

56223  
56223

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ\*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KOCAELİ BÖLGESİ  
HEYELAN ALANLARININ İNCELENMESİ**

F.C. A. PROGRAMI KURULU  
DOĞUM MANSİYON MERKEZİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

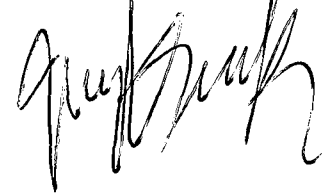
**Hasan ENDEŞ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Temmuz 1996**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Temmuz 1996**

**Tez Danışmanı**  
**Doç. Dr. Cengiz KURTULUŞ**

**Üye**  
**Doç. Dr. İbrahim KARA**

**Üye**  
**Doç. Dr. Uğur KAYNAK**



**Haziran 1996**

# KOCAELİ BÖLGESİ HEYELAN ALANLARININ İNCELENMESİ

Hasan ENDEŞ

**Anahtar Kelimeler:** Kitle Hareketleri, Heyelan, Krip, Falez, Erozyon.

**Özet:** Yeryüzünün doğal şeklini ve görünüşünü değiştiren birçok hareket vardır. Bunların en etkili ve zararlı olanları volkanlar, depremler, heyelanlar şeklinde belirtilebilir. Bu türlü olaylar yeryüzünün doğal şeklini değiştirdiği gibi canlılar ve yapılar üzerinde büyük hasarlara neden olur. Bu nedenden dolayı doğal afet olarak kabul edilen bu konularla jeoloji, jeofizik, morfoloji ve inşaat gibi birçok bilim dalı uğraşmaktadır.

Bugün yurdumuzdaki toprakların yaklaşık %80'i heyelan ve erozyon etkisi altındadır. Bunun nedenleri iklim, topoğrafya, jeolojik yapı, toprak durumu ve yanlış arazi kullanımındır.

Kocaeli Bölgesinde toprakların büyük bir kısmı gerek topoğrafik ve jeolojik yapı ve gerekse iklim koşulları nedeniyle heyelan etkisi altındadır. Bu nedenle bu çalışmada Kocaeli Bölgesinde yer alan Arslanbey, Hisareyn, Selimiye, Döngel ve Kızderbent heyelan alanlarının jeofizik ve jeolojik yöntemler kullanılarak tespit ve analizleri yapılmıştır. Çalışma alanlarının genel jeolojik çalışmaları yapıldıktan sonra jeofizik yöntemlerden sismik ve elektrik (özdirenç) yöntemleri uygulanarak heyelanların kayma yüzeyleri, kayan toprak kalınlıkları, ve litolojileri saptanmıştır. Çalışma bölgelerinde genelde toprak örtü tabakalarının altında kalın çatlaklı killer bulunmaktadır. Heyelan alanlarında alınan jeofizik verilerin yorumlanması sonucunda buradaki heyelanların genelde kalın kil tabakalarının gerek kaynak suları ve gerekse yağışlar nedeniyle şişmesi ve kaygan olan yüzey üstündeki toprak katmanlarının kayması sonucu ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır.

Arslanbey heyelan alanında eğim yaklaşık  $8^{\circ}$  olup, toprak örtü tabakası yaklaşık 1 m kalınlığındadır. Bunun altında ise kireçtaşları yer almaktadır. Burada bulunan taş ocağındaki patlatmalar nedeniyle yukarıdaki toprak tabakasında kaymalar ve şevde kaya düşmeleri oluşmaktadır.

Hisareyn ve Selimiye potansiyel heyelan alanlarını genelde kestane ve gürgen ağaçları kaplamaktadır. Bu alanlarda yamaç eğimi  $6^{\circ}$ - $13^{\circ}$  arasında olup, üst kısımlarda kaynak sularının kontrolsüz akması heyelan riskini büyük ölçüde arttırmaktadır.

Döngel Belediye sınırları içinde bulunan potansiyel heyelan alanlarının ortalama eğimi  $4^{\circ}$  ile  $24^{\circ}$  arasında değişmektedir. Bu alanlar genellikle otsu bitkilerle kaplıdır. Değişik kalınlıklardaki toprak tabakasının altında kalın-çatlaklı kil seviyeleri yer almaktadır.

Kızderbent heyelan alanları Kızderbent'in kuzey ve güneyinde bulunan Papaztepe ve Bayraktepedir. Papaztepe'nin yamaç eğimi  $13^{\circ}$ - $23^{\circ}$  ve Bayraktepe'ninki ise  $18^{\circ}$ - $20^{\circ}$  dir. Her iki yamaçta toprak kalınlığı 1-3.5 m arasında değişmekte olup, altta volkanik tüfler yer almaktadır. Yamaçlarda gerek erozyon ve gerekse heyelanlar nedeniyle volkanik tüfler yer yer mozaik vermektedir.



# AN INVESTIGATION OF LANDSLIDES OF THE KOCAELI REGION

Hasan ENDEŞ

**Key words :** Mass Movements, Landslide, Creep, Cliff, Erosion

**Abstract :** There are many types of movements that change the natural shapes and appearance of the earth surface. The most effective and harmful of them are volcanoes, earthquakes and landslides. These kinds of actions change the natural shape of the earth's surface as well as cause great injuries on livings and structures. For this reason, geology, geophysics, morphology and civil engineering involve in these subjects accepted as natural disasters.

Today, %80 of our land is under the effect of landslide and erosion. The reasons of these are climate, topography, geology, soil and wrong usage of the land.

The most part of the lands in Izmit region is under the effect of landslide due to topographic and geologic constructions and climatic conditions. For this reason, in this thesis, Arslanbey, Hisareyn, Selimiye, Döngel and Kızderbent landslides are demonstrated and analyzed by using geological and geophysical methods. After doing geological work the slipping face, thickness of the soil slipped and lithologies were determined using geophysical methods (seismic & electric (resistivity)). There are generally fissured clays under the soil layers in the working areas. Results of geophysical data indicated that the general reason of the landslides in the working areas is the swelling of clays with water from the natural resources and from atmospheric water and than sliding the soil layers above them.

The slope of Arslanbey landslide is about  $8^{\circ}$  and thicknes of soil layer overlying the limestones is about 1 m. The detonations in the open pit mine placed in the flank of the hill cause the flowing of soil and falling dawn of rocks from the cliff.

The potantial landslides of Hisareyn and Selimiye are covered with chestnuts and Hornbeams. The slope of the flanks is about  $6^{\circ}$ - $13^{\circ}$ . The uncontrolled streams of natural water sources placed over the flanks increase the risk of landslide.

The average slope of the potential landslide areas in the Döngel region is about  $4^{\circ}$ - $24^{\circ}$ . These areas are covered with small plant herbs. Thick fissured clay series take place under the soil layer.

Kızderbent landslide areas are Papaztepe and Bayraktepe placed in the North and South of Kızderbent respectively. The slope of the flanks of Papaztepe is between  $13^{\circ}$ - $23^{\circ}$  and that of Bayraktepe is between  $18^{\circ}$ - $20^{\circ}$ . The typical soil thickness in both areas is between 1-3.5 m. Volcanic tuffs underlie the soil layers. These tuffs outcrop in some areas because of landslides and soil flowing.

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Son yıllarda yeşil alanların hızla azalması ve çarpık yapılaşma beraberinde bir çok sorunlar meydana getirmiştir. Bunların başında erozyon ve heyelanlar gelmektedir. Bu çalışmada özellikle Kocaeli Bölgesi içinde kalan bu tür alanlar tespit edilerek yerinde inceleme ve araştırma yapılmıştır.

Çalışmalar sırasında bilgi ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Cengiz KURTULUŞ (KOÜ)'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm Jeofizik Bölümü öğretim elemanlarına, Bilgi-İşlem Merkezindeki arkadaşlarıma ve çalışma yaptığımız bölgelerdeki Belde Başkanları'na teşekkürlerimi ifade ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii

### BÖLÜM 1. KİTLE HAREKETLERİ VE HEYELANLAR

1.1 Giriş.....	1
1.2 Heyelan Tehlikesini (Risk) Saptama Amacı İle Yapılan Çalışmalar.....	2
1.3 Kitle Hareketlerinin Ekonomik Önemi.....	2
1.4 Kitle Hareketlerinin Nedenleri.....	3
1.5 Kitle Hareketlerinin Sınıflandırılması.....	4
1.5.1 Çökmeler.....	6
1.5.2 Düşme.....	7
1.5.3 Devrilme.....	8
1.5.4 Krip.....	9
1.5.5 Akma.....	11
1.5.6 Kayma Heyelan.....	12
1.6 Heyelanın Etkinlik Durumu.....	16
1.7 Kitle Hareketlerinin Önlenmesi.....	19
1.7.1 Yerüstü ve yerltı sularının drenajı.....	19
1.7.2 Şev ve yamaçların korunması.....	21
1.7.3 Topuğa ağırlık yapılarının inşası.....	21
1.7.4 Kazık ve kaya blonları.....	22

### BÖLÜM 2. HEYELAN ARAŞTIRMALARINDA KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER

2.1 Giriş.....	24
2.2 Sismik Yöntemler.....	24
2.2.1 Sismik kırılma yöntemi.....	25

2.2.2 Öncü dalgalar.....	25
2.2.3 Yatay bir yansıtıcı yüzeyde kırılma.....	26
2.2.4 Birçok yatay kırılma yüzeyinin bulunması hali.....	29
2.2.5 Eğimli bir yansıtıcı yüzeyde kırılma.....	30
2.3 Özdirenç (Rezistivite) Yöntemi.....	33
2.3.1 Temel kavramlar.....	34
2.3.1.1 Özdirenç (Rezistivite).....	34
2.3.1.2 İletkenlik.....	34
2.3.1.3 Elektriksel İletkenlik.....	34
2.3.1.4 İletkenliğe etki eden etmenler.....	35
2.3.1.5 Ohm Kanunu.....	35
2.3.2 Yeraltında gömülü nokta akım kaynağı olması durumu.....	36
2.3.3 Yüzeyde nokta akım kaynağı olması durumu.....	38
2.3.4 Yüzeyde iki elektrot bulunması durumu.....	39
2.3.5 Elektrot dizilim şekilleri.....	40
2.3.5.1 Wenner elektrot dizilimi.....	40
2.3.5.2 Schlumberger elektrot dizilimi.....	40
2.3.5.3 Dipol-dipol elektrot dizilimi.....	41
2.3.5.4 İki nokta elektrot dizilimi.....	42
2.3.5.5 Elektrot açılımlarının karşılaştırılması.....	42
2.3.6 Yüzeyde elektrotlar arasında akım akışı ve potansiyeller.....	44
2.3.7 Akım dağılımı.....	45
2.3.8 Bir sınırdaki akım akışının bozulması.....	48

### BÖLÜM 3. KOCAELİ BÖLGESİ GENEL JEOLJİSİ VE ARAZİ ÇALIŞMALARI

3.1 Giriş.....	49
3.1.1 Trias yaşlı birimler.....	49
3.1.2 Üst Kratese yaşlı birimler.....	50
3.1.3 Pliokuaterner yaşlı birimler.....	50
3.1.4 Alüvyon.....	51
3.2 Arazi Çalışmaları.....	51
3.2.1 Aslanbey Beldesi heyelan bölgesi.....	51

3.2.2 Hisareyn ve Selimiye heyelan bölgeleri.....	54
3.2.3 Döngel Beldesi heyelan alanları.....	58
3.2.3.1 D1-Bölgesi heyelan alanı.....	58
3.2.3.2 D2-Bölgesi heyelan alanı.....	60
3.2.3.3 D3-Bölgesi heyelan alanı.....	63
3.2.3.4 D4-Bölgesi heyelan alanı.....	65
3.2.3.5 D5-Bölgesi heyelan alanı.....	66
3.2.3.6 D6-Bölgesi heyelan alanı.....	68
3.2.4 Kızderbent Beldesi heyelan alanları.....	71
3.2.4.1 Papaztepe heyelan alanı.....	71
3.2.4.2 Bayraktape heyelan alanı.....	77
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>80</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>82</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>83</b>
<b>EKLER</b>	
EK-1 İstanbul-Kocaeli'deki birimlerin stratigrafik yaşlara göre dizilimi...	84
EK-2 Kocaeli'de Siluriyen yaşlı birimler.....	85
EK-3 Kocaeli'de Devoniyen yaşlı birimler.....	86
Ek-4 Kocaeli'de Ordovisiyen yaşlı birimler.....	87
EK-5 Döndel Beldesinde alınan sismik kırılma varış zamanları.....	88
Ek-6 Döngel Beldesinde alınan görünür özdirenç değerleri.....	92
Ek-7 Kızderbent Beldesinde alınan sismik kırılma varış zamanları.....	93
Ek-8 Kzderbent Beldesinde alınan görünür özdirenç değerleri.....	102
Ek-9 Döngel Beldesi yer bulduru haritası (1. Pafta).....	106
Ek-10 Döngel Beldesi yer bulduru haritası (2. Pafta).....	107
Ek-11 Kızderbent Beldesi yer bulduru haritası.....	108



## SİMGELELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

**AB** :Elektrot açıklığı.

**E** :Elektrik alan

**I** :Akım

**J** :Akım yoğunluğu

**K** :Geometrik faktör

**R** :Direnç

**t** :Kesiş zamanı

**V** :Sismik hız

**X<sub>c</sub>** :Kritik uzaklık

**Z** :Derinlik

**ΔV** :Potansiyel fark

**ρ** :Özdirenç

**σ** :İletkenlik

**θ<sub>c</sub>** :Kritik açı

**α** :Çökmede kırılma açısı

**β** :Çökmede etki açısı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Bir çökmede oluşan deformasyonlar.....	6
Şekil 1.2 Kaya düşmesi.....	7
Şekil 1.3 Doğada görülen devrilme türleri.....	8
Şekil 1.4 Krip'in belirtileri.....	9
Şekil 1.5 Toprak kripinin oluşum mekanizması.....	10
Şekil 1.6 Doğada akmanın meydana gelişi.....	11
Şekil 1.7 Düzlemsel kayma.....	12
Şekil 1.8 Değişik türlerde düzlemsel kaymalar.....	13
Şekil 1.9 Doğada görülen eğrisel yüzeyli kayma türleri.....	14
Şekil 1.10 Tipik bir heyelan (eğrisel yüzeyli kayma) blok diyagramı ve çeşitli kısımlara verilen isimler.....	14
Şekil 1.11 Aktif heyelan.....	16
Şekil 1.12 Duraklamış heyelan (Suspended).....	17
Şekil 1.13 Uyanmış heyelan (Reactivated).....	17
Şekil 1.14 Etkin olmayan heyelan.....	17
Şekil 1.15 Bitmiş heyelan.....	17
Şekil 1.16 Kontrol altına alınmış heyelan.....	18
Şekil 1.17 Kahıntı heyelan.....	18
Şekil 1.18 Heyelanlarda yüzey drenajı uygulaması.....	20
Şekil 1.19 Yamaçlarda düşey ve yatay drenlerle yeraltı suyu düzeyinin alçaltılması.....	21
Şekil 1.20 Dairesel kayma yüzeyli bir kitle hareketini etkileyen kuvvetler.....	22
Şekil 1.21 Kitle hareketlerinin önlenmesinde topuğa yük koyma şekilleri.....	22
Şekil 1.22 Yüzeysel (sığ) kaymalarda kazıklarla duraylılığın sağlanması.....	23
Şekil 1.23 Kaya yamaçlarının kaya blonu ile duraylılığın sağlanması.....	23
Şekil 2.1 İki ortamın sınırında öncü dalganın hareketi.....	25
Şekil 2.2 Kritik açıda yansıtıcı yüzeyden ortaya çıkan bir dalga yüzeyi.....	26
Şekil 2.3 Yansıma ve kırılma izleri ile seyahat zamanı eğrileri arasındaki ilişkiler.....	26
Şekil 2.4 İki yansıtıcı yüzey için dalga izleri ve seyahat zamanı eğrileri.....	29
Şekil 2.5 Eğimli bir yansıtıcı yüzey için dalga izleri ve zaman uzaklık eğrileri.....	31
Şekil 2.6 İletken silindir.....	34

Şekil 2.7 Yeraltında gömülü nokta akım kaynağı.....	36
Şekil 2.8 Yüzeyde nokta akım kaynağı.....	38
Şekil 2.9 Özdirenci $\rho$ olan homojen izotrop bir ortamda yüzeydeki iki akım ve potansiyel elektrodu.....	39
Şekil 2.10 Wenner elektrot dizilimi.....	40
Şekil 2.11 Schlumberger elektrot dizilimi.....	40
Şekil 2.12 Dipol-dipol elektrot dizilimi.....	41
Şekil 2.13 İki elektrot dizilimi.....	42
Şekil 2.14 Homojen ortamda akım ve eşpotansiyel dağılım.....	44
Şekil 2.15 Heterojen ortamlarda akım ve eşpotansiyel dağılım.....	45
Şekil 2.16 Yüzeydeki iki elektrot arasında tekdüze bir yapıdaki akım yoğunluğunun saptanması.....	45
Şekil 2.17 Sabit elektrot açılımı için akım yoğunluğunun derinlikle değişimi.....	47
Şekil 2.18 Elektrot açıklığı ile nüfuz derinliği arasındaki ilişki.....	47
Şekil 2.19 Bir tabaka sınırında akım akışının bozulması.....	48
Şekil 3.1 Arazi çalışmalarının yapıldığı alanlar.....	52
Şekil 3.2 Arslanbey Beldesi heyelan bölgesi muhtemel önceki durumu.....	53
Şekil 3.3 Arslanbey Beldesi heyelan bölgesi şimdiki durumu.....	53
Şekil 3.4 Hisareyn heyelan alanı topoğrafyası.....	54
Şekil 3.5 Hisareyn heyelan alan kesiti.....	55
Şekil 3.6 Selimiye heyelan alanı topoğrafyası.....	55
Şekil 3.7 Selimiye heyelan alanları.....	56
Şekil 3.8 Selimiye heyelan alanı esas ayna ve gerilme çatlakları.....	57
Şekil 3.9 Selimiye heyelan alanı kesiti.....	58
Şekil 3.10 D1-Bölgesi heyelan alanı.....	59
Şekil 3.11 D1-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.....	60
Şekil 3.12 D1-Bölgesi heyelan alanı kesiti.....	60
Şekil 3.13 D2-Bölgesi heyelan alanı.....	61
Şekil 3.14 D2-Bölgesi heyelan alanı.....	61
Şekil 3.15 D2-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.....	62
Şekil 3.16 D2-Bölgesi heyelan alanı kesiti.....	63
Şekil 3.17 D3-Bölgesi heyelan alanı.....	63

Şekil 3.18 D3-Bölgesi heyelan alanı.....	64
Şekil 3.19 D3-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.....	64
Şekil 3.20 D3-Bölgesi heyelan alanı kesiti.....	65
Şekil 3.21 D4-Bölgesi heyelan alanı.....	65
Şekil 3.22 D4-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.....	66
Şekil 3.23 D4-Bölgesi heyelan alanı kesiti.....	66
Şekil 3.24 D5-Bölgesi heyelan alanı.....	67
Şekil 3.25 D5-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.....	67
Şekil 3.26 D5-Bölgesi heyelan alanı kesiti.....	68
Şekil 3.27 D6-Bölgesi heyelan alanı.....	69
Şekil 3.28 D6-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.....	69
Şekil 3.29 D6-Bölgesi eğime dik kesit.....	70
Şekil 3.30 D6-Bölgesi eğime paralel kesit.....	70
Şekil 3.31 D6-Bölgesi doğu-batı yönündeki formasyon değişimi.....	71
Şekil 3.32 Kızderbent Beldesi yerleşim alanı.....	72
Şekil 3.33 Papaztepe heyelan alanı topoğrafyası.....	73
Şekil 3.34 Papaztepe heyelan alan alan kesiti.....	74
Şekil 3.35 Papaztepe heyelan alan kesiti.....	75
Şekil 3.36 Papaztepe heyelan alanında gözlenen mostralar.....	76
Şekil 3.37 Papaztepe heyelan alanında meydana gelen kaymalar.....	76
Şekil 3.38 Bayraktepe heyelan alanı topoğrafyası.....	77
Şekil 3.39 Bayraktepe tepe heyelan alan kesiti.....	78
Şekil 3.40 Bayraktepe heyelan alanında gözlenen mostralar.....	79
Şekil 3.41 Bayraktepe heyelan alanında meydana gelen kaymalar.....	79

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1 Kitle hareketlerinin nedenleri.....	4
Tablo 1.2 Kitle hareketlerinin sınıflandırılması.....	5
Tablo 1.3 Genel bir heyelanda çeşitli kısımlara verilen isimler.....	15



## **BÖLÜM-1**

### **KİTLE HAREKETLERİ VE HEYELANLAR**

#### **1.1 Giriş**

Yeryüzünde görülen, yeryüzünün şeklini ve görünüşünü değiştiren birçok hareket vardır. Bunların en belirgin olanları volkanlar, depremler heyelanlar ve kitle hareketleridir.

Kitle hareketleri yeryüzünün doğal şeklini, insanlar tarafından inşa edilen yapıların konumlarını değiştirir, çatlatır, kırar ve kullanılmaz duruma getirir. Bundan dolayı, heyelanlar yeryüzü ve yeryüzü şekilleri ile uğraşan jeoloji mühendisliği, jeofizik mühendisliği ve jeomorfoloji gibi bilim dallarının tümünü ilgilendirmektedir.

Heyelanlar, özellikle topoğrafik yükseltisi fazla olan her ülkede değişik nitelik ve sıklıkta rastlanan olaylardır. Heyelanların doğal nedenlerinin yanı sıra, insanların doğaya yaptığı denetimsiz girişimler sonucunda da oluşuyor olması bu olayı, deprem volkan gibi diğer doğal afetlerden ayırmaktadır. Bu ayrıcalık heyelan zararlarını azaltmada, özellikle potansiyel heyelan alanlarını denetim altında tutmakta en önemli etkindir.

Yamaçlar üzerinde yerçekimine bağlı olarak gelişen kitle hareketlerinin son 50 yıl içinde değişik sınıflandırmaları yapılmıştır. Günümüzde en fazla benimsenen bilimsel sınıflandırma Varnes (1978) tarafından gerçekleştirilmiştir. Varnes sınıflandırmasında yamaçlar üzerinde görülen hareketler, düşme, devrilme, kayma ve akma olarak ana sınıflara ayrılmakta, bu hareketlerin geliştiği ortama göre de alt sınıflar tanımlanmaktadır. Kitle hareketlerinin genel olarak tartışıldığı bilimsel toplantılarda ve bu hareketlere yapılan mücadeledeki mühendislik uygulamalarında, kitle hareketlerinin tüm türlerini belirtmek için heyelan deyimini yaygın olarak kullanılmaktadır.

## **1.2 Heyelan Tehlikesini (Risk) Saptama Amacı İle Yapılan çalışmalar**

Unesco, doğal afet tehlikesini, dolayısı ile zararlarını azaltma çalışmaları sırasında, heyelan alanlarını yerbilimleri kapsamı içine almıştır. Unesco'ya üye devletlerin bazılarının 1976 yılındaki önerileri üzerine Prag (1977) ve Madrid'de (1978) iki toplantı yapılmıştır. Bu toplantıdaki kararlar D. Varnes tarafından derlenmiş ve daha sonra Paris'teki toplantıda (1980) sonuçlandırılmıştır. Hazırlanan Rapor 1984 yılında Unesco tarafından yayınlanmıştır.

Heyelan Tehlikesinin Bölgelendirilmesi (Landslide Hazard Zonation) adı ile yayınlanan rapor, bu konuda yapılacak çalışmalar için çok güvenilir bir başvuru kaynağı niteliğindedir. 1970'li yıllardan bu yana yapılan bu tür çalışmalarda benimsenen aşağıdaki üç ilke üzerinde durulmaktadır:

1. Geçmişte ve bugün gelişmekte olan olaylar gelecekte gelişecekler için bir anahtardır.
2. Bir bölgede jeolojinin, morfolojinin, hidroloji ve hidrojeoloji'nin yanı sıra, doğal ve yapay titreşimleri doğuran etkenlerin belirlenmesi ile duyarlılık hakkında güvenilir bilgi sahibi olunabilir.
3. Bir bölgede duyarlılığı doğuran koşullar ve mekanizmalar saptanabilirse bundan doğacak tehlikenin boyutları da sayısal ya da yarı sayısal olarak saptanabilir.

## **1.3 Kitle Hareketlerinin Ekonomik Önemi**

Kitle hareketleri sonucunda, orman, tarım alanları ve insanlar tarafından inşa edilen yapılar kullanılmaz duruma gelmektedir. Bazı durumlarda can kaybı meydana gelebileceği gibi çok büyük maddi hasarlar da oluşabilir. Kitle hareketlerinin zarar vereceği alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yerleşim alanları,
- Tarım ve orman alanları,
- Maden, taşocağı işletme alanları,
- Ulaşım yapılarının bulunduğu alanlar,

- Değişik amaçlı tünel açma alanları,
- Su, kanalizasyon, gaz şebekeleri, telefon ve elektrik enerjisi iletim hatları,
- Sığ deniz yapı alanları,
- Hidroteknik çalışma alanları,
- Değişik amaçlı rezervuar alanlar,

Bu gibi yerlerde meydana gelecek kitle hareketleri maddi hasarlara ve can kaybına neden olabilir. Heyelan sonucu ormanlık araziler yararsız ve çorak, tarım alanları ekilemez, yapılar ise kullanılamaz hale gelir.

#### 1.4 Kitle Hareketlerinin Nedenleri

Ülkemizde genellikle rastlanan metamorfik veriler, killi grili yeşil şistler, kratese filişleri, jipsli tuzlu oligosen veriler, ofiolitik seriler, kumtaşı, kil ve marnlardan ibaret olan karasal neojen fasiyesler ve denizsel çökeller sık sık heyelana neden olan formasyonları teşkil etmektedir. Bunlar dışında ayrıca mikalı talklı kayalarla, şeyl, zayıf çimentolu sedimentler, yumuşak kum ve çakıl ihtiva eden konsolide olmuş materyaller ve basınç altında akabilen kilce zengin formasyonlar da heyelan için uygun ortamları teşkil etmektedir.

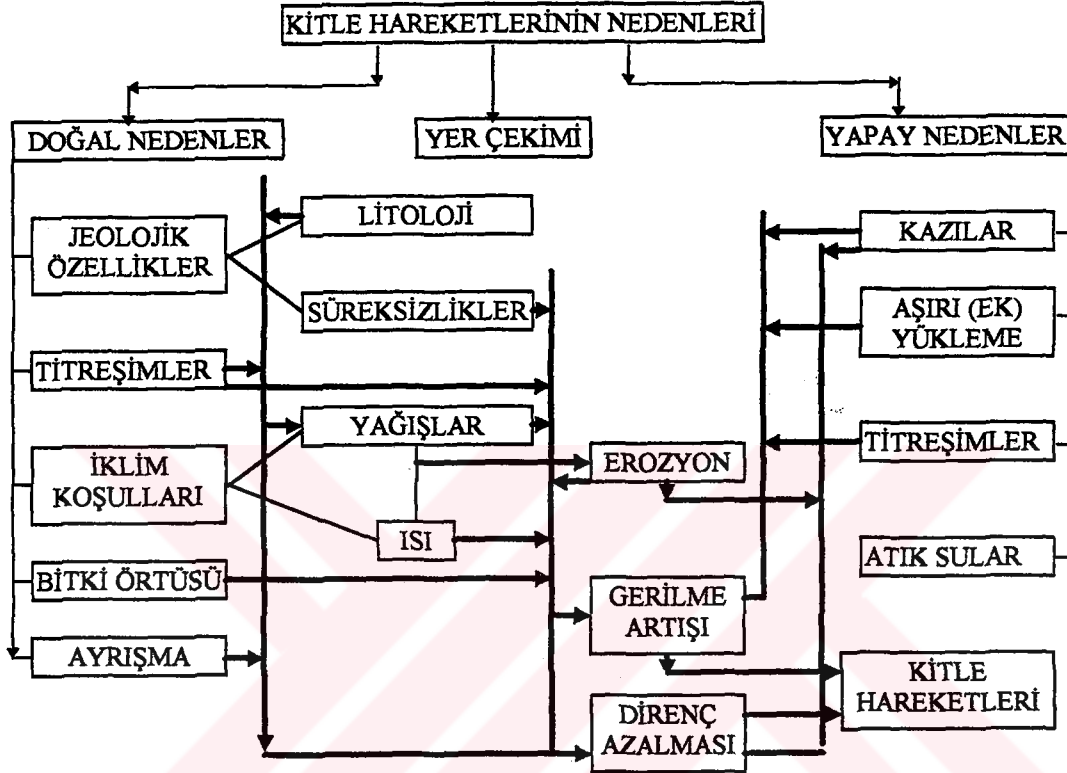
Heyelan oluşumunda ikinci etken su faktörüdür. Ülkemiz tümü ile iklimlerin normal seyri halinde yeterli yağış alan bir bölgedir. Bu nedenle yurdumuz yerüstü ve yeraltı sularının zeminlerdeki olumlu ve olumsuz etkileri altında kalmaktadır.

Diğer bir faktör ise ülkemizin topoğrafik yapısı itibarı ile doğal olarak mevcut olan eğimdir. Eğimli bölgeler yukarıdaki özellikleri bünyesinde bulunduruyorsa her an kayma etkisi altında kalabilmektedir.

Özellikle filiş serilerinin bünyesindeki killi ve marnlı seviyeler aşınmaya ve su ile kolayca deforma olmaya elverişli birimlerdir. Bu seriler her ne kadar bünyelerinde genelde su bulundurmaz iseler de üst seviyelerde bulunan alterasyon zonlarındaki kırık ve çatlaklardan giren sular aşağı doğru inerek zamanla doygunluk sağlayıp, topoğrafik eğimin uygun olduğu yerlerde heyelanlara neden olmaktadır. Tablo 1.1. de kitle hareketlerinin nedenleri verilmektedir.



Tablo 1.1 Kitle hareketlerinin nedenleri.



