

BÜYÜKÇEKMECE (STANBUL) HEYALAN ALANININ JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

E. Yalçinkaya¹, H. Alp¹, S. Martino², O. Özel¹, E. Görgün¹, L. Lenti³, P. Bigarre⁴, M.S. Arslan¹,
B.B. Akdoğan¹

¹Jeofizik Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, Avcılar, İstanbul

²Department of Earth Sciences and Research Center for the Geological Risks (CERI) of the University of Rome

³French Institute of Sciences and Technology for Transport, Development and Network (IFSTTAR-Paris)

⁴INERIS Ecole des Mines des Nancy Campus ARTEM CS 14234 F-54042 Nancy Cedex France

Email: eyalcin@istanbul.edu.tr

ÖZET:

İstanbul'un batı kesimi, özellikle Büyükçekmece-Küçükçekmece gölleri arasında kalan bölüm, farklı boyutlarda çok sayıda heyelan alanlarını içinde barındırır. Bu alanlar aynı zamanda giderek artan bir yapılaşma tehdidi altındadır. Marmara'daki deprem tehlikesi göz önünde bulundurulduğunda, bu bölgedeki heyelanların bir deprem anında tetiklenme olasılıklarının araştırılması sismik riskin azaltılması çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır. Bir EU-FP7 projesi olan MARSite projesinin 6 nolu çalışması kapsamında, Büyükçekmece heyelan sahasında bir tanı, izleme, modelleme ve erken uyarıyı kapsayan çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda heyelan alanı üzerinde Sismik Kırılma, MASW, ReMi, Elektrik Özdirenç ve Mikrotremor çalışmaları yapılmıştır. Heyelan alanının oldukça karmaşık yapıya sahip olması hem jeofizik ölçümlerin toplanmasında hem de yorumlanmasında önemli problemler ortaya çıkarmaktadır. Örneğin; jeofon-zemin irtibatının iyi sağlanamaması, sismik dalgaların çok hızlı sönümlenmesi, saçılan dalgaların kayıtları bozması gibi veri toplama problemlerinin yanı sıra, sonuçların çok kısa mesafelerde de değişiklikler göstermesi, jeofiziksel ayırım doğrultusunda kontrastların ortaya çıkmaması gibi yorumlama problemleri kendini gösterir. P dalgası kırılma analizleri ancak 20 m derinliğe kadar bilgi sağlayabilmekte, heyelan kütlesi ile ilgili değerlendirilebilecek bir hız anomalisi ortaya çıkarmamıştır. MASW ve ReMi yöntemleri sırasıyla 30 ve 80 m ara tırma derinliklerine erişilebilirken, heyelan kütlesi içinde genelde S dalga hızlarının sabit alanlara göre daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat kayma yüzeyine yakın gelebilecek belirgin hız değişimleri ortaya çıkmamıştır. Zemin rezonans frekanslarından elde edilen olası kayma yüzeyi derinlikleri 10 - 50 m arasında değişmektedir. Jeofizik ara tırmaların bu tip alanlarda çok daha dikkatli, daha ayrıntılı, birbirini tamamlayacak şekilde ve tekrarlayan aralıklarla yapılmasında yarar vardır.

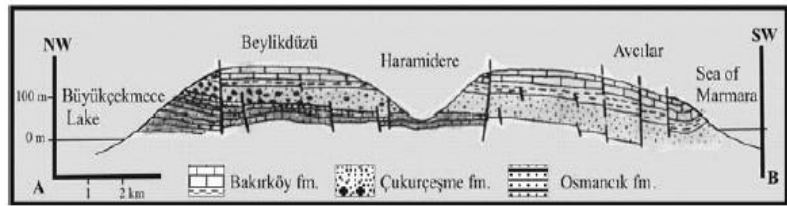
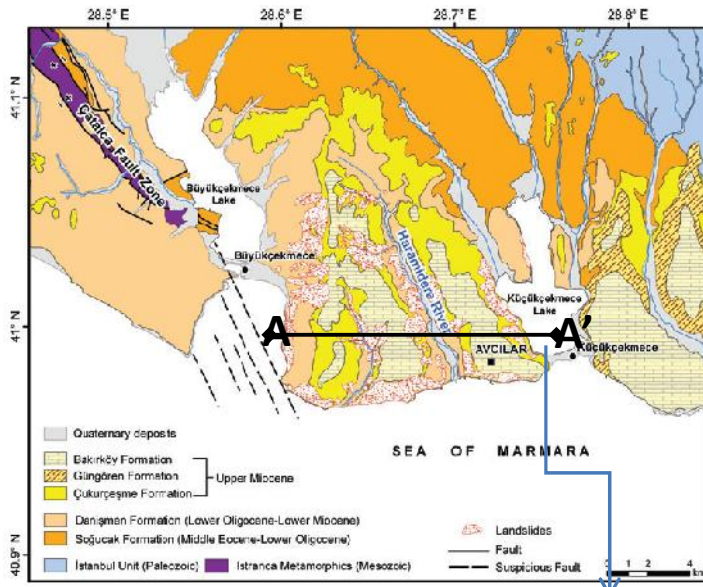
ANAHTAR KELİMELER : Büyükçekmece, heyelan, jeofizik ara tırma, sismik risk

