



## Elektrik Özdirenç ve Sismik Kırılma Yöntemlerinden Heyelan Geometrisinin Belirlenmesi

Osman UYANIK\*1, Burak ÇATLIOĞLU

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, 32200, Isparta

(Alınış Tarihi: 13.10.2014, Kabul Tarihi: 15.12.2014)

### Anahtar Kelimeler

Heyelan  
sismik kırılma  
elektrik özdirenç  
tomografi  
heyelan geometrisi  
zemin.

**Özet:** Jeofizik yöntemlerden elektrik özdirenç ve sismik kırılma yöntemleri çevre, mühendislik ve farklı jeolojik problemleri araştırmak amaçlı kullanılmaktadır. Heyelan araştırmalarında bu iki yöntem başvurulan birincil yöntemlerdendir.

Bu çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi Batı Yerleşkesi içerisinde daha önce yüzeysel kaymaların olduğu alanda, oluşabilecek heyelan geometrisini ve heyelan kütesinin özelliklerini belirlemek amacıyla elektrik rezistivite tomografi (ERT) ve çok atışlı sismik kırılma (ÇASK) çalışmaları yapılmıştır. Sismik ve özdirenç çalışmalarının 2-boyutlu ters çözüm sonucunda heyelan geometrisi ve zeminin mekanik özellikleri belirlenmiştir.

Heyelanın topuk kısmı üzerindeki yapılaşmanın büyük bir kütle hareketini engellediği düşünülmektedir. Ancak, küçük yüzeysel kaymalar artan yağışlarla birlikte artmaktadır. Bu alana ek yük olarak gelecek yapılaşmadan kaçınılması gerekmektedir.

## Determination of Landslide Geometry by using Electrical Resistivity and Seismic Refraction Methods

### Keywords

Landslide  
seismic refraction  
electrical resistivity  
tomography  
landslide geometry  
soil.

**Abstract:** Electric resistivity and seismic refraction methods of geophysics are used to investigate for environmental, engineering and different geological problems. These methods are also referenced as the primary survey methods in landslide survey.

In this study, electrical resistivity tomography (ERT) and multi-shot seismic refraction (MSSR) methods are conducted to determine the characteristic of the potential landslide geometry and material properties in the Süleyman Demirel University West Campus area where shallow surface slip occurred. Landslide geometry and mechanical properties of soil are determined based on the 2-dimensional inversion of seismic refraction and electrical resistivity tomography data.

The structures located on the heel of the landslide are considered as an element which prevented a large mass movement in the area. However, surface slip increases with increasing rainfall and therefore, construction of structures which form an additional load should be avoided in this area.

### 1. Giriş

Heyelanlar yarattığı hasarlar açısından dikkate alınması gereken doğal bir olaydır. Ülkemizde 1950-

2005 yılları arasında 12794 heyelan meydana gelmiştir (Gökçe vd., 2006).

Heyelanların dünyadaki örnekleri incelendiğinde ise konunun ne derece önemli olduğu ve önlem alınmasının gerekliliği bilinmektedir. Can kayıpları,

verimli toprak kayıpları ve maddi kayıplar meydana gelmeden önce heyelan incelemeleri yapılmalıdır. Heyelanlar meydana gelmeden önce gerilme çatlakları ile haber vermesinden ötürü depreme göre önceden tespiti mümkün olmaktadır. Ani ve sürpriz nitelikli hiçbir yamaç hareketi yoktur. En hızlı heyelanlar dahi öncel belirtiler gösterir. Bütün bunlara rağmen heyelandan ötürü maddi ve manevi kayıpların yaşanması tehlike belirtilerinin zamanında dikkate alınmayışından kaynaklanır.

Heyelan araştırmaları, kaymayı tetikleyici birçok etmen olduğu için zemin araştırmalarından, eğim durumuna ve iklim özelliklerine kadar ayrıntılı bir çalışma gerektirir. Heyelanlar meydana gelmeden önce küçük hareketlerle belirtiler gösterir. Bu belirtiler dikkate alınarak takip edilmeli, kısa sürede bölge incelenmeli ve önlemler alınmalıdır. Heyelan alanlarının tehlike durumunu belirlemek için zemindeki gevşek ve sıkı birimleri ile su içeriği belirlenmelidir. Heyelanlar yapısı itibarıyla kayma yüzeyinin ve derinliğinin, hareket türünün, yeraltı suyu seviyesinin, zemin türünün ve dinamik parametrelerinin belirlenmesi nedeniyle karmaşık bir jeoteknik problemidir. Mühendislikler (Jeofizik, Jeoloji, Jeoteknik) arası bilgi birikimine ihtiyaç duyulmasının yanı sıra heyelan probleminin çözümünde en yaygın uygulanan yöntemler jeofizik yöntemlerdir. Kayma yüzeyinin belirlenmesi için amaca uygun yüksek çözünürlüklü yöntemlerin kullanılması şarttır. Jeofizik çalışmalarla sık aralıklarda veri toplanarak eğimli, kıvrımlı birimler rahatlıkla belirlenebilir. Ayrıca Jeofizik çalışmalar yeraltını tariflerken hızlı ve ekonomik çözümlerde üretebilir. Jeofizik yöntemlerden elektrik özdirenç ve sismik yöntemler heyelan problemlerinin çözümünde yeraltının kesitini çıkararak kayma sınırını belirgin şekilde tespit edebilir (Arndt vd., 2000, Gürbüz vd., 2005; Kılıç, 2006, Otto ve Sass 2006, Yılmaz vd., 2007; Jongmans ve Garambois, 2007; Uyanık ve Türker, 2007; Göktürkler vd., 2008; Sass vd., 2008; Al-Saigh ve Al-Dabbagh 2010; Colangelo ve Perrone, 2012; Özçep vd., 2012; Ravindran ve Ramanujam, 2012; Ristic vd., 2012). Kayma yüzeyinin derinliğini ve sınırını belirlemek, olası bir heyelanı önlemek için gerekli ilk adımdır. Jeofizik yöntemler ile bu sınırlar belirlenir ve yapılacak iyileştirme çalışmalarına yön verir.

