

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ZAMAN ATLAMALI ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNİN (TL-ERT)
HEYELAN AKTİVİTESİNİN MODELLENMESİNDE KULLANIMI:
BATI ANTALYA'DAN ÖRNEK UYGULAMALAR**

Fatih UÇAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2020

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ZAMAN ATLAMALI ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNİN (TL-ERT)
HEYELAN AKTİVİTESİNİN MODELLENMESİNDE KULLANIMI:
BATI ANTALYA'DAN ÖRNEK UYGULAMALAR**

Fatih UÇAR

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

TEMMUZ 2020

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZAMAN ATLAMALI ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNİN (TL-ERT)
HEYELAN AKTİVİTESİNİN MODELLENMESİNDE KULLANIMI:
BATI ANTALYA'DAN ÖRNEK UYGULAMALAR**

Fatih UÇAR
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

Bu tez 28/07/2020 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK
Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN
Prof. Dr. Züheyr KAMACI
Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU
Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ

ÖZET

ZAMAN ATLAMALI ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMİNİN (TL-ERT) HEYELAN AKTİVİTESİNİN MODELLENMESİNDE KULLANIMI: BATI ANTALYA'DAN ÖRNEK UYGULAMALAR

Fatih UÇAR

Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK

Temmuz 2020; 125 sayfa

Jeolojik aktiviteler ile oluşan deprem ve heyelan benzeri doğal olaylar, insanların bu olaylara karşı gösterdiği yüksek hassasiyet sebebiyle doğal afetlere dönüşmektedir. Ülkemiz için oluş sayısı bakımından en önemli doğal olaylardan olan heyelanlar, temelde kaya veya zemin kütlelerinin yamaç aşağı hareketi olarak tanımlanmaktadır. Bu hareketler yoğun yağış gibi doğal dış uyaran ya da yapısal hareketlilik gibi doğal iç uyaranlar ile tetiklenebilmekte veya insan kaynaklı eylemler gibi yapay uyaranlar ile de gerçekleşebilmektedir. Arazideki heyelan aktivitesinin tespit edilebilmesi için, bu tarz hareketlerde önemli bir gösterge olan pekişmemiş zemin-ana kaya dokanağının tespit edilmesi gerektiğinden, bu işlemi başarılı bir şekilde uygulayabilen elektriksel jeofizik yöntemler kullanılmıştır. Geleneksel yöntemler yerine bir hat boyunca sürekli ölçüme dayalı bir yöntem olan çok elektrotlu elektrik öz direnç görüntüleme yöntemi (ERT) farklı zamanlarda ölçümler alınarak (tl-ERT) uygulanmıştır. Zaman atlamalı olarak alınan ölçümler ile elektrik öz direnç değerlerinin değişimin zamana bağlı gözlenmesi sağlanmış ve elde edilen elektrik öz direnç farkları yorumlanmıştır.

Antalya ilinin Kemer-Kumluca hattı boyunca heyelana karşı duyarlı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple çalışma alanı bu kapsamda seçilmiş ve Kumluca-Altınyaka-Antalya yolunun 52. km.sinde Üçoluk yöresinden seçilen iki olası heyelan üzerinde zaman atlamalı elektrik öz direnç analizleri uygulanmıştır. Çalışmadaki büyük heyelan olan Üçoluk-1 heyelanında birbirine dik iki hatta beş aylık analizler gerçekleştirilmiş, küçük olan Üçoluk-2 heyelanında ise tek hatta iki aylık ölçümler yapılmıştır.

Arazi gözlemleri ile Üçoluk-1 heyelanında GB yönüne doğru bir kayma olduğu tespit edilmiş ve analizler bu çerçevede gerçekleştirilmiştir. GB-KD hattı ölçümlerinde, çevresine göre yüksek elektrik öz direnç gösteren alanların kayma yönünde zamanla azalım gösterdiği, düşük elektrik öz dirençli malzemenin (< 4 ohm.metre) yükseltiyi takip ettiği görülmüştür. İlk analizlerde 40-55 metre aralığında gözlenen değerler sonraki ilk analizde serimin 30. metresine ulaşmakta devamında ise serimin 20. metresine kadar gerilmekte ve azalımın kayma yönünde ilerlediği görülmektedir. Bu sayede 10 ohm.metre öz direnç değerine sahip olan bölgenin daha sonraki analizlerde 3-4 ohm.metre değerine kadar gerilediği belirlenmiştir. Aynı şekilde GD-KB hattında da 20 metre genişlikli bir öz direnç farkı gözlenmiş, zaman ilerledikçe elektrik öz direnç değerlerinin diğer hat ile uyumlu olarak azaldığı gözlenmiştir. İki hatta toplamda beş aylık sürede yapılan analizler ile 20 metre genişlikli, yaklaşık 5 metre derinliğe sahip bir kaymanın gözlenebildiği, kayma uzunluğunun ise 20 metre olduğu belirlenmiştir. Üçoluk-2 heyelanında ise arazi

gözlemleri ile yumuşak bir malzemenin dik olan topografyada tutunamadığı ve vadiye doğru kayma gösterdiği gözlenmiştir. Bu heyelanda bir doğrultuda yapılan iki farklı analiz ile elektrik öz direnç değişimi incelenmiş ve neticede 15 metre uzunluklu 4 metre derinlikli bir kayma olduğu tespit edilmiştir. Heyelan genişliği tek yönlü analiz yapıldığı için keşfedilememiş ancak arazi gözlemleri ile vadiye döküntü olarak kayan malzemenin 6 metre genişliğinde olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Antalya, Elektrik öz direnç görüntüleme, Heyelan, Jeofizik, Zaman atlamalı yöntem

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK

Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Züheyr KAMACI

Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ

ABSTRACT

THE UTILIZING OF TIME-LAPSE ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD (TL-ERT) IN MODELING OF LANDSLIDE ACTIVITY: CASE STUDIES FROM THE WEST OF ANTALYA

Fatih UÇAR

PhD Thesis in Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK

July 2020; 125 pages

Natural events like earthquakes and landslides are caused by geological activities and they turn into natural disasters due to the high sensitivity of people to these events. Landslides, which are among the most important natural events in terms of number of occurrences for Turkey, are basically defined as the slope downward movement of the rock or soil. These movements can be triggered by natural external stimulus such as heavy rainfall or natural internal stimulus such as structural mobility or by artificial stimulus such as human-induced actions. In order to determine the landslide activity in the field, electrical geophysical methods can successfully be used to identify the unconsolidated soil - bedrock contact, which is an important indicator for such movements. Instead of traditional methods, the multi-electrode electrical resistivity imaging method (ERT), which is based on continuous measurement along a line, was applied by taking measurements at different times (tl-ERT). With the time-lapse electrical resistivity measurements, the differences of electrical resistivity were observed and interpreted depending on the date.

It is known that west of Antalya is sensitive to landslides along the Kemer-Kumluca line. For this reason, the study area was selected in this context and time-lapse electrical resistivity analyses were performed on two possible landslides selected from the Üçoluk region on the 52nd km of the Kumluca-Altinyaka-Antalya highway. Five-month analyses were carried out on two vertical lines in the Üçoluk-1 landslide. In the Üçoluk-2 landslide, two-month measurements were made on a single line.

With the field observations, a slide was observed in the Üçoluk-1 landslide towards the SW direction and the analyses were carried out within this framework. In SW-NE line measurements, it was observed that the areas showing high electrical resistivity relative to its surroundings decreased in the direction of sliding over time, and the low electrical resistive material (<4 ohm.meter) followed the elevation. In the first analysis, the values observed in the range of 40-55 meters and reached 30th meter in the next analysis and then reached to the 20th meter of the electrode array. It is seen that the decreasing of resistivity is moving in the direction of sliding. In this way, it has been determined that the region with the resistivity value of 10 ohm.meter regressed to 3-4 ohm.meter in later analyses. Similarly, a 20-meter wide resistivity difference was observed in the SE-NW line, and as the time progressed, the electrical resistivity values decreased compatible with the other line. It was determined that a 20-meter wide, approximately 5-meter deep slide could be observed and the length of the slide was

observed as 20 meters by the analysis carried out. In Üçoluk-2 landslide, it was determined that a soft soil could not be stable on the steep topography and slide towards the valley by field observations. The electrical resistivity change was investigated by two different analyses performed in one direction in this landslide, and as a result, it was determined that there was a 15-meter-long and 4-meter-deep slide. The landslide width could not be discovered due to the one-way analysis, but it was determined that the material sliding into the valley as a talus was 6 meters wide.

KEYWORDS: Antalya, Electrical resistivity imaging, Geophysics, Landslide, Time-lapse method

COMMITTEE: Asst. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK

Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN

Prof. Dr. Züheyr KAMACI

Assoc. Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Asst. Prof. Dr. Yasemin LEVENTELİ

ÖNSÖZ

“Zaman Atlamalı Elektrik Özdirenç Yönteminin (tl-ERT) Heyelan Aktivitesinin Modellenmesinde Kullanımı: Batı Antalya’da Örnek Uygulamalar” başlıklı bu çalışma, 2014-2020 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tezin hazırlanması sürecinde ve lisansüstü öğrenim hayatım boyunca yeri geldiğinde danışmanlık yeri geldiğinde abilik yapan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK’e, çalışma konusunun seçimi süresince yol gösterici olan ve olmaya devam edeceğine inandığım değerli hocam Doç. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU’na, çalışma boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaşan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ’ye, çalışmaya dair bilgi ve birikimini paylaşan jüri üyeleri değerli hocalarım Prof. Dr. Mustafa Gürhan YALÇIN ve Prof. Dr. Züheyr KAMACI’ya,

Arazi çalışmalarında beni yalnız bırakmayan, bilgilerini benimle paylaşan, sıcakta, yağmurda, çamurda hep yanımda olan Dr. Ferdi DEMİRTAŞ ve Halil BÖLÜK’e, arazilere eşlik eden ve çalışmalarda yardımcı olan tüm öğrenci arkadaşlarıma, bölgenin jeolojisi hakkındaki sorularımı yanıtsız bırakmayan Alper GÜNEŞ’e, tezin yazımı süresince eksikliğini hissettirmeyen ve tecrübelerini paylaşan Dr. Koray KOÇ’a, tezin ilerleyişini kontrol ederek beni teşvik eden Sinem SALMAN’a, aynı dönemde doktora sürecinde olan ve yakın zamanda doktor unvanını alacağına inandığım Melek Betül YÜREGİR’e, filtre kahvesini içerek güne başladığımız Hatice Seval MANAP’a, öğle sonrası Türk kahveleri ile çalışmaya odaklayan Özge ÖZER’e, her zorluğumda yanımda olan arkadaşım Bayram Ali ÇELTİK’e, uzakta da olsa her fırsatta tezimin ilerleyişini merak eden, fikir veren Cihan ÇOLAK’a,

Tüm zorluklarımı kolay eden herkese,

İlkokul sırasına oturduğum o ilk andan beri her başarımda büyük pay sahibi olan kıymetli sınıf öğretmenim Uğur YÜCEL’e

Hayatımın her anında desteklerini hep hissettiğim, hiçbir koşulda elimi bırakmayan, bana daima inanan ve her başarımda gözleri mutlulukla parlayan anneme, babama, ablama ve tüm aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vi
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	4
1.2. Çalışmanın Kapsamı.....	4
2. KAYNAK TARAMASI.....	6
2.1. Bölgesel Jeoloji	6
2.2. Heyelan ve Türkiye’den Örnek Çalışmalar.....	8
2.2.1. Yamaç hareketleri	10
2.2.1.1. Düşme	12
2.2.1.2. Devrilme	13
2.2.1.3. Kayma.....	13
2.2.1.4. Yanal yayılma	14
2.2.1.5. Akma.....	15
2.2.2. Yamaç hareketlerinin geometrisi	15
2.2.3. Yamaç hareketlerinin hızı	19
2.2.4. Yamaç hareketlerinin nedenleri	20
2.2.5. Yamaç hareketlerinin aktivitesi.....	24
2.2.6. Duraylılık analizleri.....	29
2.2.7. Heyelanlarda tehlike ve risk kavramları.....	33
2.3. Elektrik Özdirenç Görüntüleme ile Heyelan Çalışmaları.....	37
2.4. Zaman-Atlamalı Elektrik Özdirenç Görüntüleme ile Heyelan Çalışmaları	41
3. MATERYAL VE METOT	43
3.1. Materyal.....	43
3.2. Metot	44
3.2.1. Elektrik özdirenç çalışmaları.....	46

3.2.2. Veri çalışmaları	54
3.2.3. Arazi gözlemleri	56
3.2.4. Elektrik özdirenç görüntüleme dizilimleri	57
4. BULGULAR	60
4.1. Üçoluk-1 Heyelanı	60
4.1.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hat analizleri	63
4.1.1.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı ERT analizleri.....	63
4.1.1.2. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı topografik ERT analizleri	69
4.1.1.3. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı topografik tl-ERT analizleri	72
4.1.2. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hat analizleri	76
4.1.2.1. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı ERT analizleri.....	76
4.1.2.1. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı topografik ERT analizleri	81
4.1.2.3. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı topografik tl-ERT analizleri	86
4.1.3. Üçoluk-1 heyelanı elektrik özdirenç değişimleri	91
4.1.3.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı elektrik özdirenç değişimleri	91
4.1.3.2. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı elektrik özdirenç değişimleri	94
4.2. Üçoluk-2 Heyelanı	98
4.2.1. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı ERT analizleri.....	98
4.2.2. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı topografik ERT analizleri	102
4.2.3. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı topografik tl-ERT analizleri	104
4.2.4. Üçoluk-2 heyelanı elektrik özdirenç değişimleri	106
5. TARTIŞMA.....	107
6. SONUÇLAR	114
7. KAYNAKLAR.....	115
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Doktora Tezi olarak sunduğum “Zaman Atlamalı Elektrik Özdirenç Yönteminin (tl-ERT) Heyelan Aktivitesinin Modellenmesinde Kullanımı: Batı Antalya’dan Örnek Uygulamalar” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

28/07/2020

Fatih Uçar

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: Elektrot aralığı
A	: Birinci akım elektrotu
A	: İçinden akım geçen malzemenin temas alanı
A	: Yenilen malzemenin kayma yüzeyinde kapladığı alan
B	: İkinci akım elektrotu
c	: Yenilen malzemenin kohezyonu
D _d	: Heyelan kütesinin derinliği
D _r	: Kayma yüzeyinin derinliği
E	: Risk altındaki ögeler
F	: Güvenlik katsayısı
F _{min}	: En düşük güvenlik katsayısı
H	: Doğal tehlike
H	: Şev yüksekliği
I	: Akım (amper)
k	: Geometrik faktör
km	: Kilometre
L	: Toplam heyelan uzunluğu
L _{cl}	: Heyelanın merkez çizgisinin uzunluğu
L _d	: Heyelan kütesinin uzunluğu
L _r	: Kayma yüzeyinin uzunluğu
m	: metre
m ²	: metrekare
m ³	: metreküp
mm/s	: milimetre / saniye

M	: Birinci gerilim elektrotu
n	: Ayırma faktörü
n	: Gözeneklilik
n	: Veri seviyesi
N	: İkinci gerilim elektrotu
r	: Kürenin ve yarı kürenin yarı çapı
r	: Malzeme boyu
R	: Direnç
R _c	: Kohezif kuvvetler
R _φ	: Sürtünmeli kuvvetler
R _s	: Spesifik risk
R _t	: Toplam risk
S	: Kaydırıcı kuvvetler
S _r	: Doygunluk derecesi
SR	: Şev oranı
T	: Ankraj kuvveti
U	: Boşluk suyu basıncı
V	: Çekme çatlağındaki su kuvveti
V	: Hassasiyet
V _M	: M elektrotundaki gerilim değeri
V _N	: N elektrotundaki gerilim değeri
W	: Yenilen malzemenin ağırlığı
W _d	: Heyelan kütesinin genişliği
W _r	: Kayma yüzeyinin genişliği
α	: Şev açısı
δ	: Ankraj eğim açısı

ϕ	: İçsel sürtünme açısı
γ	: Toplam birim hacim ağırlığı
γ_d	: Kuru birim hacim ağırlığı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
ρ	: Malzemeye ait öz direnç
σ'_n	: Efektif gerilme
σ_n	: Toplam gerilme
π	: Matematiksel sabit (yaklaşık 3,14)
τ	: Yenilen malzemenin kesme gerilmesi
ΔV	: Gerilim farkı (volt)
$<$	: küçüktür ifadesi
$>$	: büyüktür ifadesi
$^\circ$	: Derece
NOT	: Tez metninde ondalık ayraç olarak “,” kullanılmıştır

Kısaltmalar

2D	: İki Boyutlu
3D	: Üç Boyutlu
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DC	: Doğru Akım
EF	: Ecemiş Fayı
ERI	: Elektrik Öz direnç Görüntüleme
ERT	: Elektrik Öz direnç Görüntüleme
G	: Güney
GB	: Güneybatı
GD	: Güneydoğu

GPR : Yer Radarı

K : Kuzey

KAF : Kuzey Anadolu Fayı

KB : Kuzeybatı

KD : Kuzeydoğu

KF : Kırkkavak Fayı

MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

SI : Uluslararası Birimler Sistemi

TDEM: Zaman-Ortamı Elektromanyetik Yöntem

tl-ERT: Zaman-Atlamalı Elektrik Özdirenç Görüntüleme

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. 1950-2008 yılları arasında meydana gelen doğal olayların türlerine göre yüzde dağılımı (Gökçe vd. 2008).....	2
Şekil 1.2. 1950-2008 yılları arasında meydana gelen doğal olaylardan etkilenen afetzedelerin yüzde dağılımı (Gökçe vd. 2008).....	2
Şekil 1.3. Yoğunluklarına göre afet çeşitleri ve bilinen heyelanlar a) afete uğramış yerleşim birimleri haritasına göre Antalya'nın güneybatısındaki afet yoğunluğu ve çeşitleri (Gökçe vd. 2008); b) Antalya'nın güneybatısında olduğu bilinen etkin ve eski heyelanlar (Duman vd. 2011).....	5
Şekil 1.4. Çalışma alanı yer bulduru haritası	5
Şekil 2.1. Toros Dağ Kuşağının bölümleri ve Türkiye'nin aktif tektonik hatları (Özgül 1984; Koç 2019). (KAF: Kuzey Anadolu Fayı; DAF: Doğu Anadolu Fayı; KF: Kırkkavak Fayı; EF: Ecemiş Fayı)	6
Şekil 2.2. Antalya'nın batısındaki tektonik birlikleri gösteren genelleştirilmiş jeolojik harita (Hayward 1982; Meşhur ve Akpınar 1984; Şenel vd. 1992; Aksoy ve Aksarı 2008; Gürboğa ve Aktürk 2018) i) Pliyo-Kuvaterner; ii) Aksu havza çökelleri (Alt-Orta Miyosen); iii) Beydağları otoktonu (Alt-Orta Miyosen); iv) Beydağları otoktonu (Üst Triyas-Oligosen); v) Antalya napları; vi) Likya napları; a) Eski bindirme yapıları; b) Normal faylar; c) Muhtemel faylar; ç) Çalışma alanı.....	7
Şekil 2.3. Şevleri tanımlamada kullanılan terimler (Coduto 2006)	10
Şekil 2.4. Malzemenin türüne göre genelleştirilmiş yenilme tipleri a) düşme; b) devrilme; c) kayma (dairese); ç) kayma (ötelenmeli); d) yanal yayılma; e) akma (Vallejo ve Ferrer 2014).....	12
Şekil 2.5. Karmaşık bir toprak kaymasına ait blok diyagram (Varnes 1978).....	16
Şekil 2.6. Tipik bir heyelan geometrisini ifade eden kesitler a) üstten; b) yandan görünüş (IAEG 1990).....	16
Şekil 2.7. Tipik bir heyelanın boyutlarını ifade eden kesitler a) üstten; b) yandan görünüş (IAEG 1990).....	18
Şekil 2.8. Bir yamaçta su akış diyagramı (Prandini vd. 1977)	24
Şekil 2.9. Yamaç hareketlerinin aktivite durumlarına göre sınıflanması a) etkin; b) duraklamış; c) uyanmış; ç) gizli; d) bitmiş; e) kontrollü; f) kalıntı (WP/WLI 1993)	26
Şekil 2.10. Yamaç hareketlerinin aktivite durumlarının zamana bağlı değişimi (WP/WLI 1993)	26

Şekil 2.11. Yamaç hareketlerinin aktivite dağılımlarına göre sınıflanması a) ileriye gelişen; b) geriye gelişen; c) genişleyen; ç) büyüyen; d) yayılan; e) sınırlı; f) tükenen (WP/WLI 1993)	28
Şekil 2.12. Yamaç hareketlerinin aktivite tiplerine göre sınıflanması a) karmaşık; b) birleşik; c) çoklu; ç) tekli; d) ardışık (WP/WLI 1993).....	29
Şekil 2.13. Bir şevde yenilme yüzeyine etki eden kuvvetler (Vallejo ve Ferrer 2014) ..	31
Şekil 2.14. Bir kaya şevinde yenilme yüzeyine etki eden kuvvetler a) çekme çatlağı şev tepesinde; b) çekme çatlağı şev yüzeyinde (Wyllie ve Mah 2004)	32
Şekil 2.15. Bir kaya şevinde yenilmeye direnen bir dış kuvvetin sisteme eklenmesi (Wyllie ve Mah 2004)	33
Şekil 3.1. ARES32 elektrik özdirenç cihazı	43
Şekil 3.2. ARES32 elektrik özdirenç cihazı a) güç kaynağı ve bağlantısı; b) akıllı kablo, elektrot ve akıllı kablonun elektrotlar ile bağlantısı; c) bir elektrot çifti	44
Şekil 3.3. Kaya, zemin ve minerallerin rezistivite değerleri (Telford vd. 1990)	46
Şekil 3.4. Elektriksel direnç elemanlarının ifadesi (Reynolds 2011).....	47
Şekil 3.5. Elektriksel direnç ortamının küresel ifadesi a); b) küresel sonsuz ifadenin arazide gözlemi; c) küresel sonsuz ifadenin iki boyutta gözlenmesi; ç) küresel yarı sonsuz ifadenin iki boyutta gözlenmesi	48
Şekil 3.6. Elektriksel direnç ortamının küresel ifadesi a) akım yayılım eksenleri; b) sonsuz ortamın ifadesi; c) yarı sonsuz ortamın ifadesi.....	49
Şekil 3.7. Akımın yarı sonsuz ortama iletilmesi (Reynolds 2011)	49
Şekil 3.8. Klasik elektrik özdirenç yöntemi.....	50
Şekil 3.9. Klasik elektrik özdirenç yönteminde elektrot arası mesafeler.....	51
Şekil 3.10. Elektrot dizilimleri a) Wenner Alpha elektrot dizilimi; b) Wenner Schlumberger elektrot dizilimi; c) analiz süresince Wenner Alpha elektrot aralıkları değişimi; d) analiz süresince Wenner Schlumberger elektrot aralıkları değişimi (Loke vd. 2013)	52
Şekil 3.11. Wenner Alpha diziliminin kullanıldığı iki boyutlu elektrik özdirenç görüntüleme ölçüm süreci (Loke vd. 2003)	53
Şekil 3.12. Özdirenç ölçümlerini yorumlamada kullanılan modeller a) bir boyutlu; b) iki boyutlu; c) üç boyutlu (Başokur 2002)	54
Şekil 3.13. İki boyutlu ölçümlerde elde edilen verilerin en küçük kare yöntemi ile modellenmesi (Loke 2020)	56

Şekil 3.14. Üçoluk bölgesindeki olası heyelanlar ve ölçüm hatları.....	57
Şekil 3.15. Heyelanların uzunluk ve genişlik eksenleri ile heyelanlara ait arazi fotoğrafları a); d) Üçoluk-1 heyelanı; e) Üçoluk-2 heyelanı	59
Şekil 4.1. Üçoluk-1 heyelanında gözlenen belirtiler a) heyelan kütlesi içindeki ayrılmalar; b) kara yoluna yakın çatlaklar; c) kara yoluna yakın çöküntüler; ç) kara yolundaki kırıklar	60
Şekil 4.2. Üçoluk-1 birleşik heyelanında gözlenen tali heyelan aynaları	61
Şekil 4.3. Üçoluk-1 heyelan kütlesinin olası sınırları ve heyelanın KD kesiminde mostra veren Jura-Kretase kireçtaşları	61
Şekil 4.4. Üçoluk-1 heyelanının kayma yüzeyinin kireçtaşı ile olan dokanağı.....	62
Şekil 4.5. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattındaki elektrotların serimi	63
Şekil 4.6. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	64
Şekil 4.7. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	64
Şekil 4.8. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	65
Şekil 4.9. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	65
Şekil 4.10. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	66
Şekil 4.11. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	66
Şekil 4.12. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	67
Şekil 4.13. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	67
Şekil 4.14. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	68
Şekil 4.15. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	68
Şekil 4.16. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	69

Şekil 4.17. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	69
Şekil 4.18. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	70
Şekil 4.19. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	70
Şekil 4.20. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	70
Şekil 4.21. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	71
Şekil 4.22. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	71
Şekil 4.23. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	71
Şekil 4.24. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	72
Şekil 4.25. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	72
Şekil 4.26. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	73
Şekil 4.27. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	73
Şekil 4.28. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	73
Şekil 4.29. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	74
Şekil 4.30. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	74
Şekil 4.31. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	74
Şekil 4.32. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	75
Şekil 4.33. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	75

Şekil 4.34. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	75
Şekil 4.35. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	76
Şekil 4.36. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	76
Şekil 4.37. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	77
Şekil 4.38. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	77
Şekil 4.39. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	78
Şekil 4.40. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	78
Şekil 4.41. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	79
Şekil 4.42. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	79
Şekil 4.43. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	80
Şekil 4.44. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	80
Şekil 4.45. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler	81
Şekil 4.46. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	81
Şekil 4.47. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	82
Şekil 4.48. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	82
Şekil 4.49. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	83
Şekil 4.50. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	83

Şekil 4.51. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	84
Şekil 4.52. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	84
Şekil 4.53. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	85
Şekil 4.54. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	85
Şekil 4.55. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	86
Şekil 4.56. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları	86
Şekil 4.57. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları	87
Şekil 4.58. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları	87
Şekil 4.59. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları	88
Şekil 4.60. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları	88
Şekil 4.61. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	89
Şekil 4.62. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	89
Şekil 4.63. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	90
Şekil 4.64. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	90
Şekil 4.65. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	91
Şekil 4.66. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi haziran-temmuz elektrik öz direnç değişimi	91
Şekil 4.67. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi temmuz-ağustos elektrik öz direnç değişimi	92

Şekil 4.68. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi	92
Şekil 4.69. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi	92
Şekil 4.70. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi haziran-temmuz elektrik özdirenç değişimi.....	93
Şekil 4.71. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi temmuz-ağustos elektrik özdirenç değişimi.....	93
Şekil 4.72. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi.....	93
Şekil 4.73. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi.....	94
Şekil 4.74. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi haziran-temmuz elektrik özdirenç değişimi	94
Şekil 4.75. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi temmuz-ağustos elektrik özdirenç değişimi	95
Şekil 4.76. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi	95
Şekil 4.77. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi	96
Şekil 4.78. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi haziran-temmuz elektrik özdirenç değişimi.....	96
Şekil 4.79. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi temmuz-ağustos elektrik özdirenç değişimi.....	97
Şekil 4.80. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi.....	97
Şekil 4.81. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi.....	98
Şekil 4.82. Üçoluk-2 heyelanında gözlenen tali heyelan aynaları	99
Şekil 4.83. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattındaki elektrotların serimi	99
Şekil 4.84. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	100

Şekil 4.85. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	100
Şekil 4.86. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	101
Şekil 4.87. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler.....	101
Şekil 4.88. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	102
Şekil 4.89. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	102
Şekil 4.90. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	103
Şekil 4.91. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	103
Şekil 4.92. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	104
Şekil 4.93. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları.....	104
Şekil 4.94. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	105
Şekil 4.95. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları	105
Şekil 4.96. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi eylül-ekim elektrik öz direnç değişimi.....	106
Şekil 4.97. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi eylül-ekim elektrik öz direnç değişimi.....	106
Şekil 5.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı Wenner-Alpha diziliminin zamansal yorumu a) haziran; b) temmuz c) ağustos; ç) eylül; d) ekim.....	107
Şekil 5.2. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı Wenner-Schlumberger diziliminin zamansal yorumu a) haziran; b) temmuz c) ağustos; ç) eylül; d) ekim.....	108
Şekil 5.3. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı Wenner-Alpha diziliminin zamansal yorumu a) haziran; b) temmuz c) ağustos; ç) eylül; d) ekim.....	109
Şekil 5.4. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı Wenner-Schlumberger diziliminin zamansal yorumu a) haziran; b) temmuz c) ağustos; ç) eylül; d) ekim.....	110

Şekil 5.5. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı Wenner-Alpha dizilimi elektrik özdirençteki yüzde değişimin yorumu **a)** temmuz **b)** ağustos; **c)** eylül; **ç)** ekim..... 111

Şekil 5.6. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı Wenner-Alpha dizilimi elektrik özdirençteki yüzde değişimin yorumu **a)** temmuz **b)** ağustos; **c)** eylül; **ç)** ekim..... 112

Şekil 5.7. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı Wenner-Schlumberger diziliminin zamansal yorumu **a)** eylül; **b)** ekim; **c)** elektrik özdirençteki yüzde değişimin yorumlanması.... 113



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. 1950-2008 yılları arasında meydana gelen doğal olayların türlerine göre oluş sayıları ve olaylardan etkilenen afetzede sayıları (Gökçe vd. 2008).....	1
Çizelge 2.1. Hareketin tipine ve malzemenin türüne göre yamaç hareketleri sınıflaması (Varnes 1978).....	11
Çizelge 2.2. Tipik bir heyelanın bölümlerini ifade eden tanımlamalar (IAEG 1990)	17
Çizelge 2.3. Tipik bir heyelanın boyutlarını ifade eden tanımlamalar (IAEG 1990)	18
Çizelge 2.4. Yamaç hareketi hızlarının sınır değerleri ve tanımları, yıllara göre hız sınırlarının değişimi (Varnes 1978; Cruden ve Varnes 1996)	19
Çizelge 2.5. Yamaç hareketlerinin hızlarına göre olası hasarlar (Cruden ve Varnes 1996)	19
Çizelge 2.6. Malzeme koşulları ve yamaçları etkileyen faktörler (Vallejo ve Ferrer 2014)	21
Çizelge 2.7. Yamaç hareketlerinin aktiviteye göre sınıflandırılması (WP/WLI 1993) ..	25
Çizelge 2.8. Yamaç hareketlerinin aktivite durumlarına göre tahmini yaş ve tanım bilgileri (Keaton ve DeGraff 1996).....	27
Çizelge 3.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı elektrik özdirenç analizi serim verileri...	58
Çizelge 3.2. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı elektrik özdirenç analizi serim verileri...	58
Çizelge 3.3. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı elektrik özdirenç analizi serim verileri	58

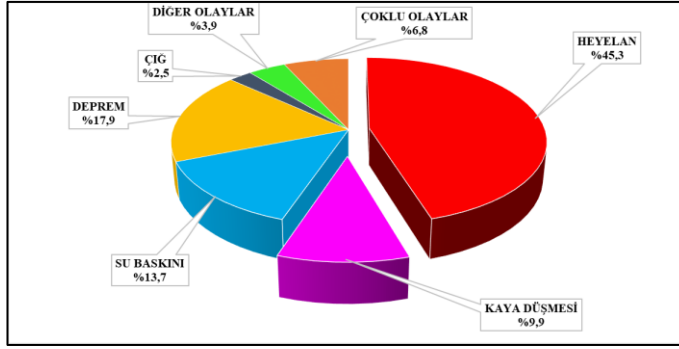
1. GİRİŞ

Yerküremizde meydana gelen tektonik hareketler ile deprem, heyelan, volkanik faaliyetler oluşmakta, jeolojik aktiviteler sonucunda meydana gelen yıkıcı doğa olayları insanların bu olaylara gösterdiği yüksek hassasiyet sebebiyle doğal afetlere dönüşmektedir (Alcantara-Ayala 2002). Yeryüzünün, jeolojik kaynaklı dinamik süreçler ile farklı tip, büyüklük ve hızdaki kütle hareketleri ile şekillendiği bilinmektedir. Bu hareketler zeminlerin veya kaya parçalarının yer çekimi kuvveti etkisiyle yamaç aşağı hareketleri şeklinde genelleştirilebilmektedir (Cruden 1991; Vallejo ve Ferrer 2014). Heyelanlar yoğun yağış veya yapısal hareketlilik gibi doğal uyaranlar ile ya da duraylılığı bozucu faaliyetlerin meydana getirilmesi gibi insan kaynaklı yapay uyaranlar ile tetiklenmektedir (Dai vd. 2002; Guzzetti vd. 1999).

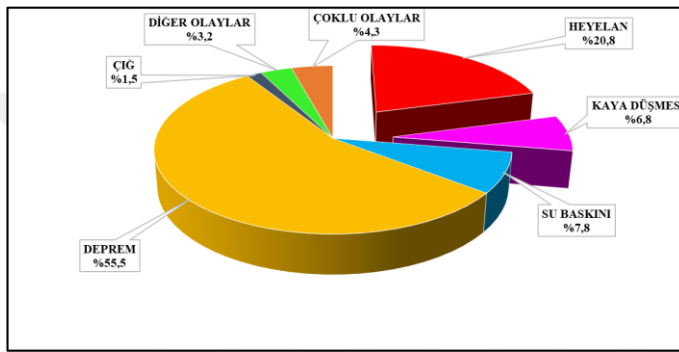
Jeolojik, tektonik ve jeomorfolojik yapısının yanı sıra iklimsel özellikleri sebebiyle ülkemizde de sık sık heyelan, deprem, taşkın gibi doğal olaylar yaşanmakta ve bu olaylar yüksek derecede can ve mal yitimine sebep olan doğal afetlerle dönüşmektedir. Gökçe vd. (2008) tarafından 1950-2008 yılları arasında meydana gelen doğal olayların türlerine göre dağılımı ve bu olaylardan etkilenen afetlerde sayıları, Afet İşleri Genel Müdürlüğü bünyesinde yapılan çalışmaların geriye dönük analizlerini yapmak ve afetlerin maddi ve manevi zararlarını ortaya koymak amacıyla başlatılan Afet Bilgi Envanteri Projesi kapsamında incelenmiştir (Çizelge 1.1). Olayların tekil olduğu düşünülerek yapılan çalışmada, aynı anda birden fazla olayın oluşması durumu çoklu afetler olarak tanımlanmış ve belirtilen olayların dışında kalan yangın, mağara göçmesi, şiddetli yağış ve hortum gibi olaylar da diğer olaylar olarak sınıflandırılmıştır. Oluş sayıları incelendiğinde, heyelan ve kaya düşmesi gibi yamaç yenilmelerinin toplam olayların %55'lik kısmını oluşturduğu (Şekil 1.1) fakat afetlerde sayılarına bakıldığında bu oranın %28 değerine gerilediği (Şekil 1.2) görülmektedir (Gökçe vd. 2008). Birçok ülkede heyelanlardan kaynaklanan ekonomik kayıplar depremler ve taşkınlar gibi yaygın olarak kabul edilen olaylardan kaynaklı kayıplardan daha fazladır (Glade 1998). Yaklaşık 60 yıllık veriler incelendiğinde ülkemizdeki doğal afetlerin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu ekonomik kayıpların, gayri safi milli hasılanın %3-4'ü kadar olduğu bilinmektedir (Gökçe vd. 2008).

Çizelge 1.1. 1950-2008 yılları arasında meydana gelen doğal olayların türlerine göre oluş sayıları ve olaylardan etkilenen afetlerde sayıları (Gökçe vd. 2008)

Doğal Olayın Türü	Oluş Sayısı	Afetlerde Sayısı
Heyelan	13.494	59.345
Deprem	5.318	158.241
Su Baskını	4.067	22.157
Kaya Düşmesi	2.956	19.422
Çığ	731	4.384
Diğer Olaylar	1.175	9.237
Çoklu Olaylar	2.024	12.210



Şekil 1.1. 1950-2008 yılları arasında meydana gelen doğal olayların türlerine göre yüzde dağılımı (Gökçe vd. 2008)



Şekil 1.2. 1950-2008 yılları arasında meydana gelen doğal olaylardan etkilenen afetzedelerin yüzde dağılımı (Gökçe vd. 2008)

Arazi çalışmalarında jeolojik verilere doğrudan erişim, gerçek değerleri yansıtan sonuçlara ulaşabilmek adına gereklidir. Arazi deneyleri ile numuneye doğrudan erişim sağlanmaktadır fakat laboratuvar deneylerinden verimli sonuçlar alabilmek ancak deneye tabii tutulacak numunenin doğrudan temini ile mümkündür. Çalışma sahasındaki birimlere ait özellikleri elde edebilmek için derin noktalardan sondaj yapılarak, sık bölgelerden ise hendek açılarak örnek alınmaktadır. Bu işlemlerin numuneye doğrudan erişim için gerekli olduğu yadsınamaz ancak bu yöntemlerin tahrip edici uygulamalar (invasive techniques) olduğu da kaçınılmaz bir gerçektir. Mühendislik konularına jeolojik yaklaşım ile birlikte jeofizik yöntemlerin de uygulanması arazinin analizi açısından önemli bir aşama olarak görülmekte hatta jeofiziksel uygulamaların çalışma öncesinde son derece gerekli olduğu bilinmektedir. Doğru sondaj noktalarının belirlenebilmesi öncelikle yer altının jeolojik açıdan doğru bir şekilde haritalanması ile mümkündür. Yer altı haritalaması jeofizik disiplindeki çeşitli uygulamalar ile kolaylıkla yapılmakta, elde edilen jeofiziksel sonuçlar sayesinde bölgenin jeolojisi arasında denetirme yapılarak yer altının doğruya en yakın görüntüsü elde edilmektedir. Araziye ait alansal (sismik yöntemler, 3D-ERT), çizgisel (2D-ERT, GPR) ve son olarak noktasal (VES) analiz yapan jeofiziksel yöntemler sonucunda sondaj ve hendek gibi doğrudan analiz yapılacak olan noktalar, tahrip edici olmayan jeofiziksel yöntemlerle (non-invasive techniques) kolaylıkla belirlenmektedir. Doğru sondaj ve hendek noktalarının tespiti hem maddi açıdan hem iş gücü açısından hem de çevreci anlayış özelinde önemlidir.

Jeoteknik mühendisliği çalışmalarına jeofizik yöntemlerin uygulanması ile 1970’li yıllardan itibaren mühendislik jeofiziği kavramı ortaya çıkmıştır (Keçeli 2012). Halihazırda kullanılan yöntemlerin yetersiz kalması hatta bazı yöntemlerin ekonomik açıdan elde edilebilecek yarardan daha pahalıya mal olmaları, yer altının ayrıntılı bir şekilde araştırılması konusunda eksik kalınmasına yol açmış ve kullanılagelen klasik yöntemlerden vazgeçilmesine neden olmuştur. Bunların yanı sıra gelişen teknoloji ile birlikte değişen jeofizik yöntemlerin hem maliyet hem zaman hem de iş gücü açısından sağladığı fayda, klasik yöntemler yerine çağdaş yöntemlerin kullanılmasını gerekli kılmış ve yeni arayışlara olanak sağlamıştır.

Jeofiziksel yöntemler, dokanak ilişkisi kesin olarak belirlenemeyen jeolojik yapıların sınırlarını belirlemede büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemler kaya, zemin ve pekişmemiş tortulların birbirleri ile olan sınır ilişkilerini, ana kayaya olan derinliği, yer altı suyuna olan mesafeyi belirlemede verimli olarak kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra jeofiziksel yöntemler yer altındaki boşluk, obruk gibi karstik birimlerin tespitinde kullanılmakta (Kamacı vd. 1991; Uçar 2014), bu boşlukların doygunluk derecesinin belirlenmesinde yine bu yöntemlerden faydalanılmaktadır. Jeofiziksel veriler için türetilen birçok denklem ile zemin ve kayaların fiziksel özellikleri dolaylı yoldan yaklaşık olarak belirlenmektedir (Türker vd. 1991). Jeofiziksel yöntemler çatlak, kırık vb. yapısal unsurların tespitinde kullanılmaları avantajı ile baraj veya göllerde meydana gelen sızıntıların tespitinde kullanılmakta ve bu sızıntıların önlenmesi için önemli bir ön çalışma görevi görmektedirler.

Yamaç hareketlerinin tahmin edilmesi birçok değişkenin araştırılmasını gerektirmektedir. Değerlendirme aşamaları yamaç duraylılığını etkileyen faktörlerin tanımlanmasını ve bunların uzun süre izlenmesini kapsamaktadır (Gabrieli vd. 2016). Heyelanların yayılımlarının belirlenmesi, geometrik sınırlarının tespit edilmesi ve bir yamaç hareketinin süreçlerinin izlenmesine yönelik çalışmalarda jeofiziksel yöntemlerin kullanılması, yer altı görüntüleme tekniklerindeki gelişmelere paralel olarak artmaktadır (Jongmans ve Garambois 2007). Yüzey bilgisi sağlamakta başarılı ancak yer altı verisi elde etme aşamasında sınırlı olan uydu görüntüleri analizi veya hava fotoğrafçılığı gibi uzaktan algılama yöntemlerinin, yer altı verilerine doğrudan ulaşarak başarılı veri temini sağlayan fakat yalnızca uygulandığı noktalardan veri elde eden sondajlar ve penetrasyon testleri gibi müdahaleci yöntemlerin aksine jeofiziksel yöntemler, yer altı yapısı hakkında bilgi sağlama konusunda daha hızlı ve verimli çalışmakta ve öncül çalışma olarak kullanılmaktadır (Chambers vd. 2011). Bu yöntemlerin birbirine karşı üstünlüğü söz konusu olmamakla birlikte jeolojik gözlemlerin yerinde yapılma zorunluluğu kesinlikle göz ardı edilmemelidir.

Hack (2000) yamaç duraylılığı analizlerinde kullanılan jeofiziksel yöntemleri ayrıntılı bir şekilde incelemektedir. Elektrik gücünü kaynak olarak kullanan jeoelektrik yöntemlerden olan tek boyutlu elektrik öz direnç ölçümleri yamaç duraylılığında başarıyla uygulanmıştır (Bogoslovsky ve Ogilvy 1977). Tek boyutlu jeoelektrik analizlerinde ölçümlerin yorumlanmasının matematiksel olarak karmaşık olması ve standart grafiklerin yardımıyla sadece bilinen durumların çözülebilmesi yöntemin kısıtlamaları olarak öne çıkmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ekipmanlarda değişim ve bilgisayar yazılımlarında gelişme gözlenmiş bu sayede iki ve üç boyutlu elektrik öz direnç görüntüleme yöntemlerinin üretilmesi ile daha hızlı analizlerin yapılmasına ve analiz sonuçların açık bir şekilde yorumlanmasına olanak sağlanmıştır (Hack 2000). Jeoelektrik

yöntemler yamaç hareketleri araştırmalarında kullanılmakta ve bu çalışmalarda yer altındaki jeolojik birimin yapısını ve bileşimini hızlı ve kolay tespit eden iki boyutlu elektrik öz direnç görüntüleme yöntemi tercih edilmektedir (Chambers vd. 2011). Heyelan aktivitelerinde önemli bir öngörücü olan zemin ve su etkileşiminin yeri ve etkisi, elektriksel iletkenlik ölçümlerinden faydalanılarak iki veya üç boyutlu elektrik öz direnç çalışmalarının çözümlemeleri ile tespit edilebilmektedir (Crawford vd. 2018).

1.1. Çalışmanın Amacı

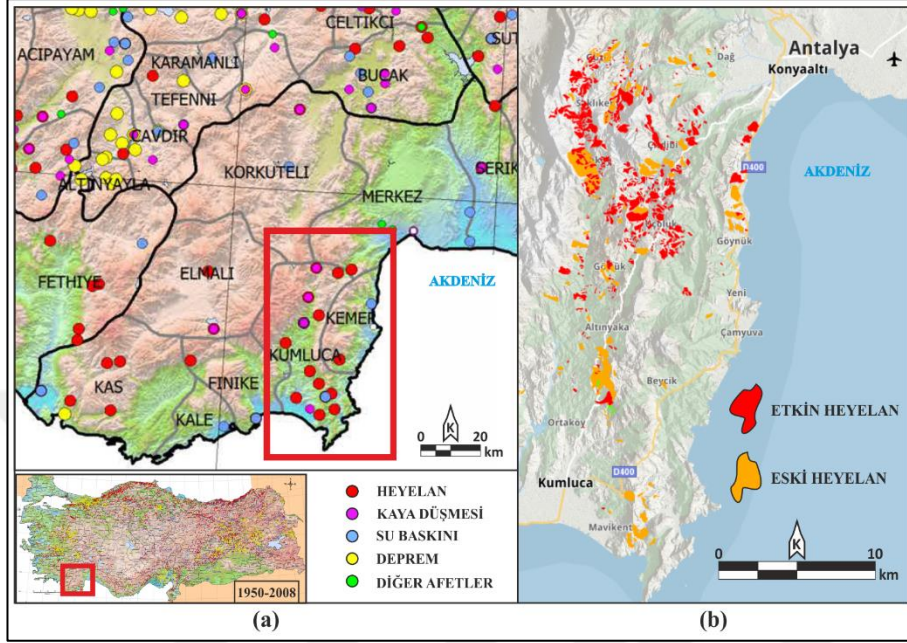
Heyelanlar tehlike oluşturacak doğal olaylar arasında yer almaktadır. Bu sebeple heyelanların tehlike ve risk değerlendirmeleri ile coğrafi konumlarının ve yayılımlarının tespiti önemlidir. Artan nüfus ile yeni yerleşim yerleri arayışının başlaması, yerleşimlerin tehlikeli alanlara doğru yayılmasına sebep olmakta, birçok yerleşim yeri hareketlilik beklenen yamaçlarda kurulmaktadır (Alcantara-Ayala 2002). Oluş sayılarının fazlalığı, düzensiz ve plansız yerleşim ile birleştiğinde heyelanların afete dönüşme olasılıkları daha fazla olmaktadır (Glade 1998). Heyelanlar, dağlık bölgelerdeki hızlı kentleşme nedeniyle insanları doğrudan etkilemekte ve arazi yönetiminde kesinlikle dikkate alınması gereken doğal bir tehlike haline gelmektedir (Nefeslioğlu vd. 2008a) Heyelan tehlikesini etkili bir şekilde azaltmak için ise heyelan tehlikesinin çok iyi anlaşılması ayrıca heyelan riskinin yönetimi için ekonomik kaynak sağlama konusunda önemli idari kararların alınması gerekmektedir (Dai vd. 2002). Çalışmalar ile elde edilen heyelan duyarlılık haritaları, heyelan oluşumunu öngörebilmek ve önlemek amacıyla kullanılabilir. Eğer heyelanları önlemek mümkün değilse bile heyelanların etkisini hafifletmek için duyarlılık haritalarına başvurulmaktadır (San 2014).

Bu tez çalışmasında arazideki heyelan aktivitesini tespit edebilmek için, heyelanlarda önemli bir sınır olan pekişmemiş zemin - ana kaya dokanağını başarılı bir şekilde gösterebilen elektriksel jeofizik yöntemler tercih edilmiştir. Klasik tek boyutlu yöntemlerin yerine bir hat boyunca sürekli ölçüme dayalı bir metod olan çok elektrotlu elektrik öz direnç görüntüleme yöntemi (ERT) tercih edilmiş ve yöntem farklı zamanlarda ölçümler alınarak sürekli uygulanmıştır. Bu sayede heyelan aktivitesinin tahmin edildiği birimlerdeki elektrik öz direnç değişiminin zamana bağlı gözlenmesi sağlanmış, yöntemin zaman atlamalı çok elektrotlu elektrik öz direnç görüntüleme (tl-ERT) olarak bilinen uygulanma şekliyle (Perrone vd. 2004) iki zaman arasındaki elektrik öz direnç farkları elde edilmiş ve yorumlamalar bu değişimlerin analizi ile yapılmıştır.

1.2. Çalışmanın Kapsamı

Türkiye’de afete uğramış yerleşim birimlerine bakıldığında (Şekil 1.3a) Antalya ilinin güneybatısında ve Antalya Körfezi’nin batısında bulunan Kemer-Kumluca hattını kapsayan bölgede, heyelanlardan ve kaya düşmelerinden kaynaklı afetlerin yaşandığı bilinmektedir (Gökçe vd. 2008). Bölge hem yükselti bakımından hem de iklimsel etkiler bakımından bu tarz yamaç yenilmelerine karşı elverişli bir konumdadır. Antalya’da sonbahar ve kış mevsiminde yoğun yağışlar yaşanmakta fakat yaz mevsiminde çok az yağış görülmektedir (Koç 2019). Yaz kuraklığına rağmen diğer aylarda görülen yoğun yağış, yükselti etkisiyle bölgede sık sık yamaç yenilmelerini meydana getirmektedir.

Çalışma alanı 1:25000'lik O24c2 paftasında, Duman vd. (2011) tarafından aktif ve eski birçok heyelanın bulunduğu bölge olarak belirlenen kapsamda (Şekil 1.3b), Kumluca-Altınyaka-Antalya yolunun 52. kilometresinde, Üçoluk ile Hisarçandır mevkileri arasında yer almaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.3. Yoğunluklarına göre afet çeşitleri ve bilinen heyelanlar **a)** afete uğramış yerleşim birimleri haritasına göre Antalya'nın güneybatısındaki afet yoğunluğu ve çeşitleri (Gökçe vd. 2008); **b)** Antalya'nın güneybatısında olduğu bilinen etkin ve eski heyelanlar (Duman vd. 2011)



Şekil 1.4. Çalışma alanı yer bulduru haritası

2. KAYNAK TARAMASI

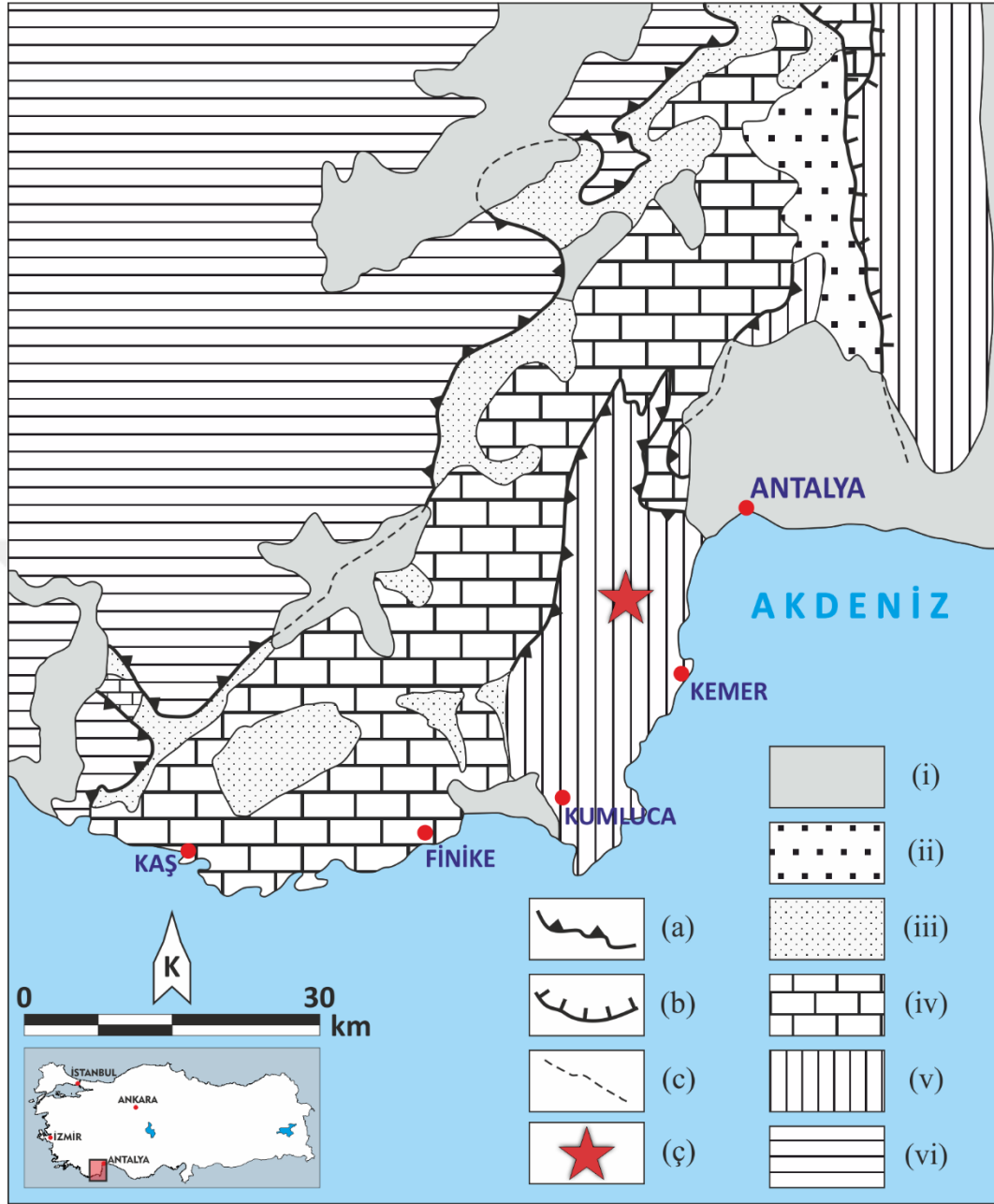
2.1. Bölgesel Jeoloji

Türkiye'nin ana tektonik hatlarından olan Toros Dağ Kuşağı, Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı üzerinde, Doğu Akdeniz havzasında yer almaktadır (Şengör ve Yılmaz 1981). Bölge, içerdikleri jeolojik birimler ve gösterdikleri morfolojik özelliklerine göre Doğu, Orta ve Batı Toroslar olmak üzere üç bölgeye ayrılmaktadır (Özgül 1984) (Şekil 2.1). Orta ve Batı Toroslar bariz stratigrafik ve yapısal farklılıkları olan birimlerden oluşmakta, Orta Toroslar'daki kaya topluluklarının Batı Toroslar'daki devamını oluşturan kısım allokton ve otokton birimler olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır (Blumenthal 1951; Brunn vd. 1971; Özgül ve Arpat 1973; Özgül 1976, 1984; Okay ve Özgül 1984; Okay 1986; Şenel vd. 1996; Poisson vd. 2003). Bölgedeki allokton birimler bazı çalışmalarda nap olarak isimlendirilmekte (Brunn vd. 1971; Şenel vd. 1992), Antalya ve çevresi irili ufaklı normal faylar ile kesilerek oluşan bu naplı yapıların egemen olduğu bir bölge olarak öne çıkmaktadır (Şenel 1997). Bölgedeki allokton ve otokton birimler batıdan doğuya doğru Likya napları, Bey Dağları otoktonu ve Antalya napları olarak sıralanmaktadır. Bu birimlerde yer alan kaya türleri, Mesozoyik'ten günümüze kadar olan zamanları temsil etmektedir (Gürboğa ve Aktürk 2018) (Şekil 2.2).



Şekil 2.1. Toros Dağ Kuşağının bölümleri ve Türkiye'nin aktif tektonik hatları (Özgül 1984; Koç 2019). (KAF: Kuzey Anadolu Fayı; DAF: Doğu Anadolu Fayı; KF: Kırkkavak Fayı; EF: Ecemiş Fayı)

Batı Toroslar'daki allokton birimlerin varlığı eski araştırmalara dayanmaktadır (Philipsson 1915) fakat Likya napları ismi ilk kez Brunn vd. (1971) tarafından kullanılmıştır. Türkiye'nin güneybatısında yayılma gösteren birimin batı sınırı Menderes Masifi'ne kadar uzanırken, birim doğuda Bey Dağları otoktonu ile son bulmaktadır (Brunn vd. 1971). Likya naplarının Bey Dağları üzerine Geç Kretase'de yerleştiği ve Langiyen'den günümüze kadar yerini koruduğu ayrıca Neotetisin kuzey kolunun kapanması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Poisson 1977). Birim, Geç Karbonifer-Geç Kretase yaşlı okyanusal kabuk malzemesi ve platform tipi kayalardan oluşmaktadır (Şenel 1997).



Şekil 2.2. Antalya'nın batısındaki tektonik birlikleri gösteren genelleştirilmiş jeolojik harita (Hayward 1982; Meşhur ve Akpınar 1984; Şenel vd. 1992; Aksoy ve Aksarı 2008; Gürboğa ve Aktürk 2018) **i)** Pliyo-Kuvaterner; **ii)** Aksu havza çökelleri (Alt-Orta Miyosen); **iii)** Beydağları otoktonu (Alt-Orta Miyosen); **iv)** Beydağları otoktonu (Üst Triyas-Oligosen); **v)** Antalya napları; **vi)** Likya napları; **a)** Eski bindirme yapıları; **b)** Normal faylar; **c)** Muhtemel faylar; **ç)** Çalışma alanı

Alt Jura-Üst Kretase zaman aralığında çökelen ve Batı Toroslar'daki yerli kayaları temsil eden Bey Dağları otoktonu genellikle platform tipi karbonatlardan oluşmakta ve otoktonun tabanında Triyas yaşlı dolomitler yer almaktadır (Poisson 1977; Şenel 1997). Otoktonun yayılımı güneybatıda Antalya'nın Kaş ilçesinden başlamakta ve kuzeyde Isparta iline kadar devam etmektedir (Özgül 1976; Poisson 1977; Şenel 1997). Bey Dağları karbonat platformunun kuzeybatıda Likya napları tarafından, doğuda ise Antalya

napları tarafından üzerlendiği bilinmektedir (Brunn vd. 1971; Poisson 1977; Robertson 2000). Bu iki allokton birimin arasında yer alan Bey Dağları otoktonu, iki birim ile de tektonik dokanıklıdır (Özgül 1976; Poisson 1977; Sarı 2006).

Çalışma bölgesini kapsayan Antalya napları ilk kez Lefevre (1967) tarafından tanımlanmıştır. Antalya Körfezi'nin batısında yerleşim gösteren allokton birim farklı çalışmalarda Antalya Birliği (Özgül 1976, 1984) veya Antalya Kompleksi (Woodcock ve Robertson 1977) olarak da tanımlanabilmektedir. Yerleşiminin Geç Kretase ve Paleosen boyunca Bey Dağlarının güneydoğu tarafından gerçekleştiği (Poisson 1977; Robertson 2000) ve kökeninin, Likya naplarının aksine, Neotetisin güney kolunun kapanması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Robertson vd. 2003; Poisson vd. 2003). Birim, Kambriyen-Üst Kretase aralığında oluşmuş olan platform karbonatları ve ofiyolitik kayalardan oluşmaktadır (Özgül 1976, 1984; Poisson vd. 2003).

2.2. Heyelan ve Türkiye'den Örnek Çalışmalar

Yeryüzü jeodinamik süreçler neticesinde çeşitli tip, büyüklük ve hızdaki kütle hareketleri ile şekillenmektedir. Bu hareketler ayrışma ile meydana gelen zeminlerin veya kaya parçalarının yer çekimi kuvveti etkisiyle yamaç aşağı ilerlemesi şeklinde olabilmekte veya nadiren çökme olarak da kendini göstermektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). En genel ifade ile heyelan, kaya veya zemin kütlelerinin, düşme, kayma, akma şeklinde yokuş aşağı hareketi olarak tanımlanmaktadır (Cruden 1991). Heyelanlar, malzemelerin kayma gerilmesinde hızlı bir artışa veya kayma dayanımında azalmaya neden olan yoğun yağış, deprem sarsıntısı, yer altı suyu seviyesi değişikliği gibi doğal ya da insan kaynaklı eylemler gibi yapay olmak üzere çeşitli dış uyaranlarla tetiklenebilmektedir (Dai vd. 2002; Guzzetti vd. 1999). Kütle hareketi süreçleri, zemin ve kaya parçalarının yer çekimi etkisiyle meydana gelen hareketlerinin tamamını kapsamakta ve bu süreçler eğimli bölgelerde meydana gelmekte, hareket eden kütle sonunda bir vadiye ulaşarak hareketini sonlandırmaktadır. Bu hareketler çok yavaş veya çok hızlı (ani) bir şekilde gerçekleşebilmekte ve yeryüzünün jeomorfolojik olarak şekillenmesinde kütle hareketlerinin etkili olduğu bilinmektedir (Rahn 2015). Yamaçların morfolojisi jeolojik ve iklimsel süreçler ile belirlenmekte ve yamaçlar doğal bir açı oluşturarak dengede kalmaktadır. Kütle hareketleri yamaç duraylılıklarının azalması ile meydana gelmekte ve bu hareketlerinin oluşumunun en önemli nedeninin yamaç dengesinin bozulması olduğu bilinmektedir (Waltham 2006). Bu süreçlerin değişmesi ile dengesi bozulan yamaçların denge durumuna tekrar gelebilmesi için yer biçimini değiştirmesi gerekmektedir. Dolayısıyla yamaç hareketleri, değişen koşullar altında dengenin yeniden sağlanması için meydana gelen yer düzenlemeleri olarak da tanımlanabilmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Jeolojik malzemelerin zaman ilerledikçe ayrışması ve bozulması nedeniyle ilgili birimler dayanım anlamında zayıflamakta ve yer çekimi kuvvetinin de etkisiyle birimler bu zayıflık zonlarından dolayı duraysız davranmaktadır. Yağış vb. doğa olaylarının da etkisiyle zayıflık artmakta veya deprem vb. olaylar ile yamaç hareketleri doğrudan tetiklenmektedir. Bu şekilde etkilenme, tetiklenme mekanizmalarının yaygınlığı sebebiyle kütle hareketleri de sıklıkla görülmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Her jeolojik malzeme için bir yamaç denge açısı bulunmaktadır. Örneğin killer genellikle 10°'den büyük açılarda duraysız davranmaktadır (Waltham 2006). Yamaç ile aynı yönde eğimli olan tabakalanma yüzeyleri, eklemler gibi süreksizlik düzlemleri, herhangi bir kayadaki olası kayma yüzeylerini oluşturmaktadır.

Yamaçlar, eğimi içsel sürtünme açısına eşit ya da bu açıdan büyük olan ana süreksizliklere kadar gerileme ve yenilme göstermektedir.

Doğal bir eğime sahip olan bölgeler yamaç olarak tanımlanırken, kara yolları gibi kalıcı, maden ocakları gibi geçici olarak tasarlanan ve özel bir amaç için şekillendirilen eğimli bölgeler şev olarak adlandırılmaktadır. Bazı çalışmalar mühendislik uygulamaları için oluşturulan şevler için dolgu şevi, yarma şevi, kazı şevi ya da yapay şev ifadelerini kullanmakta ve doğal olarak oluşmuş yamaçları ise doğal şev olarak tanımlamaktadır (Keskin 2008, Akça 2019). Yarma şevler kazı yapılarak oluşturulan şevlerdir ve kazı öncesinde gömülü olan zemini açığa çıkarmaktadırlar. Dolgu şevleri ise kazı şevlerinin aksine dolgu yerleştirilerek oluşturulmaktadır. Yamaçlar ise doğal topoğrafyanın bir parçasıdır (Coduto 2006).