1. GİRİŞ

Heyelanlar Türkiye'de depremlerden sonra en fazla can ve ekonomik kayıplara neden olan ikinci doğal afet kaynağıdır. Heyelan tehlikesi olan alanların giderek artan imara açılma baskısı nedeniyle Marmara bölgesinde depremlerin tetikleyebileceği heyelanların oluştuğu sismik risk giderek artmaktadır. Özellikle Küçükçekmece ve Büyükçekmece gölleri arasında kalan Avcılar-Beylikdüzü yarımadası, çok yoğun ve çok hızlı yapılaşma nedeniyle sismik heyelan riskinin oldukça yüksek olduğu, çok sayıda aktif heyelanları olan bir bölgedir (ekil 1). Hasar yapıcı bir depremin beklendiği Marmara bölgesinde depremlerin tetikleyeceği heyelanların belirlenmesi, karakterize edilmesi, izlenmesi ve erken tespiti toplum güvenliğini ve hasarı önleme/azaltma anlamında anahtar bir role sahiptir.

MARSite adlı Avrupa Birliği projesi kapsamında 6 nolu çalışması Büyükçekmece heyelan sahasında bir tanı, izleme, modelleme ve erken uyarıyı kapsayan çalışmalar yapılmaktadır. Çalışma alanı İstanbul'un batısında Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri arasında kalır (ekil 1). Güneyde Marmara Denizi ile sınırlanan alan,

deniz kenarından ani bir yükselimle 50-100 m kot seviyelerine ulaşır ve kuzeye doğru yüksekliği çok yavaş artan bir plato karakterine sahiptir. Bu plato, Marmara denizine akan dere yatakları ile parçalanmıştır. Hem dere kenarları hem de sahil kesimi aktif heyelan sahalarıdır. Bölgedeki jeolojik birimler yaşıdan gence doğru üç ana grup altında toplanabilir: Paleozoik-Mezozoik temel kayalar, Tersiyer birimler ve güncel çökeller. Heyelanların oluştuğu Gürpınar formasyonunun ilk 15 m—20 m'si ağırlıklı olarak konsolide, yüksek plastisiteli, yer yer fisürlü, katı-sert kil, alt kesimleri kiltanından oluşmaktadır (Dalgıç ve diğ., 2010). Bu istif içerisinde yer yer silt, kum, kumta ve tuf mercekleri bulunmaktadır. Bu birimlerin üstünde ise Çukurçesme formasyonuna ait kum ve çakıllı kum düzeyleri ile Bakırköy formasyonuna ait kireçtaşı, marn ve kiltanı düzeyleri bulunmaktadır. Bakırköy ve Çukurçesme formasyonu birimleri kısmen Gürpınar formasyonuna ait killere göre jeoteknik dayanımı yüksek birimlerdir. Bu nedenle bu birimler ağırlıklı olarak korunurken, yamaçlardaki Gürpınar formasyonuna ait kil düzeyleri ağırlıklı olarak kayarak diklen vadi yamaçları duranlığı sağlamazlar ve heyelanlar oluşur.

