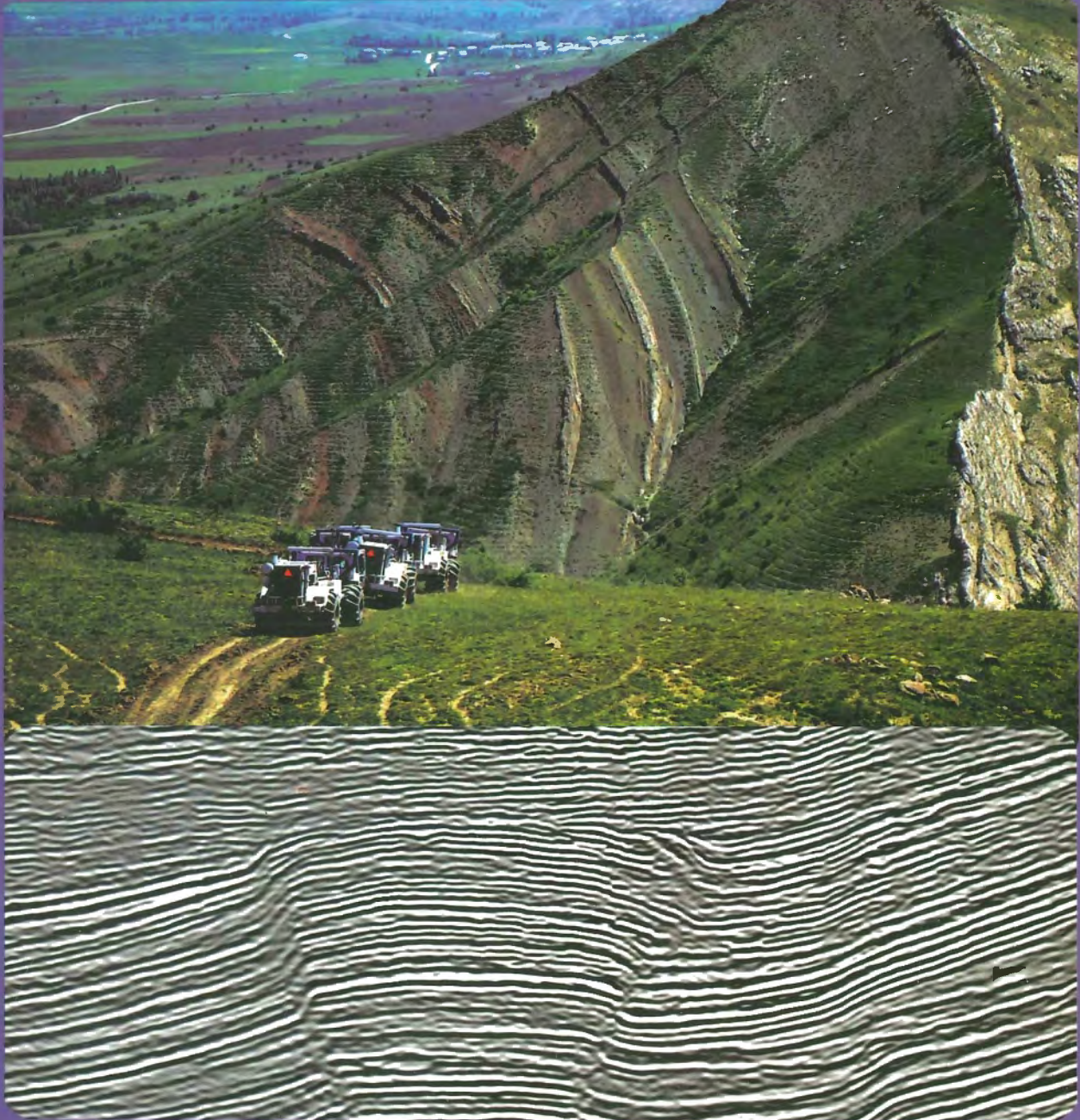


# VİBROSİSMİK

*Yılmaz Sakallıoğlu  
Dr.Orhan Güreli  
H.Sedat Başar*

*Editör: Prof Dr Cahit ÇORUH*





**VIBRO**

---

# Vibrosismik

---

**Yılmaz Sakalliođlu  
Dr. Orhan Güreli  
H. Sedat Başar**

---

**Editör: Prof Dr Cahit ÇORUH**  
Virginia Polytechnic Institute  
and State University, USA

## **DAĞITIM**

**TMMOB - Jeofizik Mühendisleri Odası (JFMO)**

MİLLİ MÜDAFAA CADDESİ NO: 10/7 06650 KIZILAY / ANKARA

TELEFON: (+90) 312 418 82 69 FAKS: (+90) 312 418 83 64

E-posta: [jfmo@jeofizik.org.tr](mailto:jfmo@jeofizik.org.tr)

**Fotoğraflar :** Yılmaz SAKALLIOĞLU

**Kapak tasarımı:** Emrah ÇINAR

**Baskı:** Altan Özyurt Matbaacılık Ltd. Şti.

Matbaacılar Sit. 1515 Sk. No:16 Yenimahalle / ANKARA Tel : 0.312 394 8 394

**Dizi editorü:** Selvizar ÇALIŞ, Aynur ÖZCAN

**ISBN:** 978-605-63270-0-1

**Birinci baskı:** Eylül 2012

Tüm yayın hakları saklıdır. Bu kitap; ticari amaç ile hazırlanmamıştır ve geliri, jeofizik eğitimi gören, ihtiyaç sahibi bir öğrencinin eğitim masrafları içindir. Telif sahibinin önceden yazılı izini olmadan kısmen ya da tamamen yeniden basılamaz; herhangi bir kayıt sisteminde saklanamaz; hiçbir şekilde elektronik, mekanik ya da başka türlü bir araçla çoğaltılıp iletilemez.