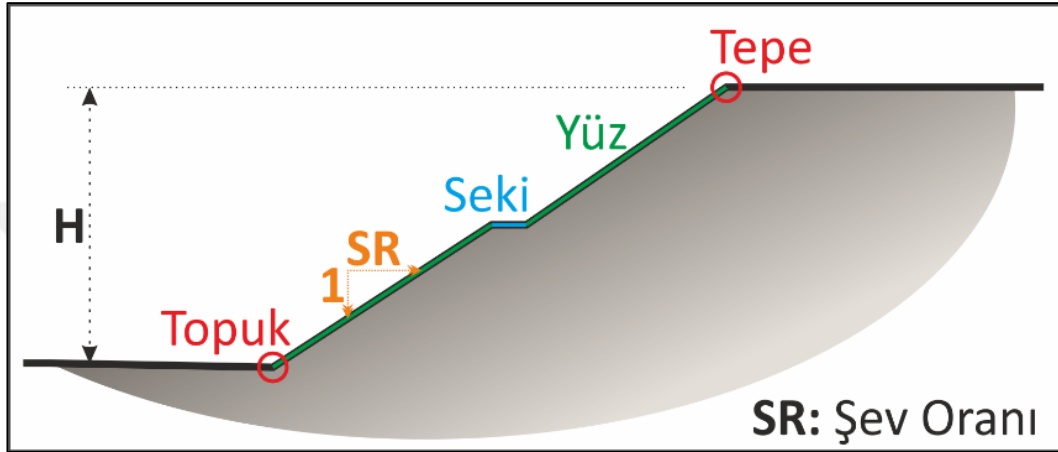
Tekil düşünüldüklerinde bir doğal olay olan kütle hareketlerinin binaları, altyapıyı veya dolaylı ya da doğrudan insan yaşamını etkileme ihtimali olduğunda, bu süreçlerin ekonomik kayıplara ve sosyal hasara neden olabileceği açıktır. Bu gibi olumsuzluklar sebebiyle kütle hareketleri gelişmesi mümkün olan jeolojik riskleri barındırmaktadır. Bu olumsuz etkilerden kaçınmak amacıyla kütle hareketlerinin karakteristiklerini ve kararsızlık mekanizmalarını, kütle hareketlerini kontrol eden ve harekete neden olan faktörleri özellikle araştırmak gerekmektedir. Bu araştırmayı gerçekleştirebilmek için zemin veya kaya malzemelerinin jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik özelliklerini, mekanik davranışlarını ve bu hareketleri koşullandıran ve tetikleyen faktörleri bilmek gerekmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Mühendislik projelerinin bazen doğal olarak duraysız olan yamaçlarda veya bu bölgelere yakın yerlerde inşa edilmesi gerekebilmektedir. Mühendislik parametrelerinden kaçınılarak tasarlanan ve inşa edilen kimi projeler, yakınındaki yamaçların duraylılığını azaltmakta ve böylece çevresel bir yenilmeye neden olabilmektedir. Örneğin, dağlık bir arazide devam eden bir yol çalışması, yakınındaki kaya biriminin süreksizlik düzlemlerini zayıflatarak, bir anlamda hareketi tetikleyerek bir yenilmenin oluşmasına neden olabilmektedir (Coduto 2006).

Yamaç yenilmeleri çok ciddi seviyelerde can ve mal kaybına neden olabileceği gibi, insan etkinliğinin olmadığı alanlarda meydana gelen çok ciddi boyutlardaki yamaç yenilmeleri de sadece bir doğal olay olarak kalabilmektedir. Eğimli zeminler üzerine veya bu alanların yakınına inşa edilen mühendislik projelerinin olası yamaç duraysızlıklarına maruz kalacağı açıktır. Kimi zaman karşılıklı olarak tetiklenen ve sistematik bir şekilde meydana gelen yıkıcı yamaç yenilmeleri olabildiği gibi tek başına meydana gelen yamaç yenilmeleri de çok yıkıcı ve maliyetli olabilmektedir (Coduto 2006). Gerçekleşmesi beklenen bütün bu sorunlardan dolayı yamaçların üzerine veya yakınına yapı inşa edilirken öncelikle mühendislik jeologlarına ve jeoteknik mühendislerine başvurmak önemlidir.

Yamaçlar için uygun bir değerlendirme, elde edilen verilerle başarılı bir analiz ve nihayetinde mühendislik parametrelerine uygun bir yapı ile yamaç duraysızlıklarının önüne büyük oranda geçilebilmektedir. Bu çalışmalar verimli olmadığı takdirde zemini iyileştirmek de mümkündür (Coduto 2006). Fakat önlem için harcanan para, zaman ve iş gücünün, iyileştirme için harcanandan çok daha az olacağı unutulmamalıdır.

Standart bir şev tanımlayabilmek için bazı terimler kullanılmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanmakta ve Şekil 2.3'te şematik olarak gösterilmektedir (Coduto 2006).

- Şev Oranı
- Şev Tepesi
- Şev Topuğu
- Şev Yüzeyi
- Şev Yüksekliği
- Palye (Seki)



Şekil 2.3. Şevleri tanımlamada kullanılan terimler (Coduto 2006)

Şev oranı (SR) bir şevin diklik durumunu tanımlamaktadır ve daima yatay:düşey oranı ile ifade edilmektedir. Örneğin, üçe bir (3:1) olarak tanımlanan bir şev, bir düşeye karşılık üç yatay eğimi belirtmektedir. Geleneksel olarak düşey sabit daima 1 olarak kullanılmakta, 1:1'den daha dik şevler ise $\frac{1}{2}$:1 gibi kesirler kullanılarak ifade edilmektedir. Şev tepesi ve şev topuğu, şevin üstten ve alttan düz yüzeyleri kestiği noktaları belirtmektedir. Şev yüzeyi ise şevin tepesi ile şevin topuğu arasında görünen eğimli yüzeydir. Şevin yüksekliği (H), şevin tepesi ile şevin topuğu arasındaki seviye farkı olup düşey yönde ölçülerek elde edilmektedir. Son olarak palıye (seki) ise yüzey drenajı bileşenlerini yerleştirmek için yarma ve dolgu şevlerde oluşturulan dar ve düzlük bir alanı tanımlamaktadır.

2.2.1. Yamaç hareketleri

Yenilme hareketleri genellikle ilgili malzemeler temelinde sınıflandırılmaktadır. Kütle hareketlerinin türü meydana geldiği jeolojik birimin kaya veya zemin oluşuna, zeminlerin de ince ya da kaba taneli oluşuna son derece bağlıdır. Kayalarda en önemli yenilme parametresi fay, çatlak, şistozite, tabakalanma gibi süreksizlik düzlemlerini tanımlayan yapısal özelliklerdir. Ayrıca yer altı suyu içeriği ve hareketin boyutları gibi diğer hususlar da dikkate alınmaktadır. En yaygın olarak kullanılan sınıflandırmalardan her biri farklı ölçütlere ve amaçlara uygun olarak hazırlanmakta ve yenilme hareketlerinin incelenmesine, bu süreçlerden geçen malzemelerin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır (Varnes 1958, 1978, 1984; Hutchinson 1988; Cruden ve Varnes 1996; Dikau vd. 1996).

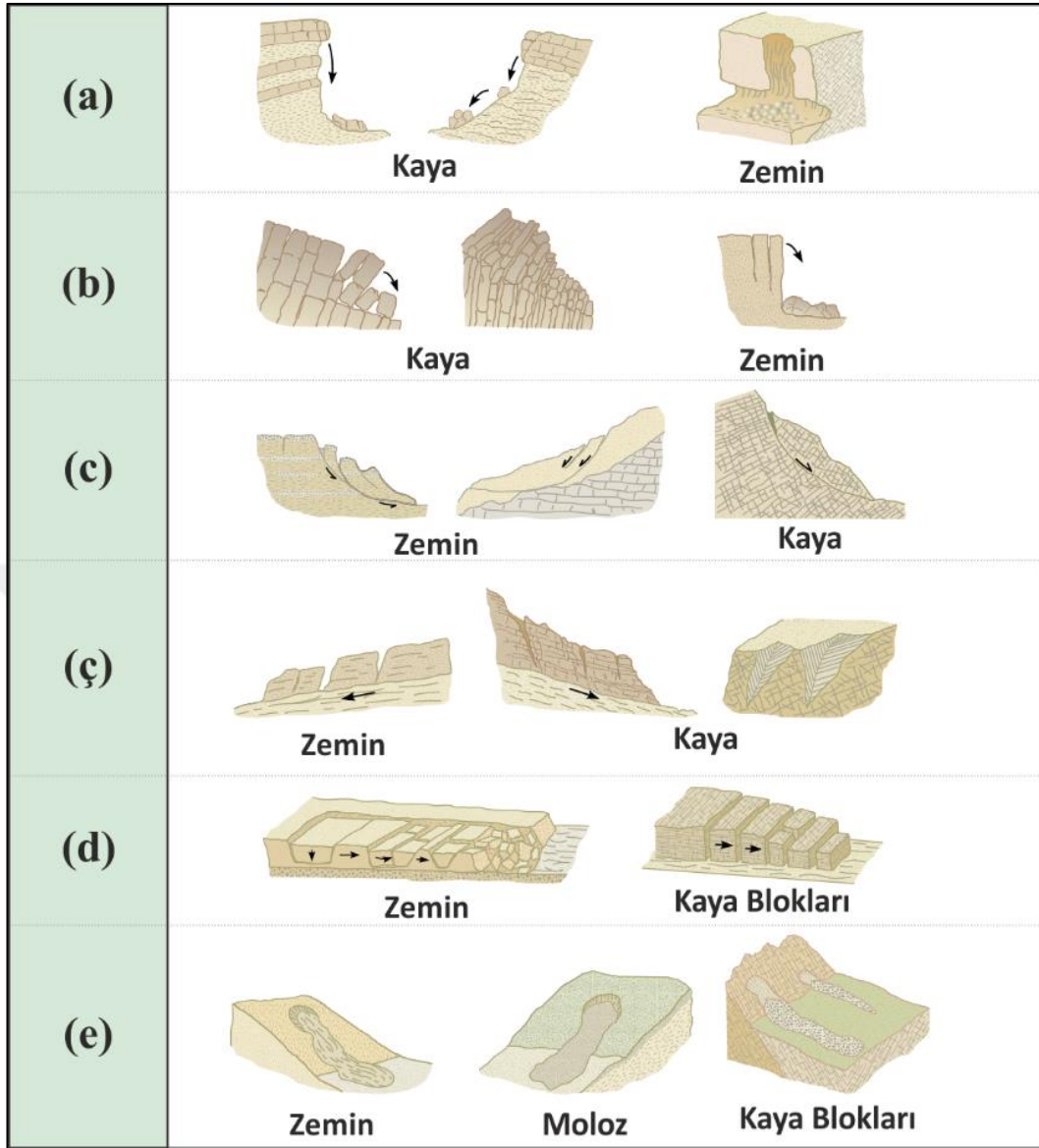
Kütle hareketlerini sınıflamak için birçok tasarı geliştirilmiştir fakat bunlardan hiçbirisi mükemmel değildir. (Rahn 2015). Bir kütle hareketini sınıflayabilmek için seçilen temel yedi ölçüt şu şekildedir (Cruden ve Varnes 1996):

1. Yamaç Hareketinin Tipi
2. Kayan Malzemenin Türü
3. Kayma Yüzeyinin ve Yenilen Malzemenin Geometrisi
4. Yamaç Hareketinin Hızı
5. Tetiklenme Mekanizmaları
6. Jeolojik Yapı
7. Etkinlik (Aktivite) Durumu

Varnes (1978) yamaç hareketinin tipinin ve yenilen malzemenin türünün diğer ölçütlere göre daha önemli olduğunu vurgulamakta ve bu sebeple yamaç hareketlerini, hareketin tipine ve malzemenin türüne göre özel bir şekilde sınıflandırmaktadır (Çizelge 2.1). Bu sistemde yamaç yenilmeleri düşme, devrilme, kayma, yayılma ve akma olmak üzere beş farklı grupta ve bir de iki veya daha fazla hareket türünü kapsayan karmaşık hareketler olarak toplamda altı grupta ele alınmaktadır. Bu sınıflandırmanın iki terimi bulunmakta olup bunlardan ilki hareket tipini, ikincisi ise malzeme türünü tanımlamaktadır. Yenilen malzemenin türünü belirtmek için hareket tiplerinin önüne kaya, moloz veya toprak terimleri eklenmektedir. Burada kaya terimi ana kayayı, moloz terimi baskın olarak kaba taneli malzeme içeren zeminleri ve toprak terimi ise baskın olarak ince taneli malzeme içeren zeminleri ifade etmektedir. Hareketin hızını ifade etmek amacıyla diğer tanımlayıcı terimler de eklenebilmektedir (Coduto 2006). Kütle hareketleri düzlemsel veya dairesel gibi farklı geometrik yapıda, farklı hızda ve farklı yayılım özelliğinde gelişebilmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014) (Şekil 2.4).

Çizelge 2.1. Hareketin tipine ve malzemenin türüne göre yamaç hareketleri sınıflaması (Varnes 1978)

Hareketin Tipi		Malzemenin Türü	
		Kayalar	Zeminler
			Kaba Taneli İnce Taneli
Düşme		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi Toprak Düşmesi
Devrilme		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi Toprak Devrilmesi
Kayma	Dairesel	Kaya Kayması	Moloz Kayması Toprak Kayması
	Ötelenmeli		
Yanal Yayılma		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması Toprak Yayılması
Akma		Kaya Akması (Derin Krip)	Moloz Akması (Zeminde Krip) Toprak Akması
Karmaşık		İki veya daha fazla hareket türü	



Şekil 2.4. Malzemenin türüne göre genelleştirilmiş yenilme tipleri **a)** düşme; **b)** devrilme; **c)** kayma (dairesel); **ç)** kayma (ötelenmeli); **d)** yanal yayılma; **e)** akma (Vallejo ve Ferrer 2014)

2.2.1.1. Düşme

Kayaların tabakalanma yüzeyleri, kırıklar ve çatlaklar gibi süreksizlik düzlemleri zayıflık zonları olarak bilinmektedir (Varnes 1978). Kaya kütesinden, mevcut süreksizlik düzlemleri boyunca koparak ayrılan malzemenin çok hızlı ve serbest hareketleri düşme olarak tanımlanmaktadır (Vallejo ve Ferrer 2014). Kayalarda, yamaç molozu türündeki malzemelerde ve rezidüel veya taşınarak depolanmış zeminlerde tekil blokların, dik ve derin bir yamaçtan aşağıya doğru herhangi bir makaslama gerilmesi olmaksızın yer çekimi etkisi ile hareket etmesi sonucunda gerçekleşmektedirler (Ulusay 2010). Düşmeler bir yamaçtan aşağı doğru hızlı bir şekilde düşen ve düştüğü noktadan sıçrayan, yuvarlanan ve hatta havada savrulan zemin veya kaya parçalarından oluşan yamaç yenilmeleridir (Coduto 2006). Düşmeleri tetikleyen temel unsur öncelikle jeolojik birimin

yapısal özellikleridir. Düşme tarzındaki yamaç yenilmeleri yer çekimi, mekanik ayrışma ve çatlaklardaki suyun varlığından da güçlü bir şekilde etkilenmektedir (Varnes 1978). Çoğunlukla dik kaya yamaçlarında meydana gelmekte ve genellikle süreksizlik düzlemlerinin buz veya ağaç kökleri ile zorlanarak yarıldığı, su basıncı ile dışarı doğru itildiği veya bir deprem sarsıntısı ile zayıflatıldığı zaman tetiklenmektedirler. Düşmeler çoğunlukla çok ani ve hızlı bir şekilde meydana gelmekte bu nedenle de ölümcül olmaktadır (Coduto 2006).

2.2.1.2. Devrilme

Bu tür yenilmeler, yamaç eğimi ile birlikte kaya birimlerinin yapısal özelliklerine bağlı olarak gelişirse kaya devrilmesi, eğimin yüksek olduğu yamaçlarda zeminlerin yamaç molozu veya toprak oluşuna ayrıca zeminlerin kohezyonuna bağlı olarak gelişirse moloz devrilmesi veya toprak devrilmesi olarak isimlendirilmektedir. Düşey süreksizliklerle bölünmüş ve sütunlu bir yapıya sahip kaya birimlerinin komşu yapıların ve yer çekiminin etkisiyle boşluğa doğru devrilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Bu tarz yenilmelerde süreksizliklerin düşey devamlılığı esastır. Devrilmeler bir çökme davranışı olmayıp doğrudan bükülme davranışı yansıtmaktadır (Ulusay 2010). Bu yenilme biçimi sadece dik yamaçlarda meydana gelmekte özellikle şistlerde ve sleytlerde sıklıkla görülmektedir (Coduto 2006). Jeolojik formasyonun kaya olması durumunda, devrilme yenilmesinin miktarı, kayaların içerdiği süreksizliklerin konumu ve bu süreksizliklerin yamaç düzlemi ile gösterdiği geometrik davranışa göre kinematik olarak tanımlanmaktadır. Zeminlerde gerçekleşen devrilmelerde ise birimin kohezyonu ve yamaç eğimi etkin parametre olup yer altı suyu, çökme hızı ve geometrisi, donma-çözülme gibi etkiler hareketin gerçekleşmesinde önemli rol oynamaktadır. Devrilme yenilmeleri, bitişiklerindeki diğer birimlerin veya çatlaklardaki suyun uyguladığı itim kuvvetlerinin ve yerin uyguladığı çekim kuvvetlerinin etkisi altında, birimlerin bir dönme ekseninde ileriye doğru hareket etmesiyle ayırt edilmektedir (Varnes 1978).

Devrilme yenilmeleri, şev topoğrafyasının erozyon sebebiyle yitimi ya da farklı bir amaç için yapılan kazı çalışmaları sonucunda ince ve devamlılığı yüksek olan sütunların, kazıdan kaynaklanan boşluğa doğru yatması durumunda bükülme devrilmesi olarak isimlendirilmektedir. Dike yakın süreksizlikleri barındıran bir birimin içinde bu süreksizlikleri kesecek şekilde başka süreksizliklerin oluşması durumunda ise birimin sütun bütünlüğünde bozulma meydana gelmekte ve üst kısımda kalan bloklar bağımsız davranmaya başlamaktadır. Topuktaki en küçük bloğun devrilmesiyle peşi sıra diğer blokların da devrilmesi şeklinde gerçekleşen yenilmeler ise blok devrilmeleri olarak isimlendirilmektedir. Bu iki tür, bloklu-bükülme devrilme olarak aynı anda da gerçekleşebilmektedir. Bu durumda genellikle alt kısımdaki birimler bükülme gösterirken, üstteki birimler bloklu devrilme göstermektedir (Ulusay 2010).

2.2.1.3. Kayma

Genellikle herhangi bir yamaç duraysızlığı biçimini tanımlamak için kayma veya heyelan terimleri kullanılıyor olsa da Varnes (1978) sınıflama sistemi bu terimleri sadece iyi belirlenmiş kayma yüzeyleri boyunca kesilerek yamaç aşağı hareket eden bir veya daha fazla bloğu içeren kütle hareketlerini tanımlamak için kullanmaktadır. Tek bir yüzeyin veya birbiri ile ilişkili yüzeylerin üzerinde makaslama birim deformasyonu sonucunda meydana gelen yenilmeler kayma olarak tanımlanmaktadır (Ulusay 2010).

Hızları ise tipik olarak 1 metre/gün olarak bilinmektedir (Rahn 2015). Genel olarak, heyelan malzemesinin altındaki daha duraylı malzemenin üzerinden hareket etmesi şeklinde ifade edilen kayma tipi yenilmeler, dairesel kaymalar ve ötelenmeli kaymalar şeklinde ikiye ayrılmaktadır.

Dairesel (dönel) kaymalar, kaşık şeklinde bir kayma yüzeyi boyunca gelişmektedir. Dairesel hareket esnasında kayma yüzeyi üzerindeki heyelan kütlesi, hareket yönünün tersine doğru yatmış bir şekil kazanmakta bu sayede heyelan kütlesinin üzerindeki ağaçların, direklerin geriye yatık şekilde gözlenmesine neden olmaktadır (Ulusay 2010). Yamaç eğri kayma yüzeyleri boyunca hareket etmekte ve çoğunlukla dolgular gibi homojen malzemelerde meydana gelmektedirler (Coduto 2006). Bu tip duraysızlıklar; zeminlerde özel amaçla açılmış şevlerde, akarsu yataklarında, dolgulu yapılarda, ileri derecede eklemli kaya kütlelerinde veya ileri derecede bozunmuş kayalarda gelişmekte ve orta seviyede bir hızla ilerlemektedir (Ulusay 2010). Kimi zaman merdiven basamakları görünümünü andıran şekilde zincirleme oluşan yamaç yenilmeleri, ilerleyen heyelanlar veya birleşik heyelanlar olarak adlandırılmaktadır (Cronin 1992).

Ötelenmeli kaymalar ise düzlemsel veya kıvrımlı bir kayma yüzeyi üzerinde dairesel kaymaların aksine geriye yatmadan hareket etmektedir (Ulusay 2010). Bu yenilmeler genellikle makaslama zonu, tabakalanma, fay ve eklem gibi süreksizlik düzlemlerini yansıtmakta olup süreksizlik kontrollü olarak gelişen yenilmelerdir. Kalınlıklarının uzunluklarına oranı çoğu zaman 0,1'den bile küçük olmaktadır. Hareket eden bloklar genel yapıya oranla bir bütün olarak kalırsa, ötelenme kaymaları blok kayması olarak da adlandırılmaktadır (Coduto 2006). Ötelenmeli kaymalar kendi içinde düzlemsel, kama türü ve moloz kaymalar olmak üzere üç alt başlık altında incelenmektedir (Ulusay 2010).

Düzlemsel kaymalar düz ya da az dalgalı görünümlü bir süreksizlik düzlemi üzerinde gelişen makaslama yenilmesine bağlı olarak meydana gelmekte, bu yenilmelerde heyelan kütlesi süreksizlik düzlemine paralel olarak yamaç aşağı hareket etmektedir. Yapısal denetimli bir yenilme türü olan düzlemsel kaymalar, kayada gelişen süreksizlik yüzeyleri boyunca gerçekleşmektedir. Yenilmeler neticesinde şev tepesinde gerilme çatlakları oluşabilmektedir (Ulusay 2010). Yamaç eğiminin, yenilme düzleminin eğiminden ve her ikisinin de yenilen malzemenin içsel sürtünme açısından büyük olduğu koşullarda gerçekleşmektedirler. Yamaç eğiminin yenilme düzleminin eğimine eşit ya da ondan küçük olması durumunda içsel sürtünme açısına bakılmaksızın sistem duraylı olarak davranmaktadır. Bu tip yenilmelerde heyelan kütlesi fazla deforme olmamaktadır (Ulusay 2010). Kama türü kaymalar, eklemli kaya kütlelerinde birden fazla süreksizliğin kesişmesi ile meydana gelen yenilmelerdir (Ulusay 2010). Süreksizliklerin kesişme hattının dalım açısının yamaç eğiminden küçük olması ve her ikisinin de yenilen malzemenin içsel sürtünme açısından büyük olduğu koşullarda gerçekleşmektedirler. Moloz kaymaları ise düşük kohezyonlu malzemelerin yamaç aşağı hareketini ve bu esnada da dönme ve burulma göstermelerini ifade eden yenilme çeşitleridir.

2.2.1.4. Yanal yayılma

Yumuşak ve şekil değiştirebilir malzeme üzerine yerleşen kaya bloklarının veya çok kohezyonlu, çimentolu zemin kütlelerinin yanal hareketi şeklinde tanımlanmaktadır (Vallejo ve Ferrer 2014). Makaslama ve gerilme çatlaklarının etkisinde yanal yönde

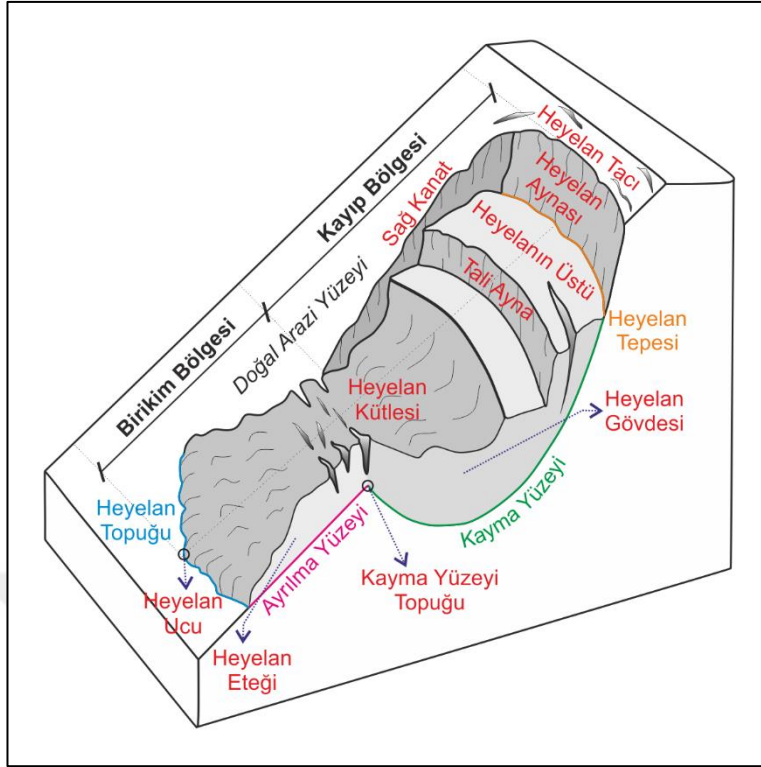
gelişen bir yayılma hareketi, bu tip duraysızlıkların başlıca mekanizmasını oluşturmaktadır (Ulusay 2010). Kaya blokları, üzerinde yer aldığı kil gibi plastik özellikli bir zeminden ötürü yanal yönde hareket edebilmektedir. Kaya kütlesi içindeki devamlılığı yüksek süreksizliklerle oluşan kaya blokları, makaslama yenilmesinin sonucunda plastik malzeme üzerinde ve dokanak yüzeyi boyunca kilometrelerce ilerleyebilmektedir (Ulusay 2010). Bu şekilde kaya blokları halinde gerçekleşen yanal hareketler, yanal kaya yayılması olarak tanımlanmaktadır. Kaya blokları çok az eğimli yamaçlarda yavaşça hareket edebilmekte, altındaki malzemeyi ağırlığı ile akmaya zorlamakta ve dayanımını kaybeden alt birim hareket ederek içindeki kaya parçalarını da sürüklemektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Eğer kaya blokları, sünümlü ve zayıf kil veya benzeri zemin içinde eğimin çok düşük olduğu yerlerde hareket etmekteyse, bu durumda hareket yanal zemin yayılması olarak tanımlanmaktadır (Ulusay 2010). Kaya ve zemin yayılmalarının hızı yılda 10 ile 25 milimetre arasında değişmekte ve bu sebeple gözlenebilmeleri uzun bir süreç gerektirmektedir. Yanal yayılmaların gelişmesinde, malzeme içerisindeki yüksek gözenek suyu basınçları da etkili olmaktadır (Ulusay 2007).

2.2.1.5. Akma

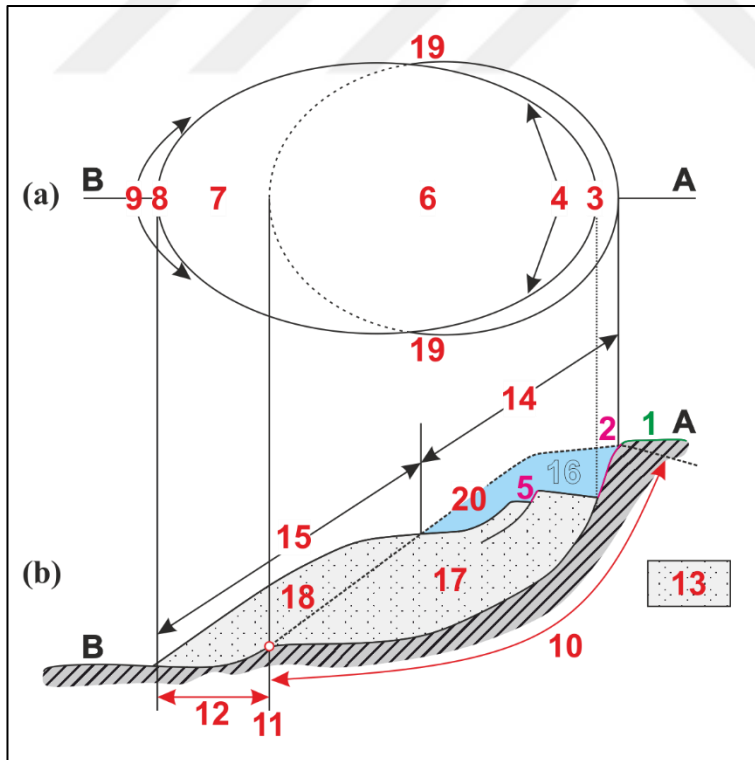
Su içeriği çok yüksek olan çamur veya toprak zeminlerin, moloz malzemelerin ya da parçalanmış haldeki kaya bloklarının sıvı gibi hareket etmesi akma olarak tanımlanmakta (Vallejo ve Ferrer 2014) ve konsolide olmamış malzemelerin yavaş veya hızlı şekilde yamaç aşağı hareket etmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Ulusay 2010). Hareketin birden fazla makaslama yüzeyinde gerçekleşmesi sebebiyle iyi tanımlanmış, belirlenmiş kayma yüzeyleri görülememektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Yenilme süresince deformasyonlar sürekli olup özellikle ince taneli malzemelerin sıvı gibi davranması hareketin tipik özelliklerindendir (Ulusay 2010). Çamur veya toprak akmaları, çok ince ve homojen malzemelerde ağırlıklı olarak meydana gelmekte ve saniyede metrelerce ilerleme gösterebilmektedir. Dayanım kaybının esas nedeninin malzemenin suya doygunluğu olduğu bilinmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Moloz akmaları tane boyu bakımından toprak akmalarından farklı olarak değerlendirilmekte (Varnes 1978), içerisindeki tanelerin en az yarısının kum boyutunda ya da bu boyuttan büyük olduğu zeminlerde gerçekleşmektedir (Keller 2006). Kaya akmaları ise çoğunlukla yavaş ve kimi zaman yer çekimi hareketi şeklinde gelişmektedir ve akmanın sonrasında kıvrımlanma, kabarma gibi yüzey şekilleri görülmektedir (Ulusay 2010). Akma tipi hareketler çok yavaş hızda ve çok sığ (birkaç cm) derinlikte meydana geldiğinde krip olarak isimlendirilmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014).

2.2.2. Yamaç hareketlerinin geometrisi

Varnes (1978) tarafından karmaşık yapıları bir toprak kayması ve toprak akmasına ait şematik diyagram Şekil 2.5'te gösterilmektedir. Heyelan geometrisi IAEG (1990) tarafından daha açık olarak numaralı bir şekilde yeniden belirlenmiş (Şekil 2.6) ve tanımlayıcı açıklamaları ile Çizelge 2.2'de sunulmuştur. IAEG (1990) sınıflamasında Varnes (1978) sınıflaması terimlerine genel olarak bağlı kalınmış, ek olarak kayıp, kayıp kütlesi, birikim gibi açıklayıcı terimler eklenmiştir. Ayrıca tipik bir heyelanın boyutları yine IAEG (1990) tarafından tanımlanmış (Şekil 2.7) ve heyelan boyutlarının açıklamaları Çizelge 2.3'te sunulmuştur.



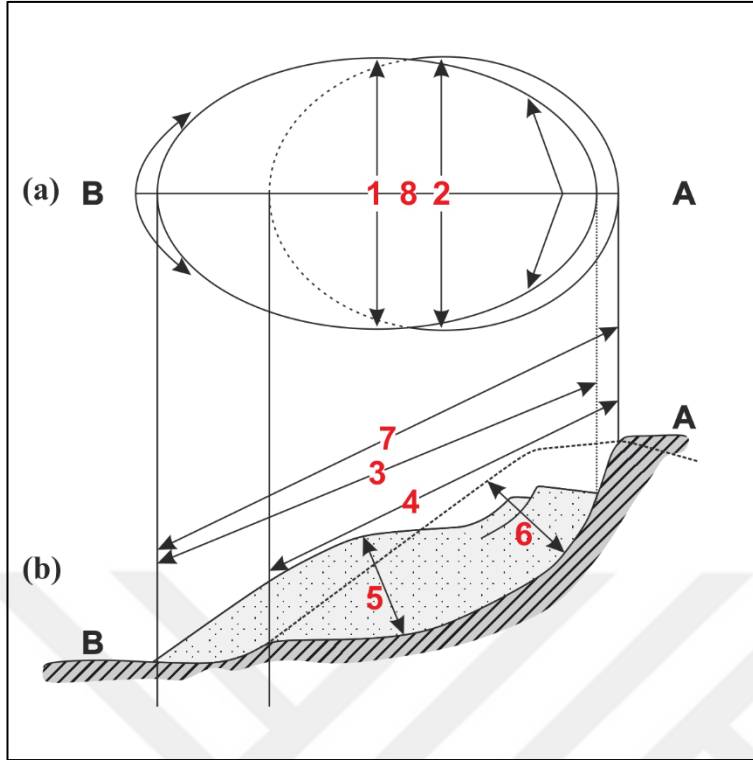
Şekil 2.5. Karmaşık bir toprak kaymasına ait blok diyagram (Varnes 1978)



Şekil 2.6. Tipik bir heyelan geometrisini ifade eden kesitler a) üstten; b) yandan görünüş (IAEG 1990)

Çizelge 2.2. Tipik bir heyelanın bölümlerini ifade eden tanımlamalar (IAEG 1990)

#	Terim	Tanım
1	Heyelan Tacı <i>Crown</i>	Heyelan aynasının en yüksek bölümünü ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yeri belirtmektedir.
2	Heyelan Aynası <i>Main Scarp</i>	Heyelanın üst kesiminde, heyelandan etkilenmemiş bölgeden heyelan kütlelerinin ayrılmasıyla oluşan düşey veya düşeye yakın yüzey olarak görülmektedir. Ayrıca kayma yüzeyinin görünen bölümünü ifade etmektedir.
3	Heyelan Tepesi <i>Top</i>	Heyelan aynası ile heyelan kütlelerinin kesişiminin en yüksek noktasını belirtmektedir.
4	Heyelanın Üstü <i>Head</i>	Heyelan aynası ile heyelan kütlelerinin kesişimi boyunca devam eden bölgenin üst kısımlarını belirtmektedir.
5	Tali Ayna <i>Minor Scarp</i>	Heyelan kütleleri içinde farklı hareketlerden oluşmuş düşey veya düşeye yakın yüzeyleri ifade etmektedir.
6	Heyelan Gövdesi <i>Main Body</i>	Heyelan kütlelerinin, kayma yüzeyinin üzerinde, heyelan aynası ile kayma yüzeyi topuğu arasında kalan kısımlarını belirtmektedir.
7	Heyelan Eteği <i>Foot</i>	Heyelan kütlelerinin, kayma yüzeyi topuğunun ötesine hareket ederek doğal arazi yüzeyine oturmuş bölümünü belirtmektedir.
8	Heyelan Ucu <i>Tip</i>	Heyelan tepesinden topuğuna kadar olan en uzun mesafenin topuğa dokunduğu nokta olarak belirtmektedir.
9	Heyelan Topuğu <i>Toe</i>	Heyelan kütlelerinin genellikle eğrisel olan alt ucunu belirtmektedir. Bu nokta heyelan aynasından en uzaktaki noktayı temsil etmektedir.
10	Kayma Yüzeyi <i>Rupture Surface</i>	Heyelan kütlelerinin alt sınırını oluşturan ve doğal arazi yüzeyinin altında kalmış olan yüzeyi ifade etmektedir.
11	Kayma Yüzeyi Topuğu <i>Toe of Rupture Surface</i>	Bir heyelanın kayma yüzeyinin alt bölümü ile doğal arazi yüzeyinin kesişme noktasını belirtmekte ve genellikle gömülü olarak gözlenmektedir.
12	Ayrılma Yüzeyi <i>Surface of Seperation</i>	Doğal arazi yüzeyinin heyelan eteğinin altında kalan bölümünü belirtmektedir.
13	Heyelan Kütleli <i>Displaced Material</i>	Yamaç veya şevde heyelan sonucu doğal yerinden ayrılmış kayıp ve birikim kütlelerinin tamamını içeren malzemeyi ifade etmektedir.
14	Kayıp Bölgesi <i>Zone of Depletion</i>	Heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyinin altında kaldığı bölümü belirtmektedir.
15	Birikim Bölgesi <i>Zone of Accumulation</i>	Heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyinin üstünde kaldığı bölümü belirtmektedir.
16	Kayıp <i>Depletion</i>	Heyelan aynası, kayıp kütleleri ve doğal arazi yüzeyi arasında kalan boşluğu ifade etmektedir.
17	Kayıp Kütleli <i>Depleted Mass</i>	Kayma yüzeyinin üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyinin altında kalan heyelan kütlelerini belirtmektedir.
18	Birikim <i>Accumulation</i>	Başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üzerinde yükselen heyelan kütlelerini belirtmektedir.
19	Kanatlar <i>Flank</i>	Kayma yüzeyinin yanlarında kalan ve hareket etmemiş malzemeyi belirtmektedir.
20	Doğal Arazi Yüzeyi <i>Original Ground Surface</i>	Kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyini belirtmektedir.



Şekil 2.7. Tipik bir heyelanın boyutlarını ifade eden kesitler **a)** üstten; **b)** yandan görünüş (IAEG 1990)

Çizelge 2.3. Tipik bir heyelanın boyutlarını ifade eden tanımlamalar (IAEG 1990)

#	Simge	Terim	Tanım
1	W_d	Heyelan Kütlesinin Genişliği	Heyelan kütlesinin kayma yönüne dik olan kısa kenarının uzunluğu
2	W_r	Kayma Yüzeyinin Genişliği	Heyelan kanatları arasındaki en uzun mesafe
3	L_d	Heyelan Kütlesinin Uzunluğu	Heyelan tepesiyle heyelan ucu arasındaki mesafe
4	L_r	Kayma Yüzeyinin Uzunluğu	Kayma yüzeyinin topuğundan aynaya kadar olan mesafe
5	D_d	Heyelan Kütlesinin Derinliği	Heyelan kütlesinin genişliğini ve uzunluğunu içeren düzleme dik olarak ölçülen, heyelan kalınlığının en büyük olduğu mesafe
6	D_r	Kayma Yüzeyinin Derinliği	Kayma yüzeyinin genişliğini ve uzunluğunu içeren düzleme dik olarak ölçülen, kayma yüzeyi ile doğal arazi yüzeyi arasında kalan en uzun mesafe
7	L	Toplam Uzunluk	Heyelanın tacından ucuna kadar olan mesafe
8	L_{cl}	Merkez Çizgisinin Uzunluğu	Heyelanın tacından ucuna kadar olan yatay uzaklık

2.2.3. Yamaç hareketlerinin hızı

Varnes (1958) tarafından oluşturulan yamaç hareket hızı ölçeği yine Varnes (1978) tarafından saniyede metre ile yılda milimetre arasında değişen eş değer SI birimlerinin eklenmesi ile güncellenmiştir. Bu ölçeklerin bölümlendirmesi anlamlı ardışık sayılar ile yapılmadığı için o günkü koşullarda yaygın kabul görememiştir. Nemçok vd. (1972) ise benzer bir hız sınıflamasını dört aralıklı olarak önermişlerdir. Cruden ve Varnes (1996), Varnes (1978) tarafından yapılan yamaç hareketi hızı sınıflamasını yeniden güncellemiş, ölçeğin üst sınırında hafif bir artış ve alt sınırında bir azalma ile ölçeği 100'ün katları olarak anlamlı bir şekilde artmaya ayarlamış (Çizelge 2.4) aynı zamanda olası hasarları da sınıflamaya dahil etmişlerdir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.4. Yamaç hareketi hızlarının sınır değerleri ve tanımları, yıllara göre hız sınırlarının değişimi (Varnes 1978; Cruden ve Varnes 1996)

Yamaç Hareketi Hızı (Varnes 1978)	Tanım	Yamaç Hareketi Hızı (Cruden ve Varnes 1996)
3 metre / saniye	Aşırı Hızlı	5×10^3 milimetre / saniye 5 metre / saniye
0,3 metre / dakika	Çok Hızlı	5×10^1 milimetre / saniye 3 metre / dakika
1,5 metre / gün	Hızlı	5×10^{-1} milimetre / saniye 1,8 metre / saat
1,5 metre / ay	Orta Hızlı	5×10^{-3} milimetre / saniye 13 metre / ay
1,5 metre / yıl	Yavaş	5×10^{-5} milimetre / saniye 1,6 metre / yıl
0,3 metre / 5 yıl	Çok Yavaş	5×10^{-7} milimetre / saniye 0,016 metre / yıl
	Aşırı Yavaş	

Çizelge 2.5. Yamaç hareketlerinin hızlarına göre olası hasarlar (Cruden ve Varnes 1996)

Hız Sınıfı	Tanım	Hız (mm/s)	Olası Hasar
7	Aşırı Hızlı	$> 5 \times 10^3$	Felaket. Yıkıcı. Yapılarda yıkılma olur, çok sayıda can kaybı olur.
6	Çok Hızlı	$> 5 \times 10^1$	Hız, kaçışa olanak sağlamayacak kadar büyüktür. Can kaybı olur.
5	Hızlı	$> 5 \times 10^{-1}$	Kaçmak mümkündür. Yapılarda yıkılma, bozulma olur.
4	Orta Hızlı	$> 5 \times 10^{-3}$	Bazı duyarsız yapılar geçici olarak korunabilir.
3	Yavaş	$> 5 \times 10^{-5}$	Düzeltilici önlemler uygulanabilir. Yapılar bakım çalışmaları ile korunabilir.
2	Çok Yavaş	$> 5 \times 10^{-7}$	Yapılarda hasar olmayabilir.
1	Aşırı Yavaş	$< 5 \times 10^{-7}$	Aletsiz izlenmelerde algılanmaz. Önem alarak yapı inşaat mümkün.

2.2.4. Yamaç hareketlerinin nedenleri

Yamaç hareketlerini kontrol eden etkenler, malzemeye etkiyen iç ve dış kuvvetleri değiştirebilen tüm unsurları kapsamaktadır. Bunlar belirleyici ya da pasif etkenler ve tetikleyici ya da aktif etkenler olarak iki temel gruba ayrılmaktadır. Bu unsurlar; yükseklik ve şev açısı gibi geometrik faktörler, malzemedeki zayıflık zonları gibi jeolojik faktörler, suyun varlığıyla ilişkili hidrojeolojik faktörler ile dayanım ve geçirgenlik gibi jeomekanik faktörlerinin tamamı ile belirlenmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014).

Belirleyici etkenler; stratigrafi, litoloji, jeolojik yapı, hidrojeolojik koşullar, fiziksel dayanım parametreleri, şekil değiştirme özellikleri ile arazi gerilmeleri gibi malzemenin kendi doğasına, yapı ve morfolojisine bağlı olan etkenler olarak sıralanmaktadır ve genellikle hareketin tipinden sorumludurlar. Tetikleyici etkenler ise aşırı statik ve dinamik yükler, hidrojeolojik koşullardaki değişimler, iklimsel faktörler, yamaç geometrisindeki değişimler ve dayanım özelliklerindeki azalış gibi malzemenin duraysızlığını artıran ve hareketi başlatan etkenler olup genellikle hareketin hızından ve boyutundan sorumludurlar (Vallejo ve Ferrer 2014) (Çizelge 2.6).

Yenilmenin olması için bir eğim gerektiğinden, yamaç hareketlerinde yer morfolojisi önemli rol oynamaktadır. Yamaçların dikliğinin bir ölçüsü olan yamaç açısı ya da eğim açısı, yamacın üzerindeki kaydırıcı kuvvetleri önemli ölçüde etkilemektedir. Yamacın dikliği arttıkça üzerindeki kuvvetlerin itici özelliği de artmaktadır (Keller 2006). Eğimin çok olduğu tepelik bölgeler yamaç hareketlerine en duyarlı alanlardır fakat toprak veya çamur akmaları için birkaç derecelik eğim bile yeterli olmaktadır (Vallejo ve Ferrer 2014). Malzemenin türü önemli olmakla birlikte dik yamaçlarda genellikle toprak, moloz veya kayanın çok hızlı hareket ettiği kaya düşmeleri ya da moloz çığları görülmektedir. Doygunluğu yüksek olan dik yamaçlarda sık zemin kaymaları görülebilmekte, eğim derecesine bağlı olarak genellikle kayma olarak başlayan bu hareketler çok tehlikeli toprak ya da moloz akmalarına dönüşebilmektedir (Keller 2006). Yenilmesi olası malzemelerin dayanımlarına bağlı olarak eğimin derecesi çok önemlidir. Bu alanlar genellikle derece veya yüzde aralıkları halinde gruplandırılarak bölgesel eğim haritaları oluşturulabilmektedir. Bununla birlikte, eğim ile duraylılık arasındaki karşılıklı ilişkinin basit olmadığı ve yamacın dikliğinin her zaman yenilme ile sonuçlanmayacağı bilinmektedir. Yüksek eğimli topografyadaki dayanıklılığı yüksek olan malzemeler, düşük eğimli alanlardaki dayanıksız malzemeden oluşan yamaçlardan daha kararlı olabilmektedir (Varnes 1984).

Heyelan bölgelerinde dikkate alınması gereken bir diğer önemli jeomorfolojik özellik bölgede daha önce meydana gelmiş olan heyelanın varlığı ya da yokluğudur; çünkü geçmiş yenilmelere ait kanıtlar gelecekteki davranışlar için en iyi rehber olarak kullanılmaktadır. Tarihsel bilgilerin güvenilirliği ve kullanılabilirliği konusunda fikir birliği olmamasına rağmen, bazı araştırmacılar heyelan eğilimli bölgeler için tarihi kayıtların yeniden oluşturulmasına çalışmış ve çalışmaların sonucunda da çeşitli ölçeklerdeki heyelanların duyarlılığının değerlendirilmesinde tarihsel bilgilerin yararlı olduğu görülmüştür (Guzzetti vd. 1994; Ibsen ve Brunnsden 1996; Glade 1998). Tarihsel verilere erişim Ibsen ve Brunnsden (1996) tarafından dört ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar doğrudan ya da dolaylı yoldan geçmişteki olaylara ait bulgulara erişime konusunda yardımcı olup,

1. Heyelan gibi doğal bir olayın değişim veya oluşumunu doğrudan kaydedenler,
2. Açıklayıcı modeller için iklim kayıtlarını kullanarak dolaylı veri sağlayanlar,
3. Jeolojik araştırmalar gibi olayların bilimsel verilerini içeren çalışmaları yapanlar,
4. Hayvan ve bitkiler üzerindeki mevsim değişikliklerinin etkilerini incelerken bu verileri (fenolojik kayıtlar), yer altı suyunun mevsimsel tepkisi gibi, ortamın belirteçleriyle birlikte sunan çalışmaları gerçekleştirenler olarak sıralanabilmektedir.

Çizelge 2.6. Malzeme koşulları ve yamaçları etkileyen faktörler (Vallejo ve Ferrer 2014)

	Faktörler	Etkiler
Belirleyici Faktörler	Rölyef (Eğim, Geometri)	Zemin Ağırlığının Dağılımı
	Litoloji (Bileşim, Doku)	Birim Hacim Ağırlığı Dayanım Hidrojeolojik Davranış
	Jeolojik Yapı ve Gerilme Durumu	Dayanım Şekil Değiştirebilirlik Zayıf Zonlar
	Jeomekanik Özellikler	Hidrojeolojik Davranış Boşluk Basıncı Gelişimi
	Ağaç Kesimi	Hidrolojik Dengede Değişim Aşınma
	Bozuşma	Fiziksel ve Kimyasal Değişimler İçsel ve Dışsal Aşınma Zayıf Zonların Gelişimi
Tetikleyici Faktörler	Yağış ve Süzülme	Boşluk Basıncı ve Zemin Ağırlığında Değişim Zemin Doygunluğu Aşınma
	Hidrojeolojik Koşullarda Değişim	
	Statik Yüklerin Uygulanması	Malzemenin Gerilme Durumunda Değişimler Malzemenin Ağırlık Dağılımında Değişimler Boşluk Basıncında Artışlar
	Dinamik Yüklerin Uygulanması	
	Yamaç Morfolojisindeki Değişimler	Ağırlıktan Dolayı Kuvvetlerin Değişimi Gerilme Durumunda Değişim
	Topukta Aşınma ve Alt Oyulması	Yamaç Geometrisinde Değişim Malzemenin Gerilme Durumunda Değişimler Malzemenin Ağırlık Dağılımında Değişimler
	İklim Etkisi (Donma, Çözülme)	Yer Altı Suyu Durumunda Değişim Çekme Çatlağı ve Zayıflık Düzlemleri Gelişimi Dayanım Özelliklerinde Azalış

Zeminlerin ve kaya kütlelerinin hareket potansiyelini belirleyen jeolojik yapı, stratigrafi ve litoloji faktörleri, birer yenilme yüzeyi olarak çalışan süreksizlikleri kontrol etmekte, malzemelerin fiziksel ve kimyasal davranışlarını içeren tüm özellikleri kapsamaktadır (Varnes 1984). Zemin ve kayaların arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilebilen bileşim, dayanım, bozuşma derecesi, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi özellikleri, malzemelerin yenilmeye karşı duraylı olup olamayacaklarını ve tetikleyen faktörlere dayanma derecelerini belirlemektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Potansiyel yenilme düzlemleri, yamaç malzemesi içerisindeki jeolojik zayıflık düzlemleri olup bunlar şistlerdeki folyasyon yüzeyleri, sedimanter kayalardaki tabaka düzlemleri ve kaya kütlelerinde yer alan eklem düzlemleri olarak örneklendirilebilmektedir (Keller 2006). Bir yamaçtaki malzemenin çeşidi, o yamaçta meydana gelebilecek duraysızlıkların tipi ile doğrudan ilişkilidir. Yenilmenin türü ve yenilme yüzeylerinin yeri; farklı litolojilerin ardalanma göstermesi, litolojideki bozuşmanın kapsamı ve malzemenin yumuşak ya da sert katmanlı olması ile kontrol edilmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014). Tortul kökenli kayaların önemli özellikleri arasında tane boyu dağılımı, tane şekli, içerdiği bağlayıcı madde miktarı ve türü ile parçacıkların ve çimentonun mekanik gücü yer almaktadır. İnce taneli tortul kayalardaki kil minerallerinin göreceli bolluğu, parçacıklar arası bağlar ile suyun varlığı ve kimyası yine duyarlılığı etkileyen baskın bileşim faktörlerindendir. Artan su içeriği ile killi malzemeler kayma dayanımını kaybetmekte ve mevcut kil minerallerinin türüne ve parçacıklar arası bağların karakterine göre malzemenin davranışının değiştiği görülmektedir (Varnes 1984).

Jeomekanik parametreler, malzemelerin kesme dayanımını kontrol etmektedir. Homojen zeminleri karakterize etmek kolay olabilmektedir. Ancak çok fazla kırık içeren kaya kütlelerinin mekanik davranışını ve dayanımını kontrol eden unsurlar süreksizlikler ve kırıklı kayanın dayanımı olabildiği gibi bir bütün olarak kaya kütlelerinin kendisi de olabilmekte bu durumda analiz karmaşık hale gelebilmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014).

Hidrojeolojik davranış, bölgenin iklimsel koşulları ile yakından ilişkilidir. Bir yamaç özelinde su, malzemenin dayanımını azaltmakta, duraysızlığı tetikleyen faktörleri arttırmakta ve neticede yamaç duraylılığını azaltmaktadır. Suyun varlığı; boşluk basıncı yoluyla kesme dayanımını azaltması, bazı tür zeminleri yumuşatması, zemin ağırlığını artırması ve çekme çatlağı ile süreksizliklerde kaydırıcı kuvvetlere katkı oluşturmaları sebebiyle yamaç dayanımını düşürmektedir. Suyun varlığı ile efektif gerilmede azalım gözlenmekte (2.1), çekme çatlaklarında suyun bulunması ve buradaki suyun basınç uygulaması nedeniyle sevi duraysızlığa iten kuvvetlerde artış olmakta, süreksizliklerde donan su sebebiyle süreksizliklerde açılma olmakta son olarak doygunluktan dolayı da malzemenin ağırlığında artış gözlenmektedir (2.2) (Vallejo ve Ferrer 2014).

$$\tau = c + (\sigma_n - U) \cdot \tan \phi = c + \sigma'_n \cdot \tan \phi \quad (2.1)$$

$$\gamma = \gamma_d + S_r \cdot n \cdot \gamma_w \quad (2.2)$$

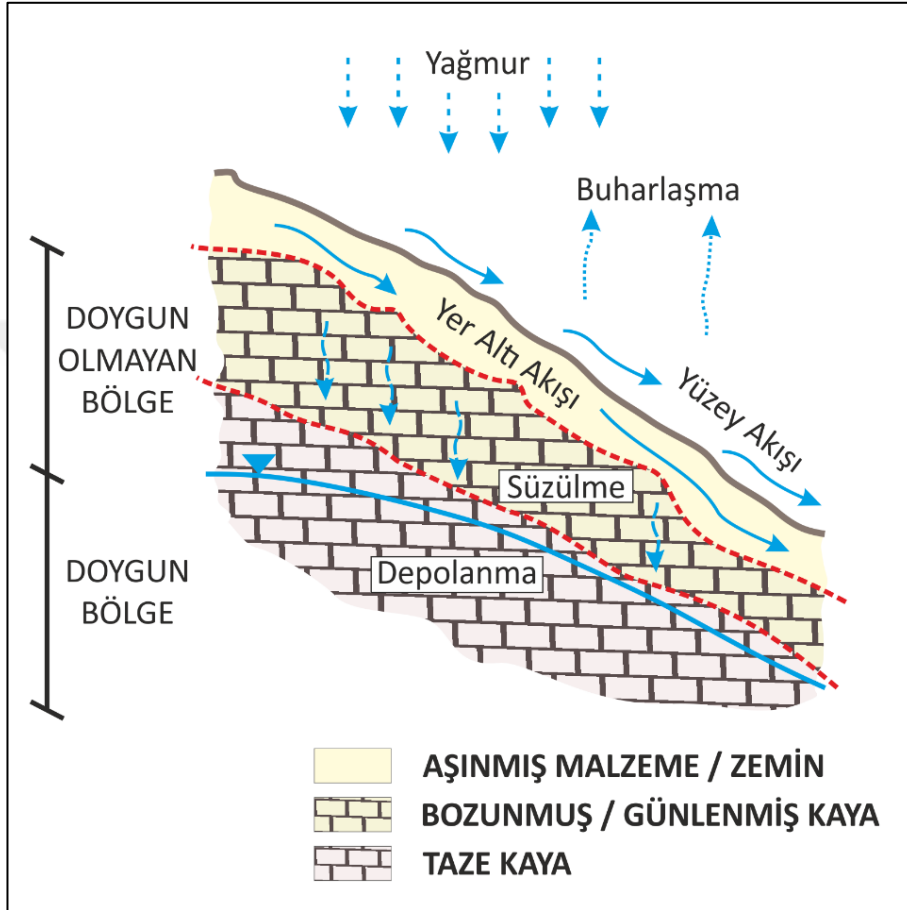
Burada; τ malzemenin kesme gerilmesini, c malzemenin kohezyonunu, σ_n toplam gerilmeyi, U boşluk suyu basıncını, σ'_n efektif gerilmeyi, ϕ içsel sürtünme açısını belirtirken; γ toplam birim hacim ağırlığı, γ_d kuru birim hacim ağırlığı, γ_w suyun birim hacim ağırlığını, S_r doygunluk derecesini ve n gözenekliliği simgelemektedir.

İklim ifadesi ortalama hava sıcaklığı ve yağış miktarından daha fazlasını ifade etmektedir (Keller 2006). Karakteristik hava durumu olarak basitleştirilen iklim, ekvatorlardan kutuplara kadar olan sıcaklık değişimleri ile ilişkilendirilmekte (Barry ve Hall-McKim 2014) ve bir bölge özelinde meydana gelen sıcaklık, yağış, nem ve atmosferik basınç gibi tüm hava olaylarının Dünya Meteoroloji Örgütüne (WMO) göre 30 yıllık süreli uzun dönem ortalaması ile tanımlanmaktadır (Bradley 2015). Diğer taraftan bahsedilen atmosferik koşulların günlük veya haftalık gibi kısa süreli değişimi ise hava durumu olarak ifade edilmektedir (Koç 2019). Bir bölge için karakteristik olan iklim özellikleri, bölgenin kısa dönem süren hava olaylarını kontrol ettiğinden, iklimin yamaç yenilmeleri üzerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Çünkü iklim, yağışların miktarını ve zamanını kontrol etmektedir (Keller 2006). Yamaç hareketlerinin meteorolojik ve iklimsel etkilerce tetiklenebilmesi aslında yağışın miktarı ve dağılımına bağlıdır. Yamaç hareketlerinin, meteorolojik koşullara verdiği tepki anlık olabileceği gibi zamana da yayılabilir (Vallejo ve Ferrer 2014). Diğer bir ifade ile çok fazla miktarda gerçekleşen bir yağış kaymayı belli bir zaman sonrasında da tetikleyebilmektedir.

Suyun varlığı birçok yamaç hareketlerinde dolaylı ya da doğrudan etkili olmaktadır. Bu sebeple suyun yaptığı etkinin özel çalışılması gerekmektedir. Bilinen şekilde suyun yamaç hareketlerinde üç etkisi bulunmaktadır. Sığ kaymalar olarak gözlenen yamaç hareketleri, yamaçların şiddetli yağış sırasında veya sonrasında suya doygun hale gelmesi ile kısa sürede oluşmaktadır. Dairesel kaymalar, suyun yamacın derinliklerine doğru süzülerek, etkisini aylar hatta yıllar sonra göstermesi ile gerçekleşebilmektedir. Son olarak su sadece yamaç topuğuna etki ederek topuğu aşındırabilmekte ve yamaç duraylılığını azaltabilmektedir (Keller 2006). Yağışlar, suyun malzemeye hapsolmesiyle hareket edebilecek malzemenin ağırlığını artırarak doğal yollardan ya da gerilme durumunu değiştirebilen basınçlar üreten yer altı suyunu besleyerek dolaylı yollardan yamaç duraysızlığını tetikleyebilmektedir. Yağmur suyunun süzülmesiyle yamaçların yüzey altında akışlar meydana gelmekte ve böylece doymamış bölgede su içeriği artmakta, süzülme ile doymuş bölge de beslenmekte ve yer altı su seviyesi yükselmektedir. Bu şekilde süzülen suyun miktarı, yağışın şiddetine ve süresine, drenaj alanının büyüklüğüne, mevcut yer altı su seviyesinin konumuna, malzemenin geçirgenlik ve iletimliliğine ayrıca yer morfolojisine ve bitki örtüsüne de bağlı olarak değişmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014).

Bölgesel bitki örtüsü yamaç duraylılığına bazı yönlerden fayda sağladığı gibi bazı durumlarda da duraylılık için olumsuzluk yaratabilmekte, bitki örtüsünün yamaç hareketlerine etkisi bu sebeple karmaşık olarak yorumlanmaktadır. Prandini vd. (1977) bitki örtüsünün olumlu etkileri ile ilgili bazı hususlara dikkat çekmekte ve bitki örtüsü sayesinde, iklimin kütle üzerindeki olumsuz etkisinin duraylılığa yararlı olacak bir şekilde azaltıldığını ayrıca güneşin, rüzgârın ve yağmurun olumsuz etkilerinden kütlenin korunduğunu belirtmektedir. Bitki örtüsünün yapraklar, dallar ve gövdeler aracılığıyla suyun buhar halinde uzaklaşmasına olanak sağladığı, kökleri ile yamaç malzemesi için bir kohezyon yarattığı, kaymaya karşı direnen kuvvetleri azaltıcı etkisi olan suyu yamaçtan uzak tutarak yamacın duraylılığını arttırdığı belirtilmektedir. Fakat bitkiler aynı zamanda yamaçta ilave ağırlık oluşturarak kaydırıcı kuvvetlerin artmasına da yol açabilmekte (Keller 2006), kuvvetli ağaçlar aracılığıyla rüzgârın mekanik etkisinin toprağa ulaşmasına sebep olabilmektedir (Varnes 1984). Farklı bir yaklaşım olarak hem arazi incelemesinde hem de hava fotoğrafçılığı yorumunda yamaç hareketinin bir

göstergesi olarak yıpranmış bitki örtüsü kullanılmaktadır. Bitki örtüsünün tipi ve canlılığındaki nem farklılıkları ile bölgedeki çatlaklar ortaya çıkarılabilmektedir. Ağaçların geriye dönük eğimli bir şekilde olması da hareketlilikten kaynaklı olarak yorumlanabilmektedir (Varnes 1984). Bütün bu sistemin işlemesi sonucunda yamaçta duraysızlığa neden olabilecek dengesizlik durumları meydana gelebilmektedir (Vallejo ve Ferrer 2014) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Bir yamaçta su akış diyagramı (Prandini vd. 1977)

2.2.5. Yamaç hareketlerinin aktivitesi

Dünya Heyelan Envanteri Çalışma Grubu (WP/WLI) tarafından yapılan çalışmalarda yamaç hareketlerinin aktivite tanımlaması; aktivite durumu, aktivite dağılımı ve aktivite tipi olmak üzere üç başlık altında incelenmektedir. Bu hareketler aktivite durumlarına göre yedi, aktivite dağılımlarına göre yedi ve aktivite tipine göre beş alt başlık ile tanımlanmaktadır (WP/WLI 1993) (Çizelge 2.7).

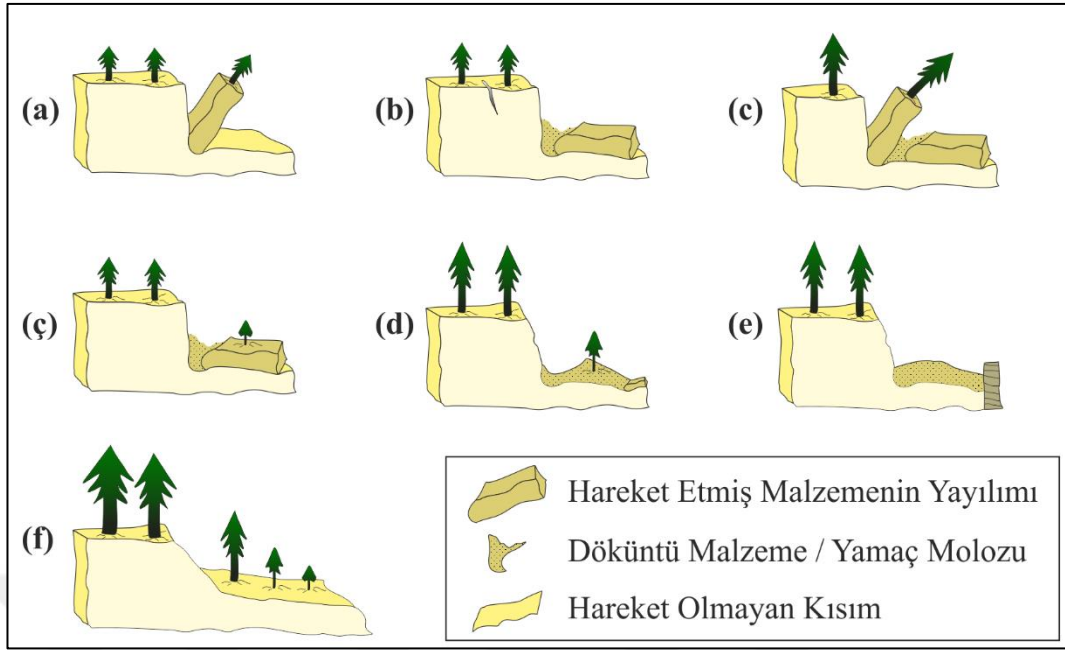
Etkin heyelanlar yamaç hareketinin güncel olarak devam ettiği ve belirtilerinin açık bir şekilde gözlenebildiği heyelanlardır (WP/WLI 1993) (Şekil 2.9a). Son bir yıllık mevsim döngüsü içinde hareket olmuş ancak şu anda gözlenebilen şekilde hareket etmeyen heyelanlar duraklamış olarak tanımlanmakta ve bunların taş kesiminde bölgesel çatlamlar görülebilmektedir (Varnes 1978) (Şekil 2.9b). Etkinliğini yitirdikten sonra tekrar meydana gelen heyelanlar ise uyanmış heyelanlar olarak isimlendirilmektedir

(Şekil 2.9c). Uyanmış heyelanlarda gözlenen kayma dayanım parametreleri rezidüel (Skempton 1970) veya nihai (Krahn ve Morgenstern 1979) değerlere yaklaşmakta ve kayma önceden var olan makaslama düzlemleri üzerinde gerçekleşmektedir. Yenilen ve sonrasında sakinleşen malzeme, daha önce kayma göstermeyen kütlenin hareketlenmesinden de etkilenmekte ve tekrar hareket edebilmektedir.