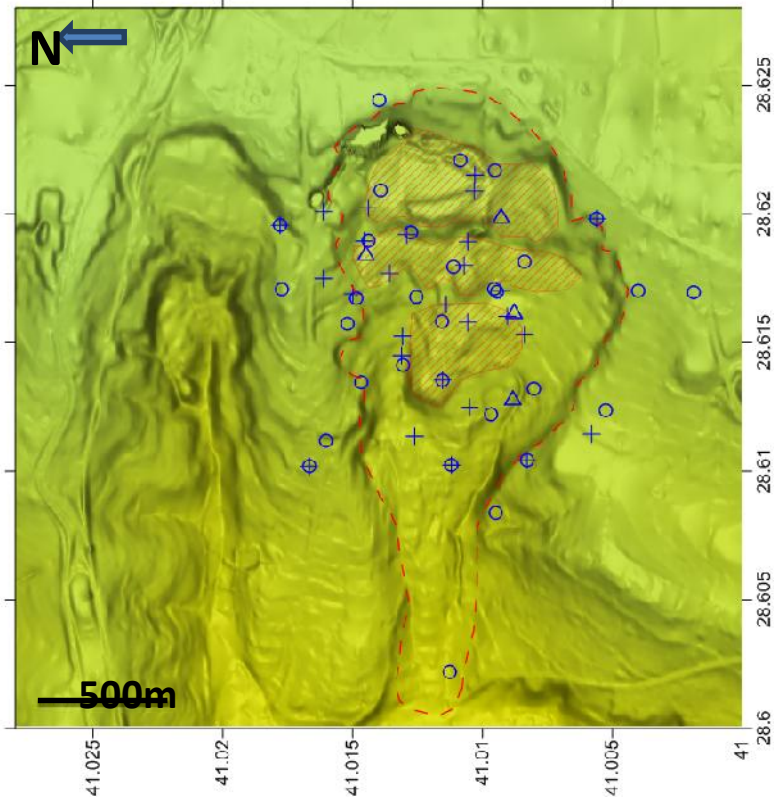


ekil 1. Çalınma alanının yüzey jeolojisi (Ergintav ve diğ., 2011) ve A-A' profili boyunca alınmış dikey jeolojik kesit (Ergintav ve diğ., 1998).

2. JEOFİZİK ÖLÇÜMLER

Jeofizik araştırmalar için pilot yer seçilen Büyükçekmece heyelan sahası yaklaşık 1500 m genişliğe, 2200 m uzunluğa sahip, bir dönel ve ötelenmeli (roto-translational) heyelan karakterine sahiptir (ekil 2). Büyükçekmece heyelanı üzerinde yapılan jeofizik araştırmalar 27 profilde sismik kırılma, MASW ve ReMi ölçümünden, 32 noktada mikrotremor ölçümünden ve 4 profilde dikey elektrik sondaj ölçümünden oluşur.

- + Sismik ölçümler
(P dalgası kırılma,
MASW, ReMi) (27
nokta)
- Mikro-tremor (32
nokta)
- △ Rezistivite
ölçümleri (4
profil)