### 1.5 Kitle Hareketlerinin Sınıflandırılması

Son yarım asırdan bu yana yapı, değişik amaçlı temel kazı boyutlarının büyümesi, nüfus artışına paralel olarak besin maddesi üretim sahalarında yapılan bitkisel değişiklikler ve doğal olayların etkisi ile oluşan kitle hareketleri mühendislerin ve bilim adamlarının ilgisini çekmiş ve konuda pek çok araştırma yapılmıştır. Araştırmaların sonucunda kitle hareketlerinin oluştuğu malzeme, hareket şekli ve harekete neden olan faktörler göz önüne alınarak pek çok sınıflandırma yapılmıştır.

Araştırmacılar kitle hareketlerini sınıflandırırken, kitleye ve hareketine ait bazı özellikleri sınıflandırma parametresi olarak kullanılmıştır. Bu özellikler;

- Hareketin türü, miktarı ve hızı,
- Hareket eden malzemenin türü, dizilişı, yaşı,
- Hareket eden kitlenin şekli,
- Hareket eden kitle ile alttaki temel arasındaki ilişki,
- Hareketin nedenleri,
- Kohezyon ve içsel sürtünme karakteristikleri

şeklinde sıralanabilir.

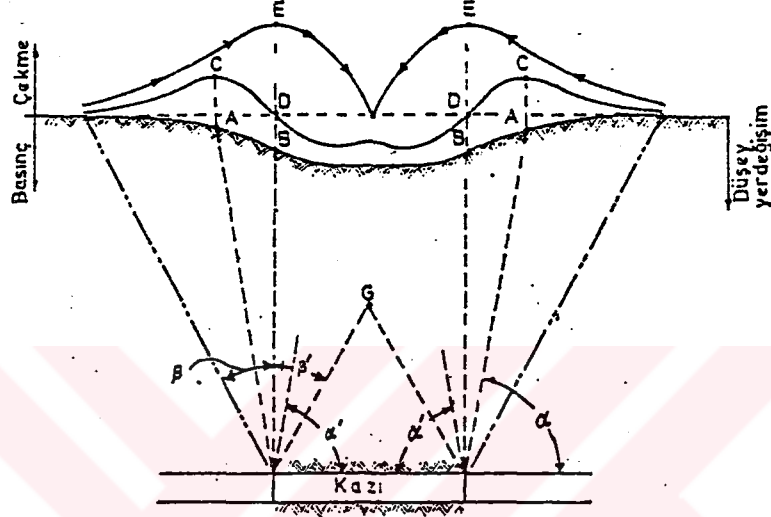
Yapılan sınıflandırmalarda hareket hızlı, yavaş ve serbest bir yüzeyde ya da yüzeysiz olarak meydana gelebilir. Bu bilgiler doğrultusunda yapılan sınıflandırma Tablo 1.2 de verilmektedir.

Tablo 1.2 Kitle hareketleri sınıflandırılması.

HAREKET TÜRÜ		KAYMA YÜZEYİ	KİTLE TÜRÜ		
			KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İRİ TANELİ	İNCE TANELİ	
DÜŞME		YOK	KAYA DÜŞMESİ	MOLOZ DÜŞ.	TOPRAK DÜŞ.
AKMA	YAVAŞ	YOK	KAYA KRİPİ	MOLOZ KRİPİ	TOPRAK KRİPİ
	HIZLI		ÇOK PARÇALI KAYAÇ AKMASI	MOLOZ AKMASI	TOPRAK AKMASI
KAYMA	DÜZLEMSSEL	VAR	KAYA AKMASI KAYA KAYMASI	YANAL GENİŞLEYEREK (YAYILMA) KAYMA	
	DÖNEL		SİK ÇATLAKLI KAYADA HEYELAN	DEĞİŞİK TÜRDE ZEMİN HEYELANLARI	
DEVİRİLME		YOK	KAYA DEVİRİLMESİ	ZAYIF ÇİMENTOLU ZEMİNLERDE DEVİRİLME	
KARMAŞIK		YOK/VAR	HAREKET TÜRÜ VE MALZEME KARIŞIK		
ÇÖKME VE OTURMA		YOK	KAYA ÇÖKMESİ	ZEMİN OTURMA VE ÇÖKMELERİ	

### 1.5.1 Çökmeler

Serbest yüzeyi olmayan doğal zeminin, düşey ya da düşeye yakın bir şekilde hareket etmesine çökme denir. Yük ve çeşitli kuvvetler etkisi ile zeminin ve dolayısı ile üstündeki yapının aşağı doğru hareket etmesine de oturma denir. Bu olaylarda yatay doğrultuda hareket ya pek azdır ya da hiç yoktur. Oturmalar genellikle yavaş yavaş olur.



Şekill 1.1 Bir çökmede oluşan deformasyonlar.  
β:etki açısı  
α:kırılma açısı

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi yatay olarak uzanan bir kömür tabakası üstünde oluşan çökmelerde, teorik olarak, en çok çökme, boşluğun ortasından çıkılan dikin yer yüzünü kestiği kısımda meydana gelir. Bu çökme teknesi homojen ve izotrop ortamlar için Gauss dağılım eğrisi şeklindedir.

Yeryüzünde birim deformasyonların maksimum olduğu nokta ile, içindeki kazı sınırını birleştiren doğru parçasının yatayla yaptığı açıya kırılma açısı ( $\alpha$ ), boşluk sınırlarından çıkılan dikle, yeryüzünde deformasyonların bittiği noktanın birleştirilmesi ile elde edilen açıya etki açısı ( $\beta$ ) ismi verilir. Ayrıca içindeki kazı sınırlarından çıkan dikle yapılan  $\beta=\beta'$  açık doğruların kestiği (G) noktasının yeryüzü altında, üzerinde ya da dışında olmasına göre kazı normal, kritik ve çok kritik olarak tanımlanırlar.

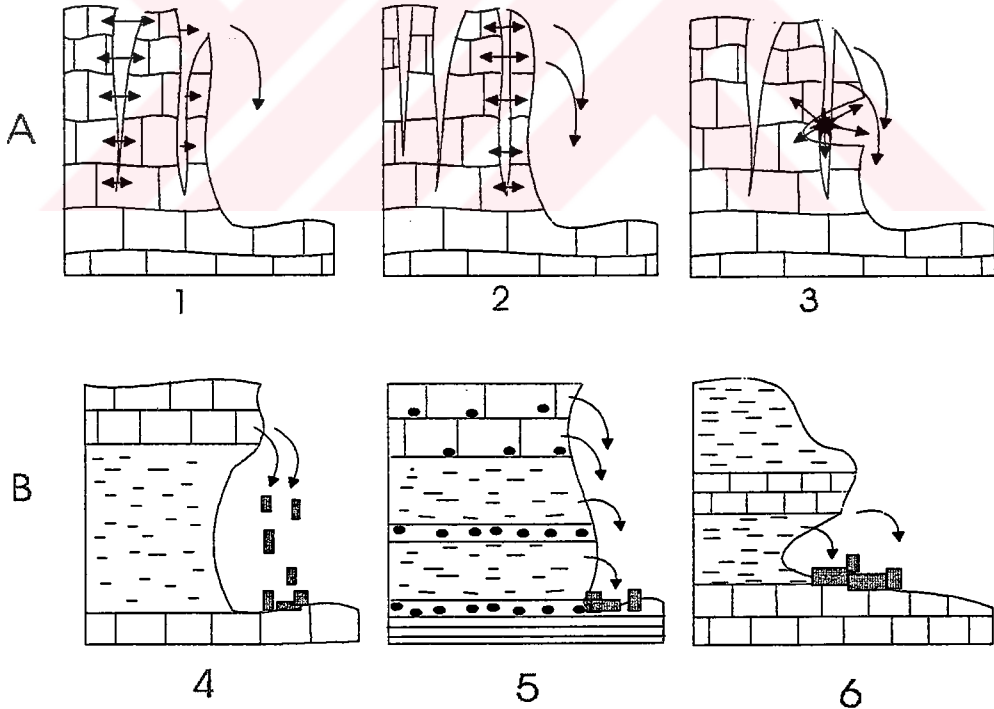
Çökme ile ilgili çalışmalarda ortamın sürekli olduğu düşünülür ve ortamda bulunabilecek mikro ve makro süreksizliklere, yeraltı suyu etkisi genellikle dikkate

alınmaz. Dolayısı ile, doğada çökmeler teorik düşünülen daha başka şekillerde de olabilir.

### 1.5.2 Düşme

Deniz, göl ve vadi kenarlarındaki dik falez ve yamaçlardan ya da sivri dağ doruklarından çoğu zaman, toprağın büyük ya da küçük kaya parçalarının düştüğü görülür. Özellikle deniz kenarlarındaki dik falezlerde, dalga ve rüzgarların aşındırması ile kayalar çatlaklarından ayrılarak aşağı doğru yuvarlanır. Kaya düşmesinin esas nedeni, topuk oyulmaları, çatlak ve kırıklarda birbirlerini güdeyen erime ve donma olayları, hidrostatik basınç sonucu genişleme ile yerçekiminin bağlayıcı kuvvetlerinden daha büyük hale gelmesidir (Şekil 1.2).

Düşen malzemenin türüne göre olaya kaya düşmesi, blok düşmesi ya da toprak düşmesi adı verilir.



Şekil 1.2. Kaya düşmesi.

a. Çatlaklı ve homojen kayalar

1. Hidrostatik basınç,

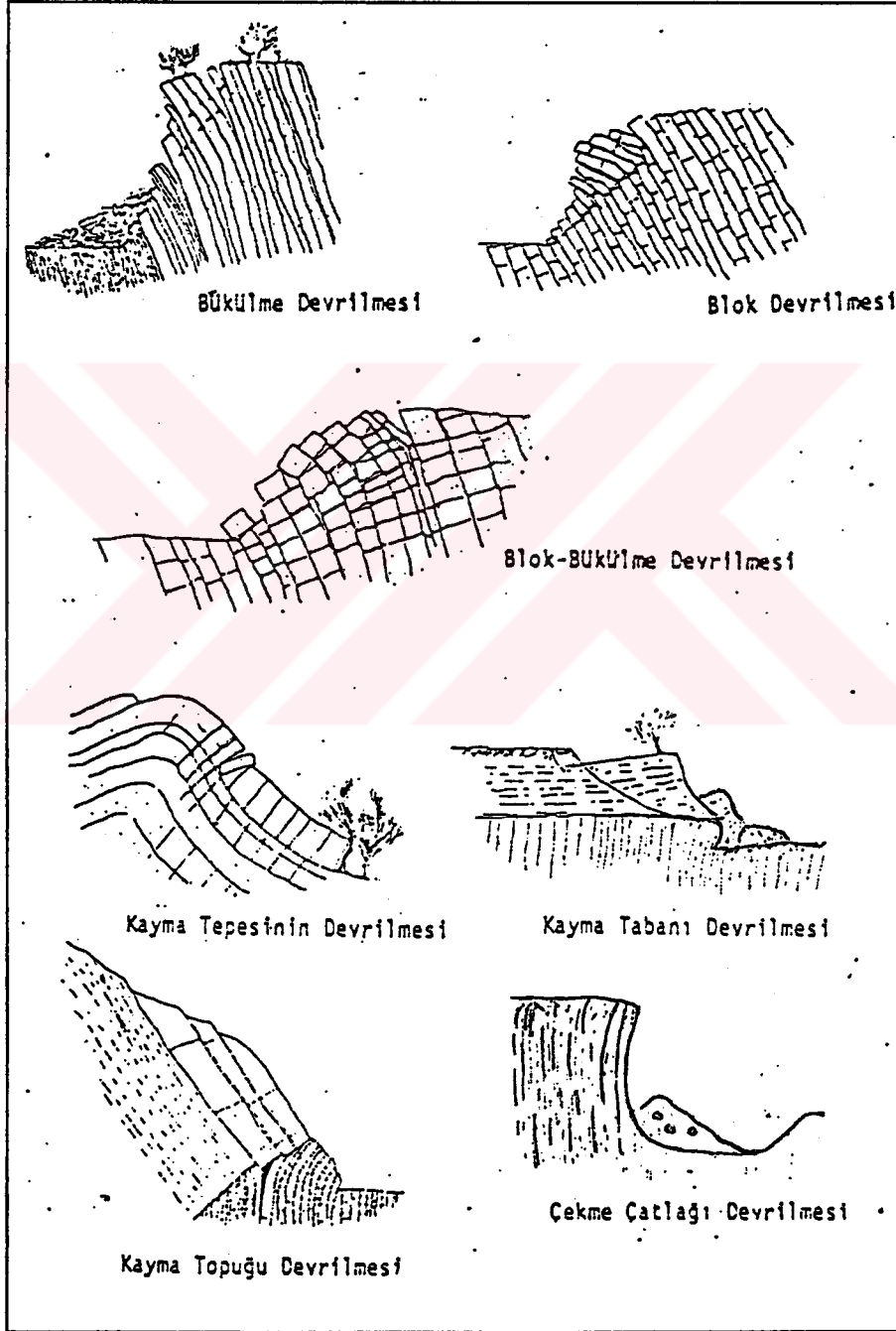
2. Donma,

3. Patlayıcı etkisi,

b. Heterojen kayalarda farklı aşınma, düşme ve yamaç gerilmeleri.

### 1.5.3 Devrilme

Doğada yapılan gözlemlere göre çeşitli devrilme türleri saptanmıştır. Bunların en belirgin ve en çok rastlananları Şekil 1.3 de verilmiştir. Bunlar tabakalı yapılarda görülen bükülme devrilmesi, blok devrilmesi ya da bu ikisinin karışımı olur.



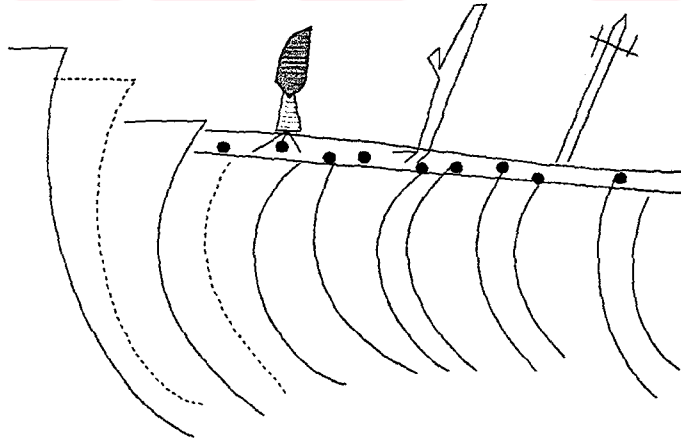
Şekil 1.3 Doğada görülen devrilme türleri.

### 1.5.4 Krip

Yamaç ya da şevlerin yüzeysel kısımlarının sürekli fakat çok yavaş yer değiştirmesidir. Hareket zamana bağlı olup, sürekli gözlemlerle anlaşılabilir. Hareketin hızı senede 2-3 cm kadardır. Krip hissedilmeyen bir hareket olup, hareket eden kitlenin büyüklüğüne göre her türlü malzeme yerdeğiştirebilir. Malzeme içindeki su miktarı sıfırdan doygunluk derecesine kadar değişebilir. Yerçekimi, yeraltı suyu, ıslanma-kuruma, donma-erime, bitki köklerinin büyüklüğü, oyucu hayvanların faaliyeti krip oluşturulan nedenler olarak sayılabilir.

Doğada krip'in belirlenmesinde dikkate alınan unsurlar şu şekilde sıralanabilir;

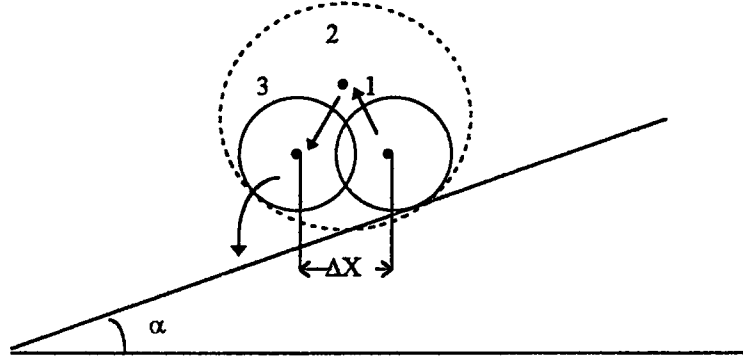
- Bitki köklerinin eğilmesi,
- Yapı duvarlarının, telefon direklerinin, ağaçların düşeyden sapması ,
- Tabaka uçlarının dışarıya doğru kıvrılması,
- Yerdeğiştirmiş çit, karayolu, demiryolu.



Şekil 1.4 Krip'in belirtileri (Erguvanlı, 1982).

### a. Toprak kripti

Yamaçlardaki toprakların yavaş yavaş kaymasıdır. Bunun oluş nedenleri yerçekimi ve tanelerin ıslanıp kurumasıdır.



Şekil 1.5. Toprak krip'inin oluşum mekanizması (Erguvanlı, 1982).

$\alpha$ : yamaç Eğimi.

1: Kuru haldeki tane.

2: Islak tane.

3: Tekrar kuruyan tane.

$\Delta x$ : Hareket miktarı.

Tanelerin su alıp şişmesi sonucunda ağırlık merkezi yerdeğiştirerek yukarı bir noktaya kayar daha sonra yerçekimi ivmesi nedeni ile aşağı doğru çekilir. Ağırlık merkezinde meydana gelen bu değişim harekete neden olur.

### b. Moloz kripti

Farklı litolojilerdeki kayaların üst üste gelmesi ile oluşan yamaçlarda farklı aşınmalar olur. Kayaç parçacıkları iri bloktan çakıla kadar değişir. Moloz kripti daha çok soğuk bölgelerde boşluklardaki suların donması erimesi, sıcak bölgelerde ise tanelerin ısınıp soğuması sonucunda oluşur.

Molozu oluşturan parçaların yassı olmaları krip'i hızlandırıcı yönde rol oynar. 10 dereceden az eğimli yerlerde dahi moloz kripti oluşabilmektedir. Bu tip hareketi önlemede en etkin çare yerüstü ve yeraltı sularının uzaklaştırılmasıdır.

### c. Yavaş kripti

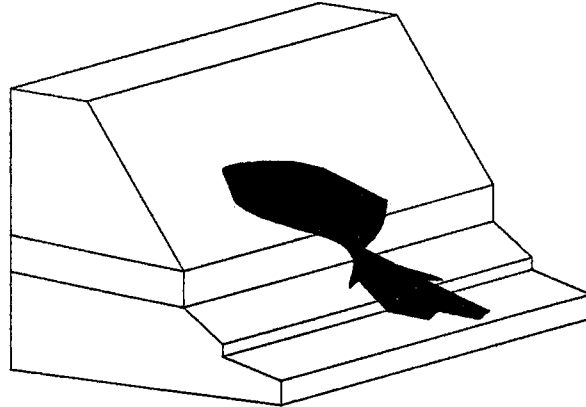
Yamaçlardaki yerli kayaların eğim düzlemleri boyunca yavaş olarak hareket etmesidir. Bu hareket akmadan çok kayma şeklindedir. Hareket hızı bakımından kripi benzer.

Bu kripin oluşmasında yerçekimi donma-erime, bitki kökleri, ince taneli ara tabakaların bulunması rol oynar.

### 1.5.5 Akma

Topoğrafya yüzeyinde kayaların ayrışması sonucu oluşmuş kumlu, killi zeminlerde, toprak ya da taş-toprak karışımından ibaret yüzeysel örtüde, su miktarının artması sonucunda bazen hızlı bazen de yavaş akar. Hareketin hızına göre yavaş akma (krip) ya da hızlı akma şeklinde adlandırılır.

Kripi oluşturduğu toprak, taş-toprak, karışımı ya da ayrışma sonucu gevşemiş bloklu kısımlar, suyun artması ve buna bağlı olarak boşluk suyu basıncının çoğalması, doğal ve yapay titreşimler nedeni ile alttaki kısmen ya da tamamen geçirimsiz temel üzerinde gözle görülebilecek bir hızla yamaç aşağı hareket eder ve su miktarı arttıkça hız artar. Bu olaya hızlı akma denir. Malzemenin türüne bağlı olarak, kaya -blok akması, toprak akması, moloz akması olarak adlandırılır.



Şekil 1.6 Doğada akmanın meydana gelişi.



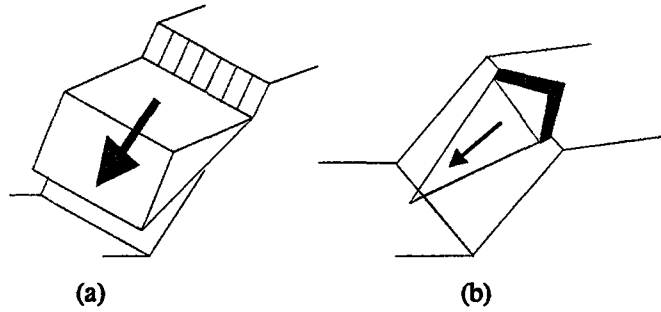
### 1.5.6 Kayma (Heyelan)

Yamaçların belirli bir yüzey boyunca, hissedilir bir şekilde hareket etmesine kayma denir. Kayma yüzeyin şekline göre düzlemsel kayma veya eğrisel kayma olarak iki ana grupta toplanabilir.

#### a. Düzlemsel kayma

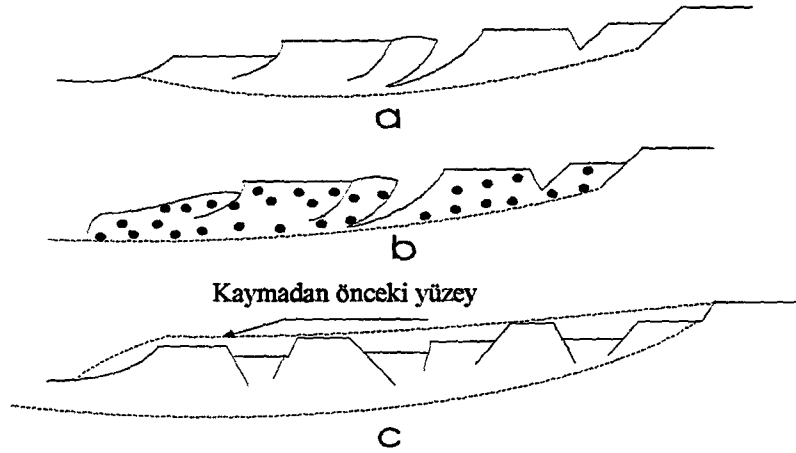
Doğadaki kayaçların fay, çatlak, şistozite, tabaka vb. gibi süreksizlik yüzeyi boyunca, sınırlı bir şekilde aşağı doğru hareket etmesine düzlemsel kayma denir. Düzlemsel kaymanın başlıca nedeni yamaç topuklarında yapılan kazılar ve aşınmalar, yamaçlara fazla ek yük konması, yüzey ve yeraltı suları, ayrışma, farklı litolojide kayaç ardalanması ve yerçekimidir.

Tüm bu faktörler zayıflık düzlemindeki direnç (kohezyon içsel sürtünme açısı) ve gerilme özelliklerinin değişmesine neden olur. Sonuçta kaydırıcı kuvvetlerin tutucu kuvvetlerden fazla olması halinde arakesit düzlemi boyunca kayma meydana gelir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Düzlemsel kayma.  
a: Tek düzlemde.  
b: Kesişen düzlemde.

Kayma tek bir düzlem ya da kesişen düzlemlerin arakesiti boyunca meydana gelir. Kesişen düzlemlerin arakesiti boyunca meydana gelen kaymalara kama tipi kayma (wedge failure) denir.



Şekil 1.8. Değişik türde düzlemsel kaymalar.

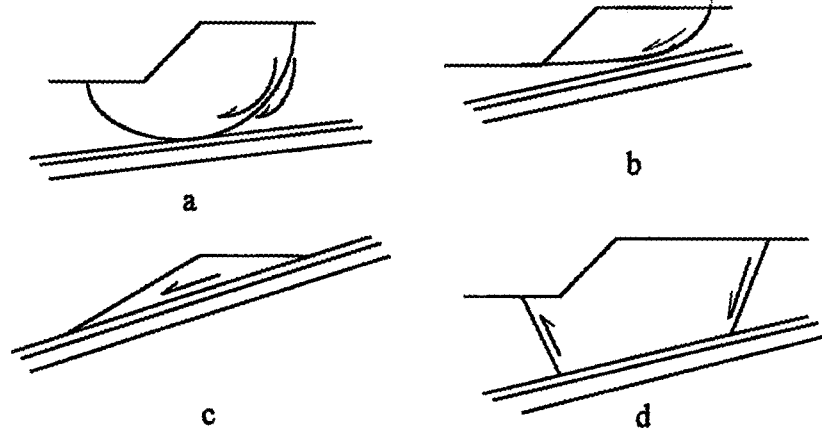
- a: Yayılma türü.
- b: Yamaç birikintileri.
- c: Yanal yayılma

#### b. Eğrisel yüzeyli kayma (Heyelanlar)

Daha çok ayrık ve zayıf çimentolu ya da çok sık çatlaklı (bloklu, parçalı) kayalarda görülür. Kayma yüzeyi (Şekil 1.9) da görüldüğü gibi dairesel dairesel, düzlemsel dairesel, dairesel olmayan (hiperbol, silindir, spiral) düzlemsel kamalı şekillerde olmaktadır. Genellikle bu tür kitle hareketlerine heyelan denmektedir. Eğrisel yüzeyli kitle hareketlerinde hareket eden malzemede dönme olayları da görülmektedir. Hareket etmiş kayalar derinlere kadar inebilir.

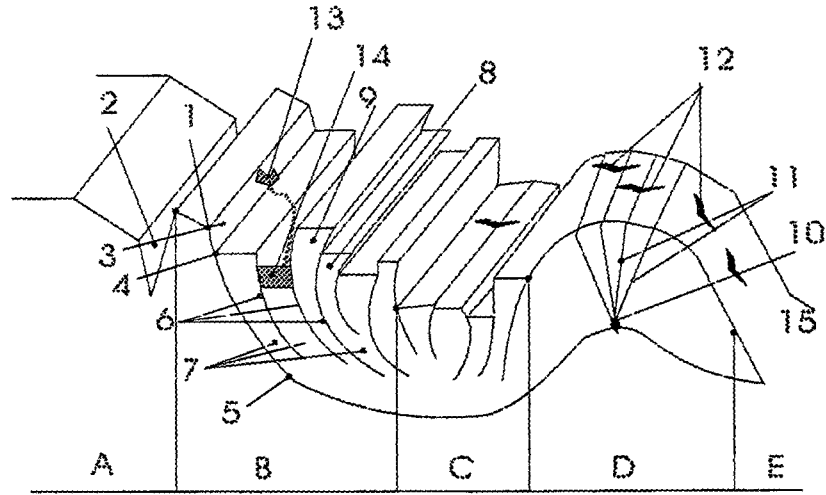
Düzlemsel kaymada, kayaların içerdiği süreksizlikler boyunca kayma meydana gelmektedir. Zeminlerde ise kayalardaki gibi yapısal süreksizlik görmek her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle yamaç ya da şevlerdeki kayma, dayanımın en az olduğu noktalar boyunca oluşur.

Yapılan incelemelerde, zeminlerde ve şevlerde genellikle kaymaların eğrisel bir yüzey boyunca meydana geldiği ve bu yüzeyin bazen dairesel, çoğunlukla ise belli bir geometrik şekilde olmayıp karışık şekilde olduğu görülmüştür. Ayrıca incelemeler bu tür kayma yüzeylerinin ayrık zeminlerde oluştuğunu ortaya koymuştur. Genellikle heyelan adı altında toplanan bu tür kitle hareketlerinde zemin yada kayalar bir düzlem üzerinde, yamaç aşağı hissedilir bir şekilde hareket ederler.



Şekil 1.9 Doğada görülen eğrisel yüzeyli kayma türleri (Erguvanlı (1982).  
 a: Dairesel kayma.  
 b: Dairesel-düzlemsel kayma.  
 c: Düzlemsel kayma.  
 d: Düzlemsel-kamalı kayma.

Hareket eden malzeme türüne ve hareketin olduğu sahanın yapısal özelliklerine bağlı olarak kayan malzeme topoğrafik yüzeyde değişik şekiller meydana getirir. Kaşık, dil ve ay şekilli kitle hareketleri daha çok killi, siltli, kumlu zeminlerde meydana gelir. Belli bir geometrik şekli olan üçgen ve dörtgen şekiller ise daha çok süreksizliklerin (fay çatlak) etkisi ile oluşur. Eğrisel yüzeyli kitle hareketlerinde üst kısımlar aşağı doğru kayarken aşağı kısımlarda çökme kabarma ve akma bölgeleri görülür (Şekil 1.10).



Şekil 1.10 Tipik bir heyelan (eğrisel yüzeyli kayma) blok diyagramı ve çeşitli kısımlara verilen isimler.

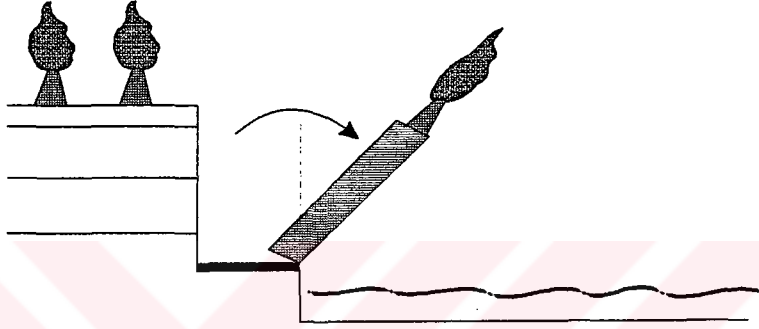
Tablo 1.3 Genel bir heyelanda çeşitli kısımlara verilen isimler.

A	Hareket etmemiş bölge
B	Heyelan bölgesi
C	Çökme bölgesi
D	Kabarma bölgesi
E	Akma bölgesi
1	Heyelan başlangıcı
2	Gerilme çatlakları
3	Esas ayna
4	Heyelan tepe noktası
5	Esas ayna yüzü
6	İkinci kayma yüzeyi
7	Kayma kaması
8	Alçak blok
9	Yüksek blok
10	Heyelan topuk bölgesi
11	Enine çatlaklar
12	Boyuna çatlaklar
13	Kaynak
14	Heyelan içi göl
15	Akma ucu

Şekil 1.10'da görüldüğü gibi heyelanlarda değişik kısımlara değişik isimler verilir (Tablo 1.3). Gerilme çatlaklarının şekil ve derinliğinden yararlanarak esas kayma yüzeyinin şekil ve derinliği saptanmaya çalışılır. Hareket eden malzeme çok ilerliyecek olursa, desteksiz kalan taç kısmında gerilme çatlakları ve buna bağlı olarak da öncekine benzer pek çok heyelan meydana gelebilir. Bazı heyelanlarda hareket eden kitlede ikincil kayma yüzeyleri oluşur ve bu kayma yüzeylerinin arasında kayma kamaları yukarıya doğru hareket edebilir. Bu tür hareket eden yerlerde, yağış ve kaynak suları birikerek heyelan içi gölleri oluşturur. Göller heyelanın orta kısmında oluşan çökme bölgelerinde de meydana gelebilir. Heyelanların topuk kısmında kabarmalar görülür. Kabarma kısmında meydana gelen enine çatlaklar yaklaşık topuk noktasında kesişir.