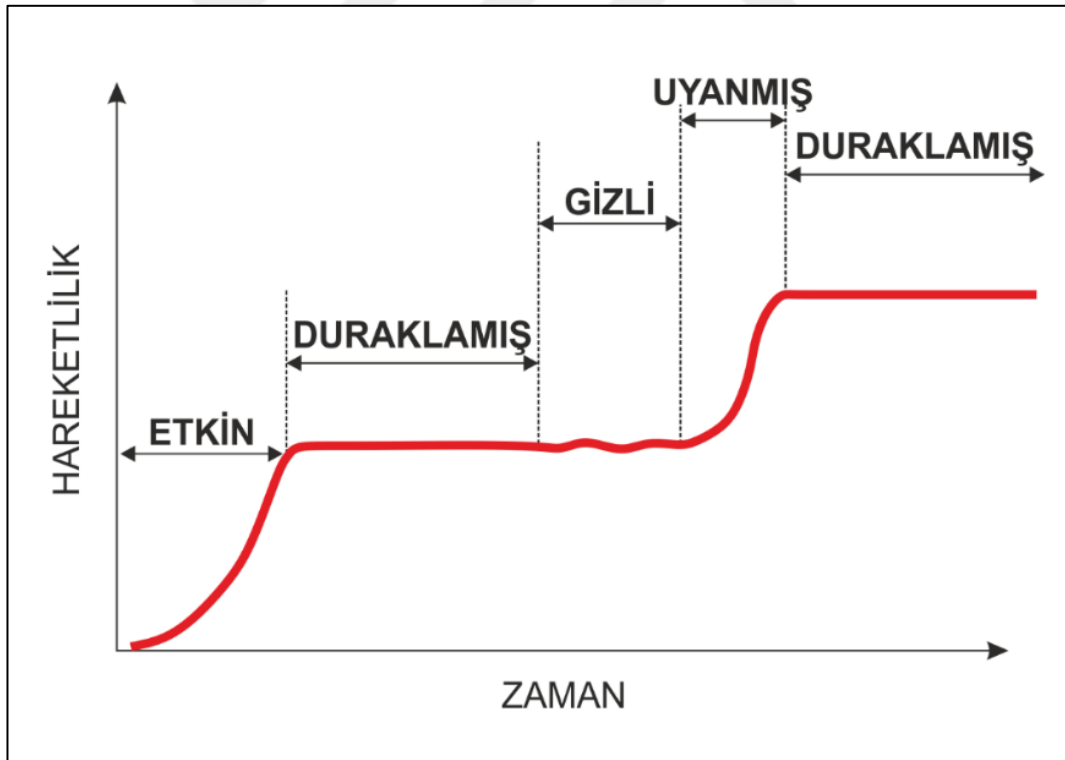
Etkin olmayan heyelanlar ise uzun bir süre önce meydana gelmiş olan heyelanları genel olarak tanımlamakta ve kendi içinde bölümlere ayrılmaktadır. Etkin olmayan ancak önceki yamaç hareketinin sebeplerinin gözlenebildiği heyelanlar uykuda ya da gizli heyelan olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.9ç). Duraklamış heyelanlardan farklı olarak hareket etmiş olan kütlenin üzerinde bitki örtüsünün yeniden oluştuğu gözlenebilmektedir. İlk harekete neden olan tetikleme unsurlarının yeniden oluşmasıyla hareketlenebilecek heyelanlar bu sınıfa dahil edilmektedir. Etkin olmayan heyelanların bir başka çeşidi ise önceki hareketi oluşturan faktörlerin etkisinin bir engel ya da iyileştirme ile sonlandırıldığı heyelanlardır. Bu durumun doğal bir şekilde gerçekleştiği, ilk yenilmeye sebep olan faktörlerin etkisini kendiliğinden yitirdiği heyelanlara bitmiş heyelanlar denilmektedir (Hutchinson ve Gostelow 1976) (Şekil 2.9d). Bitmiş heyelanlarda yenilmenin olduğu vadi yön değiştirmiş olabilmektedir. Eğer iyileştirici önlemler ile kütle kaymaya karşı korunmuş veya birtakım yapay önlemlerle kaymaya neden olan etkenlerden kaçınılarak yamaç hareketi engellenmiş ise bu şekilde hareketin yapay bir şekilde kontrol altına alındığı heyelanlara kontrollü heyelanlar denilmektedir (Şekil 2.9e). Yamaç topuğuna destek sağlanarak kayma hareketi sonlandırılabilir ve heyelan duraylı hale getirilebilmektedir. Son olarak kalıntı heyelanlar ise önceden baskın olan iklimsel ve jeomorfolojik koşullardan tamamen farklı koşullara erişmiş heyelanları ifade etmektedir (Şekil 2.9f). Bölgedeki kalıntı heyelanlar fark edilmeden yol vb. yapım çalışmaları gerçekleştirildiğinde, on bin yıllık hareketlerin bile yeniden gerçekleşmesi olasıdır (Skempton ve Weeks 1976). Aktivite durumlarının zamana bağlı değişiminin basit bir ifadesi Şekil 2.10'da sunulmaktadır.

Çizelge 2.7. Yamaç hareketlerinin aktiviteye göre sınıflandırılması (WP/WLI 1993)

Aktivite Durumu (Şekil 2.9) # Sınıflama		Aktivite Dağılımı (Şekil 2.11) # Sınıflama		Aktivite Tipi (Şekil 2.12) # Sınıflama	
(a)	Etkin (Active)	(a)	İleriye Doğru Gelişen Heyelan (Advancing)	(a)	Karmaşık (Complex)
(b)	Duraklamış (Suspended)	(b)	Geriye Doğru Gelişen Heyelan (Retreating)	(b)	Bileşik (Composite)
(c)	Uyanmış (Reactivated)	(c)	Genişleyen Heyelan (Widening)	(c)	Ardışık (Successive)
(ç)	Gizli (Dormant)	(ç)	Büyüyen Heyelan (Enlarging)	(ç)	Tek (Single)
(d)	Bitmiş (Abandoned)	(d)	Yayılan Heyelan (Moving)	(d)	Çoklu (Multiple)
(e)	Kontrollü (Stabilized)	(e)	Sınırlı Heyelan (Confined)		
(f)	Kalıntı (Relict)	(f)	Tükenen Heyelan (Diminishing)		



Şekil 2.9. Yamaç hareketlerinin aktivite durumlarına göre sınıflanması **a)** etkin; **b)** duraklamış; **c)** uyanmış; **d)** gizli; **e)** bitmiş; **f)** kalıntı (WP/WLI 1993)



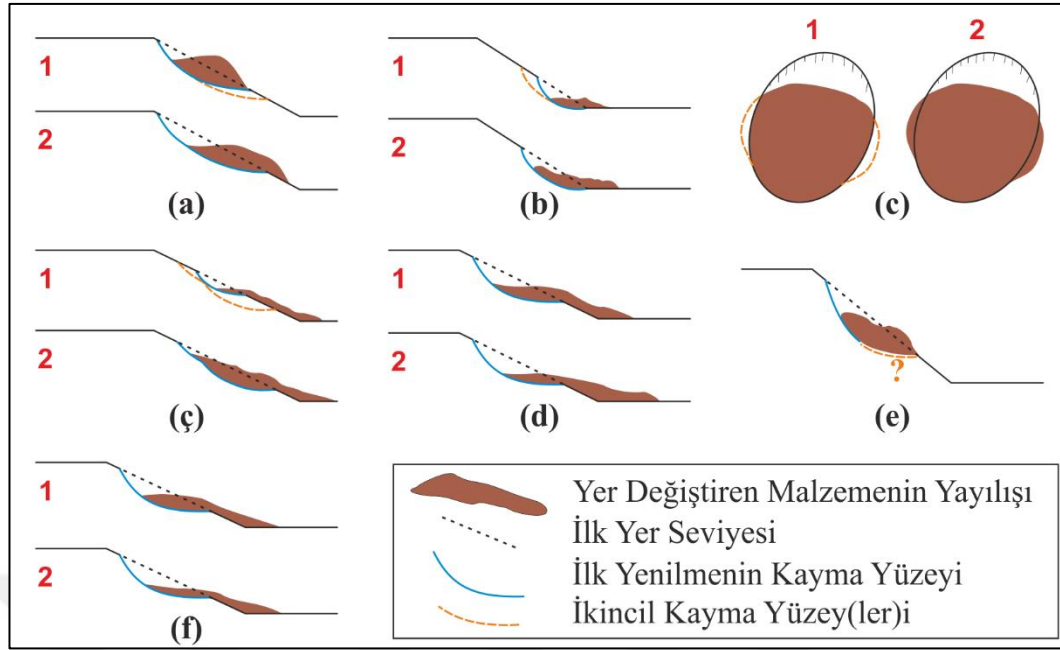
Şekil 2.10. Yamaç hareketlerinin aktivite durumlarının zamana bağlı değişimi (WP/WLI 1993)

Dünya Heyelan Envanteri Çalışma Grubunun aktivite durumu sınıflandırmasından farklı olarak yamaç hareketlerinin aktivite durumlarının dört bölüm ile ifade edildiği başka bir çalışmada, ilgili sınıfların tahmini yaş ve belirti bilgileri de sunulmaktadır (Keaton ve DeGraff 1996). Bu sınıflamaya göre yamaç hareketleri temelde etkin ve gizli olmak üzere iki bölüme ayrılmakta ve gizli heyelanlar ise belirtilerine ve en son etkin olduğu yıllara göre kendi içinde yeniden sınıflandırılmaktadır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Yamaç hareketlerinin aktivite durumlarına göre tahmini yaş ve tanım bilgileri (Keaton ve DeGraff 1996)

	Sınıflama	Tahmini Yaş	Belirti
	Etkin (Active)	< 100 yıl	Halihazırda hareket var.
	Etkin Olmayan [Genç] (Dormant Young)	100 – 5000 yıl	Halihazırda hareket yok.
Gizli (Dormant)	Fosil [Olgun] (Dormant Mature)	5000 – 10000 yıl	Binlerce yıldır etkin değil. Morfolojik özelliklerinden tanınır.
	Kalıntı [Yaşlı] (Dormant Old)	> 10000 yıl	Binlerce yıldır etkin değil. Morfolojik özelliklerinden tanınmaz.

Heyelanların aktivite dağılımları yer değiştiren malzeme ile sınırlı olabilmekte ya da kayma yüzeyi yer değiştiren malzemenin hacmine göre sürekli olarak genişleyebilmektedir. Varnes (1978) tarafından heyelanlardaki aktivite dağılımını tanımlayabilmek için kullanılabilecek bir dizi terim belirlenmiştir. Kayma yüzeyinin hareket yönünde uzandığı durumlarda heyelanın ilerlediği (Şekil 2.11a), kayma yüzeyinin yer değiştiren malzemenin hareketine aksi yönde hareket etmesi durumunda ise heyelanın geri çekildiği söylenmektedir (Şekil 2.11b). Eğer kayma yüzeyi, heyelanın kanatlarının sadece birinde veya her ikisinde de ilerliyorsa bu tip heyelanlar genişleyen olarak isimlendirilmektedir (Şekil 2.11c). Kayma yüzeyinin iki yönde uzanma eğiliminde olduğu yani heyelanın hem ilerleyen hem de gerileyen heyelan özelliği gösterdiği durumda büyüyen heyelan tanımı kullanılmakta ve heyelan birden fazla kayma yüzeyine sahip olabilmektedir (Varnes 1978) (Şekil 2.11ç). Terim karmaşıklığı olmaması adına ilerleme ve gerileme eğilimleri tek yöndeki hareketi, büyüme ise aynı anda her iki yöndeki hareketi tanımlamak için kullanılmaktadır. Yer değiştiren malzemenin hacminde ve kayma yüzeyinde bir değişim gözlenmeden süren hareketler ise yayılan heyelanlar olarak nitelendirilmektedir (Şekil 2.11d). Aynası olan ancak yer değiştiren kütlenin topoğunda kayma yüzeyi gözlenemeyen heyelanlar sınırlı heyelanlar olup yer değiştiren kütle sebebiyle heyelan topoğunda sıkışma ve kabarma gözlenmektedir (Hutchinson 1988) (Şekil 2.11e). Yer değiştiren malzeme hacminin zamanla azalma gösterdiği ve herhangi bir eğilimin belirgin olmadığı heyelanlar iste tükenen heyelanlar olarak isimlendirilmektedir (Şekil 2.11f).



Şekil 2.11. Yamaç hareketlerinin aktivite dağılımlarına göre sınıflanması **a)** ileriye gelişen; **b)** geriye gelişen; **c)** genişleyen; **ç)** büyüyen; **d)** yayılan; **e)** sınırlı; **f)** tükenen (WP/WLI 1993)

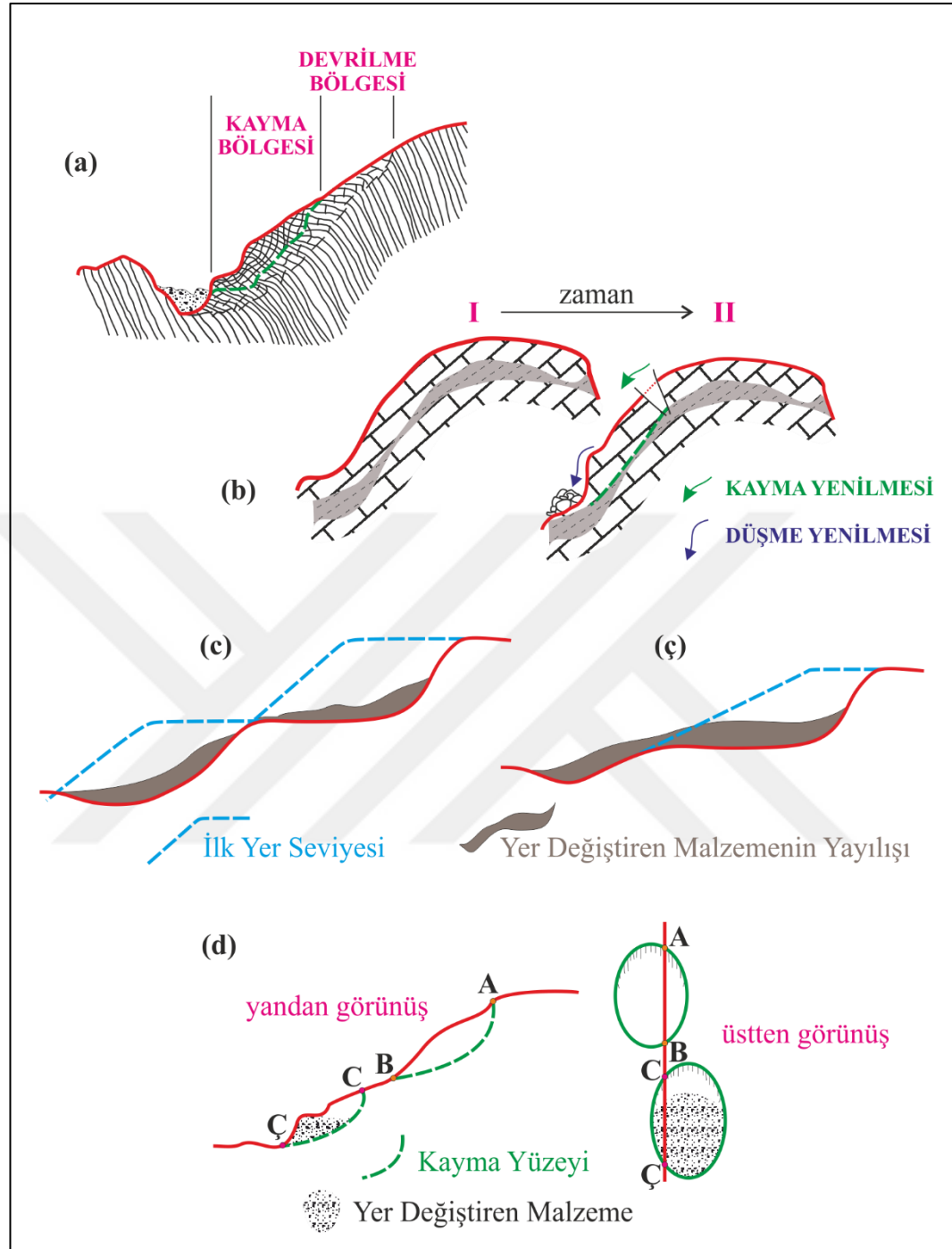
Farklı hareketlerin heyelanlara nasıl katkıda bulunduğu, heyelan faaliyetlerinin tarzı Varnes (1978) tarafından oluşturulan terimler ile açıklanabilmektedir. Bunlar; karmaşık, birleşik, çoğul, tekil ve ardışık olarak sıralanmaktadır.

Karmaşık heyelanlar; en az iki farklı tipte yamaç hareketinin birbirini izleyecek şekilde meydana geldiği heyelanlardır. Devrilme yenilmesi sonrasında vadiye dolan malzemenin, bozuşmanın da etkisiyle bir süre sonra kayma gösterdiği bilinmektedir (Giraud vd. 1990) (Şekil 2.12a).

Birleşik heyelanlar, daha önce karmaşık olarak tanımlanan ve yer değiştirmiş kütlenin farklı bölgelerinde aynı zamanda en az iki farklı hareket türünün meydana geldiği heyelanları ayırt etmek için kullanılmaktadır. Şeyl birim üzerinden kayan kireçtaşlarının daha sonra düşme göstermesi, birleşik heyelanlara örnek olarak gösterilebilmektedir. (Prior vd. 1968) (Şekil 2.12b).

Çoklu heyelanlarda, aynı türdeki yamaç hareketi heyelanın farklı kısımlarında tekrarlı olarak gelişmektedir (Şekil 2.12c). Tekil heyelanlar ise yer değiştiren malzemenin genellikle kesintisiz bir blok olarak tek bir hareketinden oluşmaktadır (Şekil 2.12ç).

Ardışık olarak bilinen heyelanlarda aynı türde iki yamaç hareketi gerçekleşmekte ancak bunlar aynı kayma yüzeyini paylaşmamaktadır. Ardışık kaymalar sığ derinlikteki bireysel kaymaların bir araya gelmesi ile oluşmakta (Skempton ve Hutchinson 1969) ve basamaklı bir yapıdan ziyade bir mozaik oluşturan düzensiz ardışık hareketler şeklinde gözlenmektedir (Hutchinson 1967) (Şekil 2.12d).



Şekil 2.12. Yamaç hareketlerinin aktivite tiplerine göre sınıflanması a) karmaşık; b) birleşik; c) çoklu; ç) tekli; d) ardışık (WP/WLI 1993)

2.2.6. Duraylılık analizleri

Sınır denge yöntemleri, belirli bir yenilme yüzeyi boyunca hareketin oluşmasına neden olan yani malzemeyi kaydıran kuvvetlerin, aynı düzlem üzerinde olup hareketi engelleyen yani harekete direnen kuvvetler ile karşılaştırılmasına ve olası bir duraysızlığın analizine dayanmaktadır. Burada kaymanın kinematik olarak mümkün olduğu, yenilme yüzeyine etkiyen kuvvetlerin malzemenin birim hacim ağırlığı, su

basıncı gibi bilinen kuvvetler ile hesaplanabildiği, dayanımın tüm yüzey boyunca aynı kaldığı varsayımları yapılmaktadır (Vallejo ve Ferrer 2014). Bu koşullarda kaydıran ve direnen kuvvetler arasında bir ilişki kurulmaktadır. Bu ilişki duraylılığa ait güvenlik (emniyet) katsayısı (F) olarak ifade edilmekte ve şeve etkileyen kuvvetlerden harekete direnen kuvvetlerin, kaymaya neden olan kuvvetlere oranı olarak tanımlanmaktadır (2.3). Aynı eşitlik benzer şekilde gerilmeler cinsinden de ifade edilebilmektedir (2.4). Varsayılan bir yenilme yüzeyi için güvenlik katsayısı bulunduğundan sonra, güvenlik katsayısının en düşük olduğu (F_{min}) yenilme yüzeyi bulunana kadar mümkün olan bütün yüzeyler için analize devam edilmekte, bulunan yüzey ise potansiyel yenilme yüzeyi olarak tayin edilmektedir. Bu yüzey için bulunan güvenlik katsayısı (F_{min}) analiz edilen şevin güvenlik katsayısı olarak belirlenmektedir. $F = 1,0$ koşulu şeve etkileyen kuvvetler için sınır denge kabul edilmekte, $F > 1,0$ koşulu malzemeyi duraylı, $F < 1,0$ ise malzemeyi duraysız olarak tanımlamaktadır.

$$F = \frac{\text{Kaymaya Direnen Kuvvetler}}{\text{Kaymaya Yardımcı Olan Kuvvetler}} \quad (2.3)$$

$$F = \frac{\text{Direnen Kesme Gerilmesi}}{\text{Kaydıran Kesme Gerilmesi}} \quad (2.4)$$

Yatay düzlem ile α açısı yapan bir kayma düzlemine sahip şeve etkileyen bir dış kuvvetin olmadığı kabul edildiğinde olası yenilme yüzeyine etki eden kuvvetler malzemenin ağırlığından, yüzeyin kohezyonundan ve içsel sürtünme açısından oluşmaktadır (2.5). Burada; R_c kohezif kuvvetleri (2.6), R_ϕ sürtünmeli kuvvetleri (2.7) ve S kaydırıcı kuvvetleri (2.8) simgelemektedir. Sisteme dışarıdan bir kuvvetin etkisi olmadığı için kaydırıcı kuvvet olarak sadece malzeme ağırlığının (W) kayma yönündeki bileşeni dikkate alınmaktadır (2.8). c malzemeye ait kohezyonu, A ise kayan malzemenin kayma yüzeyi ile arasındaki alanı ifade etmektedir (Şekil 2.13).

$$F = \frac{R_c + R_\phi}{S} \quad (2.5)$$

$$R_c = c \cdot A \quad (2.6)$$

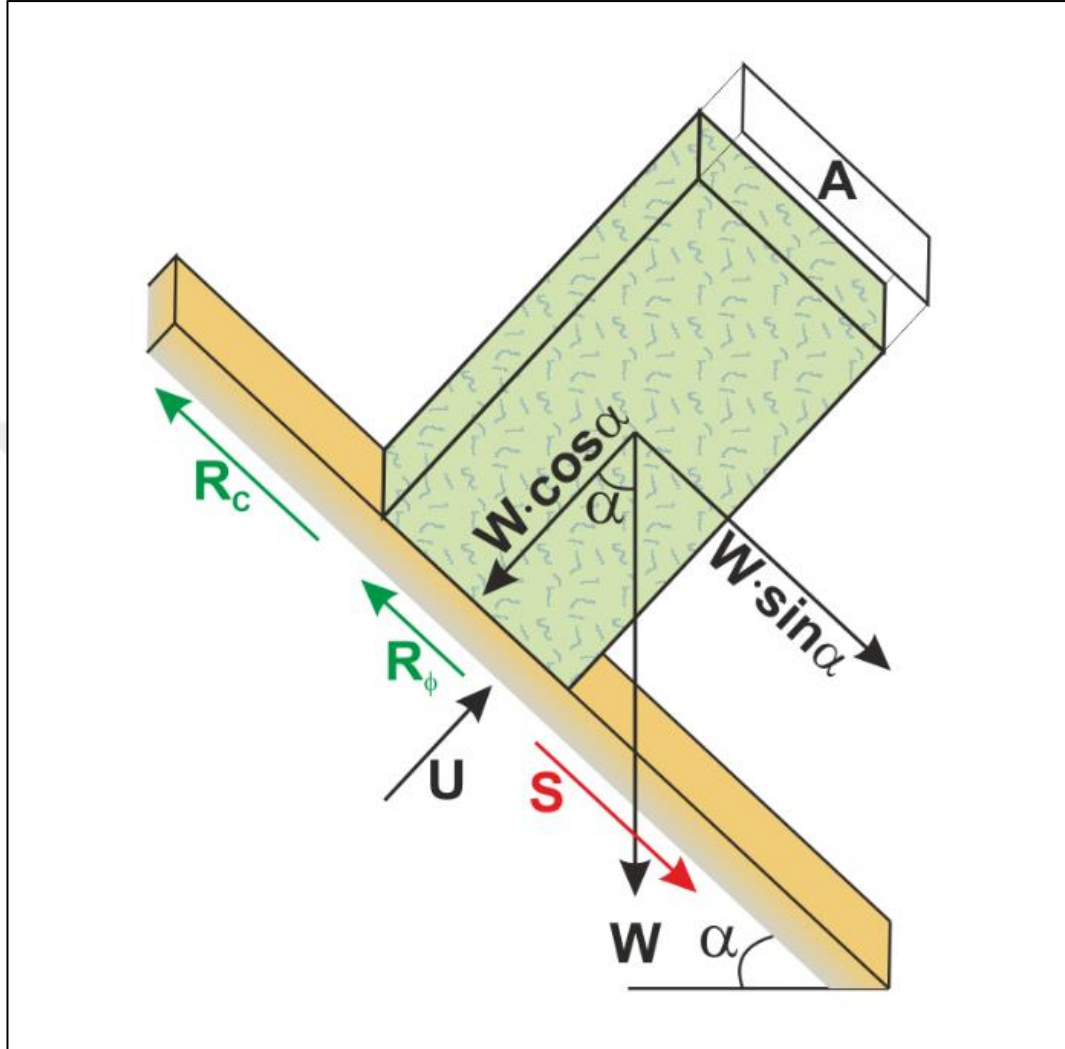
$$R_\phi = W \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi \quad (2.7)$$

$$S = W \cdot \sin \alpha \quad (2.8)$$

Yenilme düzlemi üzerinde su basıncı mevcut olursa bu durumda suyun varlığı kayma düzlemine dik ve yenilen malzemeye doğru bir etki oluşturmaktadır. Bu sebeple sürtünmeli kuvvetleri azaltıcı bir etki oluşmakta ve bu kuvvetin tanımı (2.9) eşitliğindeki gibi güncellenmektedir. (2.9) eşitliği, (2.7) eşitliği yerine kullanılarak ve (2.5) eşitliği yeniden yazılarak nihai güvenlik katsayısı denklemi elde edilmektedir (2.10) (Şekil 2.13).

$$R_\phi = (W \cdot \cos \alpha - U) \cdot \tan \phi \quad (2.9)$$

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \alpha - U) \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \alpha} \quad (2.10)$$



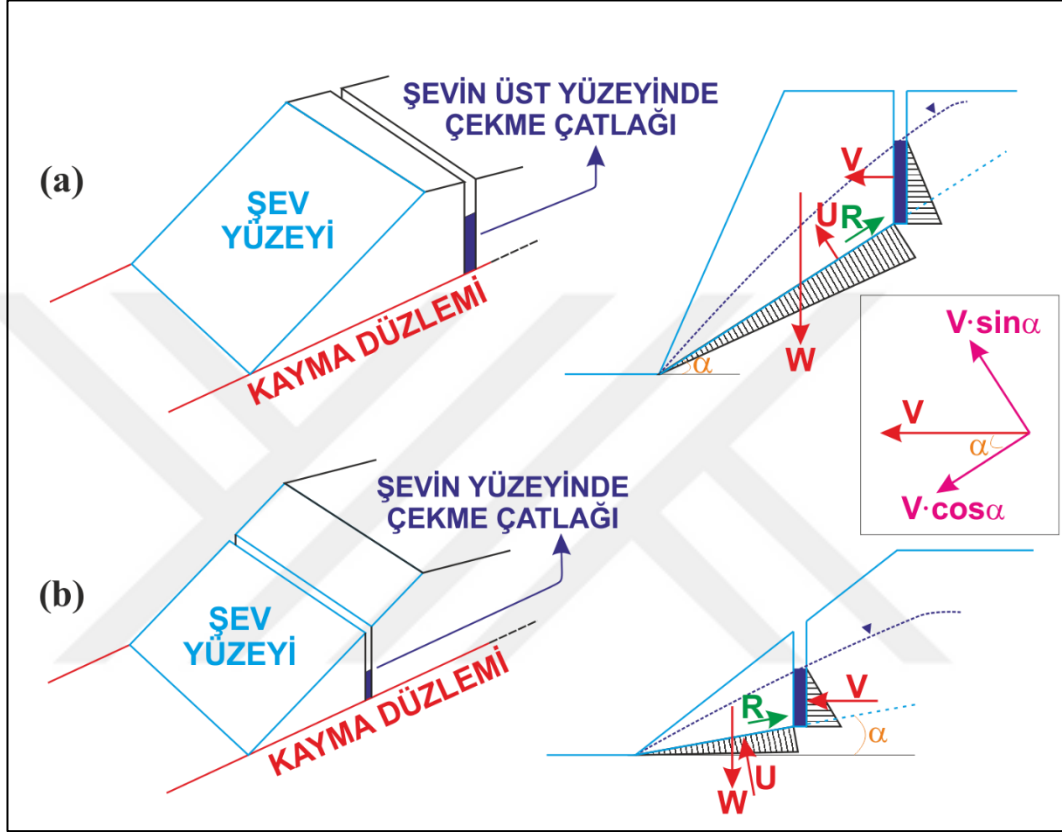
Şekil 2.13. Bir şevde yenilme yüzeyine etki eden kuvvetler (Vallejo ve Ferrer 2014)

Yamaç malzemelerinin jeomekanik davranışını etkileyen faktörler genellikle kayma dayanımını ve kesme gerilmesini değiştirme durumuna göre incelenmektedir. Kayma dayanımını arttıran ya da kesme gerilmesini azaltan faktörler duraylılığı arttırırken, kayma dayanımını azaltan ya da kesme gerilmesini arttıran faktörler duraysızlığa neden olmaktadır. Örneğin boşluk suyu basıncı kesme gerilmesine dik olarak etkidiği için kesme gerilmesini değiştiremez ancak kayma dayanımını azaltmaktadır.

Kaya şevlerinde gözlenen çekme çatlakları yatay düzleme paralel olarak kayma yönünde etki gösterdiğinden bir kaya şevi analizinde iki bileşenli olarak görülmektedir. Şekil 2.14'te hem su basıncı hem de çekme çatlakları etkisi olan bir kaya şevi gözlenmektedir. Çekme çatlakları şev üst yüzeyinde (Şekil 2.14a) olabildiği gibi şev yüzeyinde de (Şekil 2.14b) yer alabilmektedir. Çekme çatlaklarının ilk bileşeni kayma yüzeyine paralel ve kayma yüzeyi ile aynı yönde olup diğer bileşeni ise aynı boşluk suyu

basıncı gibi bu bileşene dik etkiyen bir kuvvettir. Bu sayede çekme çatlakları yatay bileşenleri ile malzemenin kesme gerilmesini arttırırken, düşey bileşenleri ile malzemenin kesme dayanımını azaltmaktadır (2.11).

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \alpha - U - V \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \alpha + V \cdot \cos \alpha} \quad (2.11)$$

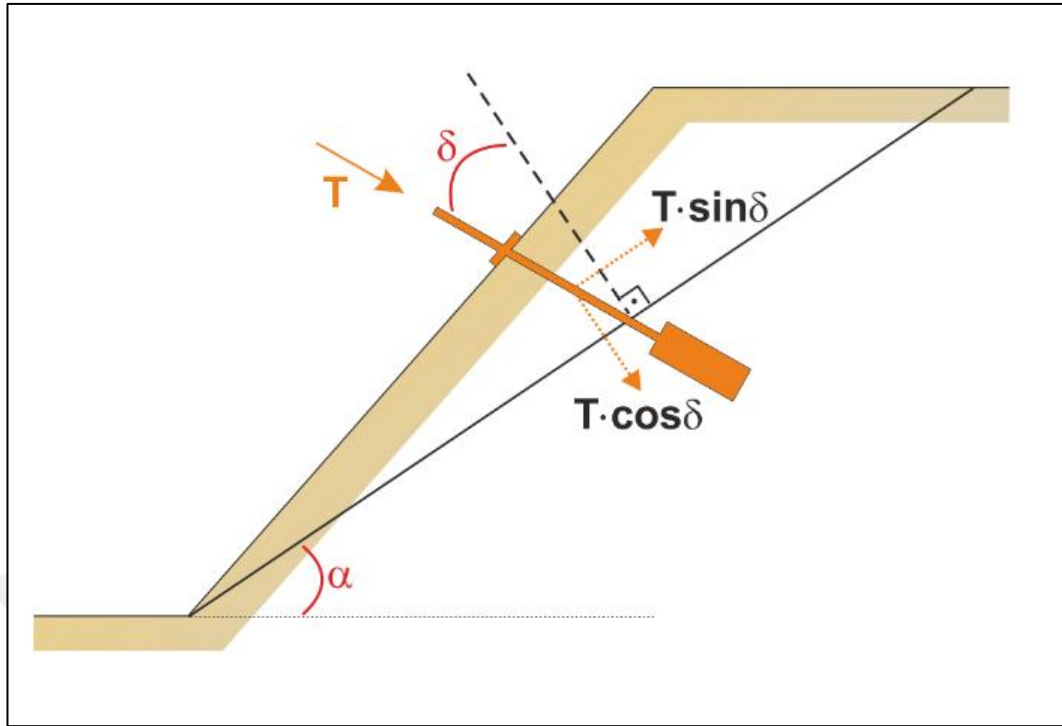


Şekil 2.14. Bir kaya şevinde yenilme yüzeyine etki eden kuvvetler **a)** çekme çatlağı şev tepesinde; **b)** çekme çatlağı şev yüzeyinde (Wyllie ve Mah 2004)

Olası bir duraysızlık barındıran kaya şevine ankraj gibi direnen bir dış yük eklenerek iyileştirme yapılabilir. Bu durumda ankraj belirli bir eğim açısı (δ) ile sisteme nüfuz ettirilmektedir. Ankraj, düşey bileşeni yenilme gösterecek malzemeye dik ve şev içine doğru, yatay bileşeni ise kayma yüzeyine paralel ve kayma yönünün tersi istikamette olacak şekilde etki ettirilmekte bu sayede hem kayma gerilmesini azaltıcı hem de kayma dayanımını arttırıcı olarak davranmaktadır (2.12) (Şekil 2.15).

$$F = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos \alpha - U + T \cdot \cos \delta) \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \alpha - T \cdot \sin \delta} \quad (2.12)$$

Gerek zemin şevlerinde gerekse kaya şevlerinde olsun, yamaç malzemelerinin jeomekanik davranışlarının etkilenmesi, değişmesi ile duraysız hale gelen yamaçlarda hareketlilik gerçekleşebilmektedir.



Şekil 2.15. Bir kaya şevinde yenilmeye direnen bir dış kuvvetin sisteme eklenmesi (Wyllie ve Mah 2004)

2.2.7. Heyelanlarda tehlike ve risk kavramları

Yerküre hareketleri sonucu oluşan deprem, heyelan, volkanik faaliyetler meydana geldikleri yere göre insan hayatını çeşitli ölçülerde tehdit etmektedir. İnsanların bu jeolojik olaylardan etkilenme dereceleri ise insan hassasiyeti olarak ortaya çıkmaktadır. Jeolojik aktivite sonucunda meydana gelen deprem, heyelan gibi yıkıcı olaylar ile insanların bu olaylara karşı yüksek hassasiyete sahip olduğu alanlar birleştiğinde meydana gelen tehlikeler doğal afetlere dönüşmektedir (Alcantara-Ayala 2002). Bir doğal tehlikenin ifadesi büyüklük, coğrafi konum ve zaman olmak üzere üç temel kavramı içermektedir. Büyüklük, doğa olayının davranışını ve yıkıcı gücünü koşullandıran boyut ve yoğunluk derecesini ifade etmektedir. Coğrafi konum, doğa olayının meydana gelebileceği yeri gözlemlene ve tanımlama yeteneğini belirtmektedir. Zaman kavramı ise doğa olayının zamansal frekansını ifade etmektedir.

Doğal tehlikeler, belirli derecede istikrarlı bir durumun çok küçük bozulmalar sebebiyle bile aniden değişme olasılığı olarak tanımlanabilmektedir. Bu değişimler tektonik kaynaklı (eğim) gibi içsel olabildiği gibi iklim vs. kaynaklı (yağış) olarak dışsal da olabilmektedir (Scheidegger 1994). Tehlike kavramı ayrıca, belirli bir alanda ve belirli bir süre içinde potansiyel olarak zarar verici bir olayın ortaya çıkma olasılığı olarak da tanımlanmakta ve bu olasılık; doğal tehlike, hassasiyet, spesifik risk, risk altındaki öğeler ve toplam risk olarak beş parametre ile ifade edilmektedir (2.13) (Varnes 1984):

$$R_t = (E) \times (R_s) = (E) \times (H \times V) \quad (2.13)$$

Buna göre, doğal tehlike (H), potansiyel olarak zarar verebilecek bir olayın belirli bir süre ve belirli bir alan içinde meydana gelme olasılığı olarak tanımlanmaktadır. Hassasiyet (V) ise risk altındaki bir elemanın ya da bir dizi ögenin belirli bir büyüklükteki doğal olayın ortaya çıkmasından kaynaklanan kayıp derecesi anlamına gelmekte ve 0 (hasar yok) ile 1 (toplam kayıp) arasında bir ölçekte ifade edilmektedir. Spesifik risk (Rs) belirli bir doğa olayı neticesinde beklenen kayıp derecesi olarak tanımlanmakta olup doğal tehlike (H) ve hassasiyet (V) ile ifade edilebilmektedir. Risk altındaki ögeler (E), adından da kolaylıkla anlaşılacağı gibi doğa olayının meydana gelebileceği bir alanda risk altında bulunan canlı nüfusu, mülkler ve ekonomik faaliyetler gibi tüm ifadelerin genelini ifade etmektedir. Son olarak toplam risk (Rt) ise belirli bir doğa olayı nedeniyle beklenen can kaybı, yaralanma, mülke zarar veya ekonomik faaliyetin bozulması gibi olumsuzlukların tamamını ifade etmekte ve bu nedenle spesifik risk (Rs) ve risk altındaki ögelerin (E) bir sonucu olarak ilişkilendirilmektedir. Bu tanım, tehlikelerin bir bölge üzerindeki dağılımını gösteren haritalar için en yaygın kabul gören tanım olmaya devam etmektedir.

Heyelanlar en tehlikeli doğal afetler arasında yer almaktadır ve bu sebeple dünya çapındaki araştırma kurumları tarafından yıllarca heyelan tehlikesi ve heyelan riski değerlendirilmeye ve heyelanların coğrafi dağılımı tespit edilmeye çalışılmıştır. Nüfus artışı ile yeni yerleşim yerleri arayışı içgüdüleri sonucunda yerleşim yerlerinin tehlikeli alanlar üzerinde genişlemesi hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde doğa olaylarının afete dönüşmesindeki etkisini çoğaltmaktadır (Alcantara-Ayala 2002). Birçok ülkede heyelanlardan kaynaklanan ekonomik kayıplar yaygın olarak kabul edilen afetlerden daha fazladır ve depremler, taşkınlar, rüzgâr fırtınaları da dahil olmak üzere diğer tüm doğa olaylarından daha büyük bir kayıp meydana getirmekte, heyelanların afete dönüşme olasılıkları daha fazla olmaktadır (Glade 1998). Heyelan bölgeleri, yerleşimlerin veya diğer mühendislik yapılarının geliştirilemediği veya inşa edilemediği alanları oluşturmakta fakat dağlık bölgelerdeki hızlı kentleşme nedeniyle heyelanlar insanları doğrudan etkilemekte ve arazi yönetiminde dikkate alınması gereken doğal bir tehlike haline gelmektedir (Nefeslioğlu vd. 2008a). Heyelan tehlikesini etkili bir şekilde azaltmak için heyelan tehlikesinin çok iyi anlaşılması ve heyelan riskinin yönetimi için ekonomik kaynak sağlama konusunda önemli kararlar alınması gerekmektedir (Dai vd. 2002). Heyelan duyarlılık haritaları, heyelan oluşumunu önlemek eğer önlemek mümkün değilse de heyelanın etkisini hafifletmek için özellikle önemlidir (San 2014).

Bir yamaç duraysızlığı tehlikesi iki farklı unsurdan oluşmaktadır. Birincisi, doğrudan arazinin heyelanlara karşı duyarlılığını değerlendirmek, belirlenen heyelan koşullarının veya parametrelerinin kullanılarak heyelan oluşma olasılığını ifade etmektir. İkincisi ise dolaylı bir inceleme olup, yağış veya deprem gibi tetikleyici bir olayın meydana gelme olasılığının belirlenmesini ifade etmektedir. Tetikleyici olayın büyüklüğü ve geri dönüş süresi ile heyelanların oluşumu arasında tarihsel araştırmalar veya fiziksel modeller yoluyla bir ilişki kurulmaktadır (Van Westen vd. 2003). Doğrudan analizlerde, jeomorfolojik haritalara dayanarak bölgeleme yaklaşımı kullanılmakta ve heyelan duyarlılık haritaları bu yaklaşım ile oluşturulmaktadır (Soeters ve Van Westen 1996). Arazi çalışması sırasında çatlaklar, eğik ağaçlar, taşınan bloklar gibi kütle hareketinin kanıtları olabilecek jeomorfolojik kriterler değerlendirilmektedir (Van Westen vd. 2003). Dolaylı heyelan duyarlılık haritalaması ise litolojik birimler, eğim sınıfları veya arazi kullanım türleri gibi koşullu faktörler temelinde heyelan duyarlılığının derecesini tahmin

etmek ile karakterize edilmekte (Soeters ve Van Westen 1996), sezgisel, istatistiksel ve deterministik yaklaşımlara ayrılabilen birçok farklı dolaylı yöntem uygulanmaktadır (Van Westen vd. 2003).

Heyelanların tespiti açısından gerek jeolojik gerekse jeoteknik açıdan farklı görüşler olmasına rağmen, önerilen tüm yöntemler yaygın kabul gören ilkelere veya varsayımlara, temel kabullere dayanmaktadır:

1. Yamaç yenilmeleri fark edilebilir morfolojik özellikler bırakmaktadır ve bunların çoğu hem arazide hem de uzaktan algılama ile esasen hava fotoğrafları ile tanınabilmekte, sınıflandırılabilen ve haritalanabilmektedir (Varnes 1978; Guzzetti vd. 2012). Genel olarak aynı tür kütle hareketleri benzer izler bırakmakta, yamaç yenilmelerinin ardında bıraktığı izler ile yenilmenin tipi (düşme, kayma vb.) hakkında bilgilere de ulaşılmaktadır (Cruden ve Varnes 1996; Guzzetti vd. 2012).
2. Heyelanlar tesadüfen oluşmazlar (Guzzetti vd. 2002). Heyelanlar ampirik, istatistiksel veya deterministik tarzda belirlenebilen mekanik yasalarla kontrol edilmektedir (Guzzetti vd. 2012). Doğrudan veya dolaylı olarak yamaç yenilmelerine neden olan koşullar (kararsızlık faktörleri) veri olarak toplanmakta ve bunlar heyelan oluşumunun öngörücü modellerini oluşturmak için kullanılmaktadır (Dietrich vd. 1995).
3. Geçmiş ve bugün geleceğin anahtarlarıdır (Varnes 1984). Gelecekteki yamaç yenilmelerinin, geçmişte meydana gelen yenilmelere yol açan koşullar altında meydana gelme olasılığı çok yüksektir. Bu nedenle heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde geçmişteki yenilmelerin çalışılması ve anlaşılması esastır (Carrara vd. 1991; Guzzetti vd. 1999).
4. Heyelan oluşumu çevresel bilgilerin analizi ile de hesaplanabilmekte veya fiziksel modellerden çıkarılabilmektedir. Bir bölge farklı olasılıklara göre sıralanmış tehlike sınıflarına ayrılabilir (Guzzetti vd. 1999).

İdeal olarak, heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi ve haritalandırılması, tüm bu varsayımlardan kaynaklanmalıdır. Bunlara uymamak, kullanılan metodolojiye veya araştırmanın amacına bakılmaksızın herhangi bir değerlendirmenin uygulanabilirliğini sınırlandıracaktır. Ne yazık ki tüm bu prensiplerin uygun bir şekilde uygulanması hem işlevsel hem de kavramsal olarak zor olmaktadır (Guzzetti vd. 1999). Heyelanlar her zaman tehlike ve risk değerlendirme sürecine girmektedir. Bu işlemler jeoteknik ve jeofizik mühendisleri, mühendislik alanında uzman yer bilimciler tarafından sahiplenilmekte ve mühendislik yargıları kullanılarak yapılmaktadır (Fell vd. 2005). Heyelan tehlikesiyle ilişkili hidroloji, yüzey morfolojisi, tetiklenme mekanizmaları gibi fiziksel süreçlerin anlaşılması konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmiş ancak heyelanların olasılıklı tehlike değerlendirmeleri üzerinde daha az çalışma yapılmıştır (Guzzetti vd. 1999, 2002). Risk planlama ve yönetim ilkeleri 1970'lerden bu yana kentsel planlama ve kara yolu şev yönetiminde heyelan tehlikesi altında niteliksel olarak kullanılmakta, bu ilkeler 1980'lerde ve 1990'larda daha nicel yöntemler ile uygulanmaktadır (Fell vd. 2005).

Halihazırda bulunan haritaların, istatistiksel analizlerin, yapay sinir ağları yöntemlerinin veya bulanık mantık yaklaşımlarının birlikte kullanılması gibi çeşitli dolaylı haritalama tekniklerini kullanan bir heyelan duyarlılık haritası oluşturmak mümkündür (Gökçeoğlu vd. 2005). Türkiye özelindeki heyelan bilgileri, Maden Tetkik

ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (MTA) heyelan envanter haritalarına dayanmaktadır (Duman vd. 2011). Son yıllarda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tekniklerinin ve dijital haritacılıktaki gelişmelere bağlı olarak dolaylı heyelan duyarlılık haritalaması üzerine yapılan birçok çalışmanın olduğu bilinmektedir (Nefeslioğlu vd. 2008b; Nefeslioğlu vd. 2012; Ada ve San 2018; Aktaş ve San 2019).

Heyelanların sismik aktivite, şiddetli yağış veya insan kaynaklı gibi ana tetikleyiciler ile meydana geldiği bilinse de 17 Mart 2005 tarihinde, Türkiye'nin kuzeydoğusundaki Sivas Kuzulu'daki büyük bir heyelan başka hiçbir öncü olmadan kar erimesi ile tetiklenmiştir. Bu sebeple Gökçeoğlu vd. (2005) tarafından Sivas'ta yer alan Kuzulu heyelan alanının ve yakın çevresinin heyelan duyarlılık haritasının oluşturulması için yapılan çalışma, planlama ve risk yönetimi amaçları için büyük önem taşımaktadır. Çalışma, heyelan alanının kuzey kesiminde bulunan bir paleoheyelanın yüzey akışını önleyecek çok sayıda yüzey çöküntüsü içermesine, bu çöküntüler aracılığıyla eriyen karların ve yağışların sızmasına dayanmakta, hem geriye dönük olarak çözümleme yapmakta hem de geleceğe yönelik heyelan risk yönetimi çalışmaları önermektedir (Gökçeoğlu vd. 2005).

Nefeslioğlu vd. (2011) tarafından depremselliği en düşük bölgelerden biri olan Rize Çayeli bölgesindeki sığ heyelanlar için ana tetikleyici faktörün kısa süreli şiddetli yağışların olduğu tespit edilmiş ve bu nedenle havzadaki sığ heyelanın tetiklenmesini değerlendirmek için kısa süreli şiddetli yağışların zamansal davranışı dikkate alınmıştır. Bu amaçla, mevcut meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış verileri değerlendirilmiştir. Çalışmanın bir sonucu olarak bölgede tamamen değişken bir sığ heyelan envanterinin varlığı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca sadece heyelan sıklığının değişmekle kalmadığı aynı zamanda olayların büyüklüğünün de zaman içinde açıkça arttığı, 1990'dan sonraki dönemlerde meydana gelen yenilmelerin gözlemlenen büyüklük değerlerinin, 1990'dan önce meydana gelen yenilmeler için elde edilen değerlerin yaklaşık iki ile on katı olduğu gözlenmiştir. Son olarak sığ heyelanların bu değişken özelliklerinin envanter bazlı tehlike tahminlerine, özellikle envanter bazlı olasılıksal değerlendirmelere izin vermediği, bu gibi durumlarda tehlike değerlendirmelerinin, sorumlu tetikleyici faktörün zamansal davranışı göz önünde bulundurularak yapılması önerilmiştir (Nefeslioğlu vd. 2011).

Mevcut arazi koşullarını yansıtan heyelan duyarlılık haritaları hazırlamak için en önemli veri kaynakları arasında kuşkusuz iyi hazırlanmış bir heyelan envanteri gerekli olmakta, bununla birlikte jeolojik ve jeomorfolojik parametrelerin titizlikle elde edilmiş olması gerekmektedir. Ancak bazı çalışmalarda zaman ve maliyet sınırlamaları nedeniyle bu verileri elde etmek veya üretmek mümkün olmadığında bu sorunları çözebilmek için uzaktan algılama verileri kullanılmakta, hatta kimi zaman engebeli arazi koşullarını bertaraf edebilmek için uzaktan algılama verileri ve hava fotoğrafları vazgeçilmez olmaktadır (San 2014). Antalya'nın batısında yer alan Çandır Çayı su toplama havzasında gerçekleştirilen çalışmada heyelan duyarlılık haritalaması için jeolojik uzaktan algılama uygulanmış ancak uzaktan algılama ürünleri ile heyelan duyarlılık değerlendirmesinin daha genelleştirilmiş yöntemler elde edebilmesi için ek araştırmalara ve farklı vaka çalışmalarına ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir (San 2014).

2.3. Elektrik Özdirenç Görüntüleme ile Heyelan Çalışmaları

Yamaç duraylılığının değerlendirilmesi ve heyelanların evriminin tahmini birçok değişkenin tanımlanmasını gerektirmektedir. Değerlendirme süreci, duraylılık ile ilgili değişkenlerin tanımlanması ve bunların dikkatli bir şekilde uzun süre izlenmesini kapsamaktadır (Gabrieli vd. 2016). Heyelanların boyutlarının tahmini ve izlenmesine yönelik uygulamalarda jeofizik yöntemlerin kullanılması, zemin görüntüleme tekniklerindeki gelişmeler sayesinde giderek artmaktadır (Jongmans ve Garambois 2007). Yamaç duraylılığı analizlerine uygulanan jeofizik yöntemler Hack (2000) tarafından ayrıntılı bir şekilde verilmektedir.

Yüzey bilgisini doğru ve hızlı bir şekilde elde edebilen ancak yer altı verisi elde etme aşamasında yeterli olmayan uydu görüntüleri veya hava fotoğrafçılığı gibi uzaktan algılama yöntemleri ile yer altı birimlerine doğrudan ulaşarak yerinde analiz imkanı sağlayan ve verileri başarılı bir şekilde elde eden fakat yalnızca uygulandığı noktalardaki birimlere ait verileri elde eden sondajlar ve penetrasyon testleri gibi müdahaleci yöntemlerin aksine jeofiziksel yöntemler, yer altı yapısı ve özellikleri hakkında mekânsal veya hacimsel bilgi sağlama konusunda daha verimli çalışmaktadır (Chambers vd. 2011). Ancak yerinde jeolojik gözlemlerin zorunluluğu kesinlikle gözden çıkarılmamalı, bu yöntemlerin birbirinin yerine değil bir arada kullanılarak etkili bir arazi çalışması yapılması gerekmektedir.

Jeoelektrik ve elektromanyetik yöntemler heyelan bölgelerinin toprak ve yer altı suyu koşullarını araştırmak için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Schmutz vd. 2000; Godio ve Bottino 2001; De Vita vd. 2006; Friedel vd. 2006; Sass vd. 2008; Piegari vd. 2009). Heyelan araştırmalarında, jeoelektrik yöntemler yoğunlukla kullanılmakta ve bu çalışmalarda zeminin yapısı ile bileşimi hakkında bilgi edinmenin hızlı ve kolay bir yolu olan iki boyutlu elektrik özdirenç görüntüleme (2D-ERT) sıklıkla tercih edilmektedir (Chambers vd. 2011). Bu yöntem, jeolojik bir sistemdeki elektrik özdirenç varyasyonunun iki veya üç boyutlu şekilde yüksek çözünürlüklü görüntülerini elde etmek için yaygın olarak kullanılmakta (Griffiths ve Barker 1993) ayrıca birimlerin suya doygunluğunu, kil içeriğini ve boşluklu yapılarını tespit etmedeki başarısı nedeniyle yenilme yüzeylerinde başarıyla uygulanmaktadır (Lebourg vd. 2010; Wilkinson vd. 2010). Kayma dayanımının bir öngörücüsü olan zemin ve su etkileşiminin karakteristik değerlerinden faydalanarak yapılan iki veya üç boyutlu elektrik özdirenç çalışmalarının çözümlemeleri ile arazi tanımı en iyi şekilde yapılabilmektedir (Crawford vd. 2018). Elektriksel özdirenç görüntüleme önemli derecede kabul gören ve yaygın kullanılan bir teknik olup 1990'lardan bu yana jeofizik problemlerinin ters çözümünde büyük ölçüde uygulanmıştır (Oldenburg vd. 1993; Loke ve Barker 1996; Kim vd. 1999).

Birçok jeofiziksel metodoloji geniş bir yelpazedeki hidrojeolojik olaylar sınıfını incelemek ve izlemek için sıklıkla uygulanmaktadır ancak farklı jeofizik teknikler özellikle heyelan alanlarının araştırılmasında önemli sonuçlar sunmaktadır (Perrone vd. 2004). Jeofizik araştırmalar ile temel olarak; heyelan kütlelerinin geometrik olarak yanal genişleme ve kalınlık açısından tasvir edilebilmesi, heyelan gövdesi ile ana kaya arasında bulunan kayma yüzeylerin tanımlanması ve heyelanı tetikleyebilecek yer altı suyu hareketlerinin ve birikimlerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. Jeofiziksel analizler içinde büyük ölçüde jeoelektrik yöntemler kullanılmış ve çoğunlukla çok elektrotlu ERT

tekniklerine odaklanılmıştır (Griffiths ve Barker 1993; Loke ve Barker 1996; Giano vd. 2000; Schmutz vd. 2000).

İtalya'nın Langhe (Piyemonte) bölgesinde yavaş hareketli bir büyük heyelanda jeofizik araştırma gerçekleştirilmiştir. Düşey elektrik sondajlarının (VES), elektrik özdirenç görüntülemenin (ERT) ve elektromanyetik sondajların (TDEM) birlikte uygulanması, yamacın jeomorfolojik koşullarının 30-40 metre derinliğe kadar tespit edilmesini sağlamıştır. Jeofiziksel araştırmalar ile daha önce tespit edilen potansiyel bir kayma yüzeyinin varlığı ve sürekliliği ispatlanmıştır. Analizler, düşük özdirenç değerlerine sahip marn ve kil ile karakterize edilen heyelanlar için elektrik ve elektromanyetik veri analizinin güvenilirliğini ve çözünürlüğünü doğrular niteliktedir. ERT gibi sonuca hızlı ulaşan analiz yöntemleri ile alanın jeolojisi ve hidrojeolojisi ile ilişkili olabilecek yer altı elektrik özelliklerinin hızlı bir şekilde haritalanması sağlanmaktadır (Godio ve Bottino 2001).

İtalya'nın Varco D'izzo bölgesinde yapılan heyelan çalışmasında yer altının yüksek çözünürlüklü görüntüsünü elde etmek için kullanılan jeoelektrik yöntemlerden birisi de son zamanlarda karmaşık jeolojiye sahip alanların araştırılması için uygulanan ERT olmuştur (Perrone vd. 2004). Elektrik özdirenç görüntülerinin yüksek çözünürlüğü ile jeolojik, jeomorfolojik ve sondaj verilerinin entegrasyonu, kayma yüzeyinin şeklini ve heyelanların sınırlarını tanımlamada büyük kolaylık sağlamıştır. Tahrip edici olmayan jeoelektrik arama yöntemleri, jeolojik araştırmalara ve jeomorfolojik bilgilere dayanan entegre bir yaklaşım ile karmaşık jeolojiye sahip heyelan bölgelerinin araştırılması için bile umut verici bir araç olmaktadır (Perrone vd. 2004).

2002 yılının Mayıs ayında Kuzey İsviçre'de Ren Nehri yakınındaki bölgeye 40 dakika içinde 100 mm yağmur düşmesi sebebiyle bölgede 42 heyelan meydana gelmiştir (Friedel vd. 2006). Bölgede heyelan oluşumunu etkileyen yağış, sızma, doygunluk ve bitki örtüsü gibi birçok faktörün karşılıklı ilişkisini incelemek amacıyla deneysel bir test alanı planlanmıştır. Sondaj, penetrasyon testleri gibi jeoteknik analizlerin yüzeye yakın hidrolik rejimi bozabileceği düşünüldüğünden, ERT ve GPR gibi tahrip edici olmayan jeofiziksel yöntemler uygulanmıştır (Friedel vd. 2006). Bölgede yapılan iki ve üç boyutlu ERT analizleri, yüzeye yakın koşulların ayrıntılı bir görüntüsünü vermiştir.

Svabya Alpleri'nde (Almanya) görülen farklı boyutlardaki çok sayıda dönme ve ötelenme yenilmesi önemli ekonomik hasara sebep olmuş ve farklı türdeki bu yenilmelerin heyelan risk değerlendirmesi için bir zorluk oluşturduğu belirtilmiştir. Almanya'nın Öschingen kentindeki heyelan dik bir yamaç boyunca meydana gelen heyelanlara tipik bir örnek olarak verilmektedir. Bölge, heyelan gibi yenilmelere yatkınlık sağlayan marn ve killer ile örtülmüş Jura yaşlı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Heyelanın kalınlığı ve iç mekanizması hakkında bilgi edinmek için sondaj ve haritalama gibi geleneksel yöntemlerin yanı sıra iki boyutlu elektrik özdirenç görüntüleme ve yer radarı gibi jeofizik teknikler de kullanılmıştır (Sass vd. 2008). Bölgedeki yıkıcı ve büyük heyelanların ya Pleyistosen ya da Holosen yaşlı olduğu varsayılmakta ancak 1983'te Almanya'nın Mössingen kentinde meydana gelen heyelanın 6 milyon m³'lük bir kütleyi hareket ettirdiği ve 1,5 milyon avruluk hasara neden olduğu gerçeği bu tarz büyük heyelanların bugün bile tehdit etme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Sass vd. 2008). Ek olarak Svabya Alpleri'ndeki heyelanlar esas olarak kara yollarını, demir yollarını ve evleri risk altında bırakmaktadır. 1960 yılında üç kişinin ölümüne neden olan

bir heyelan bilinmekte onun dışında insan yaşamını tehlikeye sokan heyelan olaylarına rastlanmadığı aktarılmakta buna karşılık ekonomik hasarın çok yüksek olduğu, genellikle kara yolları ile demir yollarının kayan malzemenin altında kaldığı ayrıca binaların ve ormanların ciddi zarara uğradığı da belirtilmektedir. Örneğin, 18 Mart 2005'teki bir heyelan, Bissingen-Steinhofen şehirleri arasındaki demir yolu hattını birkaç gün boyunca engellemiş ve önemli ölçüde doğrudan zarara uğratmış ayrıca ek otobüs servisleri ve trafiğin kesilmesi yoluyla da dolaylı maliyetlere neden olmuştur (Sass vd. 2008). Buradan hareketle heyelanın zararları konusunda sadece insan yaşamı merkezli kalınmamalı, insan yaşamını güçleştirecek durumların oluşmasına da sebebiyet verilmemesi için önlemler alınmalıdır. Ulaşım güzergâhında bulunan şevlerin duraylılık çalışmalarında nihai amacın kuşkusuz can ve mal güvenliğini korumak olduğu fakat bununla birlikte ulaşımın aksamasına engel olmanın da önemli bir kazanım olduğu göz ardı edilmemelidir (Akça 2019). Buna bir örnek olarak 26 Şubat 2018'de Antalya-Kumluca yolunda meydana gelen heyelan sebebiyle 4-5 aylık gibi bir süreçte ulaşım farklı yollardan sağlanmış, bu da mesafelerin uzamasına yol açmış ve dolaylı olarak yaşamı güçleştiren sonuçlar olarak kendini göstermiştir.

Heyelan tehlikesini değerlendirirken kayan kütlelerin yapısını ve hareket modellerini incelemek çok önemlidir ancak bunun için gerekli olan derin sondajları yapmak çok pahalı ve zaman alıcı olduğundan jeofizik yöntemlere başvurulmakta, daha hızlı ve daha az maliyetli bir şekilde yerin iç yapısına ait yüksek çözünürlüklü iki boyutlu bilgi sağlanabilmektedir. Yine de gerekli olduğu durumlarda sondajlardan kesinlikle kaçınılmamalıdır. Sass vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada Öschingen tekil heyelan kütlelerinin toplam heyelan alanı içindeki yanıl ve dikey boyutu hakkında bilgi elde edilmesi amaçlanmış ve bu sebeple çeşitli jeofizik yöntemler uygulanmış, analiz sonuçları geleneksel yöntemlerden elde edilenler ile karşılaştırılmış, nihai sonuçların yamaç duraylılığı analizi ve heyelan duyarlılığı haritalarının hazırlanması için temel nitelik taşıması sağlanmıştır. Birbirinden farklı iki jeofiziksel yöntem ile Öschingen heyelanının tabanı tespit edilmiş ve iki yöntem çok iyi bir çakışma göstermiş, bu sonuçlar aynı zamanda penetrasyon testinin sonuçlarıyla kabaca desteklenebilmiştir. Ek olarak alanın jeomorfolojisinden sağlıklı bir şekilde anlaşılamamışken ERT ve GPR ile büyük heyelan bloklarının var olmadığı da açıkça tespit edilmiş, jeofizik uygulamaların sonuçlarının sondajlar ile doğru bir şekilde uyduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte ERT analizinin siltli, nispeten ıslak ve iletken olan alt katmanın kalınlığı ve kapsamı hakkında ayrıntılı bilgi elde etmek için en iyi seçim olduğu da vurgulanmıştır (Sass vd. 2008).

Erginal vd. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, sığ derinlikli bir heyelanın kayma yüzeyini ve yer altı yapısını tanımlamak için jeoelektrik analizleri gerçekleştirilmiştir. 2D-ERT verileri ile yer altında yer alan killi ve kumlu birimler, elektrik öz direnç farklılığından dolayı rahatlıkla seçilebilmiş ve bölgedeki eski heyelana ait olduğu düşünülen belirtiler yorumlanmıştır. Yüksek öz direnç gösteren kum boyutlu taneler açısından zengin olan birimin, daha önce meydana gelmiş ve şu anda gömülü olan heyelana ait topuk olduğu belirtilmiştir. 4-5 metre derinliğe kadar gözlenen killi birimlerin, eski heyelan izlerinin hemen üzerinde bir kayma düzlemi oluşturduğu belirtilmiş olup hem güncel hem de eski heyelan bölgelerinin kayma yüzeylerinde ileride yeniden hareketliliğin beklendiğini ve bunun da çok yoğun olan Çanakkale-Bursa yolu için risk oluşturacağını belirtmişlerdir.

Güney İtalya'da jeolojik, jeomorfolojik ve iklim koşulları nedeniyle heyelanlar en çok Campania, Calabria, Basilicata ve Sicilya bölgelerinde kaydedilmiştir. Bu bölgeler arasında Basilicata, her 100 km'de 27'den fazla heyelan bölgesi ile en yüksek heyelan yoğunluğunu sergilemekte ve heyelan yoğunluğunun sebebi olarak killi malzemeler, aşırı yağış olayları, orman alanların azalması, yoğun kentleşme ve sanayileşme gösterilmektedir. Bu bölgede meydana gelen karmaşık yapıları dönme ve ötelenme içeren yamaç yenilmesindeki malzeme hacmini değerlendirmek için dijital fotogrametrik analiz ve elektrik özdirenç görüntüleme teknikleri uygulanmıştır. Bölgede yapılan ERT analizleri ile yine bölgedeki sondaj verileri başarıyla karşılaştırılmış ve sondaj bilgilerinin ERT sayesinde iki boyutlu olarak ifade edilmesi mümkün olmuştur (Bari vd. 2011).

Jeofiziksel analizlerin, yenilme meydana gelmesi mümkün olan duraysız yamaçların derin analizini yapabildikleri ve içerdiği malzemenin fiziksel özellikleri hakkında doğru bilgi sağladıkları için heyelan analizlerinde önemli bir rol oynayabileceğine dair artan bir farkındalık bulunmaktadır (De Vita vd. 2006; Friedel vd. 2006; Green vd. 2006). Zeminlerin ve kayaların elektriksel özelliklerinin su içeriklerine bağlı olduğu ve su içeriklerinin yamaç duraylılığını önemli ölçüde etkilediği bilinmektedir (Telford vd. 1990). Heyelanın boyutlarının tahmini için heyelan gövdesinin büyüklüğü, kayan malzemenin kalınlığı ve kaymaya bağlı yükseklik değişimleri gibi bazı önemli parametrelerin bilgisi gerekmekte, bu bilgilere de jeofizik teknikler ve arazi gözlemleri ile ulaşılabilmektedir. Özellikle kil minerallerinin yüzeyindeki elektrik iletimi ile bağlantılı olarak killi litolojilerdeki değişikliklere duyarlılığı ve su içeriğinin tespitindeki başarısı (Telford vd. 1990) ayrıca ana kaya derinliği, jeolojik sınırlar ve kayma geometrisini tespit etmedeki kolaylığı (Yılmaz 2007; Sass vd. 2008; Erginal vd. 2009) sayesinde tercih edilen yöntem olan 2D-ERT, Chambers vd. (2011) tarafından da İngiltere'deki bir çalışmada heyelanın daha iyi anlaşılması için kullanılmıştır. Günlenmiş çamur taşları ile göreceli olarak daha dayanımlı olan ve altta yer alan kaba taneli silt ve kumtaşları arasındaki büyük elektrik özdirenç farklılıkları sayesinde 2D-ERT verileri ile başarılı bir sonuç elde edilmiştir. Bu özdirenç farklılıkları, daha dirençli olan ana kayanın üzerindeki kısmen düşük elektrik özdirençli heyelan malzemesinin uzamsal boyutunu haritalamak ve kayma yüzeyini belirlemek için rahatlıkla kullanılmıştır (Chambers vd. 2011).