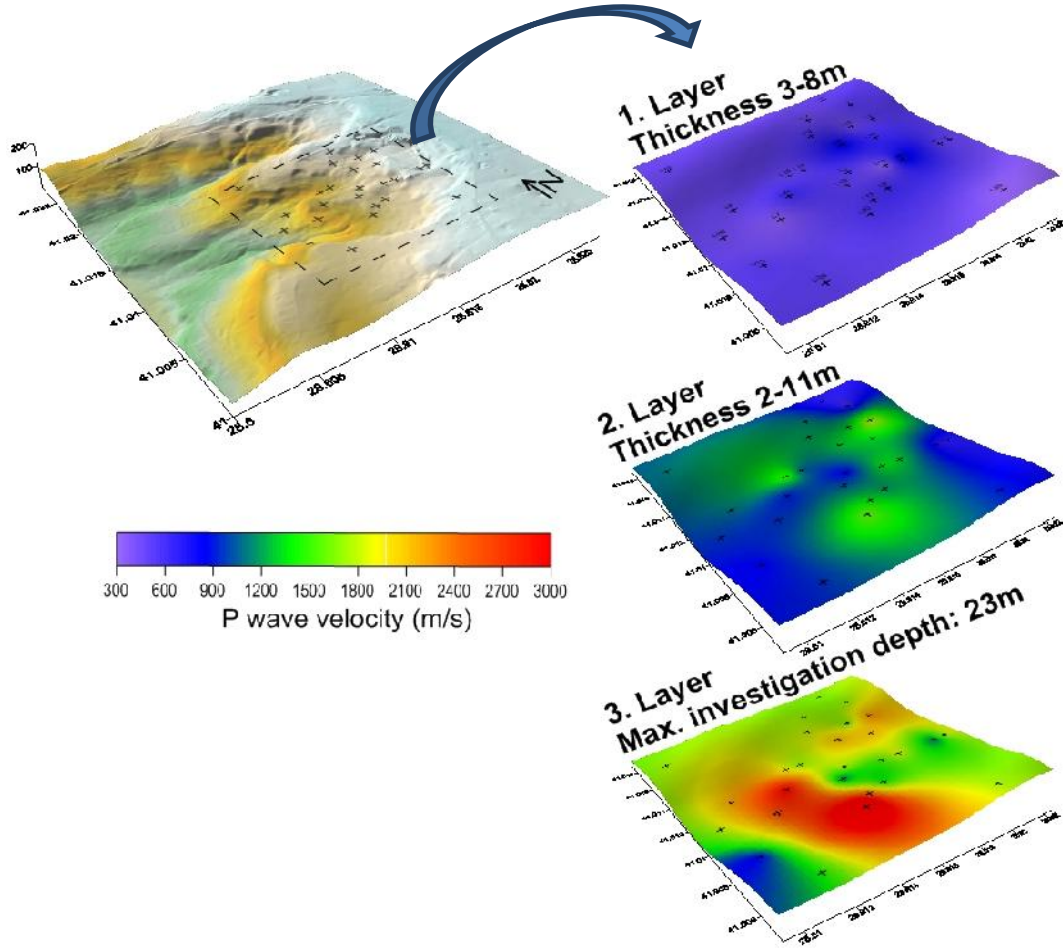


ekil 2. Büyükçekmece heyelan sahasında gerçekleştirilen jeofizik ölçümler. Kırmızı kesikli çizgiler heyelan alanının sınırlarını tanımlamaktadır.

P dalgası sismik kırılma ölçümleri 24 jeofon ile toplam profil uzunluğu 69 m olan, sismik kaynak olarak 5 kg'lık balyozun kullanıldığı ve profilin baş, son ve orta noktasından yapılan toplam üç atış ile gerçekleştirilmiştir. MASW ve ReMi ölçümleri için de aynı profil hattı kullanılmıştır. ReMi ölçümleri genelde birer dakikalık 10 adet gürültü kaydından oluşmaktadır. Mikro-tremor ölçümlerinde Guralp 6T hız sismometresi kullanılmış olup, kayıt süreleri her bir noktada genel olarak 50 dakikadır. Bazı noktalarda 24 saatlik kayıtlar da mevcuttur. Rezistivite ölçümleri ise profil uzunlukları 120 m'ye erişen ve METZ SAS-303 cihazı kullanılarak yapılmıştır.