# Yazarlar Hakkında

**Yılmaz SAKALLIOĞLU**, 1980 yılında İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra, aynı yıl TPAO Arama Grubu Başkanlığı'nda sismolog olarak göreve başladı. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden Jeofizik Yüksek Mühendisi olarak 1992 yılında mezun oldu. TPAO'nun sismik arama faaliyetlerinde; ekip şefi, kalite kontrol uzmanı ve Jeofizik Operasyonlar Müdürlüğü görevlerinde bulundu. 1999 yılında katıldığı TPAO Yurt Dışı Projeler Grubu'ndaki görevlerini Proje Danışmanlığı ve TPOC Libya Arama Müdürü olarak 2001 yılı sonuna kadar sürdürdü. 2002-2010 yılları arasında Libya Ulusal Petrol Şirketi'ne bağlı Waha Oil Company'de sismik veri toplama ve veri işlem çalışmalarında Kalite Kontrol Uzmanı olarak görev yaptı. 2010 yılında katıldığı TransAtlantic Petroleum Turkey Şirketi'nde halen Jeofizik Koordinatörü olarak çalışmaktadır. Yazar, veri toplama ve veri işlem konularındaki birçok deneme ve araştırma çalışmalarını ulusal ve uluslararası petrol – jeofizik kongrelerinde sundu. JFMO, SEG ve EAGE kuruluşlarının aktif üyesidir.



**Dr. Orhan GÜRELİ**, 1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra, aynı yıl TPAO Arama Grubu Başkanlığı'nda sismolog olarak göreve başladı. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden Jeofizik Yüksek Mühendisi olarak 1998 yılında mezun olduktan sonra, aynı üniversiteden Doktor Jeofizikçi unvanına 2007 yılında hak kazandı. 1993-2005 yılları arasında TPAO'nun sismik arama faaliyetlerinde; ekip şefi, kalite kontrol uzmanı ve Jeofizik Operasyonlar Müdürlüğü görevlerinde bulundu. 2005 yılında katıldığı North African Geophysical Exploration Company'de (NAGECO-Libya) Kalite Kontrol Uzmanı olarak göreve başladı ve NAGECO'daki saha ve veri işlem çalışmalarına 2011 yılına kadar devam etti. Mayıs 2011'de katıldığı ARAR A.Ş. Şirketi'nde halen Sismik Grup Müdürü olarak görev yapmaktadır. Yazar, JFMO'nun düzenlediği sismik veri toplama kurslarında eğitmen olarak görev aldı ve sismik arama konularındaki birçok araştırma çalışmasını ulusal ve uluslararası petrol – jeofizik kongrelerinde sundu. JFMO ve SEG kuruluşlarının aktif üyesidir.



**Halim Sedat Başar**, 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden mezun olduktan sonra, aynı yıl TPAO Arama Grubu Başkanlığı'nda sismolog olarak göreve başladı. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nden Jeofizik Yüksek Mühendisi unvanına 2007 yılında hak kazandı. 1997-2005 yılları arasında, TPAO'nun sismik arama faaliyetlerinde; sismolog, ekip şefi ve uzman jeofizikçi olarak çalıştı. 2005 yılında katıldığı ARAR A.Ş.'nin sismik ekip ve veri işlem çalışmalarına önemli katkıları oldu. North African Geophysical Exploration Company'de (NAGECO-Libya) Kalite Kontrol Uzmanı olarak 2006 yılında göreve başladı ve NAGECO'daki saha çalışmalarını 2011 yılı "Arap Baharı"na kadar devam ettirdi. Mayıs 2011'de katıldığı Prosin Enerji Şirketi'nde halen Proje Müdürü olarak görev yapmaktadır. Yazar, sismik arama konularındaki birçok araştırma çalışmasını ulusal ve uluslararası petrol – jeofizik kongrelerinde sundu. JFMO, TPJD ve SEG kuruluşlarının aktif üyesidir.



Kitabın basılmasına yapmış oldukları katkılarından dolayı teşekkür ederiz.



[www.arar.com.tr](http://www.arar.com.tr)



**GÜNEY YILDIZI PETROL**  
**ÜRETİM SONDAJ MÜTH. VE TİC. A.Ş.**

[www.guneyyildizi.com.tr](http://www.guneyyildizi.com.tr)



[www.transatlanticpetroleum.com](http://www.transatlanticpetroleum.com)

*"Firma logoları alfabetik sıraya göre sıralanmıştır"*

# Sunuş ve Teşekkür

Sismik yansıma yöntemi, hidrokarbon arama çalışmalarında en yaygın yöntemlerin başında gelir. Günümüzde, hidrokarbon arama amaçlı sondaj çalışmalarına başlamadan önce, sismik veri toplama çalışması yapılır, toplanan veriler işlenerek değerlendirilir ve sondaj için en uygun yer belirlenir. 1914' te Mintrop'un mekanik sismogram aletini yapması ile başlayan sismik arama yöntemi, 1953' te vibratörün sismik kaynak olarak kullanılması ile birlikte ivme kazanmış ve halen aramacıların en çok kullandığı bir jeofizik arama yöntemi olarak sayısal teknoloji ile birlikte gelişmeye devam etmektedir.

