

JEOFİZİK

CİLT 16, SAYI 1 / OCAK 2012 VOL. 16, NO.1 / JANUARY 2012

Batı Karadeniz Kıtasal Yamacından Bir Resif Yapısının Sismik Analizi

Derman DONDURUR, Özkan ÖZEL,
Günay ÇİFÇİ, Savaş GÜRÇAY,
Hilmi Mert KÜÇÜK, Murat ER ve Seda OKAY

Sismik Hızlar İle Saptanabilen Zemin Parametreleri

Ali KEÇELİ

Sismik Kırılma Verilerinde İlk Varış Zamanlarının Çapraz İlişki Yöntemi Kullanılarak Belirlenmesi

Mustafa ŞENKAYA ve Hakan KARSU

Haydarlı Baraj Alanının Elektrik Özdirenç ve Jeolojik Özellikleri

Osman UYANIK, Olcay ÇAKMAK, Elif ALGÜL,
Mustafa GÜRBÜZ ve Ali OKUMUŞ

İzmirnet Gürültü İlişkisi

Murat KEÇECİOĞLU ve Orhan POLAT

Seismic Analysis of a Reef Structure From Western Black Sea Continental Slope

Derman DONDURUR, Özkan ÖZEL,
Günay ÇİFÇİ, Savaş GÜRÇAY,
Hilmi Mert KÜÇÜK, Murat ER and Seda OKAY

Soil parameters Which can be Determined With Seismic Velocities

Ali KEÇELİ

First Arrival Picking in Seismic Refraction Data by Using Cros-Correlation Technique

Mustafa ŞENKAYA and Hakan KARSU

Properties of the Electrical Resistivity and Geology of the Haydarli Dam Area

Osman UYANIK, Olcay ÇAKMAK, Elif ALGÜL,
Mustafa GÜRBÜZ and Ali OKUMUŞ

Correlation of Noise From İzmirnet

Murat KEÇECİOĞLU and Orhan POLAT



TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI
THE CHAMBER OF GEOPHYSICAL ENGINEERS OF TÜRKİYE

ONUR EDİTÖRLERİ / HONORARY EDITORS

ALPTEKİN, Ömer (İstanbul-Türkiye)
ÇORUH, Cahit (Florida, USA)
ERCAN, Ahmet (İstanbul-Türkiye)
GÜLÜNAY, Necati (Kahire, Mısır)
İLKİŞİK, Metin (İstanbul-Türkiye)
YILMAZ, Özdoğan (İstanbul-Türkiye)

KONU EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

BAYRAK, Yusuf (Trabzon-Türkiye)
DONDURUR, Derman (İzmir-Türkiye)
KARSLI, Hakan (Trabzon-Türkiye)
KADIOĞLU, Selma (Ankara-Türkiye)

EDİTÖR LİSTESİ / EDITORIAL BOARD

AKÇİĞ, Zafer (İzmir-Türkiye)
ALTINOK, Yıldız (İstanbul-Türkiye)
BAŞOKUR, Ahmet T. (Ankara-Türkiye)
ÇAĞLAR, İlyas (İstanbul-Türkiye)
DEMİRBAĞ, Emin (İstanbul-Türkiye)
CHRISTOPHER C. Sorlien (Colorado-USA)
ERGÜN, Mustafa (İzmir-Türkiye)
EYİDOĞAN, Haluk (İstanbul-Türkiye)
GELLİŞLİ, Kenan (Trabzon-Türkiye)
GÜNEY, Aysun (İstanbul-Türkiye)
KADİROV, Fahrettin (Bakü-Azerbaycan)
KARA, İbrahim (İstanbul-Türkiye)
MASINI, Nicola (Potenza, İtalya)
OKYAR, Mahmut (İsparta-Türkiye)
ORBAY, Naci (İstanbul-Türkiye)
ÖZTÜRK, Kurultay (İstanbul-Türkiye)
PINAR, Rahmi (İzmir-Türkiye)
SAATÇILAR, Ruhi (İstanbul-Türkiye)
TÜRKELLİ, Niyazi (İstanbul-Türkiye)

English Editor: ERGÜN, Mustafa (İzmir-Türkiye)

Turkish Editor: AYDIN, Ali (Denizli-Türkiye)

YAYIMCI BİLGİLERİ / PRODUCTION INFORMATION

TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası
The Chamber of Geophysical Engineers of Türkiye

SAHİBİ / OWNER : ALTAY, Metin

(TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Başkanı / Head of The
Chamber of Geophysical Engineers of Türkiye)

YÖNETİM KURULU / EXECUTIVE COMMITTEE

ALTAY, Metin
KAYMAZ, Tuncay Arif
ÇETİN, Metin
SEYMEN, Tuncer
KUTLU, Asaf Timur
POLAT, Derya
AYDIN, Mithat

TEKNİK KOORDİNATÖR / TECHNICAL COORDINATOR:

DUMAN, Gökhan

CORRESPONDENCE ADDRESS:

Jeofizik / The Turkish Journal of Geophysics,
Milli Müdafaa Cad. No:10/7 06650 Kızılay – Ankara / TÜRKİYE
Telefon: +90 312 4188269 Faks: +90 312 4188364
http://dergi.jeofizik.org.tr • jfmo@jeofizik.org.tr

DİZGİ-BASKI / PRINTING:

Kardelen Ofset Matbaacılık Tanıtım Hizmetleri San. Ltd. Şti.
İncesu Cad. 96'lar Apartmanı 6/Y Kolej - ANKARA
Tel/Faks: 0.312 432 1 378 - 432 2 378 - 432 3 590



JEOFİZİK

TMMOB JEOFİZİK MÜHENDİSLERİ ODASI SÜRELİ YAYIN
JOURNAL OF THE CHAMBER OF GEOPHYSICAL ENGINEERS OF TURKEY
CİLT 16, SAYI 1 / OCAK 2012 VOL. 16, NO. 1 / JANUARY 2012

ISSN: 0259-1472

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

3 Batı Karadeniz Kıtasal Yamacından Bir Resif Yapısının Sismik Analizi

Seismic Analysis of a Reef Structure from Western Black Sea Continental Slope

D. Dondurur, Ö. Özel, G. Çifçi, S. Gürçay, H.M. Küçük, M. Er, S. Okay

17 Soil Parameters Which Can Be Determined With Seismic Velocities

Sismik Hızlar İle Saptanabilen Zemin Parametreleri

A. Keçeli

37 Sismik Kırılma Verilerinde İlk Varış Zamanlarının Çapraz İlişki Yöntemi

First Arrival Picking in Seismic Refraction Data by Using Cross-Correlation Technique

M. Şenkaya, H. Karslı

42 Haydarlı Baraj Alanının Elektrik Özdirenç ve Jeolojik Özellikleri

Properties Of The Electrical Resistivity And Geology Of The Haydarlı Dam Area

O. Uyanık, O. Çakmak, E. Algül, M. Gürbüz, A. Okumuş

55 İzmirnet Gürültü İlişkisi

Correlation Of Noise From İzmirnet

M. Keçecioglu ve O. Polat

Yılda iki kez Ocak ve Temmuz aylarında yayımlanır.
Published twice a year in February and July.

editörden

Saygıdeğer Araştırmacı Meslektaşım,

Jeofizik Dergi'mizin on yıl aradan sonra yaklaşık iki yıllık bir hazırlık sürecinin sonunda, yeniden yayın hayatına dönmekten büyük bir mutluluk duyuyorum. 1959 yılında ilk kez basımı Türk Jeofizik Derneği tarafından yapılan Jeofizik Dergisi, daha sonra Türkiye Jeofizikçiler Birliği ve Türkiye Jeofizikçiler Derneği tarafından yılda 2 (iki) kez yayınlanmıştır. 1986 yılında TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası'nın kurulması ve Derneğin feshi ile Oda tarafından Jeofizik Dergisi'nin yayınlanmasına devam edilmiştir.

Daha önceki sayılarımızda, ülkemizde meslektaşlarımızın ve özellikle akademisyenlerimizin bu konularda yaptığı inceleme, araştırma çalışmaları, bilimsel ve teknik içerikli makaleleri Jeofizik Dergisi'nde yer almıştır.

Daha önce olduğu gibi dergimizde uygulamalı jeofizik, sismoloji, yer fiziği, arkeojeofizik, çevre jeofiziği, zemin etüdü, yeraltı suyu gibi jeofizik bilim dallarına ait özgün çalışmalara yer verilecektir. Mesleğimiz için çok önemli olan bu yayın organımızın seçkinliği ve amacını göz önüne alırsak, sizlerin değerli desteklerinden sonra daha da güçlenmiş olarak yoluma devam edecektir.

Ülkemizde Jeofizik Mühendisliğinin en etkin yayın organlarından olan JEOFİZİK DERGİSİ on yıl aradan sonra tekrar yayın hayatına geri dönmesiyle sizlere ulaşmanın sevincini yaşarken, mesleğimize sonsuz katkıları bulunan ve ebediyete göç etmiş tüm meslektaşlarımızı saygı ile anıyorum. Dergimizin yayın sürecine dönüşünde her konuda yardım ve destek sağlayacak olan editörler listemizdeki mesleğimizin duayenlerine en derin saygı ve şükranlarımı sunuyorum. Bu süreçte gerek makale ve gerekse hakemlik konusunda dergimize destek veren araştırmacılarımıza yapmış oldukları katkılardan dolayı çok teşekkür ediyorum. Dergimizin yayın hayatına dönüşü sürecinde olduğu gibi, bundan sonra da makaleleriniz ve hakemlik konusunda vereceğiniz destekleriniz için teşekkür eder, yayın kurulu adına saygı ve şükranlarımı sunarım.

Doç. Dr. Ali AYDIN
Editör / Editor-Chief

BATI KARADENİZ KITASAL YAMACINDAN BİR RESİF YAPISININ SİSMİK ANALİZİ

Seismic Analysis of a Reef Structure From Western Black Sea Continental Slope

Derman DONDURUR^{1,a}, Özkan ÖZEL, Günay ÇİFÇİ, Savaş GÜRÇAY,
Hilmi Mert KÜÇÜK, Murat ER ve Seda OKAY

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü,

Bakü Bulvarı, No: 100, 35340-İnciraltı, İzmir (derman.dondurur@deu.edu.tr)

ÖZET

2008 yılında Batı Karadeniz şelf ve kıtasal yamacı üzerinde yaklaşık 355 km çok kanallı 2B yüksek ayrımlı sismik yansıma verisi toplanmıştır. Sismik veride bir paleo-kanal yapısı içerisinde sığ derinliklerde gömülü bir resif yapısı ayırt edilmiştir. Yapının genişliği 1400 m ve yüksekliği yaklaşık 50 m olup, deniz tabanından yaklaşık 40 m derinlikte gömülüdür. Resifin ve çevre tortul ortamın yapısının anlaşılması için, yığma öncesi ayrıntılı hız analizlerini ve çok sayıda yığma sonrası karmaşık iz niteliklerini içeren bir dizi sismik analiz gerçekleştirilmiştir.

Resifin içsel yapısı ortalama 10 m kalınlığında karbonat tabakalardan oluşmakta olup, bu birimlerin ara hızı 2250 m/s civarındadır. Karmaşık iz analizleri ve hız analizi sonuçları, resifin hemen üzerinde bir mini-antiklinal yapısı içerisinde küçük çaplı bir gaz birikiminin ve resif tabanının altında ise daha seyrek bir gaz birikiminin olduğunu ortaya koymuştur. Elde edilen analiz sonuçlarından yola çıkarak, resif yapısı için, organik karbonat birikimi ile resif oluşumunu temel alan ve taban altındaki tortullarda sıvı göçünü de içeren bir melez oluşum modeli geliştirilmiştir. Bu modele göre resif, bugün mevcut bulunduğu konumun GD kısmında oluşumuna başlamış, zaman içerisinde oluşumu kademeli olarak kaymış ve KB yönünde gelişmeye devam etmiştir. KB'ya doğru bu kaymanın oluşumunda, resif tabanının altındaki tortullarda gaz oluşumu ve yükseliminin etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Deniz sismiyi, Veri işlem, Gaz birikimi, Resif, Karmaşık nitelik analizi, Karadeniz.

ABSTRACT

A total of 355 km 2D high resolution multi-channel seismic data were collected along the western Black Sea continental shelf and slope in 2008. A shallow reef structure buried at 40 m below the sea bottom in paleo-channel sediments was distinguished on the seismic data. The width and height of the reef structure is 1400 and 50 m, respectively. In order to investigate the internal structure of the reef as well as the depositional environments of the surrounding region, a number of specific analysis including detailed velocity analysis and post-stack complex trace attribute analysis have been performed.

Internal structure of the reef is composed of several carbonate sheets (approx. 10 m thick) with an interval velocity of approximately 2250 m/s. Complex trace attributes and detailed velocity analysis both indicate that there are two distinct small-scale gas accumulations around the reef: one is inside a mini-anticline located above the reef, and the other is a sparse gas accumulation immediately below the reef floor. By means of the analysis results, a hybrid model for the formation of reef is proposed, which is mainly based on the organic carbonate formation but is also consisted of seabed fluid migration mechanism. According to the proposed model, reef formation initiated at its SE end point. The development of the reef then gradually moved towards the NE in long periods of time. It is suggested that the reason for the NE movement of the reef development is due to the gas and/or gassy fluid formation and migration below the reef floor.

Keywords: Marine seismics, Data processing, Gas accumulation, Reef, Complex trace analysis, Black Sea.

GİRİŞ

Denizel ortamlarda yüksek tortulaşma oranı ve organik malzemenin oksidasyondan korunumu, hidrokarbon bileşiklerinin (petrol ve/veya ağır hidrokarbon gazları) oluşumu için uygun ortamları hazırlar. Denizel sıg gaz birikimleri anlamında metan gazı en çok rastlanan hidrokarbon gazı olup, ya derin tortullarda "termojenik" olarak, ya da sıg kısımlarda mikrobiyal ve bakteriyolojik aktivite sonucu "biyojenik" olarak üretilmektedir. Termojenik metan ve diğer petrol bileşiklerinin üretimi, karmaşık ve uzun zincirli organik moleküllerin, tipik olarak 1000 m'den büyük derinliklerde yüksek sıcaklık ve basınç koşulları altında uzun zaman dönemleri boyunca kalmalarıyla olmaktadır. Biyojenik gazın kaynağı ise planktonik malzemeler, bitkiler, balıklar ve katı atıklardan türeyen organik malzemedir. Bu organik malzemenin var olduğu ve yüksek tortul birikim oranına sahip olan denizel ortamlar, biyojenik metan üretimi ve birikimi için uygun alanlardır (Hovland and Judd 1988). Delta ortamlarında yüksek tortul birikim oranı, organik malzemenin hızla gömülmesine neden olur ve oksidasyonunu önleyerek tortullar içerisinde daha sonraki bakteriyel bozulma için korunmasını sağlar.

Karadeniz tortullarındaki zengin organik karbon, 120 m su derinliklerinden itibaren anoksik koşullardan dolayı oldukça iyi korunmakta, bu durum, tortullarda gaz ve gaz hidrat birikimlerinin oluşumuna katkıda bulunmaktadır (Çifçi et al. 2002; Dondurur and Çifçi 2009). Yüksek tortulaşma oranına sahip şelf ve yamaç bölgeleri metan kaynakları olarak dikkate alınmakta olup, havza etrafında metan çıkışları çok yaygındır (Limonov et al. 1997; Okay and Ediger 1999; Ergün et al. 2002; Kruglyakova et al. 2002). Ayrıca son yıllarda artan araştırmalar, Karadeniz'deki gaz hidrat birikimlerinin ve sismik kesitlerde bunları işaret eden tabana benzeyen yansımaların (Bottom Simulating Reflector-BSR) varlığını da ortaya koymaktadır (Lüdmann et al. 2004; Popescu et al. 2006; Küçük et al. 2011).

Karadeniz Türkiye şelfi ve derin sularında çok sayıda sıg gaz birikimi de rapor edilmiştir (Okay and Ediger 1999; Ergün et al. 2002; Menlikli et al. 2009; Dondurur et al. 2010; Küçük et al. 2011). Karadeniz yamaç ve kıtasal yükselim alanı, 2004 yılından bu yana TPAO tarafından 2 ve 3 boyutlu sismik çalışmalarla araştırılmakta olup, bu bilgiler ışığında açılan sıg ve derin su alanlarındaki kuyulardan sadece Ereğli açıklarındaki Ayazlı-1 kuyusundan ticari anlamda gaz üretimi yapılabilmektedir (Menlikli et al. 2009). Özel et al. (2011) tarafından çalışma alanında yapılan sismik analizlerde, özellikle Kuvaterner sırt yapılarının hemen altında oldukça sıg derinliklerde geniş çaplı gaz birikimlerinin varlığı rapor edilmiştir.

Bu çalışmada, batı Karadeniz kıtasal yamacı üzerinde yaklaşık 900 m su derinliklerinde sismik veride gözlenen bir resif yapısı analiz edilmiştir. Karadeniz havza ve sınırları boyunca yapılan sismik çalışmalarda herhangi bir resif yapısı henüz rapor edilmemekle birlikte,

uygun derinliklerde ve ekonomik boyutlarda olmaları durumunda resif yapıları geniş çaplı hidrokarbon birikimlerinin (petrol veya doğal gaz) işaretleridir. Resif olarak yorumlanan yapının yığma öncesi ve yığma sonrası sismik verideki görünümü ortaya konulmuş, resif yapısı nedeniyle oluşan hız anomalileri analiz edilmiştir. Ayrıca, yapıyı içeren sismik verinin karmaşık iz nitelikleri de incelenmiştir.

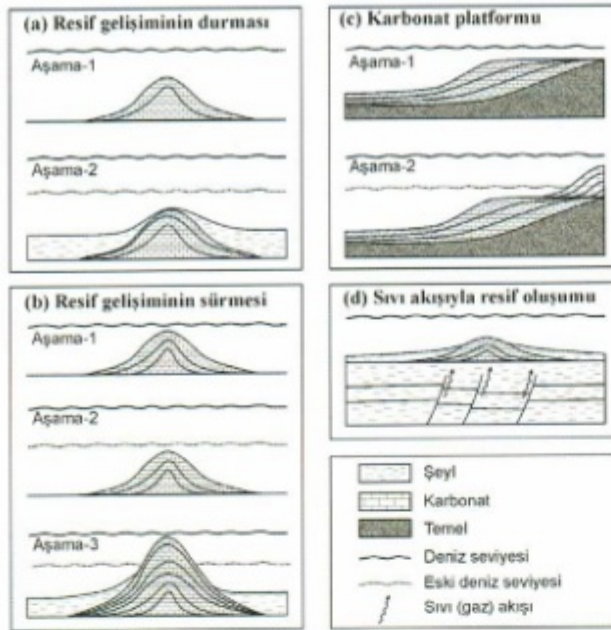
RESİF YAPILARI

Karbonat resifi, "canlı kolonileri ve birikmiş iskelet parçaları, karbonat/silikat kumu ve organik/inorganik kalsiyum karbonattan oluşan ve koloni ile tortulların taşlaşmasına neden olan kireçtaşından meydana gelen tepe, yükselim veya sırt yapısı" olarak tanımlanmaktadır (Hovland 1990). Resifleri, tropik adaların etrafında görülen saçak türü resifler (fringing reefs), çöken okyanus adaların çevresindeki bariyer resifleri (barrier reefs), bunların gerisinde çok sıg sularda oluşan dairesel/izole yama resifleri (patch reefs), neredeyse tamamen silindirik şekilli ve düşey kanatlara sahip tepe resifleri (pinnacle reefs) ve okyanusal adanın tamamen çökmesi sonucu yüzeyde kalan dairesel şekilli atol türü resifler olarak sınıflandırmak mümkündür (Dominguez et al. 1992). Resiflerin oluşumu küresel deniz seviyesi değişimleri ile ilintilidir (Woodroffe et al. 2000; Yubo et al. 2011) ve genellikle tropik ve ekvatora yakın bölgelerde sıcak sularda oluşurlar. Bunun yanı sıra, Hovland and Thomsen (1997) ve Hovland and Risk (2003) özellikle Kuzey Denizi soğuk sularında deniz tabanı resifleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, resiflerin deniz tabanına gaz (özellikle metan) sızıntıları ile oldukça yakından ilişkili olduklarını ortaya koymuşlardır. Hovland (1990) ise, resiflerin sürekli şekilde devam eden deniz tabanı metan sızıntıları (cold seeps) sonucu oluşabileceğini de ileri sürmüştür. Şekil 1, deniz seviyesi değişimlerine bağlı olarak resif yapılarının gelişimlerini şematik olarak vermektedir.

Ortadoğu ve Kuzey Afrika üretim alanları dahil olmak üzere, dünya üzerindeki pek çok büyük petrol ve doğal gaz üretim alanı, resif türü karbonat yapılarından meydana gelmektedir. Organik karbonat yığılımları veya resifler, en önemli hidrokarbon birikim alanlarından birini oluştururlar. Kıtasal şelflerde genellikle şelf kırılma alanlarında veya kıtasal yamaçlarda gözlenirler ve genellikle şeylerle örtülüdürler (Dominguez et al. 1992). Resifler stratigrafik kapan türü içerisinde değerlendirilirler ve sismik kesitlerde oldukça belirgin gömülü uzunlamasına tepelikler şeklinde gözlenirler.

TEKTONİK YAPI

Karadeniz, Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeyinde ve aktif Arap-Avrasya kıtasal çarpışmasının batı kanadı üzerinde yer alan geniş bir kıtalar arası havzadır. Karadeniz'in, kuzeye dalan Tetis Okyanusu tarafından üretilen Mesozoyik-Erken Senozoyik yay-ardı havzası



Şekil 1. (a) Deniz seviyesi yükselimi ile resif oluşumunun durması ve (b) sürmesi, (c) şelf karbonat platformlarının oluşumu ve (d) deniz seviyesi değişimleri ile ilişkili olarak soğuk sızıntılara bağlı resif gelişiminin şematik gösterimi.

Figure 1. Schematic representation of (a) give-up and (b) catch-up of reef formation due to a rapid transgression, (c) formation of shelf carbonate platforms, and (d) reef formation due to the cold seeps independently from sea level variations.

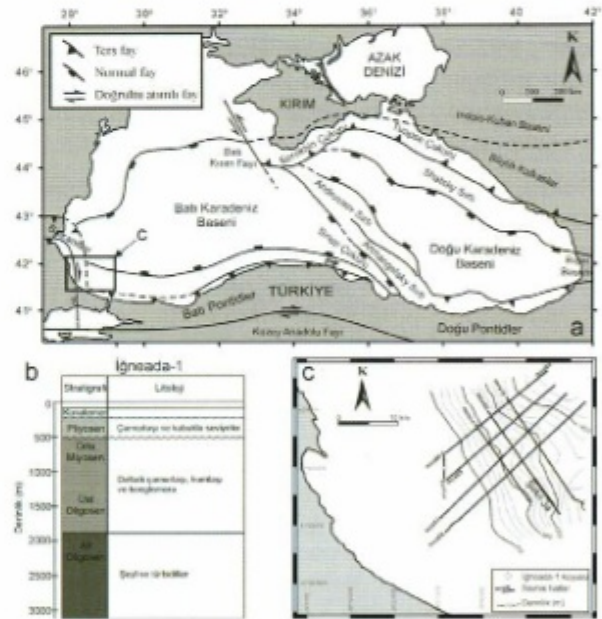
(back-arc basin) olduğu düşünülmektedir (Finetti et al. 1988; Okay et al. 1994; Robinson et al. 1996; Spadini et al. 1996; Nikishin et al. 2003). Karadeniz, batimetrik olarak tek bir havza olmasına karşın, tektonik olarak Batı (BKB) ve Doğu (DKB) Karadeniz Havzaları olarak isimlendirilen iki havzadan oluşmakta olup, bu havzalar Orta Karadeniz Sırtı (OKS) olarak isimlendirilen bölgesel bir sırt ile birbirinden ayrılmaktadır (Şekil 2a). OKS, kuzeyde Andrusov ve güneyde ise Archangelsky Sırtları olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bu sırt, Oligosen-Erken Miyosen zamanına dek bir çökme bariyeri olarak kalmış, ancak bundan sonra tortullar tarafından kaplanmış (Finetti et al. 1988) ve her iki havza batimetrik olarak 2200 m derinlikte tek bir havzaya birleşmiştir.

BKB ve DKB farklı kinematik yapıya ve farklı açılma geçmişine sahiptir (Okay et al. 1994; Spadini et al. 1996). BKB'nin, batı ve orta Pontid'lerin Aptian döneminde Moesian Platformu'ndan ayrılarak güneydoğuya açılması sonucu olduğu öne sürülmüştür (Görür 1988). Buna karşın DKB daha gençtir ve Paleosen-Eosen döneminde OKS'nin Shatsky Sırtı'ndan ayrılarak Kırım'ın batısındaki bir kutup noktasından saat yönünde dönmesi sonucu açılmıştır (Finetti et al. 1988; Spadini et al. 1996; Robinson et al. 1996). BKB okyanusal bir kabuğa sahiptir ve Üst Kretase'den itibaren açılma sonrası tortul kalınlığı havza merkezinde 13 km'ye ulaşmaktadır (Finetti et al. 1988; Robinson et al. 1996).

Morfolojik olarak Karadeniz iki farklı sınır tipi gösterir: Doğu ve güney sınırları boyunca şelf gelişmemiştir. Bu bölgelerde kıtasal yamaç oldukça diktir ve şelf kırığından itibaren 15 km sonra yaklaşık 1800 m su derinliklerine ulaşılmaktadır. Buna karşın, kuzey ve batı sınırlarında ise oldukça geniş bir şelf ve daha düşük gradiente sahip kıtasal yamaç yapısı gözlenir.

Karadeniz her ne kadar açılma ile oluşmuş olsa da, Eosen döneminden itibaren kinematik durum değişmiş olup, sınırlarındaki güncel tektonizma, sıkışma tektoniği ile ifade edilmektedir (Robinson et al. 1996; Spadini et al. 1996; Tari et al. 2000). Karadeniz deprenselliği oldukça düşük bir alan olarak tanımlanmakla birlikte (Tari et al. 2000), Pontidler boyunca güncel sıkışma tektoniğinin izleri gözlenmektedir (Barka and Reilinger, 1997). Batı havza sınırında 1968 Bartın depremi, aletsel olarak kaydedilmiş en güçlü depremdir ve kaynak mekanizması bindirme türü faylanmayı işaret etmektedir (Alptekin et al. 1986).

Çalışma alanı Batı Karadeniz'de İğneada açıklarındaki şelf, kıtasal yamaç ve kıtasal yükselim (apron) bölgelerini kapsamaktadır (Şekil 2a). TPAO tarafından açılan İğneada-1 kuyusu çalışma alanının batısında yer almaktadır. Kuyu kıtasal şelf üzerinde yaklaşık 80 m su derinliklerinde yer almakta olup, 3118 m penetresyona sahiptir (Şekil 2b). Kuyuda kesilen Pliyosen birimi



Şekil 2. (a) Karadeniz'in genel tektonik elemanları (Finetti ve diğ. 1988; Spadini ve diğ. 1996; Robinson ve diğ. 1996'dan değiştirilerek), (b) çalışma alanı yakınında bulunan İğneada-1 kuyu stratigrafisi, ve (c) kıyı boyunca toplanan sismik hatlar.

Figure 2. (a) Major tectonic components of the Black Sea (after Finetti et al. 1988; Spadini et al. 1996; Robinson et al. 1996), (b) stratigraphic section of İğneada-1 commercial well, and (c) seismic lines collected along the margin.

çamurtaşından, Miyosen ve Üst Oligosen birimleri ise çamurtaşı, kumtaşı ve konglomeradan oluşmaktadır. Yaklaşık 2000 m derinliklerden itibaren Alt Oligosen birimi içerisinde şeyl ve türbidit aralanmaları gözlenmiştir ve kuyunun bu kısmında petrol emarelerine rastlanmıştır (Menlikli et al. 2009). Çalışma alanında şelf kırığı yaklaşık 140 m su derinliklerinde yer almaktadır. Bu derinlikten itibaren oldukça düşük gradyentle derinleşen kıtasal yamaç başlamakta ve doğuya doğru yaklaşık 1800 m su derinliklerine kadar uzanmaktadır.

VERİ TOPLAMA ve VERİ İŞLEM

Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Araştırma Gemisi R/V K. Piri Reis ile, 2008 yılında Batı Karadeniz şelf ve kıtasal yamacı üzerinde yaklaşık 355 km 2B çok kanallı yüksek ayrımlı sismik yansıma verisi toplanmıştır (Şekil 2c). Çalışmanın temel amacı, bölgedeki Kuvaterner tortulları içerisindeki olası sıg gaz ve gaz hidrat birikimlerinin haritalanması, deniz tabanı erozyonunun, sıg stratigrafisinin ve olası aktif fayların ortaya konulmasıdır. Çok kanallı sismik yansıma verisinin toplanması sırasında 96 kanallı ve 600 m uzunluğunda sayısal sismik alıcı kablo (streamer) kullanılmıştır. Grup aralığı 6.25 m, atış aralığı ise 12.5 m'dir. Kayıt uzunluğu ve örnekleme aralığı sırasıyla 3 s ve 1 ms alınmıştır. Sismik kaynak olarak, kabarcık sinyali üretmediği için yüksek ayrımlı deniz sismliği çalışmalarında tercih edilen 45+45 inç³ GI (Generator-Injector) türü hava tabancası kullanılmıştır. Üretilen sinyalin frekansı bant genişliği 8-240 Hz arasındadır. Çalışma sırasında hatası 3 m civarında olan standart bir GPS sistemi kullanılmıştır.

Sismik veri ProMax yazılımı kullanılarak işlenmiş olup, veriye şu standart veri işlem adımları uygulanmıştır: veri yükleme, geometri tanımlama, 8-220 Hz bant-geçişli süzgeç, iz ayıklama, f-k eğim süzgeci, 24 katlamalı CDP sıralama, hız analizi (ortalama 1000 m aralıklı), normal kayma zamanı düzeltilmesi, yığma, Kirchhoff zaman göçü ve göç sonrası genlik kazancı. İzden ize genlik değişimi bilgisini kaybetmemek adına veriye Otomatik Kazanç Kontrolü (AGC) uygulanmamış, bunun yerine kazanç işlemi olarak Gerçek Genlik Kurtarımı (TAR) tercih edilmiştir. Ayrıca gaz ve/veya gaz hidrat anomalilerinin analizi için, veride gerekli görülen kısımlara karmaşık iz nitelikleri de (complex trace attributes) uygulanarak, anlık genlik veya zarf, anlık frekans ve anlık polarite kesitleri de elde edilmiştir.

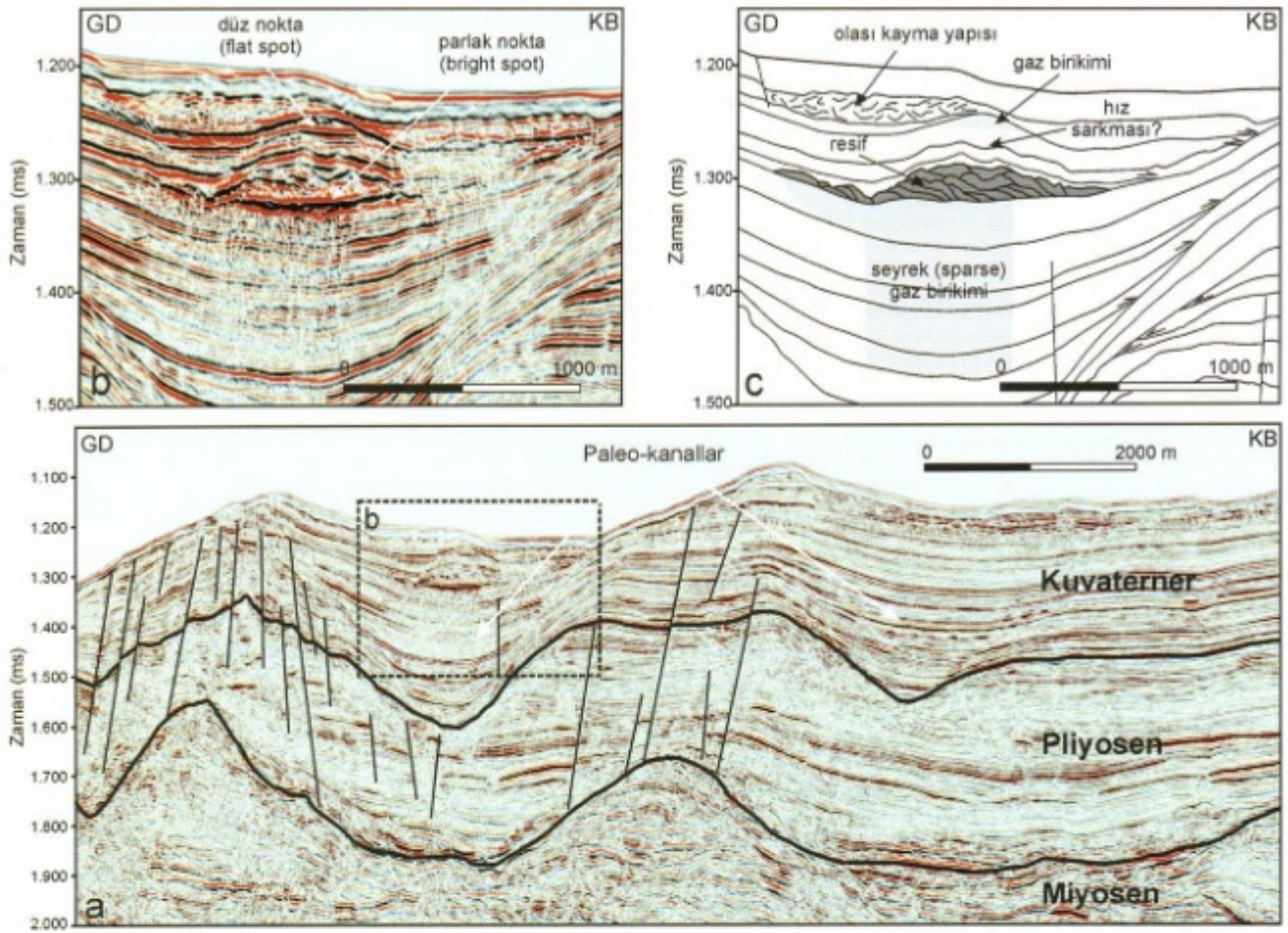
BULGULAR

Çalışma alanındaki sismik yansıma hatlarından birinde, resif yapısı olarak yorumlanan tepe şekilli gömülü bir yapı gözlenmiştir. Şekil 3a, yapının gözlemlendiği mcs05 hattının güneydoğu kısmını ve yorumunu göstermektedir. Veride en derin birim Miyosen olarak yorumlanmıştır ve yaklaşık 1800 ms civarında (ortalama olarak deniz tabanından 600 m derinde) uzanmaktadır.

Miyosen-Pliyosen arayüzeyi tüm sismik kesitlerde oldukça belirgin bir uyumsuzluk yüzeyi olarak ayırt edilebilmektedir. Miyosen birimini üzerleyen Pliyosen biriminin genellikle yatay uzanan ve daha az deforme olmuş tortullardan oluştuğu görülmektedir. Pliyosen birimi çok fazla içsel yansıma içermemekte, bazı kesimlerde yarı şeffaf bir görünüm sunmaktadır. Pliyosen birimi tortullarının, derin kısımlarda Miyosen biriminin ondülasyon gösterdiği bölgelerde bu birime onlap yaptığı görülmektedir. Kuvaterner birimi ise oldukça iyi yansıma veren, genellikle paralel tabakalardan oluşmaktadır (Şekil 3a). Kuvaterner birimi içerisinde, özellikle sıg kısımlarda çok sayıda sıg gaz birikiminin varlığı gözlenmiştir. Bu birim içerisinde ayrıca iki ayrı paleo-kanal yapısı ayırt edilmiştir. Bu kanalları dolduran tortullar, kanalların her iki kanadına onlap yapmaktadır. Ayrıca, gömülü kanalların kanatlarının altındaki tortulların da, yer yer bu kanatlara toplam yaparak sona erdikleri görülmektedir. Bu durum, kanal dolgusunda hem karasal ve hem de pelajik ve/veya yarı-pelajik tortulaşmanın etkin olduğunu işaret etmektedir.

Kesitin GD kısmında çok sayıda düşeye yakın küçük ofsetli fayların varlığı oldukça belirgindir. Bu faylardan kesitte deniz tabanı ve tabanaltı tortullarının eğiminin arttığı GD uçtakiler, gravitasyonel yük nedeniyle tortul kaymalarına neden olan rotasyonel faylar olarak yorumlanmıştır. Ayrıca Miyosen'in üstünden neredeyse deniz tabanına kadar uzanan diğer fayların, genellikle Miyosen biriminin yükselim gösterdiği küçük ölçekli iki sırt yapısı üzerinde yoğunlaştığı anlaşılmaktadır. Yükselimlerin üzerindeki Pliyo-Kuvaterner tortulların sıkışmasıyla ilişkili olan bu faylanmalar, farklı sıkışma (differential compaction) nedeniyle oluşan küçük ölçekli faylanmalar olarak yorumlanmıştır. Kesitin GD kısmında Miyosen birimindeki iki yükselimin arasında kalan kısımda kalan Pliyo-Kuvaterner tortullar, Miyosen yükselimleri nedeniyle, yükselimlerin tam üzerindeki tortul birimlerden çok daha fazla sıkıştırılabilir özelliklerine sahiptirler. Yani yükselimin üzerindeki ve her iki yanındaki tortullar, aynı bir basınç altında bile farklı miktarlarda sıkışabilir özellik gösterirler. Genellikle yükselim veya sırt yapılarının üzerindeki tortullar, bu kısımlarda tortul kalınlığının az olması nedeniyle daha az sıkışırken, sırtların her iki yanındaki tortullar daha fazla sıkışırlar. Bu nedenle, bu tür yükselimlerin üzerindeki tortul birimlerde, bu farklı sıkışabilir özelliklerinden dolayı küçük ofsetli normal faylar meydana gelir ve bunlar farklı sıkışma fayları olarak nitelendirilirler. Bu tür fayların oluşumunun ortamın tektonik özellikleriyle ilişkisi yoktur.

Çalışmaya konu olan resif yapısı, kesitin GD kısmında ortalama 900 m su derinliklerinde, bir paleo-kanal yapısını dolduran tortulların içerisinde bulunmaktadır (Şekil 3b). Yapı, Kuvaterner birimler içerisinde deniz tabanından itibaren yaklaşık 40 m derinlikte gömülüdür. Genişliği yaklaşık olarak 1400 m olup, orta kısmındaki yüksekliği ise (yapılan hız analizi sonuçlarına göre) 50 m civarındadır (Şekil 3c). Resifin



Şekil 3. (a) mcs05 çok kanallı sismik yansıma hattının GD kısmının migrasyon kesiti ve yorumu. Konum için Şekil 2c'ye bakınız. (b) Kesitte gözlenen resif yapısının yakından görünümü ve (c) resif yapısının yorumu.

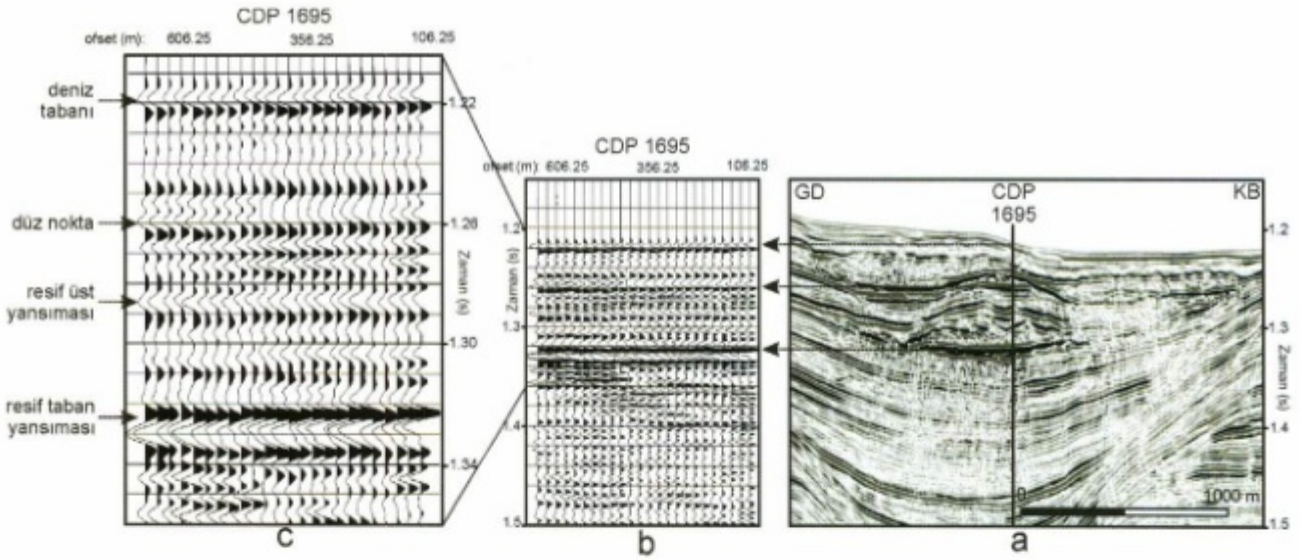
Figure 3. (a) SE part of the migrated multichannel seismic line mcs05 and its interpretation. See Figure 2c for the location. (b) Close-up of reef structure and (c) its interpretation.

üst sınırındaki derinliklerde sismik sinyalin dalgaboyu 10 m olup (1500 m/s hız ve 150 Hz baskın frekans kabulüyle), bu derinliklerde sismik verinin ayrırlılığı 2.5 m civarındadır. Resifin iç yapısının ince karbonat tabakalarından meydana geldiği görülmektedir. Bu ince tabakalar genellikle kuzybatıya eğimli olup, üst üste yığılmış bir yapı sunmaktadır. Resif yapısı Geç Kuvaterner tortulları içerisinde bulunmaktadır. Resifin üzerinde, Holosen yaşlı ve oldukça kaotik bir içsel yapıya sahip küçük ölçekli bir kayma yapısı da mevcuttur. Resifin hemen altında bir kolon halinde ve hemen üzerinde küçük bir zon içerisinde gaz birikiminin olduğu görülmektedir. Bu zonlar Şekil 3c'de gri taralı alanlar olarak gösterilmiştir. Her iki gaz birikiminin üst yüzeyinden alınan yansılarda da polarite terslenmesi gözlenmektedir. Üstteki birikimin tabanı bir düz nokta (flat spot) oluşturmuş olup gaz birikimi nedeniyle oluşan düşük hız, düz noktanın hemen altındaki yansılarda hız sarkması (velocity sag/pull-down) meydana getirmiştir. Alt kısımda gözlenen daha geniş ölçekli gaz birikimi nedeniyle, resifin hemen altındaki tortullardan

alınan yansıma karakterinde bozulmalar ve yansımaların genliklerinde belirgin bir düşüş gözlenmektedir.

