	35	49	34	15	8	46	SM
	SPT-4	6,00-6,45	36	48	35	13	1	47	SM
	SPT-5	7,50-7,95	26	-	NP	-	34	30	SM
	SPT-6	8,00-8,45	27	-	NP	-	20	34	SM
	SPT-7	9,00-9,45	32	43	33	10	-	34	SM
	SPT-8	10,50-10,95	23	38	31	7	3	32	SM
	SPT-9	12,00-12,45	24	37	32	5	-	44	SM
	SPT-10	13,50-13,95	31	42	28	14	6	38	SM
	SPT-11	15,00-15,45	30	41	28	13	5	44	SM
	SPT-12	16,50-16,95	30	34	29	5	-	34	SM

Ek Tablo 21'in devamı

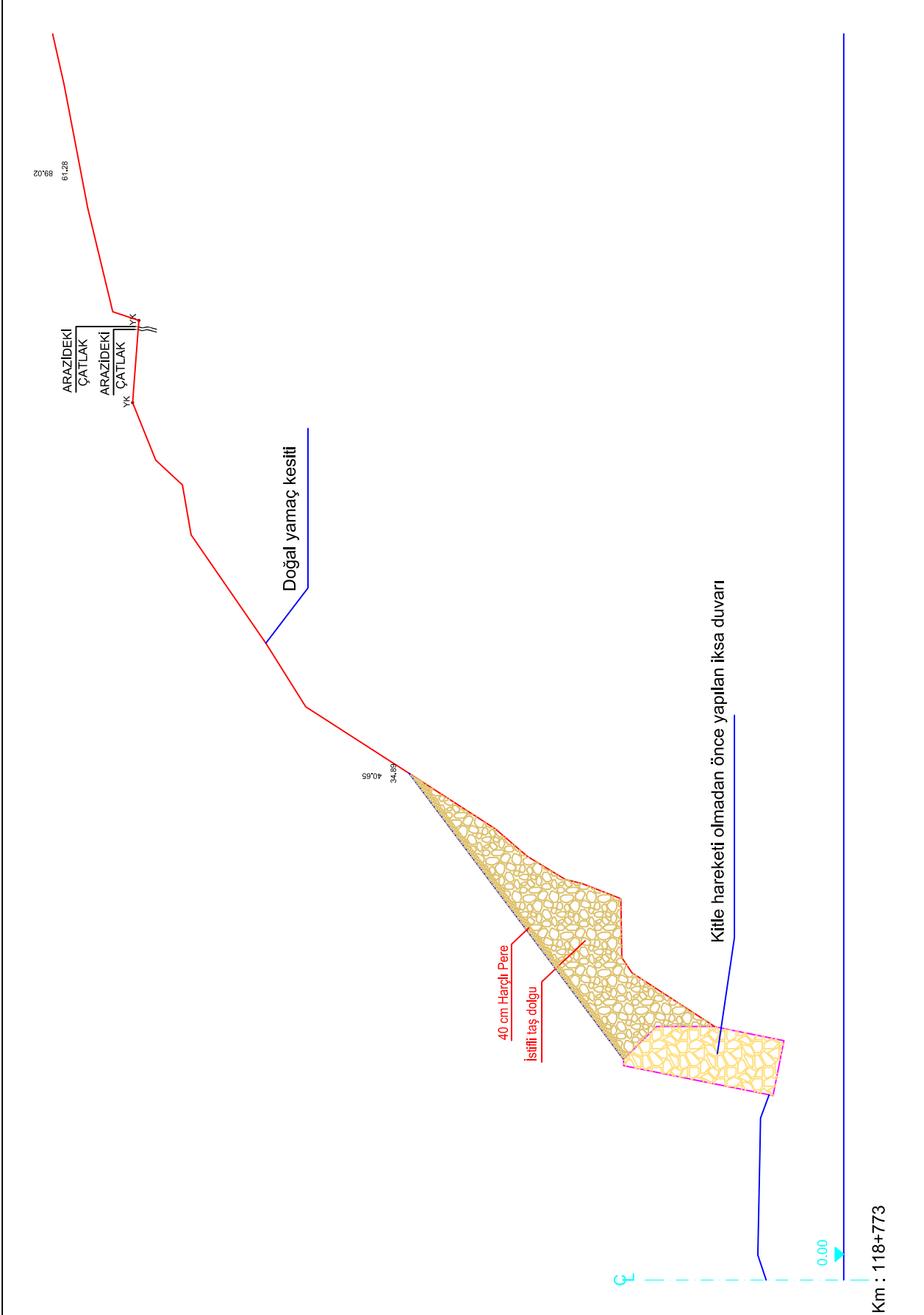
	SPT-13	18,00-18,45	29	36	29	7	-	29	SM
	SPT-14	19,50-19,73	27	38	30	8	-	33	SM
SK-3	SPT-1	1,50-1,95	39	-	NP	-	25	23	SM
	SPT-2	3,00-3,45	32	-	NP	-	41	23	GM
	SPT-3	4,50-4,95	47	50	38	12	-	45	SM
	SPT-4	6,00-6,45	39	46	37	9	4	53	ML
	SPT-5/A	7,50-7,95	13	-	NP	-	74	5	GP
	SPT-5/B	8,00-8,45	36	46	35	11	6	44	SM
	SPT-6	9,00-9,45	36	48	39	9	1	49	SM
	SPT-7	10,50-10,95	35	41	35	6	-	49	SM
	SPT-8	12,00-12,45	25	-	NP	-	18	28	SM
	SPT-9	13,50-13,95	31	-	NP	-	-	29	SM
	SPT-10	15,00-15,45	32	-	NP	-	1	23	SM
	SPT-11	16,50-16,92	32	-	NP	-	-	25	SM