3. BULGULAR

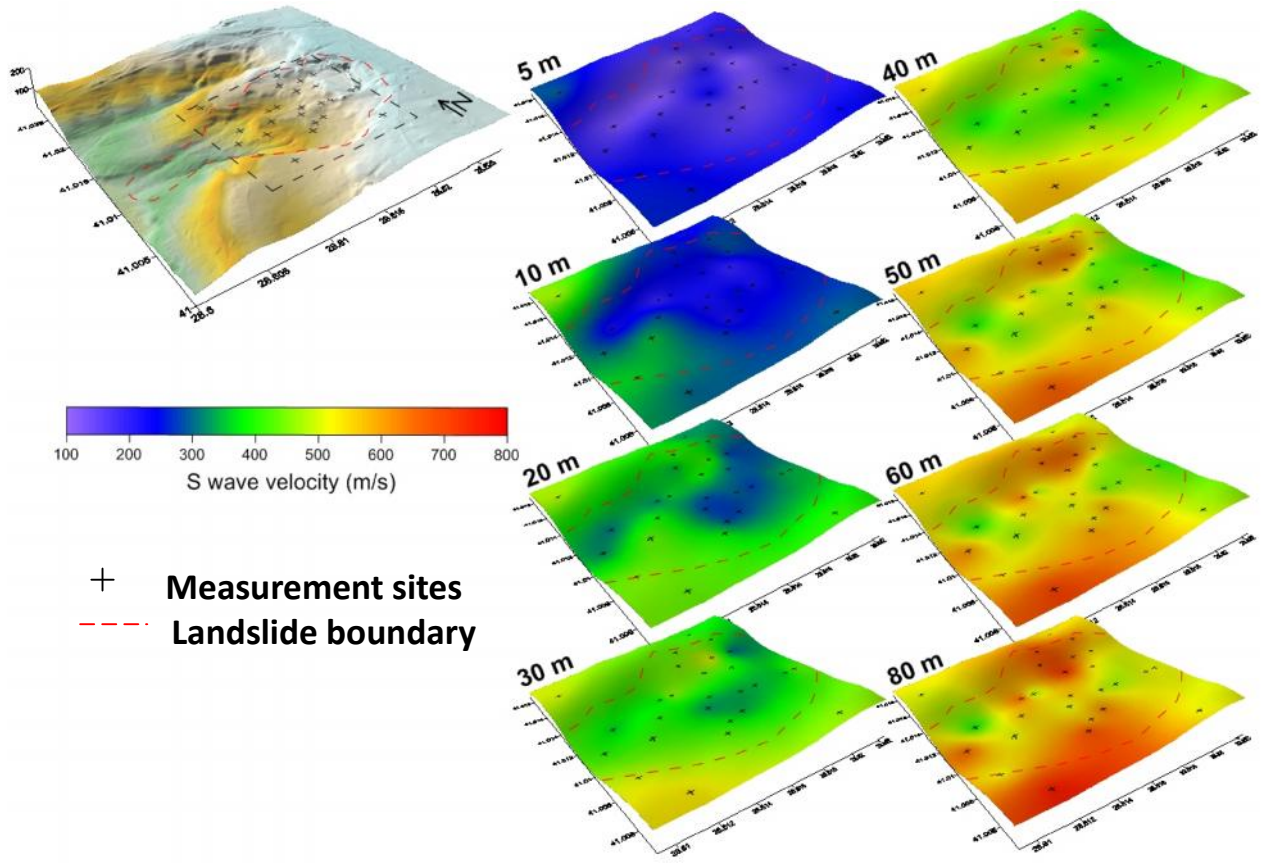
P dalgası sismik kırılma analizleri Seisimager paket programı kullanılarak yapılmıştır. Her bir jeofonda P dalgası ilk varlıklarının okunması ve 2 yada 3 tabaka modeli kullanılarak ters çözüm işlemi ile yapılan analizler, 10 iterasyon sonucu rms hatalarının %5'in altında kaldığı tabaka hız modellerine dönüşümlü olmuştur. Heyelan alanı zemin yapısının oldukça karmaşık yapıya sahip olması, genelde saflıklı veri toplanmasını engellemiştir. Jeofon-zemin irtibatının iyi sağlanamaması, sismik dalgaların çok hızlı sönmeleri, saçılan dalgaların kayıtları bozması en önemli problemler arasındadır. P dalgası kırılma analizleri ancak 20 m derinliğe kadar bilgi sağlayabiliyor, heyelan kütlesi ile ilişkilendirilebilecek bir hız anomalisi ortaya çıkarmamıştır (ekil 3). Kalınlığı 3-8 m olan ilk tabakada P dalga hızları 600 m/sn'in altında, ikinci tabakada P dalga hızları yer yer 1500 m/sn'ye çıkmakta ve ara tırma derinliğinin maksimum 23 m'ye erişebildiği üçüncü tabakada ise P dalga hızı 2500 m/sn civarına yükselmektedir. Birinci tabakadan sonra P dalga hızının 1500 m/sn'in üzerine çıkması yer altı suyu varlığı ile ilişkilendirilebilir.