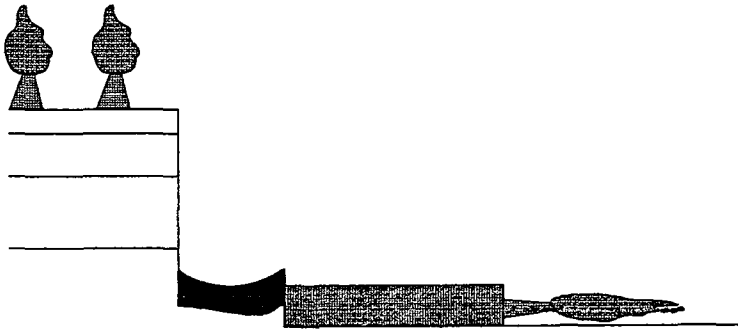
Heyelanlar doğal kayaç ve zeminlerde meydana geldiği gibi insanlar tarafından oluşturulan dolma zeminlerde de (toprak, toprak-kaya barajlar, yol dolguları) meydana gelebilir. Bundan dolayı kazı ve inşaat yapımından önce sahalarda jeofizik etüdler yapmak gerekmektedir. İmkanlar dahilinde sahadan alınacak örnekler üzerinde laboratuvarlarda zemin mekaniği araştırmalarının yapılması zorunludur.

### 1.6 Heyelanın Etkinlik Durumu



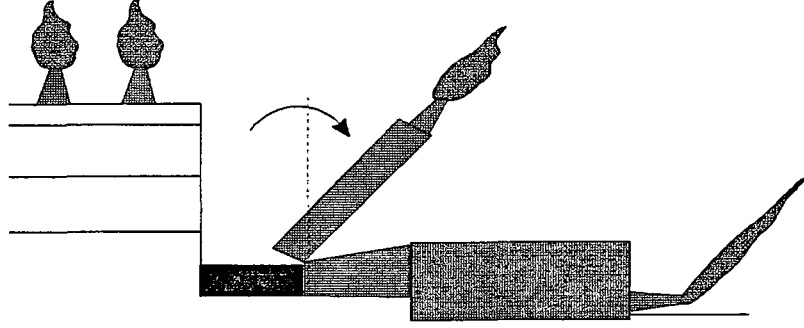
Şekil 1.11 Aktif heyelan. (Önalp 1995'ten)

Etkin heyelan deyimi, hareket eden kitleyi tanımlar (aktif). Yamaç topuğunun oyulması sonucu blok olarak bir devrilme meydana gelir (Şekil. 1.11).



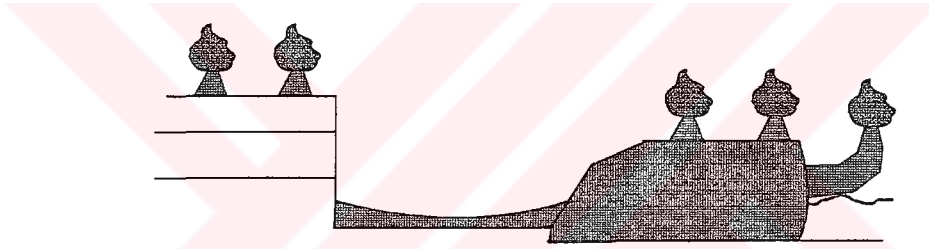
Şekil 1.12 Duraklamış heyelan (Suspended). (Önalp 1995'ten)

Duraklanmış heyelan deyimi, kitlenin son 12 ay içinde hareket ettiğini fakat şu anda etkin olmadığını tanımlar (Şekil.1.12).



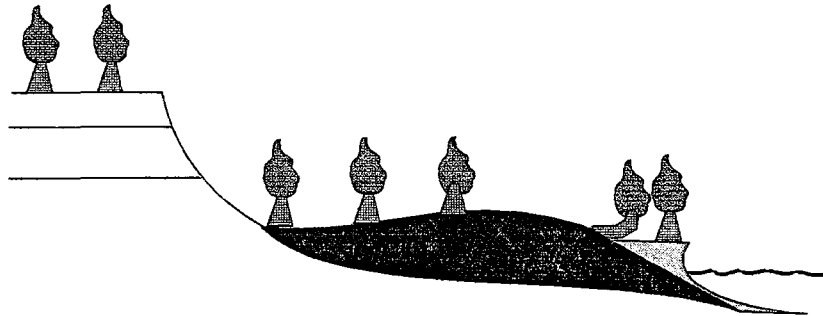
Şekil 1.13 Uyanmış Heyelan (Reactivated). (Önalp 1995'ten)

Uyanmış heyelan deyimi, bir önceki devrede etkin olmayan kitenin yeniden harekete geçmesini tanımlar. Hareket daha önce hareket eden kitleyi de etkilemektedir (Şekil.1.13).



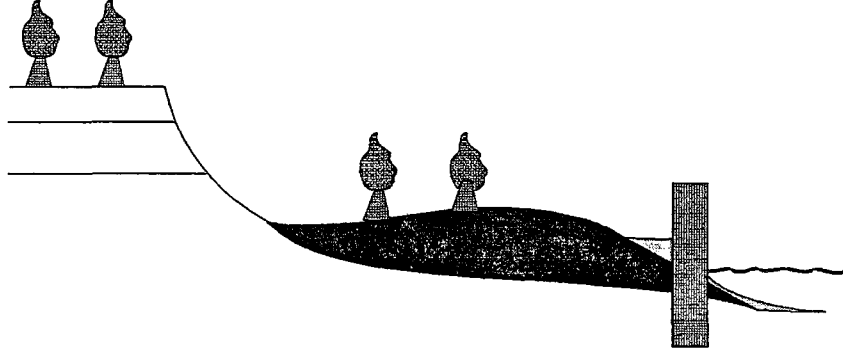
Şekil 1.14 Etkin olmayan heyelan. (Önalp 1995'ten)

Etkin olmayan heyelan deyimi, son 12 ay içinde hareket etmemiş kitleleri tanımlar (Şekil.1.14).



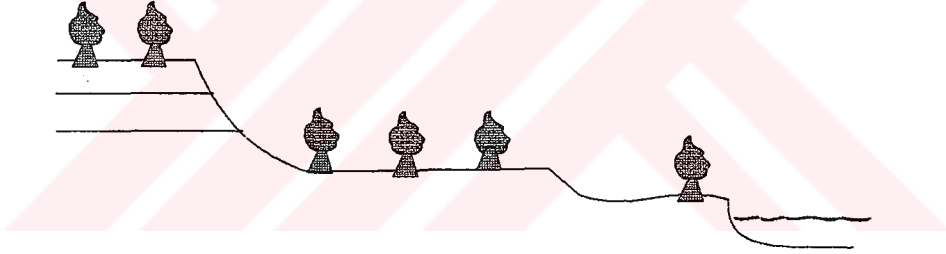
Şekil 1.15 Bitmiş heyelan. (Önalp 1995'ten)

Bitmiş heyelan deyimi, ilk hareketi oluşturan etkenlerin egemenliğini yitirdiği, etkin olmayan heyelanları tanımlar (Şekil 1.15).



Şekil 1.16 Kontrol altına alınmış heyelan. (Önalp 1995'ten)

Kontrol altına alınmış heyelan deyimi, yapay önlemlerle harekete neden olan etkenlerden koruma altına alınmış, etkin olmayan heyelanı tanımlamaktadır (Şekil 1.16).



Şekil 1.17 Kalıntı heyelan. (Önalp 1995'ten)

Kalıntı heyelan deyimi, halen hakim iklimsel ve jeomorfolojik koşullarda oluşmuş etkin olmayan heyelanı tanımlar (Şekil 1.17).

### 1.7 Kitle Hareketlerinin Önlenmesi

Kitle hareketlerine neden olan faktörler ortadan kaldırıldığında, doğada bir iyileştirme yapılarak hareket önenebilmektedir. Kitle hareketlerinin ne zaman olacağını söylemek pek mümkün olmamakla beraber doğadaki ve yapılarındaki belirtilerden kitle hareketlerinin olabileceği söylenebilir. Doğada ve yapılarda oluşan ufak çatlak, fisür ve düşeyden sapsmalar, yüzeyde ufak kaymalar, drenaj sistemlerindeki ani değişmeler, ağaç, telefon ve elektrik direklerinin düşeyden sapsması gibi belirtiler kitle hareketlerinin habercisidir. Bu gibi yerlerde gerçek bilgiler uzun ölçü ve gözlem

sonucunda elde edilir. Gözlem ve ölçülerle kitle hareketlerinin varlığı saptandıktan sonra olayların tümüne bağlı olarak değişik önlemler alınır.

Kitle hareketini önlemek, hareketi meydana getiren nedenleri ortadan kaldırmak, kaydırıcı kuvvetleri azaltmak ve harekete karşı koyan kuvvetleri arttırmakla sağlanabilir. Kayan ya da kayma olasılığı olan kitlenin ortadan kaldırılması her zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle harekete neden olan kuvvetleri azaltmakla yamaç ya da şevlerin duyarlılığı sağlanabilmektedir.

Bu şekilde duyarlılığı sağlama yolları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Yerüstü ve yeraltı sularının drenajı,
- Yamaç ya da şevlerin korunması,
- Topuğa ağırlık yapılarının inşası,
- Kazıklardan yararlanma,
- Şev ya da yamaçların düzenlenmesi,
- Zeminlerin sertleştirilmesidir.

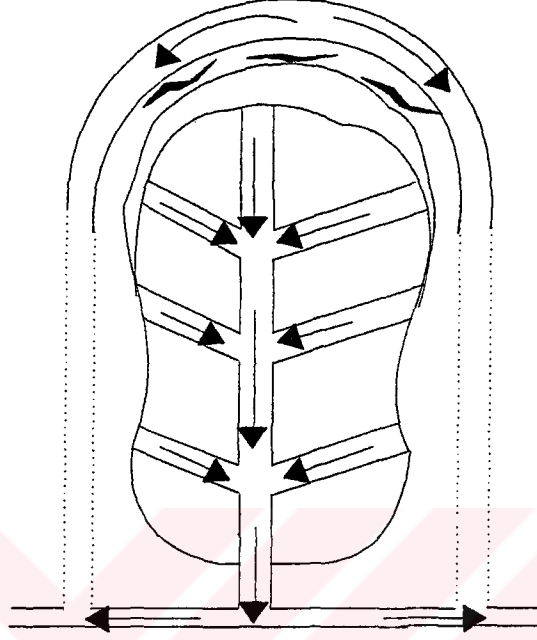
### 1.7.1 Yerüstü ve yeraltı sularının drenajı

Kitle hareketlerinin oluşmasında rol oynayan en etkin faktörlerden biri yüzey ve yeraltı sularıdır. Kayaç ve zeminlerin içerdiği boşluklara suyun dolması, boşluk suyu basıncının, kaldırma ve itme kuvvetlerinin oluşmasına neden olur. Bunlar harekete karşı koyan kuvvetleri azaltıp, hareket ettirici kuvvetleri arttırmaktadır. Diğer taraftan suya hassas zeminler ve çatlak dolgularının kıvam limitleri (atterberg limitleri) değişmekte buna bağlı olarak içsel sürtünme açısı ve kohezyonları azalmaktadır. Yamaç ya da şev yüzeylerinde hareket eden yüzey suları aşınmaya neden olarak eğik yüzeylerin eğim açısını ve yüksekliklerini değiştirip duraysızlığına neden olmaktadır. Kitle hareketi görülen sahaların da yüzey ve yeraltı sularından arındırılması gerekir.

Yüzey sularının drenajı için değişik yöntemler uygulanabilir. Doğal ve atık sular borularla hareket etmiş saha dışına çıkarılabilir. Yağış suları ise gerilme çatlakları üzerinde kafa hendekleri, hareket eden sahada ise balık sırtı ya da birbirine dik destek drenleri ile dışarı akıtılır (Şekil 1.18). Su drenle hareket eden saha dışına atıldıktan



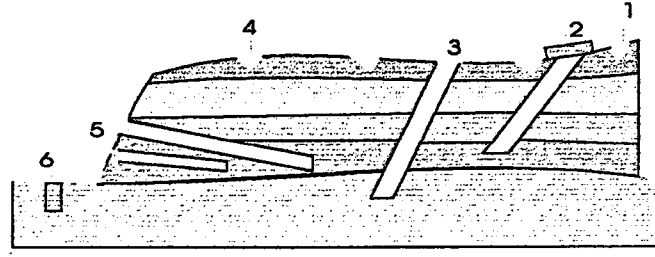
sonra yine bir kanalla uygun yan drenlere iletilir. Drenlerde çakılama yapılarak geçirimsiz malzeme ile doldurulmasının önüne geçilir.



Şekil 1.18 Heyelanlarda yüzey drenaj uygulaması.

Yeraltı suları duraysızlığın ana nedenlerinden biridir. Yeraltı suyu, kitlelerin dengesini kaldırma, itme ve boşluk suyu basıncı şeklinde etkiler. Bu etkiler hareket eden bölgedeki suyun uzaklaştırılması ile ortadan kaldırılır. Drenaj uygulanmış bir şevin duraylılığı, drenajsız yamaçtan çok daha fazladır. Bu nedenle kitle hareketlerinin meydana geldiği ya da hareket olasılığı olan yamaç ya da şevlerde düşey kuyular açılarak yeraltı suyu dışarı atılıp, yeraltı su seviyesi düşürülür ya da ortamdaki su tamamen boşaltılır. Drenaj kuyularının çapı 30 cm. civarındadır ve göçmemesi için filtreli borular yerleştirilir, gerekli hallerde çakılama yapılabilir.

Yamaç ya da şevlerde daha fazla su boşaltılması için drenaj ve galerilerden yararlanılır (Şekil 1.19). Drenaj ve galeri, yamacın hidrojeolojik koşullarına bağlı olarak yamaç içine doğru açılır. Drene edilen suyun yamaç dışına kolayca aktarılabilmesi için galeri yamaç dışına doğru eğimli yapılır.



Şekil 1.19 Yamaçlarda düşey ve yatay drenlerle yeraltı suyu düzeyinin alçaltılması.  
(Erguvanlı 1982).

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 1. Çevirme hendeki. | 4. Yüzey çatlakları. |
| 2. Kuyu.            | 5. Yatay dreni.      |
| 3. Düşey dren.      | 6. Topuk dreni.      |

### 1.7.2 Şev ve yamaçların korunması

Şev ya da yamaçların, şev açıları ile şev yüksekliği arasında duyarlılık açısından bir ilişki bulunmaktadır. Şev açısının dolayısı ile yüksekliğinin değişmesi, Yamaçların aşınmasına bağlıdır. Yüzey suları ve atmosferik dış etkiler aşınmada önemli rol oynarlar. Özellikle yüzey sularının eğik yüzeylere girmesi ve yüzeysel olarak akmasının önlenmesi gerekir. Eğik yüzeylerin aşınmasını önlemek için uygulanan pek çok yol vardır.

Eğik yüzeyler;

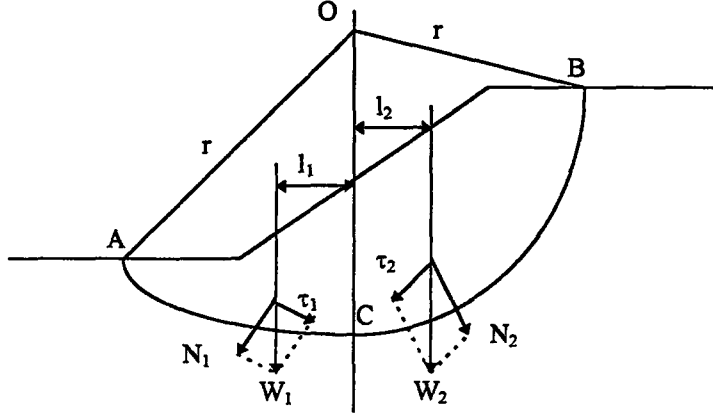
1. Bitki örtüsü (çim, ağaç, vb) ile kaplanır.
2. Taş ve beton bloklarla örtülür.
3. Püskürtme harç ve püskürtme beton ile kaplanır.
4. Çelik levha ve kaya civataları ile kaplanır.

Şev ya da yamaçların aşınmasının önlenmesinde bu usullerden biri ya da birkaçı birlikte uygulanabilir. Bu yöntemler aynı zamanda kitle hareketlerinin önlenmesinde de önemli rol oynar.

### 1.7.3 Topuğa ağırlık yapılarının inşası

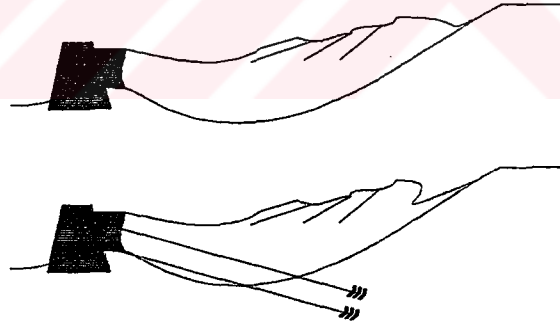
Eğrisel kayma yüzeyli kitle hareketlerinde hareket eden kitlenin Şekil 1.20 de görüldüğü gibi bir kısım harekete neden olan kuvveti, bir kısım ise harekete karşı koyan kuvveti oluşturur. Şekilde OC doğrusu solundaki kısım (topuk tarafı) harekete

karşı koyan kısımdır. Bu kısma ek ağırlık konması ile karşı koyucu kuvvetler artırılır. Bu şekilde güvenlik sayısı da artar ve harekete engel olur.



Şekil 1.20 Dairesel kayma yüzeyli bir kitle hareketini etkileyen kuvvetler. (Tarhan 1989)

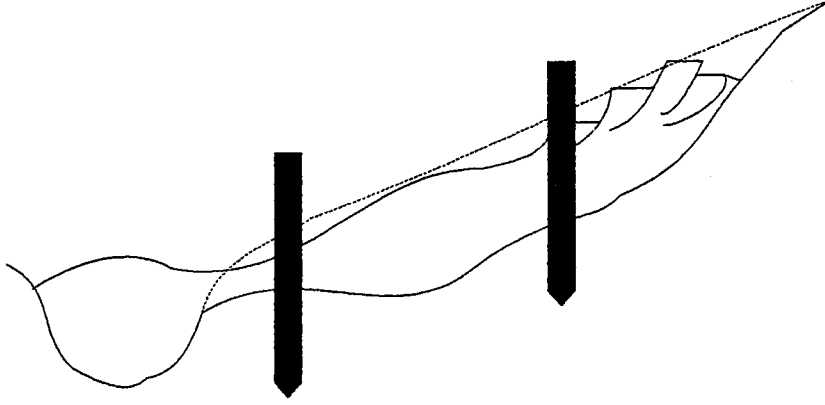
Harekete karşı koyan kuvvetlerin artırılmasının en basit şekli, hareket eden kitlenin topuğuna ahşap, beton veya çelik kazıklar çakmak ya da taş duvar örmektir. Bu yöntemlerden en iyisi betonarme duvar (istinat duvarı) inşa etmektir (Şekil 1.21).



Şekil 1.21 Kitle hareketlerinin önlenmesinde topuğa yük koyma şekilleri.

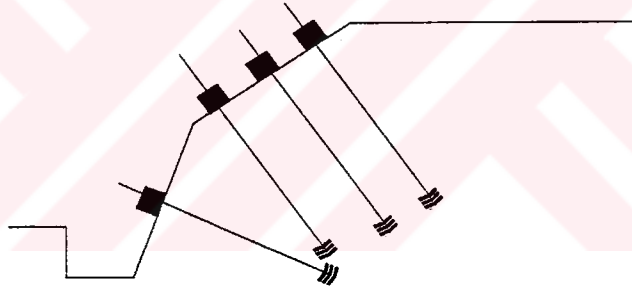
#### 1.7.4 Kazık ve kaya blonları

Zeminlerde meydana gelen sığ heyelanlarda başarı ile kullanılan bir yöntemdir. Kazıklar ahşap çelik, betonarme türünde olup işin amacına göre seçilir. Kazıklar sağlam zemin içine kadar indirilir (Şekil 1.22). Kazıklarla duraylılığın sağlanması kohezyonlu ve yüksek sürtünmeli zeminlerde daha başarılı olmaktadır. En genel halde kazık aralıkları 1-1.5 m. uzunlukları 5-10 m. arasında değişir.



Şekil 1.22 Yüzeysel (sığ) kaymalarda kazıklarla duraylılığın sağlanması.

Kayaçlarda oluşmuş eğik yüzeylerdeki hareketlere engel olmada, tünellerde duraylılığın sağlanmasında kullanılan kaya blonlarından (Rock Bolts) yararlanılmaktadır (Şekil 1.23).



Şekil 1.23 Kaya yamaçlarının kaya blonu ile duraylılığın sağlanması.

## **BÖLÜM-2**

### **HEYELAN ARAŞTIRMALARINDA KULLANILAN JEOFİZİK YÖNTEMLER**

#### **2.1 Giriş**

Heyelan sahalarında uygulanan jeofizik yöntemlerle bir heyelanın; yeryüzünde gözlenmeyen sınırları, kayma yüzeyinin derinliği, heyelan bölgesindeki değişik malzemelerin dağılım düzeni, yeraltı suyunun durumu, temel kayanın derinlik, yapı ve bileşimi gibi özellikler saptanabilir. Heyelan araştırmalarında en çok kullanılan jeofizik yöntemler elektrik ve sismik yöntemlerdir.

#### **2.2 Sismik Yöntemler**

Sismik yöntemlerde uğraşılacak soruna ve heyelanın jeofizik özelliklerine bağlı olarak P ve S dalga hızları ölçülmektedir. Heyelanlarda kayan malzeme ile alttaki temel arasındaki sınır (kayma yüzeyi) bu ortamlarda elastik dalga hızlarının farklı büyüklüklerde olması nedeniyle saptanabilir. Yapılan çalışmalarda kayan malzemenin boyuna ve enine dalga hızlarının temel kayanın hızından daha düşük olduğu anlaşılmıştır. Sınırları jeomorfolojik olarak belirlenemeyen (özellikle eski heyelanlar) heyelan sınırları, yamacın dengedeki kesiminden faylanmış kesimine geçiş çizgisi, kütlenin sismik ve elektrik özelliklerinde gözlenen süreksizlikler ve özellikle  $V_p$  ve  $V_s$  hızlarında azalma, sismik ve elektriksel anizotropi sabitleri değerinde artmalar ile belirlenebilir.

Başlıca petrol aramaları için kullanılan sismik yöntemler inşaat mühendisliğinde özellikle anakaya derinliği ve ortamın özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlar. Büyük inşaatlarda, baraj yapımlarında, otoyol ve liman inşaatlarında da yine bu yöntemden yararlanır.

Sisimik çalışmalarda enerji kaynağı olarak kara, çalışmalarında genellikle dinamit, vibroseis, ağırlık düşürme deniz çalışmalarında ise hava tabancası (airgun) ve sparker kullanılır.

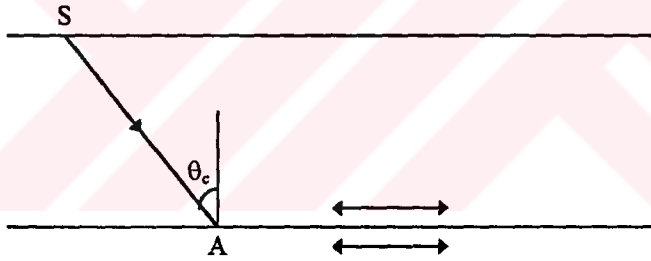
Sismik yöntem; sismik yansıma ve sismik kırılma yöntemi olarak iki kısma ayrılır. Sismik yansıma yöntemi genel olarak petrol, gaz ve derin yeraltı yapılarını araştırmada kullanılır. Mühendislik çalışmalarında ise genellikle sismik kırılma yöntemi uygulanır.

### 2.2.1 Sismik kırılma yöntemi

Kırılma yönteminin esası yansıma yöntemine benzer. Fakat kırılma çalışmaları çoğu aletlerde düşük frekans cevabı gerektirdiğinden, kırılma çalışmasında kullanılan aletler yansıma çalışmasında kullanılan aletlerden farklıdır.

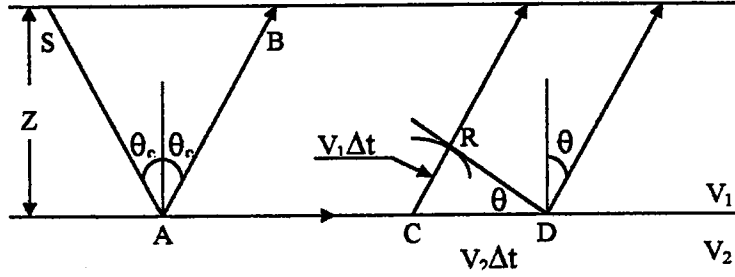
### 2.2.2 Öncü dalgalar (Head waves)

Yansıtıcı yüzeye kritik açıyla gelen dalgalar yüzey boyunca kırılarak yayılırlar. Bunlara öncü dalgalar denir. Şekil 2.1 de yansıtıcı yüzeye bir  $\theta_c$  kritik açıyla gelen bir P-dalgası görülmektedir. Kırılmadan sonra bu dalga yüzey boyunca aşağıdaki ortamda yol alacaktır (Telford ve diğ. (1976), Dobrin (1976)).



Şekil 2.1 İki ortamın sınırında öncü dalganın hareketi.

Bu hareket arakesitin hemen altında ve ona paralel salınımlı bir harekettir. İki ortam arasında bağımlı bir hareket mümkün olmadığından yukarıdaki ortam aşağıdaki ortamın fazı ile aynı fazda bir harekete zorlanır. Yukarıdaki ortam içinde hareket eden dalganın hızı aşağıdaki ortamın hızı ile aynıdır. Şekil 2.2 de oklarla gösterilmiş olan bu hareket bir  $t$  anında C noktaya ulaşmış olsun. Huygens prensibine göre C noktası yukarıdaki ortam içine dağılan bir dalganın merkezi olur.  $\Delta t$  kadar bir zaman sonra dalga  $V_1 \Delta t$  yarıçapına sahip olacaktır. Ayrıca  $\Delta t$  süresinde yayılarak D ye gelecek ve  $CD$ ,  $V_2 \Delta t$  ye eşit olacaktır. D den  $V_1 \Delta t$  yarıçapına teğet çizerek RD dalga yüzeyini elde ederiz. Böylece aşağıdaki ortamda arakesit boyunca kırılmış dalganın yolu yukarıdaki ortamda  $\theta$  açısıyla yukarı doğru hareket eden bir düzlem dalga oluşturur.



Şekil 2.2 Kritik açıda yansıtıcı yüzeyden ortaya çıkan bir dalga yüzeyi.

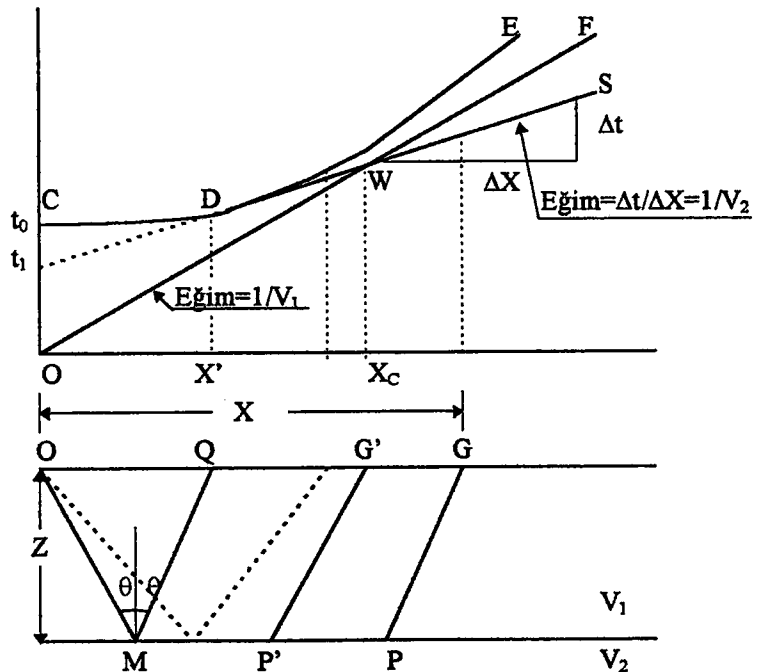
$$\sin\theta = \frac{V_1\Delta t}{V_2\Delta t} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.1)$$

Böylece  $\theta = \theta_c$  olduğu ve izin her iki kısmının yansıtıcı yüzeyin normaline göre simetrik olarak dağıldığı görülmektedir. Waters (1978)

Şekil 2.2 de görüldüğü gibi kritik açıda diğer ortama geçiş katsayısı (transmission coefficient) sıfırdır. Bundan dolayı öncü dalgalarının hiç enerji taşımadıkları düşünülebilir. Öncü dalgaları Şekil 2.2 deki SB den küçük ofsetlerde gözlenemezler.

$$X = SB = 2Z \tan\theta_c = 2Z \tan\left[\sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)\right] = 2Z \left[\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 - 1\right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

### 2.2.3 Yatay bir yansıtıcı yüzeyde kırılma



Şekil 2.3 Yansıma ve kırılma izleri ile seyahat zamanı eğrileri arasındaki ilişkiler.