Sismik yöntemin en önemli parametrelerinden birisi kaynağın seçimidir. Sismik arama çalışmalarında, yerin derinliklerine ve amaca uygun en güçlü enerjiyi belirli bir ses dalgası formunda göndermek, yer katmanlarından geri yansıyan enerjiyi de en faydalı sismik sinyaller olarak kaydedebilmek için, kaynağı amaca en uygun şekilde tasarlamak ve kullanmak gerekir. Bazı sahalarda, kaynak enerjisi yerin derinliklerinde çabuk sönümlenir, beklenen yansımalar zayıf kaydedilebilir ve kaynağı da kontrol etmek zorlaşabilir. Bu şartlarda toplanacak olan sismik verilerin kalitesi de bozuk olacak ve yeralıtını sismik kesitlerde görüntülemek zorlaşacaktır. Belirlenmiş frekans aralığında titreşimli bir kaynak olan vibratörün, günümüzdeki gelişmiş avantajlarını da kullanarak, sismik veri kalitesini artırmak ve daha ekonomik arama projeleri gerçekleştirmek mümkün olmaktadır.

Bu kitapta; sismik veri toplama çalışmalarında uygulanan vibrosismik yöntemin teorisi ve pratik uygulamaları yanında, veri toplama öncesi saha test çalışmaları ve veri kalite kontrolü örnekleri de sunulmuştur. Ayrıca, vibrosismik yöntemdeki en son gelişmeler ve günümüzde uygulanan modern vibrosismik veri toplama yöntemleri de kısaca tanıtmaya çalışılmıştır.

Kitabımızdan; vibrosismik yöntemi sahada uygulayan jeofizikçiler, teknisyenler, veri işlemcile-

rin yanı sıra uygulamalara katkı yapmak amacı ile başta jeofizik eğitmenlerinin ve onların yetiştirdiği jeofizik öğrencilerinin çok yönlü olarak faydalanacaklarını umuyoruz.

Bizleri, bu kaynak kitabın hazırlanmasına yönlendiren gerçek neden; ülkemizin de Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde, vibrosismik veri toplama konusunda yüksek mühendislik çalışması yapmıyoruz. Kitabın büyük bir kısmı master tezlerimizi de içermektedir. Bizler, yıllar sonra birbirimizi Libya çöllerinde çalışan sismik ekiplerde bulduk. Vibrosismik saha çalışmalarında uyguladığımız test ve veri toplama teknikleri ile sismik verilerin veri işlem öncesi kalite kontrolünü yaparken elde edilen bilgilerin Türkçe hazırlanmış bir kaynak kitapta toplanmasına karar verdik. Kitabımızın hazırlanışında, uluslararası alanda yapılan sismik arama çalışmalarına İngilizceye yerleşmiş sözcük, tanım ve terimlerin, kullanıldığı gibi ifade edilmesinin, okuyucu için daha faydalı olacağını düşündük.

Öncelikle, vibrosismik üzerine yaptığımız master tezi çalışmalarımızda bizleri eğiten ve yönlendiren sayın Prof. Dr. Turan KAYIRAN'a, sayın Prof. Dr. A. Tuğrul BAŞOKUR'a ve sayın Prof. Dr. Berkan ECEVİTOĞLU'na teşekkürlerimizi sunarız.

Ayrıca, kitabımızın hazırlanmasında, engin tecrübesi ile bizleri araştırmaya sevk eden, daha faydalı bir kaynak kitap yaratmak için büyük emeği geçen, çok değerli hocamız sayın Prof. Dr. Cahit ÇORUH'un yardım, destek ve katkıları unutulmayacak değerinde olup kendilerine şükranlarımızı sunarız.

Eylül 2012  
Yılmaz SAKALLIOĞLU  
Dr. Orhan GÜRELİ  
H.Sedat BAŞAR



# Önsöz

Vibrosismik ile ilk tanışmam ve çalışmam 1970'lerin ortasında Cezayir çöllerinde olmuştur. Petrol endüstrisinden sonra üniversitede çalışmaya başladığımda petrol arama amaçlı vibrosismik uygulamalarına ilgim devam ederken tektonik bilgisi üretmek için vibrosismik ile yer kabuğu görüntülemesi çalışmalarına da katılmak istiyordum. 1979 yılında Virginia Tech'in ABD Enerji Bakanlığının desteklediği bir proje kapsamında yeni ve o günün ölçüleriyle büyük kapasiteli bir vibratör aldığını öğrenince Virginia Tech'te "Regional Geophysics Laboratory"nin yürüttüğü çalışmalara katılmıştım. Uzun yıllar 1970'lerin teknolojik bir harikası olan bu sismik-vibratör (Failing Y-1100, 27,000 psi) ile uzun (21 saniye) titreşim sinyalleri kullanarak birçok kabuk çalışması ve yüksek çözünürlük gerektiren sığ sismik görüntülemeleri yaparken yeni teknolojilerin vibrosismik çalışmaların sınırlarını nasıl değiştireceğini tahmin etmeye çalışırdım. Değerli meslektaşlarım Yılmaz Sakallıoğlu, Dr. Orhan Güreli ve Halim Sedat Başar tarafından büyük bir titizlikle hazırlanan bu kitabın hemen hemen her sayfasında tahminlerimin ne kadar yetersiz kaldığını anlayıp çok şey öğrendiğimi kıvanç duyarak belirtmek isterim. Genelde elektronik, bilgisayar ve matematiksel işlemlerdeki gelişmeye paralel olarak sismik metotların gösterdiği büyük değişimde vibrosismik yöntemlerde önemli katkılarda bulunmuştur. Elinizdeki VİBROSİSMİK kitabında bu katkıların nasıl yapıldığı tüm ayrıntılarıyla verilmiştir.