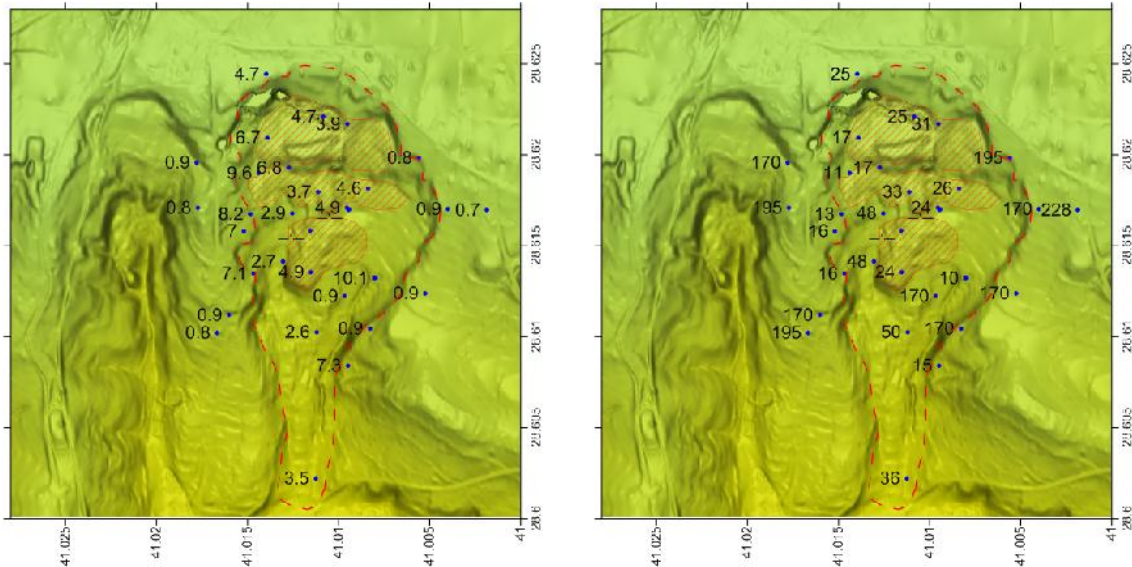
ekil 3. P dalgası kırılma analizlerinden elde edilen yüzeyden itibaren üç tabaka için hesaplanmış P dalgası hızları.

MASW ve ReMi analizleri Seisimager programı yardımıyla, dispersiyon eğrilerinin ters çözümü ile tabaka S dalga hızlarına dönüştürülmesiyle yapılmıştır. MASW analizlerinde erişilebilen maksimum derinlik 30 m civarında olurken, ReMi analizlerinde yer yer 80 m derinliğe kadar bilgi alınabilmektedir. Ölçüm noktalarında genelde hız değerlerinin derinliğe bağımlı olarak ani değişimler göstermemesi dikkat çekmektedir. Fakat, heyelan alanı üzerinde elde edilen S dalgası hız değerleri, heyelan dışındaki noktalara göre genelde daha düşüktür (ekil 4). S dalgası hız değerleri 60 m derinlikten sonra tüm alan için, heyelan içi veya dışı fark etmeksizin, aynı değerlere sahip olması kayma yüzeyinin derinliğinin maksimum 60 m civarında olduğunu işaret edebilir.

Mikrotremör analizleri Geopsy programı yardımıyla, kayıtlardan 50 sn uzunluğunda pencereler seçilerek yapılmıştır. Mikrotremör analizlerinde amacımız, düşük hızda sahip heyelan kütlelerinin neden olabileceği rezonans frekanslarının H/V analizi ile yakalanmasıdır. Ölçüm sahasında elde edilen H/V eğrilerinde en büyük problemi yaklaşık 1.5 Hz civarında görülen endüstriyel titreşimler olmaktadır. Bunun yanında, rezonans frekanslarının çok kısa mesafelerde farklılık göstermesi, birden fazla rezonans frekansına rastlanması ve büyütmelerin çok düşük kalması yorumlamayı zorlaştıran nedenlerdir.



