

## JEOFİZİK YÖNTEMLER İLE KÜTLE HAREKETİ MODELLEMESİ: KARAPÜRÇEK, SAKARYA ÖRNEĞİ

*Ali SİLAHTAR* \*<sup>ID</sup>  
*Hasan KARAASLAN* \*\*<sup>ID</sup>

Alınma: 27.05.2024; düzeltme: 04.07.2024; kabul: 02.08.2024

**Öz:** Bu çalışma, sismisitesi yüksek, aynı zamanda jeomorfolojik yapısı ve yüksek yağış rejimi ile heyelan probleminin sıklıkla gündeme geldiği bölgelerden biri olan Sakarya ilinin Karapürçek ilçesinde meydana gelmiş bir kütle hareketinin bütünlük jeofizik yöntemler ile modellenmesini amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda heyelan yüzeyinde farklı fiziksel özelliklere duyarlı iki boyutlu (2B) elektrik rezistivite tomografisi (ERT), aktif yüzey dalgaları analizi (MASW) ve mikrotremör (HVSAR) yöntemleri uygulanmıştır. Jeofizik kesitler ile heyelan içyapısının gerçeğe daha yakın modellenebilmesi için jeolojik zemin sondajlarına da başvurulmuştur. Gerçekleştirilen bütünlük çalışmalarda, yüksek özdirence ve kayma dalgası hızına (Vs) sahip heterojen yapıda kırıklı-çatlaklı arkozik kumtaşı malzemesinin alışagelmiş kütle hareketi modellerinin aksine düşük özdirence ve Vs hızına sahip kıltaşı üzerinde hareket ettiği belirlenmiştir. Bu karakterizasyon mikrotremörden elde edilen doruk genlik frekans değerlerinin düşük frekanslara doğru hareketi ile de desteklenmiştir. Ayrıca alt kotlara doğru yeni kayma düzlemleri ile gerçekleşen ilerleyişin penepren vadi sırtında bir rotasyona uğradığı ve farklı yönde bir kayma düzlemine evrildiği tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar çalışma alanındaki kütle hareketini tanımlayan basitleştirilmiş bir şematik diyagram üzerinde de verilmiştir. Son olarak heyelan karakterizasyonu kapsamında gerçekleştirilen bu gibi çalışmaların kütle hareketini önlemedeki rolü ve farklı disiplinlere sağladığı katkı ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Heyelan, Kütle hareketi, ERT, MASW, H/V, Karapürçek-Sakarya

### Mass Movement Modeling with Geophysical Methods: Karapürçek, Sakarya Example

**Abstract:** This study aimed to model a mass movement using integrated geophysical methods in the Karapürçek district of Sakarya province, where landslide problems are frequently brought up due to its geomorphological structure and high rainfall regime. For this purpose, 2D electrical resistivity tomography (ERT), active surface waves analysis (MASW), and microtremor (HVSAR) methods, which are sensitive to different physical properties, were applied in the landslide area. Geological boreholes have also been employed to better model the landslide's internal structure through geophysical sections. The integrated studies revealed a landslide model, that the heterogeneous fractured-cracked arkosic sandstone material with high resistivity and shear wave velocity (Vs) moved on claystone with low resistivity and Vs velocity, contrary to conventional mass movement models. This characterization was also supported by the shift of the peak amplitude frequency values obtained from the microtremor towards lower frequencies. In addition, it has been determined that the mass movement towards the lower elevations with new slip surfaces has undergone a rotation on the penepren ridge and evolved into a slip surface in a different direction. Finally, the role of such studies within the scope of landslide characterization in preventing mass movements and their contribution to different disciplines has been declared.

**Keywords:** Landslide, Mass movement, ERT, MASW, H/V, Karapürçek-Sakarya

\* Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, 54180, Serdivan, Sakarya

\*\* Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, 54180, Serdivan, Sakarya  
İletişim Yazarı: Ali Silahtar (asilahhtar@sakarya.edu.tr)

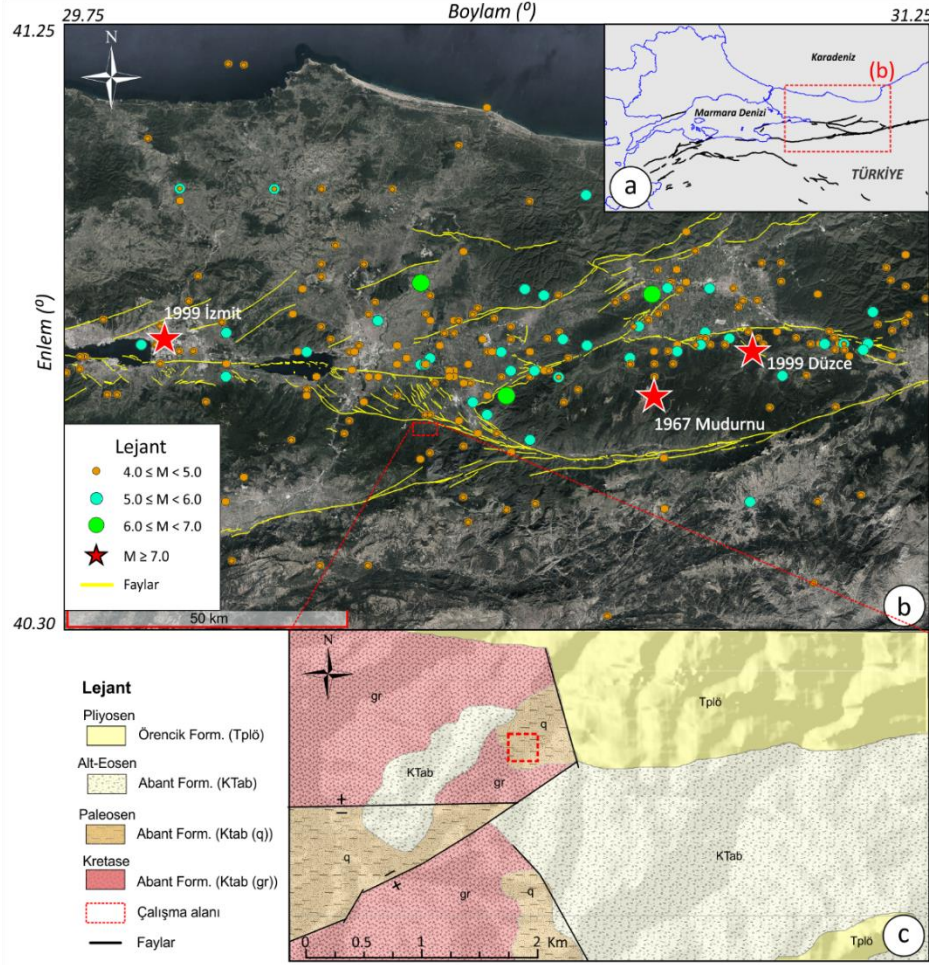
## 1. GİRİŞ

Kütle hareketlerinden biri olan heyelanlar; morfolojik yapı, jeolojik-hidrojeolojik koşullar ve arazi örtüsü gibi çeşitli faktörlerin etkisi altında oluşmaktadır. Bu etkileşimler, farklı bölgelerde heyelan olasılıklarının belirlenmesinde önemli bir rol oynar. Yaygın bir doğa kaynaklı afet olan heyelan başladığında ise, bu kütle hareketini durdurmanın ekonomik maliyeti yüksek ve neredeyse imkansızdır (Bunn ve diğ., 2020; Karaaslan ve Silahtar, 2024). Bu sebeple son on yıllık süreçte erken uyarı amaçlı uzaktan algılama yöntemleri ile zemindeki deformasyon değişiminden hızlı heyelan çözümlenmeleri (Zhang ve diğ., 2020; Song ve diğ., 2021) literatürde kendine yer edinmiştir. Ancak heyelan davranışı ve potansiyel riskini anlama açısından önemli kütle hareketi geometrisi veya reolojik bilgi olmaksızın yapılan bu öngörü lokal saha verileri ile kanıtlanmaya muhtaçtır. Bu bilgiye ulaşmada jeofizik yöntemler, lokal heyelanların fiziksel özelliklerinin (Mreyen ve diğ., 2021) ve geometrisinin (Karaaslan ve diğ., 2023) belirlenmesinde birincil yöntemlerden birisidir.