Burdur-Isparta yolu boyunca meydana gelen bir heyelanın yer altı geometrisini tespit etmek için Wenner-Schlumberger yöntemi kullanılarak sekiz adet 2D-ERT çalışması gerçekleştirilmiştir (Yılmaz ve Narman 2015). Tüm 2D-ERT profillerinin ters çözümleri ile elde edilen elektrik özdirenç görüntülerinin ön incelemesi sonucunda zayıf bir süreksizliği belirten elektrik özdirenç aralığının 3 ile 80 ohm.metre arasında değiştiği gözlenmiştir. Genel yapıya göre yüksek özdirenç değerleri (> 20 ohm.metre) gösteren ve sığ yüzeylerde (< 10 metre) tespit edilen bölgenin, hareket eden malzemeyi temsil ettiği ön görülmüştür. Bünyesindeki suyu hapseden birimler yüksek iletkenlik özellikleri sayesinde elektriksel aktiviteye düşük seviyede karşı koyabilmekte, bu sayede düşük özdirenç verileri sunmaktadır. Analizin derin kısımlarında, kayma geometrisinde yer almayan killi birimlerin veya daha yüksek su içeriği ile ilişkili geçirimsiz malzemenin varlığı, düşük elektrik özdirenç değerleri (2-10 ohm.metre) sayesinde tespit edilebilmiştir. Analizlerin yüksek çözünürlüğü sayesinde kayma yüzeyi ve heyelan malzemesinin kalınlığı ortaya konulabilmekte ve yenilme karakteristikleri de tespit edilebilmektedir. Analizler, kayma yüzeyini yaklaşık 10 metre derinlikte ortaya çıkarmıştır.

2.4. Zaman-Atlamalı Elektrik Özdirenç Görüntüleme ile Heyelan Çalışmaları

Mühendislik jeolojisinde heyelanların dinamik olarak izlenmesi; yamaç duraylılığı, yağmur suyu sızması ve yer altı hidrojeolojisi arasındaki korelasyona odaklanmakta fakat bu karmaşık korelasyonun anlaşılmasında kimi zaman yetersiz kalınmaktadır (Dong vd. 2016). Heyelan süreçleri hakkında daha iyi bilgi sahibi olabilmek, tetikleyici faktörlerin ayırt edilecek niteliklerinin ortaya konulması ve bunların heyelan üzerindeki etkisinin iyi anlaşılmasını gerektirmektedir. Bu faktörler genellikle zamana bağlıdır ve bu nedenle kalıcı bir yerinde inceleme ölçümü olmaksızın nicel bir yaklaşıma sahip olmak mümkün olmamaktadır. Heyelan işlemlerinin çoğunda, sıvılar en önemli tetikleyici faktörlerden biri olarak kabul edilmekte bu sebeple bir heyelanla ilişkili riskleri daha iyi değerlendirebilmek için, heyelan boyunca sıvı hareketlerini anlamak önem kazanmaktadır (Lebourg vd. 2010). ERT yönteminin zaman içinde aralıklı olarak ölçümlerinin tekrarı, bir katı içindeki elektriksel varyasyonların analiz edilmesini mümkün kılmakta ve bu varyasyonlar temel olarak yer altı suyunun dalgalanmalarından kaynaklanmaktadır (Barker ve Moore 1998; Descloitres vd. 2003; Cassiani vd. 2006). Mevcut jeoelektrik teknikler özelinde özdirençteki değişimler gözlemlendiğinde, yer altı varyasyon bilgisinin doğrudan hidrolik parametrelerle ilişkili olabileceğinin tespiti zaman aralıklı çalışmalarla yeterli doğrulukta bulunabilmektedir (Barker ve Moore 1998). Heyelan gövdelerinde gerçekleştirilen 2D-ERT ve 3D-ERT analizlerinin zaman atlamalı olarak yapılması, yenilme nedenlerinin ardındaki hidrojeolojik süreçlerin zaman dinamiklerini daha iyi anlamayı sağlayabilmektedir (Perrone vd. 2004). Elektrik özdirenç değerlerinin zamansal ve mekânsal varyasyonlarına dayanılarak hidrojeolojik süreçler ve yamaç duraysızlıkları tanımlanabilmekte, heyelan mekanizmaları açıklanabilmektedir (Dong vd. 2016). Heyelan bölgelerinin yüzeye yakın keşfi için genellikle ERT kullanılmakta, yöntem ayrıca paleoheyelanların yeniden hareketlenme mekanizmasının araştırılması için zaman atlamalı ölçümler alınarak da uygulanabilmektedir (Burazer ve Urosevic 2017).

Burkina Faso’da sellenme erozyonu olan bir bölgede sızma çalışması ERT tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uzun ve kurak bir mevsimin ardından gelen kısa yağışlı mevsimden de faydalanarak, Haziran ve Eylül ayları arasında topraktaki görünür özdirenç değişimlerini izlemek ve elektrik özdirenç haritalaması yapabilmek için zaman atlamalı elektrik özdirenç yöntemi kullanılmıştır (Descloitres vd. 2003). 5 metre aralıklı Wenner dizilimi kullanılarak gerçekleştirilen analizlerde sonucunda toprağın fizikokimyasal özellikleri çıkarılabileceği gözlenmiş ancak tekil olarak yapılan analizlerin, deneyden sonra bir toprak analizi yapılmaması durumunda yorumlanmasının zor olacağı da vurgulanmıştır. Karbonatların mevcut olabileceği bazı bölgelerde belirgin elektrik özdirenç azalmasının belirlendiği, bunun da yağış kaynaklı olduğu, suların toprağa sızması ile tabakanın özdirençini büyük ölçüde azalttığı gözlenmiştir (Descloitres vd. 2003).

Fransa’nın güneydoğusunda yer alan Vence kentinde meydana gelen bir heyelan üzerinde yapılan çalışmada, zamansal takipli elektrik özdirenç yöntemi kullanılarak, doğal özdirenç değişimlerinin hem mekân hem de zaman içindeki evrimi karakterize edilmeye çalışılmıştır. Heyelan gövdelerinde gerçekleştirilen iki ve üç boyutlu ERT analizlerinin zaman atlamalı uygulanması, yenilme olaylarının nedenlerinin ardındaki hidrojeolojik süreçlerin zaman dinamiklerini daha iyi anlamayı sağlamaktadır (Lebourg vd. 2010). Vence heyelanının yaklaşık 1,2 milyon m³ malzeme içeren bir ötelenme

heyelanı olduğu kabul edilmekte ve heyelanın yaklaşık 250 metre genişliğinde, 350 metre uzunluğunda, eğim açısı 12-14° arasında değişen bir alanı etkilediği bilinmektedir (Lebourg vd. 2010). Elektrik özdirenç verilerinin zamana göre incelenmesi neticesinde elektrik özdirenç değerinin düşüşü, yağışın etkisiyle piyezometrik seviyenin hızlı bir şekilde artmasının başlangıcını yani tetikleme faktörünü gösteren önemli bir jeoelektrik parametredir. Ortalama özdirenç verileri ile ortalama piyezometrik seviyenin özellikle incelendiği çalışmada bu iki değer zıt şekilde hareket ettiği gözlenmiştir (Lebourg vd. 2010).

Çin'in güneybatısında yer alan bir heyelan için Kasım 2013 ve Ağustos 2014 arasında zaman atlamalı elektrik özdirenç yöntemi uygulanmış, heyelan bölgesindeki yüzey suyunun süzülmesinin ve akışının özelliklerine dayanan heyelan mekanizmaları incelenmiştir. Sondaj verileri ile birleştirilen elektrik özdirenç çözümleri sayesinde Kuvaterner tortulları ve ana kaya arasındaki yüzey doğru bir şekilde tanımlanmıştır. Ayrıca suyun ilerlemek için tercih ettiği kırıklı birimler de tanımlanmış, buna ek olarak yüzey suyunun bu yollardan kayma yüzeyine nüfuz ettiği ve tabakanın kademeli olarak yumuşamasına ve aşınmasına neden olarak nihayetinde heyelanlara yol açtığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak zaman atlamalı ERT yönteminin heyelanların dinamik izlenmesinde uygulanabileceği, heyelan kararlılık analiz ve tahminlerinde kullanılabileceği öngörülmüştür (Dong vd. 2016).

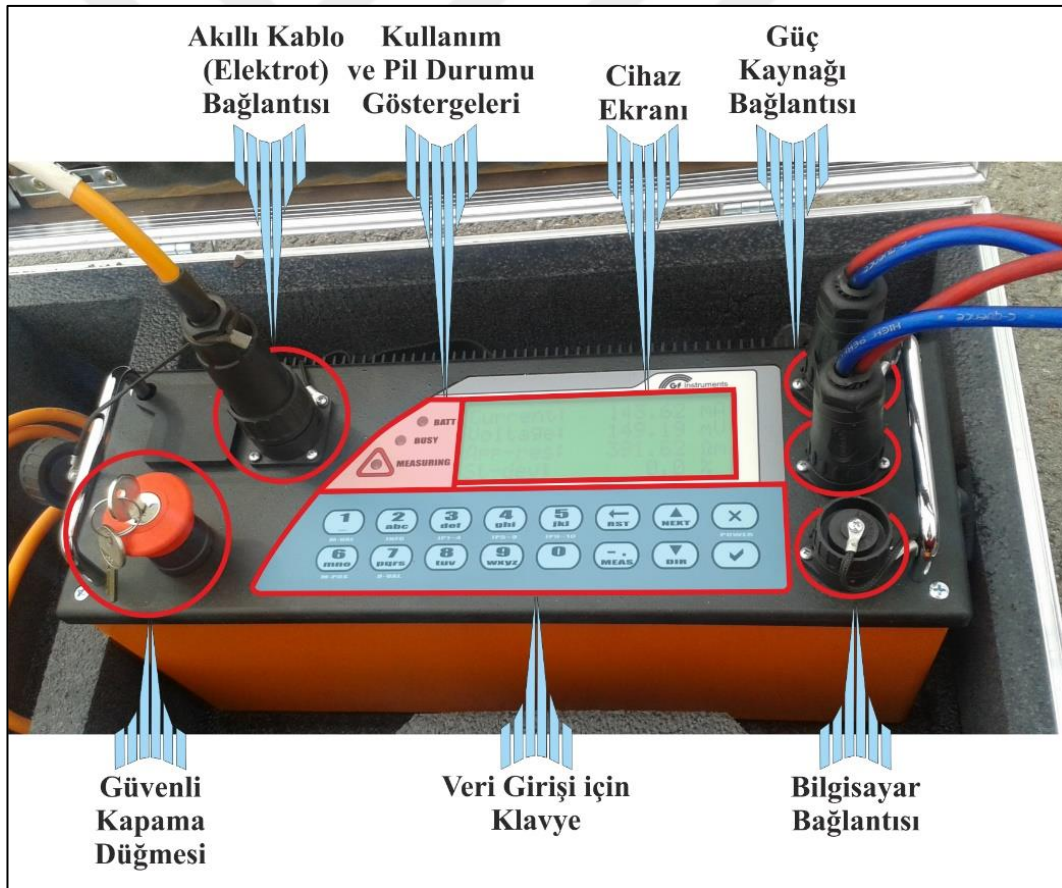
13 Mayıs 2014'te şiddetli yağış sebebiyle Bosna-Hersek yoğun su baskısıyla karşı karşıya kalmış ve şiddetli yağıştan birkaç gün sonra yüzlerce heyelan gelişmiştir. Heyelan litolojisini analize dahil etmek için elektrik özdirenç yöntemi kullanılmıştır (Burazer ve Urosevic 2017). Sıvı içeriğinin mevsimsel değişikliklerini tespit etmek ve yüzeyin özdirenç üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için bölgede kuru zaman olan ağustos ayında ve yağmur sonrası zaman olan eylül ayında ERT ölçümleri yapılmıştır. Ağustos ayı ölçümlerinde yakın yer altının kum, çakıl, kil bileşenli heterojen bir dağılımda bulunduğu ve suya doygunluk seviyesinin 2-12 ohm.metre gibi düşük özdirenç değerlerinde olduğu görülmüştür. Bir ay gibi kısa bir süre sonunda bile önemli ölçüde değişim gözlenmiş, ağustos ayı ölçümlerinde düşük özdirenç bölgesi olarak tespit edilen seviye, eylül ayı ölçümlerinde daha düşük değerlerde ve daha geniş bölgede gözlenmiştir. Su seviyeleri, yüzde özdirenç değişiminin çizilmesi ile başlangıçtaki modele kıyasla daha kolay bir şekilde belirlenebilmiş, ilk veri setinden bir ay sonra alınan veri setinde 2 ile 5 metre derinlikte yüzeye yakın seviyelerde özdirenç değerlerinde %100'ün üzerinde bir azalma gözlenmiş ve bu sınır ilk olası heyelan sınırı olarak işaretlenmiştir. Yaklaşık 20 metrelik bir derinlikte, süzülmenin ana kaya yüzeyi ile buluşması, %50'lik özdirenç azalması gözlenmesi ve bu bölgenin kil-marn çökeltileri ile temas etmesi sonucunda derin kayma yüzeyleri oluşabileceği düşünülerek bu seviye de ikinci olası heyelan sınırı olarak işaretlenmiştir (Burazer ve Urosevic 2017).

Bu çalışmalardan yola çıkılarak, elde edilen 2D-ERT verilerinin hem ayrı ayrı değerlendirilmelerinin yapılmasının hem de aynı hattan elde edilmiş tüm verilerin zaman atlamalı olarak birlikte incelenmesinin su seviye değişiminin gözlenmesi, kayma yüzeylerinin tespit edilebilmesi için büyük öneme sahip olduğu gözlenmektedir. Zaman atlamalı olarak yapılan analizlerde ise modeller tekil olarak incelenmesinin yanı sıra hem elektrik özdirenç değerinin yüzde olarak değişiminin hem de elektrik özdirenç oranının analize dahil edilmesi, özellikle su seviye değişimlerinin belirlenebilmesi için kolaylık sağlamaktadır (Loke 1999).

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

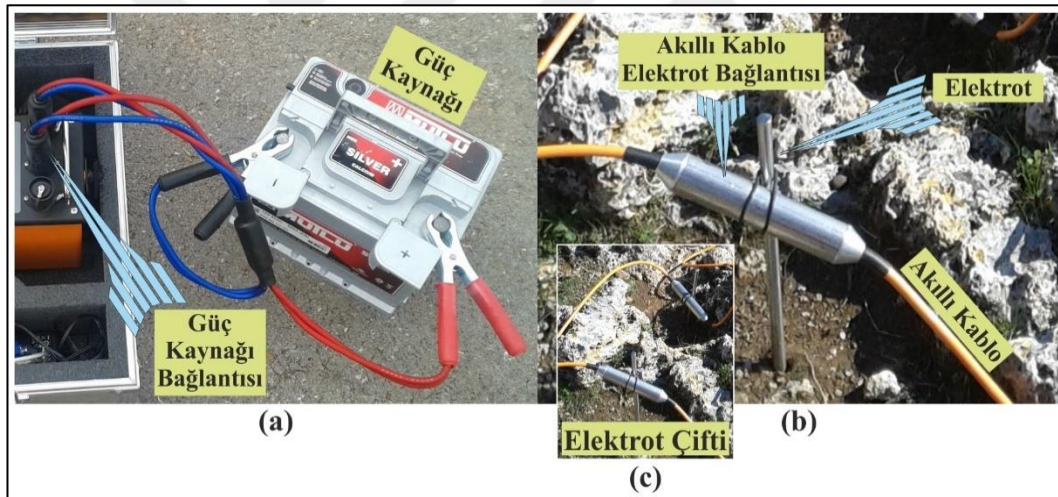
Jeoelektrik yöntemlerden olan klasik bir elektrik özdirenç ölçümünde araziye akım verilerek yer içinde oluşan gerilim farkı elde edilmekte ve bu gerilim farkı değerleri ile yer altındaki malzemeye ait elektrik özdirenç değeri hesaplanmaktadır. Bu sebeple ölçümün tamamı için bir akım vericisi, bir gerilim alıcısı, kontrol birimi ve bu mekanizmayı çalıştırabilecek bir güç kaynağı yeterli olmaktadır. Bu tez çalışmasında ölçümün kontrol birimi olarak GF Instrument'e ait ARES32 çok elektrotlu elektrik özdirenç cihazı kullanılmaktadır (Şekil 3.1). Analizde güç kaynağı olarak bir akü kullanılmakta ve cihaza güç kaynağı girişinden bağlanmaktadır (Şekil 3.2a). Cihazın ilgili bağlantı noktasından akıllı kablolar bağlanmakta, akıllı kabloların her beş metrede bir elektrot dokanağı bulunmakta, yere çakılan elektrotlar bu noktalarda akıllı kabloya temas ettirilmektedir (Şekil 3.2b). Elektrotların özellikleri akım veya gerilim olarak ölçüm boyunca kontrol birimi tarafından değiştirilmektedir. Tekil bir ölçüm anında akım iletme görevi olan bir elektrot çifti kaynak olarak, gerilim farkı ölçme görevi olan bir elektrot çifti ise alıcı olarak görev yapmaktadır (Şekil 3.2c).



Şekil 3.1. ARES32 elektrik özdirenç cihazı

İki boyutlu elektrik özdirenç görüntüleme araştırmaları, geleneksel tek boyutlu elektrik özdirenç sondaj tekniklerinin yetersiz olduğu karmaşık alanları haritalamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Drahor vd. 2006; Sass vd. 2008; Piegari vd. 2009;

Perrone vd. 2014; Szalai vd. 2017; Bellanova vd. 2018; Crawford vd. 2018). Elektrik özdirenç ölçüm cihazı ile elde edilen verilerin görüntülenme ve modellenme süreci, Geotomo Software tarafından üretilen RES2DINV (2004) yazılımı ile gerçekleştirilmekte, yazılım 2D-ERT modellerini hesaplamak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Schrott ve Sass 2008; Aktürk ve Doyuran 2012; Stan ve Stan-Kłeczek 2014; Uçar 2014). Araziden elde edilen ham veriler, ARES32 cihazının arayüzü ile kolaylıkla RES2DINV yazılımının kullanacağı dosya biçimine dönüştürülmektedir. Yazılımın kullanıcıya, var olan veri kümesi için hangi model ve çözüm parametrelerinin uygulanabilir olduğu veya parametrelerin nasıl ayarlanması gerektiği konusunda tavsiyelerde bulunması sayesinde yazılım ile elektrik özdirenç modellemeleri kolay ve hızlı bir şekilde yapılmaktadır. Yazılım tamamen otomatik olup kullanıcının bir başlangıç modeli sağlamasına bile gerek duymamakta, belirli bir veri seti için optimum modelleme parametrelerini seçmekte ancak modelleme işlemini etkileyen parametrelerin kullanıcı tarafından değiştirilebilmesine de olanak sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar genellikle yer altının yapısının yaklaşık bir görüntüsünü ifade eden bir yapma kesit (pseudosection) şeklinde gösterilmektedir. (Loke 2011). Yazılım büyük veri setlerinin modellenmesi için en uygun hale getirilmiş, gerekli sistemsel düzenlemeler ile bilgisayarın işlem süresini azaltacak şekilde düzenlenmiş ve tek bir yapma kesitin modellenmesini dakikalar içinde tamamlayacak yeteneğe getirilmiştir (Loke 2020).



Şekil 3.2. ARES32 elektrik özdirenç cihazı **a)** güç kaynağı ve bağlantısı; **b)** akıllı kablo, elektrot ve akıllı kablonun elektrotlar ile bağlantısı; **c)** bir elektrot çifti

3.2. Metot

Doğru akım özdirenç yöntemi (DC resistivity), yer altındaki yapısal unsurların (fay, kırık, çatlak vb.), jeolojik birimlerin (kayaçlar, gevşek veya pekişmiş zeminler, mineral-maden vb.), yer altı suyu varlığının (sıcak su-soğuk su, tuzlu su-tatlı su ayrımı vb.), stratigrafik kesitin (örtü kalınlığı, ana kaya derinliği vb.) ve arkeolojik yapıların tespitinde başvurulmuş jeofiziksel yöntemlerdendir. Yer altı birimlerinin, içlerinden geçmeye çalışan elektrik akımının iletilmesine karşı gösterdikleri direnç değerini ölçmeyi esas alan yöntem olarak bilinmektedir. Yöntem, uygulama süreci ve ölçü aletlerinin kullanımı gibi konularda sağladığı kolaylıklar ile ayrıca etkili sonuçlar elde etmesinden dolayı yaygın olarak kullanılan jeofizik yöntemlerinden birisi olmaktadır (Van Nostrand

ve Cook 1966; Zohdy vd. 1974; Telford vd. 1990; Reynolds 2011; Florsch ve Muhlach 2018). Klasik olarak kullanılan tek boyutlu elektrik özdirenç analizleri ya da bilinen adıyla düşey elektrik sondajı (VES) yöntemi, zaman içinde elektrot sayısının artırılması, sürekli ve otomatik ölçüme dayanarak uygulanmaya başlanması sayesinde elektrik özdirenç görüntüleme (electrical resistivity imaging/tomography, ERI/ERT) olarak adlandırılmaktadır (Dahlin 2001; Loke vd. 2011; Loke vd. 2013).

Bu tez çalışmasında heyelan vb. kütle hareketleri için önemli bir belirti olan pekişmemiş zemin ile ana kaya sınırını başarılı bir şekilde gösterebilen elektriksel jeofizik yöntemler tercih edilmiş olup klasik tek boyutlu yöntemler yerine bir hat boyunca sürekli ölçüme dayalı bir yöntem olan çok elektrotlu elektrik özdirenç görüntüleme (ERT) kullanılmaktadır. Ayrıca yöntem, aynı hat üzerinde farklı zamanlarda ölçümler alınarak elektrik özdirenç değişimini gözlemeye olanak sağladığı için zaman atlamalı çok elektrotlu elektrik özdirenç görüntüleme (time lapse electrical resistivity tomography, tl-ERT) olarak isimlendirilmiş (Barker ve Moore 1998; Cassiani vd. 2006; De Vita vd. 2006; Lebourg vd. 2010; Wilkinson vd. 2010; Rucker vd. 2011; Perrone vd. 2014; Dong vd. 2016; Wilkinson vd. 2016) ve bu çalışma süresince heyelan aktivitesinin belirlenmesi için arazi incelemelerinde tl-ERT kullanılmıştır. Elektrik özdirenç görüntüleme yöntemi gerek ekipman gerekse bilgisayar teknolojisi faydaları ile yüzey jeofiziği yöntemleri arasında en çok başvurulan yöntemlerdendir. Bu yöntemi diğer jeofizik yöntemlere göre öne çıkaran bir başka husus da maddiyat ve zaman faktörleri açısından önemli bir kazanç sağlamasıdır.

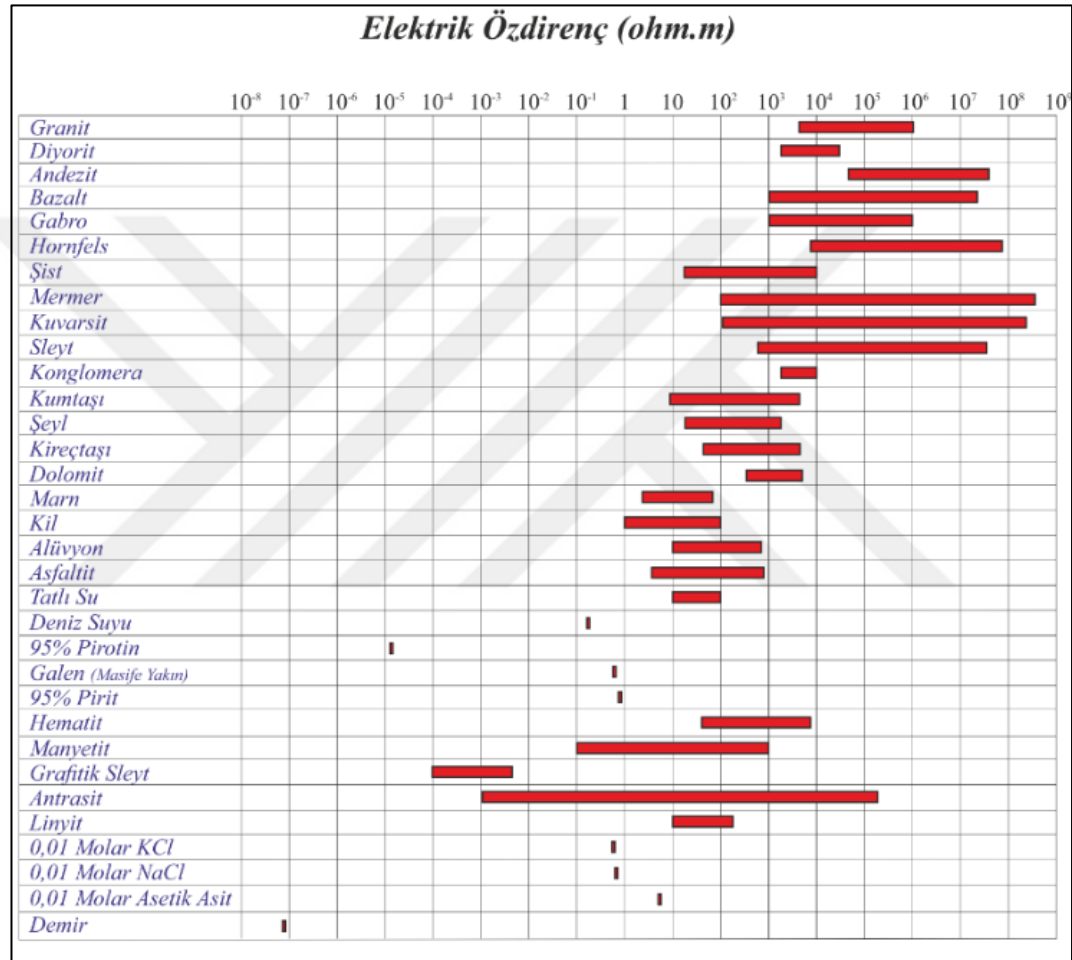
İki boyutlu elektrik özdirenç görüntüleme yönteminin uygulanmasından önce araziden jeolojik ve yapısal bulguların toplanması ayrıca ofiste yapılacak çalışmalarla bölgede daha önce yapılan jeolojik-jeoteknik-jeofiziksel çalışmaların araştırılması gerekmektedir. Bu sayede elektrot serimi yapılacak hatlar, kullanılacak olan elektrot aralıkları, uygulanacak elektrik özdirenç yöntemleri doğru seçilebilmekte ve istenilen sonuca daha hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılabilir. Bu ön incelemeler ve ofis çalışmaları sayesinde zaman ve iş gücü açısından kazanım sağlanmakta ve yapılacak analizler dolaylı olarak maddi anlamda da planlanmış olmaktadır.

Analizlerde magmatik ve metamorfik türdeki kayalar çoğunlukla yüksek özdirenç değerleri vermekte fakat bu değerler kayaların içerdiği çatlaklara, kırıklara, kırık ve çatlak gibi boşlukların su veya hava ile dolu olması (doygunluk dereceleri) ile değişiklik göstermektedir. Bu yüzden herhangi bir kaya türü, su içeriğine bağlı olarak kuru ya da ıslak oluşuna göre 10^3 ile 10^7 ohm.metre arasında bir özdirenç değeri verebilmektedir. Magmatik ve metamorfik kayalara göre daha gözenekli olan ve yüksek su içeriğine sahip sedimanter kayalarda ise göreceli olarak daha düşük özdirenç değerleri tespit edilmektedir.

Birimlerin özdirenç değerleri kayacın gözenekliliğine ve su içeriğine, ayrıca içerdiği suyun tuzluluk oranına bağlı olup genellikle 10^3 ohm.metreden az olmak üzere 10 ile 10^4 ohm.metre arasında değişmektedir. Gevşek, pekişmemiş zeminler kayalara göre daha düşük özdirenç değerlerine sahiptir ve bu değer 10 ile 10^3 ohm.metre arasında değişebilmektedir. Bu tür zeminlerde özdirenç değeri kil içeriğinin yanı sıra gözenekliliğe de son derece bağlıdır. Killi zeminler ise genelde kumlu zeminlere göre daha düşük özdirenç değerleri vermektedir. Yer altı suyunun özdirenci içerisinde çözünmüş tuzların yoğunluğuna bağlı olarak 10 ile 10^2 ohm.metre arasında gözlenmektedir. Elektrik

özdirenç değerleri zemin ve kayalar için ayırt edici bir özellik olmamakla birlikte, birimlerin çevresi ile olan elektriksel iletkenlik farkından dolayı farklılıklar göstermektedir.

Çok rastlanılan bazı kaya, zemin ve kimyasalların özdirenç değerleri Şekil 3.3'te gösterilmektedir (Telford vd. 1990). Özdirenç değerlerinde gözlenen büyük aralıklar sebebiyle jeofiziksel analiz sonuçları bölgenin jeolojisinden bağımsız olarak yorumlanmamalı, elde edilen jeoelektriksel veriler bölgenin jeolojik-jeoteknik-hidrojeolojik yapısıyla uyumlu olacak şekilde incelenmelidir.



Şekil 3.3. Kaya, zemin ve minerallerin rezistivite değerleri (Telford vd. 1990)

3.2.1. Elektrik özdirenç çalışmaları

Kayaçların elektrik dirençlerinin ifadesi temelde Ohm Kanunu'na dayanmaktadır (Ohm 1827). Yer ile temas halinde olan elektrotlar aracılığıyla akım gönderildiği zaman, elektrik akımı sıvı ortamlarda iyonlar ile, metalik ortamlarda elektronlar ile, her iki ortamın bir arada olduğu koşullarda ise hem elektronlar hem de iyonlar ile taşınmaktadır. Bu sayede, gönderilen elektrik akımının iletilme özelliğine göre yer içinde elektriksel gerilim dağılımı oluşmaktadır. Ohm Kanunu'na göre bir elektriksel devreden geçen akım, devredeki direnç gösterecek elemanda bir gerilim düşümü meydana getirmektedir. Bu gerilim farkının devreden geçen akıma oranı sabittir ve bu oran da direnç olarak ifade

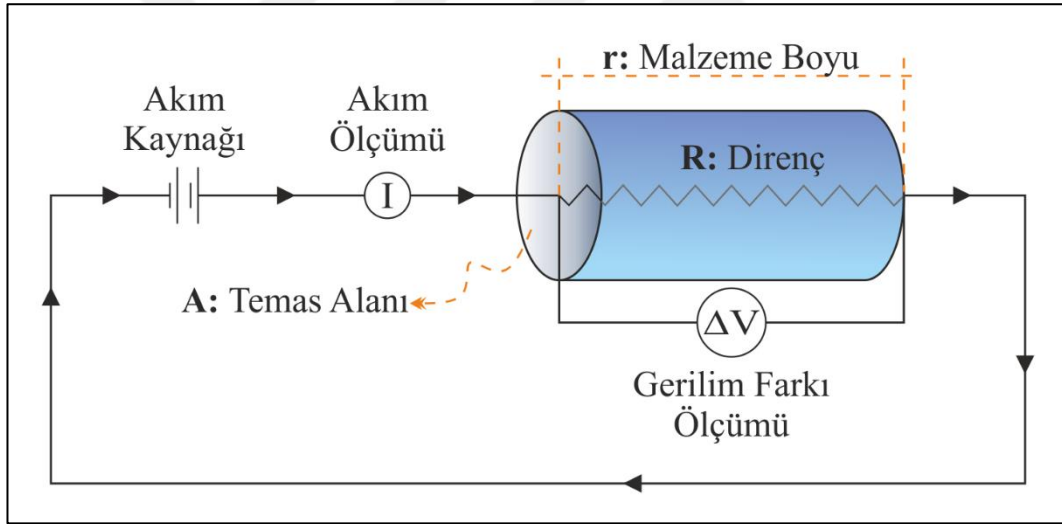
edilmektedir (3.1). Ek olarak, yine Ohm Kanunu'na göre malzeme direnci, içinden akım geçen malzemenin uzunluğuna ve temas alanına bağlı kalınarak da ifade edilebilmektedir (3.2) (Şekil 3.4).

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (3.1)$$

$$R = \rho \cdot \left(\frac{r}{A} \right) \quad (3.2)$$

Burada R malzemenin gösterdiği direnç (ohm) olmak üzere ΔV gerilim farkı (volt), I akım (amper), r malzeme boyu (m), A temas alanı (m^2) olarak simgelenmektedir. Denklemden yer alan ρ ifadesi ise malzemeye ait öz direnç değeri olup (ohm.metre) veri yorumunda gereksinim duyulan bir fiziksel büyüklüğü tanımlamaktadır (Van Nostrand ve Cook 1966). (3.1) ve (3.2) denklemlerindeki direnç değerlerine karşılık gelen parametreler (3.3) denkleminde bir arada ifade edilmektedir.

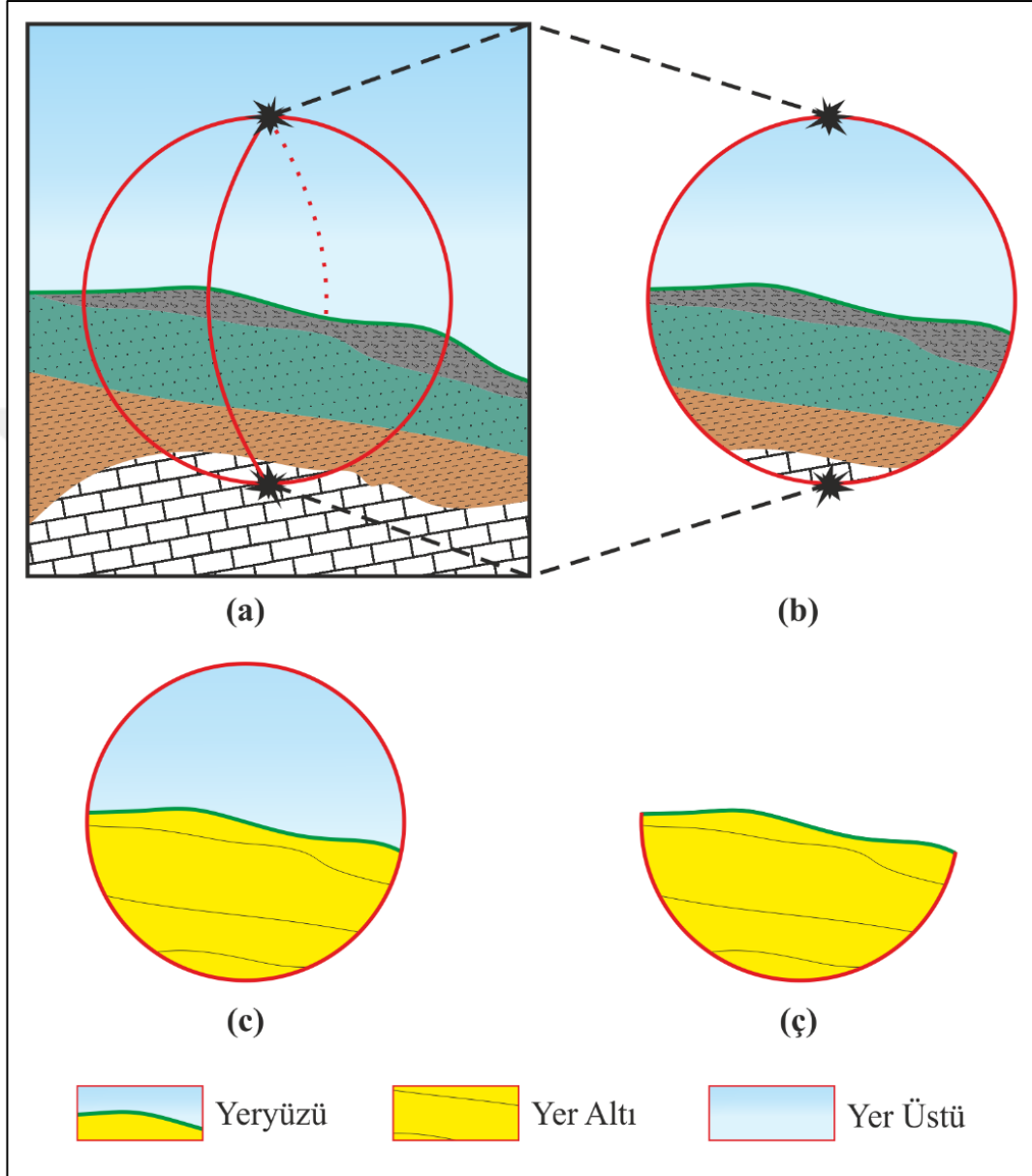
$$\frac{\Delta V}{I} = \rho \cdot \left(\frac{r}{A} \right) \quad (3.3)$$



Şekil 3.4. Elektriksel direnç elemanlarının ifadesi (Reynolds 2011)

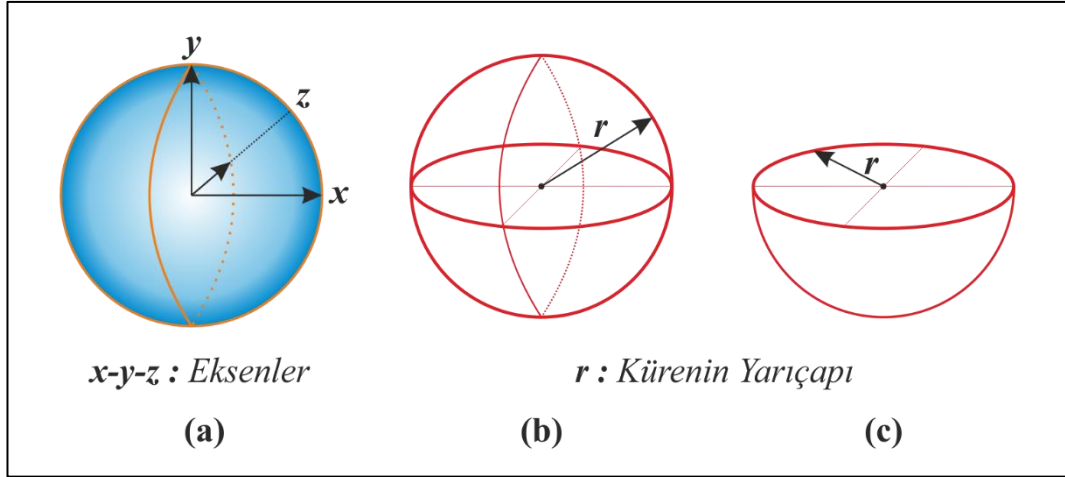
Elektrik akımının iki boyutlu ortamda dairesel, üç boyutlu ortamda küresel olarak (Şekil 3.5) başka bir ifade ile merkezden tüm noktalara doğru homojen yayıldığı bilinmektedir (Şekil 3.6) fakat jeoelektrik analizlerin sadece yere nüfuz ettiği gerçeğinden hareket ederek bir anlamda yarı sonsuz homojen alan tanımı yapılmaktadır (Reynolds 2011) (Şekil 3.7). Bu koşullarda akımın içinden geçtiği malzeme boyunun yarı kürenin yarı çapına (r), akımın temas ettiği alanın yarı kürenin yüzey alanına ($2\pi r^2$) denk geldiği sonucuna varılmakta ve bu sayede (3.3) denklemini gerekli düzeltmeler yapılarak, elektrik öz direnç analizine uygun parametreler ile tekrar yazılabilmektedir (3.4). Ölçülen bu gerilim farkı (ΔV), tüm elektrotlar arasındaki uzaklığa ve ortamın jeolojik yapısına son derece bağlıdır.

$$\Delta V = \frac{I \cdot \rho \cdot r}{A} = \frac{I \cdot \rho \cdot r}{2 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{I \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (3.4)$$

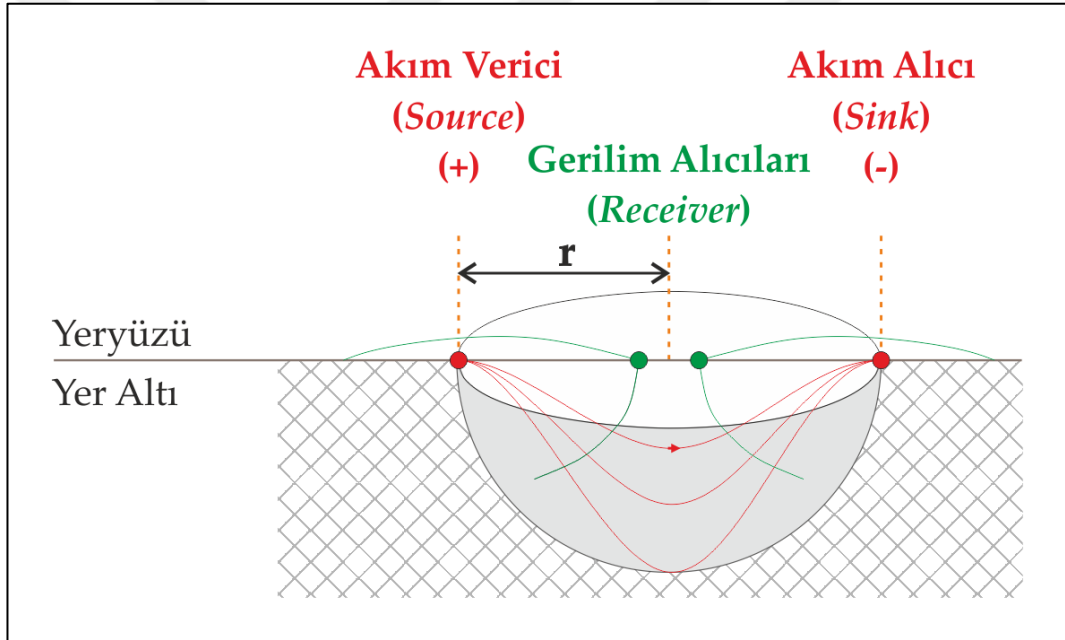


Şekil 3.5. Elektriksel direnç ortamının küresel ifadesi **a); b)** küresel sonsuz ifadenin arazide gözlemi; **c)** küresel sonsuz ifadenin iki boyutta gözlenmesi; **ç)** küresel yarı sonsuz ifadenin iki boyutta gözlenmesi

Düşey elektrik sondajı yönteminin de esasını oluşturan klasik bir elektrik öz direnç ölçümünde, bir çift akım elektrotu ile yer içine akım iletilirken bir çift gerilim elektrotu ile de yer içinde oluşan gerilim farkı elde edilmektedir. Sisteme dahil edilen akımölçer ve gerilimölçer sayesinde de iletilen akım ve neticede oluşan gerilim farkı ölçülmektedir. (Şekil 3.8). Burada, A ve B elektrotları akım elektrotu, M ve N ise gerilim elektrotu olarak görev yapmaktadır.



Şekil 3.6. Elektriksel direnç ortamının küresel ifadesi **a)** akım yayılım eksenleri; **b)** sonsuz ortamın ifadesi; **c)** yarı sonsuz ortamın ifadesi

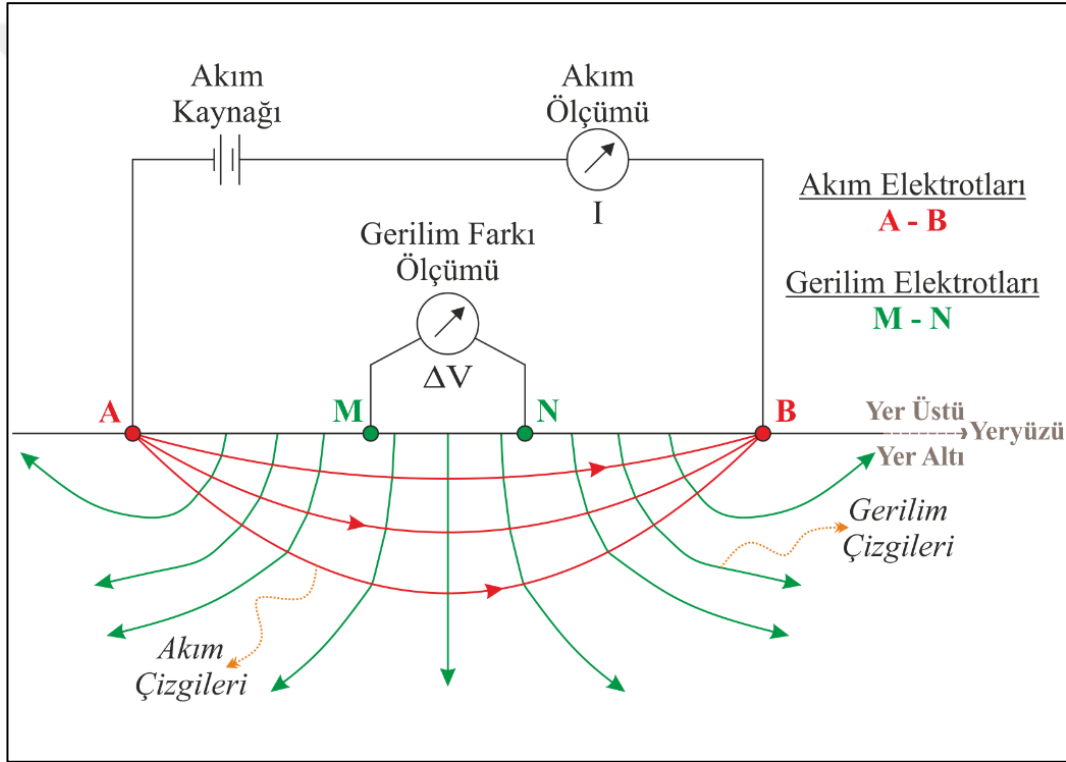


Şekil 3.7. Akımın yarı sonsuz ortama iletilmesi (Reynolds 2011)

Geleneksel yöntemde gerilim elektrotları arasındaki mesafe (M-N aralığı) sabit tutularak birinci akım ve birinci gerilim elektrotları ile (A-M) ikinci akım ve ikinci gerilim elektrotları (B-N) aralıkları arttırılmakta yani sadece akım elektrotları (A ve B) hareket ettirilmekte ve her bir ilerleyişte bir gerilim farkı ölçümü gerçekleştirilmektedir. Akım elektrotları arasındaki mesafe baştaki duruma göreli olarak çok arttığına ($|AB| \gg |MN|$ koşulunda), M-N aralığı bir kereye özgü olarak, orta noktaya simetrik olacak şekilde arttırılmakta ve A-M ile B-N aralıkları, analiz sonuna kadar arttırılmaya devam edilmektedir. Tüm ölçümler sonucunda da teorik olarak tam orta noktada, düşey yönde öz direnç verileri alınmış ve düşey elektrik sondajı tamamlanmış olmaktadır.

Şekil 3.8'deki her bir gerilim elektrotunda, akım elektrotlarından kaynaklı olarak bir gerilim değeri oluşmakta ve ölçülmektedir. Bir elektrik öz direnç ölçümünde tekil bir gerilim değeri (3.4) denkleminde farklı olmamakla birlikte sadece gerilim farkı yerine tekil gerilim ifadesi gelmekte ve (3.5) denklemindeki gibi ifade edilmektedir. Buradaki r değeri ise, birisi akım diğeri gerilim olmak üzere, herhangi iki elektrot arasındaki mesafeyi belirtmektedir (Şekil 3.9). Bu mesafeler kullanılarak, her iki akım elektrotunun M gerilim elektrotunda oluşturduğu gerilim değeri (3.6) denklemi ile N gerilim elektrotunda oluşturduğu gerilim değeri ise (3.7) denklemi ile formüle edilmiştir. Bu iki gerilim elektrotlarındaki değerlerin farkı ise bu analize ait bir gerilim farkı değeri vermekte ve (3.8) denklemi ile gösterilmektedir.

$$V = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{1}{r} \quad (3.5)$$



Şekil 3.8. Klasik elektrik öz direnç yöntemi

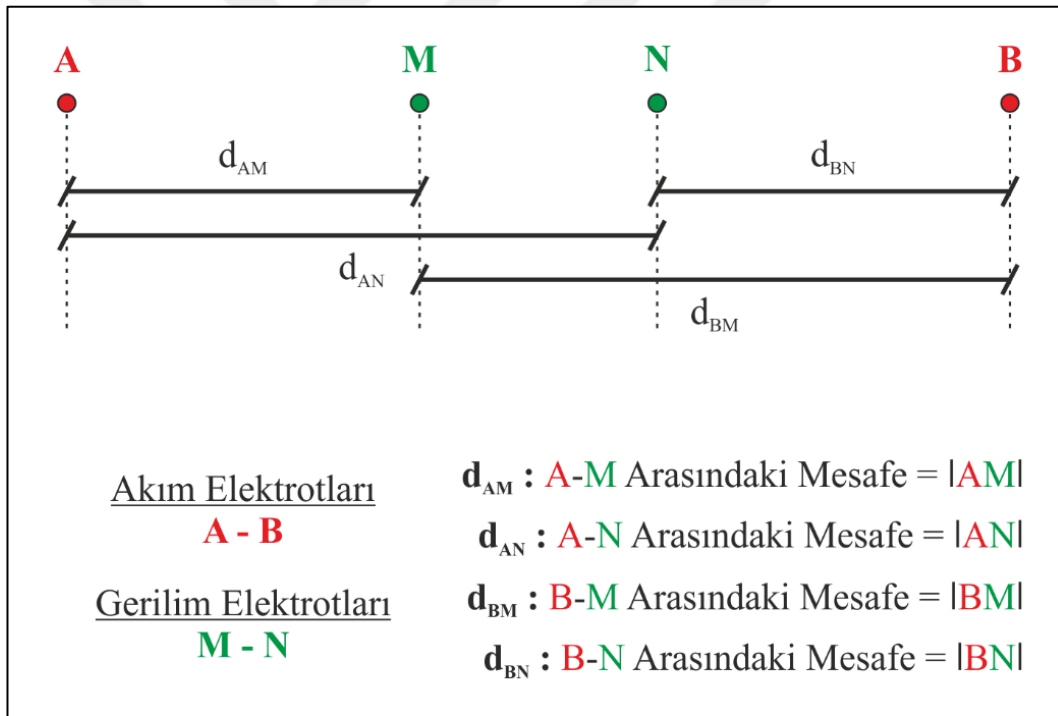
$$V_M = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{|AM|} - \frac{1}{|BM|} \right) \quad (3.6)$$

$$V_N = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{|AN|} - \frac{1}{|BN|} \right) \quad (3.7)$$

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{\rho \cdot I}{2 \cdot \pi} \cdot \left(\frac{1}{|AM|} - \frac{1}{|BM|} - \frac{1}{|AN|} + \frac{1}{|BN|} \right) \quad (3.8)$$

Geleneksel elektrot dizilimleri, elektrotların bir hat boyunca yerleştirilmesinden elde edilen Wenner Alpha-Beta-Gamma, Wenner Schlumberger, Dipol-Dipol vb. dizilimler olarak kullanılmaktadır (Van Nostrand ve Cook 1966; Loke vd. 2003; Reynolds 2011). Bu tez çalışmasında tüm hatlar boyunca, yakın yüzeyi iyi gözlemleyen Wenner Alpha ve derin analizleri iyi yapabilen Wenner Schlumberger elektrot dizilimleri kullanılmıştır (Şekil 3.10).

Şekil 3.10'dan görüleceği üzere Wenner Alpha ve Wenner Schlumberger elektrot dizilimlerini birbirinden ayıran etmenler elektrotların arasındaki mesafe ve analiz süresince olan hareketleridir. Dolayısıyla, elektrotların arasındaki mesafelere göre özel bir değer kazanan ve yöntemle özgü olan bir sabit ortaya çıkmakta ve geometrik faktör (k) olarak adlandırılmaktadır (Reynolds 2011). Bu sabit ile temeli Ohm Kanunu'na dayanan direnç analizleri arasında bir bağlantı sağlanması amacıyla, geometrik faktör (3.9) denklemindeki gibi tanımlanmakta ve analiz edilen malzemenin direnci ile kullanılan dizilimin geometrik faktörünün çarpılması ile malzemenin öz direnç değerine erişilmekte, bu değer görünür öz direnç olarak isimlendirilmekte ve (3.10) denklemi ile ifade edilmektedir (Reynolds 2011). Aynı hat boyunca olsa bile farklı elektrot dizilimleri ile ölçümü yapılan birimlerin görünür öz direnç değerleri de farklı olmaktadır.

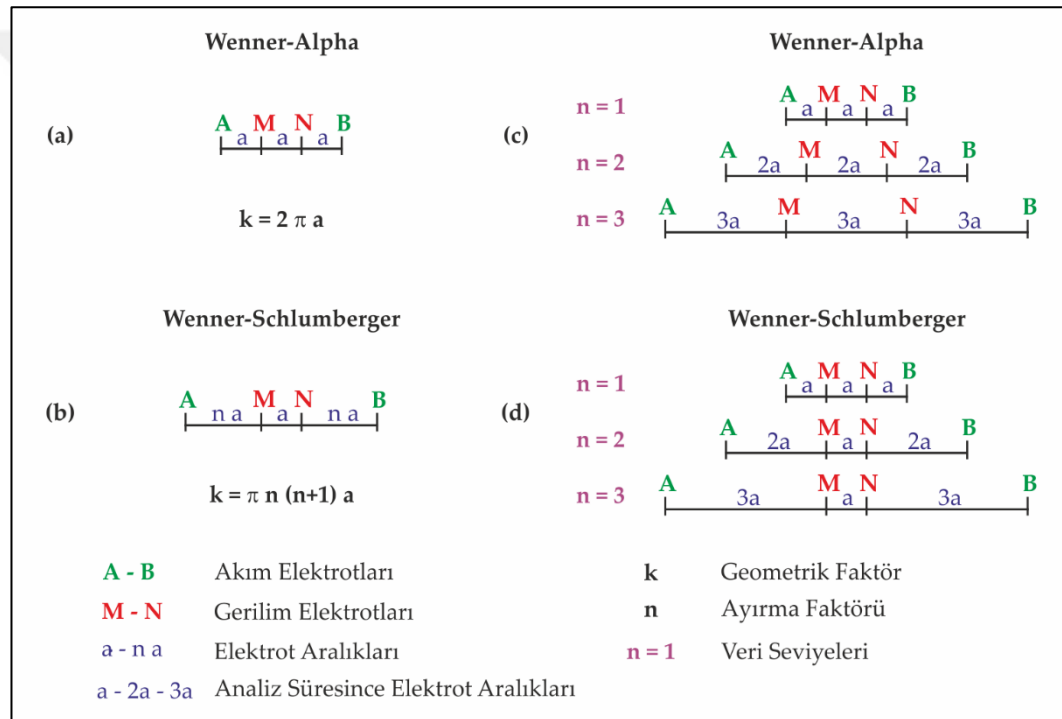


Şekil 3.9. Klasik elektrik öz direnç yönteminde elektrot arası mesafeler

$$k = \frac{2 \cdot \pi}{\left(\frac{1}{|AM|} - \frac{1}{|BM|} - \frac{1}{|AN|} + \frac{1}{|BN|} \right)} \quad (3.9)$$

$$\rho_a = k \cdot \frac{\Delta V}{I} = k \cdot R \quad (3.10)$$

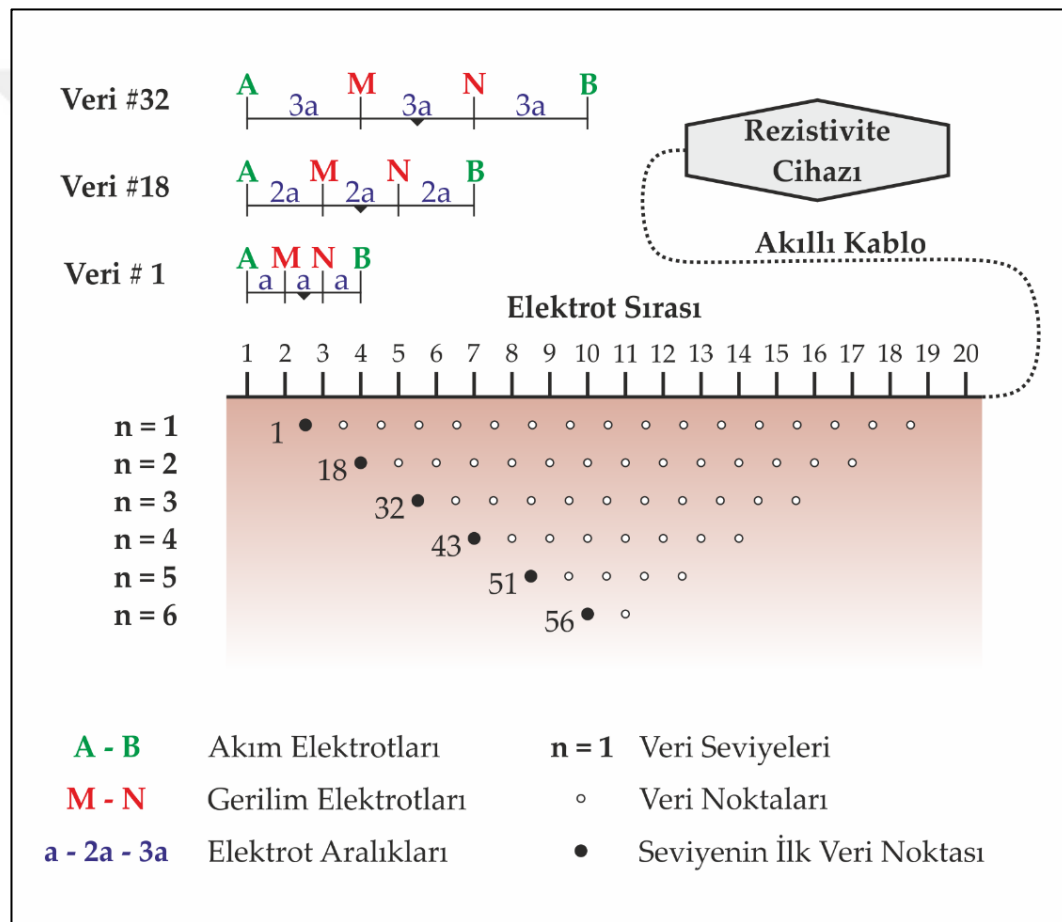
Dört elektrotlu geleneksel yöntem ile tek bir noktadan ölçüm alabilmek için çok zaman harcanmakta ayrıca akım elektrotlarının sürekli hareketi ile özellikle uzun hatlarda yapılan analizlerde ciddi iş gücü sıkıntısı yaşanmaktadır. İki boyutlu elektrik öz direnç görüntüleme (ERT) analizlerinde ise, daha önce de aktarıldığı gibi, öz direnç cihazı dizilimin yapıldığı bir hat boyunca, her bir ölçümde olmak üzere, akım ve gerilim özelliğini ilgili elektrotta vermekte ve bu sayede elektrotların hareket ettirilmesine gerek kalmamakta, analiz başında yapılan dizilim işlemi ile analiz sonundaki ekipman toplama işlemi dışındaki tüm işlemler öz direnç cihazı tarafından yapılmaktadır. Akım elektrotu olarak işlem yapan bir elektrot bir sonraki ölçümde kendisine iletilen sinyal ile gerilim elektrotu olarak işlem yapmakta, bu sayede zaman ve iş gücü olarak önemli kazanç sağlanmakta ayrıca her ölçüm sonrası yapılan yer değiştirmeden kaynaklı hassaslık sorunu da elektrotlar hep sabit kaldığından büyük ölçüde azalmakta hatta hassaslık en üst seviyede olmaktadır. Wenner Alpha diziliminin kullanıldığı örnek bir 2D-ERT analizindeki ölçüm ardışıklığı Şekil 3.11’de gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Elektrot dizilimleri **a)** Wenner Alpha elektrot dizilimi; **b)** Wenner Schlumberger elektrot dizilimi; **c)** analiz süresince Wenner Alpha elektrot aralıkları değişimi; **d)** analiz süresince Wenner Schlumberger elektrot aralıkları değişimi (Loke vd. 2013)

Bir elektrik öz direnç analizine öncelikle serim yapılacak hattın belirlenmesi ile başlanmaktadır. Daha sonra, veri alınmak istenilen derinliğe erişebilmek için serim uzunluğuna karar verilmesi gerekmektedir. Serim uzunluğu yani ilk elektrot ile son elektrot arasındaki mesafe ne kadar uzun tutulursa, elektrik öz direnç değeri elde edilecek olan derinlik de o kadar artmaktadır. En yakın iki elektrot arasındaki mesafe yani elektrot aralığı ise analizin çözünürlüğünü etkilemekte, düşük aralıklı analizler yüksek çözünürlük sunarken yüksek aralıklı analizler daha düşük çözünürlüğe sebep olmaktadır. Dolayısıyla, yapılacak gözlem için derinlik ve çözünürlük arasından hangi parametre daha önemliyse

ona uygun elektrot yerleşimi yapılması gerekmektedir. Elektrot aralığı belirlendikten sonra ise her aralık değerinde bir elektrot yere çakılmaktadır. Sekiz adet elektrot bağlantısı barındıran bir akıllı kablo, elektrotların yere çakılmasından yani elektrot yerleşimi yapıldıktan sonra ilgili bağlantı noktalarından elektrotlar ile temas ettirilmektedir (Şekil 3.2b). Her akıllı kabloya sekiz adet elektrot bağlanabilmekte, dokuzuncu elektrottan başlayarak her sekiz elektrotta farklı bir akıllı kablo sisteme dahil edilmektedir. Tüm akıllı kablolar birbirine ve ilk akıllı kablo cihaza bağlandıktan sonra cihaz güç kaynağına bağlanmakta ve çalıştırılmaktadır. Analiz öncesinde, ölçümde kullanılacak olan elektrot dizilimi, ilk elektrotun cihaza uzaklığı, iki elektrot arasındaki mesafe ve toplam hat uzunluğu gibi temel bilgiler cihaza girildikten sonra cihaz tarafından elektrotların ve bağlantı noktalarının kontrolü yapılmaktadır. Ölçümün başlatılması ile birlikte cihaz Şekil 3.11'deki ölçüm ardışıklığını analiz sonuna kadar devam ettirmektedir.



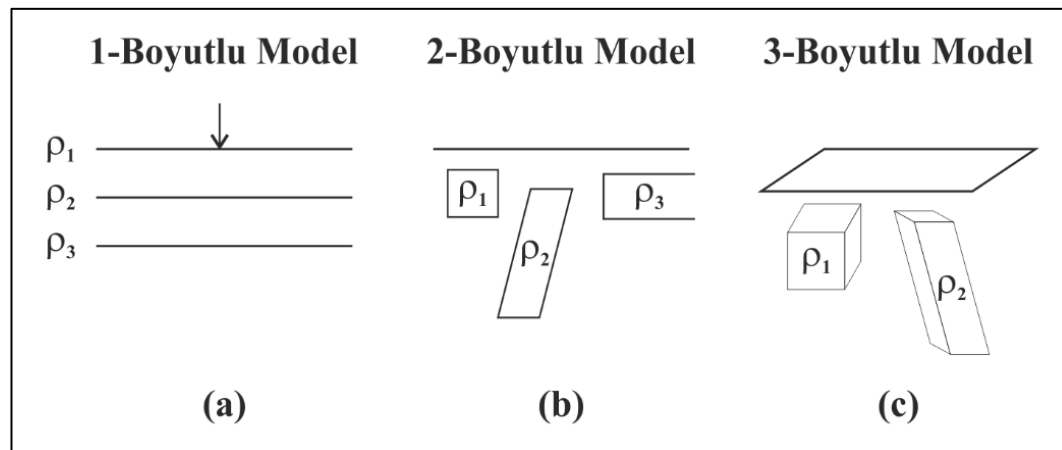
Şekil 3.11. Wenner Alpha diziliminin kullanıldığı iki boyutlu elektrik özdirenç görüntüleme ölçüm süreci (Loke vd. 2003)

Bu örnekte en yakın iki elektrot arasındaki mesafe “a” olarak verilmektedir. Cihaz ilk ölçüm noktası için (1 numaralı veri noktası) analize başlamakta ve bu sebeple 1, 2, 3 ve 4 numaralı elektrotları kullanmakta, 1 numaralı elektrota birinci akım görevini (A), 4 numaralı elektrota ikinci akım görevini (B) verdikten sonra 2 numaralı elektrota birinci gerilim görevini (M) ve 3 numaralı elektrota ikinci gerilim görevini (N) vermektedir. 1 numaralı veri noktasındaki görünür özdirenç değerine ulaştıktan sonra ikinci ölçüme

geçmekte ve bu sefer 2, 3, 4 ve 5 numaralı elektrotları kullanmakta, ilk ölçümde yapılan elektrotlara özellik atama işlemini tekrarlamaktadır. Burada 2 ve 5 numaralı elektrotların akım, 3 ve 4 numaralı elektrotların gerilim görevini üstlendiği görülmektedir. Bu şekilde 17. ölçüme kadar “a” elektrot aralığı kullanılmakta, 17. ölçümde 17, 18, 19 ve 20 numaralı elektrotlar işleme alındıktan sonra ikinci seviye ölçümleri için cihaz tekrar ilk elektrota geri dönmektedir. 18. ölçümde 1, 3, 5 ve 7 numaralı elektrotlar “2a” elektrot aralığı ile ikinci seviyenin birinci, toplamda 18. ölçüm için kullanılmaktadır. İkinci seviye için son olarak 14, 16, 18 ve 20 numaralı elektrotlar kullanılmakta ve iki seviyede 31 ölçüm gerçekleştirilmiş olmaktadır. İlk iki seviyede yapılan işlemler, “3a”, “4a”, “5a” ve “6a” elektrot aralıkları için yapılmakta ve 6 seviyede 57 ölçüm noktası analiz edilmiş olmaktadır.