Drahor vd. (2006), Aydın'ın Söke bölgesindeki bir heyelan sahasında 3 profilde ERT çalışması yapmışlardır. Bu çalışma ile heyelan geometrisini belirlemişlerdir. Otto ve Sass, (2006)'da heyelanın içyapısını araştırmak için jeofizik yöntemlerden elektrik özdirenç, sismik kırılma ve GPR uygulamaları yapmışlar ve bu üç yöntem ile sediman kalınlığı ve ana kaya derinliği belirlemiş ve yöntemlerin birbirleri ile uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Uyanık ve Türker, (2007)'de Fethiye ilinde bulunan Eşen II HES Şalt ve Santral sahasındaki potansiyel heyelanın özelliklerini belirlemek için elektrik özdirenç, sismik kırılma ve arazi deneyleri yapmıştır. Elektrik özdirenç ve sismik kırılma çalışmaları ile heyelanın kayma yüzeyi, heyelan malzemesinin genişliği ve suya doygun olan zeminler belirlemişlerdir. Ayrıca yanıl çatlaklar üzerinde açılan gözlem çukurlarında vane ve proktor penetrometre deneyleri yapılmış ve heyelan duraylılık analizi için gerekli kayma direnç parametrelerini belirlemişlerdir. Göktürkler vd., (2008) de Altındağ (İzmir) heyelanını ERT ve sismik kırılma tomografi (SKT) yöntemleri ile çözümlenmişlerdir. Heyelanın kayma yüzeyinin jeofizik yöntemler ile belirlemek için birçok araştırmacı; Örneğin Jongmans ve Garambois, (2007) sismik yansıma, elektrik özdirenç ve doğal-potansiyel yöntemlerini, Sass vd., (2008) elektrik özdirenç ve GPR yöntemlerini, Al-Saigh ve Al-Dabbagh, (2010) sismik kırılma yöntemini, Ravindran ve Ramanujam, (2012) elektrik özdirenç yöntemini, Ristic vd., (2012) elektrik özdirenç ve GPR yöntemlerini, Abidin vd., (2012) ÇASK yöntemini, Colangelo ve Perrone, (2012) özdirenç ve mekanik sondaj yöntemlerini ve Uyanık ve Sabbağ (2013) ERT ve sismik kırılma yöntemlerini kullanmışlardır.

Bu çalışmada, Süleyman Demirel Üniversitesi Batı Yerleşke alanı içinde bulunan ve heyelan riski taşıyan bir alanda ERT ve ÇASK çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca çalışma alanı yüzeysel olarak incelendiğinde eğim yönündeki betonlarda çatlaklar ve merdivenlerde bozulmalar görülmüştür (Şekil 1). Çalışma alanının üniversite yerleşke alanı içerisinde bulunması ve hareket edecek kütlelerin doğrultusunun öğrenci yurduna doğru olması bölgenin ve çalışmanın önemini arttırmaktadır. Bu çalışmalar neticesinde olası heyelan geometrisi belirlenmiş ve gerekli önlemler üzerine öneri ve tartışmalar yapılmıştır.



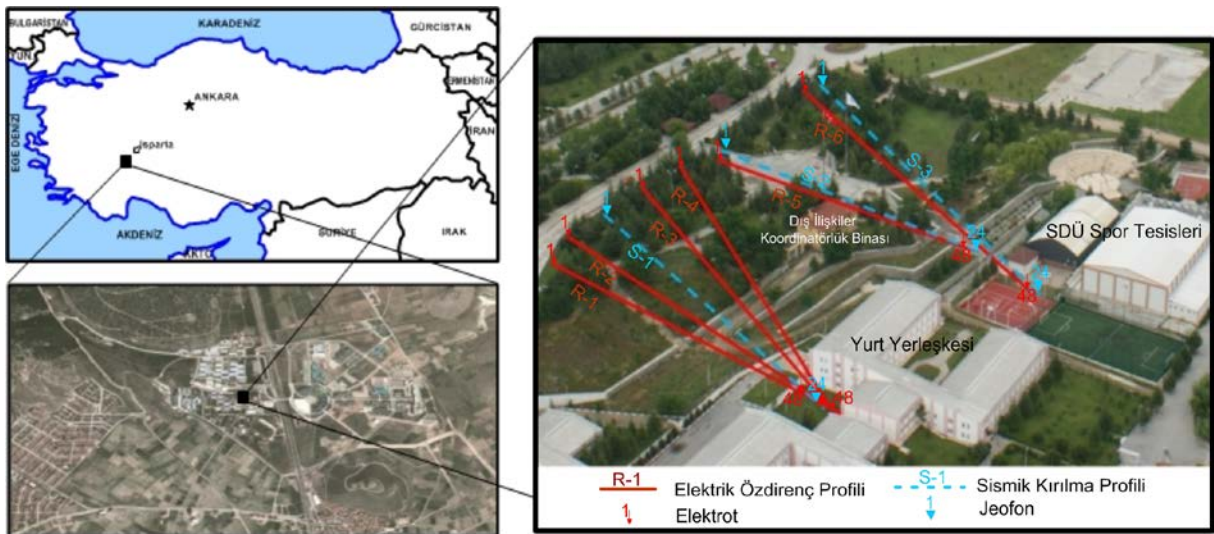
Şekil 1. İnceleme Alanında Gözlenen Çatlaklıklar (Uyanık ve Çatlıoğlu, 2013)