Heyelan alanlarında gerçekleştirilecek çalışmaların yerinde gerçekleştirilebilen ve kütle hareketini tetikleyici olmaması gerektiği düşünüldüğünde jeofizik yöntemlerin yeraltına ilişkin çözüm üretmesi oldukça sık başvurulan bir araçtır (Calamita ve diğ., 2023). Bu yöntemlerden yeraltının elektrik iletimine karşı verdiği direncine odaklanan elektik rezistivite tomografi (ERT), kütle hareketi değerlendirmesi dışında karstik yapıların incelenmesinde (Alemdağ ve diğ., 2024), yeraltı suyu aramalarında (Gelişli ve Babacan, 2021) ve gömülü arkeolojik yapıların tespitinde (Karaaslan ve Karavul 2018) vb. araştırmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Zeminin sıklık özelliklerine duyarlı aktif yüzey dalgaları analizi (MASW) ise daha çok yapı tasarımı için gerekli mühendislik parametrelerinin elde edilmesinde (Silahtar, 2023; Karlı ve diğ., 2024) tercih edilmektedir. Ana kaya ile sediman arasındaki ayrımlılığı esas alan mikrotremör (HVSR) yöntemi ise zemin hakim titreşim periyodu/frekansı ile zemin büyütmesi bilgisinin elde edilmesinde oldukça efektif bir yöntemdir (Mele ve diğ., 2021; Senkaya ve diğ., 2022). Bu yöntemlerin zeminin farklı fiziksel özelliklerine duyarlı olması ve yorumlamada bir yöntemdeki eksikliğin bir diğer jeofizik yöntem ile çözümlenebiliyor olması heyelan alanlarında çoklu jeofizik yöntem kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Bichler ve diğ. (2004) duraysız şevlerin yer aldığı bir heyelan alanında uyguladıkları çoklu jeofizik yöntemler ile kopma ve ayrılma yüzeylerini ve maksimum kayma yüzeyi derinliklerini başarıyla belirlemişlerdir. Marciniak ve diğ. (2021) tümleşik olarak kullandıkları jeofizik yöntemler ile yer altının ayrıntılı ve yüksek çözünürlüklü bir görüntüsünü elde etmeyi amaçlamışlardır. Şenkaya ve diğ. (2022) heyelan alanında kullandıkları sismik ve elektrik yöntemlerin karşılaştırılmalı değerlendirilmeleri ile farklı kalınlıklarda değişen istif alanlarının ana kaya üzerinde hareket ettiğini modellemişleridir. Karaaslan ve Silahtar (2024) şev duraylılığının insan kaynaklı sebepler ile tetiklendiği bir heyelan alanında tümleşik olarak gerçekleştirilen jeofizik yöntemler ile heyelan içyapısını yansıtan gerçeğe en yakın modeli elde etmişlerdir. Kütle hareketinin karakterizasyonu ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesini konu edinen bu çalışmalar, birden fazla tekniğin bir arada kullanılmasının avantajını net bir şekilde göstermektedir.

Marmara bölgesinde Kocaeli Platosunun doğusunda yer alan Sakarya ili, Karadeniz ve Marmara bölgesinde hüküm süren iklim şartlarının tesiri altında yağış ortalaması yıllık 844 mm (MGM, 2024) seviyesindedir. Sakarya İli'ndeki yüksek eğim barındıran alanlarda artan yağış yoğunluğuna ve yanlış arazi kullanımına bağlı olarak gelişen heyelan türleri genel bir tehlike arz etmektedir (Cihangir, 2022). Bu tür riskleri en aza indirgeme açısından eğimi yüksek şevlerde hidrolojik ve jeolojik koşulların net bir şekilde ortaya konması gerekmektedir (Boyd ve diğ., 2021). Bu bağlamda farklı fiziksel özelliklere duyarlı saha verileri, problemin belirsizliğini azaltmada ve güvenilir yer altı modelinin elde edilmesinde etkili bir bakış açısı sağlamaktadır (Karaaslan ve diğ., 2023).

Bu makale Sakarya ili Karapürçek ilçesinde tehlike içeren bir kütle hareketinin geometrik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu amaca yönelik birincil olarak jeofizik yöntemlerin benimsendiği çalışmada ikincil olarak jeolojik sondajlar kullanılmıştır. Heyelanın fiziksel özellikleri, muhtemel kayma düzlemi ve geometrisini belirleyebilmek adına iki boyutlu (2B) elektrik rezistivite tomografi (ERT), bir boyutlu (1B) aktif yüzey dalgaları analizi (MASW) ve yatay/düşey spektral oran (HVSr) yöntemleri kullanılmıştır. Son olarak sahadaki malzemelerin litolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan jeolojik zemin sondajları ile jeofizik veriler yorumlanmış ve kütle hareketine dair bir model önerilmiştir.



Şekil 1:

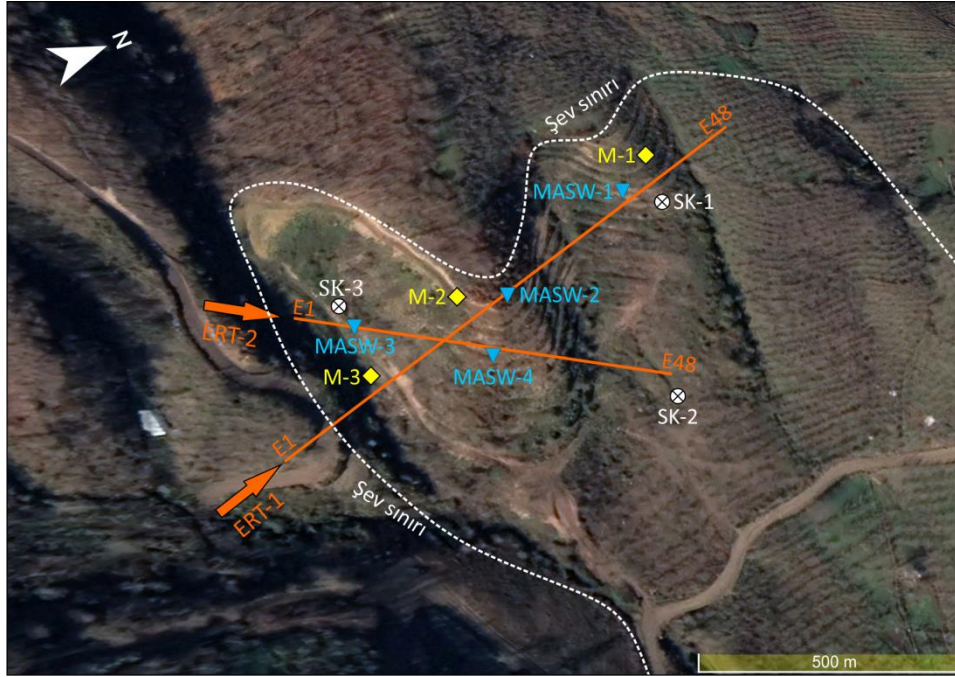
a. Çalışma alanının Batı Marmara'daki konumu b. Batı Marmara bölgesinin 1900-2024 yılları arasındaki sismik aktivitesi (deprem dış merkez dağılımları Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE)'den, fay bilgileri Emre ve diğ. (2018)'den düzenlenmiştir) c. İnceleme alanı ve çevresinin basitleştirilmiş jeoloji haritası (Sarıaslan ve diğ. (1998)'den düzenlenmiştir.)