3.2.2. Veri çalışmaları

Tek boyutlu jeoelektrik analizlerinden elde edilen görünür öz direnç değerleri tam logaritmik (log-log) grafik kâğıtlarına işlenmekte ve bu verileri mantıklı yorumlayabilmek için yer içinin yatay tabakalardan oluştuğu varsayılmaktadır. Bu durumda görünür öz direnç değerlerinin sadece derinlikle değiştiği ve yanal yönde bir değişimin olmadığı varsayımının kabul edildiği bir boyutlu modeller kullanılmaktadır (Şekil 3.12a). İki boyutlu modellerde görünür öz direnç değerlerinin hat boyunca değişimine izin verilmekte ancak analiz hattına dik yöndeki görünür öz direnç değişimlerin sabit olduğu varsayılmaktadır (Şekil 3.12b). Her yöndeki görünür öz direnç değerlerinin analize katıldığı modeller ise üç boyutlu modeller ile mümkün olmaktadır (Şekil 3.12c). Jeoelektrik analizlerden elde edilen görünür öz direnç verilerinin tabakalı bir ortam için tek boyutlu modellenmesinde gözlenen belirtiler analitik olarak hesaplanabilmekte ancak iki ve üç boyutlu modellerde, yapı daha karmaşık olduğundan analitik hesap yapmak zorlaşmakta ve hesaplamalar sayısal olarak yapılmaktadır. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar gibi yöntemler ile iki ve üç boyutlu modeller anlaşılar hale getirilebilmektedir (Başokur 2002).



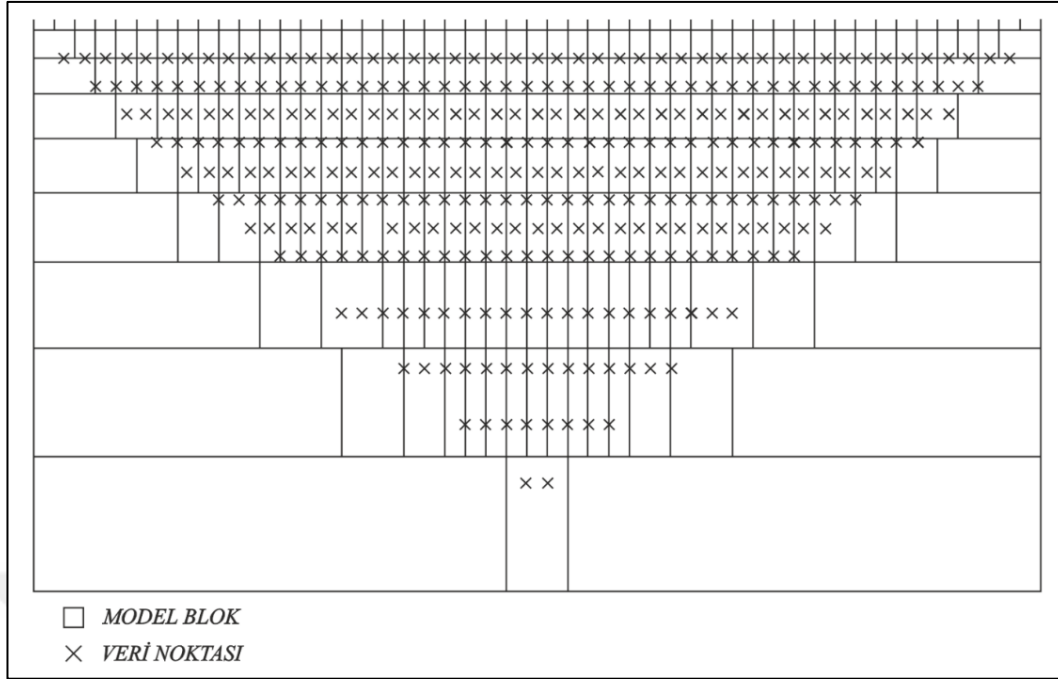
Şekil 3.12. Öz direnç ölçümlerini yorumlamada kullanılan modeller **a)** bir boyutlu; **b)** iki boyutlu; **c)** üç boyutlu (Başokur 2002)

Derinlere inildikçe ters bir üçgen şeklinde elde edilen veriler öz direnç cihazında ham veri olarak saklanmaktadır. Verilerin işlenebilmesi ve modellenenebilmesi için cihazdan RES2DINV yazılımına aktarımı gerekmekte, ARES32 cihazı ham verilerin

RES2DINV yazılımına doğrudan aktarılmasına olanak sağlamaktadır. Cihazdan aktarımı yapılan veri dosyası RES2DINV ile açılmaktadır. Ölçüme ait, kullanıcı tarafından cihaza işlenen ölçüm adı, ölçümdeki elektrot aralığı, ölçümde kullanılan dizilim tipi, toplam veri noktası, toplam seviye değerleri, kullanılan elektrot sayısı, ilk ve son elektrotun konumu vb. tüm bilgiler aynı anda ekranda kullanıcıya sunulmaktadır. Veri seti ile ilgili bir olumsuzluk söz konusu olduğu takdirde kullanıcı bu aşamada uyarılmakta ve modelleme sırasında karşılaşılabileceği sıkıntılar hakkında bilgilendirilmektedir.

Ölçülmek istenen birimin nitelik, görünüş ve yapı bakımından bilinen bir model ile uyumlu hale getirilmesi modelleme olarak adlandırılmakta, bu süreci denetleyen ve erişilmesi istenen niceliklerin sınıflandırılma, anlamlandırılma işlemi ise parametreleştirme olarak tanımlanmaktadır (Başokur 2002). Yazılıma okutulan verinin, yer altının yapısının yaklaşık bir görüntüsünü veren bir yapma kesit (pseudosection) oluşturması için bir işleme tabii tutulması gerekmekte (Loke vd. 2003; Loke 2011), hatasız bir veri seti hızlı bir şekilde modellenebilmektedir (Loke ve Dahlin 2002; Loke ve Lane 2004). Ters çözüm (inversion) adı verilen bu işlem neredeyse bütün elektrik özdirenç görüntüleme işlemleri için temel bir adım olarak kullanılmaktadır (Inman vd. 1973; Telford vd. 1990). RES2DINV bu işlem için en küçük kareler metodunu kullanmakta ve ara değer hesaplarını belirleme işlemlerini (interpolasyon) bu yöntem ile gerçekleştirmektedir (Loke ve Barker 1995, 1996). Bir jeofiziksel modelin geometrisi değişik birçok ögenin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır. Jeofiziksel analizin amacı da bu ögeleri tanımlayabilmek için gerekli olan geometrik ve fiziksel değerleri elde etmektedir. Geometrik parametreler yer altının anlamlandırılması ile ilişkili olup farklı jeolojik birimlerin yer altındaki konumunu ifade eden kalınlık, genişlik gibi değişkenlerden oluşmaktadır. Elektrik yöntemlerde fiziksel parametre olarak, her geometrik birimin özdirenç kullanılmaktadır (Başokur 2002). İki boyutlu elektrik özdirenç verileri ile yer altına ait yaklaşık bir görünür özdirenç görüntüsü elde edilmektedir. Ters çözüm yöntemi, sığ jeoelektrik uygulamalarındaki birçok sorununun çözümünde etkili ve başarılı bir biçimde kullanılmaktadır.

Yer altı yapılarının yüzeye çok yakın olması kesit görüntülerinden yapıyı belirlemeyi daha kolay hale getirebiliyorken yapıların derinde olması durumunda, bunların tespiti önemli ölçüde azalmaktadır. Fakat verilere ters çözüm uygulanmasıyla, görünür özdirenç dağılımı daha gerçekçi bir biçimde ifade edilebilmektedir (Drahor vd. 2005). Görünür özdirenç verisinin iki boyutlu ters çözümü için iki yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci yaklaşımda basit geometrik şekilli yapılar kullanılarak veri modellenmekte ve bu yöntem yer altı özdirenç dağılımının ilk tahminini yapmada faydalı olmaktadır. İkinci yaklaşımda ise bir başlangıç modeli geliştirmek için yer altı çok sayıda dörtgen bloklara bölünmekte ve doğrusal olmayan bir ters çözüm yöntemi kullanılmaktadır (Smith ve Vozoff 1984; Tripp vd. 1984; Sasaki 1992; Loke ve Barker 1995; Olayinka ve Yaramancı 2000). Uygun bir sönüm katsayısı ve yuvarlatma süzgeci kullanılarak (deGroot-Hedlin ve Constable 1990; Sasaki 1992) en küçük kareler yönteminin kararlı olması sağlanmaktadır (Loke ve Barker 1995) (Şekil 3.13).



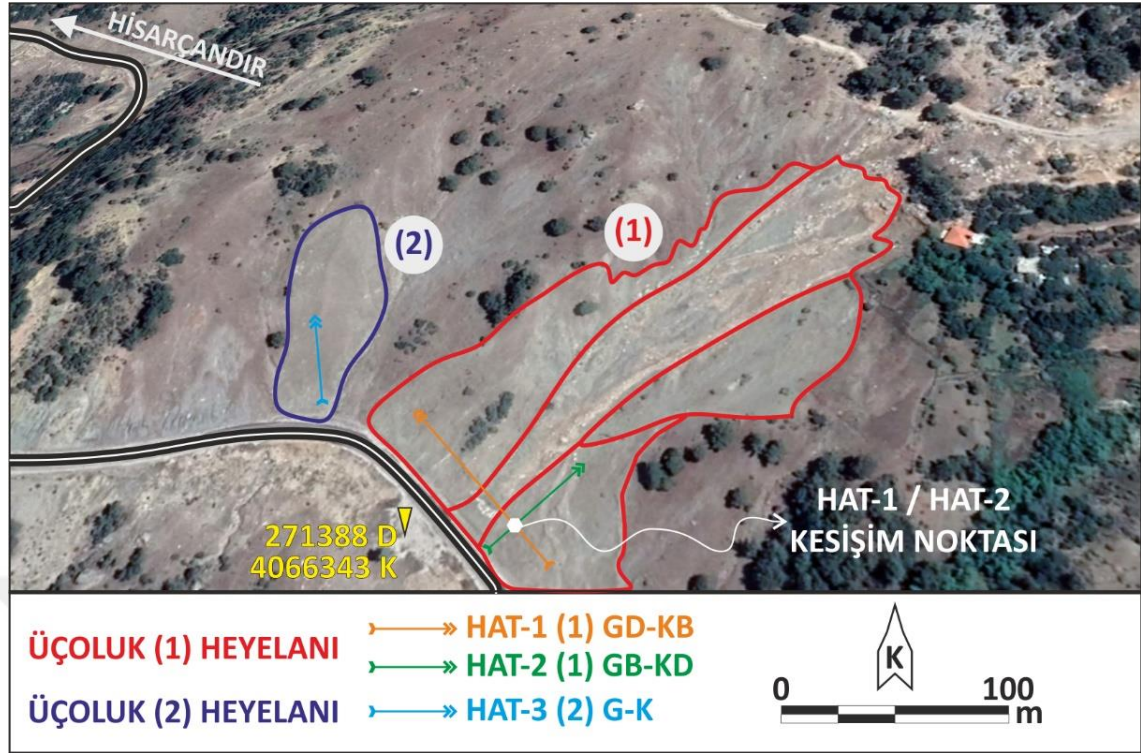
Şekil 3.13. İki boyutlu ölçümlerde elde edilen verilerin en küçük kare yöntemi ile modellenmesi (Loke 2020)

Modelleme işlemi sonrasında yazılım, elektrik özdirenç değerlerini kullanarak üç farklı yapma kesit sunmaktadır. Bunlar ölçülen, hesaplanan ve modellenen olmak üzere aynı anda ekranda gösterilmektedir. Bu aşamadan sonra sırasıyla şu işlemler gerçekleştirilmektedir.

- 1) Analizlere ait ilk elektrik özdirenç görüntüleme sonuçları öncelikle ölçülen ve modellenen olarak ele alınmış ve ilk yorum bu veriler üzerinden yapılmıştır.
- 2) Topografik elektrik özdirenç görüntüleme kesitleri elde edebilmek için elektrotların yükselti değerleri verilere işlenmiştir. Bu işlem yazılımın izin verdiği ölçüde manuel olarak gerçekleştirilmiştir.
- 3) Topografik elektrik özdirenç görüntüleme analizlerine, aynı hat boyunca yapılan diğer analizlerle birlikte zaman atlamalı modelleme analizi uygulanmış ve aynı ölçeğe sahip elektrik özdirenç görüntüleme sonuçları elde edilmiştir.
- 4) Ardışık yapılan iki ölçümün elektrik özdirenç değerlerinin değişimi yazılım aracılığıyla elde edilmiş ve elektrik özdirencin bir önceki analize göre düşüş ya da artış gösterdiği bölgeler nihai yorumda kullanılmıştır.

3.2.3. Arazi gözlemleri

Antalya-Altınyaka yolu üzerinde, Hisarçandır ve Üçoluk arasında kalan kısımda olası heyelanlı bir bölge tespit edilmiş ve bu bölge çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Arazi yapısından yola çıkılarak olası heyelan alanları ikiye ayrılmış ve Üçoluk-1 ile Üçoluk-2 olarak isimlendirilmiştir (Şekil 3.14). Üçoluk-1 heyelanında GD-KB uzanımlı, akış yönüne dik (HAT-1) ve GB-KD uzanımlı, akış yönüne paralel (HAT-2) olmak üzere iki, Üçoluk-2 heyelanında ise G-K uzanımlı, akış yönüne paralel (HAT-3) olarak bir hat elektrik özdirenç görüntüleme analizleri için seçilmiştir.



Şekil 3.14. Üçoluk bölgesindeki olası heyelanlar ve ölçüm hatları

Üçoluk-1 heyelanı, ortalama genişliği 97 metre, tahmini uzunluğu ise 200 metre olan ve bölge özelinde büyük olarak nitelenebilecek bir heyelandır. Heyelanı önemli yapan bir başka husus da heyelan tepesinde az nüfuslu bir yerleşim yerinin olmasıdır (Şekil 3.15a-d). Üçoluk-2 heyelanı ise nispeten küçük, genişliği 47 metre ve uzunluğu 126 metre olan fakat yakın çevresinde yerleşim içermeyen bir heyelandır (Şekil 3.15e).

3.2.4. Elektrik özdirenç görüntüleme dizilimleri

Üçoluk-1 heyelanında arazi koşullarının elverdiği ölçüde iki farklı hatta elektrik özdirenç serimi yapılmıştır. İki hatta da 2019 yılının haziran, temmuz, ağustos, eylül ve ekim aylarında olmak üzere beş farklı zamanda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Üçoluk-1 heyelanındaki hat analizlerinde birinci hattın 50. metresi ile ikinci hattın 30. metresinde bir çakışma sağlanmıştır. Ölçümler kayma yönüne paralel ve kayma yönüne dik olarak gerçekleştirilmiştir.

Üçoluk-2 heyelanında ise 2019 yılının eylül ve ekim aylarında olmak üzere iki farklı zamanda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümler tek hat boyunca kayma yönüne paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattında yapılan analize ait elektrot aralıkları, kullanılan elektrot sayıları, serim uzunluğu, keşfedilen derinlik aralığı ve ölçüm yapılan aylara ait bilgiler Çizelge 3.1’de, GB-KD hattında yapılan analize ait bilgiler Çizelge 3.2’de ve Üçoluk-2 heyelanı G-K hattında yapılan analize ait bilgiler ise Çizelge 3.3’te sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı elektrik özdirenç analizi serim verileri

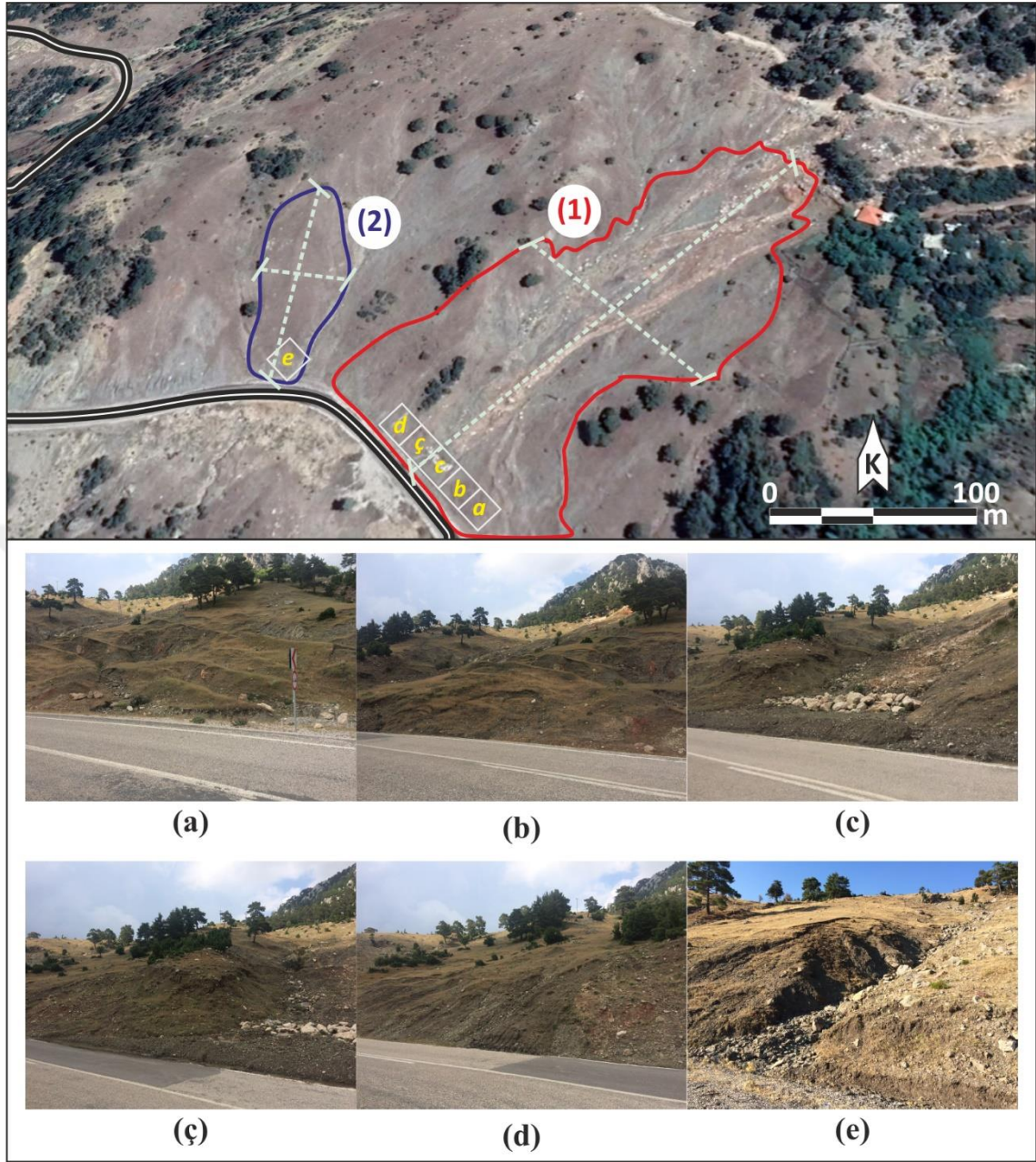
Hat	Ölçüm Ayı	Elektrot Aralığı	Elektrot Sayısı	Serim Uzunluğu	Keşif Derinliği
ÜÇOLUK-1 HAT-1 (GD-KB)	Haziran	5 metre	32	155 metre	24-29 metre
	Temmuz	5 metre	32	155 metre	24-29 metre
	Ağustos	5 metre	32	155 metre	24-29 metre
	Eylül	5 metre	32	155 metre	24-29 metre
	Ekim	5 metre	32	155 metre	24-29 metre

Çizelge 3.2. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı elektrik özdirenç analizi serim verileri

Hat	Ölçüm Ayı	Elektrot Aralığı	Elektrot Sayısı	Serim Uzunluğu	Keşif Derinliği
ÜÇOLUK-1 HAT-2 (GB-KD)	Haziran	5 metre	16	75 metre	10-12 metre
	Temmuz	5 metre	16	75 metre	10-12 metre
	Ağustos	5 metre	24	115 metre	18-20 metre
	Eylül	5 metre	24	115 metre	18-20 metre
	Ekim	5 metre	24	115 metre	18-20 metre

Çizelge 3.3. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı elektrik özdirenç analizi serim verileri

Hat	Ölçüm Ayı	Elektrot Aralığı	Elektrot Sayısı	Serim Uzunluğu	Keşif Derinliği
ÜÇOLUK-2 HAT-3 (G-K)	Eylül	2,5 metre	16	37,5 metre	5-7 metre
	Ekim	2,5 metre	16	37,5 metre	5-7 metre

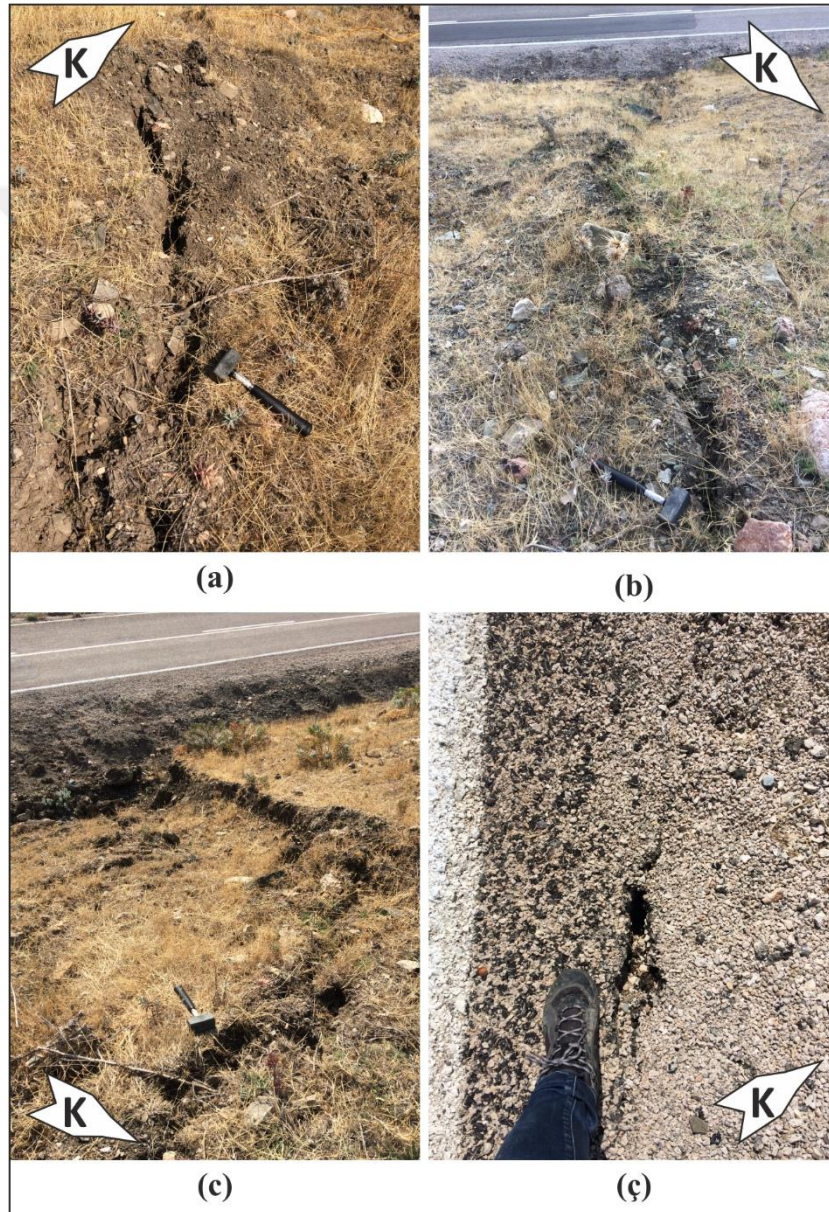


Şekil 3.15. Heyelanların uzunluk ve genişlik eksenleri ile heyelanlara ait arazi fotoğrafları
a); d) Üçoluk-1 heyelanı; **e)** Üçoluk-2 heyelanı

4. BULGULAR

4.1. Üçoluk-1 Heyelanı

Geniş bir yayılıma sahip olan Üçoluk-1 heyelanının varlığı yer yer gözlenen çatlak ve kırıklar (Şekil 4.1a), kara yoluna yakın noktalardaki ayrılma zonları (Şekil 4.1b) ve çöküntüler (Şekil 4.1c) ayrıca kara yolunda gözlenen kırıklar (Şekil 4.1ç) ile tespit edilmiştir. Ayrışmış malzeme merdiven basamaklı görünümüne zincirleme bir kayma gösterdiği için bölgedeki yamaç yenilmesi Cronin (1992) tarafından tanımlanan ilerleyen veya birleşik heyelan sınıfına dahil edilmiştir (Şekil 4.2).

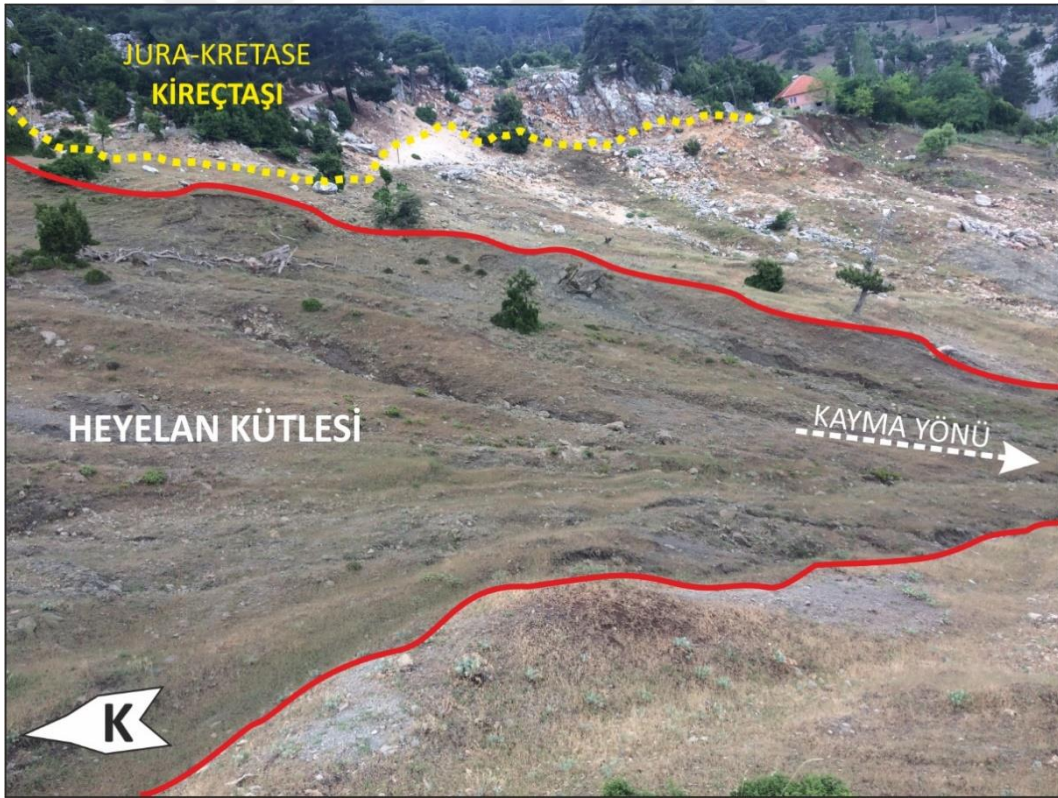


Şekil 4.1. Üçoluk-1 heyelanında gözlenen belirtiler a) heyelan kütle içindeki ayrılmalar; b) kara yoluna yakın çatlaklar; c) kara yoluna yakın çöküntüler; ç) kara yolundaki kırıklar

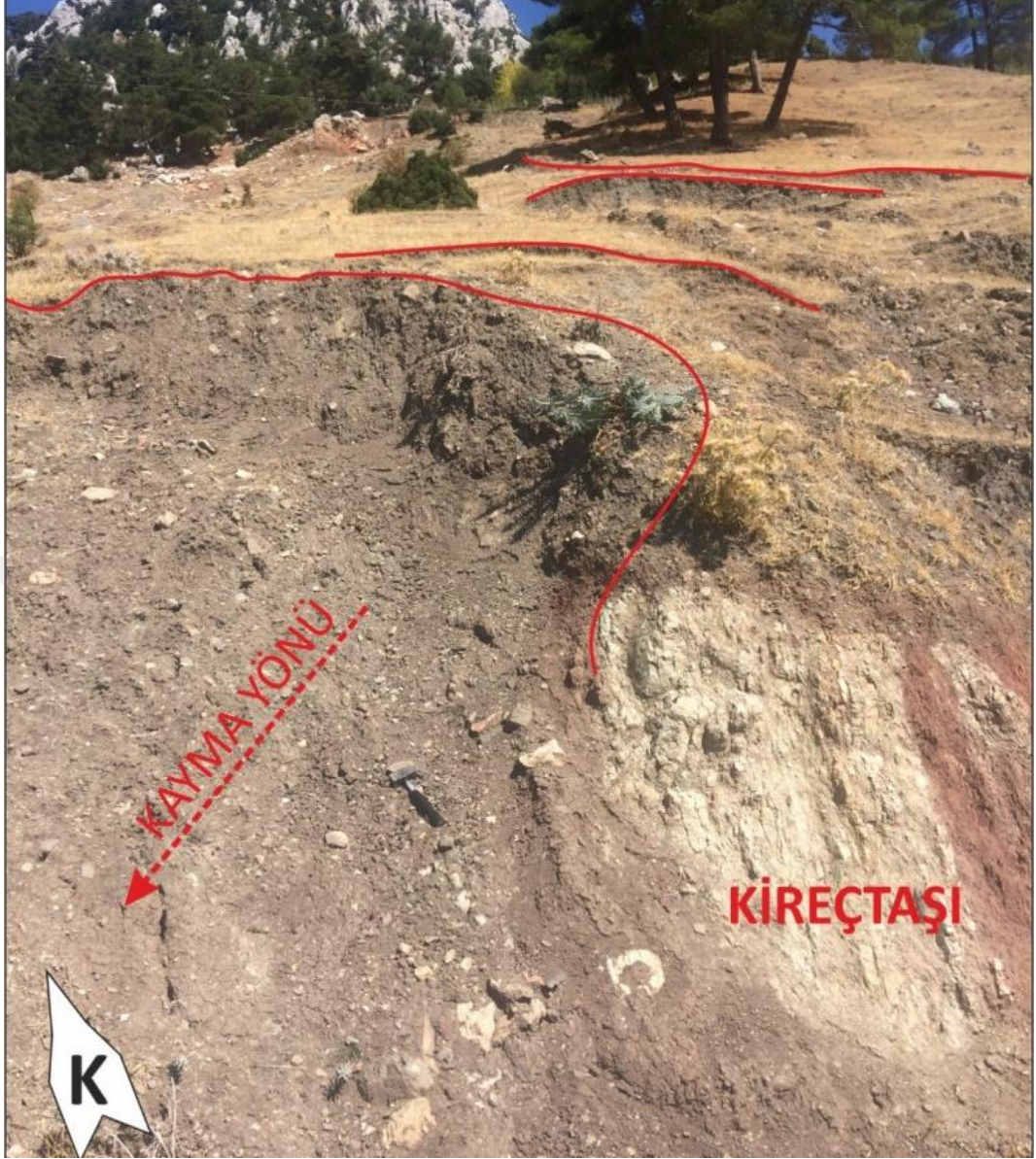


Şekil 4.2. Üçoluk-1 birleşik heyelanında gözlenen tali heyelan aynaları

Üçoluk-1 heyelanına akma yönüne paralel şekilde bakıldığında, bölgenin sınırını oluşturan Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları gözlenmekte ve bu noktadan heyelan kütlesi, ayrışma gibi topografik özellikleri sebebiyle kolaylıkla ayırt edilmektedir (Şekil 4.3). Yamaç hareketi sayesinde oluşan tali aynalarda kireçtaşı birimleri yüzeylenmekte ve heyelan malzemesinin tektonizma ile neredeyse dik konuma gelen kireçtaşları tabakaları üzerinden kaydığı görülmektedir (Şekil 4.4). Üçoluk-1 heyelanının kısa hattındaki (GB-KD) elektrotların serimi Şekil 4.5'te gösterildiği gibi tali aynalardan geçecek şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.3. Üçoluk-1 heyelan kütlesinin olası sınırları ve heyelanın KD kesiminde mostra veren Jura-Kretase kireçtaşları



Şekil 4.4. Üçoluk-1 heyelanının kayma yüzeyinin kireçtaşı ile olan dokanağı

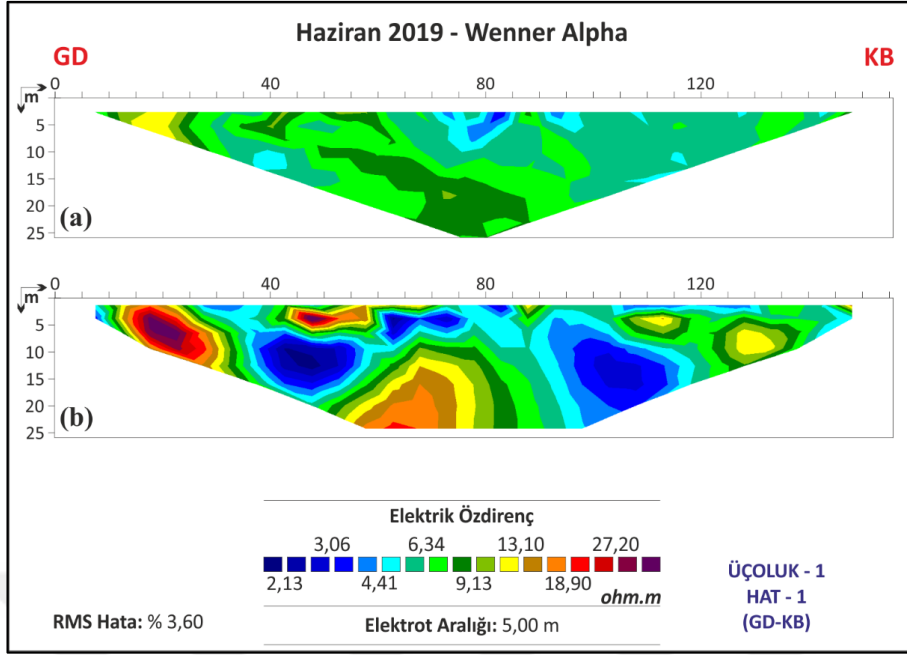


Şekil 4.5. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattındaki elektrotların serimi

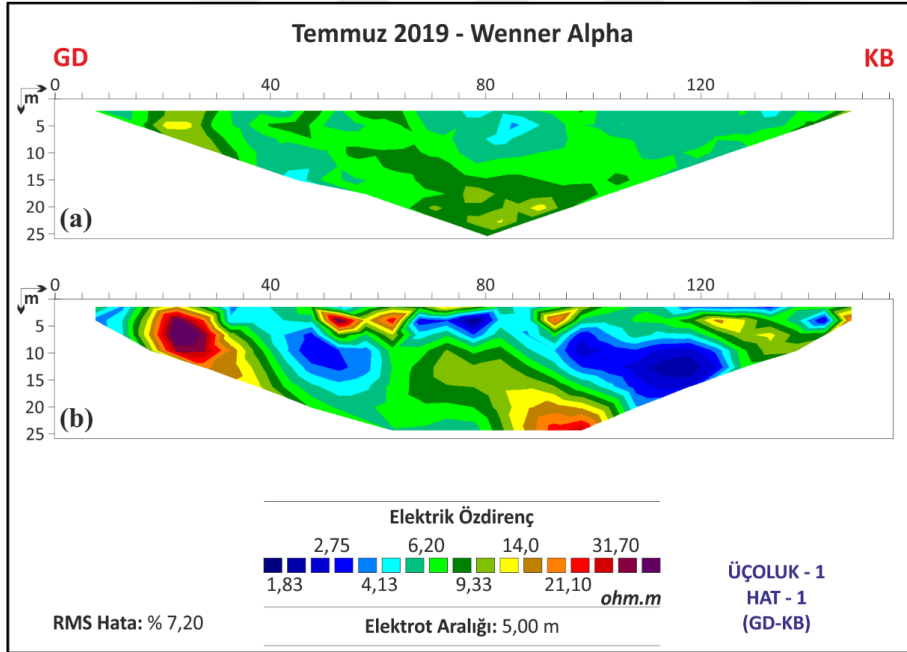
4.1.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hat analizleri

4.1.1.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı ERT analizleri

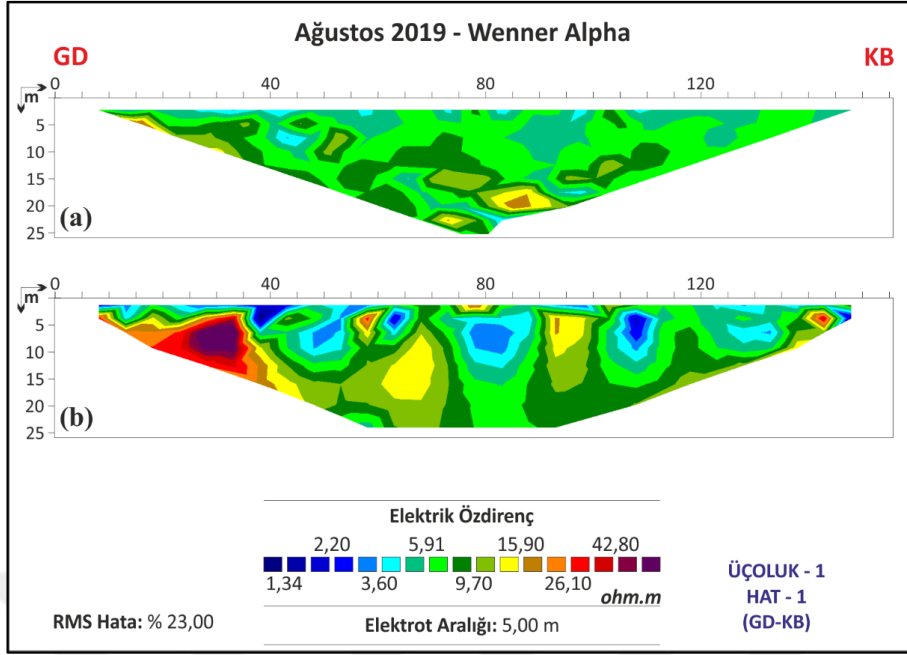
Üçoluk-1 heyelanında güneydoğudan kuzeybatıya doğru serilen elektrotlar ile kayma yönüne dik olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. İlk önce topografyadan bağımsız olarak ölçülen ve modellenen değerleri elde edebilmek için analizler uygulanmış ve elde edilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçları Şekil 4.6 - Şekil 4.10 arasında, Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları ise Şekil 4.11 - Şekil 4.15 arasında gösterilmiştir.



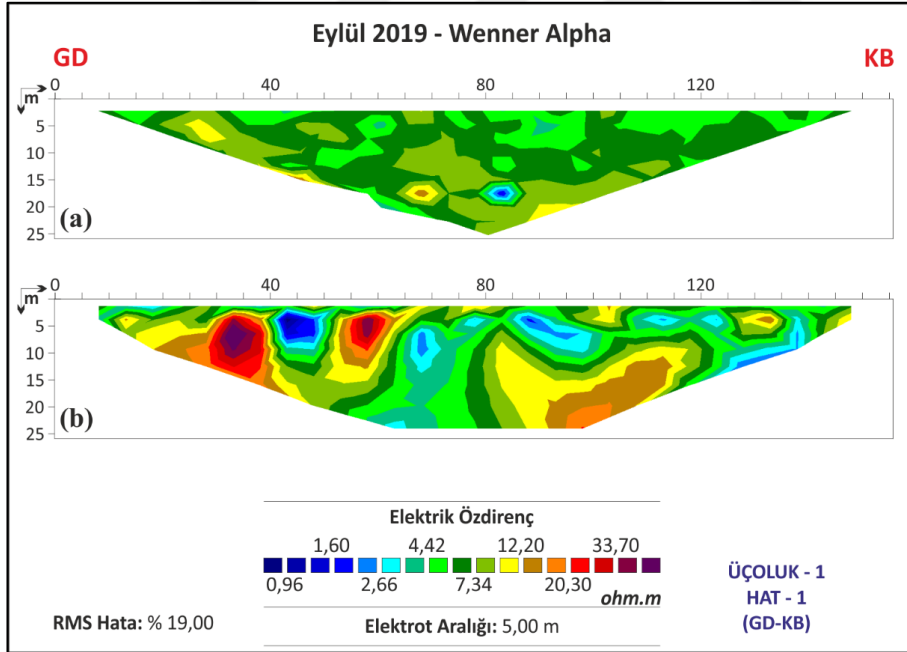
Şekil 4.6. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



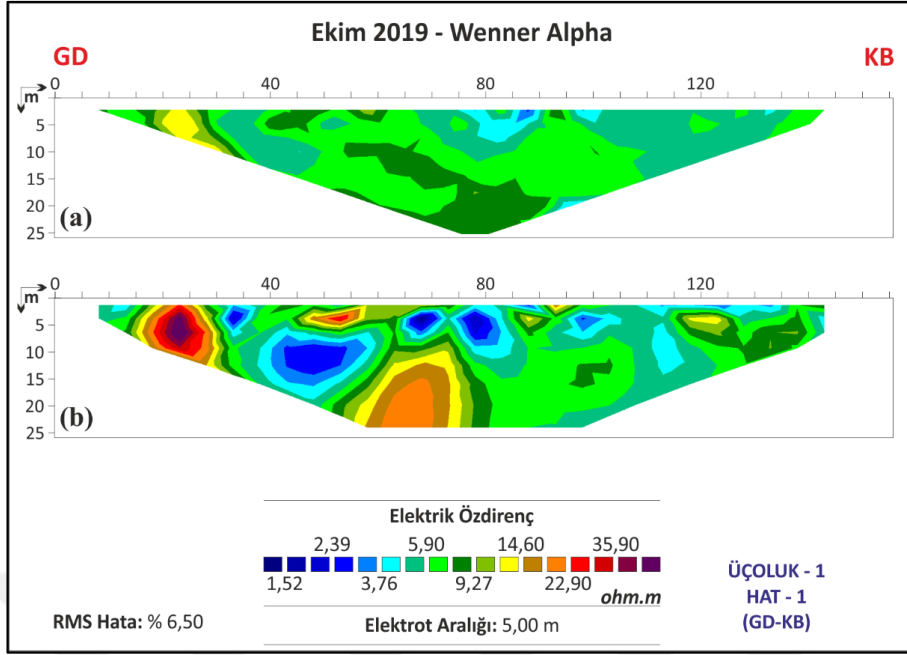
Şekil 4.7. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



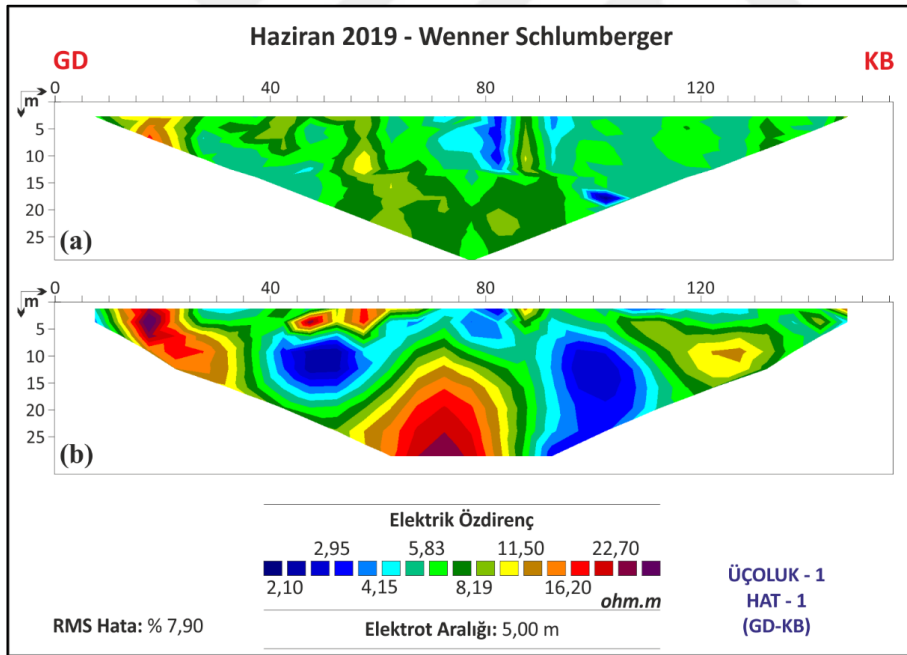
Şekil 4.8. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



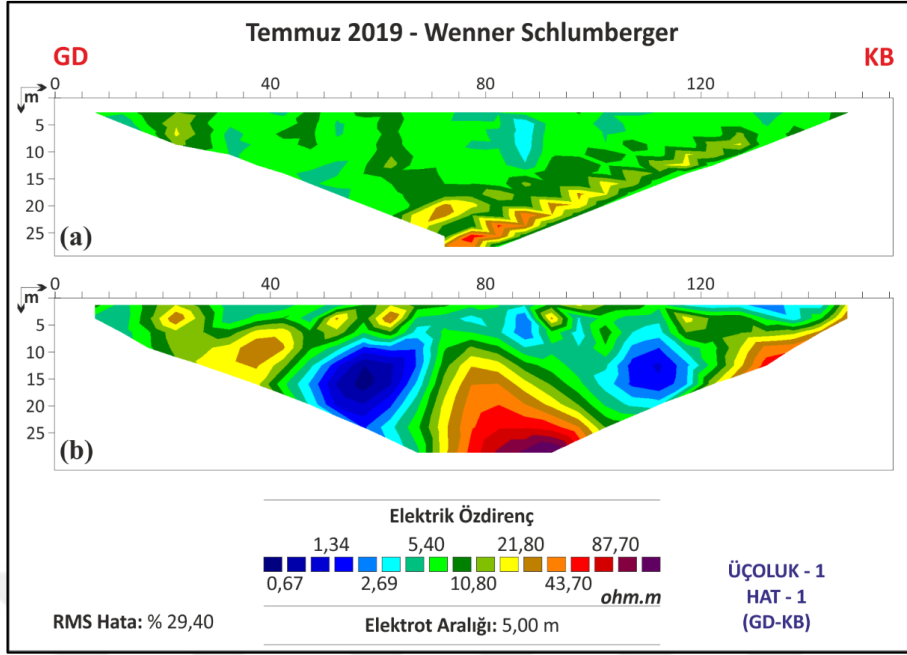
Şekil 4.9. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



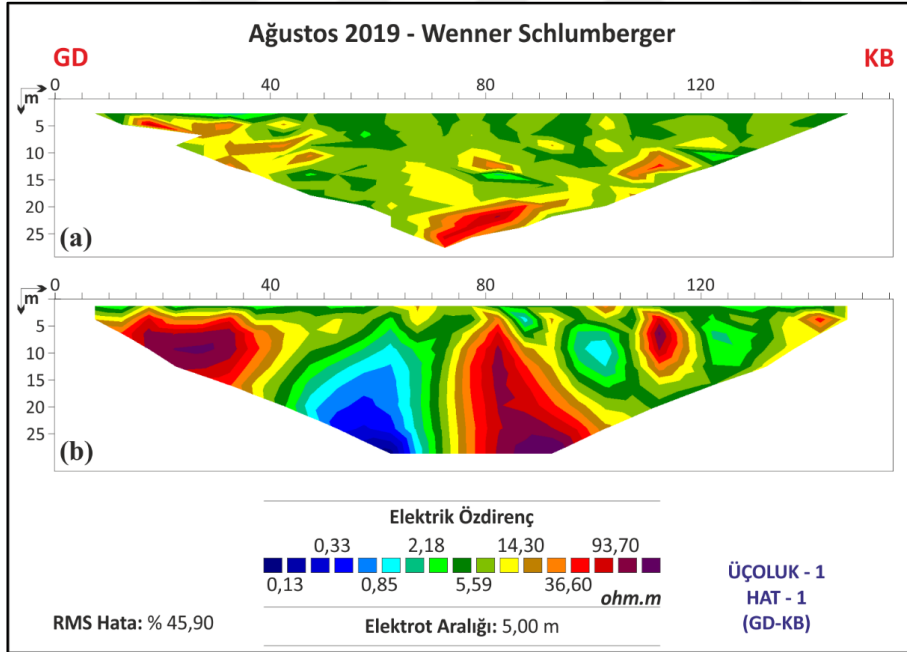
Şekil 4.10. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



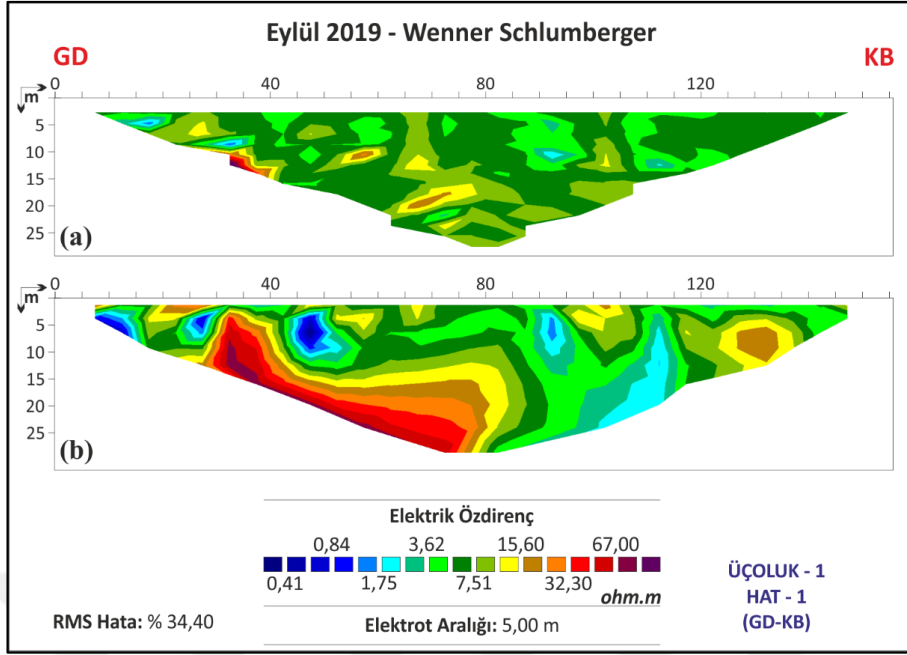
Şekil 4.11. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



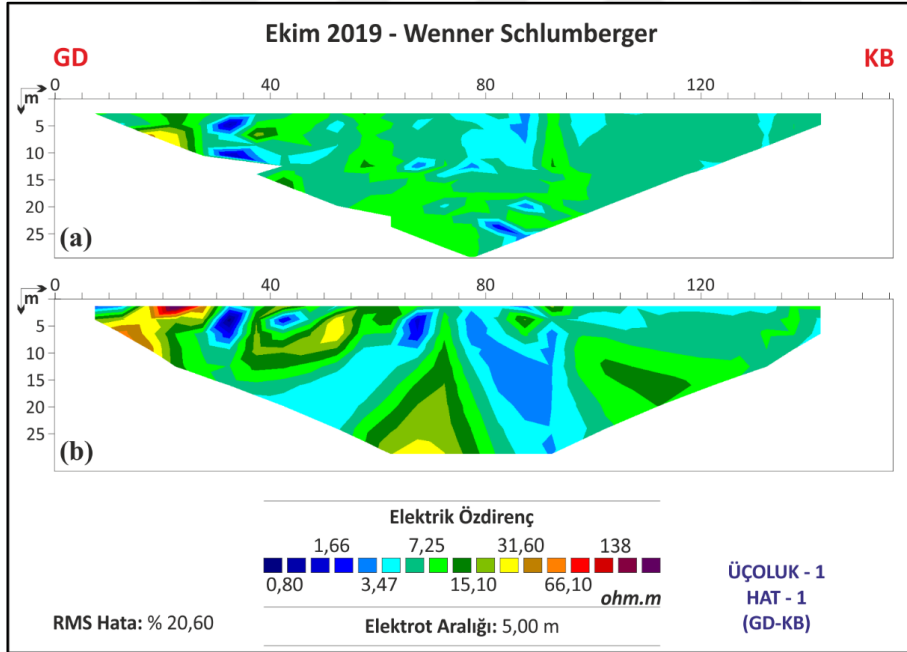
Şekil 4.12. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



Şekil 4.13. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



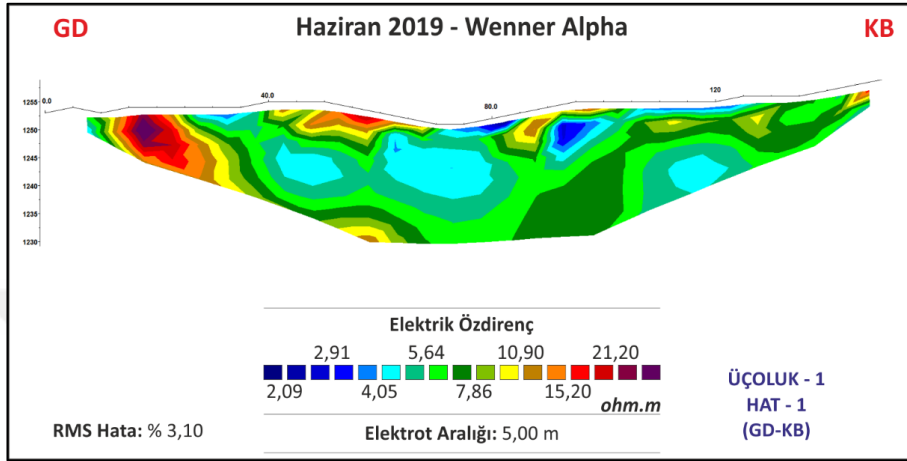
Şekil 4.14. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



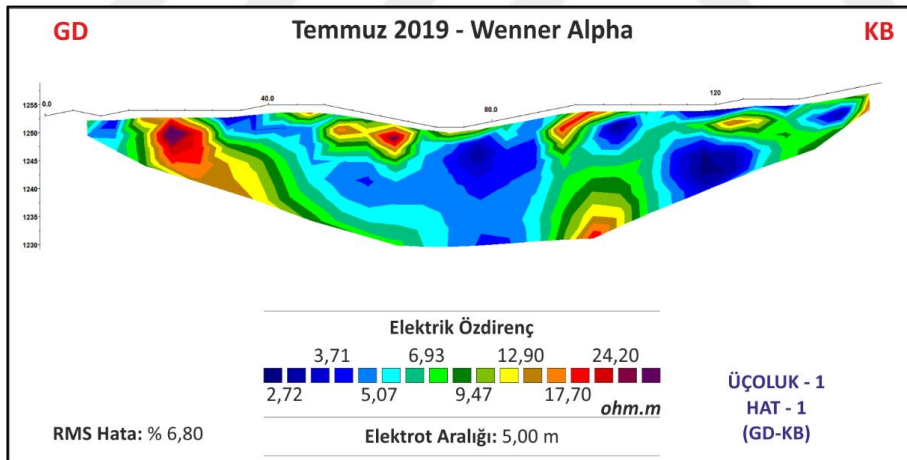
Şekil 4.15. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler

4.1.1.2. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı topografik ERT analizleri

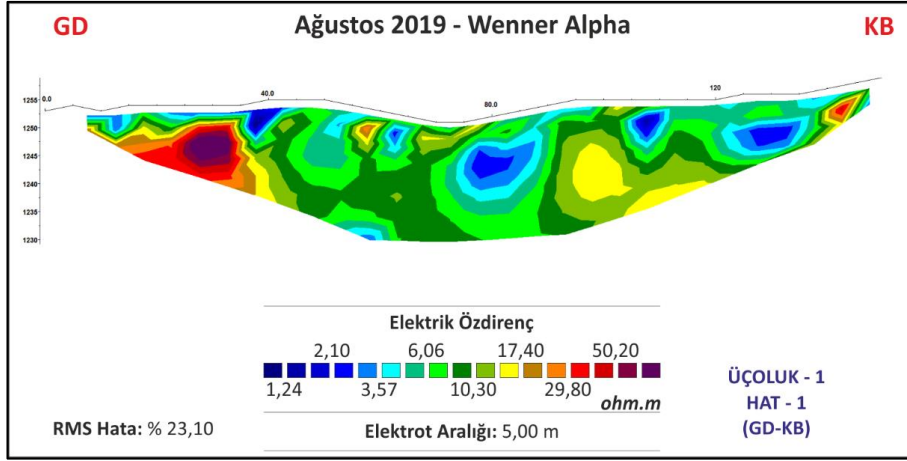
Üçoluk-1 heyelanında GD-KB hattındaki her elektrota ait yükselti değerleri veri dosyasına işlenmiş ve yükselti içeren veriler tekrar modellenmiştir. Topografya işlenmiş olan modellenen değerleri elde edebilmek için yapılan bu analiz ile bulunan Wenner-Alpha sonuçları Şekil 4.16 - Şekil 4.20 arasında, Wenner-Schlumberger sonuçları ise Şekil 4.21 - Şekil 4.25 arasında gösterilmiştir.