Vibrosismik teknolojisindeki günümüz bilgileriyle birlikte yazarların vibrosismik uygulama-

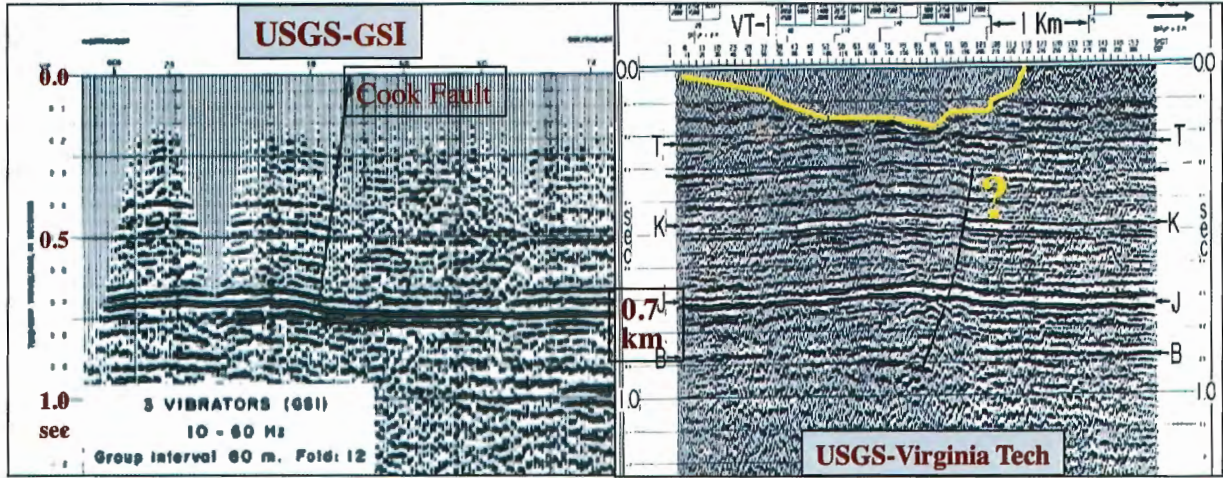
larındaki engin deneyimlerini de gelecek nesillere aktarmak amaçlandığından, elinizdeki bu kitapta vibrosismik teorisi, teknolojik sistemleri ve uygulamaları büyük bir yetenekle adeta örülmüştür. Continental Oil Company (Conoco)'nun 1950'lerde patentli bir buluşu olan vibrosismik, günümüzde petrol arama endüstrisinde çok önemli bir yer tutarken, tektonik amaçlı yer kabuğu görüntülemesinde ve yüksek çözünürlük gerektiren çeşitli amaçlı sığ araştırmalarda da aranan bir yöntemdir. Conoco'nun patent süresinin son bulması ile teknikteki gelişmeler büyük bir hız kazanmıştır. Vibrosismik en sofistike ve kontrol açısından en esnek enerji kaynağı olarak büyük gelişmeler göstermeye devam edecektir. Vibrosismik uygulamaları yapacak jeofizikçilerin ellerinden düşürmeyecekleri bu kitap, tekniği geliştirme araştırmaları yapacaklara da ön bilgi olarak yardımcı olacaktır.

Klasik bir önsözün sınırlarının dışına çıkarak ek örneklerle kitabın yararlarını vurgulamak istiyorum. Vibrosismik veri toplamasında parametrelerin seçiminin önemini belirtmek için büyük deprem üreten ve yeryüzünde göstergesi olmayan fay aranmasından bir örnek Şekil A' da verilmiştir. Söz konusu depremi, ilgili jeolojik bilgileri ve vibrosismik parametreleri tartışarak sayfa doldurmak yerine farklı vibrosismik parametrelerin farklı yorumlara neden olabileceğini göstermekle yetineceğim. Şekil A' da soldaki GSI (Geophysical Services Inc.) parametreleriyle elde edilen vibrosismik kesitten, "Deprem olduğuna göre fay vardır" ön görüşü ile, model-bazlı bir yorum yapılarak "Cook" fayı tanımlanmıştır. (*Behrendt, John C., Hamil*

ton, Robert M., Ackermann, Hans D., and Henry, V. James, 1981, *Cenozoic faulting in the vicinity of the Charleston, South Carolina, 1886 earthquake Geology*, March, 1981, v. 9, p. 117-122)

Aynı hatta Virginia Tech parametreleriyle yeniden veri toplanıp işlenince sağdaki (Şekil A) sismik kesit elde edilmiştir. Bu kesitte büyük bir fay yorumu olası değil; çünkü zaman ortamında

verilen bu kesitlerdeki yansılarda izlenen yapısal değişikliklere, sığ seviyelerde görülen ve tabanı sarı renkle gösterilen bir kanal neden olmuştur. Delta ortamlarında kanalları dolduran malzemelerin sismik hızı denizel çökellerin hızından yüksek olduğu için derinlerdeki yansılarda zaman ortamında hız çekmesi sonucu yapılar görülmesine neden olmuştur. Ayrıca simetrik olmayan kanal geometrisi fay görünümünü yaratmıştır.



Şekil A. Charleston, South Carolina, vibrosismik hat: (a) USGS-GSI sismik hattı. Enerji kaynağı: 3 vibratör; vibrasyon süresi: 10 saniye; vibrasyon frekans aralığı: 10-60 Hertz; alıcı sistemleri aralığı: 60 m; katlama sayısı: 12. (b) USGS-Virginia Tech sismik hattı. Enerji kaynağı: 1 vibrator; vibrasyon süresi: 21 saniye; vibrasyon frekans aralığı: 80-10 Hertz; alıcı sistem aralığı: 35 m; katlama sayısı: 24.