Şekil 2.3 ün aşağı kısmı hızları  $V_1$  ve  $V_2$  olan ( $V_2 > V_1$ ) iki ortamı ayıran yatay bir yüzeyi göstermektedir. G deki bir jeofon için kırılmış bir dalga izi OMPG dir.  $\theta$  ise kritik açığı göstermektedir. Geliş zamanı  $t$  şöyle bulunur.

$$\begin{aligned} t &= \frac{OM}{V_1} + \frac{MP}{V_2} + \frac{PG}{V_1} = \frac{MP}{V_2} + 2 \frac{OM}{V_1} = \\ &= \frac{x - 2z \tan \theta}{V_2} + \frac{2z}{V_1 \cos \theta} = \\ &= \frac{x}{V_2} + \frac{2z}{V_1 \cos \theta} \left( 1 - \frac{V_1}{V_2} \sin \theta \right) \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \sin &= \frac{V_1}{V_2} \\ t &= \frac{x}{V_2} + \frac{2z \cos \theta}{V_1} \end{aligned} \quad (2.4)$$

elde edilir. Eğer

$$t_1 = \frac{2z \cos \theta}{V_1} \quad (2.5)$$

ile gösterilirse

$$t = \frac{x}{V_2} + t_1 \quad (2.6)$$

olarak yazılabilir.

(2.4) denkleminde eğim  $1/V_2$  dir ve (2.6) denkleminde  $t_1$  zaman eksenini kesen kesim (intercept) zamanını, gösterir. Bu Şekil 2.3 ün yukarı kısmında verilmektedir.

Şekilde OMQ bir yansımış veya kırılmış dalganın başlangıcı olarak kabul edilebilir. OMP'G' ve OMPG ise kırılmaları göstermektedir. DWS kırılmaya karşılık gelen zaman-uzaklık eğrisidir.  $x'$  den daha kısa ofsetlerde kırılmış dalgalar ortaya çıkmayacağından böyle mesafelerde DWS doğru denkleminin fiziksel hiçbir anlamı yoktur.

Burada çözülecek problem  $z$  derinliği ile  $V_1$   $V_2$  hızlarının bulunmasıdır. Direkt gelen dalganın zaman uzaklık eğrisinin eğiminden  $V_1$  ve kırılma eğrisinin eğiminden ise  $V_2$



bulunur. Kritik açı  $\theta$ ,  $\theta = \sin^{-1}\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$  eşitliğinden elde edilir. Grafikten kesim (intercept) zamanı  $t_1$  bulunarak (2.7) denkleminde yerine konur ve  $z$  elde edilir.

$$z = \frac{V_1 t_1}{2 \cos \theta} \quad (2.7)$$

Şekil 2.3 de yansıtıcı yüzeyden olan yansıma CDE hiperbolü ile direkt olarak gelen dalga ise düz bir çizgi OF ile gösterilmektedir. Yansım ve kırılma-zaman uzaklık eğrileri  $x=x'$  olan D noktasında çakışmalıdır. Yansıma zaman-uzaklık eğrisinin eğimini bulmak için  $V_1^2 t^2 = x^2 + 4h^2$  denkleminin türevi alınır.

$$\begin{aligned} \left[ \frac{dt}{dx} \right]_{x=x'} &= \left[ \frac{x}{V_1^2 t} \right]_{x=x'} = \frac{1}{V_1} \left[ \frac{OQ}{OM + MQ} \right] = \\ &= \frac{1}{V_1} \left( \frac{\frac{1}{2} OQ}{OM} \right) = \frac{1}{V_1} \sin \theta = \frac{1}{V_2} \end{aligned} \quad (2.8)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi  $x=x'$  olan D noktasında yansıma ve kırılma eğrileri aynı eğime sahiptirler ve bu noktada yansıma eğrisi kırılma eğrisine teğettir. Eğer aynı yansıtıcı yüzeyden yansımış ve kırılmış dalgaların aynı jeofona gelmeleri mukayese edilecek olursa D noktası hariç kırılmış dalganın geliş zamanı yansımış dalganın geliş zamanından daima azdır. Kırılma için  $t_1$  kesim zamanı atış noktasında yansıma geliş zamanı  $t_0$  dan daima küçüktür. Çünkü

$$t_1 = \frac{2z}{V_1} \cos \theta \quad (2.9)$$

$$t_0 = \frac{2z}{V_1} \quad (2.10)$$

Böylece  $t_1 < t_0$  olduğu görülür. (Sheriff R.E. and Geldart, L.P, 1982)

O noktasından başlayarak direkt gelen dalganın yansıma ve kırılma dalgalarının önünde olduğu görülür. Çünkü onun izi diğerlerinden daha kısadır. Bununla beraber kırılmış dalga izinin bir kısmı  $V_2$  hızı ile hareket eder ve  $x$  mesafesi artarken kırılmış dalga direkt gelen dalganın önüne geçer. Bu iki dalganın geliş zamanı W noktasında birbirine eşittir. Eğer W'nin ofseti  $X_c$  ise

$$\frac{X_c}{V_1} = \frac{X_c}{V_2} + \frac{2z}{V_1} \cos \theta \quad (2.11)$$

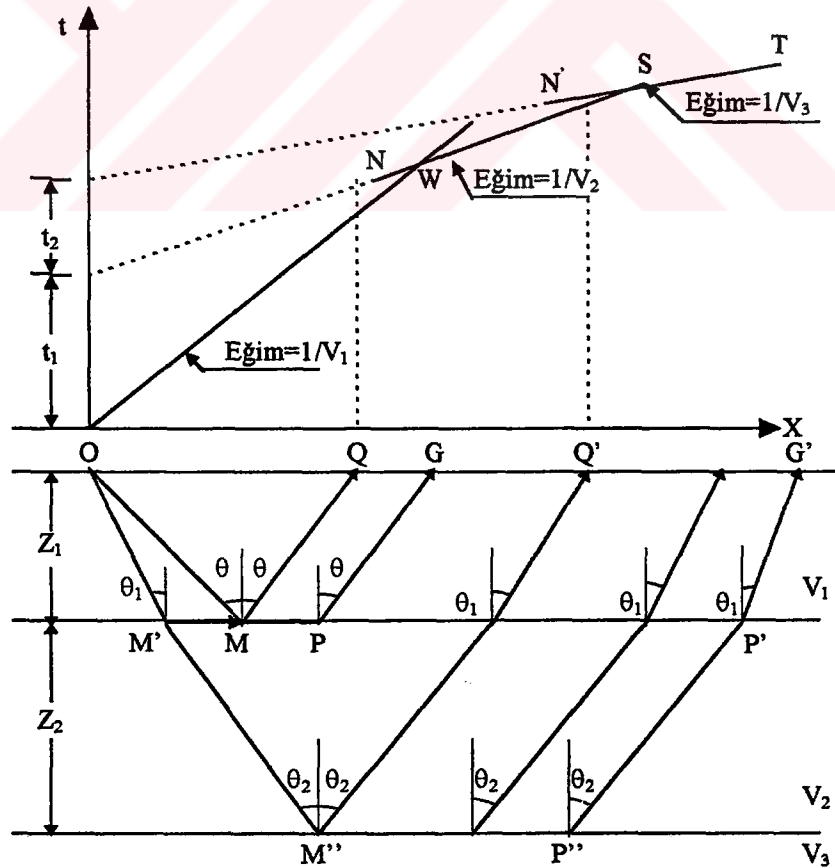
$$z = \frac{X_c \left(1 - \frac{V_1}{V_2}\right)}{\cos \theta} = \frac{X_c \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2}\right) V_2}{(V_2^2 - V_1^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.12)$$

$$z = \frac{X_c \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}\right)^{\frac{1}{2}}}{2}$$

Bu bağıntı bazen  $z$  yi ve  $X_c$  yi hız değerlerinden faydalanarak bulmak için kullanılır. Fakat biz genellikle  $t_1$  i  $X_c$  den daha iyi bir doğrulukla elde ettiğimiz için (2.10) denklemini  $z$  yi bulmak için kullanırız.

#### 2.2.4 Birçok yatay kırılma yüzeyinin bulunması hali

Şekil 2.4 de üç tane birbiri üzerinde paralel uzanan  $V_1$ ,  $V_2$  ve  $V_3$  hızlarına sahip tabakalar ve onların zaman uzaklık eğrileri gösterilmektedir.  $V_3 > V_2 > V_1$  ve  $\theta_1$  in kritik açıdan küçük olması durumunda  $\theta_2$  kritik açı olmaktadır. Burada OMPG kırılma izine WS doğrusu karşılık gelir.



Şekil 2.4 İki Yansıtıcı yüzey için dalga izleri ve seyahat zamanı eğrileri.

Yansıma izi  $OM'M''P''P'G'$  için Snell kanununu yazarsak,

$$\frac{\sin\theta_1}{V_1} = \frac{\sin\theta_2}{V_2} = \frac{1}{V_3} \quad (2.13)$$

seyahat zamanı eğrisi ST için;

$$\begin{aligned} t &= \frac{OM' + GP'}{V_1} + \frac{M'M'' + P'P''}{V_2} + \frac{M''P''}{V_3} = \\ &= \frac{2z_1}{V_1 \cos\theta_1} + \frac{2z_2}{V_2 \cos\theta_2} + \frac{x - 2z_1 \tan\theta_1 - 2z_2 \tan\theta_2}{V_3} = \\ &= \frac{x}{V_3} + \frac{2z_2}{V_2 \cos\theta_2} \left(1 - \frac{V_2}{V_3} \sin\theta_2\right) + \frac{2z_1}{V_1 \cos\theta_1} \left(1 - \frac{V_1}{V_3} \sin\theta_1\right) \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$t = \frac{x}{V_3} + \frac{2z_2}{V_2} \cos\theta_2 + \frac{2z_1}{V_1} \cos\theta_1 \quad (2.15)$$

$$t = \frac{x}{V_3} + t_2 + t_1 \quad (2.16)$$

elde edilir.

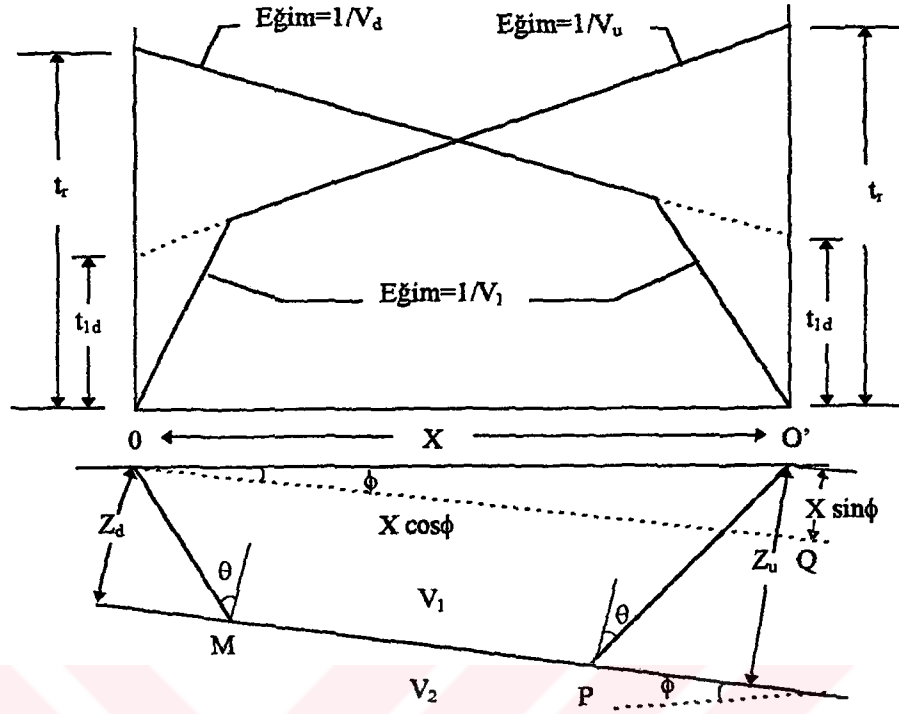
Böylece ikinci tabakanın tabanından olan kırılma eğrisinin eğimi  $1/V_3$  olan bir doğru olduğu görülmektedir. Bu doğrunun t eksenini kesme zamanı kırılma yüzeyinin üzerindeki her bir tabakanın  $\frac{2z_i}{V_i} \cos\theta_i$  terimlerinin tamamına eşittir. O halde 2 tabakalı durum n tabaka için genelleştirilirse,

$$t = \frac{x}{V_n} + \sum \frac{2z_i}{V_i} \cos\theta_i \quad (2.17)$$

elde edilir. Burada  $\theta_i = \sin^{-1}\left(\frac{V_i}{V_n}\right)$  dir. Bu denklem herbir serinin kalınlık ve hızlarını bulmak için kullanılır. (Grant & West, 1965)

### 2.2.5 Eğimli bir yansıtıcı yüzeyde kırılma

Şekil 2.5 de eğimli bir yansıtıcı yüzey ve bu yansıtıcı yüzeyden kırılmış dalgaların zaman uzaklık eğrileri gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Eğimli bir yansıtıcı yüzey için dalga izleri ve zaman uzaklık eğrileri.

Eğer dalganın  $OMPO'$  yolunu alması için geçen zaman  $t$  ise

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{OM + O'P}{V_1} + \frac{MP}{V_2} = \\
 &= \frac{z_d + z_u}{V_1 \cos \theta} + \frac{OQ - (z_d + z_u) \cos \theta}{V_1} \cos \theta \\
 t &= \frac{x \cos \phi}{V_2} + \frac{z_d + z_u}{V_1} \cos \theta
 \end{aligned} \tag{2.18}$$

elde edilir. Eğer atış noktası  $O$  ya ve  $O'$  ye birer jeofon yerleştirilirse o zaman aşağıya doğru atış yaparız. Bu durumda  $t$  yi atış noktasından kırıcı yüzeye olan uzaklık  $z_d$  cinsinden yazmak kolaylık sağlar.

$$z_u = z_d + x \sin \phi \tag{2.19}$$

yazarak  $z_u$  yu yok ederiz.  $t_d$  yi aşağı eğim varış zamanı olarak gösterirsek,

$$\begin{aligned}
 t_d &= \frac{x \cos \phi}{V_2} + \frac{x}{V_1} \cos \theta \sin \phi + \frac{2z_d}{V_1} \cos \theta = \\
 &= \frac{x}{V_1} \sin(\theta + \phi) + \frac{2z_d}{V_1} \cos \theta = \\
 &= \frac{x}{V_1} \sin(\theta + \phi) + t_{1d}
 \end{aligned} \tag{2.20}$$

$$t_d = \frac{x}{V_1} \sin(\theta + \phi) + t_{1d} \quad (2.21)$$

$$t_{1d} = \frac{2z_d}{V_1} \cos\theta \quad (2.22)$$

Eğer atış yukarı eğim yönünde yapılıyorsa aynı şekilde  $z_d$  yok edilerek

$$t_u = \frac{x}{V_1} \sin(\theta - \phi) + t_{1u} \quad (2.23)$$

$$t_{1u} = \frac{2z_u}{V_1} \cos\theta \quad (2.24)$$

elde edilir. Burada dikkat edilecek bir nokta aşağı eğim yönünde O dan O' ye geçen seyahat zamanının O' den O ya aksi istikamette geçen seyahat zamanına eşit olduğudur. Bu atış noktasından atış noktasına olan seyahat zamanı karşılıklı (reciprocal) seyahat zamanı olarak bilinir ve  $t_r$  ile gösterilir.

Bu denklemler (2.6) da olduğu gibi de gösterilebilir.

$$t_d = \frac{x}{V_d} + t_{1d} \quad (2.25)$$

$$t_u = \frac{x}{V_u} + t_{1u} \quad (2.26)$$

Burada

$$V_d = \frac{V_1}{\sin(\theta + \phi)} \quad \text{ve} \quad V_u = \frac{V_1}{\sin(\theta - \phi)} \quad (2.26)$$

$V_d$  ve  $V_u$  zahiri hızlar olarak bilinir ve zaman-uzaklık eğrisinin eğiminden bulunur.

Şekil 2.5 deki her iki zıt profil için (2.26) denklemlerinden eğim  $\phi$  ve kritik açı  $\theta$  bulunur.

$$\theta = \frac{1}{2} \left[ \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_d} \right) + \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_u} \right) \right] \quad (2.27)$$

$$\phi = \frac{1}{2} \left[ \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_d} \right) - \sin^{-1} \left( \frac{V_1}{V_u} \right) \right] \quad (2.28)$$

Kırıcı yüzeye olan derinlikler  $Z_d$  ve  $V_u$  ise (2.21) (2.22) (2.23) (2.24) denklemleri kullanılarak bulunur. (2.26) denklemini  $\phi$  nin çok düşük olmasından dolayı basite indirgenebilir.

$\text{Cos}\phi \cong 1$  ve  $\text{sin}\phi \cong \phi$  kabul ederek,

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{V_d} &= \text{Sin}(\theta + \phi) \cong \text{Sin}\theta + \text{Cos}\phi \\ \frac{V_1}{V_u} &= \text{Sin}(\theta + \phi) \cong \text{Sin}\theta + \phi \text{Cos}\theta \end{aligned} \quad (2.29)$$

Buradan

$$\text{Sin}\theta = \frac{V_1}{V_2} \approx \frac{V_2}{2} \left( \frac{1}{V_d} + \frac{1}{V_u} \right) \quad (2.30)$$

Böylece

$$\frac{1}{V_2} \cong \frac{1}{2} \left( \frac{1}{V_d} + \frac{1}{V_u} \right) \quad (2.31)$$

elde edilir.

$V_2$  için daha basit fakat daha az doğruluklu bir formül (2.27) deki denklemlerde  $\phi$  yeteri kadar küçük kabul edilip Binom teoreminin uygulanmasıyla elde edilir. O zaman  $\phi$  nin yüksek dereceleri ihmal edilecektir.

$$V_d = \frac{V_1}{\text{Sin}\theta} (\text{Cos}\phi + \text{Cot}\theta \text{Sin}\phi)^{-1} \approx V_2 (1 - \phi \text{Cot}\theta) \quad (2.32)$$

$$V_u = V_2 (1 + \phi \text{Cot}\theta) \quad (2.33)$$

$$V_2 \approx \frac{1}{2} (V_d + V_u) \quad (2.34)$$

elde edilir. Çıkarılan bu denklemlerin pratikte kullanımı sınırlıdır. Eğer ikiden fazla kırılma yüzeyi varsa bunların yukarı-eğim ve aşağı-eğim kısımlarını iyi bir doğrulukla bulmak çok zordur.

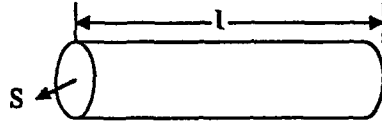
### 2.3 Özdirenç (Rezistivite) Yöntemi

Yeraltında iletken cevherlerin aranmasında, tabakaların özdirenç ve iletkenliklerinin belirlenmesinde, heyelanlarda yamaç stabilitesinin saptanmasında elektrik özdirenç

yöntemi uygulanır. Özdirenç yöntemi elektrik özdirenç sondajı ve elektrot açıklığı sabit tutulmak üzere dizilim kaydırılması ile yapılan haritalama çalışması olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Haritalama çalışması ile belli bir derinlik dahilindeki yanıl süreksizlikler incelenir. Özdirenç sondajı uygulamasıyla özdirençin derinlikle değişimi belirlenerek kayan kitlenin kalınlığı, kayma düzleminin konumu ortaya çıkarılır.

### 2.3.1 Temel kavramlar

#### 2.3.1.1 Özdirenç (Rezistivite) ( $\rho$ )



Şekil 2.7 İletken silindir  
l :Silindir boyu  
S :Silindirin enine kesiti

l uzunluğundaki bir silindirin direnci R ve enine kesiti S ise özdirenç

$$\rho = \frac{RS}{l} \text{ (ohm.m)} \quad (2.35)$$

olarak elde edilir.

#### 2.3.1.2 İletkenlik ( $\sigma$ )

Bir voltaj uygulandığı zaman bir materyalin elektriği geçirme yeteneğine iletkenlik denir. İletkenlik özdirençin tersi ile gösterilir.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \text{ (mho/m)} \quad (2.36)$$

#### 2.3.1.3 Elektriksel iletkenlik

Elektrik akımı kaya ve mineraller için üç yolla olur.

1. Elektronik iletkenlik; metallerde olduğu gibi elektrik akımı serbest elektronlarla yapılır.
2. Elektrolitik iletkenlik; bir elektrolitte elektrik akımı iyonlarla taşınır.

3. Dielektrik iletkenlik; zayıf iletkenlerde veya yalıtkanlarda görülür. Ancak harici elektrik alanın zamanla değişimi sonucu akım akışı oluşur.

### 2.3.1.3 İletkenliğe etki eden etmenler

Kompakt kayaçların öz dirençleri fazla olduğu için iletkenlikleri azdır. Gözenekli kayaçlarda iletkenlik daha ziyade elektrolitik yolla olur. Kayacın gözenekleri suyla dolar ve su içinde ise çeşitli iyonlar bulunabilir. Böyle durumlarda öz direnç iyonların yoğunluğuna, hareketliliğine ve çözünürlüğüne bağlı olarak artar. Gözenekli kayaçların iletkenliği hacim ve boşlukların dizilimi ile ihtiva edilen suyun miktarı ve iletkenliğine bağlı olarak değişir.

### 2.3.1.4 Ohm kanunu

Pasif bir devre elemanı üzerinde bir doğru akım geçtiği zaman bu devre elemanı üzerinde meydana gelen potansiyelin elemandan geçen akıma oranı sabittir. Bu oran direnç olarak tarif edilir.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.37)$$

Burada R direnç,  $\Delta V$  potansiyel ve I ise akımı göstermektedir. Eğer pasif eleman üç boyutlu homojen ve izotrop olursa, bu durumda ohm kanununun diferansiyel şekli

$$E = \rho J \quad (2.38)$$

olur. Burada E potansiyel gradyenti, J akım yoğunluğu ve  $\rho$  ortamın öz direncidir.

Ohm kanunu, deneysel bir kanundur ve lineerdir. Bu nedenle uygulamalarda belirli koşulların ortaya konması gerekir. Örnek olarak yere yüksek akım verildiği zaman ohm kanununda bazı sapmalar meydana gelir. Lineerliğin korunması için bilhassa elektrot civarında alçak akım yoğunlukları tercih edilmelidir (1 Amp/m<sup>2</sup> gibi).

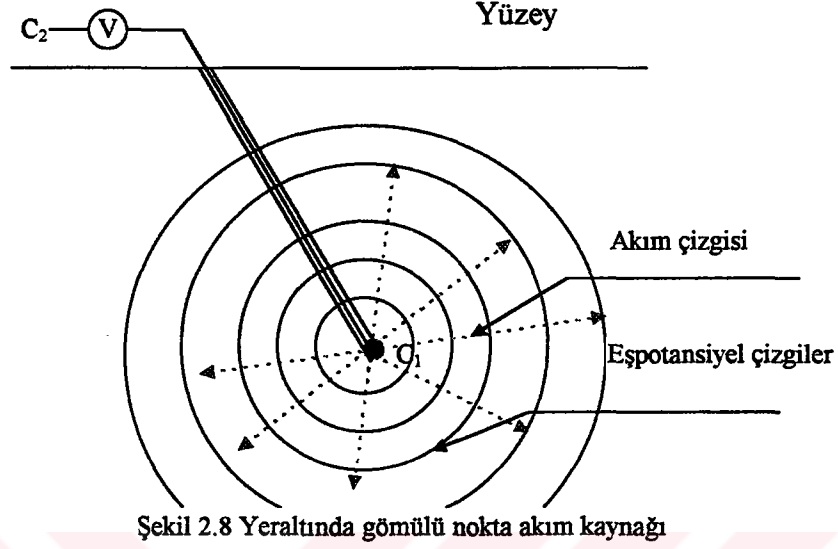
E, elektrik alanının konservatif olmasından,

$$\begin{aligned} E &= -\nabla V \\ J &= \sigma(-\nabla V) \end{aligned} \quad (2.39)$$

yazılabilir. V volt olarak ölçülür.



### 2.3.2 Yeraltında gömülü nokta akım kaynağı olması durumu



Şekil 2.8 Yeraltında gömülü nokta akım kaynağı

Homojen izotrop bir ortam içinde gömülü bir elektrot düşünelim. Burada elektrotun biri kuyuda veya gömülü olabilir. Devre yüzeyde bulunan diğer elektrotla tamamlanır. Uzağa konan bu elektrotun etkisi ihmal edilecek ölçüdedir.

Sistemin simetrisinden dolayı potansiyel sadece  $r$  nin bir fonksiyonu olur. Burada  $r$  birinci elektrottan olan uzaklıktır. Bu durumda küresel koordinatlardaki Laplace denklemi (2.40)

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \phi^2} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \phi} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{\cot \phi}{r^2} \frac{\partial V}{\partial \phi} = 0 \quad (2.40)$$

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (2.41)$$

şeklini alır (2.41). Her iki tarafı  $r^2$  ile çarparsak

$$\begin{aligned}
r^2 \nabla^2 V = 0 &\Rightarrow r^2 \int \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} = \int 0 \\
r^2 \frac{\partial V}{\partial r} = A &\Rightarrow \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{A}{r^2} \\
\int \partial V = \int \frac{A}{r^2} \partial r &\Rightarrow V = \int A r^{-2} \partial r = -A r^{-1} + B \\
V &= -\frac{A}{r} + B
\end{aligned} \tag{2.42}$$

bulunur. Burada A ve B birer sabittir.

V nin sıfır olması için  $r \rightarrow \infty$  gideceğinden  $B=0$  bulunur. Ayrıca akım nokta elektrottan dışarıya doğru radial olarak yayıldığından küresel bir yüzeyi geçen toplam akım  $I=4\pi r^2 J$  olarak yazılır. Burada J akım yoğunluğudur. (Koefoed, 1979)

$$E = \rho J \Rightarrow -\nabla V = \rho J \quad J = \frac{-\nabla V}{\rho} = \alpha(-\nabla V) \tag{2.43}$$

Buna göre

$$I = -4\pi r^2 \sigma \nabla V = -4\pi r^2 \sigma \frac{\partial V}{\partial r} \tag{2.44}$$

olarak yazılır.  $A = r^2 \frac{\partial V}{\partial r}$  olduğuna göre formül (2.42)

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi} \tag{2.45}$$

$$I = -4\pi\sigma A \tag{2.46}$$

olarak bulunur. Formül (2.42) de elde edilen V eşitliğinde  $B=0$  ve alınarak A değeri yerine yazılırsa

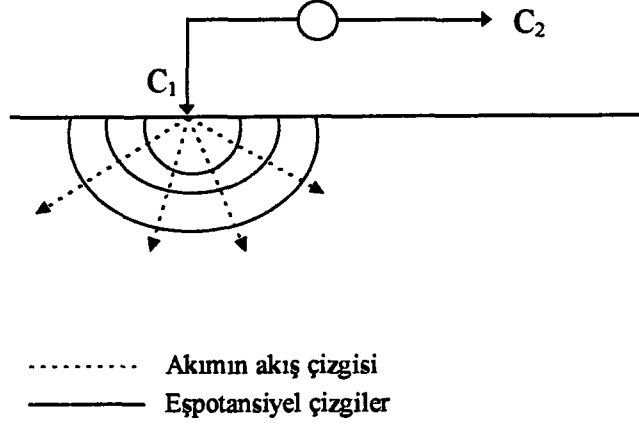
$$V = \frac{\rho I}{4\pi r} \tag{2.47}$$

elde edilir. (2.47) eşitliğinden öz direnç ( $\rho$ )

$$\rho = 4\pi r \frac{V}{I} \tag{2.48}$$

olarak bulunmuş olur. Eşpotansiyel yüzeyler akım çizgilerine her yönde ortogondur ve r sabit olan bir küresel yüzeydir.

### 2.3.3 Yüzeyde nokta akım kaynağı olması durumu



Şekil 2.9 Yüzeyde nokta akım kaynağı.

Eğer akım elektrodu yüzeye yerleştirilirse yukarıdaki hava sıfır iletkenliğe sahip olduğundan sınır şartları aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{cases} r \rightarrow \infty & V = 0, \quad B = 0 \\ z = 0 & \frac{dV}{dz} = 0, \quad \sigma_{\text{hava}} = 0 \end{cases}$$

Bu nedenle akışın tümü aşağıdaki ortam içine akar. Bu durumda

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.49)$$

olur. (2.49) eşitliği (2.42) de bulunan  $V$  ifadesinde yerine konulursa

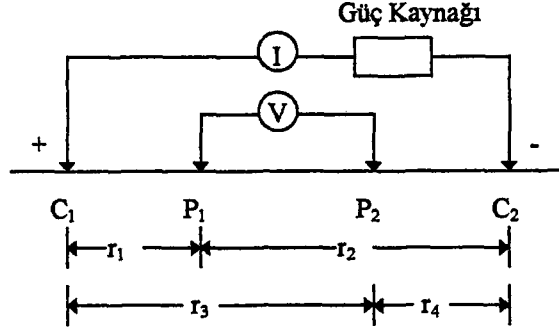
$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.50)$$

elde edilir ve öz direnç aşağıdaki gibi bulunur.

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.51)$$

Burada eşpotansiyel yüzeyler yarı küresel yüzeyler olup, akım çizgilerine diktir.

### 2.3.4 Yüzeyde iki elektrot bulunması durumu



Şekil 2.10 Özdirenci  $\rho$  olan homojen izotrop bir ortamda yüzeyde iki akım ve potansiyel elektrodu.

Burada  $C_1$  den dolayı  $P_1$  deki potansiyel

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad (A_1 = -\frac{\rho I}{2\pi}) \quad (2.52)$$

şeklinde. Benzer şekilde  $C_2$  ve  $P_2$ 'ye göre potansiyel ifadesi aşağıdaki gibi verilir.

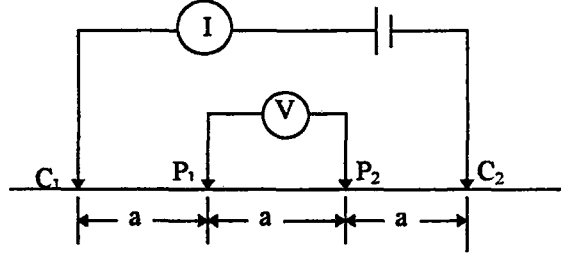
$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \quad (A_2 = \frac{\rho I}{2\pi} = -A_1) \quad (2.53)$$

Akım elektrodundaki akımlar, birbirine eşit fakat ters yönlüdür. Burada ölçülen  $\Delta V$  potansiyel farkı aşağıdaki eşitlikle verilir (2.54). (Kurtuluş, 1995)

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (2.54)$$

### 2.3.5 Elektrot dizilim şekilleri

#### 2.3.5.1 Wenner elektrot dizilimi :



Şekil 2.11 Wenner elektrot dizilimi.