## 2. SİSMİSİTE DEPREMSELLİK (SİSMİSİTE) ve GENEL JEOLJİ

Sakarya ili sınırları içinde yer alan Karapürçek ilçesi, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAF) batı Marmara'da ikiye ayrıldığı (Barka ve diğ., 2002) kollardan daha aktif olan kuzey kol (Meade ve diğ., 2002) sınırında konumlanmıştır (Şekil 1a). Şekil 1b'de verilen depremsellik haritasından görülebileceği üzere mevcut tektonik bileşenler bölgede yoğun sismik aktiviteye neden olurken son yüzyıllık süreçte bölgede M>7 olan üç önemli deprem meydana gelmiştir

(Şekil 1b’de verilen kırmızı yıldızlar). Buna karşılık ilçenin genel morfolojisi, Örencik Formasyonu (Tplö) ile temsil edilen dolgu yüzeylerin KB-GD doğrultulu ve düşey atımlı faylar ile basamaklandığı (Şekil 1c) eğimli bir görünüm sergilemektedir. Bu genç vadi sırtlarında yamaç stabilitesi; litoloji, toprak örtüsü ve iklimin etkisiyle bozuk ve kütle hareketini tetikleyecek bir yapıdadır (Sariaslan ve diğ., 1998).

Sakarya ili; KAF’ın kuzeyi (İstanbul-Zonguldak Zonu), güneyi (Sakarya Zonu) ve yakın çevresi (Ara Zon) olmak üzere üç farklı ana jeolojik bölgede incelenmektedir. Çalışmaya konu olan Karapürçek ve yakın çevresi, bu bölgelerden ara zon içerisinde yer almaktadır. Şekil 1c’ de basitleştirilmiş genel jeoloji haritasından görüleceği üzere araştırma alanı ve çevresi Pliyosen yaşlı Örencik (Tplö) ve Alt Eosen-Kretase yaşlı Abant (KTab) olmak üzere iki ana jeolojik formasyon çatısı altında dört farklı birim ile temsil edilmektedir. En genç birim olan Örencik Formasyonu çalışma alanının alt kotlarında esas olarak zayıf birleşmiş konglomera ve kumtaşı, kiltası ve çamurtaşı birimlerinden oluşmuştur. Formasyonun tabakalanması öncelikle orta kalınlıkta olmakla birlikte, bazen daha kalın bir dizi halinde de olabilir. Alt Eosen ile Kretase yaş aralığındaki Abant formasyonu; düzgün filiş istifli özelliği gösteren düzeylerden (KTab), ayırtlanan türbitik kumtaşları ile yer yer blok içeren silttaşı ve marnlardan (KTab (q)) ve derinlik kayası olan granitlerden (KTab (gr)) oluşmuştur (Sariaslan ve diğ., 1998). Araştırma alanı arkozik kumtaşı ile bloklu kiltası ve marnlı birimler (KTab (q)) ile temsil edilen alanda yer almakla birlikte, bu birimlerin yamaç ortamında çökelmiş olması şev stabilizasyonu açısından çalışma alanının potansiyel heyelan tehlikesini değerlendirmeyi önemli kılar. Sonuç olarak, jeolojik formasyonların özelliklerinin detaylı incelenmesi, bölgedeki potansiyel riskleri minimize etmek için gerekli önlemlerin alınmasına yardımcı olacaktır.



**Şekil 2:**

*Jeofizik veri kazanım nokta (mavi üçgen: MASW, sarı dörtgen: mikrotremör, beyaz daire: Sondaj kuyusu) ve profilleri (turuncu düz çizgi: ERT profilleri, kesikli beyaz çizgi: yaklaşık şev sınırı)*

### 3. MATERYAL VE METOT

İncelemeye konu olan şev yüzeyinde meydana gelen kütle hareketinin modellenmesi jeofizik ve jeolojik çalışmaların bir arada kullanılması ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Şev

yüzeyi üzerinde kütle hareketinin geometrisi ve yeraltı yapısının incelenmesi adına jeofizik yöntemlerden ERT, MASW ve mikrotremör kullanılmıştır. Jeofizik yöntemlerden elde edilecek sonuçların daha sağlıklı yorumlanabilmesi ve zeminin jeoteknik özelliklerine ait veri de sağlanabilmesi için jeolojik zemin sondajları yapılmıştır. Veri kazanımında arazi şartlarının izin verdiği ölçüde ve kütle hareketi düzlemine dik olacak şekilde arkozik kumtaşı ve bozuşmuş kil içerikli yüzeyde birincil olarak iki ERT profili belirlenmiştir. Buna göre Şekil 2’de verilen veri kazanım krokisin görülebileceği üzere kütle hareketinin tümleşik olarak yorumlanabilmesi için, her profilde iki MASW veri toplama noktası seçilmiş ve bu noktaları temsil eder nitelikte üç adet mikrotremör lokasyonu belirlenmiştir. Böylece meydana gelen kütle hareketine dair bir model oluşturulabilecektir.

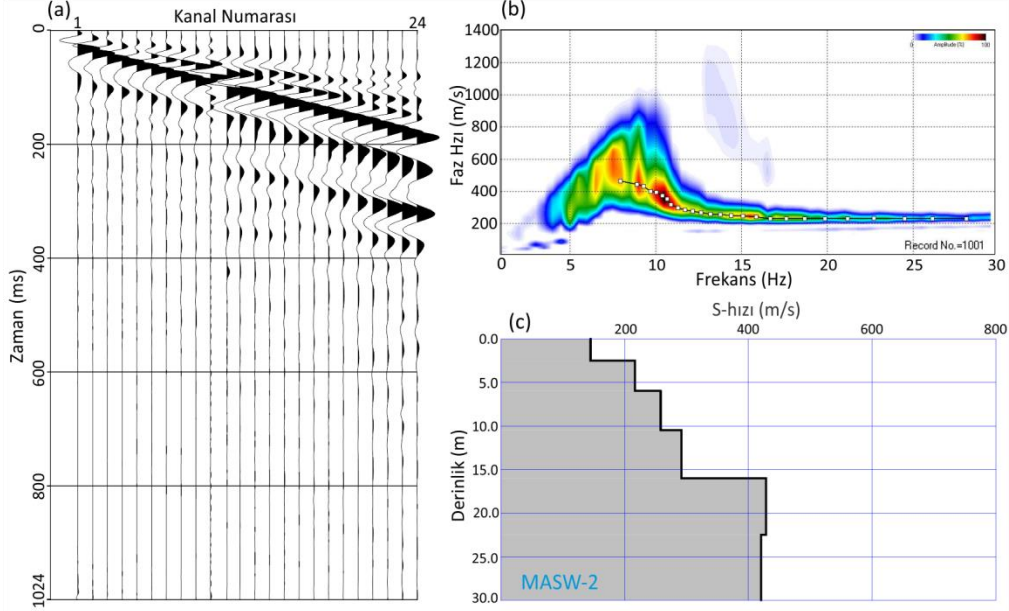
### 3.1. Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT)

Elektrik rezistivite yöntemi, bir elektrot çiftinden verilen akım ile yeraltında oluşturulan potansiyel farkın diğer elektrot çiftinden ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Ohm kanununa dayanarak potansiyel farktan hesaplanan görünür öz dirençlerin haritalanması ile yer altına dair elektrik öz direnç modelleri elde edilmektedir (Uyanık ve Çatlıoğlu, 2014). 2B elektrik rezistivite ölçümleri bir şev hidrojeolojik koşullarının (yer altı suyu derinliği, zamana bağlı su içeriği değişimi, yeraltı suyu boşalım ve beslenme bölgeleri, yeraltı suyu akım yönü) araştırılmasında (Wróbel ve diğ., 2022), olası kütle hareketi kayma düzleminin ve kütlelerinin tespitinde (Mreyen ve diğ., 2021; Karaaslan ve diğ., 2023) sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Çalışma alanında ERT verisi ölçümü, arazi şartları dikkate alınarak mümkün olabildiğince kütle hareketinin akış yönü doğrultusunda 48 elektrotlu Abem Terrameter LS sistemi ile Wenner-Schlumberger dizilimi kullanılarak n=6 seviyesine kadar iki profil üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Bu dizilim, yüksek sinyal gücü özelliği sayesinde daha derinden yüksek çözünürlük ile öz direnç bilgisinin toplanmasına ve derinlik boyutunda yatay veri kaybının daha az olmasından (Dahlin ve Zhou, 2004; Loke, 2004) ötürü göreceli daha geniş bir veri setinin kaydedilmesine olanak sağlamaktadır. Elektrik profillerden yaklaşık K-G yönlü ERT-1’de 5 m, GB-KD yönlü ERT-2’de ise 3 m elektrot aralığı ile öz direnç ölçümleri gerçekleştirilirken sırasıyla 235 ve 141 m’lik profiller üzerinde altı seviyede her bir profilde 686 öz direnç verisi kaydedilmiştir. Her bir ERT profiline ait öz direnç değişim kesitleri Res2DInv programı kullanılarak düzgünlük-kısıtlı en küçük kareler algoritması (Loke ve Barker, 1996) kullanılarak çözümlenmiştir. Kesitlere ait topoğrafya etkisi sonlu-elemanlar ağını kullanan algoritma ile yüzeyde yer alan model düğümlerinin (node) arazide ölçülen topoğrafya ile eşleşmesini sağlayarak (Loke, 2004) model ağına dahil edilmiştir. Çözümlenmeler ERT-1 için dört yinelemede %3.2 hata oranı (RMS) ile elde edilirken, ERT-2 için ise dört yinelemede %2.3 RMS ile elde edilmiştir. Böylece kütle hareketinin kayma düzlemi boyunca 2B öz direnç değişimi üretilmiştir.