Yığılma Öncesi Veri Analizi

Resif yapısının üzerinden alınan ve düz noktayı, resifin üst ve alt sınırlarını kesen NMO düzeltmesi uygulanmış bir CDP grubu (CDP no. 1695) Şekil 4'de verilmiştir. Özellikle Şekil 4c'deki yakından gösterim, söz konusu ara yüzeylerden alınan yansımaların deniz tabanı yansımasına göre polarite ve genlik özelliklerini ortaya koymaktadır. Resifin üst kısmındaki küçük çaplı gaz birikiminin üzerinden alınan yansıma deniz tabanı yansımasına göre ters polaritede, buna karşın bu birikimin tabanından (düz nokta) alınan yansıma ise deniz tabanı ile aynı polaritededir. Bu durum, küçük çaplı gaz birikiminin üst sınırında, alttaki gaz birikimi nedeniyle oluşan hız düşüşünü ifade etmektedir. Birikimin tabanındaki düz noktada ise gaz birikiminden suya doymun tortullara geçişte oluşan hız artışı, pozitif polariteli yansıma üretmektedir.



Şekil 4. (a) Resif yapısını içeren sismik kesitin bir kısmı, (b) sismik veride resifin üzerinde bulunan NMO düzeltmesi uygulanmış 1695. CDP'nin görünümü, (c) 1695. CDP'nin resif yapısını içeren kısmının yakından görünümü.

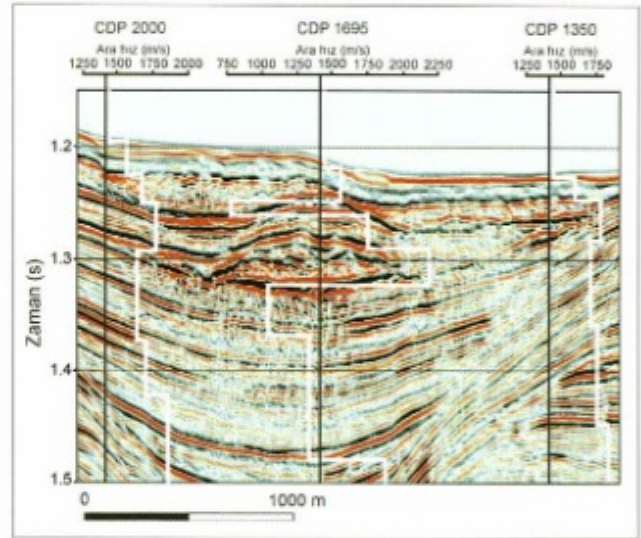
Figure 4. (a) Part of the seismic line containing reef structure, (b) NMO corrected CDP gather 1695 over the reef structure, (c) close up of CDP gather 1695.

Şekil 4c'de, resif üst yansımasının da pozitif polariteli olduğu, ancak resif taban yansımasının ters polariteye sahip olduğu görülmektedir. Resifi oluşturan karbonat yapısı içerisindeki hız artışı, resif üst yansımasının pozitif polariteli olmasına neden olmaktadır. Resif taban yansıması ise, hem yüksek hızlı karbonat yapısından tortul birime geçişte oluşan hız düşüşü ve hem de resifin altındaki gaz birikimi nedeniyle deniz tabanına göre ters polaritelidir. Resif yapısının göreceli olarak derin sularda bulunması ve sismik alıcı kablunun kısa olması nedeniyle uzak ofsetli ve büyük geliş açılarına sahip sismik veri toplanamadığı için, CDP grubundaki söz konusu anomali yansımalar, belirgin bir AVO etkisi göstermemektedir.

Hız Anomalileri

Sismik verinin resif yapısını içeren kısmının ayrıntılı hız analizi yapılarak, resif civarında sismik hızdaki değişim incelenmiştir. Şekil 5, 1350, 1695 ve 2000 numaralı CDP noktalarında yapılan hız analizinden elde edilen ara hız profillerini vermektedir. Hız analizi ile elde edilen RMS hızlar, Dix denklemi ile şekilde gösterilen ara hızlara dönüştürülmüştür. 1350 ve 2000 numaralı CDP grupları resif yapısının dışında kalırken, 1695 numaralı CDP resif yapısının üzerine denk gelmekte ve resifin üzerindeki küçük çaplı gaz birikiminin, resifin kendisinin ve altının ara hız değişimini göstermektedir.

1350 numaralı CDP konumunda elde edilen ara hız, derinlikle tekdüze şekilde artmaktadır. Taban altında gaz birikimi, aşırı basınçlı tortullar, ters faylanma gibi oluşumlar bulunmadığı sürece, bunun gibi derinlikle düzgün şekilde gözlenen hız artımı oldukça olağandır.



Şekil 5. Üç ayrı CDP noktasında (CDP 1350, 1695 ve 2000) yapılan hız analizinden elde edilen ara hız profillerinin sismik veri üzerinde gösterimi. CDP 1695 resif yapısının üzerine denk gelmektedir.

Figure 5. Interval velocity profiles obtained at three different CDP locations (CDPs 1350, 1695 and 2000) along with the seismic data. CDP 1695 coincides with the reef structure.

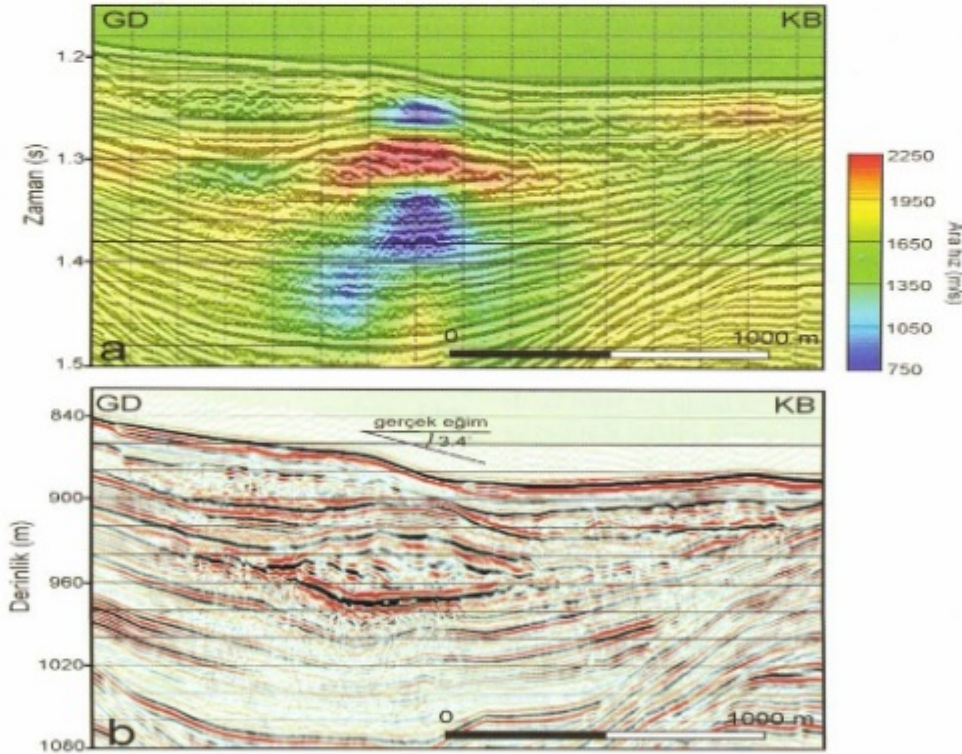
Benzer bir ara hız profili 2000 numaralı CDP konumunda da elde edilmiştir. Farklı olarak, yaklaşık 1290 ms civarında yer alan resifin taban yansımasının altında kalan zon içerisinde ara hızda bir düşüş gözlenmektedir. Bu düşüşün, resifin altında bulunan gaz birikiminden meydana gelen seyrek (sparse) gaz etkisi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Nitekim 2000 numaralı CDP

konumunda derinlerde hızdaki artış olağan şekilde devam etmektedir.

1695 numaralı CDP konumunda elde edilen ara hız profili ise, bu iki profilden oldukça farklıdır. Resifin üzerindeki küçük çaplı gaz birikiminin üst kısmında ara hız hafifçe artış göstermekte, ancak gaz birikimi içerisinde aniden yaklaşık 750 m/s civarına kadar düşmektedir. Tortullar içerisinde gaz bulunmasının, sismik hızı sudaki P dalgası hızının da (ortalama 1500 m/s) altına düşürdüğü bilinmektedir. Bu durum yalnız başına, polarite düşüşü, ani ve büyük akustik empedans değişimi gibi sismik kesitlerdeki doğrudan hidrokarbon göstergelerinin (direct hydrocarbon indicators-DHI) elde edilmesine neden olmaktadır. Bu gaz birikiminin tabanını oluşturan düz noktanın (flat spot) altında hız tekrar yükselmekte ve 1750 m/s civarına ulaşmaktadır. Bu seviyenin hemen altında resif yapısı bulunmaktadır. 1695 numaralı CDP konumunda, yaklaşık 1280-1330 ms arasında bulunan resif yapısında ara hızın oldukça yükseldiği ve 2250 m/s'ye ulaştığı görülmektedir. Karadeniz'de, bu denli sığ derinliklerdeki tortul birimler için bu hız değeri çok yüksek olup, bu yüksek hızlı birim, resif yapısını oluşturan karbonat birimin yüksek hızına karşılık gelmektedir. Resifin tabanından itibaren seyrek gaz birikimi nedeniyle ara hızda tekrar ani bir düşüş gözlenmekte, 1475 ms derinliklerden sonra ise hız tekrar artış göstermektedir.

Sismik veriden elde edilen bu hız analizi bilgisi, resif yapısını içeren tüm sismik veri üzerine yayılarak resif ve civarının 2B ara hız kesiti elde edilmiştir. Bu işlem için her 50 CDP'de bir (ortalama her 150 m'de bir) hız analizi yapılmış, elde edilen RMS hızlar ara hızlara dönüştürülmüştür. Ara hız kesitinin sismik veri ile birlikte gösterimi Şekil 6a'da verilmektedir. Ara hız kesitinde, kesitteki normal tortul birimlerin hızlarının genellikle 1600-1800 m/s arasında değiştiği görülmektedir. Resif yapısı içerisinde, beklendiği gibi yüksek hızlı karbonat birim nedeniyle ara hız oldukça yükselmekte ve 2250 m/s civarında seyretmektedir. Ara hız kesitinde, hem resifin üzerinde ve hem de altında bulunan her iki gaz birikiminin anomali hız dağılımları da açıkça görülmektedir. Her iki gaz birikim yapısı için de hız değerleri 800 m/s civarında olup, gaz içeren tortulların sınırları hız alanında açıkça ayırt edilebilmektedir.

Tüm bu hız analizlerine ek olarak, elde edilen ara hızlar kullanılarak ortalama hızlar da hesaplanmış ve sismik veri zaman ortamından derinlik ortamına aktarılmıştır. Elde edilen derinlik kesiti Şekil 6b'de verilmiştir. Resifin yapısı, sahip olduğu yüksek sismik hız değerinden dolayı, zaman kesitinde, normalde olması gerektiğinden daha ince görülmektedir. Ayrıca resifin üzerindeki sığ gaz birikiminin düşük hızlı anomali de derinlik kesitinde yok olduğundan, düz nokta ve düşük hız nedeniyle bunun altında oluşan hız sarkması da yok olmuştur.



Şekil 6. (a) Resif yapısı boyunca elde edilen ara hız kesitinin sismik veri ile birlikte gösterimi, (b) ortalama hızlar kullanılarak sismik verinin derinlik ortamına dönüştürülmüş hali.

Figure 6. (a) Interval velocity distribution along the seismic data containing the reef structure, and (b) depth conversion of the seismic data using average velocities.

Karmaşık Nitelik Analizi

Sismik verilerden elde edilen, ölçülen, hesaplanan veya bulunan tüm özellikler sismik nitelik (attribute) olarak tanımlanır ve sismik verinin yorumuna yardımcı bazı ek parametreler sismik nitelik analizlerinden elde edilebilir. En çok kullanılan sismik nitelikler Karmaşık Sismik Nitelikler (Complex Trace Attributes) olup, sismik verinin analitik sinyal olarak dikkate alınması ile hesaplanır (Taner 1978) ve "Karmaşık İz Analizi" olarak bilinirler. Karmaşık iz analizi, sismik veriden temel olarak genlik, faz ve frekans bilgilerinin birbirinden bağımsız olarak çıkarılması ile yapılmaktadır. Sismik sinyal analitik olarak düşünüldüğünde, yoruma yardımcı bazı ek parametreler elde edilebilir. Bir sinyalin analitik tanımı, sinyalin kendisi ve Hilbert dönüşümü ile yapılmaktadır. Kaydedilen sismik iz analitik sinyalin gerçel bileşeni, bunun Hilbert dönüşümü ise analitik sinyalin sanal bileşenidir ve gerçel bileşenin 90° faz kaydırılmış halidir. Bu iki temel bileşen kullanılarak başta anlık genlik veya zarf, anlık frekans, anlık faz ve anlık polarite olmak üzere birçok nitelik hesaplanabilir (Dondurur 2009).

Karmaşık sismik izle ilgili parametreler, sismik sinyalin anlık özelliklerini ilgilendirirler ve belirli bir zaman penceresi içindeki ortalama değişimleri temsil etmezler. Örneğin anlık genlik veya zarf, yansıma gücünü ifade eder ve temel litolojik değişimlerin, parlak noktalar gibi anomali genliklerin analizinde kullanılır. Anlık faz sismik olayların sürekliliğinin izlenmesinde kullanılır ve zaman kesitlerinde sürekliliğin kaybolduğu yerlerde, izler arasındaki yansıma sürekliliğinin izlenmesini kolaylaştırır. Anlık frekans sinyalin fazının zamana göre değişim oranı olarak ifade edilir ve yüksek soğurma etkisine sahip gazlı kumların analizinde kullanılabilir. Görünür polarite zarf izinin tepe noktalarının polaritelerini verir ve ters polariteye sahip parlak noktaları belirlemek için kullanılır.

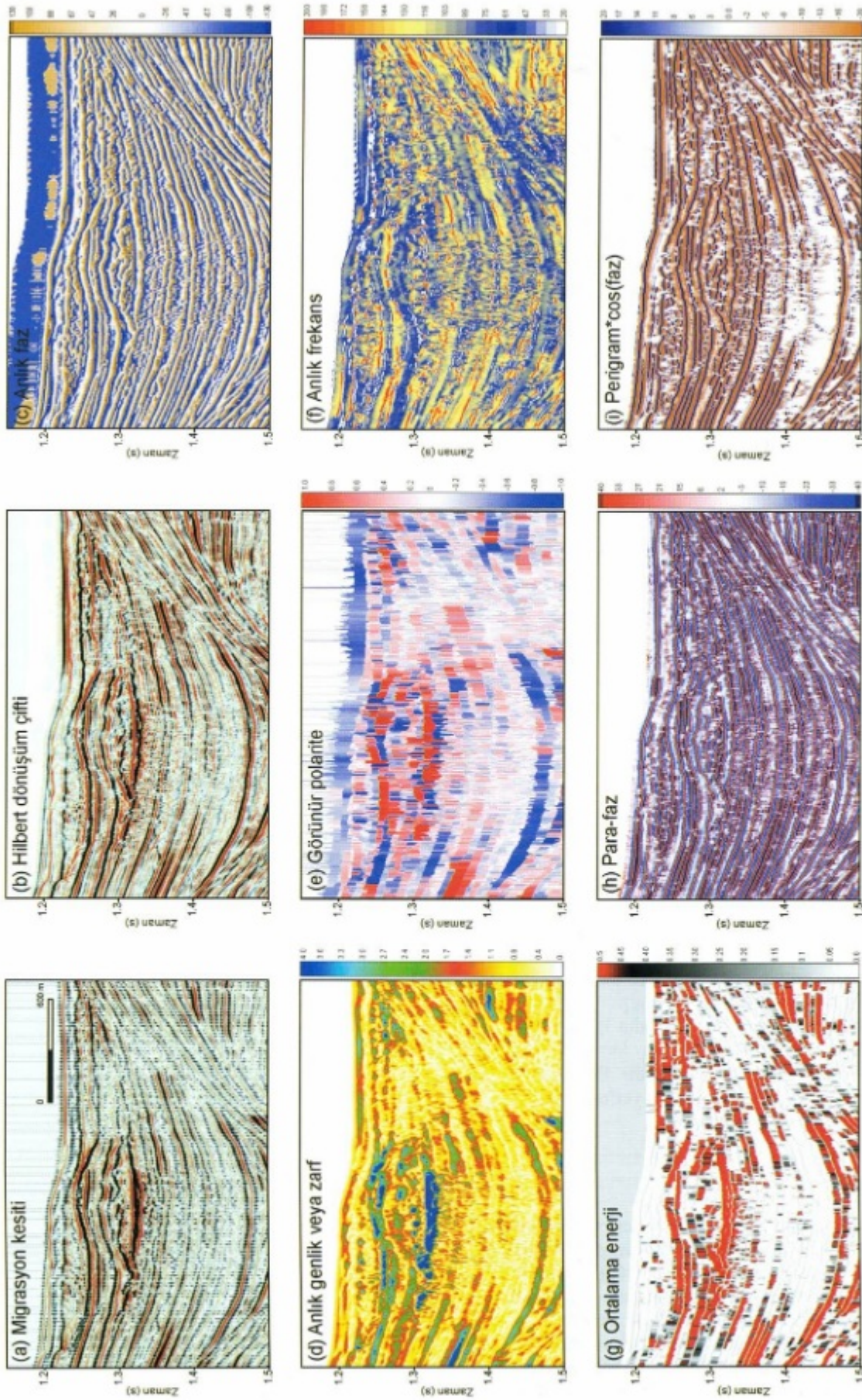
Sismik verinin resif yapısını içeren kısmına bir dizi karmaşık iz analizi uygulanmıştır. Sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7a ve Şekil 7b, sırasıyla migrasyon kesitini ve bunun Hilbert dönüşümünü vermektedir. Analiz sonucu elde edilen anlık faz kesiti ise Şekil 7c'de verilmiştir. Anlık faz kesitleri genlik bilgisi içermeyizler ve hem düşük hem de yüksek genlikleri aynı büyüklükte gösterirler. Bu anlamda anlık faz kesiti resif yapısının sınırlarının çok daha belirgin şekilde görülmesini sağlamaktadır. Resifin altındaki gaz birikimi nedeniyle düşük genlikli olarak görülen yansımaların genlikleri yükselmiş, bu bölgelerdeki izden ize süreklilik belirgin şekilde artmıştır. Ayrıca anlık faz kesitinde resifin iç yapısı çok daha belirgin şekilde görünür hale gelmiştir. Gömülü kanalın KB kanadında gözlenen onlap ve toplam kesilmeleri çok daha açık şekilde görülmektedir.

Anlık genlik kesiti faz bilgisi taşımamakta, göreceli olarak yüksek genliğe sahip yansımaları belirgin hale getirmektedir (Şekil 7d). Buna göre, kesitin daha derin kısımlarındaki birkaç küçük çaplı yansıma dışında, resifin üst sınırından, düz noktadan ve resifin alt sınırından

alınan yansımaların belirgin şekilde yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca resifin iç kısmından da küçük çaplı yüksek genlikli yansımalar alınmıştır. Bu durum, resifin hem üst sınırının ve hem de alt sınırının oldukça yüksek akustik empedans farkına sahip birimleri ayırdığını işaret etmektedir. Pelajik/yarı-pelajik tortullar ve karbonat yapısı arasındaki yüksek hız farkı, bu yüksek akustik empedans farkını oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak, resifin altındaki yerel gaz birikimi nedeniyle meydana gelen düşük akustik empedans farkı, anlık genlik kesitinde de açıkça görülmektedir. Resifin altındaki birimlerden alınan yansımaların sürekliliği anlık genlik kesitinde neredeyse tamamen yok olmuştur.

Şekil 7e'de verilen görünür polarite kesitinin ayrımlılığı oldukça düşüktür. Kesitteki en önemli anomali, resifin alt sınırından alınan yansımada görülmektedir. Yüksek hızlı karbonat yapısından düşük hızlı ve gaz içeren bölgeye geçişte oluşan hız terslenmesi, görünür polarite kesitinde deniz tabanı yansımasına göre belirgin bir ters polariteye neden olmuştur. Resifin üst sınırı tamamen kaotik ve yanal yönde hızla değişen karmaşık polarite tepkisi vermiştir. Bu durum olasılıkla ince karbonat-tortul birikimleri arasında sinyalin girişime uğraması nedeniyle oluşmaktadır. Aynı nedenle, resifin üzerinde yer alan küçük ölçekli gaz birikiminin ve düz noktanın görünür polarite kesitindeki tepkisini ayırt etmek mümkün olamamıştır. Kesitin daha derin kısımlarında, özellikle gömülü kanal yapısının kanatlarına yakın kısımlarda tabakaların incelendiği ve onlap veya toplam yaparak yok olduğu bölgelerde de, ince tabaka girişimi (thin bed tuning) etkisi nedeniyle yine ters polariteli yansımalar görülmektedir. Bunlar, incelen tabakalar nedeniyle sismik veride meydana gelen girişim etkisi sonucu oluşan yapay anomalilerdir ve hidrokarbon araştırmalarında dikkate alınmamaları gerekir.

Şekil 7f'de ise resif yapısının anlık frekans kesiti görülmektedir. Yapılan çalışma yüksek ayrımlı bir çalışmadır ve daha önce değinildiği üzere, sismik verinin frekans bandı yaklaşık 8-220 Hz aralığındadır. Resif yapısı da sığ tortullar içerisinde bulunduğundan, anlık frekans kesitinde yoğun olarak 110-200 Hz aralığındaki yüksek frekanslar hakimdir. Hidrokarbon aramalarında, özellikle bu tür sıvıların sismik verinin yüksek frekanslarını soğurmaları sonucu, düşük frekans içeriğine sahip alanlar hedef bölgelerdir ve bunlar genellikle anlık frekans kesitlerinde belirgin şekilde görülebilirler. Yüksek ayrımlı sismik yansıma çalışmalarında ise, özellikle sığ derinliklerdeki düşük frekanslı bölgeler (genellikle 60 Hz ve altı) anomali alanlar olarak değerlendirilebilir. Bundan yola çıkarak anlık frekans kesitini incelediğimizde, resif yapısının üst ve alt sınırından alınan yansımanın oldukça düşük frekans içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca resifin altındaki yansımalarla oluşan bozulmalar oldukça belirgindir. Ancak resifin üstündeki küçük gaz birikiminin, verinin anlık frekans içeriği üzerindeki etkisi belirgin değildir. Bu, olasılıkla yapının fiziksel



Şekil 7. Resif yapısı için hesaplanan farklı karmaşık iz nitelikleri. (a) Giriş migrasyon kesiti, (b) girişin Hilbert dönüşüm çifti, (c) anlık faz, (d) anlık genlik veya zarf, (e) görünür polarite, (f) anlık frekans, (g) ortalama enerji, (h) para-faz ve (i) perigramın, fazın kosinüsü ile çarpımı.

Figure 7. Complex trace attributes calculated for the reef structure. (a) Input migrated seismic section, (b) Hilbert transform pair of the input section, (c) instantaneous phase, (d) instantaneous amplitude or amplitude envelope, (e) average energy, (f) instantaneous frequency, (g) average energy, (h) paraphase, and (i) perigram times cosine of phase.

boyutlarının küçüklüğünden ileri gelmektedir.

Ortalama enerji, anlık genlik (veya yansıma şiddetinin) karesidir (Şekil 7g). Anlık genlik kesitinin karesini almak, yüksek genlikli değerleri, küçük genlikli değerlere oranla daha da yükseltmek, yani daha belirgin hale getirmek anlamına gelir. Yani ortalama enerji kesitleri, anlık genlik kesitlerine benzerdir, ancak anlık genlik kesitlerindeki yüksek genlikler, ortalama enerji kesitlerinde çok daha belirgindir. Bu durum, hesaplanan ortalama kesitinde de belirgindir. Yine resifin üst ve alt sınır yansımaları oldukça yüksek genlikli (yüksek enerjili) olarak görülmektedir. Ayrıca resifin üzerinde düz nokta çok daha belirgin şekilde görülmektedir. Buna karşın resifin altındaki yansımalar, gaz birikimi nedeniyle yine neredeyse tamamen yok olmuştur.

Para-faz, oldukça yeni bir sismik nitelik türüdür ve yığılma ortamlarının (depositional settings) yorumunda oldukça etkin bilgiler sunmaktadır. Kesitteki yapısal veya stratigrafik bilgilerin görüntülenmesinde oldukça etkilidir (Şekil 7h). Para-faz, yatay yönde yansımaları izler ve kesitteki yansımaların izlenmesinde (event picking) kullanılabilir. Para-faz kesitinde yansımalar çok daha belirgin şekilde görülmektedir. Özellikle resif yapısının üst ve alt sınırları, resifin içsel yapısı ve hatta resifin üst kısmında bulunan kayma yapısının kaotik iç yansımaları bile oldukça belirgin şekilde görünür hale gelmiştir. Kesitteki onlap ve toplap yapıları çok daha belirgin hale gelmiştir. Ancak dikkat edilirse göreceli genlik bilgileri de, aynen anlık faz kesitinde olduğu gibi yok olmuştur.

Daha az kullanılan bir diğer karmaşık nitelik ise perigram veya perigramın fazın kosinüsü (normalize faz) ile çarpımıdır (Şekil 7i). Perigram, anlık genlik kesitindeki her bir değer, anlık genlik izinin kayan ortalama değerinden çıkarılmasıyla elde edilir. Bu işlem, tamamen pozitif değerlerden oluşan anlık genlik izlerini, pozitif ve negatif değerlerden oluşan izler haline getirir. Sonuç olarak perigram, anlık genlik kesitinde ortalama değerden daha büyük olan değerleri verir ve izlerdeki maksimum enerji değerleri daha belirgin hale gelir. Perigramın normalize faz ile çarpımı, sismik verideki yüksek enerjili yansımaların daha iyi takibini sağlayabilir. Resif verisinin perigram kesitinde de izden izle sürekliliğin arttığı görülmektedir. Perigramın maksimum değerinin takip edilmesiyle, verinin yapısal yorumu daha doğru ve kolay yapılabilir.

TARTIŞMA

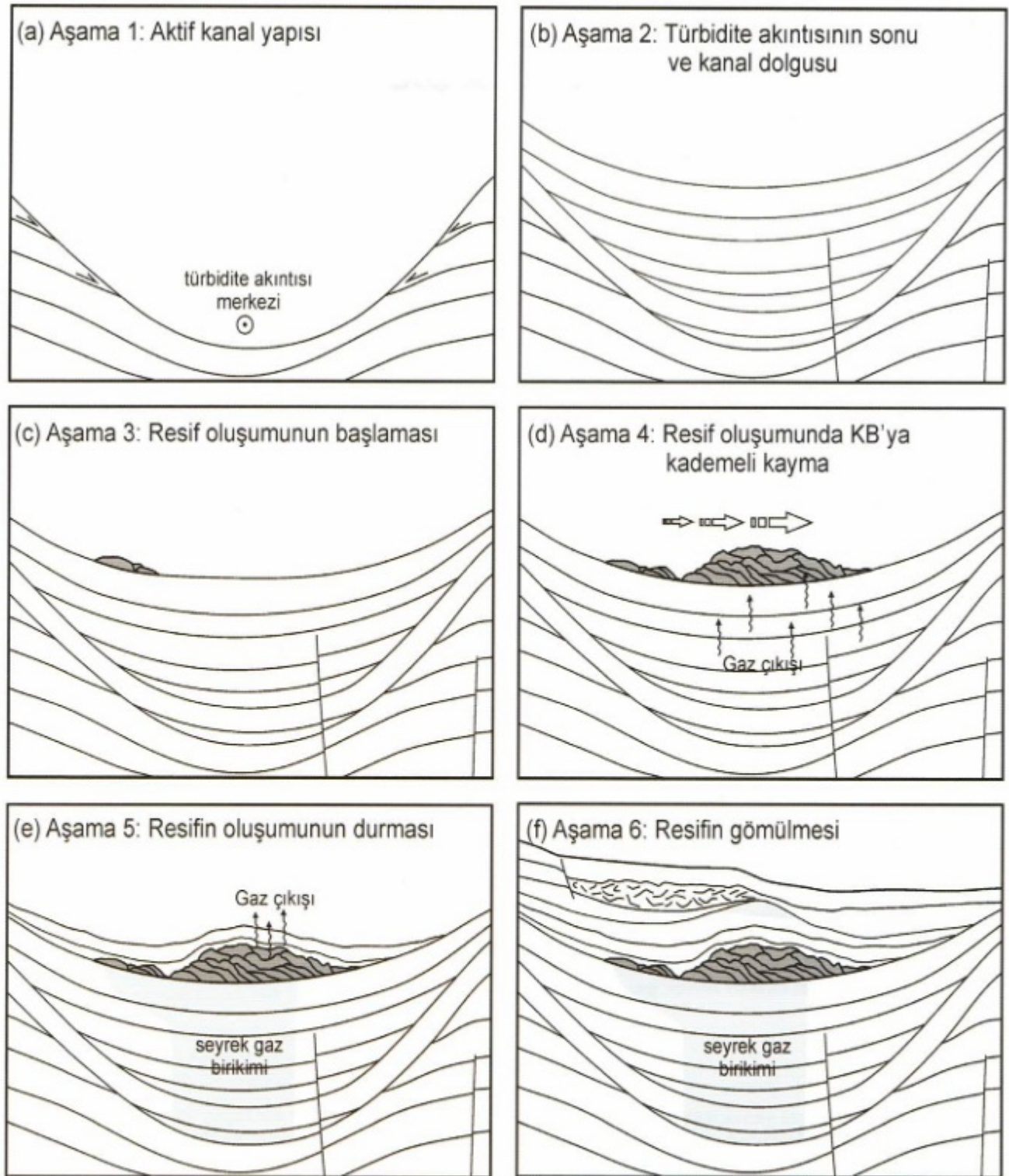
Resif yapılarının oluşumları, gelişmeleri ve sonları tektonik, deniz seviyesi değişimleri ve iklim gibi birçok farklı etmene bağlıdır (Yubo et al. 2011). Resifler genellikle deniz seviyesindeki yükselmelere bir tepki olarak meydana gelirler. Genellikle tropik ve ekvatora yakın bölgelerdeki sıcak sularda oluşurlar ve tektonik ortam durağan ise yatay ve düşey yönde gelişim gösterirler (örn. Dominguez et al. 1992; Woodroffe et

al. 2000; Yubo et al. 2011). Soğuk su resiflerinde ise en genel tür *Lophelia pertusa* olup, dünya üzerinde birçok okyanusta, Meksika körfezinde ve Kuzey denizinde yaygın olarak gözlenmekte, 2000 m'den daha derin ve 0-13.6°C arasında sıcaklığa sahip oksijence zengin sularda yaşayabilmektedir (Hovland and Thomsen 1997). Karbonat kayaçlar ve rezervuar yapıları ile ilgili daha ayrıntılı bilgi için Sarg and Schuelke (2003)'e başvurulabilir.

Hovland and Thomsen (1997) ve Hovland and Risk (2003) Kuzey Denizi sularında deniz tabanı resifleri üzerinde yaptıkları çalışmalarda, bu bölgedeki resiflerin, taban altında sığ derinliklerdeki gaz (genellikle metan) birikimi ve deniz tabanına gaz sızıntılarının bulunduğu alanlarda yoğunlaştıklarını ortaya koymuşlardır. Hovland (1990) ise, resiflerin sürekli şekilde devam eden deniz tabanı metan sızıntıları (cold seeps) sonucu oluşabileceğini ileri sürmüş ve Kuzey Denizinde bu tür resif yapılarının ayrıntılı özelliklerini incelemiştir. Gerçekte metan gazı, denizel tortullarda üretilmesinin hemen ardından deniz tabanına göç etme eğilimi gösterir. Metan üretimi çözünabilirlik seviyesini aştığında, tortul gözeneklerinde kabarcık fazında metan birikmeye ve yükselmeye başlar. Sülfat indirgemesi ile oksidize edilemeyecek kadar hızlı yükselen metan kabarcıkları deniz tabanına ulaşırlar. Bu metanca zengin sıvılar (boşluk suyu) içerisindeki bikarbonat deniz tabanında çökerek "metandan türemiş karbonat birikimlerini (methane-derived authigenic carbonates)" meydana getirir. Bu tür kayaçlar genellikle aragonite/kalsit çökeli ile oluşmaktadır ve yükseklikleri 4 m'ye ulaşabilir. Karadeniz'de bu türden karbonat yapıları geniş çapta gözlenmektedir (örn. Mazzini et al. 2004).

Mevcut sismik verinin yorumundan ve yukarıda sunulan ek analizlerden yola çıkılarak, gözlenen resif yapısının ve yapının bulunduğu sedimanter ortamın oluşumu ile ilgili kavramsal bir model geliştirilmiştir. Altı aşamadan oluşan model Şekil 8'de verilmiştir. Pliosen'in sonunda, bugün tamamen tortullarla dolu bulunan ve resif yapısının da içerisinde bulunduğu aktif bir kanal yapısı mevcuttur (Şekil 8a). Yarı simetrik olan bu kanal yapısının her iki duvarı, yamaç aşağı akan türbidite akıntıları nedeniyle erozyonel tıraşlamaya maruz kalmakta, her iki kanadın altındaki tortul birimler, kanal duvarlarında toplam kesilmeleri ile son bulmaktadır. Erken Kuvaterner döneminde bu kanal aktivitesini yitirir ve kanalın içerisi tortullarla dolmaya başlar (Şekil 8b). Bu aşamada oluşan farklı sıkışma fayları, kanal dolgusuna kadar ilerler. Kanal içerisindeki bu tortul birimlerin kesilme ve birikim özellikleri, kanalın pelajik (veya yarı-pelajik) ve karasal tortulların birlikte birikimi ile dolmaya başlar. Pelajik tortullar kanal tabanını ve kanal duvarlarını aynı anda, ince bir örtü şeklinde doldururken, karasal tortullar daha çok kanal içerisini doldurmakta ve kanal duvarlarına onlap yaparak sona ermektedir.

Bir sonraki aşamada kanalın neredeyse tamamı tortullarla dolmuştur ve oluşan bu paleo-kanalın GB



Şekil 8. Resif ve çevre tortul ortamın oluşumunu açıklayan şematik model. (a) Pliyosen'in sonundaki aktif bir kanal yapısı, (b) kanalın terk edilmesi ve içerisindeki tortullarla dolmaya başlaması, (c) paleo-kanal içerisinde resif oluşumunun başlaması, (d) resifin KB yönünde gelişmesi, (e) resif oluşumunun sona ermesi ve üzerinin tortullarla örtülmeye başlaması, (f) resifin Geç Kuvaterner sonrası tortulların içine gömülmesi.

Figure 8. Schematic representation of the formation of the reef and surrounding sedimentary environment. (a) Active channel structure at the end of the Pliocene, (b) abandoned channel and initiation of the channel infill, (c) initiation of reef formation in the paleo-channel, (d) development of the reef towards the NW, (e) cessation of the reef development and its covering by the recent sediments, and (f) buried reef structure in the sediments after Late Quaternary.

kısımında resif oluşumu başlar (Şekil 8c). Ancak resif oluşumu, kademeli olarak KB'ya doğru kayarak devam edecektir (Şekil 8d). Resifin iç yapısındaki ince karbonat birimlerin dizilimi, resif oluşumundaki bu kaymayı açıkça ortaya koymaktadır: KB'daki karbonat birimleri, GB'da bulunan birimleri üzerlemektedir. Yani GB'daki her bir ince karbonat birimi, kendisinin hemen KB'sında bulunan birimden daha önce oluşmuş olmalıdır. KB'ya doğru bu kaymanın nedeninin, bu aşamada eşzamanlı olarak resifin altındaki tortullarda oluşan (olasılıkla biyojenik kökenli) gazın etkili olduğu düşünülmektedir. Resif yapısı Geç Kuvaterner tortullar içerisinde gelişmiştir. Günümüzde anoksik olan ve yaşam barındırmayan Karadeniz'in derin suları, Geç Kuvaterner döneminde tamamen aerobik bir yapıya sahiptir ve bu dönemde Karadeniz her türlü dip yaşamına izin veren bir tatlı su gölüdür.

Beşinci aşamada artık resif oluşumu sona ermiştir (Şekil 8e). Oluşumun sona ermesinin nedenini sadece sismik veriden yola çıkılarak açıklamak olası değildir. Ancak son buzul çağı sonrasındaki boğazlar yoluyla Karadeniz-Akdeniz su geçişinin sağlanması sonucu, Karadeniz'in bir yarı kapalı tuzlu su denizi olmasının bununla ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Boğazlar su yolunun açılmasının (bundan yaklaşık 7000 yıl önce), Karadeniz'deki biyolojik çeşitliliği oldukça değiştirdiği açıktır. Ancak bu dönemden sonra, resifin üzerinde biriken tortul kalınlığının oldukça fazla olması (yaklaşık 40 m), bu yaklaşımın doğruluğuna gölge düşürmektedir. Çalışma alanındaki tortulaşma oranı hakkında bilgi bulunmadığından, bu yaklaşımın doğruluğu tartışmaya açıktır.

Son aşamada artık resif yapısının üzeri güncel tortullarla tamamen kaplanmıştır (Şekil 8f). Yapının üzerinde oluşan küçük çaplı antiklinal, bu güncel tortullar içerisinde oluşan küçük çaplı gaz birikimi ile dolmuş, birikimin alt yüzeyinde bir düz nokta meydana gelmiştir. Holosen tortullar içerisinde, olasılıkla bir deprem etkinliği veya daha başka nedenlerle tetiklenen bir kayma yapısı da oluşmuştur. Bu aşamada artık resif yapısının tabanı, altında biriken seyrek gaz için bir örtü görevi yapmaktadır.

SONUÇLAR

Batı Karadeniz kıtasal yamacında sismik veride Geç Kuvaterner tortulların içerisinde gözlenen sığ bir resif yapısının çeşitli yöntemlerle analizi yapılmıştır. Resif, 1400 m genişliğinde ve 50 m yüksekliğinde olup, deniz tabanından yaklaşık 40 m derinlikte gömülmüştür. Sismik veri, resifin içsel yapısının ince karbonat birimlerden oluştuğunu ve ayrıntılı hız analizleri ise, yapının sismik hızının 2250 m/s civarında olduğunu işaret etmektedir. Karmaşık iz analizleri, resifin hemen üzerinde ve resif tabanının altında iki ayrı gaz birikiminin olduğunu ortaya koymuştur. Hız analizleri de, bu iki birikimin olduğu kısımlarda, sismik verinin ara hızlarında 750 m/s'ye kadar düşüş olduğunu göstermiştir.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre, resif yapısı için, organik karbonat birikimi ve tortullar içerisindeki gaz oluşum ve göçünü birlikte içeren bir melez oluşum modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modele göre resif yapısı, bugün bulunduğu konumun GD kısmında oluşumuna başlamış, zaman içerisinde KB yönünde gelişmeye devam etmiştir. KB'ya doğru bu kaymanın nedeninin, resif tabanının altındaki tortullarda gaz oluşumu ve yükseliminin etkili olduğu öne sürülmüştür.

TEŞEKKÜR

Çalışmada kullanılan sismik veri, 105Y156 kodlu TUBITAK Fransa-Türkiye ortak araştırma projesi (PIA) kapsamında toplanmıştır. Veri toplama süresince özverili şekilde çalışan R/V K. Piri Reis gemisi kaptan ve personeline, çalışmaya katılan bilimsel personele ve projenin koordinatörü olan sayın Prof. Dr. Oya ALGAN'a çok teşekkür ederiz. Olumlu eleştirileri ile makalenin gelişmesine katkıda bulunan hakemler sayın Prof. Dr. Bedri ALPAR'a ve sayın Doç. Dr. Hakan KARSLI'ya teşekkür ederiz. Veri toplama sırasında ve sonrasındaki yakın teknik desteklerinden dolayı Hydroscience Technologies Inc. firmasına teşekkür ederiz. Çok kanallı sismik yansıma verisi Landmark Graphics Co. firmasının ProMax yazılımı ile işlenmiş ve Seismic Micro Tech. firmasının The Kingdom Suite yazılımı ile analiz edilmiştir. Veri toplama ve işleme sırasında kullanılan sistem, cihaz ve donanımlar, Devlet Planlama Teşkilatı'nın 2003K120360 kodlu DPT projesi kapsamında ülkemize kazandırılmıştır.

Çalışma ayrıca Dokuz Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi kapsamında 2005.KB.FEN.062 nolu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Alptekin, Ö., Nabelek, J.L. and Toksöz, M.N. 1986, Source mechanism of the Bartin earthquake of September 3, 1968 in northwestern Turkey: Evidence for active thrust faulting at the southern Black Sea margin, *Tectonophysics* 122, 73–88.

Barka, A. and Reilinger, R. 1997, Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data, *Ann. Geofisica* XL, 587–610.

Çifçi, G., Dondurur, D. and Ergün, M. 2002, Sonar and High Resolution Seismic Studies in the Eastern Black Sea Basin, *Turkish Jour. of Earth Sci.* 11, 61–81.

Dominguez, G.C., Samaniego, F.V. and Mazzullo, S.J. 1992, Carbonate Reservoir Characterization: A Geologic-Engineering Analysis, Part I (Developments in Petroleum Science), Elsevier Science Pub.

Dondurur, D. and Çifçi, G. 2009, Anomalous Strong Reflections on High Resolution Seismic Data from the Turkish Shelf of the Eastern Black Sea: Possible Indicators of Shallow Hydrogen Sulfide-Rich Gas Hydrate Layers, *Turkish Jour. of Earth Sci.* 18, 299–313.