## 2. Yöntem

Heyelan geometrisini belirlemek amacı ile çalışmada izlenen iş akışı Şekil 2 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Heyelan araştırmasında izlenen iş-akışı  
2.1. Çalışma Alanı ve Jeoloji

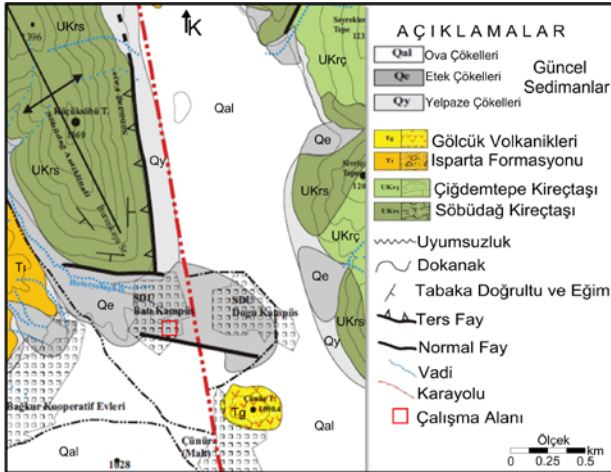


Şekil 3. Araştırma alanı ve jeofizik çalışmaların konumunu gösterir harita (Uyanık ve Çatlıoğlu, 2013).

Çalışma alanı, Akdeniz bölgesinde yer alan Isparta il merkezi Süleyman Demirel Üniversitesi Batı yerleşkesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Isparta ili, Akdeniz bölgesinin kuzeyinde, Göller bölgesinde yer almaktadır. 8,933 km<sup>2</sup> lik yüzölçümündeki il, kuzey ve kuzeybatısında Afyon, batıda ve güneybatısında Burdur, güneyinde Antalya, doğu ve güneydoğusunda ise Konya illeri ile çevrilidir. Araştırma alanının ve jeofizik çalışmaların konumunu gösteren harita Şekil 3'te verilmiştir. Lokasyon haritasında, kırmızı ile gösterilen hatlar elektrik özdirenç, mavi kesikli çizgiler ise sismik kırılma ölçümleri yapılan hatları göstermektedir.

Çalışma alanı jeolojik olarak Alüvyal yelpaze tortulları üzerindedir ve Söbüdağ, Senirce, Kayıköy ve Gölcük formasyonları ile çevrelidir (Şekil 4). Alüvyal yelpaze tortulları, yörede birçok yerde yüzeylenme verir. Bunlar içerisinde en önemli ve yaygın olanı Süleyman Demirel Üniversitesi yerleşke sahasının üzerinde kurulduğu genç birikinti konisidir. Çalışma alanı bu birikinti konisinin üzerindedir. Bu birikinti konisi, Söbüdağ kireçtaşları ile Kayıköyü formasyonu dokanağında gelişen KKB uzanımlı vadi boyunca aşınan birimlerden sağlanan malzemelerden oluşmuştur. İçerisinde kaba daneli kumtaşı, çakıltaşı gibi düzeylerin yanı sıra ince daneli killi, kumlu seviyelerde yer alır. Kumtaşı ve çakıltaşı yer yer karbonat çimento ile birbirine bağlanmış olup, içerisinde yer yer değişen kalınlıklarda gözenekli veya çakıllı traverten seviyeleri de bulunur. Bölgede yapılan sondajlarda da killi, siltli, çakıllı alüvyon birimler kesilmektedir.





**Şekil 4.** Çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası (Koçyiğit, 1981’ den düzenlenmiştir).

## 2.2. Kullanılan Ekipman

Bu çalışmada sismik kırılma ve elektrik özdirenç yöntemleri kullanılmıştır. Sismik kırılma donanımı kaynak, alıcı ve kayıtcı olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Sismik kaynak 7kg ağırlığındaki bir balyoz ile nokta kaynak oluşturmak için 25kg ağırlığındaki koni şeklindeki levhaya bir darbe uygulanarak oluşturulur. 24 kanallı 20Hz düşey ve 14Hz yatay jeofonlar ve sismograf ile sismik sinyaller kaydedildi. Çalışma alanında elde edilen ham veriler SeisImager paket programı ile çözümlendi ve yorumlandı. Elektrik özdirenç donanımı 48 elektrotlu, 6m aralıklı elektrotların bağlandığı kablo ve akü ile beslenen çok elektrotlu özdirenç cihazından oluşmaktadır.

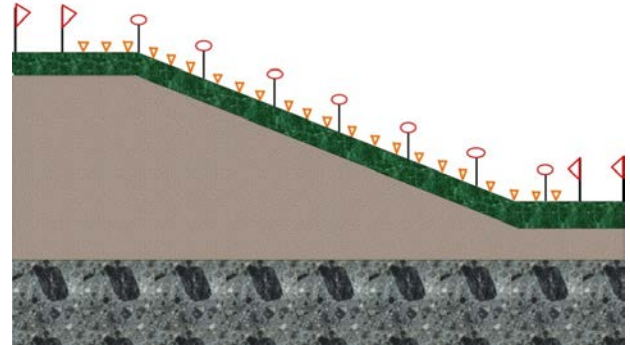
## 2.3. Veri Toplama ve İşleme

Çalışma alanında heyelan geometrisini ve zeminin mekanik özelliklerini belirlemek için sismik kırılma ve elektrik özdirenç yöntemleri uygulanmıştır. Her iki yöntemde de heyelan doğrultusu ile aynı yönde topografik değişim ve açılım sıkıntıları da dikkate alınarak profiller seçilmiştir.