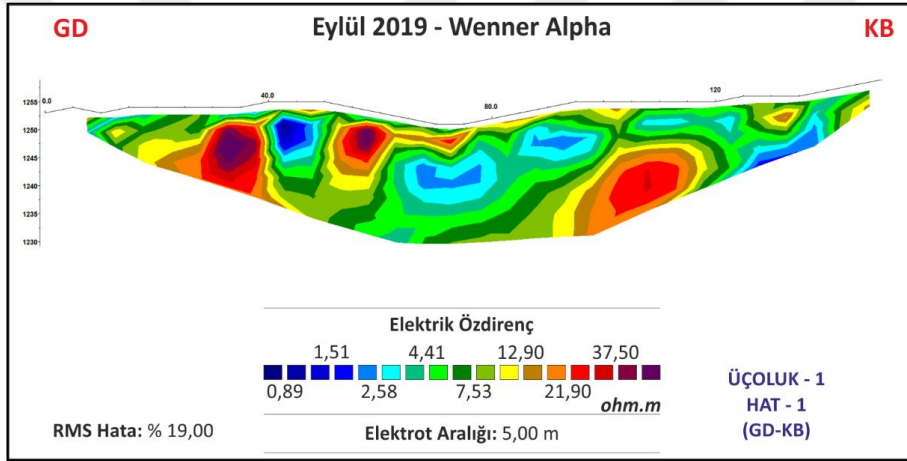
Şekil 4.16. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



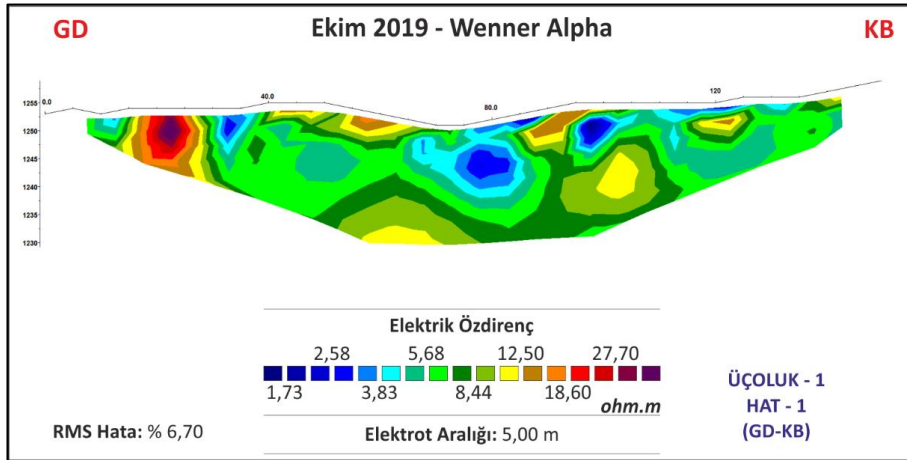
Şekil 4.17. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



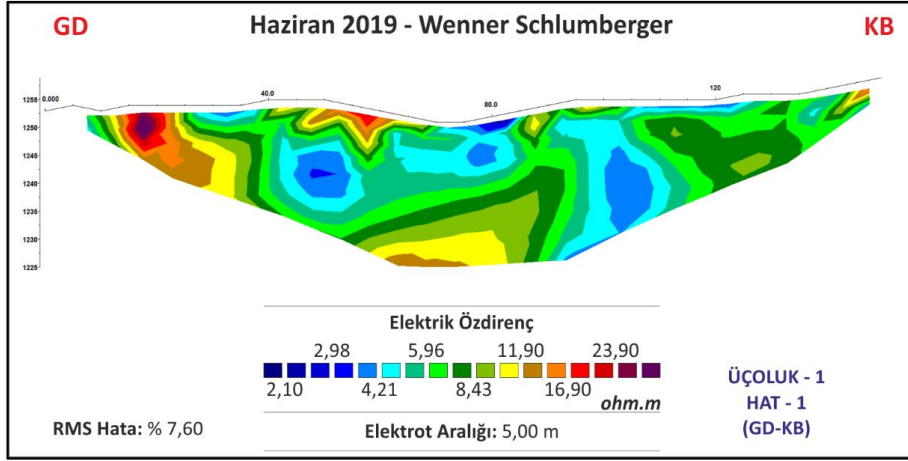
Şekil 4.18. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



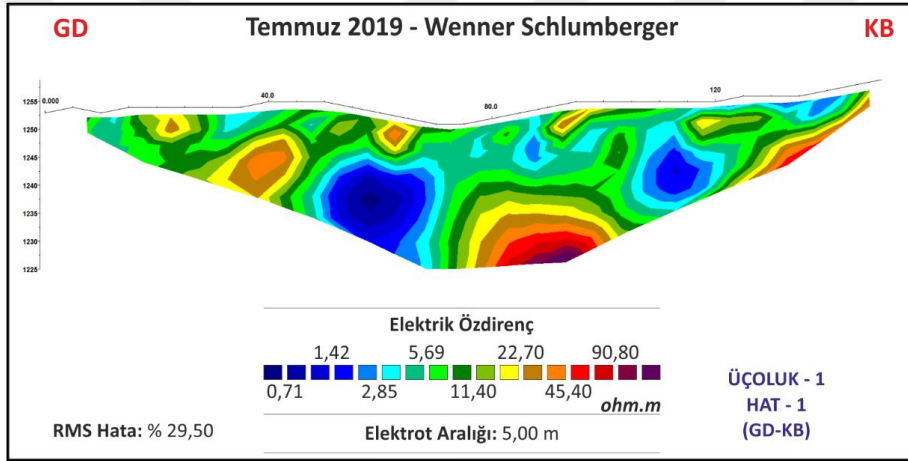
Şekil 4.19. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



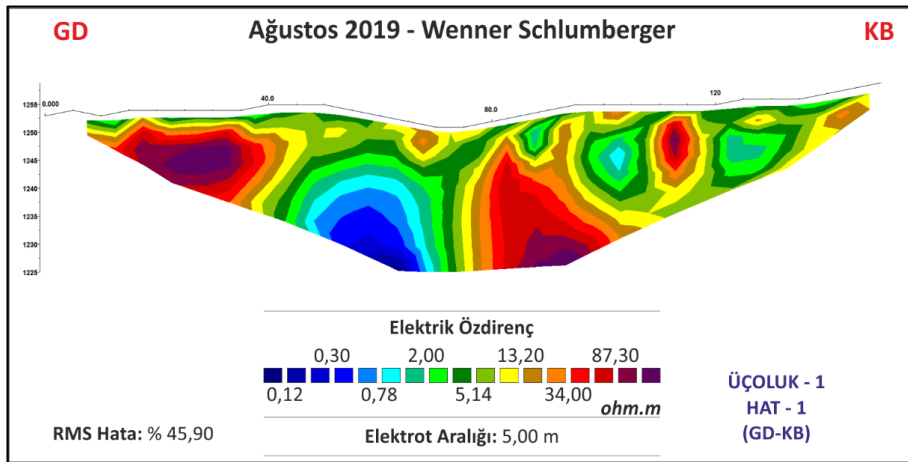
Şekil 4.20. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



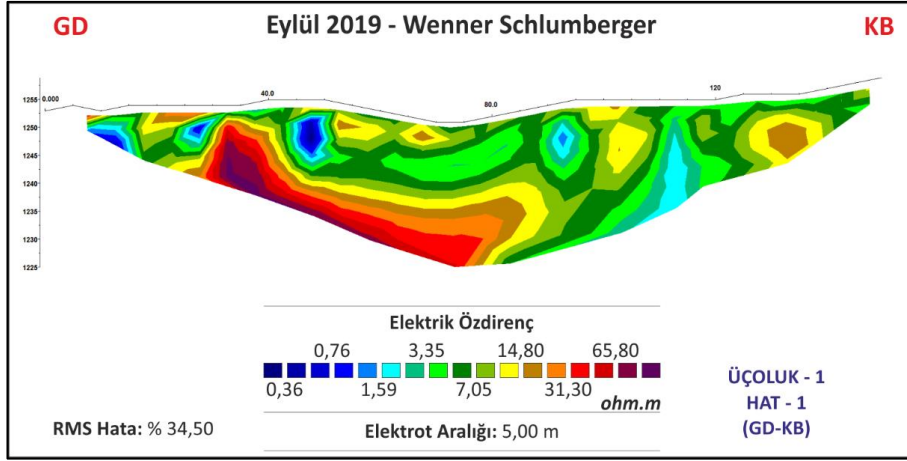
Şekil 4.21. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



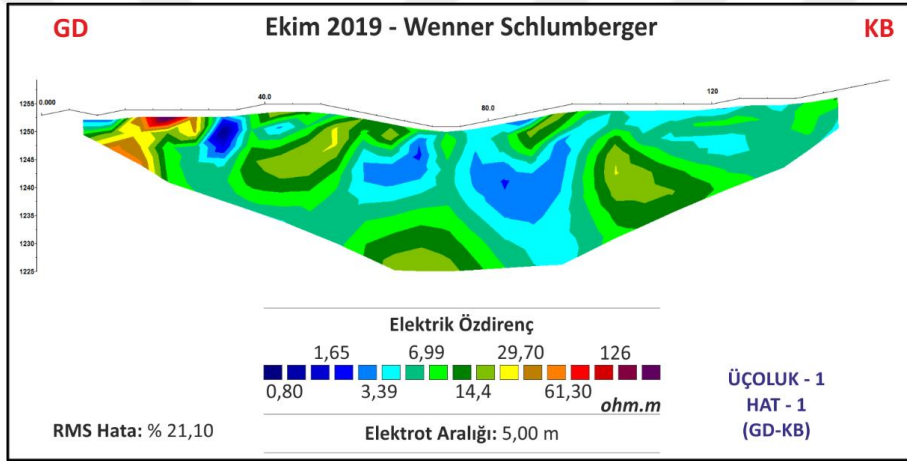
Şekil 4.22. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



Şekil 4.23. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



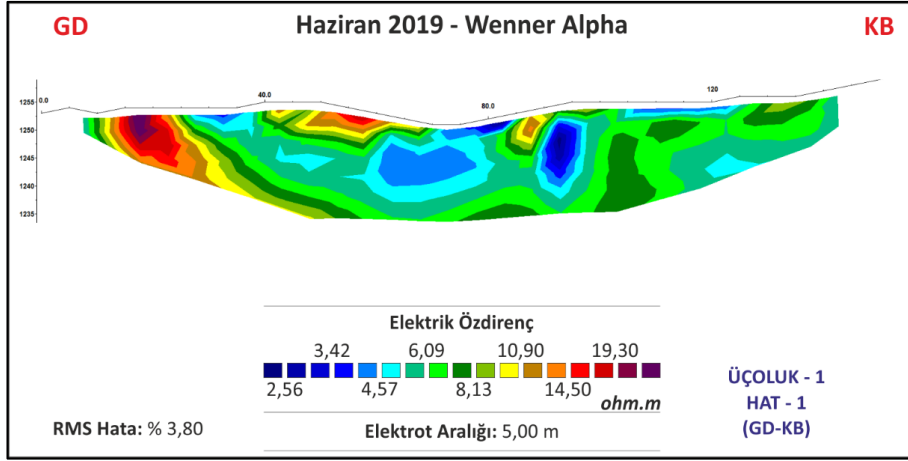
Şekil 4.24. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



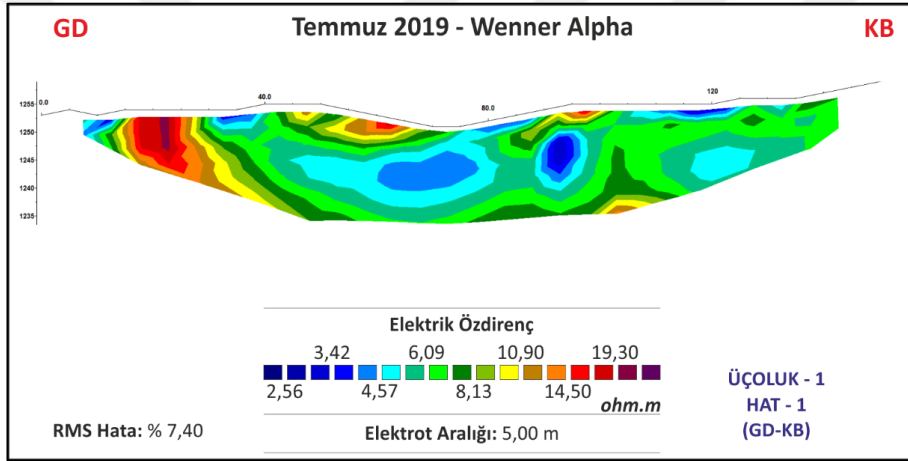
Şekil 4.25. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

4.1.1.3. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı topografik tı-ERT analizleri

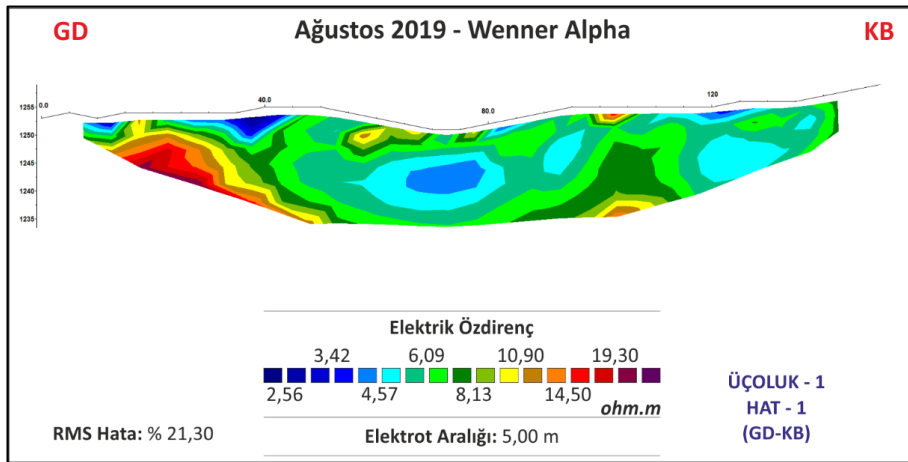
Farklı modellenen analizler farklı ölçeğe sahip olduğundan, analizleri ortak ölçek ile inceleyebilmek için GD-KB hattından elde edilen ve topografik değerlere sahip verilere yazılımın zaman atlamalı analizi uygulanmıştır. Topografya işlenmiş ve ortak analize tabi tutularak elde edilen modellenen değerlerin Wenner-Alpha sonuçları Şekil 4.26 - Şekil 4.30 arasında, Wenner-Schlumberger sonuçları ise Şekil 4.31 - Şekil 4.35 arasında gösterilmiştir.



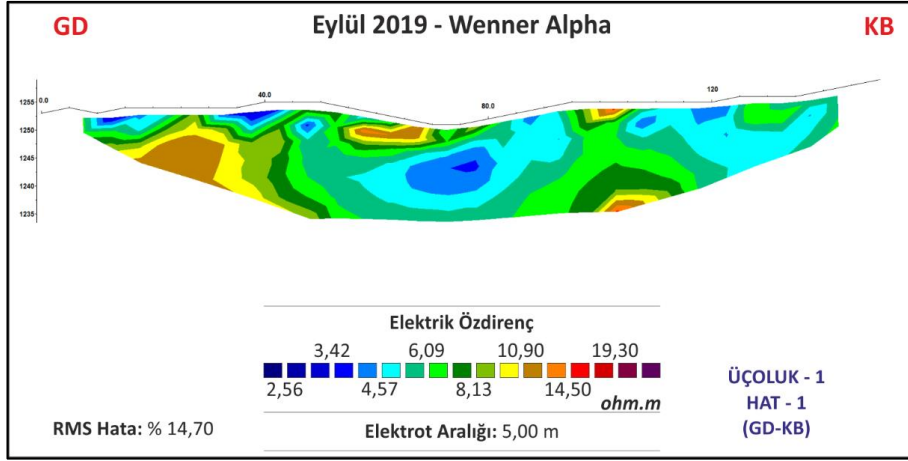
Şekil 4.26. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



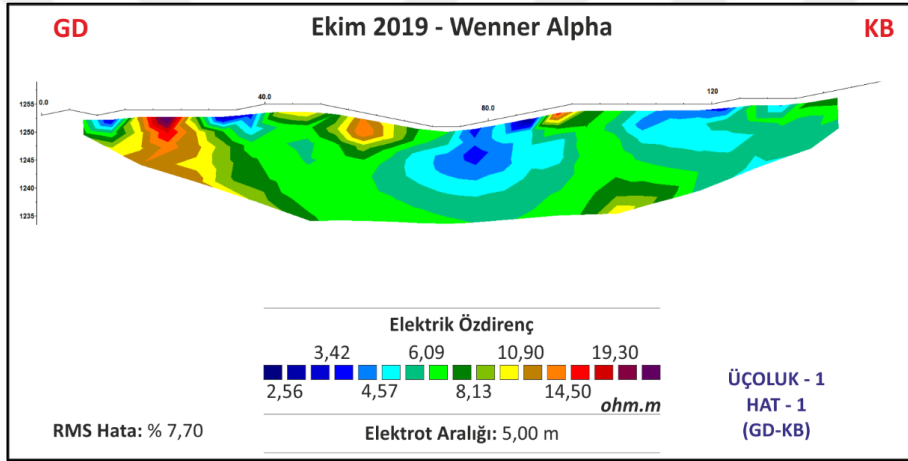
Şekil 4.27. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



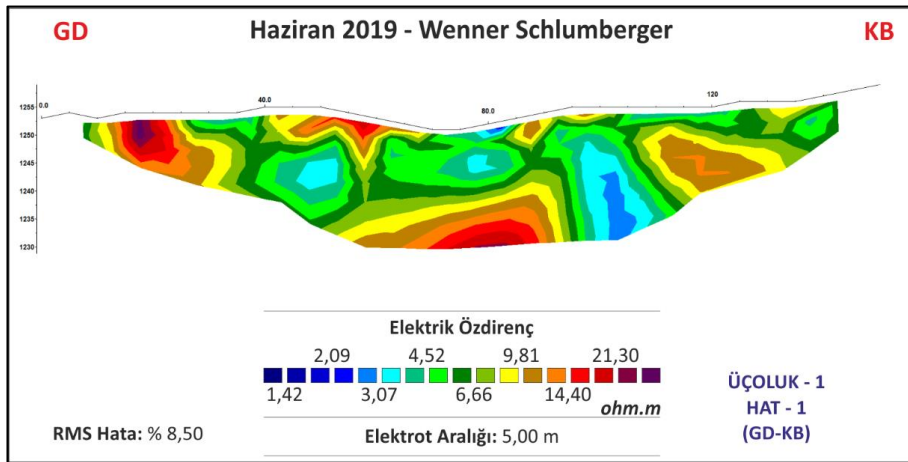
Şekil 4.28. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



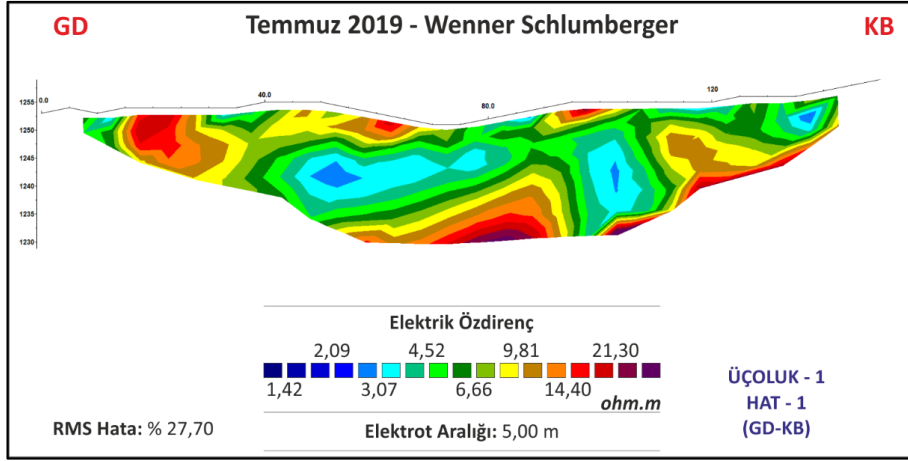
Şekil 4.29. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



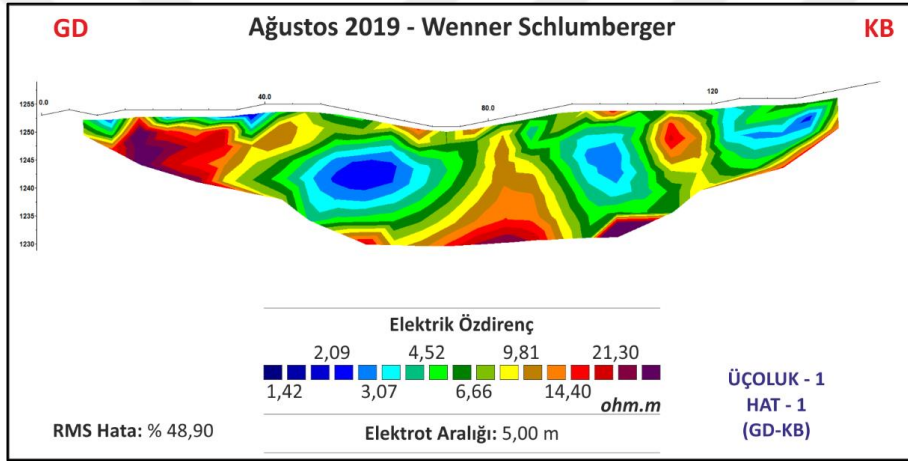
Şekil 4.30. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



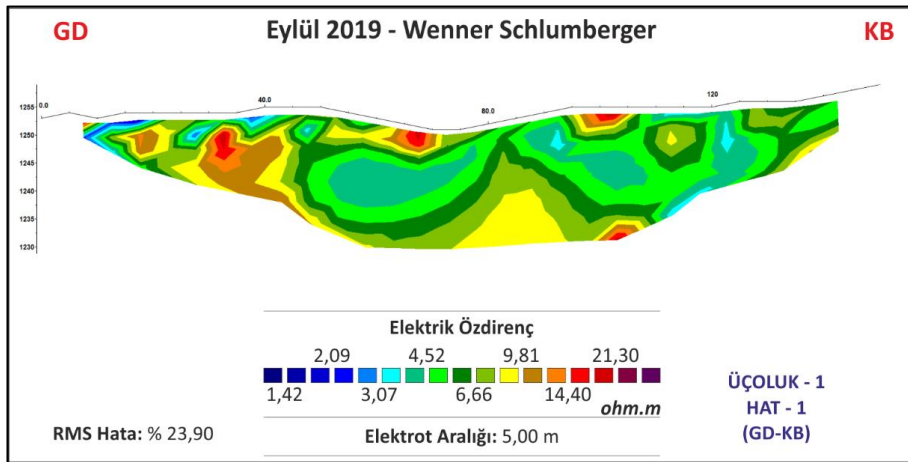
Şekil 4.31. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



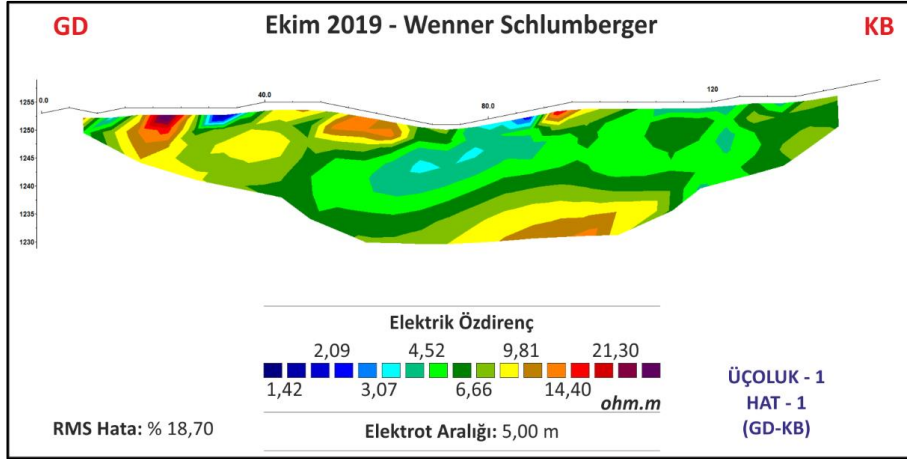
Şekil 4.32. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



Şekil 4.33. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



Şekil 4.34. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

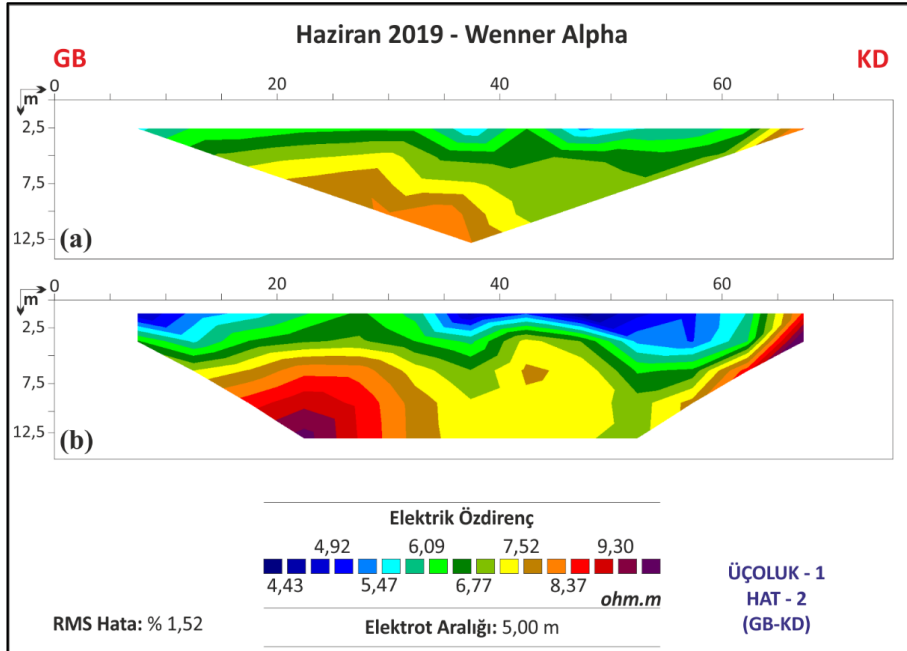


Şekil 4.35. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

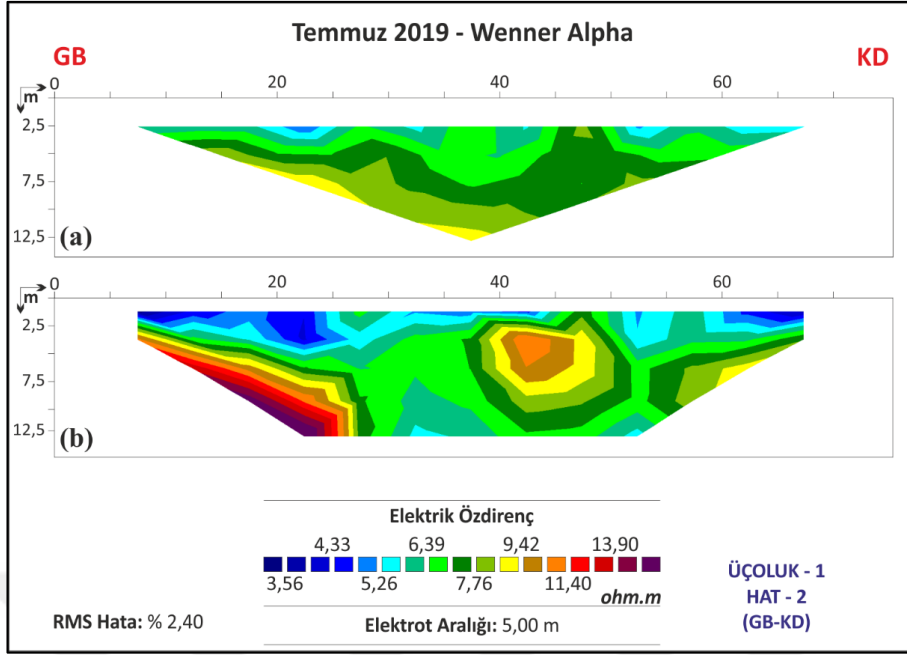
4.1.2. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hat analizleri

4.1.2.1. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı ERT analizleri

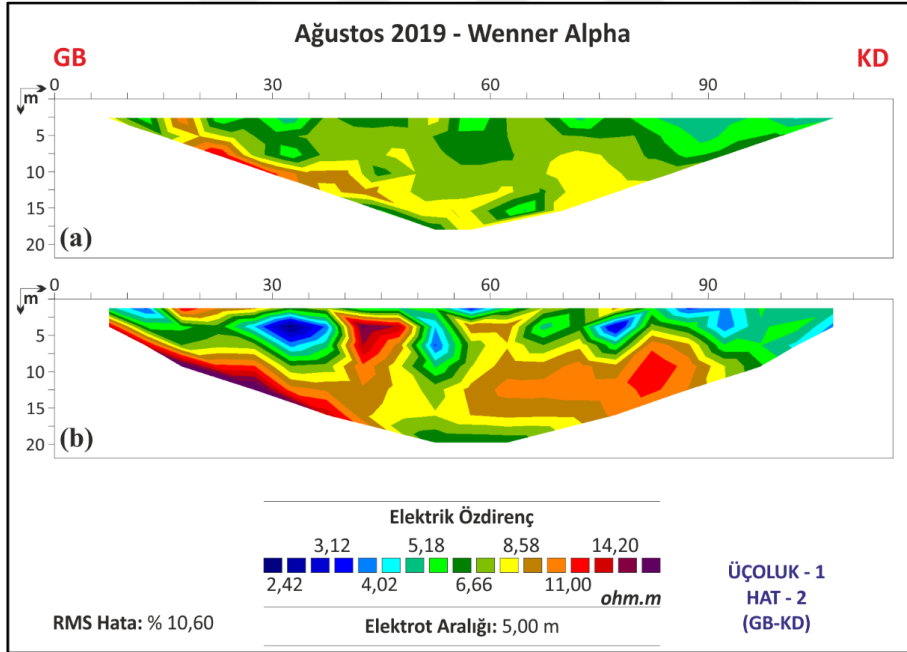
Üçoluk-1 heyelanında güneybatıdan kuzeydoğuya doğru serilen elektrotlar ile kayma yönüne paralel olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yine ilk önce topografyadan bağımsız olarak ölçülen ve modellenen değerleri elde edebilmek için analizler uygulanmış ve elde edilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçları Şekil 4.36 - Şekil 4.40 arasında, Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları ise Şekil 4.41 - Şekil 4.45 arasında gösterilmiştir.



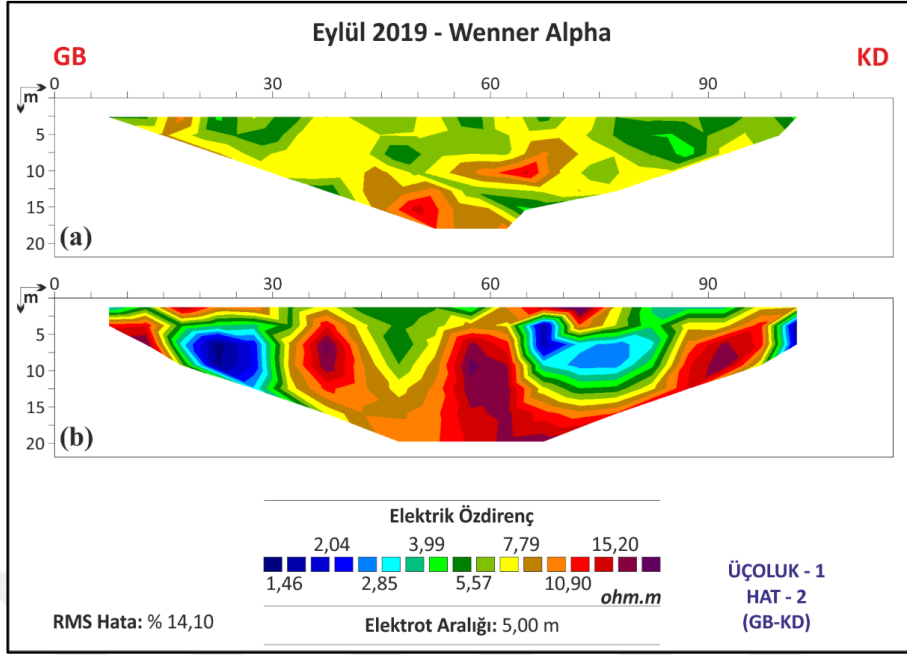
Şekil 4.36. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları a) ölçülen; b) modellenen değerler



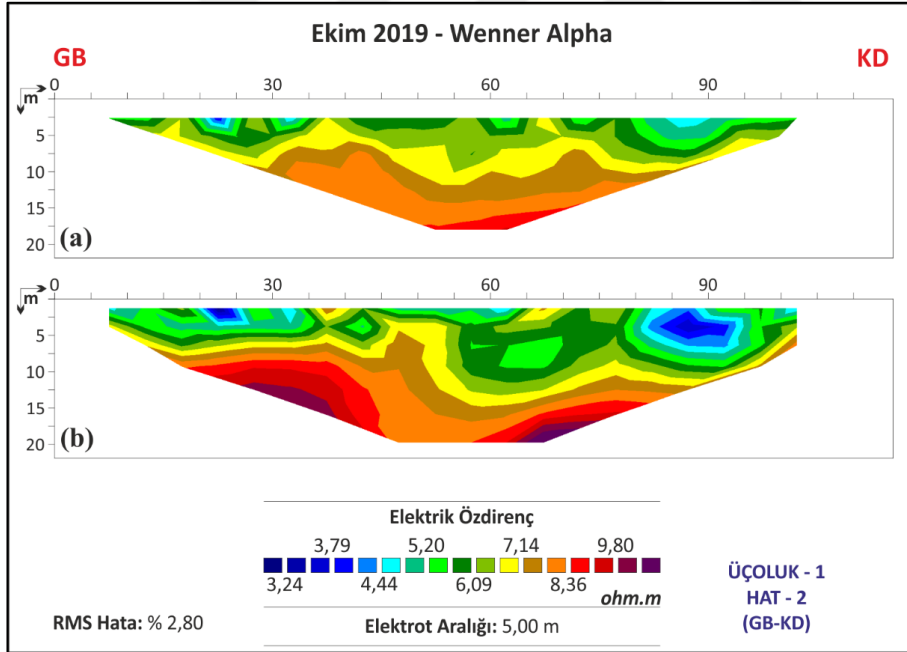
Şekil 4.37. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



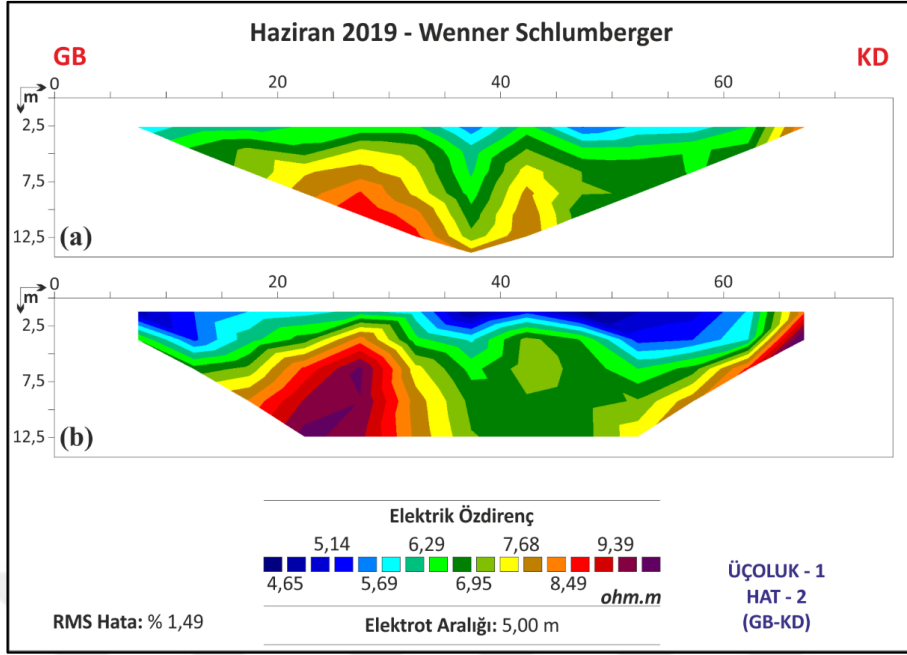
Şekil 4.38. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



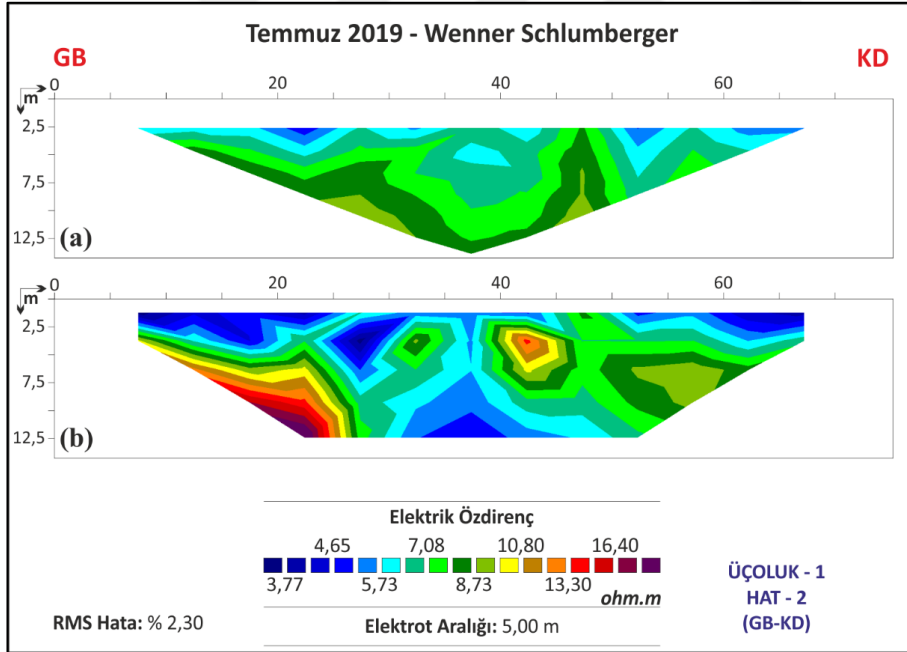
Şekil 4.39. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



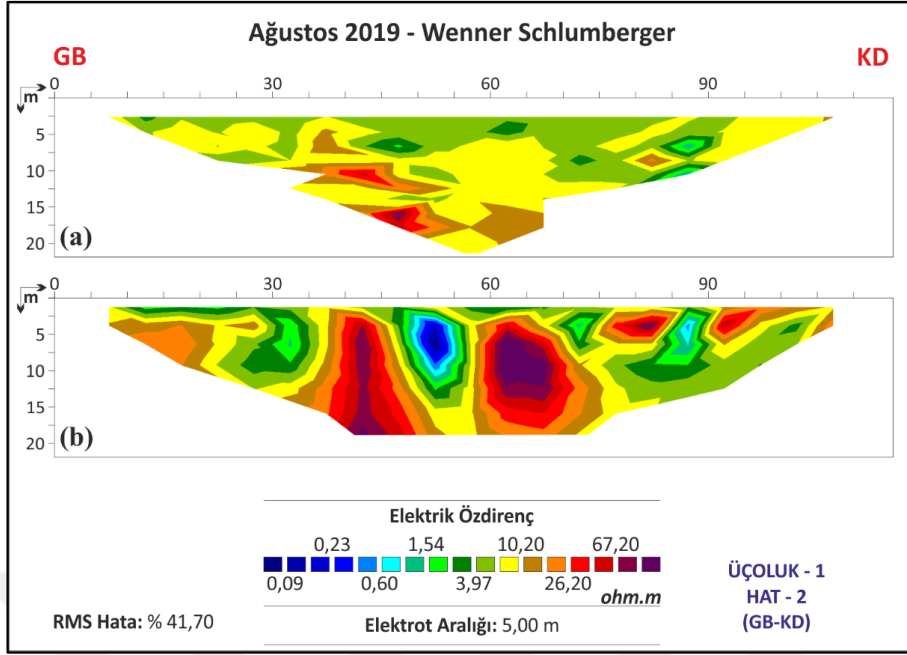
Şekil 4.40. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



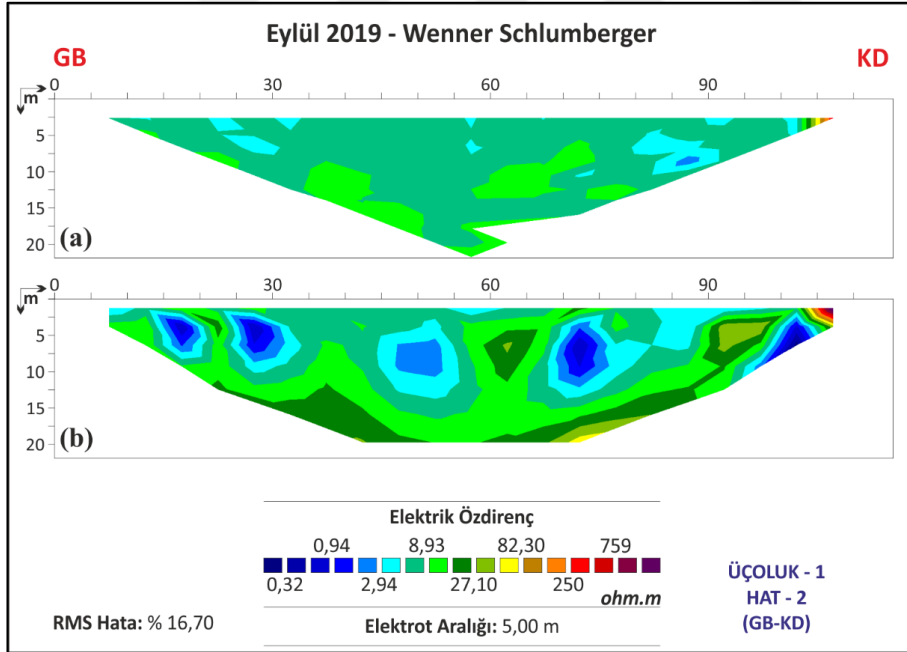
Şekil 4.41. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



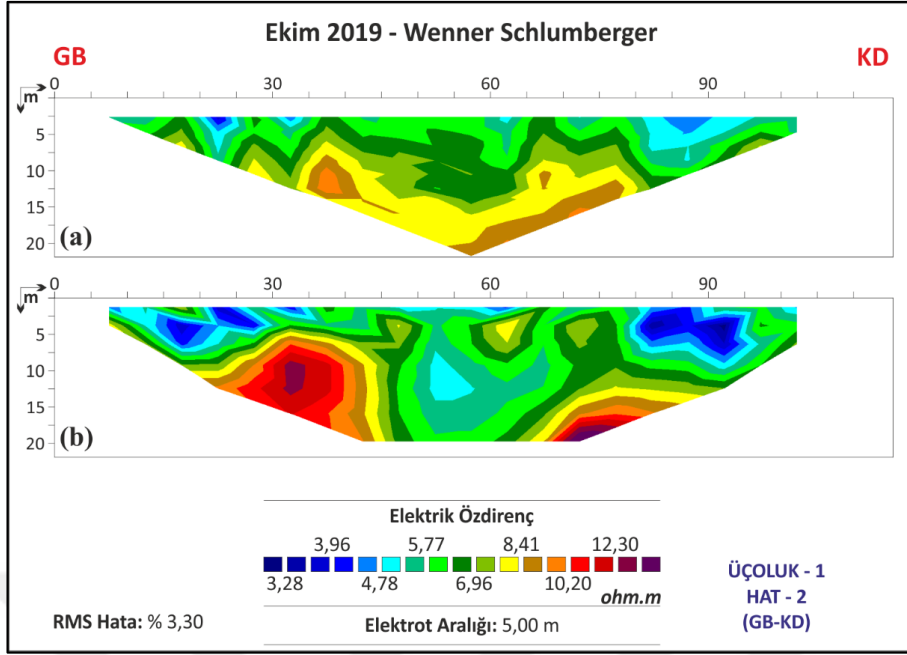
Şekil 4.42. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



Şekil 4.43. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



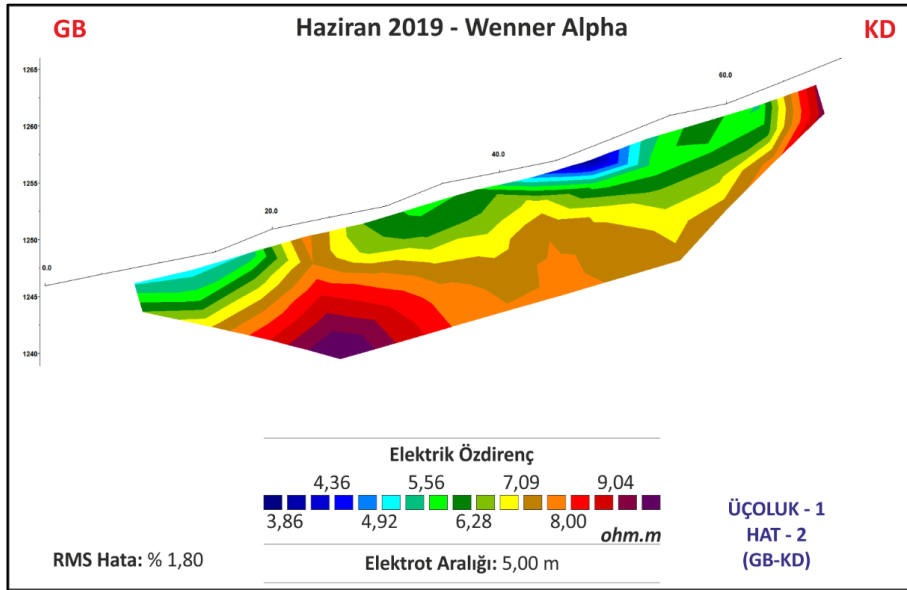
Şekil 4.44. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



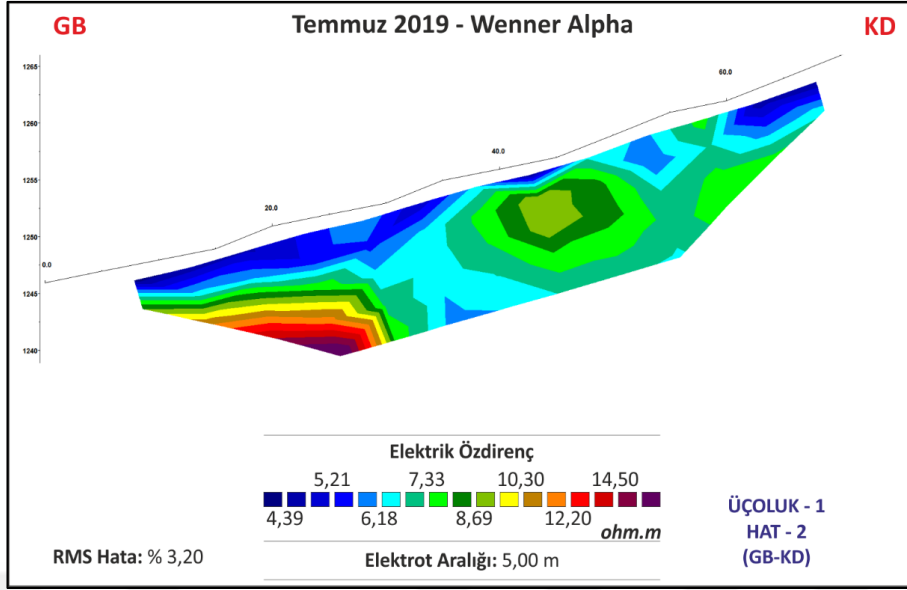
Şekil 4.45. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler

4.1.2.1. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı topografik ERT analizleri

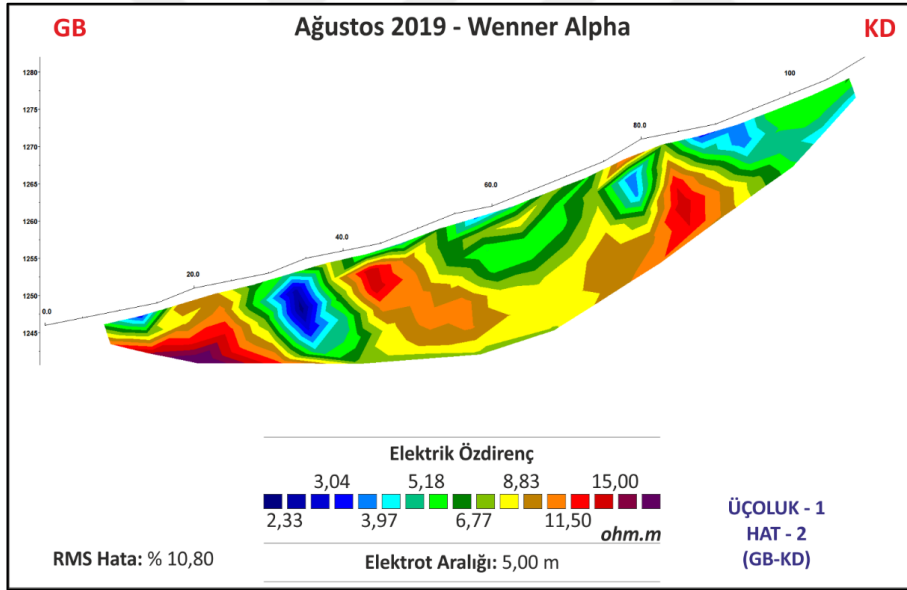
Üçoluk-1 heyelanında GB-KD hattındaki her elektrota ait yükselti değerleri veri dosyasına işlenmiş ve yükselti içeren veriler tekrar modellenmiştir. Topografya işlenmiş olan modellenen değerleri elde edebilmek için yapılan bu analiz ile bulunan Wenner-Alpha sonuçları Şekil 4.46 - Şekil 4.50 arasında, Wenner-Schlumberger sonuçları Şekil 4.51 - Şekil 4.55 arasında gösterilmiştir.



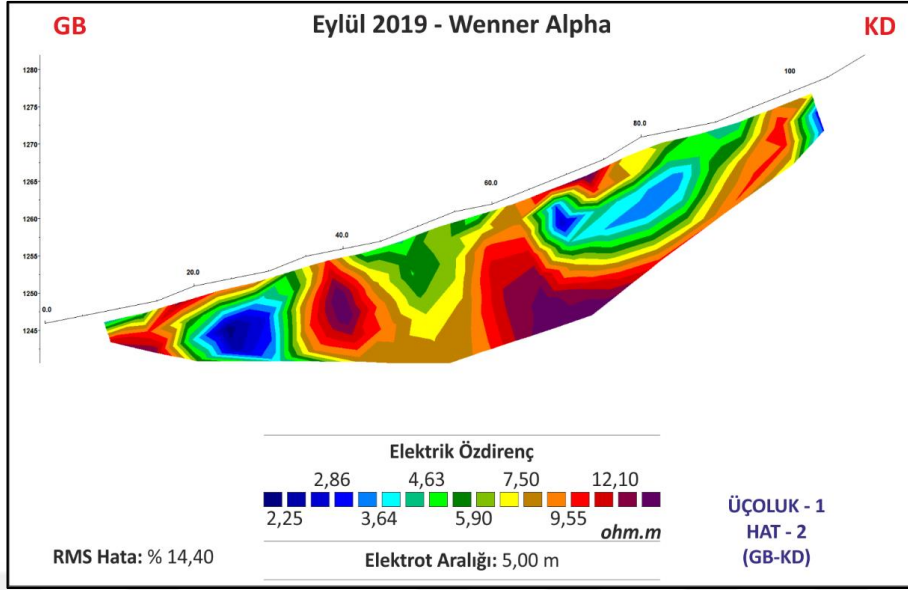
Şekil 4.46. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



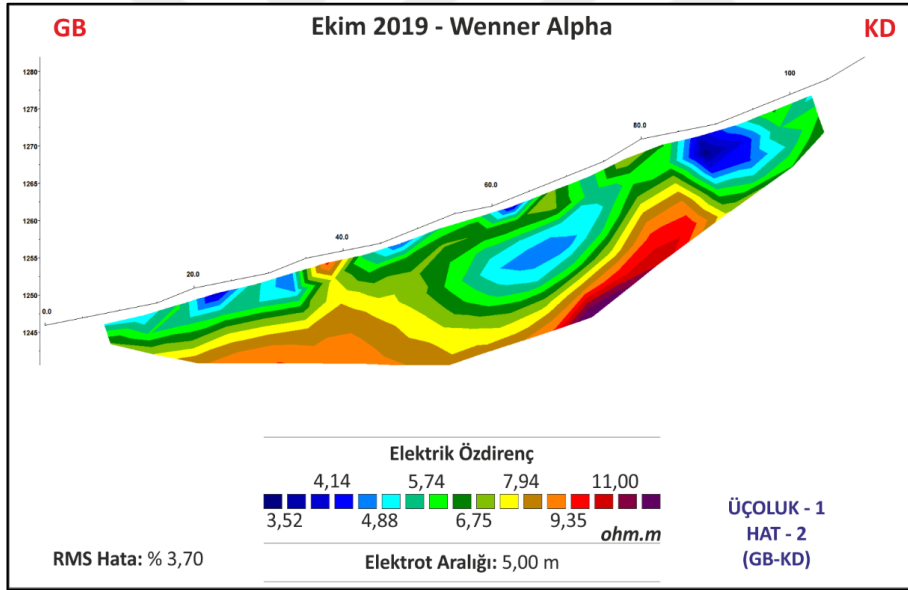
Şekil 4.47. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



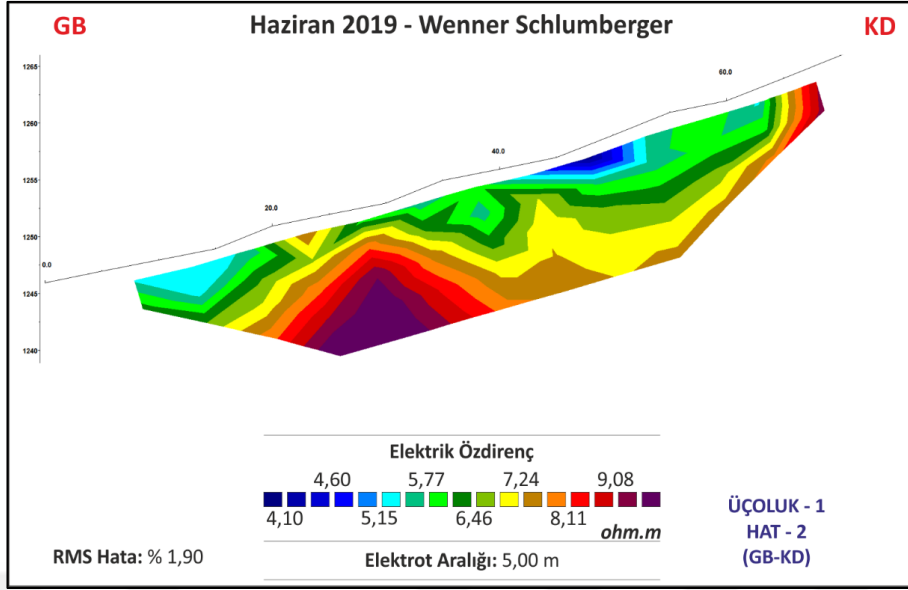
Şekil 4.48. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



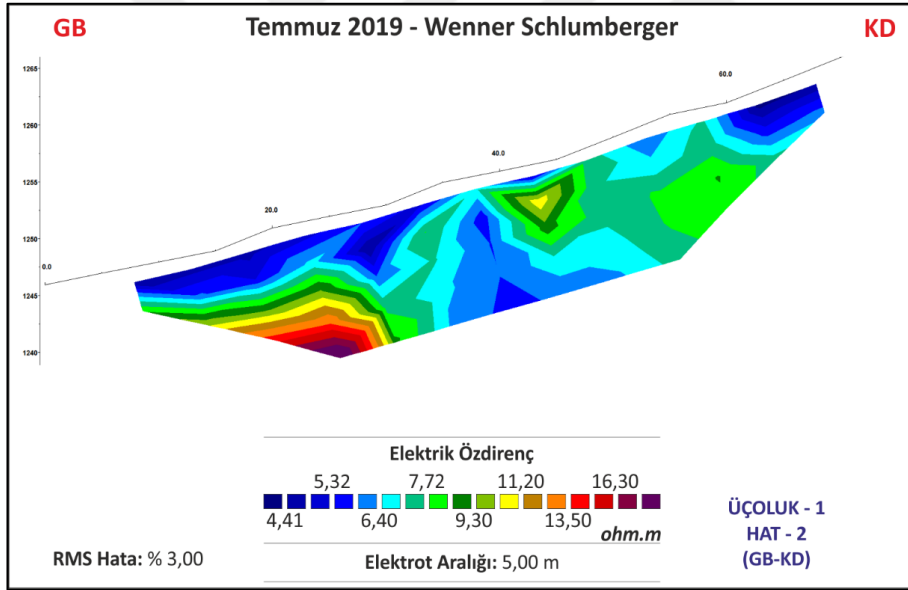
Şekil 4.49. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



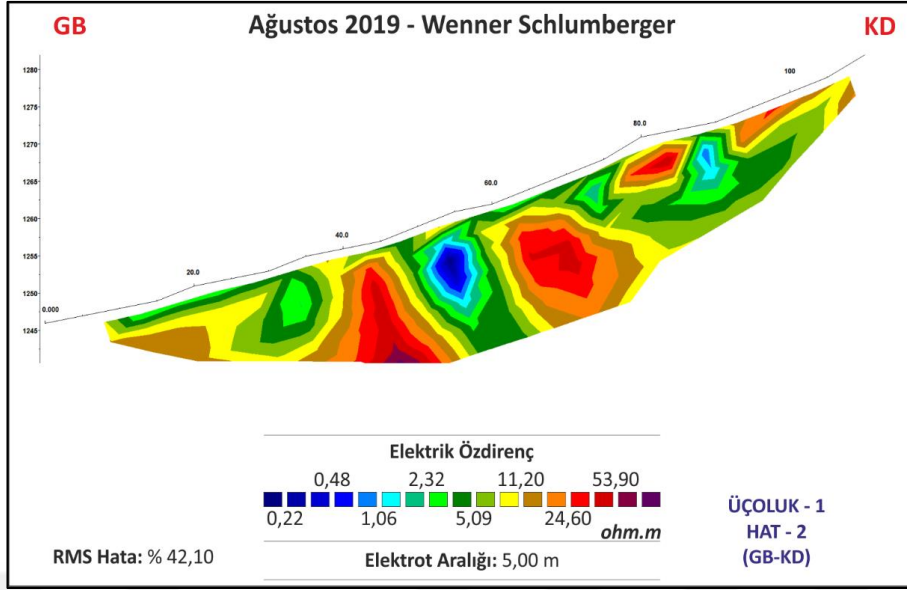
Şekil 4.50. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



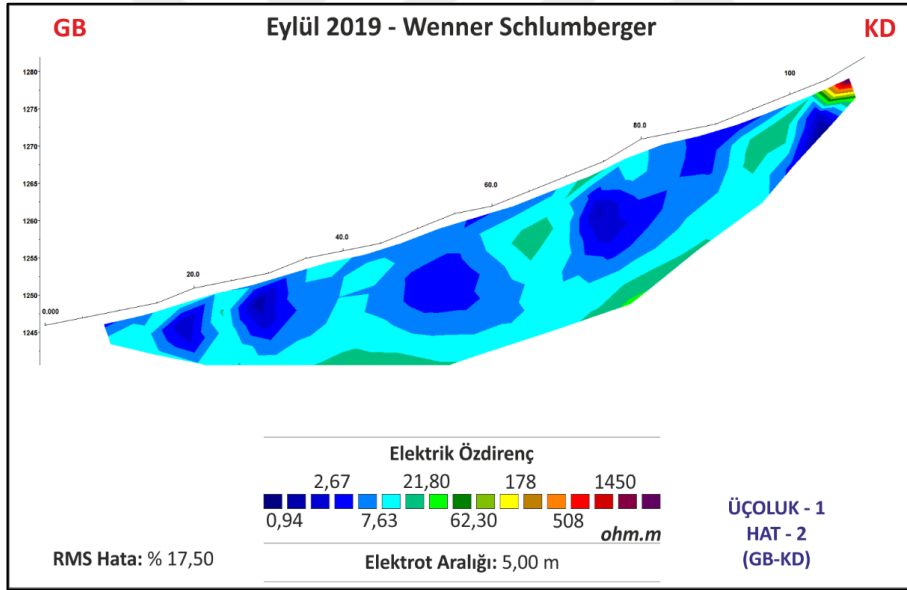
Şekil 4.51. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



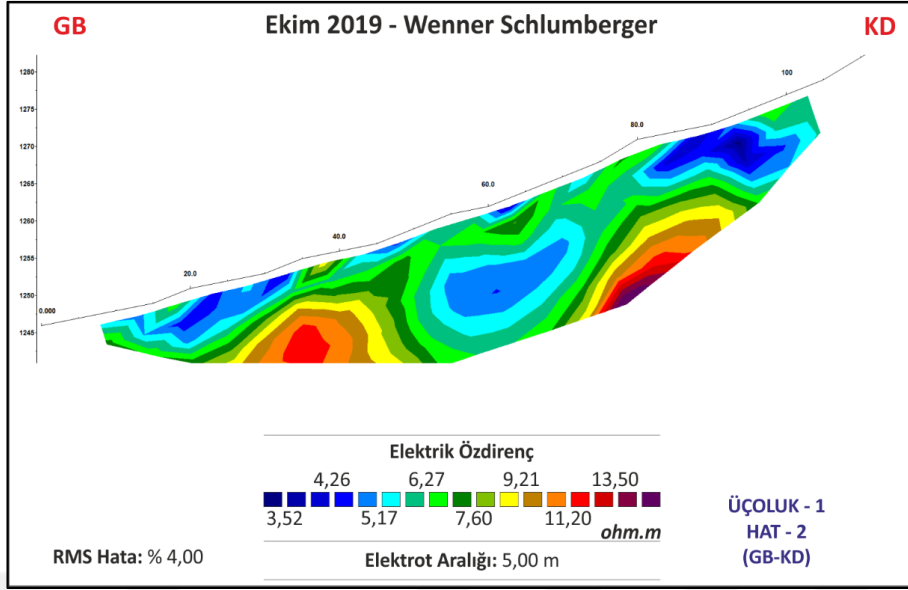
Şekil 4.52. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



Şekil 4.53. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



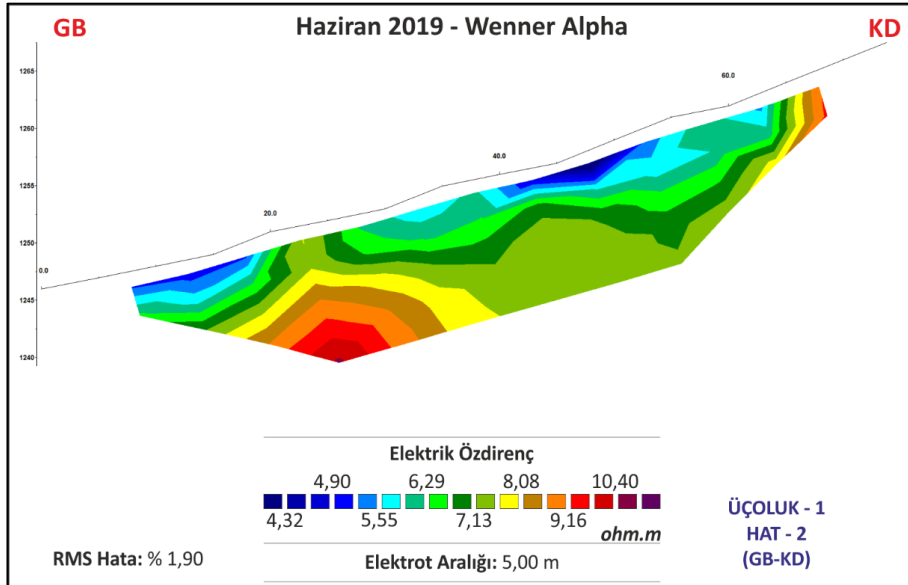
Şekil 4.54. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



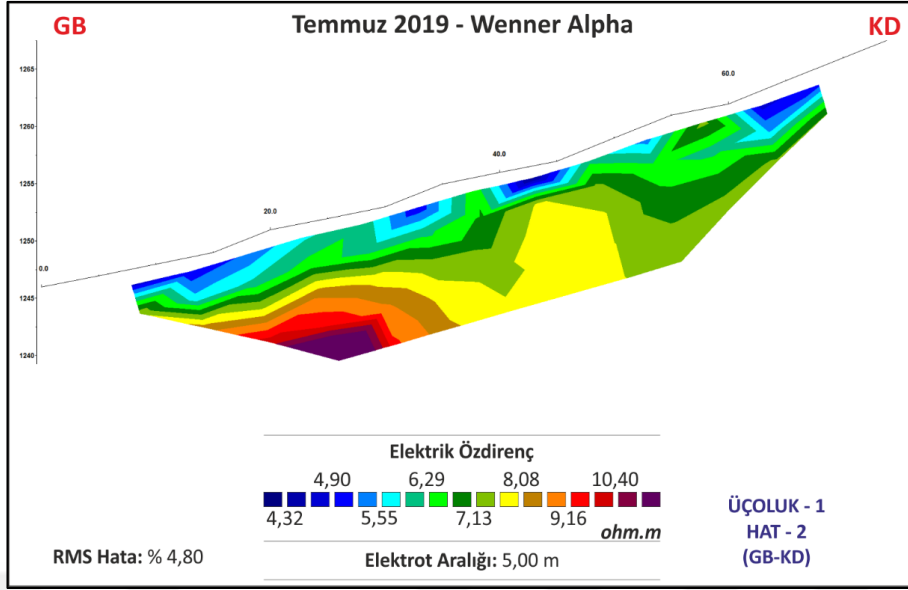
Şekil 4.55. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

4.1.2.3. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı topografik tl-ERT analizleri

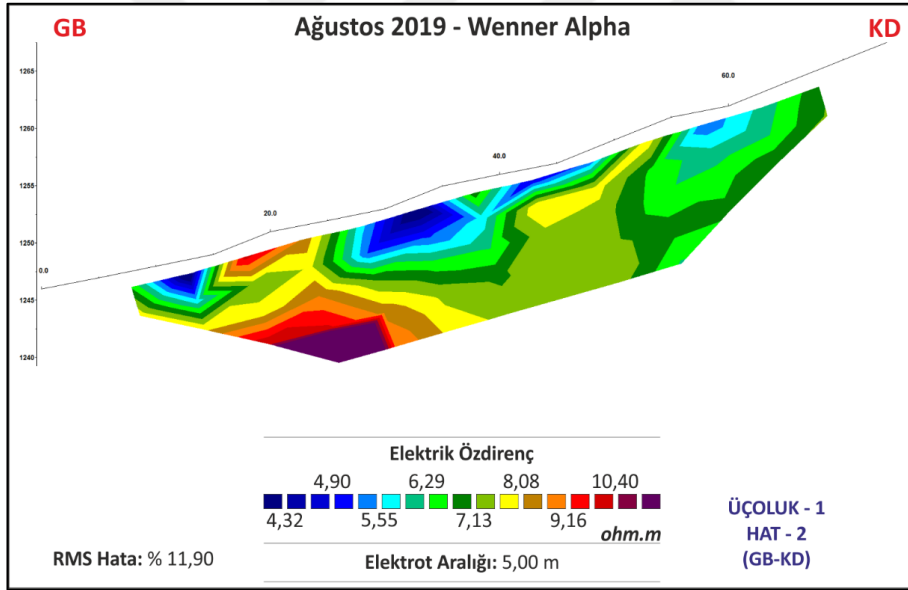
Analizleri ortak ölçek ile inceleyebilmek için GB-KD hattından elde edilen ve topografik değerlere sahip verilere yine yazılımın zaman atlamalı analizi uygulanmıştır. Topografya işlenmiş ve ortak analize tabi tutularak elde edilen modellenen değerlerin Wenner-Alpha sonuçları Şekil 4.56 - Şekil 4.60 arasında, Wenner-Schlumberger sonuçları ise Şekil 4.61 - Şekil 4.65 arasında gösterilmiştir.