- Dondurur, D., 2009, Deniz Sismiğinde Veri İşlem, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 294 sayfa.
- Dondurur, D., Küçük, H.M., Çifçi, G. and Ergün, M. 2010, Preliminary results from high resolution seismic study in the Kozlu High, central Black Sea, AAPG Meeting, Kiev, Ukraine.
- Ergün, M., Dondurur, D. and Çifçi, G. 2002, Acoustic Evidence for Shallow Gas Accumulations in the Sediments of the Eastern Black Sea, *Terra Nova* 14, 313-320.
- Finetti, I., Bricchi, G., Del Ben, A., Pipan, M. and Xuan, Z. 1988, Geophysical study of the Black Sea, *Bolletino Di Geofisica Teorica Ed Applicata* 30, 197-324.
- Görür, N. 1988, Timing of opening of the Black Sea Basin, *Tectonophysics* 147, 247-262.
- Hovland, M. and Judd, A.G. 1988, Seabed pockmarks and seepages, impact on geology, biology and marine environment, London, Graham and Trotman.
- Hovland, M. 1990, Do carbonate reefs form due to fluid seepage?, *Terra Nova* 2, 8-18.
- Hovland, M. and Thomsen, E. 1997, Cold-water corals-are they hydrocarbon seep related?, *Mar. Geol.* 137, 159-164.
- Hovland, M. and Risk, M. 2003, Do Norwegian deep-water coral reefs rely on seeping fluids?, *Mar. Geol.* 198, 83-96.
- Kruglyakova R., Gubanov, Y., Kruglyakov, V. and Prokoptsev, G. 2002, Assessment of technogenic and natural hydrocarbon supply into the Black Sea and seabed sediments, *Cont. Shelf Res.* 22, 2395-2407.
- Küçük, H.M., Dondurur, D., Çifçi, G. and Ergün, M. 2011, Distribution of BSRs and gas accumulations offshore of Zonguldak Region, Central Blacksea, European Geosciences Union, Vienna, Austria.
- Limonov, A.F., van Weering, C.E., Kenyon, N.H., Ivanov, M.K., and Meisner, L.B. 1997, Seabed morphology and gas venting in the Black Sea mudvolcano area: Observations with the MAK-1 deep-tow sidescan sonar and bottom profiler, *Mar. Geol.* 137, 121-136.
- Lüdmann, T., Wong, H.K., Konerding, P., Zillmer, M., Petersen, J., and Flüh, E. 2004, Heat flow and quantity of methane deduced from a gas hydrate field in the vicinity of the Dnieper Canyon, northwestern Black Sea, *Geo-Mar. Lett.* 24, 182-193.
- Mazzini, A., Ivanov, M.K., Parnell, J., Stadnitskaia, A., Cronin, B.T., Poludetkina, E. Mazurenko, L. and van Weering, T.C.E. 2004, Methane-related authigenic carbonates from the Black Sea: geochemical characterisation and relation to seeping fluids, *Mar. Geol.* 212, 153-181.
- Menlikli, C., Demirel, A., Sipahioğlu, O., Korpe, L. and Aydemir, V. 2009, Exploration plays in the Turkish Black Sea, *The Leading Edge, Special section: The Black Sea Region*, 28, 1066-1075.
- Nikishin, A.M., Korotaev, M.V., Ershov, A.V. and Brunet, M. 2003, The Black Sea basin: tectonic history and Neogene-Quaternary rapid subsidence modeling, *Sedimentary Geol.* 156, 149-168.
- Okay, A.I., Şengör, A.M.C. and Görür, N. 1994, Kinematic history of the opening of the Black Sea and its effect on the surrounding regions, *Geology* 22, 267-270.
- Okay, M. and Ediger, V. 1999, Seismic evidence of shallow gas in the sediment on the shelf off Trabzon, Southeastern Black Sea, *Cont. Shelf Res.* 19, 575-587.
- Özel, Ö., Dondurur, D., Gürçay, S., Okay, S., Küçük, H.M., Sarıtaş, H., Er, M., Korkmaz, M. and Çifçi, G. 2011, Gas and Gas Hydrate Accumulations on the Western Black Sea Continental Slope, 18th IPETGAS Congress and Exhibition of Turkey, Ankara, Turkey.
- Popescu, I., Batist, M.D., Lericolais, G., Nouzé, H., Poort, J., Panin, N., Versteeg, W. and Gillet, H. 2006, Multiple bottom-simulating reflections in the Black Sea: Potential proxies of past climate conditions, *Mar. Geol.* 227, 163-176.
- Robinson, A.G., Rudat, J.H., Banks, C.J., and Wiles, R.L.F., 1996, Petroleum geology of the Black Sea, *Mar. and Pet. Geol.*, 13, 195-223.
- Sarg, J.F. and Schuelke, J.S. 2003, Integrated seismic analysis of carbonate reservoirs: From the framework to the volume attributes, *The Leading Edge* 22, 640-645.
- Spadini, G., Robinson, A.G. and Cloetingh, S.A.P.L. 1996, Western versus eastern Black Sea tectonic evolution: pre-rift lithospheric controls on basin formation, *Tectonophysics* 266, 139-154.
- Taner, M.T. 1978, Complex seismic trace analysis, *Geophysics* 44, 1041-1063.
- Tart, E., Şahin, M., Barka, A., Reilinger, R., King, R.W., McClusky, S. and Prilepin, M. 2000, Active tectonics of the Black Sea with GPS, *Earth Planets Space* 52, 747-751.
- Woodroffe, C.D., Kennedy, D.M., Hopley, D., Rasmussen, C.E. and Smithers, S.G. 2000, Holocene reef growth in Torres Strait, *Mar. Geol.* 170, 331-346.
- Yubo, M., Shiguo, W., Fuliang, L., Dongdong, D., Qiliang, S., Yintao, L. and Mingfeng, G. 2011, Seismic characteristics and development of the Xisha carbonate platforms, northern margin of the South China Sea, *Jour. of Asian Earth Sci.* 40, 770-783.

SOIL PARAMETERS WHICH CAN BE DETERMINED WITH SEISMIC VELOCITIES

Sismik Hızlar İle Saptanabilen Zemin Parametreleri

Ali KEÇELİ

Salacak Mh., B.Selattin Pınar Sk. No:130/8, Üsküdar, İstanbul, TURKEY (keceliali_jf@yahoo.com.tr)

ABSTRACT

The determination of seismic velocities, elasticity modulus and structural properties of soils is not enough in the design of engineering projects. Therefore, an ultimate bearing capacity has been defined by expressing the earth pressure with the seismic shear wave velocity. In this context, a density relation has also been defined in terms of the seismic shear wave. Utilising of similarity of safety factor and $[V_p/V_s]$, velocity ratio values, it has been shown that the V_p/V_s velocity ratio can be used together with safety factor and water reduction factor. The allowable bearing capacity values obtained are in agreement with the building code for the allowable bearing capacity values. It was shown that the allowable bearing capacity including spread footing shape could be defined similarly to that of the Meyerhof's relation for SPT (N). The allowable bearing capacity values obtained for the spread footing were in agreement with the values given by Brown. The elastic settlement and the subgrade reaction coefficient have also been determined from Boussinesq's equation. It was observed that the load-settlement curve obtained indicates similar variation to that in the soil mechanics. The subgrade reaction values obtained were in agreement with the Bowles's experimental values. While the underground properties are elucidated by seismic method, it is also possible to obtain a reliable knowledge about the allowable bearing capacity, settlement and subgrade reaction values quickly and low cost by this technique proposed here.

Key words: Allowable bearing capacity, load-settlement curve, subgrade reaction coefficient, seismic velocity.

ÖZET

Sismik hızların, elastisite modüllerinin ve zeminlerin yapısal özelliklerinin saptanması mühendislik projelerinin tasarımında yeterli olmamaktadır. Bu nedenle, Sismik kayma dalga empedansı ile yer basıncı ifade edilerek zeminlerin nihai taşıma kapasitesi tanımlanmıştır. Bu

bağlamda, kayma dalgası hızına bağlı yoğunluk tanımı yapılmıştır. Güvenlik faktörü ile $[V_p/V_s]$ hız oranı değerlerinin benzerliğinden yararlanarak, $[V_p/V_s]$ 'nin güvenlik faktörü ve yer altı suyu indirgeme faktörü olarak kullanılabileceği gösterilmiştir. Elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerleri standart tablo verileri ile uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Tekil temel (somel) için müsaade edilebilir taşıma kapasitesi Meyehof'un SPT(N) tanımına benzer olarak tanımlanabileceği gösterilmiştir. Tekil temel için elde edilen müsaade edilebilir taşıma kapasitesi değerleri Brown tarafından verilenler ile uyum içinde olmuştur. Ayrıca, Boussinesq denkleminden zemin oturması ve yatak katsayısı saptanabilmiştir. Yük-oturma eğrisi zemin mekanizmine benzer değişim göstermiştir. Sismik hızlarla yapısal jeoloji ve diğer özellikler aydınlatılırken, müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, zemin oturması ve yatak katsayısı değerleri hakkında daha çabuk ve ucuz olarak güvenilir ön bilgi elde etmek mümkün olmaktadır.

1. INTRODUCTION

The determination of seismic velocities, elasticity modulus and structural properties of soils is not enough in the design of engineering projects. In the design of engineering structures one of the main factors related to soil is bearing capacity and other is settlement so that is subgrade reaction.

Many investigators have extensively studied to obtain a relation between the various parameters of soil mechanics and the seismic wave velocities. Some of them: (Hardin et al. 1968; Hardin et al. 1972; Imai et al. 1976; Ohkubo et al. 1976; Othman 2005; Uyanık, O. 2010, 2011; Seed, et al. 1984 and others). Also, many investigators have extensively studied to obtain a relation between various litological properties of rocks and the seismic wave velocities for the aim of exploration geophysics. Some of them: (Guliev 2007; Hicks, 2006; Jongmans 1992; Philips et al. 1989; Stuenkel et al. 1984; Tatham 1982; Wang, 2001; and others).

Few authors have published an empirical formula between seismic wave velocities and Standard Penetration Test (SPT) N- blow counts for the determination of bearing capacity, (Imai et al. 1972; Imai 1975; Parry 1977; Sternberg et al. 1990).

(Keçeli 1990, 2000) showed that the determination of the presumptive or allowable bearing capacity could be obtained by means of the Seismic Method. (Tezcan et al. 2009, 2011; Kaplan et al. 2011, fig.1) has defined an allowable bearing capacity (q_a) and a settlement as depending on the layer thickness. But, it is well known that the soil bearing capacity, settlement and (E) elasticity modulus cannot be dependent on the layer thickness. Nevertheless, they obtained also an allowable bearing capacity by changing the notation of the relations in the article of (Keçeli 2000).

The elasticity theory is often used for elastic or instantaneous settlement, although it gives approximate value. In soil deformations studies, shear modulus and elasticity modulus are very important. The analysis of geotechnical engineering problems requires characterization of dynamic soil properties using seismic velocities. Therefore, shear wave velocity (V_s) is the most commonly used to measure the parameter of soil characterization. Starting from this point of view, in this paper, relationships between shear wave impedance and allowable bearing capacity for spread foundation, settlement, subgrade reaction coefficient were investigated by using seismic shear wave velocities.

2. OBTAINING ULTIMATE BEARING CAPACITY

Bearing capacity is the power of foundation soil to hold the forces from the engineering structure without undergoing shear failure or excessive settlement. Therefore, the bearing capacity of a foundation is defined as the critical load per unit area at either the ground surface or at a certain depth below the ground surface. In computations of bearing capacity for foundation soil, the weight of the ground above the base level of the foundation is replaced by an equivalent load as shown in Fig. 1. (Terzaghi et al. 1967) expressed that this substitution simplifies the computations very considerably, the small error involved is unimportant and on the safe side. The equivalent load or the overburden pressure at foundation level, q_f , is given as

$$q_f = \gamma d_f \quad (1)$$

Where γ is the unit weight of the ground, d_f is the depth to foundation bottom from surface.

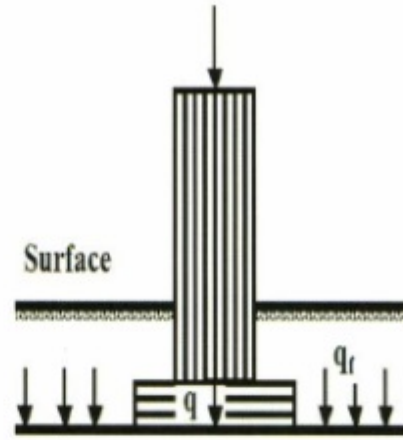


Figure 1. Foundation excavation depth, d_f

Şekil 1. Temel hafriyatı derinliği, d_f

Starting from Terzaghi's expression, if a soil column pressure with depth z is the critical load intensity causing shear failure of soil, the soil column pressure can be accepted as an ultimate bearing capacity which is the maximum pressure that a foundation soil can withstand without undergoing shear failure, as shown in Fig. 2. In this case, pressure at the bottom of the soil column with the unit cross sectional area becomes

$$q_z = q_{ult} = \gamma z = g \rho z \quad (2)$$

Where q_z is the soil column pressure, q_{ult} is the ultimate bearing capacity, g is the acceleration, ρ is the mass density and z is the depth of the soil column.

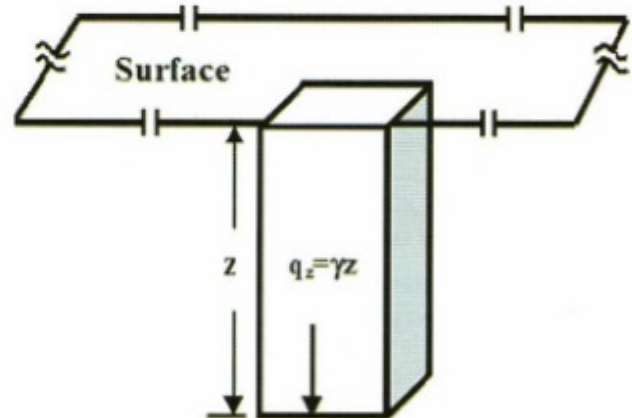


Figure 2. The soil column with an unit cross sectional area.

Şekil 2. Birim alan kesitli zemin sütunu.

In order to study the bearing capacity by seismic velocities, the depth of the soil column should be expressed in terms of shear wave velocity. When shear resistance is defeated, soil fail occurs. Then, ultimate bearing capacity should be expressed in terms of shear wave velocity. In that case, ultimate bearing capacity may be written as

$$q_{ult} = \gamma \rho V_s T \quad (3)$$

T time value that is unknown in equ.(3) should be determined for all of rocks as a constant value. T time constant value can be determined as follows:

It is well known that an allowable bearing capacity q_a is defined as the ratio of the ultimate resistance of the earth structure to the safety factor F_s .

$$q_a = \frac{q_{ult}}{F_s} \quad (4)$$

F_s varies between 1.5 and 5, depending on the ground properties and engineering structure (Venkatramaiah 1993 and Uzuner 1992), but, in practice, the value of F_s is usually taken to be 2.5 - 3.

The allowable bearing capacity for the hard rocks is given as 10 MPa or 100 kg/cm² in building codes and published tables (Wyllie 1992). In order to obtain the allowable bearing capacity for the massive hard rocks, the safety factor value may be used as 1.5. Then, equ. (5) can be written as follows:

$$q_a = \frac{q_{ult}}{1.5} = 10 \text{ MPa} \quad (5)$$

(Keceli 2000) proposed that following the numerical value could be accepted for the seismic velocities of the most hard and massive rocks as

$$V_p = 6000 \text{ m/s}, V_s = 4000 \text{ m/s}, \gamma = 35 \text{ kN/m}^3 \quad (6)$$

If these values in equ. (6) are placed into the equ. (5), it becomes

$$q_a = \frac{\gamma V_s T}{F_s} = \frac{35(4000)T}{1.5} = 10 \text{ MPa} \quad (7)$$

$$q_a = \frac{3.5(400000)T}{1.5} = 10^5 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (8)$$

The constant time value as $T = 0.1 \text{ s}$ is obtained

from equ. (7) as in (Keceli 2000). Then, after $T = 0.1$ is replaced in equ. (5), he expressed q_{ult} as

$$q_{ult} \cong \gamma V_s (0.1) = \rho V_s \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (9a)$$

$$q_{ult} = \frac{1}{100} \rho V_s \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (9b)$$

Thus, from equ. (4) allowable bearing capacity, q_a , may be expressed in terms of seismic shear wave as

$$q_a = \frac{\gamma V_s (0.1)}{F_s} \text{ kN/m}^2 \quad (10a)$$

$$q_a \Rightarrow \frac{1}{100} \frac{\rho V_s}{F_s} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (10b)$$

Equ. (9a, 9b) defines the bearing capacity as quality and the shear wave seismic impedance which means seismic resistance as quantity. However, seismic impedance defines the stiffness of rocks. In this case, equ. (9) shows that the bearing capacity may be expressed in term of the shear wave seismic impedance of rocks. Then, to study the soil bearing capacity by seismic impedance in the seismic method becomes in parallel to study rocks properties by electromagnetic impedance in the eletromagnetic method of geophysical engineering.

3. THE USE OF [Vp/Vs] RATIO AS A SAFETY FACTOR

As mentioned above, the safety factor varies between 1.5 and 5, depending on the ground properties and engineering structure. On the other hand, this [Vp/Vs] velocity ratio has the variation interval as (1.45 - 8). In fact, [Vp/Vs] velocity ratio is a strong function of water saturation, porosity, crack intensity and clay content. In recent years, [Vp/Vs] velocity ratio became important factor to study underground properties. The following authors have been used [Vp/Vs] velocity ratio as a lithological indicators in studies of soil amplification and soil classification, aquifers and hydrocarbon reservoirs: (Carvalho et al. 2008; Fu et al. 2006; Hamada 2004; Hicks 2006; Moreno et al. 2003; Tatham 1982; Wang 2001; Willkens et al. 1984;).

It is well known that the presence of groundwater affects the soil bearing capacity. In granular soils, the position of the water table is important. Effective stresses

in saturated sands can be as much as 50% lower than in dry sand. Seismic wave velocities are also affected from the groundwater. The water saturation in the granular soil causes compressional wave velocity to increase and shear wave velocity to decrease. As a result, $[V_p/V_s]$ velocity ratio increases depending on the water saturation in granular soil. In practice, the safety coefficient value is generally used as 3 for the saturated granular soil. Also, the $[V_p/V_s]$ velocity ratio value to be obtained for the same saturated granular soil equals nearly to 6. So that, the value of $[V_p/V_s]$ ratio will become approximately

two times of F_s . Therefore, there is no need to reduce bearing capacity as in soil mechanics when $[V_p/V_s]$ velocity ratio is used as a safety factor in the soil studies. When F_s and $[V_p/V_s]$ are used together in soil studies, the more reliable results may be achieved. Consequently, the use of $[V_p/V_s]$ as safety factor provides a reliable choices of F_s .

The values of $[V_p/V_s]$ and F_s depending properties of soils and rocks increase from loose soil to hard rock. Classifying of this variation type may be arranged as shown in Table 1.

Table 1. The similarity between the values of safety factor and $[V_p/V_s]$ velocity ratio.

Soil and rock type	V_p	V_s	(V_p/V_s)	Safety factor (F_s)
Hard and massif rocks	6000-4200	4000-2700	1.45 - 1.5	1.5
Very stiff	4200-3000	2700-1500	1.5 - 2	1.5-2
Stiff	3000-2000	1500-700	2 - 3	2
Moderate stiff but altered	2000-1500	700-400	3 - 4	3
Loose and soft	1500-600	400-100	4 - 6	3-4
Soft and saturated	>1300	>100	5 - 8	4-5

Utilizing from the similar changes in the values of F_s and $[V_p/V_s]$ according to rocks types in table 1., if F_s may be defined as,

$$F_s \approx \frac{V_p}{V_s} \quad F_s \Leftrightarrow \frac{V_p}{V_s} \quad (11)$$

then, V_p/V_s velocity ratio may be used as a safety factor. For example; accordig to Table 1, when F_s is selected as (3), $[V_p/V_s]$ under normal conditions should be used as (4.5).

If equ. (11) replaced into equ. (4), an allowable bearing capacity q_a as shown in (Keçeli 2000) becomes

$$q_a = \frac{\gamma V_s(0.1)}{F_s} = \frac{\gamma V_s^2(0.1)}{V_p} = \frac{g \rho V_s^2(0.1)}{V_p} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (12)$$

$$= \frac{g G(0.1)}{V_p} \Rightarrow \frac{G}{V_p}$$

$$q_a \Rightarrow \frac{1}{100} \frac{\rho V_s}{F_s} = \frac{1}{100} \frac{\rho V_s^2}{V_p} = \frac{1}{100} \frac{G}{V_p} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (13)$$

Where $G = \rho V_s^2$ is the shear modulus as quantity. It is seen that the definition of allowable bearing capacity obtained by seismic velocities in equ. (12, 13) includes the shear modulus that is important factor for the soil failure under the load.

4. THE DEFINITION OF ROCKS DENSITIES BY SHEAR WAVE VELOCITY

A relationship between mass density of rocks and seismic velocity is expressed usually with compressional wave velocity. Mass densities of saturated granular soils cannot be determined in healthy by means of compressional wave velocity. Dry granular soils have the value of compressional wave velocity approximately 500 m/s. Since water compressional wave velocity is 1500 m/s, the value of compressional wave velocity of saturated granular soil raises around 1000 m/s. As known, the shear wave velocity is only under the influence of the solid materials. Therefore, the determination of density will be suitable from the shear wave velocity as follows:

(Gardner et al. 1974; Lankston 1990) have given the definition of density in terms of compressional wave velocity V_p as follows:

$$\rho = a V_p^\alpha \quad (14)$$

Where $a = 0.31$ and $\alpha = 0.25$.

If the calibration value above for the shear wave velocity with $V_s = 4000$ m/s and for the unit weight with $\gamma = 35$ kN/m³ is replaced into equ. (14), coefficient (a) becomes

$$a = \frac{\rho = 3.5}{V_s^{0.25} = 4000^{0.25}} = 0.44 \quad (15)$$

Then, an experimental relation of density in the below can be expressed in terms of shear wave velocity as given in (Keçeli 2009)

$$\rho = 0.44 V_s^{0.25} \quad (16)$$

Where the density unit is in g/cm³ and V_s unit is m/s.

5. APPLICATION

The allowable bearing capacity has been obtained at thousands of construction sites in various regions of Turkey since 1990. The allowable bearing capacity at the same each site were calculated in accordance with the Terzaghi's bearing capacity theory, bearing capacity based on standard penetration test and the seismic velocities by author and by many practitioners. The obtained parameters values for both techniques were compared. The results of the technique developed here

are in very close agreement with those of the geotechnical applications. Nevertheless, in order to demonstrate that the technique developed covers all soils and rocks types, this paper presents the results of a numerical study as shown in the Table 2 with entire seismic velocities covering all soils and rocks types.

Table 2 shows the values of the allowable bearing capacity for foundation materials given in building codes. Table 3 shows the values of the allowable bearing capacity of the soil and rock calculated from equation (12) by using seismic velocities of soils and rocks given in literature. It can be accepted that soil and rock types in Table (2 and 3) cover all materials with similar physical characteristics. The Comparison of both table (2 and 3) values shows that the allowable bearing capacity values obtained from massive hard through loose soils were in agreement with the building code values. Thus, allowable bearing capacity values obtained by the technique proposed here are evaluated for accuracy.

Table 2. Allowable bearing capacity for foundation materials given by Building Codes.

Description	Consistency in Place	Allowable Bearing capacity, q _a (kg/cm ²)
Massive bedrock: Granite, diorite gabbro, basalt,	Hard, sound rock, minor jointing	100
Quartzite, well cemented conglomerate	Hard, sound rock moderate jointing	60
Foliated bedrock: slate, schist	Medium hard rock, minor jointing	40
Sedimentary bedrock: cementation shale, siltstone, sandstone, limestone, dolomite, conglomerate	Soft rock, moderate jointing	20
Weakly cemented sedimentary bedrock: compaction shale or other similar rock in sound condition	Very soft rock	10
Weathered bedrock: any of the above except shale.	Very soft rock, weathered and/or major jointing and fracturing	8
Slightly cemented sand and/or gravel, glacial till	Very dense	10
Gravel, widely graded sand and gravel; and granular ablation till	Very dense	8
	Dense	6
	Medium dense	4
	Loose	2
	Very loose	special case
Sands and non-plastic silty sands with little or no gravel /except for Class 8 materials)	Dense	4
	Medium dense	3
	Loose	1
	very loose	special case

Table 3. Allowable bearing capacity calculated by using seismic velocities in literature.

Soil and Rock type	V_p m/s	V_s m/s	ρ g/cm ³	q_a kg/cm ²
Gabro	4500-6000	2700-4000	3.2-3.5	51.4-93
Granite	3300-5640	2000-3760	2.9-3.4	36-86
Schist	3200-5200	1454-3500	2.7-3.4	18-67
Limestone	1200-6190	600-3350	2.2-3.33	65-60
Mudstone	600-1900	300-700	1.8-2.26	2.8-5.8
Dilluvial gravel	900-2200	250-600	1.75-2.2	1.2-3.6
Gravel, dry sand	500-1000	200-300	1.7-1.8	1.3-1.6
Loose sand	600-1800	150-500	1.5-2	0.6-2.9
Aluvial gravel	400-1900	100-430	1.4-2	0.4-1.9
Dilluvial clay	500-1800	100-350	1.4-1.9	0.3-1.3
Alluvial clay	210-600	70-150	1.3-1.5	0.3-0.6

6. INSERTING THE FOUNDATION

SHAPE FACTOR IN q_a

As mentioned before, the bearing capacity of a foundation is defined as the critical load per unit area at either the ground surface or at a certain depth below the ground surface. As it is known, the critical load depends not only on the mechanical properties of the soil but on the size and shape of the footing.

The shape factor of foundation that is not taken into account at the beginning of this study may be inserted into equ. (12). In order to obtain an allowable bearing pressure including the foundation shape factor, the similar way to that of the standart penetration test (SPT) can be followed. For example, (Meyerhof 1974) gave the allowable bearing capacity, q_a , by using the standard penetration number (N) as follows:

$$p = 0.44 V_s^{0.25} \quad (16)$$

$$q_a = 8N \left(\frac{B + 0.305}{B} \right)^2 K_d \quad B > 1.22 \text{ m} \quad (17)$$

Where d_f is the foundation depth and B is the width of footing, $K_d = 1 + 0.33(d_f/B) \leq 1.33$.

If a foundations width does not bigger than its length, then, foundation is called as spread footing. According this definition, equ. (16) may be evaluated for spread footing. In order to obtain an allowable bearing capacity for spread footing q_{as} may be replaced into equ. (16) instead of (12N) and equ. (17) instead of (8N) respectively as follows:

$$q_a = q_{as} K \quad \text{for} \quad B \leq 1.22 \text{ m.} \quad (18)$$

$$q_a = q_{as} \left(\frac{B + 0.305}{B} \right)^2 K_d \quad \text{for} \quad B > 1.22 \text{ m.}$$

For $B \leq 1.22 \text{ m.}$ equ. (18) becomes :

$$q_{as} = q_a \quad \text{for} \quad B=1 \text{ m. and } d_f=0, \quad K=1 \quad (19)$$

$$q_{as} = q_a / 1.22 \quad \text{for} \quad B=1.22 \text{ m, and } d_f=0, \quad K=1.22$$

According to eq. (19), as k_a increases because of foundation area grows, total allowable bearing capacity also increases, but the value of the allowable bearing capacity for unit area decreases. Therefore, the allowable bearing capacity for the unit area of the spread footing may be obtained as

$$q_{as} = (q_a / K) = 0.833 q_a \quad (20)$$

Thus, foundation shape factor, having a reducing influence on the value of bearing pressure, may be inserted into relation of allowable bearing capacity. The similar application may also be developed for other foundation shape types. Table 4 shows also the values of the allowable bearing capacity of the soil and rocks given by (Brown 1992). Table 5 shows the values of the allowable bearing capacity calculated for spread footing of foundation shape from eq. 20. The given values in the Table 4 and 5 cover all types of soil and rocks. The comparison of both table shows that the results of the technique developed here are in very close agreement with those of (Brown 1992) in geotechnical applications. Thus, the validity and reliability of the proposed technique has been verified.

Table 4. Values of presumptive allowable bearing pressures for spread footings given by (Brown 1992).

Bearing Material	In Place Consistency	Allowable Bearing Pressure q_n (kg/cm ²)
Massive crystalline igneous and metamorphic rock: granite, diorite, basalt, gneiss, thoroughly cemented conglomerate (sound condition allows minor cracks)	Hard sound rock	77
Foliated metamorphic rock: slate, schist (sound condition rock allows minor cracks)	Medium hard sound	34
Sedimentary rock; hard cemented shales, siltstone, sandstone, rock limestone without cavities	Medium hard sound	19
Weathered or broken bed rock of any kind except highly argillaceous rock (shale); Rock Quality Designation less than 25	Soft rock	9.6
Compaction shale or other highly argillaceous rock in sound condition	Soft rock	9.6
Well-graded mixture of fine and coarse-grained soil: glacial till, hardpan, boulder clay (GW-GC, GC, SC)	Very compact	9.6
Gravel, gravel-sand mixtures, boulder gravel mixtures (SW, SP, SW, SP)	Very compact Medium to compact Loose	6.7 4.8- 2.9
Coarse to medium sand, sand with little gravel (SW, SP)	Very compact Medium to compact Loose loose	3.8 2.9 1.4
Fine to medium sand, silty or clayey medium to coarse sand (SW, SM, SC)	Very compact Medium to compact Loose loose	2.9 2.4 1.5
Homogeneous inorganic clay, sandy or silty clay (CL, CH)	Very stiff to hard Medium to stiff Soft soft	3.8 1.9 0.5
Inorganic silt, sandy or clayey silt, varved silt-clay-fine sand	Very stiff to hard Medium to stiff Soft soft	2.9 1.5 0.5

Table 5. The Presumptive allowable bearing capacity values for the spread foundation modified from (Keceli, 2009).

Soil and Rock type	V_p m/s	V_s m/s	ρ g/cm ³	q_n kg/cm ²	$q_n = 0.83q_s$ kg/cm ²
Gabro	6000	4000	3.5	93	77
Granite	5640	3760	3.4	85	71
Schist	5200	3500	3.4	80	55
Limestone	6190	3350	3.35	61	50
Mudstone	1900	700	2.26	5.8	4.8
Dilluvial gravel	2200	600	2.2	3.6	3
Gravel, dry sand	1000	300	1.8	1.62	1.3
Loose sand	1800	500	2	2.78	2.3
Alluvial gravel	1900	430	2	1.94	1.6
Diluvial clay	1800	350	1.9	1.29	1.
Alluvial clay	600	150	1.5	0.56	0.5

7. OBTAINING SETTLEMENT

Soil settlement is defined as a foundation failure that occurs when the shear stresses in the soil exceed the shear strength of the soil. Settlement is a process by which soil decrease in volume. Settlement components are instantaneous or elastic and consolidation. The former is almost instantaneous whereas the latter is time dependent. Damage on structures occurs as a result of their combination. For preconsolidated soils elastic settlement is predominant. Hook's law defines the elastisity modulus, E , as

$$E = \frac{\text{longitudinal stress}}{\text{longitudinal strain}} = \frac{P}{\delta} \quad (21a)$$

Also, E is defined in terms of seismic velocities as

$$E = (\rho V_s^2) \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \quad (21b)$$

Hook's law may be expressed for the settlement of the soil medium with z depth in a vertical direction as follows:

$$\delta_z = \delta z = \frac{q}{E} z = \frac{q_{ult}}{E} z \quad (22)$$

Where q_{ult} for the load at unit area is the stress value depending on the depth z , δ_z is the settlement value for the soil column with the depth z . Unknown term in equ. (22) is only the depth z . Then, the variation of vertical stress q_z at depth z is necessary to predict the settlements. One-dimensional settlement δ may be determined by Boussinesq theory as follows:

Fig. 3 shows the vertical stress distribution in the subsurface for the load on the surface. Mathematical expression for this vertical stress q_z distribution of the load on the surface is given by (Terzaghi et al. 1967; Uzuner 1992) with the Boussinesq equation as follows:

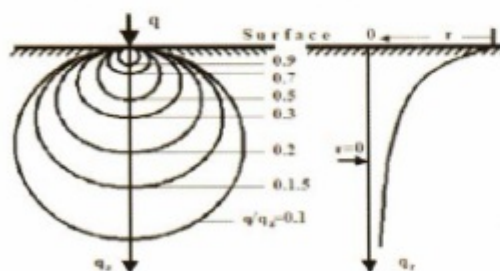


Figure 3. The vertical stress distribution due to the load on unit area (Uzuner 1992).

Şekil 3. Birim alan üzerindeki yükten dolayı düşey gerilim dağılım şekli (Uzuner 1992).

$$q_z = \frac{3}{2\pi} \left[\frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2} \frac{q}{z^2} = I \frac{q}{z^2} \quad (23)$$

Where r is the distance to the center and I is the impact factor.

Equ. (23) for $r=0$ becomes

$$q_z = \frac{3}{2\pi} \frac{q}{z^2} \quad (24)$$

The depth z may be calculated from equ. (24) as follows:

$$z^2 = \frac{3}{2\pi} \frac{q}{q_z} \quad (25)$$

The depth that the load pressure on the surface decreases to one-third of its value is considered as the active depth according to the vertical stress distribution. In other words, the settlement can be effective in the active depth only. In this study, the value of load pressure at the active depth was used as the one-third value of a unit load. If the unit load is accepted 100 kN/m², ultimate bearing capacity, q_{ult} , in terms of unit load may be written as

$$q_{ult} = nq \quad (n=1, 2, 3, \dots, n) \quad (26)$$

Therefore, for the calculations the value of the stress which is one-third of unit value at active depth should be used always as $q_z=33.3$ kN/m². Also, because of the calculation of the active depth is in the ground with three dimension, is 4π should be replaced instead of 2π in equ. (24). In this case, active depth z from equ. (25) becomes

$$z^2 = \frac{3}{4\pi} \frac{q_{ult}}{0.333} \quad (27)$$

The values of the settlement can be calculated by using equ. (27) depending on the active depth, as in the following example:

If the seismic velocities of the soil has $V_p=400$ m/s and $V_s=100$ m/s, then, q_{ult} and E is obtained from equ. (8 and 22) as 1.39 kg/cm² and 407.73 kg/cm² respectively. Then, according to Hook's law settlement becomes

$$\delta = \frac{q_{ult}}{E} = \frac{139}{40773} = 0.0034 \quad (m) \quad (28)$$

Where δ is the settlement for unit value. Under this condition, the active depth from equ. (25)

$$z = 10 \text{ m} \quad (29)$$

is obtained. The value of the total elastic settlement for the active depth $z=10$ m becomes

$$\delta_z = \delta z = \frac{q_{ult}}{E} z = 0.0034 \times 10 = 0.034 \text{ (m)} \quad (30)$$

or

$$\delta_z = 3.4 \text{ cm} \quad (31)$$

In the soil mechanics, relationship between the loads and the soil settlement is expressed with the load-settlement curve as shown in Fig. 4. The load-settlement curve in Figure 4 is adapted for soft soils and stiff soils from (Terzaghi et al. 1967).

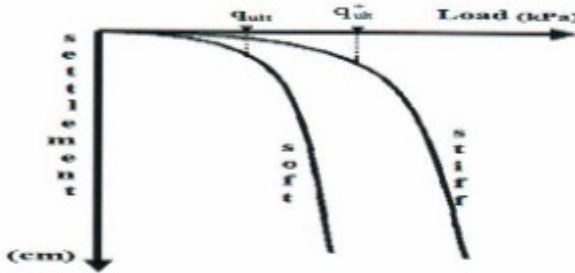


Figure 4. The load-settlement curve obtained in the soil mechanics. It is adapted from (Terzaghi et al. 1967).

Şekil 4. Zemin mekaniğinde elde edilen yük-oturma eğrisi. (Terzaghi et al. 1967) den adapte edilmiştir.

Undoubtedly, the deformation of the hard and massive rocks with the greatest seismic impedance express the smallest deformation and the soft granular soils with smallest impedance express the greatest deformation. This relationship can be drawn approximately as in Fig 5.

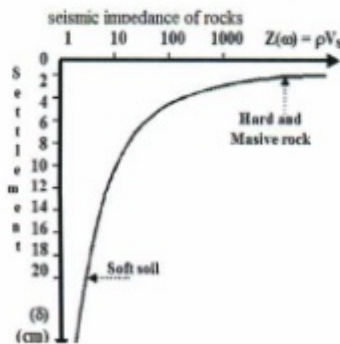


Figure 5. Approximate variation of settlement curve with the seismic impedance of rocks.

Şekil 5. Kayaçların sismik empedansı ile oturma eğrisinin tahmini değişimi.

Starting from this relation between seismic impedance and properties of rocks, the load-settlement curve can be obtained by means of seismic velocities as follows:

Table 6 shows how the values of settlement vary with increasing load q_{load} for the soil having the constant values choosing as an example like $V_p = 900$ m/s, $V_s = 300$ m/s and $\rho = 1.83$ g/cm³, $E=4735.13$ kg/cm².

Table 6. The computed values of the load-settlement with constant velocities.

$V_s - V_p$ m/s	ρ g/cm ³	E kg/cm ²	q_{load} kg/cm ²	δ_z cm
300-900	1.83	4735	0.33	0.034
300-900	1.83	4735	1.00	0.18
300-900	1.83	4735	1.50	0.33
300-900	1.83	4735	2.00	0.5
300-900	1.83	4735	2.75	0.8
300-900	1.83	4735	3.31	1.1
300-900	1.83	4735	4.00	1.4
300-900	1.83	4735	5.00	2
300-900	1.83	4735	5.49	2.3
300-900	1.83	4735	6.50	3
300-900	1.83	4735	8.00	4
300-900	1.83	4735	10.00	5.7
300-900	1.83	4735	13.00	8.4
300-900	1.83	4735	16.00	11.4
300-900	1.83	4735	20.00	16

Table 7 shows the changes in the values of settlement as the load increases and seismic velocities decreases for the same soil having values like $V_s = 300$ m/s, $V_p = 900$ m/s in Table 5.

Table 7. The computed values of the load-settlement with decreasing velocities.

$V_s - V_p$	$\frac{V_p}{V_s}$	ρ gcm ³	E kg/cm ²	q_{load} kg/cm ²	z_{alt} m	δ_{alt} Cm
300-900	3	1.83	4735	5.5	20	2.3
250-1250	5	1.75	3232	6.50	22	4.4
200-800	4	1.65	1942	8.00	24	10
150-600	4	1.54	953	10.00	27	28
100-400	4	1.39	408	13.00	31	99

Fig.6 shows the change shape of the load-settlement curve plotted according to the values in Table 6 and in Table7.

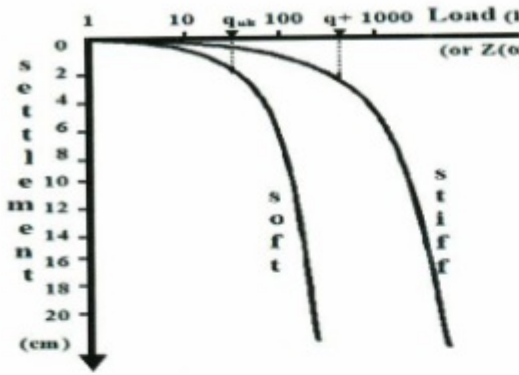


Figure 6. The load-settlement curve obtained by means of seismic velocities.

Şekil 6. Sismik hızlar vasıtasıyla elde edilen yük oturma eğrisi.

Figure 6 shows that both shear failure and settlement starts as the load increases. It is seen that the load-settlement curve obtained by means of seismic velocities as in Fig. 6 and load-settlement curve in the soil mechanics in Fig. 5 have the similar variation.

Braja (1993) expressed that the value of the deformation generated in the seismic wave propagation is in the range like $(10^{-2} - 10^{-4})$. According to these similar changes of the two load-settlement curves, it is understood that the value of small deformation generated in the seismic wave propagation is not important for the determination of the soil bearing capacity and settlement.

8. OBTAINING SUBGRADE REACTION COEFFICIENT

The coefficient of subgrade reaction, k_s , is a concept that is valid only at soil-foundation interface. The properties of the soil deformation are defined with the subgrade reaction. The subgrade reaction is also defined as a soil settlement under the certain stress. Foundation-ground interaction has been one of the challenging problems in geotechnical engineering. Various methods have been proposed for evaluating k_s . Many researches have investigated the effective factors and determination approaches of k_s (Terzaghi, 1955; Bowles 1982). There is no direct laboratory procedure for determining the value of the subgrade reaction coefficient. Because of the complexity of soil behavior, subgrade reaction in soil-foundation interaction problems is replaced by a more simple system called subgrade model. One of the

most common and simple models is an analog of linear elastic springs. Evaluation of the numerical values of k_s is one of the most complex problems in geotechnical engineering. Main problem with the accuracy of k_s relations is related to evaluation of the elasticity modulus, E . The elasticity modulus is the only factor by which the effect of subsurface soil properties on the value of k_s can be examined. However, geophysical study has the advantage to obtain the elasticity modulus accurately and quickly by means of seismic velocities as follows:

Subgrade reaction coefficient, k_s , is defined generally in a similar way to the definition of Hook's law as follows:

$$k_s = \frac{q}{\delta} = \frac{q(kN/m^2)}{\delta(m)} \quad kN/m^3 \quad (32)$$

k_s may be written in terms of active depth z as follows:

$$k_s = \frac{q_{ult}}{\delta_z} \quad (33)$$

If equ. (32) is replaced in equ. (33), then, a subgrade reaction coefficient may be defined depending on the active depth z and elasticity modulus as

$$k_s = \frac{E}{z_n} \quad (34)$$

The value of the subgrade reaction coefficient can be calculated by using equ. (32 or 33) depending on the active depth, as in the following example:

The value of the subgrade reaction coefficient for the active depth $z=10$ m from equ.(33) becomes

$$k_s = \frac{q_{ult}}{\delta_z} = \frac{139}{0.034} = 4088 \quad kN/m^3 \quad (35)$$

(Bowles 1998) gave the following empirical formulae for estimating the coefficient of subgrade reaction using an ultimate bearing capacity for only granular soils:

$$k_{Bowles} = 40 \times q_{ult} \quad kN/m^3 \quad (36)$$

When $q_{ult} = 139$ (kN/m^2) is replaced in equ. (36), k_{Bowles} is obtained as

$$k_{Bowles} = 40 \times 139 = 5560 \quad kN/m^3 \quad (37)$$

the empirical values of the subgrade reaction coefficient Bowles gave are in the range of (4800-

128000) kN/m^3 or ton/m^3 . Table 8 shows the comparison of the values of the subgrade reaction coefficients calculated from the relations in this study and Bowles empirical relation for seismic velocities of several soil and rocks. According to table 8, it is seen that settlement increases and subgrade reaction reduces with decreasing

shear wave velocity. Also, it is seen that the values of k_s and k_{Bowles} close to each other in an appropriate limit according to Bowles experimental values. Such that, while $k_{\text{Bowles}} = 5560$ (kN/m^3), $k_s = 4088$ (kN/m^3) for loose sand soils with $(V_s - V_p) = (100-400)$ m/s and while $k_{\text{Bowles}} = 41600$ (kN/m^3), $k_s = 53489$ (kN/m^3) for stiff sand soils with $(V_s - V_p) = (500-1250)$ m/s.

Table 8. shows the comparison of the theoretical and Bowles experimental relations.