### 2.3.1. Sismik Kırılma ile Veri Toplama ve İşleme

Yerin farklı özelliklerdeki jeolojik birimlerini, mekanik anlamda tanımlamak ve bu birimlerin dinamik yükler altında davranışını önceden kestirmek için uygulanan jeofizik yöntemlerden birisi sismik kırılma yöntemidir. Bu nedenle, heyelan, sıvılaşma, taşıma gücü gibi jeoteknik problemin çözümünde kullanılmaktadır. Yöntem, heyelan araştırmalarında birçok araştırmacı tarafından (Frasheri vd., 1998; Otto ve Sass, 2006; Kılıç, 2006; Uyanık ve Türker, 2007; Göktürkler vd., 2008; Eichkitz vd., 2009; Al-Saigh ve Al-Dabbagh, 2010) kayma yüzeyinin sınırlarını ortaya

koymak amacıyla kullanılmıştır. Bununla birlikte, sismik kırılma çalışması ile yer altındaki tabakaların kalınlıkları, eğimi, kırık ve fay kuşakları, tabakaların sismik hızları ile buna bağlı elastik ve dinamik parametreleri, suya doygunluğu belirlenir. Çok atışlı sismik kırılma çalışması ile alınan kayıtlardan tomografik ters çözüm yapılması, tabaka kalınlığı ve eğimlerinin daha doğru belirlenmesi, ilk varış zamanlarının birbirine göre kontrol edilebilmesi, açılımın dar olduğu yerlerde uzak atışlar yaparak daha derinden veri toplanması konusunda normal sismik kırılma çalışmalarına göre daha üstündür. Çalışma alanında, yeraltının durumunu ayrıntılı bir şekilde ortaya koymak için 3 hat boyunca çok atışlı sismik kırılma (P- ve S-dalga) verisi toplanmıştır. Çok atışlı sismik kırılma çalışmasında 22 adet P dalgası için 20Hz öz-frekanslı düşey ve S dalgası için 14 Hz öz-frekanslı yatay bileşenli jeofonlar kullanılmıştır. P-dalgası üretmek için 7kg ağırlığında balyoz ile 25kg ağırlığında bir koni ve S-dalgası üretmek için 10x15x90cm ebatlarında bir demir ray parçası kullanılmıştır. Jeofon arası 4m olan sismik kırılma hatlarında P ve S kaynakları bir uzak ofset (25m), bir yakın ofset (4m) ve her üç jeofon arası atış yapılacak şekilde planlanmıştır (Şekil 5). Bu şekilde oluşturulan sismik sinyaller sismik kablo aracılığı ile sismografa gönderilerek kayıt alınmıştır.

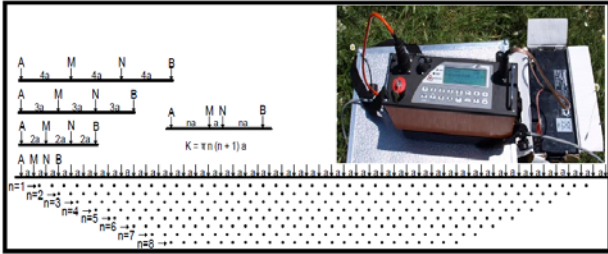


**Şekil 5.** Çok atışlı sismik kırılma yönteminde kaynak ve jeofon düzeni.

Sayısal olarak kaydedilen sismik sinyaller SeisImager paket programı (OYO Corporation, 2004) kullanılarak değerlendirilmiştir. Öncelikli olarak sismik sinyallerin (P ve S sinyalleri) ilk varış zamanlarını okumak ve açılım geometrisini düzenlemek için programın Pickwin modülü kullanılmıştır. Daha sonra programın Plotrefa modülü ile ilk varış zamanları okutulur ve kullanılan Tomografi yönteminde bir hız modeli gereklidir. Bunun için programın Time-term inversion seçeneğinden yararlanarak bir ön değerlendirme yapılır. Buradan elde edilen hız modeli Tomografi menüsünde giriş modeli olarak kullanılır. Ters çözüm işlemi varsayılan ya da belirlenen parametreler ile yapılır. Yineleme işlemi gözlenen ve hesaplanan seyahat zamanları arasındaki hata oranı en az olana kadar tekrarlanır ve 2-boyutta hız modeli bulunur.

### 2.3.2. Özdirenç ile Veri Toplama ve İşleme

Elektrik özdirenç yöntemi yeraltının iletken veya dirençli jeolojik yapılarının belirlenmesinde etkili bir yöntemdir. Bu yöntemde yere bir çift akım elektrotundan akım verilir ve yer içerisinde bir potansiyel alan yaratılır ve diğer çift potansiyel elektrotundan ölçülen bu potansiyeller arasındaki farktan ve verilen akımdan yararlanarak görünür özdirenç değerleri hesaplanır. Eğimli bölgelerde, iletken ve dirençli yapıların yanı sıra kayma yüzeyi sınırları belirleyebilmek için 2-boyutlu ölçümlerde yapıya dik hatlar seçilir. Bilindiği üzere killi birimler tetikleyici kuvvetlerinde etkisiyle eğim yönünde kaymaya neden olur. Yeraltı su seviyesinin ve killi birimlerin belirlenmesinde elektrik özdirenç yöntemi kesin sonuçlar vermesinden dolayı heyelan araştırmalarında (Kılıç, 2006; Drahor vd., 2006; Uyanık ve Türker, 2007; Göktürkler vd., 2008) tercih edilen jeofizik yöntemdir. 2-boyutta elektrik özdirenç çalışması ile yanal ve düşey yöndeki jeolojik yapıların özdirenç değerleri kolaylıkla belirlenebilir. Bu çalışma için çok elektrotlu kablo kullanılması durumunda hızlı ve kolay ölçüm elde edilir. Çok elektrotlu bir cihaz ile elektrot aralıkları eşit bir biçimde zemine çakıldıktan sonra cihazdan dizilim şekli seçilir ve bu dizilime göre ölçüm alınır (Şekil 6). Ölçüm sonucu görünür özdirenç kesiti şeklinde 2-boyutta sunulur. Şekil 6' da A ve B akım elektrotları M ve N gerilim elektrotlarıdır. MN elektrotları arası mesafe a ise AM ve BN elektrotları arası mesafe n\*a kadardır.