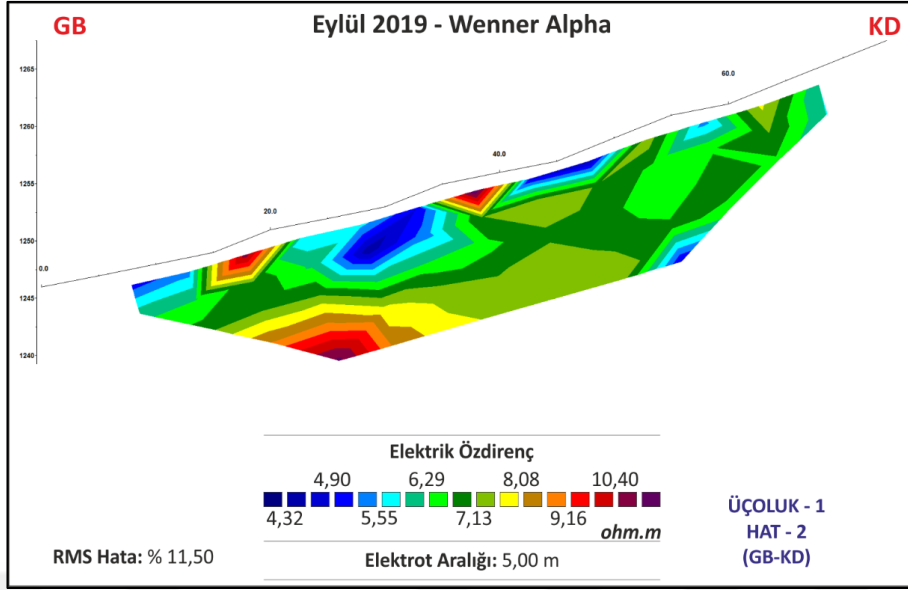
Şekil 4.56. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



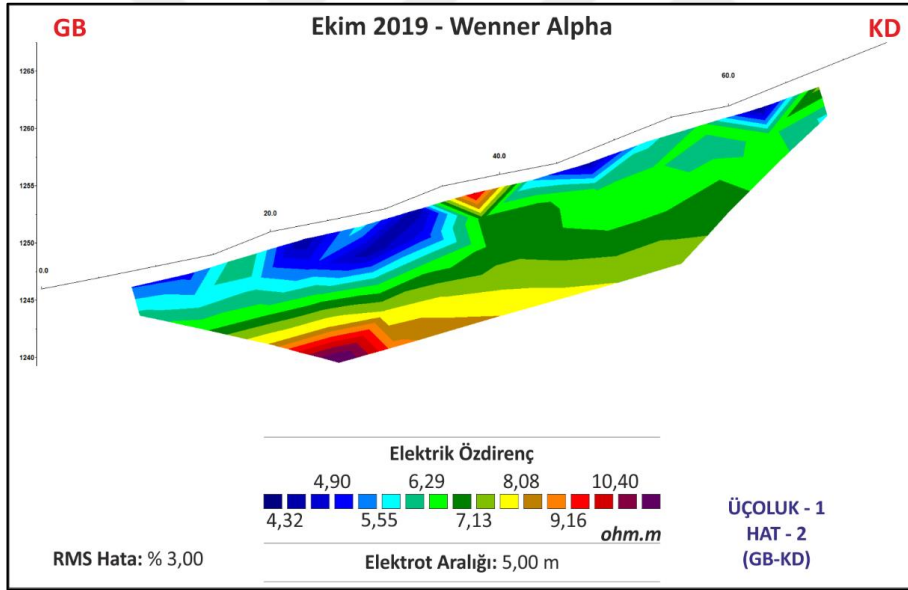
Şekil 4.57. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



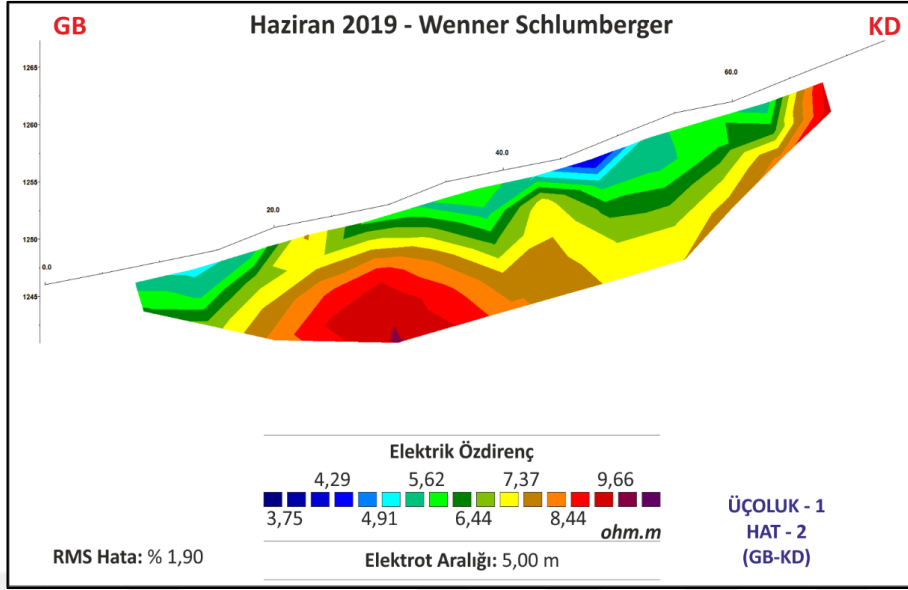
Şekil 4.58. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



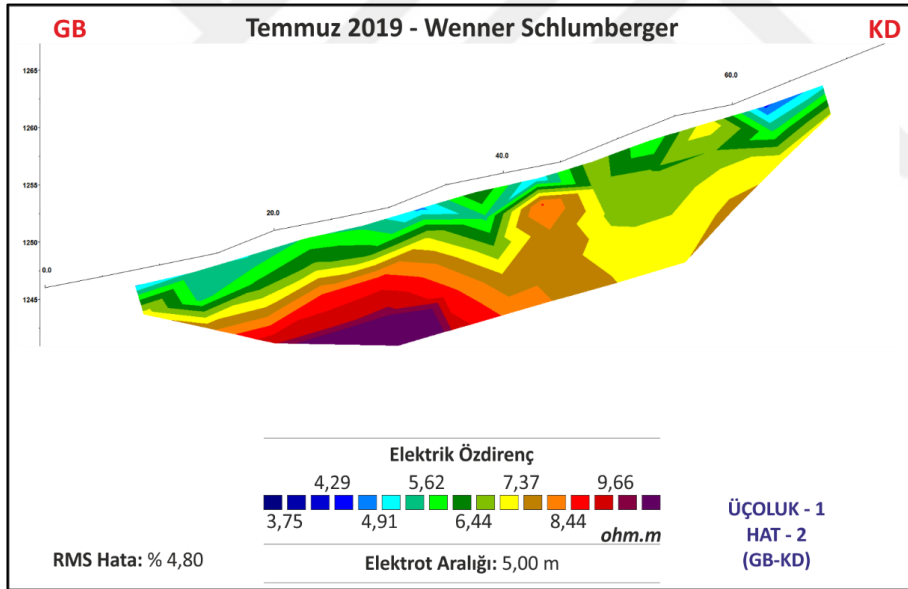
Şekil 4.59. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



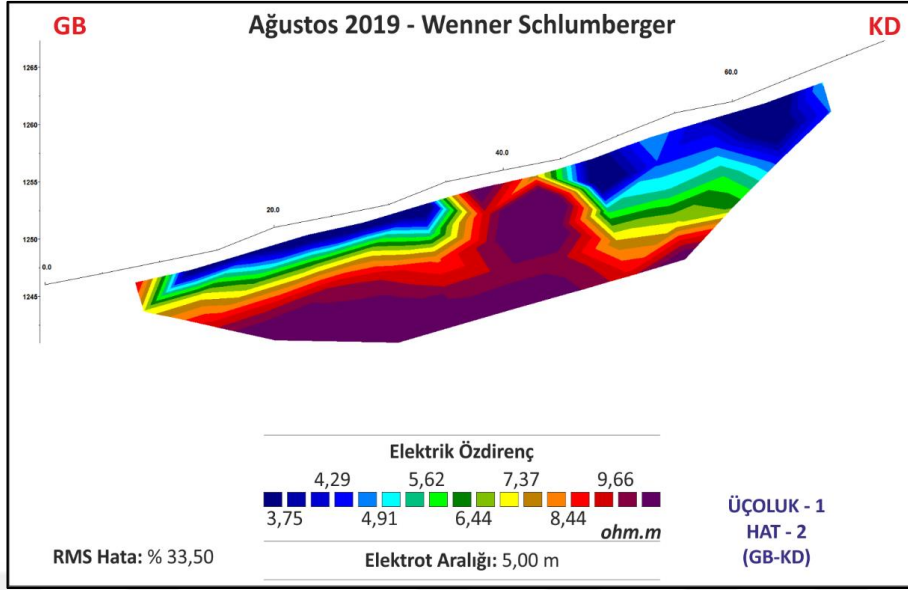
Şekil 4.60. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



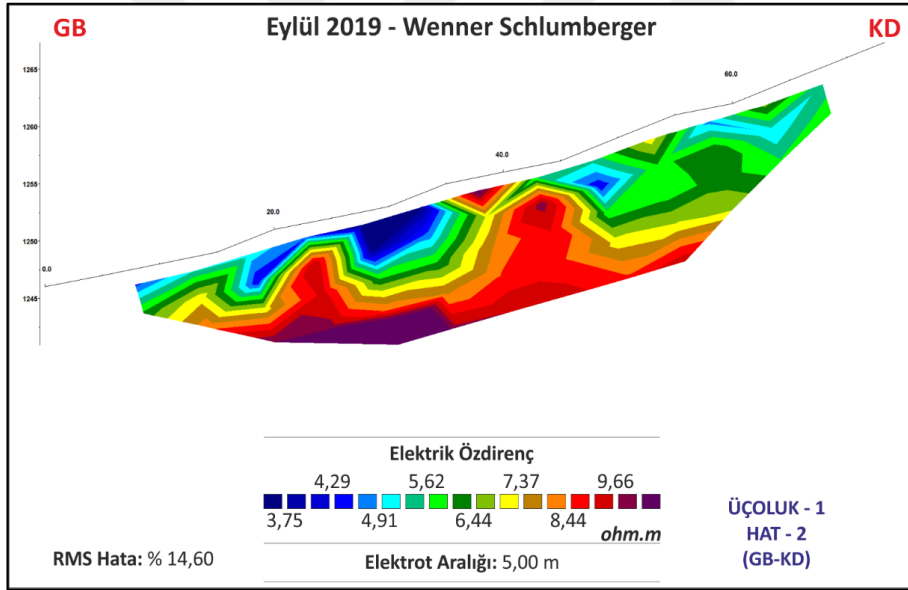
Şekil 4.61. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, haziran ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



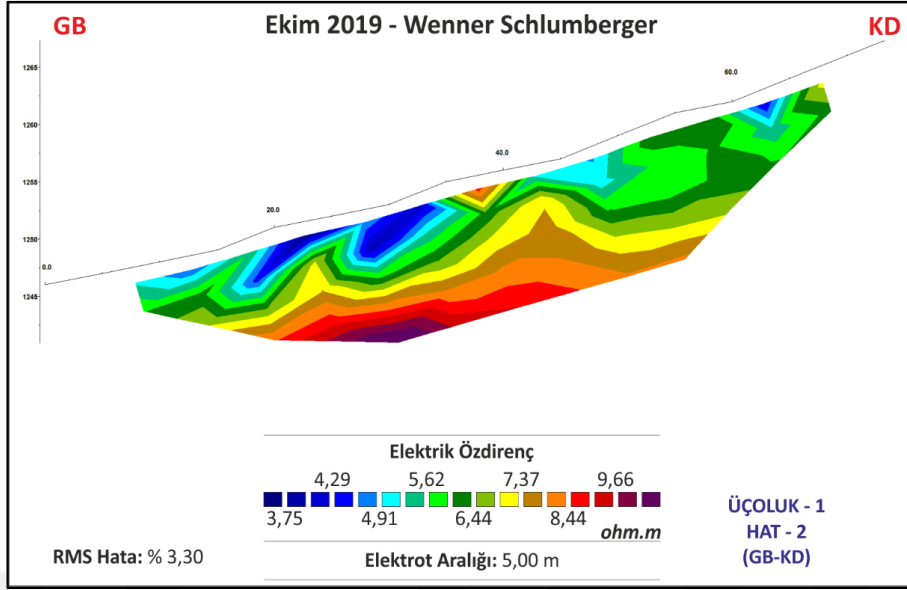
Şekil 4.62. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, temmuz ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



Şekil 4.63. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ağustos ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



Şekil 4.64. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

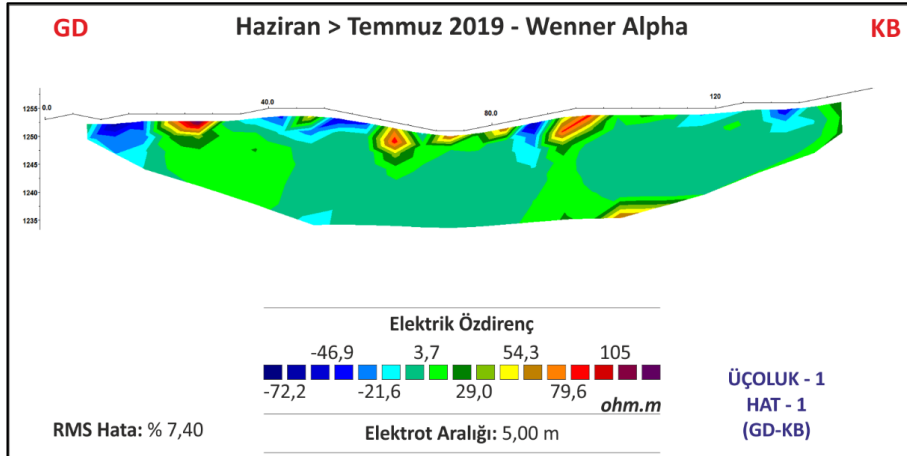


Şekil 4.65. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

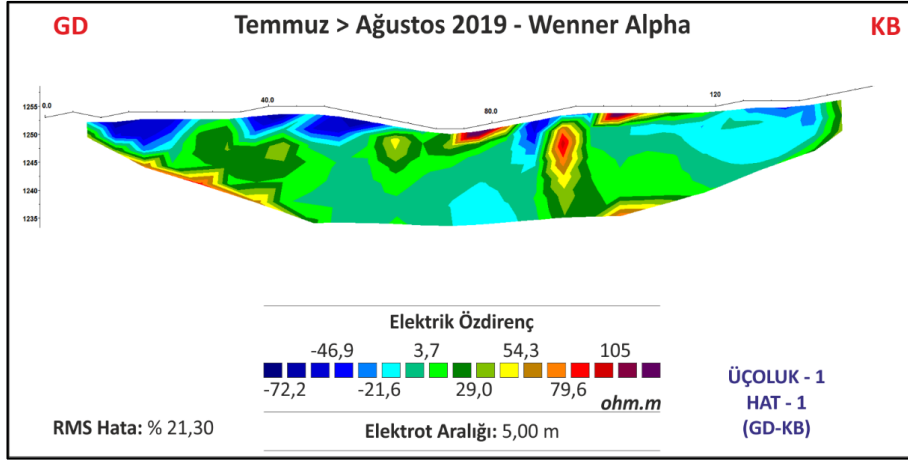
4.1.3. Üçoluk-1 heyelanı elektrik özdirenç değişimleri

4.1.3.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı elektrik özdirenç değişimleri

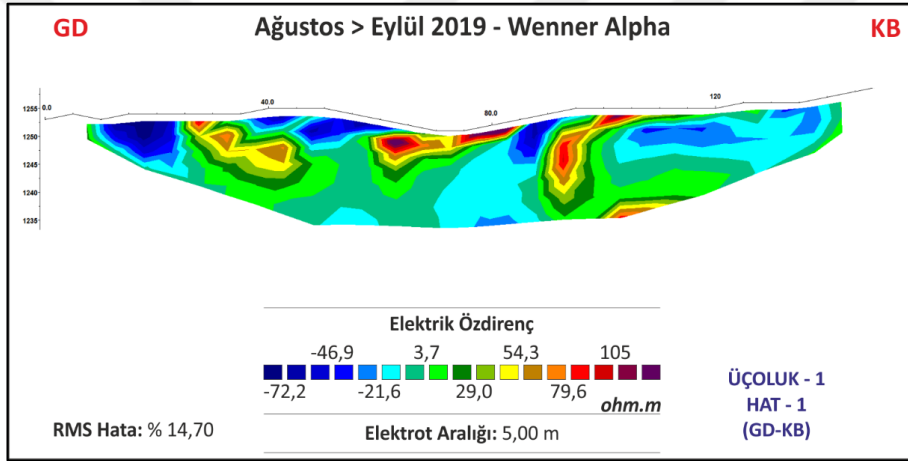
Son olarak ise modellenmiş verilerin zaman içindeki elektrik özdirenç değişimini ifade eden elektrik özdirenç yüzde değişimi modelleri elde edilmiştir. Bir ölçümün bir önceki aya göre değişimini ifade etmek için Üçoluk-1 heyelanının GD-KB hattında haziran-ekim ayları arasında gerçekleştirilen beş ölçüm için dört değişim aralığı elde edilmiştir. Wenner-Alpha ölçüm değişimleri Şekil 4.66 - Şekil 4.69 arasında, Wenner-Schlumberger ölçüm değişimleri ise Şekil 4.70 - Şekil 4.73 arasında gösterilmiştir.



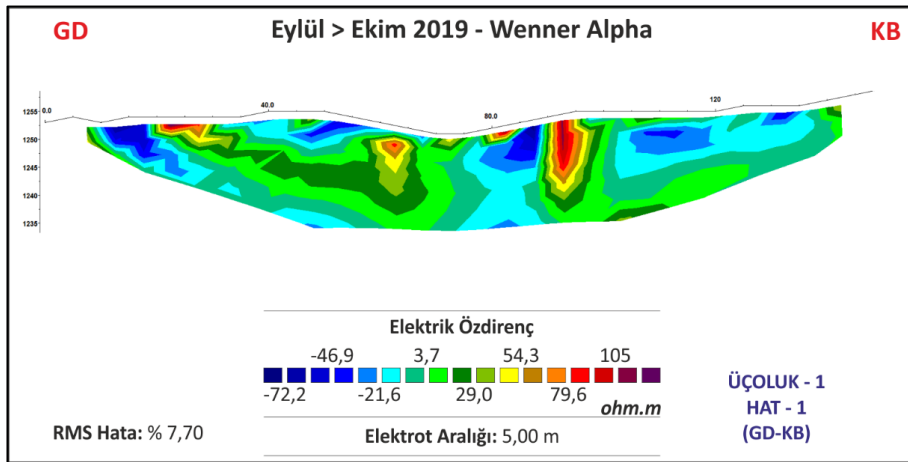
Şekil 4.66. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi haziran-temmuz elektrik özdirenç değişimi



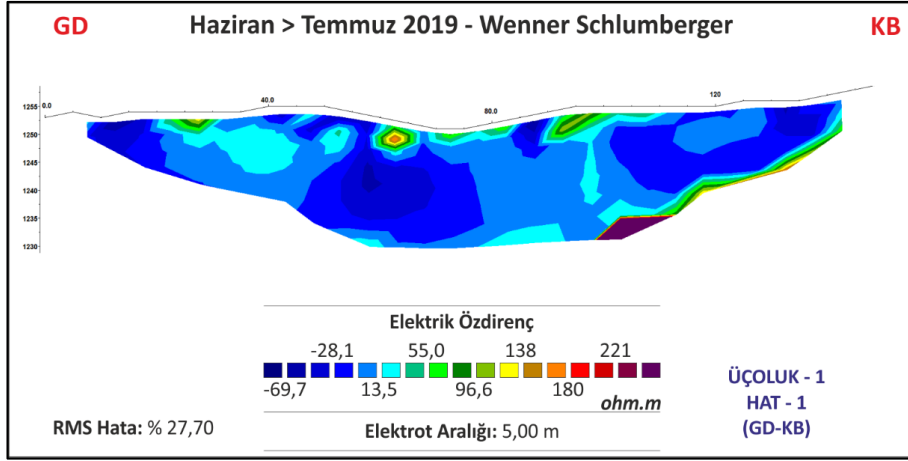
Şekil 4.67. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi temmuz-ağustos elektrik özdirenç değişimi



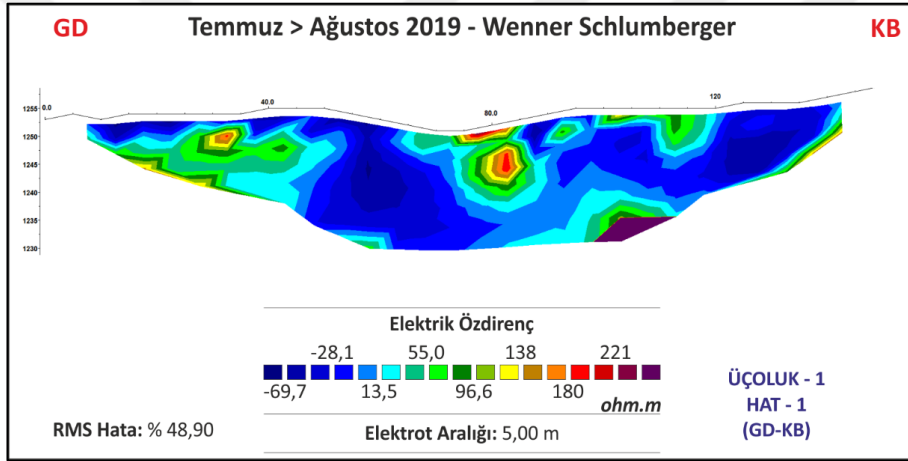
Şekil 4.68. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi



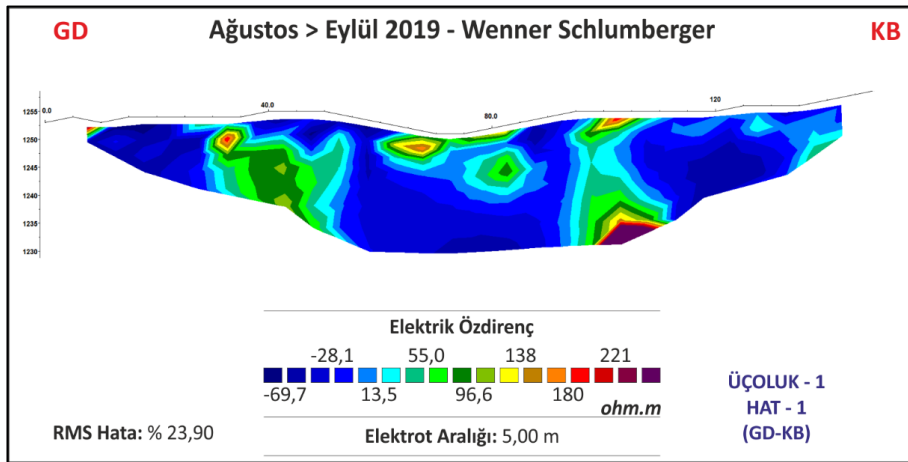
Şekil 4.69. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi



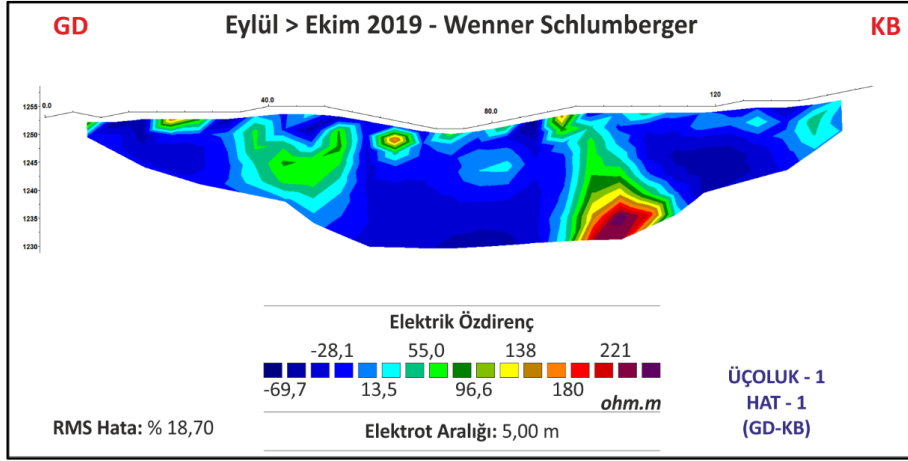
Şekil 4.70. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi haziran-temmuz elektrik özdirenç değişimi



Şekil 4.71. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi temmuz-ağustos elektrik özdirenç değişimi



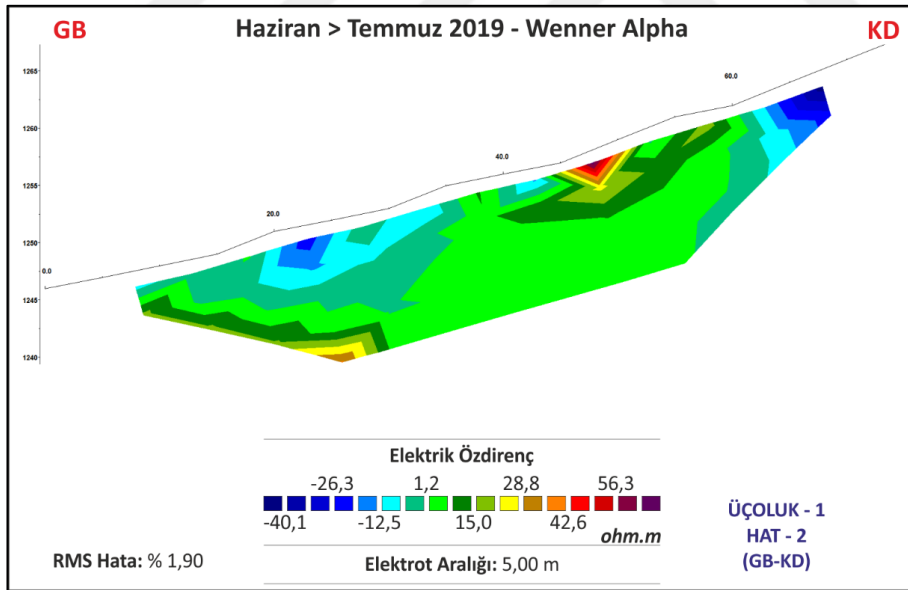
Şekil 4.72. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi



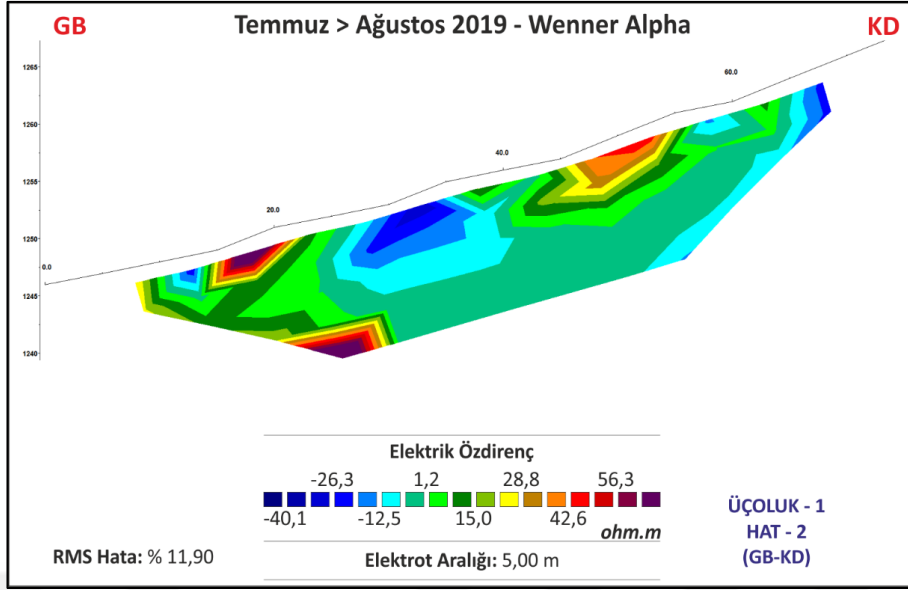
Şekil 4.73. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi

4.1.3.2. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı elektrik özdirenç değişimleri

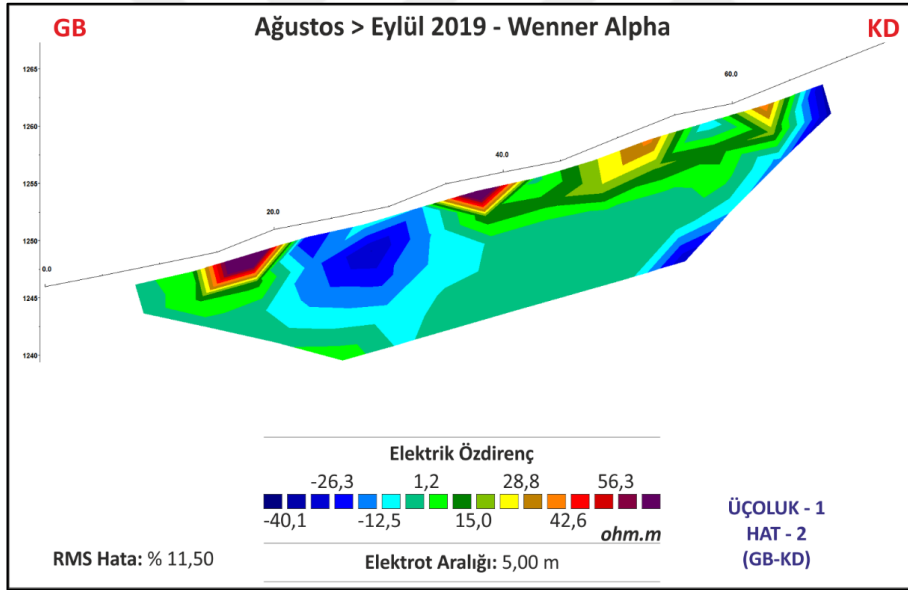
Üçoluk-1 heyelanının GB-KD hattında haziran-ekim ayları arasında gerçekleştirilen beş ölçüm için yine dört değişim aralığı elde edilmiştir. Wenner-Alpha ölçüm değişimleri Şekil 4.74 - Şekil 4.77 arasında, Wenner-Schlumberger ölçüm değişimleri ise Şekil 4.78 - Şekil 4.81 arasında gösterilmiştir.



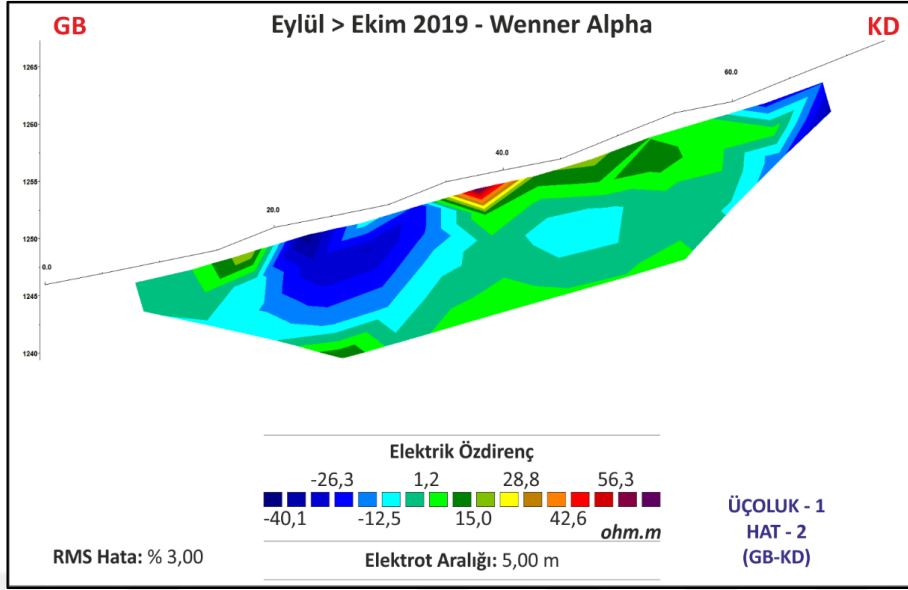
Şekil 4.74. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi haziran-temmuz elektrik özdirenç değişimi



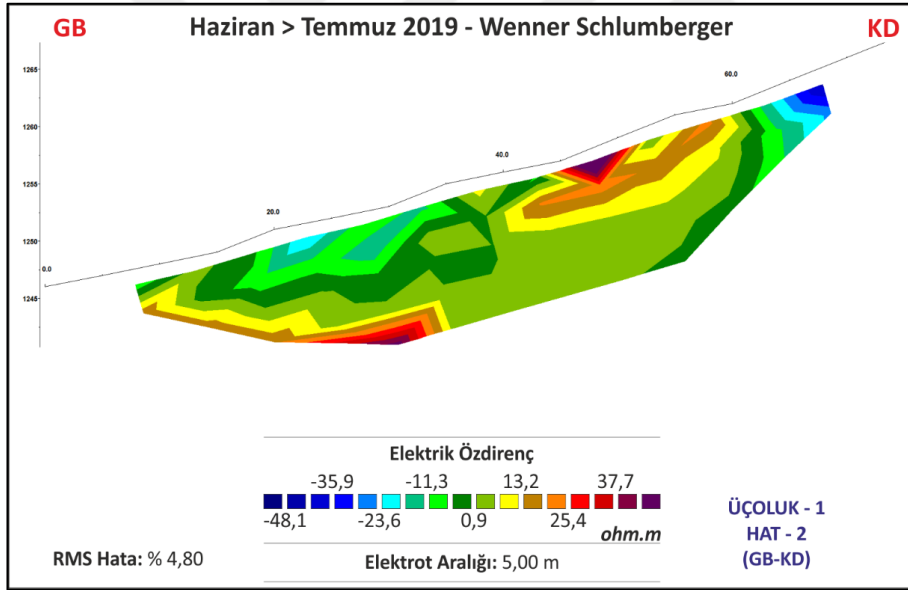
Şekil 4.75. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi temmuz-ağustos elektrik özdirenç değişimi



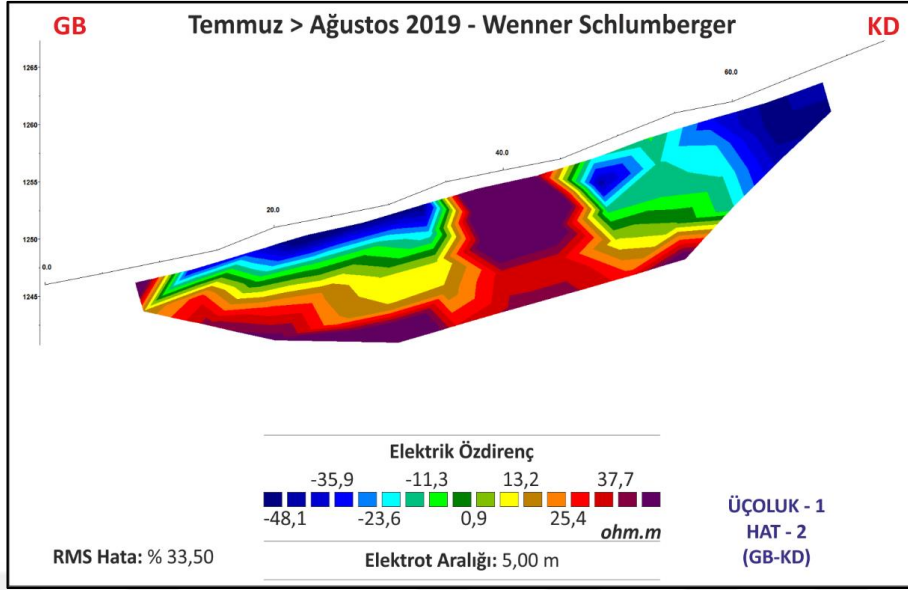
Şekil 4.76. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi



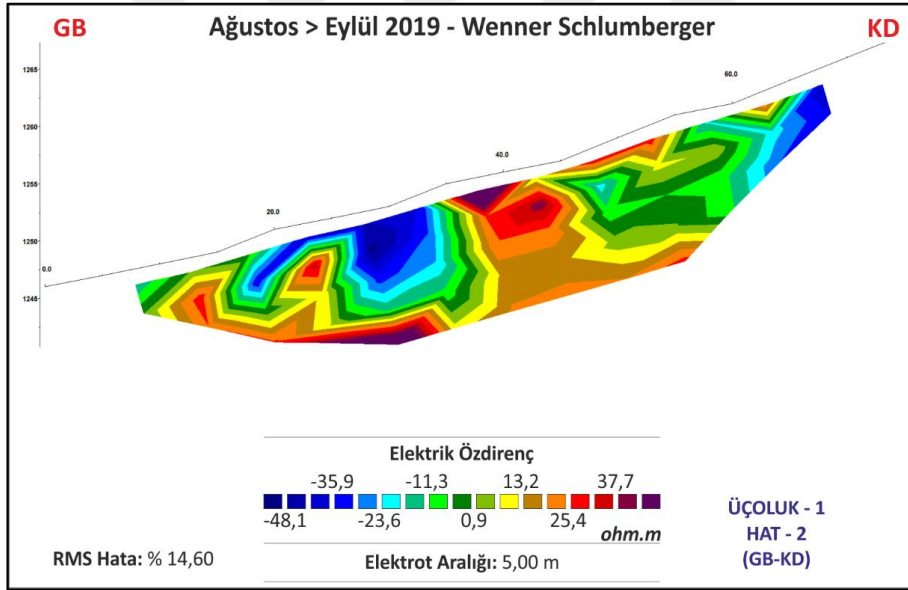
Şekil 4.77. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi



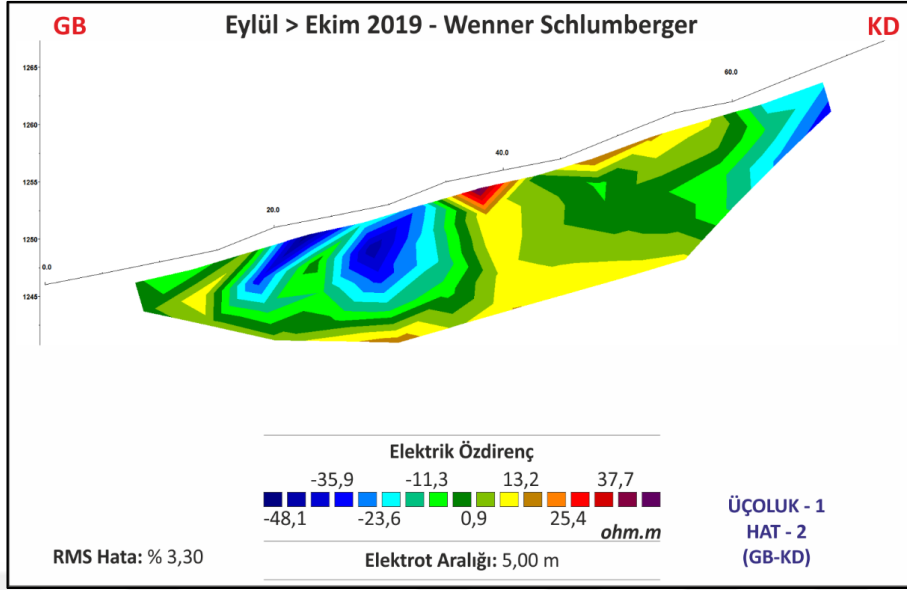
Şekil 4.78. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi haziran-temmuz elektrik özdirenç değişimi



Şekil 4.79. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi temmuz-ağustos elektrik özdirenç değişimi



Şekil 4.80. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi ağustos-eylül elektrik özdirenç değişimi



Şekil 4.81. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi

4.2. Üçoluk-2 Heyelanı

Üçoluk-1 heyelana göre daha küçük yayımlı ancak daha yüksek topografik eğime sahip olan Üçoluk-1 heyelanında kuzeyden güneye doğru bir kayma gözlenmektedir (Şekil 4.82).

4.2.1. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı ERT analizleri

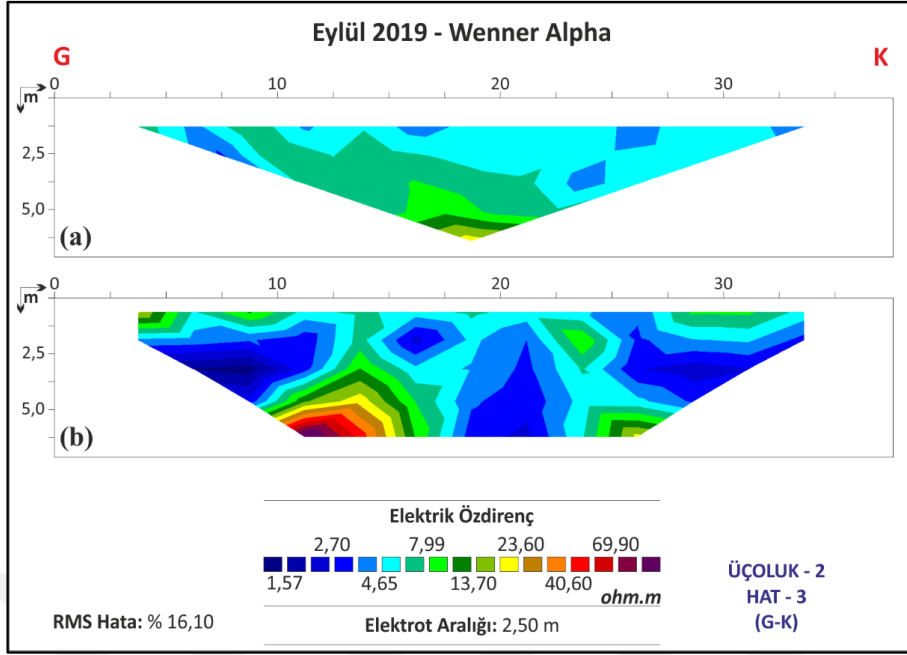
Üçoluk-2 heyelanında güneyden kuzeye doğru serilen elektrotlar ile kayma yönüne paralel olarak ölçümler gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.83). Topografyadan bağımsız olarak ölçülen ve modellenen değerleri elde edebilmek için uygulanan analizler ile elde edilen Wenner-Alpha ölçüm sonuçları Şekil 4.84 ve Şekil 4.85 ile, Wenner-Schlumberger ölçüm sonuçları ise Şekil 4.86 ve Şekil 4.87 ile gösterilmiştir.



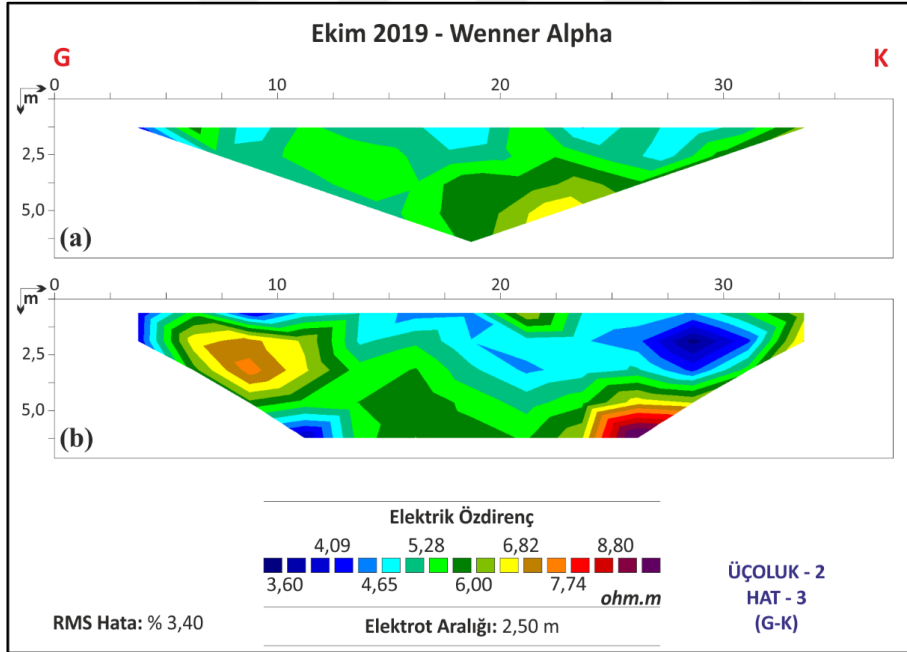
Şekil 4.82. Üçoluk-2 heyelanında gözlenen tali heyelan aynaları



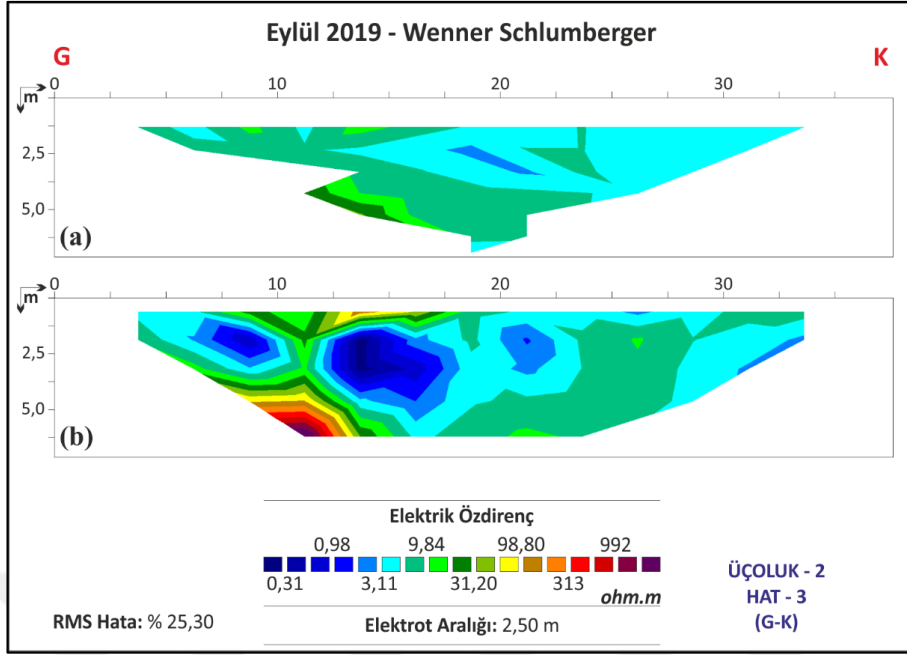
Şekil 4.83. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattındaki elektrotların serimi



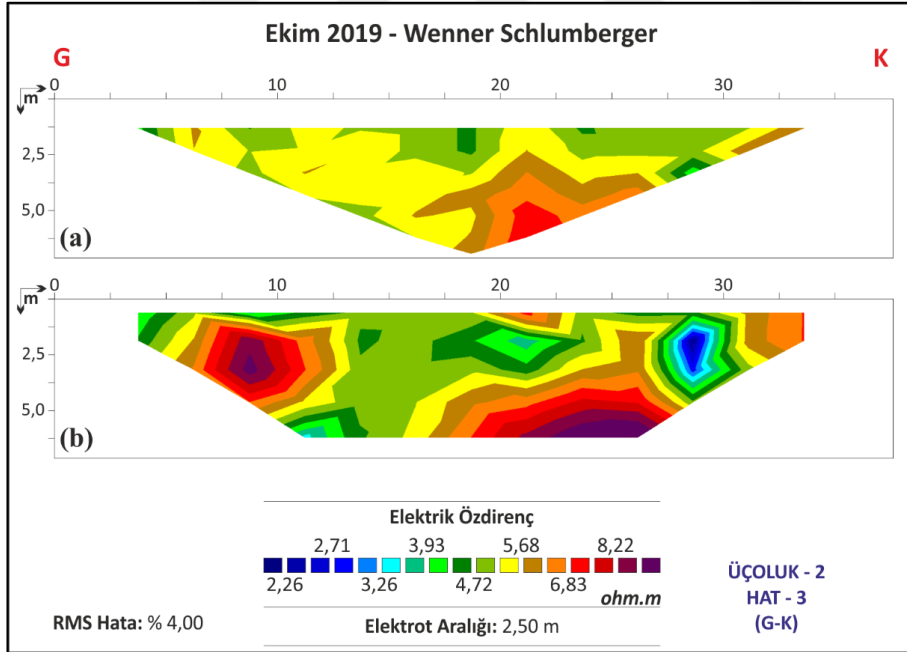
Şekil 4.84. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları
a) ölçülen; b) modellenen değerler



Şekil 4.85. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait Wenner-Alpha analiz sonuçları
a) ölçülen; b) modellenen değerler



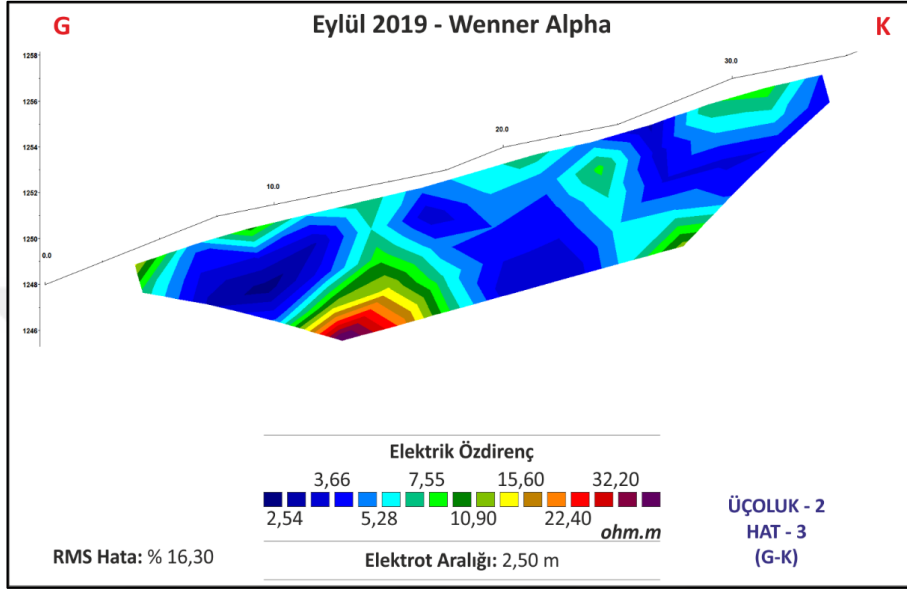
Şekil 4.86. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler



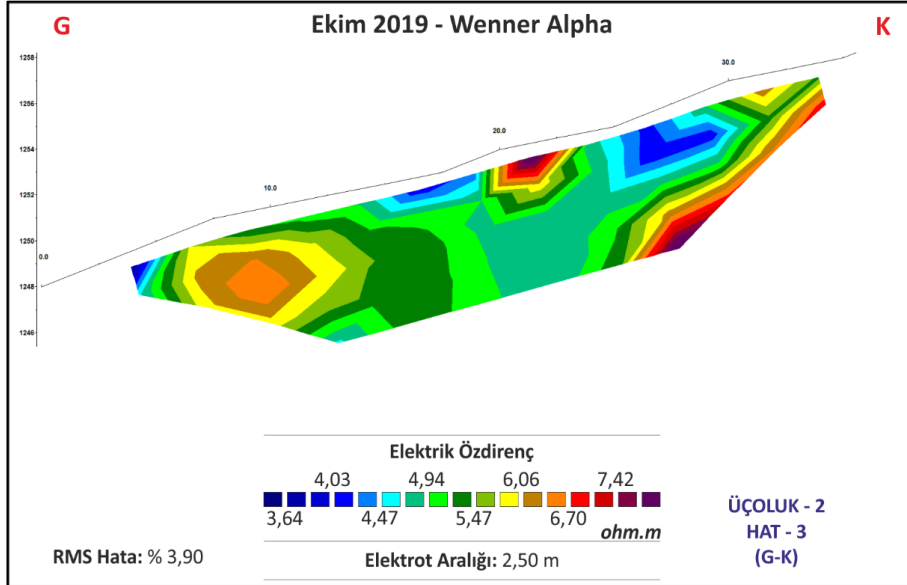
Şekil 4.87. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait Wenner-Schlumberger analiz sonuçları **a)** ölçülen; **b)** modellenen değerler

4.2.2. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı topografik ERT analizleri

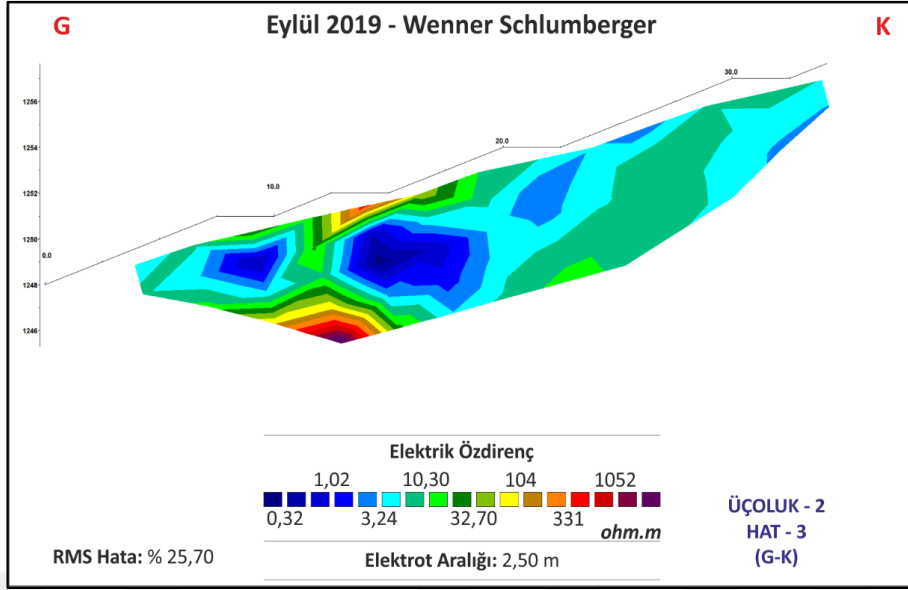
Üçoluk-2 heyelanında G-K hattındaki her elektrota ait yükselti değerleri veri dosyasına işlenmiş ve yükselti içeren veriler tekrar modellenmiştir. Topografya işlenmiş olan modellenen değerleri elde edebilmek için yapılan bu analiz ile bulunan Wenner-Alpha sonuçları Şekil 4.88 ve Şekil 4.89 ile Wenner-Schlumberger sonuçları ise Şekil 4.90 ve Şekil 4.91 ile gösterilmiştir.



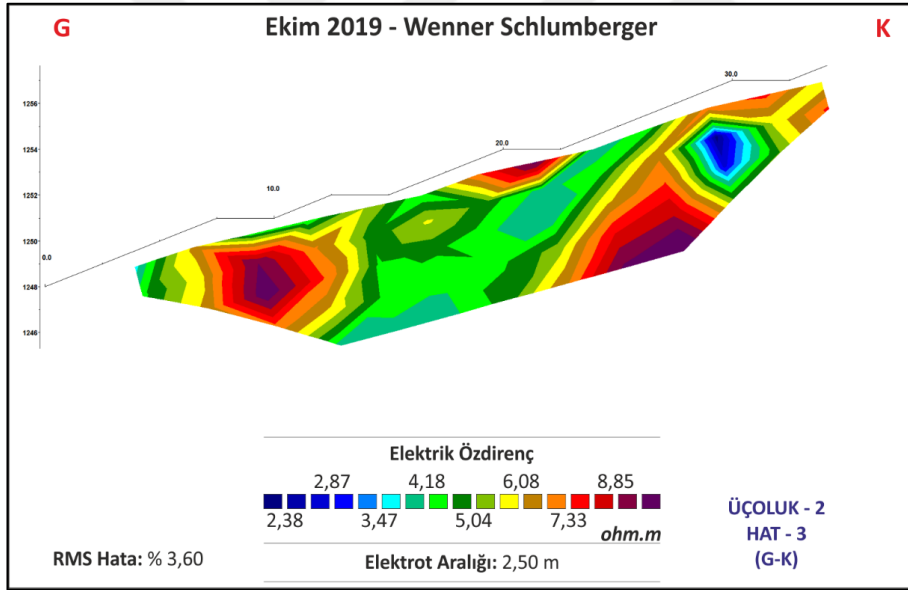
Şekil 4.88. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



Şekil 4.89. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Alpha analiz sonuçları



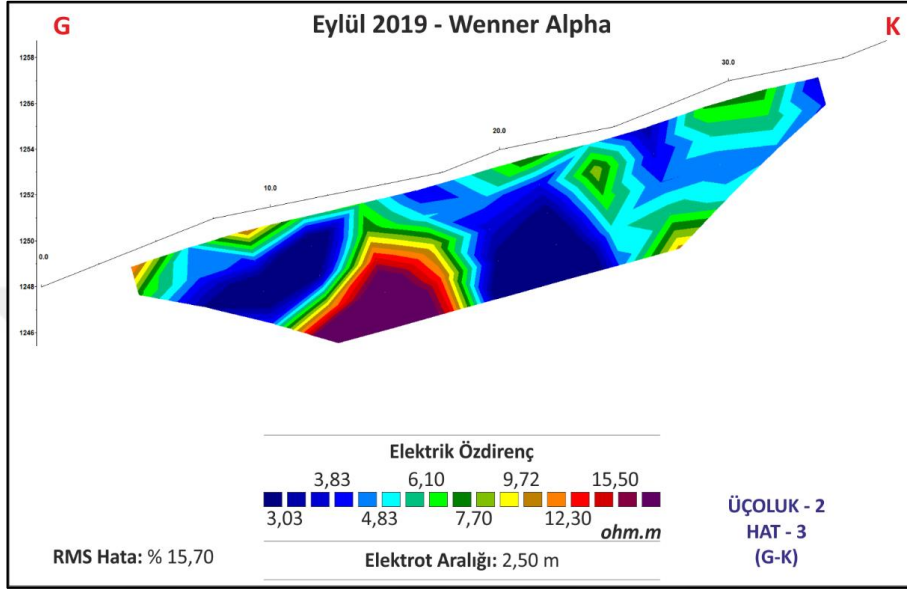
Şekil 4.90. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



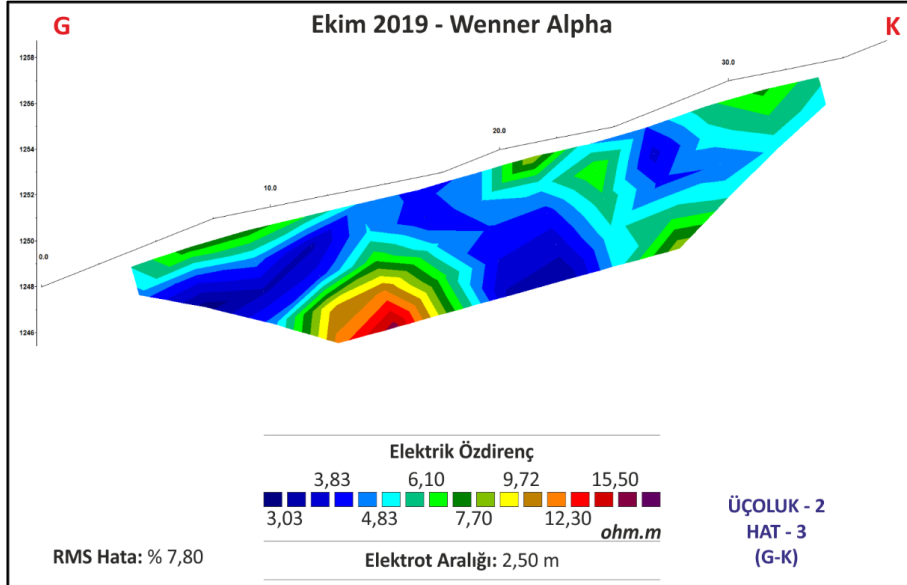
Şekil 4.91. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

4.2.3. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı topografik tl-ERT analizleri

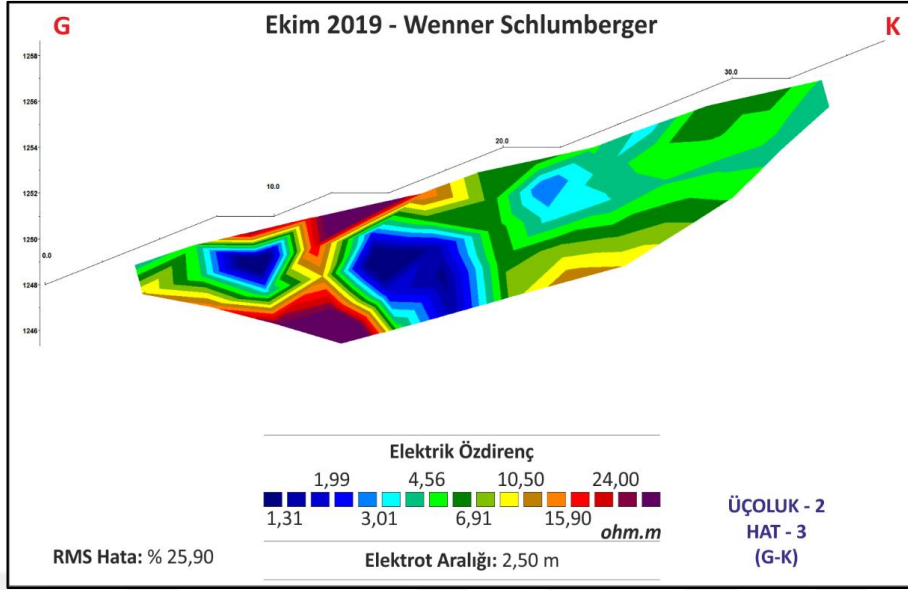
Sonuçları ortak ölçek ile inceleyebilmek için ölçüm hattından elde edilen ve topografik değerleri işlenmiş verilere zaman atlamalı analiz uygulanmıştır. Topografya işlenmiş ve ortak analize tabi tutularak elde edilen modellenen değerlerin Wenner-Alpha sonuçları Şekil 4.92 ve Şekil 4.93 ile Wenner-Schlumberger sonuçları ise Şekil 4.94 ve Şekil 4.95 ile gösterilmiştir.



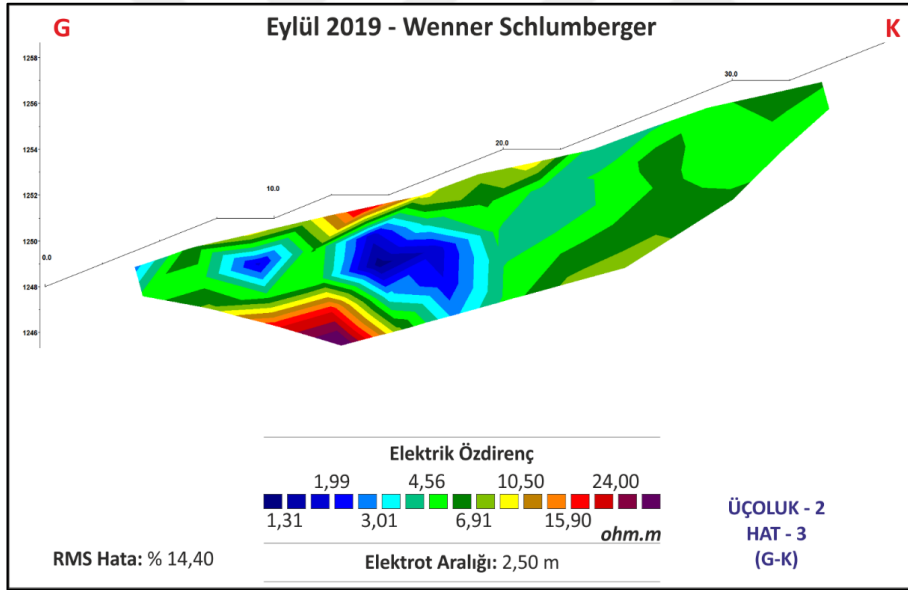
Şekil 4.92. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



Şekil 4.93. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analiz sonuçları



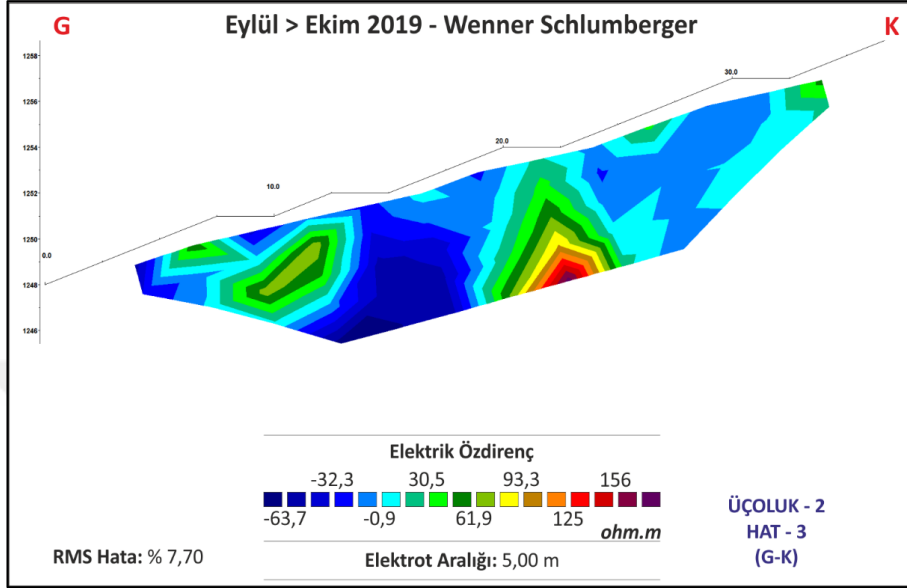
Şekil 4.94. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, eylül ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları



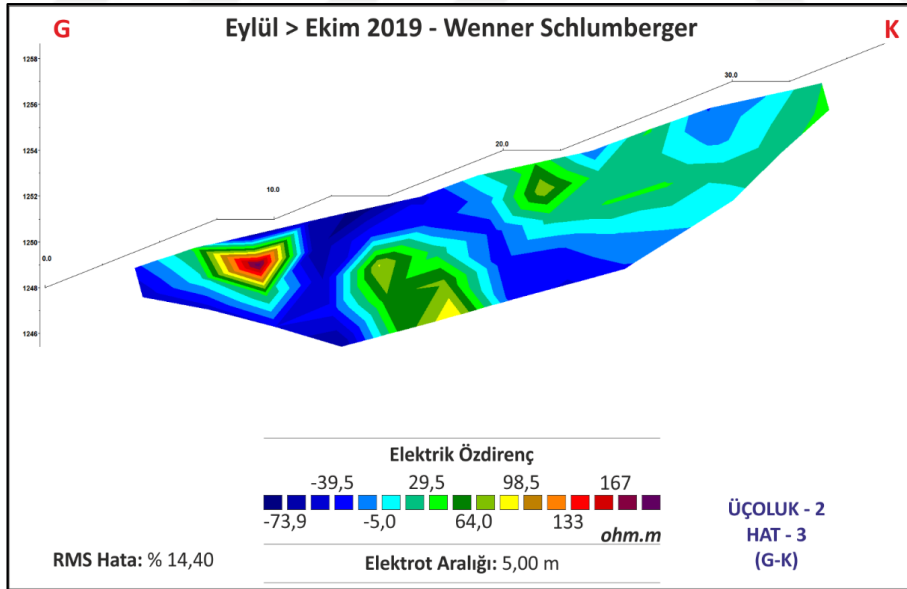
Şekil 4.95. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, ekim ayına ait topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analiz sonuçları

4.2.4. Üçoluk-2 heyelanı elektrik özdirenç değişimleri

Üçoluk-2 heyelanında eylül ve ekim aylarında gerçekleştirilen iki ölçüm için tek değişim aralığı elde edilmiştir. Wenner-Alpha ölçüm değişimi Şekil 4.96'da, Wenner-Schlumberger ölçüm değişimi ise Şekil 4.97'de gösterilmiştir.