$V_s - V_p$	$\frac{V_p}{V_s}$	$\rho \text{ g/cm}^3$	$q_{\text{ult.}} \text{ kg/cm}^2$	$q_s \text{ kg/cm}^2$	$E \text{ kg/cm}^2$	$z_{\text{ult.}} \text{ m}$	$\delta_{\text{ult.}} \text{ cm}$	$k_s \text{ kN/m}^3$	$k_{\text{Bowles}} = 40q_{\text{ult.}} \text{ kN/m}^3$
4000-6000	1.5	3.5	140	93	1232000	100	1.1	1232000	560000
2000-3000	1.5	2.94	59	39	258940	65	1.5	398548	235400
1000-2000	2	2.47	25	12	65973	42	1.6	156613	98960
1000-1500	1.5	2.47	25	16	54428	42	1.9	129225	98960
700-1400	2	2.26	16	7.9	29494	34	1.8	87508	63360
500-1250	2.5	2.1	10	4.2	14609	27	1.9	53489	41600
300-900	3	1.83	55	1.8	4735	20	2.3	23869	21960
250-1250	5	1.75	44	0.87	3232	18	2.4	18268	17480
200-800	4	1.65	3.3	0.83	1942	15	2.6	12614	13240
150-600	4	1.54	2.3	0.58	953	13	3.2	7219	9240
100-400	4	1.39	1.4	0.35	408	10	3.4	4097	5560
50-250	5	1.2	0.6	0.12	89	6.6	4.4	1353	2400

9. CONCLUSION

The results obtained in this investigation can be summarized as follows:

1- The ultimate bearing capacities of the soils and rocks can be expressed with seismic shear wave impedances of the soils and rocks.

2- The similarity between the coefficients of the safety factor depending also on the soil properties and the values of the V_p/V_s velocity ratio shows that the V_p/V_s velocity ratio can be used as a safety factor.

3- The relation of the allowable bearing capacity obtained from the seismic velocities includes shear modulus.

4- When the V_p/V_s velocity ratio as a safety factor is used for the soil saturated with water, there is no need to use any reduction operation to decrease ultimate bearing capacity.

5- It was seen that the densities expressed depending on the shear wave velocity is more appropriate.

6- The allowable bearing capacity including spread footing of foundation shape can be obtained.

7-Utilizing the Boussinesq equation, subgrade reaction and settlement can be determined by using the ultimate bearing capacity and elasticity modulus obtained from the seismic velocities.

8- The load-settlement curve obtained by means of seismic velocities and the load-settlement curve in the soil mechanics show the similar variation.

9- The results obtained from seismic velocities are more stable, consistent and reliable when compared with those of the conventional method.

10- The application of the technique developed in this study does not depend on personal preferences.

As a consequence, it is possible to obtain the reliable additional knowledge about the safety bearing capacity, subgrade reaction and settlement values while the structural geology is determined. Furthermore, the developed technique here is quick and cost effective. If the parameters of soil mechanics and the proposed seismic technique are used together, very useful information may be obtained to interpret the properties of the underground.

10. APPENDIX

Due to the use of c. g. s. unit for calculations of bearing capacity in Turkey, it will be useful to show transformation of m. k. s. and c. g. s. unit. Newton is defined as N (kg.m/s²). Where m/s² is acceleration of the earth, (g) and as well known, the approximately value of g is 10 m/s² or 1000 cm/s².

$$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg \frac{10^2 cm}{s^2}}{10^4 cm^2}$$

$$kPa = \frac{k.kg}{10^4 cm^2} \frac{10^3 cm}{s^2} = \frac{10^6}{10^4} \frac{kg}{cm^2} \frac{cm}{s^2}$$

$$= \frac{10^2 kg}{cm^2} \frac{cm}{s^2} \quad \frac{1}{100} kPa = \frac{kg}{cm^2}$$

As an example; q_u in transformation of m.k.s. and c.g.s. units for $V_p = 900$ m/s, $V_s = 300$ m/s and $\rho = 1.83$ g/cm³ becomes

In m.k.s. unit:

$$q_u = \frac{\gamma_s(0.1)}{F_s} = \frac{\gamma_s^2(0.1)}{V_p} = \frac{18.3(300)^2(0.1)}{900} = 183 \quad kPa$$

$$q_{ult} = \rho g V_s 0.1s = \frac{T}{m^3} 10 \frac{m}{s^2} \frac{m}{s} 0.1s = \frac{kkg}{m^3} 10 \frac{m}{s^2} \frac{m}{s} 0.1s = \frac{kkg}{m^2} \frac{m}{s^2}$$

$$= \frac{10^6 g}{10^4 cm^2} \frac{cm}{s^2} = \frac{100g}{cm^2} \frac{cm}{s^2} \quad kN/m^2$$

$$\frac{kg}{cm^2} = \frac{1}{100} \frac{kN}{m^2} = \frac{1}{100} kPa$$

In c.g.s. unit:

$$q_u \Rightarrow \frac{1}{100} \frac{\rho V_s^2}{V_p} = \frac{1}{100} (183 \quad kPa) = 1.83 \quad (kg/cm^2)$$

REFERENCES

- Bowles, J. E. 1998, Foundation Analysis and Design, 6th ed., McGraw-Hill International press.
- Braja, M. D. 1993, Principles of soil dynamics: PWS-Kent Publishing Company.
- Brown, D.W. 1992, Engineering and Design Bearing Capacity of Soils, (Engineer Manual) Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000
- Carvalho, J., Dias, R., Pinto, C., Leote, J. and Mendes, V. L. 2009, SPT seismic hazard seismic refraction soil classification. and Geotechnical Data Applied to the Soil Microzonation of Western Algarve, Portugal. European Journal of Environmental and Engineering Geophysics 5, 3-14.
- Fu D., Sullivan, E.C. and Marfurt, K. 2006, Rock-Property and Seismic-Attribute Analysis of a chert reservoir in Devonian Thirty-one Formation: Geophysics, Vol. 71, No.5.
- Gardner, G. H. F., Gardner, L. W. and Gregory, A. R. 1974. Formation velocity and density—the diagnostic basics for stratigraphic traps, Geophysics 39, 770–780.
- Guliev, E. 2007, Vp/Vs estimation from Multicomponent Seismic Data for Improved Characterization of a Tight sandstone Gas reservoir, Colorado School of Mines, A thesis for the degree of Master of Science (Geophysics) Colorado School of Mine.
- Hamada, G. M. 2004, Reservoir Fluids Identification Using Vp/Vs Ratio? Oil & Gas Science and Technology-Rev. IFP, Vol.59, No.6, pp.649-654.
- Hardin, B.O. and Black W.L. 1968, Vibration Modulus of Normally Consolidated Clays, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.94, No.SM2, pp. 353-369.
- Hardin, B.O. and Drnevich V.P. 1972. Shear Modulus and Damping in Soils. J. Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 98 SM7: 667-692.
- Hicks, G.J. 2006, Extended Elastic Impedance and Its Relation to AVO Crossplotting and Vp/Vs EAGE 68th Conference, Vienna, Austria.
- Imai, T. and Yoshimura M. 1972. The relation of Mechanical Properties of Soils to P and S Wave Velocities for Soil Ground in Japan. Urana Research Institute, OYO Corp.
- Imai, S. (1975), An investigation to geophysical prospecting for civil purposes OYO Co-operation, Tokyo, Japan.
- Imai, T. and Yoshimura M. 1976, The relation of Mechanical Properties of Soils to P and S Wave Velocities for Soil Ground in Japan. Urana Research Institute, OYO Corp.
- Jongmans, D. 1992, The application of Seismic Methods for Dynamic Characterization of Soils. Bulletin of International Association of Engineering Geology. 46: 63-69.
- Kaptan, K., Ozdemir Z. and Tezcan S. 2011, Review A refined formula for the allowable soil pressure using shear wave velocities: The Journal of Soil Science and Environmental Management, Vol. 2,7, pp. 175-183.
- Keçeli, A. D. 1990, The determination of the Bearing Capacity by means of the seismic method: Jeofizik 4, 83-92. (in Turkish).
- Keçeli, A. D. 2000, The Determination of the Presumptive Bearing Capacity by means of the Seismic Method: JEOfİZİK, Cilt: 14, Sayı: 1-2.(in Turkish).
- Keçeli, A. D. 2009. Uygulamalı Jeofizik, TMMOB Jeofizik Müh. Odası Eğitim yayınları No:9, s.479.
- Lankston, R. W. 1990, High-Resolution Refraction Seismic Data Acquisition and Interpretation: in Geotechnical and environmental Geophysics. Soc. Expl. Geophys. Vol., I, 45-73.

- Meyerhof, G.G. 1974, Ultimate bearing capacity of footing on sand layer overlying clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 11, pp. 223-229.
- Moreno, C. Huffman A., and Bertagne A. (2003), The Vp/Vs Inversion Procedure: A Methodology for Shallow Water Flow (SWF) Prediction from Seismic Analysis of Multicomponent Data. Offshore Technology Conference, Houston, Texas.
- Ohkubo, T. and Terasaki A. 1976, Physical property and seismic wave velocity of rocks, OYO Corporation, Japan.
- Othman, A. A. 2005, Construed geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements. *J. Geophys. Eng.* 2 126-138.
- Parry, R. H.G. 1977, Estimating bearing capacity of sand from SPT values *JGED ASCE* 103:Gt.9 pp1014-1043.
- Phillips, D. E., Han, D. H. and Zoback M. D. 1989, Empirical Relationships among Seismic Velocity, Effect Pressure, Porosity, and Clay Content in Sandstone. *Geophysics*, 54:(1) 82-89.
- Pişen, S. ve Pekşen E. 2009, Sığ Zeminler için Farklı Yöntemlerden Elde Edilen Zemin Emniyet Gerilmesi Değerlerinin Karşılaştırılması: Uygulamalı Yerbilimleri Sayı:2, 36-46.
- Prakla, 1986, Seismos A. G. Buchholz Str. 100 P. O. B 510530 D-300 Hannover 51.
- Seed, H.B., Wong, R.T., Idriss, E.M., and Tokimatsu, K. 1984, Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils, Report No. UCB/EERC - 84/11, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Sternberg, B. K., Poulton, M. M. and Thomas S. J. 1990, Geophysical investigations in Support of the Arizona SSC project. (In Geotechnical and Environmental Geophysics, S.E.G. V.III:211-228).
- Stuempel, H, Kahler S., Meissner R. and Milkereit B. 1984, The use of Seismic Shear Waves and Compressional Waves for Lithological Problems of Shallow Sediments: *Geophys. Prospect.* 32 662-75.
- Tatham, R.H. 1982, Vp/Vs and Lithology. *Geophysics*, 47: 336-344.
- Terzaghi, K. 1955, Evaluation of Coefficient of Subgrade Reaction, *Geotechnique*, Vol. 5, No. 4, 297-326.
- Terzaghi, K. and Peck R.B. 1967, *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd ed., John Wiley & Sons, London.
- Tezcan, S.S., Ozdemir, Z. and Keceli, A. 2009, Seismic Technique to Determine the Allowable Bearing Pressure for Shallow Foundations in Soils and Rocks, *Acta Geophysica*, Vol.57, No. 2, pp.400-412.
- Tezcan, S. and Ozdemir Z. 2011, A Refined Formula for the Allowable Soil Pressure Using Shear Wave Velocities: *The Open Civil Engineering Journal*, 5, 1-8 1
- Uyanık, O. 2010. Compressional and Shear-Wave Velocity Measurements in Unconsolidated the Top-Soil and Comparison of the Results. *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 5(7), pp. 1034-1039.
- Uyanık, O. 2011. The Porosity of Saturated Shallow Sediments from Seismic Compressional and Shear Wave Velocities, *Journal of Applied Geophysics*, 73(1), 16-24.
- Uzun, B.A. 1992, *Fundamental Soil Mechanics*, Chamber of Civil Engineering, Trabzon/Turkey (in Turkish).
- Venkatramaiah, C. 1993, *Geotechnical Engineering*, John Wiley & Sons.
- Vesic, A. B. 1961 Beams on Elastic Subgrade and Winkler's Hypothesis, *Proc. 5th*
- Wang, Z. 2001, *Fundamentals of Seismic Rock Physics: Geophysics*, Vol. 66, No. 2; P. 398-412.
- Int. Conf. on Soil Mechanic and Foundation Engineering, Paris: 845-850.
- Willkens, R., Simmons G. and Caruso L. 1984, The ratio V_p/V_s as a Discriminant of Composition for Siliceous Limestones. *Geophysics*, 49 (11) 1850-1860.
- Wyllie, D. C. 1992, *Foundations on Rock*. E & FN Spon, London.

SİSMİK KIRILMA VERİLERİNDE İLK VARİŞ ZAMANLARININ ÇAPRAZ İLİŞKİ YÖNTEMİ KULLANILARAK BELİRLENMESİ

First Arrival Picking in Seismic Refraction Data by Using Cross-Correlation Technique

Mustafa ŞENKAYA^{1,a}, Hakan KARSLI^{1,b}

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü

(^amsenkaya@ktu.edu.tr, ^bhkarqli@ktu.edu.tr)

ÖZET

Sismik kırılma kayıtlarının kaliteli yorumu ilk varış zamanlarının doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesine bağlıdır. İlk varış zamanlarının bir grafik veya görüntü üzerinden elde edilmesi, işaretlemeleri verinin görüntülenme ölçeği ve kalitesi, genlik oranı, işaretleyici hassasiyeti, işaretlemeyi yapan kullanıcının deneyimi gibi dış etkenlere bağlıdır. Gürültü içeren verilerin ilk varış işaretlemesinde ise, durum daha karmaşık bir hal alır. Bu çalışmada yansıma veri işleminde yaygın olarak kullanılan çapraz ilişki işlemi, gürültülü veya gürültüsüz sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanlarının işaretlenmesinde kullanılmıştır. Hazırlanan algoritma sayesinde işaretlemeler yarı otomatik yapılarak, ilk varış zamanlarının kullanıcıya bağımlılığı azaltılmış, çevresel gürültülerden veya görüntülenme özelliklerinden kaynaklanabilecek hatalı işaretlemeler indirgenmiş ve işaretlemeler matematiksel bir temele dayandırılmıştır. Geliştirilen yöntem, 3 farklı gürültü içeriğine sahip konvolüsyon modelleri ve farklı sahalardan elde edilen, farklı gürültü karakterlerine sahip saha verileri üzerinde sınanmıştır. Yapılan işaretlemelerin performansı Ki-Kare hata kriteri ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, manuel (el ile, normal işaretleme) olarak işaretlenen varış zamanları ile ilişki tekniği yardımıyla işaretlenen varış zamanları arasındaki küçük zaman farklarının sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesinde yaratacağı farklılıklar kırılma tomografisi çözümleri ile ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: sismik kırılma, ilk varış zamanı, çapraz ilişki, çevresel gürültü

ABSTRACT

The quantified interpretation of the seismic refraction record depends on correct and confident picking first arrival times. The determination of the first break times on a graphic or an image was carried out by many

external factors such as a scaling and quality of data imaging, visual inspection of the amplitudes, sensitivity of picking cursor, operator's eye estimation capacity and experience, and waveform changes. However, Picking of first arrivals of data containing noise becomes more complicated. In this study the cross-correlation technique, commonly used in reflection data processing, was applied to determine first arrival times. By means of the technique, the process of the first arrival time picking is realized semi-automatically, dependency of user was reduced, erroneous picking to be arise from noises was decreased and picking procedure was attributed to mathematical base. The developed technique was tested on convolution models with three different noise content and on real field data have various noise characters. Accurate of picking times is provided by chi-square error test. Also, effects of time differences between traditionally and semi-automatic picking by cross-correlation on seismic refraction results were evaluated with seismic tomography solutions.

Key words: seismic refraction, first arrival time, cross-correlation, environmental noise

GİRİŞ

Sismik kırılma verilerinde, sismik olayların varış zamanlarının belirlenmesi, sismik gözlemlerin jeolojik modellere dönüştürülmesindeki ilk adımdır. Sismik model ile seyahat zamanları arasında yüksek dereceli uyum sağlamak için yorumlama veya ters çözüm sırasında güvenilir bir seyahat zamanı verisi kullanmak önemlidir (Leung, 2003). Bir sismik verideki ilk varış kalitesi genellikle yakın yüzey jeolojik yapıya, kaynak türüne ve sinyal/gürültü (S/G) oranına bağlıdır. Eğer veri, karmaşık bir yer altı yapısına sahip alanda toplanmışsa veya verinin S/G oranı düşükse ilk varışların otomatik işaretlenmesi zor bir hal alır (Yılmaz, 2001). Geleneksel ilk varış işaretlemesi işlemi (manuel, el ile

işaretleme), verinin görüntülenmesi sırasında kullanılan genlik oranı, ölçeği, kalitesi gibi kullanılan programa bağlı etkenlere ve işaretleme yapan kullanıcının göz kestirim kabiliyeti, deneyimi gibi dış etkenlere bağlıdır. Bu tip etkenler, işaretleme bir matematiksel doğruluktan ziyade, kullanıcıya bağımlı hale getirmekte ve yapılan işaretleme hassasiyetini, doğruluğunu etkilemektedir. Eğer sismik veri gürültü içeriyor ise, yapılan işaretleme güvenilirliği azalırken, işaretleme için harcanan zaman artar. Düşük S/N oranına sahip büyük boyutlu verilerde ilk varış işaretleme işlemi, tüm veri işlem aşamaları için harcanan zamanın %20-30' luk kısmını kapsamaktadır (Sabbione ve Velis, 2010).

Veri boyutlarının artması ve bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile son birkaç on yıldır birçok otomatik ya da yarı-otomatik ilk varış işaretleme tekniği geliştirilmiştir. Bu alanda ilk çalışmalar ardışık izlerin çapraz ilişkisi ile ilk varış zamanları arasındaki gecikme zamanlarının hesaplanmasına dayanmaktadır (Peraldi ve Clement, 1972). Hatherly (1982) ilk vuruş noktalarını (first kick) ve en küçük kareler yöntemini kullanmıştır. Gelchinsky ve Shtivelman (1983) ve Ervin vd. (1983) sinyalin ilişki özelliklerinden faydalanmıştır. Gu vd. (1982) ilk varışları izdeki uzun dönem enerjisinin kısa dönem enerjisine oranından yararlanarak belirlemiştir. Murat ve Rudman (1992), Kusuma ve Fish (1993) sinir ağı tekniğini sismik verilerde ilk varış zamanlarının işaretlemeinde kullanmışlardır. Sismik izler üzerinde ilk varışların belirlenmesinde fraktal analizin kullanılması Boschetti vd. (1996) tarafından sunulmuştur. Yung ve Ikelle (1997) sismik zamanların işaretlemeinde geleneksel çapraz ilişki yerine bispektrum işlemine dayalı bir yöntem önermişlerdir.

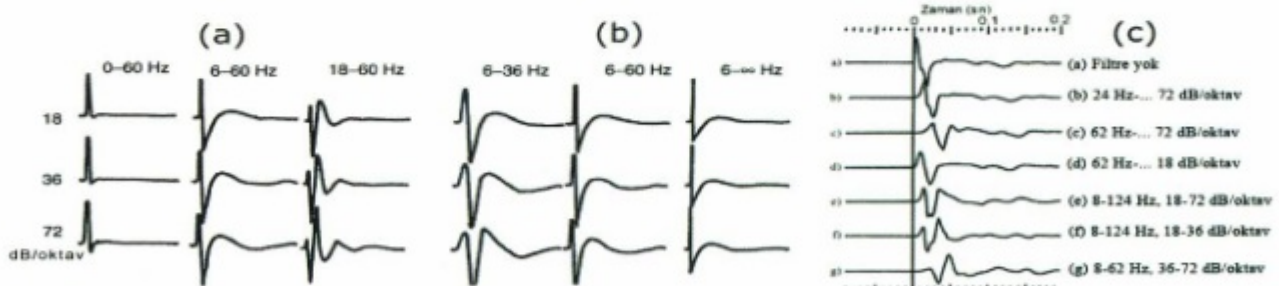
Bu çalışmada yansıma sismik veri işleminde yansıtıcıların daha güvenilir şekilde belirlenmesi amacıyla kullanılan çapraz ilişki yöntemi, uygun kriterler belirlenerek, sismik kırılma verilerinde ilk varış zamanlarının yarı otomatik şekilde belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Yöntemin ilk aşaması verinin gürültü içeriğine göre bir kaynak dalgacığı veya operatörün belirlenmesidir. İkinci aşamada, kestirilen kaynak dalgacığı ile sismik kırılma verisindeki her kanal çapraz ilişkiye tabi tutulur. Son aşamada ise ilişki

fonksiyonu üzerinde ilk varış zamanlarının otomatik olarak belirleneceği alan kullanıcı tarafından işaretlenir. Yöntem birçok sentetik ve arazi verisine başarılı şekilde uygulanmıştır. Testler yöntemin orta ya da yüksek seviyede rasgele gürültü içeren verilerde diğer otomatik ve geleneksel (manuel) işaretleme tekniklerine göre daha hızlı ve güvenilir olduğunu göstermiştir.

İLK VARİŞ OKUMALARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

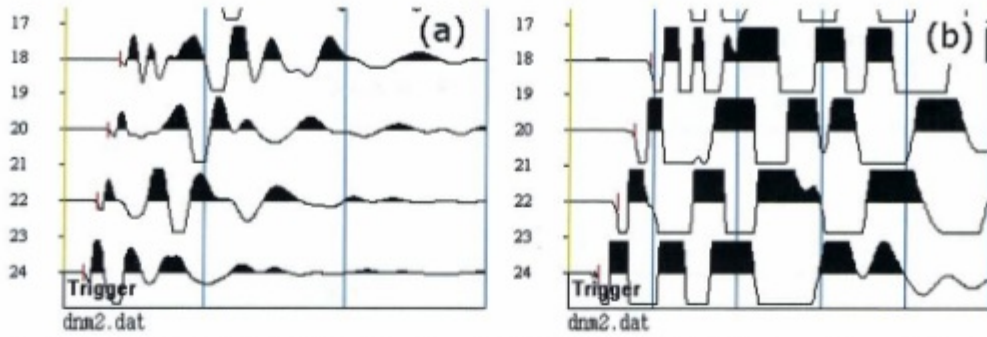
Gürültülü bir sismik veride ilk varış işaretleme yapmak kolay değildir. Her alıcıda aynı netlikte ilk varış gözlenemediği durumlarda insan gözü bir önceki varışları takip ederek işaretleme yapar. Ancak genel kanı ilk varışların neredeyse bir doğru üzerinde sıralanması şeklinde olduğu için insan gözü bu yönde çalışır ve her alıcı için yapılan işaretleme hassasiyetini kaybeder.

Gürültülü bir veriyi daha anlaşılır bir hale getirmek için akla gelen ilk işlem süzgeçleme işlemidir. Fakat ilk varış genliklerinin kenarları (ilk kırılma anı) genellikle zayıf, dalga şekli olarak profil boyunca değişkenlik gösterebilen, veri içerisinde küçük enerjiye sahip ve kolay bastırılabilir olduğundan sismik kırılma verilerine süzgeç uygulanması zor ve kimi zaman hatalı sonuçlara neden olan bir işlemdir. Şekil 1' de farklı süzgeç bant aralıklarının bir iğnecik sinyali üzerindeki karakteristik etkileri gösterilmiştir. Bu etkiler; zaman gecikmesi, görünür polarite değişimi ve salınım artışı olarak sıralanabilir. Genel olarak ifade edilirse, bir dalgacıktan düşük frekanslı olayların kesilmesi dalgacığı ilk halinden daha salınımlı bir hale getirir ve enerjiyi geç zamanlara ötelers (Şekil 1a). Bu yan salınımlar bazı durumlarda ana salınımdan daha güçlü olabilirler. Yüksek frekanslı olaylar kesildiğinde ise dalgacık her hangi bir salınım göstermeden uzar yani enerjisi yayılır ve iğnecik yapıdan uzaklaşır (Şekil 1b). Süzgeç eğimindeki değişimler ise, enerjinin geç zamanlarına ötelenmesi, dalgacık şekli ve polarite değişimi gibi sonuçlara neden olabilir (Şekil 1c). Bu etkenlerin tümü gürültülü veya gürültüsüz bir sismik kırılma verisinde ilk varış zamanlarında fark yaratacak faktörlerdir.



Şekil 1. Farklı süzgeç bant aralıklarının bir iğnecik sinyal üzerindeki etkileri (frekans sınırları geçiş bandını temsil etmektedir). (a, b) farklı bant aralıkları, (c) farklı süzgeç eğimleri için bir hava tabancası sinyali süzgeçlenmesi (Geldart ve Sheriff, 2004).

Figure 1. Effects on a spiking signal of different filter band intervals (frequency limits represent filter pass band). (a, b) filtering of a signal from an air gun for different band intervals and different slopes.



Şekil 2. Bir sismik kırılma saha verisi için ilk varış işaretlemelerinin farklı görüntüleri. (a) varsayılan genlik oranı, (b) artırılmış genlik oranı.

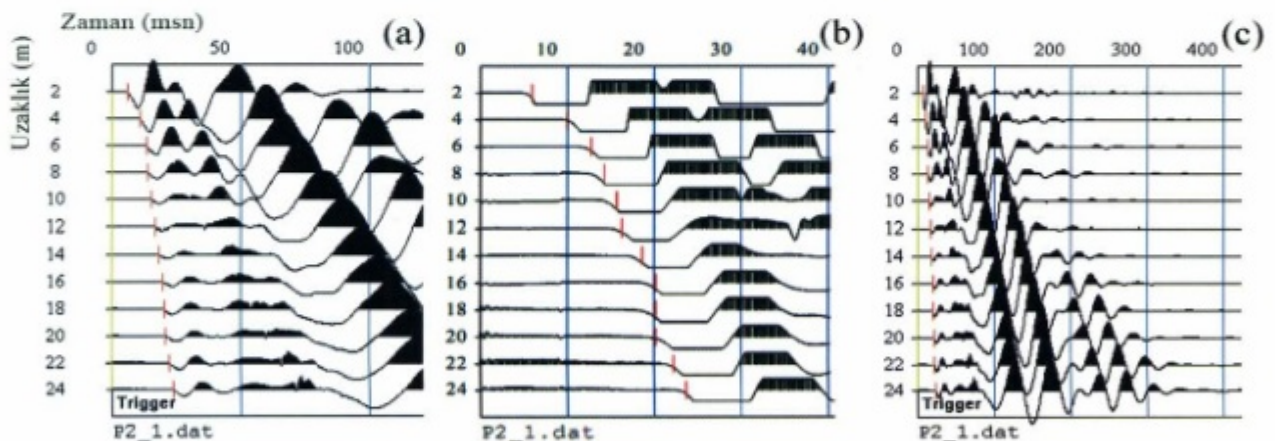
Figure 2. Different images of first arrival picking for a seismic refraction field data. (a) default amplitude proportion, (b) amplified amplitude proportion.

Gürültüsüz bir sismik kırılma verisinin el ile (manuel) işaretlenmesinde, işaretlemeyi yapan kullanıcının deneyimi, göz kestirim kabiliyeti, verinin görüntülenme ve genlik ölçeği, işaretleme yapılan zaman ölçeğinin ve işaretleme imlecinin hassasiyeti, verinin S/G oranı gibi bir çok faktör ön plana çıkmaktadır. Tecrübeli bir yorumcu el ile işaretleme yaparken, işaret konumuna karar vermede sismik dalganın genliğini, polaritesini ve komşu izle ile olan ilişkisini temel alır. Gürültü, veride baskın ise işaretleme zorlaşır ve ardı sıra olan izlerin uyumluluğu büyük önem kazanır. Yorumcu için el ile işaretleme güvenilir olabilir, fakat zaman alıcı, yorucu ve işlemi yapan kişinin bilgilerine bağlıdır.

Verinin görüntülenme ve genlik oranı önem verilmeyecek bir faktör değildir. İlk varış zamanlarının okunmasındaki hassasiyeti doğrudan etkiler (Douglas vd., 1997). Genlik oranına bağlı yapılan işaretlemeler yanıltıcı olabilir. Çünkü düşük genlik oranlarında

işaretlenen ilk varışlar genlik artırıldığında geç zamanlarda kalmakta ve bu zamanların öncesinde de bazı varışlar gözlenebilmektedir (Şekil 2).

İşaretleme yapılan zaman eksenin ve imlecin hassasiyeti de el ile yapılan işaretlemelerde bir diğer sorundur. Şekil 3' de zaman ekseninin varsayılan ayarında olması durumunda yapılan ilk varış işaretlemelerinin, zaman ekseninin genişletilmesi sonrasındaki durumu gösterilmiştir. Zaman ekseninin genişletilmesi ile, varsayılan ayarlarda yapılan işaretlemelerin mevcut ilk varışlardan sonraki zamanları temsil ettiği açıktır (Şekil 3a ve 3b). Zaman ekseninin daraltılması ise, izleri sıkıştırdığı için her ne kadar izlerin çözünürlüğünü artırıyor gibi görünse de, zaman ekseninin örnekleme aralığını yükselttiğinden, yani işaretleme imlecinin hassasiyetini düşürdüğünden, işaretlemelerin doğruluğunu önemli derecede düşürecektir (Şekil 3c).



Şekil 3. Bir sismik kırılma verisi için farklı zaman eksen ayarlarında yapılan ilk varış işaretlemeleri. (a) varsayılan eksen ayarlarında yapılan işaretlemeler, (b) bu ilk varışların, zaman ekseninin genişletilmesi sonrasındaki görünümü, (c) zaman ekseninin daraltılmasından sonra yapılan ilk varış işaretlemeleri

Figure 3. The picking first arrivals in setting of different time axis for a seismic refraction data. (a) picking in default axis, (b) imaging after extending of times axis for the first breaks, (c) picking after narrowing of time axis

Zaman ekseninin varsayılan ayarı ve daraltılmış durumu için yapılan ilk varış işaretlemeleri Tablo 1' de karşılaştırılmıştır. Zaman farklarının küçük olduğu düşünülse de, bu tür küçük zaman farklarının verilerin değerlendirilmesinde ne gibi farklar yaratacağı ilerleyen bölümlerdeki sismik tomografi çözümlerinde gösterilmiştir.

Alıcı (m)	Şekil 3a (ms)	Şekil 3c (ms)
2	5.3333	6.6667
4	11.2593	10.0000
6	13.3333	13.3333
8	14.2222	13.3333
10	15.7037	15.3333
12	14.2963	16.6667
14	18.6667	18.6667
16	20.1481	20.0000
18	20.1481	20.0000
20	21.6296	22.0000
22	22.2222	22.0000
24	23.7037	23.3333

Tablo 1. Şekil 3a ve 3c' deki ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.

Table 1. Comparison of first arrival times obtaining from Figure 3a and 3c

Yukarıda bahsedilen tüm etkenler, sismik kırılma verilerinde ilk varış işaretlemelerinin bir "Görüntü" üzerinden "Tıklama-İşaretleme" ile yapılması durumunda karşımıza çıkmaktadır. Tüm bu etkenlerden bağımsız bir ilk varış işaretlemesinin yapılması ancak ilk varış zamanlarının, sismik verinin gürültülü veya gürültüsüz durumunda, doğrudan sayısal genlik değerleri üzerinden, matematiksel ilkeler ve yaklaşımlar yoluyla elde edilmesi ile aşılabılır. Bu, ilk varış zamanlarının daha hassas ve güvenilir olarak belirlenmesini sağlayacaktır.

YÖNTEM

Geliştirilen yöntemin temelleri geleneksel çapraz ilişki işlemine dayanmaktadır. Bilindiği gibi bir zaman serisinin diğer bir zaman serisine benzerliğinin veya bağımsızlığının ölçüsünü, τ zaman kayması (gecikme-
lag) değerinin fonksiyonu olarak temsil eden işleme

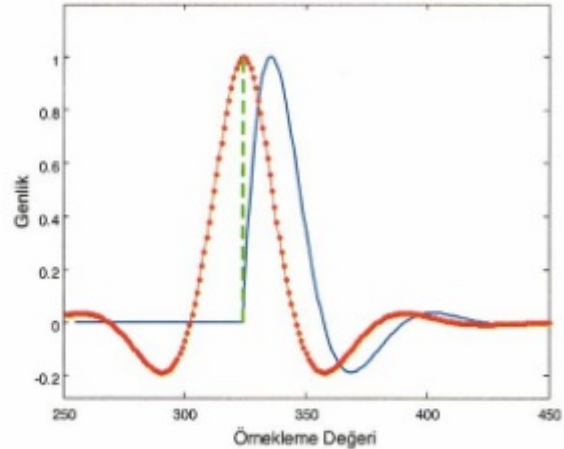
çapraz ilişki denir. Ayrık veriler için genel çapraz ilişki işlemi Denklem (1)' de gösterilmiştir.

$$R_{rw}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{+\infty} r_t \cdot w_{t+\tau} \quad (1)$$

Bir çapraz ilişki işleminin gerçekleşmesi için, iki değişkenin, veri ile kaynak fonksiyonun bilinmesi gerekmektedir. Sismik kırılma verisi doğrusal sistem olarak modellenirse, sistemin girişi; kaynak dalgacığını, sistem; tabakalı ortamı ve çıkışı; sismik kırılma verisini gösterir. Bu doğrusal sistem modeline göre oluşan sismik veri, veriyi oluşturan kaynak dalgacığını içinde barındırır. Dolayısıyla, kaynak dalgacığı ile sismik veri, ilişki işlemine tabi tutulduğunda ilişki fonksiyonu, veri içerisinde kaynak ile aynı ya da benzer olduğu örnekleme değerlerinde maksimum ilişki değeri verir. Bu maksimum ilişki değerinin bulunduğu örnekleme değerinin denk geldiği zaman değeri ise, ilk varış zamanını gösterir.

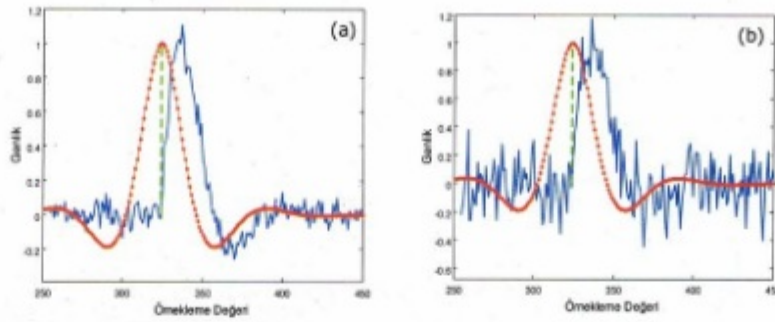
Yöntem, Şekil 4' de örnek bir sinyal üzerinde uygulanmıştır. Gürültüsüz bir yer altı modelinden elde edilen sismik izin (mavi çizgi), kaynak fonksiyonu ile çapraz ilişkisinden oluşan ilişki fonksiyonu değerlerinin (kırmızı çizgi) maksimum noktasına denk gelen örnekleme değeri, sismik iz üzerinde işaretlendiğinde (yeşil kesik çizgi), izin ilk varış noktasına karşılık geldiği (324. örnekleme değeri) görülmektedir.

Çapraz ilişki işleminin, ilk varış işaretlemesinde kullanılmasının en önemli nedenlerinden biri, işlemin rasgele gürültülerden etkilenmemesidir. Tekniğin bu özelliği, Şekil 4' deki kullanılan sinyale %5 ve %15' lik rasgele gürültü eklenerek tekrarlanan işlemle sırasıyla Şekil 5a ve Şekil 6b' de gösterilmiştir. Her iki durumda da elde edilen ilk varış noktaları aynıdır (324. örnekleme değeri).



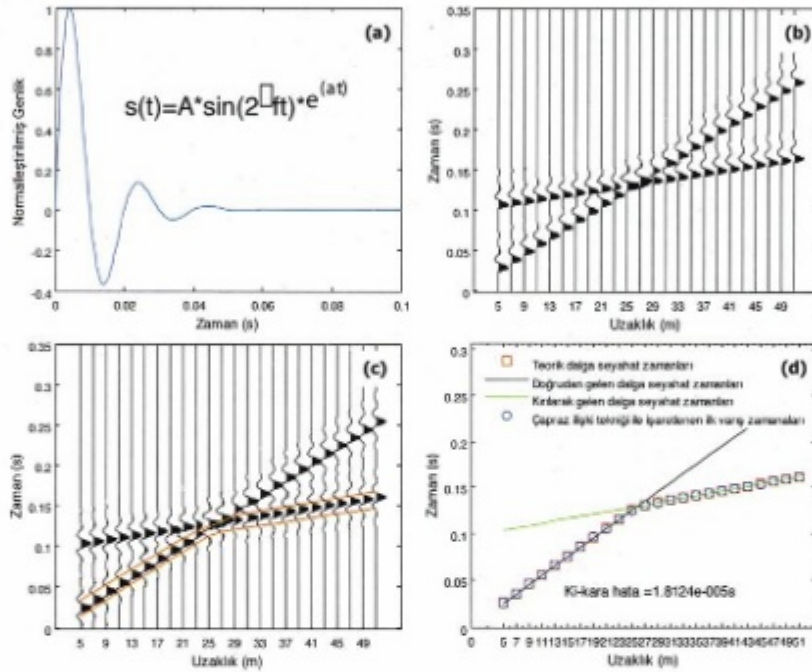
Şekil 4. Örnek bir sismik iz üzerinde çapraz ilişki yönteminin uygulanması

Figure 4. An application of cross-correlation technique for a example signal



Şekil 5. Gürültülü bir sinyal üzerinde çapraz ilişki yöntemi uygulaması. (a) %5, (b) %15 rasgele gürültülü durumlar.

Figure 5. An application of cross-correlation technique for a random noisy signal. The cases for (a) 5%, (b) 15%.



Şekil 6. Yatay iki tabakalı basit sismik kırılma modellemesi. (a) minimum fazlı kaynak dalgacık, (b) hesaplanan sentetik kırılma verisi, (c) elde edilen çapraz ilişki kesiti, (d) teorik (kırmızı kare) ve çapraz ilişki yöntemi ile yarı otomatik (mavi daire) olarak elde edilen ilk varış zamanlarının karşılaştırılması.

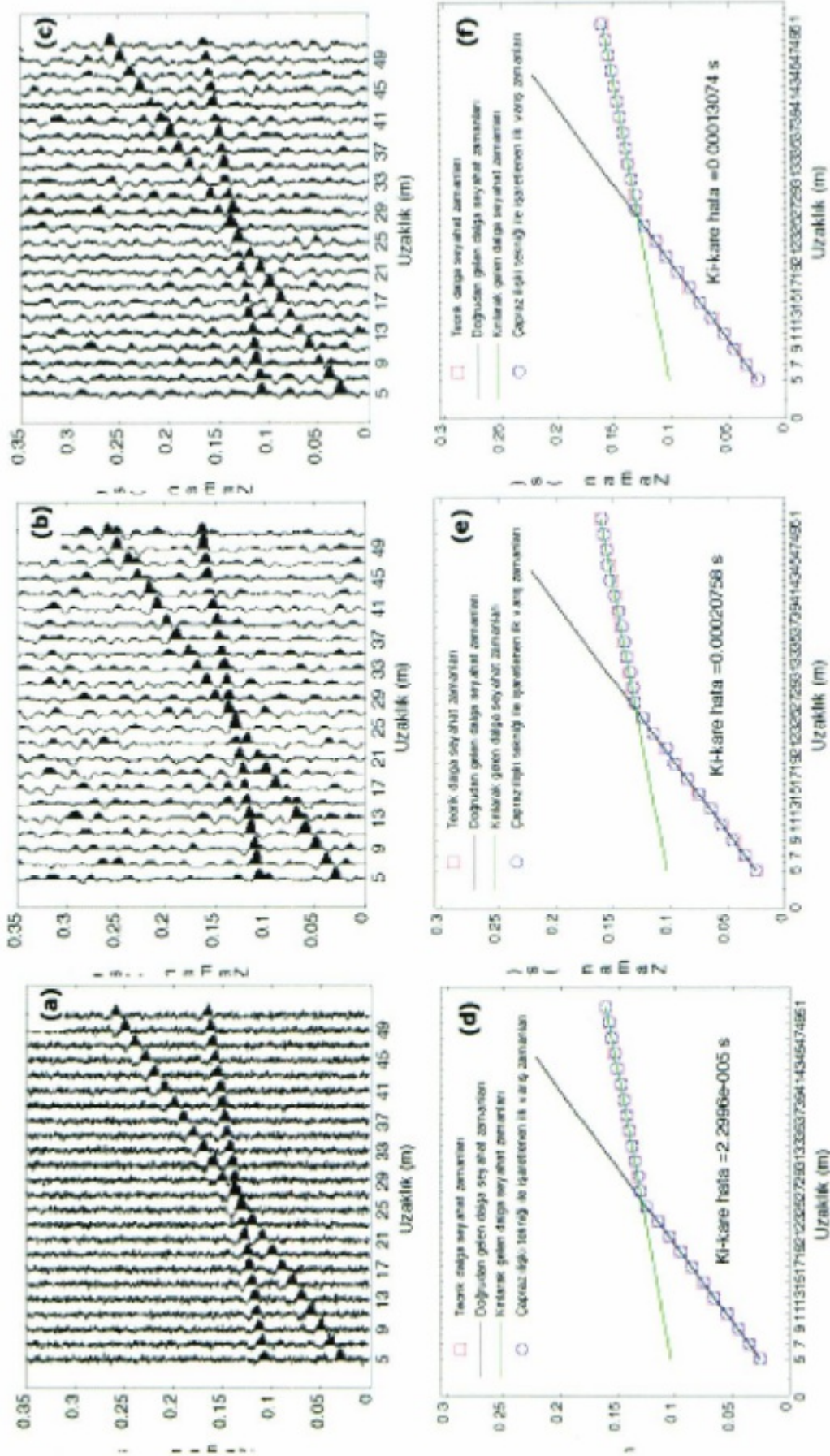
Figure 6. Seismic refraction modelling for basic two layers. (a) minimum phase source wavelet, (b) calculated synthetic refraction data, (c) obtained cross-correlation section, (d) Comparison of first arrivals times obtained from theoretical (red square) and semi-automatically cross-correlation technique (blue circle).

YAPAY UYGULAMALAR

Yöntem ilk olarak yatay iki tabakalı bir modelden elde edilen yapay sismik kırılma verilerine uygulanmıştır. Kullanılan modelde alıcı sayısı 24, kaynak offseti, alıcı aralığı ve kalınlık sırasıyla 5m, 2m ve 10m, tabaka hızları ise 200m/s ve 800m/s dir. Bu aşamada yapay sismik kırılma verisi, belirlenen kayıt süresi boyunca, yatay iki tabakalı hız modeli için hesaplanan dalga seyahat zamanlarına denk gelen zaman örnekleme değerlerine bir iğnecik atanması ve oluşturulan iğnecik serisinin minimum fazlı karaktere sahip değiştirilmiş bir sinüs dalgası (Şekil 6a) ile konvolüsyonu ile elde edilmiştir.