**Şekil 6.** Çok elektrotlu cihaz ve Wenner-Schulumberger elektrot dizilimi (Uyanık vd., 2012).

Çalışma alanındaki heyelan alanı boyunca 6 hat da (Bkz. Şekil 3 R1, R2, R3, R4, R5 ve R6) 48 elektrotlu cihaz ile 2-boyutta özdirenç ölçümü yapılmıştır (Şekil 3). Elektrot aralıkları R1 profilinde 2m, R2 ve R3 profillerinde 2.5m ve R4, R5 ve R6 profillerinde 3m seçilmiştir. Açılım alanının elverdiği şekliyle elektrot aralıkları belirlenmiş ve Wenner-Schulumberger elektrot dizilimi uygulanmıştır. Her elektrota ait yükseklik değerleri de ölçülerek veriye eklenmiştir. Bu dizilim ile elde edilen 2-boyutta görünür özdirenç verileri Res2DinV paket programında (Geotomo, 2006) en küçük kareler ters çözüm yöntemi kullanılarak (Loke ve Barker 1996) hesaplanmış özdirenç verileri elde edilir. Bu veriler elde edilirken yeraltı bloklara ayrılır ve bu bloklara ait görünür ve hesaplanmış özdirenç değerleri arasındaki fark en küçük olana kadar ters çözüm işlemi yinelenir. Veride her elektrota ait yükseklik değerleri olduğu için sonlu

eleman yöntemi kullanılarak 2-boyutta özdirenç modeli elde edilmiştir.

### 3. Değerlendirme ve Yorumlar

Çalışma alanında uygulanan ERT ve ÇASK tekniklerinden elde edilen verilerin ters çözümü ile belirlenen yeraltı özdirenç modeli Şekil 7 de ve sismik P ve S dalga hız modelleri Şekil 8 de sunulmuştur. Çalışma alanı jeolojik olarak eski alüvyon olarak bilinmektedir ve eğimli bir sahadır. Çalışma alanının eğimi Şekil 7 ve 8 de sunulan özdirenç ve sismik hız modellerin topografyasından da belirlenebilir. Özellikle kot değerlerinin ani olarak değiştiği kesimlerde yapılan merdiven ve taş duvarlarda, eğim yönünde deformasyonlar gelişmiştir. Bu durum, aşırı yağışlı zamanlarda suya doygun zeminin eğim boyunca akması durumunda mevcut taş duvarlara ek yük oluşturabilecektir.

Araştırma alanında yapılan 6 adet ERT çalışmasından 4 adeti ÇASK çalışmaları ile olan yakınlığından dolayı değerlendirmeye alınmış ve Şekil 7 de sunulmuştur. Şekil 7 içerisindeki heyelan modelleri incelendiğinde muhtemel kayma yüzeyleri, kayan malzeme ve topuk kısmı ayırt edilmiştir. Çalışma alanındaki açılım sıkıntısından dolayı elektrot aralıkları arttırılamamış ve daha fazla derinlerden bilgi elde edilememiştir. Bu yüzden R2 ve R3 hatlarında muhtemel kayma yüzeyi tam ortaya konulamamıştır. ERT modelleri incelendiğinde özdirenci 50ohm-m den daha az olan mavi renkli alanlar az çakıllı kumlu siltli kil, 50-130ohm-m arasındaki yeşil-sarı renkli alanlar killi siltli çakıllı kum ve 130ohm-m den büyük bordo renkli alanlar kireçtaşı blokları olarak yorumlanmıştır. Az çakıllı kumlu siltli kil olarak yorumlanan alanlarda özdirencin düştüğü (10ohm-m) kısımlarda kil yoğunluğu artarken özdirencin arttığı (50ohm-m) kısımlarda kil yoğunluğu azalmaktadır. Killi siltli çakıllı kum olarak yorumlanan alanda da özdirencin düşük olduğu kısımlarda çakıl oranı azalırken özdirencin yüksek olduğu (130ohm-m) kısımlarda çakıl oranı artmaktadır. Çalışılan alan için özdirencin çok düşük değerleri (10ohm-m) ıslaklık olarak da yorumlanabilir. Ancak, Şekil 8 deki sismik P ve S dalga hız modellerindeki hızlar karşılaştırıldığında sismik hız oranının 3.5 dan küçük olması çalışılan alanın ıslak olmadığını bir göstergesidir. Ayrıca S dalga hızının 350m/s den küçük değerleri gevşek, 350-500m/s arası orta sıkı, 500-750m/s arası sıkı ve 750m/s den büyük değerleri çok sıkı olarak sınıflandığı bilinmektedir. Bu sınıflama dikkate alındığında kayan malzemenin S dalga hızı 350m/s den düşük olması sebebi ile gevşek olduğu anlaşılmaktadır. Buna karşın, heyelan modellerinde S dalga hızları 400-500m/s civarında ve sığ derinlikte orta sıkı bir zeminin varlığı, akmaya müsait gevşek zeminin önünde bir bariyer görevi gören topuk olarak yorumlanmıştır. Bir heyelanın topuk kısmının belirlenebilmesi için o alanın mukavemetinin bilinmesi gerekmektedir. Bu

yüzden S dalga hızı heyelan modellemesi için gerekli bir parametredir.