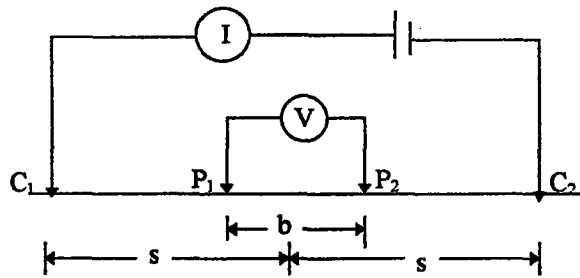
Geometrik faktör

$$K_w = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a}} = 2\pi a \quad (2.55)$$

Görünür öz direnç

$$\rho_w = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.56)$$

#### 2.3.5.2 Schlumberger elektrot dizilimi :



Şekil 2.12 Schlumberger elektrot dizilimi.

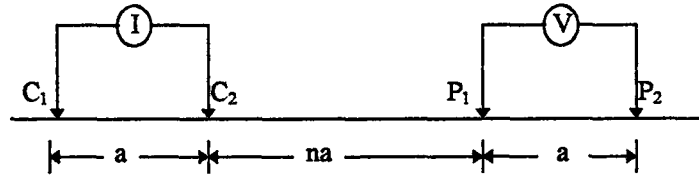
Geometrik faktör

$$K = \pi \left( \frac{s}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad (2.57)$$

Görünür öz direnç

$$\rho_s = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.58)$$

2.3.5.3 Dipol-dipol elektrot dizilimi :



Şekil 2.13 Dipol-dipol elektrot dizilimi.

$$V_{dd} = \frac{\rho I}{2\pi} \left\{ \left[ \frac{1}{na} - \frac{1}{(n+1)a} \right] - \left[ \frac{1}{(n+1)a} - \frac{1}{(n+2)a} \right] \right\} \quad (2.59)$$

Geometrik faktör,

$$K_{dd} = \frac{2\pi a}{\frac{1}{n} - \frac{2}{n+1} + \frac{1}{n+2}} = a\pi n(n+1)(n+2) = 2\pi aG \quad (2.60)$$

Burada G

$$G = \frac{1}{2}n(n+1)(n+2) \text{ olup}$$

n=1 için	G=3
n=2 için	G=12
n=3 için	G=30
n=4 için	G=60

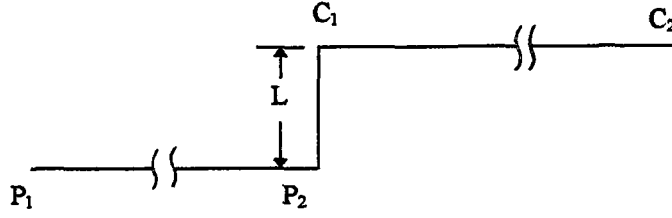
değerlerini almaktadır.

G sabit olduğundan geometrik faktör a elektrot aralığı ile değişir.

Görünür öz direnç

$$\rho_{s,dd} = 2\pi aG \frac{V}{I} \quad (2.61)$$

### 2.3.5.4 İki nokta elektrot dizilimi :



Şekil 2.14 İki elektrot dizilimi.

Geometrik faktör

$$K=2\pi L \quad (2.62)$$

Görünür öz direnç

$$\rho_L = 2\pi L \frac{\Delta V}{I} \quad (2.63)$$

### 2.5.5 Elektrot açılımlarının karşılaştırılması

Elektrot açılımlarının birbirinden üstün tutulması ele alınan jeolojik problem ve açılım uzaklığına göre değişir. Schlumberger açılımında (Şekil 2.12) simetri merkezindeki elektrik alan ölçülmeye çalışılır. Teorik olarak  $C_1$  ve  $C_2$  akım elektrotları arasını açtıkça elektrik alanını ölçmek için M N potansiyel elektrotlarının yerdeğiştirmesine gerek yoktur. Ancak açılım uzaklığı arttıkça M ve N arasındaki potansiyel ölçülemeyecek kadar küçük olur. Bunun için MN uzaklığı aşağıdaki limitler arasında tutulur.

$$AB/2 \text{ veya } AB/20 < MN < AB/4 \text{ veya } AB/3$$

Örneğin MN, AB/3 kadar alınarak ölçülere başlanabilir ve AB/20 veya AB/50 oranına kadar yerdeğiştirmeden sabit tutulabilir. Potansiyel elektrotlarını açmak zorunda kalındığında aynı akım elektrotları uzaklığı için MN'nin iki ayrı konumunda ölçü almak gerekir. Bu işlem ard arda gelen birkaç nokta için tekrarlanmalıdır. Bunun nedeni,

MN uzaklığına bağlı olarak görünür özdirenç eğrisinin kesikli parçalar halinde elde edilmesidir. Kesikli parçaların sağlıklı birleştirilmesi için bu tekrara gerek vardır.

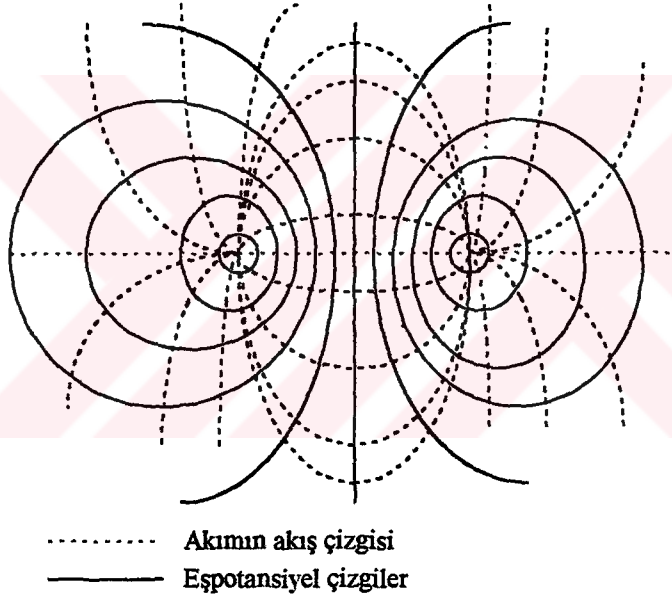
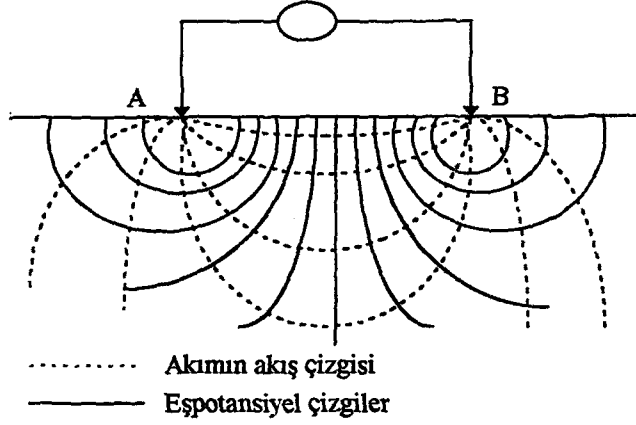
Wenner (Şekil 2.11) ve Schlumberger diziliminin karşılaştırılmasında ise her iki eletrot diziliminde aynı akım penetrasyonuna sahip olduğu, ancak araştırma derinliğinin Schlumberger’de daha fazla olduğu görülür. Aynı açılım uzaklığı için, Wenner’de potansiyel elektrotları arasının daha büyük olması voltaj ölçümünün daha duyarlı olmasını sağlar. Fakat ölçü duyarlılığında da önemli olan, Schlumberger’in yatay heterojinitelere karşı daha az hassas olmasıdır. Bu özellik açısından en avantajlı açılım türüdür. Bu avantaj, bir seri ölçüm sırasında potansiyel elektrotlarının yerdeğiştirmesinden dolayı oluşur.

Dipol açılımında (Şekil 2.13), akım ve potansiyel elektrotları birer çift oluşturduklarından yalnız dipol boyutları kadar kablo gerekir. Diğer açılımlarda, kablo büyük uzaklıklara çekildiğinden dolayı yüksek voltajdan doğan akım sızıntısı artabilir. Ancak, nokta akım kaynağı alanı uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azaldığı halde, dipol alan uzaklığın kübü ile ters orantılı olarak azalır. Bu ise dipol açılımının kullanılması durumunda çok duyarlı potansiyel ölçümünü gerektirir ve potansiyeli kağıda çizen kaydedicilerin kullanma zorunluluğu ortaya çıkar. Dipol açılımlarının en büyük avantajı ise, diğer açılımlarda elektrotların bir doğru boyunca dizilmeleri gerektiği halde, ormanlık ve sarp arazilerde dipol sondajın bükümlü çizgiler boyunca yürütülmesidir. En zayıf yanı ise, yanal özdirenç ve eğimli katmanlara karşı çok duyarlı olmasıdır.

Bu karşılaştırmalar sonucunda, genel olarak sığ araştırmalar için Wenner, derin araştırmalar için Dipol açılımının kullanılabilceği söylenebilir. Schlumberger hem sığ, hem de derin araştırmalarda kullanılabilir.



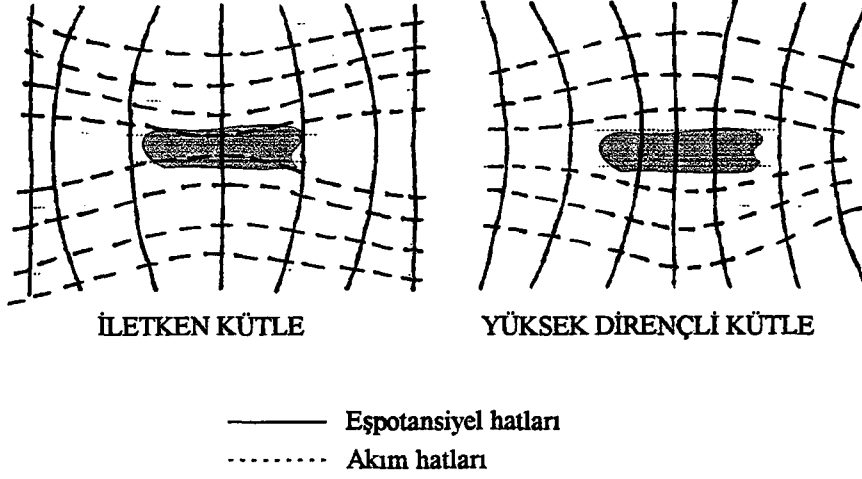
### 2.3.6 Yüzeyde elektrotlar arasında akım akışı ve potansiyeller



Şekil 2.15 Homojen ortamda akım ve eşpotansiyel eğriler.

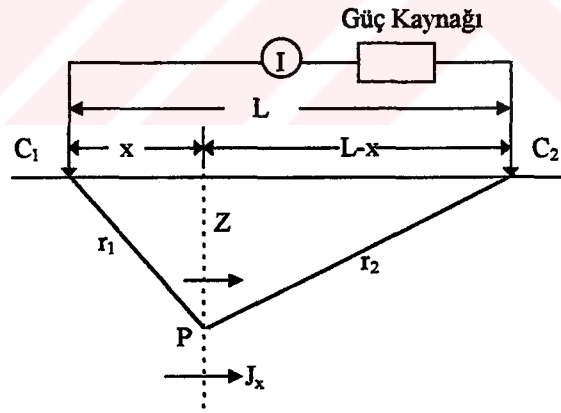
İki noktadan yere akım verilecek olursa yeraltının homojen olması halinde yeryüzündeki potansiyel dağılımının belirli bir şekli olacaktır (Şekil 2.15). Elektrotların etki alanı içinde yeraltında öz direnci etrafındaki kayaların öz direncinden farklı bir cevher kütlesi varsa eşpotansiyel eğrilerin şekilleri bozulacaktır. Arazide alınan veriler çizildikten sonra elde edilecek şeklin, homojen bir ortam için bilinen bir şekil ile karşılaştırılmasından cevherin bulunduğu yer ile cevherin öz direnci  $\rho_2$  nin  $\rho_1$  den büyük ya da küçük olduğu anlaşılacaktır. Eğer yeraltındaki bozucu kütlelerin iletkenliği

fazla ise akım çizgilerini kendine doğru çekecek fakat iletkenliği az ise akım çizgilerini dışarıya doğru itecektir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 Heterojen ortamlarda akım ve eşpotansiyel dağılımı.

### 2.3.7 Akım dağılımı



Şekil 2.17 Yüzeydeki iki elektrot arasında tekdüze bir yapıdaki akım yoğunluğunun saptanması.

Homojen bir ortamda  $C_1$  ve  $C_2$  elektrotları arasındaki akım akışını dikkate alalım.  $P$  noktasındaki yatay akım yoğunluğu

$$J_x = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial V}{\partial x} \quad (2.64)$$

olarak yazılır.

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.65)$$

(2.65) denklemi (2.64) de yerine konulursa

$$\begin{aligned}
 J_x &= -\frac{1}{\rho} \frac{I_p}{2\pi} \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{1}{r} \right) \\
 J_x &= -\frac{I}{2\pi} \left[ \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \right) \frac{\partial r}{\partial x} \right] \\
 J_x &= -\frac{I}{2\pi} \left[ -\frac{1}{r^2} \frac{\partial r}{\partial x} \right] \\
 r &= (x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned} \tag{2.66}$$

$$\frac{\partial r}{\partial x} = \frac{\partial (x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}}{\partial x} = \frac{x}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{x}{r} \tag{2.67}$$

(2.67) denklemini (2.66) denkleminde yerine koyarsak

$$J_x = -\frac{I}{2\pi} \left[ -\frac{1}{r^2} \frac{x}{r} \right] = \frac{I}{2\pi} \left( \frac{x}{r^3} \right) = \frac{I}{2\pi} \left[ \frac{x}{r_1^3} + \frac{L-x}{r_2^3} \right] \tag{2.68}$$

elde edilir. Eğer bu nokta  $C_1$  ve  $C_2$  nin ortasındaki düşey düzlem üzerinde ise  $r_1=r_2=r$  olur ve (2.69) denklemi elde edilir. (Dizioğlu ve Keçeli 1981)

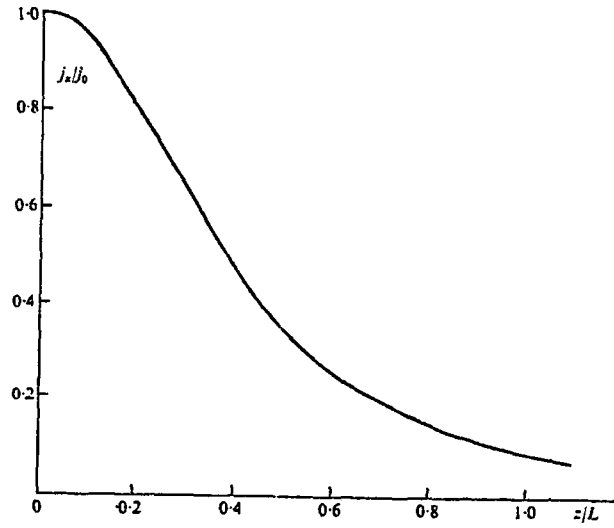
$$J_x = \frac{I}{2\pi} \frac{L}{\left( z^2 + \frac{L^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}}} \tag{2.69}$$

$J_x$ ,  $z = \frac{L^2}{2}$  olduğu zaman maksimum değeri alacaktır.  $z=0$  da  $J_x$  değeri

$$J_x = J_0 = \frac{I}{2\pi} \frac{L}{\left( \frac{L^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{I}{2\pi} \frac{L}{\left( \frac{L^2}{4} \right)^{\frac{3}{2}}} = \frac{4I}{\pi L^2} \tag{2.70}$$

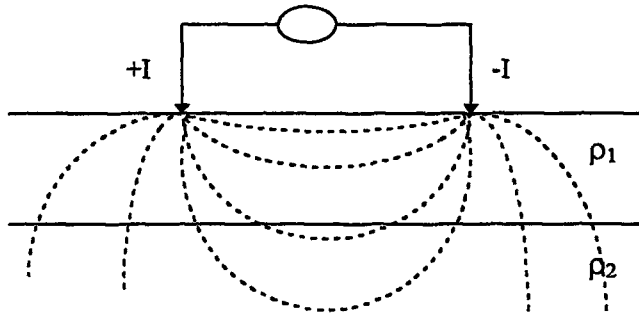
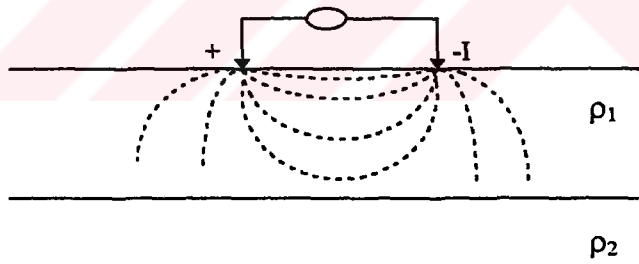
şeklinde bulunur.

Sabit elektrot açılımı için Akım yoğunluğunun derinliğe bağlı diyagramı aşağıdaki gibidir (Şekil 2.18).



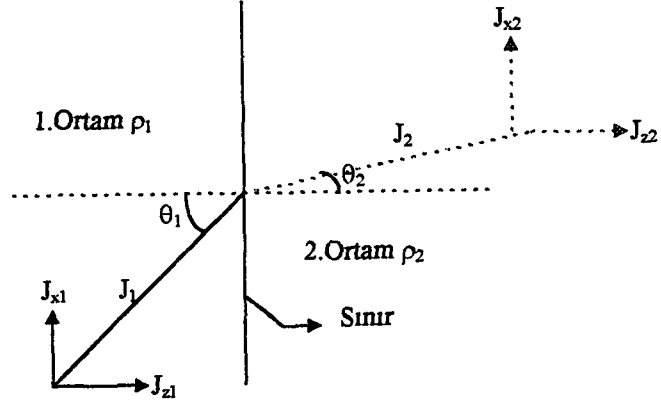
Şekil 2.18 Sabit elektrot açılımı için akım yoğunluğunun derinlikle değişimi (Telford ve diğ., 1976'dan).

Akım elektrotları arasındaki uzaklık ile nüfuz derinliği doğru orantılıdır (Şekil 2.18).



Şekil 2.19 Elektrot açıklığı ile nüfuz derinliği arasındaki ilişki.

### 2.3.8 Bir sınırda akım akışının bozulması



Şekil 2.20 Bir tabaka sınırında akım akışının bozulması.

$J_1$  akım yoğunluğu 1.ortamdan 2. ortama akmaktadır. Burada ohm kanunu yazılırsa

$$J_{x1}\rho_1 = J_{x2}\rho_2$$

$$J_{z1} = J_{z2}$$

$$\rho_1 \left( \frac{J_{x1}}{J_{z1}} \right) = \rho_2 \left( \frac{J_{x2}}{J_{z2}} \right)$$

$$\rho_1 \tan \theta_1 = \rho_2 \tan \theta_2$$

(2.71)

olarak elde edilir.

## **BÖLÜM-3**

### **KOCAELİ BÖLGESİ GENEL JEOLJİSİ**

#### **3.1 Giriş**

İnceleme alanlarının yer aldığı İzmit ve civarında ikinci, üçüncü ve dördüncü zamanlara ait formasyonlar bulunmaktadır.

Kocaeli yöresi jeolojik oluşumu sırasında bağımsız bir sistem olarak çalışmıştır. Trias'ta bölgeye giren deniz, Genç Trias'ta çekilmiş ve bölge yeniden Genç Kretasede denizle kaplanmıştır. Kretase istiflerinin tabanındaki konglomeralar Hereke pudingleri olarak adlandırılır. Bu konglomeralar Osmanlı Türk mimarisinde kıymetli bir yapı ve süsleme taşı olarak kullanılmıştır.

#### **3.1.1 Trias yaşlı birimler**

İzmiti'nin batısındaki Hatip deresinden kahverengi kumtaşları ile başlayarak İzmit'in doğusunda topoğrafyanın bitip alüvyonun başladığı yere kadar devam eder. Bol killi, çoğunlukla mika yüzeyli, çok ince tabakalı ve kırıklıdır. Bunlar küçük daneli, koyu kırmızı, bol mikalı ve ince tabakalı olan kumtaşlarına geçerler. Bu kumtaşları şistli ve çok kırıklı bir yapıdadır. İnce taneli olan kırmızı kum taşları yer yer yanall geçişle iri taneli ve çok sağlam zemin niteliğinde olan kahverengimsi kırmızı kum taşlarına dönüşür. Bu kumtaşlarının içinde yer yer kuvars çakılları içeren konglomera bantları bulunmaktadır. Kırmızı kumtaşları jeolojik açıdan çok sağlam zemin niteliğindedir. Ancak yer yer bu kum taşlarının üzerinde yer alan sarı renkli, gevşek çimentolu kumtaşı ve konglomeralar atmosferik etkilerle kolayca dağılabildiklerinden sağlam zemin niteliği taşımazlar. Kelle deresinin doğu ve batısında Memeli deresinin batısındaki kale kalıntıları civarında Bağçeşme camisi ile Ersel Dede Türbesini birleştiren hattın güneyinde, Turgut Reis İlkokulu, Bağçeşme sokağı kuzey kesimlerinde, Dereboğazi deresi kuzeyinin doğu ve batısında bu gevşek konglomeralar yüzeylenmiş durumdadır. Doğuda Türbe bayırında, Trias yeşilimsi gri renkli, grovak görünüşünde kırıklı kil taşları ile temsil edilmektedir.

Trias'da tabaka doğrultuları doğu-batı olup, çoğunlukla güneye eğimlidir. Ancak Ağa deresinin batısında eğim güneye olduğu halde doğuda kuzeye doğrudur. bu bakımdan Ağa deresi yatağında kuzey-güney yönlü bir fayın bulunması muhtemeldir.

### 3.1.2 Üst Kretase yaşlı birimler

Üst Kretase yaşlı birimler İzmit'te Üst Kretase Trias yaşlı kırmızı kumtaşlarının üzerine diskordans olarak gelmektedir. Altta açık toz pembesi konglomeralarla başlayan bu seri üste doğru boz pembemsi beyaz seri kumtaşlarına geçmektedir. Jeolojik yönden çok sağlam zemin niteliği taşıyan bu kumtaşları iri yuvarlak daneli ve kalın tabakalı olup, yer yer çakıllı seviyeler içermektedir. Bu tabakaların eğimi genellikle kuzey batıdır.

Bu birim üzerine yer yer kıvrımlı marnlı kalker ve kalker seviyeleri gelmektedir. Bu formasyonlar altta gri renkte kompakt ve sert kalker, onun üstünde sarımsı, ince kil bantları içeren marnlı kalker, en üstte ise tabakalı marnlı kireçtaşı biçiminde istiflenmiştir.

Üst Kretase Hatip Deresinin batısında sağlam zemin nitelikli tabakalı kırılğan gri kalker birimi, Ağa deresinin batısında marno kalker birimi, Zeytin bağı deresi civarında ise kalker-kil -marn istifi ile fliş fasıyesi biçiminde yüzeylemiş olup, Kelle deresinin doğu kesiminde, yer yer Kız Enstitüsü civarında dere boğazı Erenler deresi arasındaki alanda ise çok sağlam zemin niteliğindeki kum taşları ve konglomeralar olarak ortaya çıkmaktadır.

### 3.1.3 Pliokuaterner yaşlı birimler

Bu birimler Çınarlı dere ile Hatip deresi arasındaki hafif engebeli alanda gözlenmektedir. Gevşek dokulu olup, çakıl, kum, silt, ve killerle temsil edilmektedir. Tabakalanması düzensizdir. Jeolojik yönden fazla sağlam olmayan zemin niteliği taşıyan bu formasyon yer yer heyelan potansiyeline sahiptir.

### **3.1.4 Alüvyon**

İzmitteki dere yataklarında bulunmaktadır. Değişik yapıda ve değişik irilikteki kum, çakıl ve kil gibi dere çökellerinden oluşmaktadır. Kalınlığı fazla olmayıp 15-20 m. yi bulabilmektedir. Normal aylarda yeraltı su seviyesi alüvyon içinde 10 m den daha sığdır.

Kocaeli Yöresindeki formasyonların stratigrafik yaşları Ek 1, Ek 2, Ek 3, ve Ek 4 de verilmektedir.

## **3.2 Arazi Çalışmaları**

Arazi çalışmalarının yapıldığı bölgeler Şekil 3.1 de verilmektedir.

### **3.2.1 Arslanbey Beldesi heyelan bölgesi**

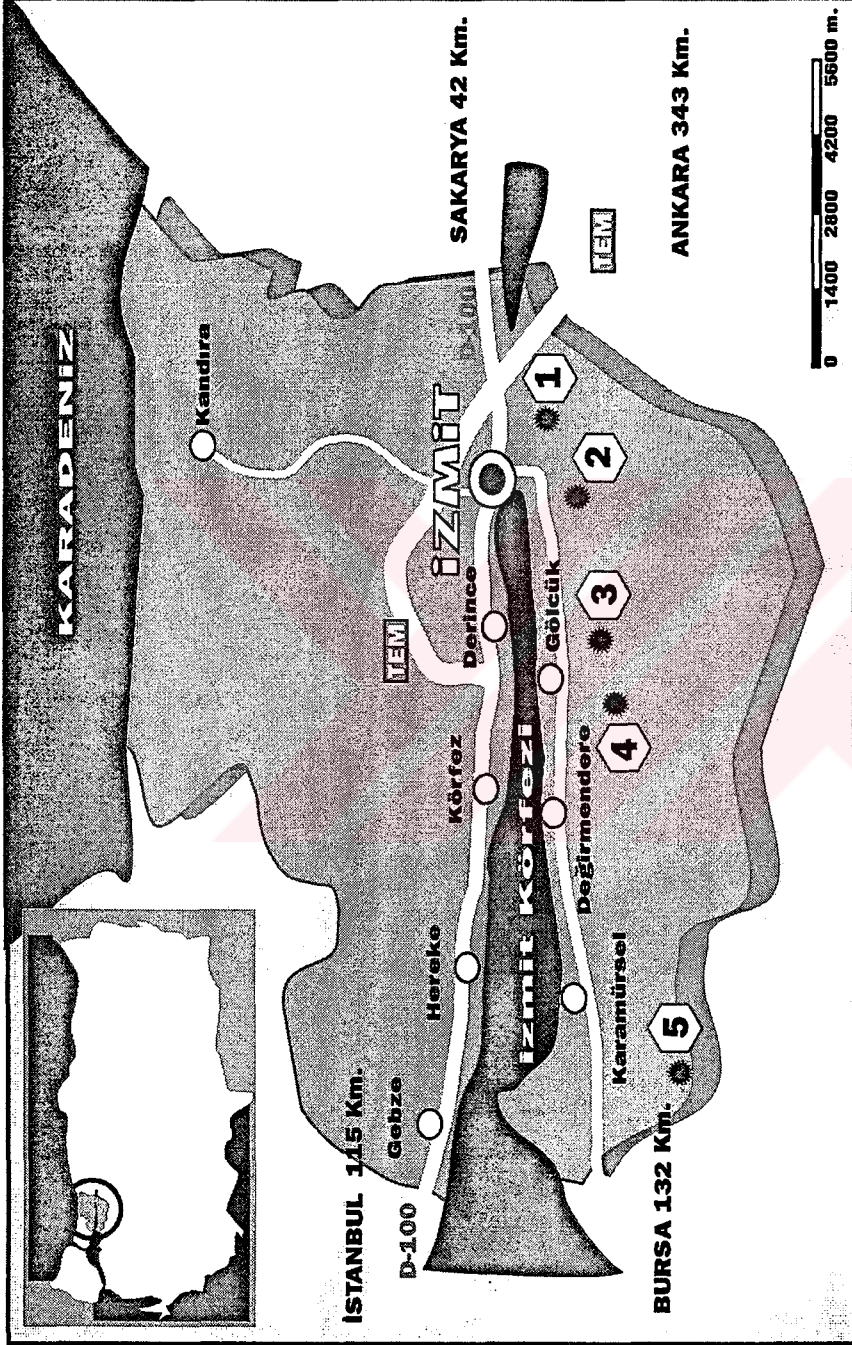
Bölge Arslanbey'in güney-doğusunda bulunan bir vadidir. Bölge yerleşim alanının dışında olup, vadinin üst ve arka taraflarında tarım alanları bulunmaktadır.

Bölgede üstte kumlu-killi malzeme ve altta kalın bir kalker tabakası yer almaktadır. Vadinin ortasından küçük bir dere akmakta olup, halen faaliyette olan bir taş ocağı bulunmaktadır.

Malzeme alımı dere yatağına paralel olarak devam etmektedir. Ağır iş makineleri ve patlayıcı madde kullanılarak malzeme alımından sonra dik falezler oluşmuştur. Bu falezler kaya, blok düşmelerine müsait bir görünüm arz etmektedir. Aynı zamanda patlayıcıların ve ağır iş makinalarının oluşturduğu titreşimler yamaç üstünde ve eğim yönünde bir hareket meydana getirmiştir.

Meydana gelen bu hareketin kayma yüzeyi 1.3 ile 1.5 m arasında olup, tüm yamaç boyunca gözlenmektedir. Hareket hızı bakımından daha çok kripi (yavaş akma) andırmaktadır.