### 3.2. Aktif Yüzey Dalgaları Analizi (MASW)

Yüzey dalgaları analizi yöntemlerinden aktif çok kanallı yüzey dalgası MASW (Park ve diğ., 1999) farklı mühendislik problemlerinin kayma dalga hızı (Vs) ile çözümlenmesinde (Zhang ve diğ., 2023) yöntemin ortaya çıkışına paralel son yirmi yıllık süreçte etkin olarak kullanılmaktadır. Yöntem düşük frekanslarda uzun dalga boyları ile seyahat eden yüksek genlikli yüzey dalgalarının dispersif özelliğini kullanır. Tabakalı yer altına ait (1B) Vs bilgisi, saha çalışması ile elde edilen veriden (Şekil 3a) Rayleigh dalgalarından faz hızının frekansla değiştiği dispersiyon eğrisinin modellenmesi (Şekil 3b) ve bu modelin ters çözümü (Şekil 3c) ile elde edilir. Geleneksel sismik kırılmada yönteminin teorisinden kaynaklanan sorunların yanı sıra daha hızlı ve ekonomik olan yöntem, kütle hareketinde duraylı ve duraysız bölge arasında sıklık yönünden bir ayırım yapılabilmesi (Şenkaya ve diğ., 2022) amacı ile kullanılmaktadır. MASW çalışma alanında DoReMi marka sismik kayıtçı ile her bir elektrik profil üzerinde iki

adet olmak üzere toplamda dört serimde uygulanmıştır (Şekil 2). Sismik saha verisi kütle hareketini modelleyebilmek adına Park ve diğ. (2002) tarafından önerilen optimum veri kazanım parametrisasyonu dikkate alınarak Tablo 1’de verildiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmasından elde edilen veriler açık kaynak MASWaves (Olafsdottir ve diğ., 2018) programında en az 10 yinleme ve en fazla %2.5 hata oranı ile çözümlenerek 1B derinlik-Vs kesitlerine dönüştürülmüştür.



**Şekil 3:**

MASW veri işlem aşamaları a. ham veri b. dispersiyon eğrisi seçimi c. 1B Vs-derinlik kesiti

**Tablo 1. MASW veri kazanım parametreleri**

Kanal sayısı	24
Örnekleme aralığı (mls)	0.5
Kayıt uzunluğu (s)	1
Alıcı aralığı (m)	3
Yakın ofset (m)	12
Profil boyu (m)	72
Alıcı frekansı (Hz)	4.5
Yığma	8-10
Enerji kaynağı	10 kg balyoz

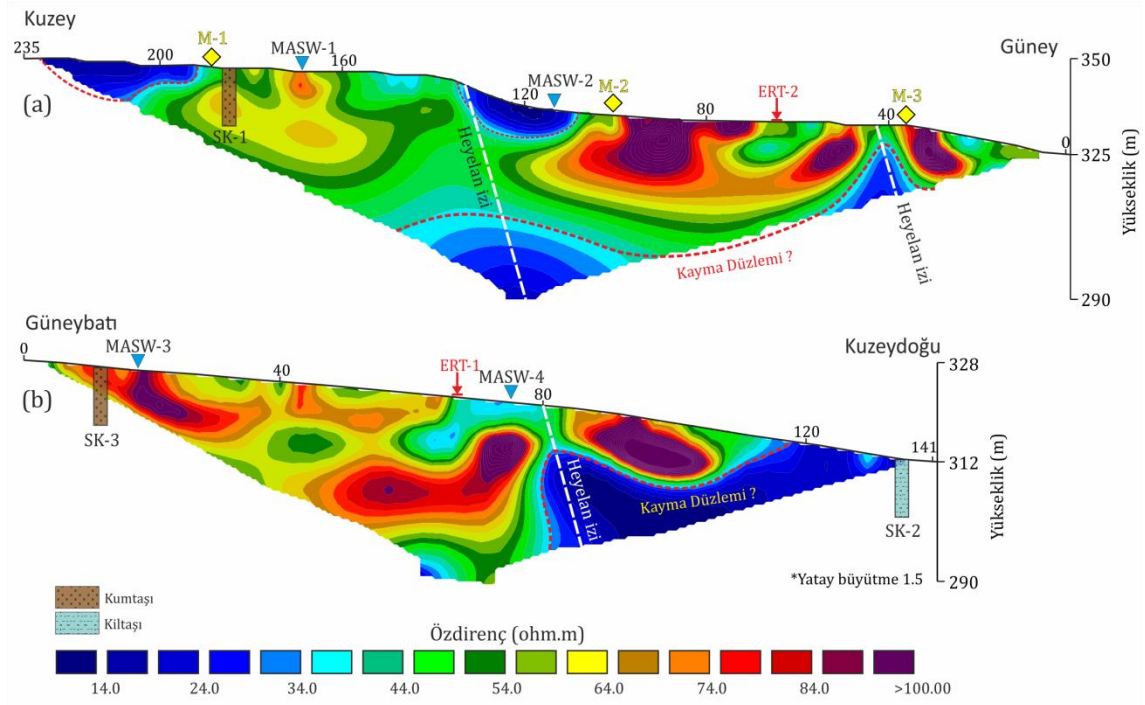
### 3.3. Yatay/Düşey Spektral Oran Mikrotremör (HVSR/V)

Yer yüzeyindeki titreşimler bilindiği üzere yayıldığı kaynağa göre değişiklik göstermekle birlikte titreşimin frekansı içeriği ile mikrotremör (>1Hz) veya mikroseizm (1Hz<) olarak tanımlanırlar (Molnar ve diğ., 2018). Yaygın olarak H/V veya HVSR olarak bilinen düşük genlik-enerjili mikrotremörlerin elde edilmesi ve analizine dayanan pasif kaynaklı tek istasyon yöntemi (Nakamura, 1989) ana kaya-yumuşak zemin kontrastının fark edilebilir seviyede olduğu koşullarda saha karakterizasyonu için etkili bir yöntemdir (Imposa ve diğ., 2017; Kanbur ve diğ., 2020). Yumuşak toprak içeriğinden kaynaklanan yatay bileşen spektral genliklerinin düşey bileşene göre normalleştirilmesi (Akkaya, 2020) olarak nitelendirilen bu yöntem, dinamik zemin parametrelerinin elde edilmesinde yaygın bir şekilde kullanılmasının yanı sıra şev

stabilitesi karakterizasyonunda heyelan birikintileri ile bu seviyenin altında ana kaya gibi davranan birim arasındaki empedans kontrastı yüzeylerinin tespitini kolaylaştırır (Mreyen ve diğ., 2021). Bu sebeple son yıllarda kütle hareketlerinin modellenmesinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Rezaei ve diğ., 2020; Şenkaya ve diğ., 2022; Alonso-Pandavenes ve diğ., 2023). Çalışma alanında HVSR ölçümleri eğim aşağı toplamda üç noktada gerçekleştirilirken (Şekil 2) ortam gürültüsü en az 30 dakika ve 100 Hz örnekleme aralığı ile kayıt edilmiştir. Veriler SESAME kriterleri dikkate alınarak Geopsy programı ile değerlendirilmiştir. 0.1-20 Hz aralığında band-geçişli filtre ile filtrelenen çevresel gürültüler, 50 saniye uzunluğundaki Fourier transformu pencereleri (FFT) (minimum 18 pencere) ve bant genişliği 40 olan Konno-Omachi yuvarlatma operatörü (Konno ve Ohmachi, 1998) ile HVSR spektrumlarına dönüştürülmüştür. Böylece, hareket eden kütle ile ana kaya arasındaki empedans kontrastını yansıtabilecek grafikler oluşturulmuştur.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışmaya konu olan kütle hareketini kapsayan jeolojik birimlerin hidrojeolojik ve fiziksel özellikleri jeofizik yöntemlerden 2B ERT, 1B MASW ve HVSR ile belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca hem heyelan içyapısının litolojik özelliklerinin ortaya çıkarılabilmesi hem de jeofizik sonuçların gerçek yeraltı litolojisi ile ilişkilendirilmesi adına jeolojik zemin sondajları kullanılmıştır (Şekil 2).