Şekil 7 deki R2 ve R3 özdirenç modellerinde muhtemel heyelan geometrisi yaklaşık olarak Şekil 8 deki S-1 profilinin P ve S dalga hız modellerinde de görülmektedir. S-1 profilindeki kayan malzeme olarak tanımlanan kısmın P dalga hızı 1250m/s den, S dalga hızı ise 450m/s den düşük değerdedir. Bu değerlerden ve sismik hız oranı yardımı ile ortamın ıslak olmadığı ve kayan malzemenin orta sıkı bir zemin olduğu anlaşılmaktadır. Kayan malzemenin altında ve önün de bariyer olan ve topuk olarak tanımlanan kısmın P dalga hızı 1600m/s den ve S dalga hızı 600m/s den büyük değerdedir. Bu değerlerden ortamın ıslak olmadığı ve sıkı bir zemin olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 7 deki R5 ve R6 özdirenç modellerinde muhtemel kayma yüzeyi belirgin olmamasına karşın yüzeye yakın ve topografik eğimin yüksek olduğu kısımlarda killi zemin ve yamaç dolgusu olmasından dolayı topografik eğim boyunca yüzeysel kaymalar olabileceği düşünülmektedir. Aynı şekilde muhtemel kayma yüzeyi Şekil 8 deki S-2 ve S-3 profillerinin P ve S dalga hız modellerinde de belirgin değildir. Fakat S-2 ve S-3 profillerinin S dalga hız modellerinde topografik eğimin yüksek olduğu ve yüzeye yakın kısımlarda S dalga hızının 350m/s den düşük gevşek zemin olması yüzeysel kaymanın olabileceğini düşündürmektedir. Dolayısıyla bu zemin suya doygun hale geldiğinde kendini tutamayıp eğim boyunca yüzeysel hareket edebilir.

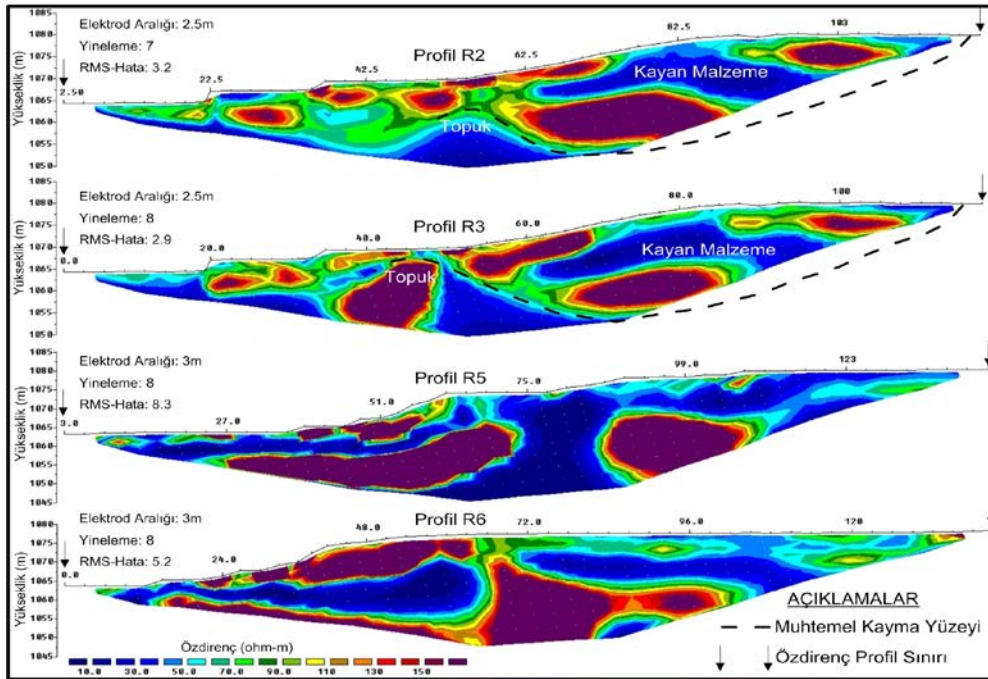
İnceleme alanında kaymaya neden olan unsur, yüksek özdirençli blok çakıl içeren yamaç molozunun altında

yer alan düşük özdirençli çakıllı kumlu siltli kil birimdir. Killi birimler suyu geçirmeme özelliği nedeniyle yağışlı mevsimlerde bu sınırdan yüzey suların birikmesiyle ve kütleye ek bir yük getirerek kaymayı daha kolay bir hale getirebilecektir. Bu yüzden çalışılan alan içerisinde yağıştan kaynaklı suların zemin içerisine girişi engellenmelidir. Ayrıca çalışma alanına ek yük getirilebilecek yapılaşmalardan kaçınılması gerekmektedir.