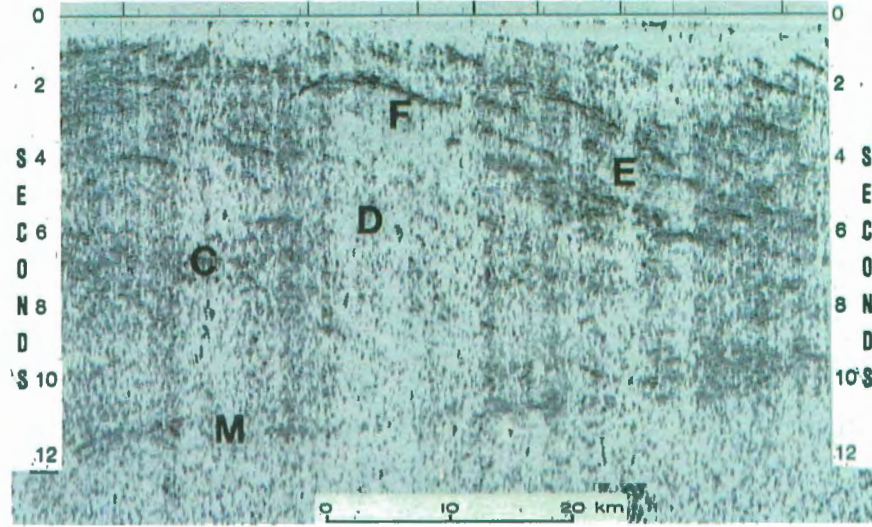
Sığ araştırmalarda vibrosismik uygulamaları- na Şekil A'daki örnekle yazarların vibratör ve veri kayıt parametrelerinin seçimine verdikleri önemi vurgulamak istedim. Geçerli yorumlar için yeraltı ile ilgili doğru ve eksiksiz bilgi üretilmesi teorik bilgilerle pratik uygulamaların entegrasyonunu gerektirir. VİBROSİSMİK kitabı bu bakımdan Türkçe kaynak olarak büyük bir boşluk dolduracaktır.

Vibrosismik zayıf fakat uzun süreli titreşimlerle, kısa süreli fakat kuvvetli enerji üretmeye eş değer bir fizik uygulaması olarak derinlik penetrasyonu açısından önceleri limitli görülmüştü. Bu görüşe kabuk etkisi (skin-effect) nedeniyle yük-

sek frekansların derinlere erişemeyeceği, erişede sönüm nedeniyle çok zayıf sinyal olarak döneceği ön görüşü de eklenince, ABD'de Cornell Üniversitesi COCORP grubu yer kabuğu araştırmaları için vibrosismik uygulamalarında uzun süre vibrasyon frekans aralığını 8-32 Hz olarak limitlemişti. Oysa Virginia Tech'teki kabuk araştırmaları için uygulanan vibrosismik çalışmalarda, alt-kabuktan kuvvetli sinyaller kaydedilmiş ve yer kabuğu-Manto geçiş derinliklerindeki (35-45 km) sismik yansıma dalgacıklarında 50 Hz'e kadar frekans bileşenleri görülmüştü. Vibrosismik yöntemi ile çok derin bilgiler üretebileceğini iki örnekle göstererek VİBROSİSMİK kitabının akademik

amaçlarla yer kabuğu çalışmalarında da yararlı olacağını vurgulamak isterim. Akademik amaçlı vibrosismik uygulamalardan beklentilerim arasında

üst-Mantodaki konveksiyon akımlarının görüntülenmesi de var.



Şekil B. Virginia I-64 uzatılmış korelasyonlu vibrosismik hattı. Veriler çok büyük ölçüde sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Sismik dalgacıklar seçilememektedir

Şekil B' de verilen kesit vibrosismik yönteminin yollarda ve yerleşim yerlerinde çevreye zarar vermeden uygulanmasına ve kabuk bilgileri elde edilmesine örnek olarak verilmiştir.

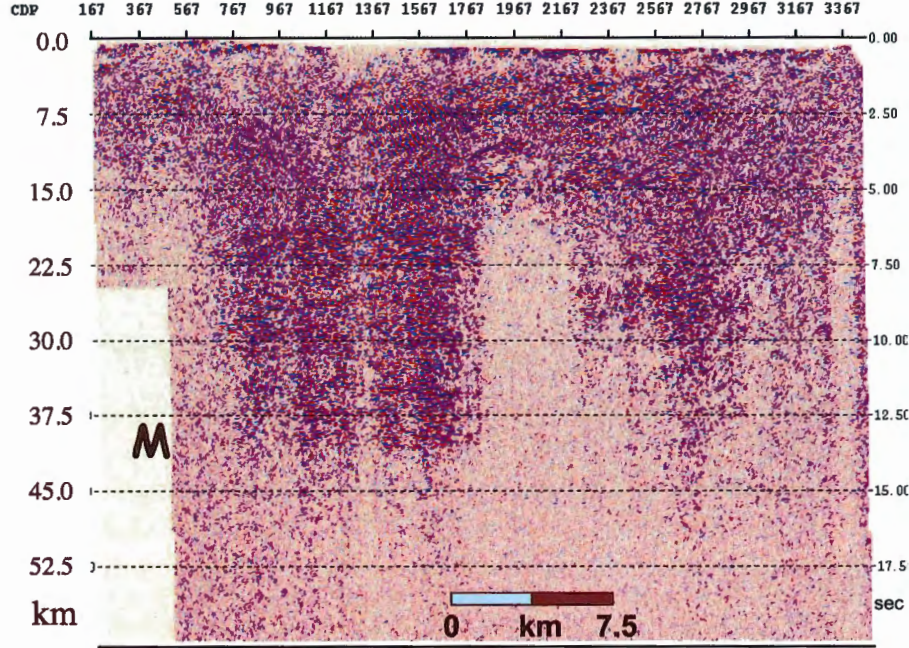
ABD Virginia eyaletinde doğu-batı yönlü bir otoyolda (I-64) U.S.G.S. (United States Geological Survey) için 8 saniye (~24 km) derinlikli bir sismik kesit elde etmek için uygulanan vibrosismik verileri korelasyon öncesi kaydedilmişti. Bu kayıtlara Virginia Tech'te uzatılmış korelasyon (extended correlation) uygulanarak kesit derinliği 14 saniyeye (~42 km) çıkarılınca Moho derinliklerinden ("M" 30-36 km) sismik sinyaller elde edilmişti. Şekil B' de kısmen verilen bu vibrosismik hat yer kabuğu kalınlık değişme bilgisi verirken kabuk içindeki yapılarla önemli tektonik yorumlara neden olmuştu. (Çoruh, Cabit, Bollinger, G. A., Costain, J.K., 1988, *Seismogenic structures in the Central Virginia Seismic Zone: Geology*, v. 16, p. 748-751)