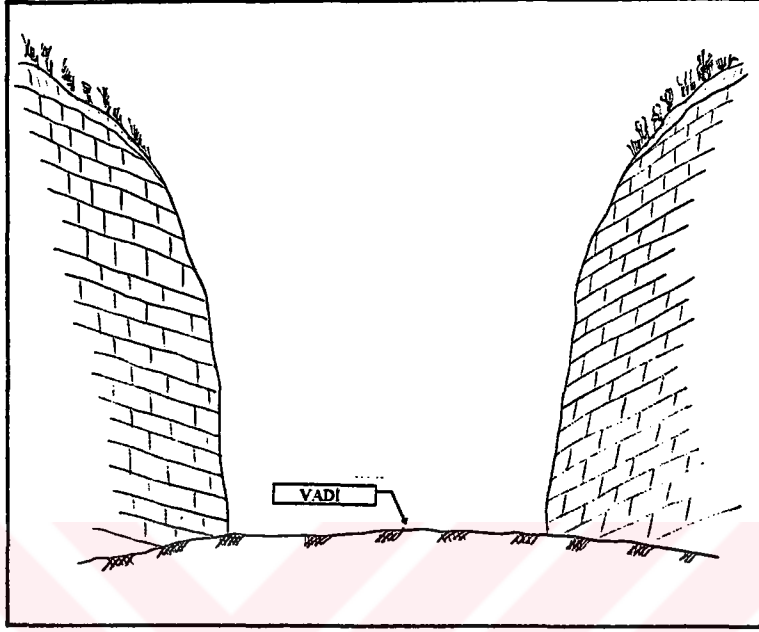




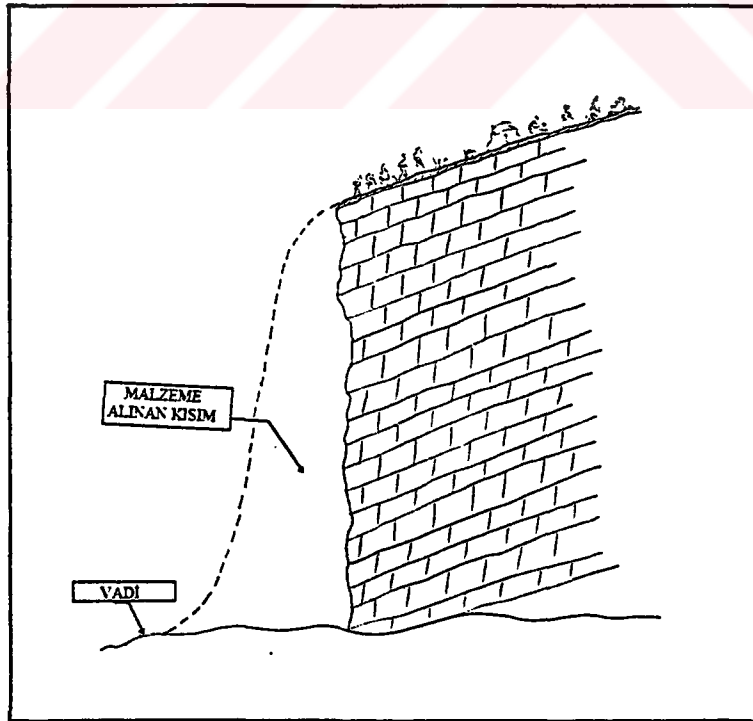
- 1 ASLANBEY BELDESİ**
- 2 DÖNGEL BELDESİ**
- 3 İHSANİYE BELDESİ**
- 4 SELİMİYE BELDESİ**
- 5 KIZDERBENT BELDESİ**

Şekil 3.1 Arazi çalışmalarının yapıldığı alanlar.

Şekil 3.2 ve 3.3’de muhtemelen arazinin önceki ve şimdiki durumunu gösteren kesitler verilmektedir.



Şekil 3.2 Arslanbey Beldesi heyelan bölgesi muhtemel önceki durumu.

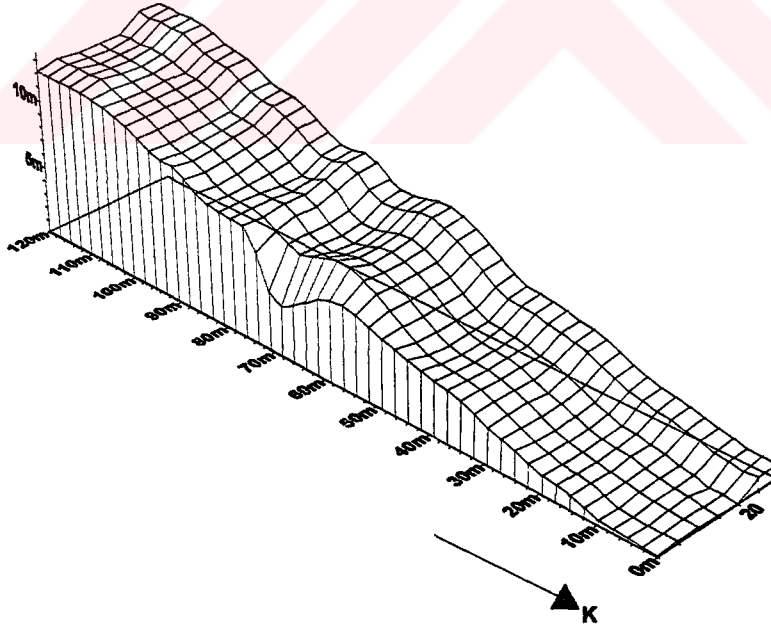


Şekil 3.3 Arslanbey Beldesi heyelan bölgesi şimdiki durumu.

### 3.2.2 Hisareyn ve Selimiye heyelan alanları

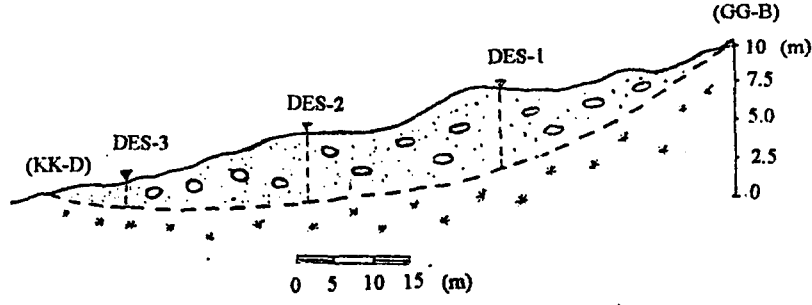
Bölge, tüm Gölçük ve güneyinde gözlenen melanj fasiyesindedir. Yani yörede karasal-denizsel kökenli mağmatik, metamorfik ve filiş gibi jeolojik birimler bulunmaktadır. Ana kaya içinde gnays, şist, anfibolit şistler ve metamorfik anakaya üzerinde çakıllı-kumlu seviyeler yer almaktadır.

Hisareyn heyelan alanında yapılan çalışmalar sonucu yamaç üzerinde özdirenci yaklaşık  $\rho_a=580\text{ohm-m}$  ve hızı yaklaşık  $V_1=210\text{ m/sn}$  olan ve yaklaşık 1.1 m kalınlıklı gevşek bir toprak tabakası onun altında ise özdirenci yaklaşık  $\rho_a=510\text{ ohm-m}$  ve hızı  $V_2=580\text{ m/sn}$  olan bir tabaka yer almaktadır. Yamaç ortalarında yaklaşık 3.8 m derinliğe inen bu tabakanın altında özdirenç değeri  $\rho_a=38\text{ ohm-m}$  ve kalınlığı 1.5 m olan kil tabakası yer almaktadır. Bu sınır kayma yüzeyi olarak alınmıştır. Zira bunun altında özdirenç değeri  $\rho_a=280\text{ ohm-m}$  ve hızı ise  $V_3=1580\text{ m/sn}$  olan daha kompakt bir yapı bulunmaktadır. Hisareyn heyelan alanının eğimi yaklaşık  $6^\circ$  olup, dil şeklindedir. Şekil 3.4’de bu heyelan alanının topoğrafyası verilmektedir.



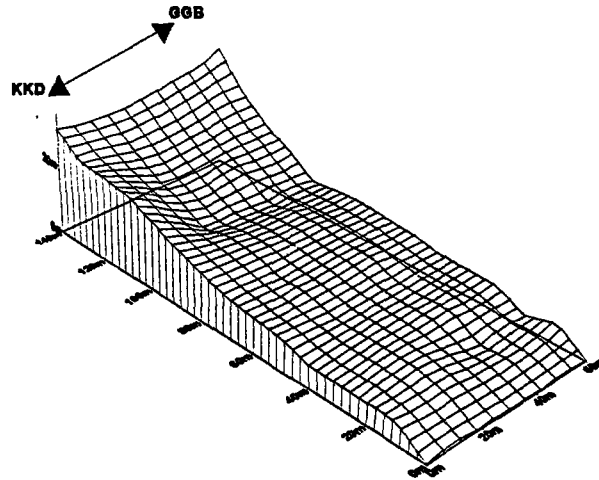
Şekil 3.4 Hisareyn heyelan alanı topoğrafyası.

Hisareyn heyelan alanında düşey hareket yaklaşık 2 m ve yanal hareket ise yaklaşık 8 m dir. Şekil 3.5’de bu heyelan alanının kesiti verilmektedir. Burada kaymaya neden olan kilin çatlaklı bir yapıya sahip olduğu alınan örneklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5 Hisareyn heyelan alan kesiti.

Selimiye heyelanının yamacında yaklaşık 1 m kalınlığında yüksek öz dirençli  $\rho_a=600$  ohm-m ve düşük hızlı  $V_1=208$  m/sn olan gevşek bir tabaka bulunmaktadır. Bu tabakanın kalınlığı yamaç ortalarında 1.7 m olup, alt kısımda öz direnç değeri çok düşmekte  $\rho_a=72$  ohm-m, hızı 850 m/sn ve kalınlığı 4.6 m olan kile girilmektedir. Bunun altında ise öz direnci yüksek  $\rho_a=480$  Ohm-m ve hızı  $V_3=1700$  m/sn olan bir diğer tabaka bulunmaktadır. Kayma yüzeyi yamaç ortalarında yaklaşık 8 m derinliktedir. Çevredeki yarmalarda mostra veren bu derinlikteki kil tabakasının çok çatlaklı olduğu anlaşılmaktadır. Selimiye heyelanının düşey hareketi yaklaşık 8 m yanal hareketi ise yaklaşık 15 m olarak gözlenmiştir. Kayma yüzeyi üzerindeki kitle hareketi sonucu kaşık şeklinde eğimi yaklaşık  $13^\circ$  olan bir heyelan alanı meydana gelmiştir. Şekil 3.6'da heyelan alanının topoğrafyası verilmektedir.



Şekil 3.6 Selimiye heyelan alanı topoğrafyası.

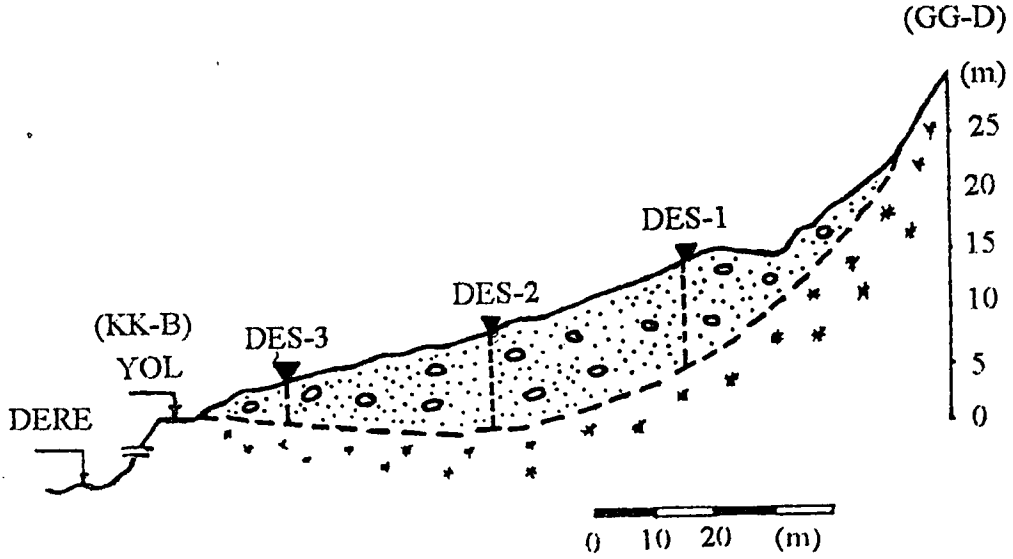
Şekil 3.7’de heyelan alanları ve Şekil 3.8’de tepe gerisinde geniş bir alanda çökme bölgesi yönünde atımlara sahip çok sayıda meydana gelen gerilme çatlakları verilmektedir. Selimiye heyelan alan kesiti Şekil 3.9’da verilmektedir.



Şekil 3.7 Selimiye heyelan alanları



Şekil 3.8 Selimiye heyelan alanı esas ayna ve gerilme çatlakları.



Şekil 3.9 Selimiye heyelan alan kesiti.

Selimiye heyelanının akma ucundan üç ayrı noktada, Hisareyn heyelanının akma ucunun 10 m yukarısında ise bir noktadan kaynak suyu akmaktadır. Bu özellikler heyelanlardaki zemin hareketinin, aşırı çatlaklı (fissürlü) killerin su etkisi ile gevşemesinin bir sonucu olarak ortaya çıktığını göstermektedir.

### 3.2.3 Döngel Beldesi heyelan alanları

Döngel Beldesi, İl merkezine 5 km lik bir mesafede olup, Bursa asfaltının kuzey ve güneyinde kurulmuştur. Kocaeli bölgesinin genel iklim koşullarına sahiptir. Çalışma alanı bölgenin güneyindeki yeni imara açılacak alanlardır.

#### 3.2.3.1 D1-Bölgesi

Şekil (3.10) da verilen heyelan alanının topoğrafik eğimi  $7^\circ$  den  $15^\circ$  ye kadar değişmektedir (Şekil 3.11). Arazide yapılan jeolojik ve jeofizik çalışmalarla heyelan alanının yeraltı yapısı ortaya çıkarılmıştır (Şekil 3.12). Buna göre yüzeyde, öz direnci 70 ohm-m ve sismik hızı 480 m/sn olan 2 m kalınlığında gevşek toprak tabakası yer almaktadır. Bunun altında, öz direnci 27 ohm-m ve sismik hızı 1250 m/sn olan

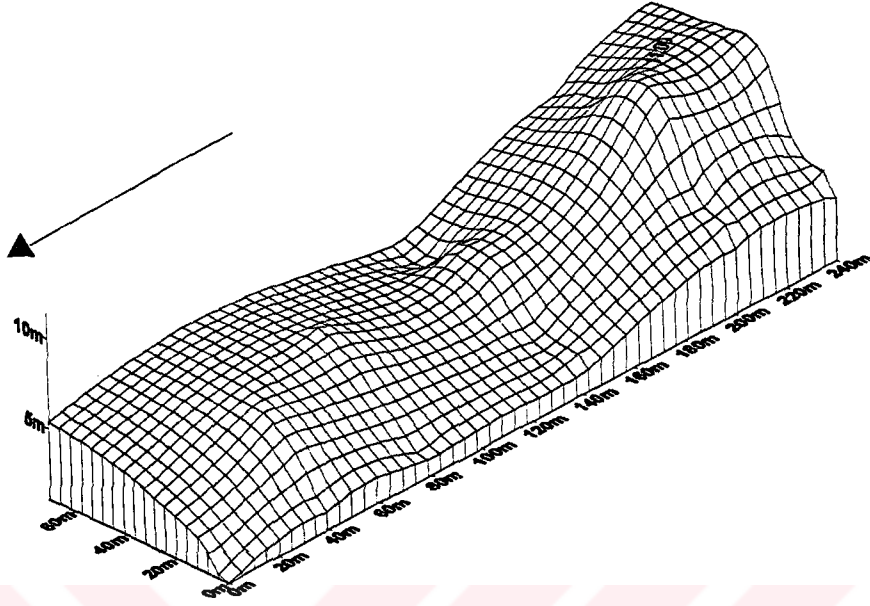
yaklaşık 4 m kalınlığında kil-şeyl-kum serisi bulunmaktadır. Bu serinin kalınlığı kuzeye doğru gidildikçe 2 m'ye kadar düşmektedir. Bu serinin altında güneyde kalınlığı yaklaşık 5 m ye varan fakat kuzeye doğru gidildikçe kaybolan öz direnci 53 ohm-m ve sismik hızı 1800 m/sn olan çakıllı bir seviye yer almaktadır. Bu serinin altında öz direnci 18 ohm-m ve kalınlığı yaklaşık 10 m olan kil tabakası devam etmekte olup, bundan sonra yine çakıllı bir seviye ardalanmaktadır.

Bu bölgedeki killerin kırıklı ve çatlaklı olduğu alınan örneklerden anlaşılmaktadır. Yukarıda bulunan formasyonların geçirgen olması nedeniyle yağışlarla gelen sular çok kırıklı bir yapıya sahip olan bu killeri şişirerek kaygan bir yapı oluşmasını sağlayacaktır.

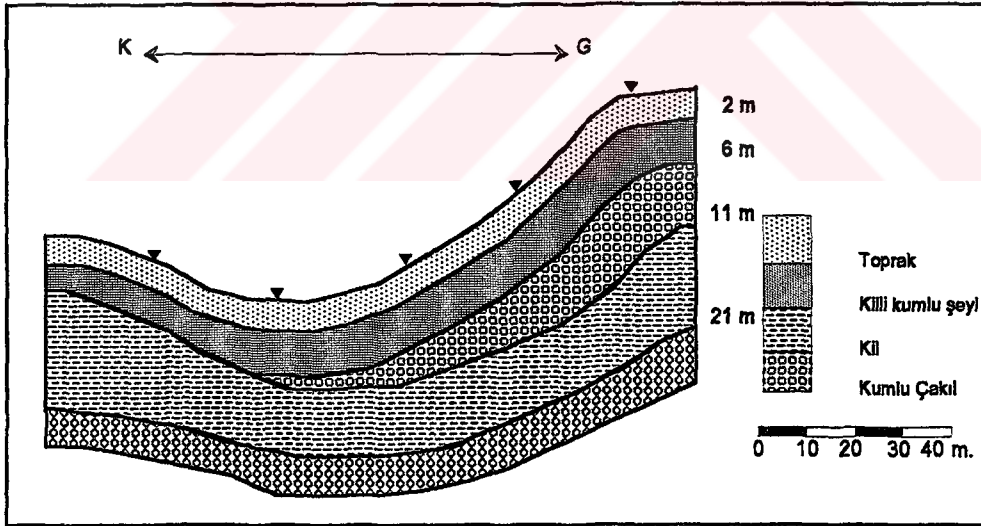


Şekil 3.10 D1-Bölgesi heyelan alanı.





Şekil 3.11 D1-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.



Şekil 3.12 D1-Bölgesi heyelan alan kesiti.

### 3.2.3.2 D2-Bölgesi heyelan alanı

Şekil 3.13 ve 3.14 de görülen heyelan alanının ortalama eğimi  $14^\circ$  dir (Şekil 3.15). Bu alanda öz direnci 80 ohm-m ve sismik hızı 540 m/sn olan ortalama 2 m kalınlığında

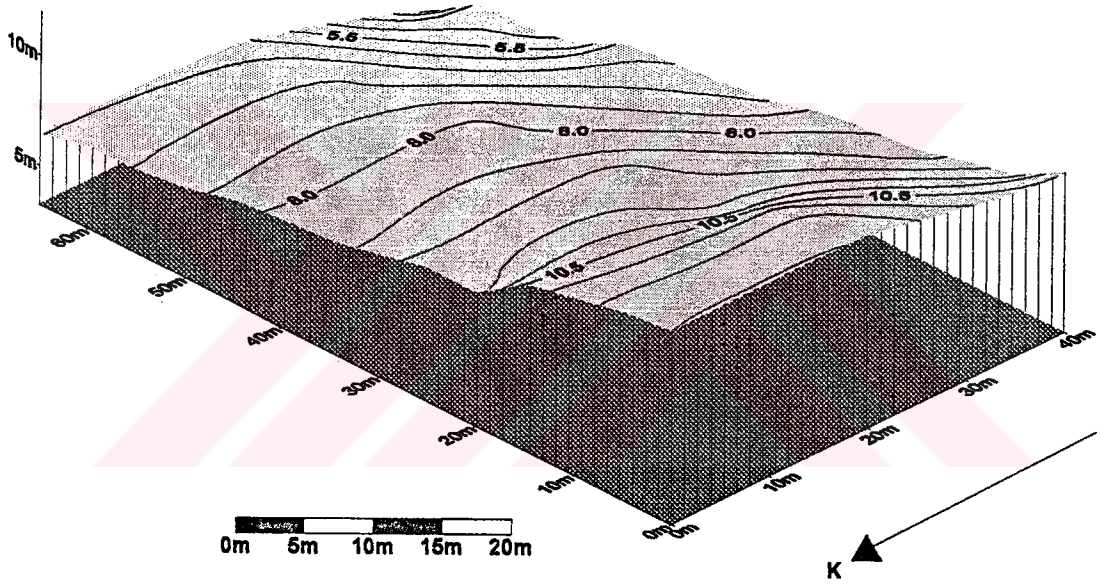
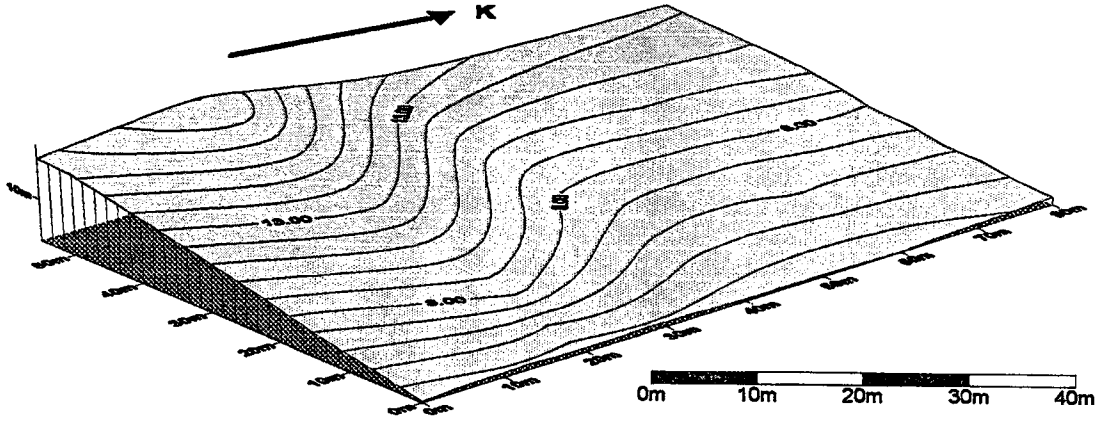
toprak tabakası bulunmaktadır. Bunun altında özdirenci 14 ohm-m ve hızı 1250 m/sn olan yaklaşık 1 m kalınlığında kil tabakası yer almakta olup, kuzeye doğru gidildikçe yamaçta yüzeylemektedir. Bu tabakanın altında ise özdirenci 24 ohm-m ve sismik hızı 2000 m/sn olan ve güneyde derinliği 14 m olup, kuzeye doğru gidildikçe derinliği 4 m ye düşen kumlu-killi-çakıllı bir seri ardalanmaktadır. Bu serinin altında ise yine kalın bir kil tabakası gözlenmektedir.



Şekil 3.13 D2-Bölgesi heyelan alanı.

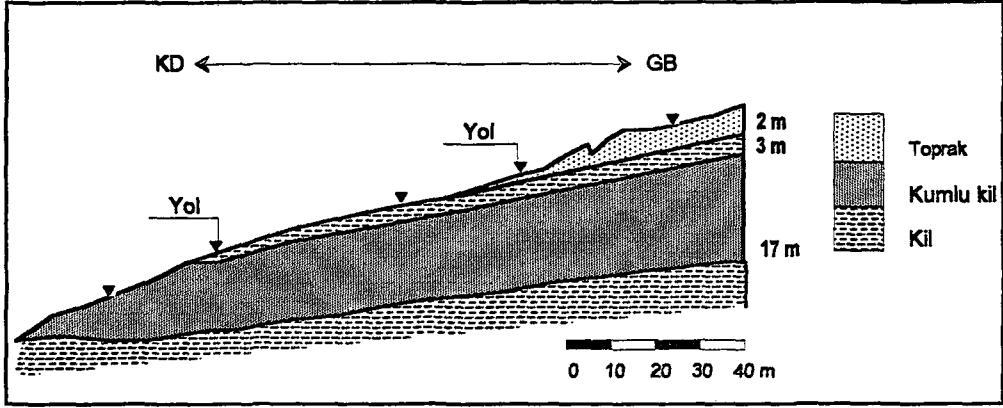


Şekil 3.14 D2-Bölgesi heyelan alanı.



Şekil 3.15 D2-Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.

Killi formasyonların ardışık olarak dizilmiş olduğu bu bölgedeki mevcut kaymalar 2 m derinlikteki kilin üzerinde gerçekleşmiştir. Büyük boyutlu bir harekette kaymanın meydana gelebileceği yüzey 14 m derinde yeralan kilin yüzeyi olacaktır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 D2-Bölgesi heyelan alanı kesiti.

### 3.2.3.3 D3-Bölgesi heyelan alanı

İncelenen heyelan alanında (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18 ) topoğrafik eğim  $4^{\circ}$  den  $14^{\circ}$  ye kadar değişmektedir (Şekil 3.19).



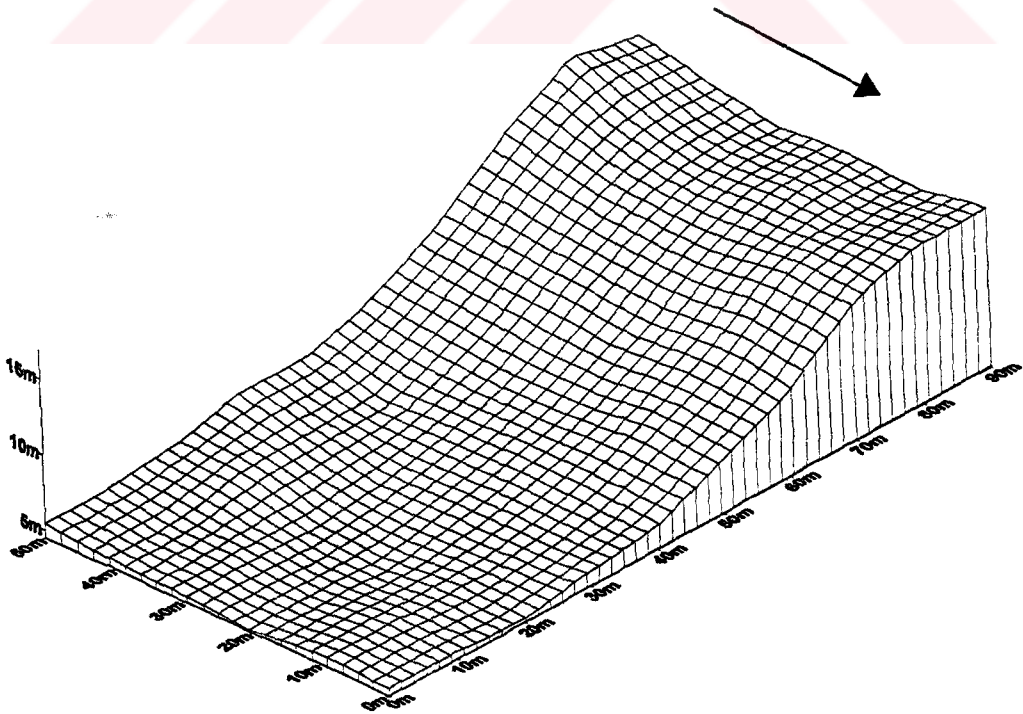
Şekil 3.17 D3-Bölgesi heyelan alanı.

Alanda gözlenen kaymalar, öz direnci 20 ohm-m ve sismik hızı 330 m/sn olan 2 m kalınlığındaki örtü tabakasında meydana gelmiştir. Bu tabakanın kalınlığı eğim aşağı yönünde azalmaktadır. Bu örtünün altında yaklaşık 50 cm kalınlığında öz direnci 8

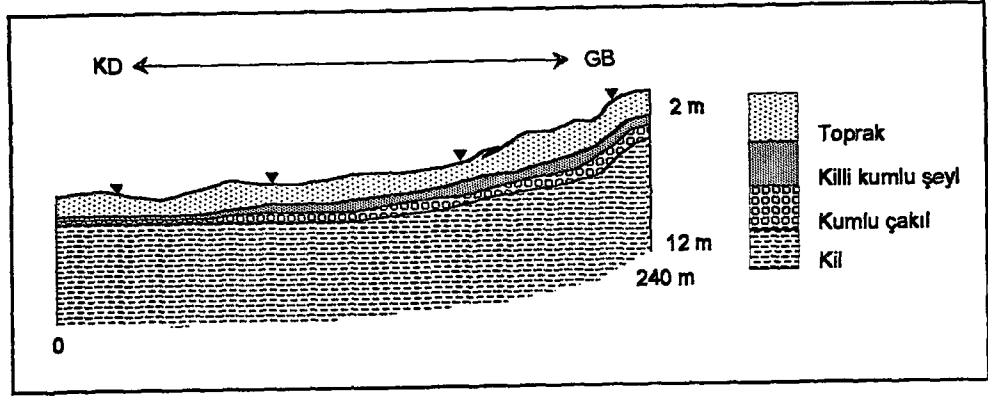
ohm-m olan killi, siltli ve kumlu bir formasyon yer almaktadır. Bu seriyi takiben özdirenci 22 ohm-m olan yaklaşık 80 cm kalınlığında çakıllı bir seviye ardalanmakta olup, bunların altında özdirenci 7 ohm-m ve sismik hızı 2300 m/sn olan 12 m derinliğinde killi bir seviyeye geçilmektedir. Bu killi tabakanın derinliği kuzeye doğru gidildikçe (eğim aşağı) azalmakta ve 5 m ye kadar düşmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.18 D-3 Bölgesi heyelan alanı.



Şekil 3.19 D-3 Bölgesi heyelan alanı topografyası.