Şekil 6c' de, sentetik kırılma verisi (Şekil 6b) ile

kaynak dalgasının (Şekil 6a) çapraz ilişkisinden elde edilen ilişki kesiti görülmektedir. İlişki kesiti üzerinde ilk varış zamanlarının elde edilmesi için yapılması gereken tek işlem, kesit üzerinde ilk varış zamanının aranmasını istediğimiz alanın belirlenmesidir. Bu alanın manuel olarak belirlenmesinin nedeni, gerçek bir arazi verisi için hesaplanan ilişki fonksiyonunda birden fazla maksimum ilişki değeri olabileceğinden dolayı, yanıltıcı işaretlemeler yapılma olasılığıdır. Çapraz ilişki işlemi ile elde edilen ilk varış zamanları, teorik dalga seyahat zamanları ile karşılaştırıldığında iki verinin neredeyse aynı olduğu görülmektedir (Şekil 6d). İki veri arasındaki bu uyum Ki-Kare hata değeri (%95 güven aralığı) ile doğrulanmıştır.



Şekil 7. Çapraz ilişki yönteminin gürültülü sentetik verilere uygulanması. (a) %20 rasgele gürültülü, (b) %0.1 uyumlu arka plan gürültülü, (c) karma gürültülü veri. (d), (e) ve (f) sırasıyla rasgele, uyumlu ve karma gürültülü veriler için çapraz ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanlarının teorik ilk varış zamanları ile karşılaştırılması.

Figure 7. An application of cross-correlation technique to noisy synthetic data. Synthetic models with (a) 20% random noise, (b) 0.1% coherent noise, (c) mixed noise. Comparison of first arrival times obtained by cross-correlation technique with theoretical ones for (d) random, (e) coherent and (f) mixed noisy data, respectively.

Çapraz ilişki yöntemi daha sonra gürültü içeren yapay verilere uygulanmıştır. Bu modellerde 3 farklı gürültü tipi kullanılmıştır. Modeller sırasıyla rasgele gürültü (%20), uyumlu arka plan gürültüsü (%0.1) ve karma gürültü (%20 rasgele, %0.1 uyumlu gürültü) içermektedir.

Gürültülü veriler için çapraz ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ve teorik dalga zamanları ile karşılaştırmaları Şekil 7' de gösterilmiştir. Elde edilen hata miktarları yöntemin saha verilerinde kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

SAHA VERİSİ UYGULAMALARI

Modelleme çalışmalarında başarılı şekilde çalışan yöntem, farklı sahalardan elde edilmiş, farklı karakterdeki saha verileri üzerinde sınamıştır. Saha çalışmalarından elde edilen verilerin değerlendirilmesi sırasında karşılaşılabilecek sorunlardan biri polarite dönmesi sorunudur. Eğer profil boyunca ilk varış karakteristiği normal polariteden ters polariteye dönerse ilişki kesitinde pozitif maksimum ilişki değerleri yerine, negatif maksimumlar görülür. Bu sorun işaretlemenin otomatik olarak yapılması sırasında sorun yaratabilir. Bu nedenle algoritma, seçilen alan içerisindeki genliklerin mutlak değerleri üzerinde işlem yapacak şekilde tasarlanmıştır. Dolayısıyla bir ilişki değerinin negatif veya pozitif maksimum değer olması işaretlemenin yerini değiştirmeyecektir.

Bir diğer önemli sorun geleneksel sismik kırılma yöntemlerinde genellikle balyoz ve ağırlık düşürme gibi kontrolsüz kaynak kullanılmasıdır. Denklem (1)' de ve yapay verilere uygulamalarda görüldüğü gibi çapraz ilişki işleminin gerçekleşmesi için bir kaynak fonksiyonuna ihtiyaç vardır. Ancak bilinmektedir ki, sismik yöntemlerde kontrolsüz kaynak kullanılarak elde edilen minimum fazlı kaynak fonksiyonunun dalga formu ve frekans içeriği birçok dış etkene bağlı olarak atıştan atışa değişmektedir. Dolayısıyla ilk varış işaretlemesi sırasında sabit bir kaynak fonksiyonu yerine veriden veriye değişen, o verinin karakterini taşıyan bir kaynak fonksiyonu kullanılması gerekir. Bu sorun, her saha verisinden, o veriyi toplamada kullanılan özgün kaynak fonksiyonunun kestirilmesiyle aşılmaya çalışılmıştır. Bu aşamada, kaynak fonksiyonunun kestirilmesinde 3 farklı yol izlenmiştir;

1. Kırılma kaydının S/G oranı yüksek bir kanalı üzerinde ilk varışlar bölgesindeki bir dalga şekli,
2. Yuvarlatılmış ortalama güç spektrumundan ters Fourier dönüşümü ile kestirilen minimum fazlı dalgacık ve
3. Kaynağı temsil eden uygun bir matematiksel operatör.

Bu 3 seçenekten hangisinin kullanılacağı sahadan toplanan sismik kırılma verisinin içeriğine ve ilk varış işaretlemesinin yapılabilme kolaylığına bağlıdır. Genel olarak deneyimlerimiz göstermiştir ki, sismik kırılma verileri gürültü içeriklerine göre 4 gruba ayrılabilirler;

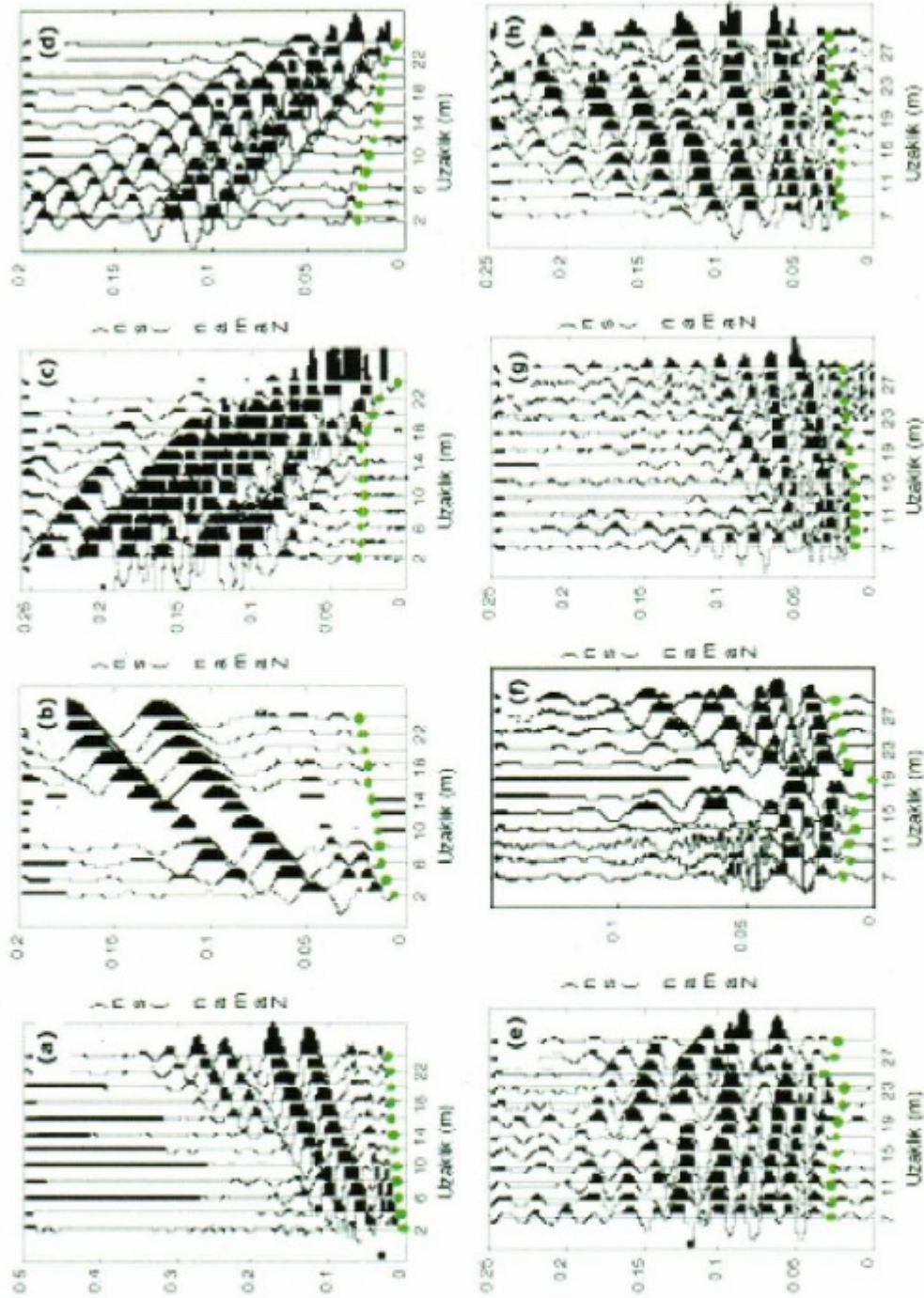
- (a) tüm kanallarında neredeyse gürültüsüz kayıtlar içeren ve ilk varışların net olarak görülebildiği kayıtlar,
- (b) baskın olarak yüksek frekanslı uyumsuz gürültüler içeren kayıtlar,
- (c) dalga formlarının çoğu alıcıda bozulduğu, kayıt ortamında bilinmeyen birçok yer altı ve yer üstü gürültü faktörünün bulunduğu kayıtlar,
- (d) uyumlu ve uyumsuz gürültülerin birlikte bulunduğu, S/N düşük, ilk varış işaretlemesinin neredeyse yapılamaz olduğu kayıtlar.

Saha verileri üzerinde yapılan çalışmalarda (a) türündeki verilerde çapraz ilişki işleminde kullanılacak olan kaynak fonksiyon, verinin S/G oranı yüksek herhangi bir kanalı üzerinden rahatlıkla yapılabilmiştir (Şekil 8a ve 8b). (b) verileri için kaynak fonksiyonu kestiriminin, yuvarlatılmış ortalama güç spektrumundan yapılmasının ideal olduğu görülmüştür (Şekil 8c ve 8d). (c) ve (d) grubundaki verilerde ise, frekansı verinin merkez frekansına göre değiştirilen matematiksel operatör seçimi iyi sonuçlar vermiştir (Şekil 8e-8h). Kullanılacak matematiksel operatör, veri toplamada kullanılan kaynağa en uygun şekilde seçilmelidir. Bu çalışmada matematiksel operatör, sentetik uygulamalarda da kullanılan, Sinüs dalgasının zaman bağımlı bir üstel fonksiyon ile çarpımından yararlanılarak oluşturulmuş minimum fazlı bir dalgacıktır. Her veri için kullanılan dalgacık formları, Şekil 9' da gösterilmiştir.

İLK VARİŞ ZAMANI OKUMA DUYARLILIĞININ İRDELENMESİ

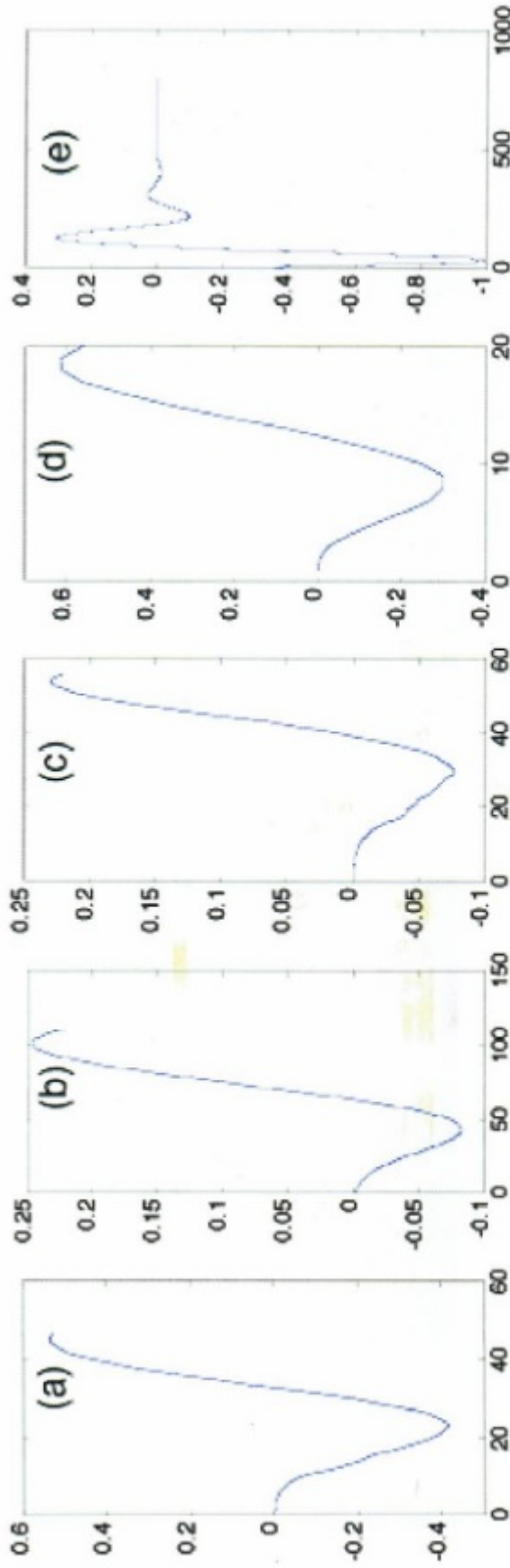
Sismik kırılma verilerinde ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları ile el ile işaretlenen ilk varış zamanlarının arasındaki farkların her ne kadar küçük olacağı düşünülse de, bu farklar kırılma verilerinin değerlendirilmesinde büyük farklar yaratabilir. Bu farkların etkilerini göstermek adına farklı sahalardan toplanan veriler için geleneksel ve çapraz ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanları kırılma tomografisi ile değerlendirilmiştir. Kırılma tomografisi yöntemi, günümüzde yaygın olarak kullanılan, yanal ayrılmılığı yüksek ve ilk varış zamanlarındaki değişimlere duyarlı bir yöntemdir.

Şekil 10'da 5 atışlı bir sismik kırılma verisinin geleneksel (manuel) ve çapraz ilişki yöntemi ile işaretlenen ilk varışları için kırılma tomografisi sonuçları gösterilmiştir. Verilerin tomografi çözümü sırasında kullanılan tüm ters çözüm parametreleri aynıdır ve iki veri grubu arasındaki ortalama zaman farkı ± 1.24 ms dir (Şekil 10a). Geleneksel işaretleme ile çapraz ilişki yöntemi arasındaki bu küçük zaman farkının tomografi sonuç hız alan kesitinde büyük farklar yarattığı görülmektedir. İki kesit arasındaki en önemli fark, yanal ayrılmılığın çapraz ilişki yöntemi ile işaretlenen ilk varış zamanı verilerinin tomografi sonucunda arttığıdır ve ara yüzey sınırlarının değişimi göze çarpmaktadır (Şekil 10a-10b).



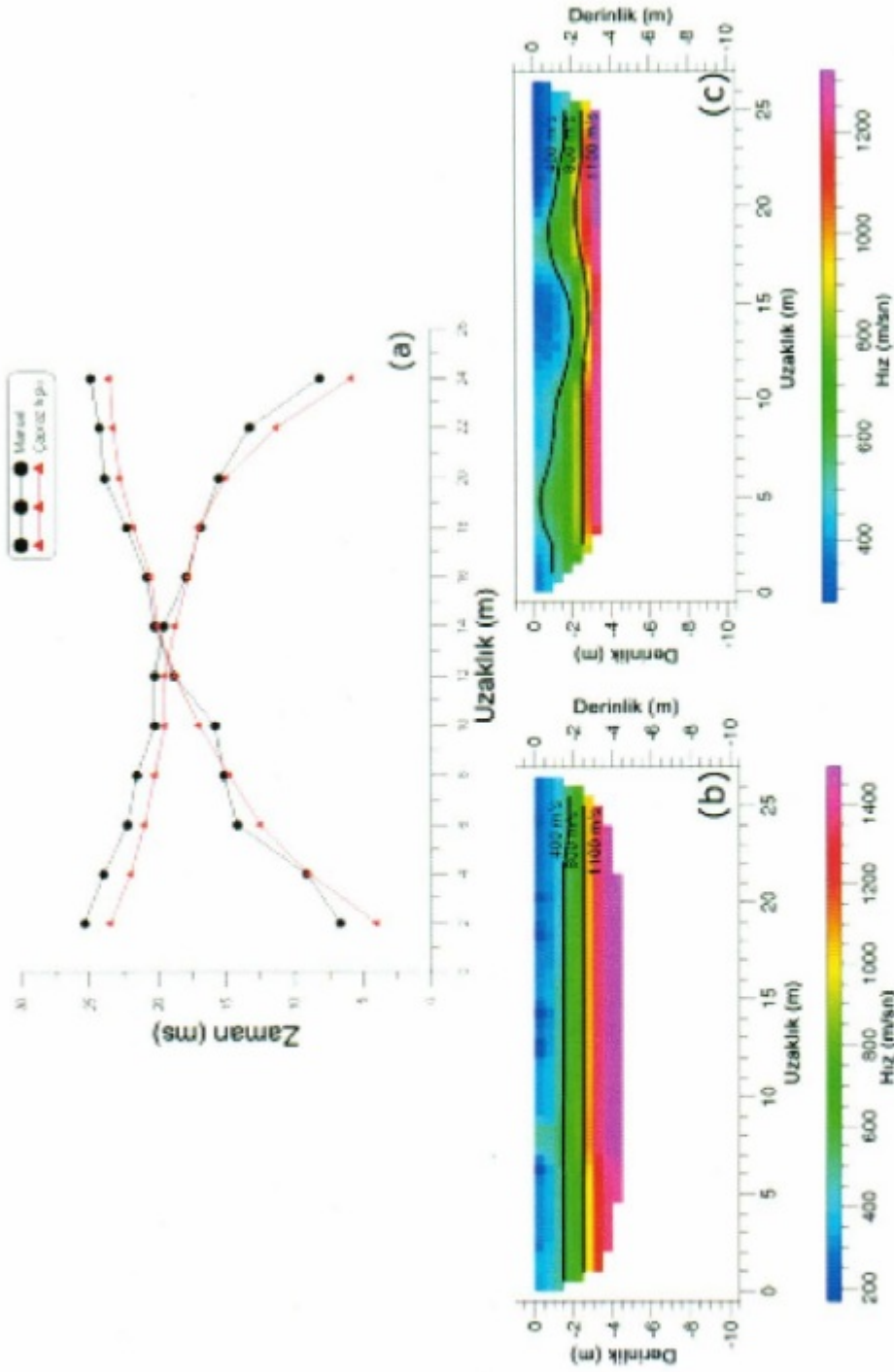
Şekil 8. Çapraz ilişki yönteminin farklı gürültü içeriği ve dalga formlarına sahip saha verilerine uygulaması. Yeşil renkli noktalar yarı otomatik olarak belirlenen ilk varışlar zamanlarını göstermektedir. (a, b) gürültülü, (c, d) az miktarda rasgele gürültü, (e, f) ilk varış okuma bölgesinde bozuk dalga formu (uyumlu gürültü), (g, h) ilk varış zaman okumasının çok zor olduğu kayıtlar.

Figure 8. An application of cross-correlation technique to data having different noise content and wave form. Green points show first arrival time obtained by semi-automatic. (a, b) noiseless, (c, d) little random noise, (e, f) distorted wave form in the first arrival region (coherent noise), (g, h) very difficult to pick first arrival times.



Şekil 9. Çapraz ilişki yönteminin saha verilerine uygulanış sırasında verinin gürültü içeriğine bağlı olarak belirlenen kaynak dalgacıkları. (a, b) sırasıyla Şekil 8a ve 8b için verinin S/G oranı yüksek bir kanalı üzerinden, (c, d) sırasıyla Şekil 8c ve 8d için yuvarlatılmış güç spektrumundan, (e) Şekil 8e-8h için verinin toplannması sırasında sahada kullanılan kaynağın karakterine uygun matematiksel operatör.

Figure 9. Source wavelets, which are used on cross-correlation process of field data, are determined depending on noise content of data. (a, b) determined on a trace with high S/N proportion for respectively Figure 8a and 8b, (c, d) from smooth spectrum of data for respectively Figure 8c and 8d, (e) compatible mathematical operator with source of field the data for Figure 8e-8h



Şekil 10. Bir sismik kırılma verisi için (a) hat başı ve hat sonu ilk varış zamanlarının, (b) geleneksel ve (c) çapraz ilişki yöntemi ile elde edilen ilk varış zamanlarının kırılma tomografisi sonuçlarının karşılaştırması.

Figure 10. Comparison of first breaks and tomography results for first arrival times picking from field refraction data. (a) front and back line shots first breaks, (b) for traditionally first arrival time picking, (c) for cross-correlation technique.

SONUÇLAR

Bu çalışmada çapraz ilişki işlemi, yeni bir teknik olarak, sismik kırılma verilerinde ilk varış işaretlemelerinde kullanılmıştır. Teknik gürültülü ve gürültüsüz, yapay ve gerçek saha verileri üzerinde test edilmiştir. Geliştirilen teknik ile ilk varış işaretlemesinin her alıcıda birbirinden bağımsız olarak yapılması, işaretleme sırasında yapılabilecek hatalı dalga trendi takibini önlemiş ve ilk varışların herhangi bir göz yanılmasından bağımsız yapılmasını sağlamıştır. Ayrıca ilişki işleminin doğasından gelen rasgele, uyumsuz gürültülerden etkilenmemesi özelliği, gürültülü saha verilerinde ilk varış işaretlemelerin daha hassas, güvenilir ve hızlı yapılmasını sağlamıştır. Yöntem ile yapılan işaretlemeler doğrudan genlik değerleri üzerinden yarı otomatik olarak yapıldığından, ilk varış zamanlarının kullanıcıya bağımlılığı azaltılmış ve matematiksel ilişkilere bağlı hale gelmiştir. Yapılan uygulamalarda kaynak dalgacığının en doğru şekilde kestirilmesinin yöntemin başarısını doğrudan etkilediği görülmüştür. Tüm bu etkenler göz önüne alındığında çapraz ilişki yönteminin geleneksel işaretleme yöntemlerinden daha iyi bir performans gösterdiği söylenebilir. Ayrıca ilişki yöntemi ile yapılan işaretlemeler ile manuel olarak yapılan işaretlemeler arasındaki çok küçük zaman farklarının, kırılma tomografisi sonuç hız kesitlerindeki etkisi göz ardı edilmeyecek orandadır. Günümüzde araştırmaların çözünürlüğünün devamlı arttığı ve yanal değişimlerin daha fazla irdelendiği düşünüldüğünde bu değişimler verinin değerlendirilmesinde belirgin farklar yaratabilir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje kod no: 2009.112.007.2).

KAYNAKLAR

- Yılmaz, O., [2001] Seismic Data Analysis: Processing, inversion, and interpretation of seismic data. Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Sabbione, J. I. ve Velis, D. [2010] Automatic first-breaks picking: New Strategies and Algorithms. *Geophysics*, 75, V67-V76.
- Peraldi, R., ve Clement, A. [1972] Digital Processing of Refraction data: Study of First Arrivals. *Geophysical Prospecting*, 20, 529-548.
- Gelchinsky, B. T. ve Shtivelman, V. [1983] Automatic Picking of First Arrivals and Parameterization of Traveltime Curve. *Geophysical Prospecting*, 31, 915-928.
- Ervin, C. P., McGinnis, L. D., Otis, R. M. ve Hall, M. L. [1983] Automated Analysis of Marine Refraction Data: a Computer Algorithm. *Geophysics*, 48, 582-589.
- Gu, H., Zhou, H. ve Zhang, X. [1992] Automatic Pick of First Arrival Time. *Geophysical & Geochemical Exploration*, 16, 120-129.
- Murat, M., ve Rudman, A. [1992] Automated First Arrival Picking: a Neural Network Approach. *Geophysical Prospecting*, 40, 587-604.
- Kusuma, T. ve Fish, B. C., 1993. Toward More Robust Neural-Network First Break and Horizon Pickers, 63rd meeting of the Society of Exploration Geophysics.
- Boschetti, F., Dentith, M.D. ve List, R.D., 1996. A Fractal-Based Algorithm for Detecting First Arrivals on Seismic Traces, *Geophysics*, 61, 4, 1095-1102.
- Yung, S. K. ve Ikelle, L. T., 1997. An Example of Seismic Time Picking by Third-Order Bicoherence, *Geophysics*, 62, 6, 1947-1951.
- Leung, M. T., 2003. Controls of Traveltime Data and Problems Of The Generalized Reciprocal Method, *Geophysics*, 68, 5, 1626-1632.
- Hatherly, P. J., 1982. A Computer Method for Determining Seismic First Arrival Times, *Geophysics*, vol.47(10), pp.1431-1436.

HAYDARLI BARAJ ALANININ ELEKTRİK ÖZDİRENÇ VE JEOLOJİK ÖZELLİKLERİ

Properties of the Electrical Resistivity and Geology of the Haydarli Dam Area

Osman UYANIK^{1*}, Olcay ÇAKMAK², Elif ALGÜL¹, Mustafa GÜRBÜZ³, Ali OKUMUŞ³

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, MMF Jeofizik M. Bl. Isparta (*osmanuyanik@sdu.edu.tr)

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Deprem ve Jeoteknik Arş. Merkezi Isparta

³Devlet Su İşleri XVIII. Bölge Müdürlüğü Isparta

ÖZET

Jeofizik yöntemler bir baraj alanındaki jeolojik yapının araştırılması gibi jeolojik, jeoteknik, mühendislik ve çevre problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, Haydarlı Baraj Alanında (Dinar/Afyonkarahisar) yeralan aglomera, pekişmiş kil aralanmaları ve Kuvarterner alüvyondan oluşan Pliosen depozitlerinin yanıl ve düşey yöndeki yayılımlarının araştırılması için bir elektrik öz direnç tomografi çalışması gerçekleştirilmiştir. Elektrik öz direnç verisi, 14 profilde Wenner-Schlumberger elektrot dizilimi ile toplanmış ve tomografik ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir. 40 m derinliğe kadar jeolojik birimlerin ayrımlılığı elektrik öz direnç görüntüleri ile açıkça ortaya konmuş ve sonuçlar mekanik sondaj çalışmalarıyla da karşılaştırılmıştır. Ayrıca, KD-GB ve K-G yönelimli iki fay belirlenmiştir. KD-GB yönünde belirlenen fayın güneyinde kalan aglomera biriminde geçirgenlik problemi vardır. Sonuç olarak, söz konusu aglomera biriminin geçirgenlik özelliklerinin basınçlı su testleriyle belirlenmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Baraj, Jeoloji, Doğru akım öz direnç, Mekanik sondaj, Aglomera, Dinar

ABSTRACT

Geophysical methods are commonly used to solve geological, geotechnical, engineering and environmental problems such as investigation of the geological setting in the area of a dam foundation. In this study, an electrical resistivity tomography survey was performed to investigate extensions in the vertical and lateral directions of Pliocene deposits consisted of alternating Agglomerate, consolidated clay and Quaternary alluvium of Haydarlı Dam area (Dinar/Afyonkarahisar). The resistivity data were acquired along 14 profiles by a Wenner-Schlumberger electrode array and were processed by a tomographic inversion technique. Geologic units up to a depth of 40 m were clearly revealed by the electrical resistivity imaging and the results were also compared to the data from several wells. In addition, two faults oriented NE-SW and N-S, respectively were determined. There is a permeability problem in the agglomerate unit located at south of the NE-SW-trending fault. It is therefore suggested that permeability properties of the so-called agglomerate unit should be determined using pressure water tests.

Key Words: Dam, Geology, Direct Current Resistivity, Wells, Agglomerate, Dinar

GİRİŞ

Son yıllarda hızla artan su ihtiyacının karşılanması ve sellemeler sonucunda meydana gelen zararların önlenmesi amacı ile yapay göl alanları önem kazanmıştır. Ülkemizde büyük rezervuar alanı olan barajların yanı sıra düşük debili dere ve çaylar üzerine kurulan bentler ile oluşan göl alanları hem taşkın önleme hem de sulama amaçlı olarak ekonomiye katkı sağlamaktadırlar (Uyanık vd. 2004; 2007). Ayrıca yeterli debi ve düşünün olması durumunda elektrik enerjisi de üretilebilmektedir. Bozcu vd. (2007)'de nehir santrallerinin, daha ucuz ve kısa sürede elektrik enerjisi elde etmeye uygun olması ve doğal çevreyi bozmadan üretime katılmaları gibi nedenlerle tercih edildiklerini vurgulamışlardır.

Elektrik özdirenç yöntemi baraj alanlarında jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımını belirlemede etkili bir yöntemdir. Ayrıca yer altındaki yapıların konumlarını, uzanımlarını, kırık çatlak sistemlerini belirlemede kullanışlı bir yöntem olup baraj alanlarında araştırmacılar tarafından etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Johanson ve Dahlin 1996; Savvadis vd. 1999; Titov vd. 2000; Uyanık vd. 2004; Song vd. 2005; Sjödaahl vd. 2005; Uyanık ve Türker 2007; Bozcu vd. 2007; Johanson vd. 2007; Al-Zoubi, vd. 2007; Uyanık vd. 2007). Savvadis vd. (1999), Yunanistan'da Krousovitis baraj alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek için sismik kırılma ve elektrik özdirenç yöntemlerini kullanmışlardır. Elektrik özdirenç çalışmaları sonucunda barajın sol sahilinde yüzeyde gözlenemeyen bir fayı ortaya çıkarmışlardır. Sismik ve elektrik çalışmaları ile baraj alanındaki yamaç molozunun kalınlığını ve fay sınırını başarıyla tespit etmişlerdir. Bu çalışmaları 4 adet mekanik sondaj yaparak denetlemişlerdir (Algül, 2011). Kiremitçiöğlu (1998), Cine barajında rezervuar alanı, enerji tünel güzergahı ve cebro boru güzergahında elektrik özdirenç yöntemi kullanarak çalışmıştır. Sonuçta Kiremitçiöğlu'nun uyguladığı elektrik özdirenç yöntemi kazı çalışması boyunca karşılaşılabilecek zorlukları önceden kestirmede yardımcı olmuştur. Zemin veya kaya ortamlarda özdirenç değerleri, bu ortamların içerisindeki kil, gözeneklilik ve doygunluk gibi özelliklere bağlıdır (Palacky 1987; Ward 1990). Düşey elektrik sondaj araştırmaları için çok elektrotlu ölçü sistemi Barker (1981) tarafından yayınlanmıştır. Daha sonra 1985 yılında Griffiths ve Turnbull tarafından çok elektrotlu dizilimin ayrıntıları üretilmiştir (Griffiths vd. 1990). Çok elektrotlu ölçü sistemi Van Overmeeren ve Ritsema (1988) tarafından hidrojeolojik uygulamalar ve Noel ve Walker (1990) da arkeolojik araştırmalar için geliştirilmiştir. Çok elektrotlu ölçü sistemi ile Griffiths vd. (1996) ve Dahlin (1996) de çalışmalar yapmıştır.

Afyonkarahisar ili Dinar ilçesine bağlı Haydarlı Kasabası arazisinden geçen Avşar Çayı üzerinde DSİ tarafından Haydarlı Barajının yapılması düşünülmektedir. Avşar Çayı bent alanının yakınında 1325m kotundadır. Bent alanının yüksekliği yaklaşık olarak 25-30m düşünülmektedir. Göl alanı su tutmaya

başladığında su 1350m kotundaki jeolojik birimlere temas edecektir. Haydarlı barajının amacı, ani yağışlar ile sele neden olan Avşar çayının feyzan sularını bir göl alanında toplayarak hem taşkın önleme hem de biriken suyu sulama ve elektrik üretimi için kullanmaktır. Bu amaç ile bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası Okumuş (2009) tarafından hazırlanmıştır (Şekil 1). Buna ek olarak Haydarlı barajının genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada Haydarlı Baraj sahasındaki jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımının ortaya konulması amacıyla jeofizik yöntemlerden elektrik özdirenç profil çalışmaları uygulanarak, alüvyon kalınlığı ve bununla birlikte aglomera ve türevlerinin yanal ve düşey yöndeki değişimi, yeraltı suyunun durumu ve örtülü fayların yerlerinin belirlenmesi bunlara bağlı olarak yeraltı yapısının aydınlatılmasına çalışılmıştır. Baraj gövdesinin oturacağı alanda ve göl alanında yapılan jeofizik yöntemlerden elde edilen 2 boyutlu elektrik özdirenç kesitlerin yorumlanması ve denetlenmesi amacıyla mekanik sondajlar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimi çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışması ile ortaya konmuştur. Ek olarak KD-GB doğrultusunda bir fay belirlenmiştir.

GENEL JEOLÖJİ

Çalışma alanında allokton, otokton, Pliyosen depozitleri ve Kuvaterner alüvyon birimlerin yüzeylenmesi vardır (Şekil 1).

Allokton birimler

Çalışma sahasımızda Alıçlı sırtı ile Kaya sivrisi tepede geniş yüzeylenmesi olan ince, orta tabakalı, çoğu breşik yapılı, yer yer crime boşluklu, kalsit dolgulu ve bol kırılmalı, şeker dokulu kireçtaşı boz, bejimsi olup çok az dolomitleşme gözlenmektedir (gaz kokuludur). Bu kristalize ve dolomitize kireçtaşı Triyas yaşındadır. Tektonizma etkisi ile çoğu kristalize olan bu birimin üstüne Üst Kretase kireçtaşı ve Paleosen-Eosen konglomera şarye (bindirme) ile ve Pliyosen depozitleri uyumsuz olarak gelmektedir. Triyas yaşlı birimin altında ofiyolitik oluşuklar vardır. Bu birimin altında bölgeye geliş yaşı Miyosen olan ofiyolit ve radyolaritler gözlenmemektedir. Üst birimlerinde ise yukarıda da bahsedildiği gibi Pliyosen oluşukları (uyumsuz olarak) vardır (Okumuş 2009).

Ofiyolit- radyolarit (Of- rd): Tektonizma sonucu derin denizel oluşuk olan bazik, ultra bazik magmatik kayalar olup içerisinde değişik boyutta kaya birimlerini bulundurmaktadır. Genelde yeşil, bordo ve siyahımsı rengin hakim olduğu bazik, ultra bazik kayaların karışımından meydana gelmiştir. Ofiyolit, şiddetli tektonik hareketlerle melanaj topluluğu haline dönüşmüştür. Ofiyolit ve radyolaritler Miyosen sonunda bölgeye gelip

yerleşmiştir. Fakat bölgeye gelmeden önce oluşmuştur. Kendilerinden yaşlı bütün birimleri hem ötelemişler hem de örtmüşlerdir. Bu karmaşığın içinde irili ufaklı pembemsi rengin hakim olduğu kireçtaşı blokları vardır (Okumuş 2009).

Otokton birimler

Üst Kretase (Krü) : Çörtlü, tabakalı, bol kırıklı kireçtaşları, çalışma sahasında Karacan ve Kızılınüstü tepelerinde ve Camkayaları ile Uzunyayla sırtlarında gözlenmektedir. Sarımsı, grimsi, bej, beyaz renkli olup ince, orta tabakalı, bazı seviyelerinde yoğun çört bantlı, kırığan, pelajik kireçtaşının kalınlığı değişkenlik sunmaktadır (Okumuş 2009).

Paleosen- Eosen (Pa-e) : Kilitaşı, kumtaşı, marn, konglomera araldanması olan birim, altta bozumsu, sarı kilitaşı ile başlar. Çoğu Üst Kretase çakıllı, seyrek olarak ofiyolit – radyolarit materyelli kumtaşı ve yeşil marn ile devam eder. Üst seviyelerde ise iyi yuvarlanmış, sıkı karbonat çimentolu konglomeralar ile son bulur. Kilitaşı, kumtaşı, marnların en iyi gözlemlendiği yer İn pınarının kuzeyindeki yol kenarıdır. Konglomera ise Sandıklı-Haydarlı yolu üzerindeki Soğuk pınarın kuzeyinde doğu-batı uzanımlıdır. Paleosen-Eosenin en üst birimini Pembemsi, bejimsi kireçtaşı oluşturmuştur. Bu birim yer yer tabakalı, az erime boşluklu, tektonizma etkisiyle kırılğan ve fosillidir (Okumuş 2009).

Miyosen (m) : Silisifiye, killi kireçtaşı, marn ve kil araldanması olan birim, çalışma sahasında yerel olarak (çok az) Kürtini tepe ile Sakızlı sırtında gözlenen gölssel çökeller, beyazımsı, bejimsi, gözenekli killi kireçtaşı ile bol kırılğan ve keskin silisifiye kireçtaşı tabakaları arasında kalınlığı değişkenlik gösteren kil, marn ve tuf, tüfit, aglomera şeklinde araldanmalı yapı sunmaktadır. Çalışma sahasında tabanı gözlenmemekle beraber Mesozoik oluşukları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Hakim eğimler yataya yakın olup 12° derece civarındadır. Miyosenin üzerine Pliyosenin volkanikleri uyumsuz olarak gelmektedir. Kalınlığı 30 metre civarındadır (Okumuş 2009).

Pliyosen depozitleri (Pl)

Tuf, tüfit, aglomera, pekişmiş kil araldanmasından oluşan birim, çalışma sahasında gözlenen tuf, tüfit ve aglomeralar çoğu asidik orijinli olup depolanma durumuna ve o andaki volkanizma aktivitesine bağlı olarak şekillenmişlerdir. Göl alanında sedimantasyona bağlı olarak depolanan pekişmiş kil, tüfit ve aglomeralar tabakalı yapıdadırlar. Baraj rezervuarının sağ sahilinde killi, marnlı seviyelerin arasında ekonomik değere haiz

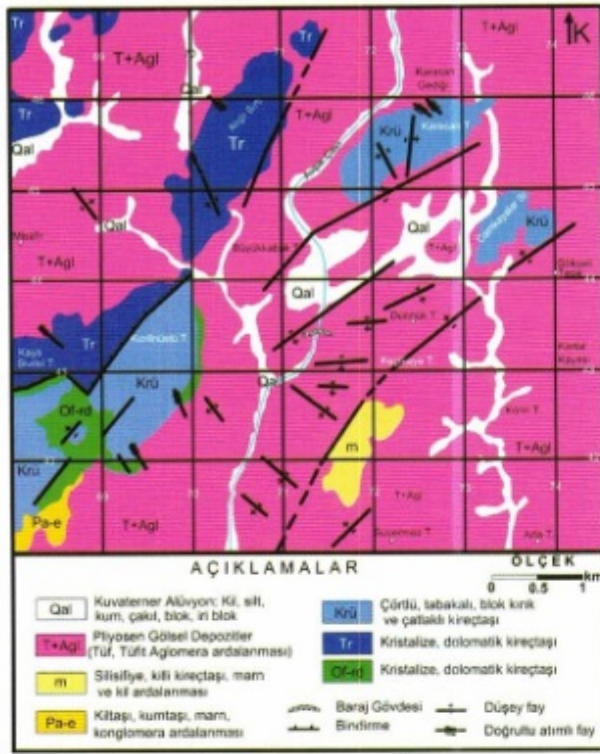
olmayan 3-5 cm kalınlığında kömür merceği mevcuttur. Mevsimlerin kuraklık durumuna bağlı olarak göl alanına ince tanelilerin gelişi yoğundur. Sellenmenin fazla olduğu mevsimlerde ise iri taneliler birikmiştir. İri tanelilerin boyutu blok, iri bloklar şeklindedir. Aglomera içindeki kum, çakıl ve bloklar çevredeki kayalarından türemişlerdir. Blokların çoğunluğu yuvarlak, yarı yuvarlak olup volkanik kökenlidirler. Bazı seviyelerde kireçtaşı blokları da gözlenmektedir. Volkanizmaya bağlı olan tüfler ise masifimsi yapıdadırlar. Tuf ve tüfitler yeşilimsi çok az olarak ta kahverengimsidirler. Tüfler ise beyaz, grimsi, yeşilimsidirler. Etüt sahasındaki volkanik çökeller kendisinden yaşlı olan litolojileri diskordan olarak örtmektedir (Okumuş 2009).

Kuvaterner alüvyon (Qal)

Kil, silt, kum, çakıl ve bloklardan meydana gelen alüvyonal oluşuklar dere yataklarında çoğu inceden kaba taneliye doğru düzensiz derecelenme göstermektedir. Bloklar çoğunlukla volkanik kökenlidir. Düzlüklerde ise kumlu çakıllı kil ve siltten oluşmuştur. Killer çevredeki kayalarından türedikleri için çok az kil ve inorganik silt karakterindedirler. Alüvyonal oluşukların kalınlıkları konumlarına göre değişiklik sunmaktadır. Dere yataklarında daha az düzlüklerde ise epeyce kalındırlar. Kum, çakıl ve blokların çoğu volkanik orijinli olup yuvarlak yarı yuvarlaktır. Alüvyonal oluşuklar kendilerinden yaşlı olan bütün litolojik birimleri uyumsuz olarak örtmektedirler (Okumuş 2009).

Yapısal Jeoloji

İnceleme alanında yüzeyleyen birimlerden Triyas yaşlı kristalize kireçtaşı ve Üst kretase çört yumrulu kireçtaşında ve Paleosen-Eosen konglomera ile kireçtaşında da belirli bir tabakalanma gözlenmiştir. Miyosen gölssel çökelleriyle, Pliyosen depozitlerinde tabakalanma gözlenmektedir. Tabakalar konumlarına göre ince, orta ve kalın yapı göstermektedirler. Tabakalanma doğrultusu ve eğimleri farklı değerler vermektedir. Miyosen oluşuklarındaki tabakalar yataya yakındır. Pliyosen depozitlerindeki tuf, tüfit ve aglomeralardaki tabakalanmalar değişik kalınlıklar sunmakla beraber genel hakim eğimler güneydoğuya olup bazı seviyelerde dike yakındırlar. Tabakalanmaya ek olarak etüt sahasındaki Üst kretase kireçtaşı biriminde kıvrımlanma mevcuttur. Triyas ve üst Kretase kireçtaşı ile Pliyosen depozitlerinde gelişi güzel yönlerde oluşan faylar gözlenmektedir. Fakat Pliyosen depozitlerinde oluşan fayların hakim yönü kuzeydoğu- güneybatıya yakındırlar. Altta Triyas ve Üst Kretase kireçtaşlarında oluşan tektonik hareketlere bağlı olarak gelişmişlerdir. Ayrıca çalışma sahasındaki bütün litolojik birimler birbirleri üzerine diskordan-uyumsuz olarak gelmektedir.



Şekil 1. Haydarlı Baraj Alanı ve Çevresinin Jeolojik Haritası (Okumuş 2009'dan düzenlenmiştir)

Figure 1. Geological map of the Haydarlı dam area and its vicinity (modified from Okumuş, 2009).