Ek Tablo 22

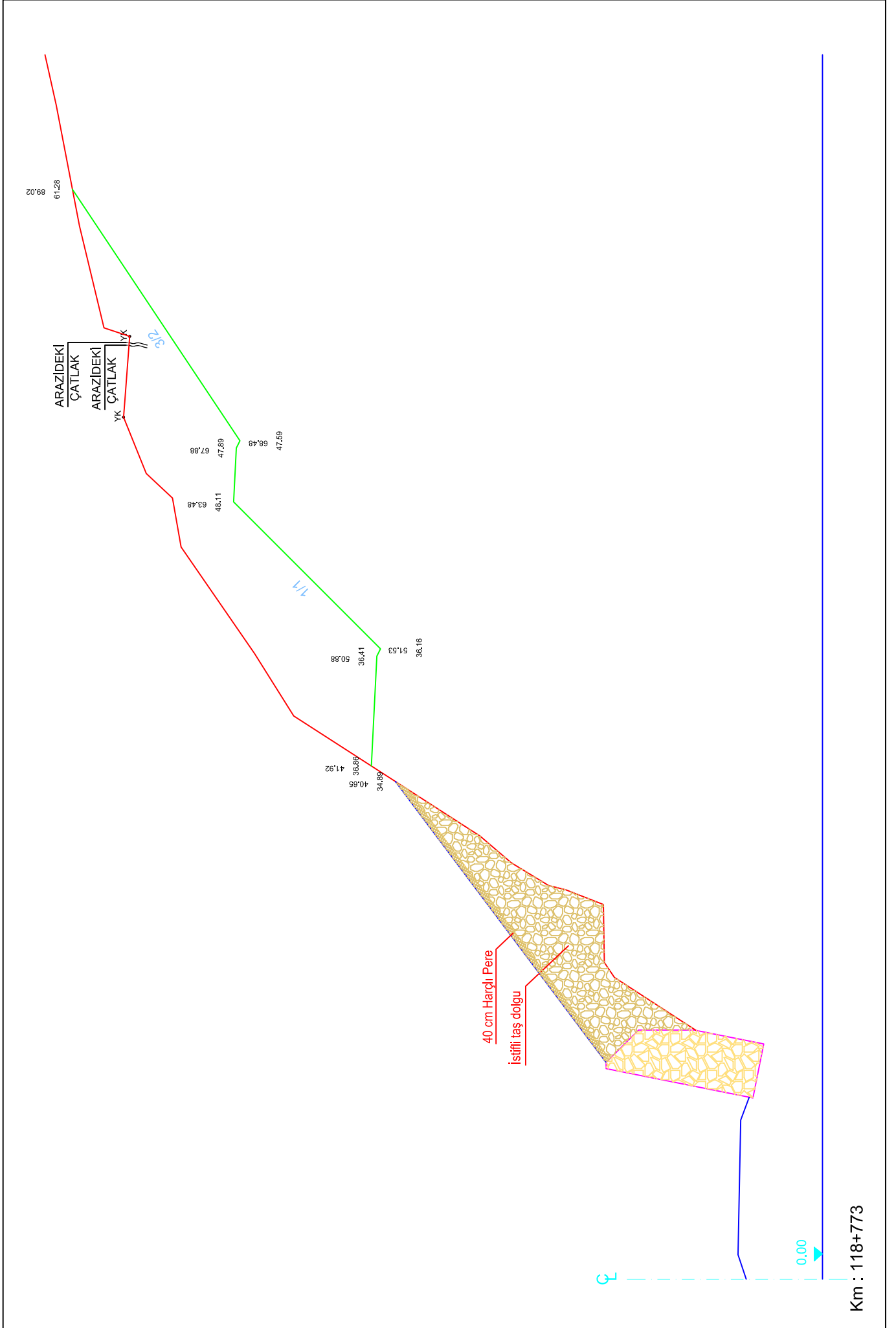
UZUNKAYA YARMASI
KAYA ÖRNEKLERİNİN TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI