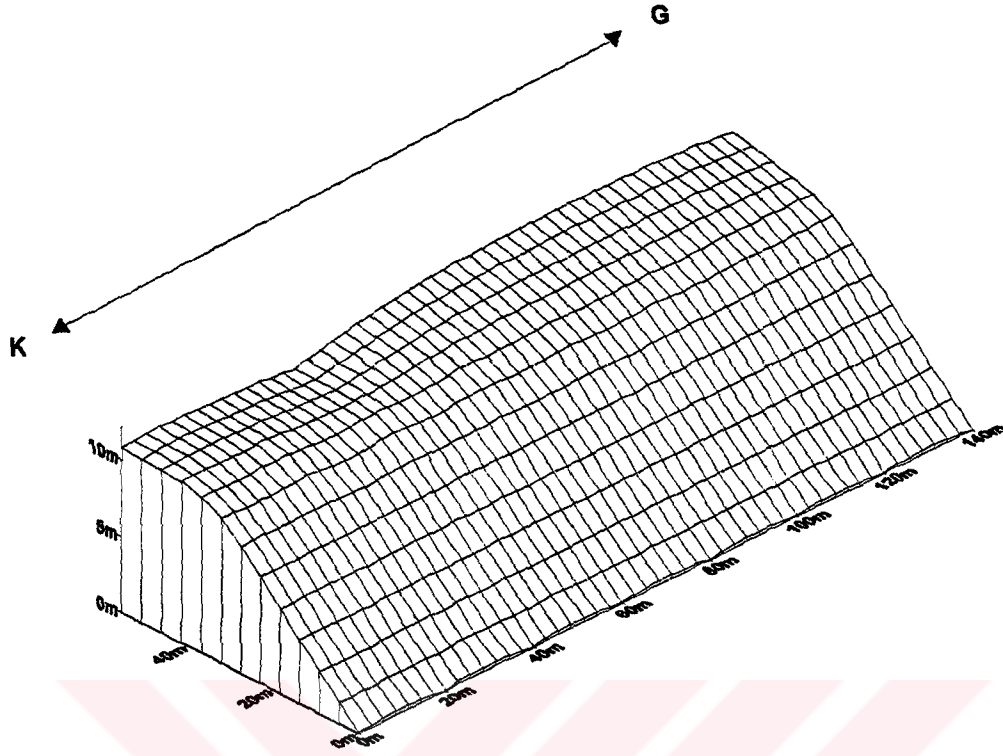
Şekil 3.20 D-3 Bölgesi heyelan alan kesiti.

#### 3.2.3.4 D4-Bölgesi heyelan alanı

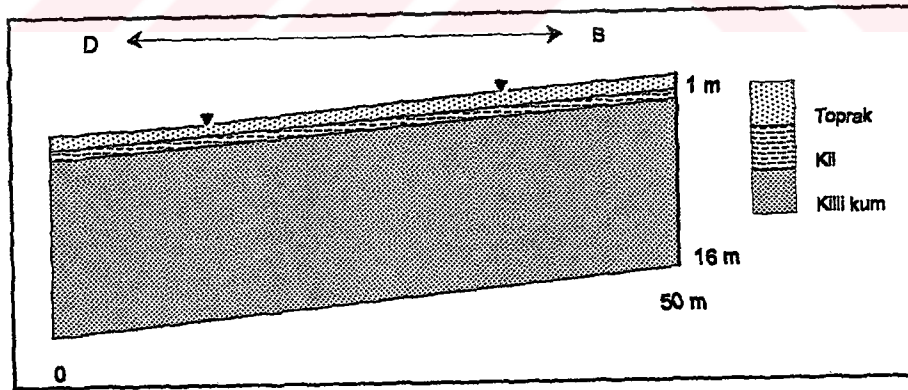
Şekil 3.21 de gösterilen heyelan alanının topoğrafik eğimi yaklaşık  $5^\circ$ 'dir (Şekil 3.22). Bu alanın yüzeyinde öz direnci 9 ohm-m ve sismik hızı 303 m/sn olan 1.2 m kalınlığında bir toprak tabakası bulunmaktadır. Bunun altında öz direnci 7.5 ohm-m olan 80 cm kalınlığında bir kil tabakası yer almaktadır. Bu kil tabakasının altında ise öz direnci 12 ohm-m ve sismik hızı 2850 m/sn olan kumu biraz fazla olan ve kalınlığı 16 m ye varan killi bir seri bulunmaktadır (Şekil 3.23).



Şekil 3.21 D-4 Bölgesi heyelan alanı.



Şekil 3.22 D-4 Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.



Şekil 3.23 D-4 Bölgesi heyelan alanı kesiti.

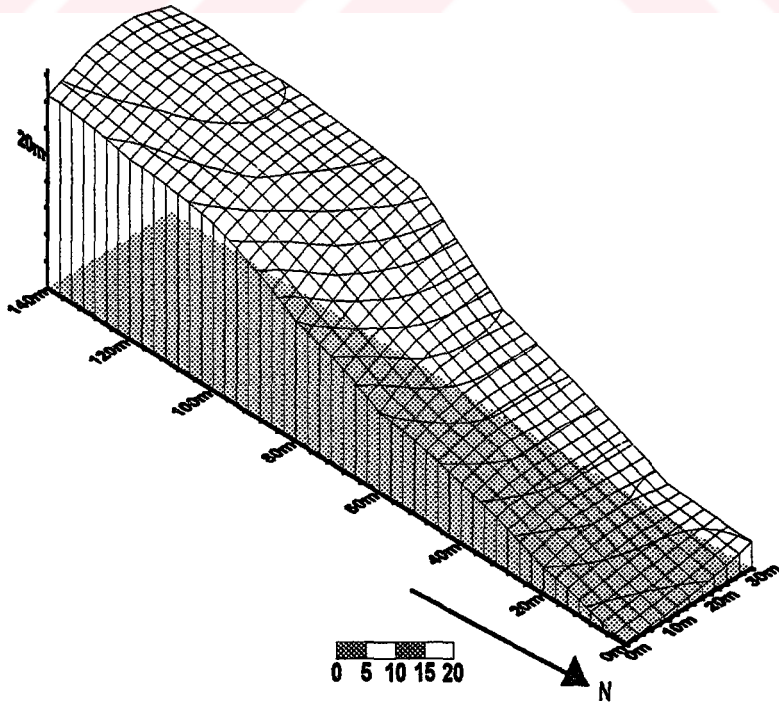
### 3.2.3.5 D-5 Bölgesi heyelan alanı

Şekil 3.24 te verilen %15 lik bir topoğrafik eğime sahip olan bu alanın (Şekil 3.25) yüzeyinde öz direnci 75 ohm-m ve sismik hızı 540 m/sn olan yaklaşık 2m kalınlığında toprak tabakası yer almaktadır. Bu birimin altında öz direnci 53 ohm-m ve sismik hızı

1150 m/sn olan 4 m kalınlığında kumlu-killi bir formasyon bulunmaktadır. Bölgedeki yüzeye yakın yeraltı sularının bulunması buradaki killerin şişmesine neden olacağı açıktır (Şekil 3.26).

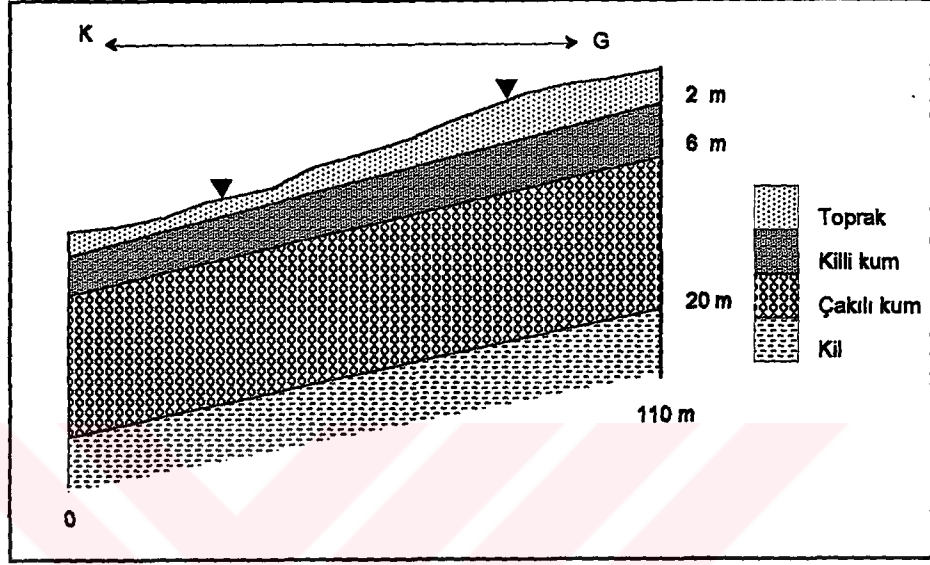


Şekil 3.24 D-5 Bölgesi heyelan alanı bölgesi.



Şekil 3.25 D-5 Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.





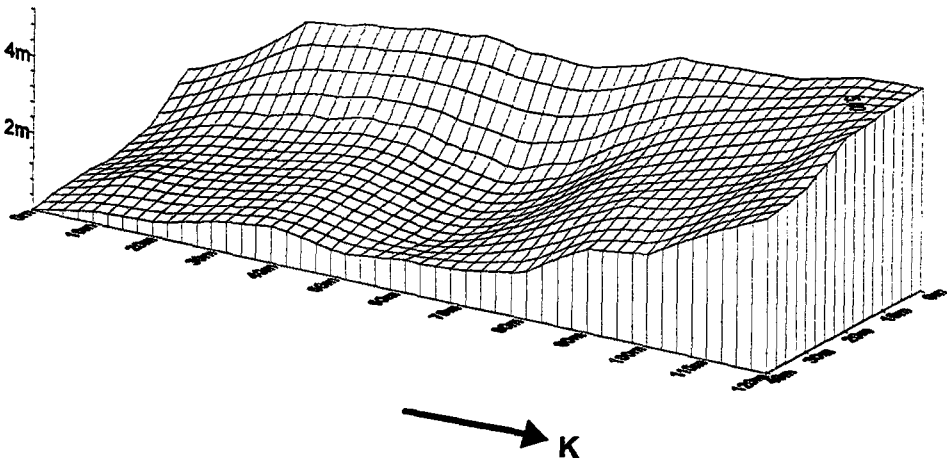
Şekil 3.26 D-5 Bölgesi heyelan alanı kesiti.

### 3.2.3.6 D-6 Bölgesi Heyelan Alanı

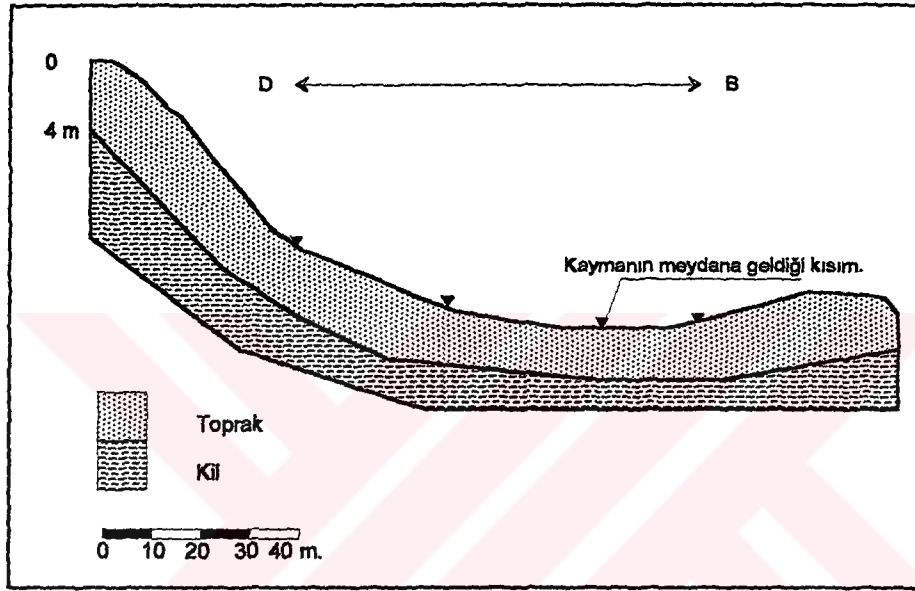
Şekil 3.27 de gösterilen heyelan alanı ortalama eğimi, doğu batı yönünde  $24^\circ$  dir. Kuzey güney yönünde ise eğim düşmekte olup ortalama  $5^\circ$  dir (Şekil 3.28). Bölgede yapılan çalışmalarda, yüzeyde öz direnci 70 ohm-m ve sismik hızı 625 m/sn olan 3 m kalınlığında ayrılmış bir zon tespit edilmiştir (Şekil 3.29 ve 3.30). Bölgede gözlenen akmlar kilin üzerindeki bu formasyonda meydana gelmekte olup, kaymalar yeraltı suları ile süreksizliklerden kaynaklanmaktadır. Şekil 3.31 te bölgedeki bir yarmada doğu batı yönündeki formasyon değişimi gösterilmektedir.



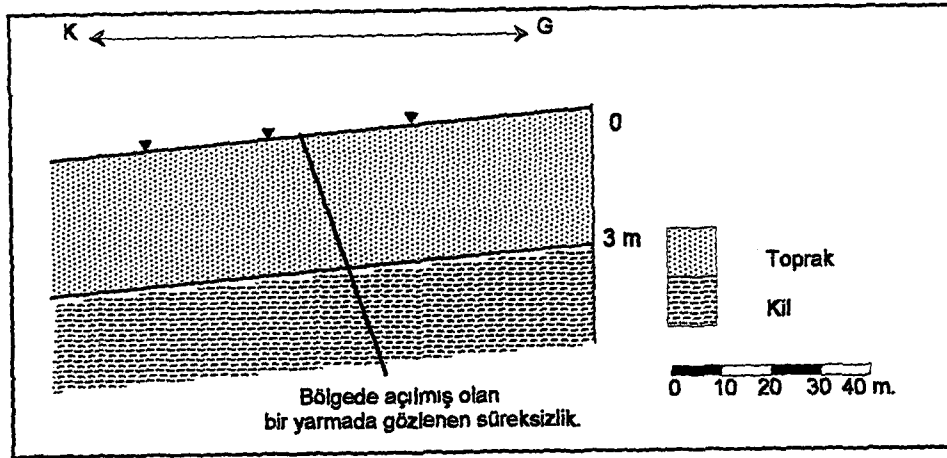
Şekil 3.27 D-6 Bölgesi heyelan alanı.



Şekil 3.28 D-6 Bölgesi heyelan alanı topoğrafyası.



Şekil 3.29 D-6 Bölgesi eğime dik kesit.



Şekil 3.30 D-6 Bölgesi eğime paralel kesit.



Şekil 3.31 D-6 Bölgesi doğu-batı yönündeki formasyon değişimi.

### 3.2.4 Kızderbent Beldesi heyelan alanları

Kızderbent Beldesi Karamürsel-İznik yolunun 27. km sinde Eylül 1924 de kurulmuş, nüfusu 3500 olan 500 hanelik bir Kocaeli Beldesidir. Bölgede halk hayvancılık ve halıcılık (ipek halı) ile geçimini sağlamaktadır. Kocaeli Bölgesinin genel iklim koşulları hakim olan bölgede kışları soğuk ve yağışlı yazları ise ılık ve kurak geçmektedir. Şekil (3.32 a ve b) de bölgenin yerleşim alanı verilmektedir. Çalışma alanı Beldeyi ikiye ayıran Karamürsel-İznik yolunun güneyindeki Papaztepe ile kuzeydeki Bayraktepedir.

#### 3.2.4.1 Papaztepe heyelan alanı.

Papaztepe mevkiinde dağ yamacına paralel yönde mümkün olduğu kadar düz alanlarda toplam uzunlukları 810 m olan 9 sismik kırılma profili atılmış ve belirlenen 9 noktada ise öz direnç düşey sondaj çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3.33).



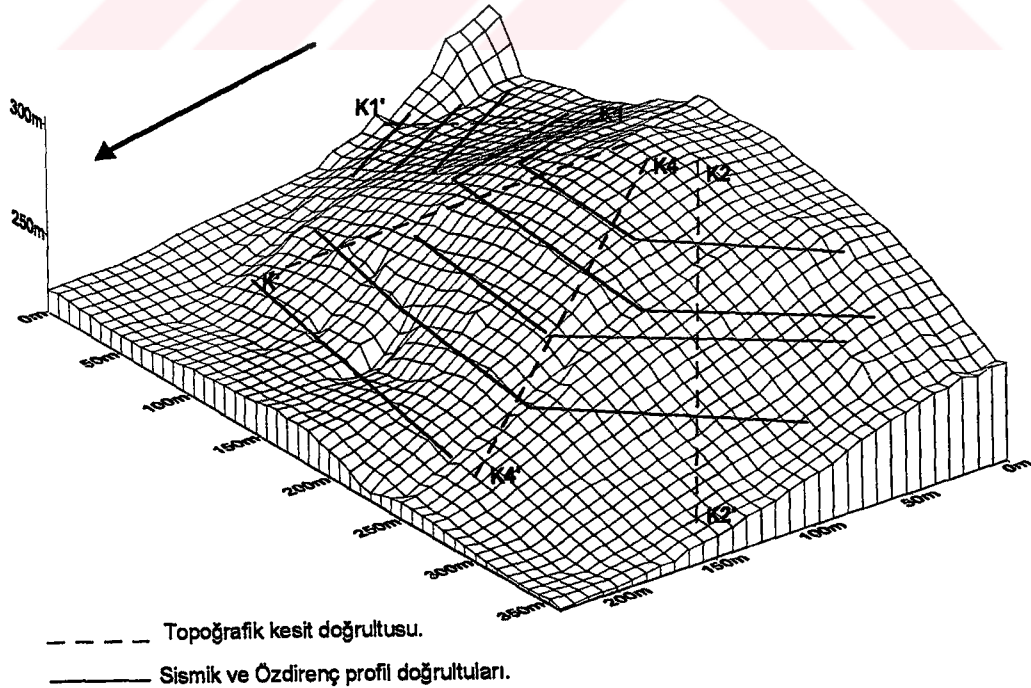
a



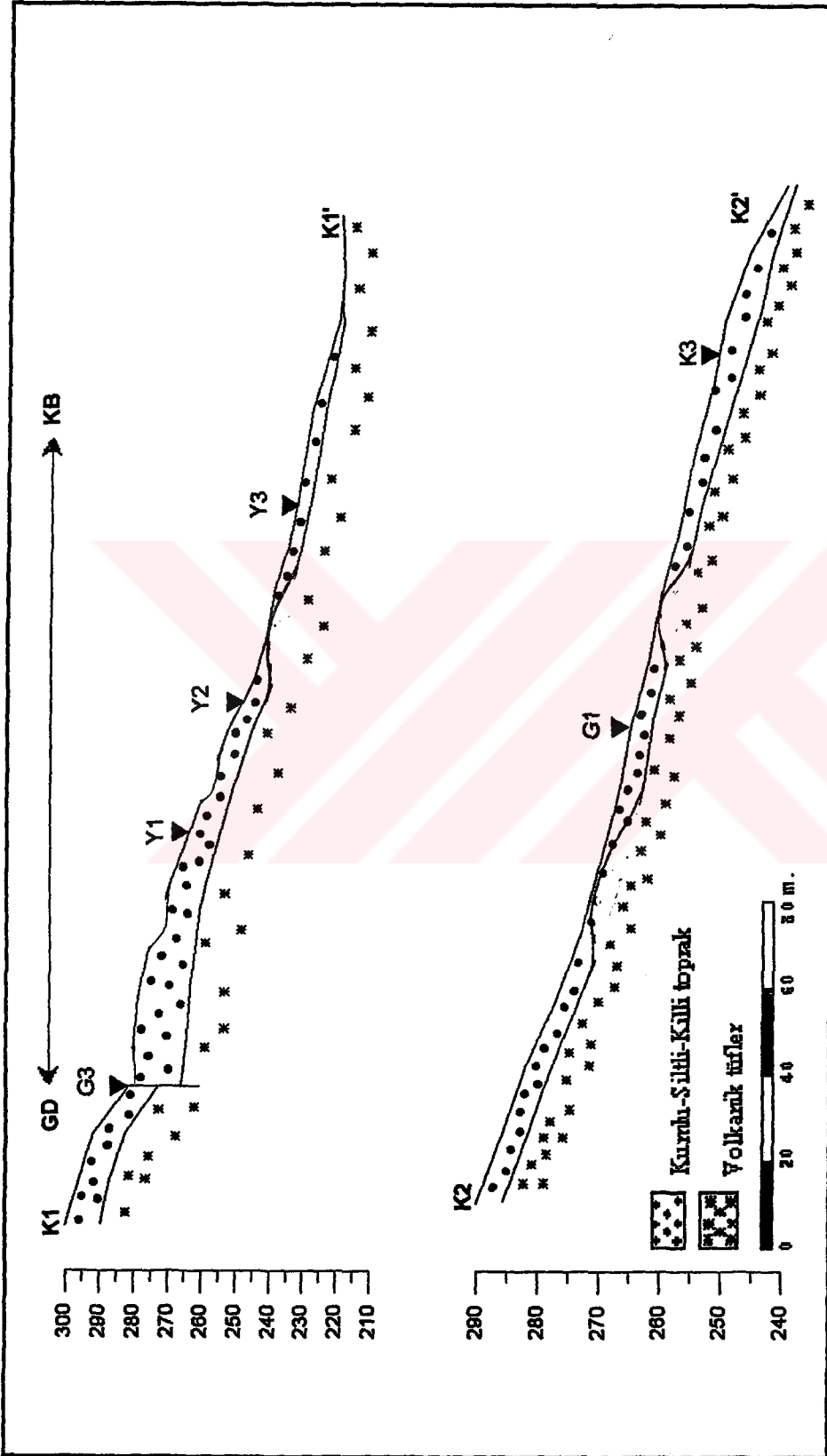
b

Şekil 3.32 Kızderbent Beldesi yerleşim alanları.

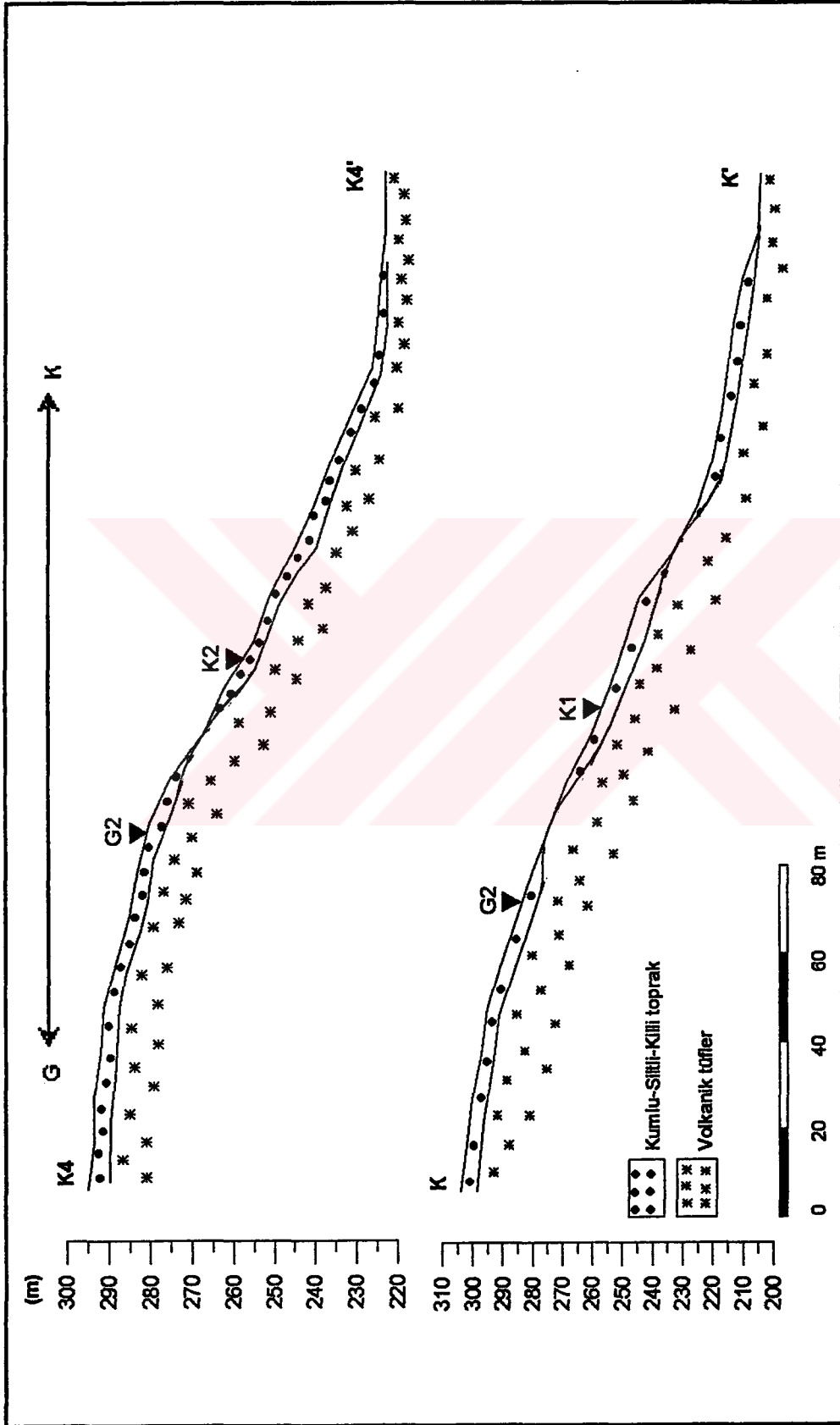
Topoğrafik eğimi  $13^{\circ}$  den  $23^{\circ}$  ya kadar değişen bölgede alınan jeofizik verilerin değerlendirilmesi sonucunda, öz direnci yaklaşık 20 ohm-m ve sismik hızı 1250 m/sn civarında olan, kalınlığı 2.5-3.0 m arasında değişen bir toprak örtü tabakası saptanmıştır. Bu toprak tabakası altta öz direnci yaklaşık 50 ohm-m ve hızı 2850 m/sn olan volkanik tüfleri örtmektedir. Bu volkanik tüfler çalışma alanının birçok yerinde mostra vermektedir. Buralarda yapılan incelemeler sonucunda bu tüflerin yüzeyde alterasyona uğradığı ayrıca kırıklı bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Öz direnç eğrilerinin bazılarında (Ek-6) bu çatlaklara dolan sular nedeniyle bazı değişimler gözlenmiştir. Şekil 3.34 ve 3.35 de bölgenin GD-KB ve K-G kesitleri verilmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi volkanik tüflerin üzerinde genellikle kalınlığı fazla değişmeyen toprak örtü tabakası görülmektedir. Bu toprak tabakası boyunca erozyondan dolayı yer yer volkanik tüfler mostra vermektedir (Şekil 3.36). Ayrıca Şekil 3.24 deki  $K_1-K_1'$  kesitinde düşey yönde kuzey-batı atımlı bir fay görülmektedir. Çalışma alanının birçok kesiminde düşey atımları 1.5-2 m ye varan heyelanlar bulunmaktadır (Şekil 3.37). Genel olarak krip ve erozyonal sürüklenmelerin sonucu olarak toprak kalınlığı aşağıdaki düzlüklerde 3.0 m ye ulaşmaktadır. Yamaçta çukur olan kısımlarda ise yine toprak tabakası lokal olarak artmakta olup, 2.0 m civarında bir kalınlık oluşturmaktadır.



Şekil 3.33 Papaztepe heyelan alanı topoğrafyası.



Şekil 3.34 Papaztepe heyelan alan kesiti.



Şekil 3.35 Papaztepe heyelan alan kesiti.





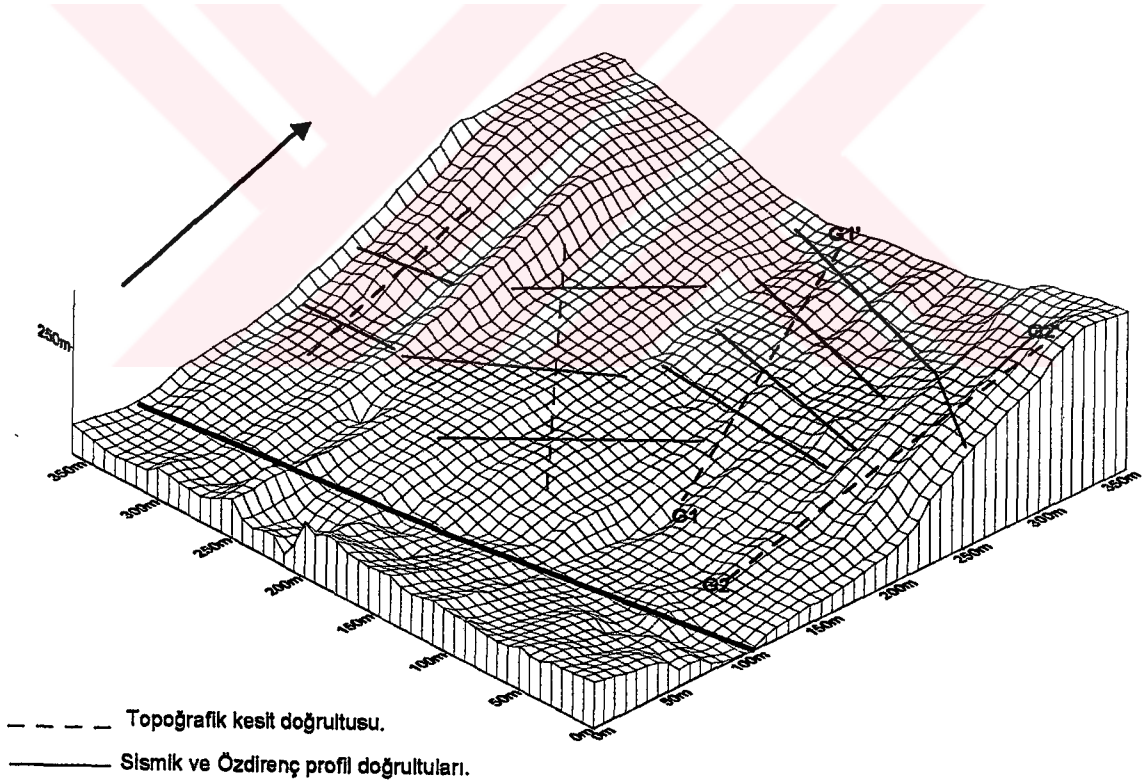
Şekil 3.36 Papaztepe heyelan alanında gözlenen mostralar.