#### 4. Sonuçlar

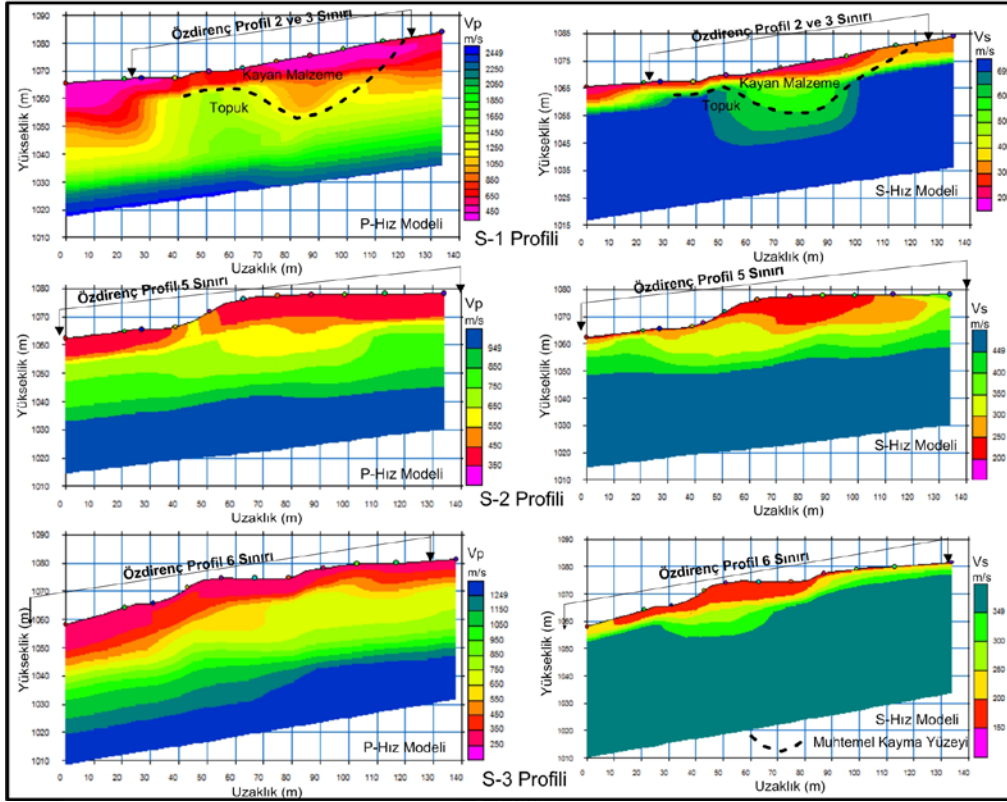
Çalışılan alanın jeolojisi biliniyor ise özdirenç değerlerinin yorumlanması ile yeraltı birimleri yaklaşık isimlendirilebilir. Ayrıca bu birimlerin sismik hızları kullanılarak birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri hakkında da bilgi verilebilir. Dolayısıyla, özdirenç ve sismik hız değerlerinin birlikte yorumlanması ile heyelan modellerinin muhtemel kayma yüzeyi, kayan malzeme ve topuk kısmı ayırt edilebilir.

Bu çalışmada ERT ve ÇASK birlikte kullanılarak özdirenç, P dalga hızı ve S dalga hız değerlerine bağlı yeraltı modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerden özdirenç modeli yeraltı birimlerini ayırt etmek, isimlendirmek, yanal ve düşey yöndeki yayılımını ortaya koymak amaçlı kullanılmıştır. S dalga hızı modeli ise isimlendirilen birimlerin sıkılaştığı derinlikleri ve bu birimlerin mekanik özelliklerini belirlemek amaçlı ve P dalga hızı modeli ile de birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımını belirlemek ve S dalga hızı ile birlikte yorumlanması ile çalışılan alanın ıslaklığı hakkında bilgi edinmek amaçlı kullanılmıştır.



Şekil 7. Elektrik Özdirenç Modelleri ve Heyelan Geometri Yorumları





**Şekil 8.** Sismik P ve S Dalga Hız Modelleri ve Heyelan Geometri Yorumları

Yeraltı modelleri içerisinde R2 ve R3 özdirenç modelleri ve bu iki profil arasında kalan S-1 P ve S dalga hız modelleri birlikte değerlendirilerek heyelanın muhtemel kayma yüzeyi, topuk kısmı belirlenmiş, kayan ve kaymayan malzemelerin mekanik özellikleri yorumlanmıştır. Yaz ayları içerisinde yapılan çalışmada sismik hız oran değeri 3.5 den küçük olması ortamın ıslak olmadığını göstermektedir. Heyelanın topuk kısmı, S dalga hızının 500m/s den büyük olması ve sağlam zeminin yüzeye yakın olması ile ayırt edilmiştir.

R5 ve R6 özdirenç ve S-2 ve S-3 modellerinde 5-7m kalınlığında blok kireçtaşı killi yamaç malzemesinin S dalga hızı 350m/s den düşük değerlerde olması nedeni ile çok gevşek bir malzeme olduğu ve bu malzeme suya doyduğunda orta sıkı killi zemin üzerinde kayması sonucunda çalışma alanının yüzeyinde deformasyonlar oluştuğu düşünülmektedir.

Çalışma alanında mevcut taş duvarların istinat duvarlarına dönüştürülmesi, bu alan üzerinde yük yaratacak yapılaşma ya da benzeri yüklemelerden uzak durulması ve drenaj kanallarının yapılması yağmur sularının yeraltına geçişini engellemek ve bölgeden tahliye etmek için önerilir.

### Teşekkür

Saha çalışmalarında yardımcı olan Dr. Ziya Öncü, Yük. Jeofizik Müh. Olcay Çakmak ve 4. sınıf öğrencilerime ve eleştirileriyle katkıda bulunan değerli hakemlere

teşekkür ederiz. Bu çalışma SDÜ BAP-3411-YL1-13 nolu proje ile desteklenmiştir.