KUYU NO	DERİNLİK (m)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK γ_n (t/m^3)	TEK EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI q_u (Mpa)
SK-1	23,50-23,70	2,38	110,50
SK-1	24,95-25,15	2,38	111,20
SK-1	27,00-27,25	2,37	95,80
SK-1	31,30-31,60	2,41	57,90
SK-1	35,20-35,50	2,39	32,50
SK-1	44,85-45,05	2,39	80,10
SK-2	22,10-22,30	2,42	72,90
SK-2	29,20-29,45	2,41	61,10
SK-2	32,60-32,90	2,47	67,20
SK-2	36,70-36,90	2,40	62,50
SK-2	40,60-40,85	2,41	49,70
SK-2	43,00-43,20	2,39	52,90
SK-2	47,75-48,00	2,34	56,20
SK-2	49,95-50,15	2,24	45,70
SK-3	20,75-20,95	2,39	91,80
SK-3	22,50-22,75	2,42	88,10
SK-3	26,35-26,60	2,42	60,90
SK-3	30,00-30,15	2,4	71,90
SK-3	35,05-35,20	2,39	85,50
SK-3	43,30-43,50	2,35	39,00

7.5. Ek 5
Uzunkaya Yarması Jeodezik Kesitleri
Ek Şekil 2. Kitle hareketi oluştuktan sonra yamaç durumu
(kritik enkesit)



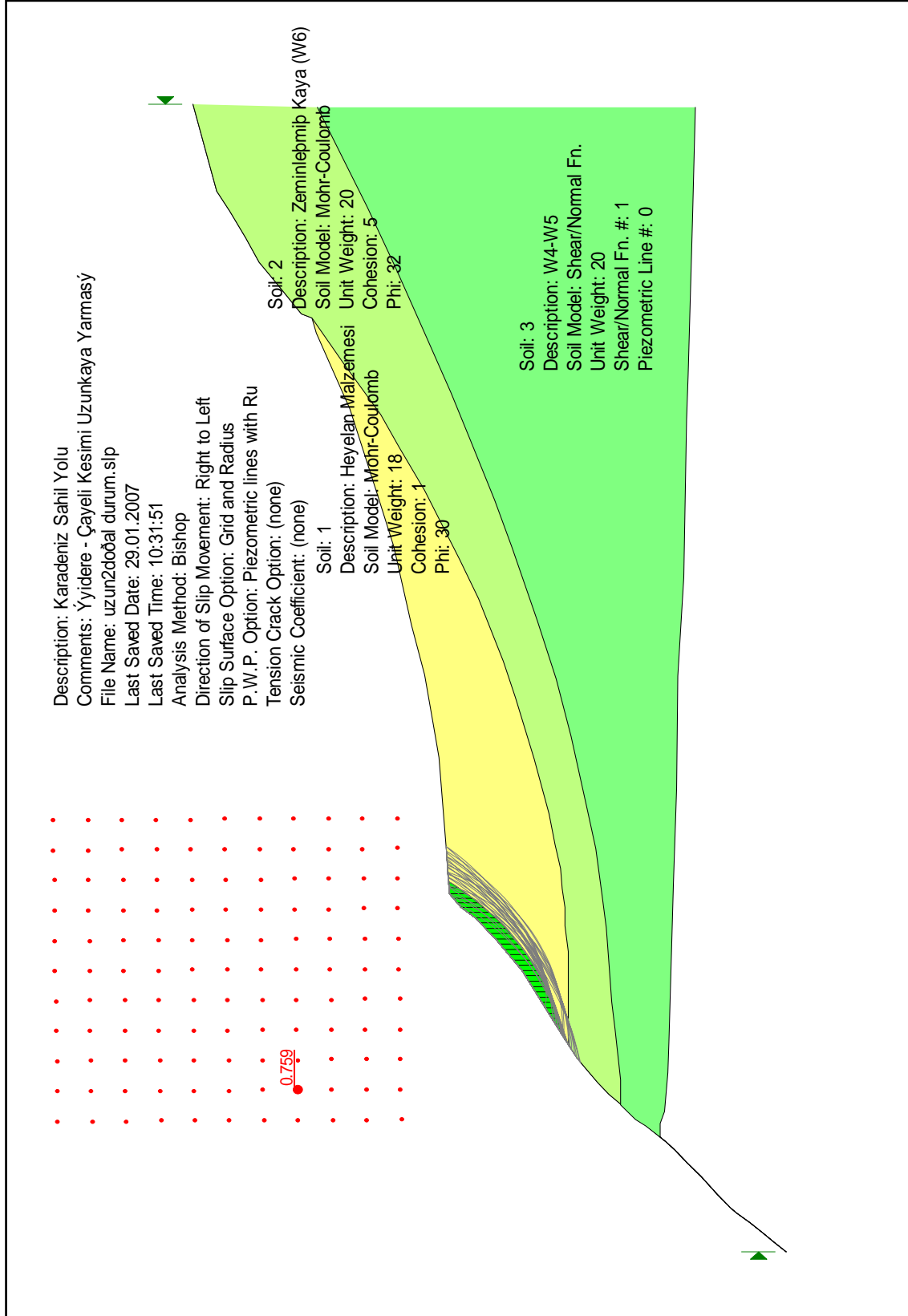
Ek Şekil 3 Kademelendirme (palyeli) haldeki şev kesiti