UYGULANAN YÖNTEM

Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi çalışılan ortamın iletkenlik ve özdirenç özelliklerini, yer altı yapısının geometrisini belirlemede kullanıldığı gibi, aynı zamanda yeraltındaki jeolojik birimlerin ayırt edilmesinde de yardımcı olmaktadır. Özdirenç yönteminde yere iki noktadan yapay bir akım verilir ve bu akımın yer altında oluşturduğu elektrik alanının gerilimi diğer iki nokta arasında gerilim farkı olarak ölçülür. Elektrik alanının uygulandığı elektrotlar

akım elektrotları ve gerilim farkının ölçüldüğü elektrotlar gerilim elektrotları olarak adlandırılır (Başokur 1984). Eşitlik 1 kullanılarak yeraltındaki birimlerin görünür özdirençleri ve modelleme sonucunda gerçek özdirenç ve kalınlık değerleri belirlenir.

$$\rho = (\Delta V / I) K \quad (1)$$

Burada ; ρ = Görünür özdirenç (ohm-m), ΔV = Ölçülen gerilim farkı (mV), I = Yere verilen akım (mA) ve K = Geometrik katsayısıdır.

Çok elektrotlu sistem ile hızlı ve kolay ölçü alınabilmektedir. Bir profil boyunca eşit aralıklarla dizilen elektrotlar yere çakılırlar. Çakılan her bir elektroda çok kanallı kabloların bir ucu bağlanır. Tüm elektrotlar ve bunlara bağlanan kablo uçları kanal sayısına bağlı numaralandırılır ve elektrotlardan gelen akım ve gerilim değerleri çok kanallı kablo aracılığı ile aygıta aktarılır. Daha sonra ölçüler değerlendirilirken hataları en küçüğe indirebilmek için her bir kazığın kot ve koordinatları belirlenir. Belirlenen kot değerleri topografya etkisini kaldırmak için ölçüm dosyasına eklenir. Aygıt kendisine bağlı olan kablo yardımıyla bağlı olmayan veya hatalı elektrotları otomatik olarak tespit eder ve kullanıcıyı uyarır. Bu uyarıdan sonra hatalı elektrotlar kontrol edilir, düzeltilir ve aygıtta elektrotlar tekrar kontrol ettirilir. Eğer bir hata yoksa aygıtta daha önceden tanımlanan ölçü diziliminde ölçü alınır. Elektrotların ölçüm sırasındaki çeşitli konumlarına göre geliştirilen ölçü alım teknikleri, elektrot dizilimi olarak adlandırılır. Bu çalışmada yanal ve düşey yönde veri toplamak amacı ile wenner-schlumberger dizilimi kullanılmıştır (Şekil 2). Şekil 2 de A ve B akım elektrotları M ve N gerilim elektrotlarıdır. MN elektrotları arası mesafe a ise AM ve BN elektrotları arası mesafe $n \cdot a$ kadardır. Bu dizilimde geometrik faktör K , eşitlik 2'den hesaplanır.

$$K = \pi n(n+1) a \quad (2)$$

Burada $a = MN$, $n a = AM = BN$, $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$ ve $\pi = 3.14159$



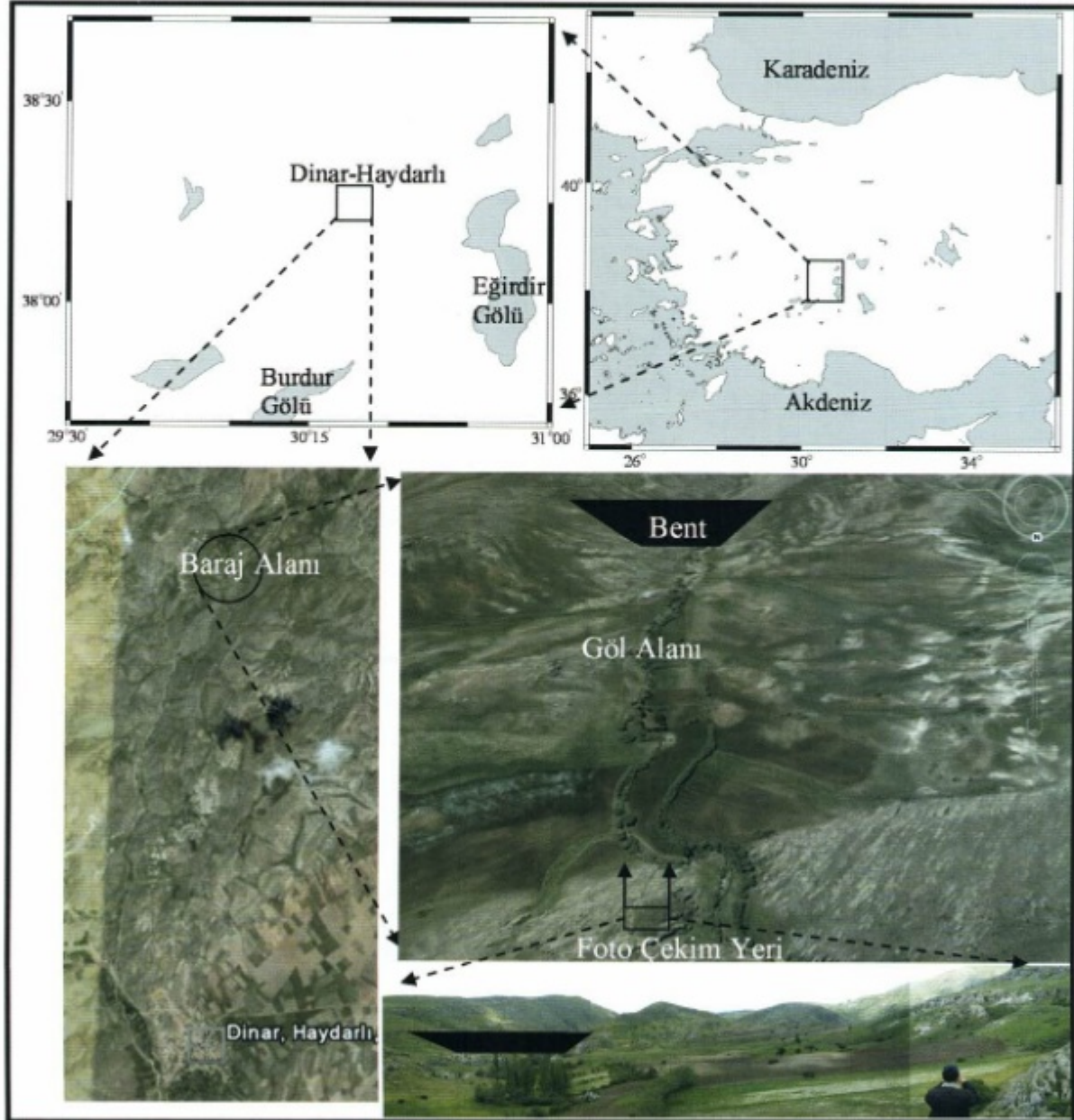
Şekil 2. 48 Elektrotlu Wenner-Schlumberger Elektrot Dizilimi ve Kullanılan Aygıtın Görünümü.

Figure 2. Wenner-Schlumberger electrode array and a view of used device

SAHA ÇALIŞMALARI ve DEĞERLENDİRMELER

Haydarlı Baraj Projesinin yeri, Afyonkarahisar ilinin Dinar ilçesinden yaklaşık 30km doğusundaki Haydarlı kasabasında bulunan Avşar çayı üzerindedir (Şekil 3). Haydarlı barajına ait genel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre Avşar çayının kotu (Bent yakınlarında) 1325m civarındadır. Göl alanında birikecek olan suyun kotu 1350m civarlarında olacaktır. Haydarlı Baraj sahasındaki yapısal bozuklukların ve jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımının ortaya konulması amacıyla jeofizik yöntemlerden elektrik öz direnç profil çalışması yapılmıştır. Elektrotlar arası

$a=5m$ ve toplam profil boyu 240m olacak şekilde 14 profile toplam 3360 m'lik öz direnç tomografi kesitleri elde edilmiştir. Profiller rezervuar sahası ve baraj aksında yüzeylenen aglomera ve killi birimleri kesecek şekilde seçilmiştir. Rezervuar alanında yapılan 14 adet elektrik öz direnç profilleri ve 15 adet mekanik sondaj noktaları Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4 de görülen elektrik öz direnç profillerinin başındaki içi boş daireler kesitlerdeki (Şekil 5a, 5b) 5m yani 1.elektrotu, içi dolu daireler ise 240m yani 48.elektrotu tanımlamaktadır. Ayrıca çalışma alanında yapılan mekanik sondaj çalışmalarına ait özet bilgiler Tablo 2 de ve Şekil 7'de sunulmuştur.

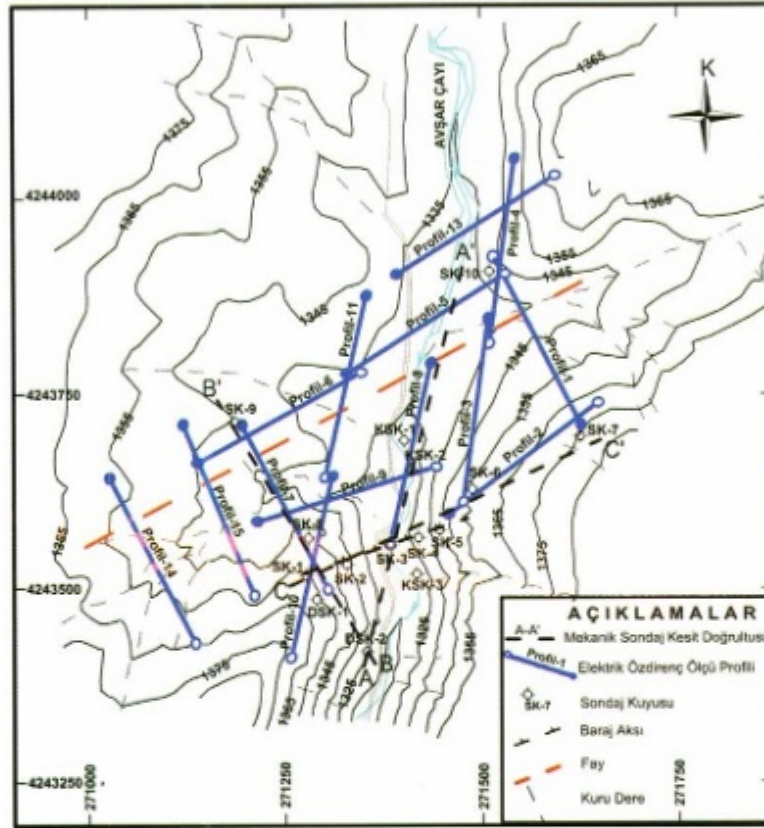


Şekil 3. Çalışma alanının google görüntülerini gösterir Yer Bulduru Haritası

Figure 3. The location map of study area together with google images

Tablo 1. Haydarlı Barajının Genel Özellikleri (Okumuş 2009'dan düzenlenmiştir)**Table 1.** General properties of Haydarlı dam (modified from Okumuş, 2009).

Yağış Alanı	47.23 km ²	Nehrin ortalama debisi	3.63hm ³ /yıl
Ortalama Yıllık Akım	2.7hm ³	Nehrin en fazla debisi	5.38hm ³ /yıl
Bent'in tipi	Homojen dolgu	Baraj gölü en fazla su hacmi	2.1hm ³
Bent'in Talvegten yüksekliği	30.4m	En düşük işletme seviyesi	1333.2m
Nehir tabanının kot değeri	1319m	Aktif Göl hacmi	1.83hm ³
Suyun çıkabileceği en fazla kot değeri	1347.4m	Bent'in Uzunluğu	165m

**Şekil 4.** Jeoteknik Çalışmaları Gösterir Yer Bulduru Haritası (Uyanık vd. 2009'dan düzenlenmiştir)**Figure 4.** Location map of the study area, showing the locations of Geotechnical studies (modified from Uyanık et al., 2009)

Elektrik Öz direnç Profillerinin Değerlendirilmesi

Haydarlı barajında yapılan 14 adet elektrik öz direnç profillerden elde edilen görünür öz direnç verilerinin 2 boyutlu ters çözüm sonuçları Res2dinv paket programı (Geotomo 2006) ile üretilmiş ve modeller Şekil 5a ve 5b de verilmiştir. Profil boyunca topografya değişimleri ters çözüm işlemi esnasında hesaplama katılmıştır. Bu modellerin RMS hataları %5 den azdır ve sahadan elde edilen öz direnç verilerinin az hatalı olmasından dolayı Res2dinv paket programı aracılığı ile elde edilen modeller, 3 iterasyon (yineleme) ile jeolojik yapıya uyumlu olarak bulunmuştur. Sahadan elde edilen

öz direnç verilerinin çok hatalı olması durumunda RMS hatasının %5 den az olması için daha çok iterasyon yapmak gerekecek ve elde edilen modellerin jeolojik yapıyla uyumu tartışılır olacaktır. Tüm modellerde 40-50m derinliğe kadar jeolojik birimler belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sahasında yapılan mekanik sondaj çalışmalarından elde edilen jeolojik birimler kalınlık ve derinlikleri Şekil 7 de verilmiştir. 2 boyutlu öz direnç modelleri ile mekanik sondaj sonuçlarından bulunan jeolojik birimler birbiriyle iyi uyum içerisindedir (Şekil 5a, 5b ve Şekil 7).

Elektrik öz direnç profil verilerinin 2 boyutlu ters çözümü sonucunda yeryüzüne ait birimler gerçek öz direnç değerlerine göre ayırt edilmiştir. Gerçek öz direnç

değerleri 3-122 ohm-m arasında değişmektedir. Buna göre öz direnci 30ohm-m den küçük olan değerler ve koyu mavi ile gösterilen alanlar kil birimleri, 30-60ohm-m arasındaki değerler ve açık mavi-açık yeşil ile gösterilen alanlar killeşmiş altere aglomera birimleri, 60-80ohm-m kil dolgu aglomera birimleri, 80-94ohm-m killeşmiş altere aglomera+tüfit birimlerini ve 94ohm-m'den büyük öz dirençler kırıklı çatlaklı aglomera birimini temsil etmektedir (Şekil 5a, 5b).

Koyu mavi renk ile gösterilen kil birimin kalınlıkları kesitlerin yatay uzaklığı boyunca değişmektedir. Bazı kesitlerde yüzeyden 5-10m derinliğe kadar kil birimi ve bu birimin altında aglomera ve türevleri yer alır (Örnek Profil 1'de 140-240m yatay uzaklık, Profil 14'de 110-180m yatay uzaklık, Profil 15'de 50-120m yatay uzaklık). Bazı kesitlerde kil birimin kalınlığı araştırma derinliğinin yeterli gelmemesinden dolayı belirlenememiştir (Örnek Profil 1 ve 7 'de 5-80m yatay uzaklık, Profil 6, 11, 13, 14 ve 15'de farklı yatay uzaklıklarda).

Profil 5 ve 13 Avşar çayını keserken profil 8 Avşar çayına paraleldir ve bu profillerin yüzeyinde elde edilen yüksek öz direnç değerleri Avşar çayının doldurduğu killi kumlu çakıl birimlerdir. Avşar çayını kesen Profil 5 ve 13'de Aglomera ve türevlerini alüvyonal kil biriminden ayıran Avşar çayına paralel ve bu çayın altında K-G doğrultulu gömülü bir fay olduğu düşünülmektedir. Ek olarak profil 1, 3, 11, 7, 15 ve 14'de kil zemin ile aglomera ve türevleri yer yer yüzeyde gözlenen fay ile ayrılmıştır. Bu fayın yeri ve eğimi belirlenirken öz direnç renk dağılımı ve yüzeyde gözlenen fayın konumundan yararlanılmıştır. Bu fay profillerde belirtilmiş ve Şekil 4'de kalın kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Algül (2011) yüksek lisans tez çalışmasında çok elektrotlu öz direnç çalışmaları yanı sıra yaptığı çok atışlı sismik kırılma çalışmaları ile de yukarıda belirtilen fayı belirlemiştir. Bu fayın güneyinde kalan kesimlerde (fay-bent arası) belirlenen aglomeralar kırıklı çatlaklı ve kil içeriği daha azdır. Dolayısı ile bu bölgedeki aglomeralar su ile temas etmesi sonucunda su kaçağı olacağı düşünülmektedir.

Çalışılan alanda öz direnç değerlendirme sonuçlarının dağılımı daha iyi anlaşılması açısından 3 blok diyagram şeklinde hazırlanmıştır (Şekil 6 a ve b). Şekil 6a da yüzeyden derine doğru öz direnç dağılımı sunulurken Şekil 6b de çözüm üretilebilen en derindeki (taban)

öz direnç dağılımı verilmiştir. Şekil 6 a ve b de K-G doğrultulu olarak belirlenen fay, 3 boyutlu diyagram (Şekil 6 a ve b) ve topografik durum (Şekil 4) göz önüne alındığında Avşar çayı boyunca devam ettiği düşünülmektedir. Ancak çalışma güneye doğru devam eden Avşar çayını kesen öz direnç profilleri (Gölalanı dışında olmasından dolayı) yapılmadığı için düşünce boyutunda kalmıştır.

Avşar çayına paralel profil 8 de yüzeye yakın derinliklerde elde edilen yüksek öz direnç değerleri (K-G doğrultulu fayın batısında kalan kırmızı renkli alan) alüvyonal çakıl zeminden kaynaklanmaktadır (Şekil 6a). Bu durum Şekil 6b ye bakıldığında tabanda alüvyonal kil zemin olduğu (öz direnç 30 ohm-m den küçük) öz direnç değerlerinden anlaşılmaktadır. Sonuç olarak profil 8 de yüzeye yakın olan yüksek öz dirençli değerler aglomera kaynaklı değildir. Şekil 6 a ve b yi incelediğimizde aglomera kaynaklı yüksek öz direnç değerleri yüzeyden derinlere doğru devam etmektedir. Öz direnç değerlendirmelerinden belirlenen K-G ve KD-GB doğrultulu fay Şekil 6 a ve b de aglomera ve türevlerini kil zeminden çok net ayırmaktadır. Bu ayırım yüzeyden tabana doğru devam ettiği Şekil 6 a ve b den net olarak görülmektedir.

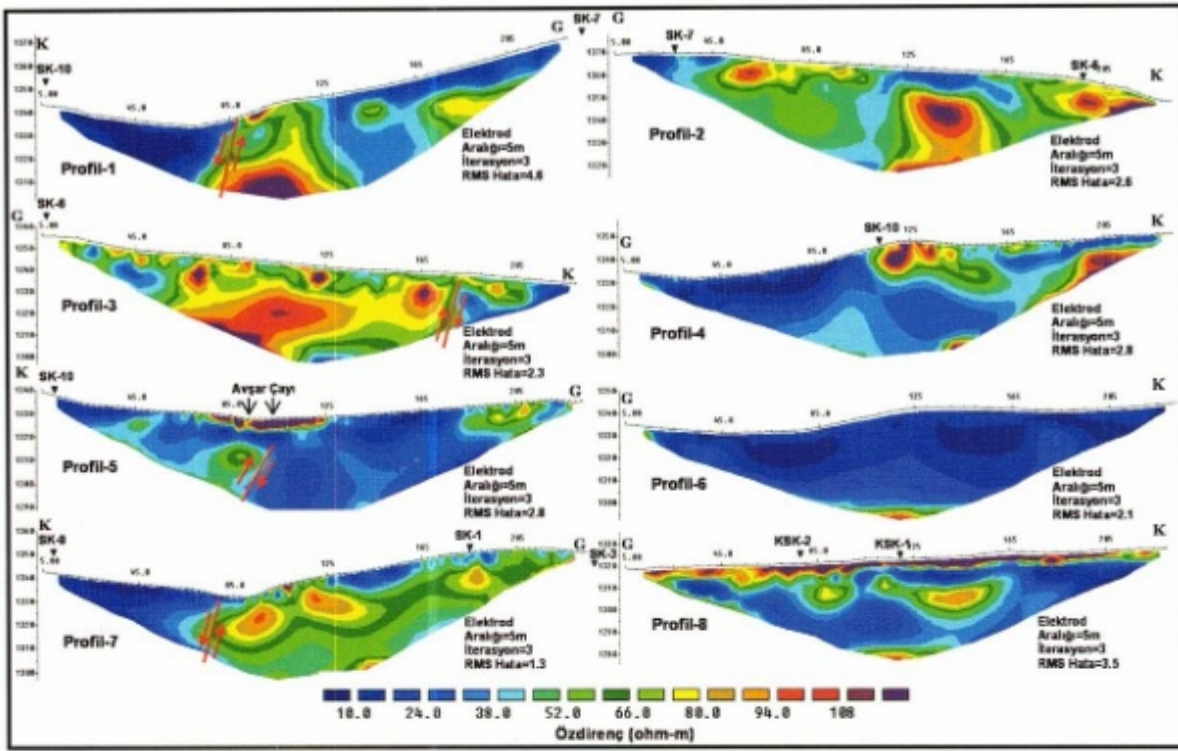
Mekanik Sondaj Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanı içerisinde 16m-58m arasında değişen derinliklerde 15 adet mekanik sondaj çalışması yapılmıştır (Şekil 4). Bu sondajlara ait özet bilgiler Tablo 2 de verilmiştir. 15 adet sondaj logları kullanılarak 3 adet kesit oluşturulmuştur (Şekil 7). Bu kesitlerin doğrultuları Şekil 4 de verilmiştir. Öz direnç çalışmalarından belirlenen fayın (Şekil 6a, 6b ve Şekil 4) güneyinde kalan kesimlerinde yapılan sondajlarda (SK-1, 2, 3, 4, 5, 6) yeraltı su seviyeleri (Tablo 2) irdelendiğinde nehir taban kotunun (1319m) altında olduğu görülmektedir. Bu durum suyun kaçabileceğini göstermektedir. Bu fayın kuzey kesimlerinde kalan sondajlara (SK-9, 10) bakıldığında ise yeraltı su seviyeleri nehir taban kotunda yada nehir taban kotunun yukarısında bir kottadır. Bu durum fayın kuzey kesimlerinden su kaçağının olmayacağı düşüncesini doğrulamaktadır.

Tablo 2. Mekanik Sondajlara Ait Özet Bilgiler(Okumuş 2009'dan düzenlenmiştir)

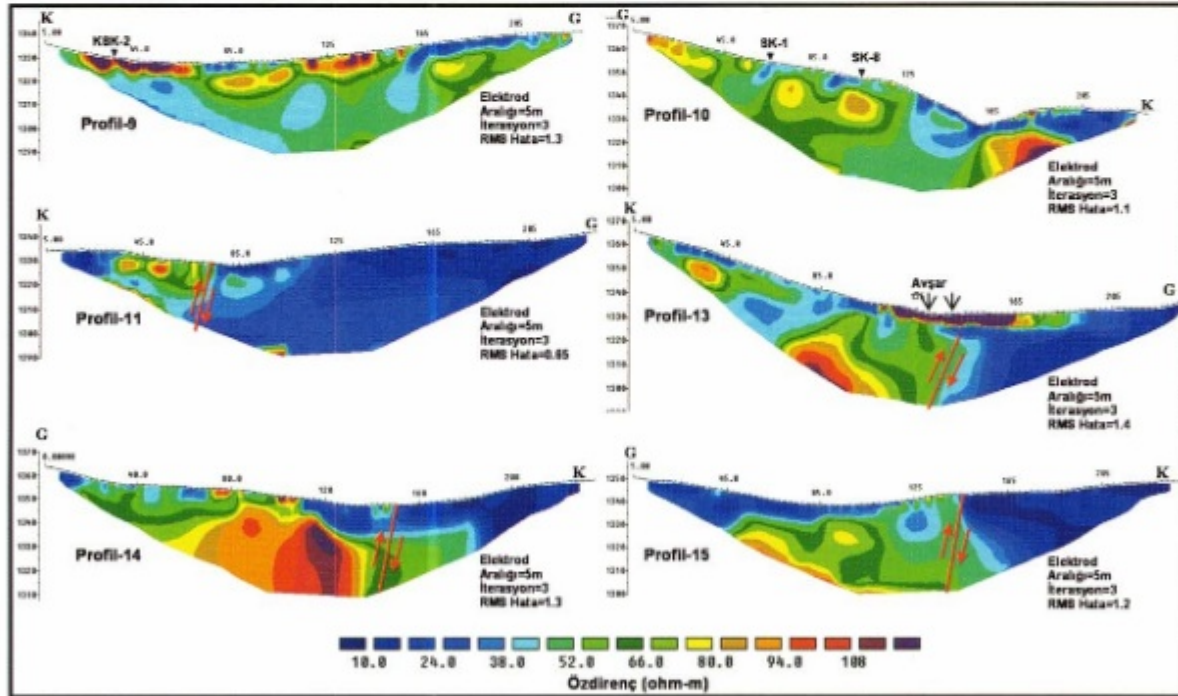
Table 2. Summary information of the mechanical drillings (modified from Okumuş, 2009)

Sondaj No	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5	SK-6	SK-7	
Derinlik (m)	58	45	32	22	40	60	40	
Kot (m)	1354.8	1339	1320.2	1328.5	1339.1	1354.7	1374.9	
Yeraltı Suyu Derinlikleri (m)	49.83	37.01	7.89	16.9	24.1	50.9	Kuru	
Sondaj No	SK-8	SK-9	SK-10	DSK-1	DSK-2	KSK-1	KSK-2	KSK-3
Derinlik (m)	30	30	30	24	22	19	26	16
Kot (m)	1348.8	1342.9	1339.2	1356.4	1325.2	1324	1322.6	1319.9
Yeraltı Suyu Derinlikleri (m)	Kuru	5.19	20.88	20.41	12.34	2.48	5.03	13.84



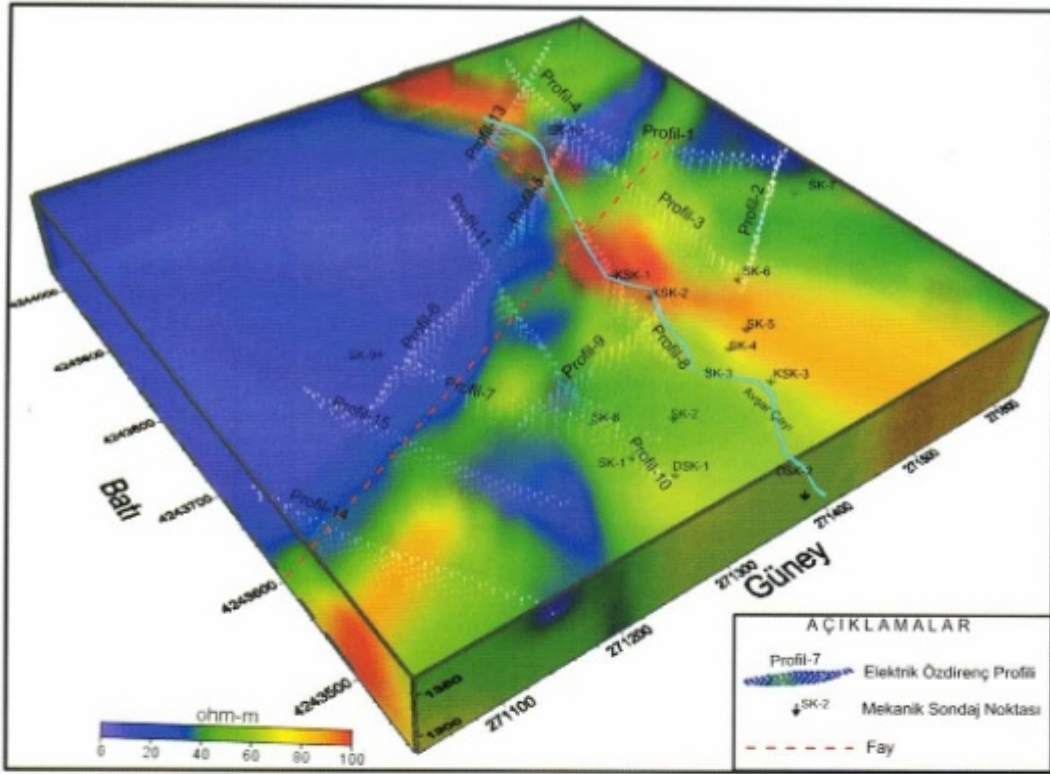
Şekil 5a. Elektrik Rezistivite Tomografi hattı boyunca özdirenç modelleri (Uyanık vd., 2009'dan düzenlenmiştir)

Figure 5a. Modeled resistivity sections along the Electrical Resistivity Tomography line (modified from Uyanık et al., 2009)



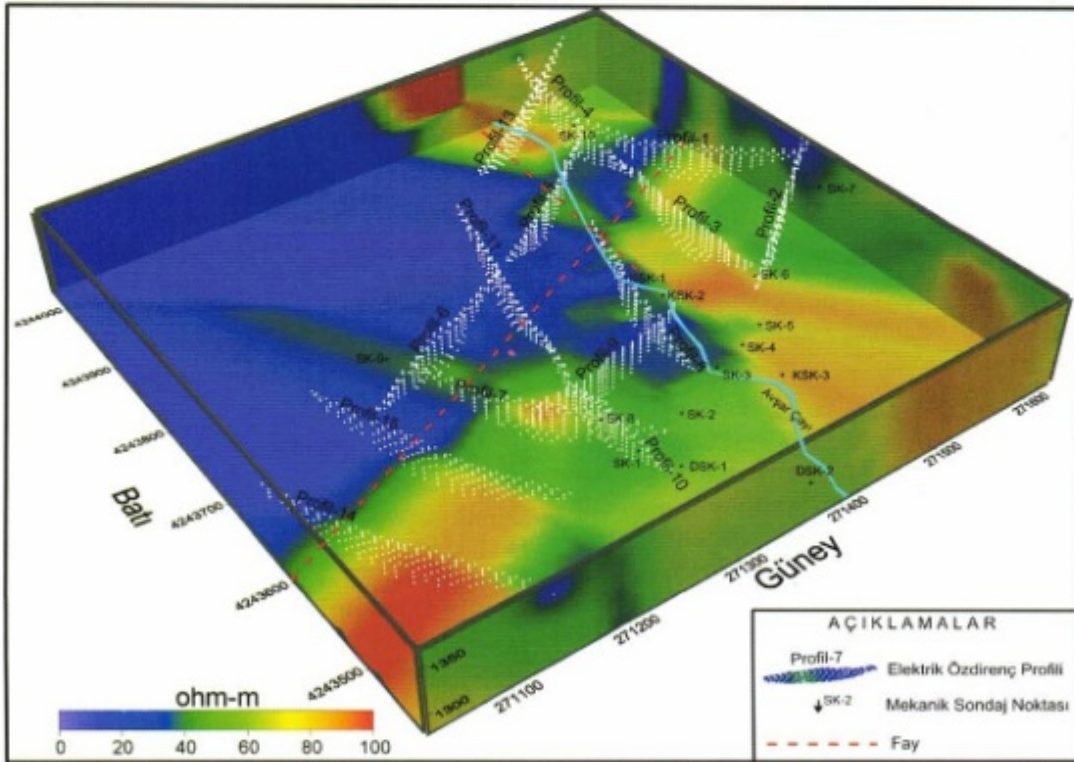
Şekil 5b. Elektrik Rezistivite Tomografi hattı boyunca özdirenç modelleri (Uyanık vd., 2009'dan düzenlenmiştir)

Figure 5b. Modeled resistivity sections along the Electrical Resistivity Tomography line (modified from Uyanık et al., 2009)



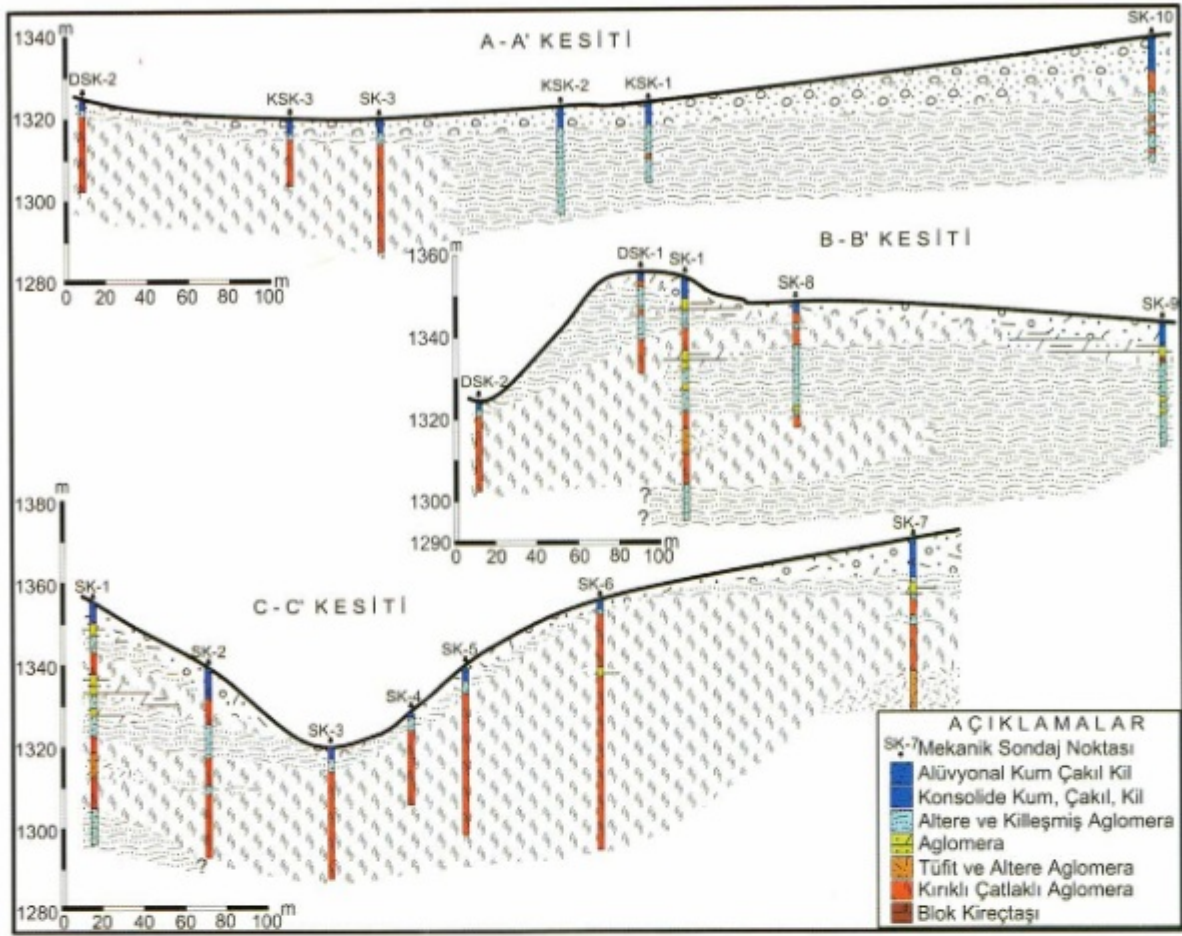
Şekil 6a. Elektrik özdirenç ters çözüm sonuçlarının 3 boyutlu görüntü haritası (Yüzeyden derine doğru)

Figure 6a 3D image map of electric resistivity inversion results (the image towards the base from surface)



Şekil 6b. Elektrik özdirenç ters çözüm sonuçlarının 3 boyutlu görüntü haritası (Taban görüntüsü)

Figure 6b 3D image map of electric resistivity inversion results (the base image)



Şekil 7. Mekanik Sondaj Loglarından Hazırlanan Kesitler.

Figure 7. Cross-sections prepared by mechanical drilling logs.

SONUÇLAR

Çalışma alanında yapılan çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmalarının 2 boyutlu ters çözüm ile elde edilen modellerde alüvyon, pliyosen kil, aglomera ve türevleri ayırt edilmiş, sondaj çalışmaları ile denetlenmiştir.

Özdirenci 30 ohm-m den küçük olan değerler kil birimleri, 30-60 ohm-m arasındaki değerler killeşmiş altere aglomera birimleri, 60-80 ohm-m altere aglomera birimleri, 80-94 ohm-m altere aglomera+tüfit birimlerini ve 94'den büyük özdirençler kırıklı çatlaklı aglomera birimini temsil etmektedir. Ayrıca çalışma alanında bulunan alüvyon birimlerde kendi içerisinde; özdirenci 100 ohm-m den büyük olan değerler az killi siltli kumlu çakıl birimleri, 60-100 ohm-m arasındaki değerler killi çakıllı kum birimleri, 30-60 ohm-m arasındaki değerler az çakıllı killi siltli kum zeminleri ve 30ohm-m den küçük değerler kumlu siltli kil birimleri temsil etmektedir.

Yapılan özdirenç çalışmasında Profil 13 ve 5'de K-G, Profil 1, 3, 7, 11, 14 ve 15'de KD-GB doğrultusunda bir fay belirlenmiştir. Bu fayın güneyinde kalan aglomera

biriminde su kaçırma problemlerinin olabileceği tespit edilmiştir. Bu yüzden aglomera biriminde basınçlı su testlerinin yapılarak geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar, desteklerinden dolayı DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğüne ve Haydarlı Belediye başkanına ve belediye çalışanlarına, eleştirileri ile makaleyi zenginleştiren Dr Ziya Öncü ve Dr Çağlayan Balkaya'ya ve makaleye görüşleri ile katkı koyan hakemler Dr. Emin U. Uluggerli, Dr. Derman Dondurur ve Dr Hakan Karşlı'ya teşekkür ederler. Bu çalışma SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri 2114 YL-10 projesi ile desteklenmiş ve Elif Algül'ün Yüksek Lisans tezinin bir kısmını içermektedir.

KAYNAKLAR

Algül, E. 2011, Haydarlı Baraj Alanının Jeoteknik Özellikleri. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi s:113.

Al-Zoubi, A.S. 2007, Use of Multi Electrodes Resistivity Imaging for Sinkholes Hazard Assessment along the Eastern Part of the Dead Sea, Jordan, American Journal of Environmental Sciences 3(4), 229-233.

Barker, R.D. 1981, Offsetsystemof electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable, Geophysical Prospecting 29 (1), 128-143.

Başokur, A.T. 1984, Düşey elektrik sondajı, TPAO, Ankara.

Bozcu, M., Uyanık, O., Çakmak, O. ve Türker, A.E. 2007, Eşen I HES Projesi Alanının Jeoteknik Özellikleri, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 11(1), 75-83.

Candansayar, E. 1997, Doğru akım öz direnç yönteminde modelleme ve iki-boyutlu sığ yapıların aranmasında elektrod dizilimlerinin ayrımlılıklarının karşılaştırılması, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.lisans tezi, 154s, Ankara.

Dahlin, T. 1996, 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications, First Break 14(7), 275-283.

Geotomo, 2006, Geotomo software 2006 RES2DINV version 3.55-Manual, www.geoelectrical.com.

Griffiths, D.H., Turnbull, J. and Olayinka, A.I. 1990, Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array, First Break 8(4), 121-129.

Johansson, S. and Dahlin, T. 1996, Seepage Monitoring in an Earth Embankment Dam by Repeated Resistivity Measurements, European Journal of Engineering of Environmental Geophysics 1(3), 229-247.

Johansson, B., Jones, S. and Flyhammar, F. 2007, Comparisons of 2D- and 3D-Inverted Resistivity Data As Well As of Resistivity- and IP-Surveys on a Landfill, Near Surface, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul, Turkey, 3-5 September 2007, p. 42.

Kiremitçioğlu, H., 1998. Geophysical Survey Along Energy Tunnel and Pen – Stock Route of Cine Dam. Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition, s:55

Noel, M. and Walker, R. 1990, Development of an electrical resistivity tomography system for imaging archaeological structures, In: Pernicka, E. And Wagner, G.A. (eds), Archaeometry 90. Birkhauser, Basel, pp.767-776.

Palacky, G.J. 1987, Resistivity characteristics of geologic targets, In: M.N. Nabighian, Editor, Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Investigations in Geophysics vol. 3, Society

of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, pp. 53-129.

Okumuş A. 2009, Afyonkarahisar-Dinar İlçesi Haydarlı Göleti Jeoteknik Planlama Raporu, DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü, Isparta.

Savvaidis, A. S., Tsokas, G. N., Soupios, P. and Vargemesis, G. 1999, Geophysical prospecting in the Krousovitis dam (N. Greece) by seismic and resistivity methods, Journal Of The Balkan Geophysical Society 2(4), 128-138.

Sjö Dahl, P., Dahlin, T. and Johansson, P. 2005, Using resistivity measurements for dam safety evaluation at Enemossen tailings dam in southern Sweden, Environmental Geology 49, 267-273.

Song, S., Song, Y. and Kwon, Y. 2005, Application of hydrogeological and geophysical methods to delineate leakage pathways in an earth fill dam, Exploration Geophysics 36, 92-96.

Titov, K., Loukmanov, V. and Potapov, A. 2000, Monitoring of water seepage from a reservoir using resistivity and self polarization methods, case history of the Petergoph foundation water supply system. First Break Technical Article, 431-435.

Uyanık, O., Bozcu, M., Çakmak, O. and Türker, E. 2004, Preliminary Results of Geological and Geophysical Studies in Eşen I HPP Dam, The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, Ankara/Turkey.

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

Uyanık, O., Bozcu, M., Çakmak, O. ve Türker, A.E. 2007, Eşen-I. Hidroelektrik Santral Bent Yeri Ve Göl Alanının (Fethiye-Muğla) Jeolojik-Jeofizik ve Jeoteknik Özellikleri, Ekolojiya ve Su Teserrüfatı, Elmi-Tekniki ve istehsalat Jurnalı No:4, 17-28, Su Teserrüfatı ve Mühendis Kommunikasiya Sistemleri Fakultesi, Azırbaycan.

Uyanık O., Çakmak O. ve Gürbüz M. 2009, Afyonkarahisar-Dinar-Haydarlı Köyü Haydarlı Baraj Yerine Ait Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu, SDÜ Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi, Haziran 2009, Isparta.

Van Overmeeren, R.A. and Ritsema, I.L. 1988, Continuous vertical electrical sounding, First Break 6(10), 313-324.

Ward, S. H. 1990, Resistivity and Induced Polarization Methods, Investigations in Geophysics no. 5: Geotechnical and Environmental Geophysics, vol I, ed. S. Ward, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 147-189.

İZMİRNET GÜRÜLTÜ İLİŞKİSİ

Correlation of Noise From Izmirnet

Murat KEÇECİOĞLU¹ ve Orhan POLAT^{1,a}¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü, Buca 35040 İzmir^a orhan.polat@deu.edu.tr)

ÖZET

Bu çalışmada İzmir NET yerel sabit deprem istasyonları tarafından sürekli kaydedilen 1 hafta uzunluğundaki doğal gürültü verileri kullanılarak, farklı derinliklere ait Rayleigh yüzey dalgası grup hızlarına ait ilk sonuçlar elde edilmiştir. Bu amaçla 20 istasyon verisi analiz edilmiş ve 12 istasyon çifti için farklı periyotlarda grup dalgası dispersiyon eğrileri hesaplanmıştır. Andezit birimlerin üzerine kurulu olan kuzeydeki BYR-KSK istasyon çiftine ait grup dalgası hızlarının yüzeye yakın alanlarda 0.5 km/sn ($T=0.6$ sn), daha derinlere doğru ($T>1.5$ sn) 0.8 km/sn olduğu gözlenmiştir. Körfezin güneyindeki KSK-MVS istasyon çiftinde sığ derinlikler için ($T<1.0$ sn) 0.3 km/sn düşük grup dalgası hızları tespit edilmiştir. Daha derini temsil eden $T>1.2$ sn periyot değerinden sonra bu yol doğrultusunda hızlarda artış tespit edilmiştir (0.7 km/sn). Benzer analizler, körfezin doğusunda ve güneyinde yer alan birkaç istasyon çifti için de tekrarlanmış ve grup hızlarının güney'de, körfezin kuzeyine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Hızların derinlikle değişimi, farklı periyotlar için ayrıca haritalanmıştır.