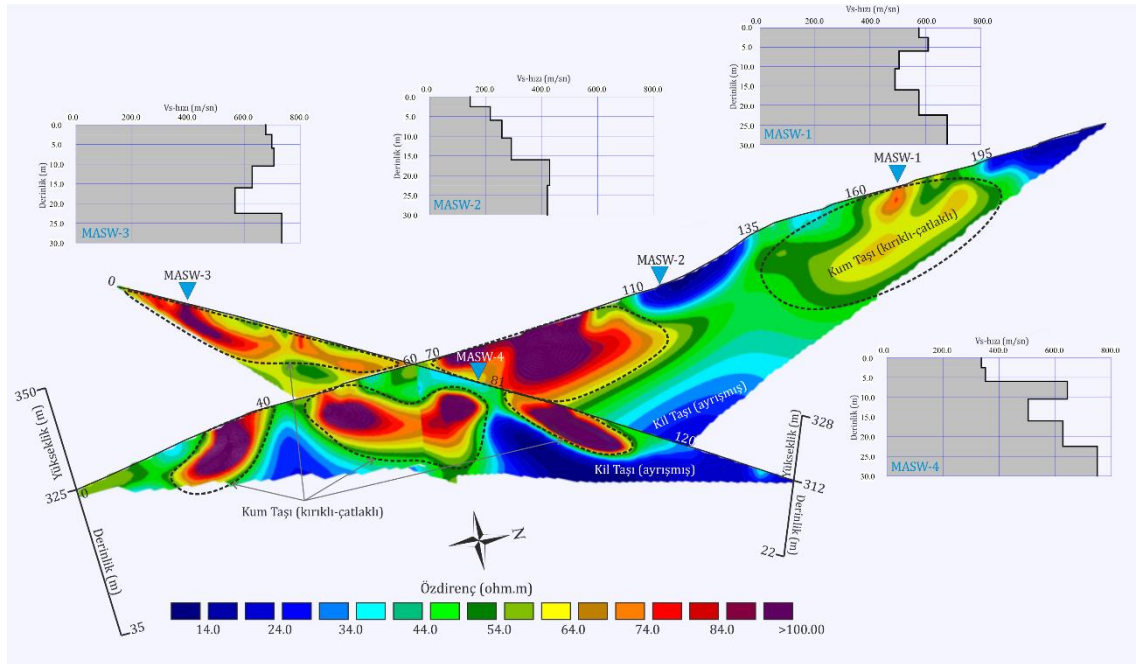


Şekil 4:

a. ERT-1 profiline ait yorumlanmış 2B topoğrafyalı ters çözüm kesiti b. ERT-2 profiline ait yorumlanmış 2B topoğrafyalı ters çözüm kesiti

Heyelan sahası içerisinde birincil olarak gerçekleştirilen 2B ERT uygulamalarının sonuçları Şekil 4'de verilmiştir. 50 m derinliğe kadar çözümlene yapabilen ERT-1'de kot farkı 23 m (Şekil 4a), daha kısa olan ERT-2'de ise yaklaşık 30 m derinliğe kadar gerçekleştirilen modellemelerde ise kot farkı 17 m (Şekil 4b) olup özdirenç değerlerinin kontur

dağılımı 14-142 ohm.m aralığında değişim sergilemektedir. Her iki profilde yaklaşık 14-40 ve 40-142 ohm.m aralığında değişen iki ayrı öz direnç birimine karşılık gelen kontur dağılımı düzeni gözlemlenmektedir. 2B ERT kesitler ile bu kesitler üzerinde yer alan sondajlara ait loglar eşleştirildiğinde bu öz direnç değerleri litolojik olarak kırıklı çatlaklı kumtaşı (40-142 ohm.m) ile kil ve yer yer altere kil taşı (14-40 ohm.m) ile örtüşmektedir (Şekil 4). Bu öz direnç değerleri, inceleme alanın kil içerikli kökeni ve kırıklı-çatlaklı yapısının getirdiği nem içeriğinden dolayı genel olarak düşüktür. Kesitlerde kil taşı ile sınırlanmış kayma düzlemi üzerinde eğim aşağı yönde yatay veya çapraz tabakalı kırıklı-çatlaklı kumtaşı karşılık gelen ve süreksizlik sergileyen öz direnç dağılımı, daha heterojen ve gözenekli yapıya işaret etmektedir. Sıklıkla karşılaşılan ve alışagelmış heyelan elektrik öz direnç modellerinde, düşük öz direnç değerli bir kütle daha yüksek öz dirençli bir birim üzerinde hareket eder (Imani ve diğ., 2021; Karaaslan ve diğ., 2023). Ancak Şekil 4a ve 4b'deki ters çözümden elde edilen yapı kesitlerinden görülebileceği üzere daha düşük öz dirençli katman üzerinde (kumtaşı) heterojen, gözenekli ve nispeten yüksek öz dirençli birimlerin hareketi söz konusudur. Özellikle yağışlı dönemlerde yer altına sızan suların, ayrılmış kil taşında şişmeye neden olacağı ve lokal yer değiştirmeler üzerinde tetikleyici bir rol oynayacağı akla gelmektedir. 2B ERT kesitlerinde yorumlanan bu yapılar ölçekli olarak kesişme noktalarından birleştirilerek 3B ERT perspektif (fence) diyagram üzerinde ayrıca modellenmiştir (Şekil 5). Bu diyagram, her iki 2B ERT kesitinde ortaya çıkarılan yapıların öz direnç karakterlerinin birbiri ile tutarlı ve kesişme noktalarında kayma düzlemini görüntülemeye uyum sağladığını göstermektedir.

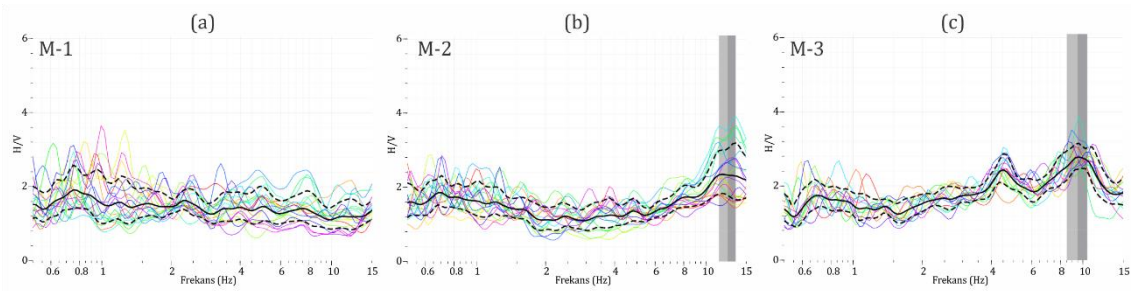


**Şekil 5:**  
3B ERT fence diyagramı ve MASW 1B derinlik-Vs kesitleri

Kütle hareketinin dinamik yapısını sıklık yönünden modellenmesi amacı ile her bir ERT profilinde ikişer noktada gerçekleştirilen MASW 1-B derinlik (m)-Vs (m/sn) sonuçları Şekil 5 üzerinde 3B ERT perspektif diyagramı ile birlikte verilmiştir. 30 m derinlik seviyesine kadar yapılan değerlendirmelerde Vs değerleri 180-770 m/sn hız aralığında değişim göstermektedir. ERT-1 ve ERT-2 profillerinin üst kotlarında gerçekleştirilen MASW-1 ve MASW-3'de Vs hızları derinlik kesiti boyunca sırasıyla ortalama 600-700 m/sn civarında yaklaşık tekdüze bir tabakalanma görünümü sergilemektedir. Sondaj litolojisine göre arkozik kumtaşı olarak değerlendirilen bu hız değerlerindeki kısmi değişim formasyon içerisindeki çatlak miktarı ile