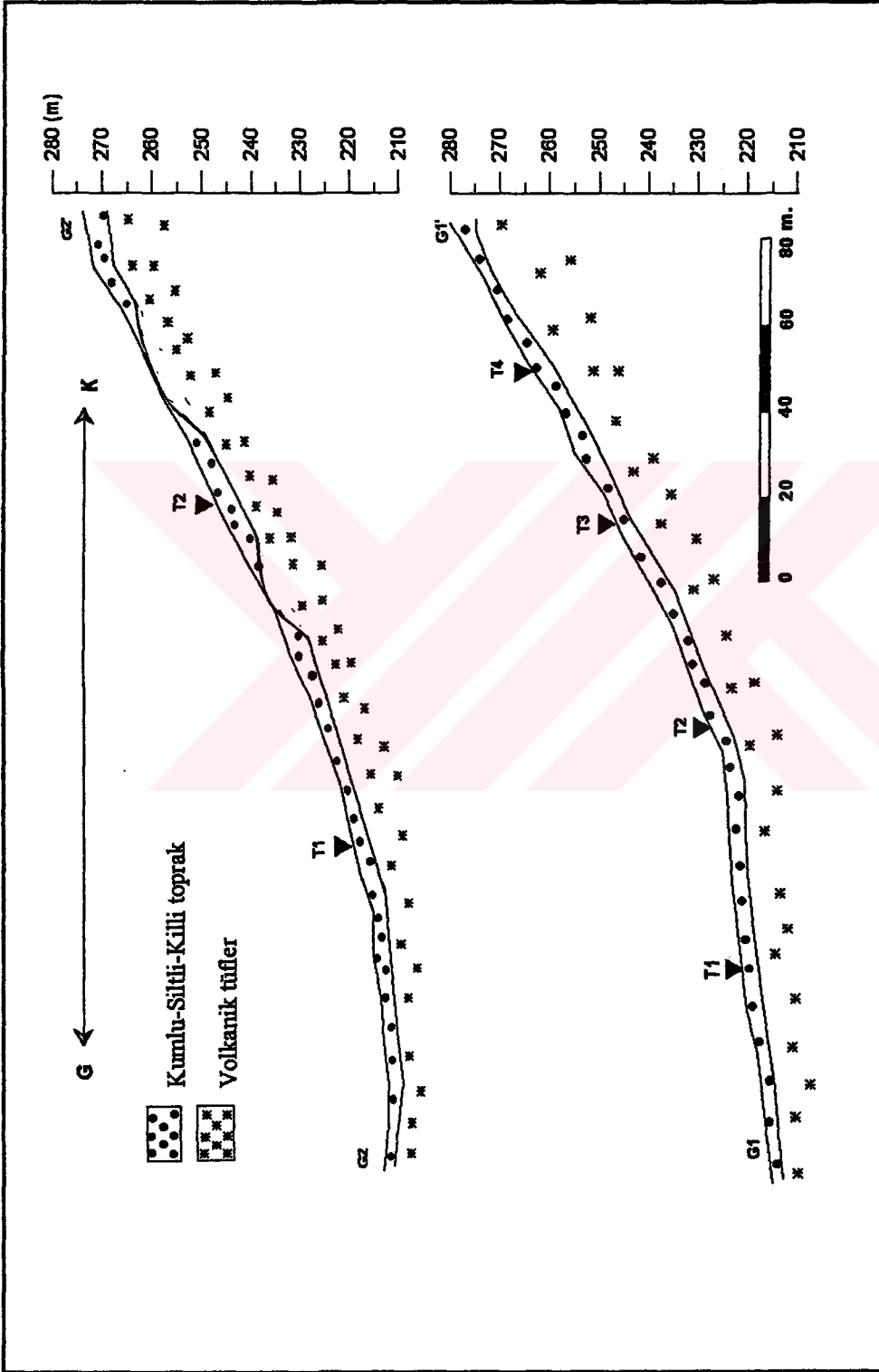
Şekil 3.37 Papaztepe heyelan alanında meydana gelen kaymalar.

### 3.2.4.2 Bayraktepe heyelan alanı

Bayraktepe heyelan alanında düz alanlarda yamaca paralel olarak toplam uzunluğu 1150 m olan 10 adet profil üzerinde sismik kırılma ve 10 noktada ise özdirenç düşey sondaj çalışmaları yapılmıştır (Şekil 3.38). Çalışma alanının eğimi yaklaşık olarak  $18^{\circ}$  olup bu eğim bazı yerlerde  $20^{\circ}$  ye kadar çıkmaktadır. Sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesi sonucunda bu alanda hızı 1000 m/sn olan 2.6-3.5 m kalınlığında bir toprak örtü tabakası saptanmıştır. Bunun altında ise hızı 2500 m/sn olan volkanik tüfler yer almaktadır. Bu veriler ölçülen özdirenç verileri ile tam bir uyum içindedir. Özdirenç çalışmaları sonucunda toprak tabakasının özdirenci yaklaşık 38 ohm-m ve volkanik tüflerinkinin ise yaklaşık 70 ohm-m olduğu saptanmıştır (Şekil 3.39).



Şekil 3.38 Bayraktepe heyelan alanı topoğrafyası.



Şekil 3.39 Bayraktöpe heyelan alan kesiti.

kesitlerde ve Şekil 3.40 dan görüldüğü gibi arazinin birçok yerinde erozyon nedeniyle volkanik tüfler mostra vermiştir. Yamacın yukarı kesimlerinde atımları yaklaşık 60 cm-1.0 m arasında değişen geniş heyelan alanları oluşmuştur. Şekil 3.41 de görüldüğü gibi yamaçta toprakalar kademeli bir şekilde kaymaktadır. Toprak kalınlığı aşağıda düz olan kısımlarda 3.5 m yi geçmekte olup, bu alanlar tarım alanı olarak kullanılmaktadır. Yamacın yukarı kısımlarında iki noktadan çıkan kaynak suları buradaki heyelanların hareketine arttırıcı yönde etki yapmaktadır.



Şekil 3.40 Bayraktepe heyelan alanında gözlenen mostralar.



Şekil 3.41 Bayraktepe heyelan alanında meydana gelen kaymalar.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Arslanbey, Hisareyn, Selimiye, Döngel ve Kızderbent heyelan alanları jeolojik bilgiler ışığında jeofizik (sismik ve elektrik) yöntemler kullanılarak incelenmiştir. İnceleme sonucunda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Arslanbey Beldesindeki heyelan alanının eğimi  $8^{\circ}$  dir. Kayan kütle 1.3-1.5 m kalınlıklı bir toprak tabakasıdır. Bu örtü tabakanın altında sert kireçtaşları yer almaktadır. Buradaki hareket kripi (yavaş akma) şeklinde olup, dere yatağında işletilmekte olan taş ocağında yapılan dinamit atışları bu hareketi hızlandırmaktadır. Ayrıca bu atışlardan oluşan vibrasyonlar kaya düşmelerine ve yuvarlanmalarına da neden olmaktadır.
2. Hisareyn heyelanı dil şeklinde olup, eğimi yaklaşık  $6^{\circ}$  dir. Buradaki düşey hareket 2 m ve yanal hareket ise 8 m dir. Burada kaymaya neden olan etmen aşağıda bulunan aşırı çatlaklı killerin gerek yukarı kısımlarında kontrolsüz akan kaynak suları ve gerekse yağışlar ile şişerek kaygan bir hale gelmiştir. Çevredeki potansiyel heyelan alanlarının harekete geçmesini önlemek için yamaçların üst kısımlarındaki kaynak sularının kontrol altına alınarak drenaj sistemleri ile dışarı atılması ve potansiyel topuk olacak bölgelerde istinat duvarları oluşturulması veya ağırlık konarak sağlamlaştırılması gerekmektedir.
3. Selimiye heyelanı kaşık şeklinde olup, eğimi yaklaşık  $13^{\circ}$  dir. Burada oluşan hareketin düşey atımı 8 m ve yanal hareketi ise 15 m dir. Burada heyelan, yamaç eğiminin etkisi ile altta bulunan çatlaklı killerin yine yukarıdaki kaynak suları ve yağışlarla şişmesi ve bunun sonucu olarak da üstteki örtü tabakasının eğim yönünde kayması şeklinde oluşmuştur. Bu hareket sonucunda bir ev tamamen yıkılmış olup, diğer evler ise oturulamayacak şekilde çatlamışlardır. Heyelanın çevresindeki potansiyel heyelan alanlarında gözlenen tansiyon çatlakları ve yamacın alt kısımlarında ortaya çıkan kaynak suları bu bölgelerin de kısa bir süre içinde kayabileceğini göstermektedir. Bu kısımlardaki hareketin önlenmesi için öncelikle yapılacak iş kaynak sularını drene ederek ve yüzey drenaj sistemleri yaparak suların alta geçmesini engellemektir.
4. Döngel Beldesinde çok geniş heyelan alanları vardır. Bu alanlardaki heyelanların ortaya çıkmasının ana nedeni altta kalın ve çatlaklı bir kil tabakasının bulunması, topoğrafyanın çok engebeli olması ve üstte geçirgen bir örtü tabakasının yer almasıdır. Bölgenin birçok kesiminde aktif heyelanlar bulunmakta ve büyük bir kesim ise potansiyel heyelan alanı olarak görülmektedir. Burada altı ana heyelan bölgesi tespit edilmiştir. Bu alanlarda yapılan jeofizik çalışmaların değerlendirilmesinden kayan kütlelerin kalınlıklarının 10-15 m olduğu anlaşılmıştır. Bölgedeki yarmalardan alınan kil örnekleri bu killerin çok çatlaklı olduklarını göstermiştir. Burada alınacak en önemli tedbir, yüzey drenaj sistemleri oluşturularak yüzey sularının alt kısımlara geçmesini önleyerek alan dışına akmalarını sağlamaktır.
5. Kızderbent Beldesinde eğimi ortalama  $13^{\circ}$ - $23^{\circ}$  arasında olan Papztepe ve eğimi  $18^{\circ}$ - $20^{\circ}$  arasında değişen Bayraktepe'de meydana gelmiş olup, çok geniş bir bölgeyi kapsamaktadır. Kayan kitle, ortalama kalınlığı 3.5 m olan bir toprak tabakasıdır. Bu

örtü tabakasının altında volkanik tüfler yer almaktadır. Tüm bölgede gözlenen erozyonel hareketler yer yer düşey atımları 1.5 m ye varan heyelanlar olarak kendini göstermektedir. Bu hareketler eğimin oldukça fazla olduğu bu bölgede yüzey suları, yağışlar ve yeraltı sularının volkanik tüflerin üstünde bulunan toprak tabakasını kaydırması sonucu meydana gelmiştir. Volkanik tüflerin içinde bulunan bu yeraltı suları bir kaç noktadan kaynak olarak yüzeye çıkmaktadır. Bölgede teraslama yapılarak drenaj sistemleri ile mevcut sular kontrol altına alınmalı ve bu alanlar bölge koşullarına uygun fidanlar ile ağaçlandırılmalıdır.



**KAYNAKLAR**

1. Akartuna M., 1968. Armutlu Yarımadasının jeolojisi, İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi monografileri No:20 105 sayfa.
2. Altınlı İ.E., 1968. İzmit Hereke, Kurucadağ alanının jeolojik incelemesi, MTA Mecmuası, No:71 S.1-26.
3. Bargu, S., Yüksel, A., 1993. İzmit Körfezinin Kuvaterner deniz dibi çökellerinin stratigrafik ve yapısal çökelleri ile kalınlığının dağılımı. Türkiye Jeolojisi Kurultay Bülteni. S.169-180
4. Dobrin, M.B., 1976 Introduction to Geophysical Prospecting, 3rd ed.: New York, Mc Graw-Hill.
5. Dizioğlu, M.Y., Keçeli, A.D., 1981 Elektrik ve Elektromagnetik Prospeksiyon Yöntemleri. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi basım Evi, İstanbul.
6. Erguvanlı, K., 1982. Mühendislik Jeolojisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
7. Grant, F.S., West, G.F., 1965. Interpretation Theory in Applied Geophysics. McGraw-Hill Book Co. New York
8. Koefoed, O., 1979. Geosounding Principles.1. Scientific Publishing Company, New York
9. Kurtuluş, C., 1995 Model Studies Over Thin Vein With Some Resistivity Electrode Arrays, Journal of Kocaeli University
- 10.Önalp, A., 1995. Heyelan Sözlüğü. II. Ulusal Heyelan Sempozyumu, Adapazarı.
- 11.Sheriff, R.E., Geldart, L.P., 1982. History, Theory and Data Acquisition, Cambridge University Press, New York.
- 12.Tarhan, F., 1989. Mühendislik Jeolojisi Prensipleri, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon.
- 13.Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E., Keys, D.A.,1976. Applied Geophysics. Cambridge University Press.
- 14.Varnes, D.J., 1978. Slope movement types and processes-in Schuster, R.L. and Krizek, R.J., eds. Landslides-Sciences transportation research board special report 176, pp. 12-33.
- 15.Waters, K., 1978. Reflection seismology, John Wiley, New York

## ÖZGEÇMİŞ

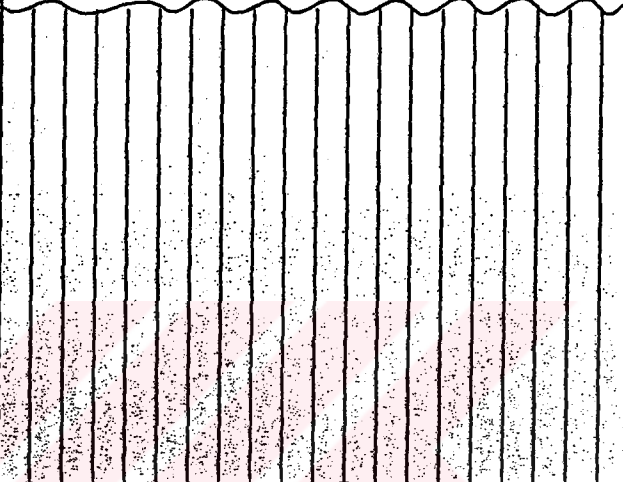
1965 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini İzmit'de tamamladı. 1985 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden 1989 yılında Jeofizik Mühendisi olarak mezun oldu. Askerlik hizmetini 1990-1991 yılları arasında İzmir Narlıdere'de İstihkam Astğ. olarak yaptı. 1993-94 öğretim yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

1994 yılında Kocaeli Üniversitesi Çevre Sorunları Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Uzman olarak göreve başladı. Halen aynı üniversitede Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır.





EK-1

		ISTANBUL-KOCAELI
	USTLEYEN	ERKEN TRIAS
PERMIYEN	GENC	
	ERKEN	
KARBONIFER	GENC	GROVAK
		KIREC TASI
		GROVAK
	ERKEN	BAZALT + GROVAK
		GROVAK SEYL
		CAMURTASI
ALTILAYAN	YUMRULU KIRECTASI	

EK-2

## SİLURİYEN

		KOCAELI
USTLEYEN		DEVONYEN
G	LUDLOWIYEN	SIYAH TABAKALI KIRECTASI
		YUMRULU KIRECTASI
		YUMRULU KIRECTASI
O	WENLOCKIYEN	CRONID KIRECTASI
		KUMLU KIRECTASI 50 ML.
		TAVSAN TEPE FM MARN : 50 ML.
E	LLONDOVERIYEN	YAYALAR FM 200 ML.
		GROVAK-KUMTASI
ALTILAYAN		

EK-3

## DEVONİYEN

		KOCAELI
USTLEYEN		
G	FAMENİYEN	BUYUKADA FM
	FRASNIYEN	110 M. YUMRULU KIRECTASI
O	GIVESIYEN	CAMURTASI
	EIFELİYEN	
A	EMISYEN	MARN+KIREC TASI
	SIEGENTİYEN	KARTAL FM GROVAK SEYL
	GEDINNIYEN	ISTINYE FM-100M KIRECTASI+MARN

EK-4

<b>ORDOVİSİYEN</b>
--------------------

		<b>KOCAELİ</b>
<b>ÜSTLEYEN</b>		<b>SİLURİYEN</b>
<b>ÜST</b>	<b>ASEĞLİYEN</b>	<b>YAYALAR GROVAK+KUMTASI</b>
	<b>CARADOSİYEN</b>	<b>KUM TASI</b>
<b>ORTA</b>	<b>LLANDEHİLİYEN</b>	<b>YAYALAR FM 250 M. KUVARSTI</b>
	<b>LLANVİRNIYEN</b>	
<b>ALT</b>	<b>ARENİĞİYEN</b>	<b>KURT KOY FM 7200 M. GRI ALACALI GROVAK</b>
	<b>TREMADOSİYEN</b>	<b>SİLT TASI ARKOZ KONGLOMERA</b>
<b>ALTILAYAN</b>		

**EK-5 Döngel Beldesinde yapılan çalışmalarda alınan sismik kırılma varış zamanları.**



D1-BÖLGESİ 1.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	26	19
20	33	31
30	39	38
40	50	46
50	59	54
60	65	62
70	-	-
80	-	-
90	-	-
100	-	-
110	-	-
120	-	-

D1-BÖLGESİ 2.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	21	29
20	30	40
30	40	45
40	49	49
50	66	56
60	69	64
70	75	69
80	-	-
90	-	-
100	-	-
110	-	-
120	-	-

D2-BÖLGESİ 1.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	28	36
20	40	48
30	46	52
40	48	56
50	58	63
60	60	
70	72	65
80		76
90	78	82
100	82	84
110	88	88
120	93	92

D2-BÖLGESİ 2.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	16	22
20	22	34
30	35	37
40	37	42
50	44	42
60	46	45
70	-	-
80	-	-
90	-	-
100	-	-
110	-	-
120	-	-

D3-BÖLGESİ 1.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	30	30
20	38	32
30	50	42
40	58	44
50	64	56
60	79	-
70	83	85
80	85	80
90	89	85
100	94	93
110	98	94
120	107	85

D3-BÖLGESİ 2.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	38	24
20	46	33
30	51	42
40	64	50
50	69	60
60	78	68
70	83	74
80	-	-
90	-	-
100	-	-
110	-	-
120	-	-

D4-BÖLGESİ 1.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	36	33
20	46	44
30	54	50
40	60	56
50	63	60
60	67	64
70	68	69
80	74	72
90	79	76
100	80	78
110	84	80
120	88	88

D4-BÖLGESİ 2.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	38	38
20	48	44
30	57	52
40	60	56
50	64	60
60	66	62
70	68	68
80	71	72
90	78	73
100	81	78
110	84	
120	86	84

D5-BÖLGESİ 1.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	28	36
20	40	48
30	46	52
40	48	56
50	58	63
60	60	64
70	72	65
80	75	76
90	78	82
100	82	84
110	88	88
120	93	92

D5-BÖLGESİ 2.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	30	30
20	38	32
30	50	42
40	58	44
50	64	56
60	79	-
70	83	85
80	85	80
90	89	85
100	94	93
110	98	94
120	107	85

D6-BÖLGESİ 1.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	29	31
20	38	41
30	48	49
40	58	53
50	62	57
60	66	61
70	70	69
80	74	75
90	78	81
100	83	52
110	88	84
120	90	88

D6-BÖLGESİ 2.PROFİL		
$\Delta X$ (m)	Düz Atış (msn)	Ters Atış (msn)
10	16	17
20	24	25
30	32	30
40	33	33
50	36	36
60	44	40
70	44	42
80	47	44
90	49	48
100	54	52
110	56	56
120	57	58



**EK-6 Döngel Beldesinde yapılan çalışmalarda alınan görünür özdirenç değerleri**

D1-BÖLGESİ 1.PROFİL		
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)
1	0.25	
1.5		
2		
3		55.0
4		49.4
5		42.4
6		44.4
8		46.9
10		46.2
12.5		43.9
15		45.1
15		40.9
12.5		1.5
15	38.3	
20	44.0	
25	40.4	
30	41.1	
35	36.2	
40	33.1	
45	31.4	
50	33.6	
60	33.9	
50	7.5	31.3
60		27.5
70		27.9
80		30.8
90		33.1
100		31.2
125		38.7
150		39.5

D1-BÖLGESİ 2.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25		
1.5			
2			
3		44.2	
4		37.3	
5		39.2	
6		41.7	
8		41.0	
10		38.7	
12.5		40.0	
15		35.7	
15		1.5	33.5
12.5			33.1
15	38.8		
20	35.2		
25	36.0		
30	31.0		
35	27.9		
40	26.2		
45	28.4		
50	28.7		
50	7.5	26.1	
60		23.3	
70		22.7	
80		25.6	
90		27.9	
100		26.0	
125		33.5	
150		34.3	

D2-BÖLGESİ 1.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	15.14	
1.5		15.11	
2		14.45	
3		15.99	
4		16.62	
5		17.51	
6		17.58	
8		18.89	
10		19.79	
12.5		21.26	
15		22.62	
12.5		1.5	16.73
15			17.36
20	19.44		
25	21.52		
30	22.56		
35	23.69		
40	24.76		
45	26.83		
50	27.00		
60	27.32		
50	7.5	35.82	
60		37.10	
70		38.00	
80		38.97	
90		41.30	
100		51.50	
125		48.10	

D2-BÖLGESİ 2.PROFİL		
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)
1	0.25	43.70
1.5		38.47
2		35.40
3		35.90
4		37.50
5		35.30
6		31.20
8		34.10
10		37.90
12.5		42.40
15		31.60
12.5	1.5	35.00
15		39.20
20		41.70
25		41.60
30		38.40
35		41.80
40		42.40
45		42.50
50		42.70
60		42.00
50	7.5	42.00
60		43.40
70		43.30
80		43.70
90		45.70
100		46.30
125		46.60

D3-BÖLGESİ 1.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	14.31	
1.5		9.23	
2		10.00	
3		9.40	
4		10.17	
5		10.50	
6		11.10	
8		12.90	
10		14.50	
12.5		15.50	
15		17.00	
12.5		1.5	15.70
15			17.20
20	21.20		
25	23.30		
30	22.71		
35	22.60		
40	26.40		
45	28.10		
50	27.00		
60	26.80		
50	7.5		
60			
70		20.10	
80		20.80	
90		20.50	
100		21.30	
125		22.90	
150		23.40	

D3-BÖLGESİ 2.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	10.6	
1.5		7.7	
2		11.0	
3		12.8	
4		6.3	
5		6.8	
6		7.4	
8		9.22	
10		10.8	
12.5		11.8	
15		13.25	
12.5		1.5	12.2
15			12.6
20	17.1		
25	19.6		
30	21.3		
35	17.3		
40	21.3		
45	26.3		
50	21.03		
60	22.3		
50	7.5	14.3	
60		15.7	
70		15.3	
80		16.1	
90		15.7	
100		18.1	
125		18.7	
150		19.3	

D4-BÖLGESİ 1.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	9.79	
1.5		8.83	
2		8.81	
3		8.60	
4		8.94	
5		9.40	
6		10.04	
8		10.45	
10		10.67	
12.5		11.45	
15		11.46	
12.5		1.5	10.30
15			10.26
20			10.96
25	11.82		
30	11.90		
35	12.80		
40	13.38		
45	14.12		
50	15.03		
60	17.02		
50	7.5	13.98	
60		14.51	
70		14.42	
80		14.17	
90		14.59	
100		15.50	
125		16.66	

D4-ÖLGESİ 2.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	18.80	
1.5		16.20	
2		14.30	
3		13.30	
4		14.30	
5		16.10	
6		17.50	
8		18.90	
10		20.10	
12.5		22.07	
15		23.32	
12.5		1.5	17.09
15			17.88
20			19.43
25	16.21		
30	14.41		
35	14.51		
40	14.50		
45	15.30		
50	15.94		
60	15.90		
50	7.5	16.03	
60		16.07	
70		17.13	
80		17.05	
90		19.37	
100		21.93	
125		26.95	

D5-BÖLGESİ 1.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	40.41	
1.5		47.26	
2		43.90	
3		46.00	
4		50.05	
5		56.44	
6		58.76	
8		59.29	
10		59.66	
12.5		63.78	
15		60.07	
12.5		1.5	56.45
15			54.43
20	54.14		
25	54.77		
30	62.04		
35	69.14		
40	73.61		
45	79.85		
50	82.20		
60	84.73		
50	7.5	88.01	
60		81.62	
70		98.53	
80		111.90	
90		117.90	
100		113.06	
125		112.65	

D5-BÖLGESİ 2.PROFİL			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	40.41	
1.5		47.26	
2		43.90	
3		46.00	
4		50.05	
5		56.44	
6		58.76	
8		59.29	
10		59.66	
12.5		63.78	
15		60.07	
12.5		1.5	56.45
15			54.43
20	54.14		
25	54.77		
30	62.04		
35	69.14		
40	73.61		
45	79.85		
50	82.20		
60	84.73		
50	7.5	88.01	
60		81.62	
70		98.53	
80		111.90	
90		117.90	
100		113.06	
125		112.65	

**Ek-7 Kızderbent Beldesi'nde alınan sismik kırılma varış zamanları.**

G1-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	10
20	18
30	26
40	31
50	34
60	36
70	40
80	48
90	52
100	69
110	72
120	78

G3-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	10
20	21
30	24
40	31
50	33
60	35
70	37
80	39
90	41

G2-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	16
20	25
30	32
40	36
50	44
60	46
70	47
80	49
90	55
100	63
110	65
120	69

GG1-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	18
20	32
30	42
40	42
50	46
60	48
70	52
80	56
90	58
100	-
110	-
120	68



GG2-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	18
20	26
30	42
40	48
50	52
60	54
70	56
80	57
90	58
100	-
110	-
120	-

Y1-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	24
20	33
30	42
40	50
50	60
60	68
70	74

Y2-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	12
20	18
30	24
40	28
50	34
60	39
70	41
80	44
90	46
100	55

Y3-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamanı (msn)
10	16
20	24
30	26
40	28
50	30
60	34
70	38
80	39
90	42

K1-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamani (msn)
10	22
20	24
30	26
40	35
50	36
60	39
70	42
80	46
90	50
100	56
110	65
120	74

K3-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamani (msn)
10	6
20	16
30	18
40	24
50	25
60	29
70	36

K2-PROFİLİ	
$\Delta X$ (m)	Variş Zamani (msn)
10	14
20	-
30	32
40	32
50	40
60	40
70	48
80	48
90	52
100	54

**Ek-8 Kızderbent Beldesi'nde alınan görünür özdirenç değerleri.**

G1-PROFILİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	62.54	
1.5		105.34	
2		79.25	
3		74.05	
4		73.07	
5		78.40	
6		82.49	
8		96.48	
10		116.20	
12.5		125.12	
15		124.40	
12.5		1.5	87.45
15			98.16
20	99.96		
25	115.75		
30	136.31		
35	128.05		
40	120.46		
45	131.33		
50	136.01		
60	141.01		

G3-PROFILİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	64.23	
1.5		107.03	
2		80.94	
3		74.78	
4		74.23	
5		83.22	
6		97.21	
8		116.93	
10		125.85	
12.5		124.08	
15		119.12	
12.5		1.5	115.03
15			120.15
20	135.42		
25	143.75		
30	129.17		
35	115.01		
40	125.01		
45	123.12		
50	117.29		
60	99.75		

G2-PROFILİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	103.56	
1.5		98.09	
2		83.00	
3		77.80	
4		77.25	
5		86.24	
6		100.23	
8		119.95	
10		128.87	
12.5		128.15	
15		123.12	
12.5		1.5	122.15
15			103.71
20	119.5		
25	140.06		
30	131.08		
35	124.21		
40	128.17		
45	122.35		
50	118.45		
60	115.02		

GG1-PROFILİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	71.46	
1.5		88.175	
2		82.97	
3		82.42	
4		91.41	
5		105.40	
6		125.12	
8		134.04	
10		133.32	
12.5		128.30	
15		127.32	
12.5		1.5	108.88
15			124.67
20	145.23		
25	136.97		
30	129.38		
35	133.34		
40	127.52		
45	123.59		
50	120.19		
60	127.08		

GG2-PROFİLİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	57.54	
1.5		62.10	
2		73.35	
3		74.20	
4		77.07	
5		78.40	
6		85.49	
8		87.13	
10		105.30	
12.5		115.13	
15		121.42	
12.5		1.5	117.00
15			122.30
20	99.96		
25	105.72		
30	115.35		
35	127.40		
40	129.02		
45	120.00		
50	135.32		
60	137.01		

Y1-PROFİLİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	62.56	
1.5		65.80	
2		79.26	
3		73.36	
4		73.16	
5		82.06	
6		96.76	
8		115.56	
10		124.56	
12.5		124.47	
15		119.16	
12.5		1.5	118.06
15			99.45
20	115.56		
25	136.42		
30	128.16		
35	120.48		
40	124.53		
45	118.71		
50	114.78		
60	111.38		

Y2-PROFİLİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	65.25	
1.5		96.27	
2		83.98	
3		73.09	
4		77.09	
5		86.17	
6		89.17	
8		99.17	
10		115.15	
12.5		127.39	
15		127.14	
12.5		1.5	120.38
15			117.38
20	121.17		
25	136.44		
30	144.77		
35	130.19		
40	116.03		
45	126.40		
50	124.17		
60	118.15		

Y3-PROFİLİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	115.28	
1.5		89.20	
2		84.05	
3		83.44	
4		92.28	
5		106.42	
6		126.39	
8		135.06	
10		134.35	
12.5		129.32	
15		128.35	
12.5		1.5	109.68
15			125.71
20	146.26		
25	137.99		
30	130.40		
35	134.58		
40	128.38		
45	124.61		
50	212.21		
60	123.42		

K1-PROFILİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	53.25	
1.5		57.41	
2		110.46	
3		84.37	
4		79.17	
5		78.19	
6		83.52	
8		87.61	
10		101.60	
12.5		121.32	
15		130.24	
12.5		1.5	92.57
15			105.08
20			110.62
25	141.43		
30	133.17		
35	125.58		
40	136.45		
45	141.13		
50	146.13		
60	149.21		

K3-PROFILİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	66.32	
1.5		61.19	
2		88.28	
3		80.58	
4		66.90	
5		79.98	
6		78.95	
8		83.82	
10		97.53	
12.5		117.53	
15		118.23	
12.5		1.5	88.78
15			91.90
20			93.79
25	109.58		
30	130.14		
35	121.88		
40	114.29		
45	125.16		
50	129.84		
60	132.14		

K2-PROFILİ			
AB/2 (m)	MN/2 (m)	$\rho_a$ (ohm-m)	
1	0.25	60.16	
1.5		67.19	
2		76.87	
3		71.67	
4		70.69	
5		76.02	
6		80.11	
8		94.10	
10		113.82	
12.5		122.74	
15		122.02	
12.5		1.5	85.07
15			95.78
20			97.58
25	113.37		
30	133.93		
35	125.67		
40	118.08		
45	128.95		
50	133.63		
60	136.13		