Anahtar kelimeler: Çapraz ilişki, Green fonksiyonu, Doğal gürültü, Dispersiyon eğrileri, Sabit deprem istasyonu, İstasyon çifti

ABSTRACT

Preliminary results for Rayleigh surface wave group velocities have been obtained by using 1 week ambient noise continuous data recorded by IzmirNET local permanent seismic network. For this purpose, the data from 20 stations was analyzed and group velocity dispersion curves have been calculated for 12 station pairs at different periods. Group velocities which represent BYR-KSK station pair installed on andesite units at the North, were observed as 0.5 km/s ($T=0.6$ s) near the surface, and as 0.8 km/s towards to the deeper part ($T>1.5$ s). Low group velocities were detected in KSK-MVS station pair, at the south of İzmir Bay, for the lower depths as 0.3 km/sn ($T<1.0$ sn). An increase

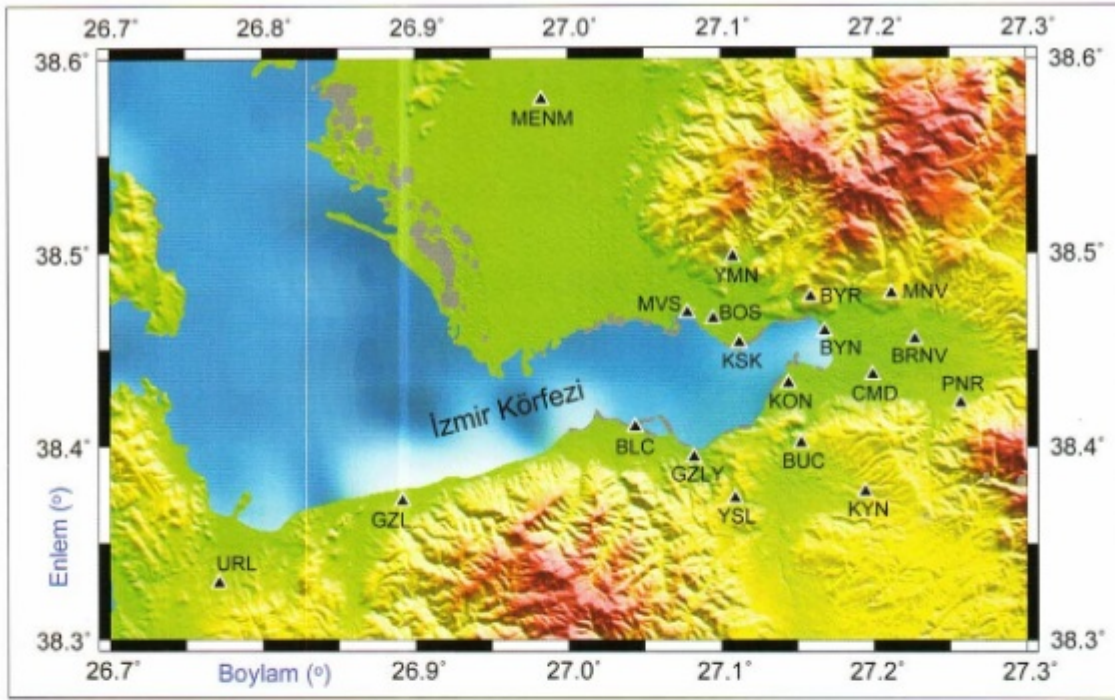
in group velocities (0.7 km/sn) along this path line was determined above $T>1.2$ s periods representing deeper parts. Similar analyses have been repeated for a few station pairs located at the Eastern and Southern part of the Gulf, and revealed that group velocities at south were lower regarding the north. Velocity-depth variations have been also mapped for different periods.

Key words: Cross-correlation, Green's function, Ambient noise, Dispersion curves, Permanent seismic station, Station pair

GİRİŞ

İzmir NET, sürekli kayıt yapan yerel bir sabit deprem istasyon ağıdır. Bu ağdaki çoğu kayıtçılar ağırlıklı olarak, kuvaterner ve neojen havzalar üzerinde yer alır. Bu havzaların yeraltı hız yapılarının ortaya konması önemlidir. Çünkü yer hareketinin kestirilmesinde ve sismik tehlike-risk analizlerinde büyük öneme sahip olan yeraltı hız yapısı henüz yeterince bilinmemektedir. Bunun ortaya konması sadece İzmir için değil, bölge ve ülke ölçeğinde ayrıca önem arz etmektedir.

İzmir, orta büyüklükte ancak sıklıkla deprem üreten fay sistemlerine sahiptir ve bu sistemlere olan yakınlığı, sahip olduğu nüfus yoğunluğu ve sanayisi de göz önüne alındığında yüksek risk teşkil eden önemli kentlerden birisidir. Yerleşim yoğunluğu ağırlıklı olarak, derinliği henüz tam bilinmeyen (Bornova, Balçova, Mavişehir gibi) kalın alüvyal havzalar üzerine kuruludur (Şekil 1). Bu kente 2008 yılında ilk aşamada, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı (DDB) desteğiyle 16 istasyondan oluşan İzmirNET yerel ivme-ölçer deprem istasyon ağı kurulmuştur. Sayı şu an yine AFAD-DDB'nin desteğiyle 20'nin üzerine çıkarılmıştır. Proje süresince farklı jeolojik birimler üzerine kurulu istasyonlardan elde edilen deprem verileri ile, yerel jeolojinin neden olduğu büyütme ortaya konmuştur (Çeken ve diğ. 2009; Gök ve diğ. 2010). Ancak olası bir depremde büyük öneme sahip olan ve önemli bir risk unsuru teşkil eden alüvyal havzaların yeraltı hız yapısı henüz belirsizdir. Yapılan araştırmalar jeolojik ve



Şekil 1. İzmirNET kuvvetli yer hareketi ağına bağlı deprem istasyonları (Gök 2011).

Figure 1. Distribution of earthquake stations belong to IzmirNET strong motion network (Gök 2011).

tektonik koşulların, deprem sonucu açığa çıkan sismik dalgaların soğrulması, saçılması nedeniyle hasar oranını önemli derecede etkilediğini ortaya koymuştur. Özellikle sığ ve kalın alüvyon ortamlara ait hızlarının derinlikle değişimi, deprem sırasında zeminin davranışını önemli oranda etkilemektedir (Bard ve Chavez-Garcia 1993). İzmir’de yerleşim yeri planlamaları ve yatırım kararları üzerinde etkili olmasına rağmen yeraltı hız yapısı ve hız değişimlerinden kaynaklanan sismik tehlike henüz gerçekçi olarak ortaya konmamıştır. Oysaki yer hareketinin özelliklerinin bilinmesi, her şeyden önce farklı derinliklerdeki hız değişimlerinin iyi anlaşılmasıyla mümkün olur. Doğruluk payı yüksek böylesi bir hassas sonuca ulaşmak, bir veya birkaç yöntemden elde edilen sonuçların korele edilmesini gerektirir. Bu araştırma, önerilen bu yöntemlerden sadece birini ele almakta, son 5 yılda gittikçe artan bir ivmeyle kullanılmaya başlanan yeni bir yöntemle (sabit deprem istasyon ağına yer alan istasyon çiftleri tarafından kaydedilen doğal gürültü verileri ile) yeraltı hız yapısını araştırmayı hedeflemektedir.

Bu çalışmada tercih edilen doğal gürültü verilerinin kullanılmasındaki temel yaklaşım, sismik gürültü alanının ideal izotrop olmamasından kaynaklanan saçılma etkisini en az indirmesidir. Bu nedenle doğal gürültü verileri, özellikle çapraz ilişki hesaplamalarında ve kabuk hız yapısı analizlerinde tercih edilmektedir. Ayrıca yüzey dalgaları en kolay doğal gürültülerden elde edilmektedir. Bunun nedeni, okyanus dalgaları ve atmosferik hareketler sonucu üretilen titreşimlerin, kayıtlı istasyon çiftleri arasındaki ortam için Green fonksiyonu

olarak kolayca tanımlanabilmeleri nedeniyle (Sabra ve diğ. 2005, Shapiro ve Campillo 2004). Okyanus veya atmosferik kökenli doğal gürültülerin dalga formları, belli bir zaman (araştırılacak derinliğe ait dalga boyuna göre birkaç saat veya birkaç ay) geçtikçe durağanlaşır ve istasyonlar arasındaki yeraltı hız yapısını karakterize edecek duruma gelir. Stabil hale gelen bu gürültüler, istasyon çiftleri için Green fonksiyonlarını elde etmek için çapraz ilişki fonksiyonlarının analizlerinde kullanılır ve depremler sonucu açığa çıkan yüzey dalgalarına benzerdir. Ancak her zaman sayıca fazla deprem kaydı yakalamak mümkün değildir. Dolayısıyla doğal gürültü verilerinin çapraz ilişkisi, istasyon çiftleri arasında yayılan yüzey dalgalarının Green fonksiyonu ile örtüşür ve bu tür verilerin Green fonksiyonu çapraz ilişkisinin kullanılması, yeraltı hız yapısının sağlıklı kestirilmesini sağlar (Chavez-Garcia ve Luzon 2005).

İstasyon Çifti yönteminin gerçekleştirildiği uygulamalardan birisi Mexico City’de yapılmış ve doğal gürültülerin çapraz ilişkisi hesaplanarak Green fonksiyonları elde edilmiştir (Chavez-Garcia ve Quintanar 2010). Çiftler halinde gruplandırılan istasyonlara ait Rayleigh yüzey dalgası temel mod’larının mesafenin fonksiyonu olarak değişimi incelenmiş ve ters çözüm tekniği ile Rayleigh yüzey dalgası grup hızı dispersiyon eğrileri hesaplanmıştır. Rayleigh yüzey dalgası tarafından domine edildiği için analizlerde, sadece düşey bileşen gürültü kayıtları kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucu elde edilen grup hızlarının çalışma alanının güneyinden kuzeyine doğru (Mexico City havzasından dağlık kesime doğru) arttığı rapor edilmiştir. Yüzey dalgalarının ilk 9

km derinlikte normal hızda ilerleyemediği ve bu duruma yüksek heterojenitenin neden olduğunun ortaya konduğu çalışmada, anakent havzasındaki bu heterojenitenin sadece büyümeyi değil, uzun süren kuvvetli yer hareketini de açıkladığı sonucuna ulaşılmıştır.

İvme-ölçer istasyon ağları tarafından kaydedilen doğal gürültülerin kullanıldığı benzer çalışmalar, Kore'nin başkenti Seul ile ülkenin güneyindeki bir başka kentte daha yürütülmüştür (Cho ve diğ. 2007, Kang ve Shin 2006). Derin kabuk yapısına ilişkin grup dalgası hız dağılım tomografisinin ve farklı periyotlara ilişkin yüksek ayrımlı yeraltı hız yapısının elde edildiği bu çalışmalardan başka, farklı kayıtçı düzenekleri kullanılarak aynı yöntem Yeni Zelanda Parkfield'de, İspanya Almeida'da ve California (USArray)'da gerçekleştirilmiş; sığ-derin yapılarla ilişkin Rayleigh grup hızı dispersiyon eğrileri ve hız yapıları ortaya konmuştur (Chavez-Garcia ve diğ. 2006, Shapiro ve diğ. 2005). Türkiye'de aynı yöntem kullanılarak yürütülmekte olan bir başka çalışmada Doğu Akdeniz ve Karadeniz'de düşük, Ege Bölgesinde yüksek grup hız değerleri hesaplanmıştır (Cambaz ve Karabulut, 2011). Bu çalışmaların hepsinin ortak özellikleri, sabit deprem istasyon ağları tarafından kaydedilen doğal gürültü kayıtlarını kullanmalarıdır.

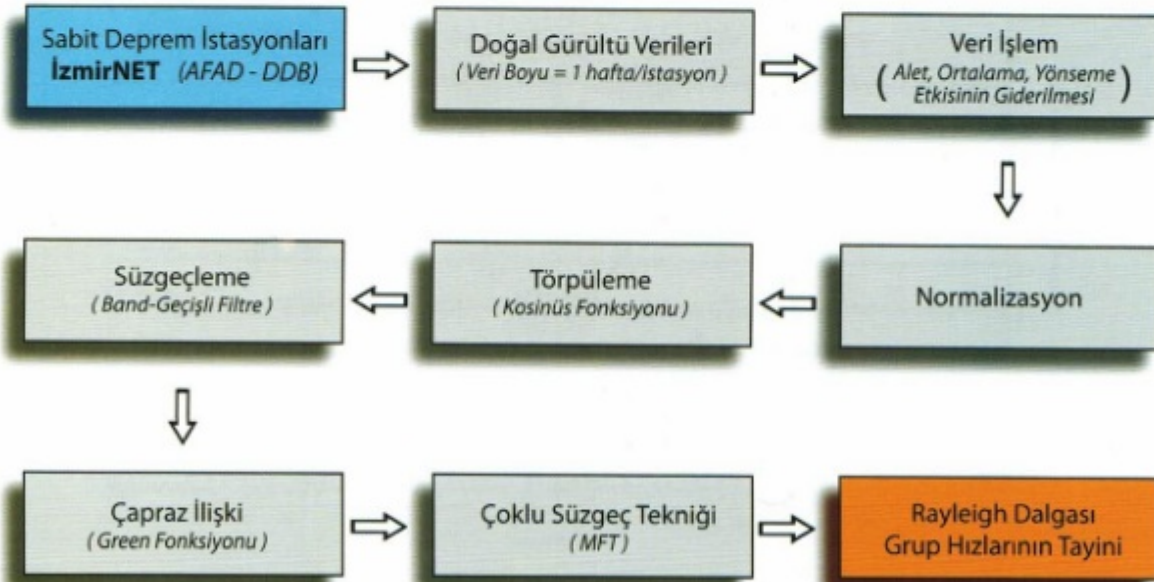
VERİ ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında kullanılan doğal gürültü verileri, AFAD-DDB tarafından işletilen ve ulusal kuvvetli yer hareketi ağının bir parçası olan İzmirNET ivme-ölçer ağından temin edilmiştir. 2008 yılından kurulan bu yerel ağdaki kayıtçıların teknik özellikleri,

örnekleme sayısı ve sinyal nitelikleri ile ilgili bilgiler, Polat ve diğ. (2009)'da ayrıntılı olarak verilmiştir.

Araştırmada kullanılan yöntem ise, derin yeraltı yapılarını temsil eden dalga boylarını ve sismik hızları hesaplamadaki hassasiyeti ve yüksek ayrımlılığı nedeniyle önemli bir avantaja sahip olan İstasyon Çifti yöntemidir (Chavez-Garcia ve diğ. 2005). Yöntemin uygulanış biçimi genel olarak Uzamsal Özilişki (SPAC, Spatial Autocorrelation) yöntemi üzerine kurulur (Aki 1957). Bu teknikle, yarım dairesel dizilim üzerine belli azimutal dağılıma göre hassas konumlandırılmış kayıtçılardan elde edilen gürültü verilerinin analizi ile çapraz ilişki hesaplamaları yapılabilmektedir. Ancak hassas olması gereken dizilim geometrisi, özellikle anakent düzeyindeki büyük şehirlerde uygulamada her zaman mümkün olmayabilir ve konumlandırma hataları içerebilir. Her ne kadar bu hataları en aza indirmeye yönelik çeşitli algoritmalar geliştirilse de (Bettig ve diğ. 2001, Ohori ve diğ. 2002, Cho ve diğ. 2004), derin yeraltı hız yapısını tayin etmede üretilen sonuçlar geneldir. Dizilimdeki istasyon çiftleri arasındaki mesafenin azalmasına (yada tam tersine artmasına) bağlı olarak elde edilen sonuçlar sınırlıdır. Yine de SPAC, birkaç yüz metreye kadar Vs profillerinin güvenilir olarak elde edilmesini mümkün kılmaktadır (Kocaoğlu ve Fırtana 2011, Özalaybey 2011, Zor ve diğ. 2011).

Rayleigh yüzey dalgası içermesinden dolayı, bu çalışmada sadece düşey bileşen gürültü kayıtları kullanılmıştır. Pencere boyu 60 sn ve kaydırma aralığı genelde 20 sn olarak belirlenmiştir. Verilere Chavez-Garcia ve diğ. (2005)'de tanımlanan standart spektral düzeltme işlemleri uygulanmış ve işlem adımları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Veri işlem aşamalarını gösteren şematik diyagram.

Figure 2. Schematic diagram which shows data processing stages.

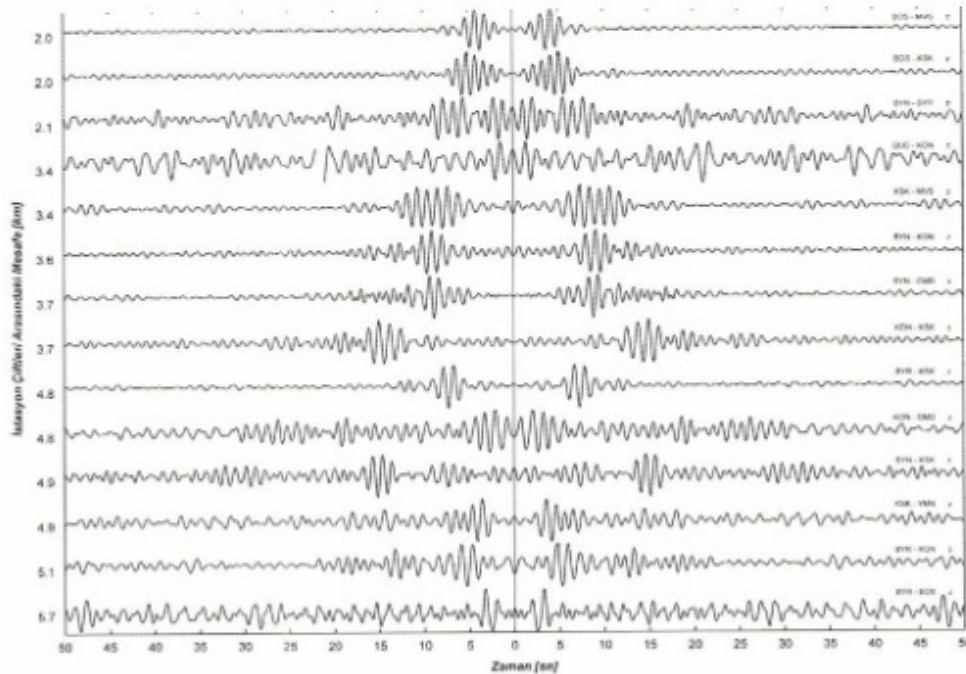
Ön analizler kapsamında doğal gürültü verileri önce 1 saat uzunluğunda seçilmiş ve tüm analizler bu başlangıç veri setine uygulanmıştır. Ancak elde edilen sonuçlar yeterli derecede hassas bulunmadığında, sığ/derin yapılarla olası ilişkisini ortaya koymak amacıyla veri boyu 1 haftaya çıkarılmıştır. Bu çalışmada kapsamında üretilen tüm sonuçlar, 1 hafta uzunluğundaki bu yeni veri setinin analiziyle elde edilmiştir. Tüm istasyonlardan saniyede 100 örnek olarak gelen sayısal verinin örnekleme aralığı, saniyede 5 örnek olacak şekilde azaltılmıştır. Daha sonra 1 günlük dizinler halinde her bir kayıt istasyonu için veri setleri oluşturulmuştur. Bu veriler üzerinde alet etkisi giderilmiştir. Rastgele veya geçici olaylar yanında doğrusal kaymayı, zamanla azalan veya çoğalan gerçek dışı çok uzun periyotlu (çok alçak frekanslı) değişimleri ayıklamak ve spektrum ortamında özellikle alçak frekans bandının olumsuz yönde etkilenmemesi için, veri setindeki ortalama ve doğrusal yönseme (linear trend) etkisi giderilmiştir. Bundan başka, kayıtçı cihazların dinamik aralığından kaynaklanan düzensizlikler ile kayıt zamanı içinde meydana gelen mikro depremlerin etkisini en aza indirmek için normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Spektrum hesaplamalarında temel sorun olan verinin her iki ucunda oluşan simetrik süresizlikleri ve dalgalanmaları (Gibbs Olayını) gidermek için, %10 işlemleri Kosinüs fonksiyonu ile törpüleme yapılmıştır. Bu sayede verinin oldukça dar bir kısmının tıraşlanması ve hızlı bir biçimde sifıra yaklaştırılması sağlanmıştır (Canitez ve Gürbüz 1987). Daha sonra veriler, 0.05 ile 2.0 Hz arasında band-geçişli filtre ile süzölmüştür. Bu aşamalar tamamlandıktan sonra, $n=20$ adet kayıt

istasyonu için toplamda 190 [$n(n-1)/2=20 \times 19/2=190$] adet istasyon çifti oluşturulmuştur. Uzak mesafedeki istasyon çiftleri için, 1 hafta uzunluklu yeni veri setinden ilk değerlendirme sonrası iyi kalite sonuç elde edilememiş, ancak yakın mesafedeki 12 istasyon çiftinin analizleri tamamlanmıştır. Halen farklı kombinasyonlar çiftlerine ait analizlere devam edilmektedir. Ancak daha uzak mesafedeki istasyon çiftlerine ait çalışmalar, veri boyunun (örneğin en az 1-2 ay olacak şekilde) artırılmasıyla önümüzdeki süreçte yeniden başlayacak ve 2012'nin sonlarında tamamlanacaktır.

SONUÇLAR

Seçilen istasyonlar arasındaki mesafe 1.6-12.3 km arasında değişmektedir. İstasyonların çoğu, ağırlıklı olarak Kuvaterner sedimanlar üzerine kurulu olduğundan, hesaplanan grup hızları genelde düşüktür. Rayleigh yüzey dalgası grup hızı en fazla, Karşıyaka (KSK) ile sağlam kaya (andezit) üzerinden yer alan Bayraklı (BYR) istasyon çifti ilişkisinde gözlenmiştir.

Veri işlem aşamaları tamamlandıktan sonra istasyon çiftlerine ait çapraz ilişki fonksiyonları hesaplanmıştır. İstasyonlar arasındaki yer yapısının özelliklerini ortaya koymak amacıyla, bu fonksiyonların türevleri alınmış ve Green fonksiyonları elde edilmiştir. Rayleigh yüzey dalgası çapraz ilişki analizinden elde edilen istasyon çiftlerine ait Green fonksiyonları ve mesafe ile değişimi hesaplanmıştır (Şekil 3).

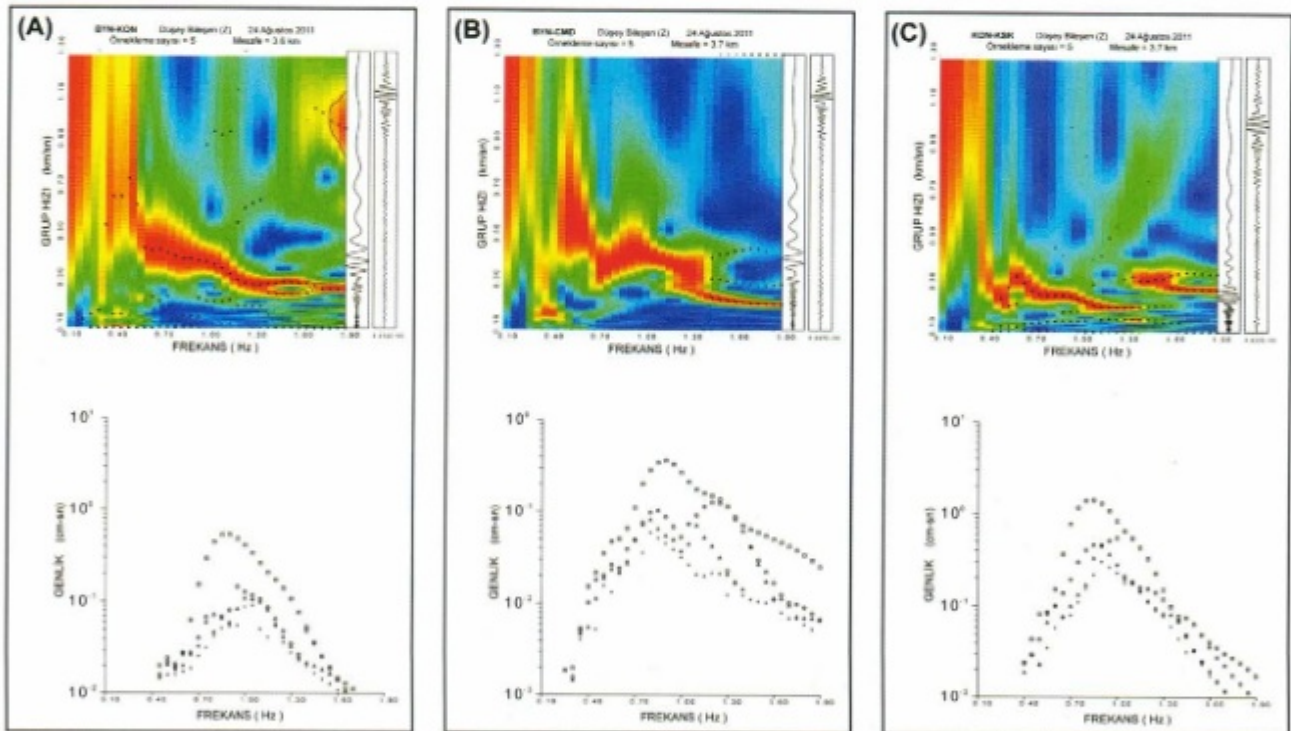


Şekil 3. İstasyon çiftleri için Rayleigh yüzey dalgası çapraz ilişki analizinden elde edilen sismik izlerin mesafe ile değişimi (Polat ve diğ. 2011).

Figure 3. Change of seismic traces with distance, obtained from the cross-correlation analysis of Rayleigh surface waves for station pairs (Polat ve diğ. 2011).

Bazı istasyon çiftlerine ait sismik izlerin görüldüğü bu şekil, sıfır eksenine göre simetriktir. Her bir izde görülen en büyük genlik (pulse), temel mod Rayleigh yüzey dalgası kipidir. BUC-KON sismik izinde hemen tüm periyotlardaki genliklerde düzensizlik gözlenirken, KON-CMD istasyon çiftinde ise düşük frekanslara doğru enerjilerde saçılma gözlenmektedir. Bunun dışında kalan diğer istasyon çiftlerinde ise temel mod Rayleigh yüzey dalgası rahat seçilmektedir. BOS-MVS izinde temel mod Rayleigh pulse'ı varış zamanı, yaklaşık $t=4$ sn'dir. İstasyon çiftleri arasındaki mesafe $x=2$ km olduğuna göre, bu hat üzerindeki ortamın hızı $V=x/t=2\text{km}/4\text{sn}=500$ m/sn'dir. BOS-KSK, BYN-KON, BYN-CMD, KON-KSK ve BYN-KSK istasyon çiftleri içinde benzer hesaplamalar yapıldığında ortam hızlarının sırasıyla; 400, 360, 370, 247 ve 327 m/sn oldukları görülür. Bu istasyonların tamamı kuvaterner alüvyon çökellerin üzerinde yer almaktadır ve gözlenen hızlar jeoloji ile belli bir uyum içindedir. Öte yandan BYR-KSK, KSK-YMN, BYR-KON ve BYR-BOS istasyon çiftleri incelendiğinde hızların yaklaşık olarak; 0.64, 1.40, 1.02 ve 1.63 km/sn oldukları gözlenir. Bu istasyon çiftlerindeki YMN ve BYR istasyonları, İzmir Körfezi kuzeyindeki andezitik volkanik birimler üzerinde yer alır ve hızların, sedimanlardaki istasyonlara göre daha büyük çıkmasının temel nedenini oluşturur.

Bir sonraki aşamada, her bir istasyon çiftine ait Rayleigh yüzey dalgası grup hızı dispersiyon eğrileri, Çoklu Süzgeç Tekniği (MFT) kullanılarak hesaplanmıştır (Dziwonski et al. 1969; Herrmann 1985). BYN-KON, BYN-CMD ve KON-KSK istasyon çiftlerine ait dispersiyon eğrileri Şekil 3'de verilmiştir. Her üç istasyon çifti için kullanılan istasyon gruplarının birbirlerinden olan uzaklıkları ortalama 3.6 km'dir. Hepsinde 0.6 Hz'den daha düşük frekanslarda dispersiyon görüntüsü genelde net değildir ve düşük çözünürlüğe sahiptir. BYN-KON için yer kabuğunun uzun dalga boylarını ifade eden derin yapılar enerjiler 0.1-0.6 Hz frekans bandında net olarak gözlenemese de, daha sık yapılar ilişkin temel mod'lar ve en büyük genlikler 0.6-1.9 Hz arasında iyi seçilmektedir (Şekil 3a). Enerji kalitesinin iyi olduğu sık derinliklere ilişkin bu aralık (periyot cinsinden ifade edilirse 0.5-1.7 sn), dalga boyu ile inilen derinlik göz önüne alındığında 500-1700 m derinlikleri temsil etmektedir. Bununla birlikte BYN-CMD doğrultusunda Rayleigh temel mod ve yüksek mod enerjileri 0.65-1.90 Hz bandında gözlenmektedir (Şekil 3b). Körfezin kuzeyi ile güneyi arasında yer alan KON-KSK hattında, ortamın yüksek heterojenitesinden dolayı düşük enerjiler elde edilse de, 0.6-1.3 Hz frekans aralığında temel mod, 1.3-1.9 Hz bandında da 1. yüksek mod Rayleigh yüzey dalgası kip'lerinin göreceli olarak yüksek çözünürlüğe sahip olduğu gözlenmiştir (Şekil 3c).

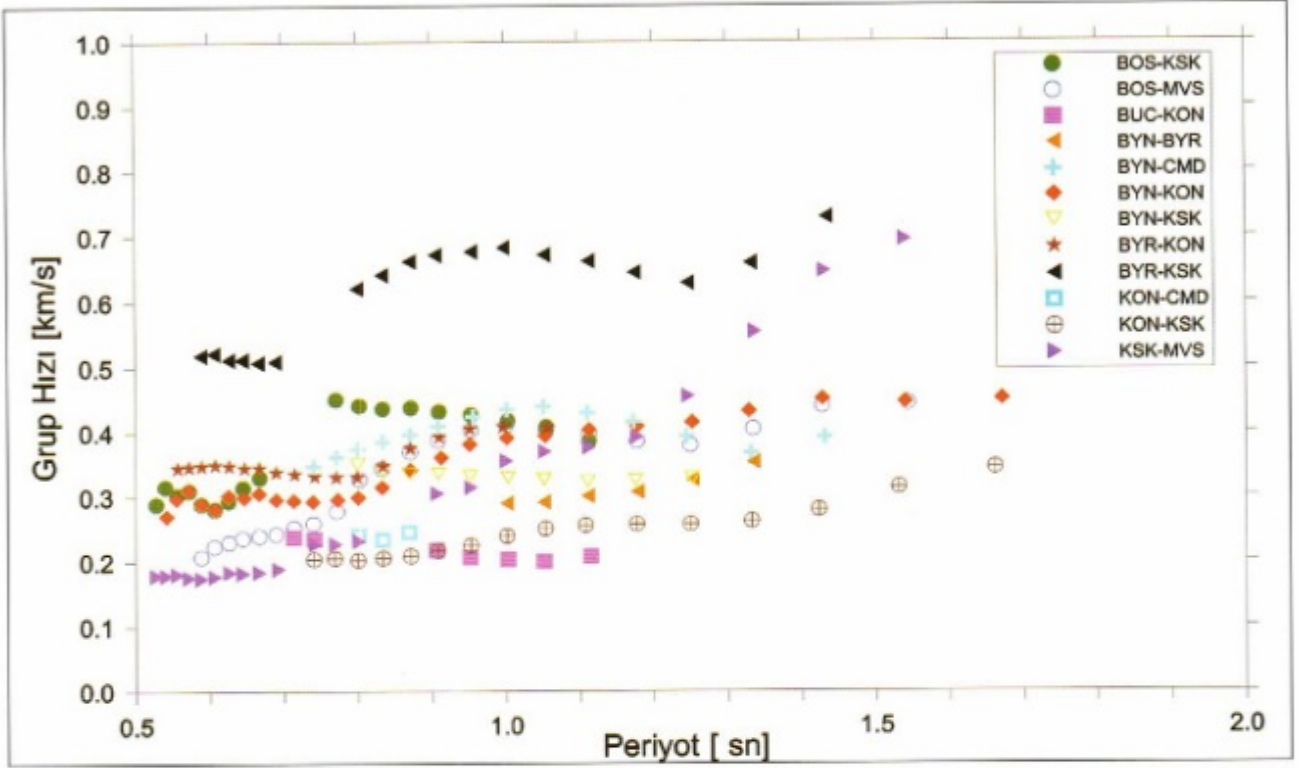


Şekil 4. 0.1-1.9 Hz frekans bandındaki farklı istasyon çiftlerine ait Rayleigh dalgası grup hızı dispersiyon eğrisi ve frekans bağımlı genlikleri. a) BYN-KON için istasyon çifti, b) BYN-CMD için istasyon çifti, c) KON-KSK için istasyon çifti.

Figure 4. Examples of Rayleigh waves group velocity dispersion curves ve frequency dependent amplitudes for different station pairs between 0.1-1.9 Hz frequency band. a) station pair for BYN-KON, b) station pair for BYN-CMD, c) station pair for KON-KSK.

Periyot (T) değerleri ile farklı dalga boylarına ait derinlik (h) arasında belli oranlar söz konusudur. Genel kabul aralarında 1/3 oranı olduğu şeklindedir ($h=T/3$). Ancak birçok yayında bu oranların farklı yorumlanması söz konusudur. Örneğin Shapiro ve diğ. (2005), inilen derinlik (h) ile dalga boyu (T) ilişkisini $h=T+(T/3)$ olarak yorumlamıştır. Yani 7.5 sn periyodunun 10 km, 15 sn periyodunun ise 20 km derinlikteki kabuk yapısına ait olduğunu belirtmiştir. Öte yandan Stankiewicz ve diğ. (2011), dalga boyu (T) ile inilen derinlik (h) ilişkisi

için $h=T$; Chourak ve diğ. (2003) ise bu oranı $h=T/2$ olarak kabul etmiştir. Li ve diğ. (2009, 2010), Petrosino ve diğ. (2002) ve Zeng ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmalarda da h ve T arasındaki oran değeri $h=T/3$ olarak yorumlanmıştır. İzmir’de yürütülen ve ön sonuçları alınan bu çalışmada 12 istasyon çiftine ait yüzey dalgası dispersiyon eğrilerinde gözlenen iyi kalitedeki enerji piklerinin seçilmesiyle, temel mod Rayleigh dalgası grup hızlarının değişimi 0.5-2.0 sn periyot aralığında hesaplanmıştır (Şekil 5).



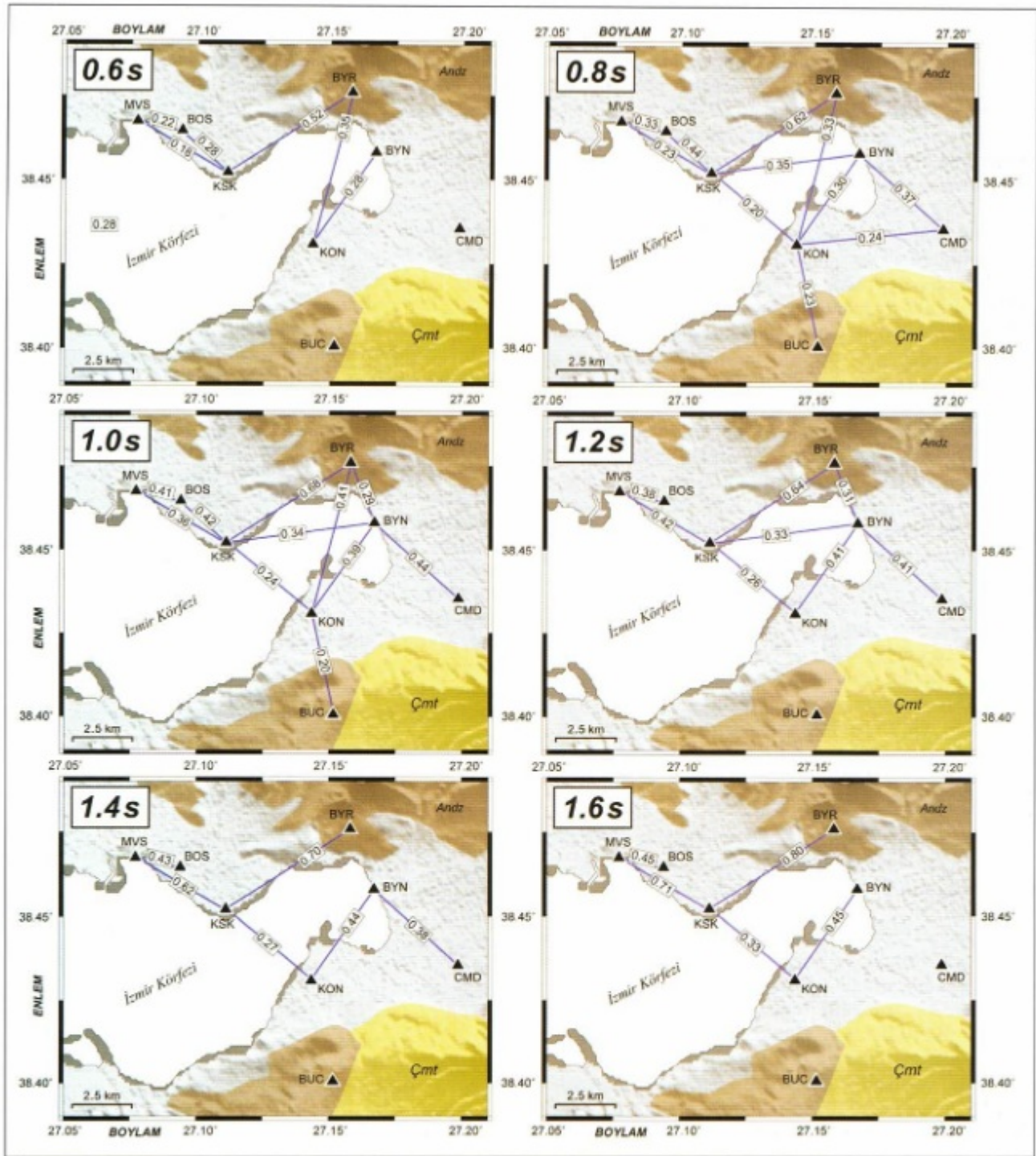
Şekil 5. Rayleigh temel mod'lar için, farklı istasyon çiftlerinden elde edilen grup hızı dispersiyon görüntüleri

Figure 5. Group velocity dispersion images obtained from different station pairs for Rayleigh wave fundamental modes.

Periyot değerleri arttıkça (daha derin yapılara doğru), grup hızlarında genelde bir artış gözlenmektedir ki derine inildikçe (teoride) bu beklenen bir sonuçtur. Dalga boyu (T) ile inilen derinlik (h) arasında, yukarıdaki çalışmalarda yorumlanan sonuçlar göz önüne alınırsa; 1/3 kuralına göre inilen derinliklerin $T=0.5$ sn periyodunda $h=167$ m ile, $T=1.7$ sn periyodu için $h=566$ m arasında olduğu düşünülebilir. En büyük oranlardan birisi olan 1/1 oranı (yani $h=T$) kabul edilirse, bu çalışma kapsamında elde edilen dalga boylarını temsil eden derinliklerin 500 ile 1700 m arasında değiştiği sonucuna varılır.

Yerinin farklı derinliklerine karşılık gelen grup hızları, dispersiyon eğrilerinde seçilmiş ve farklı periyot değerleri için haritalanmıştır (Şekil 6). Periyotlardaki artış (düşük frekanslara doğru yönelim), hızlarda ve

dolayısıyla derinliklerdeki artışı ifade etmektedir. Yeryüzünün sığ kesimlerini temsil eden 0.6 sn periyodunda, çok fazla sayıda istasyon çiftine ait net grup hızı değerleri gözlenmemiştir. Gözlenen hızlar BYR-KSK arasındaki 0.52 km/sn grup hızı dışında genelde düşüktür ve 0.18 ile 0.28 km/sn arasında değişmektedir. 0.8 sn periyodu (en fazla 800 m derinlik) için, BYN-BYR hattı dışında, diğer 11 istasyon çifti için grup hızları seçilmiştir. En fazla hız BYR-KSK hattında 0.62 km/sn olarak hesaplanmıştır. KSK-BOS arasındaki hızın, bir önceki periyot haritası ile karşılaştırıldığında belirgin olarak arttığı (0.44 km/sn) gözlenmiştir. BUC istasyonu andezit birimleri üzerinde yer almasına rağmen; gerek düşük enerji yoğunluğu, gerekse farklı jeolojik birimlerle (BUC-KON) eşleştirilmesinden dolayı, düşük hız (0.23 km/sn) elde edilmiştir. İzmir Körfezinin doğusunda yer



Şekil 6. Yerkabuğunun derinlerine doğru farklı periyotlarda istasyon çiftleri arasındaki grup hızları. İçi dolu üçgenler deprem istasyonlarını, istasyonlar arasındaki çizgiler hız doğrultusunu ve doğrultular arasındaki rakamlar ise km/sn cinsinden grup hızlarını göstermektedir. Andz: Andezitik volkanikler, Çmt: Çamurtaşı-kumtaşı.