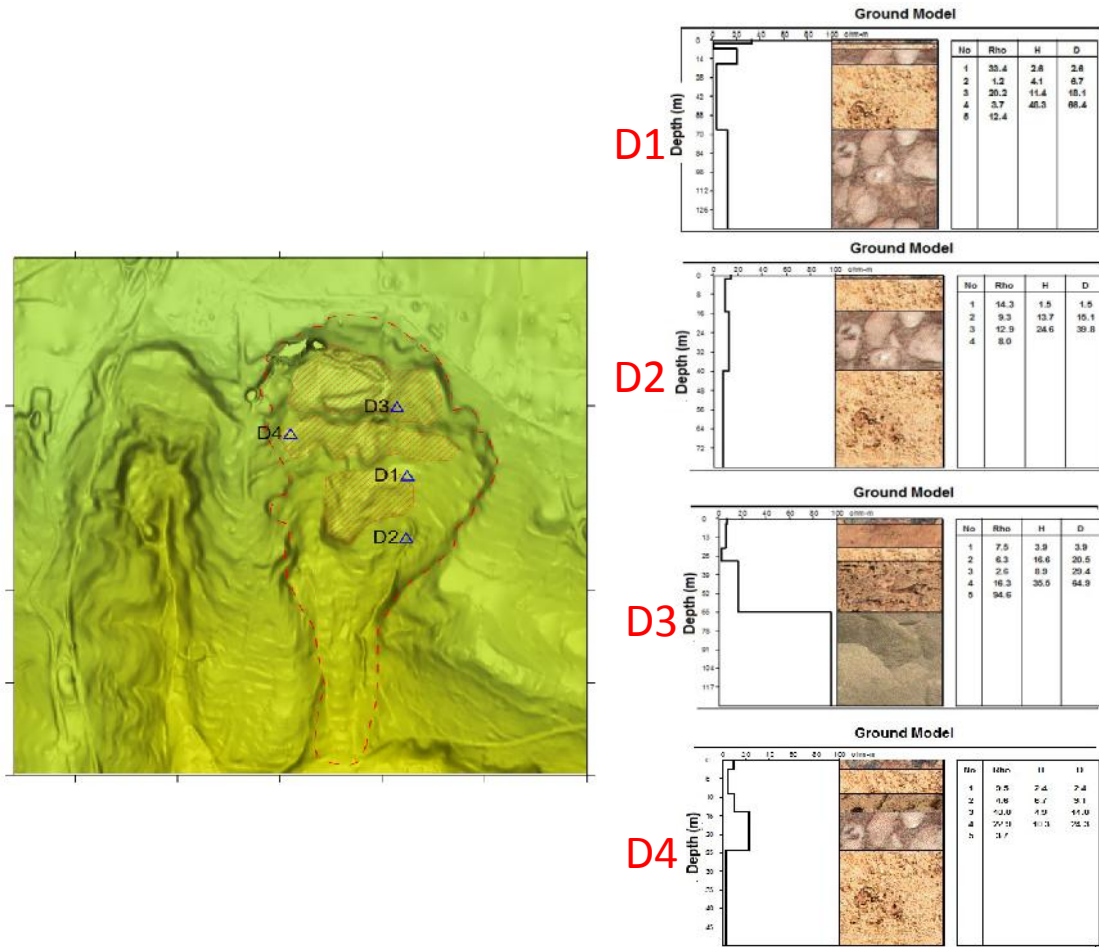
ekil 4. MASW ve ReMi analizlerinden elde edilen farklı derinlikler için S dalgası hızları. Artı işaretler ölçüm noktalarını, kırmızı kesikli çizgiler heyelan sınırlarını temsil eder.



ekil 5. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zemin rezonans frekansları (sol grafik) ve Birgören ve diğ. (2009) ampirik bağıntısı kullanılarak elde edilen zemin kalınlık değerleri.

ekil 5'te her bir ölçüm noktası için H/V e rilerinden elde edilen rezonans frekansları ve bu rezonans frekanslarından bir ampirik bağıntı yardımıyla ($H = 150.99 f_0^{-1.1531}$, Birgören ve diğ. 2009) hesaplanan zemin (ya da heyelan kütlesi) kalınlıkları görülmektedir. ekilden görüldüğü gibi heyelan sahası üzerinde rezonans frekansları ($2.6 < f_0 < 4.7$ Hz), heyelan dışındaki noktalara göre ($0.7 < f_0 < 0.9$ Hz) genelde daha yüksektir. Rezonans frekanslarına bağlı olarak hesaplanan olası heyelan kütlesi kalınlıkları, ya da kayma yüzeyi derinlikleri 17-50 m civarında deşiftirildiği görülmektedir (ekil 5).

Aletsel bir problem nedeniyle az sayıda gerçekleştirilebilen dördüncü elektrik sondaj ölçümleri IPI2win paket programıyla değerlendirilmiştir. ekil 6'da görüldüğü gibi genelde heyelan sahası üzerinde rezistivite değerleri oldukça düşüktür. Sadece D3 profili 60 m civarında kayma yüzeyi olarak yorumlanabilecek bir rezistivite sıçraması gösterirken diğer profillerde böyle bir sıçramaya rastlanmamaktadır.



ekil 6. Heyelan sahasında elde edilen dördüncü elektrik sondaj sonuçları.