Şekil C, Tuz Gölü bölgesinde Türkiye Petroleri Anonim Ortaklığının vibrosismik çalışmaları

rından üst ve alt kabuk yapılarını görüntüleyen bir kesiti göstermektedir. Bu kesit, petrol arama amaçlı vibrosismik verilerinden önemli yer kabuğu bilgileri üretilebileceğini belgelemektedir. Kesit yer kabuğu-Manto geçiş derinliğini (~42 km) ve Manto'dan yer kabuğu içine sokulmaları (intrusion) yorum gerektirmeyen bir netlikle göstermektedir. Bu türden derin görüntülemelerin, akademik değeri yanında, petrol aramalarında da önemli anahtar yorumlara kapı açacağını belirtmeliyim. Örneğin yukarıdaki vibrosismik kesitte üst-kabuktaki büyük genlikli yansımalarla birlikte alt-kabuktaki magma sokulmaları dikkate alınarak şu yorum yapılabilir: Tuz Gölü Bölgesindeki derin ve büyük genlikli sismik yansıma sinyallerinin sedimenter olmayan magmatik kökenli kayaların oluşturduğu tabakalanmadan kaynaklanabileceğinin dikkate alınması gerekir. Bu tür yorumlardan ötürü yukarıdaki örnekte olduğu gibi derinleri görüntüleyen vibrosismik kesitleri çok önemsediyimi belirtmeliyim. Ve hemen not etmeliyim ki bu tür derin görüntülerin yorumlanabildiği kesitlerin elde edilmesi

ancak doğru ve optimum saha kayıt parametrelerinin seçimi ile olasıdır. Kaliteli veriler işlemlerinin de başarısının ön koşulu olduğundan

VİBROSİSMİK kitabındaki bilgilerin ve deneyim aktarmalarının önemi açıktır.



Şekil C. Tuz Gölü Bölgesinden bir vibrosismik hat. Veriler çok büyük ölçüde sıkıştırılarak hazırlandığından sismik dalgacıklar seçilememektedir.

Yazarların iznini alarak eklediğim yukarıdaki sığ ve derin vibrosismik örneklerle vibrosismik yönteminin uygulama alanlarının çok geniş ve kapsamlı olduğunu belirtip VİBROSİSMİK kitabının her türlü yeraltı görüntülenmesinde bir kılavuz olabileceğini vurgulamak istedim. Yazarlar deneyim birikimlerinin verdiği güçle tam kontrollü enerji kaynağı olarak vibrosismik yönteminin teorik yönleriyle birlikte uygulamalarının her fazını irdelemişlerdir. Tekrar gibi gözükken kısımlarla dikkatlerimizi farklı noktalara çekmişlerdir. VİBROSİSMİK kitabının vibrosismik çalışmalarına tekrar katılma isteğimi kamçıladığını belirtmek isterim.

Alışılmıştan oldukça uzun olan bu önsözü ki-taptaki bilgilerle yola çıkanların, büyük gelişmeler beklediğim vibrosismik yöntemine, yenilik getirme şanslarının büyük olduğunu belirterek bitirmek isterim. Yazarları gönülden kutlarken mesleğimize kapsamlı, önemli ve boşluk doldurucu bir Türkçe kaynak kazandırdıkları için teşekkür ederim. Değerli meslektaşlarımla başarılarının devamını diliyorum.

Ayvalık, Temmuz 2012  
Prof. Dr. Cahit Çoruh

# İçindekiler

BAŞLIKLAR	Sayfa
YAZARLAR HAKKINDA	II
SUNUŞ VE TEŞEKKÜR	IV
ÖNSÖZ	VI
1. GİRİŞ	1
2. VİBROSİSMİĞİN DOĞUŞU VE TEMEL KAVRAMLARI	3
2.1 Vibratörün Bir Sismik Kaynak Olarak Kullanım Felsefesi	4
2.2 Patlayan Kaynaklar ile Vibro Kaynağının Karşılaştırılması	5
2.3 Sweep Sinyalinin Elde Edilmesi	5
3. KROSKORELASYON, OTOKORELASYON İŞLEMLERİ VE SWEEP SİNYALİNİN FREKANS ORTAMINDA DEKONVOLÜSYONU	11
3.1 Kroskorelasyon İşlemi	11
3.2 Otokorelasyon İşlemi	15
3.3 Otokorelasyon Dalgacığının Özellikleri	17
3.4 Sweep Sinyalinin Frekans Ortamında Dekonvolüsyonu (Ters Evrişim İşlemi)	18
4. VİBROSİSMİKTE SAHA KAYITLARININ ELDE EDİLMESİ	21
5. SWEEP SİNYALİ VE ÇEŞİTLERİ	29
5.1 Sweep Sinyali Tarama Yönü	30
5.2 Linear Sweep Sinyali	33
5.3 Parçalı Linear Sweep (Piece-wise linear sweep) Sinyali	36
5.4 Non-Linear Sweep Sinyali	36
5.4.1 Desibel / Oktav (dB/Oct) sweep sinyali	39
5.4.2 Desibel / Hertz (dB/Hz) sweep sinyali	40
5.4.3 Non-Linear T <sup>n</sup> sweep sinyali	42