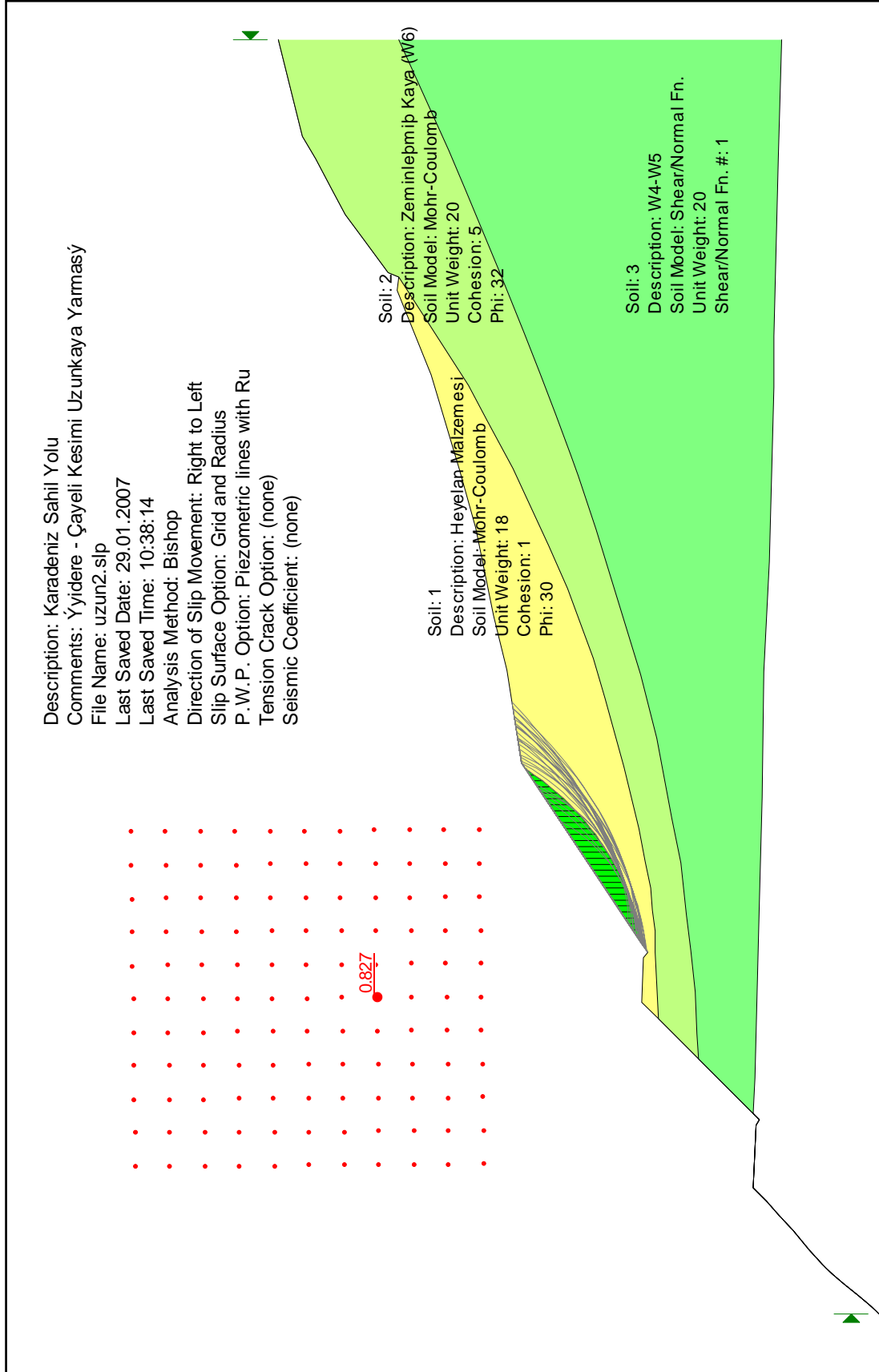
7.7. Ek 7

Uzunkaya Yarması stabilite analizi sonuçları

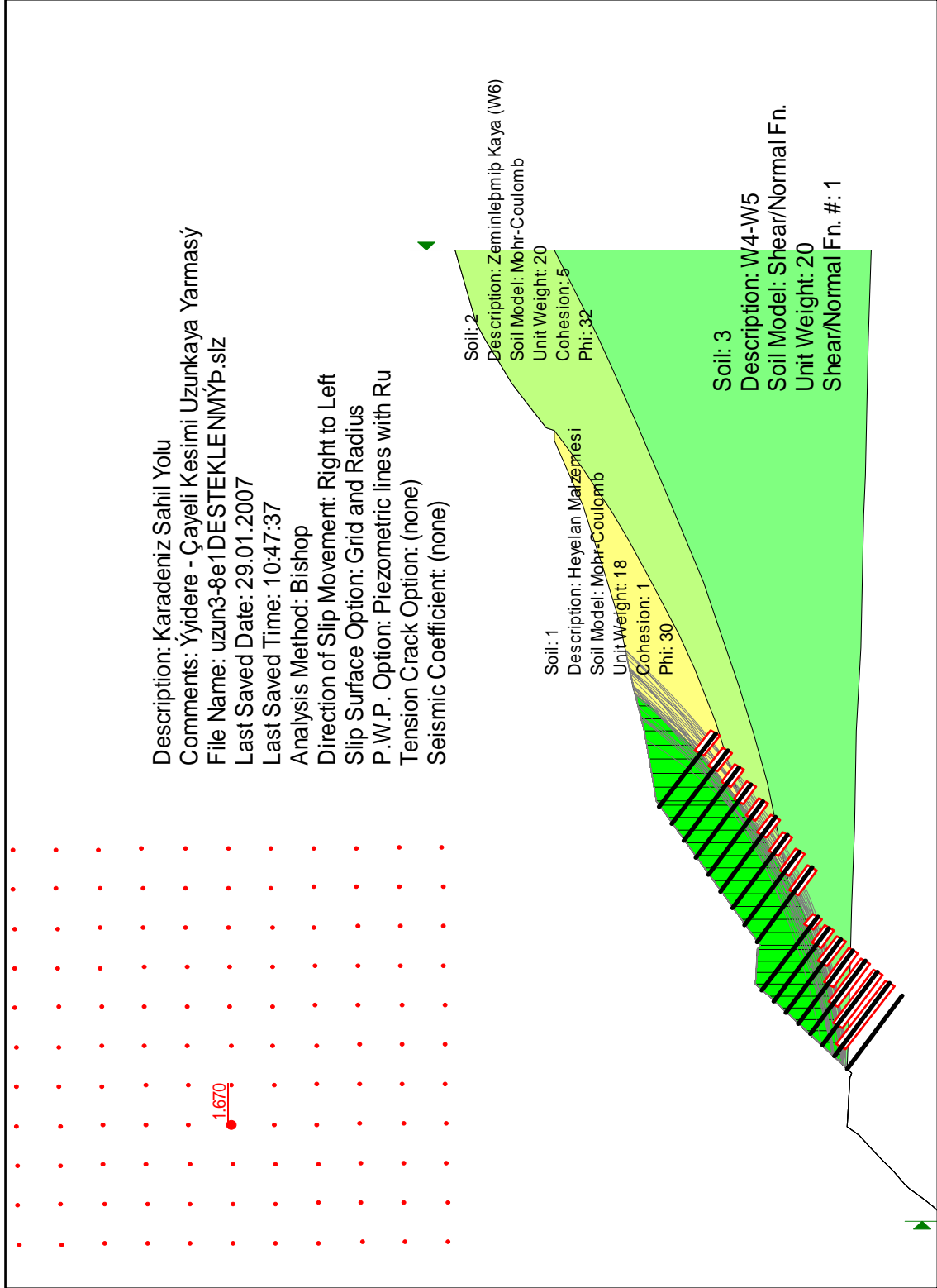
Ek 7.7.1. Kitle hareketi sonrası kritik enkesitte stabilite analizi sonucu



Ek 7.7.2. Kademelendirilmiş şevde stabilite analizi sonucu



Ek 7.7.3. Zemin çivisi ile desteklenmiş şevde stabilite analizi sonucu



ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Rize’de doğdu. İlköğrenimini Rize Merkez Kurtuluş İlk Okulu’nda, orta ve lise öğrenimini 1997 yılında Rize Anadolu Lisesinde tamamladı. 2002 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 19.09.2005 tarihinde başladığı, Karayolları 10.Bölge Müdürlüğü Yapım Başmühendisliği emrinde Rize-İspir Devlet Yolu Çığ Tünelleri İşi’nde Kontrol Mühendisliği görevini halen sürdürmekte olup İngilizce bilmektedir.