Şekil 4.96. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Alpha analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi

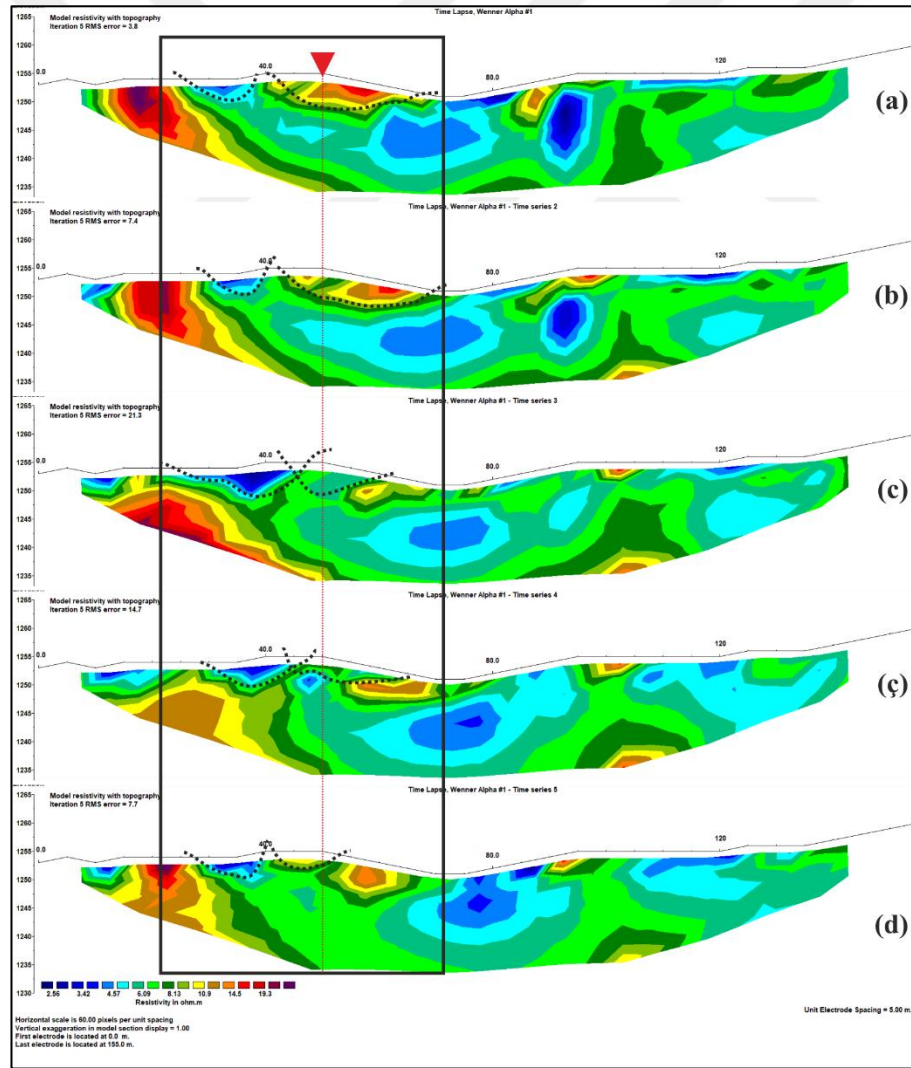


Şekil 4.97. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı, topografik zaman atlamalı Wenner-Schlumberger analizi eylül-ekim elektrik özdirenç değişimi

5. TARTIŞMA

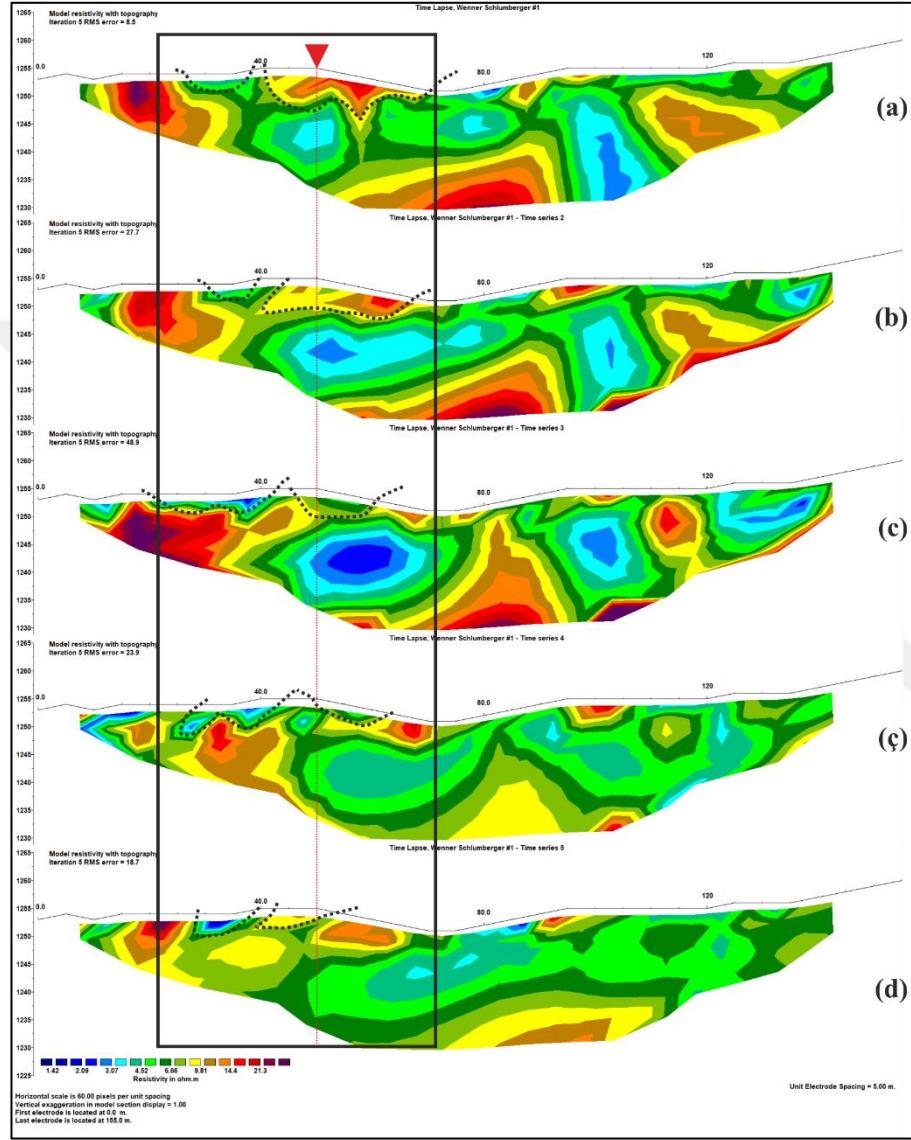
Üçoluk-1 heyelanı kompleks yapısı sebebiyle elektrik özdirenç sonuçlarında da bu karmaşıklığı göstermektedir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de GD-KB hattına ait beş aylık ölçümler; siyah noktalı çizgiler ile belirtilen elektrik özdirenç değişim sınırları ile, kırmızı üçgen ve çizgi ile belirtilen ölçüm çakışma noktası ile ve siyah dikdörtgenle belirtilen inceleme aralığı ile birlikte gösterilmiştir.

Haziran ayı Wenner-Alpha çalışmalarında GD-KB hattı (uzun hat) boyunca yapılan ölçümlerde 30-40 metre aralığında düşük elektrik özdirenç (< 4 ohm.metre) değerleri gözlenirken GB-KD hattı (kısa hat) ile çakışan nokta ve çevresinde, etrafına göre yüksek elektrik özdirenç (> 10 ohm.metre) değerleri tespit edilmiştir (Şekil 5.1a). Çakışma noktası ve çevresinde, zamana bağlı olarak ortalama 15 metre genişliğe ve yaklaşık 5 metrelik derinliğe sahip alanda elektrik özdirenç düşümü gözlenmekte ve bu durum da bu alana dik olarak ilerleyen bir yamaç hareketinin varlığını belirtmektedir (Şekil 5.1b-d).



Şekil 5.1. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı Wenner-Alpha diziliminin zamansal yorumu
a) haziran; b) temmuz c) ağustos; ç) eylül; d) ekim

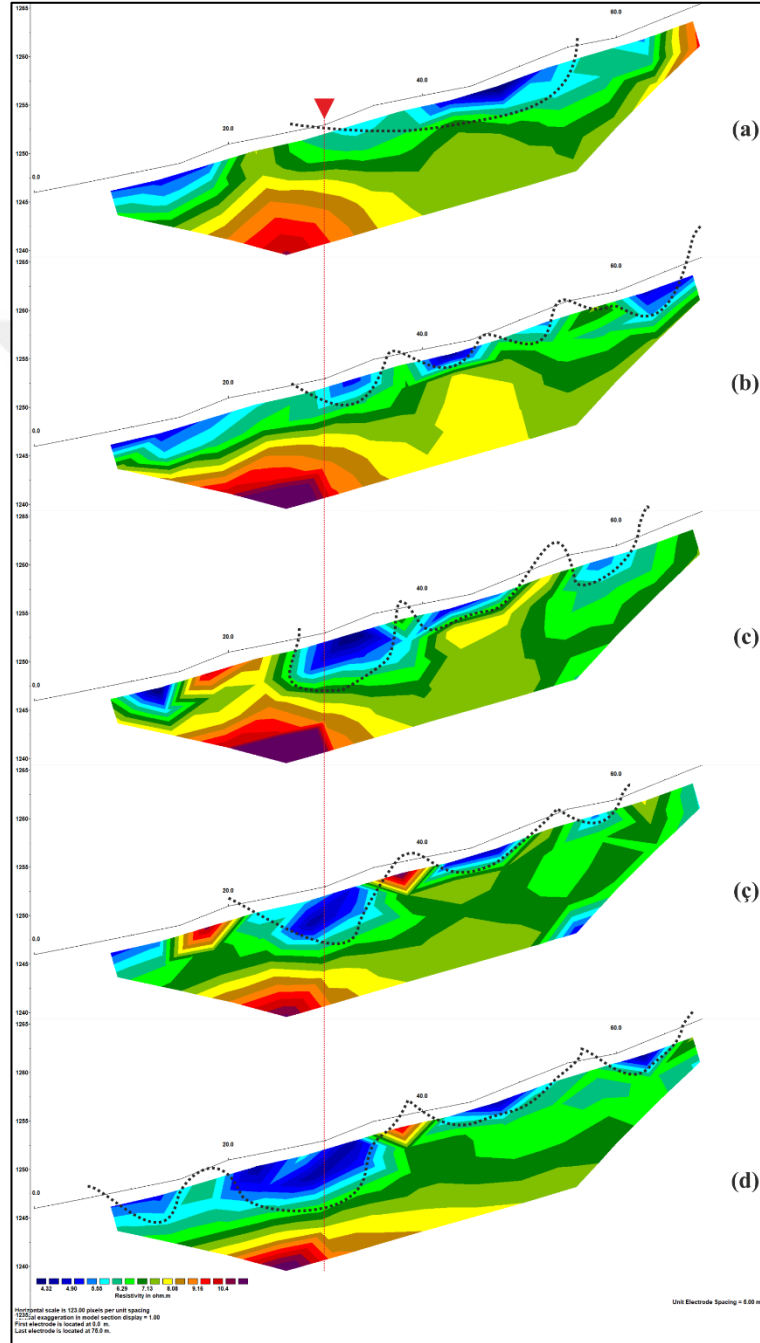
Wenner-Alpha çalışmaları ile benzer şekilde Wenner-Schlumberger ölçümlerinde de haziran ayındaki yüksek elektrik öz direnç değerleri ile başlayan değişim takip eden aylarda Wenner-Alpha ölçümlerine göre biraz daha sık (< 5 m) şekilde kendini göstermektedir (Şekil 5.2a-d). İlgili derinliklerdeki birimlerin artan su içeriği elektrik öz direnç değerlerinde azalmaya sebep olmakta bu sebeple dayanımı azalan malzemede bir hareket olduğu söylenebilmektedir.



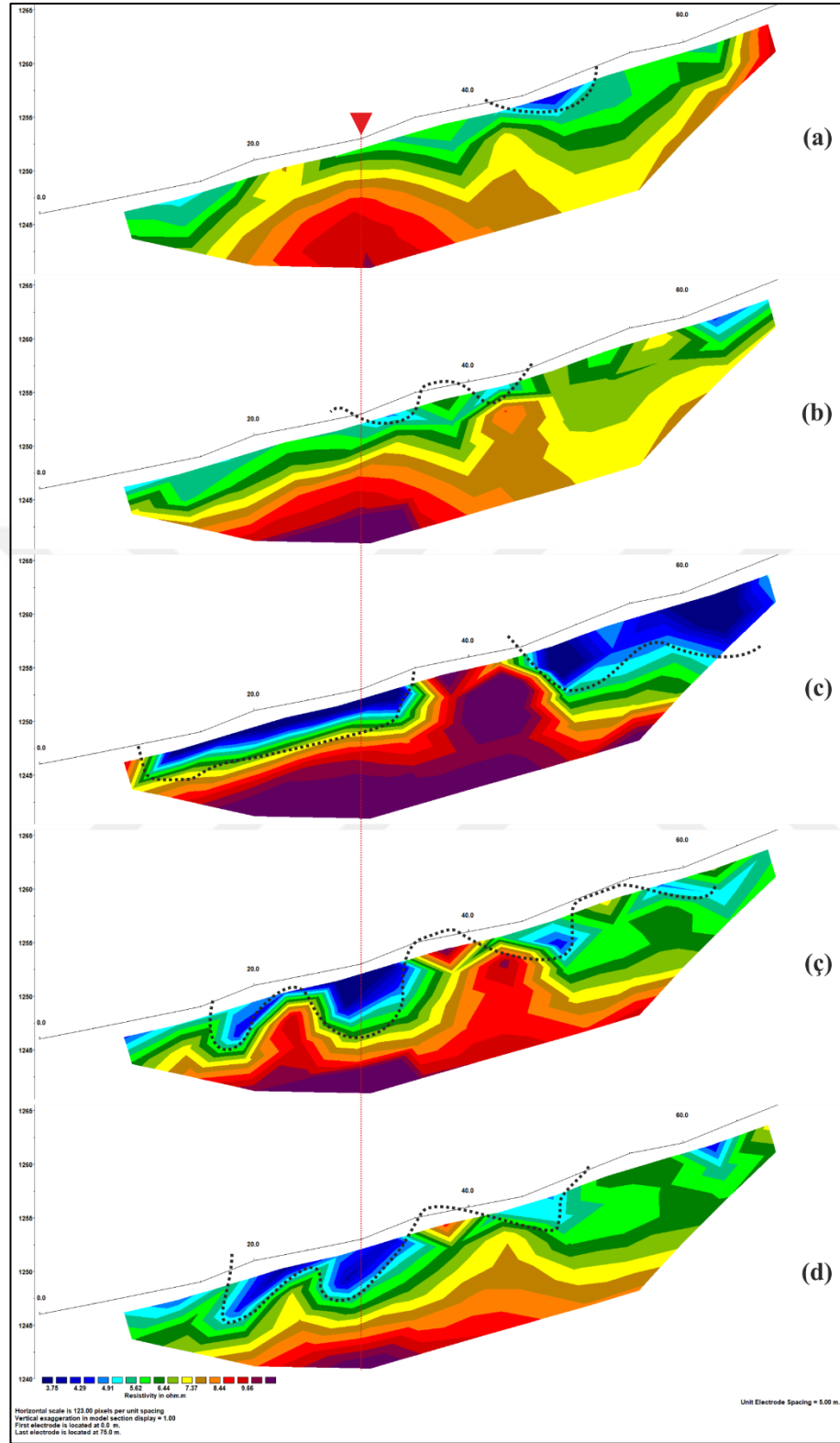
Şekil 5.2. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı Wenner-Schlumberger diziliminin zamansal yorumu **a)** haziran; **b)** temmuz **c)** ağustos; **ç)** eylül; **d)** ekim

Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı, ilk hatta göre kısa olarak analiz edilmiş, yaklaşık 15 metre derinliğe kadar analiz sonucu elde edilebilmiştir. İlk hattaki gösterimlere benzer şekilde GB-KD hattına ait beş aylık ölçümler de siyah noktalı çizgiler ile belirtilen elektrik öz direnç değişim sınırları ile, kırmızı üçgen ve çizgi ile belirtilen ölçüm çakışma noktası ile ve siyah dikdörtgenle belirtilen inceleme aralığı ile gösterilmiştir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).

GB-KD hattında yapılan hem Wenner-Alpha (Şekil 5.3) hem de Wenner-Schlumberger (Şekil 5.4) analizlerinden, ilksel kaymanın heyelanın tepesine yakın noktadan başladığı düşük elektrik öz direnç değerleri ile tahmin edilmiştir. Zamana bağlı olarak da kayma yüzeyinin ölçüm başlangıç noktasına doğru ilerlediği, önce sıgı olarak gözlenen kayma yüzeyinin (Şekil 5.3a-b ve Şekil 5.4a-c) ekim ayına doğru derine indiği gözlenmektedir (Şekil 5.3c-d ve Şekil 5.4ç-d).



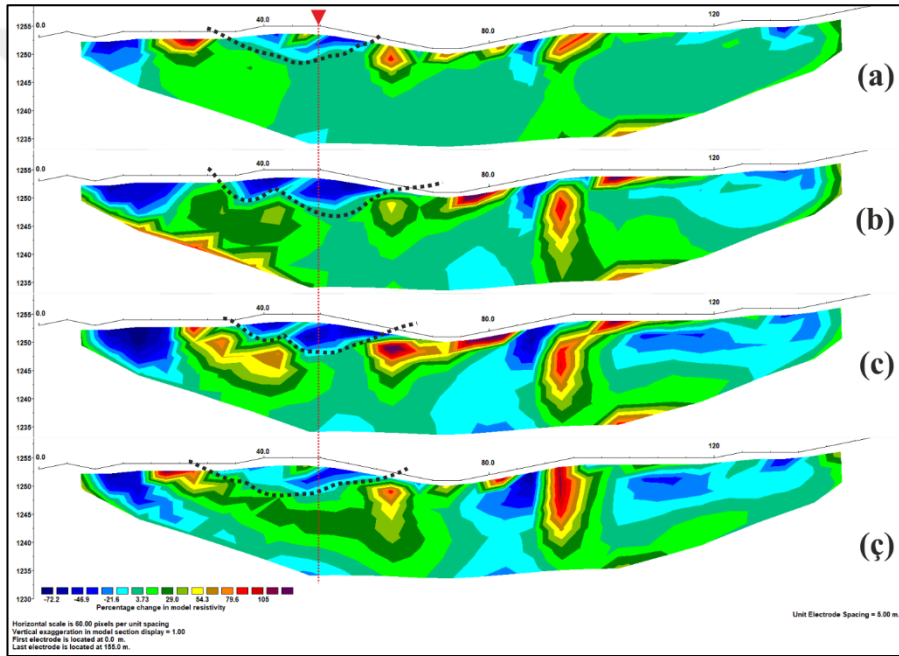
Şekil 5.3. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı Wenner-Alpha diziliminin zamansal yorumu
a) haziran; b) temmuz c) ağustos; ç) eylül; d) ekim



Şekil 5.4. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı Wenner-Schlumberger diziliminin zamansal yorumu **a)** haziran; **b)** temmuz **c)** ağustos; **ç)** eylül; **d)** ekim

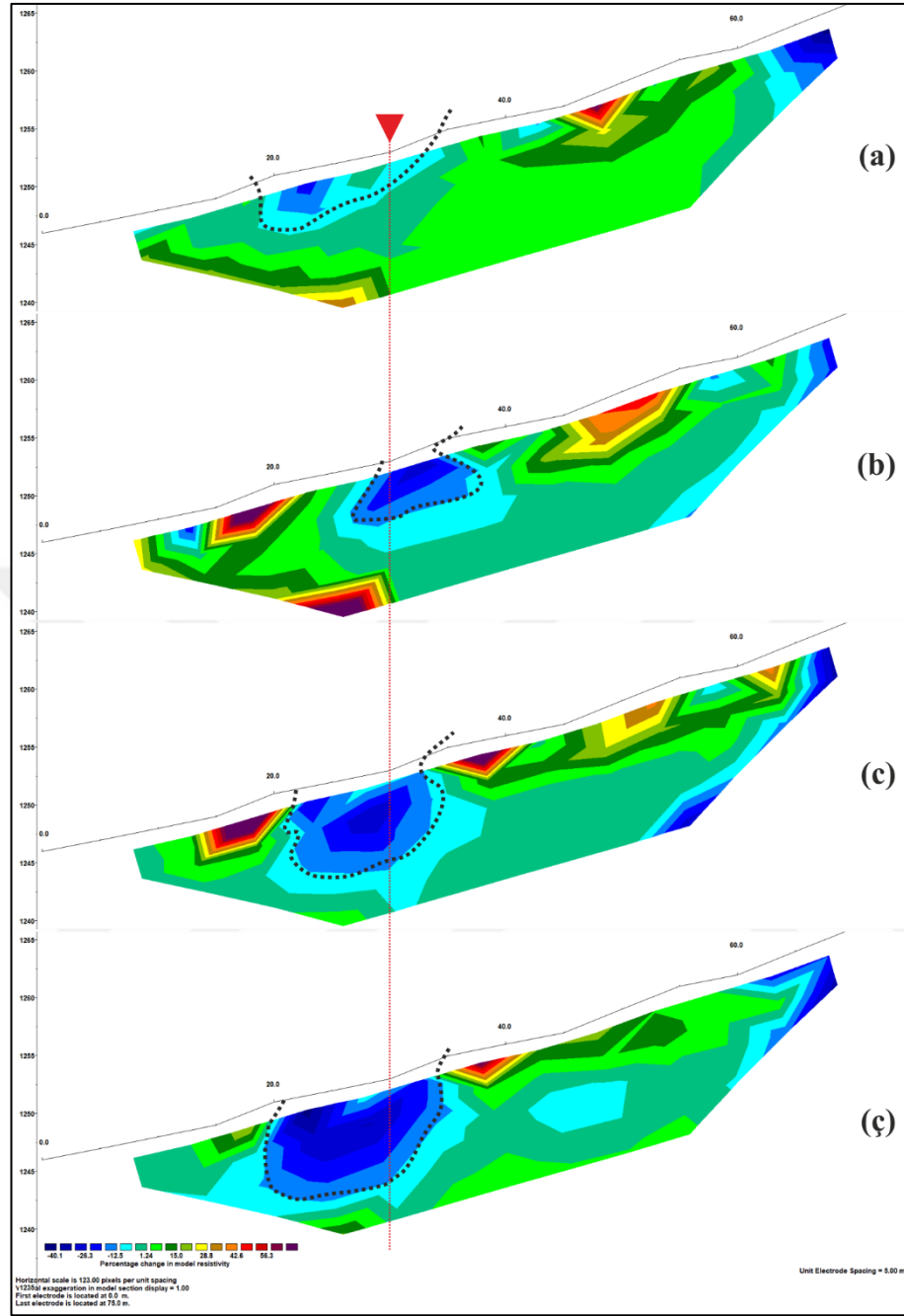
Bir analiz sonucunda elde edilen elektrik özdirenç değerleri, o ölçüme ait tüm değerlerin bir ifadesi olmakta, yani bir noktanın elektrik özdirenç değeri farklı hat

ölçümlerinde farklı çıkabilmektedir. Özellikle Üçoluk-1 heyelan çalışmalarında olduğu gibi dik çakışma gösteren farklı hat analizlerinde aynı elektrik özdirenç değerlerini elde etmek beklenmemektedir. Ancak çevresine göre gösterdiği değişimi farklı hatlarda bile ortak bir yorum için kullanılabilir. Bu sebeple ortak bir değişim yorumlaması yapabilmek için her iki hat ölçümlerine ait elektrik özdirenç değerlerinin yüzde değişimleri kullanılmıştır. GD-KB hattındaki Wenner-Alpha dizilimi ile yapılan ve hazirandan ekime kadar bir önceki aya göre olan değişimi ifade eden analizler incelenmiştir (Şekil 5.5). Haziran ve temmuz ayları fark analizinde (Şekil 5.5a) sığ derinlikte kısmen artış ve kısmen azalış görülmektedir. Ağustos ayına doğru hem derinlikte artış hem de elektrik özdirenç değerinde %70 seviyesinde azalma tespit edilmekte (Şekil 5.5b) ve bu azalım eylül ayında devam ederken (Şekil 5.5c), ekim ayında azalımda düşüş gözlenmektedir (Şekil 5.5ç). Bu sayede ekim ayına kadar bir hareketliliğin sürdüğünü ve ekim ayında kısmen durulma dönemine girildiğini söylemek mümkündür.



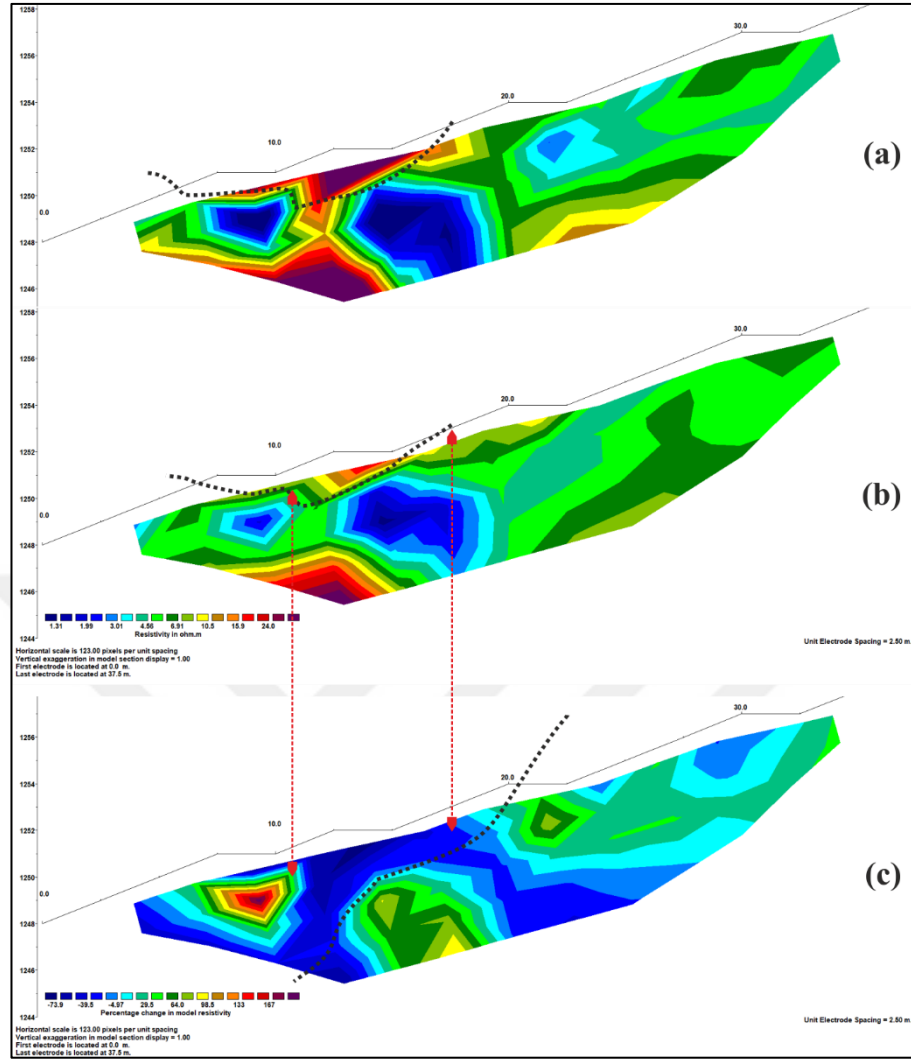
Şekil 5.5. Üçoluk-1 heyelanı GD-KB hattı Wenner-Alpha dizilimi elektrik özdirençteki yüzde değişimin yorumu **a)** temmuz **b)** ağustos; **c)** eylül; **ç)** ekim

GB-KD hattındaki Wenner-Alpha dizilimi ile yapılan ve hazirandan ekime kadar olan fark analizleri incelendiğinde benzer şekilde temmuz ayında hafif bir azalım gözlenirken (Şekil 5.6a), ağustos ayında yaklaşık 5 metre (Şekil 5.6b), eylül ayında ise yaklaşık 8 metrelik derinlikte %40 seviyesinde (Şekil 5.6c) elektrik özdirenç azalımı gözlenmekte ve ekim ayında en çok azalımın gerçekleştiği (Şekil 5.6ç) görülmektedir.



Şekil 5.6. Üçoluk-1 heyelanı GB-KD hattı Wenner-Alpha dizilimi elektrik özdirençteki yüzde değişimin yorumu **a)** temmuz **b)** ağustos; **c)** eylül; **ç)** ekim

Üçoluk-2 heyelanında yapılan Wenner-Schlumberger analizleri incelendiğinde ise arazi gözlemlerinde varlığı görülen ve ölçüm başlangıç noktasına yakın olan kayma düzlemi (Şekil 4.82), elektrik özdirenç analizlerinde yüksek seviyede azalış ile gözlenebilmektedir. Eylül ayında yüksek elektrik özdirenç değeri gösteren 10 metre uzunluklu ve 2-3 metre derinlikli bölge (Şekil 5.7a), ekim ayında yüksek elektrik özdirenç değerini sadece 1 metre derinlikte gösterebilmiş (Şekil 5.7b) ve elektrik özdirenç azalışı da 4 metrelik derinlikte %70 seviyesinde gözlenmiştir (Şekil 5.7c).



Şekil 5.7. Üçoluk-2 heyelanı G-K hattı Wenner-Schlumberger diziliminin zamansal yorumu **a)** eylül; **b)** ekim; **c)** elektrik özdirençteki yüzde değişimin yorumlanması

Bütün bu yorumlamalar göz önüne alındığında jeofizik analizlerin en azından bir sondaj çalışması ile denştirilmesinin ve araziye ait bir sondaj logunun bulunmasının gerekliliği gözlenmektedir. Bölgeye ait yağış, yüzey suları ve yer altı suları hakkında ayrıntılı veri elde edebilmek, bir yamaç hareketini anlamak ve kavramak açısından çok önemlidir, bu sebeple sonraki çalışmalarda mutlaka hidrojeolojik etüt gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Her ne kadar jeofizik analizlerden elde edilen bulgular kayaç tipi ve davranışı hakkında bilgi veriyor olsa da jeofizik analiz yapılan hatta ait jeolojik enine kesitlerin çizilmesi, jeofizik verilerinin bu kesitler ile uyumunun da gösterilmesi çalışmanın hassasiyetini artıracaktır.

6. SONUÇLAR

Antalya ilinin Kemer-Kumluca hattı boyunca heyelana karşı duyarlı olduğu bilinmektedir. Bu sebeple çalışma alanı bu kapsamda seçilmiştir. Altinyaka yolunda Üçoluk yöresinden seçilen iki olası heyelan üzerinde zaman atlamalı elektrik özdirenç analizleri uygulanmış ve hem değerler hem de değerlerin modellenmiş değişimi yorumlanmıştır. Çalışmadaki büyük heyelan olan Üçoluk-1 heyelanında birbirine dik iki hatta beş aylık analizler gerçekleştirilmiş, küçük olan Üçoluk-2 heyelanında ise tek hatta iki aylık ölçümler yapılmıştır.

Arazi gözlemleri ile Üçoluk-1 heyelanında GB yönüne doğru bir kayma olduğu tespit edilmiş, bu hareketin elektrik özdirenç değişimi ile yorumlanabilmesi için analizler uygulanmıştır. GB-KD hattı ölçümlerinde, çevresine göre yüksek elektrik özdirenç gösteren alanların zamanla kayma yönünde azalım gösterdiği, düşük elektrik özdirençli malzemenin (< 4 ohm.metre) yükseltiyi takip ederek kotunun azaldığı görülmüştür. Haziran analizlerinde serimin 40-55 metre aralığında gözlenen değerler temmuz ayında serimin 30 metresine ulaşmakta ekim ayında da serimin 20. metresine kadar gerilmekte ve kayma yönünde ilerlediği görülmektedir. Bu sayede haziran ayında 10 ohm.metre özdirenç değerine sahip bölgenin ekim ayında 3-4 ohm.metre değerine gerilediği tespit edilmiştir. Aynı şekilde GD-KB hattı da çakışma noktası dikkate alınarak incelendiğinde bu alanda da 20 metre genişlikli bir özdirenç farkı gözlenmekte, aylar ilerledikçe elektrik özdirenç değerleri diğer hat ile uyumlu olarak azalmakta ve aynı şekilde ekim ayına kadar bir hareketin olduğu görülmektedir. İki hatta toplamda beş aylık sürede yapılan analizler ile 20 metre genişlikli, yaklaşık 5 metre derinliğe sahip bir kaymanın gözlenebildiği, kayma uzunluğunun ise GB-KD hat analizleri ile 20 metre olduğu belirlenmiştir. Fakat bölgede birden fazla hareket gerçekleştiği için toplam heyelan uzunluğu konusunda net bilgi sağlanamamaktadır.

Üçoluk-2 heyelanında ise arazi gözlemleri ile yumuşak bir malzemenin göreceli olarak dik topografyada tutunamadığı ve vadiye doğru kayma gösterdiği belirlenmiştir. Bu heyelanda tek doğrultuda yapılan iki analiz ile elektrik özdirenç değişimi gözlenmiş, 15 metre uzunluklu 4 metre derinlikli bir kayma olduğu elektrik özdirenç değişim analizi ile söylenebilmektedir. Heyelan genişliği tek yönlü analiz yapıldığı için keşfedilememiş ancak arazi gözlemleri ile vadiye döküntü olarak kayan malzemenin 6 metre genişliğinde olduğu tespit edilmiştir.

Çok elektrotlu elektrik özdirenç analizleri ile aynı hattan farklı zamanlarda yapılacak ölçümler yazılım ile ortak ölçekte analiz edilebilmektedir. Uyarılardan etkilenen malzemelerin hangi zamanda hangi derinlikte bu uyarılar tarafından tetiklendiği bu analizler ile yorumlanabilmektedir. Bu sayede yamaç hareketleri arasında ilişki kurulabilmekte, daha önce benzer değerler akabinde yenilme gösteren malzemelerin aynı özdirenç değerleri gösteren farklı noktalardaki örneklerine başarılı müdahaleler yapılabilmektedir.

7. KAYNAKLAR

- Ada, M. and San, B.T. 2018. Comparison of machine-learning techniques for landslide susceptibility mapping using two-level random sampling (2LRS) in Alakir catchment area, Antalya, Turkey. *Nat Hazards*, 90: 237-263.
- Akça, E. 2019. Kemer - Kumluca karayolu km 74+410 - 74+700 arası heyelan etüdü. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 86 s.
- Aksoy, R. ve Aksarı, S. 2008. Elmalı (Antalya, Batı Toroslar) kuzeyinde Likya Napılarının jeolojisi. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 23(2): 45-59.
- Aktaş, H. and San, B.T. 2019. Landslide susceptibility mapping using an automatic sampling algorithm based on two level random sampling. *Computers & Geosciences*, 133, 104329.
- Aktürk, Ö. and Doyuran, V. 2012. Soil profile identification around Necatibey subway station (Ankara, Turkey), using electrical resistivity imaging (ERI). *International Journal of Engineering & Applied Sciences (IJEAS)*, 4(4): 1-14.
- Alcántara-Ayala, I. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47: 107-124.
- Bari, C., Lapenna, V., Perrone, A., Puglisi, C. and Sdao, F. 2011. Digital photogrammetric analysis and electrical resistivity tomography for investigating the Picerno landslide (Basilicata region, southern Italy). *Geomorphology* 133: 34-46.
- Barker, R. and Moore, J. 1998. The application of time-lapse electrical tomography in groundwater studies. *The Leading Edge*, 17(10): 1454-1458.
- Barry, R.G. and Hall-McKim, E.A. 2014. *Essentials of the Earth's climate system*. Cambridge University Press, 271 s.
- Başokur, A.T. 2002. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters-çözümü. *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları* 4, 166 s.
- Bellanova, J., Calamita, G., Giocoli, A., Luongo, R., Macchiato, M., Perrone, A., Uhlemann, S. and Piscitelli, S. 2018. *Engineering Geology*, 243: 272-281.
- Blumenthal, M.M. 1951. Batı Toroslarda Antalya ardı ülkesinde jeolojik araştırmalar. *Maden Tetkik Arama Enstitüsü*. Ankara, 194 s.
- Bogoslovsky, V.A. and Ogilvy A.A. 1977. Geophysical methods for the investigation of landslides. *Geophysics*, 42(3): 562-571.
- Bradley, R.S. 2015. *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. Academic Press, 696 s.
- Brunn, J.H., Dumont, J.F., Graciansky, P.C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O. and Poisson, A. 1971. Outline of the geology of the western Taurids. In: Campbell A.S. (Ed), *Geology and History of the Turkey*. Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli, pp. 225-255.
- Burazer, M. and Urosevic, M. 2017. Time-lapse electrical/resistivity tomography in landslides investigation. *SEG International Exposition and 87th Annual Meeting, SEG Technical Program Expanded Abstracts 2017*, 5332-5336, 24-27 September, Houston, Texas.

- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V. and Reichenbach, P. 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. *Earth Surface Processes and Landforms*, 16: 427-445.
- Cassiani, G., Bruno, V., Villa, A., Fusi, N. and Binley, A.M. 2006. A saline trace test monitored via time-lapse surface electrical resistivity tomography. *Journal of Applied Geophysics*, 59: 244- 259.
- Chambers, J.E., Wilkinson, P.B., Kuras, O., Ford, J.R., Gunn, D.A., Meldrum, P.I., Pennington, C.V.L., Weller, A.L., Hobbs, P.R.N. and Ogilvy, R.D. 2011. Three-dimensional geophysical anatomy of an active landslide in Lias Group mudrocks, Cleveland Basin, UK. *Geomorphology*, 125: 472-484.
- Coduto, D.P. 2006. *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar*. (Çeviri: Mollamahmutoğlu, M. ve Kayabalı, K.) Gazi Kitabevi, 759 s. (Orijinal yayın tarihi: 1999).
- Crawford, M.M., Bryson, L.S., Woolery, E.W. and Wang, Z. 2018. Using 2-D electrical resistivity imaging for joint geophysical and geotechnical characterization of shallow landslides. *Journal of Applied Geophysics*, 157: 37-46.
- Cronin, V.S. 1992. Compound landslides: Nature and hazard potential of secondary landslides within host landslides. In: Slosson, J.E., Keene, A.G. and Johnson, J.A. (Ed), *Landslides/Landslide Mitigation*. Geological Society of America Reviews in Engineering Geology 9, pp. 1-9.
- Cruden, D.M. 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 43: 27-29.
- Cruden, D.M. and Varnes, D.J. 1996. Landslide types and processes. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Ed), *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., pp. 36-75.
- Dahlin, T. 2001. The development of DC resistivity imaging techniques. *Computers & Geosciences*, 27: 1019-1029.
- Dai, F.C., Lee, C.F. and Ngai, Y.Y. 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Engineering Geology*, 64: 65-87.
- De Vita, P., Agrello, D. and Ambrosino, F. 2006. Landslide susceptibility assessment in ash-fall pyroclastic deposits surrounding Mount Somma-Vesuvius: Application of geophysical surveys for soil thickness mapping. *Journal of Applied Geophysics*, 59: 126-139.
- deGroot-Hedlin, C. and Constable, S. 1990. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data. *Geophysics*, 55(12): 1613-1624.
- Descloitres, M., Ribolzi, O. and Troquer, Y.L. 2003. Study of infiltration in a Sahelian gully erosion area using time-lapse resistivity mapping. *Catena*, 53: 229-253.
- Dietrich, W.E., Reiss, R., Hsu, M. and Montgomery, D.R. 1995. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. *Hydrological Processes*, 9: 383-400.

- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L. and Ibsen, M.L. 1996. Landslide Recognition: Identification, Movement and Causes. John Wiley&Sons, 274 s.
- Dong, X., Xiang-Yun, H., Chun-Ling, S. and Rui-Heng, L. 2016. Landslide monitoring in southwestern China via time-lapse electrical resistivity tomography. *Applied Geophysics*, 13(1): 1-12.
- Drahor, M.G., Berge, M.A., Göktürkler, G. ve Kurtulmuş, T.Ö. 2005. Sığ yeraltı yapılarının öz direnç ters-çözümünde güvenilirliğin irdelenmesi. *Yerbilimleri*, 26(3): 25-39.
- Drahor, M.G., Göktürkler, G., Berge, M.A. and Kurtulmuş, T.Ö. 2006. Application of electrical resistivity tomography technique for investigation of landslides: a case from Turkey. *Environ Geol*, 50: 147-155.
- Duman, T.Y., Çan, T. ve Emre, Ö. 2011. 1/1.500.000 ölçekli Türkiye Heyelan Envanteri Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi-27, Ankara, Türkiye. ISBN: 978-605-4075-84-3.
- Erginal, A.E., Öztürk, B., Ekinci Y.L. and Demirci, A. 2009. Investigation of the nature of slip surface using geochemical analyses and 2-D electrical resistivity tomography: a case study from Lapseki area, NW Turkey. *Environ Geol*, 58: 1167-1175.
- Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S. and Leroi, E. 2005. A framework for landslide risk assessment and management. In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R. and Eberhardt, E. (Ed), *Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management*, pp. 3-25, 31 May - 3 June, Vancouver, Canada.
- Florsch, N. and Muhlach, F. 2018. *Everyday Applied Geophysics 1: Electrical Methods*. ISTE Press Ltd., 191 s.
- Friedel, S., Thielen, A. and Springman, S.M. 2006. Investigation of a slope endangered by rainfall-induced landslides using 3D resistivity tomography and geotechnical testing. *Journal of Applied Geophysics*, 60: 100-114.
- Gabrieli, F., Corain, L. and Vettore, L. 2016. A low-cost landslide displacement activity assessment from time-lapse photogrammetry and rainfall data: Application to the Tessina landslide site. *Geomorphology*, 269: 56-74.
- Giano, S.I., Lapenna, V., Piscitelli, S. and Schiattarella, M. 2000. Electrical imaging and self-potential surveys to study the geological setting of the Quaternary slope deposits in the Agri high valley (Southern Italy). *Annali Di Geofisica*, 43(2): 409-419.
- Giraud, A., Rochet, L. and Antoine, P. 1990. Processes of slope failure in crystallophylian formations. *Engineering Geology*, 29(3): 241-253.
- Glade, T. 1998. Establishing the frequency and magnitude of landslide-triggering rainstorm events in New Zealand. *Environmental Geology*, 35(2-3): 160-174.
- Godio, A. and Bottino, G. 2001. Electrical and electromagnetic investigation for landslide characterisation. *Phys. Chem. Earth (C)*, 26(9), 705-710.

- Gökçe, O., Özden, Ş. ve Demir, A. 2008. Türkiye’de Afetlerin Mekansal ve İstatistiksel Dağılımı Afet Bilgileri Envanteri. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara. 118 s.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y. and Can, T. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81: 65-83.
- Green, A.G., Maurer, H., Spillmann, T., Heincke, B. and Willenberg, H. 2006. High-resolution geophysical techniques for improving hazard assessments of unstable rock slopes. *The Leading Edge*, 25(3): 311-316.
- Griffiths D.H. and Barker R.D. 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29: 211-226.
- Guzzetti, F., Cardinali, M. and Reichenbach, P. 1994. The AVI Project: A Bibliographical and Archive Inventory of Landslides and Floods in Italy. *Environmental Management*, 18(4): 623-633.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. and Reichenbach, P. 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31: 181-216.
- Guzzetti, F., Malamud, B.D., Turcotte, D.L. and Reichenbach, P. 2002. Power-law correlations of landslide areas in central Italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 195: 169-183.
- Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali M., Fiorucci, F., Santangelo, M. and Chang, K. 2012. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112: 42-66.
- Gürboğa, Ş. ve Aktürk, Ö. 2018. Elmalı havzası (Antalya) ve yakın çevresinin neotektonik ve morfometrik özellikleri. *MTA Dergisi*, 156: 43-68.
- Hack, R. 2000. Geophysics for slope stability. *Surveys in Geophysics*, 21: 423-448.
- Hayward, A.B. 1982. Türkiye’nin güneybatısındaki Bey Dağları ve Susuz Dağ masiflerinde Miyosen yaşlı kırıntılı tortulların stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 25(2): 81-89.
- Hutchinson, J.N. 1967. The free degradation of London Claycliffs. *Proceedings of the Geotechnical Conference on Shear Strength of Natural Soils and Rocks*, pp. 113-118, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo.
- Hutchinson, J.N. 1988. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. In: Bonnard, C. (Ed), *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, pp. 3-35, 10-15 July 1988, Lausanne, Switzerland.
- Hutchinson J.N. and Gostelow T.P. 1976. The development of an abandoned cliff in London Clay at Hadleigh, Essex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series A*, 283: 557-604.
- IAEG (Commission on Landslides). 1990. Suggested nomenclature for landslides. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41: 13-16.

- Ibsen, M. and Brunsden, D. 1996. The nature, use and problems of historical archives for the temporal occurrence of landslides, with specific reference to the south coast of Britain, Ventnor, Isle of Wight. *Geomorphology*, 15: 241-258.
- Inman, J.R., Ryu, J. and Ward, S.H. 1973. Resistivity inversion. *Geophysics*, 38(6): 1088-1108.
- Jongmans, D. and Garambois, S. 2007. Geophysical investigation of landslides: a review. *Bulletin Société Géologique de France*, 178(2): 101-112.
- Kamacı, Z., Keçeli, D.A., Türker, A.E. ve Kaya, M.A. 1991 Antalya'da Alke Otelı zeminindeki traverten boşluklarının saptanması. *Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, Jeoloji Mühendisliği Seksiyonu II*, 6: 109-130.
- Keaton, J.R. and Degraff, J.V. 1996. Surface observation and geologic mapping In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Ed), *Landslides Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board Special Report 247, National Academy Press, Washington D.C., pp. 178-230.
- Keçeli, A.D. 2012. Uygulamalı Jeofizik. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları 18, 564 s.
- Keller, E.A. 2006. Çevre Jeolojisine Giriş. (Çeviri: Akyol, E. ve Kayabalı, K.) Gazi Kitabevi, 547 s. (Orijinal yayın tarihi: 2005).
- Keskin, M.Ö. 2008. Çukurova yöresi kuvarsit işletmelerinde bilgisayar destekli şev dizaynı ve şev stabilite analizleri. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 288 s.
- Kim, H.J., Song, Y. and Lee, K.H. 1999. Inequality constraint in least-squares inversion of geophysical data. *Earth Planets Space*, 51: 255-259.
- Koç, K. 2019. Doğu Akdeniz Bölgesinin Geç Kuvaterner dönemi paleoiklim koşullarının Antalya civarındaki mağara çökel kayıtları ile yeniden kurgulanması. Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 100 s.
- Krahn, J. and Morgenstern, N.R. 1979. The ultimate frictional resistance of rock discontinuities. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 16(2): 127-133.
- Lebourg, T. Hernandez, M., Zerathe, S., El Bedoui, S., Jomard, H. and Fresia, B. 2010. Landslides triggered factors analysed by time lapse electrical survey and multidimensional statistical approach. *Engineering Geology*, 114: 238-250.
- Lefevre, R. 1967. Nouvel element dans la geologie du Taurus Lycien: les Nappes d'Antalya (Turquie). *C. R. De l'Academie des Sciences*, 7 (serie D265): 1365-1368.
- Loke, M.H. 1999. Time-lapse resistivity imaging inversion. 5th Meeting of the Environmental and Engineering Society European Section, 6-9 September, Budapest, Hungary.
- Loke, M.H. 2011. Electrical resistivity surveys and data interpretation. In: Gupta H.K. (Ed), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. Encyclopedia of Earth Sciences Series, Springer, Dordrecht, pp. 276-283.

- Loke, M.H. 2020. Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys. Lecture notes on 2D & 3D electrical imaging surveys (18th March 2020 Update). <http://www.geotomosoft.com/> [Son erişim tarihi: 03.06.2020]
- Loke, M.H. and Barker, R.D. 1995. Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections. *Geophysics*, 60(6): 1682-1690.
- Loke, M.H. and Barker, R.D. 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44: 131-152.
- Loke, M.H. and Dahlin, T. 2002. A comparison of the Gauss–Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 49: 149-162.
- Loke, M.H. and Lane J.W.Jr. 2004 Inversion of data from electrical resistivity imaging surveys in water-covered areas. *Exploration Geophysics*, 35: 266-271.
- Loke, M.H., Acworth, I. and Dahlin, T. 2003. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, 34: 182-187.
- Loke, M.H., Chambers, J.E. and Kuras, O. 2011. Electrical resistivity surveys and data interpretation. In: Gupta H.K. (Ed), *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics*. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, Springer, Dordrecht, pp. 599-604.
- Loke, M.H., Chambers, J.E., Rucker, D.F., Kuras, O. and Wilkinson, P.B. 2013. Recent developments in the direct-current geoelectrical imaging method. *Journal of Applied Geophysics*, 95: 135-156.
- Meşhur, M. ve Akpınar, M. 1984. Yatağan-Milas-Bodrum (Muğla) Karacasu-Kale-Acıpayam-Tavas (Denizli) civarının jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO, Arama Grubu Başkanlığı Rapor No: 1963, 52 s.
- Nefeslioğlu, H.A., Duman, T.Y. and Durmaz, S. 2008a. Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Geomorphology*, 94: 401-418.
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C. and Sönmez, H. 2008b. An assessment on the use of logistic regression and artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps. *Engineering Geology*, 97: 171-191.
- Nefeslioğlu, H.A., Gökçeoğlu, C., Sönmez, H. and Görüm, T. 2011. Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides*, 8: 459-483.
- Nefeslioğlu, H.A., San, B.T., Gökçeoğlu, C. and Duman, T.Y. 2012. An assessment on the use of Terra ASTER L3A data in landslide susceptibility mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14: 40-60.
- Nemčok, A., Pašek, J. and Rybář, J. 1972. Classification of landslides and other mass movements. *Rock Mechanics*, 4: 71-78.

- Ohm, G.S. 1827. Die galvanische kette, mathematisch bearbeitet. Bei T. H. Riemann, Berlin, 250 s.
- Okay, A.I. 1986. High pressure/low temperature metamorphic rocks of Turkey. In: Evans, B. W. and Brown, E. H. (Ed), Blueschists and Eclogites. Geological Society of America, 164, pp. 333-347.
- Okay, A.I. and Özgül, N. 1984. HP/LT metamorphism and the structure of the Alanya Massif, Southern Turkey: an allochthonous composite tectonic sheet. In: Dixon, J.E. and Robertson, A.H.F. (Ed), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geological Society London Special Publications 17(1): 429-439.
- Olayinka, A.I. and Yaramancı, U. 2000. Use of block inversion in the 2-D interpretation of apparent resistivity data and its comparison with smooth inversion. Journal of Applied Geophysics, 45(2): 63-81.
- Oldenburg, D.W., McGillivray, P.R. and Ellis, R.G. 1993. Generalized subspace methods for large-scale inverse problems. Geophys. J. Int., 14: 12-20.
- Özgül, N. 1976. Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19(1): 65-78.
- Özgül, N. 1984. Stratigraphy and tectonic evolution of the Central Taurides. In: Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C. (Ed), International Symposium on The Geology of The Taurus Belt Proceedings, 26-29 September 1983, Ankara, pp. 77-90.
- Özgül, N. and Arpat, E. 1973. Structural units of the Taurus orogenic belt and their continuation in neighbouring regions. Bulletin Geological Society Greece, 10(1): 155-164.
- Perrone, A., Iannuzzi, A., Lapenna, V., Lorenzo, P., Piscitelli, S., Rizzo, E. and Sdao, F. 2004. High-resolution electrical imaging of the Varco d'Izzo earthflow (southern Italy). Journal of Applied Geophysics, 56: 17-29.
- Perrone, A., Lapenna, V. and Piscitelli, S. 2014. Electrical resistivity tomography technique for landslide investigation: A review. Earth-Science Reviews, 135: 65-82.
- Philipson, A. 1915. Reissen und forschungen in westlichen Kleinasien. Pet. Mit. H., 167 s.
- Piegari, E., Cataudella, V., Di Maio, R., Milano, L., Nicodemi, M. and Soldovieri, M.G. 2009. Electrical resistivity tomography and statistical analysis in landslide modelling: A conceptual approach. Journal of Applied Geophysics, 68: 151-158.
- Poisson, A. 1977. Recherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). Thèse d'état, Univ. Paris-Sud (Orsay), Paris, 795 s.
- Poisson, A., Wernli, R., Sağular, E.K. and Temiz, H. 2003. New data concerning the age of Aksu Thrust in the south of the Aksu valley, Isparta Angle (SW Turkey): consequences for the Antalya Basin and the Eastern Mediterranean. Geological Journal, 38: 311-327.
- Prandini L., Guidicini G., Bottura J.A., Ponçano W.L. and Santos, A.R. 1977. Behavior of the vegetation in slope stability: A critical review. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 16: 51-55.

- Prior, D.B., Stephens, N. and Archer, D.R., 1968. Composite mudflows on the Antrim coast of Northeast Ireland. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 50(2): 65-78.
- Rahn, P.H. 2015. Mühendislik Jeolojisi Çevresel Bir Yaklaşım. (Çeviri: Akyol, E. ve Kayabalı, K.) Gazi Kitabevi, 658 s. (Orijinal yayın tarihi: 1996).
- RES2DINV (2004) 2D Resistivity and IP Inversion Software v.3.5, Geotomo Software, <http://www.geotomosoft.com>, [Son erişim tarihi: 03.06.2020].
- Reynolds, J.M. 2011. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley&Sons, 696 s.
- Robertson, A.H.F. 2000. Tectonic evolution of the Cyprus in its Easternmost Mediterranean setting. In: Panayides, I., Xenophontos, C. and Malpas, J. (Ed), *Proceedings of the 3rd International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean*. Geological Survey Department, Nicosia, pp. 11-44.
- Robertson, A.H.F., Poisson, A. and Akıncı, Ö. 2003. Developments in research concerning Mesozoic-Tertiary Tethys and neotectonics in the Isparta Angle, SW Turkey, *Geological Journal*, 38: 195-234.
- Rucker, D.F., Fink, J.B. and Loke, M.H. 2011. Environmental monitoring of leaks using time-lapsed long electrode electrical resistivity. *Journal of Applied Geophysics*, 74: 242-254.
- San, B.T. 2014. An evaluation of SVM using polygon-based random sampling in landslide susceptibility mapping: The Candir catchment area (western Antalya, Turkey). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26: 399-412.
- Sarı, B. 2016. Foraminifera-rudist biostratigraphy, Sr-C-isotope stratigraphy and microfacies analysis of the upper cretaceous sequences of the Bey Dağları autochthon (Western Taurides, Turkey). Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 450 s.
- Sasaki, Y. 1992. Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. *Geophysical Prospecting* 40: 453-463.
- Sass, O., Bell, R. and Glade, T. 2008. Comparison of GPR, 2D-resistivity and traditional techniques for the subsurface exploration of the Öschingen landslide, Swabian Alb (Germany). *Geomorphology*, 93: 89-103.
- Scheidegger, A.E. 1994. Hazards: singularities in geomorphic systems. *Geomorphology*, 10: 19-25.
- Schmutz, M., Albouy, Y., Guérin, R., Maquaire, O., Vassal, J., Schott, J. and Descloîtres, M. 2000. Joint electrical and time domain electromagnetism (TDEM) data inversion applied to the super sauze earthflow (France). *Surveys in Geophysics*, 21: 371-390.
- Schrott, L. and Sass, O. 2008. Application of field geophysics in geomorphology: Advances and limitations exemplified by case studies. *Geomorphology*, 93: 55-73.

- Skempton, A.W. 1970. First-time slides in overconsolidated clays. *Géotechnique*, 20(3): 320-324.
- Skempton, A.W. and Hutchinson, J.N. 1969. Stability of natural slopes and embankment foundations. 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Proceedings, vol.3, pp. 291-340, Mexico.
- Skempton, A.W. and Weeks, A.G. 1976. The Quaternary history of the Lower Greensand escarpment and Weald Clay vale near Sevenoaks, Kent. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 283: 493-526.
- Smith, N. and Vozoff, K. 1984. Two dimensional DC resistivity inversion for dipole-dipole data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 22(1): 21-28.
- Soeters, R. and Van Westen, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (Ed), *Landslides Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247*, National Academy Press, Washington D.C., pp. 129-177.
- Stan, D. and Stan-Kłeczek, I. 2014. Application of electrical resistivity tomography to map lithological differences and subsurface structures (Eastern Sudetes, Czech Republic). *Geomorphology*, 221: 113-123.
- Szalai, S., Szokoli, K., Metwaly, M., Gribovszki, Z. and Prácsér, E. 2017. Prediction of the location of future rupture surfaces of a slowly moving loess landslide by electrical resistivity tomography. *Geophysical Prospecting*, 65: 596-616.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, A.S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A.Z., Uğuz, M.F., Korucu, M. ve Özgül, N. 1992. Eğirdir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş-Köprülü (Isparta- Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi. MTA Rapor No: 9390, TPAO Rapor No: 3132, Ankara, 559 s. (yayımlanmamış).
- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A.Z., Uğuz, M.F., Bölükbaşı, A.S., Korucu, M. ve Özgül, N. 1996. Isparta büklümü doğusunda, otokton ve allohton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). *MTA Dergisi*, 118: 111-160.
- Şenel, M. 1997. 1:250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Antalya paftası, No: 3. Maden Tetkik ve Arama, Ankara.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4): 181-241.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E. 1990. *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 744 s.
- Tripp, A.C., Hohmann, G.W. and Swift, C.M. 1984. Two-dimensional resistivity inversion. *Geophysics*, 49(10): 1708-1717.
- Türker, A.E., Keçeli, D.A., Kamacı, Z. ve Kaya, M.A. 1991. Antalya'nın zemin sorunları ve jeofizik yöntemlerle çözümleri. *Jeofizik Dergisi*, 5(1): 27-42.
- Uçar, F. 2014. 2-boyutlu rezistivite yöntemi kullanılarak karstik aktivite belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 114 s.

- Ulusay R. 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 38, 458 s.
- Vallejo, L.I. and Ferrer, M. 2014. Mühendislik Jeolojisi. (Çeviri: Kayabalı, K.) Ankara Üniversitesi Yayınevi, 674 s. (Orijinal yayın tarihi: 2011).
- Van Nostrand, R.G. and Cook, K.L. 1966. Interpretation of Resistivity Data. U.S. Geological Survey Professional Papers 499, 310 s.
- Van Westen, C.J., Rengers, N. and Soeters, R. 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards*, 30: 399-419.
- Varnes, D.J. 1958. Landslide types and processes. In: Eckel, E.B. (Ed), *Landslides and Engineering Practice*. Highway Research Board Special Report 29, NAS-NRC Publication 544, Washington D.C., pp. 20-47.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement and types and processes. In: Schuster, R.L. and Krizek, R.J. (Ed), *Landslides: Analysis and Control*. Transportation Research Board Special Report 176, National Academy of Sciences, Washington D.C., pp. 11-33.
- Varnes, D.J. 1984. Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. *Natural Hazard Series*, Vol. 3, IAEG Commission on Landslides and Other Mass-Movements on Slopes, UNESCO, Paris, 63 s.
- Waltham, T. 2006. Mühendislik Jeolojisinin Esasları. Gazi kitabevi, Ankara, 93s. (Çeviri: Kayabalı, K.)
- Wilkinson, P.B., Chambers, J.E., Meldrum, P.I., Gunn, D.A., Ogilvy, R.D. and Kuras, O. 2010. Predicting the movements of permanently installed electrodes on an active landslide using time-lapse geoelectrical resistivity data only. *Geophys. J. Int.*, 183: 543-556.
- Wilkinson, P., Chambers, J., Uhlemann, S., Meldrum, P., Smith, A., Dixon, N. and Loke, M.H. 2016. Reconstruction of landslide movements by inversion of 4-D electrical resistivity tomography monitoring data. *Geophys. Res. Lett.*, 43: 1166-1174.
- Woodcock, N.H. and Robertson, A.H.F. 1977. Imbricate thrust belt tectonics and sedimentation as a guide to emplacement of part of the Antalya Complex, SW Turkey. In: İzdar, E. and Nakoman, E. (Ed), *Proceedings of the 6th Colloquium on Geology of the Aegean Region*, 19 September – 4 October 1977, Athens, pp. 661-671.
- WP/WLI (UNESCO Working Party on World Landslide Inventory). 1993. A suggested method for describing the activity of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47: 53-57.
- Wyllie, D.C. and Mah, C.W. 2004. Kaya Şevlerinin Duraylılığı. (Çeviri: Kayabalı, K.) Gazi Kitabevi, 437 s. (Orijinal yayın tarihi: 2004).
- Yılmaz, S. 2007. Investigation of Gürbulak landslide using 2D electrical resistivity image profiling method (Trabzon, Northeastern Turkey). *JEEG*, 12(2): 199-205.

- Yılmaz, S. and Narman, C. 2015. 2-D electrical resistivity imaging for investigating an active landslide along a ridgeway in Burdur region, southern Turkey. Arab J Geosci, 8: 3343-3349.
- Zohdy, A.A.R., Eaton, G.P., Mabey, D.R. 1974. Application of surface geophysics to ground-water investigations. U.S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Investigations, Book 2, Chapter D1, 116 s.



ÖZGEÇMİŞ

FATİH UÇAR

fatihucar@akdeniz.edu.tr



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Doktora	Akdeniz Üniversitesi
2014-2020	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Antalya
Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2014	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans	Ankara Üniversitesi
2006-2010	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Araştırma Görevlisi (ÖYP)	Akdeniz Üniversitesi
2011-(Devam Ediyor)	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- **Uçar F.**, Aktürk Ö. Investigation of Similarity Between Electrical Resistivity Results (VES and ERI) at Karstic Regions, Antalya, Turkey. 9th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, pp.120-127, 7-11 Mayıs 2018, Antalya, Türkiye.

2- **Uçar F.**, Aktürk Ö., Eroğlu Azak T. Estimation of The Seismic Hazard Parameters of The City of Antalya, Southwest Turkey. International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM2016), vol.1, no.3, pp.483-490, 28 Haziran - 7 Temmuz 2016, Albena, Bulgaristan.

3- **Uçar F.**, Aktürk Ö. Identification of Karstic Caves by Utilizing Two-Dimensional Electrical Resistivity Imaging (ERI) Method, EGU General Assembly 2015, vol.17, no.1, pp.1-1, 12-17 Nisan 2015, Viyana, Avusturya.

Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

1- Balcı M.C., **Uçar F.** Geoteknik Deprem Mühendisliği Açısından Bandırma İlçesi Çevresinin Depremselliği ve Sismik Tehlike Analizi. Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu, ss.94-94, 17-19 Eylül 2018, Balıkesir, Türkiye.

2- **Uçar F.**, Koç K., Demirtaş F., Güneş A., Aktürk Ö. 2-Boyutlu Elektrik Rezistivite Yöntemi ile Boşluklu Yapıların Belirlenmesi. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, ss.38-39, 3-6 Mayıs 2017, Adana, Türkiye.

3- Güneş A., Demirtaş F., Güneş M., Koç K., **Uçar F.**, İlbeyli N., Yalçın M.G. Ağır Metallerin İnsan ve Çevre Sağlığı Üzerine Etkileri. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, ss.135-136, 3-6 Mayıs 2017, Adana, Türkiye.

4- Koç K., Koşun E., Demirtaş F., **Uçar F.**, Güneş A. Paleoiklim Çalışmalarında Mağara Çökellerinin Kullanımı: Artıları ve Eksileri. 40. Yıl Jeoloji Sempozyumu, ss.52-53, 3-6 Mayıs 2017, Adana, Türkiye.

5- **Uçar F.**, Aktürk Ö. İki Boyutlu Elektrik Özdirenç Görüntüleme Yöntemi Kullanılarak Karstik Boşlukların Belirlenmesi. 68. Türkiye Jeoloji Kurultayı, ss.222-223, 6-10 Nisan 2015, Ankara, Türkiye.

6- **Uçar F.**, Kayabalı K. İnce Taneli Zeminlerin Hidrolik İletkenliğinin Tayini için Çok Hızlı Bir Yöntem. 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı, ss.133-134, 5-9 Nisan 2010, Ankara, Türkiye.