5.5 Frekans Güçlendirmeli Combisweep	43
5.5.1 Combisweep'in karakteristik özellikleri	43
5.5.2 Combisweep tekniğinde korelasyon işlemi	44
5.5.3 Combisweep ve kayıt işlemi	45
5.5.4 Combisweep performansı ve enerji yayını	47
5.5.5 Combisweep ve sinyal analizi	49
5.5.6 Combisweep; simetrik frekans ağırlıklama	55
5.5.7 Combisweep; simetrik olmayan frekans ağırlıklama	57
5.5.8 Combisweep; frekans boşluklama	57
6. VİBRATÖRÜN MEKANİK VE ELEKTRONİK SİSTEMLERİ	59
6.1 Vibratör Sistemindeki Yenilikler	59
6.2 Mekanik Sistemler ve Prensipleri	61
6.2.1 Vibratör nasıl çalışır?	65
6.2.2 Yağ basınç kontrolünün prensibi	66
6.3 Vibratör Elektroniği ve Prensipleri	69
6.3.1 Sweep sinyali jeneratörü (DPG)	70
6.3.2 Sayısal sweep kontrol ünitesi (DSD)	70
6.3.3 Sweep sinyali tasarımı	71
6.4 Yere Uygulanan Kuvvet (Ground Force, GF), Zemin Sertliği (Ground Stiffness, GSt) ve Zemin Yumuşaklığı (Ground Viscosity, GV)	74
6.4.1 Yere uygulanan kuvvet (Ground Force, GF)	74
6.4.2 GF ve yer cevabı ilişkisi	74
6.4.3 Zemin sertliği ve zemin yumuşaklığı	75
6.5 Vibratör Performans Değerlendirmesi	79
6.6 Vibratör Enerjisi Hesabı	83
7. VİBROSİSMİK SAHA PARAMETRELERİ VE UYGULAMALARI	85
7.1 2D Sismik Veri Toplama Parametreleri	85
7.2 3D Sismik Veri Toplama Parametreleri	86
7.3 2D Sismik Veri Toplama Teknikleri ve Vibratör Dizinleri	88

7.3.1 Doğrusal kaynak dizini	88
7.3.2 Kare kaynak dizini	89
7.3.3 Alıcı hattına dik kaynak dizini	90
7.3.4 Paralelkenar kaynak dizini	91
7.4 2D Sismik Veri Toplama Teknikleri ve Alıcı Dizinleri	91
7.5 Kayıt Geometrisi	94
8. SWEEP PARAMETRELERİNİN SEÇİMİ VE SAHA TEST ÇALIŞMALARI	97
8.1 Test Çalışmalarında Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar	97
8.2 Sweep Parametreleri Seçimi İçin Test Programı	98
8.3 Sweep Parametreleri Test Sonuçlarının Değerlendirmesi	101
8.3.1 Sweep başlangıç frekansı testi	101
8.3.2 Sweep bitiş frekans testi	106
8.3.3 Sweep uzunluğu testi	110
8.3.4 Sweep sayısı testi	114
8.3.5 Vibratör dizini ve kayma mesafesi testi	118
8.3.6 Sweep tipi testi	120
8.3.7 Sweep sinyali testi değerlendirme sonuçları	123
8.4 Sweep Parametreleri Saha Test Çalışmalarından Örnekler	124
8.5 Sweep Sinyali Frekans Bandı	150
8.6 Sweep Sinyali Yönü-Frekansları Artan ve Azalan Sweep Çeşitleri	156
8.7 Sweep Sinyali Törpüleme Fonksiyonu (Konik Sweep Sinyali)	159
8.8 Sweep ve Vibratör Parametrelerinin Sinyal Genliği Üzerindeki Etkileri	163
8.8.1 Sweep boyunun sinyal genliğine etkisi	163
8.8.2 Sweep sayısının sinyal genliğine etkisi	165
8.8.3 Vibratör gücünün sinyal genliğine etkisi	170
8.8.4 Vibratör sayısının sinyal genliğine etkisi	171
8.9 Vibrosismikte Sinyal/Gürültü Oranı ve Sinyal Gücü Kestirimi	176
9. HARMONİK GÜRÜLTÜLER VE SÖNÜMLENMESİ	179