4. TARTI MA VE SONUÇLAR

Büyükçekmece heyelan sahası üzerinde, heyelanın fiziksel ve dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen sı jeofizik araştırmalar bu çalışmada özetlenerek değerlendirilmiştir. P dalgası sismik kırılma analizleri muhtemel kayma yüzeylerinin belirlenmesinde etkili sonuçlar vermemiştir. Sismik kaymanın yetersiz kalması, heyelan malzemesinin sismik dalgaları çok kısa mesafelerde sönmemesi sonucu araştırmaya derinliği çok sınırlı kalmıştır (20 metrelerde), bu da muhtemel kayma yüzeyinin ortaya çıkarılmasında yeterli olmamıştır. P dalgasındaki 3-10 m derinliklerde 1500 m/sn civarında görülen hız değişimi yer altı suyu varlığı ile

yorumlanmıştır. MASW ve ReMi analizleri ile heyelan kütlesi üzerinde 80 metrelere ulaşabilen bilgi edinmek mümkün olmuştur. Heyelan sahası üzerinde S dalgası hızları genelde derinlikle beraber olarak yavaşça artmaktadır. Heyelan kütlesi ile altındaki temel birim arasındaki empedans farkını yansıtabilecek ve kayma yüzeyi olarak yorumlanabilecek ani hız değişimlerinin profillerde görülmeyişi dikkat çekicidir. Bu sonuç, heyelan kütesinin aynı jeolojik birim içinde hareket ettiğini ve kayma yüzeyleri olduğu turduğunu işaret edebilir. Bölgede yapılan sondaj çalışmaları da Gürpınar killeri içinde su içeren ince çakıllı birimlerin hareketi doğrudan belirtmekte olup bu sonucu desteklemektedir. Kayma yüzeylerinin bu çok ince zayıflık zonları, kullandığımız ölçüm geometrisi çözünürlüğünün düşük kalması ve uyguladığımız analizlerin ince ayrıntıları yok etmesi nedeniyle ölçümlerde yakalanamıyor olabilir.

S dalga hızı analizinin önemeli bir sonucu, heyelan sahası üzerinde, dördüncü noktalarla göre 60 m derinlikle kadar daha düşük hız değerlerinin elde edilmesidir. Bu da beklenildiği gibi heyelan kütesinin deformasyonları nedeniyle dördüncü noktaya göre daha zayıf malzemeden oluştuğunu işaret etmektedir. Sondaj çalışmalarının kayma yüzeylerinin derinliğini maksimum 50-60 m'de ortaya çıkarması bu sonucu desteklemektedir. Bu sonucu destekleyecek bir dördüncü veri mikrotremör ölçümleridir. H/V analizleri sonucu elde edilen rezonans frekansları genelde heyelan sahası üzerinde dördüncü noktalarla göre daha yüksektir. Zayıf heyelan kütlesi ve nispeten daha sağlam-durağan altındaki temel arasındaki empedans farkının rezonans frekanslarını doğrudan düşündürürse, ampirik ilişkilerden elde edilen kayma yüzeyi derinlikleri 10-50 m arasında değiştiği görülmektedir.

Sonuç olarak; karmaşık heyelan yapısı üzerinde sırasıyla jeofizik araştırmaların etkinliğini arttırmak için ölçümlerin çok iyi planlanması, sınırlı ölçümlerinin yapılması, tekrarlayan ve tamamlayıcı ölçümlerin alınması, uygulanan analizlerin sınırlarının çok iyi bilinmesi büyük önem arz etmektedir. Ölçümler sonucu elde edilen değerler, olasılıklar içinde yorumlanmalı ve direkt gözlem sonuçları ile karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Birgören, G. Özel, O. ve Siyahi, B. (2009). Bedrock depth mapping of the coast south of İstanbul: Comparison of analytical and experimental analyses. *Turkish Journal of Earth Sciences* Vol.18, 315-329.
- Dalgıç, S., Turgut, M. ve Kuvşun, İ. (2010). Büyükçekmece ile Küçükçekmece arasındaki heyelanların oluşmasında hazırlayıcı ve tetikleyici parametrelerin değerlendirilmesi. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 2, 56-73.
- Ergintav, S., Demirbağ, E., Ediger, V., Saatçılar, R., Çalan, S., Cankurtaranlar, A., Dikbaş, A. Ve Baş, M. (2011). Structural framework of onshore and offshore Avcılar, İstanbul under the influence of the North Anatolian fault. *Geophysical Journal International*, 185, 93-105.
- Özalp, M., Koral, H. ve Önal, M. (1998). Küçükçekmece-Çatalca dolayında Trakya havzası doğusunun jeolojisi ve gelişimi: Yeni bulgular. *TMMOB Yer Bilimleri Dergisi*, 11, 27-36.