ilişkilendirilmiştir. ERT-2 üzerinde gerçekleştirilen MASW-4’de yüzeyden yaklaşık 5-6 m derinlikte Vs hızları ortalama 330 m/sn civarındayken, devam eden derinlik seviyeleri için ani bir yükselim göstererek MASW-1 ve MASW-3’e benzer bir yapıda ortalama 600 m/sn seviyelerine ulaşmıştır. Şekil 4’de özdirenç dağılımı verilen ERT-2 ve konumu verilen SK-2 litolojisi dikkate alındığında bu ani hız yükselimi kayma düzlemine işaret eden kilitli ve kumtaşı sınırına karşılık gelmektedir. Bu sınır eğime bağlı olarak kütle hareketinin farklı noktalarında 10-30 m arasında ondülasyonlu bir değişim sergilemektedir. ERT-1 üzerinde yer alan MASW-2’de diğer üç MASW değerlendirmesinden farklı olarak yüzeyden itibaren ilk 15 m’lik derinlikte tabaka hızları ortalama 300 m/sn civarındayken, bu seviyeden itibaren göreceli bir yükselim göstererek 400 m/sn’nin biraz üzerine çıkmıştır. MASW-4’de sığ yüzeydeki tabaka hızları ile benzeşim gösteren bu hızlar farklı derecede bozmuş zayıf birleşmiş kilitli olarak tanımlanmıştır.

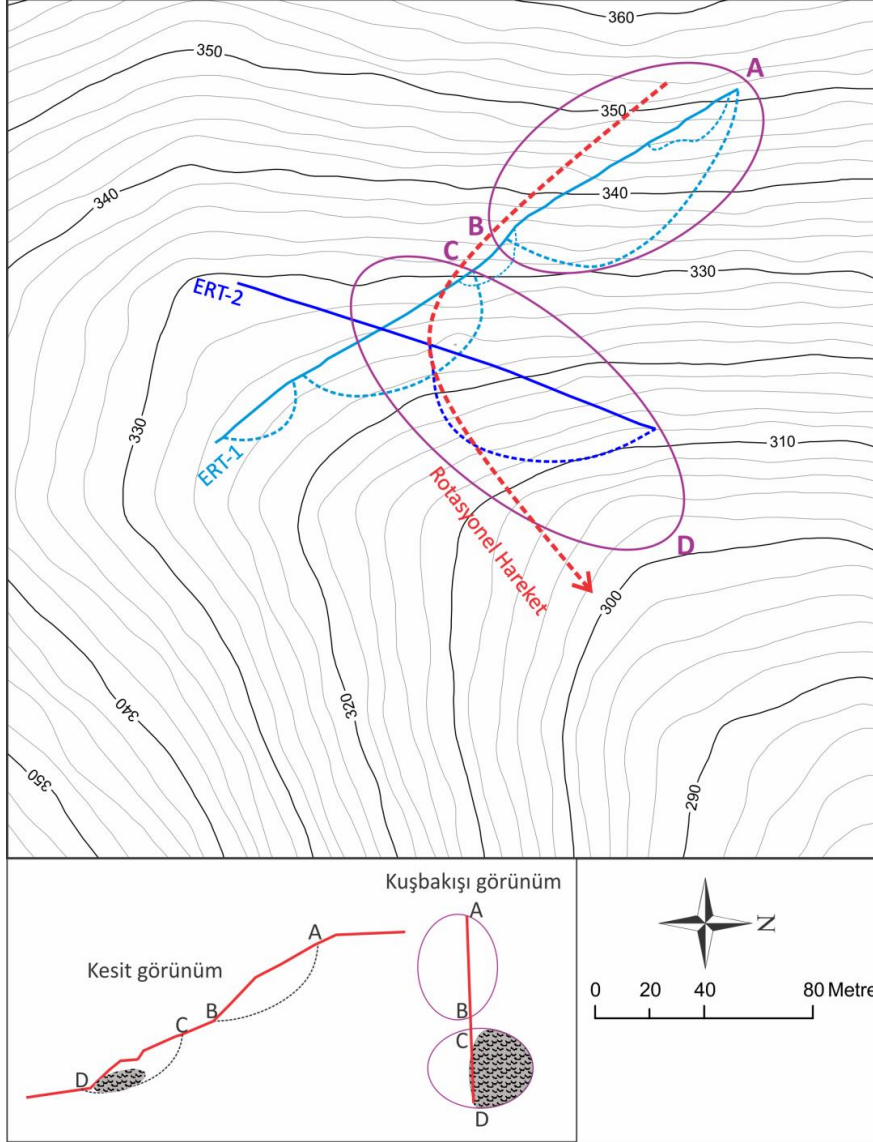


**Şekil 6:**  
Saha çalışmasından elde edilen H/V spektrumları

Şekil 6’da mikrotremör yönteminden elde edilen spektrumlar yer almaktadır. Bu spektrumlardan üst kotlarda (Şekil 2) yer alan M-1’de (Şekil 6a) zemin-ana kaya geçişini temsil eder nitelikte belirgin bir doruk oluşumundan ziyade HVSR spektrumu hemen hemen yatay (flat) bir karakterde elde edilmiştir. Spektrumlarda oluşan doruk H/V genliklerinin zemin-ana kaya arasındaki kontrasttan türediği (Şenkaya ve diğ., 2022) bilgisi dikkate alındığında, bu nokta için ana kaya tanımlaması yanlış olmayacaktır. Çalışma sahasının orta kotlarında yer alan M-2’ye ait spektrumda (Şekil 6b) 12.8 Hz frekansında tek bir belirgin genlik elde edilmiştir. Bilindiği gibi HVSR spektrumları ana kaya derinliğine dair de yaklaşım sunabilmektedir (Mele ve diğ., 2021). Bu bağlamda M-2’de yüksek frekans bandında ortaya çıkan doruk H/V genliği bu noktadaki ana kayanın oldukça sığ olması ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma alanındaki en alt kotta (Şekil 2) yer alan M-3 noktasında (Şekil 6c) ise 4.5 ve 9.5 Hz merkez frekanslı iki doruklu bir HVSR spektrumu ortaya çıkmıştır. Bu lokasyonda yüksek frekans bandında doruk H/V genliğinin M-2’ye oranla daha düşük frekansa doğru ötelenmesi ana kaya üzerindeki birikimin kalınlaşması şeklinde yorumlanmıştır. Öte yandan 4.5 Hz’de meydana gelen ikinci doruk H/V genliği (Şekil 6c), Şekil 5’de yorumlanmış elektrik kesit ile de desteklenen birikim kalınlığı içindeki tabakalaşmaya işaret etmektedir.