9.1 Harmonik Gürültülerin Tanımı	179
9.1.1 Harmonik bozulmaların analizi	179
9.1.2 Sweep ve harmoniklerinin korelasyonu	180
9.1.3 Sweep sinyali ve harmoniklerin frekans ortamında incelenmesi	181
9.1.4 Kroskorelasyon dalgacığının enerjisi	182
9.1.5 Sweep sinyali ve harmoniklerin genlikleri	183
9.2 Harmoniklerin Sönümlenmesi	184
9.2.1 İki Sweep sinyali ve harmoniklerinin sönümlenmesi	185
9.2.2 İki'den fazla sweep sinyali ve harmoniklerin sönümlenmesi	191
10. SİSMİK PROGRAM TASARIMI VE SAHA PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ	195
10.1 2D Sismik Program Tasarımı ve Saha Parametrelerinin Belirlenmesi	199
10.1.1 Çalışma sahasının lojistik sorunları ve problemleri	200
10.1.2 Sahanın jeolojik ve jeofizik objektiflerinin özeti	200
10.1.3 Yorumcunun istekleri ve beklentileri	200
10.1.4 Veri kalitesi ve problemleri	200
10.1.5 2D sismik program tasarımı için model oluşturmak	201
10.1.6 Sismik verilerin frekans içeriği ve ayrımlılık	202
10.1.7 En uygun grup aralığı seçimi	202
10.1.8 Düşey ayrımlılık – $R_z$	203
10.1.9 Yatay ayrımlılık – $L_r$	203
10.1.10 En büyük alıcı dizin boyu	203
10.1.11 Fresnel alanının ve yarıçapının hesaplanması	204
10.1.12 Migrasyon mesafesi ve sismik hat uzunluğu tasarımı	204
10.1.13 Yakın açılım	205
10.1.14 Uzak açılım	205
10.1.15 Normal kayma zamanı (NMO) gerilmesi ve uzak açılım	207
10.2 3D Sismik Program Tasarımı ve Saha Parametrelerinin Belirlenmesi	208
10.2.1 3D sismik program tasarımı için akış şeması	209

10.2.2 3D tasarımında bin boyutu ve S/G oranı	216
10.2.3 Frekans katlaması (aliasing) olmayacak maksimum frekansın belirlenmesi	218
10.2.4 Yanal ayrımlılık (Lateral Resolution)	218
10.2.5 Düşey ayrımlılık (Vertical Resolution)	219
10.2.6 En büyük yakın açılım (Largest minimum ofset) – Xmin	219
10.2.7 En büyük açılım (Maximum ofset) - Xmax	221
10.2.8 Alıcı ve kaynak hatları aralıklarının belirlenmesi	223
10.2.9 Görüş oranı (Aspect Ratio-A)	223
10.2.10 Ofset dağılımı	224
10.2.11 Azimut dağılımı	224
10.2.12 Dar ve geniş azimut dağılımları	225
10.2.13 3D sismik tasarımında alan boyutu ve kenarların düzenlenmesi	227
10.2.14 Sismik kayıt uzunluğu	228
10.2.15 3D Sismik veri toplamada maliyet modeli	229
10.3 Hidrokarbon Aramasında En Uygun 3D Sismik Tasarımını Belirlemek	229
<b>11. VİBROSİSMİK VERİ TOPLAMADA EKİPMAN TESTLERİ VE KALİTE KONTROL</b>	<b>245</b>
11.1 Topografya Çalışmaları ve SPS Dosyalarının Kalite Kontrolü	246
11.2 Kayıt Sistemleri Testi ve Kalite Kontrolü	250
11.2.1 Jeofon string testi	250
11.2.2 Sismik kayıt sistemi testleri	254
11.2.3 Kayıt sistemi kabul testi (Recording system acceptance test)	268
11.3 Vibrosismikte Polarite	269
11.3.1 Vibrosismikte faz, polarite tanımı ve testleri	269
11.3.2 Jeofon polarite testi (Geophone Tab Test)	274
11.3.3 Vibratör polarite testi	275
11.3.4 Vibrotör sistemi "pulse" testi	277
11.4 Vibrosismikte Benzerlik Testleri (Similarity Tests)	280
11.4.1 Telsiz benzerlik testi (Radio Similarity Test)	280

11.4.2 Sismik hat bağlantılı benzerlik testi (Hardwire Similarity Test)	282
11.4.3 Hardwire testinin analizi	284
11.4.4 Başlangıç zamanı hatası testi (Start Time Error)	289
11.5 Vibratör Verilerinin Değerlendirilmesi	294
11.6 Günlük Kayıtların Kalite Kontrolü	302
11.6.1 Ortalama (RMS) genlik kontrolü	304
11.6.2 Alıcı doğrusal açılım düzeltmesi (Receiver Linear Move Out, RLMO) ve kontrolü	305
11.6.3 Kaynak doğrusal açılım düzeltmesi (Source Linear Move Out, RLMO) ve kontrolü	306
12. MODERN VİBROSİSMİK VE SAHA UYGULAMALARI	307
12.1 Konvansiyonel Veri Toplama Tekniği	307
12.2 Karşılıklı Kayıt Alma Tekniği (Flip-Flop Recording)	309
12.3 Slip Sweep Kayıt Tekniği	313
12.3.1 Slip sweep tekniğinde sinyal harmonikleri ve harmonik bozulmalar	315
12.4 Yüksek Verimli Vibrosismik Veri Toplama Tekniği (HPVA)	319
12.5 Eş Zamanlı Vibrosismik Veri Toplama Teknikleri	325
12.5.1 Yüksek güvenilirlikli vibrosismik veri toplama tekniği (High Fidelity Vibratory Seismic, HFVS)	325
12.5.2 Bağımsız eş zamanlı vibrosismik veri toplama tekniği (Independent Simultaneous Sweeping (ISS)	340
12.5.3 Eşzamanlı rastgele sweep tekniği (Simultaneous Pseudorandom Sweep Technology, SPST)	344
12.5.4 Uzun mesafede eş zamanlı vibrosismik veri toplama tekniği (Distance Separated Simultaneous Sweeping (DSSS veya DS <sup>3</sup> ))	350
KAYNAKLAR	357
Ek-1: Kitapta Geçen Şirket ve Kurum İsimleri	360
Ek-2: Kitapta Geçen Bazı İngilizce Kelimelerin Türkçe Karşılığı	361
Ek-3: Sismik veri Toplamada Kullanılan Dosyalar	369
Vibrosismik Saha Çalışmalarından Fotoğraflar	379