### Kaynaklar

Abidin, M.H.Z., Saad, R., Ahmad, F., Wijeyesekera, D.C., Baharuddin, M.F.T., 2012. Seismic Refraction Investigation on Near Surface Landslides at the Kundasang area in Sabah, Malaysia. *Procedia Engineering*, 50, 516-531.

AL-Saigh, N.H., AL-Dabbagh, H. 2010. Identification of Landslide Slip-surface and its Shear Strength: A New Application for Shallow Seismic Refraction Method. *Journal Geological Society of India*, 76, 175-180.

Arndt, R., Römer, A., Sendlhofer, G., Restner, U. 2000. Geophysical Reconnaissance Methods for Landslides in Softrocks. *Internationals Symposium Interprevent, Villach / Österreich*, 191-201.

Colangelo, G., Perrone, A. 2012. Geoelectrical Tomography as an Operative Tool for Emergency Management of Landslide: An Application in Basilicata Region, Italy. *International Journal of Geophysics Vol.* Article ID 593268, 5 pages.

Drahor, G.M., Göktürkler, G., Berge, A.M., Kurtuluş, Ö.T. 2006. Application of Electrical Resistivity Tomography Technique for Investigation of Landslide: A Case from Turkey. *Environ Geology*, 50, 147-155.

Eichkitz, G. C., Schreilechner, G. M., Amtmann, J., Schmid, C. 2009. Shallow Seismic Refraction Study of

the Gschliefgraben Landslide Deposition Area Interpretation and Three Dimensional Modeling. *Austrian Journal of Earth Sciences*, 102(2), 52-60.

Fraseri, A., Kapllani, L., Dhima, F. 1998. Geophysical Landslide Investigation and Prediction in the Hydrotechnical Works. *Journal of the Balkan Geophysical Society*, 1(3), 38-43.

Geotomo, 2006: Geotomo software 2006 RES2DINV version 3.55-Manual. [www.geoelectrical.com](http://www.geoelectrical.com).

Gökçe, O., Demir, A., Özden, Ş. 2006. Türkiye' nin Heyelanlı Yerleşim Birimlerinin Dağılımı ve CBS Ortamında Sorgulama, 1. Heyelan Sempozyumu, Trabzon, 24-40.

Göktürkler, G., Balkaya, Ç., Erhan, Z. 2008. Geophysical Investigation of a Landslide: The Altındağ Landslide Site, İzmir (Western Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 65, 84-96.

Gürbüz, M., Koç, N., Hamzaçebi, G. 2005. Jeofiziksel Yaklaşımlarla Heyelan Yapısının Araştırılması. *Deprem Sempozyumu*, 23-25 Mart, Kocaeli, 1154-1156.

Jongmans, D., Garambois, S. 2007. Geophysical Investigation of Landslides: A Review. *Bulletin Societe Geologique de France*, 178(2), 101-112.

Kılıç, A. 2006. Senirkent Heyelan Alanının Rezistivite ve Sismik Yöntemlerle Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 56s, Isparta.

Koçyiğit, A. 1981. Isparta Büklümünde (Batı Toroslar) Toros Karbonat Platformunun Evrimi, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24, 15-23.

Loke M.H., Barker R.D. 1996. Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudo-sections using a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44,131-152.

Otto, J.C., Sass, O. 2006. Comparing Geophysical Methods for Talus Slope Investigations in the Turtmann Valley (Swiss Alps). *Geomorphology*, 76, 257-272.

OYO Corporation, 2004. SeisImager Manual version 3.0 [Computer program manual], Japan. OYO Corporation.

Özcep, F., Erol, E., Saraçoğlu, F., Haliloğlu, M. 2012. Seismic landslide analysis: Gurpinar (Istanbul) as a case history. *Environ Earth Sci* 66, 1617-1630.

Ravindran, A., Ramanujam, N. 2012. Palaeoscars and Landslide Prediction using 2D ERI Techniques in Ooty

Area, Nilgiri District, Tamilnadu. *Archives of Applied Science Research*, 4(1), 262-268.

Ristic, A., Abolmasow, B., Govedarica, M., Petrovacki, D., Ristic, A. 2012. Shallow – Landslide Spatial Structure Interpretation Using a Multi – Geophysical Approach. *Acta Geotechnica Slovenica*, 1, 47-59.

Sass, O., Bell, R., Glade, T. 2008. Comparison of GPR, 2D-Resistivity and Traditional Techniques for the Subsurface Exploration of the Öschigen Landslide, Swabian Alb (German). *Geomorphology*, 93, 89-103.

Uyanık, O., Türker, E. 2007. Fethiye Eşen II HES Şalt ve Santral Sahasındaki Potansiyel Heyelanın Yerteknik Özellikleri ve Yorumu. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11-1, 84-90.

Uyanık, O., Çakmak, O., Algül, E., Gürbüz, M., Okumuş, A. 2012. Haydarlı Baraj Alanının Elektrik Özdirenç ve Jeolojik Özellikleri. *Jeofizik Dergisi* 16, 43-53.

Uyanık, O., Çatlıoğlu, B. 2013. Determination of Landslide Geometry Using Electric Resistivity Tomography and Seismic Refraction Tomography Techniques. 20<sup>th</sup> The International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey, 25-27 November, Antalya.

Uyanık, O., Sabbağ, N. 2013. Determination of Landslide Geometry by Geophysical Methods, 4th International Geosciences Student Conference, 25-29 April 2013, Paper ID: 1587 Berlin/Germany.

Yılmaz, Ö., Eser, M., Şenay, G., Berilgen, M. 2007. Mühendislik Sismolojisinin Geoteknik Projelerde Uygulama Örnekleri. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim, İstanbul, 447-458.