Son olarak çalışma alanında uygulanan tüm yöntemlerin bütünlük değerlendirmesi ile meydana gelen kütle hareketine ait basitleştirilmiş bir şematik diyagram hazırlanmıştır (Şekil 7). Heyelanların ilksel hareketi genellikle alansal olarak küçük ölçekte, heyelan kütlelerinin kırık yüzeylerini takip ederek iç-alt bölümlerine doğru gelişmesi şeklindedir ki, bu da tek bir heyelan gövdesi üzerinde birden fazla kayma yönüne yol açabilir (Frattini ve diğ., 2018; Song ve diğ., 2021). Şekil 7’de izlenebildiği gibi ERT-1 profili üzerinde açık mavi kesikli çizgilerle gösterilen A-B uzanımı boyunca kayma düzlemlerinde eğim aşağı gerçekleşen ilksel hareket devamında alt kotlara doğru yeni kayma düzlemleri ile devam etmekte olup, aşınma ile oluşmuş (penetlen) vadi sırtında rotasyona (kırmızı kesikli çizgi) uğrayarak koyu mavi kesikli çizgiler ile tanımlanan KB yönlü C-D düzlemi uzanımında farklı bir kayma yönüne evrilmiştir. Şekil 7’de verilen eş yükselti haritasından görülebileceği üzere A noktasından başlayarak D noktasına

doğru yayılım sergileyen bu yaklaşık 40 m kotlu hareketin, yaklaşık %28'lik yüksek bir eğim düzlemi üzerinde yamaç sırtından vadi tabanına doğru KB yönlü kırmızı kesikli çizgiler ile gösterilen düzlem üzerinde meydana geldiği anlaşılmaktadır. Ortaya çıkan bu hareket UNESCO dünya heyelan envanteri çalışma grubu (WP/WLI, 1993) tarafından tanımlanan ardışık kütle hareketi (Şekil 7'de altta verilen şematik gösterim) diyagramı ile de benzeşim göstermektedir. Ayrıca bu hareketlerin aynı kayma düzleminde gerçekleşmiyor oluşu (Skempton ve Hutchinson, 1969) da ardışık hareketi güçlendiren bir diğer önemli göstergedir.



**Şekil 7:**  
Modellenen kütle hareketinin şematik gösterimi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırma, farklı fiziksel özelliklere duyarlı jeofizik yöntemlerin ve jeolojik zemin sondajı verilerinin bütünleşik kullanımı ile meydana gelen bir kütle hareketinin jeofizik yapı kesitleri ve grafiklerine göre modellenmesini konu edinmiştir. Gerçekleştirilen yöntemlerin sonuçlarının değerlendirmeleri yardımıyla kütle hareketinin litolojik, hidrojeolojik ve fiziksel özellikleri tespit edilmiş ve olası kayma düzleminde dair bir yaklaşım geliştirilerek gerçekleşen

kütle hareketine dair bir şematik model sunulmuştur. Kayma düzleminin 2B ERT ve MASW sonuçları dikkate alınarak alanın farklı lokasyonlarında ondülasyonlu bir yapıda ve yaklaşık 10-30 m derinlik seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Eğim aşağı peneplen vadi tabanı yönündeki ondülasyonlu düzlemde hareket eden kütlelerin özdirenç değerleri 40-142 ohm.m aralığında olup, Vs değerleri yaklaşık 600 m/sn'nin üzerinde belirlenmiştir. Öte yandan ana kaya ile zemin geçişi arasında önemli bir bilgi sunan HVSR doruk genliklerin eğim aşağı kademeli olarak düşük frekanslar doğru ötelenmesi ve en alt kotta gözlenen ikinci doruk genlik, örtü kalınlığının artışı ve tabakalaşma ile ilişkilendirilmiştir. Spektrumlardaki bu değişim sismik ve elektrik sonuçları desteklemiştir. Jeolojik sondajlardan arkozik kumtaşı ve bozuşmuş kil ile tanımlanan kayma düzlemi üzerindeki KB yönlü kütlelerin hareketi; yağış etkisindeki su içeriği, ana kaya görevindeki kalın kil tabakası varlığı ve yaklaşık 40 m kot farkı olan peneplen vadideki %28'lik yüksek eğim ile açıklanmıştır.

Sıklıkla karşılaşılan heyelan özdirenç modelinden farklı yapıdaki kütle hareketinin yatay ve düşeydeki gelişimi bütünleşik jeofizik yöntemler ile tespit edilirken aynı türde iki yamaç hareketinin varlığı ile ilişkilendirilen bu hareketin oluş tipine göre kayma türündeki ardışık yapısı ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte risklerin belirlenmesi adına özgü mühendislik çözümlerine olanak tanıyabilir ki, bu sayede afet odaklı ekonomik kazanımlar da elde edilebilir. Bu nedenle heyelan geometrisinin karakterizasyonu ve kütle hareketi kalıplarının (modellerinin) bu gibi çalışmalar ile çoğaltılması, bu kazanımları sürdürülebilir boyuta taşımada önleme çalışmaları kapsamında veya erken uyarı sistemlerinin uyarı süresinin yapay zeka yöntemleri ile optimizasyonu içinde oldukça önemli veri kaynağı oluşturacaktır.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## YAZAR KATKISI

Bu çalışmada; Ali SİLAHTAR ilk taslağın oluşturulması, literatür taraması, yöntem, veri toplama, analiz ve yorumlama, görselleştirme, son onay ve tam sorumluluk kısımlarına; Hasan Karaaslan literatür taraması, taslağın yazımı, yöntem, veri toplama, analiz ve yorumlama, son onay ve tam sorumluluk kısımlarına katkı sağlamıştır.

## KAYNAKLAR

1. Akkaya, İ. (2020) Availability of seismic vulnerability index (Kg) in the assessment of building damage in Van, Eastern Turkey. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19(1), 189-204. doi.org/10.1007/s11803-020-0556-z
2. Alemdağ, H., Köroğlu, F., Aydın, Z. Ö., Şeren, A., Babacan, A. E. ve Ersoy, A. F. (2024) Deciphering of karst geomorphology and sinkhole (doline) structures using multiple geophysical and geological methods (Trabzon, NE Türkiye). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 83(7), 286. doi.org/10.1007/s10064-024-03779-7
3. Alonso-Pandavenes, O., Bernal, D., Torrijo, F. J. Ve Garzón-Roca, J. (2023) A comparative analysis for defining the sliding surface and internal structure in an active landslide using the HVSR passive geophysical technique in Pujilí (Cotopaxi), ecuador. *Land*, 12(5), 961. doi.org/10.3390/land12050961
4. Barka, A., Akyuz, H. S., Altunel, E. R. H. A. N., Sunal, G., Cakir, Z., Dikbas, A. Y. N. U. R., ... ve Page, W. (2002) The surface rupture and slip distribution of the 17 August 1999

- Izmit earthquake (M 7.4), North Anatolian fault. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 43-60. doi.org/10.1785/0120000841
5. Bichler, A., Bobrowsky, P., Best, M., Douma, M., Hunter, J., Calvert, T. ve Burns, R. (2004) Three-dimensional mapping of a landslide using a multi-geophysical approach: the Quesnel Forks landslide. *Landslides*, 1, 29-40. doi.org/10.1007/s10346-003-0008-7
  6. Boyd, J., Chambers, J., Wilkinson, P., Peppas, M., Watlet, A., Kirkham, M., ... ve Binley, A. (2021) A linked geomorphological and geophysical modelling methodology applied to an active landslide. *Landslides*, 18(8), 2689-2704. doi.org/10.1007/s10346-021-01666-w
  7. Bunn, M., Leshchinsky, B. ve Olsen, M.J. (2020) Estimates of three-dimensional rupture surface geometry of deep-seated landslides using landslide inventories and high-resolution topographic data. *Geomorphology*, 367, 107332. doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107332
  8. Calamita, G., Gallipoli, M. R., Gueguen, E., Sinisi, R., Summa, V., Vignola, L., ... ve Perrone, A. (2023) Integrated geophysical and geological surveys reveal new details of the large Montescaglioso (southern Italy) landslide of December 2013. *Engineering Geology*, 313, 106984. doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.106984
  9. Cihangir, M. E. (2022) Kayma tipi heyelanların farklı duyarlılık modellerinde kombinasyonu: Sakarya Havzası Yukarı Çığırı örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, (80), 21-38
  10. Dahlin, T. ve Zhou, B. (2004) A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays. *Geophysical prospecting*, 52(5), 379-398. doi.org/10.1111/j.1365-2478.2004.00423.x
  11. Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. ve Çan, T. (2018) Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(8), 3229-3275
  12. Frattini, P., Crosta, G. B., Rossini, M. ve Allievi, J. (2018) Activity and kinematic behaviour of deep-seated landslides from PS-InSAR displacement rate measurements. *Landslides*, 15, 1053-1070. doi.org/10.1007/s10346-017-0940-6
  13. Gelişli, K. ve Babacan, A. E. (2021). Yeraltı Suyu Aramalarında Jeofizik Özdirenç Uygulamaları. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 9(2), 535-543
  14. Imani, P., Abd EL-Raouf, A. ve Tian, G. (2021) Landslide investigation using Seismic Refraction Tomography method: a review. *Annals of Geophysics*, 64(6), SE657-SE657. doi.org/10.4401/ag-8633
  15. Imposa, S., Grassi, S., Fazio, F., Rannisi, G. Ve Cino, P. (2017) Geophysical surveys to study a landslide body (north-eastern Sicily). *Natural Hazards*, 86, 327-343. doi.org/10.1007/s11069-016-2544-1
  16. Kanbur, M. Z., Silahtar, A. ve Aktan, G. (2020) Local site effects evaluation by surface wave and H/V survey methods in Senirkent (Isparta) region, southwestern Turkey. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19, 321-333. doi.org/10.1007/s11803-020-0564-z
  17. Karaaslan, H. ve Karavul, C. (2018) Usefulness of electrical and magnetic methods in finding buried structure of the Alabanda Ancient Cistern in Çine Town, Aydın City, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-11. doi.org/10.1007/s12517-018-3524-4