Figure 6. Group velocities towards to deeper part of the earth crust at different periods between station pairs. Filled circles are seismic station, lines between stations indicate path, and numbers on the line show group velocities in km/s. Andz: Andesitic volcanics, Çmt: Mudstone-sandstone.

alan CMD istasyonu Bornova havzası üzerindedir ve gözlenen hızlar, nispeten Körfezin Kuzeyinde yer alan istasyon çiftlerinden göreceli olarak yüksektir (0.37km/sn). Bunun dışında kalan diğer istasyon çiftleri için de genellikle düşük hız değerleri (0.20-0.30 km/sn) tespit edilmiştir. 1.0snperiyodu için hazırlanan grup hızı dağılım haritasında KON-CMD istasyon çifti için dispersiyon eğrisinden sağlıklı grup hızı seçilememiştir. En yüksek hızlar BYR-KSK (0.68 km/sn) hattında gözlenmiştir. Körfezin doğusunda doğru CMD-BYN doğrultusunda hızın arttığı (0.44 km/sn) gözlenmiştir. 1.0 sn periyoduna karşılık gelen derinlikte en dikkat çekici hız artışı KSK-MVS hattında gözlenmiş ve hızın bir önceki periyottaki 0.23 km/sn'den 0.36 km/sn'ye yükseldiği belirlenmiştir. Her ne kadar çok önemli farklılık göstermese de, hızdaki artış oranı yaklaşık %60 olmuştur. BUC-KON arasında hızda bir artış gözlenmemiş, az da olsa azalma tespit edilmiştir. 1.2 sn periyot değerine karşılık gelen derinliklerdeki grup hızlarının genelde değişmediği ve 1.0 periyodundaki istasyon çiftleri ile benzer değerlerde olduğu gözlenmiştir. Sadece KSK-MVS hattındaki hızların bir önceki periyoda ait 0.36 km/sn'den 0.42 km/sn'ye yükseldiği belirlenmiştir. 1.4 ve 1.6 sn periyotlarda, çok az sayıda istasyon çiftine ait dispersiyon eğrilerinden grup dalga hızları seçilebilmiştir. Bu derinliklerdeki en belirgin hız artışlarının KSK-MVS doğrultusunda olduğu gözlenmiştir. Hesaplanan hızlar, 1.4 ve 1.6 sn periyot değerleri için sırasıyla 0.62 ve 0.71 km/sn'dir. BYR-KSK istasyon çiftine ait hızlar 1.2 , 1.4 ve 1.6 sn periyotları için sırasıyla 0.64, 0.70 ve 0.80 km/sn'dir.

TARTIŞMA

BYR kayıtçısının yer aldığı istasyon çiftlerinde yüksek grup hızları gözlenmiştir. Yine kuzeyde yer alan KSK-MVS hattında, yüksek periyotlara doğru sistematik artış gözlenmiştir. Güney kesimlerde yer alan istasyon çiftlerinde ise göreceli olarak daha düşük hızlar elde edilmiş ve bazı istasyon çiftlerinde yüksek periyotlara doğru hızın artmadığı tespit edilmiştir. Benzer çalışmalardan hareketle (Chavez-Garcia ve Rodriguez 2007, Chavez-Garcia ve Quintanar 2010), doğal gürültü kaynak alanının Kuzey'den Güney'e eğilimli olduğu sonucuna varılabilir. Körfezin güney kesimlerindeki hızların ise farklı derinliklerde doğru belirgin değişmemesi (hatta azalması); olası bir düşük hız zonundan veya yatay heterojenitedeki artıştan kaynaklanıyor olabilir. Kuzeyde alüvyon çökeller üzerinde yer alan KSK-MVS hattındaki hızların, periyot ile birlikte artış gösterdiği gözlenmiştir. Bu durum, derine inildikçe farklı jeolojik birimlerin ve hız zonlarının varlığından kaynaklanıyor olabilir. Gravite modellemeleri ile yapılan çalışmalarda bu yoruma benzer sonuçlar elde edilmiş ve KSK-MVS hattına yakın bir gravite derinlik kesitinde 500 ve 900 m derinlikte, farklı yoğunluktaki birimler modellenmiştir (Pamukçu ve diğ. 2010). Yine de kesin yargıya varmak

için gürültü analizlerinin devam etmesi ve zamansal açıdan farklı uzunluktaki (1-2 ay) veri setlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar, kesin ve nihai delil olarak ele alınmamalıdır. Çünkü derin yapıları işaret eden düşük frekanslardaki çözüm kalitesinin artırılması, istasyonlar arasındaki mesafe ve veri boyunun artırılmasıyla ilişkilidir. Daha uzun veri boyunun (örneğin 1 veya 2 ay) kullanılacağı analizler bu çalışmanın ilerleyen safhalarında yapılacaktır. Elde edilecek sonuçların, Rayleigh yüzey dalgası temel kip ve yüksek kip ayrımının daha iyi yapılmasını sağlayacağı beklenmektedir. İstasyonlar çiftleri arasındaki mesafenin ve buna bağlı veri boyunun artırılması, daha derin yapıların kalınlık ve hız değişimlerinin çok daha net ortaya konmasını mümkün kılabilir. Grup hızı dispersiyon eğrilerinden faz hızı dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi ve buradan ters çözüm teknikleri ile (yüksek çözünürlüklü) S-dalgası sıg hız yapılarına geçilmesi, farklı hesaplama gridleme teknikleri kullanılarak tomografik görüntüleme çalışmaları, bu araştırmanın nihai sonucu olarak 2012 yılı sonlarına doğru tamamlanmış olacaktır. Türkiye-Meksika arasındaki uluslararası bilimsel işbirliği ile yeni bir veri seti, farklı bir analiz tekniği kullanılarak elde edilen bu ilk sonuçlar, ülkemizde mevcut diğer yerel (veya bölgesel) sabit deprem istasyon ağlarına da kolayca uygulanan bir altyapıyı oluşturmuş olması bakımından da ayrıca önemlidir. Bu nedenle araştırma, farklı ulusal veya uluslararası işbirlikleri kapsamında yürütülmesi muhtemel diğer nitelikli çalışmalara da ışık tutacak mahiyettedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye (DEÜ, TÜBİTAK) ve Meksika (UNAM, CONACYT) münferit bilimsel araştırma fonlarından sağlanan destek kapsamında, Jeofizik Müh. Murat Keçecioğlu'nun DEÜ Yüksek Lisans tez çalışmasının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Söz konusu araştırma TÜBİTAK (Proje No: 111Y015, 2011-2013 dönemi) ve DEÜ-BAP (KB.FEN.2012-001, 2011-2013 dönemi) projeleri tarafından desteklenmiştir. Değerli görüş ve önerileri ile makalenin şekillenmesine olan desteğinden ötürü Jeofizik Dergisi Editörü Dr. Ali Aydın'a, faydalı tespitleri ve tavsiyeleri ile makale içeriğinin geliştirilmesine büyük oranda katkı koyan Dr. Yusuf Bayrak'a, Dr. Nihan Hoşkan'a ve isim bildirmeyen hakeme teşekkür ederiz. Doğal gürültü verilerinin proje kapsamında kullanımını sağlayan Dr. Murat Nurlu ve Sn. Ulubey Çeken ile birlikte tüm AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı çalışanlarına teşekkürü bir borç biliriz. Sistem alt yapısının kurulmasına olan katkılarından dolayı Dr. Elçin Gök'e ve Dr. Francisco J. Chavez Garcia'ya minnettarız. Sinyal işleme ve veri analizlerinde SAC (Goldstein ve diğ. 1998), haritaların üretiminde GMT (Wessel ve Smith 1995) yazılımı kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- Aki, K. 1957, Space ve time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, *Bull. Earthquake Res. Inst. Univ. Tokyo* 25, 415-457.
- Bard, P.Y. ve Ghavez-Garcia, F.J. 1993, On the decoupling of surficial sediments from surrounding geology at Mexico City, *Bull. Seism. Soc. Am.* 83, 1979-1991.
- Bettig, B., Bard, P.Y., Scherbaum, F., Riepl, J., Cotton, F., Cornou, C. ve Hatzfeld, D. 2001, Analysis of dense array noise measurements using the modified spatial auto-correlation method (SPAC): Application to the Grenoble area, *Boll. Geofis. Teor. Appl.* 42, 281-304.
- Cambaz, M.D. ve Karabulut, H. 2011, Velocity structure of Turkey ve surroundings by passive imaging technique, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, s18.
- Canitez, N. ve Gürbüz, C. 1987, Spektrum Hesaplamalarında Ön İşlemler ve Pencereleme, Spektral Analiz ve Jeofizik Uygulamaları kitabı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No 1, Canitez, N., Yaramancı, U. ve Özdemir, H. (ed.), İstanbul.
- Ceken, U., Gok, E., Yilmaz, D. ve Polat, O. 2009, Preliminary Results of the Ground-Motion Characterization of Metropolitan İzmir: Aegean Region of Turkey, 5th Congress of Balkan Geophysical Society 10-16 May 2009, Belgrade-Serbia, p6569.
- Chavez-Garcia, F.J. ve Luzon, F. 2005, On the Correlation of Seismic Microtremors, *J. Geophysical Research* 110:B11313, doi:10.1029/2005JB003671.
- Chavez-Garcia, F.J. ve Rodriguez, M. 2007, The Correlation of Microtremors: Empirical Limits and Relations Between Results in frequency and Time Domains, *Geophys. J. Int.* 171, 657-664, doi: 10.1111/j.1365-246X.2007.03529.x.
- Chavez-Garcia, F.J., Rodriguez, M. ve Stephenson, W.R. 2005, An alternative approach to the SPAC Analysis of Microtremors: Exploiting stationarity of Noise, *Bull. Seism. Soc. Am.* 95:1, 277-293.
- Chavez-Garcia, F.J., Rodriguez, M. ve Stephenson, W.R. 2006, Subsoil structure using SPAC Measurements along a line, *Bull. Seism. Soc. Am.* 96:2, 729-736.
- Chavez-Garcia, F.J. ve Quintanar, L. 2010, Velocity structure under the Trans-Mexican volcanic belt: preliminary results using correlation of noise, *Geophys. J. Int.* 183, 1077-1086.
- Cho, I., Tada, I. ve Shinozaki, Y. 2004, A New Method to Determine Phase Velocities of Rayleigh Waves From Microseisms, *Geophysics* 69, 1535-1551.
- Cho, K.H., Herrmann, R.B., Ammon, C.J. ve Lee, K. 2007, Imaging the Upper Crust of the Korean Peninsula by Surface-Wave Tomography, *Bull. Seism. Soc. Am.* 97 (1B), 198-207.
- Chourak, M., Corchete, V., Badal, J., Seron F. ve Gomez, F. 2003, Imaging of the Near Surface Shear-Wave Structure of the Granada Basin (Southern Spain), *Bull. Seism. Soc. Am.* 93 (1), 430-442.
- Dziewonski, A.M., Bloch, S. ve Landisman, M. 1969, A Technique for the Analysis of Transient Seismic Signals, *Bull. seism. Soc. Am.*, 59, 427-444.
- Gok, E., Polat, O., Ceken, U., Yalcinkaya, E., Kececioglu, M. ve Akcig, Z. 2010, Site Amplification at strong-ground motion stations in Metropolitan İzmir, Turkey, European Seismological Commission 32nd General Assembly (ESC-2010) on 6-10 September 2010, Montpellier-France, p243.
- Gok, E. 2011, Investigation of Earthquake Hazard ve Seismic Site Characteristic in the Examples of Bursa ve İzmir, Doktora Tezi (ingilizce), Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, p170.
- Goldstein, P., Dodge, D., Firpo, M. ve Stan, R. 1998, Electronic Seismologist: What's new in SAC2000? Enhanced Processing ve Database access, *Seismol. Res. Lett.* 69, 202-205.
- Herrmann, R.B. 1985, Computer Programs in Seismology, Vol. 8, Saint Louis University, Saint Louis, MO.
- Kang, T.S. ve Shin, J.S. 2006, Surface-Wave Tomography from Ambient Seismic noise of Accelerograph Networks in Southern Korea, *Geophys. Res. Lett.* 33, doi:10.1029/2006GL027044.
- Kocaoğlu, A. ve Fırtana, K. 2011, Uzamsal Özilişki Katsayılarının Doğrudan Ters Çözümü İle S-Dalgası Hız Profillerinin Elde Edilmesi, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s123.
- Li, H., Su, W., Wang C-Y ve Huang, Z. 2009, Ambient noise Rayleigh Wave Tomography in Western Sichuan and eastern Tibet, *Earth Planet. Sci. Lett.* 282, 201-211.
- Li, H., Bernardi, F. ve Michelini, A. 2010, Surface wave dispersion measurements from ambient seismic noise analysis in Italy, *Geophys. J. Int.* 180, 1242-1252, doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04476.x
- Ohori, M., Nobata, A. ve Wakamatsu, K. 2002, A comparison of ESAC ve FK methods of estimating phase velocity using arbitrarily shaped microtremor arrays, *Bull. Seism. Soc. Am.* 92, 2323-2332.
- Özalaybey, S. 2011, Arka Plan Sismik Gürültü İle Sismolojik Çalışmalar, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s121.
- Petrosino, S., Cusano, P., Saccorotti, G. ve Del Pezo, E. 2002, Seismic Attenuation and Shallow Velocity Structures at Stromboli Volcano, Italy, *Bull. Seism. Soc. Am.* 92 (3), 1102-1116.
- Pamukçu, O., Yurdakul, A., Kahveci, M., Salk, M., Gönenc, T., Ersay, E., Ergintav, S., Belgen, A. 2010, Evaluation of Microgravity and GPS/GNSS Data Together by the Network System and a Case Study in İzmir (Western Turkey), 10th SGEM-2010 Conference 20-26 June 2011, Bulgaria, s777.
- Polat, O., Ceken, U., Uran, T., Gok, E., Yilmaz, N., Beyhan, M., Koc, N., Arslan, B., Yilmaz, D. ve Utku, M. 2009, İzmirNet: A Strong-Motion Network in Metropolitan İzmir, Western Anatolia, Turkey, *Seism. Res. Lett.* 80:5, 831-838.
- Polat, O., Chavez-Garcia, F., Çeken, U., Gök, E. ve Kececioglu, M. 2011, Sismik Gürültü İlişkisi Kullanılarak İzmir

ve Çevresi Yeraltı Hız Yapısı: İlk Sonuçlar, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s125-126.

(WWW: <http://people.deu.edu.tr/orhan.polat/yayin.htm>)

Sabra, K.G., Gerstoft, P., Roux, P., Kuperman, W.A. ve Fehler, M.C. 2005, Extracting time-domain Greens function estimates from ambient seismic noise, *Geophys. Res. Lett.* 32, L03310, doi:10.1029/2004GL021862.

Shapiro, N.M. ve M. Campillo 2004, Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise, *Geophys.Res.Lett.* 31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491.

Shapiro, N.M., Campillo, M., Stehly, L. ve Ritzwoller, M.H. 2005, High resolution surface-wave tomography from ambient seismic noise, *Science* 307, 1615-1618.

Stankiewicz- J., Weber, M.H., Mohsen, A. ve Hofstetter,

R. 2011, Dead Sea Basin Imaged by Ambient Seismic Noise Tomography, *Pure Appl. Geophys.*, doi: 10.1007/s00024-011-0350-y.

Wessel, P. ve Smith, W.H.F. 1995, New version of the Generic Mapping Tools (GMT), *EOS Transactions* 76, p329.

Zheng, S., Sun, X., Song, X., Yang, Y. ve Ritzwoller, M.H., Surface wave tomography of China from ambient seismic noise correlation, *Journal of G³ Geochemistry Geophysics Geosystems* 9 (5), 1-8, doi:10.1029/2008GC001981.

Zor, E., Özalaybey, S., Karaaslan, A., Tapırdamaz, M.C., Özalaybey, S.Ç., Tarancıoğlu, A. ve Erkan, B. 2011, Aktif ve Pasif Kaynaklı Dizin Yöntemleri ile S-Dalga Hız Yapısı Eldesi ve Zemin Sınıflaması, Birinci Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (1.TDMSK), 11-14 Ekim 2011 ODTÜ, Ankara, s122.

THE TURKISH JOURNAL OF GEOPHYSICS

is a publication of the Chamber of Geophysical Engineers of Türkiye. It was originally established in 1987 and had been published to 2001. The Journal of Turkish Geophysics is an international English-language and Turkish journal for the publication of significant original recent research in a wide spectrum of topics in the geophysics sciences, such as applied geophysics, seismology, earthphysics, arkeogeophysics, environmental geophysics.

The journal publishes the quality papers and comprehensive review papers on hot topics of current interest, with high quality illustrations. Submitted papers should have regional implications and attract international interest as the journal aims to provide a large for geophysics disciplinary papers that would be of interest to geophysicist.

To original and review articles, we are also interested in publishing discussions of papers that have already appeared in recent issues of the journal. The journal also publishes thematic sets of papers on topical aspects of geophysics or special issues of selected papers from conferences. Short articles (6 printed pages maximum) for rapid publication reporting a significant advance in the geophysics sciences with regional impact are welcome.

The Turkish Journal of Geophysics is published every six months (January and May). There are no page charges for papers published in the journal.

Copyright©1987 JFMO (the Chamber of Geophysical Engineers of Türkiye), Milli Müdafaa Caddesi, No:10/7 06650 Kızılay, Ankara, Turkey. It is condition of publication that manuscripts submitted to this journal have not been published and will not be simultaneously submitted or published elsewhere. By submitting a manuscript, the authors agree that the copyright for their article is transferred to the Publisher if and when an article is accepted for publication. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, electrostatic, magnetic tape, mechanical, photocopying, recording, E-mail or otherwise, without permission in writing from JFMO.

Single photocopies of articles may be made for personal use as allowed by national copyright laws. Permission of the publisher and payment of fee are required for all other photocopying, including multiple or systematic copying for advertising or

promotional purposes, resale, and all forms of document delivery.

INSTRUCTIONS FOR CONTRIBUTORS

The Turkish Journal of Geophysics (Jeofizik) is a publication of JFMO (the Chamber of Geophysical Engineers of Türkiye), published since 1987.

Submission of Manuscripts

Manuscripts for publication should be submitted through our online system: <http://www.jeofizikdergisi.org> or send to makale@jeofizik.org.tr E-mail addresses. Papers should be original and comprise previously unpublished research or interpretations or syntheses of the two. Submission implies that the manuscript is not currently under consideration for publication elsewhere.

Authors are invited to nominate up to five possible referees (with their affiliations, e-mail addresses and fax numbers, if possible) in the Comments To Editor box during the submission process. Please note that those nominees might not be chosen.

Preparation of Manuscripts

Papers of any length are considered, provided that the length is justified. Manuscripts (abstract, text, acknowledgements, references, appendices and figure captions) should be typed on one side of the paper with wide margins (All margins should be 2.5 cm), and double-spaced throughout, and with all pages numbered. Pages of captions for figures and tables should be paginated separately. The various levels of headings used should be clearly differentiated. Major headings should be placed flush left, in bold-face type, with significant words capitalized. Secondary headings should be placed flush left, in bold-face type, with initial letters of significant words capitalized. Third-level headings are similar to the second-level headings, except that they are indented italicized. Margins should not be justified. Manuscripts must be in English or Turkish, but an extended abstract or abstract in Turkish or English, headed by a Turkish translation of the title, is also required. If the authors are residents of a non-Turkish speaking country, they may include an extended abstract in English. Translation into Turkish will be done by the Journal. Either British or American spelling is acceptable. It is recommended that authors whose native language is not English seek help from a colleague whose mother tongue is English.

Manuscripts should generally be structured as follows:

- 1- Title (Turkish and English)
- 2- Names of the authors and their affiliations, with the e-mail address of the corresponding author (full forenames)
- 3- Abstract (Turkish)
- 4- Abstract (English)
- 5- Key words (Turkish)
- 6- Key words (English)
- 7- Introduction
- 8- Methods, Material Studied and Descriptions
- 9- Results
- 10- Discussion and/or Conclusions
- 11- Acknowledgements
- 12- References
- 13- Appendices
- 14- Tables
- 15- Figures and captions

Cover Page

A cover page, separate from the main manuscript, must include the following:

- Full title
- Names of authors (full forenames should be given)
- Full postal and e-mail addresses of authors (the corresponding author should be indicated). A fax number for the corresponding author should also be given.
- Abbreviated title (less than 35 characters) for use as a "running head" at the top of the page

ABSTRACT

An informative "Abstract", not exceeding 300 words, should be a concise summary of the paper stating the methods used, the main results and conclusions. It should not contain citations. The manuscript should continue with an extended abstract in Turkish, headed by a Turkish translation of the title.

Key Words

Authors should provide 6-8 key words to assist the reader and allow cross-indexing of the paper. Plural

forms and upper-case letters should be avoided. Key words should be written in lower-case letters and be separated by commas.

REFERENCES

Please study this section thoroughly before preparing the final draft of your manuscript and keep in mind that correct and complete referencing is evidence of careful manuscript preparation. References should be inserted in parentheses in full. For single or dual author papers, refer to authors' names (without initials unless there are two or more references to authors with the same surname and year are cited in the manuscript) and year of publication (Kadirov 2010). For publications written by more than two authors, the name of the first author should be used, followed by "et al." (Gülünay 2001a, 2001b). Please note that no commas are to be used between name and date. Lists of references in citations should be arranged chronologically, from the earliest to the most recent, separated by semi-colons (Brett et al. 1947a, b; Rice 1958; Ercan 1991; Pınar ve Akçığ 1992; Ergun et al. 2001; Karlı 2001). Specific pages or illustrations should be cited by the author's name and year, followed by page numbers and figure numbers (if necessary) (Dondurur 2010, p. 1234, fig. 1). All references cited in the text must be listed at the end of the paper. The manuscript should be carefully checked to ensure that the spellings of authors' names and publication years are exactly the same in the text as in the reference list. References should be listed in alphabetical order. In this list, names of all authors and journal names should be given in full.

Examples

Klein, J.D., Biegler, T. and Horne, M.D. 1984, Mineral interfacial processes in the method of induced polarization, *Geophysics* 49, 1105-1114.

Klein, J.D. and Shuey, R.T. 1978a, Non linear impedance of mineral-electrolyte interface. Part I: Pyrite, *Geophysics* 43, 1222-1234.

Klein, J.D. and Shuey, R.T. 1978b, Non linear impedance of mineral-electrolyte interfaces. Part II: Galena, Chalcopyrite and Graphite, *Geophysics* 43, 1235-1249.

Bayrak, Y., Yılmaztürk, A. and Öztürk, S. 2002, Lateral variations of the modal (a/b) values for the different regions of the world, *Jour. of Geodynamics* 34, 653-666.

Pınar, Ö.R. and Akçığ Z. 1995, Jeofizikte Sinyal Kuramı ve Dönüşümler, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ö. Kenar, (ed). Ankara.

MacDonald, D.D. 1977, Transient Techniques in Electrochemistry, Plenum Press, New York.

Sluyters-Rehbach, M. and Sluyters, J.H. 1970, Sine wave methods in the study of electrode processes in Electroanalytical Chemistry 4, J.A. Bard, (Ed.). Marcel Dekker, New York.

Smith, D.E. 1966, AC polarography and related techniques, in Electroanalytical Chemistry 1. J.A. Bard, (ed.). Marcel Dekker, New York.

ACKNOWLEDGEMENTS

Acknowledgements must be brief and confined to persons and organizations who have made significant contributions. Use full names without titles and ranks.

Figures

Figures will preferably be either single column or double column width when printed. The final printed page size is 21.5 cm deep by 17.0 cm wide; single column width is 81 mm. Please design your diagrams with the above dimensions in mind. For hand-drawn diagrams, lettering must be drafted sharply and neatly. The same type of lettering should be used throughout.

Illustrations should have metric-scale bars rather than magnification factors. All maps should have north, and latitude and longitude indicated. Patterns should be explained within the figure, not in the figure caption. Detailed maps or other diagrams (logs, etc.), which may require a whole page, are welcome. Foldouts (up to A3 size) can only be accepted in exceptional cases. This is possible only if justified and accepted by the reviewers and the editor. Authors wishing to have foldout illustrations should have a separate statement explaining its necessity. Landscape figures should have no lettering upside down on the final printed page. Color figures can be accepted provided that the author is prepared to pay the extra production costs.

Any computer-generated line illustrations should be in EPS format. Figures should be submitted at the final publication size. Do not use flat and fine shading, or tones. Shading should be distinct. Photographs must be black and white and sharp, and exhibit good contrast.

All illustrations must be numbered in the order in which they are discussed and referred to in the text

as **Figure 1** or **Figures 1 and 2** (if more than one figure is referred to). Each figure must have a caption that is intelligible without reference to the text and should be given both languages below the figures. Figure captions should be provided separately from the figures at the end of the manuscript and double-spaced. They should begin "**Figure 1**" etc. Composite figures should be mounted together and the parts labeled **a)**, **b)**, **c)**, etc.

Tables

A table should not exceed the printed area of the page. Foldouts cannot be accepted. Each table must have a caption that is intelligible without reference to the text. Table captions should be provided on separate sheets at the end of the manuscript and double-spaced. They should begin "**Table 1**" etc. All tables must be numbered in the order in which they are mentioned in the text. Tables should be referred to as **Table 1** or **Tables 1 and 2** (if more than one table is referred to). All non-standard abbreviations must be identified in footnotes, for example, abbreviations for minerals and rock types.

Page Proofs

One set of page proofs will be sent to the corresponding author to be checked for typesetting/editing errors. The author is not expected to make changes or corrections that constitute departures from the article that was accepted by the editor. If this occurs, authors must be prepared to meet the production costs. Proofs should be returned to be Editor in Chief within 4 days of receipt.

Offprints

Twenty-five offprints of papers published in the Journal will be provided free of charge to the corresponding author. An offprint order form will be sent with the proofs.

Copyright

Upon acceptance of an article by the Journal, the authors will be asked to transfer the copyright of the article to JFMO. This transfer will ensure the widest possible dissemination of information. The authors are responsible for obtaining permission to use any copyrighted material.

Discussions

Discussions of papers that have already appeared in The Turkish Journal of Geophysics (Jeofizik) are welcome. They should follow the style of articles and must be no longer than four printed pages of the Journal.

YAYIM KOŞULLARI

JEOFİZİK Dergisi uluslar arası dil olan İngilizce ve Türkçe olarak uygulamalı jeofizik, sismoloji, yer fiziği, arkeojeofizik, çevre jeofiziği, zemin etüdü, yeraltı suyu gibi jeofizik bilim dalları gibi geniş bir alanda orijinal olarak güncel çalışmaların yayınlandığı uluslar arası bir dergidir. Dergi kaliteli kuşe kâğıda, son teknolojinin kullanıldığı ve yüksek çözünürlükle basılır ve elektronik ortamda da yayınlanır. Dergide yayınlanan makaleler bölgesel ve uluslar arası ilgiyi içeren ve jeofizik mesleğine yönelik çalışmaları, yine jeofizik ve yerbilimleri çalışanlarına ileten bir yayın organıdır.

Orijinal ve incelemeyen geçen makaleler, basım için kabul edilen makaleler kısmında elektronik ortamda okur ve araştırmacıların erişimine sunulur. Ayrıca sempozyum, çalıştay, konferans gibi etkinlikler, belirli bir konudaki çalıştaylar için özel sayı çıkarılır. Kısa makaleler (en fazla 5 sayfa) bölgesel ve güncel jeofizik konularını kapsamaları ve ilgi çekmeleri halinde hızlı basıma kabul edilecektir. Jeofizik Dergisi her altı ayda (Ocak ve Mayıs) bir basılır.

Copyright©1987 JFMO (Türkiye Jeofizik Mühendisleri Odası), Milli Müdafaa Caddesi, No:10/7 06650 Kızılay, Ankara, Türkiye yayını olup, makale yayın sürecinde bazı yayın kurallarına uyulması gerekir. Bunlar; dergiye herhangi bir yerde yayınlanmayan makale gönderilmiş ise bu süreçte başka bir yere yayın için gönderilemez, makale yayın için başvurulmasıyla yazar/lar copyright şartlarını kabul ederler ve yayına kabul edildikten sonra tüm hakları saklı kalmak kaydı ile dergi, makale yayın hakkını kullanır. Dergide yayınlanan makalenin hiç bir parçası yeniden üretilemez, herhangi bir sisteme transfer edilemez, elektronik, elektrostatik, manyetik teyp, mekaniksel, fotokopi veya başka yollarla JFMO'dan yazılı izin alınmazdan çoğaltılamaz ve dağıtılamaz, uluslar arası Copyright kanunlarına göre makalenin bir fotokopisi kişisel kullanım için alınabilir, yayıncı izni alındıktan ve ücreti ödendikten sonra fotokopi çoğaltması, çoklu veya sistematik olarak reklam veya promosyon amaçlı çoğaltılması ve tüm doküman tipleri gerçekleştirilebilir.

JEOFİZİK dergisinde yayımlanacak yazıların aşağıda belirtilen koşullara uygun olarak hazırlanması gerekmektedir. Biçim olarak yayım koşullarına uymayan yazılar incelemeye alınmayacaktır. Yayına kabul edilen yazıların çıktıları alınarak her sayfası imzalı olarak yayın editörüne postalanmalıdır. Makale özet, abstract, ana yazı, kaynaklar, şekil ve çizelge yazıları ayrı

bölümler halinde yazılmalıdır. **JEOFİZİK** dergisinde yayımlanmak üzere gönderilmiş makalelerle ilgili bütün yazışmalar TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası ve dergi editörü ile yapılır. Başka yayın organlarında yayımlanmış veya yayım için gönderilmiş makaleler dergide yayınlanmayacaktır. Yazar/lar, makalenin Yayın Kurulu'na ilk gönderilişinde bir sunuş mektubu ile yazının başka bir yerde yayımlanmadığını ve bundan sonrada yayım için sunulmayacağını belirtmelidir.

YAZIM KURALLARI

Jeofizik Dergisi; Türkiye Jeofizik Mühendisleri Odasının bir yayınıdır ve 1987 yılından beri aralıklı olarak yayınlanmaktadır.

Makale Başvurusu

Dergi yayın ve kabul sayfası olan <http://www.jeofizikdersisi.org> sayfası kullanılarak elektronik ortamdan makale ve ekleri girilebilir veya makale@jeofizik.org.tr adresine gönderilebilir. Makalelerin orijinal ve bir bütünlük içinde daha önce hiç bir yerde yayınlanmamış olması gerekir. Yazar/lar -mümkün ise- makale konusuyla ilgili en az beş hakem önerisinde bulunabilirler, önerilen hakemlere ait E-mail, faks, adres bilgileri çalışmayla birlikte editöre sunum mektubunda yer alabilir. Konu editörleri bu hakemleri isterse, makale incelemesi için seçerler.

Makalenin Hazırlanması

Makale uzunluğu kabul edilebilir ölçülerde "özet, abstract, metin, teşekkür, referans, ekler, tablo ve figür" kısımlarından oluşmalıdır. Sayfalarda metin her iki kenara dayalı ve sağ, sol, alt, üst boşluklar 2.5 cm olmalı, her satırı çift aralıkla verilen makalenin tümünde sayfalar sürekli artan şeklinde numaralandırılmalı, ayrıca her sayfaya numara verilmelidir. Her bir figür ve çizelge ayrı sayfalarda verilmelidir. Makale içindeki bölüm başlıkları açık bir şekilde verilmelidir. Büyük başlıklar büyük harflerle, koyu karakterle ve metinle aynı seviyede verilmez. İkinci başlıklar aynı karakterde olmalı fakat kelimelerin ilk harfleri büyük koyu karakterde girilmelidir. Üçüncü alt başlıklar ise ikinci başlık normunda ve normal metin karakterinde olup, italik formda verilmelidir. Makale Türkçe veya İngilizce olarak yazılmalıdır, fakat makale başlığı, geniş özet veya özet ayrıca Türkçe veya İngilizce verilmelidir. Eğer yazar Türkçe bilmiyor ise Türkçe özeti dergi tarafından yapılacaktır. İngilizce metinler Amerikan veya İngiliz İngilizcesinin her ikisiyle yazılabilir. Yazılar elektronik ortamda Microsoft Word yazılımı

kullanılarak Times New Roman 10 punto olmak üzere, iki aralıklı ve sürekli artan satır numarası ve sayfa numarası ile verilmeli, sayfaların üst, alt, sol ve sağ yanlarında boşluklar bırakılmalıdır. Şekiller, çizelgeler ve bunlara ait yazılar yazı içerisine konulmamalı, yerleştirme ve yazılımı açısından güçlük çıkarttığı için gerekmedikçe dipnotlardan kaçınılmalıdır.

Makale bölümleri

Makale bölümleri aşağıdaki sıra ile verilir;

- 1-Başlık
- 2-Tam yazar isimleri, işyeri ve mail adresleri, sorumlu yazar
- 3-Özet
- 4-Abstract
- 5-Anahtar Kelimeler
- 6-Key words
- 7-Giriş
- 8-Metotlar, Çalışma alanı, Çalışılan materyaller ve tanımlamalar
- 9-Sonuçlar
- 10-Tartışmalar ve/veya Sonuçlar
- 11-Teşekkür
- 12-Kaynaklar
- 13-Ekler
- 14-Tablolar
- 15-Figürler

Ön sayfa

Ön sayfa makaleden ayrılmalı ve aşağıdaki bölümlere dikkat edilmeli;

- Tam Başlık önce Türkçe sonra İngilizce verilmelidir.
- Yazar adları kısaltma kullanılmadan tam verilmelidir.
- Tam posta ve e-mail adresleri (sorumlu yazar belirtilerek), sorumlu yazarın faks numarası verilmelidir.
- Kısa başlık (en fazla 40 karakter) olmalıdır.

Özet

350 kelimeyi aşmayacak makale özeti; kullanılan yöntemler, ana sonuçlar ve tartışmaları atıf

yapmazdan yazılmalıdır. Makale daha sonra İngilizce geniş veya normal abstract şeklinde verilmelidir.

Anahtar Sözlükler ve Key Words

Özet ve Abstract'tan sonra yazar/lar 6-8 arası anahtar sözcük ve Key Words vermeli, sözcükler büyük harfle ve aralarında virgül kullanılarak verilmelidir.

GİRİŞ

Özet ve Abstract'tan sonra iki satır boşluk bırakılarak, giriş başlığı adı altında çalışmanın amacı ve çalışma ile ilgili literatüre bilgi verilmelidir.

MATERYAL METOT

Çalışmada kullanılan materyal ve uygulanan metot anlatılmalıdır.

TARTIŞMA VE/VEYA SONUÇLAR

Çalışmanın niteliğine göre, elde edilen sonuçlar Tartışma kısmında verilebileceği gibi, Sonuçlar başlığı altında da verilebilir.

KATKI BELİRTME

Gerekirse kaynaklardan önce katkı belirtme ve teşekkür kısmı verilebilir, Çalışmayı destekleyen kuruluşlar, proje adı ve numarası, vb. Katkıda bulunanların isimleri unvan kullanılmazdan verilmelidir.

KAYNAKLAR

Yazar bu bölümü, makaleye son hali verildikten sonra yeniden çok dikkatli bir şekilde çalışmalı ve bu bölümde metin içinde atıfta bulunduğu tüm çalışmaları alfabetik sırayla vermelidir. Metin içinde atıflar parantez içinde virgül kullanılmazdan (Yazar soyadı yıl) şeklinde verilmelidir, örneğin (Kadirov 2010). Aynı yazarın, aynı yılda birden fazla yazısının kaynak olarak gösterilmesi durumunda a, b, c şeklinde bir sıralama yıl sonuna eklenmelidir. Yazı içerisinde bir yazarın birden fazla yazısını belirtmek için yıllar virgülle ayrılarak verilmelidir. Örneğin (Gülünay 2001a, 2001b). Birden çok yazarı atıf etmek için yayınların basım yılları dikkate alınmalı ve ilk çıkandan başlayarak sıralanmalı, aralarında noktalı virgül kullanılmalıdır (Brett et al. 1947a, b;

Rice 1958; Ercan 1991; Pınar ve Akçığ 1992; Ergun et al. 2001; Karslı 2001). Özel sayfa, çizelge ve/veya figür atıf edilecek ise (Dondurur 2010, p. 1234, fig. 1) şeklinde verilir. (Kaynaklar listesinde alt alta düşen aynı yazar adı için çizgi kullanılmamalıdır. Birden fazla yazar olduğunda makale Türkçe ise "ve", İngilizce ise "and" sözcüğü kullanılmalıdır. Referans edilen çalışmanın yazar isimlerinin ve yılının doğru girildiği, metinde atıf edilen yazar isimlerinin kaynaklar kısmında girilenle aynı olduğu kontrol edilmelidir.

Makalelerin kaynak verilmesinde, yazar soyadı, adın ilk harfi, yıl, makale adı, yayınlandığı dergi, cilt no. sayfa notları sırasına uyulmalıdır. Aşağıdaki örneklerin incelenmesiyle anlatılmaya çalışılan kalıplar açıklıkla görülebilir:

Klein, J.D., Biegler, T. and Horne, M.D. 1984, Mineral interfacial processes in the method of induced polarization, *Geophysics* 49, 1105-1114.

Klein, J.D. and Shuey, R.T. 1978a, Non linear impedance of mineral-electrolyte interface. Part I: Pyrite, *Geophysics* 43, 1222-1234.

Klein, J.D. and Shuey, R.T. 1978b, Non linear impedance of mineral-electrolyte interfaces. Part II: Galena, Chalcopyrite and Graphite, *Geophysics* 43, 1235-1249.

Bayrak, Y., Yılmaztürk, A. and Öztürk, S. 2002, Lateral variations of the modal (a/b) values for the different regions of the world, *Jour. of Geodynamics* 34, 653-666.

Kitapların kaynak verilmesinde, yazar soyadı, adın ilk harfi, yıl, kitabın adı, yayıncı sırasına uyulmalıdır. Sayfa sayısı ise belirtilmemelidir. Kitap adının yazılımında kelimelerin ilk harfleri büyük harf olmalıdır. Tez, rapor ve benzeri yazılar için de aynı kural geçerlidir.

Pınar, Ö.R. and Akçığ Z. 1995, Jeofizikte Sinyal Kuramı ve Dönüşümler, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ö. Kenar, (ed). Ankara.

MacDonald, D.D. 1977, Transient Techniques in Electrochemistry, Plenum Press, New York.

Kitap içerisinde yayınlanan makalelerin kaynak gösterilmesi aşağıdaki biçimde olmalıdır.

Sluyters-Rehbach, M. and Sluyters, J.H. 1970, Sine wave methods in the study of electrode processes in *Electroanalytical Chemistry* 4, J.A. Bard, (Ed.).

Marcel Dekker, New York.

Smith, D.E. 1966, AC polarography and related techniques, in *Electroanalytical Chemistry* 1. J.A. Bard, (ed.). Marcel Dekker, New York.

Dergi, kuruluş ve yayıncı adlarında kısaltma yapılmamalıdır.

Şekiller

Şekiller tek veya çift sütuna sığacak şekilde hazırlanmalı, tam sayfa olması durumunda genişlikler 21.5 cmx17.0 cm olmalı, tek sütundaki genişlik 81 cm olmalı. Şekil içindeki yazılar şeklin küçültülmesi durumu dikkate alınarak yeterli büyüklükte seçilmelidir. El çizimlerinin oldukça net ve düzgün çizilmesi gerekir. Aynı stil yazı karakterinin kullanıldığı şekiller metrik ölçeklerle sunulmalıdır. Kullanılan tüm haritalarda kuzey yön bilgisi, enlem ve boylamlar gösterilmelidir. Şekil içinde verilen tanımlar ve görünümmler şekille birlikte açıklanmalı, metin içinde tanımlanmamalıdır. Detay haritalar, jeolojik kesit stratigrafi, kuyu log kayıtları v.b. için tam sayfa kullanımı mümkündür. Daha büyük ölçekli haritalar çok gerekli (Editöre ve hakemin ortak karar alması gerekir) olmadıkça kabul edilmeyecektir. Renkli şekil basımlarında doğacak ücret farkı yazar/lardan karşılanacaktır. Bilgisayar ortamında hazırlanan şekiller EPS formatında olmalı ve şekil büyüklükleri son basım halinde sunulmalıdır. Gölge ve geçiş zonlarının kullanılacağı şekillerden kaçınılmalıdır. Fotoğraflar siyah-beyaz ve/veya çok iyi çekim kalitesinde olmalıdır. Tüm şekil ve fotoğraflar bir sıra içinde verilmeli ve metin içinde açıklanmalı, iki şekil için açıklama yazılacak ise **Şekil 1 ve 2 (Figure 1 and 2)** şeklinde yer verilmelidir. Şekil listesi ayrıca verilmeli, her bir şekile ait şekil alt yazısı makale yazım dili üstte olmak üzere Türkçe ve İngilizce olarak yazılmalıdır. Şekil listesi makale metninden sonra iki aralıkla verilmelidir. Şekil yazıları **Şekil 1** ve **Figure 1** şeklinde verilmelidir. Bileşik şekiller bir şekil içinde verildiğinde **a),b),c)**, vb. şekilde verilmelidir.

Çizelgeler

Çizelgeler yazım alanı içinde kalmalı, metin içinde açıklanmalı ve çizelge listesi makale metninden sonra ayrıca verilmeli, her bir çizelgeye ait çizelge alt yazısı makale yazım dili üstte olmak üzere Türkçe ve İngilizce olarak yazılmalıdır. Çizelge listesi makale metninden sonra iki aralıkla verilmelidir. Çizelge yazıları **Çizelge 1** ve **Table 1** şeklinde verilmelidir. Çizelgelerde gerekmedikçe yatay çizgi dışında çizgi kullanılmamalıdır. Tüm çizelgeler bir

sıra içinde verilmeli ve metin içinde açıklanmalı, iki çizelge için açıklama yazılacak ise **Çizelge 1 ve 2 (Table 1 and 2)** şeklinde yer verilmelidir. Tüm kısaltma ve simgeler çizelge ile birlikte dipnot olarak verilmelidir.

SON YAYIN KABUL SÜRECİ

Makale hakem incelemesinden sonra yayına kabul edildikten sonra, sorumlu yazara editör tarafından gönderilir, temel boyutta olmamak kaydıyla yapılacak düzeltme var ise yapılması istenir, yok ise sorumlu yazar son halinde makalenin tüm sayfaları imzalı bir şekilde dergi editörüne ve Jeofizik Mühendisleri Odası dergi yayın birimine posta yoluyla gönderir. Kapsamlı düzeltme ve değişiklikler tekrar hakem incelemesine sunulur. Basım masrafları var ise makale basıma gitmeden sorumlu yazar tarafından ödenir.

Örnek Makale Kopyası

Makalenin örnek kopyası son yayın aşamasından sonra sorumlu yazarın dolduracağı form ile talep edilir. 25 adet makale kopyası, sorumlu yazara talep sonrası gönderilir.

Copyright

Dergi tarafından kabul edilen makalenin yayın aşamasında sorumlu yazardan Copyright hakkını dergiye bir formla iletmesi istenir.

Tartışma

Tartışma makalesine de Jeofizik Dergisi'nde yer verilir. Tartışma makalelerinin yayın aşaması normal makale süreciyle aynı olup, en fazla beş dergi sayfası ile sınırlıdır.



Chamber of Geophysical
Engineers of Turkey



The Society of
Exploration Geophysicists

ISTANBUL 2012

INTERNATIONAL GEOPHYSICAL CONFERENCE AND OIL & GAS EXHIBITION

17 – 19 September 2012

**LUTFI KIRDAR CONVENTION AND
EXHIBITION CENTER
ISTANBUL**

Istanbul *Linking East and West
Through Geoscience*
2012

Honorary Presidency

T.C.
ENERJİ VE
TABİİ KAYNAKLAR
BAKANLIĞI

Official Supporters



Organization

DOMINO
Engineering & Organization

www.igcistanbul.com