18. Karaaslan, H., Silahtar, A. ve Ramazanoglu, S. (2023) Characterization of an active landslide structure with integrated electrical resistivity tomography and multi-channel analysis of surface waves methods in Değirmendere district, Sakarya (Türkiye). *Earth Surface Processes and Landforms*, 48(15), 3170-3180. doi.org/10.1002/esp.5689
19. Karaaslan, H. ve Silahtar, A. (2024) Elektrik Rezistivite Tomografi (ERT) ve yüzey dalgası analiz yöntemleriyle aktif bir heyelan alanının incelenmesi, Sakarya, Hendek Investigation of an active landslide area with the Electrical Resistivity Tomography (ERT) and surface-wave analysis methods in Hendek, Sakarya. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (baskıda)
20. Karşlı, H., Babacan, A. E. ve Akın, Ö. (2024) Subsurface characterization by active and passive source geophysical methods after the 06 February 2023 earthquakes in Turkey. *Natural Hazards*, 120(6), 5257-5286. doi.org/10.1007/s11069-024-06422-6
21. Konno, K. ve Ohmachi, T. (1998) Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), 228-241
22. KRDAE, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. Erişim Adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/> (Erişim Tarihi: 20.05.2024)
23. Loke, M. H. ve Barker, R. D. (1996) Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method1. *Geophysical prospecting*, 44(1), 131-152. doi.org/10.1111/j.1365-2478.1996.tb00142.x
24. Loke, M. H. (2004). Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys
25. Marciniak, A., Kowalczyk, S., Gontar, T., Owoc, B., Nawrot, A., Luks, B., ... ve Majdański, M. (2021) Integrated geophysical imaging of a mountain landslide—a case study from the Outer Carpathians, Poland. *Journal of Applied Geophysics*, 191, 104364. doi.org/10.1016/j.jappgeo.2021.104364
26. Meade, B. J., Hager, B. H., McClusky, S. C., Reilinger, R. E., Ergintav, S., Lenk, O., ... ve Ozener, H. (2002) Estimates of seismic potential in the Marmara Sea region from block models of secular deformation constrained by Global Positioning System measurements. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 208-215. doi.org/10.1785/0120000837
27. Mele, M., Bersezio, R., Bini, A., Bruno, M., Giudici, M. ve Tantardini, D. (2021) Subsurface profiling of buried valleys in central alps (northern Italy) using HVSr single-station passive seismic. *Journal of Applied Geophysics*, 193, 104407. doi.org/10.1016/j.jappgeo.2021.104407
28. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2024). 2023 Yılı İklim Değerlendirmesi. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü
29. Molnar, S., Cassidy, J. F., Castellaro, S., Cornou, C., Crow, H., Hunter, J. A., Matsushima, S., Sánchez-Sesma F. J., Yong, A. (2018) Application of microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (MHVSR) analysis for site characterization: State of the art. *Surveys in Geophysics*, 39, 613-631. doi.org/10.1007/s10712-018-9464-4

30. Mreyen, A. S., Cauchie, L., Micu, M., Onaca, A. ve Havenith, H. B. (2021) Multiple geophysical investigations to characterize massive slope failure deposits: application to the Balta rockslide, Carpathians. *Geophysical Journal International*, 225(2), 1032-1047. doi.org/10.1093/gji/ggab028
31. Nakamura, Y. (1989) A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1)
32. Olafsdottir, E. A., Erlingsson, S. ve Bessason, B. (2018) Tool for analysis of multichannel analysis of surface waves (MASW) field data and evaluation of shear wave velocity profiles of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 55(2), 217-233. doi.org/10.1139/cgj-2016-0302
33. Park, C. B., Miller, R. D. ve Xia, J. (1999) Multichannel analysis of surface waves. *Geophysics*, 64(3), 800-808. doi.org/10.1190/1.1444590
34. Park, C. B., Miller, R. D. ve Miura, H. (2002) Optimum field parameters of an MASW survey. *Japanese Society of Exploration Geophysics Extended Abstracts*, 36
35. Rezaei, S., Shooshpasha, I. Ve Rezaei, H. (2020) Evaluation of ground dynamic characteristics using ambient noise measurements in a landslide area. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 79(4), 1749-1763. doi.org/10.1007/s10064-019-01637-5
36. Sariaslan, M. M., Yurdakul, M. E., Osmançelebioğlu, R., Basa, F., Erkal, T., Keçer, M., ... ve Aktimur, H. T. (1998) Ankara ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları. *MTA Rapor*, (10069)
37. Senkaya, M., Babacan, A. E., Karşlı, H. ve San, B. T. (2022) Origins of diverse present displacements in a paleo-landslide area (Isiklar, Trabzon, northeast Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 81(8), 245. doi.org/10.1007/s12665-022-10372-
38. Silahtar, A. (2023) Evaluation of local soil conditions with 1D nonlinear site response analysis of Arifiye (Sakarya District), Turkey. *Natural Hazards*, 116(1), 727-751. doi.org/10.1007/s11069-022-05695-z
39. Skempton, A. W. ve Hutchinson, J. (1969) Stability of natural slopes and embankment foundations. In *Soil Mech & Fdn Eng Conf Proc/Mexico*
40. Song, C., Yu, C., Li, Z., Pazzi, V., Del Soldato, M., Cruz, A. ve Utili, S. (2021) Landslide geometry and activity in Villa de la Independencia (Bolivia) revealed by InSAR and seismic noise measurements. *Landslides*, 18(8), 2721-2737. doi.org/10.1007/s10346-021-01659-9
41. Uyanık, O., Çatlıoğlu B. (2014) Elektrik öz direnç ve sismik kırılma yöntemlerinden heyelan geometrisinin belirlenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 18(3), 22-29
42. 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
43. Wróbel, M., Stan-Kłeczek, I., Marciniak, A., Majdański, M., Kowalczyk, S., Nawrot, A. ve Cader, J. (2022) Integrated geophysical imaging and remote sensing for enhancing

geological interpretation of landslides with uncertainty estimation—A case study from Cisiec, Poland. *Remote Sensing*, 15(1), 238. doi.org/10.3390/rs15010238

44. Zhang, G., Tu, F., Tang, Y., Chen, X., Xie, K. ve Dai, S. (2023) Application of geophysical prospecting methods ERT and MASW in the landslide of Daofu County, China. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1054394. doi.org/10.3389/feart.2022.1054394
45. Zhang, Y., Meng, X. M., Dijkstra, T. A., Jordan, C. J., Chen, G., Zeng, R. Q. ve Novellino, A. (2020) Forecasting the magnitude of potential landslides based on InSAR techniques. *Remote Sensing of Environment*, 241, 111738. doi.org/10.1016/j.rse.2020.111738

